

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK FAZ GERİ KAPAMADA
ARK ARIZASININ ADALINE TABANLI
ALGILANMASI

ÖZGÜR KARACASU
DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2012

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK FAZ GERİ KAPAMADA
ARK ARIZASININ ADALINE TABANLI
ALGILANMASI

ÖZGÜR KARACASU
DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. M. HAKAN HOCAOĞLU

GEBZE
2012



DOKTORA TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/01/2012 tarih ve 2012/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/02/2012 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Özgür KARACASU'nun tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Prof Dr. Osman KILIÇ

ÜYE : Prof. Dr. Fevzi BABA

ÜYE : Doç. Dr. Bora ALBOYACI

ÜYE : Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU

(TEZ DANIŞMANI)

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir BALIKÇI

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2011 tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : TEK FAZ GERİ KAPAMADA ARK ARIZASININ ADALINE TABANLI ALGILANMASI

YAZAR ADI : ÖZGÜR KARACASU

Elektrik enerjinin iletiminde kullanılan havai hatlarda meydana gelen arızaların %80'inden fazlası faz toprak kısa devreleridir ve bu arızaların büyük bir çoğunluğu geçici karakterdedir. Dolayısıyla Tek Faz Geri Kapama (TFGK) sistemleri elektrik iletim sistemlerinin güvenilirliğinin artırılmasında önemlidir. İletim hatlarında TFGK sistemlerinin kullanılması geçici karakterdeki arızaların hızlı bir şekilde temizlenmesini ve sistemin normal çalışmasına dönmesini sağlar. Bununla birlikte geleneksel TFGK sistemleri arıza tipini ayırt eden akıllı karar verme mekanizmasına sahip değildir. Avantajlarına rağmen, kalıcı arızanın üzerine geri kapama riski ve uyarlanır olmayan sabit geri kapama zamanı TFGK sistemlerinin ana problemleridir.

Bu tezde, arıza tipinin geçici – kalıcı ayrımını yapan Adaline tabanlı iki farklı TFGK sistemleri önerilmiştir. Önerilen her iki metotta ikincil arkın sönme zamanı belirleyebilme yeteneğine sahiptir. Birinci metot, arıza tipini, arızalı faz gerilim dalga formundaki değişimleri belirleyerek karar vermektedir. İkinci metot ise, arızalı faz geriliminin frekansındaki değişimleri kullanarak arıza tipine karar vermektedir.

Sadece gerilim dalga formu ile çalışan metotların en önemli özellikleri az işlem gücüne ihtiyaç duymaları ve karar verme aşamasında güç sistemi parametrelerinden etkilenmemesidir. Bu sayede literatürde önerilen diğer metotlarda sıkça karşılaşılan güç sistemi parametrelerine bağlı eşik değeri belirleme probleminin önüne geçilmiştir.

Önerilen metotların etkinliği ElectroMagnetic Transient Programın (EMTP) Alternatif Transient Program (ATP) versiyonunda yapılan simülasyonlar ile analiz edilmiştir. Metotlar ayrıca Türkiye Ulusal Şebekesinden alınan gerçek veriler üzerinde de test edilmiştir. Simülasyonlar ve analizler önerilen metotların yeteneklerini doğrulamaktadır.

SUMMARY

**TITLE : ARCING FAULT DETECTION BASED ON ADALINE
FOR SINGLE POLE AUTORECLOSER**

AUTHOR : ÖZGÜR KARACASU

More than 80% of all system faults, occur on the overhead lines of the transmission systems, are single phase to ground type faults and large majority of these faults are of a transient nature. Consequently, Single Pole Autoclosers (SPAR) plays an important role for ensuring the reliability of the systems. The faults in transient nature can be quickly cleared and transmission systems return to the normal service by the implementation of SPAR system on the transmission systems. However, conventional SPAR has no intelligent decision making tool for identification fault types. Despite of the many advantages, possibility of reclosing onto permanent faults, due to fixed or non adaptive time intervals, is the main disadvantage of the traditional SPAR systems.

In this thesis, two different Adaline based SPAR systems are proposed to distinguish permanent and transient faults. The proposed algorithms are also capable of identifying secondary arc extinction time. In the first method, the type of fault is distinguished by the variations of the faulted phase voltage waveform. The variation of the faulted phase frequency is used to determine the type of fault in the second method. The most important feature of the proposed methods is that they process only voltage waveforms. Therefore they are computationally less expensive. In addition to that both methods use system independent threshold values when compared with other methods proposed in the literature. As a result, the problem of determining a reliable threshold value for the chosen gauge is prevented.

Effectiveness of the proposed methods simulationally analyzed by using Alternative Transient Program (ATP) version of ElectroMagnetic Transients Program (EMTP). The methods are also employed to the actual data taken from Turkish National Grid. Simulations and analyses validate the capabilities of the proposed algorithms. Results show that the method can successfully be implemented for real time application.

TEŞEKKÜR

Yüksek öğrenimim süresince bana her konuda yardımcı olan, bilgisini ve tecrübesini paylaşan, yol gösteren danışmanım Doç. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU'na

Yıllarca aynı çalışma ortamını paylaştığım, üzerimde emeği olan tüm hocalarım ve arkadaşlarıma,

Uzun soluklu bu maratona başladığım ilk andan itibaren beni destekleyen kardeşim, annem ve babama,

Her zorlandığımda, bu maratonu tamamlayabileceğime beni inandıran ve motive eden, eşim Serden Tuğçe KARACASU'ya teşekkür ederim.

Özgür KARACASU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Metot ve Sınırlar	2
1.3. Tezin Yapısı	3
2. TEK FAZ GERİ KAPAMA	5
2.1. Tek Faz Geri Kapama	5
2.2. Sonuç	13
3. Literatür Özeti	14
3.1. Efektif değer kıyası metodu	14
3.2. Frekans Analizi Temelli Metotlar	17
3.2.1. Fourier Tabanlı Metotlar	17
3.2.2. Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Metotlar	25
3.3. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Metotlar	26
3.4. Sıfır Sıra Tabanlı Metotlar	27
3.5. Sonuç	27
4. Uyarlanı Doğrusal Nöron	29
4.1. Adaline	29
4.1.1. Dalga Formu Değişimlerinin Algılanması	34
4.1.2. Sistem Frekansının Ölçülmesi	35
4.1.3. Dalga Formu Fourier Serisi Katsayılarının Hesaplanması	39
4.2. Yakınsama Analizi	41
4.3. Sonuç	44
5. Dalga Formu Değişimine Dayalı Ark Arızası Algılama	45
5.1. Giriş	45
5.2. Geliştirilen Algoritma	45
5.3. Geliştirilen Algoritmanın Simülasyonla İncelenmesi	49
5.4. Saha verisi uygulaması	66
5.5. Sonuç	69

6. Frekansı Ölçümüne Dayalı Ark Arızası Algılama	70
6.1. Giriş	70
6.2. Geliştirilen Algoritma	70
6.3. Geliştirilen Algoritmanın Simülasyonla İncelenmesi	79
6.4. Saha verisi uygulaması	92
6.5. Sonuç	94
7. SONUÇLAR	96
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	105
EKLER	106
Ek 1. Modellenen Güç Sistemi	106
Ek 1.1. Hat Modeli	107
Ek 1.2. Kaynak Modeli	110
Ek 1.3. Dinamik Ark Modeli	112
Ek 1.4. Kapasitif Gerilim Transformatörü	117
Ek 1.5. Matlab - ATP Entegrasyonu	121
Ek 2. Bilgisayar Kodları	123
Ek 2.1. ATP Test Sistemi	123
Ek 2.2. Ark Modeli ATP Model kodu	126
Ek 2.3. TAES indeksi ATP Model Kodu	128
Ek 2.4. TASF indeksi ATP Model Kodu	130
Ek 2.5. MATLAB - ATP Entegrasyon Kodu	133

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER:

α	: Öğrenme oranı
N	: Giriş vektörü boyutu
ε	: Adaline öğrenme hatası
k	: Örnekleme zamanı
N_s	: Ortalama Penceresi boyutu
δ	: Yük açısı

KISALTMALAR:

FTKD	: Faz Toprak Kısa Devresi
TFGK	: Tek Faz Geri Kapama
ADALINE	: Uyarlanır Lineer Nöron
ENH	: Enerji Nakil Hattı
ATP	: Alternatif Transient Program
EMTP	: ElectroMagnetic Transient Program
KGT	: Kapasitif Gerilim Bölücü
DA	: Doğru Akım
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
HDI	: Harmonik Bozulma İndeksi
YSA	: Yapay Sinir Ağı
GZDS	: Gerçek Zamanlı Dijital Simülatör
WHÖA	: Widrow Hoff Öğrenme Algoritması
TAES	: Öğrenme Hatasının Mutlak Değerinin Kayar Pen. Ort.
TASF	: Frekans Dalga Formunun Kayar Penceredeki Ortalaması
KGB	: Kapasitif Gerilim Bölücü
KR	: Kompanzasyon Reaktörü
DT	: Düşürücü Transformatör
FBD	: Ferrerezonans Bastırma Devresi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil:</u>	<u>Sayfa:</u>
2.1. Tek Faz Geri Kapama akış şeması.	6
2.2. Geleneksel TFGK sisteminden alınan (a) başarılı ve (b, c) başarısız FTKD olayları gerilim dalga formları.	8
2.3. Seçici anahtarlı dört reaktör metodu prensip şeması [1][11].	10
3.1. Geçici arıza simülasyonu ile efektif değer kıyası metodu.	15
3.2. Geçici arıza saha verisi ile efektif değer kıyası metodu.	16
3.3. Kalıcı arıza saha verisi ile efektif değer kıyası metodu.	16
3.4. KGT'siz (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza simülasyonu gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.	18
3.5. KGT'li (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza simülasyonu gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.	18
3.6. Sahadan alınmış (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.	19
3.7. Geçici arıza simülasyonu ile THD indeksi metodu.	20
3.8. Geçici arıza saha verisi ile THD indeksi metodu.	21
3.9. Geçici arıza simülasyonu ile HDI indeksi metodu.	22
3.10. Geçici arıza saha verisi ile HDI indeksi metodu.	22
3.11. Geçici arıza simülasyonu ile F indeksi metodu.	23
3.12. Geçici arıza saha verisi ile F indeksi metodu.	23
3.13. Geçici arıza simülasyonu ile HF indeksi metodu.	24

3.14. Geçici arıza saha verisi ile HF indeksi metodu.	25
4.1. Perceptron blok diyagramı.	30
4.2. Adaline blok diyagramı.	30
4.3. (a) Eğitim ve (b) kullanma safhasında Adaline blok diyagramı.	31
4.4. Adaline ile uyarlanır filtre uygulaması.	32
4.5. Adaline ile sinyal kestirimi.	33
4.6. Gerilim (a) çukurlaşması, (b) geçicilik için Adaline hatasının değişimi.	34
4.7. Adaline tabanlı frekans ölçümü blok diyagramı.	36
4.8. (a) Frekansı değişen sinüs dalga formu, (b) Adaline hatası, (c) Ölçülen frekans.	37
4.9. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim dalga formu frekansının Adaline ile ölçülmesine ilişkin blok diyagramı.	38
4.10. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş dalga formunun harmonik bileşenlerinin Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı.	40
4.11. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş dalga formunun harmonik bileşenlerinin ve açılarının Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı.	41
5.1. (a) Geçici arıza gerilim dalga formu, (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici arıza ve (d) Kalıcı arıza için Adaline'nın öğrenme hatasının değişimi.	46
5.2. (a) Geçici arıza gerilim dalga formu, (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici arıza için TAES indeksi, (d) Kalıcı arıza için TAES indeksi.	47
5.3. Önerilen metodun akış diyagramı.	49
5.4. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) TAES indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.	50

- 5.5. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları. 51
- 5.6. (a) Önerilen metot ile kısa süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları. 52
- 5.7. (a) Önerilen metot ile uzun süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları. 52
- 5.8. Farklı arıza durumları için önerilen metodun performansının toplu gösterimi. 53
- 5.9. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre ikincil ark süresi ve gecikme. 54
- 5.10. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre kalıcı arıza sırasındaki *TAES* indeksi hesaplaması için geçen süre. 55
- 5.11. Kalıcı arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan *TAES* indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu. 60
- 5.12. Geçici arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan *TAES* indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu. 60
- 5.13. Bekleme süresi (t_1) 0.10 saniye ve giriş vektörü boyutu (N) 5 için, üst üste çizilmiş, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri. 66
- 5.14. (a-b-c) Sahadan alınan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları. 67
- 5.15. (a-b-c) Sahadan alınan kalıcı arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları. 68

5.16. (a-b-c) Sahadan alınan, kalıcı arıza olarak algılanan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.	68
6.1. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza sırasında Adaline ile hesaplanan frekansın değişimi.	72
6.2. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza sırasında İşaret fonksiyonlu Adaline ile hesaplanan frekansın değişimi.	73
6.3. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için işaret fonksiyonunun <i>TASF</i> indeksine etkisi.	74
6.4. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için <i>TASF</i> indeksi, (e-f) Geçici ve kalıcı arıza için yakınsama hızı artırılmış <i>TASF</i> indeksi.	75
6.5. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için <i>TASF</i> indeksi.	77
6.6. Önerilen metodun akış diyagramı.	78
6.7. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) <i>TASF</i> indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.	80
6.8. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) <i>TASF</i> indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.	80
6.9. (a) Önerilen metot ile kısa süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) <i>TASF</i> indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.	81
6.10. (a) Önerilen metot ile uzun süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) <i>TASF</i> indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.	82
6.11. Farklı arıza durumları için önerilen metodun performansının toplu gösterimi.	82

6.12. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre ikincil ark süresi ve kesici gecikmesi.	83
6.13. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre kalıcı arıza sırasındaki frekansı hesaplaması için geçen süre.	84
6.14. Önerilen metodun performans kriterinin görsel anlatımı.	86
6.15. Kalıcı arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan <i>TASF</i> indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.	88
6.16. Geçici arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan <i>TASF</i> indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.	89
6.17. (a-b-c) Sahadan alınan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.	92
6.18. (a-b-c) Sahadan alınan kalıcı arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.	93
6.19. (a-b-c) Sahadan alınan, kalıcı arıza olarak algılanan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.	93
Ek.1. Modellenen güç sistem tek hat şeması.	106
Ek.2. Erzin-Gaziantep II ENH Direk konfigürasyonu.	107
Ek.3. Erzin-Gaziantep II ENH güzergâhı (İdari).	109
Ek.4. Erzin-Gaziantep II ENH güzergâhı (Fiziki).	109
Ek.5. Thevenin eşdeğer empedansı belirlenmesinde kullanılan eşdeğer devreler.	110
Ek.6. ATP ortamında ark modeli bağlantı prensip şeması.	114

Ek.7. Ark modeli akış diyagramı.	115
Ek.8. Simülasyon süresince ark plazması uzunluğu.	116
Ek.9. Erzin-Gaziantep II ENH’nda meydana gelen geçici arıza için gerilim dalga formu.	116
Ek.10. Ark modelinin literatür ile kıyaslanması (a) Modellenen ark akımı ve ark gerilimi, (b) Literatürdeki ark akımı ve ark gerilimi [59].	117
Ek.11. KGT Prensip şeması.	118
Ek.12. KGT ATP modeli [64].	120
Ek.13. Matlab-ATP entegrasyonu akış diyagramı.	122

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo:</u>	<u>Sayfa:</u>
2.1. 380kV gerilim seviyesinde arıza cinsi istatistiği (2009).	11
2.2. 380kV gerilim seviyesinde arıza durumu istatistiği (2009).	12
2.3. Akıllı karar verme yeteneği olmayan TFGK sistemlerinin performansı.	12
5.1. Geçici ve kalıcı arıza için <i>TAES</i> indeksinin Öğrenme oranı (α)'na bağlı değişimi.	56
5.2. Geçici ve kalıcı arıza için <i>TAES</i> indeksinin ortalama penceresi boyutu (N_s)'na bağlı değişimi.	57
5.3. Geçici ve kalıcı arıza için <i>TAES</i> indeksinin giriş vektörü boyutu (N)'na bağlı değişimi.	58
5.4. Bekleme süresi (t_1) 0.10 saniye için <i>TAES</i> indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.	62
5.5. Bekleme süresi (t_1) 0.15 saniye için <i>TAES</i> indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.	63
5.6. Bekleme süresi (t_1) 0.20 saniye için <i>TAES</i> indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.	64
6.1. Kalıcı ve geçici arıza için <i>TASF</i> indeksinin öğrenme oranı (α)'na bağlı değişimi.	87
6.2: $f_{bant}=49-51\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.	90

6.3. $f_{bant}=48-52\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.	90
6.4. $f_{bant}=47-53\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.	90
Ek.1. Erzin-Gaziantep II hattı sıra devre parametreleri.	108
Ek0.2. Gerçek ve hesaplanan sıra devre parametreleri.	108
Ek.3. ENH sıra devre parametreleri.	109
Ek.4. Erzin ve Gaziantep II trafo merkezlerine ait 3 faz ve tek faz kısa devre akımları.	110
Ek.5. Trafo merkezinde meydana gelen üç faz ve tek faz toprak kısa devresi akımları.	111
Ek.6. Hat başı ve sonu Thevenin eşdeğer devresi sıra devre parametreleri.	111
Ek.7. Yeni Thevenin eşdeğeri ile hesaplanan Trafo merkezinde meydana gelen üç faz ve tek faz toprak kısa devresi akımları.	111
Ek.8. Ark modeli parametreleri.	115
Ek.9. KGT devre parametreleri [64].	120

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, yaşam standardını ve kalitesini artırmak adına geliştirdiği her teknolojinin ardından, bu teknolojiye bağımlı hale gelmektedir. Sınıflandırıldığında birçok farklı teknolojiye bağımlılık olduğu düşünülse de asıl bağımlılık, bu teknolojilerin temel gereksinimi olan, elektrik enerjisi bağımlılığıdır. Son 20 yıllık dönemde güç kalitesi adı altında elektrik enerjisinin kalitesi sorgulanır hale gelmiş olsa da asıl sorgulanması gereken elektrik enerjisinin sürekliliği ve sürdürülebilirliğidir.

Elektrik enerjisi sistemlerini üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirdiğimizde, üretim birimlerinin dağıtım sistemlerine iletim sistemleri üzerinden sürekli bir şekilde bağlı olmasının gerektiği açıktır. Bununla birlikte iletim sistemlerinin işletilmesindeki ana problemlerden biri iletim hatlarında yaşanan kısa devre olaylarıdır. İletim hatlarında meydana gelen kısa devre olaylarının, gerilim seviyesindeki artışa bağlı olarak, %70 ile %93 oranında Faz Toprak Kısa Devreleridir (FTKD) ve bu kısa devrelerin büyük bir çoğunluğu geçici karakterdedir [1]. İletim hatlarında kullanılmakta olan Tek Faz Geri Kapama (TFGK) sistemleri geçici karakterdeki arızaların hızlı bir şekilde temizlenmesini ve sistemin normal çalışmasına dönmesini sağlar. Avantajlarına rağmen, kalıcı arızanın üzerine geri kapama riski ve uyarlanır olmayan sabit geri kapama zamanı TFGK sistemlerinin ana problemleridir. Halen kullanılmakta olan geleneksel TFGK sistemlerinde akıllı karar verme mekanizması bulunmamaktadır [2]. Kalıcı arıza üzerine yapılacak bir geri kapamanın ekipmanlara zarar verme ihtimali fazladır. Bununla birlikte sabit geri kapama zamanı kısa sürede temizlenen geçici arızalar için gereksiz bekleme sürelerine neden olurken, uzun süreli geçici arızaların kalıcı olarak algılanmasına ve kesicilerin gereksiz yere kullanılmasına sebep olabilmektedir.

Arıza tipine doğru karar vermek ve arıza temizlenme zamanını başarıyla belirleyebilmek uyarlanır TFGK sistemlerinin ana problemidir. Uyarlanır TFGK sistemleri, kalıcı arıza üzerine geri kapama yapmama, geçici arıza temizlenme süresinin belirlenmesine bağlı olarak hızlı geri kapama, başarılı geri kapama sayısında artma, ekipmanların devrede kalma sürelerinde uzama ve sistemin devamlılığı gibi avantajları sunmaktadır [3].

TFGK ile ilgili literatür incelendiğinde, arıza tipinin kalıcı veya geçici olduğuna başarıyla karar verebilen, geçici karakterde ise tek faz açılmasından sonra ortaya çıkan ikincil arkın temizlenme zamanını da belirleyebilen bir çok metotla karşılaşılmaktadır. Bu metotların ortak zaafı, kullanılan indeks değerlerinin hesaplanmasında yüksek işlem gücüne ihtiyaç duyulması ve arızanın tipine karar verme aşamasında kullanılan eşik değerinin güç sistemi parametrelerine bağlı olarak değişmesidir. İşlem gücü artışı donanım açısından karmaşıklığı ve maliyeti artırırken, güç sistemi parametrelerine bağımlılık metodun kullanılacağı her farklı güç sistemi için yeni bir eşik değeri belirleme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu sorunların çözümü tezin temel motivasyonunu oluşturmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmanın ana amacı, güç sisteminde meydana gelen FTKD için kalıcı - geçici ayrımını yapabilen Uyarlanır Doğrusal Nöron (Adaline) tabanlı algoritmalar geliştirmektir. Geliştirilecek algoritmalar arıza tipinin geçici olması durumunda ikincil ark bitiş zamanını da belirleme yeteneğine sahip olacaktır. Geliştirilecek algoritmalar ile literatürde görülen güç sistemi parametrelerine bağlı eşik değeri belirleme problemine çözüm getirilmesi hedeflenmektedir. Önerilen algoritmaların sadece gerilim dalga formundan aldıkları örneklerle çalışması ve az işlem gücü gerektirmesi sebebiyle gerçek zamanlı uygulama kolaylığı sağlaması beklenmektedir.

1.2. Metot ve Sınırlar

Önerilen metotların performansının belirlenmesinde ulusal şebekemizde arıza istatistiği açısından ilk on içinde yer alan Erzin-Gaziantep II Enerji Nakil Hattı (ENH)'ndan faydalanılmıştır. Metotların sahaya uygulanabilir oldukları hem simülasyon ortamında hem de gerçek saha verileri kullanılarak gösterilmiştir. Simülasyonlar için ElectroMagnetic Transient Program (EMTP)'in Alternative Transient Program (ATP) sürümü kullanılmıştır [4].

Önerilen metotların, arıza yeri değişimi ve farklı yükleme koşulları altındaki performansları incelenmiş ve metotların kendilerine has yapısal parametrelerinin de

performans üzerine etkisi araştırılmıştır. Parametrik analizleri sistematik hale getirilmesi amacıyla Matlab programı kullanılmıştır.

Önerilen metotların performans analizlerinin yapıldığı test sisteminde, modellenmenin gerçekliğe olan yakınlığını artırmak amacıyla, geçici arıza lineer olmayan ark modeli ile oluşturulmuştur. Bu sayede gerilim dalga formu ile çalışan metotların, değişken arıza yeri ve farklı yüklenme koşulları için farklı dalga formları ile etkileşimde olması sağlanmıştır.

TFGK rölelerinin üretim birimlerine yakın kullanılması istenmemektedir. Modellenen test sisteminin bu şartı sağlaması amacıyla, her iki indirici merkez kısa devre güçleri baz alınarak kaynak ve Thevenin eşdeğer empedansı olarak modellenmiş, döner makineler modellenmemiştir.

Bilinmektedir ki kapasitif Gerilim Transformatörleri (KGT) sürekli hal çalışma koşullarında çıkış gerilimi dalga formunda önemli bozulmalara neden olmamaktadır. Bununla birlikte KGT'lerin geçici halde çıkış gerilimini ciddi bir şekilde bozduğu bilinmektedir. Önerilen metotların geçici haldeki gerilim dalga formu ile çalıştığı göz önüne alınarak gerçekçi bir KGT modeli de simülasyonlara eklenmiştir [5].

1.3. Tezin Yapısı

Tez yedi bölümden oluşmaktadır. Tezin ikinci bölümünde konvansiyonel TFGK sistemlerinden bahsedilmiş ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Kullanımındaki avantajlar ve akıllı karar verme mekanizması bulunmamasına bağlı dezavantajları irdelenmiştir. Akıllı karar verme sisteminin eklenmesinin konvansiyonel TFGK sistemlerine getireceği avantajlar tartışılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde konvansiyonel TFGK sistemlerine eklenebilecek akıllı karar verme sistemleri ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Önemli görülen çalışmalar tekrar gerçekleştirilmiş, ağırlıklı olarak simülasyon verisi ile tanıtılan metotların saha verisine cevabı irdelenmiştir. Literatürdeki çalışmaların ışığında, akıllı karar verme mekanizmasında kullanılan eşik değerinin belirlenmesi ve ihtiyaç duyulan hesaplama gücü ile ilgili olarak eksik görülen kısımlar vurgulanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde tezde önerilen her iki metodun temellerini oluşturan Adaline, tarihsel gelişimi ile birlikte detaylı olarak tanıtılmıştır. Sinyal kestirimi için kullanılan üç temel Adaline yapısı detaylı olarak açıklanmış ve simülasyon sonuçları ile yetenekleri sergilenmiştir.

Tezin beşinci bölümünde tezde önerilen iki metottan biri olan dalga formu değişimine bağlı ark arızası algılama metodu detaylı olarak anlatılmıştır. Konvansiyonel TFGK röleleri tarafından algılanan FTKD'sinin tipine kalıcı veya geçici olarak karar verebilen metot, geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını da belirleyebilmektedir. Literatürle kıyaslandığında az işlem gücüyle arıza tipine başarıyla karar verebilen metot, karar aşamasında arıza öncesi hesapladığı indeks değerini eşik değeri olarak kullanarak literatürdeki eşik değeri belirleme sorununa da çözüm getirmektedir.

Tezin altıncı bölümünde tezde önerilen ikinci metot olan frekans ölçümüne dayalı ark arızası algılama metodu detaylı olarak anlatılmıştır. Düşük örnekleme frekansı ile çalışan metot, önerilen ilk metotta olduğu gibi, meydana gelen FTKD'sinin tipine başarıyla karar verebilmekte, geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını belirleyebilmektedir. Önerilen ikinci metodun en önemli özelliği, karar verme aşamasında bir eşik değeri kullanmakla birlikte, kullanılan eşik değerinin sistem frekansı gibi sabit bir değer olmasıdır. Dolayısıyla literatürde karşılaşılan eşik değerinin güç sistemi parametrelerinden etkilenmesi probleminin önüne geçilmektedir.

Tezin yedinci bölümü sonuç bölümüdür. Bu bölümde önerilen metotlar kendi aralarında karşılaştırılmış, avantaj - dezavantajları tartışılmış ve geleceğe dönük çalışmalarla ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur.

Tezde iki adet ek bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan Ek 1'de Erzin-Gaziantep II ENH'nda yapılan modellemeye ilişkin veriler sunulmuştur. Lineer olmayan ark modeli, KGT ve Matlab - ATP entegrasyonu yine bu kısımda detaylandırılmıştır. Tezin tamamında kullanılan bilgisayar programlarına ilişkin örnek kodlar ise tezin ikinci ek kısmı olan Ek 2'de verilmiştir.

2. TEK FAZ GERİ KAPAMA

Elektrik enerjisi sistemlerinin işletilmesinde karşılaşılan ana problemlerden biri iletim hatlarında yaşanan kısa devre olaylarıdır. İletim hatlarında meydana gelen kısa devre olaylarının, gerilim seviyesindeki artışa bağlı olarak, %70 ile %93 oranında FTKD'leridir ve bu kısa devrelerin büyük bir çoğunluğu geçici karakterdedir [1]. İletim hatlarında kullanılmakta olan TFGK sistemleri geçici karakterdeki arızaların hızlı bir şekilde temizlenmesini ve sistemin normal çalışmasına dönmesini sağlamayı amaçlayan ekipmanlar topluluğudur. Bu bölümde TFGK sistemlerinin çalışma prensipleri açıklanarak, kullanımının getirdiği avantajlardan bahsedilecektir. Bu tezin konusunu oluşturan TFGK sistemlerinin dezavantajları ise sahadan alınan veriler üzerinden detaylı olarak incelenecektir.

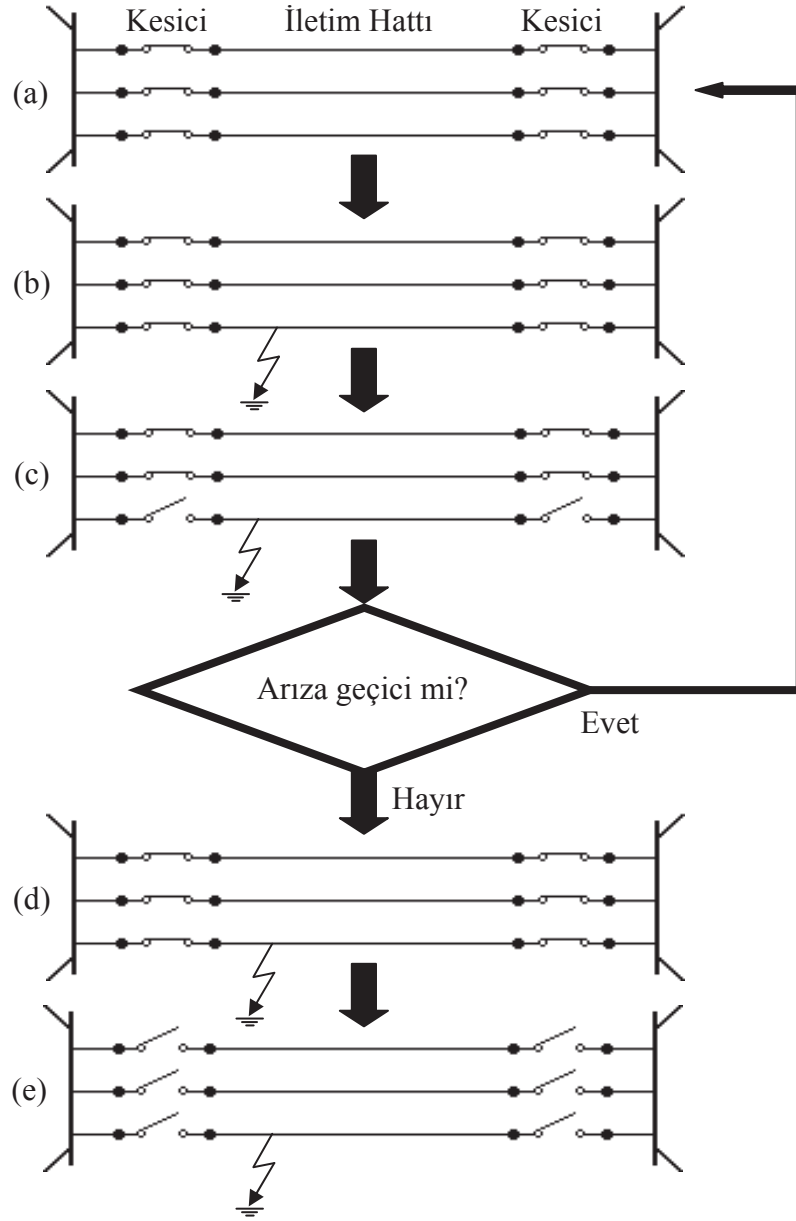
2.1. Tek Faz Geri Kapama

İletim hatlarında meydana gelen FTKD'leri, hatalı manevralar dikkate alınmadığında, nedenleri bakımından geçici ve kalıcı olmak üzere iki ana grubu ayrılmaktadır. İletim hattına yıldırım düşmesi, hayvan veya ağaçların iletkenlere teması, fırtına sırasında iletkenlerin birbirine teması, kar, buzlanma, nem gibi hava koşulları geçici arızaların ana nedenlerini oluştururken iletken kopması, izolatör arızası, direk yıkılması gibi olaylar kalıcı arızaların ana nedenlerini oluşturmaktadır [6]. Nedenler dikkate alındığında, geçici ve kalıcı arıza tanımının, arızaya neden olan olayın kendiliğinden ortadan kalmasına bağlı olduğu görülmektedir.

TFGK basitçe FTKD süresince arızalı fazın geçici olarak açılması şeklinde tanımlanabilir [7]. Sistemde FTKD'si meydana geldiğinde hat başı ve sonunda bulunan TFGK röleleri arızalı fazı belirleyerek arızalı faza ait kesicilerin açılmasını ve arızanın sistemden izole edilmesini sağlarlar. Önceden tanımlı bir bekleme süresinden sonra arızalı faza ait kesicilerin otomatik olarak kapanmasını sağlayan TFGK röleleri arıza öncesi şartların tekrarlanıp tekrarlanmadığını kontrol eder. FTKD'si geçici karakterde ve kendiliğinden temizlenmiş ise yapılan geri kapama işleminden sonra sistem arıza öncesi duruma geri dönmüş olur. Bununla birlikte arıza

kalıcı karakterde ise TFGK röleleri tekrar arıza algılar ve tüm fazların açmasını sağlar. Klasik TFGK'nın çalışma prensibi Şekil 2.1'de verilmiştir.

İletim hattının sürekli hali Şekil 2.1-a'da görülmektedir. Geçici veya kalıcı karakterdeki FTKD meydana geldiğinde yüksek genlikli kısa devre akımı arızanın meydana geldiği noktadan toprağa doğru akar. Koruma röleleri yüksek genlikli kısa devre akımını algılar ve arızalı fazın kesicilerine açılma sinyali yollar. Birincil ark olarak bilinen bu olay hat başı ve sonundaki arızalı faz kesicilerinin açılması ile temizlenir. İletim hattının birincil ark altında çalışması Şekil 2.1 -b'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Tek Faz Geri Kapama akış şeması.

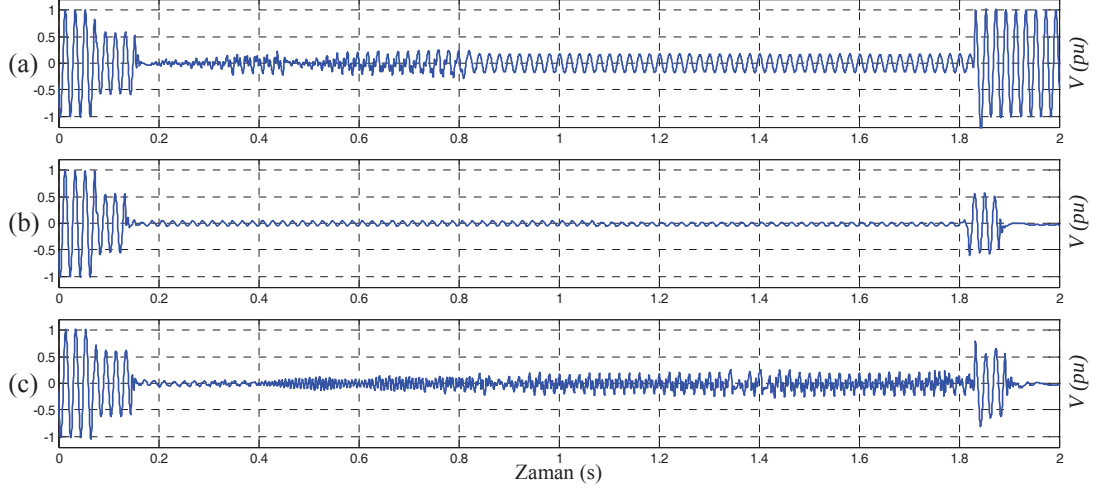
Arıza geçici karakterde ise arızalı fazın kesicileri iletim hattının kaynakla olan bağlantısını kestiğinde, arıza akımı, hali hazırda ısınmış ve iyonize olmuş akım yolu üzerinden, sağlıklı fazlarla olan karşılıklı endüktans etkisi ve hat kapasitesi üzerinde depo edilen enerjiden beslenir. İletim hattında depo edilen enerji, karşılıklı endüktansın da etkisiyle düşük genlikli bir akımın akmasına neden olur (Şekil 2.1-c). İkincil ark olarak bilinen düşük genlikli bu akım uzun süre kendini besleyemez ve kesilir. İkincil ark akımı kesildiğinde geçici karakterli arıza da temizlenmiş olur. Koruma röleleri önceden tanımlı bekleme süresinin bitişine müteakiben arızalı fazın kesicilerine geri kapanma sinyali gönderir ve iletim hattı arıza öncesi duruma geri döner (Şekil 2.1-a).

Öte yandan arıza kalıcı karakterde ise arızalı faz ile toprak arasında değeri limitli bir empedans üzerinden sürekli bağlantı vardır (Şekil 2.1-c). Bu sürekli bağlantı sebebiyle arızalı fazın kesicileri geri kapama yaptığında koruma röleleri tekrar yüksek genlikli kısa devre akımı algılar (Şekil 2.1-d) ve tüm fazların kesicilerine açılma sinyali yollayarak tüm iletim hattını devre dışı bırakır (Şekil 2.1-e). Pratikte, önceden tanımlı bekleme süresi arızanın temizlenmesi için kullanılmaktadır.

TFGK sistemleri geçici karakterdeki arızaların hızlı bir şekilde temizlenmesini ve sistemin normal çalışmasına dönmesini sağlayarak tüm şebekenin servis kalitesinin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Avantajlarına rağmen, kalıcı arızanın üzerine geri kapama riski ve uyarlanır olmayan sabit geri kapama zamanı TFGK sistemlerinin ana problemleridir. Halen kullanılmakta olan geleneksel TFGK sistemlerinde akıllı karar mekanizması bulunmamaktadır [2]. Kalıcı arıza üzerine yapılacak bir geri kapamanın ekipmanlara zarar verme ihtimali fazladır. Meydana gelecek ısı ve gerilim darbesi yalıtım sorunlarına ve yorulmaya neden olabilmektedir. Bununla birlikte sabit geri kapama zamanı kısa sürede temizlenen geçici arızalar için gereksiz bekleme sürelerine neden olurken, uzun süreli geçici arızaların kalıcı olarak algılanmasına ve kesicilerin gereksiz yere kullanılmasına sebep olabilmektedir.

Ulusal şebekemizde arıza istatistiği açısından ilk sıralarda yer alan Erzin - Gaziantep 2 ENH'daki mevcut TFGK sistemi tarafından başarılı ve başarısız olarak

sınıflandırılmış üç adet FTKD olayına ilişkin arızalı faz gerilim dalga formları Şekil 2.2’de görülmektedir [8].



Şekil 2.2. Geleneksel TFGK sisteminden alınan (a) başarılı ve (b, c) başarısız FTKD olayları gerilim dalga formları.

Şekil 2.2-a incelendiğinde arızanın geçici karakteristikte olduğu, geleneksel TFGK sisteminin önceden tanımlı süre kadar beklediği ve geri kapama yaptığı görülmektedir. Arıza kısa sürede temizlendiği için bu olay kayıtlara “başarılı” olarak geçmiştir. Şekil 2.2-b incelendiğinde arızanın kalıcı bir arıza olduğu, bununla birlikte herhangi bir karar mekanizması olmaksızın yapılan geri kapama sonrasında sistemde gereksiz yere şok etkisi yaratıldığı görülmektedir. Şekil 2.2-c’de ise geçici karakteristikteki arızanın, temizlenip temizlenmediği kontrol edilmeden yapılan geri kapama neticesinde, kalıcı olarak algılandığı görülmektedir. Şekil 2.2-b ve c’de görülen arızalar kayıtlara başarısız olarak geçmiştir.

Literatürde TFGK ile ilgili çalışmalar incelendiğinde sistemci ve uyarlanırlı (sinyalci) yaklaşım olarak isimlendirebileceğimiz iki ayrı kolda ilerlediği görülmektedir. Sistemci yaklaşımda geçici arıza sonrasında ortaya çıkan ikincil arkın daha hızlı sönmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla sisteme, ikincil arkın ortaya çıkmasına neden olan ortak endüktans ve hat kapasitesi etkisini azaltacak yönde işlemler yapılmakta, böylelikle sabit bekleme süresi sonunda arkın kesin olarak sönmesi sağlanmaktadır.

Literatürde daha fazla olmakla birlikte uygulamada kullanılan metotlar;

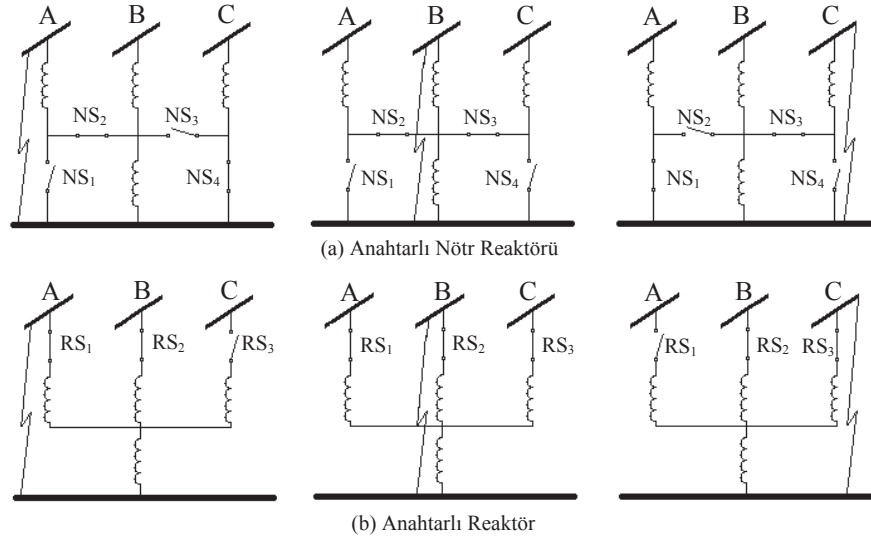
- Dört reaktör metodu,
- Seçici anahtarlı dört reaktör metodu,
- Yüksek hızlı topraklama metodu
- Melez tek faz metodudur.

Bu metotlara kısaca değinecek olursak,

Dört reaktör metodu: Uzun iletim hatlarında hat kapasitesinden kaynaklanan şarj akımlarının kompanze edilmesi için her faza eş değerli şönt reaktörler bağlanmaktadır. Dört reaktör ismi şönt reaktörlerin yıldız noktası ile toprak arasına bağlanan nötr reaktöründen gelmektedir. Bu reaktör sayesinde TFGK süresince sağlıklı fazlar ile arızalı faz arasındaki ortak kapasitenin etkisi kompanze edilmektedir. Bu sayede ikincil ark akımı sınırlandırılmış olur. Dolayısıyla ikincil arkın hızlı bir şekilde sönmesi sağlanır. Kanıtlanmış bir metot olmasına rağmen yüksek maliyet, boyutlandırma ve yalıtım sorunları bulunmaktadır [1], [9], [10].

Seçici anahtarlı dört reaktör metodu: Bu metot, dört reaktör metodunun ikincil ark akımı sınırlandıramadığı çaprazlama yapılmamış hatlar için geliştirilmiştir. Gerilim seviyesinin yükselmesine bağlı olarak yatayda genişleyen ENH'larında iletkenler arasındaki kapasiteler dengesiz değerler almaktadır. 765kV seviyesindeki 243km'lik bir ENH'nda, orta bulunan iletken ile dışarıda bulunan iletkenler arasındaki kapasite değeri (CA-B, CB-C) ile dıştan dışa kapasite değerinin (CA-C) arasında 3.5 ile 3.9 katlık bir oran bulunmaktadır. Bu da eş değerli reaktör kullanımında sorun yaratmaktadır. Bu problemin çözümü için hat başı ve hat sonuna ayrı ayrı olmak üzere iki grup dört reaktör yerleştirilmektedir. Reaktörlerden bir tanesinin görevi CA-B ve CB-C değerlerini CA-C'ye eşitlemektir. Diğerinin görevi ise arıza sırasında ortaya çıkan kapasite dengesizliğini (CA-B-CA-C veya CB-C-CA-C) ortadan kaldırmaktır. Seçici anahtarlı ifadesi, meydana gelen FTKD'nin meydana geldiği faza göre reaktör gruplarının anahtarlanarak gerekli dengelemeyi yapabilecek yeteneğe sahip olmasından dolayı kullanılmaktadır. Kullanılan reaktör gruplarının değerleri, arıza hattın neresinde olursa olsun ikincil ark akımının temel bileşenini

istenen değerde sınırlayacak şekilde belirlenmektedir. Seçici anahtarlı dört reaktör metodunun prensip şeması, tüm FTKD durumlarındaki anahtar pozisyonları ile birlikte Şekil 2.3’de verilmiştir. Sürekli halde tüm anahtarlar kapalı durumdadır. Kanıtlanmış bir metot olmakla birlikte, dört reaktör metodundaki sorunların üzerine ekstra anahtar maliyeti ve hızlı anahtarlamanın getirdiği sorunlar eklenmektedir [1], [11].



Şekil 2.3. Seçici anahtarlı dört reaktör metodu prensip şeması [1][11].

Yüksek hızlı topraklama metodu: Çalışma prensibi arızalı fazın tespit edilip hat başı ve hat sonundaki kesiciler ile metalik bağlantısının kesilmesinden hemen sonra arızalı fazın hat başı ve sonundan topraklanması ilkesine dayanmaktadır. Bu sayede arızalı faz üzerindeki tüm gerilim toprağa iletilmekte ve ikincil arkın oluşmasına engel olunmaktadır. Reaktörlü metotlara göre maliyeti ucuz olmakla birlikte koruma ve kontrolde daha fazla karmaşıklığa neden olmaktadır [1], [12].

Melez tek faz metodu: Arızalı fazın ayrılmasından belli bir süre sonra (50-60 periyot) sağlıklı fazların da ayrılması ile ikincil arkın sönmesi sağlanmaktadır. 10-15 periyotluk beklemeden sonra üç fazlı geri kapama yapılmaktadır. Ek bir cihaza ihtiyaç duyulmadan ikincil ark akımının sönmesi sağlanmakla birlikte üç fazın enerjisiz kalması gibi bir dezavantajı bulunmaktadır. Ayrıca senkronizmanın tek fazdan takip edildiği durumlarda kullanılamamaktadır [1],[13].

Literatürün geri kalan kısmını oluşturan uyarlanır yaklaşımda ise ilgilenilen konu arıza tipinin kalıcı veya geçici olduğuna karar vermek, geçici karakterde ise tek

faz açılmasından sonra ortaya çıkan ikincil arkın temizlenme zamanını belirlemektir. Sistemci yaklaşımdan farklı olarak sisteme ek teçhizat maliyeti oluşturmada ikinci arkın doğal olarak sönmesi beklenmektedir. Bu işlemler için genellikle iletim hattının başından ve sonundan alınan gerilim dalga formlarından faydalanılmaktadır. Bazı çalışmalarda başarının artırılması amacıyla arızalı faz akımından da faydalanılmaktadır. Tez konusunu da kapsayan TFGK sistemlerindeki uyarıları yaklaşımla ilgili literatür özeti ilerleyen bölümde detaylı olarak verilecektir.

Arıza tipine doğru karar vermek ve geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını belirlemek uyarıları TFGK sistemlerinin ana problemidir. Uyarıları TFGK sistemleri, kalıcı arıza üzerine geri kapama yapmama, geçici arıza temizlenme süresinin belirlenmesine bağlı olarak hızlı geri kapama, başarılı geri kapama sayısında artma, ekipmanların devrede kalma sürelerinde uzama ve sistemin devamlılığı gibi avantajları sunmaktadır [3].

Türkiye ulusal şebekesinde 380kv gerilim seviyesinde yaşanan arıza cinslerinin ve geçici kalıcı durumlarına ilişkin 2009 yılı istatistikleri sırasıyla Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir [19].

Tablo 2.1. 380kV gerilim seviyesinde arıza cinsi istatistiği (2009).

ARIZANIN CİNSİ	ADET	%
Faz – Toprak	925	87,68
Faz – Faz	15	1,42
Faz-Faz-Toprak	28	2,65
Üç Faz Toprak	18	1,71
Meçhul	69	6,54
Toplam	1055	100,00

Tablo 2.2. 380kV gerilim seviyesinde arıza durumu istatistiği (2009).

ARIZANIN DURUMU	ADET	%
Geçici	1044	98,96
Direk yıkılması sebebiyle kalıcı	1	0,09
Hat kopması sebebiyle kalıcı	2	0,19
Hatta yabancı cisim girmesi sebebiyle kalıcı	1	0,09
İzolatör hasarı sebebiyle kalıcı	7	0,66
TOPLAM	1055	100,00

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 incelendiğinde FTKD'nin %87.68 ile en çok karşılaşılan arıza tipi olduğu ve meydana gelen arızaların %98.96 gibi yüksek bir oranda geçici karakterde olduğu görülmektedir. 2004-2009 yılları arasında 380kV gerilim seviyesindeki işletmedeki hat sayısı, TFGK sisteme sahip olan hat sayısı ve bu sistemin performans bilgileri Tablo 2.3' verilmiştir [14]-[19].

Tablo 2.3. Akıllı karar verme yeteneği olmayan TFGK sistemlerinin performansı.

Yıllar	İşletmede olan hat sayısı	TFGK sistemli hat sayısı	TFGK sistemli hatlarda meydana gelen arıza sayısı	Başarılı TFGK sayısı
2004	121	63	299	168
2005	126	66	302	172
2006	133	71	459	208
2007	135	71	476	208
2008	140	77	300	87
2009	151	81	260	69

2009 yılında ülkemizde 380kV gerilim seviyesinde TFGK sistemi kullanılan 81 hatta tasnif edilebilen 260 FTKD'sinin 3 tanesi TGFK rölesinin çalışması beklenmeyen faz-faz ve 3 faz arızalarıdır. Yine aynı yıl için kayda geçen kalıcı arıza olmadığı halde kayıtlara geçen başarılı geri kapama sayısı 69 adettir [19].

Tablo 2.3 incelendiğinde TFGK sisteminin düşük başarı oranı ile çalıştığı görülmektedir. Bunun nedeni kullanılan TFGK sistemlerinin akıllı karar verme yeteneği olmamasıdır.

2.2. Sonuç

Sağladığı avantajlara göz önüne alındığında TFGK sistemlerinin şebeke açısından önemli bir araç olduğu görülmektedir. Bununla birlikte istatistikler başarılı geri kapama oranının düşük olduğunu teyit etmektedir. TFGK sistemlerinin başarılı geri kapama oranının yükseltilmesi bu çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmaktadır.

Bu amaçla Adaline tabanlı iki metot önerilmiştir. Her iki metotta, bir sonraki bölümde detayları verilecek olan, literatürdeki benzer amaçlı metotların ortak zaaflarına çözüm oluşturmaktadır. Çalışmada önerilen her iki metodunda TFGK sistemlerinin başarılı geri kapama oranını yükselmesi beklenmektedir.

3. Literatür Özeti

Literatürde TFGK ile ilgili çalışmalar incelendiğinde sistemci ve uyarlanır (sinyalci) yaklaşım olarak isimlendirebileceğimiz iki ayrı kolda ilerlediği söylenmişti. Sistemci yaklaşımda geçici arıza sonrasında ortaya çıkan ikincil arkın daha hızlı sönmesi hedeflenmekte ve bu amaçla sistemde ek ekipmanlar devreye alınmaktadır. Sinyalci yaklaşımda ise sisteme ek teçhizat maliyeti oluşturmada, arıza tipinin kalıcı veya geçici olduğuna karar verilmesi, geçici karakterde ise arızalı fazın enerjisiz bırakılmasından sonra ortaya çıkan ikincil arkın temizlenme zamanının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu sayede kalıcı karakterdeki arıza için üç faz açma, geçici karakterdeki arıza için ise ikinci arkın sönmesine müteakiben tek faz geri kapama yapılabilecektir. Bununla birlikte sadece arıza tipi belirleme üzerine yoğunlaşmış çalışmalar olduğu gibi sadece geçici arıza için ikinci arkın sönme zamanını belirleme üzerine yoğunlaşmış çalışmalar da bulunmaktadır.

Literatürdeki çalışmaların ortak zaafı, önerilen metotların performans değerlendirmesinin sadece simülasyon ortamında yapılmasıdır. Her simülasyon çalışması aynı detayları içermemektedir. KGT modeli bu konuya en iyi örnektir. Detayları Ek 1’de verilen KGT’ler, sürekli halde görevlerini sorunsuz yerine getirirken geçicilik halinde gerilim dalga formunda değişime neden olmaktadır. KGT’nin simülasyona katılmaması test edilen metodun performansının doğru olarak değerlendirilememesine neden olmaktadır.

Bu bölümde literatürde sinyalci yaklaşım olarak değerlendirdiğimiz, benzer amaçla geliştirilen metotlar hakkında bilgi verilecektir. İncelenen metotlar, literatürde verilen detayları derecesinde gerçekleşmiştir. Her metot, detayları Ek 1’de verilen test sisteminden elde edilen simülasyon sonuçları ve sahadan alınan gerçek arıza verileri ile test edilerek kullanılabilirlikleri tartışılmıştır.

3.1. Efektif değer kıyası metodu

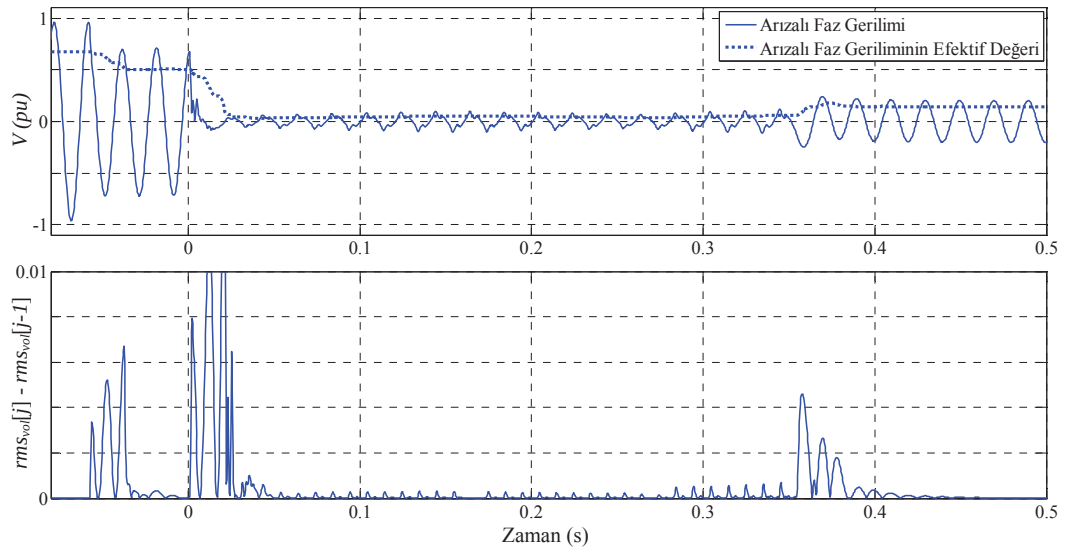
Arızalı faz geriliminin efektif değerinin izlenmesine dayanan bu metot kayar pencere ile efektif değer hesaplayarak geçici arıza sonrasında ikincil arkın temizlenme zamanını belirlemektedir [13]. İkincil arkın temizlenme zamanını

belirlemeye odaklanan çalışmada, metodun kalıcı arızada geri kapama sinyali yollamayacağı, dolayısıyla geçici-kalıcı ayrımı yapabildiği belirtilmiştir. Bununla birlikte arızanın kalıcı olması durumunda sağlıklı fazlara açma sinyali yollama prosedürü tanımlanmamıştır.

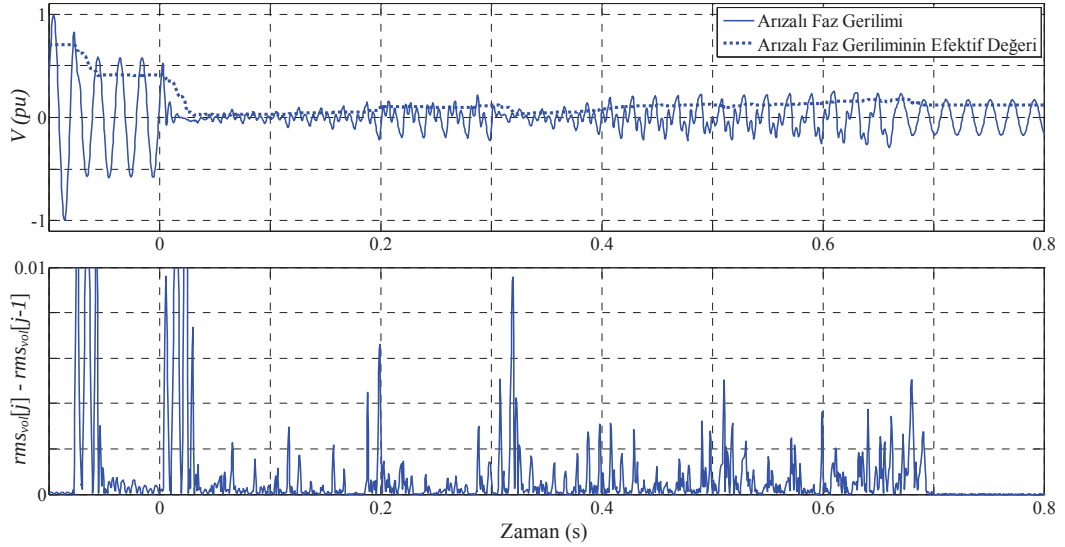
Periyot başına 64 örnek ile yapılan çalışmanın ana fikri, ikincil ark süresince gerilim dalga formunun efektif değerinin değişimi ile ikincil arkın bitişini takiben ortak endüktansın etkisiyle ortaya çıkan sinüs formundaki toparlanma geriliminin efektif değerinin değişiminin birbirinden farklı olması ve bu iki durum arasındaki farkın kıyaslanabilir olmasıdır. Ardışık efektif değerler arasındaki farkın önceden tanımlı eşik değerini, yine önceden tanımlı ardışık sayıda geçeceğine bağlı olarak ikinci arkın bitiş zamanına karar verilmektedir. Önceden tanımlı eşik değer ve ardışık sayının sisteme bağlı olarak değişeceği yine çalışmada belirtilmiştir. Güç sistemine bağlı eşik değeri ε_{rms} olmak üzere Denklem (3.1)'e göre hesaplama yapılmaktadır.

$$rms_{vol}[j] - rms_{vol}[j-1] > \varepsilon_{rms} \quad (3.1)$$

Test sistemi ile elde edilen geçici arıza verisi üzerinde denenen efektif değer kıyası metodu sonucu Şekil 3.1'de verilmiştir. Geçici arızaya ait saha verisi üzerinde denenen efektif değer kıyası metodu sonucu ise Şekil 3.2'de verilmiştir



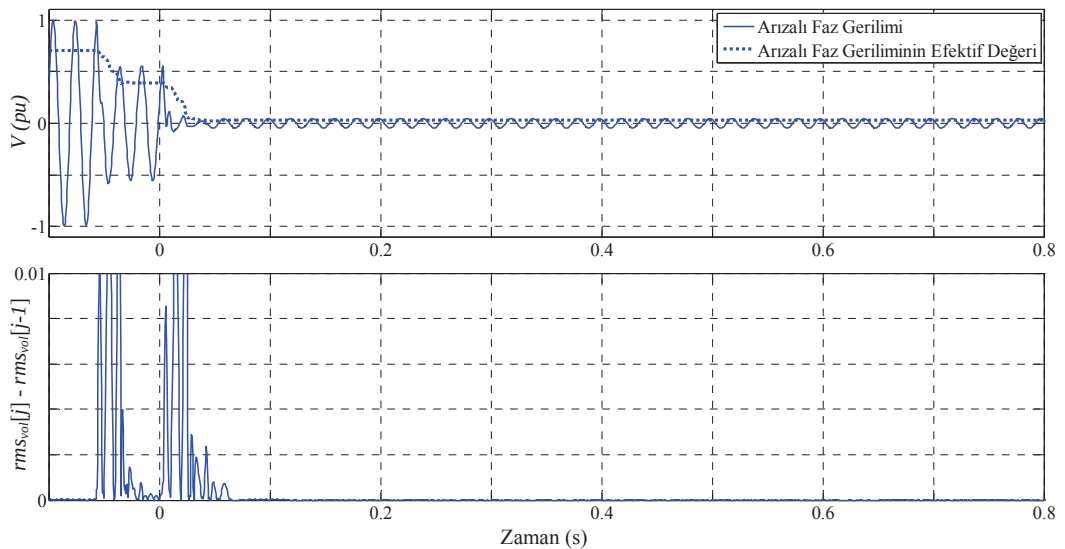
Şekil 3.1. Geçici arıza simülasyonu ile efektif değer kıyası metodu.



Şekil 3.2. Geçici arıza saha verisi ile efektif değer kıyası metodu.

Geçici arıza için, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 incelendiğinde simülasyon ortamında metodun başarıyla çalıştığı, bununla birlikte sahadan alınan veri üzerinde benzer performansı gösteremediği görülmektedir. Simülasyon verilerinde ikincil arkın bitiş zamanı yüksek genlikli bir tepe ile net olarak algılanırken, saha verisinde aynı yorum yapılamamaktadır. Saha verisi üzerinde bulunan ve arkın doğasından kaynaklanan gürültünün önerilen metodun çalışmasını engellediği görülmektedir.

Kalıcı arızaya ait saha verisi üzerinde denenen efektif değer kıyası metodu sonucu Şekil 3.3’de verilmiştir. Kalıcı arıza için simülasyon sonucu saha verisiyle paralellik gösterdiği için verilmemiştir.



Şekil 3.3. Kalıcı arıza saha verisi ile efektif değer kıyası metodu.

Geçici ve kalıcı arıza için Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 birlikte incelendiğinde önerilen metot cevabının her iki arıza için ayırt edici olduğu, bununla birlikte karar verme mekanizması olarak kullanılan parametrelerin yanlış seçildiği görülmektedir.

3.2. Frekans Analizi Temelli Metotlar

Geçici ve kalıcı arızanın zaman domeynindeki dalga formları, olayların doğası gereği farklılık içermektedir. Kalıcı arıza sırasında, arızalı faz kesicilerinin hattı enerjisiz bırakmasıyla birlikte, arızalı faz üzerinde görülen artık geriliminin nedeni sağlıklı fazlarla olan ortak endüktans etkisidir. Dolayısıyla bu gerilimin frekansı 50Hz'dir. Bununla birlikte geçici arıza için ikincil arkın sönmesinden önce ve sonra olmak üzere iki farklı süreç söz konusudur. Arızalı faz kesicilerinin hattı enerjisiz bırakmasından ikincil arkın bitişine kadar geçen sürede arızalı faz gerilimi dalga formu, arkın yapısı gereği durağan değildir, bünyesinde birçok frekansı barındırmaktadır. İkincil arkın sönmesini izleyen toparlanma gerilimi sürecinde ise, mevcut gerilimin kaynağı kalıcı arızada olduğu gibi, sağlıklı fazlarla olan ortak endüktanstır. Dolayısıyla bu gerilimin de frekansı 50Hz civarındadır.

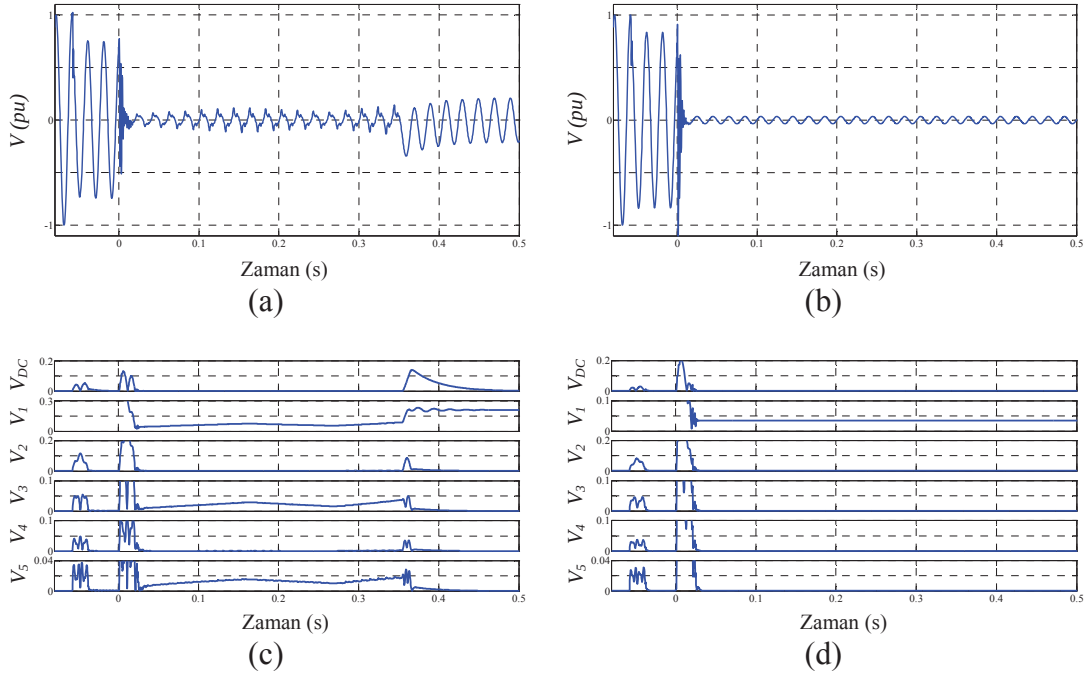
Literatürde, arıza sırasındaki gerilim ve akım dalga formlarının frekanslarının değişimini inceleyerek arıza tipine karar veren ve geçici arıza için ikincil ark sönme zamanı belirleyebilen birçok metot bulunmaktadır. Bu metotları Fourier tabanlı ve Dalgacık dönüşümü tabanlı metotlar olarak iki grupta değerlendirebiliriz.

3.2.1. Fourier Tabanlı Metotlar

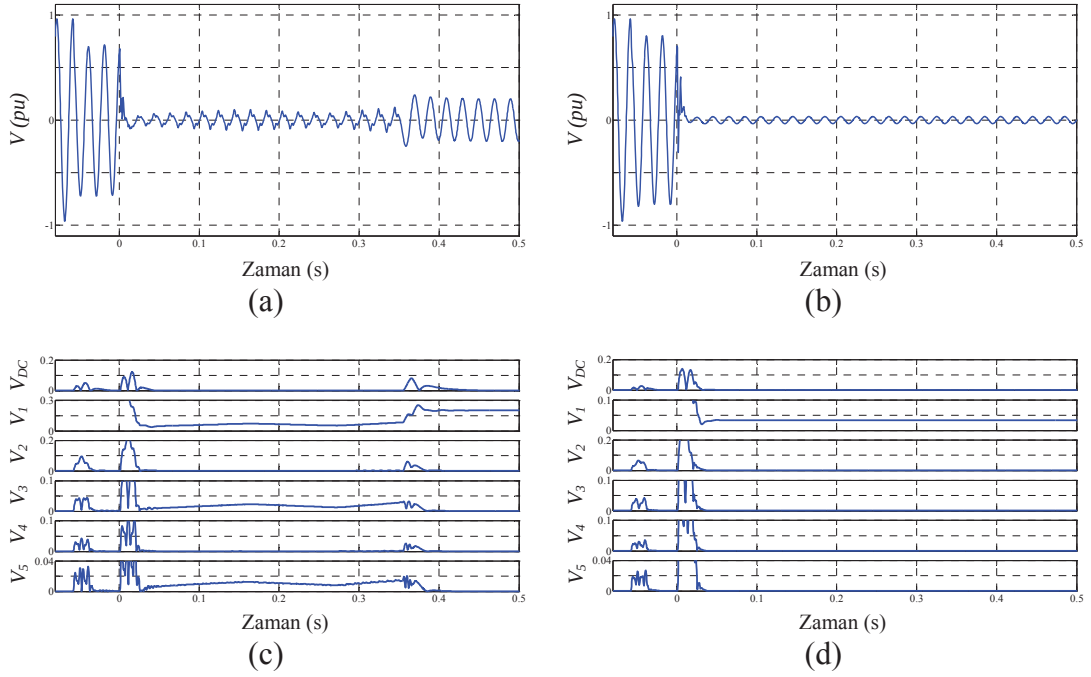
Literatürdeki Fourier tabanlı metotlar genellikle DA'den 250Hz'e kadar, temel frekansın katları ile çalışmaktadır. Gerçek zamanlı çalışma baz alındığı için arıza verisinin tamamıyla değil, kayar pencerenin Fourier katsayıları kullanılmaktadır.

Fourier tabanlı metotları tanıtabilmek ve zaaflarından bahsedebilmek için öncelikli olarak geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formlarının Fourier katsayılarının değişimlerini incelemekte yarar görülmüştür. KGT'nin dalga formunda neden olduğu değişiminde incelenebilmesi amacıyla geçici ve kalıcı arıza için, KGT'siz ve KGT'li simülasyon sonuçlarının kayar penceredeki Fourier katsayıları Şekil 3.4 ve

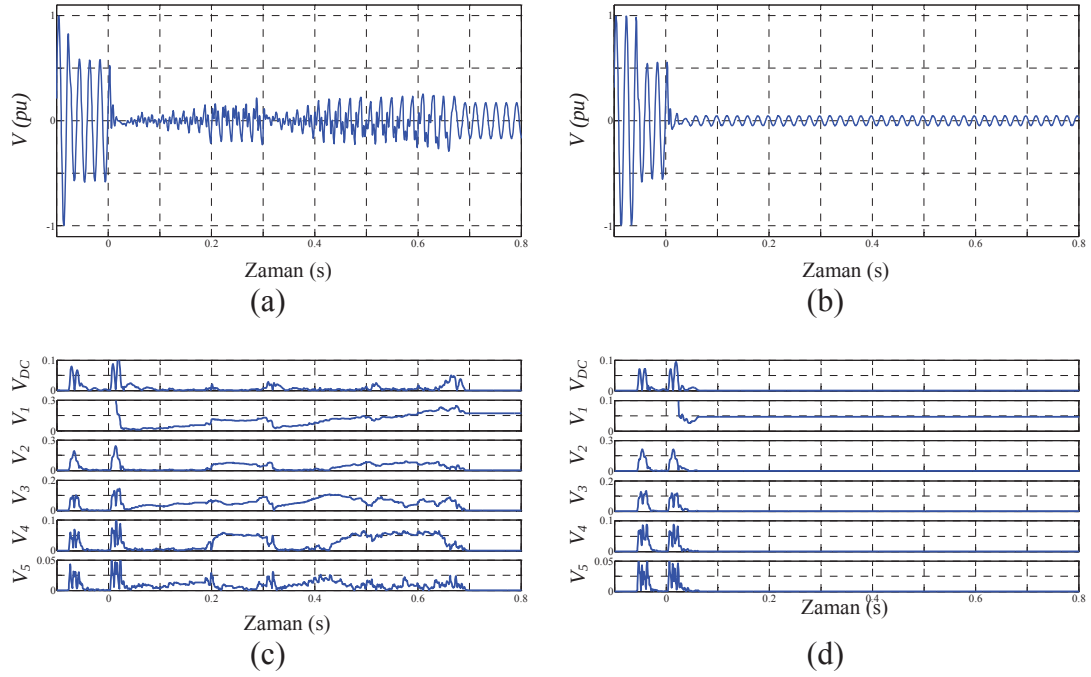
Şekil 3.5’da verilmiştir. Geçici ve kalıcı arıza için, saha verisinin kayar penceredeki Fourier katsayıları Şekil 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.4. KGT’siz (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza simülasyonu gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.



Şekil 3.5. KGT’li (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza simülasyonu gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.



Şekil 3.6. Sahadan alınmış (a) Geçici ve (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici ve (d) Kalıcı arıza için kayar pencerede Fourier katsayıları.

Geçici arıza için 1, 3, 5 gibi tek harmoniklerin, ikincil arkın sönme zamanına kadar, artış gösterdiği Şekil 3.4'den görülmektedir. Bununla birlikte ikincil arkın bitiş anında DA ve 2, 4 gibi çift harmoniklerde de kısa süreli yükselme görülmektedir. İkincil arkın sönmesinden sonra temel harmonik dışındaki harmonikler ortadan kaybolmaktadır.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 birlikte incelendiğinde kalıcı arıza simülasyonları için KGT kullanımının sonuçları etkilemediği görülmektedir. Geçici arıza için genel değişimin aynı olduğu, bununla birlikte DA bileşenin KGT kullanımı ile birlikte etkisini yitirdiği gözlenmektedir. En önemli değişim ise tüm harmoniklerde ikincil arkın bitiş zamanına denk gelen ani değişimin ortadan kalkmasıdır.

Kalıcı arıza için saha verisi sonuçlarının simülasyonlarla benzer yapıda olduğu Şekil 3.6'den görülebilmektedir. Bununla birlikte geçici arıza için tüm Fourier katsayılarının ikincil arkın etkilediği anlaşılmaktadır. Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 birlikte incelendiğinde simülasyonlarda kullanılan ark modelinin çift harmonikler konusunda yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır.

Literatürde arıza tipine karar vermek ve/veya ikincil arkın bitiş zamanını belirlemek amacıyla Fourier katsayılarına kullanan birçok metot DA bileşeninden

beşinci harmoniğe kadar olan Fourier katsayılarının farklı kombinasyonlarından faydalanmaktadır [20], [21], [22], [23].

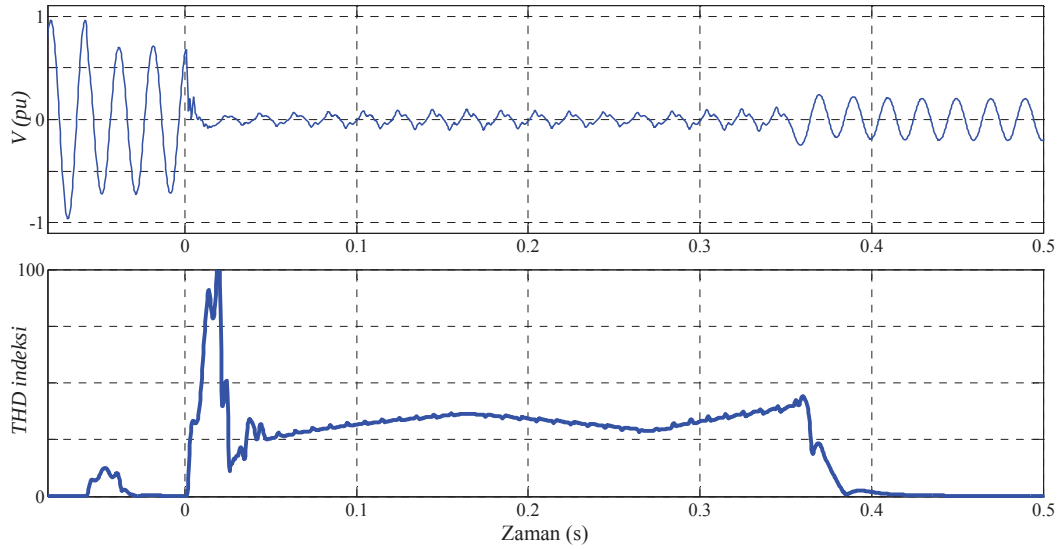
Detayları verilecek metotların geçici arıza için, KGT’li simülasyonlar ile elde edilen ve sahadan alınan verilere cevabı detaylı olarak incelenecektir. Bununla birlikte kalıcı arıza, hem simülasyon ortamında hem de saha verisinde, sadece 1. harmonikten oluştuğu için metotların kalıcı arıza cevabının verilmesine gerek görülmemiştir.

3.2.1.1 THD İndeksi Metodu

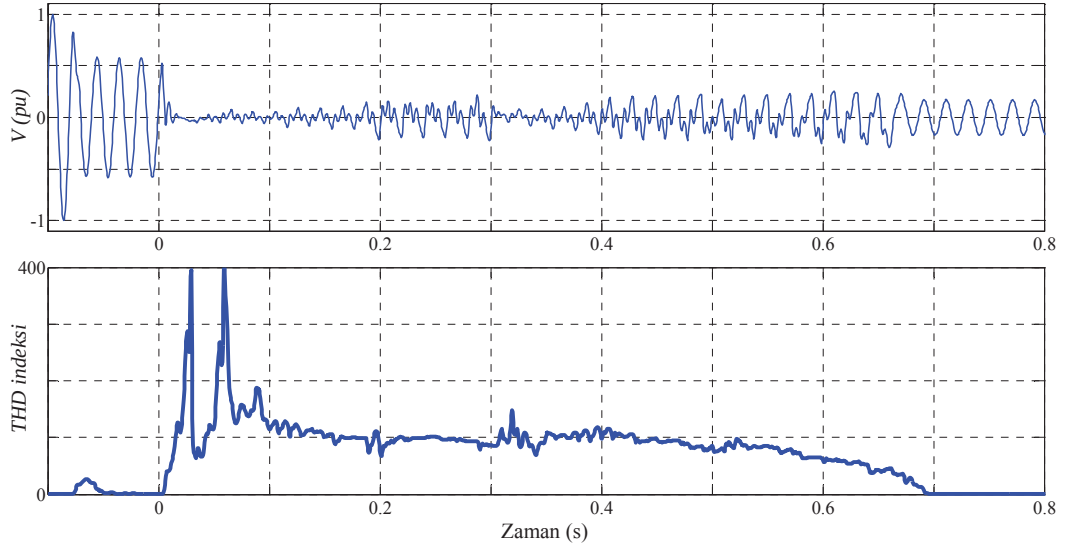
Arızalı faz geriliminin Fourier katsayıları ile hesapladığı Toplam Harmonik Bozulması (THD) indeksi sayesinde arıza tipine karar veren ve geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını belirleyebilen bir metottur [20]. İlk 5 harmonik bileşen için THD indeksi Denklem (3.2)’de verilmiştir.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^5 V_h^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2}}{V_1} \quad (3.2)$$

THD indeksi metodunun simülasyonlar ile elde edilen ve sahadan alınan geçici arıza verisine cevabı sırasıyla Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Geçici arıza simülasyonu ile THD indeksi metodu.



Şekil 3.8. Geçici arıza saha verisi ile THD indeksi metodu.

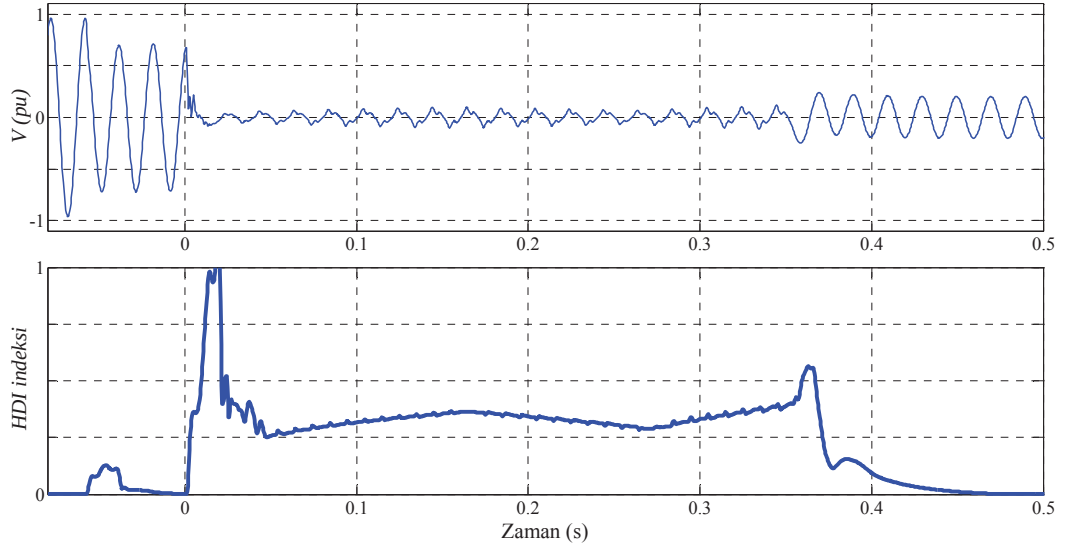
Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’da verilen THD indeksleri birlikte incelendiğinde simülasyon verisinin saha verisine göre daha az bozulmaya sahip olduğu ve buna bağlı olarak ikincil ark bitiş zamanının daha net belirlenebildiği görülmektedir. İkincil arkın bitiş zamanının belirlenmesinde karar mekanizması olarak THD değerindeki ani azalmayı kullanan metodun saha verisinden bu bilgiyi belirlenmesinin zor olduğu görülmektedir. Çalışmada kalıcı ve geçici arıza ayrımı ile ilgili bilgi verilmemektedir. Bununla birlikte indeksin uygun karar mekanizmaları ile başarıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

3.2.1.2 HDI İndeksi Metodu

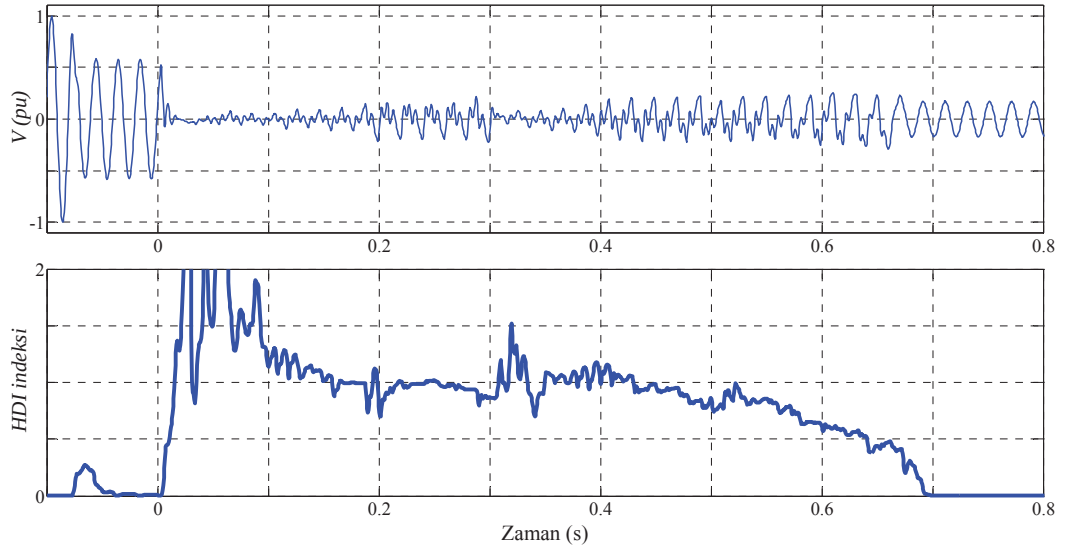
Arıza tipini ve ikincil ark bitiş zamanını arızalı faz geriliminin düşük frekanslı bileşenlerinin genliklerinden belirlemeye çalışan bir metottur [21]. Arıza sırasında hesaplanan Harmonik Bozulma İndeksi (HDI)’nin belli bir eşik değerini aşması durumu geçici arıza olarak yorumlanmaktadır. HDI indeksinin eğiminin azalmaya başladığı nokta ile ikincil ark bitiş zamanı belirlenebilmektedir. HDI indeksi Denklem (3.3)’de verilmiştir.

$$HDI = \frac{\sqrt{V_{DC}^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2}}{V_1} \quad (3.3)$$

HDI indeksi metodunun simülasyonlar ile elde edilen ve sahadan alınan geçici arıza verisine cevabı sırasıyla Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Geçici arıza simülasyonu ile HDI indeksi metodu.



Şekil 3.10. Geçici arıza saha verisi ile HDI indeksi metodu.

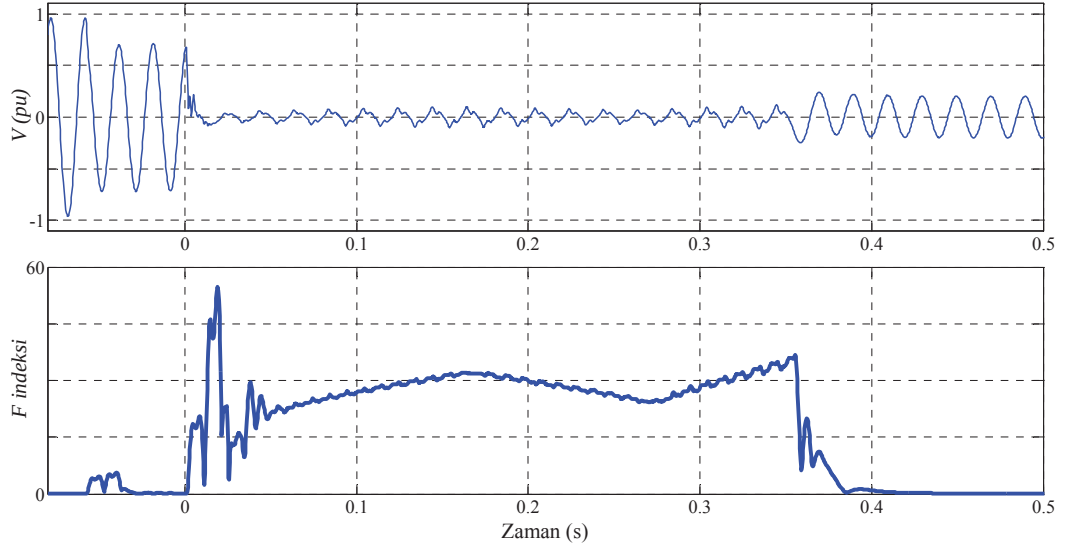
Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 birlikte incelendiğinde HDI indeksinin ikincil ark bitiş zamanını saha verisinden belirlenmesinin zor olduğu görülmektedir.

3.2.1.3 F İndeksi Metodu

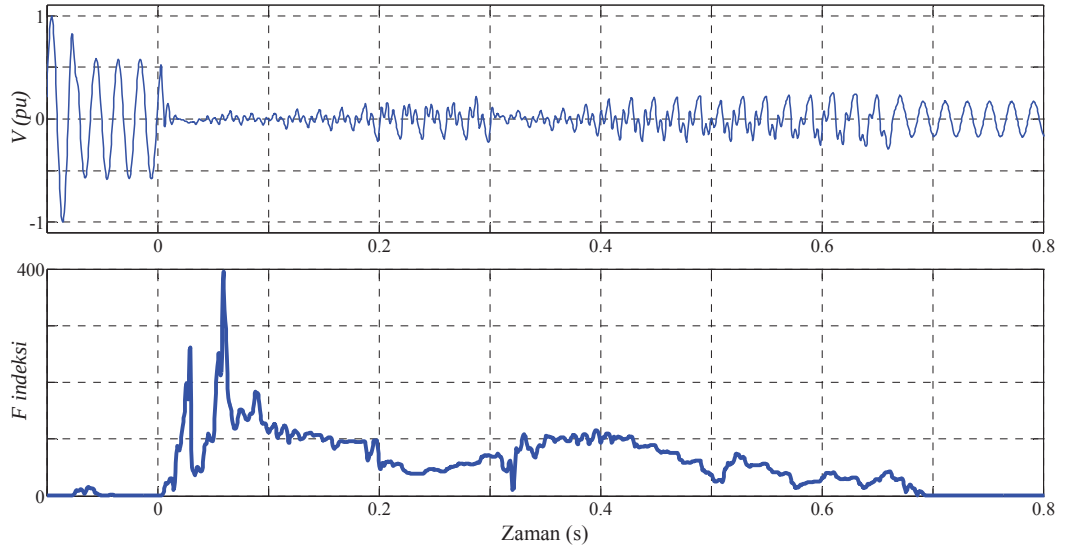
THD indeksi çalışmasını yapan grup tarafından önerilen bir metottur. F indeksi olarak tanımlanan metot sadece 1. ve 3. harmonik bileşenlerinin oranını kullanarak ikincil arkın bitiş zamanını belirlemektedir [22]. Arıza tipinin kalıcı veya geçici olması konusu çalışmanın kapsamında değildir. F indeksi Denklem (3.4)'te verilmiştir.

$$F = \frac{V_3}{V_1} \quad (3.4)$$

F indeksi metodunun simülasyonlar ile elde edilen ve sahadan alınan geçici arıza verisine cevabı sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Geçici arıza simülasyonu ile F indeksi metodu.



Şekil 3.12. Geçici arıza saha verisi ile F indeksi metodu.

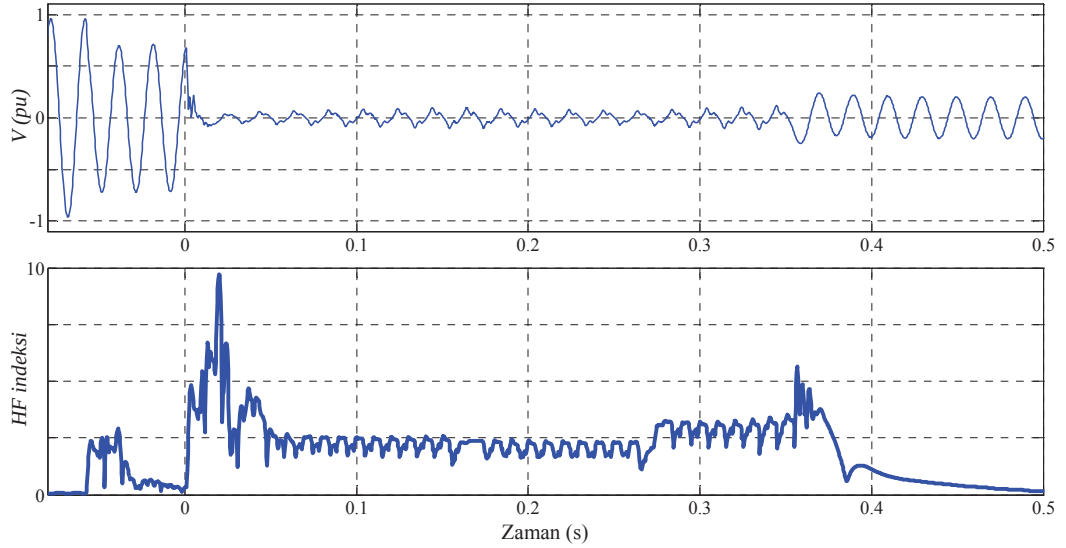
İkincil ark bitiş zamanı F indeksinde görülen ani azalma ile tanımlanmaktadır. Şekil 3.11 incelendiğinde F indeksi ile ikincil ark bitiş zamanının belirlenebildiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 3.12’de verilen saha verisinden ikincil ark bitiş zamanını tespiti yarayacak ani azalma noktası belirlenmesinin zor olduğu görülmektedir.

3.2.1.4 HF İndeksi Metodu

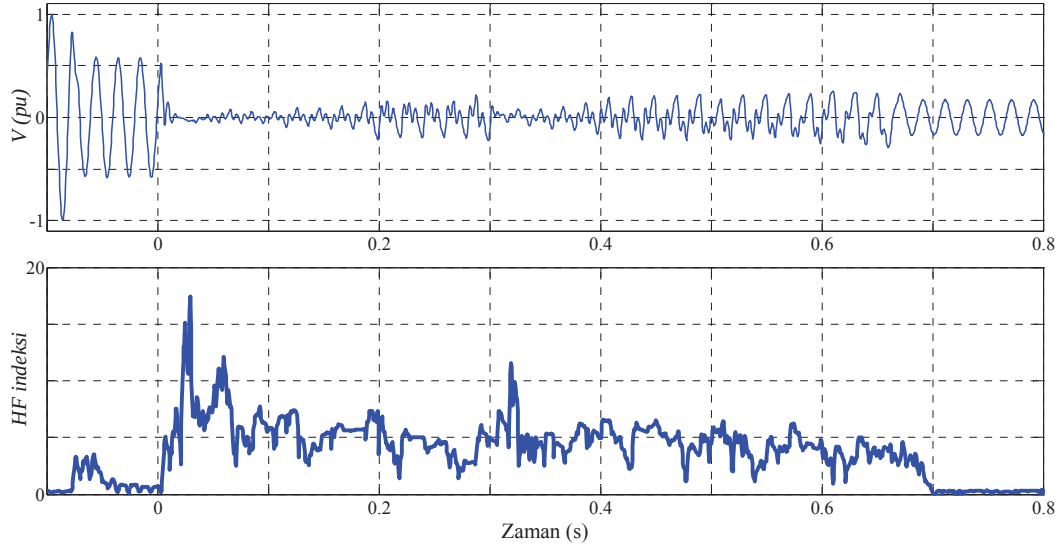
HF indeksi arızalı faz geriliminin Fourier katsayıları ile hesaplanan bir indekstir [23]. Arıza tipine karar verebilme ve geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını belirleyebilme yeteneğine sahip olan indeks ilk 5 harmonik bileşen için Denklem (3.5)'e göre hesaplanmaktadır.

$$HF = \frac{1}{\sqrt{\sum_{n=2}^5 \frac{n^2 \cdot V_1^2}{V_n}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2^2 \cdot V_1^2}{V_2} + \frac{3^2 \cdot V_1^2}{V_3} + \frac{4^2 \cdot V_1^2}{V_4} + \frac{5^2 \cdot V_1^2}{V_5}}} \quad (3.5)$$

HF indeksi metodunun simülasyonlar ile elde edilen ve sahadan alınan geçici arıza verisine cevabı sırasıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'da verilmiştir.



Şekil 3.13. Geçici arıza simülasyonu ile HF indeksi metodu.



Şekil 3.14. Geçici arıza saha verisi ile HF indeksi metodu.

Şekil 3.13 incelendiğinde indeksin belli bir eşik değerinin aşılmasına göre arıza tipi için kalıcı-geçici ayrımı yapabileceği, ikincil arkın bitişi ile ilgili bir bilgi verebildiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 3.14 incelendiğinde önerilen metodun saha verisinden bu bilgileri belirlenmesinin zor olduğu düşünülmektedir.

Fourier katsayılarının hesaplanmasında DFT algoritmalarına alternatif bir metotta, katsayıların iteratif olarak belirlenmesine dayanan Fourier Toplayıcıdır. Adaline'nın özel bir kullanımını olan Fourier Toplayıcı, arıza tipine karar verme amacıyla, iki farklı şekilde kullanılmıştır. Birinci uygulama şekli iteratif hesap sırasında ortaya çıkan hatanın kalıcı ve geçici arızaya göre farklılık göstermesine dayanmaktadır [24]. İkinci uygulama şekli ise sadece katsayıların hesaplanması amacıyla Fourier Toplayıcıyı kullanmaktadır [25]. Her iki şekli ile de arıza tipine doğru karar veren ve ikincil ark bitiş zamanının başarıyla belirleyebilen çalışmalardır.

3.2.2. Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Metotlar

Dalgacık dönüşümü, hem sürekli hem de ayrık formları ile, kalıcı-geçici arıza ayrımı yapmak ve geçici arıza için ikincil ark bitiş zamanını belirlemek amacıyla başarıyla kullanılmıştır. Fourier tabanlı metotlarda olduğu gibi pencere kaydırma esasıyla çalışmaktadır. Dalgacık seçiminin metot performansı üzerinde çok önemli olduğu görülmektedir.

Literatürde, dalgacık dönüşümünün farklı seviyelerinde elde edilen detay değerlerinin önceden tanımlı eşik değerleri ile kıyaslanmasından sonra yapılan basit lojik operasyonlarla arıza tipine başarıyla karar verilebilmektedir [26]. Kayar pencerede hesaplanan dalgacık dönüşümün 5. detay vektörü elemanlarını karelerinin toplamının önceden tanımlı eşik değeri ile kıyaslanmasıyla da arıza tipine karar tespit edilebilmektedir [27]. Bununla birlikte her iki çalışmanın da ortak zaafı kullanılan eşik değerinin güç sistemi parametrelerinden etkileniyor olmasıdır.

Literatürde daha az işlem gücü gerektiren dalgacık dönüşümü tabanlı çalışmalarda bulunmaktadır. Dalgacık dönüşümünün sadece birinci seviyesinde elde edilen detay vektörü elemanlarının mutlak değerlerinin toplamının, kalıcı ve geçici arıza için farklı değişim gösterdiği, bununla birlikte ikincil ark bitiş zamanını belirleme konusunda da yeteneği olduğu rapor edilmiştir [28]. Karar mekanizması olarak hesaplanan indeksi pozitif - negatif değer almasını kullanan metodun güç sistemi parametrelerinden etkilenmediği bildirilmiştir.

Herhangi bir sinyalin, farklı seviyelerdeki ayırık dalgacıkların toplamı ile ifade edilmesine olanak sağlayan Dalgacık Ağı da arıza tipine karar verme amacıyla başarıyla kullanılmıştır [29].

3.3. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Metotlar

Yapay Sinir Ağları (YSA), güç sistemlerinde birçok alanda kullanıldıkları gibi, TFGK sistemlerinde arıza tipine karar verme ve ikincil ark sönme zamanını belirleme amacıyla da kullanılmıştır [3], [30]-[32]. Bu çalışmalardaki ortak nokta dalga formu yerine dalga formu özniteliklerinin kullanılmasıdır. Öznitelik çıkartmak amacıyla Fourier serisi katsayılarından faydalanılmaktadır. TFGK sisteminin arızalı faz kesicilerine açma sinyali yollanmasından sonra bir periyotluk gerilim dalga formunu Fourier serisi katsayıları hesaplanmakta ve YSA'ya yollanmaktadır. YSA bu veriyi işleyerek arıza tipine karar vermekte ve geçici arıza için ikincil ark sönme zamanını belirleyebilmektedir.

YSA tabanlı metotların en büyük problemi çalışılacak her farklı güç sistemi için çok sayıda arıza verisine ihtiyaç duymasıdır. Bu nedenle üzerinde çalışılan güç sisteminin detaylı modelinde yapılan simülasyonlarla oluşturulan veri setleri

kullanılmaktadır. Literatürde 40000 arıza verisi ile eğitilen YSA'nın kullanıldığı çalışma bulunmaktadır [31]. Açık literatürde sadece YSA tabanlı çalışmaların donanıma aktarılması ile ilgili çalışmalarla karşılaşmıştır [31]. Geliştirilen donanımın denenmesi amacıyla Gerçek Zamanlı Dijital Simülatör (GZDS)'lerden de faydalanılmaktadır [32].

Literatürde YSA tarafından kullanılan özniteliklerin dalgacık dönüşümü [33] ve prony analizi [34] ile çıkartıldığı çalışmalarda bulunmaktadır.

3.4. Sıfır Sıra Tabanlı Metotlar

Sıfır sıra gücünde arıza tipine karar vermek amacıyla kullanım metotlarından biridir. Hat başından örneklenen üç fazlı akım ve gerilim verisinden hesaplanan sıfır sıra gücünün temel bileşeni ile hat sonu sıfır sıra gücü temel bileşeninden faydalanarak arıza tipine karar verilebilmektedir. GZDS üzerinde gerçek zamanlı test edilen metodun dezavantajı hat başı ve hat sonundan eş zamanlı ölçüme ihtiyaç duymasındır [35].

Sıfır sıra gücü yerine sıfır sıra gerilimi de tek başına arıza tipine karar vermek amacıyla kullanım metotlarından biridir. Haberleşme ihtiyacı olmaksızın, tek noktadan ölçülen gerilim verisinden hesaplanan sıfır sıra gerilimi ile çalışan metod, geçici arızanın bitişinden sonra görülen toparlanma geriliminin DA bileşenin kalıcı arızada görülmemesi prensibi ile çalışmaktadır. İkincil arkın bitiş zamanını belirleme yeteneğine sahip olan metod bu amaçla ikincil arkın bitişinden sonra sıfır sıra geriliminin üçüncü harmoniğinde görülen azalmadan faydalanmaktadır [36].

3.5. Sonuç

Bu bölümde uyarlanır TFGK kavramı için literatürde önerilen metotlar kısaca tanıtılmıştır. Uygulamaya yönelik detayları verilen metotlar simülasyon ortamında ve saha verisi üzerinde denenerek performansları hakkında yorum yapılmıştır.

Metotlar incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunda önerilen indeksin hesaplanması için gerekli işlem gücünün fazlalığı dikkat çekmektedir. Yakın tarihli çalışmalardaki hedef, daha düşük işlem gücü gereksinimi olan metotlar önermektir.

Yarı iletken teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak işlem gücüne ödenen fiyat azalmış olsa da, koruma rölelerinde işletilen birçok algoritma olduğu göz önüne alındığında, uyarlanma kolaylığı olan basit algoritmalar tercih edilecektir.

Metotlardaki ortak sorunlardan biri de önerilen metodun gerçek saha verisine uygulanmamış olmasıdır. Gerilim, akım veya güç değerindeki DA bileşenin değişimine dayalı metotlar KGT'nin modellenmediği simülasyonlarda başarılı olarak çalışmaktadır. Bununla birlikte saha verilerinde, KGT kullanımı sebebiyle, simülasyon ortamına kıyasla çok düşük DA bileşeni ile karşılaşmaktadır. Sadece simülasyon ortamında test edilen metotlardaki bir diğer sorunda simülasyona gürültü eklenmemesidir.

Karar verme aşamasında güç sistemi parametrelerinden etkilenen eşik değeri kullanımı da birçok metodun zaafıdır.

Bu çalışmada, uyarlanır TFGK sistemlerinde kullanılmak üzere, düşük işlem gücü gereksinimi olan ve karar verme aşamasında güç sistemi parametrelerinden etkilenmeyen Adaline tabanlı iki metot sunulacaktır.

4. Uyarlanır Doğrusal Nöron

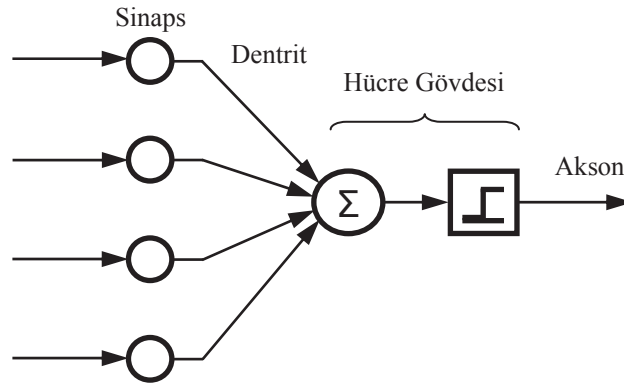
Bu bölümde, 5. ve 6. bölümlerde detayları verilecek olan ark arızası algılama metotlarının temelini oluşturan Adaline, tarihsel gelişimiyle birlikte, detaylı olarak tanıtılacaktır. Güç sistemlerinde birçok farklı uygulama alanı bulunan Adaline, yapısal farklılıkları ve kullanım şekilleri göz önünde bulundurularak gruplandırılacaktır. Her grup örneklerle detaylı olarak irdelenecek ve yakınsama analizi verilerek metodun önemli özelliklerinden biri olan yakınsama hızı vurgulanacaktır.

4.1. Adaline

Bilgisayar teknolojisindeki gelişim incelendiğinde, komut dizilerini kusursuz bir şekilde işleyebilen, normal bir insanın durmaksızın çok uzun bir sürede çözebileceği problemlerin çözümüne saniyeler içinde ulaşabilen yazılım ve donanımların geliştirildiği görülmektedir. Buna karşın ses ve görüntü tanıma, tepki gösterme, bilinmeyen bulma, eksik veri ile çalışma gibi konularda istenilen noktaya ulaşamamıştır. Yapay Zekâ olarak adlandırılan bu disiplin, insan düşünme ve davranışlarını taklit edebilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Bilgisayarların bu yetenekleri kazanması için yapılan ilk çalışmalar bilim adamlarını, tüm canlıların bünyeleri ve içinde bulundukları fiziksel ortamla ilgili bilgilerin, bir noktadan başka bir noktaya iletimini sağlayan, kasların ve organların çalışmasını düzenleyen biyolojik sinir sistemini incelemeye yöneltmiştir. Sinir sisteminin incelenmesi Yapay Zekânın en önemli alt birimi olan YSA'nın ortaya çıkmasına neden olmuştur.

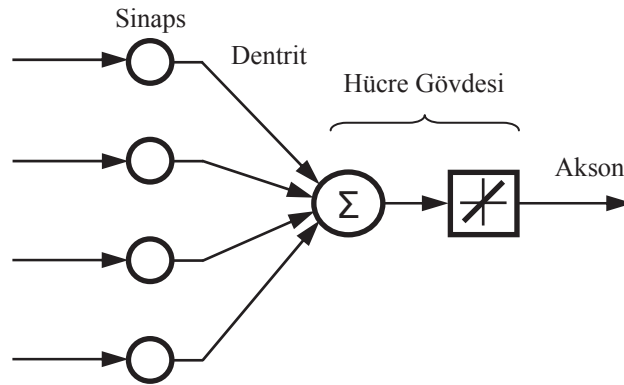
Yapay nöron (işlem elemanı), biyolojik nöron temel alınarak tasarlanmıştır. Biyolojik nöronda olduğu gibi girişleri (dendrit), toplayıcı ve transfer fonksiyonu (hücre gövdesi) ve çıkışı (akson) vardır. Biyolojik nörondaki her bir hücre çıkışının bir sonraki hücre üzerindeki etkisini belirleyen sinapsın karşılığı olarak her bir girişin çıkış üzerindeki etkisini belirleyen ağırlık katsayıları bulunmaktadır. İlk geliştirilen hücre modeli transfer fonksiyonu olarak belli bir eşik değerinin kontrolüne göre 0

veya 1 şeklinde çıkış veren perceptrondur. Perceptron blok diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Perceptron blok diyagramı.

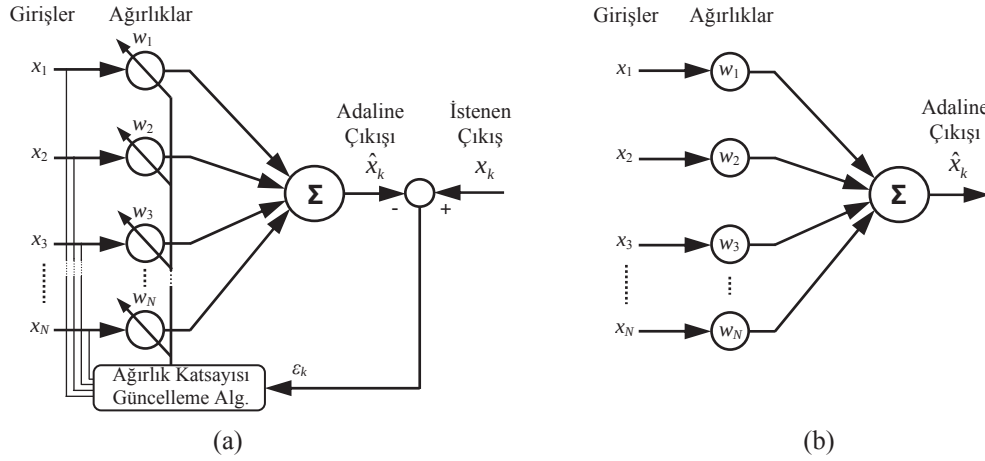
Transfer fonksiyonunun lineer olarak seçilmesi ile $[-1 \ 1]$ aralığında çıkış verebilen ve Doğrusal Nöron (=Linear Neuron) olarak bilinen nöron tipi elde edilmiştir. YSA’nın eğitiminde de yaygın olarak kullanılan ve Widrow-Hoff Öğrenme Algoritması (WHÖA) olarak bilinen algoritmayı geliştiren Widrow ve Hoff tarafından dünyaya tanıtılmıştır [37]. Adaline, sınırlı yeteneğine karşın basit yapısı sayesinde özellikle uyarlanırlar sinyal işleme olmak üzere birçok alanda etkili bir araç haline gelmiştir [38]. N girişli, tek çıkışlı ve değerleri WHÖA ile ayarlanan ağırlık katsayılarından oluşan sinyal işleme elemanı olan Adaline, her zaman girişleri ile çıkışı arasında doğrusal ilişki kurar. Adaline blok diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Adaline blok diyagramı.

Adaline’nın kullanımı iki safhadan oluşmaktadır. Birinci safha olan eğitim safhası sırasında kendisine verilen girişler ve bu girişlere karşılık gelen çıkış arasında lineer bir ilişki kurmaya çalışır. Dolayısıyla Adaline eğitici bir öğrenme sistemi ile eğitilmektedir. İkinci safha olan kullanma safhasında ise eğitim safhasında

belirlenmiş ağırlık katsayılarını kullanarak kendisine verilen yeni girişlere karşılık çıkış elde etmektedir. Eğitim ve kullanma safhasındaki Adaline'nın blok diyagramı Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. (a) Eğitim ve (b) kullanma safhasında Adaline blok diyagramı.

Adaline'nın çıktısı, giriş vektörü ile girişlere karşılık gelen ağırlık katsayılarının ürünüdür. k örnekleme zamanı olmak üzere giriş vektörü, X_k ,

$$X_k = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_N]^T \quad (4.1)$$

ağırlık vektörü, W_k ,

$$W_k = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_N]^T \quad (4.2)$$

ile çarpılarak Adaline çıkışı, $\hat{x}_k$,

$$\hat{x}_k = X_k^T W_k \quad (4.3)$$

elde edilir. İstenen çıkış ile Adaline çıkışı arasındaki fark öğrenme hatası olarak tanımlanmak üzere Denklem (4.4)'te verilmiştir.

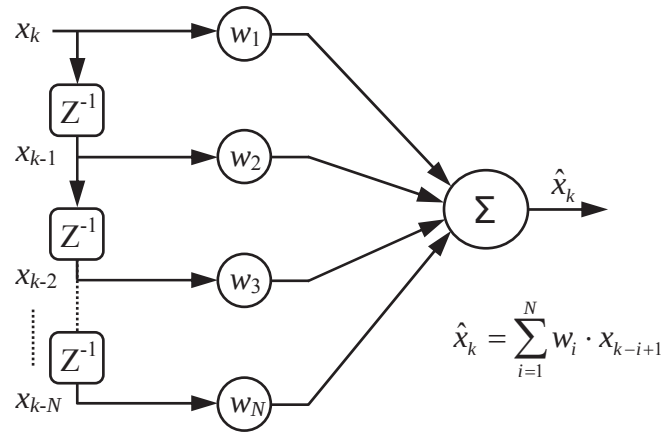
$$\varepsilon_k = x_k - \hat{x}_k \quad (4.4)$$

Bu hata değeri Denklem (4.5)'te kullanılarak bir sonraki iterasyon için yeni ağırlık katsayıları hesaplanır.

$$W_{k+1} = W_k + \alpha \frac{\varepsilon_k X_k}{\lambda + X_k^T X_k} \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'te α öğrenme oranı, λ sıfıra bölünme problemini çözmek için küçük sabit bir sayıdır. WHÖA'sı Denklem (4.5) ile Denklem (4.4)'te verilen hatayı minimize etmek için sistemi zorlar. Mükemmel öğrenme gerçekleştiğinde hata sıfıra yaklaşacaktır.

Adaline'nın girişlerine bağımsız değişkenler bağlanabileceği gibi ayrık zamanda örneklenmiş bir sinyalin ardışık değerleri bağlanarak FIR tipi filtre olarak ta kullanılabilir [39]. Adaline ile gerçekleştirilen uyarlanır filtrenin prensip şeması Şekil 4.4'te verilmiştir. Uyarlanır filtre uygulamasında da bağımsız eğitim ve kullanma safhaları ile filtreleme yapılmaktadır.

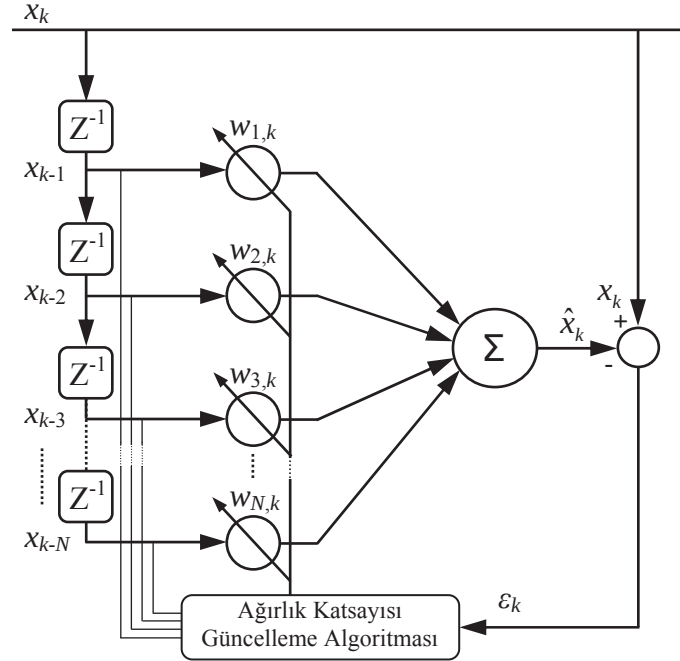


Şekil 4.4. Adaline ile uyarlanır filtre uygulaması.

Adaline'nın kabiliyetinden en çok faydalanan saha ise sinyal kestirimi ve gürültü temizlemedir. Bu iki uygulama sahasını diğerlerinden ayıran özellik ağırlık katsayılarının sabit kalmayarak her bir iterasyonda yenilenmesidir. Dolayısıyla eğitim ve kullanma şeklinde iki bağımsız süreç bulunmamakta, bu iki süreç her iterasyonda birbirini takip etmektedir.

Sinyal kestirimi için kullanılan Adaline'da, sinyalin örneklenen son değeri istenen değer olarak kullanılmaktadır. Adaline'nın girişlerinde tahmin edilmek istenen sinyalin ayrık zamanda örneklenmiş önceki değerleri kullanılırken, çıkışından sinyalin tahmin edilmek istenen değeri alınmaktadır. Her bir iterasyonda, tahmin edilen değer ile istenen değer arasındaki fark belirlenir ve bu fark bir sonraki iterasyon için ağırlık katsayılarının düzenlenmesinde kullanılır.

Giriş sinyalindeki her değişiklik hızlı bir şekilde hatanın değişimine neden olacaktır. Başka bir deyişle hatadaki her bir değişim, giriş sinyalinin değiştiğini ifade etmektedir. Sinyal kestiriminde kullanılan Adaline blok diyagramı Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Adaline ile sinyal kestirimi.

Adaline, harmonik [40], [41], flicker [42] ve frekansın ölçülmesi [41], [43], [44], güç kalitesi olaylarının algılanması [42], [44]-[45] konularında başarıyla kullanılmaktadır. Geçici kararlılığın artırılması için generatör uyarımının kontrol edilmesi [46], dengesizliğin algılanması için simetrik bileşenlerin hesaplanması [47], aktif harmonik filtre uygulamaları [48], motor parametrelerinin belirlenmesi [49] ve ark arızasının algılanması [24], [50]-[54] gibi birçok özel güç sistemi uygulamasında da Adaline'dan faydalanılmaktadır. Bu çalışmalarda sinyal kestirimi amacıyla kullanılan Adaline algoritmaları, üç ana grupta değerlendirilebilirler.

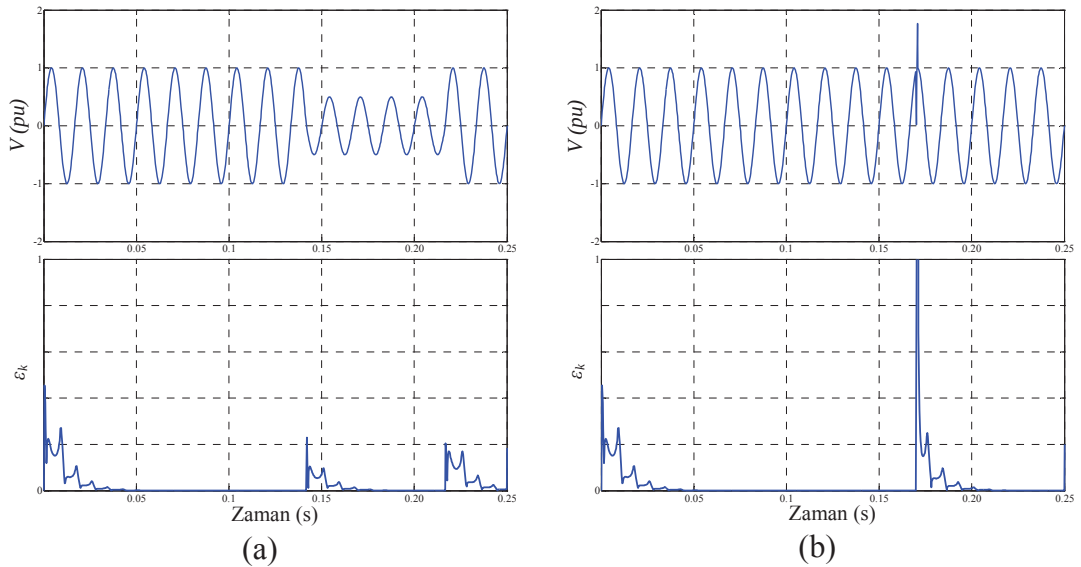
Bunlar;

- Dalga formu değişimlerinin algılanması,
- Sistem frekansının ölçülmesi,
- Dalga formu Fourier serisi katsayılarının hesaplanmasıdır.

Bu ana grupların çalışma prensipleri aynı olsa da giriş elemanı sayısı, giriş elemanı yapısı ve ağırlık katsayılarının kullanımı açısından farklılıklar göstermektedir. Algılama, hesaplama veya ölçme yapılacak ana sinyal yapısına göre ortaya çıkan bu farklılıklar sırasıyla detaylı olarak verilecektir.

4.1.1. Dalga Formu Değişimlerinin Algılanması

Adaline, girişlerine uygulanan durağan bir dalga formunu öğrendiğinde, hata değeri sıfıra yakın bir değer almakta ve ağırlık katsayılarında çok küçük değişimler yaparak dalga formunu izlemektedir. Bununla birlikte beklediğinden farklı bir dalga formu ile karşılaştığında, kendi beklentisi ile gerçek dalga formu arasındaki büyük bir fark ortaya çıkacaktır. WHÖA algoritması ağırlık katsayılarının değerlerini düzenleyerek bu farkı küçültmeye çalışarak Adaline'nın yeni dalga formuna adapte olmasını sağlayacaktır. Aynı süreci hata tarafından incelediğimizde, hatada gözlenen her radikal değişim girişte uygulanan dalga formunda değişim olduğu anlamına gelmektedir. Dalga formunda meydana gelen değişimlerin algılanmasında kullanılan Adaline'nın blok diyagramı Şekil 4.5'te verilmiştir. Gerilim dalga formunda görülen çukurlaşma ve geçicilik gibi olayların Adaline ile algılanmasına ilişkin simülasyon sonuçları sırasıyla Şekil 4.6-a ve b'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Gerilim (a) çukurlaşması, (b) geçicilik için Adaline hatasının değişimi.

Adaline'nın her iki olay için de sinüs dalga formunun başarıyla öğrendiği ve meydana gelen güç sistemi olaylarının başlangıç ve bitiş anlarına başarıyla tepki

verdiği Şekil 4.6'dan görülmektedir. Ancak olay tipine karar verme konusunda yeterli bilgi sunmadığı bilinmektedir [44]. Adaline'nın gerilim dalga formunda yaşanan değişimlere cevabının öğrenme oranı ve giriş vektörü boyutundan etkilendiği bilinmektedir [45]. Şekil 4.6'da verilen gerilim dalga formundaki bozulmaların algılanmasında kullanılan Adaline'nın giriş vektörü boyutu (N), 4 ve öğrenme oranı (α) 0.4 olarak seçilmiştir. Bu değerlerin çalışılacak probleme göre değişim göstereceği bilinmektedir.

4.1.2. Sistem Frekansının Ölçülmesi

Tüketici ihtiyaç ve taleplerine bağlı olarak gerilim dalga formundaki değişimlerin izlenmesi kadar şebeke frekansındaki değişimlerin de izlenmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Düşük işlem gücü ile gerçek zamanlı frekans değişiminin izlenmesinde kullanılan metotlardan biri de Adaline'dır. Adaline'nın frekans ölçümünde kullanılmasındaki en önemli nokta şebeke gerilim dalga formunun temelde sinüs formunda olmasıdır.

Harmonikler ve DA ile bozulmamış gerilim dalga formu, A genlik, ω_0 temel açısal frekans, ϕ başlangıç açısı ve ε_t gürültü olmak üzere

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega_0 t + \phi) + \varepsilon_t \quad (4.6)$$

olarak ifade edilebilir. Birbirini takip eden 3 ardışık örnek arasında, T_s örnekleme periyodu olmak üzere

$$y(t) - 2\cos(\omega_0 T_s) \cdot y(t - T_s) + y(t - 2T_s) = 0 \quad (4.7)$$

şeklinde bir ilişki vardır. $t = kT_s$ olacak şekilde Denklem (4.7) tekrar düzenlenirse

$$y_k = 2\cos(\omega_0 T_s) \cdot y_{k-1} - y_{k-2} \quad (4.8)$$

halini alır. Denklem (4.8), X_k giriş vektörü

$$X_k = [x_1 \quad x_2] = [y_{k-1} \quad y_{k-2}] \quad (4.9)$$

ve W_k ağırlık vektörü

$$W_k = [2\cos(\omega_0 T_s) \quad -1] \quad (4.10)$$

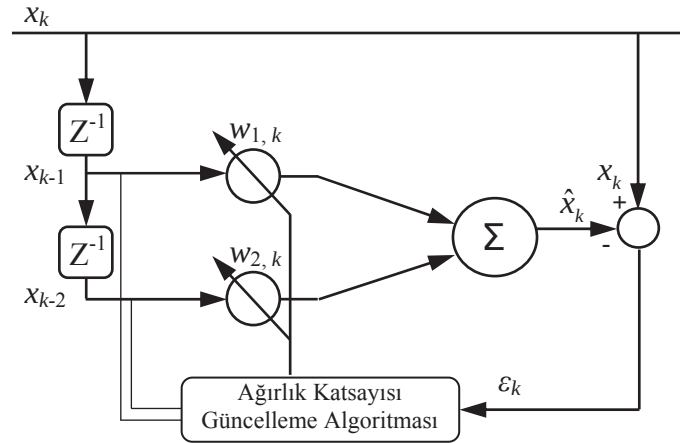
olarak düzenlenirse Denklem (4.11) ele edilir:

$$\begin{aligned}
 y_k &= W_k \cdot X_k^T \\
 &= [w_1 \quad w_2] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \\
 &= [2 \cos(\omega_0 T_s) \quad -1] \cdot \begin{bmatrix} y_{k-1} \\ y_{k-2} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Denklem (4.11)'de verilen form Adaline ile hesaplanmaya uygun bir formdur. Ağırlık vektörünün ilk elemanı olan w_1 ile örneklenen gerilim dalga formunun temel frekansı Denklem (4.12)'ye göre hesaplanabilir.

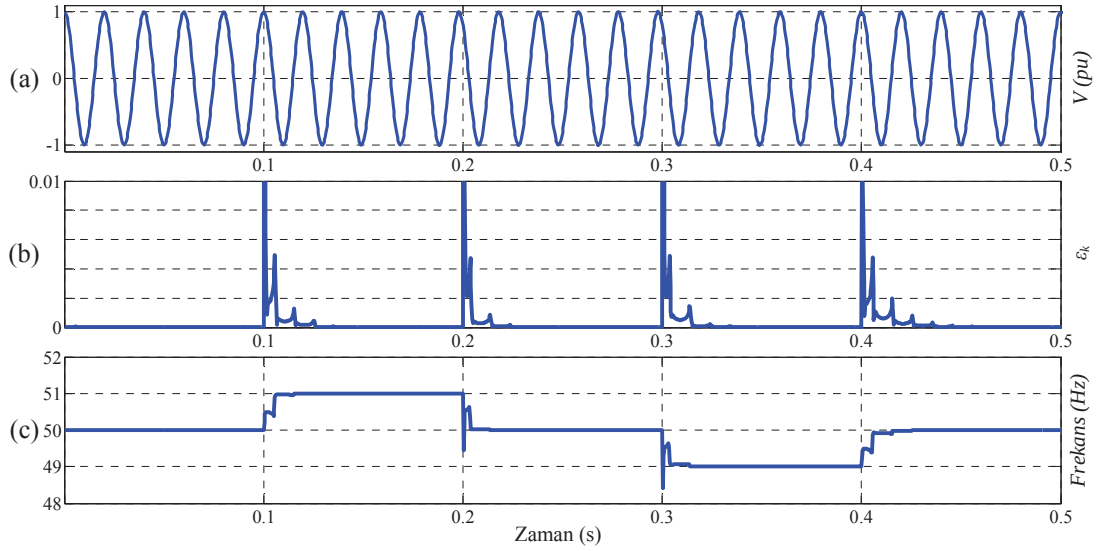
$$f_{0_k} = \frac{\cos^{-1}(w_{1,k}/2)}{2\pi T_s} \tag{4.12}$$

Adaline tabanlı frekans ölçümüne ilişkin blok diyagramı Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Adaline tabanlı frekans ölçümü blok diyagramı.

Saf sinüs formundaki gerilim dalga formunun Adaline ile hesaplanan frekansı Şekil 4.8'de verilmiştir. Gerilim dalga formunun başlangıç frekansı 50Hz'dir. 0.1saniyelik adımlarla 51Hz ve 49Hz'e basamak olarak geçilmekte ve tekrar 50Hz'e dönülmektedir. Adaline'nın frekansı hızlı bir şekilde öğrendiği ve değişimlere hızlı yanıt verdiği Şekil 4.8'den görülebilmektedir.



Şekil 4.8. (a) Frekansı değişen sinüs dalga formu, (b) Adaline hatası, (c) Ölçülen frekans.

Çoğu zaman gerilim dalga formunu saf sinüs olarak bulmak mümkün değildir. Harmonikler ve DA bileşen ile bozulmuş olma ihtimali yüksektir. Bu bozulma sebebiyle frekans hesabında salınımlar ortaya çıkmaktadır [41], [43]-[44]. Daha hassas frekans hesabı için Adaline'nın giriş vektöründe değişiklik yapılması gerekmektedir.

Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim veya akım dalga formu, m harmonik numarası, A_m genlik, ϕ_m başlangıç açısı, ω_0 temel açısal frekans, $A_{da}e^{-\alpha_{da}t}$ azalan DA bileşen ve M dalga formunun barındırdığı en yüksek harmonik numarası olmak üzere Denklem (4.13)'de verilmiştir.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M A_m \cdot \sin(m\omega_0 t + \phi_m) + A_{da}e^{-\alpha_{da}t} \quad (4.13)$$

Birbirini takip eden üç örnek arasında, T_s örnekleme periyodu olmak üzere

$$\begin{aligned} y(t) + y(t - 2T_s) - 2\cos(\omega_0 T_s)y(t - T_s) = \\ \sum_{m=1}^M 2A_m \sin(m\omega_0 t) [\cos(m\omega_0 T_s) - \cos(\omega_0 T_s)] \cos(\phi_m - m\omega_0 T_s) \\ + \sum_{m=1}^M 2A_m \cos(m\omega_0 t) [\cos(m\omega_0 T_s) - \cos(\omega_0 T_s)] \sin(\phi_m - m\omega_0 T_s) \\ + 2A_{da} (1 - \cos(\omega_0 T_s)) \cdot (1 - \alpha_{da}(t - T_s)) \end{aligned} \quad (4.14)$$

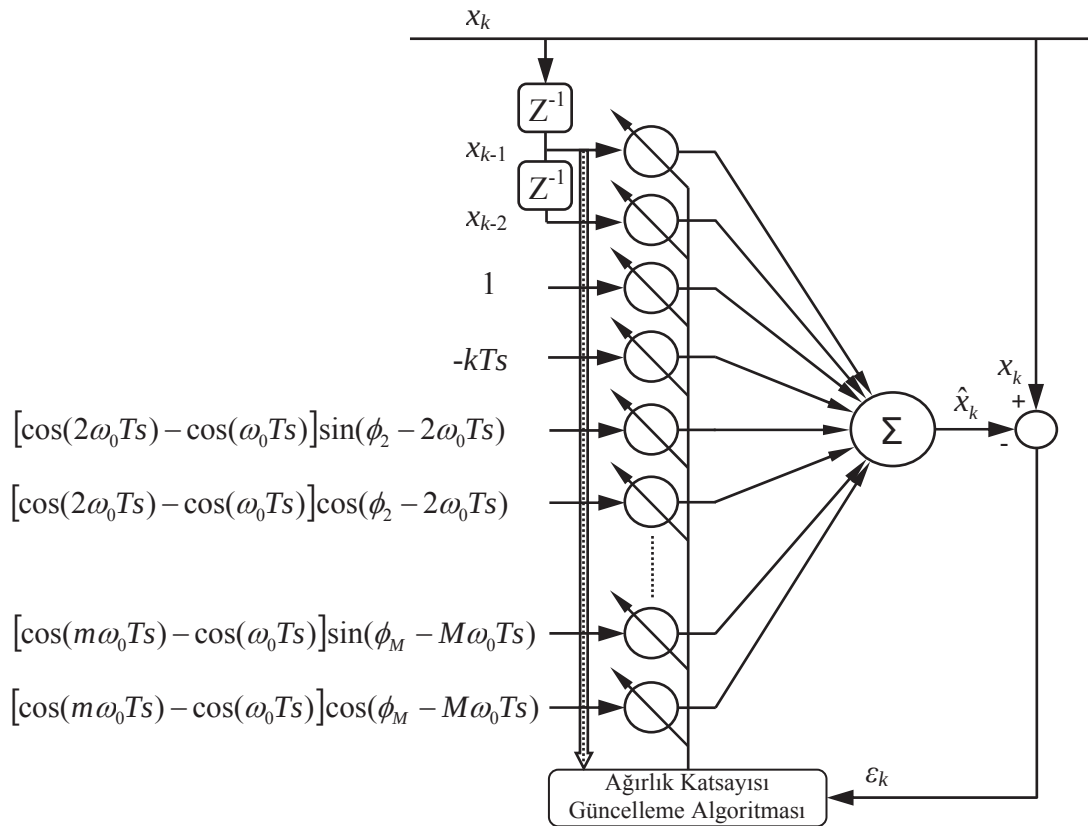
şeklinde bir ilişki vardır. $t = kT_s$ olacak şekilde Denklem (4.14) tekrar düzenlenirse

$$\begin{aligned}
y_k = & 2\cos(\omega_0 Ts)y_{k-1} - y_{k-2} + \\
& + \sum_{m=1}^M 2A_m \sin(m\omega_0 kTs) [\cos(m\omega_0 Ts) - \cos(\omega_0 Ts)] \cos(\phi_m - m\omega_0 Ts) \\
& + \sum_{m=1}^M 2A_m \cos(m\omega_0 kTs) [\cos(m\omega_0 Ts) - \cos(\omega_0 Ts)] \sin(\phi_m - m\omega_0 Ts) \\
& + 2A_{da}(1 - \cos(\omega_0 Ts)) \cdot (1 - \alpha_{da}(t - Ts))
\end{aligned} \tag{4.15}$$

halini alır. Denklem (4.15), X_k giriş vektörü

$$\begin{aligned}
X_k = & \begin{bmatrix} y_{k-1} & y_{k-2} & 1 & -kTs & A_2 & B_2 & \dots & A_M & B_M \end{bmatrix} \\
A_m = & [\cos(m\omega_0 Ts) - \cos(\omega_0 Ts)] \sin(\phi_m - m\omega_0 Ts) \quad m = 1..M \\
B_m = & [\cos(m\omega_0 Ts) - \cos(\omega_0 Ts)] \cos(\phi_m - m\omega_0 Ts) \quad m = 1..M
\end{aligned} \tag{4.16}$$

şeklinde düzenlenirse Adaline ile hesaplanmaya uygun bir form elde edilir. Bu formda ağırlık vektörünün ilk elemanı olan w_1 ile örneklenen gerilim dalga formunun temel frekansı daha önce verilen Denklem (4.12)'ye göre hesaplanabilir. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim dalga formu frekansının Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim dalga formu frekansının Adaline ile ölçülmesine ilişkin blok diyagramı.

Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim veya akım dalga formunun frekansını ölçmek için yapılan düzenlemenin hesaplamalar için gerekli işlem gücünde ciddi bir artışa neden olacağı Şekil 4.9'dan görülebilmektedir. Literatürde harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş dalga formlarına kesim frekansı 80Hz olan alçak geçiren filtre uygulandıktan sonra Adaline tabanlı frekans ölçümüne tabii tutulmasının uygulama kolaylığı getireceği belirtilmiştir [41].

4.1.3. Dalga Formu Fourier Serisi Katsayılarının Hesaplanması

Adaline herhangi bir dalga formunun Fourier serisi katsayılarının hesaplanmasında kullanılabilmektedir. FFT algoritmaları ile kıyaslandığında, işlem gücü gereksiniminin az olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Uyarlanırlı yapısı ile izlenen sinyalde görülen Fourier serisi katsayılarının değişimlerine çok hızlı yanıt verebilmektedir. Bu nedenle aktif filtre uygulamalarında tercih edilmektedir [48]. Her iterasyonda hesapladığı Fourier serisi katsayılarının ve açılarının toplamı ile dalga formunu kıyaslayarak hesap yaptığı için Fourier Toplayıcı (Fourier Combiner) olarak ta anılmaktadır.

Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim veya akım dalga formu Denklem (4.13)'de verilmişti. f_s örnekleme frekansı ve f_0 temel sistem frekansı olmak üzere örnekleme oranı $N_s = f_s / f_0$ şeklinde ifade edilebilir. Denklem (4.13)'te verilen ifade, ayrık zamanda tekrar düzenlenirse sırasıyla Denklem (4.17) elde edilir.

$$\begin{aligned} y_k &= \sum_{m=1}^M A_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi mk}{N_s} + \phi_m\right) + A_{da}(1 - \beta k T_s) \\ &= \sum_{m=1}^M A_m \left[\cos(\phi_m) \sin\left(\frac{2\pi mk}{N_s}\right) + \sin(\phi_m) \cos\left(\frac{2\pi mk}{N_s}\right) \right] + A_{da}(1 - \beta k T_s) \end{aligned} \quad (4.17)$$

Denklem (4.17)'de verilen ifade, giriş vektörü X_k Denklem (4.18)'deki gibi olmak üzere, Denklem (4.19)'da verilen forma sokularak Adaline ile hesaplanır hale getirilebilir:

$$X_k = \begin{bmatrix} \sin \frac{2\pi k}{N_s} & \cos \frac{2\pi k}{N_s} & \sin \frac{4\pi k}{N_s} & \cos \frac{4\pi k}{N_s} & \dots & \\ & & & & & \sin \frac{2M\pi k}{N_s} & \cos \frac{2M\pi k}{N_s} & 1 & -kT_s \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$y_k = W_k \cdot X_k^T \quad (4.19)$$

Adaline ile mükemmel öğrenme gerçekleştiğinde W_k ağırlık vektörü

$$W_k = [A_1 \cos \phi_1 \quad A_1 \sin \phi_1 \quad A_2 \cos \phi_2 \quad A_2 \sin \phi_2 \quad \dots \quad A_M \cos \phi_M \quad A_M \sin \phi_M \quad A_{dc} \quad A_{dc} \beta] \quad (4.20)$$

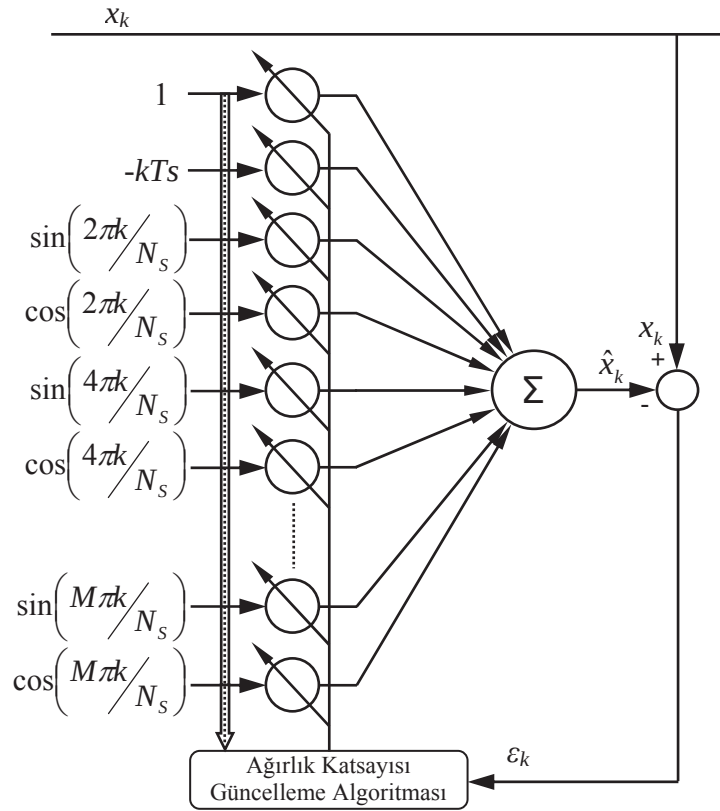
şeklini alır. m . harmoniğin genliği ve faz açısı denklem sırasıyla Denklem (4.21) ve (4.22) ile hesaplanabilir.

$$A_m = \sqrt{(W_k(2m-1))^2 + (W_k(2m))^2} \quad (4.21)$$

$$= \sqrt{(A_m \cos \phi_m)^2 + (A_m \sin \phi_m)^2}$$

$$\phi_m = \arctan\left(\frac{W_k(2m-1)}{W_k(2m)}\right) \quad m = 1..M \quad (4.22)$$

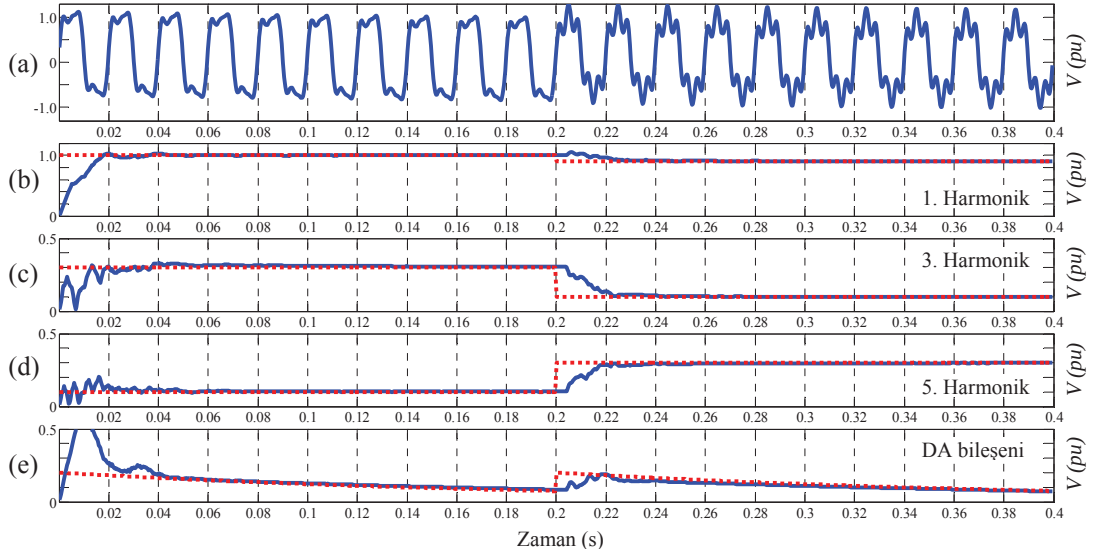
Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş gerilim veya akım dalga formunun harmonik bileşenlerinin ve açılarının Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş dalga formunun harmonik bileşenlerinin Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı.

Dalga formunun harmonik bileşenlerinin Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin sayısal örnek Şekil 4.11’de verilmiştir.

Metodun harmonik içeriğin değişimine olan cevabının sergilenebilmesi amacıyla $v(t) = 1.0\sin(\omega_0 t) + 0.3\sin(3\omega_0 t) + 0.1\sin(5\omega_0 t)$ dalga formu 0.2.saniyede $v(t) = 0.9\sin(\omega_0 t) + 0.1\sin(3\omega_0 t) + 0.3\sin(5\omega_0 t)$ dalga formuna dönmektedir.



Şekil 4.11. Harmonikler ve azalan DA ile bozulmuş dalga formunun harmonik bileşenlerinin ve açılarının Adaline tabanlı hesaplanmasına ilişkin blok diyagramı.

Şekil 4.11 incelendiğinde yaklaşık bir periyotluk sürede harmonik içeriklerin hesaplanabildiği görülmektedir. Adaline ile dalga formu Fourier serisi katsayılarını hesabı, FFT algoritmalarına benzer sonuçlar vermekle birlikte işlem gücü açısından daha avantajlı olduğundan gerçek zamanlı uygulamalar için tercih edilen bir metottur.

4.2. Yakınsama Analizi

Bölüm 5 ve 6’te detayları verilecek olan TFGK metotları, Adaline’nın gerilim dalga formundaki değişimleri algılamasına ve frekansını hesaplayabilmesine dayanmaktadır. Bu durum Adaline’nın öğrenme hatasını minimize etmesini dolayısıyla yakınsamasını gerektirmektedir. Adaline’nın yakınsaması öğrenme oranı ile direk ilişkilidir. Bu amaçla Adaline’nın, öğrenme oranına bağlı yakınsaması irdelenmiştir.

Adaline'nın herhangi bir andaki çıkışı ve öğrenme hatası sırasıyla Denklem (4.3) ve (4.4)'te tanımlanmıştı. Bu iki denklemi düzenlenirse,

$$\mathcal{E}_k = x_k - W_k^T X_k \quad (4.24)$$

halini alır. Mükemmel öğrenme gerçekleştiğinde $x_k = \hat{x}_k$ olacağı aşikârdır. Bu durumdaki W_k 'ya W_0 dersek ve herhangi bir k anındaki ağırlık vektörünün W_0 'dan olan farkını ağırlık vektörü hatası

$$\tilde{W}_k = W_k - W_0 \quad (4.25)$$

olarak tanımlayabiliriz. Bu durumda öğrenme hatası

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_k &= W_0^T X_k - W_k^T X_k \\ &= -(W_k - W_0)^T X_k \\ &= -\tilde{W}_k^T X_k \end{aligned} \quad (4.26)$$

olacaktır.

Herhangi bir k anındaki ağırlık vektörü hatası $\tilde{W}_{k+1}$ 'nin $\tilde{W}_k$ 'den daha küçük olması hatanın giderek azalacağı ve yakınsamanın gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. $\tilde{W}_k$ 'nin vektör olduğu göz önüne alınırsa küçük olma kavramını Denklem (4.27)'de verilen $\tilde{W}_k$ 'nin normu V_k ile ifade etmek daha uygun olacaktır.

$$\begin{aligned} V_k &= \|W_k - W_0\|^2 \\ &= (W_k - W_0)^T (W_k - W_0) \\ &= \tilde{W}_k^T \tilde{W}_k \end{aligned} \quad (4.27)$$

Bu durumda yakınsama

$$\begin{aligned} \Delta V_k &= V_{k+1} - V_k \leq 0 \\ &= \tilde{W}_{k+1}^T \tilde{W}_{k+1} - \tilde{W}_k^T \tilde{W}_k \leq 0 \end{aligned} \quad (4.28)$$

şartıyla gerçekleşecektir. Herhangi bir k anındaki ağırlık vektörünün W_0 'dan olan farkı ağırlık vektörü hatası olarak tanımlanmış ve Denklem (4.24)'te verilmişti. Bu durumda $k+1$ anındaki ağırlık vektörü hatası da

$$\begin{aligned}
\tilde{W}_{k+1} &= W_{k+1} - W_0 \\
&= W_k + \alpha \frac{\varepsilon_k X_k}{\lambda + X_k^T X_k} - W_0 \\
&= \tilde{W}_k + \alpha \frac{\varepsilon_k X_k}{\lambda + X_k^T X_k}
\end{aligned} \tag{4.29}$$

olacaktır. Denklem (4.28), Denklem (4.29)'a göre düzenlenirse

$$\Delta V_k = \left[\tilde{W}_k + \alpha \frac{\varepsilon_k X_k}{\lambda + X_k^T X_k} \right]^T \left[\tilde{W}_k + \alpha \frac{\varepsilon_k X_k}{\lambda + X_k^T X_k} \right] - \tilde{W}_k^T \tilde{W}_k \tag{4.30}$$

haline alır. Gerekli matematiksel düzenlemeler yapılırsa,

$$\Delta V_k = \frac{2\alpha \varepsilon_k \tilde{W}_k^T X_k}{\lambda + X_k^T X_k} + \frac{\alpha^2 \varepsilon_k^2 X_k^T X_k}{(\lambda + X_k^T X_k)^2} \tag{4.31}$$

olacaktır. Denklem (4.26)'de verilen öğrenme hatasının ayrık zamandaki formundan

$$\varepsilon_k^2 \leq -\tilde{W}_k^T X_k \varepsilon_k \tag{4.31}$$

eşitsizliği elde edilebilir. Denklem (4.31), Denklem (4.32)'e göre tekrar düzenlenir ve λ 'nın sıfıra bölünme sorununu çözmek için kullanılan çok küçük bir sayı olduğu hatırlanırsa

$$\Delta V_k \leq \alpha(\alpha - 2) \left(\frac{\varepsilon_k^2}{\lambda + X_k^T X_k} \right) \tag{4.33}$$

elde edilir. Öğrenme hatası sıfırdan farklı olduğu sürece, $\frac{\varepsilon_k^2}{\lambda + X_k^T X_k}$ 'nin her zaman pozitif olacaktır. Öğrenme oranının α 'nın $[0 \ 2]$ aralığında seçilmesinin $k \rightarrow \infty$ 'ken W_k ile W_0 arasındaki öklidyen mesafenin azalmasını sağlayacağı Denklem (3.33)'den görülmektedir. Teorik olarak öğrenme oranının α 'nın $[0 \ 2]$ seçilmesi ΔV_k 'nin azalmasını sağlayacak olsa da pratikte bu değer $[0.1 \ 1]$ aralığında seçilmektedir [37].

ΔV_k 'nin sıfırdan küçük olması, başka bir deyişle algoritmanın yakınsaması için seçilen öğrenme oranının değerinin algoritmanın yakınsama hızını ne şekilde etkilediğinin belirlenmesi noktasında Denklem (4.4)'ten faydalanarak Denklem (4.34)'ü elde edebiliriz.

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{k+1} - \varepsilon_k &= (x_{k+1} - \hat{x}_{k+1}) - (x_k - \hat{x}_k) \\
&= (x_{k+1} - x_k) - (\hat{x}_{k+1} - \hat{x}_k) \\
&= (x_{k+1} - x_k) - (W_{k+1}^T X_{k+1} - W_k^T X_k) \\
&\cong (x_{k+1} - x_k) - W_{k+1}^T [X_{k+1} - X_k] - \alpha \varepsilon_k \\
&\cong W_{k+1}^T X_k - W_k^T X_k - \alpha \varepsilon_k
\end{aligned} \tag{4.34}$$

Yakınsama gerçekleştiği durumda W_{k+1} W_k 'e eşit kabul edilebilir. Yakınsama durumu için Denklem (4.34) tekrar düzenlenirse

$$\varepsilon_{k+1} \cong (1 - \alpha) \varepsilon_k \tag{4.35}$$

halini alacaktır. Bu durumda öğrenme hatası, $1 - \alpha$ oranında, asimptotik olarak sıfıra yakınsayacaktır.

4.3. Sonuç

Bu bölümde, 5. ve 6. bölümlerde detayları verilecek olan ark arızası algılama metotlarının temelini oluşturan Adaline detaylı olarak tanıtılmıştır. Güç sistemlerinde birçok farklı uygulama alanı bulanan Adaline, yapısal farklılıkları ve kullanım şekilleri göz önünde bulundurularak gruplandırılmıştır. Her grup örneklerle detaylı olarak irdelenmiş ve yakınsama analizi verilerek metodun önemli özelliklerinden biri olan yakınsama hızı vurgulanmıştır.

Adaline, konvansiyonel metotlarla kıyaslandığında, işlem yükü gereksiniminin azlığı ve basitliği sebebiyle gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu özellikleri göz önüne alındığında, önerilen iki ark arızası algılama metodunun da konvansiyonel metotlara oranlı hızlı ve az işlem gücü gerektirdiği, gerçek zamanlı uygulamaya uygun olduğu anlaşılmaktadır.

5. Dalga Formu Değişimine Dayalı Ark Arızası Algılama

5.1. Giriş

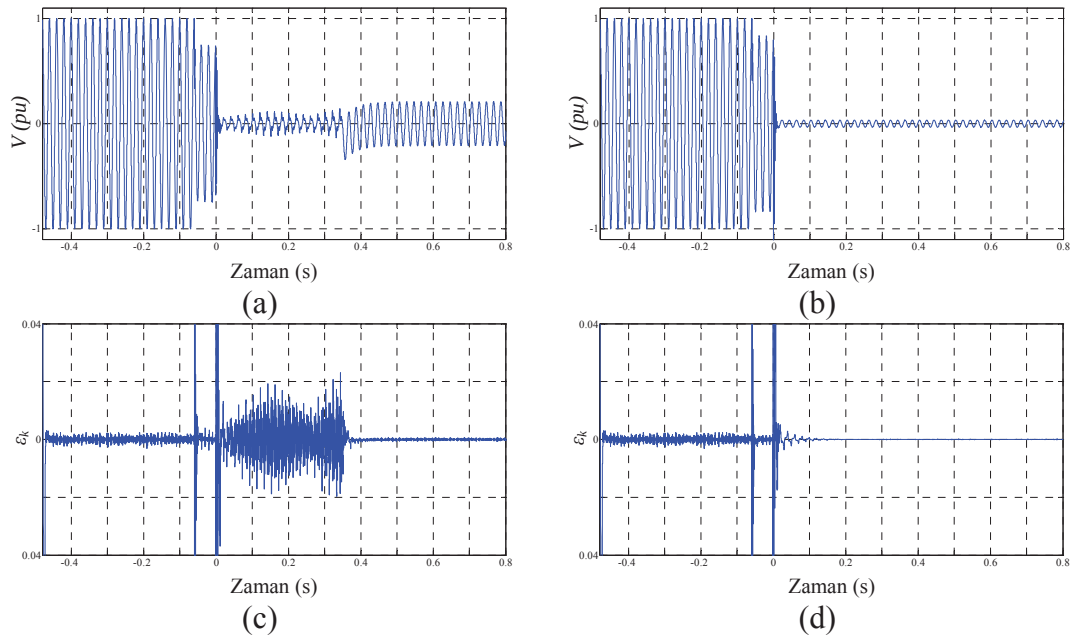
Sinyal kestirimi için kullanılan Adaline, doğası gereği güç sistemi dalga formunu öğrenme eğilimindedir ve belli bir gecikme süresi sonucunda hatasını minimize ederek bu dalga formunu öğrenir. Öğrenilen dalga formunda yaşanan her değişimi algılayan Adaline, yeni dalga formuna adapte olmaya çalışır. Bu adaptasyon süreci meydana gelen arızanın kalıcı veya geçici olduğuna karar vermek amacıyla kullanılmıştır. Bu bölümde dalga formu değişime dayalı ark arızası algılama metodunun detayları anlatılarak, parametrik analizlerle güçlendirilmiş simülasyon sonuçları verilecektir. Önerilen metodun uygulanabilirliği sahadan alınan veriler üzerinde de sınanmıştır.

5.2. Geliştirilen Algoritma

Adaline'nın arıza tipine karar vermede kullanılması, Adaline'nın iyi bir uyarlanır sinyal kestirimcisi olmasından kaynaklanmaktadır. Giriş sinyalindeki her değişiklik hızlı bir şekilde hatanın değişimine neden olacaktır. Bu durum hatadaki her bir değişimde giriş sinyalinin de değiştiğini göstermektedir. Sinüs sinyali için düşük hata değerine sahip Adaline, ark arızası olduğunda sinüse göre daha farklı değerli hataya sahip olacaktır. Hatadaki bu değişim ark arızasının algılanmasında kullanılabilir.

Geçici ve kalıcı arıza sırasındaki gerilim dalga formları sırasıyla Şekil 5.1 a ve b'de ve bu arızalar için Adaline'nın öğrenme hatası (ϵ_k), sırasıyla Şekil 5.1 c ve d'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde geçici ve kalıcı arıza için ϵ_k 'nın farklı değişim gösterdiği görülmektedir. Arıza öncesinde ise Adaline'nın gerilim dalga formunu iyi bir şekilde öğrendiği öğrenme hatası (ϵ_k)'nin sifıra yakınlığından algılanabilmektedir. FTKD'si meydana geldiğinde öğrenme hatası (ϵ_k) sistemde önemli bir değişiklik olduğunu yansıtacak şekilde değişmektedir. Bununla birlikte her iki arıza tipi için arızalı faz kesicilerinin kapalı kaldığı süre boyunca öğrenme hatasının değişimi

benzer yapıdadır. Kesicinin açılmasından sonra öğrenme hatasının değişimi arıza tipine göre farklılık göstermektedir. Kalıcı arıza için arızalı fazın gerilim dalga formu kesicinin açılmasından sonra sinüse yakın bir şekil alır ve Adaline bu dalga formunu kısa sürede başarıyla öğrenir. Dolayısıyla kalıcı arıza için öğrenme hatası çok hızlı bir şekilde sifıra yakınsar. Geçici arıza için ise arızalı fazın gerilim dalga formu arızalı faz kesicilerinin açılmasından sonra ikincil ark süresince özel bir karakteristik ile değişir. İkincil ark süresince gerilim dalga formundaki yüksek frekanslı bileşenler ve rüzgâr, iyonizasyon gibi durağan olmayan ve rastgele değişen çevresel koşulların da etkisiyle öğrenme hatası salınır. İkincil ark temizlendiğinde arızalı fazda sağlıklı fazlarla olan ortak endüktans sebebiyle, sistem frekansında, ikincil arkın bitiş zamanına ve sistemin karakteristik empedansına bağlı olarak düşük genlikli ve azalan DA bileşen içeren sinüs dalga formunda gerilim (toparlanma gerilimi) gözlenir. Adaline bu dalga formunu kısa sürede başarıyla öğrenir ve öğrenme hatası çok hızlı bir şekilde sifıra yakınsar. Öğrenme hatasının değerindeki bu azalma ikincil arkın bitiş zamanının belirlenmesi için kullanılmaktadır.



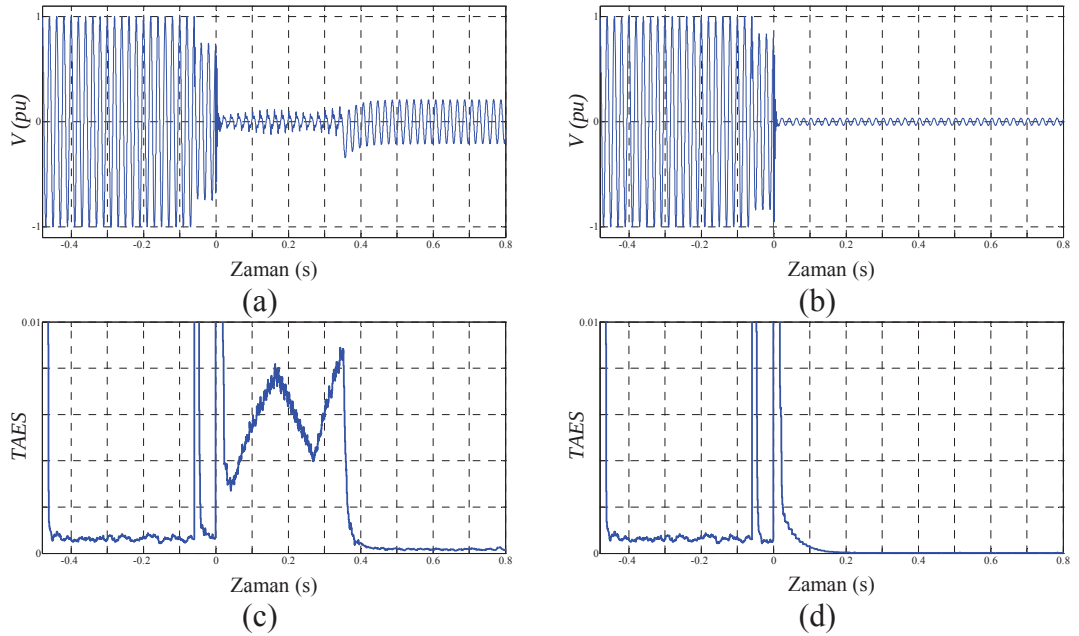
Şekil 5.1. (a) Geçici arıza gerilim dalga formu, (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici arıza ve (d) Kalıcı arıza için Adaline'nın öğrenme hatasının değişimi.

Her iki arıza tipi için öğrenme hatasının değişimi anlamlı ise de salınım sebebiyle bu değişimden faydalanmak zordur. Bununla birlikte öğrenme hatası (ϵ_k)'nın her iterasyonda hesaplanan mutlak değerlerinin sabit genişlikli kayar

penceredeki ortalaması ($TAES = \text{Time Average of Error Signal}$) incelenecek olursa bu ortalama değerin arıza tipi ve ikinci arkın bitiş zamanı hakkında bilgi sağladığı görülmektedir. $TAES$, k örnekleme zamanı, ε_k Adaline'nın öğrenme hatası, N_s ortalama penceresi boyutu olmak üzere Denklem (5.1)'de sunulmuştur.

$$TAES_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} |\varepsilon_{k-i+1}|}{N_s} \quad (5.1)$$

Geçici ve kalıcı arıza sırasındaki gerilim dalga formları sırasıyla Şekil 5.2 a ve b'de ve bu dalga formlarına ait $TAES$ indeksleri sırasıyla Şekil 5.2 c ve d'de verilmiştir.



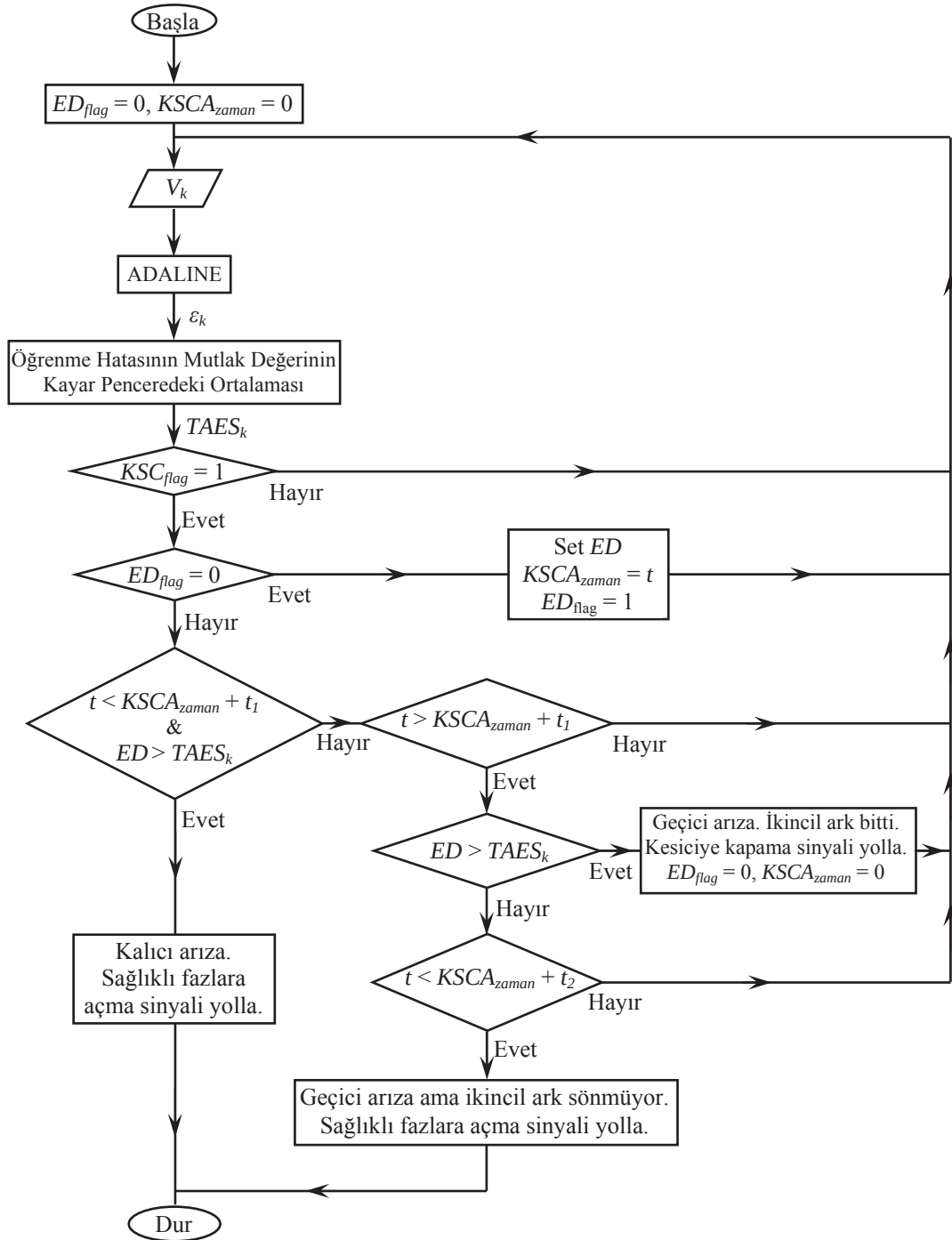
Şekil 5.2. (a) Geçici arıza gerilim dalga formu, (b) Kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c) Geçici arıza için $TAES$ indeksi, (d) Kalıcı arıza için $TAES$ indeksi.

Her iki arıza tipi içinde arıza olduğu anda $TAES$ değeri yükselmekte ve birkaç periyot içerisinde arıza öncesi değere geri gelmektedir. Kesicinin açılmasını takiben, arızanın kalıcı olması durumunda $TAES$ değeri tekrar yükselmekte ve tekrar arıza öncesi değerine geri gelmektedir. Kesicinin açılmasını takiben, arızanın geçici olması durumunda ise $TAES$ değeri yükselmekte ve birkaç periyot sonrasında azalarak salınımlı bir değişim göstermektedir. Ancak $TAES$ değeri kalıcı arızada olduğu gibi arıza öncesi değere, ikincil arkın bitişine kadar dönmemektedir. Arıza öncesi değere geri oturma ikincil arkın bitişini ifade etmektedir. Tanımlanan $TAES$ indeksinin arıza

tipine karar verme yeteneğine sahip olduğu ve geçici arıza tipi için ikincil arkın bitiş zamanını belirlemede kullanılabilecek etkin bir araç olduğu Şekil 5.2'den görülebilmektedir.

Arıza tipine karar verme aşamasında kullanılacak Eşik Değeri (ED)'nin belirlenmesi metodun performansı açısından önemlidir. $TAES$ indeksi sürekli olarak hesaplanan bir indekstir. Kesicinin açılma bilgisi alındığında ($KSC_{flag}=1$) ilk olarak ED_{flag} değeri kontrol edilir. ED_{flag} değerinin 0 olması ED 'nin değerinin ve kesicilerin arızalı fazı ayırdığı zamanın ($KSCA_{zaman}$) atanmadığını ifade etmektedir. ED $TAES$ indeksinin eski değerlerinden atanır. Bu nedenle hesaplanan $TAES$ indeksinin eski değerleri saklanmaktadır. ED_{flag} değerinin 1 haline gelmesi ile arıza tipine karar verme mekanizması çalışmaya başlamaktadır. Önerilen metodun akış diyagramı Şekil 5.3'de verilmiştir.

Kesicinin arızalı fazı ayırmasından sonra belli bir süre (t_1) boyunca hesaplanan $TAES$ değeri eşik değeri ile kıyaslanmaktadır. Eşik değeri civarında kalınması durumu arıza tipinin kalıcı olduğu anlamına gelmekte ve sağlıklı fazların kesicilerine açma sinyali yollanmaktadır. Eşik değerinin çok üzerinde kalınması durumu arıza tipinin geçici olduğu anlamına gelmekte ve geri kapamanın yapılabilmesi için ikincil arkın temizlenme zamanının belirlenmesi gerekmektedir. Arıza tipinin geçici olduğuna karar verilmesinden itibaren $TAES$ değerinin eşik değeri civarlarına tekrar ulaşması ikincil arkın bittiği anlamına gelmektedir. Bu durumda arızalı fazın açık kesicilerine kapama sinyali yollanır ve sistem arıza öncesi durumuna geri dönmüş olur. Eğer ikincil arkın bitiş zamanı sistemin kararlılıktan çıkmadan iki faz ile çalışabileceği azami süreden (t_2) fazla ise sağlıklı fazların kesicilerine açma sinyali yollanır ve sistemin kararlılıktan çıkmasına izin verilmez.



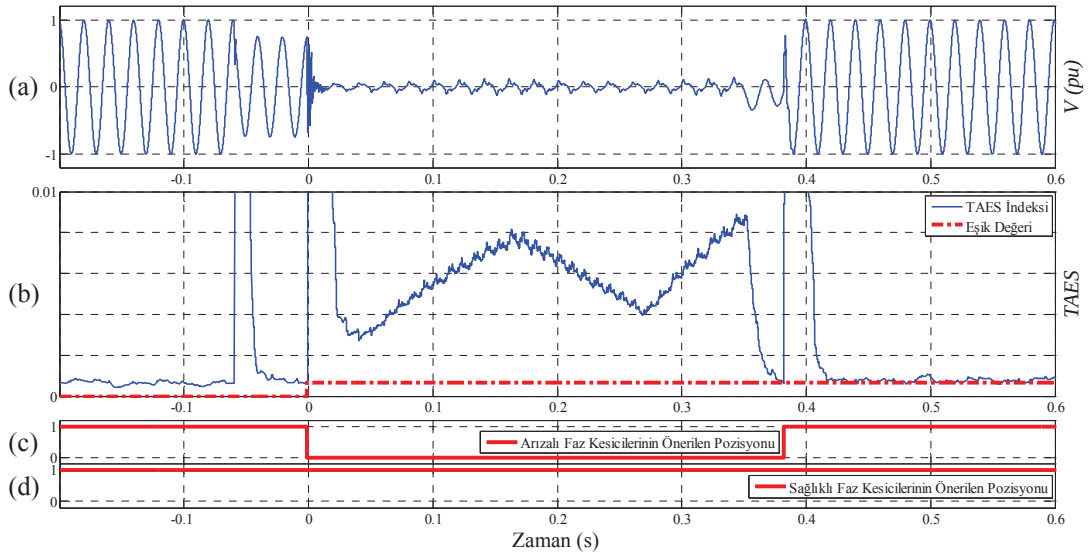
Şekil 5.3. Önerilen metodun akış diyagramı.

5.3. Geliştirilen Algoritmanın Simülasyonla İncelenmesi

Önerilen metodun performansı, detayları Ek 1’de verilen test sistemi üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Önerilen metodun Şekil 5.3’de verilen akış diyagramında tanımlanan tüm koşullarda çalıştığının gösterilmesi amacıyla $V_R/V_S=0.96$, yük açısı $\delta=9^\circ$ koşulunda hattın ortasında meydana gelen kalıcı

ve geçici FTKD'leri oluşturulmuştur. Tüm simülasyonlarda arıza, meydana geldikten üç periyot sonra arızalı faza ait hat başı ve hat sonu kesicilerinin arızalı fazı enerjisiz bırakmasıyla, $t=0$ anında temizlenmektedir. Önerilen metot 64 örnek/periyot ile çalıştırılmıştır.

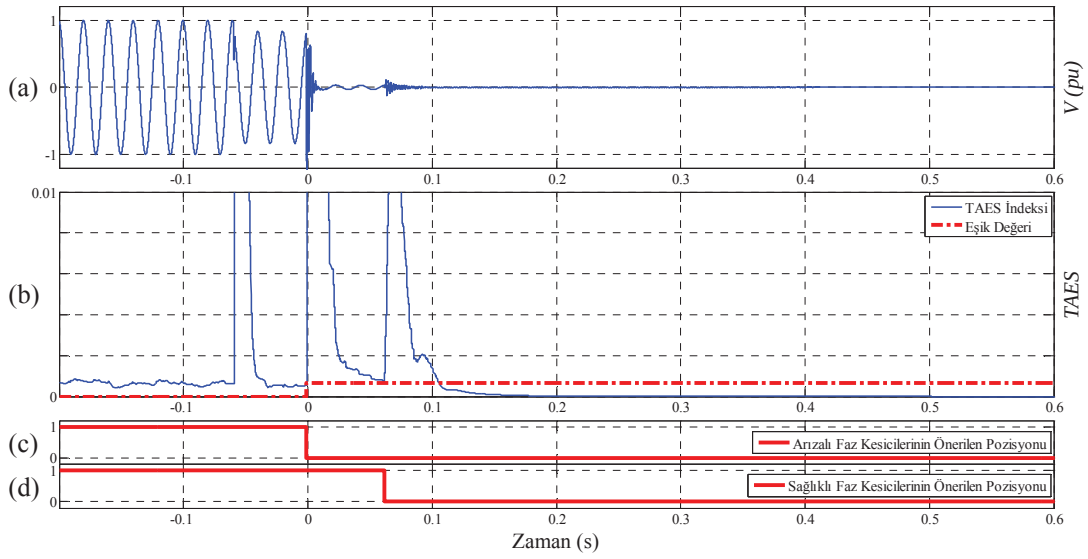
İletim hattının ortasında meydana gelen geçici arıza için simülasyon sonuçları Şekil 5.4'de verilmiştir. Kesicilerin arızalı fazı enerjisiz bırakmasından sonra ortaya çıkan ikincil ark yaklaşık 0.35 saniye sonra kendiliğinden sönmektedir. Sonrasında görülen toparlanma geriliminin dalga formu sinüse çok yakındır ve açık bir şekilde arkın mevcut olduğu süreçten ayırt edilebilmektedir. Hat başından görülen geçici arızaya ait gerilim dalga formu ve bu dalga formuna ait *TAES* indeksi sırasıyla Şekil 5.4-a ve b'de görülmektedir.



Şekil 5.4. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

TAES indeksinin arıza öncesi değerine bakıldığında neredeyse sabit bir değerde olduğu, arızanın meydana geldiği anda çarpıcı bir değişim gösterdiği gözlenmektedir. Bu tarz çarpıcı değişimler gerilim dalga formunun her ciddi değişimde gözlenebilmektedir. İkincil ark temizlendiğinde *TAES* indeksi gerilim dalga formunun sinüzoidal olduğu arıza öncesi değerinin de altına inmektedir. Sonrasında arızalı fazın kesicilerine geri kapama sinyali yollanmakta ve geri kapama işlemi gerçekleşmektedir. Geçici arıza süresince kesicilerin önerilen pozisyonları Şekil 5.4-c ve d'de görülmektedir.

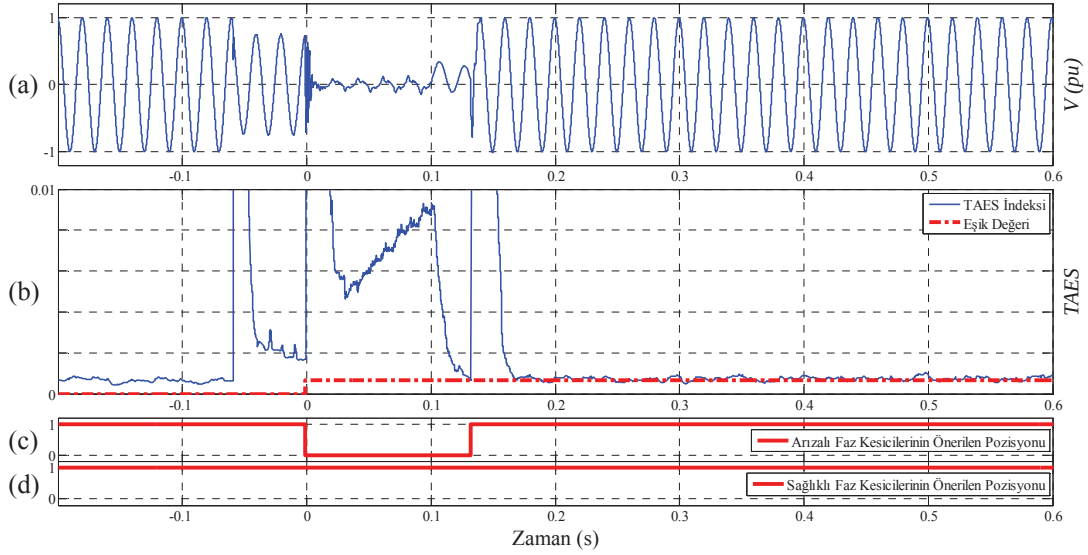
İletim hattının ortasında meydana gelen kalıcı arızanın simülasyon sonuçları Şekil 5.5’de verilmiştir. Hat başından görülen kalıcı arızaya ait gerilim dalga formu ve bu dalga formuna ait *TAES* indeksi sırasıyla Şekil 5.5-a ve b’de görülmektedir. Arızalı faz kesicileri, arızalı fazı enerjisiz bıraktıktan sonra görülen artık gerilim (remaining voltage) neredeyse sinüs formundadır. *TAES* indeksi kısa bir süre sonrasında arıza öncesi değerinin altına iner ve sonrasında tüm kesicileri açma sinyali yollanarak fazlar enerjisiz hale getirilir. Kalıcı arıza süresince kesicilerin önerilen pozisyonları Şekil 5.5-c ve d’de görülmektedir.



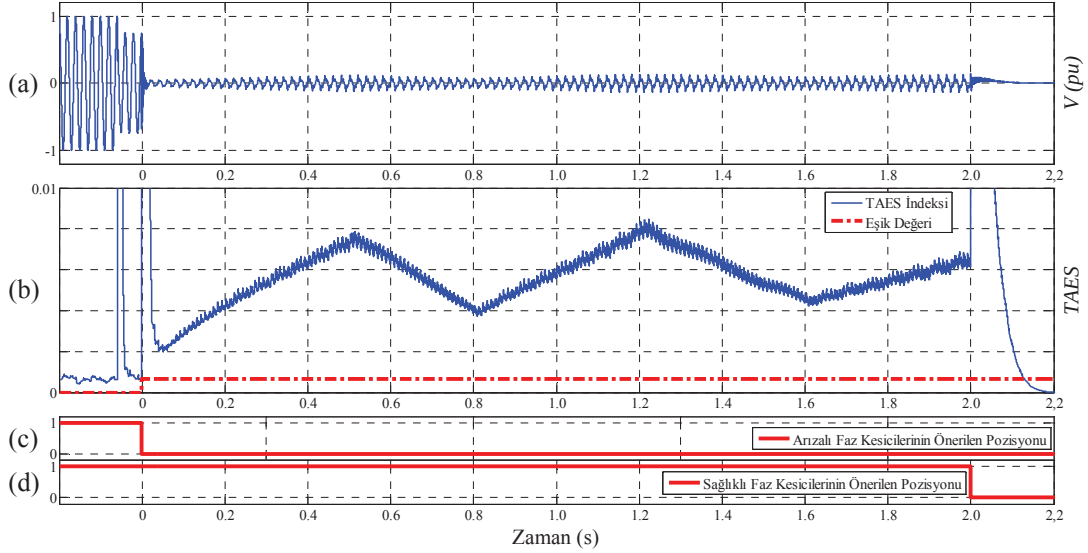
Şekil 5.5. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

Önerilen metodun ikincil ark süresi kısa olan geçici arızalardaki davranışı Şekil 5.6 verilmiştir. Metot ikincil ark süresinin kısalığından etkilenmeden arıza tipine başarılı bir şekilde karar verebilmektedir.

Önerilen metodun ikincil ark süresi uzun olan geçici arızalardaki davranışı ise Şekil 5.7’de verilmiştir. Geçici arıza için ikincil arkın bitme süresinin sınırlandırılabilirdiğini göstermek amacıyla maksimum bekleme süresi 2.00 saniye seçilmiştir. Metot arıza tipinin geçici olduğuna karar verdiği halde güç sisteminin kararlılıktan çıkmasına izin vermemek için sağlıklı fazlara açma sinyalini başarıyla yollamıştır.

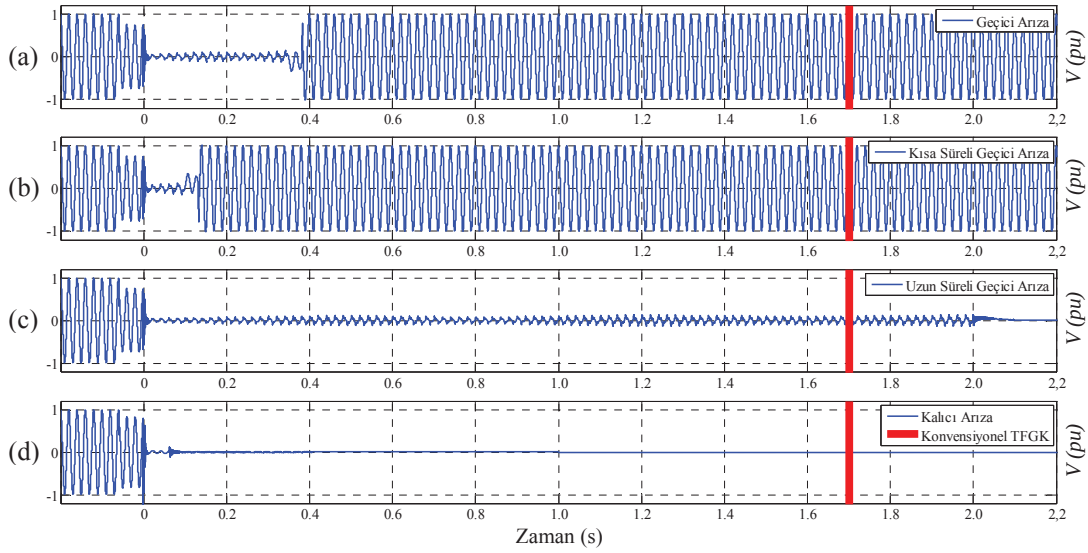


Şekil 5.6. (a) Önerilen metot ile kısa süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.



Şekil 5.7. (a) Önerilen metot ile uzun süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TAES* indeksi ve eşik değeri, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

Önerilen metodun Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 verilen farklı arıza durumuna ilişkin gerilim dalga formlardaki performansı Şekil 5.8’de toplu olarak verilmiştir. Şekilde görülen konvansiyonel TFGK isimli koyu renkli çizgi, konvansiyonel TFGK rölesinin bekleme süresi olan 1.5 saniye ve kesicinin röleye cevap verme süresi olan 0.2 saniyenin toplamı olan 1.7 saniyelik bekleme süresini ifade etmektedir. Önerilen metodun, konvansiyonel TFGK rölesine kıyasla sunduğu, arıza tipi algılama ve sistemin sürekliliğinin korunması konusundaki, avantajlar Şekil 5.8’den görülebilmektedir.



Şekil 5.8. Farklı arıza durumları için önerilen metodun performansının toplu gösterimi.

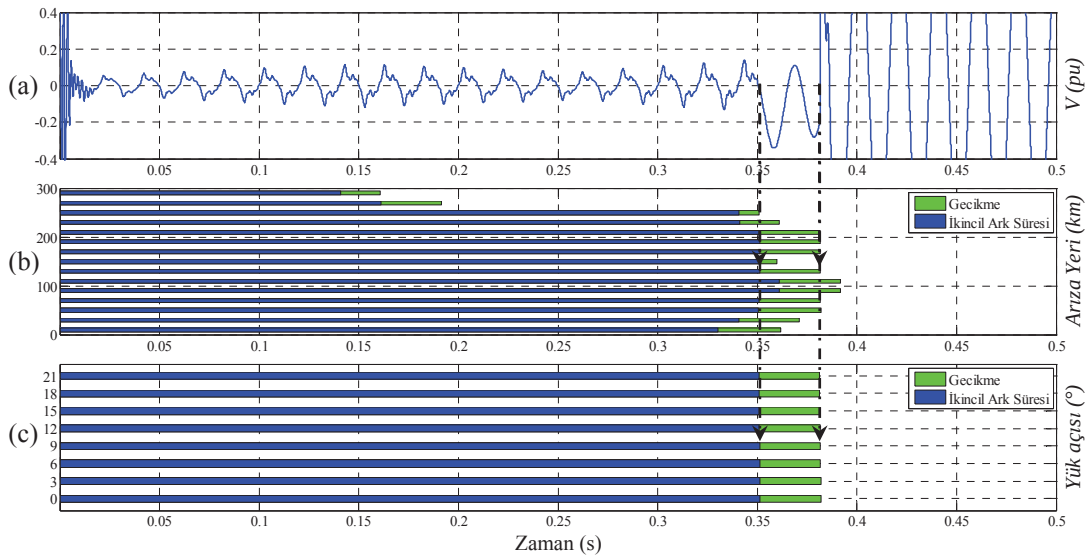
Arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarının önerilen metodun performansı üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için farklı sistem koşullarında simülasyonlar yapılmıştır. Hat başı ve hat sonu gerilimlerinin oranı $V_R/V_S=0.96$ değerinde sabit tutulmak şartıyla sistemin yük açısı 0° ile 21° arasında 3° 'lük adımlarla değiştirilmiştir. Eş zamanlı olarak arıza yeri de 300km'lik hat için 10km'lik adımlarla değiştirilmiştir.

Önerilen metodun geçici arıza algılama performansının, arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarına bağlı değişimi Şekil 5.9'da verilmiştir. Yük açısının 9° 'de olması durumunda hat başından 130km uzakta meydana gelen geçici arıza için arızalı fazın gerilim dalga formu Şekil 5.9-a'da görülmektedir. Dalga formu incelendiğinde ikincil arkın bitiş zamanı ile önerilen metodun kesicilere geri kapama sinyali yollaması arasında gecikme olduğu görülmektedir.

Bu gecikmeyi iki nedeni bulunmaktadır. Birinci neden toparlanma geriliminin yapısında bulunan azalan DA geriliminin başlangıç genliğinin değeridir. Önerilen metod, gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki fark ile çalıştığından, DA bileşenden etkilenmektedir. İkincil ark süresi, ortak endüktans ve iletim hattında depo edilen enerji ile ilişkilidir. Arıza yeri değiştiğinde arıza noktasından görülen empedans değişecektir. Buna bağlı olarak ikincil ark süresi ve arkın kesilme zamanı değişebilir. Toparlanma geriliminin başlangıcında görülen azalan DA gerilimi başlangıç genliği, ikincil ark kesilme zamanının da içinde olduğu birçok değişkene

bağlıdır. İkinci neden ise ark süresince gerilim dalga formunun, rüzgâr ve iyonizasyon gibi çevresel faktörlere bağlı olarak değişmesi ve bu durumun Adaline'nın öğrenme performansını etkilemesidir. Bu iki nedenden dolayı ikincil ark bitiş zamanının belirlenmesi rastgele değişmektedir.

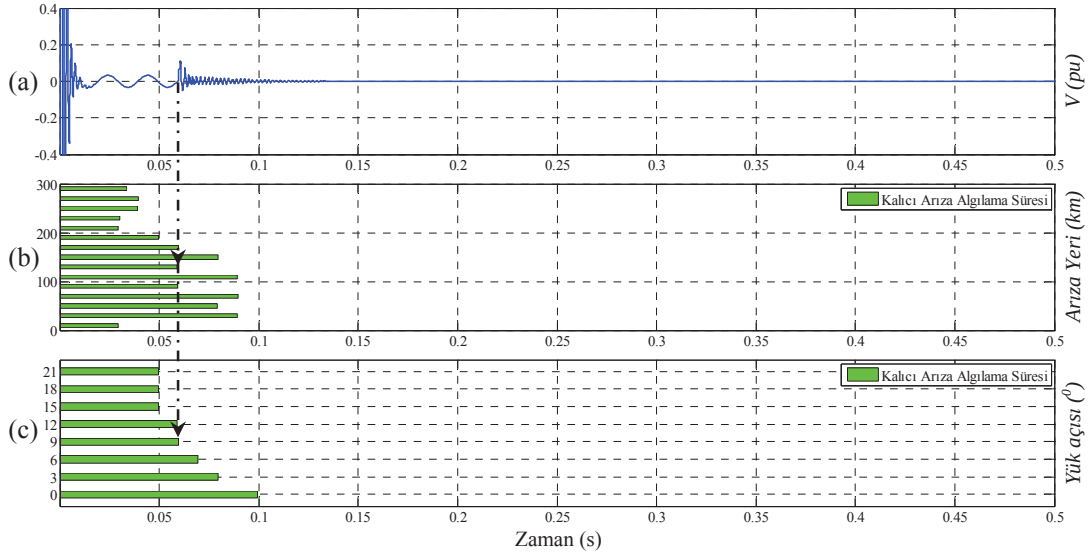
İkincil ark süresinin değişimi ve önerilen metodun kesicilere geri kapama sinyali yollaması arasındaki gecikme, yük açısı 9° iken farklı arıza noktaları için Şekil 5.9-b'de verilmiştir. İkincil ark dalga formu aynı zamanda gerilim - akım genlik ve açılarına bağlıdır. Dolayısıyla yüklenme koşullarına bağlıdır. Şekil 5.9-c'de hat başından 130km uzakta meydana gelen geçici arıza için ikincil ark süresi ve gecikmenin yük açısına bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 5.9. (a) Önerilen metod ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre ikincil ark süresi ve gecikme.

Önerilen metodun kalıcı arıza algılama performansının, arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarına bağlı değişimi Şekil 5.10'da verilmiştir. Yük açısının 9° 'de olması durumunda hat başından 130km uzakta meydana gelen kalıcı arıza için arızalı fazın gerilim dalga formu Şekil 5.10-a'da görülmektedir. Arıza yeri değiştiğinde arıza noktasından görülen empedans değişecektir. Bununla birlikte arıza öncesi yüklenme koşullarının değişimi de arıza empedansı üzerindeki gerilim düşümünü değiştireceğinden hat başından görülen artık gerilimin genliği değişecektir. Gerilim genliğindeki bu değişim Adaline'nın dalga formunu öğrenme sürecini etkileyen bir faktördür. Önerilen algoritmanın kalıcı arıza algılama süresinin

yük açısı 9° iken farklı arıza noktalarına göre değişimi Şekil 5.10-b’de verilmiştir. Benzer şekilde Şekil 5.10-c’de kalıcı arızanın hat başından 130km uzakta meydana gelmesi durumunda, önerilen algoritmanın kalıcı arıza algılama süresinin yük açısına bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 5.10. (a) Önerilen metod ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre kalıcı arıza sırasındaki *TAES* indeksi hesaplaması için geçen süre.

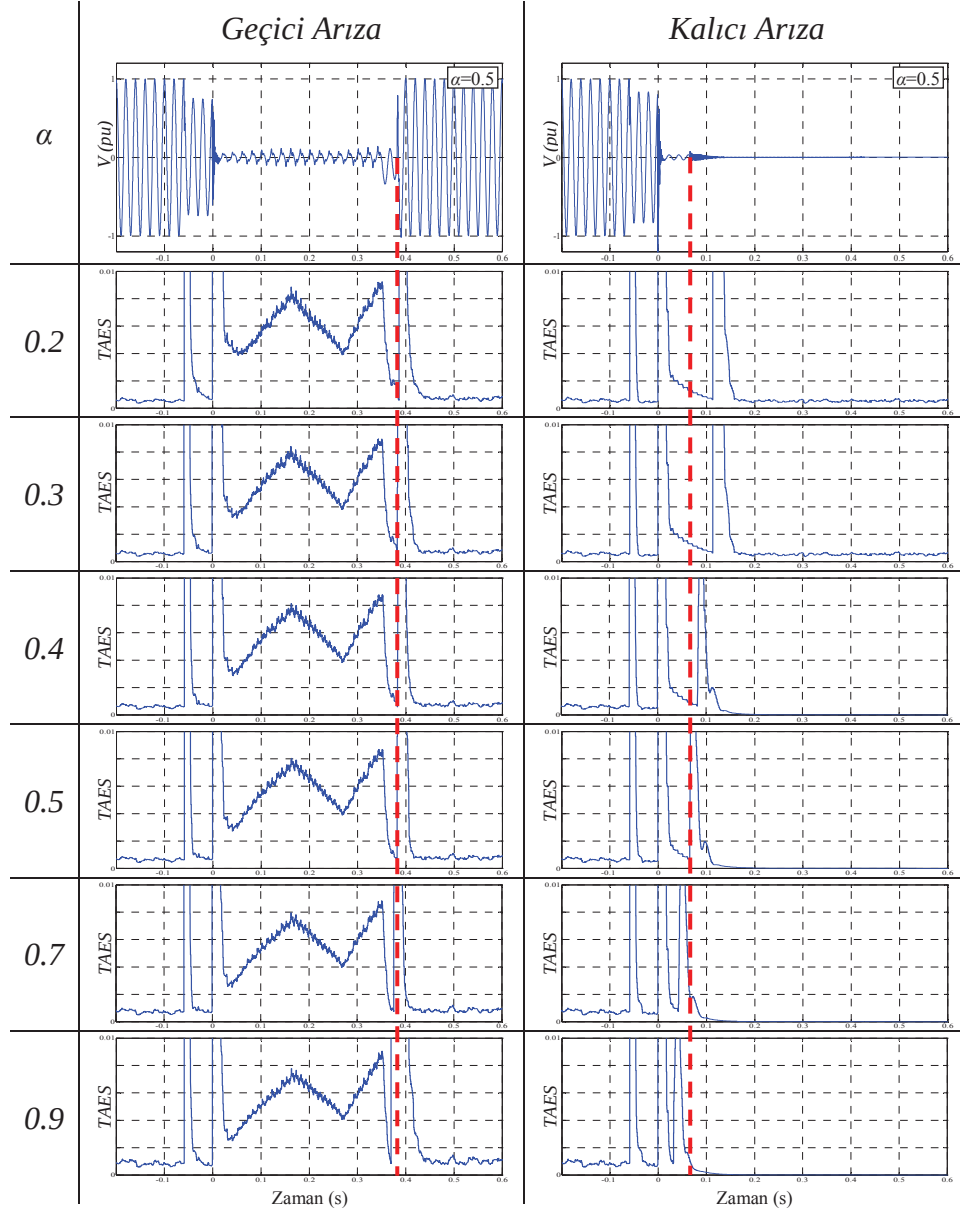
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 birlikte incelendiğinde önerilen metodun, değişken arıza yeri, yük açısı dolayısıyla yük akımının genliği ile oluşturulmuş, farklı gerilim dalga formları ile test edildiği anlaşılmaktadır. Oluşturulan arıza sayısı, yarısı kalıcı arıza olmak üzere, 464 adettir. Metod kalıcı ve geçici arızayı başarılı bir şekilde ayırt edebildiği gözlenmiştir. Öğrenme oranı (α) 0.5, giriş vektörü boyutu (N) 4 ve ortalama penceresi (N_s) 24 değerleri ile yapılan simülasyonlar neticesinde önerilen metodun performansı geçici arızalar için %100 iken kalıcı arıza için %93.96’dir.

Önerilen metodun performansı ortalama penceresinin boyutu (N_s) ve bekleme süresi (t_l) ile Adaline’nın temel tasarım parametreleri olan öğrenme oranı (α) ve giriş vektörü boyutu (N)’nun etkisi altındadır.

Öğrenme oranı (α) dalga formunun öğrenilme hızı, dolayısıyla öğrenme hatasının değişim hızı üzerinde önemli bir parametredir. Öğrenme hızındaki değişim arıza tipine karar verme sürecinde hatalara neden olabilmektedir. Uzun sürede yakınsayan bir kalıcı arıza geçici olarak algılanabilmektedir. *TAES* indeksinin

öğrenme oranı (α)'na bağlı değişimi Tablo 5.1'de verilmiştir. Giriş vektörü boyutu 4, ortalama penceresinin boyutu 32 ve bekleme süresi 0.1 saniye (beş periyot) seçilmiştir.

Tablo 5.1. Geçici ve kalıcı arıza için TAES indeksinin Öğrenme oranı (α)'na bağlı değişimi.

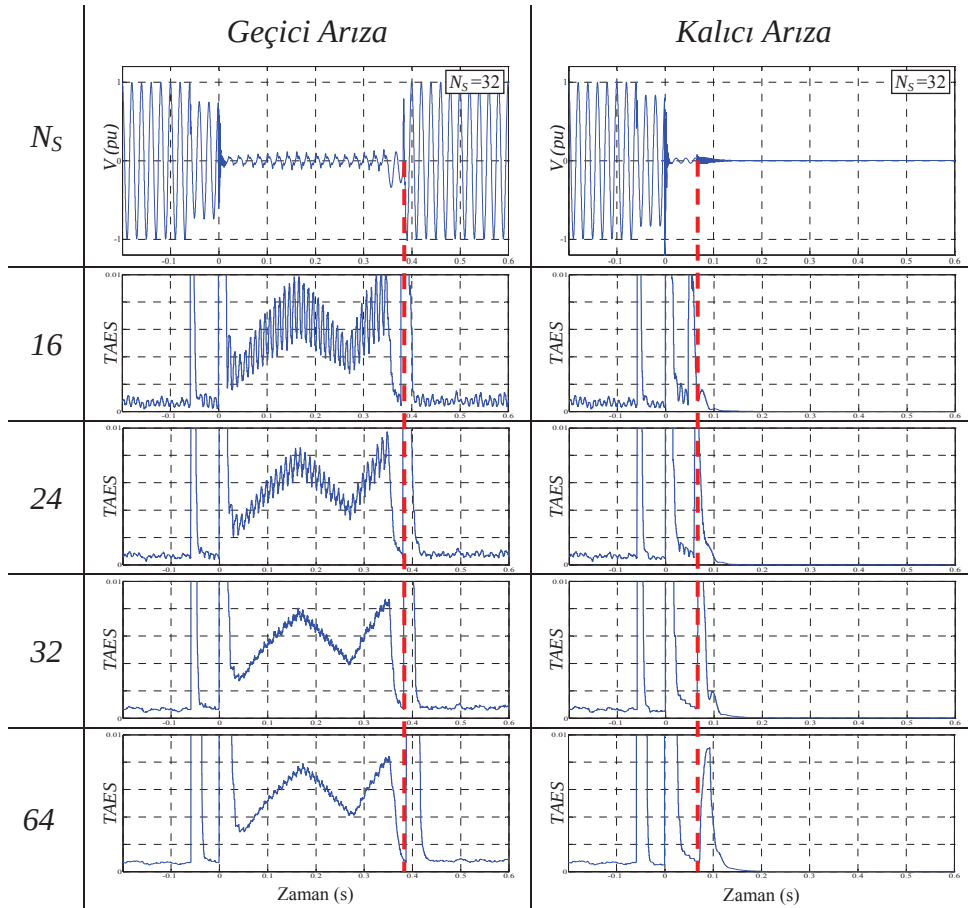


Kalıcı arıza için öğrenme oranının artışı, yakınsama hızını artırmaktadır. Öğrenme oranının 0.2 ve 0.3 değerleri için yakınsama süresi bekleme süresinden uzun olduğu için kalıcı arızanın geçici olarak algılandığı, öğrenme hatasının sıfıra oturmamasından anlaşılabilmektedir. Öğrenme oranının 0.4 ve daha büyük değerlerinde kalıcı arıza başarılı bir şekilde sınıflandırılabilmiştir. Dalga formunun sinüs tabanlı olması sebebiyle alfanın büyük değerleri kalıcı arızanın ve geçici arıza

sonrasındaki toparlanma geriliminin öğrenilmesinde hız artışı sağlamaktadır. Geçici arıza için *TAES* indeksinin ikincil ark süresince öğrenme oranının tüm değerlerine, küçük genlik değişiklikleri olmakla birlikte benzer bir değişim gösterdiği gözlenmektedir. İkincil arkın sönmesinden sonra ortaya çıkan toparlanma geriliminin öğrenilmesi sürecinde öğrenme oranının artışının etkili olduğu geri kapama zamanındaki azalmadan anlaşılabilmektedir.

TAES indeksinin ortalama penceresi boyutu (N_S)'na bağlı değişimi Tablo 5.2'de verilmiştir. Giriş vektörü boyutu 4, öğrenme oranı 0.5 ve bekleme süresi 0.1 saniye (beş periyot) seçilmiştir.

Tablo 5.2. Geçici ve kalıcı arıza için *TAES* indeksinin ortalama penceresi boyutu (N_S)'na bağlı değişimi.

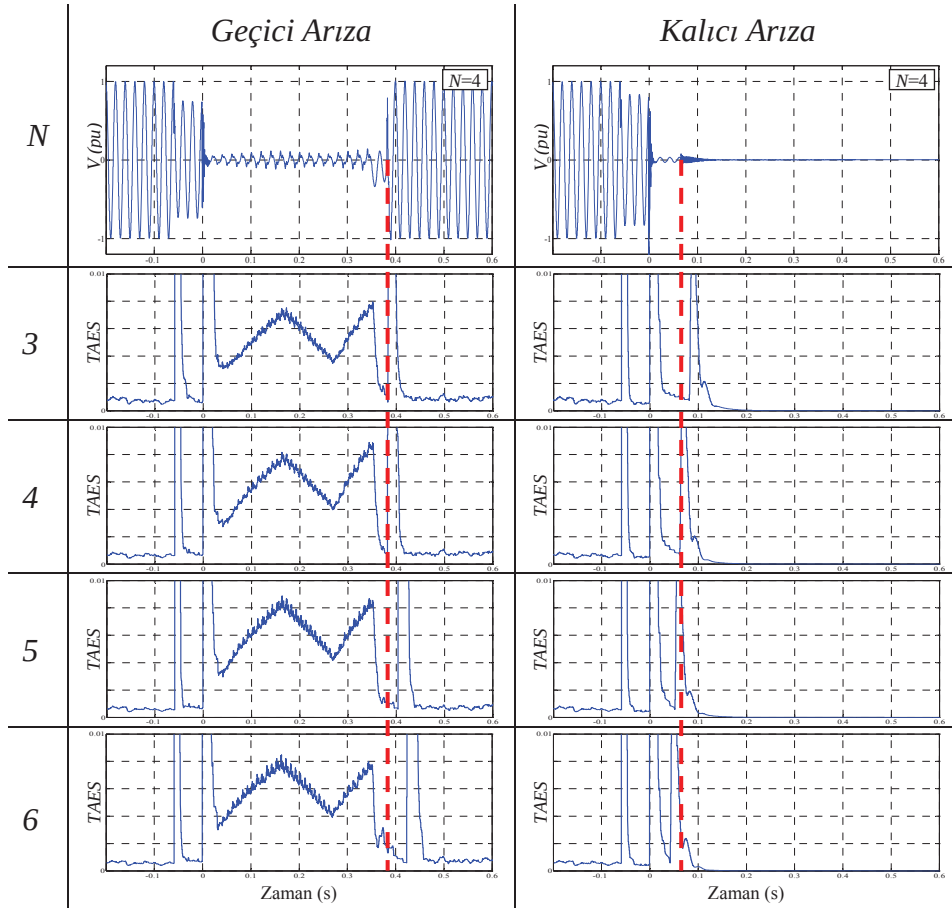


Ortalama penceresinin boyutu büyüdükçe *TAES* indeksinin daha yumuşak bir değişim gösterdiği Tablo 5.2'den görülmektedir. Bununla birlikte metodun cevap süresi ortalama penceresinin boyutunun büyümesinden olumsuz etkilenmektedir. Bunun nedeni ortalama penceresi boyutunun büyümesine bağlı olarak pencere içine

giren örneklerde yaşanan değişimin ortalama penceresi boyutu küçük olanlara kıyasla daha az değişime neden olmasıdır. Ortalama pencere boyutunun küçük seçilmesi ise eşik değerinin belirlenmesinde ve arıza tipine karar verme amacıyla kullanımında sorun yaratmaktadır.

Literatürde sinüs dalga formundan meydana gelen değişimlerin algılanması ile ilgili çalışmalarda Adaline giriş vektörü boyutunun 4 seçilmesinin yeterli olduğu, boyutun büyütülmesinin işlem gücü gereksinimini artırdığı belirtilmiştir. *TAES* indeksinin giriş vektörü boyutuna bağlı değişimi Tablo 5.3’de verilmiştir. Öğrenme oranı 0.5, ortalama penceresinin boyutu 32 ve bekleme süresi 0.1 saniye (beş periyot) seçilmiştir.

Tablo 5.3. Geçici ve kalıcı arıza için *TAES* indeksinin giriş vektörü boyutu (N)’na bağlı değişimi.



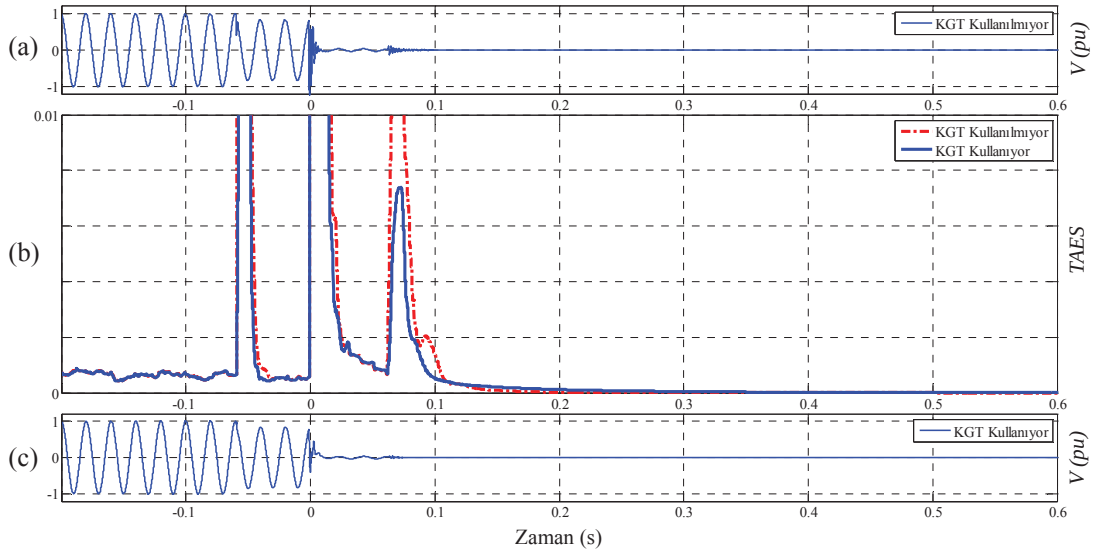
Giriş vektörü boyutunun artışı kalıcı arıza yakınsama süresini kılmasına neden olduğu görülmektedir. Geçici arıza için ise *TAES* indeksinin ikincil ark süresince, küçük genlik değişiklikleri olmakla birlikte benzer bir değişim gösterdiği,

ikincil arkın sönmesinden sonra ortaya çıkan toparlanma geriliminin öğrenilmesi sürecinde yakınsama süresinin uzamasına neden olduğu görülmektedir. Bununla birlikte giriş vektörü boyutunun artması işlem süresinde artışa neden olmaktadır.

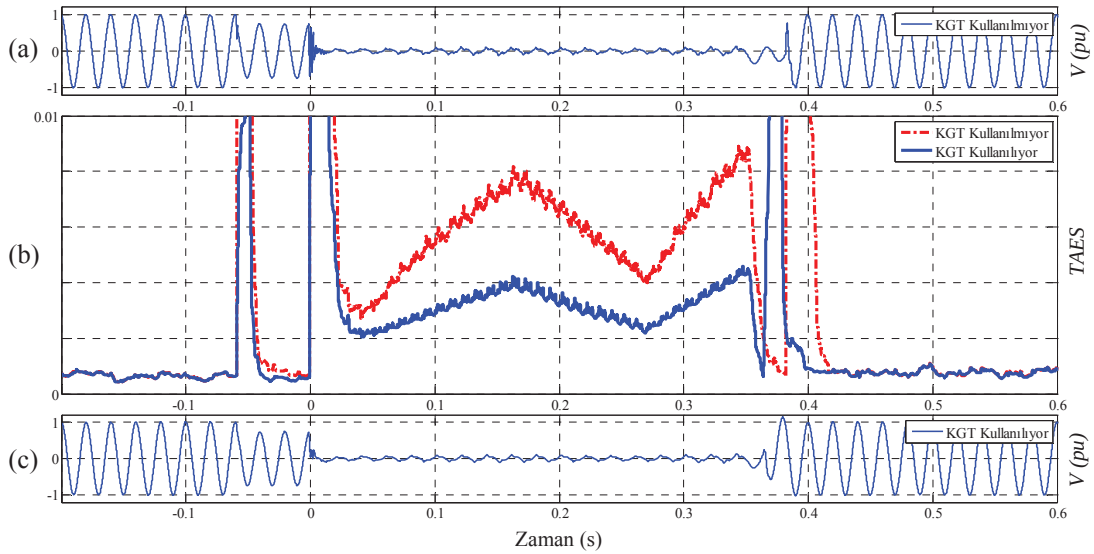
Bekleme süresi ile ilgili olarak parametrik analiz sonucu verilmemekle birlikte Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 birlikte değerlendirildiğinde değiştirilen her parametrenin yakınsama süresini etkilediği görülmektedir. Benzer şekilde karar verme mekanizmasında kullanılan sabit bekleme süresinin farklı değerlerinin de metodun performansı üzerinde etkili olması beklenmektedir.

Önerilen metodun performansı üzerinde etkili olan bir diğer değişken de ölçüm için yaygın olarak kullanılan KGT'lerdir. Sürekli halde gerilim genliğini ölçülebilir seviyelere düşürmek amacıyla kullanılan KGT'ler arıza anında gerilim dalga formunda değişime neden olmaktadır. KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, kalıcı ve geçici arıza için sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir. Kalıcı arıza için KGT'li ve KGT'siz örneklenmiş gerilim dalga formları Şekil 5.11-a ve c'de görülmektedir. İki dalga formu birlikte incelendiğinde TFGK rölesinin arızalı fazı ayırması sırasında ortaya çıkan geçiciliğin büyük oranda filtrelendiği görülmektedir. KGT ile örneklenmiş dalga formu ile hesaplanan *TAES* indeksinin, KGT olmadan hesaplanana göre daha hızla yakınsadığı ve sağlıklı fazlara açma sinyali yolladığı Şekil 5.11-b'den anlaşılabilmektedir.

Geçici arıza için KGT'li ve KGT'siz örneklenmiş gerilim dalga formları Şekil 5.12-a ve c'de görülmektedir. İki dalga formu birlikte incelendiğinde TFGK rölesinin arızalı fazı ayırması sırasında ortaya çıkan geçiciliğin büyük oranda filtrelendiği ve ikincil arkın bitişinden sonra ortaya çıkan toparlanma geriliminde görülen DA bileşeninin azaldığı görülmektedir. KGT ile örneklenmiş dalga formu ile hesaplanan *TAES* indeksinin, KGT olmadan hesaplanana *TAES* indeksine göre farklı bir değişim göstermekle birlikte ikincil ark süresince dalga formunun öğrenilemediği ve hatanın yüksek olduğu Şekil 5.12-b'den görülmektedir. Bununla birlikte ikincil arkın bitişinden sonra, DA bileşeninin de filtrelenmesiyle, KGT olmadan hesaplanan *TAES* indeksine göre dalga formunun daha kısa sürede öğrenildiği ve arızalı faz kesicilerine geri kapama sinyali yolladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5.11. Kalıcı arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan TAES indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.



Şekil 5.12. Geçici arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan TAES indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.

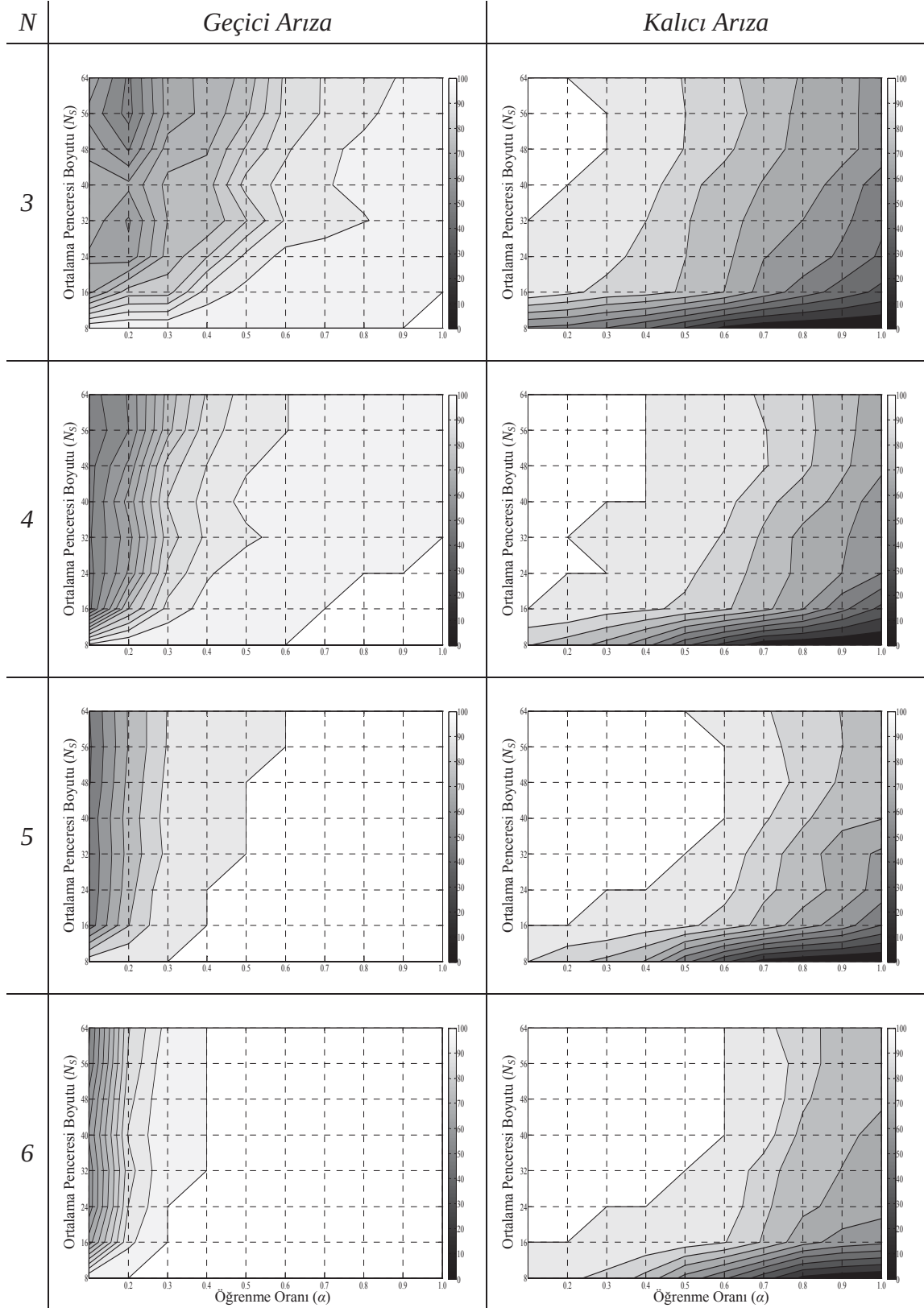
Karar verme aşamasında sabit bekleme süresi kullanıldığı göz önüne alındığında, KGT kullanımının yakınsama hızında sağlanan artış sebebiyle önerilen metodun performansının olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

Önerilen metodun performansının ortalama penceresinin boyutu, öğrenme oranı ve Adaline giriş vektörü boyutunun etkisi altında olduğu göz önüne alınarak en uygun değerlerin belirlenmesi için KGT modelinin de kullanıldığı bir dizi simülasyon yapılmıştır.

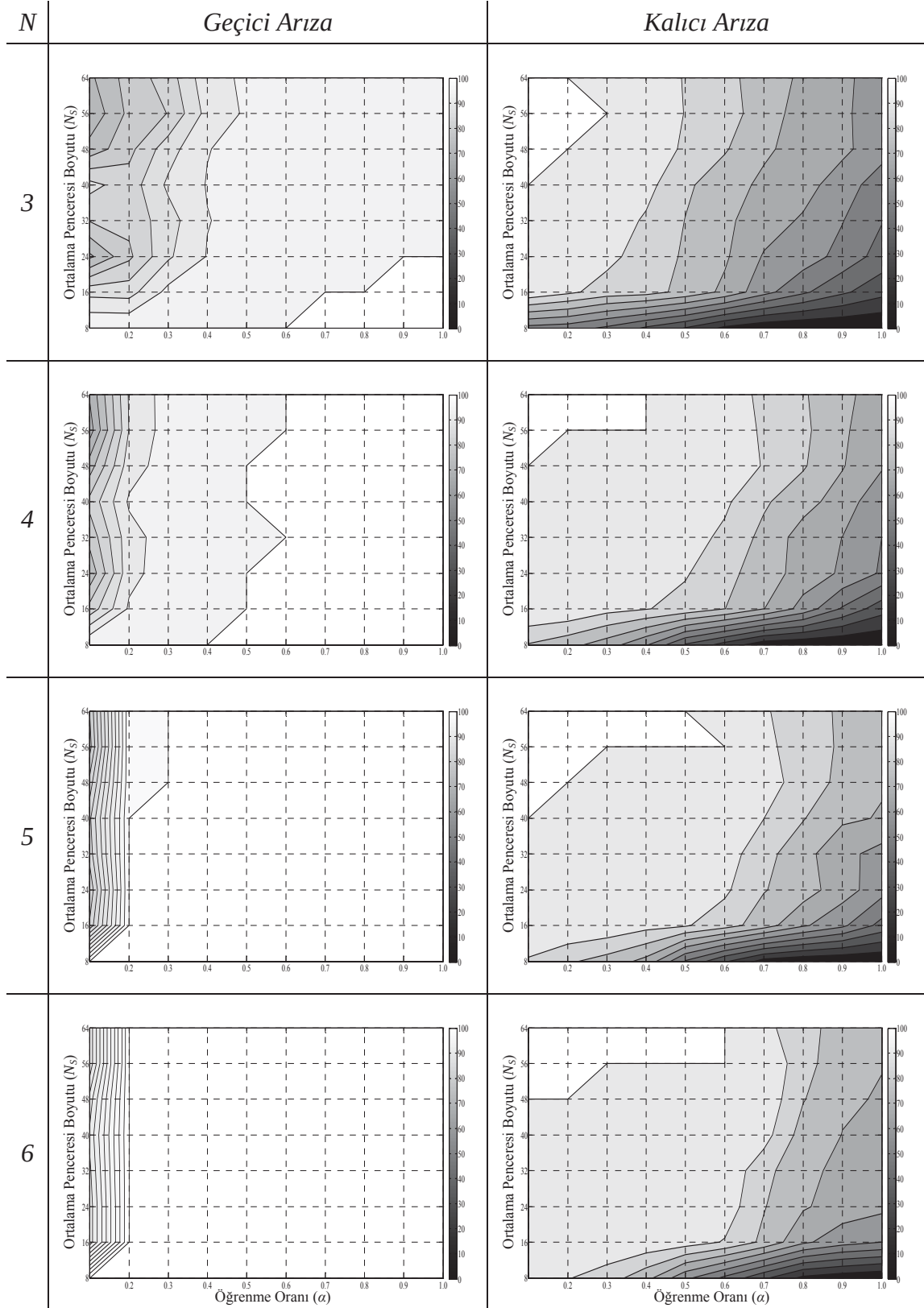
Bu simülasyonlarda öğrenme oranı, literatürde pratik değişim aralığı olarak tanımlanan, $[0.1 \ 1]$ aralığında değişken tutulmuştur. En uygun ortalama penceresi boyutu (N_S) değeri için 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56 ve 64 değerleri denenmiştir. Adaline giriş vektörü boyutu (N) için 3, 4, 5 ve 6 değerleri kullanılmıştır. Bekleme süresi (t_I) 0.10 saniye (beş periyot), 0.15 saniye (yedi buçuk periyot) ve 0.20 saniye (on periyot) değerlerinde seçilmiştir. Toplamda 960 farklı durum için simülasyon yapılmıştır. Her bir simülasyonda, geçici ve kalıcı arıza durumlarında, 29 farklı arıza yeri ve 8 arıza öncesi yüklenme koşulu olmak üzere toplam 464 farklı arıza senaryosu oluşturulmuştur. Toplamda yapılan simülasyon sayısı 445440'tır.

Bekleme süresi (t_I) 0.10 saniye, 0.15 saniye ve 0.20 saniye değerleri için *TAES* indeksinin parametrik değişimleri sırasıyla Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 verilmiştir.

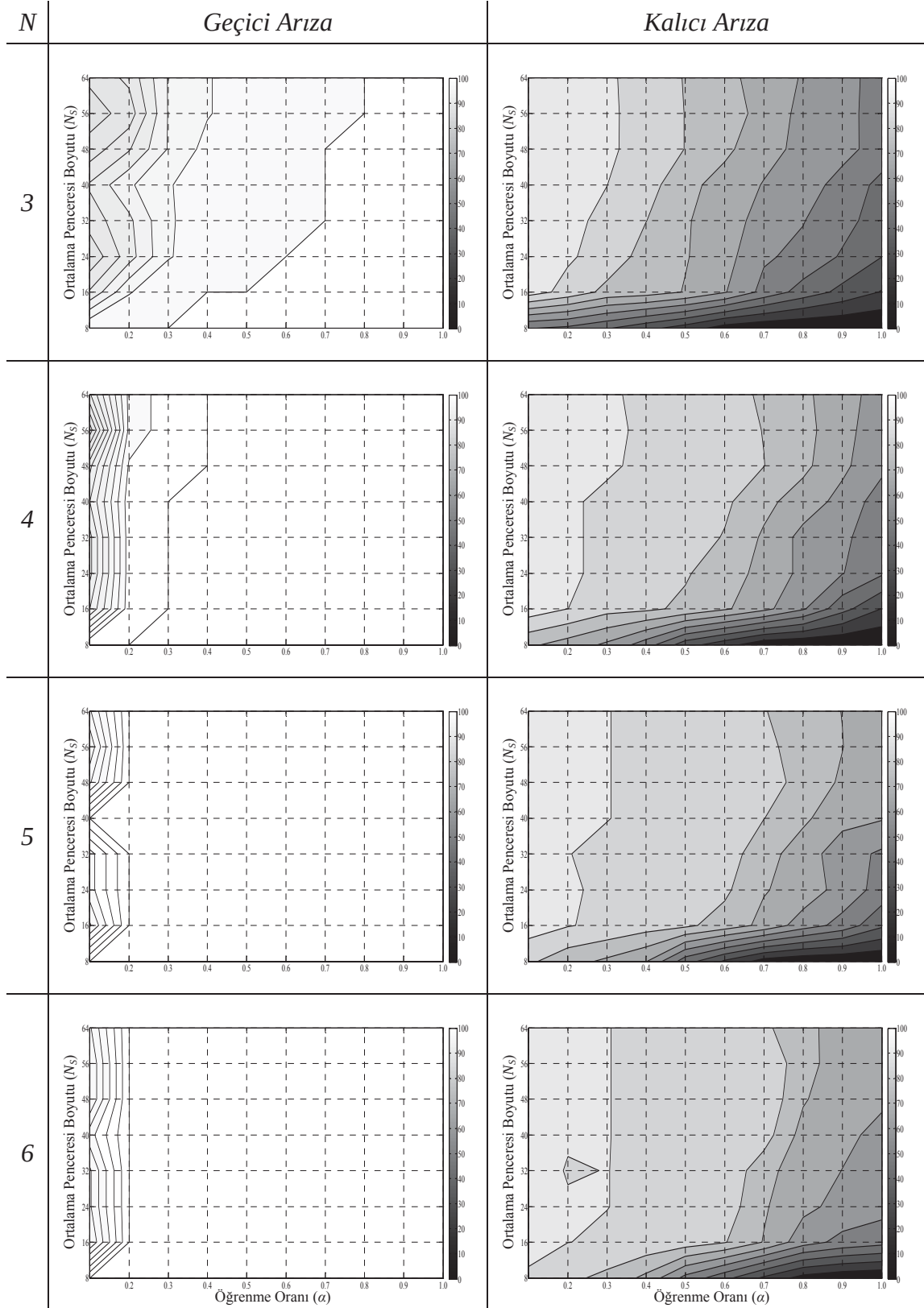
Tablo 5.4. Bekleme süresi (t_1) 0.10 saniye için TAES indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.



Tablo 5.5. Bekleme süresi (t_1) 0.15 saniye için TAES indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.



Tablo 5.6. Bekleme süresi (t_1) 0.20 saniye için TAES indeksinin giriş vektörü boyutu, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.

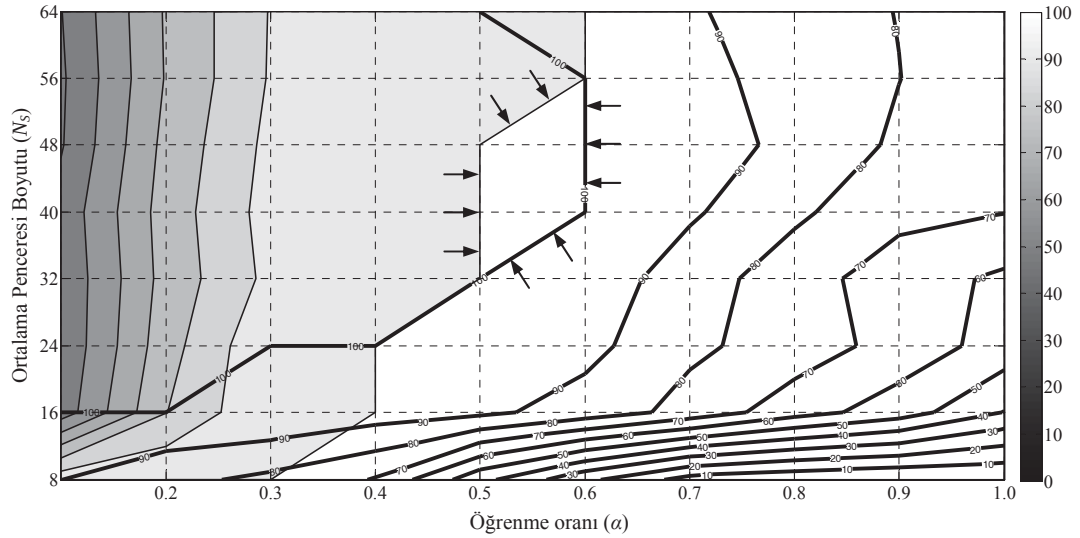


Hem kalıcı hem de geçici arıza için, Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 birlikte değerlendirildiğinde işlem gücünde artışa neden olmakla birlikte, giriş vektörü boyutunun artışının performans artışı sağladığı görülmektedir. Ortalama penceresinin boyutu (N_S) ve öğrenme oranı (α)'nın da arıza algılama performansı üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Öğrenme oranı (α)'nın büyümesi geçici arıza için algılama performansını artırırken, kalıcı arıza algılama performansının düşmesine neden olmaktadır. Bunun nedeni öğrenme oranının küçük seçilmesinin öğrenme süresinin uzamasına sebep olması ve buna bağlı olarak kalıcı arıza dalga formunun karar sürecinin içinde öğrenilememesidir.

Ortalama penceresinin boyutu (N_S)'nun artışı yakınsama süresinin uzamasına neden olmaktadır. Yakınsama süresindeki bu gecikme kalıcı arızanın geçici olarak algılanmasına, dolayısıyla kalıcı arıza algılama performansının düşmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte kalıcı olarak algılanan geçici arızaların sayısında azalmaya neden olması sebebiyle geçici arıza algılama performansının da artmasına neden olmaktadır. Ortalama penceresinin boyutu (N_S)'nun artışı işlem gücü gereksinimini de beraberinde getirmektedir.

İşlem gücü açısından öğrenme oranını değeri önerilen metodun performansını etkilememektedir. Bu durumda önerilen metodun performansının, en küçük bekleme süresi (t_1)'nde, ortalama penceresi boyutu (N_S)'nun ve giriş vektörü boyutu (N)'nun da işlem gücünü artırmaması amacıyla küçük olması şartıyla, hem kalıcı hem de geçici arızada %100 olması beklenmektedir. Bu koşul bekleme süresi (t_1)'nin 0.10 saniye ve giriş vektörü boyutu (N)'nun 5 olduğu durumda sağlanmaktadır. En uygun öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutunun belirlenebilmesi amacıyla üst üste çizilmiş kalıcı ve geçici arıza performans eş yükselti eğrileri Şekil 5.13'de görülmektedir.



Şekil 5.13. Bekleme süresi (t_1) 0.10 saniye ve giriş vektörü boyutu (N) 5 için, üst üste çizilmiş, öğrenme oranı ve ortalama penceresi boyutuna bağlı, geçici ve kalıcı arıza performans eş yükselti eğrileri.

Çevresi oklarla işaretlenmiş alan her iki arıza tipinin de %100 performansla sınıflandırıldığı alanı temsil etmektedir. Bu alan içinde ortalama penceresi boyutu en küçük değer 32'dir. Bu değere karşılık gelen öğrenme oranı değeri ise 0.5'tir.

Bu durumda TAES için en uygun parametreler, giriş vektörü boyutu (N)'nun 5, öğrenme oranı (α)'nın 0.5, ortalama penceresi boyutu (N_s)'nu 32 ve bekleme süresi (t_1)'nin 0.1 saniye değerleridir. Bu değerlerle simülasyon ortamında kalıcı ve geçici arızaların tamamı doğru olarak sınıflandırılabilir.

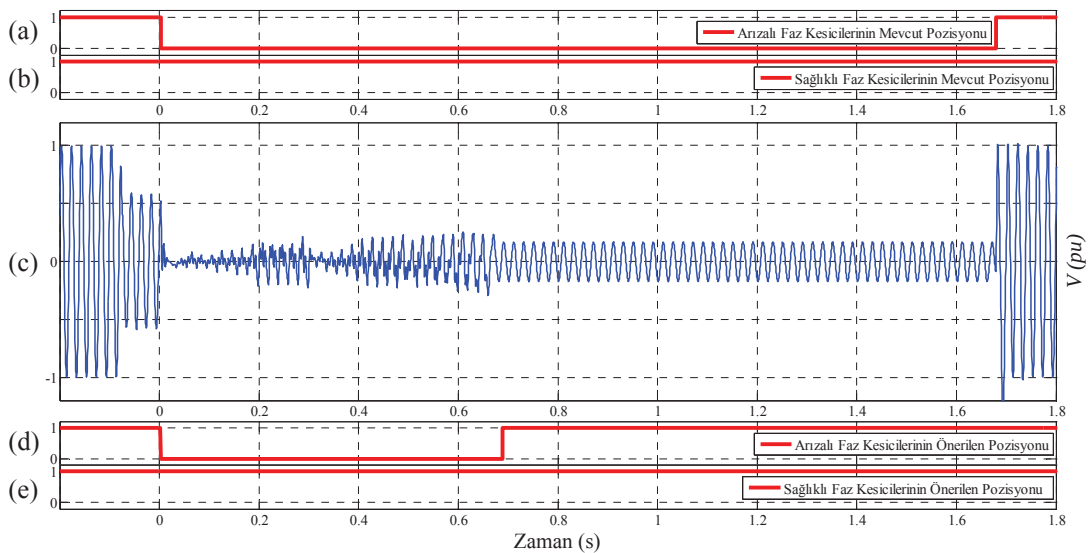
5.4. Saha verisi uygulaması

Önerilen metodun performansı Türkiye Ulusal Şebekesinden alınan veriler ile de test edilmiştir. Bu amaçla önerilen metot Erzin-Gaziantep II ENH'ndaki TFGK sisteminden alınan FTKD verilerine uygulanmıştır. Kullanılan veri setinin örnekleme frekansı 5kHz (40örnek/periyot)'dir. Kullanılan Adaline'da, öğrenme oranı 0.5, ortalama penceresi boyutu 20, bekleme süresi 0.1 saniye ve giriş vektörü boyutu 5 alınmıştır. Kullanılmakta olan geri kapama rölesi sabit zamanlı geri kapama yapmaktadır. Arızalı Fazın sistemden ayrılmasından sonra 1.7 saniye bekleyerek fazı geri kapamaktadır.

Toplamda üç arıza verisi sunulmuştur. Bir adet kalıcı ve iki adet geçici arıza verisi ile çalışılmıştır. Geçici arızalardan bir tanesi kısa sürede temizlenirken diğeri

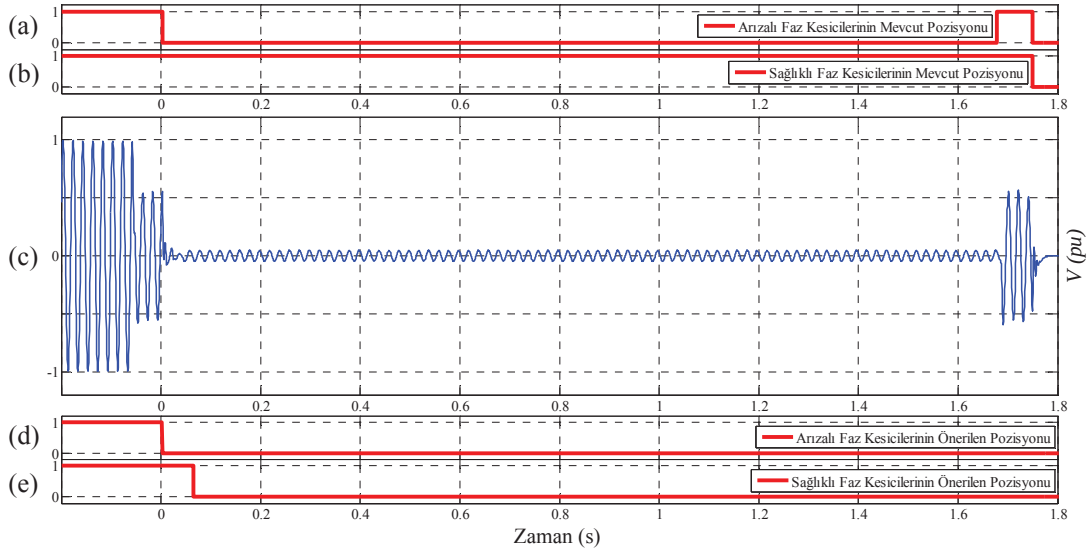
geri kapama süresi olan 1.7 saniye sonunda hala kendiliğinden temizlenmediği için yapılan geri kapama neticesinde kalıcı olarak algılanmıştır. Sunulan her arıza verisi için, arızalı ve sağlıklı faz kesicilerine ait röleden alınan mevcut pozisyonlar ile birlikte kesicilerin önerilen pozisyonları da verilerek metodun yeteneği gösterilmiştir.

Geçici arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 5.14-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 5.14-a ve b'de verilmiştir. İkincil arkın kesicinin açılmasından 0.65 saniye sonra temizlendiği ve 1.05 saniye boyunca gereksiz olarak beklediği görülmektedir. *TAES* indeksi ile ikincil arkın temizlenme zamanını doğru olarak belirlenebilmiş ve kesiciye geri kapama sinyali yollamıştır. Önerilen metodun arıza tipine doğru bir şekilde karar verdiği ve ikincil arkın bitişini belirledikten sonra kesicilere doğru sinyalleri yolladığı Şekil 5.14-d ve e'de verilen kesici pozisyonlarından görülmektedir.



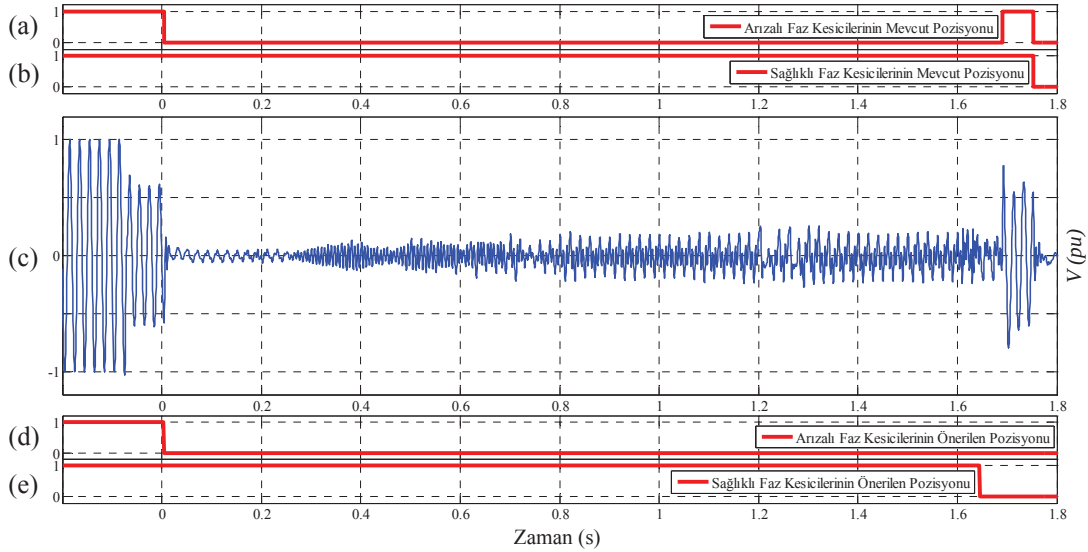
Şekil 5.14. (a-b-c) Sahadan alınan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

Kalıcı arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 5.15-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 5.15-a ve b'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde geri kapama rölesinin arızalı fazın şebekeden ayrılmasından 1.7 saniye sonra arızalı fazı geri kapadığı ve ardından tüm fazların enerjisini kestiği görülmektedir. Öte yandan önerilen metodun arıza tipine doğru olarak karar verdiği ve arızalı fazın açılmasından kısa bir süre sonra sağlıklı fazlara açma sinyali yolladığı Şekil 5.15-d ve e'den verilen kesici pozisyonlarından görülmektedir.



Şekil 5.15. (a-b-c) Sahadan alınan kalıcı arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

İkincil ark süresi uzun geçici arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 5.16-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 5.16-a ve b'de verilmiştir.



Şekil 5.16. (a-b-c) Sahadan alınan, kalıcı arıza olarak algılanan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

İkincil arkın sönme süresinin TFGK sisteminin bekleme süresinden uzun olduğu durumlarda ark akımı kesilmeden geri kapama yapılmaktadır. Bunun neticesinde arıza kalıcı olarak değerlendirilerek tüm faz kesicilerine açma sinyali yollanmakta ve gereksiz yere sistemin enerjisi kesilmektedir. Önerilen metot arıza tipinin geçici olduğuna karar verdiğinde sistemin kararlılıktan çıkmadan iki fazda

çalışabileceği maksimum süreye kadar ikincil arkın sönmesini beklemektedir. Önerilen metodun bu tarz hatalı kapamaları önleyecek yeteneğe sahip olduğunu gösterebilmek amacıyla sistemin maksimum bekleme süresi keyfi olarak 1.65 saniye seçilmiştir. Şekil 5.16-d ve e’de verilen kesici pozisyonları incelendiğinde önerilen metodun başarıyla çalıştığı görülmektedir.

Saha verileri ile yapılan analizler önerilen metodun arıza tipine başarıyla karar verebildiğini göstermektedir. Geçici arızalar için ikincil arkın bitişini takiben, mevcut rölelere göre daha hızlı geri kapama yapabilmektedir. Geçici arızanın ikincil ark süresinin uzun olması durumunda sistem kararlılığını korumak amacıyla sağlıklı fazlara açma sinyali yollayabilmektedir. Kalıcı arıza için arızalı fazı geri kapamadan sağlıklı fazlara açma sinyali gönderebilmektedir. Önerilen metot sistem kararlılığını artırmakta ve sistemi istenmeyen streslerden koruyabilmektedir.

5.5. Sonuç

Bu bölümde dalga formu değişime dayanan Adaline tabanlı, TFGK algoritması tanıtılmıştır. Önerilen algoritma kalıcı ve geçici arıza ayrımı yapabilme, arıza tipinin geçici olması durumunda ikincil ark bitiş zamanını da belirleyebilme yeteneğine sahiptir. Arıza tipine karar vermek için sadece gerilim dalga formundan yararlanan metot, düşük işlem gücü gereksinimi ile literatürdeki diğer metotlara kıyasla ön plana çıkmaktadır.

Literatürdeki metotların genel zaafı, karar verme aşamasında kullanılan eşik değerinin güç sistemi parametrelerinden etkilenmesidir. Dolayısıyla metotların çalıştırılacağı her güç sistemi için yeni bir eşik değeri belirlenmesi gerekmektedir. Önerilen metodu literatürdeki metotlardan ayıran en önemli özellik, arıza tipine karar verme aşamasında kullanılan eşik değerinin, yine metot tarafından belirlenmesidir. Bu sayede literatürdeki eşik değeri belirleme probleminin önüne geçilmektedir.

Metodun arıza yeri değişiminden ve yüklenme koşullarından etkilenmediği simülasyon ortamında yapılan analizlerle gösterilmiştir. Bununla birlikte metodun performansı üzerinde etkili olan değişkenler belirlenmiş ve yapılan parametrik analizlerle azami performans sağlayacak parametreler belirlenmiştir. Metodun yeteneğini saha verisi üzerinde de gösterilmiştir.

6. Frekansı Ölçümüne Dayalı Ark Arızası Algılama

6.1. Giriş

Adaline'nın düşük işlem gücü ile gerçek zamanlı olarak şebeke gerilimi dalga formunu takip etmedeki yeteneği bilinmektedir. Bu yetenek dikkate alınarak, detayları Bölüm 4'te verilen, yapısal değişiklikler ile Adaline'nın şebeke frekansını da başarılı bir şekilde belirleyebilmesi sağlanmıştır.

FTKD'sinde arıza tipinin belirlenmesinde frekans kullanımı, arızanın devre kesicileri tarafından izole edilmesinden sonra arızalı faz gerilimi dalga formunda, arıza tipine göre ortaya çıkan, frekans değişiminin ölçümüne dayanmaktadır. TFGK rölesinin arızalı fazı sistemden ayırmasından sonra devreye giren algoritma ile arıza süresince frekans hesaplanmakta ve arızanın kalıcı veya geçici olduğuna karar verilebilmektedir. Önerilen metot geçici arıza için ikincil arkın bitiş zamanını da belirleme yeteneğine sahiptir.

Literatürdeki metotlarla kıyaslandığında, düşük işlem gücü gereksinimi ve düşük örnekleme frekansı açısından avantajlı olan metodun en önemli özelliği, arıza tipine karar verme aşamasında eşik değeri olarak sistem frekansı gibi sabit bir değeri kullanmasıdır. Bu sayede literatürdeki güç sistemi parametrelerine bağlı eşik değeri belirleme probleminin önüne geçilmektedir.

Bu bölümde frekans ölçümüne dayalı ark arızası algılama metodunun detayları anlatılarak, parametrik analizlerle güçlendirilmiş simülasyon sonuçları verilecektir. Önerilen metodun uygulanabilirliği sahadan alınan veriler üzerinde de sınanmıştır.

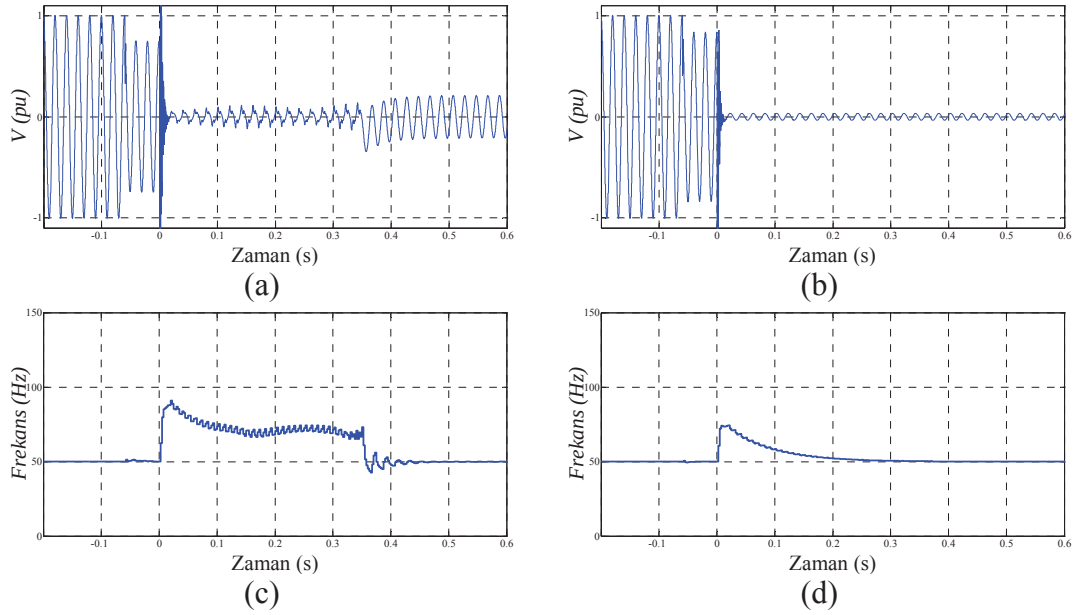
6.2. Geliştirilen Algoritma

Literatürde, FTKD'sine müteakiben arızalı fazın TFGK röleleri ile belirlenip arızanın izole edilmesinden sonra, zaman-frekans analizinden faydalanarak arıza tipine karar verebilen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, farklı zaman-frekans metotlarını kullanılmakla birlikte, arızalı faz gerilimi dalga formunda, arıza tipine göre farklılık gösteren yüksek frekanslı bileşenlerin değişimine dayanmaktadır.

İki arıza tipi şebeke frekansı bazında değerlendirilecek olursa, arızalı fazın gerilim dalga formu kalıcı arıza sırasında şebeke frekansındayken, geçici arıza sırasında şebeke frekansı dışında bir değerdedir. Bununla birlikte geçici arıza için, ikincil arkın temizlenmesinden sonra arızalı fazın gerilim dalga formu frekansının şebeke frekansına döneceği bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında arıza sonrası gerilim dalga formu frekans değerinin şebeke frekansı nominal değerine olan yakınlığı değerlendirilerek arıza tipinin kalıcı veya geçici olduğuna karar verilebilir. Arıza tipinin geçici olduğuna karar verildiğinde şebeke frekansının nominal değerine geri dönmesi durumu ikincil arkın bitiş zamanının belirlenmesinde kullanılabilir.

Geçici ve kalıcı arıza için gerilim dalga formları sırasıyla Şekil 6.1 a ve b’de ve bu arızalar için Adaline’nın hesapladığı frekans sırasıyla Şekil 6.1 c ve d’de verilmiştir. Arızalı fazın TFGK rölesi tarafından algılanarak şebekeden izole edildiği ana kadar hesaplanan frekansın değişimi, her iki arıza tipi içinde benzer yapıdadır. FTKD’si öncesi durumda şebeke frekansının 50Hz olarak başarılı bir şekilde hesaplandığı, arıza anında gerilim dalga formunda görülen genlik değişimi ve faz kaymasına bağlı olarak hesaplanan frekansta ufak bir salınım yaşanarak tekrar 50Hz’e dönüldüğü Şekil 6.1 c ve d’den görülmektedir.

Bununla birlikte devre kesicilerinin arızayı izole etmesinden sonra geçici ve kalıcı arıza için hesaplanan frekansın değişiminin farklı olduğu Şekil 6.1 c ve d’den görülmektedir. Kalıcı arıza durumunda, devre kesicilerinin açmasıyla ortaya çıkan geçiciliğin sönmesinden sonra sağlıklı fazlardaki gerilimden kaynaklanan sabit değerli temel harmonik gerilimi gözlenmektedir. Adaline bu dalga formunun frekansını kısa bir sürede başarıyla hesaplayabilmektedir (Şekil 6.1 d). Bununla birlikte geçici arıza için, devre kesicilerinin açmasından sonra ortaya çıkan geçiciliğin sönmesi ile eş zamanlı olarak ortaya çıkan ikincil arkın temizlenmesine kadar geçen sürede gerilim dalga formunun yapısında bulunan yüksek frekanslı bileşenlerden dolayı gerilim dalga formunun frekansını doğru olarak hesaplanamamaktadır. İkincil ark temizlendikten sonra gerilim dalga formu temel frekansa geri döndüğünden Adaline’nın gerilim dalga formunun frekansını başarıyla hesaplayabildiği Şekil 6.1 c’den görülmektedir.



Şekil 6.1. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza sırasında Adaline ile hesaplanan frekansın değişimi.

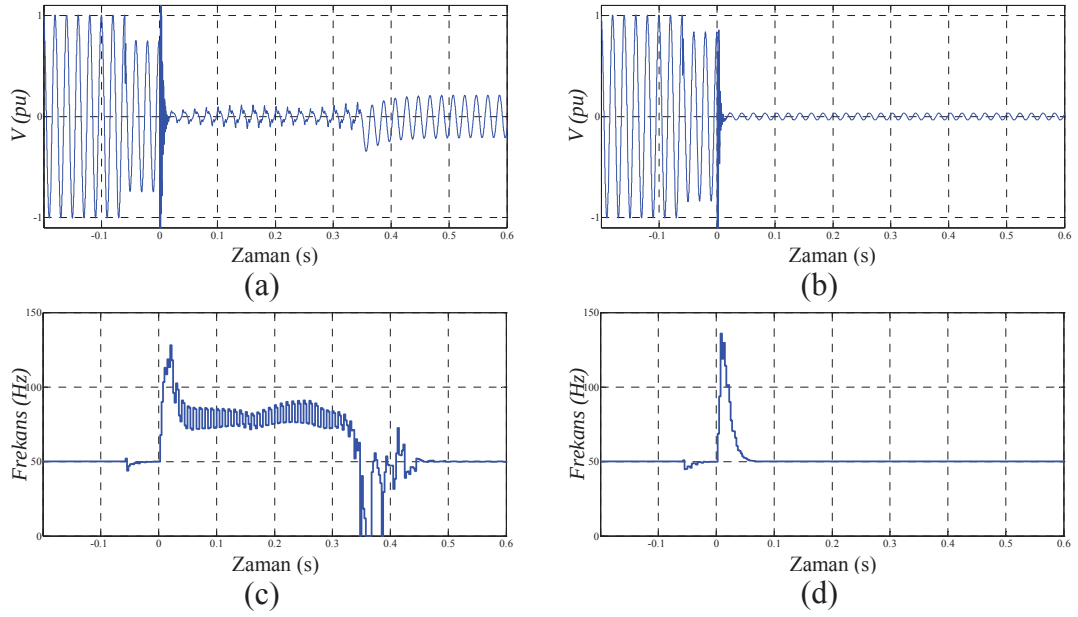
Adaline'nın sinüs dalga formunun frekansını hesaplamadaki yeteneği ve bu frekansta olan değişimlere verdiği hızlı tepki, literatür ışığında, Bölüm 4'te anlatılmıştı. Bununla birlikte harmonikler ve DA ile bozulmuş dalga formunun frekansını hesaplamada sıkıntı yaşadığı ve bu sıkıntının aşılması için ne gibi yapısal düzenlemeler yapıldığı yine aynı bölümde detaylandırılmıştı. Yapılan değişiklikler her ne kadar bozulmuş sinüs dalga formunun frekansını hesaplamaya imkân verse de işlem gücü açısından Adaline'a ek yük getirmektedir. İletim ve dağıtım seviyelerindeki gerilim dalga formları kıyaslandığında iletim seviyesindeki gerilim dalga formunun bozulmamış sinüse daha yakın olduğu, bu nedenle frekans hesaplayıcı Adaline'nın basit formunun yapılan çalışma için yeterli olduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte arıza tipine karar vermek için kullanılacak Adaline'nın sinüs dalga formunun frekansını doğru ve hızlı olarak hesaplarken, harmonikler ve DA ile bozulmuş dalga formunun frekansını doğru hesaplayamaması istenmektedir. Bu nedenle de Adaline'nın basit formu tercih edilmiştir.

Kalıcı arıza durumu için gerilim dalga formu incelendiğinde, eş zamanlı gerilim ve frekans değişimi içermekle birlikte dalga formunun temelde sinüs olduğu açıktır. Adaline ile frekans hesaplanmasına ilişkin literatür incelendiğinde, frekansta görülen anı değişimlerde cevap süresini kısaltmak, başka bir deyişle yakınsama hızını artırmak için, ağırlık katsayılarının hesaplandığı WHÖA'na işaret fonksiyonu

(sgn) eklenmesinin faydalı olduğu belirtilmektedir. Ağırlık katsayılarını hesaplanmasında kullanılan Denklem (4.5)'in sgn fonksiyonu ile düzenlenmiş hali Denklem (6.1)'de verilmiştir.

$$W_{k+1} = W_k + \alpha \frac{\varepsilon_k \text{sgn}(X_k)}{\lambda + X_k^T \text{sgn}(X_k)} \quad (6.1)$$

Geçici ve kalıcı arıza için işaret fonksiyonu ile yakınsama hızı artırılmış Adaline ile hesaplanan frekans Şekil 6.2 c ve d'de verilmiştir.



Şekil 6.2. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza sırasında İşaret fonksiyonlu Adaline ile hesaplanan frekansın değişimi.

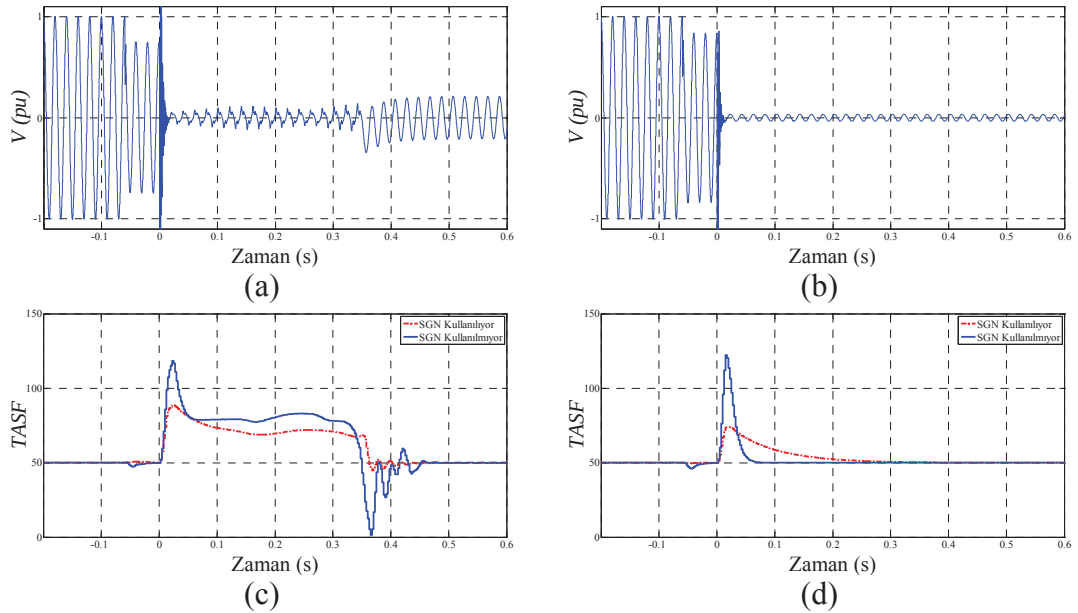
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 birlikte incelendiğinde, yakınsama hızı için işaret fonksiyonu kullanımının kalıcı arıza frekans hesaplama süresini olumlu yönde etkilediği, bununla birlikte geçici arıza için salınım genliğinin artmasına neden olduğu görülmektedir.

Her iki arıza tipi için de, yakınsama hızı artırılmamış ve artırılmış Adaline ile hesaplanan frekansın değişimi incelendiğinde sonuçların bir anlam taşıdığı görülmektedir. Ancak görülen aşırı salınım sebebiyle bu değişimden faydalanmak zordur. Bununla birlikte frekansın her bir iterasyonda hesaplanan değerlerinin sabit genişlikli kayar bir penceredeki ortalaması ($TASF = \text{Time Average of System Frequency}$) incelenecek olursa bu ortalama değerin arıza tipi ve ikinci arkın bitiş

zamanı hakkında daha net bir bilgi sağladığı görülmektedir. $TASF$ indeksi, k örnekleme zamanı, f_k Adaline ile hesaplanan frekans, N_S ortalama penceresi boyutu olmak üzere Denklem (6.2)'de sunulmuştur.

$$TASF_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_S} f_{k-i+1}}{N_S} \quad (6.2)$$

Geçici ve kalıcı arıza durumları için gerilim dalga formları sırasıyla Şekil 6.3 a ve b'de verilmiştir. Bu arıza durumları için yakınsama hızı artırılmamış ve artırılmış Adaline ile hesaplanan $TASF$ indeksleri ise sırasıyla Şekil 6.3 c ve d'de verilmiştir.

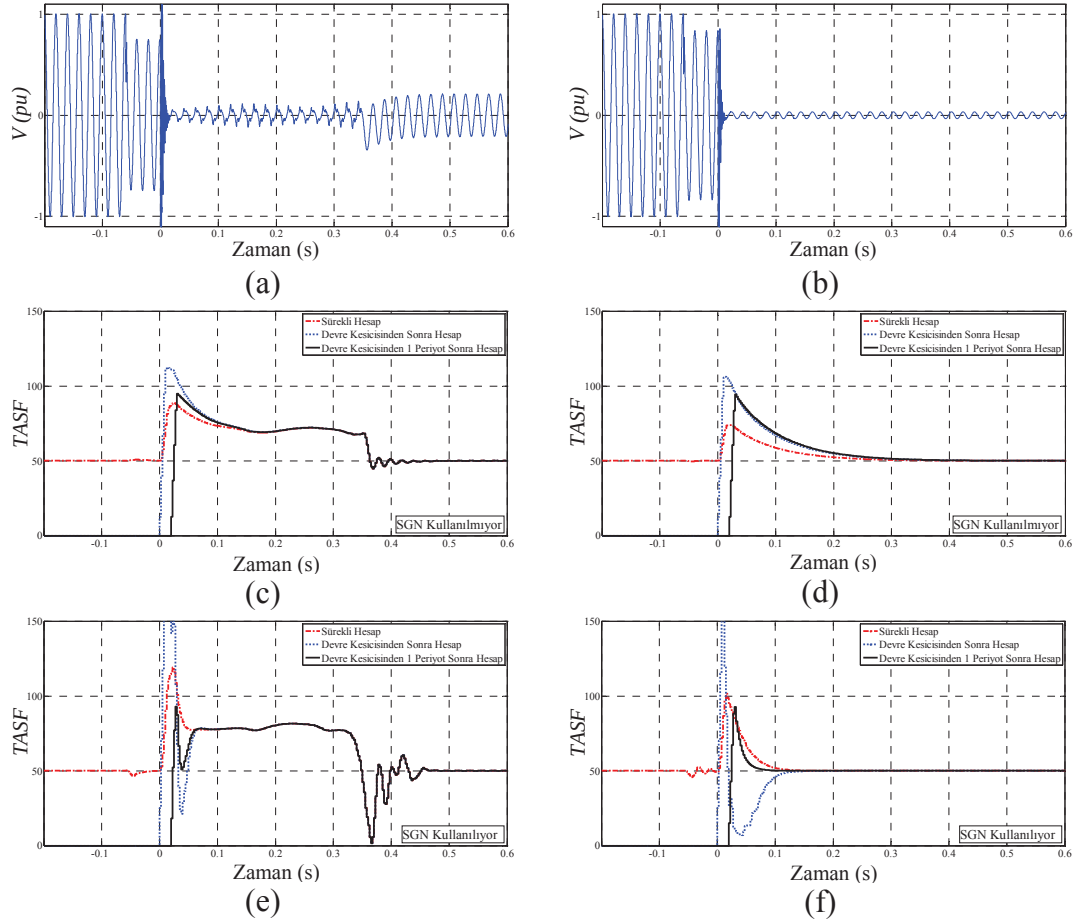


Şekil 6.3. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için işaret fonksiyonun $TASF$ indeksine etkisi.

Kalıcı arıza durumunda işaret fonksiyonun $TASF$ 'ın yakınsama hızını artırdığı, bununla birlikte geçici arıza için, ikincil arkın bitişinden sonra yüksek genlikli salınımlara neden olduğu Şekil 6.3 c ve d'den görülmektedir.

Şekil 6.3 arıza tipinden bağımsız olarak incelendiğinde arıza tipine karar vermek amacıyla kullanılan $TASF$ indeksinin, TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından önce hesaplanmasının gereksiz olduğu görülmektedir. Bununla birlikte devre kesicisinin arızalı fazı ayırdığı anda ortaya çıkan geçicilikte hesaplama süresini etkilemektedir. $TASF$ indeksinin sürekli hesaplanması ile TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından hemen sonra ve TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından bir periyot

sonra hesaplanmaya başlamasının *TASF* indeksi üzerindeki etkisi Şekil 6.4'te verilmiştir.

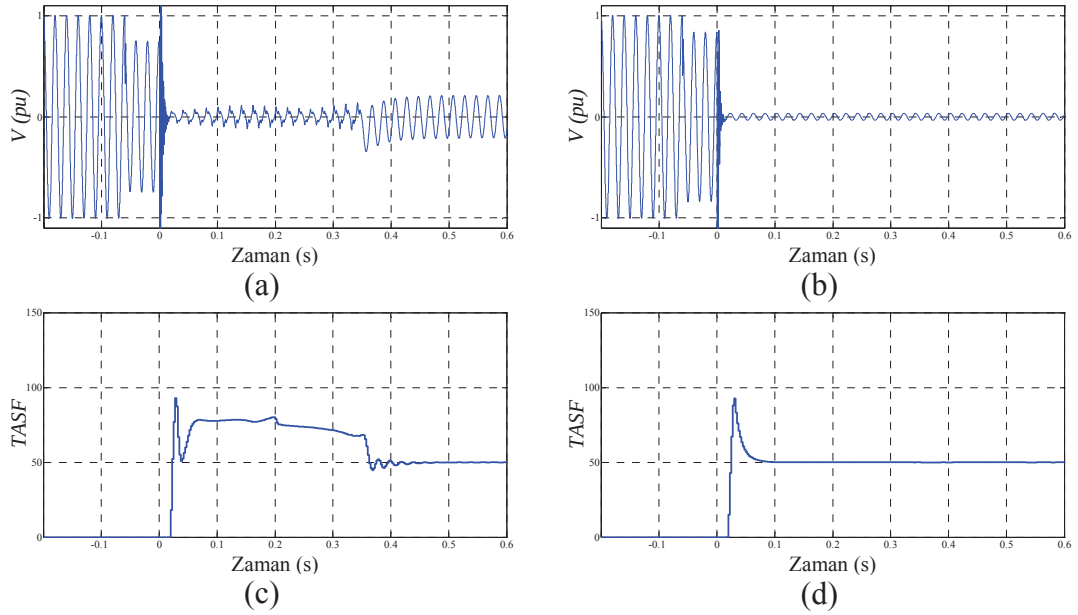


Şekil 6.4. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için *TASF* indeksi, (e-f) Geçici ve kalıcı arıza için yakınsama hızı artırılmış *TASF* indeksi.

Kalıcı arıza için, işaret fonksiyonu kullanımı frekansın, dolayısıyla *TASF* indeksinin yakınsama hızını, hesaplamanın başlangıç zamanından bağımsız olarak artırdığı Şekil 6.4 d ve f'den görülmektedir. Bununla birlikte, kalıcı arıza için *TASF* indeksinin TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından bir periyot sonra hesaplanması durumunda, daha hızlı yakınsadığı Şekil 6.4 f'den anlaşılmaktadır. Geçici arıza için *TASF* indeksinde işaret fonksiyonu kullanımını, İkincil ark süresince, işaret fonksiyonu kullanılmadığı duruma kıyasla, salınımlara neden olmaktadır. İkincil arkın bitişinden sonrada bu durumun devam ettiği Şekil 6.4 c ve e'den görülmektedir.

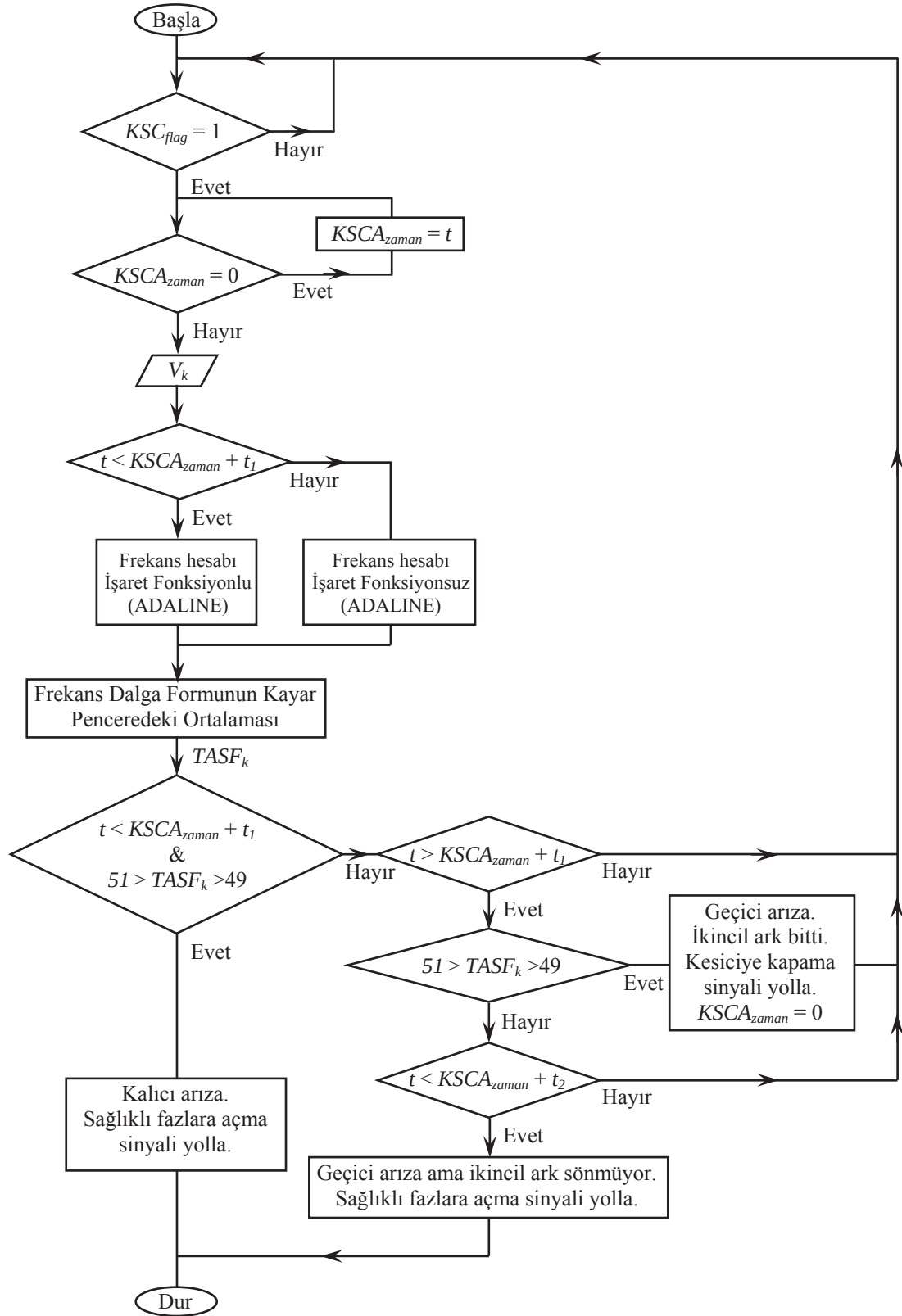
Önerilen metodun karar aşamasında hesaplanan frekansın şebeke frekansına olan yakınlığı değerlendireceğinden hesaplanan indeksteki salınımın varlığı istenmeyen bir durumdur. Bununla birlikte salınım, ikincil arkın bitişinden sonra görülen toparlanma gerilimi frekansının hesaplanma süresini de uzatmaktadır. Şekil 6.4'te verilen grafikler ışığında, *TASF* indeksi hesabının TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından bir periyot sonra başlamasının kalıcı arıza yakınsama hızını artırdığı görülmüştür. İşaret fonksiyonu kullanımını ise kalıcı arıza yakınsama hızını artırırken geçici arıza için hem ikincil ark frekansına yakınsamada hem de toparlanma gerilimi frekansına yakınsamada salınımına sebep olduğu tespit edilmiştir.

Önerilen metodun öncelikli amacı arıza tipini kalıcı veya geçici olarak sınıflamaktır. TFGK rölesinin arızalı fazı belirleyip açma sinyali yollaması durumu KSC_{flag} ile takip edilmektedir. KSC_{flag} 'in 1 değerini almasıyla çalışmaya başlayan algoritmada zaman düzenlemesinin yapılabilmesi için bu anı $KSCA_{zaman}$ isimli değişkene atanmaktadır. TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından ($KSC_{flag}=1$) sonraki belirli bir süre zarfında (t_1), hesaplanan frekansın şebeke frekansına ulaşip ulaşmadığı kontrol edilmektedir. *TASF* indeksinin belirlenen süre zarfında şebeke frekansına ulaşılması sonucunda arıza kalıcı olarak sınıflandırılırken, aksi durum arızanın geçici olarak sınıflandırılmasına neden olmaktadır. Belirli bir süre (t_1) sonuna kadar *TASF* indeksinin hesaplanmasında işaret fonksiyonu kullanılmaktadır. İşaret fonksiyonun bu süre zarfında kullanımı kalıcı arıza için *TASF* indeksinin 50Hz'e yakınsama hızını artırırken, geçici arıza için *TASF* indeksinin işaret fonksiyonu kullanılmadığı duruma göre daha fazla salınmasına neden olmaktadır. Bu durum, geçici arıza için yakınsamayı yavaşlatarak, kısa süreli geçici arızaların kalıcı olarak algılanması ihtimalini azaltarak, önerilen metodun performansını olumlu yönde etkilemektedir. Arızanın tipinin geçici olduğuna karar verildiği andan itibaren *TASF* indeksinin hesabında işaret fonksiyonu kullanılmamaktadır. Bu sayede ikincil arkın bitişine müteakiben, işaret fonksiyonu kullanılan duruma kıyasla, daha hızlı ve daha az salınımla 50Hz'e ulaşılmaktadır. TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından sonra arıza tipinin belirlendiği süre zarfı (t_1), detayları ileride anlatılmak üzere, deneysel olarak on periyot seçilmiştir. *TASF* indeksinin geçici ve kalıcı arızaya olan cevabı Şekil 6.5'de görülmektedir.



Şekil 6.5. (a-b) Geçici ve kalıcı arıza gerilim dalga formu, (c-d) Geçici ve kalıcı arıza için *TASF* indeksi.

Önerilen metot, *TASF* indeksinin, devre kesicilerinin arızalı fazı izole etmesinden sonra belirli bir süre (t_1) zarfında sistem frekansı olan 50Hz değerini hesaplaması beklenmektedir. Eğer indeks 50Hz civarlarında bir değer alıyorsa gerilim dalga formunun sinüse yakın olduğu, yani kalıcı arıza şartlarının yaşandığı algılanmakta ve sağlıklı faz kesicilerine açılma sinyali yollanmaktadır. Bununla birlikte belirli süre (t_1) zarfında indeks 50Hz'den uzak değerler alıyorsa, gerilim dalga formunun sinüsten uzak olduğu, yani geçici arıza şartlarının yaşandığı algılanmaktadır. Arıza tipinin geçici olduğuna karar verilmesinden itibaren metot geri kapama yapmak için ikincil arkın bitiş zamanını beklemeye başlar. İkinci arkın bitişinden itibaren sistem frekansı yine 50Hz değerine oturacaktır. Bu durumda *TASF* indeksinin 50Hz civarlarında bir değer alması durumu ikincil arkın bitişini olarak yorumlanır ve arızalı faz kesicilerine geri kapama sinyali yollar. Bu sayede sistem arıza öncesi durumuna geri dönmüş olur. Eğer ikincil arkın bitiş zamanı sistemin kararlılıktan çıkmadan iki faz ile çalışabileceği azami süreden (t_2) fazla ise sağlıklı fazların kesicilerine açma sinyali yollar ve sistemin kararlılıktan çıkmasına izin verilmez. Tanımlanan *TASF* indeksinin arıza tipine karar verme yeteneğine sahip olduğu ve geçici arıza tipi için ikincil arkın bitiş zamanını belirlemede kullanılabilecek etkin bir araç olduğu görülmektedir. Önerilen metodun akış diyagramı Şekil 6.6'da verilmiştir.



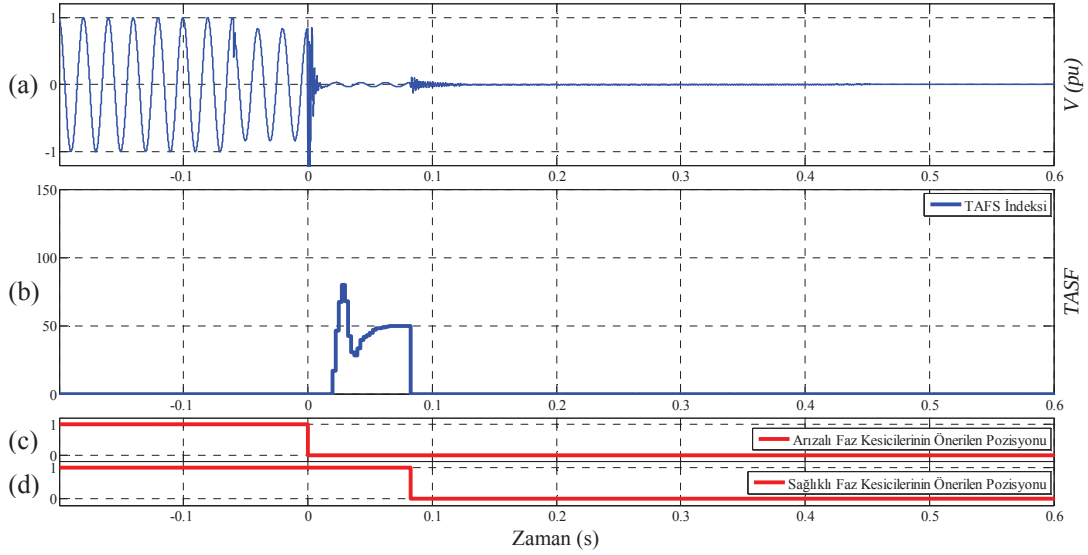
Şekil 6.6. Önerilen metodun akış diyagramı.

İndeksin 50Hz civarlarında bir değer almasından kasıt, örneklenen gerilim verisindeki gürültü göz önüne alındığında, hesaplanan *TASF* indeksinin $50\pm 1\text{Hz}$ 'lik bandın içine girmesidir. İndeksin hesaplanması sırasında yakınsama hızının neden olduğu salınımlardan dolayı, indeksin son değerinin bandın içine girmesi, arıza tipine karar verme ve ikincil arkın bitiş zamanının belirlenmesinde yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle karar verme aşamasında *TASF* indeksinin son değeri ile birlikte kendinden bir periyot önceki değerlerinin de banda girmesi durumu değerlendirilmiştir. Önerilen metodun en önemli özelliği sistem frekansı gibi sabit bir değer için eşik değeri olarak kullanılmasıdır. Dolayısıyla literatürdeki güç sistemi parametrelerine bağlı eşik değeri belirleme probleminin önüne geçilmiştir.

6.3. Geliştirilen Algoritmanın Simülasyonla İncelenmesi

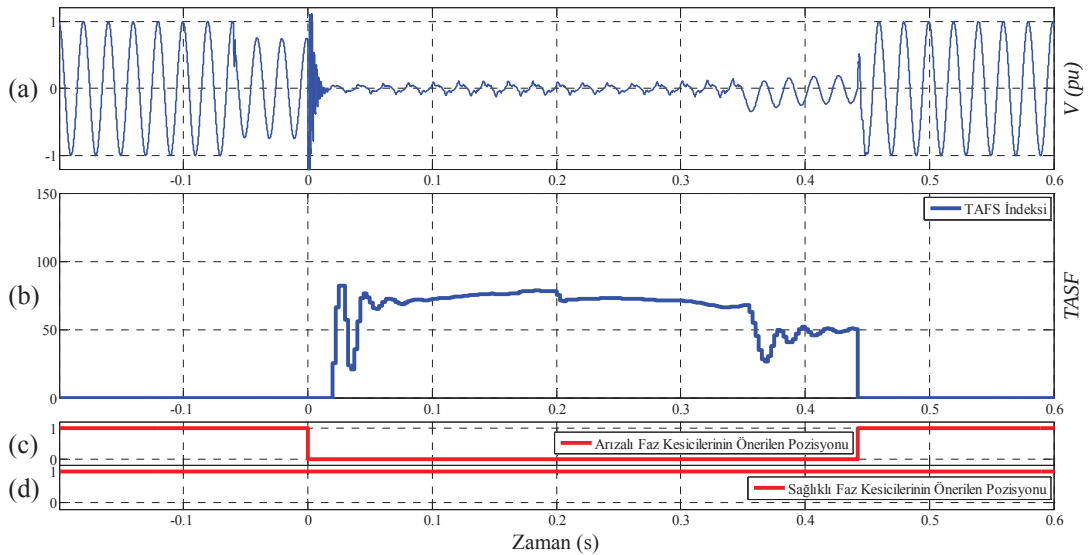
Önerilen metodun performansı, detayları Ek 1'de verilen test sistemi üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Önerilen metodun Şekil 6.6'da verilen akış diyagramında tanımlanan tüm koşullarda çalıştığının gösterilmesi amacıyla $V_R/V_S=0.96$, yük açısı $\delta=9^\circ$ koşulunda hattın ortasında meydana gelen kalıcı ve geçici FTKD'leri oluşturulmuştur. Tüm simülasyonlarda arıza, meydana geldikten üç periyot sonra arızalı faza ait hat başı ve hat sonu kesicilerinin arızalı fazı enerjisiz bırakmasıyla, $t=0$ anında temizlenmektedir. Önerilen metod 8 örnek/periyot ile çalıştırılmıştır.

İletim hattının ortasında meydana gelen kalıcı arızanın simülasyon sonuçları Şekil 6.7'de verilmiştir. Hat başından görülen kalıcı arızaya ait gerilim dalga formu ve bu dalga formuna ait *TASF* indeksi sırasıyla Şekil 6.7-a ve b'de görülmektedir. Arızalı fazın kesicisi açıldığında kalıcı arıza, kısa bir geçicilik sürecinden sonra, neredeyse sinüs formundadır. *TASF* indeksi, TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından bir periyot sonra hesaplanmaya başlandığı için başlangıç değerleri sıfırdır. *TASF* indeksi hesaplanmaya başladıktan kısa bir süre sonrasında sistem frekansını başarıyla hesaplayabilmektedir. Önerilen metod bu bilgiyi kullanarak arızanın kalıcı olduğuna karar vermekte ve tüm kesicilerine açma sinyali yollanarak fazları enerjisiz hale getirmektedir. Kalıcı arıza süresince kesicilerin önerilen pozisyonları Şekil 6.7-c ve d'de görülmektedir.



Şekil 6.7. (a) Önerilen metot ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TASF* indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

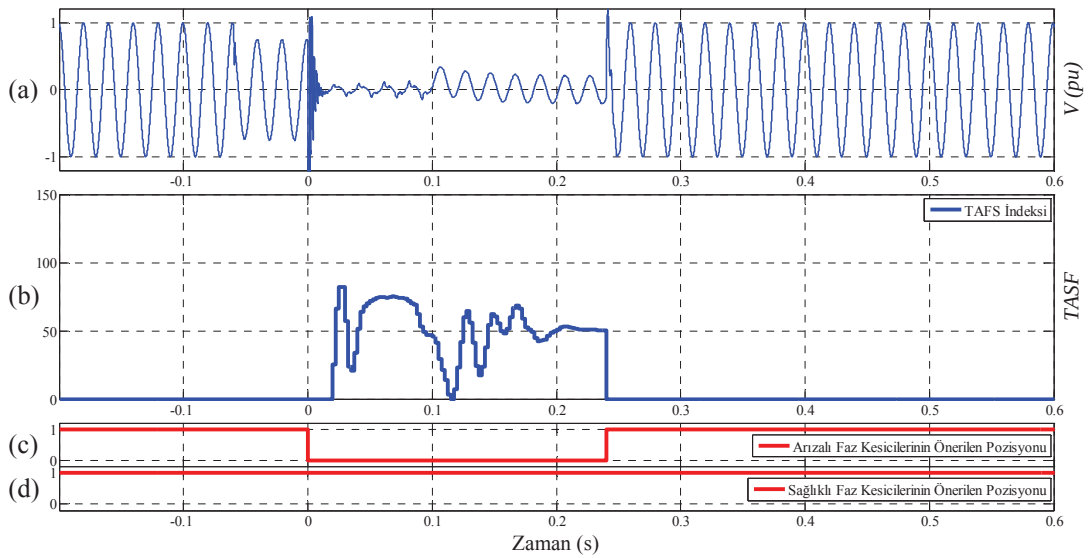
İletim hattının ortasında meydana gelen geçici arıza için simülasyon sonuçları Şekil 6.8’de verilmiştir. Kesicilerin arızalı fazı enerjisiz bırakmasından sonra oluşan ikincil ark yaklaşık 0.35 saniye sonra sönmektedir. Sonrasında görülen toparlanma geriliminin dalga formu azalan DA bileşen içeren sinüs formundadır ve açık bir şekilde arkın mevcut olduğu süreçten ayırt edilebilir. Hat başından görülen geçici arızaya ait gerilim dalga formu ve bu dalga formuna ait *TASF* indeksi sırasıyla Şekil 6.8-a ve b’de görülmektedir.



Şekil 6.8. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TASF* indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

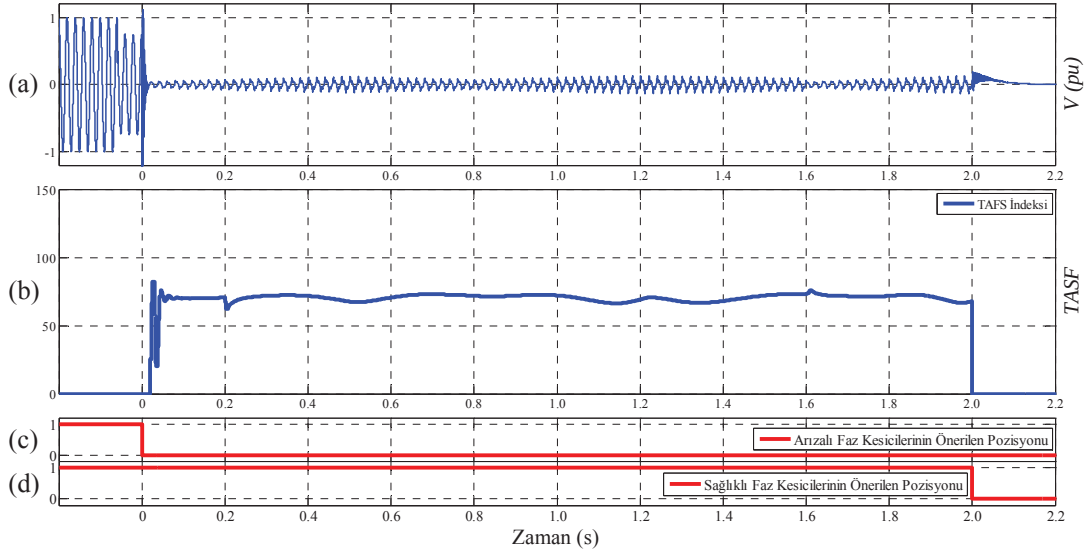
Gerilim dalga formu, ikincil ark süresince yüksek frekanslı bileşenler içerdiği için sistem frekansı olan 50Hz Adaline tarafından hesaplanamamaktadır. Önerilen metot *TASF* indeksinin 50Hz civarlarında olmamasına dayanarak arızanın geçici olduğuna karar vermektedir. Bu andan itibaren *TASF* indeksinin 50Hz civarlarına ulaşması ikincil arkın temizlendiğini işaret etmekte ve arızalı fazın kesicilerine geri kapama sinyali yollanarak geri kapama işlemi gerçekleştirilmektedir. Geçici arıza süresince kesici pozisyonları Şekil 6.8-c ve d’de görülmektedir.

Önerilen metodun ikincil ark süresi kısa olan geçici arızalardaki davranışı Şekil 6.9’da verilmiştir. Metot ikincil ark süresinin kısalığından etkilenmeden başarılı bir şekilde arıza tipine karar vermektedir.



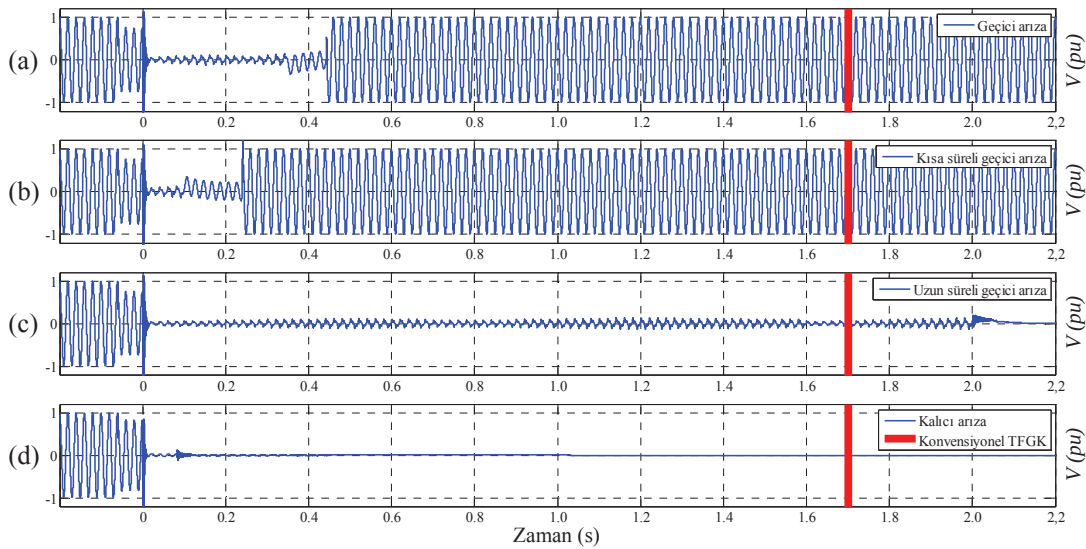
Şekil 6.9. (a) Önerilen metot ile kısa süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TASF* indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

Önerilen metodun ikincil ark süresi uzun olan geçici arızalardaki davranışı Şekil 6.10 verilmiştir. Geçici arıza için ikincil arkın bitme süresinin sınırlandırılabilirdiğini göstermek amacıyla maksimum bekleme süresi 2.00 saniye seçilmiştir. Metot arıza tipinin geçici olduğuna karar verdiği halde güç sisteminin kararlılıktan çıkmasına izin vermemek için sağlıklı fazlara açma sinyalini başarıyla yollamıştır.



Şekil 6.10. (a) Önerilen metot ile uzun süreli geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) *TASF* indeksi değişimi, (c) kesicilerin önerilen pozisyonları.

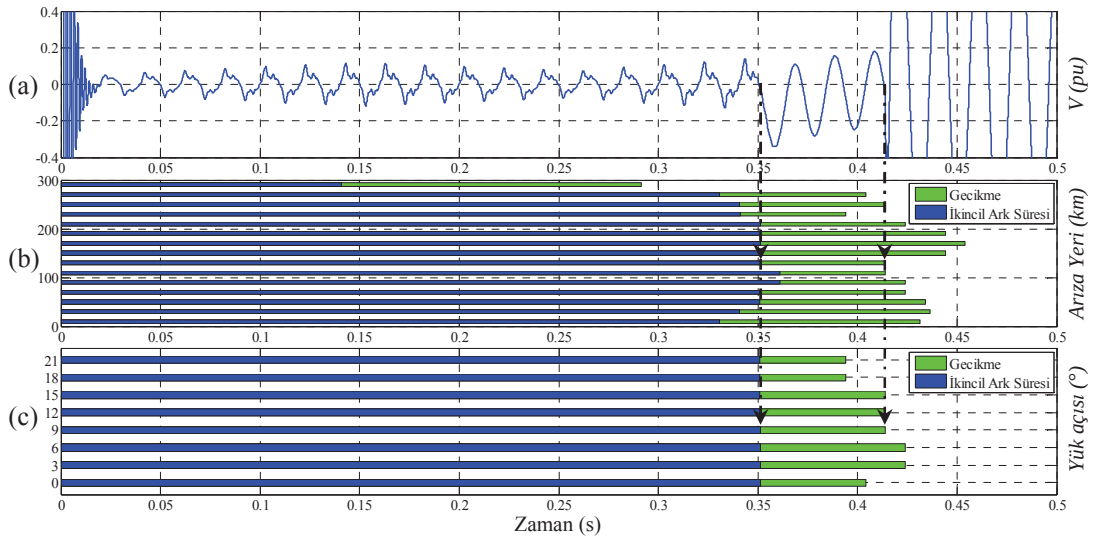
Önerilen metodun Şekil 6.8, Şekil 6.7, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 verilen farklı arıza durumuna ilişkin gerilim dalga formlardaki performansı Şekil 6.11’de toplu olarak verilmiştir. Şekilde görülen konvansiyonel TFGK isimli koyu renkli çizgi, konvansiyonel TFGK rölesinin 1.7 saniye’lik bekleme süresini ifade etmektedir. Önerilen metodun, konvansiyonel TFGK rölesine kıyasla sunduğu, arıza tipi algılama ve sistemin sürekliliğinin korunması konusundaki, avantajlar Şekil 6.11’den görülebilmektedir.



Şekil 6.11. Farklı arıza durumları için önerilen metodun performansının toplu gösterimi.

Arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarının önerilen metodun performansı üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için farklı sistem koşullarında simülasyonlar yapılmıştır. Hat başı ve hat sonu gerilimlerinin oranı $V_R/V_S=0.96$ değerinde sabit tutulmak şartıyla sistemin yük açısı 0° ile 21° arasında 3° 'lik adımlarla değiştirilmiştir. Eş zamanlı olarak arıza yeri de 300km'lik hat için 10km'lik adımlarla değiştirilmiştir.

Önerilen metodun geçici arıza algılama performansının, arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarına bağlı değişimi Şekil 6.12'de verilmiştir. Yük açısının 9° 'de olması durumunda hat başından 130km uzakta meydana gelen geçici arıza için arızalı fazın gerilim dalga formu Şekil 6.12-a'da görülmektedir.

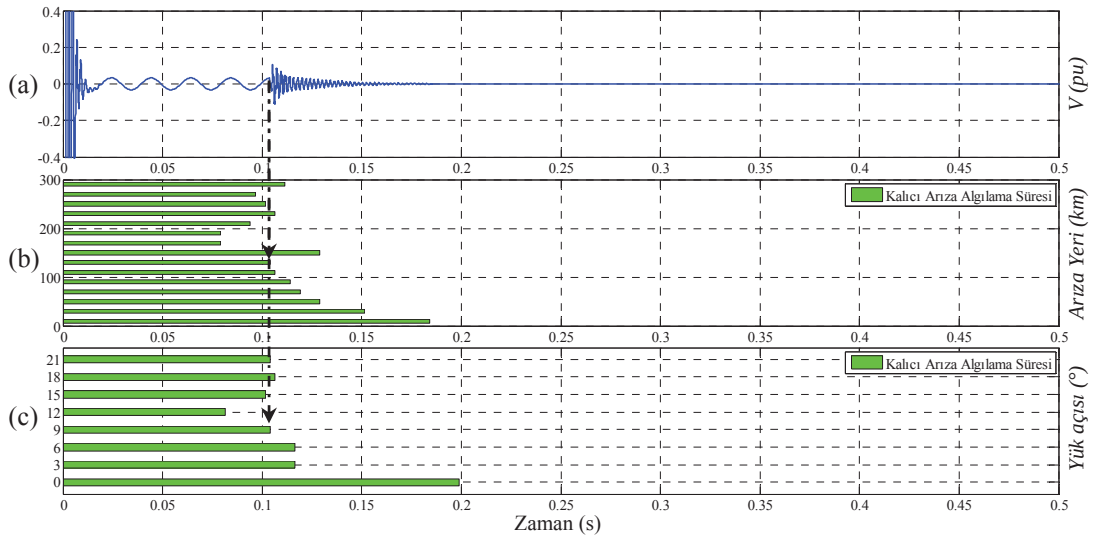


Şekil 6.12. (a) Önerilen metot ile geçici arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre ikincil ark süresi ve kesici gecikmesi.

Dalga formu incelendiğinde ikincil arkın bitiş zamanı ile önerilen metodun kesicilere geri kapama sinyali yollaması arasında gecikme olduğu görülmektedir. Bu gecikme Adaline'nın şebeke frekansında olduğu bilinen toparlanma geriliminin frekansını doğru olarak hesaplama süresidir. Bu gecikme toparlanma geriliminin yapısında bulunan azalan DA geriliminin başlangıç genliğine bağlı olarak değişmektedir. Arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarının değişimi, azalan DA geriliminin başlangıç değerini çok etkilemekte, bu da gecikme süresinin değişken olmasına neden olmaktadır. İkincil ark süresinin değişimi ve önerilen metodun kesicilere geri kapama sinyali yollaması arasındaki gecikme, yük açısı 9° iken farklı

arıza noktaları için Şekil 6.12-b’de verilmiştir. İkincil ark dalga formu aynı zamanda gerilim - akım genlik ve açılara bağlıdır. Dolayısıyla yüklenme koşullarına bağlıdır. Şekil 6.12-c’de hat başından 130km uzakta meydana gelen geçici arıza için ikincil ark süresi ve gecikmenin yük açısına bağlı değişimi görülmektedir.

Önerilen metodun kalıcı arıza algılama performansının, arıza yeri ve arıza öncesi yüklenme koşullarına bağlı değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir. Yük açısının 9° ’de olması durumunda hat başından 130km uzakta meydana gelen kalıcı arıza için arızalı fazın gerilim dalga formu Şekil 6.13-a’da görülmektedir. Arıza yeri değiştiğinde arıza noktasından görülen empedans değişecektir. Bununla birlikte arıza öncesi yüklenme koşullarının değişimi de arıza empedansı üzerindeki gerilim düşümünü değiştireceğinden hat başından görülen artık gerilimin genliği değişecektir. Genlikteki bu değişim Adaline’nın dalga formu frekansını hesaplama sürecini etkileyen bir faktördür. Önerilen algoritmanın kalıcı arıza sırasındaki frekansı hesaplaması için geçen sürenin yük açısı 9° iken farklı arıza noktaları için değişimi Şekil 6.13-b’de verilmiştir. Benzer şekilde Şekil 6.13-c’de kalıcı arızanın hat başından 130km uzakta meydana gelmesi durumunda, önerilen algoritmanın kalıcı arıza sırasındaki frekansı hesaplaması için geçen sürenin yük açısına bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 6.13. (a) Önerilen metod ile kalıcı arıza süresince hat başı gerilimi, (b) farklı arıza yerlerine ve (c) farklı yük koşullarına göre kalıcı arıza sırasındaki frekansı hesaplaması için geçen süre.

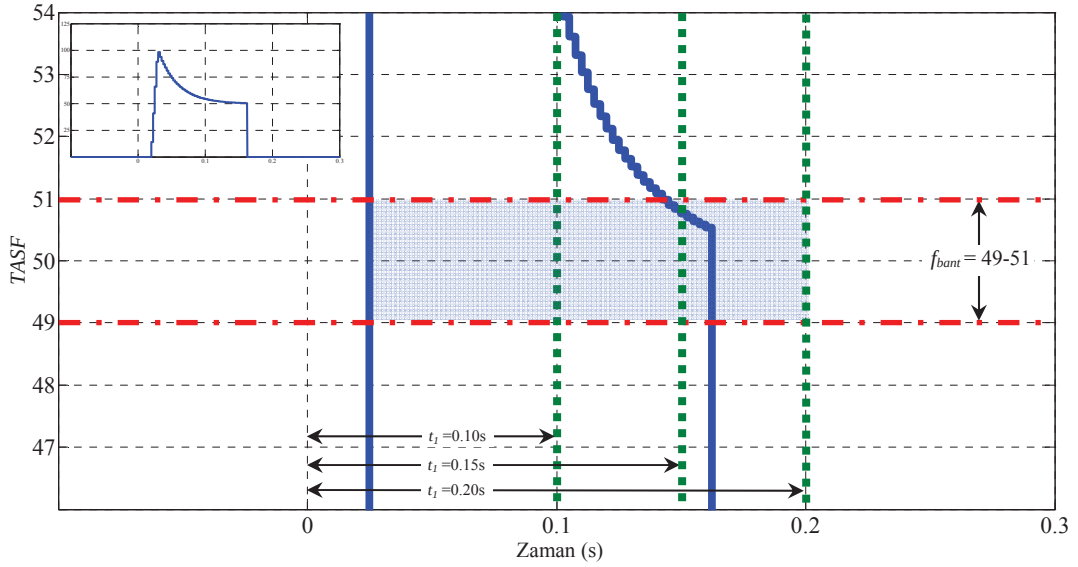
Şekil 6.12 ve Şekil 6.13 birlikte incelendiğinde önerilen metodun, değişken arıza yeri ve yük açısı ile oluşturulmuş, farklı gerilim dalga şekilleri ile test edildiği anlaşılmaktadır. Oluşturulan arıza sayısı, yarısı kalıcı arıza olmak üzere, 464 adettir. Öğrenme oranı (α) 0.5 ile yapılan simülasyonlar neticesinde önerilen metodun performans geçici arızalar için %100'dur. Bununla birlikte aynı öğrenme oranı için kalıcı arıza performansı %99.5'tir.

Adaline ile frekans hesabındaki literatür çalışmaları incelendiğinde simülasyon ortamında yapılan çalışmalarda statik dalga formu için 200Hz (50Hz'de 4 örnek/periyot) örnekleme frekansı ile çalışılırken, dinamik dalga formu için 600Hz (50Hz'de 12 örnek/periyot) tercih edildiği görülmüştür. Bununla birlikte gerçek zamanlı uygulamalarda statik dalga formu için 500Hz (50Hz'de 10 örnek/periyot) ve harmonik içeren statik dalga formu için 250Hz (50Hz'de 5 örnek/periyot) kullanılmıştır [43][44]. Bu çalışmada seçilen örnekleme frekansı 400Hz (50Hz'de 8 örnek/periyot)'dir.

Sahadan alınan verilerin örnekleme frekansı, birçok röle üreticisi için standart değer olan 2kHz (40 örnek/periyot)'dir. EMTP'nın ATP versiyonunda yapılan simülasyonlarda ise iki farklı frekanstan söz edilmektedir. İlk frekans ark modellemesi de dahil olarak tüm devre hesaplarının yapıldığı frekanstır. Bu amaçla 102.4kHz (50Hz'de 2048 örnek/periyot) seçilmiştir. İkinci frekans ise TFGK rölesinin *TASF* indeksini hesaplayacağı frekanstır. Bu değer hem saha verisiyle hem de simülasyon ortamında kullanılabilecek ortak bir değer olması hedeflenmiştir. Bu hedefle örnekleme frekansı 400Hz seçilmiştir.

Önerilen metodun performansı, basit anlamda arıza tipinin metod tarafından doğru olarak yorumlamasıdır. Arıza tipine doğru olarak yorumlama, hesaplanan *TASF* indeksinin, TFGK rölesinin arızalı fazı ayırmasından, bekleme süresi (t_1)'e kadar f_{bant} olarak adlandırabileceğimiz frekans bandının içine girmesi veya girmemesi durumudur. Bu durumda performans üç değişkene bağlıdır. Bunlar *TASF* indeksinin yakınsama hızını etkileyen öğrenme oranı (α) ile TFGK rölesinin arızalı fazı ayırması anına $t=0$ dersek, bekleme süresi (t_1) ve frekans bandı (f_{bant})'nın genişliğidir.

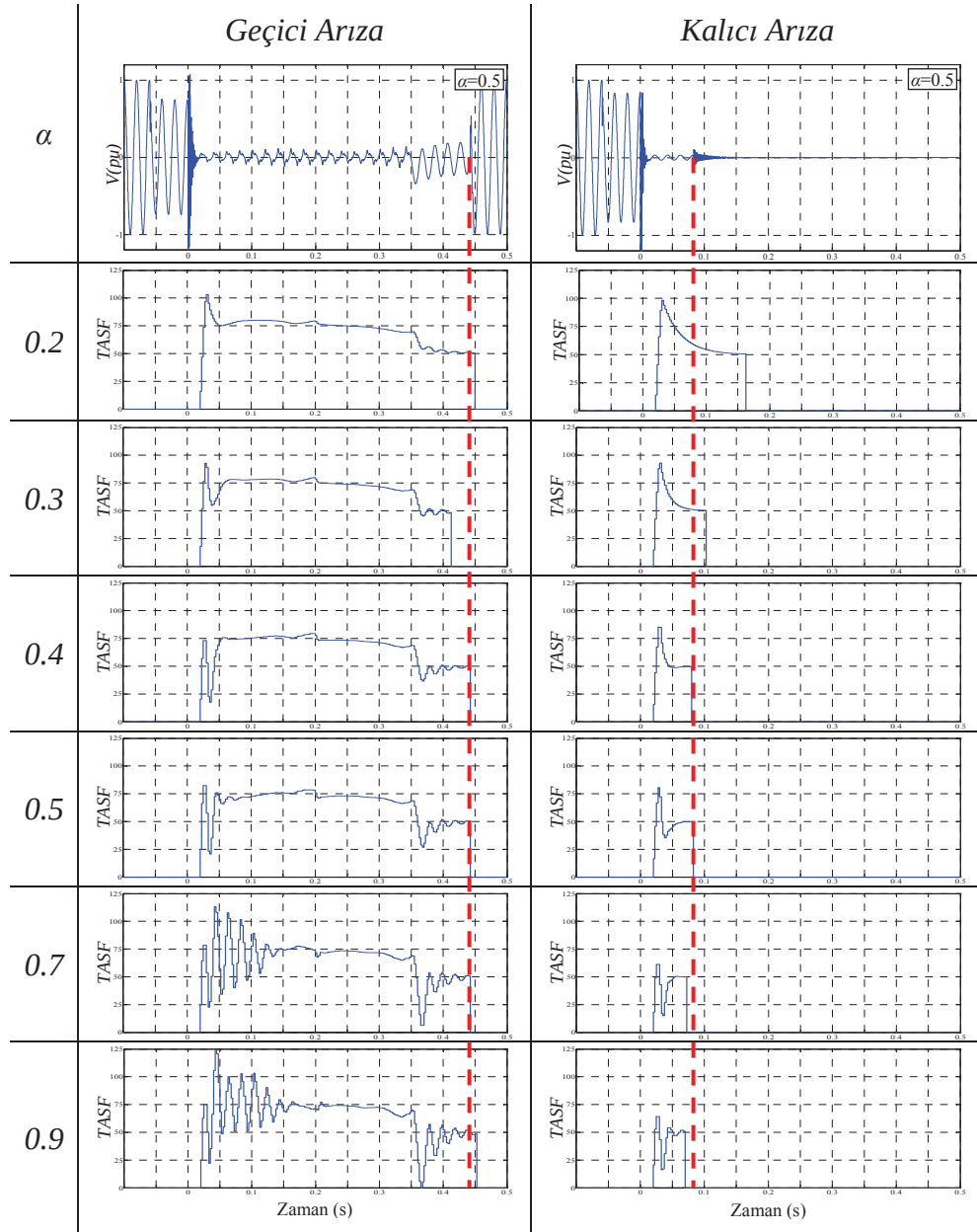
Hat başından 130km uzakta, $\delta=9^\circ$ yük açısında meydana gelen kalıcı arıza için, öğrenme oranı (α)'nın 0.2 değerinde hesaplanan *TASF* indeksinin 49-51Hz ile sınırlandırılmış frekans bandı (f_{bant})'na girişi Şekil 6.14'de verilmiştir. Bekleme süresi (t_l)'nin 0.10s seçilmesi arızanın geçici olarak algılanmasına neden olurken, 0.15 ve 0.20 değerlei kalıcı olarak algılanmasını sağlayacaktır.



Şekil 6.14. Önerilen metodun performans kriterinin görsel anlatımı.

Öğrenme oranı (α), frekans hesabının yakınsama hızı üzerinde önemli bir parametredir. Geçici ve kalıcı arıza için öğrenme oranı (α)'ya bağlı olarak frekans hesaplama hızı değişimi Tablo 6.1'de verilmiştir.

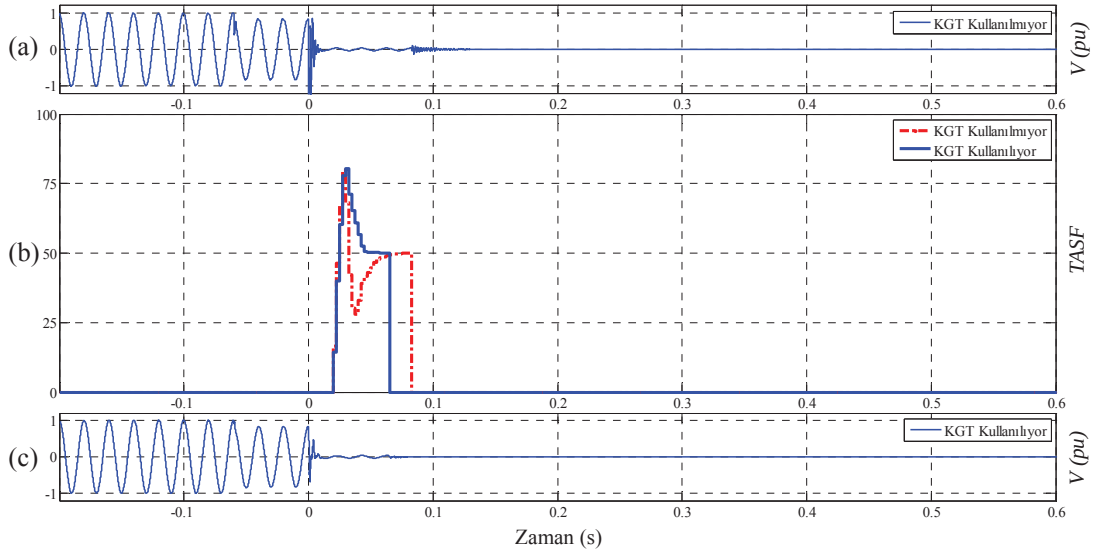
Tablo 6.1. Kalıcı ve geçici arıza için *TASF* indeksinin öğrenme oranı (α)'na bağlı değişimi.



Grafikler incelendiğinde kalıcı arıza için α 'nın küçük değerleri için frekans hesabının uzun sürede gerçekleştiği, α büyüdükçe hesaplama süresinin kısaldığı görülmektedir. Bununla birlikte geçici arıza için hem ikincil ark süresince hem de ikincil arkan sönmesinden sonraki toparlanma gerilimi frekansının hesaplanmasında α 'nın değerindeki artışa bağlı olarak *TASF* indeksindeki salınım artmaktadır. Geçici arızanın ikincil ark süresince salınması, kalıcı arıza olarak algılanma ihtimalini azaltacağı için önerilen metodun performansını olumlu yönde etkilemektedir.

Bununla birlikte ikincil ark sonrası salınımlar geri kapama süresinin değişimine neden olmakla birlikte önerilen metodun performansını etkilememektedir.

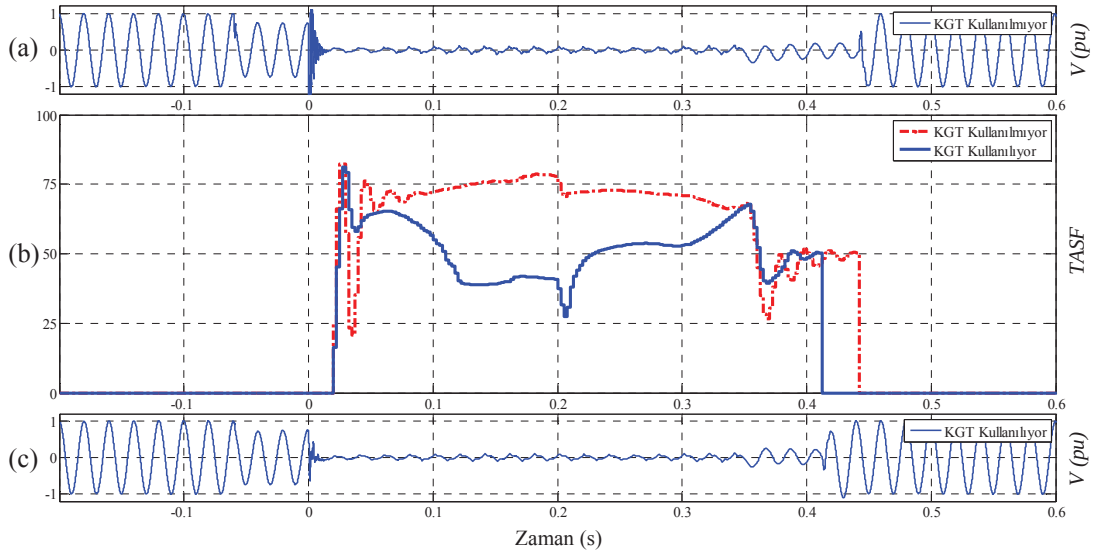
Önerilen metodun performansı üzerinde etkili olan bir diğer değişken de ölçüm için yaygın olarak kullanılan KGT'lerdir. KGT kullanımının önerilen metod üzerindeki etkisi, kalıcı ve geçici arıza için sırasıyla Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Kalıcı arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metod üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan *TASF* indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.

Kalıcı arıza için KGT'li ve KGT'siz örneklenmiş gerilim dalga formları Şekil 6.15-a ve c'de görülmektedir. KGT ile örneklenmiş dalga formu ile hesaplanan *TASF* indeksinin, KGT olmadan hesaplanana göre şebeke frekansına daha hızlı yakınsadığı ve sağlıklı fazlara açma sinyali yolladığı Şekil 6.15-b'den anlaşılabilmektedir.

Geçici arıza için KGT'li ve KGT'siz örneklenmiş gerilim dalga formları Şekil 6.16-a ve c'de görülmektedir. KGT ile örneklenmiş dalga formu ile hesaplanan *TASF* indeksinin, KGT olmadan hesaplanan *TASF* indeksine göre farklı bir değişim göstermekle birlikte ikincil ark süresinde şebeke frekansının hesaplanamadığı Şekil 6.16-b'den görülmektedir. Bununla birlikte ikincil arkın bitişinden sonra, KGT olmadan hesaplanan *TASF* indeksine göre daha kısa sürede şebeke frekansının hesaplandığı ve arızalı faz kesicilerine geri kapama sinyali yolladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.16. Geçici arıza simülasyonunda KGT kullanımının önerilen metot üzerindeki etkisi, (a) KGT'siz gerilim dalga formu (b) KGT'li ve KGT'siz hesaplanan *TASF* indeksi değişimi (c) KGT'li gerilim dalga formu.

Kalıcı arıza için KGT kullanımı yakınsama hızında artışa neden olması, karar verme mekanizmasının sabit bekleme süresine dayandığı göz önüne alındığında, geçici arıza olarak algılanma ihtimali düşürmektedir. Geçici arıza için ise ikincil arkın sönmesinden sonrasında gecikmenin azaldığı görülmektedir. KGT kullanımının önerilen metodun performansını olumlu yönde etkileyeceği Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilen simülasyon sonuçlarından görülebilmektedir.

Önerilen metodun performansını artıracak en uygun öğrenme oranı, frekans bandı ve bekleme süresinin belirlenebilmesi için KGT modelinin de kullanıldığı bir dizi simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlarda öğrenme oranı, literatürde pratik değişim aralığı olarak tanımlanan, $[0.1 \ 1]$ aralığında değişken tutulmuştur. Frekans bandı 49-51Hz, 48-52Hz ve 47-53Hz değerlerinde seçilirken, bekleme süresi 0.10 saniye (beş periyot), 0.15 saniye (yedi buçuk periyot) ve 0.20 saniye (on periyot) değerlerinde seçilmiştir. Toplamda 90 farklı durum için simülasyon yapılmıştır. Her bir simülasyonda, geçici ve kalıcı arıza durumlarında, 29 farklı arıza yeri ve 8 arıza öncesi yüklenme koşulu olmak üzere toplam 464 farklı arıza senaryosu simüle edilmiştir. Toplamda yapılan simülasyon sayısı 41760'tır. Öğrenme performansının frekans bandı 49-51Hz, 48-52Hz ve 47-53Hz değerleri için değişimi sırasıyla Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.2: $f_{bant}=49-51\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.

		Öğrenme oranı									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_l=0.10s$	Kalıcı arıza	0,00	1,29	6,47	18,53	58,19	65,52	82,76	90,52	96,12	91,38
	Geçici arıza	99,14	91,38	88,36	87,50	87,07	88,79	87,50	88,36	88,36	90,09
$t_l=0.15s$	Kalıcı arıza	0,00	6,03	46,55	78,02	92,24	97,41	99,14	99,57	100,00	98,71
	Geçici arıza	89,66	85,34	85,34	87,07	87,07	84,91	87,07	89,66	88,36	90,09
$t_l=0.20s$	Kalıcı arıza	0,00	26,29	81,47	96,55	99,57	100,00	100,00	100,00	100,00	99,57
	Geçici arıza	95,69	91,81	90,52	87,07	80,60	81,03	86,64	88,79	86,21	90,09

Tablo 6.3. $f_{bant}=48-52\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.

		Öğrenme oranı									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_l=0.10s$	Kalıcı arıza	0,00	3,02	14,66	39,22	62,50	77,16	89,22	96,12	97,84	94,40
	Geçici arıza	95,69	87,50	84,48	82,33	78,88	75,86	74,57	74,14	71,98	70,69
$t_l=0.15s$	Kalıcı arıza	0,00	14,22	61,64	88,36	96,98	99,57	100,00	100,00	100,00	99,57
	Geçici arıza	80,17	78,45	80,17	81,03	75,86	67,24	70,69	66,38	65,95	68,53
$t_l=0.20s$	Kalıcı arıza	0,00	49,57	91,38	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,57
	Geçici arıza	90,09	80,17	74,57	71,55	62,93	57,33	63,79	65,52	65,95	67,67

Tablo 6.4. $f_{bant}=47-53\text{Hz}$ için öğrenme oranı ve bekleme süresine bağlı performans değişimi.

		Öğrenme oranı									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$t_l=0.10s$	Kalıcı arıza	0,00	5,17	21,12	58,19	65,52	84,48	93,97	97,41	98,28	97,84
	Geçici arıza	86,21	81,47	80,60	78,02	72,41	66,38	64,22	65,09	62,93	61,21
$t_l=0.15s$	Kalıcı arıza	0,00	25,00	73,71	93,10	98,71	100,00	100,00	100,00	100,00	99,57
	Geçici arıza	65,09	72,41	75,86	73,71	62,93	56,03	58,62	56,47	58,19	55,60
$t_l=0.20s$	Kalıcı arıza	0,00	63,79	95,26	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,57
	Geçici arıza	83,62	67,24	59,91	59,91	49,14	44,40	51,29	56,90	58,62	56,03

Önerilen metodun performansının, en küçük bekleme süresi (t_1)'nde, hem kalıcı hem de geçici arıza için %100 olması beklenmektedir. Tablo 6.2, Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 birlikte incelendiğinde bu şartın hiçbir şekilde sağlanmadığı görülmektedir. Kalıcı arıza, bekleme süresinin 0.1 saniye olduğu hiçbir frekans bandı (f_{bant}) değerinde %100 başarı sağlayamamaktadır. Kalıcı arızanın %100 başarı ile öğrenildiği en küçük bekleme süresi 0.15 saniye için öğrenme oranı (α)'nın 0.9 değeridir. Bu değer için geçici arıza performansı ise 88,36'dır. Kalıcı arıza için bekleme süresi 0.20 saniyeye çıkartıldığında tüm frekans bandı değerlerinde, bazı öğrenme oranları için %100 performans sağlansa da geçici arıza için en yüksek başarı değeri olan %88.79 frekans bandının 48-52 ve öğrenme oranının 0.8 olduğu değerlerde elde edilmiştir.

Kalıcı arızanın yüksek performansla algılanabilmesi amacıyla bekleme süresinin, aynı frekans bandı değeri için artırılması gerekmektedir. Aynı frekans bandı değeri için bekleme süresinin artırılması geçici arıza algılama performansını olumsuz olarak etkilemektedir. Bunun nedeni hızlı yakınsayan ve kalıcı gibi algılanan geçici olayların sayısının azalmasıdır. Bu durum performansın olumsuz etkilenmiş gibi gözükmesine neden olmaktadır.

Benzer şekilde frekans bandının genişletilmesi de kalıcı arıza algılama performansını, aynı bekleme süresi için artırmaktadır. Ancak geçici arıza için frekans bandının genişletilmesi kalıcı arıza olarak algılanma ihtimalini artırmakta bu da geçici arıza algılama performansını olumsuz etkilemektedir.

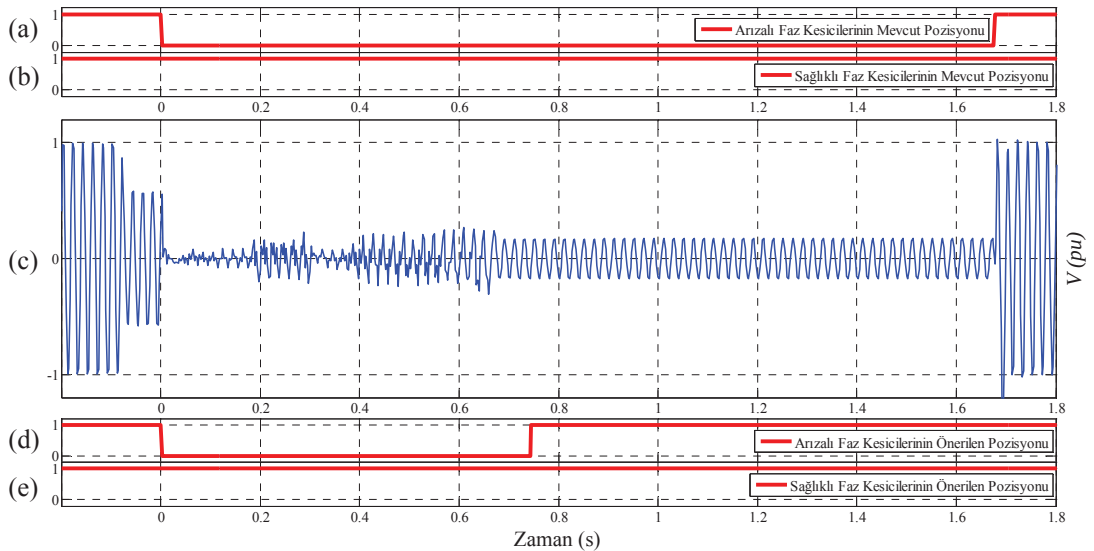
Önerilen metodun en yüksek performans gösterdiği birleşim, frekans bandı (f_{bant})'nın 49-51, bekleme süresi (t_1)'nin 0.20 saniye ve öğrenme oranı (α)'nın 0.8 oldu değerlerdir. Bu durumda kalıcı arıza için %100 başarı sağlanırken geçici arıza için başarı %88,79'da kalmaktadır.

Arıza istatistikleri açısından geçici arıza sayısı kalıcı arıza sayısında çok olsa da, kalıcı arızanın tamamının doğru olarak tespit edilmesi çok daha önemlidir. Geçici arızanın hatalı algılanması, kalıcı arızada olduğu gibi hattı enerjisiz bırakırken kalıcı arızanın hatalı algılanması, geçici arızada olduğu gibi geri kapama yapılmasına neden olacak, bu da sistemde gereksiz şok etkisi yaratacaktır.

6.4. Saha verisi uygulaması

Önerilen metodun performansı Türkiye Ulusal Şebekesinden alınan veriler ile de test edilmiştir. Bu amaçla önerilen metod Erzin-Gaziantep II ENH'ndaki TFGK Sisteminden alınan FTKD verilerine uygulanmıştır. Kullanılan Adaline'nın öğrenme oranı 0.8, frekans bandı 49-51 ve bekleme süresi 0.20 saniye seçilmiştir. Kullanılmakta olan geri kapama rölesi 1.7 saniyelik sabit bekleme zamanı ile geri kapama yapmaktadır.

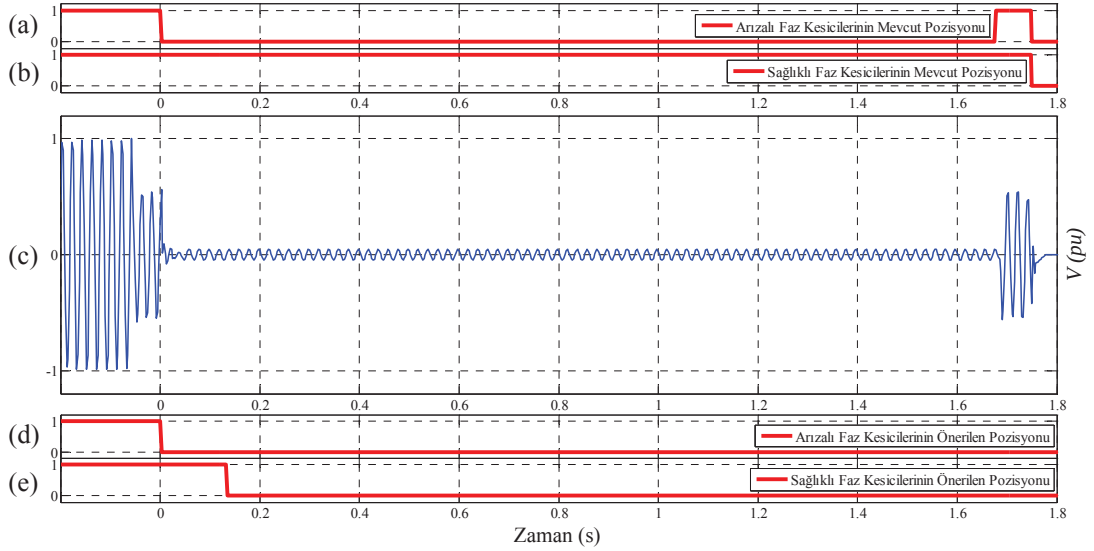
Geçici arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 6.17-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 6.17-a ve b'de verilmiştir. Geçici arıza için *TASF* indeksinin değişimi Şekil 6.17-d'de görülmektedir. İkincil ark süresinde 50Hz civarına gelemeyen indeks, ikincil arkın sönmesine müteakiben 50Hz civarına ulaşmıştır. Önerilen metod ile ikincil arkın temizlenme zamanını doğru olarak belirlenebilmiş ve kesiciye geri kapama sinyali yollamıştır. Önerilen metodun arıza tipine doğru bir şekilde karar verdiği ve ikincil arkın bitişini belirledikten sonra kesicilere doğru sinyalleri yolladığı Şekil 6.17-e ve f'de verilen kesici pozisyonlarından görülmektedir.



Şekil 6.17. (a-b-c) Sahadan alınan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

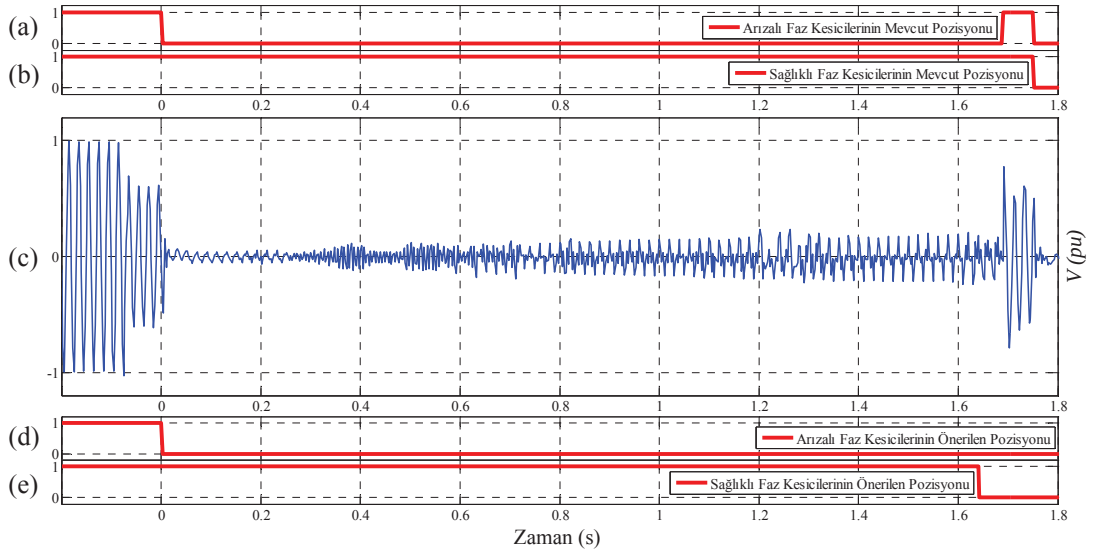
Kalıcı arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 6.18-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 6.18-a ve b'de verilmiştir. Kalıcı arıza için *TASF* indeksinin değişimi Şekil 6.18-d'de görülmektedir. Kesicinin

arızalı fazı ayırmasından kısa bir süre sonra *TASF* indeksi 50Hz civarına ulaşmaktadır. Önerilen metodun bu bilgiyi kullanarak arıza tipine doğru olarak karar verdiği ve sağlıklı fazlara açma sinyali yolladığı Şekil 6.18-e ve f'den verilen kesici pozisyonlarından görülmektedir.



Şekil 6.18. (a-b-c) Sahadan alınan kalıcı arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

İkincil ark süresi uzun geçici arıza sırasında gerilim dalga formu Şekil 6.19-c'de ve TFGK sistemine bağlı kesicilerin bu gerilim dalga formuna cevabı ise Şekil 6.19-a ve b'de verilmiştir.



Şekil 6.19. (a-b-c) Sahadan alınan, kalıcı arıza olarak algılanan geçici arıza verisi ve kesicilerin mevcut pozisyonları, (d-e) kesicilerin önerilen pozisyonları.

İkincil ark süresi uzun geçici arıza için *TASF* indeksinin değişimi Şekil 6.19-d’de görülmektedir. *TASF* indeksinin ikincil ark süresinde 50Hz civarına gelemediği görülmektedir. Bu bilgiyi kullanarak arıza tipinin geçici olduğuna karar veren metot sistemin kararlılıktan çıkmadan 2 fazda çalışabileceği maksimum süreye kadar ikincil arkın sönmesini beklemektedir. Önerilen metodun bu tarz hatalı kapamaları önleyecek yeteneğe sahip olduğunu gösterebilmek amacıyla sistemin maksimum bekleme süresi keyfi olarak 1.65 saniye seçilmiştir. Şekil 6.19-e ve f’de verilen kesici pozisyonları incelendiğinde önerilen metodun başarıyla çalıştığı görülmektedir.

Saha verileri ile yapılan analizler önerilen metodun arıza tipine başarıyla karar verebildiğini göstermektedir. Geçici arızalar için ikincil arkın bitişini takiben, mevcut rölelere göre daha hızlı geri kapama yapabilmektedir. Geçici arızanın ikincil ark süresinin uzun olması durumunda sistem kararlılığını korumak amacıyla sağlıklı fazlara açma sinyali yollayabilmektedir. Kalıcı arıza için arızalı fazı geri kapamadan sağlıklı fazlara açma sinyali gönderebilmektedir. Önerilen metot sistem kararlılığını artırmakta ve sistemi istenmeyen streslerden koruyabilmektedir.

6.5. Sonuç

Bu bölümde frekans ölçümüne dayanan, Adaline tabanlı, TFGK algoritması tanıtılmıştır. Önerilen algoritma kalıcı ve geçici arıza ayrımı yapabilme, arıza tipinin geçici olması durumunda ikincil ark bitiş zamanını da belirleyebilme yeteneğine sahiptir. Arıza tipine karar vermek için sadece gerilim dalga formundan yararlanan metot, düşük işlem gücü gereksinimi ile literatürdeki diğer metotlara kıyasla ön plana çıkmaktadır.

Önerilen metodu literatürdeki diğer metotlardan ayıran en önemli özellik, arıza tipine karar verme aşamasında, güç sistemindeki değişimlerden etkilenmeyen bir değer olan sistem frekansını kullanmasıdır. Bu sayede literatürdeki güç sistemi parametrelerinden etkilenmeyen eşik değeri belirleme problemine çözüm oluşturulmuştur.

Metodun arıza yeri değişiminden ve yüklenme koşullarından etkilenmediği simülasyon ortamında yapılan analizlerle gösterilmiştir. Bununla birlikte metodun performansı üzerinde etkili olan değişkenler tanımlanmış ve yapılan parametrik

analizlerle azami performans sağlayacak parametreler belirlenmiştir. Metodun yeteneğini saha verisi üzerinde de gösterilmiştir.

Önerilen metodun (*TASF* indeksi), dalga formu değişimine dayalı ark arızası algılama metoduna (*TAES* indeksi) üstünlük sağladığı noktalar, daha düşük örnekleme frekansı ile çalışması ve şebeke frekansı gibi sabit bir değeri eşik değeri olarak kullanmasıdır. Bununla birlikte *TAES* indeksi, giriş sayısı fazla olmasına rağmen sadece toplama ve çarpma işlemi ile çalışırken, *TASF* indeksi iki girişe sahip olduğu halde arccos ve sgn operatörlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum, önerilen her iki metodun birbirine göre avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, literatürdeki metotlarla kıyaslandığında az işlem gücü gereksinimleri ve güç sisteminden bağımsız eşik değeri kullanımı ile ön plana çıkmaktadırlar.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, konvansiyonel TFGK sistemlerinin dezavantajlarının ortadan kaldırılması amacıyla ortaya atılan uyarlanır TFGK kavramının gerçekleştirilmesine yönelik iki yeni metot önerilmektedir.

Önerilen metotlar, FTKD yapısının kalıcı veya geçici olduğuna sadece gerilim dalga formundan aldıkları örnekleri kullanarak karar verebilmektedirler. Arıza tipinin geçici olması durumunda ikincil arkın bitiş zamanını da belirleyebilmektedirler. Önerilen her iki metotta, uzun yıllardır bilinen ve güç sistemlerinin farklı sahalarında pek çok uygulamada kullanılan, YSA'nın temel taşlarından biri olan Adaline tabanlıdır. Adaline'nın literatürde tanıtılmış farklı yapılarını kullanan metotlardan ilki olan *TAES* indeksi FTKD sırasında gerilim dalga formunda meydana gelen değişimleri yorumlayarak arıza tipini sınıflandırırken, ikinci metot olan *TASF* indeksi FTKD sırasında gerilim dalga formu frekansında görülen değişimleri yorumlayarak arıza tipini sınıflandırmaktadır.

Önerilen metotlar düşük işlem gücü gereksinimi ile literatürdeki metotlardan ayrılmakla birlikte, kendi içlerinde kıyaslandıklarında *TAES* indeksi sadece toplama ve çarpma operatörlerini kullanırken *TASF* indeksi arccos ve sig operatörlerine de ihtiyaç duymaktadır. Mevcut yapıları ile her iki metotta gerçek zamanlı uygulamaya uygun metotlardır.

Her iki metotta, literatürdeki birçok metot gibi, arıza tipine hesaplanan indeks değerini önceden tanımlı bir eşik değeri ile kıyaslayarak karar vermektedir. Literatürdeki metotların ortak zaafı kullanılan eşik değerinin her güç sisteminde farklılık göstermesidir. *TAES* indeksi kullanması gereken eşik değerine kendi kendine karar verme yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte *TASF* indeksi eşik değeri olarak şebeke frekansı gibi özel bir değeri kullandığı için eşik değer belirleme problemi tamamen ortadan kalkmıştır. Bu sayede literatürdeki güç sistemi parametrelerinden etkilenen eşik değeri belirleme probleminin önüne geçilmiştir.

Metotların performansları EMTP'nin ATP sürümünde yapılan simülasyonlar ile teyit edilmiştir. Simülasyonlarda Türkiye Ulusal Şebekesinde, 400kV seviyesinde TFGK sistemi bulunan ve en çok geçici arıza yaşanan ilk 10 ENH'ndan biri olan

Erzin-Gaziantep II ENH'nın detaylı modeli kullanılmıştır. Güç sistemi modelinde, modellemenin gerçekliğe olan yakınlığını artırmak amacıyla, geçici arıza lineer olmayan ark modeli ile oluşturulmuştur. Bu sayede değişken arıza yeri ve farklı yüklenme koşulları için farklı gerilim dalga formlarının oluşması sağlanmıştır. Yapılan parametrik analizler ile simülasyon ortamında azami performans için gerekli parametreler de belirlenmiştir.

TAES indeksi, parametrik analizler neticesinde belirlenen parametrelerle, kalıcı ve geçici arızaları %100 performansla sınıflandırmaktadır.

TASF indeksi, parametrik analizler neticesinde belirlenen parametrelerle, kalıcı arızaları %100 performansla sınıflandırırken geçici arızalarda performansı %88,79'dur.

Erzin-Gaziantep II ENH'na ait gerçek ölçüm verileri ile de önerilen metotların sahaya uygulanabilir oldukları gösterilmiştir.

TFGK ile ilgili geleceğe dönük çalışmalar, donanımsal ve yazılımsal olmak üzere iki başlıkta değerlendirilebilir. Birinci grupta, önerilen metotların donanıma aktarılması ve gerçek zamanlı olarak çalıştırılması planlanmaktadır. Bununla birlikte kayıtlı veri sayısı artırılarak metodun gerçek veriye tepkisi daha detaylı incelenecektir. Yazılımsal açıdan, rüzgâr profili, ark parametreleri, V_R/V_S oranı gibi parametrelerin rastgele değiştirileceği Monte Carlo simülasyonları yapılması ve istatistiksel olarak performansın belirlenmesi planlanmaktadır.

Adaline ile ilgili geleceğe dönük çalışma olarak ise transformatör enerjilendirilmesi sırasında görülen aşırı akımların, arıza akımlarından ayrılması konusunda kullanılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE Working Group - Power System Relaying Committee, "Single phase tripping and autoreclosing of transmission lines" IEEE Trans. Power Delivery, vol.7, no.1, pp.182-192, Jan 1992.
- [2] 7SR224 Argus Recloser Controller Catalogue, Reyrolle Protection Devices, Siemens, 2010, <http://www.energy.siemens.com/mx/en/automation/power-transmission-distribution/protection/reyrolle/auto-reclose/7sr224.htm> (Erişim tarihi: 22.03.2012).
- [3] Wardwick, K. ; Ekwue, A.; Aggarwal, R.; "Artificial intelligence techniques in power systems", IEE, London, UK, 1997.
- [4] Can/Am EMTP User Group, "Alternative Transient Program Rule Book", USA, 1997.
- [5] IEEE Committee Report, "Transient Response of Coupling Capacitor Voltage Transformers", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol.PAS-100, no.12, pp.4811-4814, Dec. 1981.
- [6] Blackburn, J.L.; "Protective Relaying: Principles and Applications", NewYork, Marcel Dekker, 1987.
- [7] Kimbark, E.W.; "Selective-pole switching of long double-circuit EHV line", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol.95, no.1, 1976, pp.219- 230, Jan 1976
- [8] Yüksek M.; "Tek Faz Geri Kapama Sistemlerinin Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 2009
- [9] Kimbark, E.W.; "Suppression of Ground-Fault Arcs on Single-Pole-Switched EHV Lines by Shunt Reactors", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol.83, no.3, pp.285-290, March 1964
- [10] ABB Switchgear AB, "Protection Application Handbook", İsveç, 1999
- [11] Shperling, B.R.; Fakheri, A.J.; Shih, C.H.; Ware, B.J.; "Analysis of Single Phase Switching Field Tests on the AEP 765 KV System", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol.PAS-100, no.4, pp.1729-1735, April 1981.
- [12] Hasibar, R.M.; Legate, A.C.; Brunke, J.; Peterson, W.G.; "The Application of High-Speed Grounding Switches for Single-Pole Reclosing on 500 kV Power

- Systems”, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol.PAS-100, no.4, pp.1512-1515, April 1981
- [13] Sang-Pil A.; Chul-Hwan K.; Aggarwal, R.K.; Johns, A.T.; “An alternative approach to adaptive single pole auto-reclosing in high voltage transmission systems based on variable dead time control”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.16, no.4, pp.676-686, Oct 2001
- [14] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, “Yıllık Arıza İstatistiği”, 2004.
- [15] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, “Yıllık Arıza İstatistiği”, 2005.
- [16] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, “Yıllık Arıza İstatistiği”, 2006.
- [17] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, ‘Yıllık Arıza İstatistiği’, 2007.
- [18] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, “Yıllık Arıza İstatistiği”, 2008.
- [19] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletim Şebekeleri İşletme Bakım Dairesi Başkanlığı, Röle ve Ölçü Aletleri Müdürlüğü, “Yıllık Arıza İstatistiği”, 2009.
- [20] Radojevic, Z.M.; Shin, J.R.; “New Digital Algorithm for Adaptive Reclosing Based on the Calculation of the Faulted Phase Voltage Total Harmonic Distortion Factor”, IEEE Trans. Power Delivery,, vol.22, no.1, pp.37-41, Jan. 2007.
- [21] Hamedani, G.M.E.; Golbon, N.; “Detecting secondary arc extinction time by analyzing low frequency components of faulted phase voltage or sound phase current waveforms”, Electrical Engineering Journal, vol.88, no.2, pp.141-148, 2006.

- [22] Radojevic, Z.M.; “Numerical Algorithm for Adaptive Single Pole Autoreclosure Based on Determining the Secondary Arc Extinction Time”, *Electric Power Components and Systems*, vol.34, no.7, pp.739-745, 2006.
- [23] Jannati, M.; Vahidi, B.; Hosseinian, S.; Baghaee, H.; “A new adaptative single phase auto-reclosure scheme for EHV transmission lines”, *IEEE Middle East Power System Conferences*, pp.203-207, 12-15 March 2008.
- [24] Vahidi, B.; Jannati, M.; Hosseinian, S.H.; “A Novel Approach to Adaptive Single Phase Autoreclosure Scheme for EHV Power Transmission Lines Based on Learning Error Function of ADALINE”, *Simulation*, vol.84, no.12, pp.601-610, 2008.
- [25] Jannati, M.; Vahidi, B.; Hosseinian, S.H.; Ahadi, S.M.; “A novel approach to adaptive single phase auto-reclosing scheme for EHV transmission lines”, *Int. Electrical Power and Energy Systems*, vol.33, no.3, pp.639-646, 2011.
- [26] Yu, I.K.; Song, Y.H.; “Development of novel adaptive single-pole autoreclosure schemes for extra high voltage transmission systems using wavelet transform analysis”, *Electrical Power System Research*, vol.47, pp.11-19, 1998.
- [27] Sanaye-Pasand, M.; Kadivar, A.; “Design of an online adaptive auto-reclose algorithm for HV power transmission lines”, *IEEE Power India Conference*, 2006.
- [28] Jamali, S.; Ghaffarzadeh, N.; “Adaptive single pole auto-reclosing using discrete wavelet transform”, *European Trans. Electrical Power*, vol.21, pp.973-986, 2011.
- [29] Jamali, S.; Ghaffarzadeh, N.; “A new method for arcing fault location using discrete wavelet transform and wavelet Networks”. *European Trans. Electrical Power*, doi: 10.1002/etep.592, 2011.
- [30] Aggarwal, R.K.; Johns, A.T.; Song, Y.H.; Dunn, R.W.; Fitton, D.S.; “Neural-network based adaptive single-pole autoreclosure technique for EHV transmission systems”, *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol.141, no.2, pp.155-160, Mar 1994.
- [31] Fitton, D.S.; Dunn, R.W.; Aggarwal, R.K.; Johns, A.T.; Bennett, A.; “Design and implementation of an adaptive single pole autoreclosure technique for

- transmission lines using artificial neural Networks”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.11, no.2, pp.748-756, Apr 1996.
- [32] Le Blond, S. P.; Aggarwal, R.; “Design of Adaptive Autoreclosure Schemes for 132 kV With High Penetration of Wind—Part II: Real-Time Development and Testing”, IEEE Trans. Power Delivery, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2168571, 2011.
 - [33] Yu. I.K.; Song, Y.H.; “Wavelet analysis and neural network based adaptive single pole autoreclosure scheme for EHV transmission systems”, Electrical Power and Energy Systems, vol.20, no.7, pp.465-474, 1998.
 - [34] Zahlay, F.D.; Rama Rao, K.S.; “Neuro-Prony and Taguchi's Methodology-Based Adaptive Autoreclosure Scheme for Electric Transmission Systems”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.27, no.2, pp.575-582, April 2012.
 - [35] Elkalashy, N.I.; Darwish, H.A.; Taalab, A.I.; Izzularab, M.A.; “An adaptive single pole autoreclosure based on zero sequence power”, Electrical Power System Research, vol.77, pp. 438-446, 2006.
 - [36] Jamali, S.; Parham, A.; “New approach to adaptive single pole auto-reclosing of power transmission lines”, IET Generation, Transmission and Distribution, vol.4, no.1, pp.115-122, Jan. 2010.
 - [37] Widrow, B.; Lehr, M.A.; “30 years of adaptive neural networks: perceptrons, madaline and backpropagation”, IEEE Proc. vol.78, no.9, pp.1415-1442, 1990.
 - [38] Widrow, B.; Stearns, S.; “Adaptive Signal Processing”, Prentice Hall 1985.
 - [39] Beale, M.H.; Hagan, M.T.; Demuth, H.B.; “Neural Network Toolbox User's Guide”, The Math Works Inc., 2011.
 - [40] Dash, P.K.; Swain, D.P.; Liew, A.C.; Rahman, S.; “An adaptive linear combiner for on-line tracking of power system harmonics”, IEEE Trans. Power Systems, vol.11, no.4, pp.21-25, 1996.
 - [41] Mohammadi, H.R.; Varjani, A.Y.; Mokhtari, H.; Nayeripour, M.; “Fast and Accurate Frequency and Harmonic Estimation Method for On-Line Application in Power System”, International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, POWERENG 2007, pp.690-695, 12-14 April 2007.

- [42] Marei, M.I.; El-Saadany, E.F.; Salama, M.M.A.; "Envelope tracking techniques for flicker mitigation and voltage regulation", IEEE Trans. Power Delivery, vol.19, pp.1854-1861, 2004.
- [43] Dash, P.K.; Swain, D.P.; Routray, A.; Liew, A.C.; "An adaptive neural network approach for the estimation of power system frequency", Electrical Power System Research, vol.41, no.3, pp.203-210, 1997.
- [44] Ai, Q.; Zhou, Y.; Xu, W.; "Adaline and its application in power quality disturbances detection and frequency tracking", Electrical Power System Research, vol.77, no.2, pp.462-469, 2003.
- [45] Abdel-Galil, T.K.; El-Saadany, E.F.; Salama, M.M.A.; "Power quality event detection using adaline", Electrical Power System Research, vol.64, no.2, pp.137-144, 2003.
- [46] Min, L.C.; Qing, L.; "An enhanced adaptive neural network control scheme for power systems", IEEE Trans. Energy Conversion, vol.12, no.2, pp.166-174, 1997.
- [47] Marei, M.I.; El-Saadany, E.F.; Salama, M.M.A.; "A processing unit for symmetrical components and harmonics estimation based on a new adaptive linear combiner structure", IEEE Trans. Power Delivery, vol.19, no.3, pp.1245-1252, 2004.
- [48] Shatshat, R.E.; Salama, M.M.A.; Kazerani, M.; "Artificial intelligent controller for current source converter-based modular active power filters", IEEE Trans. Power Delivery, vol.19, no.3, pp.1314-1320, 2004.
- [49] Bechouche, A.; Sediki, H.; Abdeslam, D.O.; Haddad, S.; "A Novel Method for Identifying Parameters of Induction Motors at Standstill Using ADALINE", , IEEE Trans. Energy Conversion, vol.27, no.1, pp.105-116, 2012.
- [50] Karacasu O.; Hocaoglu M.H.; "Tek faz geri kapamada ark arızasının Adaline tabanlı algılanması", IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU 2010, pp.852-855, 22-24 Nisan 2010.
- [51] Karacasu O.; Hocaoglu M.H.; "Yeni bir ark arızası algılama metodunun simülasyonla analizi", Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Müh. Semp., ELECO 2010, 2-5 Aralık 2010.

- [52] Karacasu O.; Hocaoglu M.H.; “An Adaline based arcing fault detection algorithm for single-pole autoreclosers”, *Electrical Power System Research*, vol.81, no.2, pp.367-376, 2011.
- [53] Karacasu O.; Hocaoglu M.H.; “Yeni bir ark arızası algılama metodunun analizi”, *3e-Electrotech Enerji-Elektrik-Elektronik Dergisi*, Sayı.201, Sayfa 102–110, Mart 2011.
- [54] Karacasu O.; Hocaoglu M.H.; “Frekans ölçümüne ile ark arızasının algılanması”, *IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU 2011*, pp.690-693, 20-22 Nisan 2011.
- [55] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, İletişim Kontrol ve Otomasyon Dairesi Başkanlığı, Sistem Araştırma ve Kontrol Müdürlüğü, “Türkiye ulusal elektrik ağındaki havai hatların, trafoların ve generatörlerin elektriki karakteristikleri”, 2000.
- [56] Marti, J.R.; “Accurate modeling of frequency-dependent transmission lines in electromagnetic transient simulations”, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol.101, pp.147-157, 1982.
- [57] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, Sistem İşletme Etütleri Müdürlüğü, “Puant (yaz) yük şartlarında yük akışı, üç faz ve faz toprak kısa devre etüdü”, 2008.
- [58] Johns, A.T.; Aggarwal, R.K.; Song, Y.H.; “Improved techniques for modeling fault arcs on faulted EHV transmission system”, *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol.141, no.2, pp.148-154, 1994.
- [59] Prikler, L.; Kizilcay, M.; Ban, G.; Handl, P.; “Modeling secondary arc based on identification of arc parameters from staged fault test records”, *Electrical Power and Energy Systems*, vol.25, no.8, pp.581-589, 2003.
- [60] Kizilcay M; Pniok T; “Digital simulation of fault arcs in power systems”, *European Trans. Electrical Power*, vol.1,no.1, pp.55-60, 1991.
- [61] Sweetana, A.; “Transient Response Characteristics of Capacitive Potential Devices”, *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, vol.PAS-90, no.5, pp.1989-2001, 1971.
- [62] Kaszteny, B.; Sharples, D.; Asaro, V.; and Pozzuoli, M.; “Distance relays and capacitive voltage transformers balancing speed and transient overreach”,

53rd Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, April 2000.

- [63] Daqing H.; Roberts, J.; “Capacitive voltage transformer: transient overreach concerns and solutions for distance relaying”, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp.119-125, 26-29 May 1996.
- [64] IEEE Power System Relaying Committee, “EMTP Reference Models for Transmission Line Relay Testing”, [http://www.pes-psrc.org/Reports/EMTP Ref Model-Final.pdf](http://www.pes-psrc.org/Reports/EMTP_Ref_Model-Final.pdf), (Erişim tarihi: 22.03.2012).
- [65] Graovac, M.; Iravani, R.; Xiaolin Wang; McTaggart, R.D.; “Fast ferroresonance suppression of coupling capacitor voltage transformers”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.18, no.1, pp.158-163, 2003.
- [66] “E214.06: Transient Performance of Capacitor Voltage Transformers”, www.trenchgroup.com (Erişim tarihi: 22.03.2012).
- [67] Kezunovic, M.; Kojovic, L.; Skendzic, V.; Fromen, C.W.; Sevcik, D.R.; Nilsson, S.L.; “Digital models of coupling capacitor voltage transformers for protective relay transient studies”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.7, no.4, pp.1927-1935, 1992.
- [68] Kojovic, Lj.A.; Kezunovic, M.; Skendzic, V.; Fromen, C. W.; Sevcik, D. R.; “A New Method for the CCVT Performance Analysis using Field Measurements Signal Processing and EMTP Modeling”, IEEE Trans. Power Delivery, vol.9, no.4, pp.1907-1915, 1994.

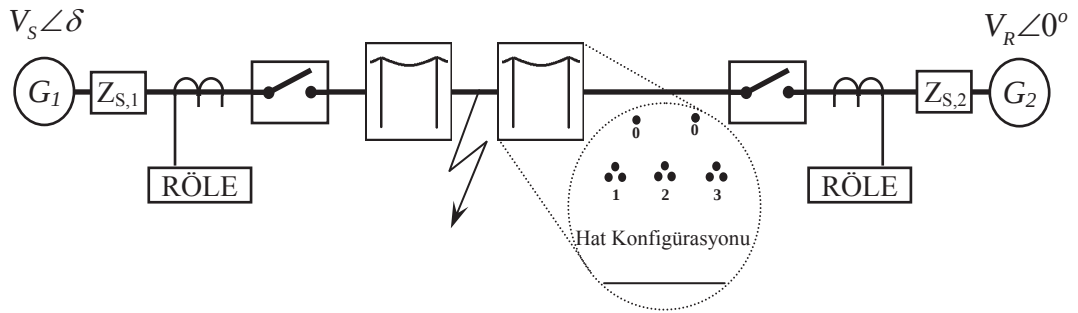
ÖZGEÇMİŞ

Özgür KARACASU, 1978 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve orta öğretimini 1983-1994 yılları arasında İstanbul’da tamamladı. Aynı yıl okumaya hak kazandığı Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü’nden 1998 yılında ikincilikle mezun oldu. 2002 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümünde yüksek lisansını tamamladı. Halen doktora öğrenimine Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde devam etmekte olan Özgür KARACASU 2001 yılından bu yana aynı bölümde Devreler ve Sistemler Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi görevini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EKLER

Ek 1.Modellenen Güç Sistemi

Modelleme EMTP'nin ATP versiyonunda yapılmıştır. Önerilen metotlar ATP'nin dâhili programlama dili olan Model ile simülasyonlara eklenmiştir. Tüm devre hesapları 50Hz'de 2048 örnek/periyo ile yapılmaktadır. Bununla birlikte Önerilen *TAES* indeksi 64 örnek/periyo ve *TASF* indeksi ise 8 örnek/periyo ile çalışmaktadır. Modelleme için Türkiye Ulusal Şebekesinde, 400kV seviyesinde TFGK sistemi bulunan ve en çok geçici arıza yaşanan ilk 10 ENH'ndan biri olan Erzin-Gaziantep II Hattı seçilmiştir. 119.204km uzunluğundaki hattın tek hat şeması Şekil Ek.1'de verilmiştir.



Şekil Ek.1. Modellenen güç sistem tek hat şeması.

Modellenen güç sistemi parametreleri sırasıyla

- Hat modeli,
- Kaynak modeli,
- Dinamik ark modeli,
- Kapasitif gerilim transformatörü
- TFGK Rölesi modelidir.

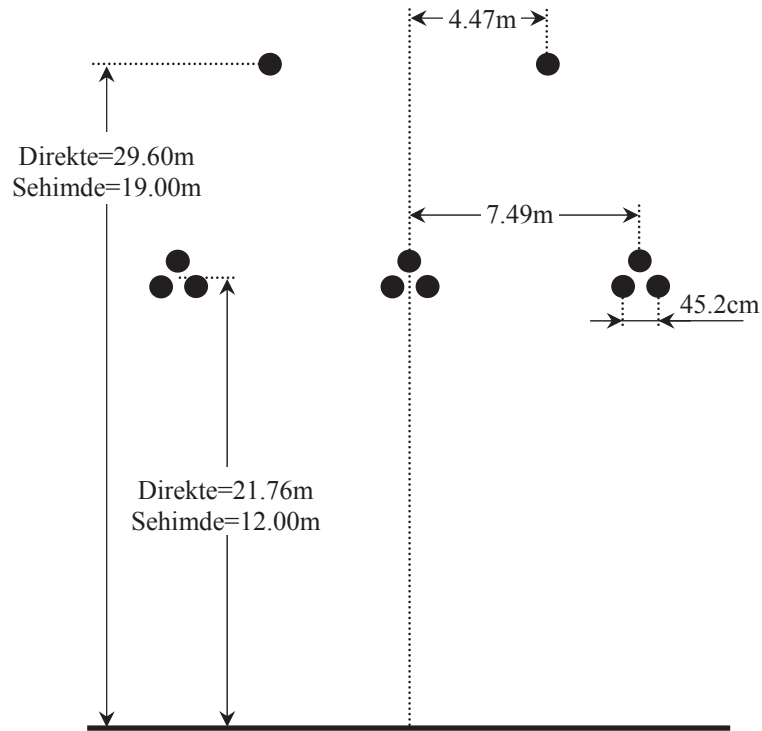
Bu bileşenlerin detayları sırasıyla verilecektir. Bununla birlikte TFGK rölesinin sadece konumuz olan arıza sonrası kısmı modellenmiştir. Arıza algılama, tek faz olup olmadığına karar verme vb. fonksiyonları modellememiştir. Arıza tarafımızca oluşturulduğu için zamana bağlı kesici kontrolü yapılmıştır. Sistemin tamamını

içeren ATP kodları Ek 2.1’de, Ark modeli ATP Model kodu Ek 2.2’de ve önerilen metotlara ait ATP Model kodlar sırasıyla Ek 2.3 ve Ek 2.4’ de verilmiştir.

Güç sistemindeki ekipmanların sürekli çalışmalarına bağlı olarak ortaya çıkan ısı gürültünün ve ölçü aletleri - dönüştürücülerden kaynaklanan gürültünün simülasyonlara eklenerek çalışma gerçeğe yakınlığının artırılması hedeflenmiştir. Eklenerek gürültünün miktarının belirlenmesinde gerçek saha verisinden faydalanılmıştır. Önerilen her iki metodunda gerçek verideki hatası incelenmiş ve simülasyon çalışmalarında aynı hata miktarını oluşturacak gürültü değeri belirlenmiştir. Gürültü modellenirken beyaz gürültü kullanılmıştır [30]. Eklenen gürültü miktarı, her iki metot içinde 1.E-3pu’dur.

Ek 1.1. Hat Modeli

400kV gerilim seviyesindeki tek devreli ENH’nda faz iletkenleri için faz başına üç adet olmak üzere 954MCM Cardinal tipi, koruma iletkenleri için 96mm² kesitli galvanize çelik iletken kullanılmıştır. Boyutları Şekil Ek.2’de verilen 3A1 tipi direk yapısına sahip enerji hattına ait, TEİAŞ tarafından hesaplanmış sıra devre parametreleri Tablo Ek.1’de verilmiştir [55].



Şekil Ek.2. Erzin-Gaziantep II ENH Direk konfigürasyonu.

Tablo Ek.1. Erzin-Gaziantep II hattı sıra devre parametreleri.

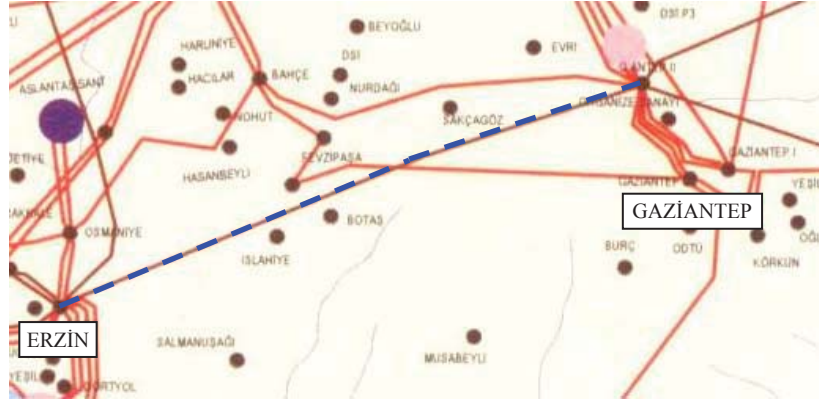
R_+ (Ω)	X_+ (Ω)	Y_+ (μmho)	R_0 (Ω)	X_0 (Ω)	Y_0 (μmho)
2.8	31.7	499.6	36.4	119.1	296.3

ENH parametrelerinin hesaplanmasında, iletken verisi ve direk konfigürasyonunu kullanan, ATP'nin hat ve kablo parametresi hesaplama rutini LCC (Line and Cable Constant)'den faydalanılmıştır. Şekil Ek.2'de verilen direk konfigürasyonu ve iletken bilgilerine göre yapılan hesaplamalarda iletken bilgilerindeki eksikliğe bağlı olarak Tablo Ek.1'de verilen sıra devre parametreleri elde edilememiştir. Bu nedenle iletkenlerin kesit bilgilerinde değişikliğe gidilerek Tablo Ek.1'de verilen sıra devre parametrelerine yaklaşılmıştır. ENH'na ait gerçek ve hesaplanan sıra devre parametreleri Tablo Ek0.2'de verilmiştir.

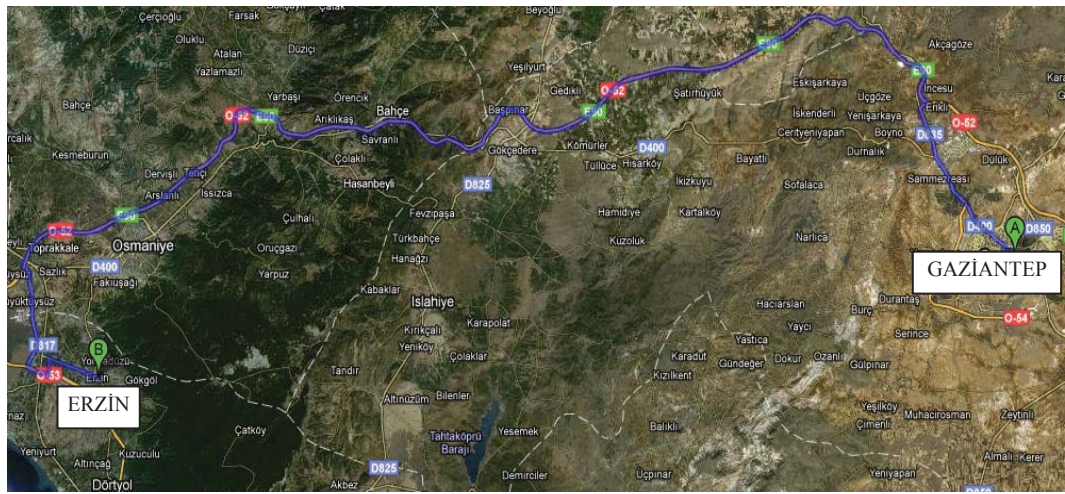
Tablo Ek0.2. Gerçek ve hesaplanan sıra devre parametreleri.

Parametre	Teiaş tarafından hesaplanan	ATP-LCC ile Hesaplanan
R_+ (Ω)	2.80	2.84
X_+ (Ω)	31.70	31.87
Y_+ (μmho)	499.60	513.00
R_0 (Ω)	36.40	32.23
X_0 (Ω)	119.10	119.27
Y_0 (μmho)	296.30	301.00

Yapılan simülasyonlar neticesinde 119.204km'lik hatta elde edilen, geçici arızaya ait gerilim dalga formlarının, literatürdeki gerilim dalga formlarına kıyasla, daha pürüzsüz olduğu görülmüştür. Literatürdeki test devreleri incelendiğinde modellenen hattın kapasitesinin düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ENH boyunca toprak öz direncinin 100 Ω/m alınmasıdır. Gerçek hayatta ENH hattı çok farklı doğal ortamlardan geçmektedir. Erzin-Gaziantep II ENH güzergâhının idari ve fiziki haritaları Şekil Ek.3 ve Şekil Ek.4'de verilmiştir. Bu problemin çözümü için hat uzunluğu 300km'ye çıkartılmıştır.



Şekil Ek.3. Erzin-Gaziantep II ENH güzergâhı (İdari).



Şekil Ek.4. Erzin-Gaziantep II ENH güzergâhı (Fiziki).

Uzunluğu artırılan ENH'nın sıra devre parametreleri Tablo Ek.3'de verilmiştir. Arıza sırasında oluşacak yüksek frekanslı bileşenlerin düzgün bir şekilde modellenebilmesi için ENH, belirlenen son parametreleri kullanılarak frekans bağımlı J.Martı modeli ile, tekrar modellenmiştir [56].

Tablo Ek.3. ENH sıra devre parametreleri.

	Pozitif Sıra	Sıfır Sıra
R	0.0239Ω/km	0.2699Ω/km
L	0.8517mH/km	3.1942mH/km
C	0.0137μF/km	0.0081μF/km

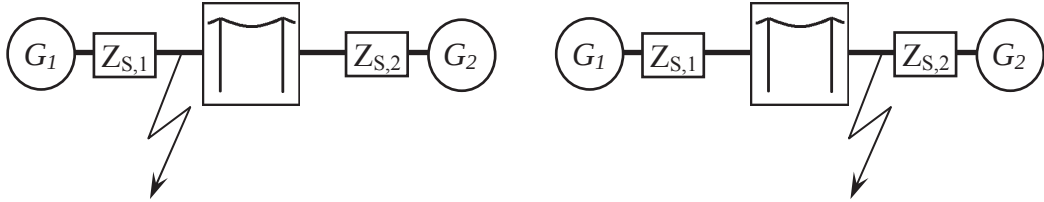
Ek 1.2. Kaynak Modeli

Hat başı ve sonu Thevenin eşdeğer devre modeli ile modellenmiştir. Bu amaçla Teiaş'ın 2008 yılı trafo merkezleri yüksek gerilim baralarının yaz puant yükü kısa devre akımlarından yararlanılmıştır [57]. Erzin ve Gaziantep II trafo merkezlerine ait 3 faz ve tek faz kısa devre akımları Tablo Ek.4'de verilmiştir.

Tablo Ek.4. Erzin ve Gaziantep II trafo merkezlerine ait 3 faz ve tek faz kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Gerilim (kV)	Üç Fazlı Arıza		Faz Toprak Arızası	
			Akım (kA)	Açı (°)	Akım (kA)	Açı (°)
910110	Erzin	380	16.4	-69.2	15.8	-69.9
820410	Gaziantep II	380	15.9	-67.9	11.0	-63.2

Tablo Ek.4'de verilen kısa devre akımlarından faydalanarak belirlenecek Thevenin eşdeğer empedansı, bu noktaya bağlı tüm hatların etkisi altında olacaktır. Sistemin küçük bir kısmının modellenmesi ile ilgilenildiği için test sistemi dışındaki bileşenler hesaptan çıkartılmış ve Şekil Ek.5'da verilen devre esas alınarak aynı kısa devre akımlarının akması için gerekli Thevenin eşdeğer empedansları hesaplanmıştır.



Şekil Ek.5. Thevenin eşdeğer empedansı belirlenmesinde kullanılan eşdeğer devreler.

Sistemde meydana gelen üç fazlı ve tek faz toprak kısa devresi sonrasında elde edilen kısa devre akımlarının gerçek değerlerle kıyaslanması Tablo Ek.5 verilmiştir.

Tablo Ek.5. Trafo merkezinde meydana gelen üç faz ve tek faz toprak kısa devresi akımları.

	Üç Fazlı Arızası		Faz Toprak Arızası	
	Gaziantep II (kA)	Erzin (kA)	Gaziantep II (kA)	Erzin (kA)
Gerçek	15.90	16.40	11.00	15.80
Hesaplanan	15.90	16.40	11.00	15.82

Hat başı ve sonu için hesaplanan Thevenin eşdeğer devresi sıra devre parametreleri Tablo Ek.6'da verilmiştir.

Tablo Ek.6. Hat başı ve sonu Thevenin eşdeğer devresi sıra devre parametreleri.

	Pozitif Sıra (Ω)	Sıfır Sıra (Ω)
Hat Başı	$8.3342 + i17.0566$	$23.7578 + i34.1946$
Hat Sonu	$7.2989 + i16.6462$	$5.2239 + i15.5344$

Thevenin eşdeğer devresinde kullanılan empedanslar seri RL elemanından oluşmaktadır. Yapılan simülasyonlarda L üzerinde depo edilen enerji nümerik hesaplama hatasına neden olmaktadır. Bu olayın önüne geçebilmek amacıyla seri RL elemanına paralel olarak 400Ω değerinde direnç bağlanmıştır. Toplam Thevenin eşdeğeri değişime bağlı olarak değişen üç faz ve tek faz toprak kısa devresi akımlarının genlikleri Tablo Ek.7'da verilmiştir.

Tablo Ek.7. Yeni Thevenin eşdeğeri ile hesaplanan Trafo merkezinde meydana gelen üç faz ve tek faz toprak kısa devresi akımları.

	Üç Faz Arızası		Tek Faz Toprak Arızası	
	Gaziantep II (kA)	Erzin (kA)	Gaziantep II (kA)	Erzin (kA)
Gerçek	15.90	16.40	11.00	15.80
Hesaplanan (Paralel 400Ω ile)	16.17	16.67	11.36	16.06

Ek 1.3. Dinamik Ark Modeli

Geleneksel olarak güç sistemlerinde yapılan çalışmanın niteliğine bağlı olarak, sistem bileşenleri çok detaylı olarak modellenirken ark arızasının detaylı olarak modellenmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Geleneksel yaklaşım ark arızasının ideal kısa devre veya düşük değerli rezistans üzerinden kısa devre şeklinde modellenmesidir. Bu tip modellemeler birincil ark ile ilgili hassas sonuçlar verirken, ikincil ark sürecinde meydana gelen geçiciliklerin detaylı incelenmesine izin vermemektedir.

Model detayını arttırmak amacıyla ark arızası üzerine yapılan deneylerden elde edilen verilerden basit eğri uydurma mantığı ile geliştirilen parça parça lineer yaklaşım metodunda ise modelleme gerçeğe yakın sonuçlar vermekle birlikte ark arızası sırasında ortaya çıkan, hattın yapısına ve rüzgâr gibi fiziksel parametrelere bağlı etkileşim modellenememektedir. Sistem parametrelerinden etkilenen, gerçeğe en yakın sonuçları veren ark modelleri anahtarlamalı ark modelleridir. Anahtarlamalı ark modelleri her iterasyonda ölçülen akım v gerilim verisine göre hesaplanan kontrollü anahtarlarla modellenebileceği gibi değeri değiştirilebilen dirençle de modellenebilir. Bu modellerde hem birincil ark süreci hem de ikincil ark süreci lineer olmayan elemanlarla modellenmektedir [58], [59].

Çalışmada kullanılan ark modeli, değeri o anki sistem parametrelerine bağlı olarak değişen direnç ile modellenmektedir. r_{arc} ark direnci ve $g(t)$ anlık ark kondüktansı olmak üzere ark direncinin değişimi Denklem (Ek.1)'de verilmiştir.

$$r_{arc} = \frac{1}{g(t)} \quad (\text{Ek.1})$$

Anlık ark kondüktasının diferansiyel denklemi tutuşmuş ark plazmasının enerji dengesine bağlıdır. G , durağan ark kondüktansı, g , anlık ark kondüktansı ve τ , ark zaman sabiti olmak üzere ark kondüktasının değişiminin veren, geliştirilmiş Mayr denklemi Denklem (Ek.2)'de verilmiştir [60].

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau}(G - g) \quad (\text{Ek.2})$$

Durağan ark kondüktansı, arızalı fazdan toprağa akan ark akımına, ark plazmasının uzunluğuna ve karakteristik ark parametrelerine bağlıdır. Toprağa akan

ark akımı i_{arc} , ark plazmasının anlık uzunluğu l_{arc} , ark plazmasının anlık uzunluğuna bağlı karakteristik ark gerilimi ve ark direnci sırasıyla u_0 ve r_0 olmak üzere durağan ark kondüktansı Denklem (Ek.3)'te verilmiştir.

$$G = \frac{|i_{arc}|}{(u_0 + r_0 \cdot |i_{arc}|) \cdot l_{arc}} \quad (\text{Ek.3})$$

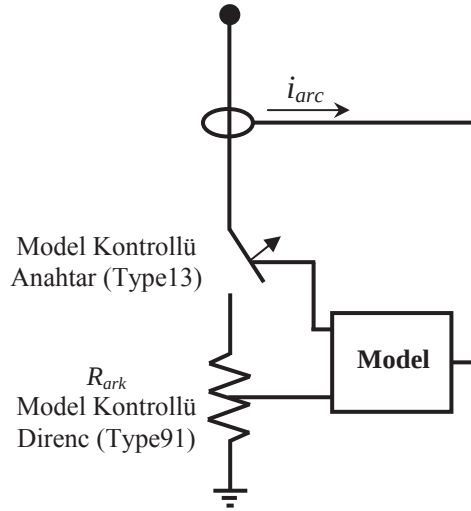
u_0 , r_0 ve τ parametreleri özel testler neticesinde elde edilmektedir. Ark zaman sabiti ark plazma uzunluğu ile ters orantılı bir değişim göstermektedir. τ_0 , başlangıç zaman sabiti, l_0 , ark plazmasının başlangıç uzunluğu ve α , -0.1 ile -0.6 arasında katsayı olmak üzere ark plazması uzunluğuna bağlı ark zaman sabiti Denklem (Ek.4)'te verilmiştir.

$$\tau(l) = \tau_0 \left(\frac{l_{arc}}{l_0} \right)^\alpha \quad (\text{Ek.4})$$

Zamana bağlı ark plazması uzunluğu $l_{arc}(t)$, ark süresi ve arkın sönmesinde en önemli faktördür. İkincil ark sırasındaki ark plazmasının uzunluğu rüzgâr gibi dış etkilere bağlıdır. Bu nedenle ark plazma uzunluğunun rastgele değişim çalışmanın hassasiyetini artırmak için modele eklenmiştir.

Oluşturulan arkın modeli kendi kendine sönme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek, değeri o anki sistem parametrelerine bağlı olarak değişen ark direncinin zamana göre türevinin, dr_{arc}/dt , belli bir eşik değerine ulaşp ulaşmadığının kontrolü ile yapılmaktadır. Kullanılan ark modelinde arkın tekrar tutuşması olayı dikkate alınmamıştır.

ATP ortamındaki ark direnci Model Kontrollü Rezistans (Type91) ve Model Kontrollü Anahtar (Type13) ile modellenmiştir. Model kontrollü anahtar arkın kendi kendine sönmesi olayını modellemek için kullanılmıştır. ATP ortamında ark modeli bağlantı prensip şeması Şekil Ek.6'de verilmiştir.



Şekil Ek.6. ATP ortamında ark modeli bağlantı prensip şeması.

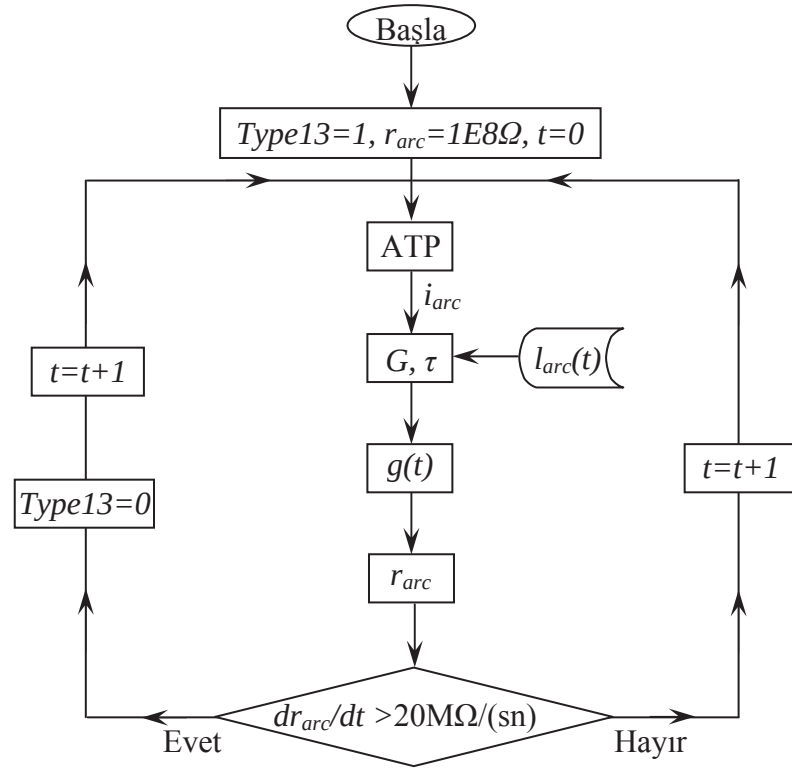
Atp ortamında herhangi bir t anında i_{arc} ark plazması uzunluğu ve bir önceki t anı için hesaplanan i_{arc} akımı verisi okunur. u_0 , r_0 sabit değerleri ile Denklem (Ek.3) ve τ_0 , l_0 ve α sabit değerleri ile Denklem (Ek.4)'ten aynı t anı için G ve τ hesaplanır. Denklem (Ek.2)'de verilen anlık ark kondüktasının diferansiyel denklemini MODEL'in dahili Laplace komutu ile S domeninde çözmek istersek anlık ark kondüktasının zamana bağlı değişimi Denklem (Ek.5)'deki hale getirilebilir.

$$g(t) = \frac{1}{1 + \tau \cdot s} G(t) \quad (\text{Ek.5})$$

t anı için G ve τ sabit değere sahip oldukları düşünülürse $g(t)$ 'nin ters Laplace'ı Denklem (Ek.6)'deki hale gelir.

$$g(t) = \frac{G}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{Ek.6})$$

t anı için g değeri hesaplandığında Denklem (Ek.1)'den r_{arc} 'ta hesaplanmış olur. Hesaplanan r_{arc} değeri ile tüm güç sistemi çözülerek t anı için i_{arc} akımı hesaplanmış olur. Bu hesaplama ile ilgili akış diyagramı Şekil Ek.7'de verilmiştir.



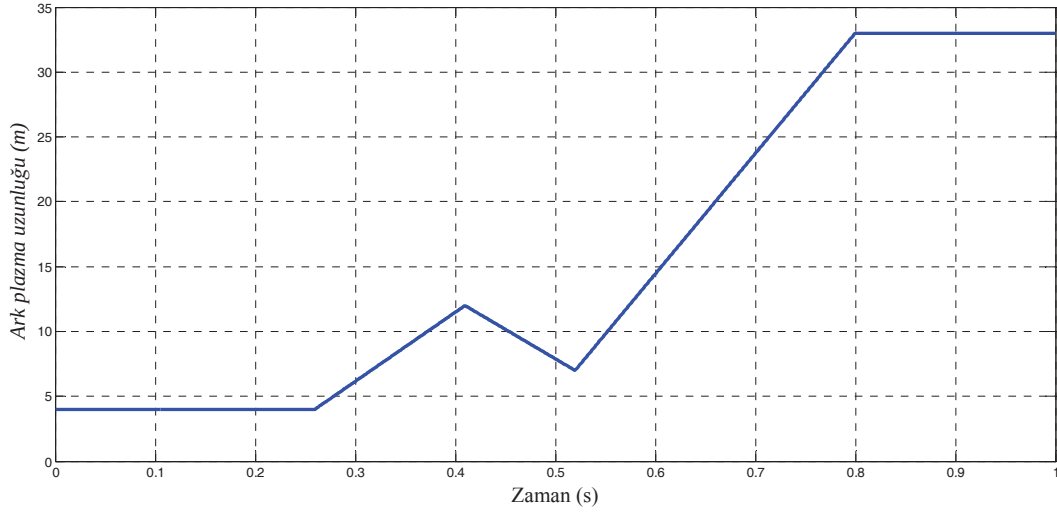
Şekil Ek.7. Ark modeli akış diyagramı.

400kV gerilim seviyesi için kullanılan ark modeli parametreleri Tablo Ek.8’de verilmiştir [59].

Tablo Ek.8. Ark modeli parametreleri.

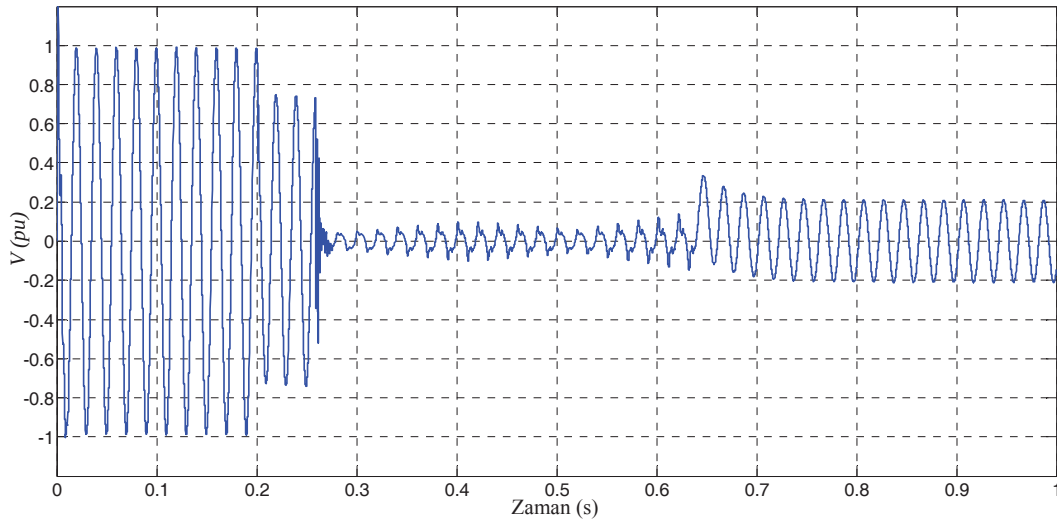
Parametre	Değer
τ_0	0.9kV/m
u_0	1ms
r_0	22mΩ/km
α	-0.5
dr_{arc}/dt	20MΩ/(s m)
l_0	4m

Simülasyon süresince ark plazması uzunluğunun zamana bağlı değişimi Şekil Ek.8’de verilmiştir [59].

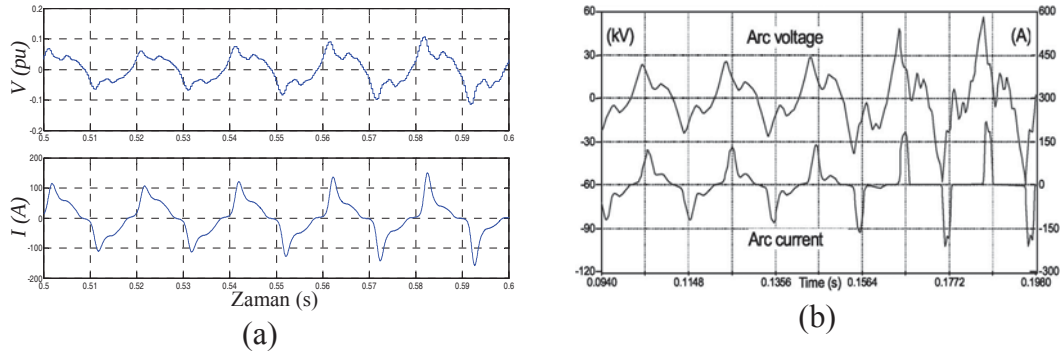


Şekil Ek.8. Simülasyon süresince ark plazması uzunluğu.

Atp ortamında geliştirilen ark modeli ile elde edilmiş Erzin-Gaziantep II ENH'nda meydana gelen geçici arızaya ilişkin gerilim dalga formu Şekil Ek.9'de ve Gerilim ve akım dalga formunun literatür ile kıyaslaması ise Şekil Ek.10'de verilmiştir.



Şekil Ek.9. Erzin-Gaziantep II ENH'nda meydana gelen geçici arıza için gerilim dalga formu.



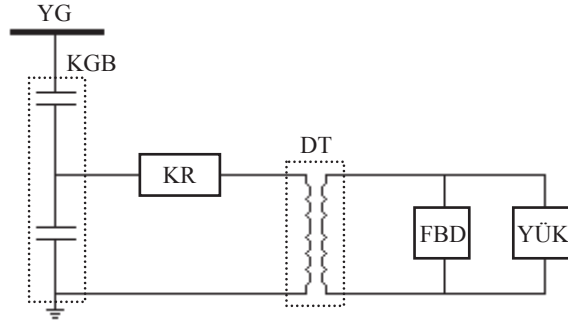
Şekil Ek.10. Ark modelinin literatür ile kıyaslanması (a) Modellenen ark akımı ve ark gerilimi, (b) Literatürdeki ark akımı ve ark gerilimi [59].

Oluşturulan ark modelinin başarılı olarak çalıştığı literatüre ile yapılan görsel kıyaslamadan anlaşılabilmektedir [59]. Değerler arasındaki fark kıyaslama yapılan güç sistemlerinin parametrelerinin farklılığından meydana gelmektedir.

Ek 1.4. Kapasitif Gerilim Transformatörü

KGT, iletim seviyesinde, primer tarafındaki gerilimi dalga formunu sekonder tarafa indirmek için tasarlanmış bir cihazdır. KGT'lerin sekonder gerilimleri takip, koruma ve kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Basit bir gerilim transformatörü gibi düşünülmeyle birlikte karmaşık ekipmanlardır. Bunun nedeni, iletim seviyesinden direk çalışacak bir transformatör yerine kapasiteler ile gerilimin belli bir seviyeye düşürülmesinden sonra transformatör kullanımının daha ucuz olmasıdır. Bu ucuz yapı içerisinde bulunan enerji depo eden elemanlar ve manyetik devrelerdeki saturasyonlar sebebiyle sürekli halde kendileri için tanımlanan görevi başarıyla yerine getirirken geçici halde çıkış dalga formları giriş dalga formlarından farklılıklar göstermektedir [5], [61]. Bilinen bu problemlere karşın KGT'lerin karakteristik davranışları çok iyi bilincideği için birçok koruma uygulamasında kullanılabilmektedir [62], [63].

Genel olarak Kapasitif Gerilim Bölücü (KGB), Kompanzasyon Reaktörü (KR), Düşürücü Transformatör (DT), Ferrezonans Bastırma Devresi (FBD) ve Yük olmak üzere 5 ana gruptan oluşan KGT'nin prensip şeması Şekil Ek.11 verilmiştir. Modelleme ile ilişkisi bulunmayan, haberleşme ekipmanları ve aşırı gerilim koruma ekipmanları şekillerde verilmemiştir [63], [64].



Şekil Ek.11. KGT Prensi şeması.

KGB'nun görevi hat gerilimini tipik 5-15kV aralığına indirmektir. KGB'nin sistem frekansındaki kapasitesi KR ile kompanze edilmektedir. Bu sayede gerilimde faz kayması oluşmaması sağlanmaktadır. Orta gerilim seviyesine indirilen hat gerilimi DT ile röle girişlerinde kullanılan standart gerilim değeri olan 115V'a düşürülmektedir. KR ve DT demir nüveli ekipmanlardır. Lineer olmayan yapıları nedeniyle geçici rejim süresince KGT'lerin çıkış dalga formunun bozulmasına neden olmaktadır. Ferrerezonans sebebiyle bu bozulmaların ortadan kaldırılması amacıyla FBD kullanılmaktadır. Bu bastırma devreleri için gerekli zaman 50Hz'de birkaç periyottur. Çıkış gerilimi dalga formu, Ferrerezonans sebebiyle, ilk 3-5 periyotta ciddi oranda bozulurken sonraki 4-6 periyotta etkisini kaybederek sürekli hale oturmaktadır. [63], [65]

KGT performansını etkileyen önemli bir faktörde kullanılan ölçü aletlerinin eşdeğer empedansı olan yük değeridir. DT'nin sekonder devresine seri durumda bulunduğu için devreden akan akımı direk etkilemekte ve geçiciliklerin olduğundan daha uzun algılanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle etiket değeri olarak verilmekte ve en iyi performans için KGT'nin bu yük ile yüklenmesi istenmektedir. Elektromekanik röleler, yapıları gereği KGT'leri istendiği gibi tam yükleyebilmektedirler. Bununla birlikte dijital röleler aynı yüklemeyi sağlayamamaktadır. Bu sorunun çözümü için dijital röle ile birlikte kullanılacak KGT'nin tam yüklenmesi sağlanmaktadır. Yükün enerji depo eden yapıda olmaması, bunun yerine rezistif yapıda seçilmesi önerilse de güç sistemlerindeki mevcut rölelerin büyük bir çoğunluğu elektromekanik rölelerdir [62],[66].

Açık literatürde geçici rejim analizlerinde kullanılmak üzere KGT devre parametrelerinin elde edilmesiyle alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Farklı marka

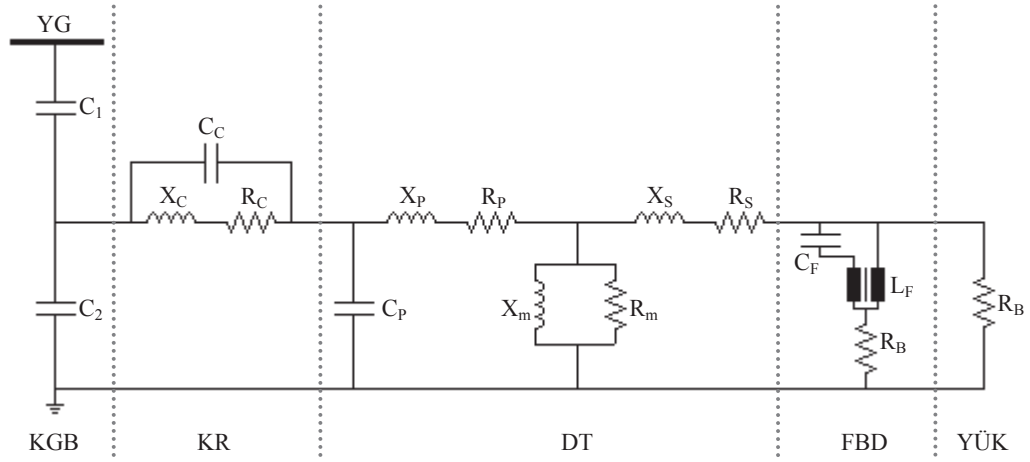
ve model KGT'ler prensipte aynı bileşenlerden oluşmakla birlikte devre elemanlarının bağlantı şekilleri ve değerleri açısından farklılık göstermektedir. Bununla birlikte incelenen çalışmalarda, değerleri gerilim seviyesine göre ayarlanabilen genelleştirilmiş bir KGT modeline de rastlanamamıştır.

Açık literatürde 138kV [67], [68], 161Kv [65], 230kV [64] ve 345Kv [67] seviyelerinde birçok farklı marka ve model KGT eşdeğer devre parametrelerine ulaşılmış, ancak bu çalışmada modellenen güç sistemi gerilim seviyesi olan 400kV seviyesinde KGT eşdeğer devre parametrelerine ulaşılmamıştır. Bununla birlikte 230kV'luk KGT modelinin, simülasyon ortamında röle testlerinde kullanılması amacıyla IEEE PES Röle Komitesi tarafından önerilen ve EMTP ortamına, uygun yük değeri ile birlikte, detaylı olarak aktarılmış bir model olduğu görülmüştür [64].

KGT'nin çalışmada kullanılmasının amacı, simülasyon çalışmalarının gerçekçiliğini arttırmaktır. KGT modelinin simülasyonlara katılması, önerilen metotların gerçeğe daha yakın gerilim dalga formları ile test edilmesini sağlayacak ve performans analizi sonuçlarının gerçeğe yakınlığı arttırılmış olacaktır. Bu hedefle 230kV'luk KGT modelinin DT'sinde aynı gerilim değeri oluşacak şekilde KGB'nin yüksek gerilim kondansatörünün değeri tekrar hesaplanarak KGT'nin 400kV seviyesinde çalışması sağlanmıştır.

400kV seviyesi için tekrar hesaplanan yüksek gerilim kondansatörünün değeri 1.38nF'tır. KGB kondansatörleri toplamı ne kadar yüksek olursa geçiciliğin genliğinin de o kadar az olacağı bilinmektedir. C_2 'nin 82nF olduğu göz önüne alındığında toplam değişim %1 civarındadır. Bu değişimin KGT cevabını olumsuz yönde etkilememesi beklenmektedir.

Modellenen 230kV nominal çalışma gerilimine sahip KGT'nin ATP modeli Şekil Ek.12'de görülmektedir. Şekil Ek.12'de verilen devreye ait eleman değerleri ise Tablo Ek.9'da verilmiştir [64].



Şekil Ek.12. KGT ATP modeli [64].

Tablo Ek.9. KGT devre parametreleri [64].

GRUP	ELEMAN
KGB	$C_1=2.43\text{nF}$, $C_2=82\text{nF}$
KR	$R_C=228\Omega$, $X_C=58\text{k}\Omega$, $C_C=100\text{pF}$
DT	$C_P=150\text{pF}$, $R_P=400\Omega$, $X_P=2997\Omega$ $R_S=1\text{m}\Omega$, $X_S=1\text{m}\Omega$ Dönüştürme oranı=6584/115 $I=0.001421\text{A}$, $\Psi=13.7867\text{Vs}$
FSD	$C_F=9.6\text{pF}$, $R_F=40\Omega$ $R_{FP}=0.02\Omega$, $X_{FP}=0.02\Omega$ $R_{FS}=1\text{m}\Omega$, $X_{FS}=1\text{m}\Omega$ Dönüştürme oranı=1.98/1 $I=0.1\text{A}$, $\Psi=0.035\text{Vs}$ (L_F)
YÜK	$R_B=100\Omega$

Ek 1.5. Matlab - ATP Entegrasyonu

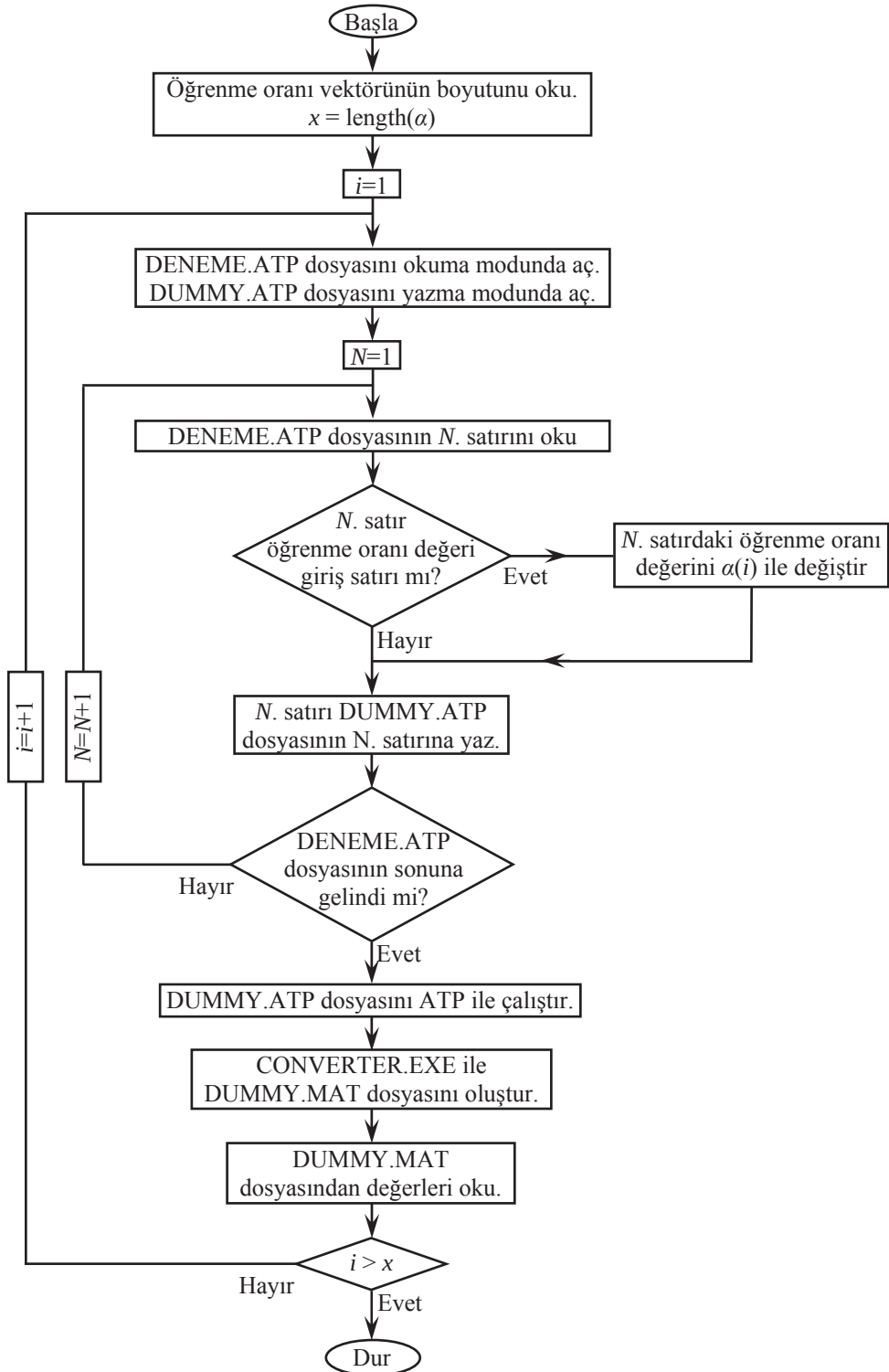
Önerilen her iki metot, ATP programında modellenen test sistemi ile incelenmiş ve parametrik analizler yapılmıştır. ATP programı eş zamanlı bir değişken için parametrik analiz yapabilmektedir. *TAES* indeksi için 7 farklı parametre için toplam 445440 adet, *TASF* indeksi için ise 6 farklı parametre için toplam 41760 farklı durumda test edilmiştir. Yapılan simülasyonların hatasız olarak yapılabilmesi için Matlab ortamından yararlanılmıştır.

ATP programı, konut satırı üzerinden yığın modunda (Batch Mode) çalışma yeteneğine sahip bir programdır. “Deneme.atp” isimli ATP veri giriş dosyası, çalışılan dizin içinde olmak şartıyla, komut satırından girilen “C:\EEUG\WatATP98\tpbigw.exe both Deneme.atp -r” komutuyla çalıştırılabilmektedir. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler “Deneme.pl4” isimli çıktı dosyasına kaydedilmektedir. Çıktı dosyası “converter.exe” isimli yazılım ile Matlab ortamında değerlendirilmek üzere “Deneme.Mat” adıyla dönüştürülmektedir.

Matlab programı “dos(’’)” komutu sayesinde istenilen komut satırını çalıştırma yeteneğine sahiptir. Bu yetenek temel alınarak geliştirilen program sayesinde Matlab öncelikli olarak kendisine verilen *Giris_dosyasi.atp* isimli ATP veri giriş dosyasını kopyalamaktadır. Satır satır yapılan kopyalama işlemi sırasında kendisine tanımlanan parametrelerden bir tanesinde değişiklik yapmaktadır. Kopyalama sonucunda oluşturulan *Dummy.atp* isimli dosyayı ATP ortamında çalıştıran Matlab ortaya çıkan sonuç dosyasını, “converter.exe” programı ile MAT formatına dönüştürmektedir. *Dummy.mat* dosyası içindeki sonuçları kaydededen Matlab bir sonraki değişken için kendisine verilen ATP veri giriş dosyasını kopyalayarak tüm parametre setlerini taramaktadır. Bu sayede ATP programı, çok değişkenli parametrik analiz yapar hale getirilmiştir. Matlab – ATP entegrasyonu için tasarlanan programın, sadece öğrenme oranı parametresi için düzenlenmiş akış diagramı Şekil Ek.13’te verilmiştir.

TAES indeksi simülasyonlarında kullanılan ve 5 parametrenin değerlerinin otomatik değiştirilmesi için geliştirilen Matlab kodu ise Ek 2.5’de verilmiştir. Matlab kodundaki değişken parametreler arıza tipi, arıza yeri, yük açısı, öğrenme oranı ve

ortalama penceresi boyutudur. Bekleme süresi ve giriş vektörü boyutu değişkenleri ATP giriş dosyasından değiştirilmektedir.



Şekil Ek.13. Matlab-ATP entegrasyonu akış diyagramı.

Ek 2. Bilgisayar Kodları

Ek 2.1. ATP Test Sistemi

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW Nisan, Pazartesi 9, 2012
C A Bonneville Power Administration program
C by H. K. Høidalen at SEFAS/NTNU - NORWAY 1994-2009
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
1.953E-5      3.
   50000      1      0      1      0      0      0      1      0
/TACS
TACS HYBRID
/MODELS
MODELS
INPUT
MM0001 {i(XX0007)}
MM0002 {v(CCVT)}
OUTPUT
  XX0001
  EXT
  XX0008
  XX0009
  XX0010
MODEL arclONG
BAKINIZ Ek 2.2. Ark Modeli ATP Model kodu
MODEL ADL_TAES
BAKINIZ Ek 2.3 TAES Modeli ATP Model kodu
Veya
BAKINIZ Ek 2.4 TASF Modeli ATP Model kodu
USE arclONG AS arc
INPUT
  iarc:= MM0001
DATA
  v0:=      900.
  r0:=      0.022
  tau0:=     8.E-4
  arcalfa:=  -0.5
  Tfault:=   0.5
  Tcb:=     0.5585
  drarclimit:= 2.E7
  ARCORNOT:= 1.
  LONGORNOT:= 0.0
OUTPUT
  XX0001:=rarc
  EXT:=exting

```

```

ENDUSE
USE ADL_TAES AS ADALINESPAR
INPUT

```

```

  XG:= MM0002

```

```

DATA

```

```

  ALFA:=      0.5
  FREQ:=      50.
  tAutooff:=  0.5585
  NOISES:=    0.001
  T1:=        5.
  T2:=       100.
  TAESNS:=    32.
  RUNMODE:=   1.

```

```

OUTPUT

```

```

  XX0008:=CB1
  XX0009:=CB2
  XX0010:=CB3

```

```

ENDUSE

```

```

RECORD

```

```

  arc.Tarcof AS Tarcof
  arc.Larc AS Larc
  ADALINESPAR.TCBON AS TCBON
  ADALINESPAR.TCBOFF AS TCBOFF
  ADALINESPAR.TCBALL AS TCBALL
  ADALINESPAR.TAES AS TAES
  ADALINESPAR.CB1 AS CB1
  ADALINESPAR.CB2 AS CB2
  ADALINESPAR.HATA AS HATA
  ADALINESPAR.THRSHD AS THRSHD

```

```

ENDMODELS

```

C	1	2	3	4	5	6	7	8
C	34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890							
/BRANCH								
C	< n1 >	< n2 >	<ref1><ref2>	< R >	< L >	< C >		
C	< n1 >	< n2 >	<ref1><ref2>	< R >	< A >	< B >	<Leng><><>0	
91XX0002	TACS	XX0001						0
GAZISAGAZI2A			400.					0
GAZISBGAZI2B			400.					0
GAZISCGAZI2C			400.					0
ERZN1AERZNSA			400.					0
ERZN1BERZNSB			400.					0
ERZN1CERZNSC			400.					0
51ERZN1AERZNSA			5.2239		49.448			
52ERZN1BERZNSB			7.2989		52.987			
53ERZN1CERZNSC								
51GAZISAGAZI2A			23.758		108.845			
52GAZISBGAZI2B			8.3342		54.293			
53GAZISCGAZI2C								
HBA	XX0004				.00138			0
XX0004					.082			0

```

XX0004XX0005          228.1.54E5          0
XX0005XX0004          .0001              0
XX0005          .00015                  0
TRANSFORMER          TX0001  1.E6          0
      0.001421      13.7867
      9999
1XX0005          400.7949.7 6584.
2CCVT          .001.00265 115.
CCVT          100.          0
TRANSFORMER          TX0002  1.E5          0
      0.1          0.035
      9999
1XX0006XX0011          .02.05305 1.98
2CCVT XX0011          .01.02653 1.
XX0011          40.          0
CCVT XX0006          9.6          0
$INCLUDE, C:\EEUG\EMTP\GEHS170.lib, KDAA##, KDAB##, KDAC##, HSA###, HSB### $$
, HSC###
$INCLUDE, C:\EEUG\EMTP\GEHB130.lib, HBA###, HBB###, HBC###, KDAA##, KDAB## $$
, KDAC##
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CL0P >< type >
      KDAA KDA2          .5          10.          0
13XX0003XX0002          EXT          0
      KDA2 XX0007          MEASURING
      XX0007XX0003          MEASURING          0
13GAZI2AHBA          XX0008          0
13GAZI2CHBC          XX0010          0
13GAZI2BHBB          XX0009          0
13HSA ERZN1A          XX0008          0
13HSC ERZN1C          XX0010          0
13HSB ERZN1B          XX0009          0
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14GAZISA 0 310268. 50. 10. -1. 1.E3
14GAZISB 0 310268. 50. -110. -1. 1.E3
14GAZISC 0 310268. 50. 130. -1. 1.E3
14ERZNSA 0 297857. 50. -1. 1.E3
14ERZNSB 0 297857. 50. -120. -1. 1.E3
14ERZNSC 0 297857. 50. 120. -1. 1.E3
/OUTPUT HBA CCVT
BLANK TACS
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Ek 2.2. Ark Modeli ATP Model kodu

```

MODEL ArcLONG
CONST      gmin {VAL:50.0E-6} -- Minimum conductance value (S/m)
           Larc0 {VAL:4}      -- arc elongation initial value
DATA       v0 {dflt:900.}     -- characteristic arc voltage (V/m)
           r0 {dflt:22.E-3}    -- char. arc resistance per arc length (ohm/m)
           tau0 {dflt:1.0E-3}  -- initial time constant of the arc (s)
           arcalfa {dflt:-0.5} -- constant
           Tfault              -- Starting time of the fault
           Tcb {dflt:0.5585}   -- cb opening time (short arc 0.31)
           drarclimit {dflt:20E6} -- limit of derivative of ins. arc resistance
           ARCORNOT {dflt:1}    -- 1=TRANSIENT, 0=PERM
           LONGORNOT {dflt:0}   -- 1=LONGARC, 0=SHORTARC
VAR         gest              -- Steady-state arc conductance
           gint              -- Auxiliary variable
           garc              -- Dynamic arc conductance
           sgnc              -- Flag
           rarc              -- Dynamic arc resistance
           tau               -- time constant of the arc
           Larc              -- arc length (m)
           drarc             -- derivative of instantaneous arc resistance
           exting            -- arc extinguish control
           Tarcof            -- arc extinction time
INPUT       iarc              -- Arc current
OUTPUT      rarc              -- Arc Resistance
           exting            -- Arc extinction
HISTORY     gint
           rarc
INIT        Tarcof:=0
ENDINIT
EXEC
    IF ARCORNOT = 0 THEN
        exting:=1
        Rarc:=50
    ELSE
        IF (t<=Tcb) THEN
            Larc:=Larc0
            exting:=1
        ELSE
            IF LONGORNOT=0 THEN
                IF (t<=(Tcb + 0.15)) THEN
                    Larc:=(53.3*(t-Tcb)+4)
                ELSE
                    IF (t<=(Tcb+0.26)) THEN
                        Larc:=(5*(t - Tcb -0.15)-1.32)/-0.11
                    ELSE
                        IF (t<=(Tcb+0.54)) THEN
                            Larc:=(26*(t-Tcb-0.26)+1.96)/0.28
                        ELSE

```

```

                                Larc:=33
                                ENDIF
                            ENDIF
                        ENDIF
                    ELSE
                        IF (t<=(Tcb + 0.5)) THEN
                            Larc:=(16*(t-Tcb)+4)
                        ELSE
                            IF (t<=(Tcb+0.8)) THEN
                                Larc:=(5*(t - Tcb -0.5)-3.6)/-0.3
                            ELSE
                                IF (t<=(Tcb+1.2)) THEN
                                    Larc:=(7*(t-Tcb-0.8)+2.8)/0.4
                                ELSE
                                    IF (t<=(Tcb+1.6)) THEN
                                        Larc:=(5*(t-Tcb-1.2)-5.6)/-0.4
                                    ELSE
                                        IF (t<=(Tcb+2)) THEN
                                            Larc:=(11*(t-Tcb-1.6)+8.1)/0.9
                                        ELSE
                                            Larc:=20
                                        ENDIF
                                    ENDIF
                                ENDIF
                            ENDIF
                        ENDIF
                    ENDIF
                ENDIF
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
    gest:=(abs(iarc))/(Larc*(v0 + r0*abs(iarc)))
    IF (t<=Tfault) THEN
        gint:=gest
    ELSE
        tau:=tau0*((Larc/Larc0)**arcalfa)
        LAPLACE(gint/gest):=1| / (1| + tau|s)
    ENDIF
    sgnc:=(gint<=gmin) OR (prevval(gint)<=gmin)
    garc:=gmin*sgnc + gint*not(sgnc)
    rarc:=recip(garc)
    drarc:=(rarc-prevval(rarc))/timestep
    IF exting=1 and drarc>drarclimit THEN
        exting:=0
        Tarcof:=t
    ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL

```

Ek 2.3. TAES indeksi ATP Model Kodu

```

MODEL ADL_TAES
INPUT      XG
DATA       ALFA {DFLT:0.5}
           FREQ {DFLT:50}
           tAutooff {DFLT:0.5585}
           NOISES {DFLT:0.001}
           T1 {DFLT:5}
           T2 {DFLT: 100}
           TAESNS {DFLT:24}
           RUNMODE {DFLT:1}
OUTPUT     CB1, CB2, CB3
VAR         X0, W[1..4], X[1..4], TAHMIN, HATA, NORMX, ABSHATA,
           TOPLAM, TAES, PERIOD, TCBON, TCBOFF, THRESHOLDFLAG,
           THRSHD, CBFLG1, CBFLG2, CB1, CB2, CB3, TCBALL, VMAXX

HISTORY     X0 {DFLT:0}
           HATA {DFLT:0}
           TAES {DFLT:0}
           TOPLAM {DFLT:0}
DELAY CELLS DFLT: 7*(1/(FREQ*timestep)+1)
INIT        W[1..4]:=0
           PERIOD:=1/FREQ
           integral(ABSHATA):=0
           THRESHOLDFLAG:=0
           THRSHD:=0
           CBFLG1:=1
           CBFLG2:=1
           CB1:=1
           CB2:=1
           CB3:=1
           TCBON:=0
           TCBOFF:=0
           TCBALL:=0
           VMAXX:=0
           TAES:=0

ENDINIT
TIMESTEP MIN: 3.125E-4
EXEC
IF (t<0.08) THEN
  IF (t>0.04) THEN
    IF (abs(XG) > VMAXX) THEN
      VMAXX:=abs(XG)
    ENDIF
  ENDIF
ELSE
  X0:=(XG / VMAXX) * (1 + (2*(random()-0.5)*NOISES))
  FOR i:=1 to 4 DO

```

```

        X[i]:=delay(X0,i*timestep,1)
    ENDFOR
    TAHMIN:=X[1]*W[1]+X[2]*W[2]+X[3]*W[3]+X[4]*W[4]
    HATA:=X0 - TAHMIN
    NORMX:=X[1]*X[1]+X[2]*X[2]+X[3]*X[3]+X[4]*X[4]
    FOR i:=1 to 4 DO
        W[i]:=W[i] + ALFA*HATA*(X[i]/(0.001+NORMX))
    ENDFOR
    ABSHATA:=abs(HATA)
    TOPLAM:=integral(ABSHATA)
    TAES:=(TOPLAM - delay(TOPLAM,(TAESNS)*timestep,1))
/ (TAESNS*0.02/64)
    IF (t >= tAutooff) AND THRESHOLDFLAG=0 THEN
        CB1:=0
        TCBOFF:=tAutooff
        THRSHD:=((delay(TAES,6.5*PERIOD)+delay(TAES,5.5*PERIOD)+delay(
TAES,5*PERIOD))/3)
        THRESHOLDFLAG:=1
    ENDIF
    IF (THRESHOLDFLAG=1) AND (t > (TCBOFF + PERIOD)) THEN
        IF ((t < (TCBOFF + T1*PERIOD)) AND (THRSHD > TAES)) OR (t
> (TCBOFF + T2*PERIOD)) THEN
            CBFLG2:=0
            ELSIF (CBFLG2=1) AND (t > (TCBOFF + T1*PERIOD)) AND
(THRSHD > TAES) THEN
                CBFLG1:=0
            ENDIF
        ENDIF
    IF (RUNMODE=1) and (CBFLG1=0) and (CBFLG2=1) THEN
        CB1:=1
        IF TCBON=0 THEN
            TCBON:=t
        ENDIF
    ENDIF
    IF (RUNMODE=1) and (CBFLG2=0) and (CBFLG1=1) THEN
        IF TCBALL=0 THEN
            TCBALL:=t
        ENDIF
        CB1:=0
        CB2:=0
        CB3:=0
    ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL

```

Ek 2.4. TASF indeksi ATP Model Kodu

MODEL ADL_TASF

INPUT XG

DATA

FREQ {DFLT:50}

tAutooff {DFLT:0.5585}

NOISES {DFLT:0.001}

T1 {DFLT:10}

T2 {DFLT: 100}

RUNMODE {DFLT:1}

ALFA {DFLT:0.5}

OUTPUT

CB1, CB2, CB3

VAR

X0, W[1..2], X[1..2], TAHMIN, HATA, NORMX, TOPLAM, SF,
 PERIOD, TCBON, TCBOFF, CBFLG1, CBFLG2, CB1, CB2, CB3,
 SFFLAG, TCBALL, SGNX[1..2], VMAXX, TASF, TASF8, TASF4,
 NWALFA, THRSHLDFLG

HISTORY

X0 {DFLT:0}

HATA {DFLT:0}

SF {DFLT:0}

TOPLAM {DFLT:0}

TASF {DFLT:0}

DELAY CELLS DFLT: 7*(1/(FREQ*timestep)+1)

INIT

W[1..2]:=0

SGNX[1..2]:=0

PERIOD:=1/FREQ

integral(SF):=0

CBFLG1:=1

CBFLG2:=1

SFFLAG:=0

CB1:=1

CB2:=1

CB3:=1

TCBON:=0

TCBOFF:=0

TCBALL:=0

VMAXX:=0

TASF4:=0

TASF8:=0

THRSHLDFLG:=0

ENDINIT

Timestep MIN: 2.5E-3

EXEC

IF (t<0.08) and (t>0.04) THEN

IF (abs(XG) > VMAXX) THEN

VMAXX:=abs(XG)

ENDIF

ELSIF (t >= (tAutooff)) AND THRSHLDFLG=0 THEN

```

CB1:=0
TCBOFF:=tAutooff
THRSHLDFLG:=1
ELSIF (t >= (tAutooff + PERIOD)) THEN
X0:=(XG / VMAXX) * (1 + (2*(random()-0.5)*NOISES))
FOR i:=1 to 2 DO
    X[i]:=delay(X0,i*timestep,1)
ENDFOR
TAHMIN:=X[1]*W[1]+X[2]*W[2]
HATA:=X0 - TAHMIN
IF (t < (TCBOFF + T1*PERIOD)) THEN
    FOR i:=1 to 2 DO
        IF X[i]>0 THEN
            SGNX[i]:=1
        ELSE
            SGNX[i]:=-1
        ENDIF
        W[i]:=W[i] + ALFA*HATA*SGNX[i]/(0.01+SGNX[i]*X[i])
    ENDFOR
ELSE
    NORMX:=X[1]*X[1]+X[2]*X[2]
    FOR i:=1 to 2 DO
        W[i]:=W[i] + ALFA*HATA*(X[i]/(0.001+NORMX))
    ENDFOR
ENDIF
IF W[1] > 2 THEN
    W[1]:=2
ENDIF
IF W[1] < -2 THEN
    W[1]:=-2
ENDIF
SF:=acos(W[1] /2)/(2*pi*2.5E-3 )
TOPLAM:=integral(SF)
TASF:=(TOPLAM - delay(TOPLAM,(4)*timestep,1))/(4*0.02/8)
TASF4:=delay(TASF,(4)*timestep,1)
TASF8:=delay(TASF,(8)*timestep,1)
IF (t < (TCBOFF + T1*PERIOD)) THEN
    IF (CBFLG2=1) AND (TASF<51) AND (TASF>49) AND
(TASF4<51) AND (TASF4>49) AND (TASF8<51) AND (TASF8>49) THEN
        CBFLG2:=0
    ENDIF
ENDIF
IF CBFLG2=1 AND (t > (TCBOFF + T1*PERIOD)) THEN
    IF (CBFLG1=1) AND (TASF<51) AND (TASF>49) AND
(TASF4<51) AND (TASF4>49) AND (TASF8<51) AND (TASF8>49) THEN
        CBFLG1:=0
    ENDIF
    IF (CBFLG1=1) AND (t > (TCBOFF + T2*PERIOD)) THEN
        CBFLG2:=0
    ENDIF

```

```
ENDIF
IF (RUNMODE=1) AND (CBFLG2=1) and (CBFLG1=0) THEN
    CB1:=1
    IF TCBON=0 THEN
        TCBON:=t
    ENDIF
ENDIF
IF (CB1=1) THEN
    TASF:=0
ENDIF
IF (RUNMODE=1) AND (CBFLG2=0) and (CBFLG1=1) THEN
    IF TCBALL=0 THEN
        TCBALL:=t
    ENDIF
    CB1:=0
    CB2:=0
    CB3:=0
    TASF:=0
ENDIF
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL
```

Ek 2.5. MATLAB - ATP Entegrasyon Kodu

```

clc;clear;tic
dos('copy c:\eeug\Pl42mat_dec2007.exe c:\eeug\emtp\');
aalfa=0.1:0.1:1.0;
aarc=[80 84];%arcornot P T
NNs=[8 16 24 32 40 48 56 64];
dosya=10:10:290;%degisken km
% DOSYA ADI 000 A03 ... A21
aci1=[48 65 65 65 65 65 65 65];% 000 ve A ayari
aci2=[0 0 0 0 1 1 1 2];%aci degeri ayari 000 A03 A06 A09 A12 A15 A18
A21
aci3=[0 3 6 9 2 5 8 1];%aci degeri ayari
% ACI DEGERi 000 A03 ... A21
aci4=0:3:21;
aci5=-120:3:-99;
aci6=120:3:141;

for Z=1:length(aarc)
for X=1:length(aalfa)
for Y=1:1;%1:length(NNs)
timeCBALloff=-1*ones(length(aci1),length(dosya));
timearcoff=-1*ones(length(aci1),length(dosya));
timecboff=-1*ones(length(aci1),length(dosya));
timecbon=-1*ones(length(aci1),length(dosya));
%dosya olusturma ve calistirma
for AA=1:length(aci1);
for K=1:length(dosya);
ozgur=fopen('GE_M1_20120126_N4_CCVT_T1_10.atp','r');

ozgur2=fopen(strcat('C:\EEUG\EMTP\',char(aarc(Z)),'_', 'A',num2str(X,'%0
2.f'),'_', 'NS',num2str(NNs(Y),'%02.f'),'_',char(aci1(AA)),num2str(aci2(
AA)),num2str(aci3(AA)),'_',num2str(K,'%02.f'),'0.atp'),'w');

son=0;
while son==0;
line=fgetl(ozgur);
if length(line)>12&line(1:12)==' ARCORNOT:=';
satir=num2str(' ARCORNOT:= %01.0f.\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,Z-1);
elseif length(line)>8&line(1:8)==' ALFA:=';
satir=num2str(' ALFA:= %03.1f\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,aalfa(X));
elseif length(line)>10&line(1:10)==' TAESNS:=';
satir=num2str(' TAESNS:= %01.0f.\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,NNs(Y));
elseif length(line)>27&line(1:27)=='$INCLUDE, C:\EEUG\EMTP\GEHS';
satir=num2str('$INCLUDE, C:\\EEUG\\EMTP\\GEHS%03.0f.pch\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,dosya(K));
line=fgetl(ozgur);

```

```

satir=num2str('');
fprintf(ozgur2,satir);
elseif length(line)>27&line(1:27)=='$INCLUDE, C:\EEUG\EMTP\GEHB';
satir=num2str('$INCLUDE, C:\\EEUG\\EMTP\\GEHB%03.0f.pch\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,dosya(K));
line=fgetl(ozgur);
satir=num2str('');
fprintf(ozgur2,satir);
elseif length(line)>30&line(1:30)=='14GAZISA 0    310268.        50.';

satir=num2str('14GAZISA 0    310268.        50.        %03.0f.
               -1.        1.E3\r\n');

fprintf(ozgur2,satir,aci4(AA));
line=fgetl(ozgur);
satir=num2str('14GAZISB 0    310268.        50.        %04.0f.
               -1.        1.E3\r\n');
fprintf(ozgur2,satir,aci5(AA));
line=fgetl(ozgur);

satir=num2str('14GAZISC 0    310268.        50.        %03.0f.
               -1.        1.E3\r\n');

fprintf(ozgur2,satir,aci6(AA));
else
line=strcat(line,'\r','\n');
fprintf(ozgur2,line);
end;
son=feof(ozgur);%lis dosyasinin sonuna gelmeyi kontrol ediyor
end;
fclose('all');

dos(strcat('C:\EEUG\WatATP98\tpbigw.exe both
C:\EEUG\EMTP\',char(aarc(Z)),['_','A'],num2str(X,'%02.f'),['_','NS'],num2st
r(NNs(Y),'%02.f'),['_',char(aci1(AA)),num2str(aci2(AA)),num2str(aci3(AA)
),['_',num2str(K,'%02.f'),'0.atp * -r']));

end;
end;
end;
dos('del c:\eeug\emtp\*.lis');
dos('del c:\eeug\emtp\*.atp');
%dosyalar1 MAT formatina donme ve okuma
for Y=1:1;%1:length(NNs)
for AA=1:length(aci1);
for K=1:length(dosya);

dos(strcat('C:\EEUG\EMTP\Pl42mat_dec2007.exe
C:\EEUG\EMTP\',char(aarc(Z)),['_','A'],num2str(X,'%02.f'),['_','NS'],num2st

```

```

r(NNs(Y), '%02.f'), '_', char(aci1(AA)), num2str(aci2(AA)), num2str(aci3(AA))
), '_', num2str(K, '%02.f'), '0.pl4'));

load(strcat('C:\EEUG\EMTP\', char(aarc(Z)), '_', 'A', num2str(X, '%02.f'), '_
', 'NS', num2str(NNs(Y), '%02.f'), '_', char(aci1(AA)), num2str(aci2(AA)), num
2str(aci3(AA)), '_', num2str(K, '%02.f'), '0.mat'));

timeCBALloff(AA,K)=max(mTcball);
timearcoff(AA,K)=max(mTarcof);
timecboff(AA,K)=max(mTcboff);
timecbon(AA,K)=max(mTcbon);
%say1c1
cball=timeCBALloff-timecboff;
arctime=timearcoff-timecboff;
cbreclosingtime=timecbon-timecboff;
sayici=0;%basarili olay sayici
veri=zeros(length(aci1), length(dosya));
for i=1:length(aci1)
for j=1:length(dosya)
if cball(i,j) > 0 && arctime(i,j) < 0 && aarc(Z)== 80 %kal1c1
sayici=sayici+1;
veri(i,j)=-1;
end;
if cball(i,j) < 0 && arctime(i,j) > 0 && aarc(Z)== 84%gecici
sayici=sayici+1;
veri(i,j)=1;
end;
end;
end;
end;
basari(Z,X)=100*(sayici)/(length(aci1)*length(dosya));
end;
end;
end;
dos('del c:\eeug\emtp\*.pl4');
dos('del c:\eeug\emtp\*.mat');
end;
end;
toc

```