

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA SENKRO FAZÖR ÖLÇÜM
(PMU) TABANLI KORUMA ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik- Elektronik Müh. Doğan Can SAMUK

**ARALIK 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Doğan Can SAMUK Tarafından Hazırlanan**

**SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA SENKRO FAZÖR ÖLÇÜM
(PMU) TABANLI KORUMA ALGORİTMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 12 / 2017 gün ve 1731 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Mehmet BAYRAK

Üye : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüzde güç sistemlerinin güvenli bir şekilde işletilmesi şebeke operatörleri ve müşteriler için önemli bir konu haline gelmiştir. İletim hatlarında güç transferini artırmak için kullanılan kapasitörlerin mesafe koruma rölelerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Dolayısıyla bu tür hatlarda doğru arıza yeri tespit tekniklerinin geliştirilmesi önemli bir çalışma konusudur. Bu tez çalışmasında k-EYK sınıflandırma metodu kullanılarak senkro fazör ölçüm tabanlı yeni bir arıza yeri tespiti algoritması önerilmiştir. Önerilen bu algoritma Digsilent PowerFactory programında oluşturulan örnek bir radyal şebeke ve mevcut Türkiye şebekesinin kısmî şebeke modelinde test edilmiştir. Çalışmada ayrıca seri kapasitörün iletim hatlarına sağladığı faydalar yük akış analizleri yapılarak incelenmiştir.

Yapılan modellemelerde kullanılan Digsilent PowerFactory programının 1 yıllık ücretsiz lisansını bize sunan Digsilent Gmbh firması ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tez çalışması boyunca sahip olduğu bilgi ve deneyimleri bana aktaran ve düşünceleriyle bana yol gösteren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca eğitim-öğretim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini üzerimden esirgemeyen aileme de teşekkürü borç bilirim.

Doğan Can SAMUK

Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Seri Kapasitör İçeren İletim Hatlarında Senkro Fazör Ölçüm (PMU) Tabanlı Koruma Algoritması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Fatih M. NUROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 29/12/2017

Doğan Can SAMUK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.2.1. Seri Kapasitör Kullanmanın Avantajlarını İçeren Çalışmalar	3
1.2.2. Seri Kapasitörün Dezavantajlarını İçeren Çalışmalar	6
1.3. Seri Kapasitörler	9
1.3.1. Mekanik Anahtarlama Seri Kapasitörler	9
1.3.2. Tristör Anahtarlama Seri Kapasitörler	10
1.3.3. Ark Boynuzu Kullanılarak Kapasitörün Korunması	11
1.3.4. Metal Oksit Varistör (MOV) Tabanlı Koruma.....	11
1.3.5. Seri Kapasitörün İletim Hattındaki Konumu.....	12
1.3.5.1. Kapasitörün Hattın Ortasına Yerleştirilmesi	13
1.3.5.2. Kapasitörün Hat Başına Yerleştirilmesi	13
1.3.6. Seri Kapasitörün İletim Hattına Olumlu Etkileri.....	13
1.4. Mesafe Koruma Röleleri	18
1.4.1. Mesafe Koruma Rölelerinin Karakteristikleri	20
1.4.2. Pilot Röle	21
1.4.3. Seri Kapasitörün Mesafe Koruma Rölesi Üzerine Olumsuz Etkileri.....	22
1.4.3.1. Kademe Genişlemesi	23
1.4.3.2. Gerilimin Yön Değiştirilmesi	24
1.4.3.3. Akımın Yön Değiştirilmesi.....	25

1.5.	Kısa Devre	25
1.5.1.	Kısa Devre Arızasının Etkileri	26
1.5.2.	Kısa Devre Analizi	27
1.6.	Yük Akış Analizi	28
1.7.	K En Yakın Komşu (K Nearest Neighbors) Algoritması	29
1.8.	Senkro Fazör Ölçme Üniteleri (PMU).....	29
1.9.	Digsilent PowerFactory Programının Genel Özellikleri	31
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	32
2.1.	Giriş	32
2.2.	Seri Kapsitörün Yük Akış Analizine Etkisi.....	33
2.3.	Seri Kapasitörün Kısa Devre Analizine Etkisi	39
2.3.1.	Radyal Test Sistemi	39
2.3.2.	Kısmî Şebeke Modeli	43
2.3.2.1.	Kısa Devre Analizi 1	59
2.3.2.2.	Kısa Devre Analizi 2	60
2.3.2.3.	Kısa Devre Analizi 3	61
2.3.2.4.	Kısa Devre Analizi 4	62
2.3.2.5.	Kısa Devre Analizi 5	63
2.3.2.6.	Kısa Devre Analizi 6	64
2.3.2.7.	Kısa Devre Analizi 7	65
2.4.	Önerilen Algoritma.....	66
2.4.1.	Algoritmanın Radyal Şebekeye Uygulanması.....	68
2.4.2.	Algoritmanın Kısmî Şebekeye Uygulanması	70
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	76
4.	ÖNERİLER	78
5.	KAYNAKLAR.....	80
6.	EKLER	84
	ÖZGEÇMİŞ.....	88

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA SENKRO FAZÖR ÖLÇÜM
(PMU) TABANLI KORUMA ALGORİTMASI

Doğan Can SAMUK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih M. NUROĞLU
2017, 83 Sayfa, 4 Ek Sayfa

Artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu talebin karşılanması için yeni üretim tesisleri birincil enerji kaynaklarına yakın yerlerde kurulmakta ve üretilen enerji iletim hatları yardımıyla tüketim merkezlerine taşınmaktadır. Özellikle üretim ve tüketim merkezleri arasındaki mesafenin uzun olduğu yerlerde kayıpların en aza indirilerek transfer kapasitesinin artırılması için seri kapasitörler kullanılmaktadır. Şebekeye sağladığı olumlu katkıların yanında, seri kapasitörlerin sistemde koruma görevini yerine getiren mesafe koruma rölesinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında seri kapasitör bulunan iletim hatlarında korumanın güvenli bir şekilde sağlanabilmesi için k-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak senkro fazör ölçüm tabanlı bir koruma algoritması önerilmiştir. Önerilen bu algoritma Digsilent PowerFactory programında oluşturulan örnek bir radyal şebeke ve mevcut Türkiye şebekesinin Kayabaşı Trafo Merkezi (TM) ve ilgili TM'lerini kapsayan kısmî modelinde test edilmiştir. Buna göre hatların belirli noktalarında oluşturulan kısa devrelerde arıza yerinin doğru bir şekilde tespiti yapılarak rölelerin haberleşme ayarlarının yeniden düzenlenmesi sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca örnek bir iletim hattı oluşturularak yük akış analizleri yapılmış ve seri kapasitörün iletim hattına olan faydaları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seri Kapasitör, Mesafe Koruma Röleleri, k-EYK Sınıflandırma Metodu, Senkro Fazör Ölçüm, Kısa Devre Arıza Analizi, Yük Akış Analizi, Digsilent PowerFactory

Master Thesis

SUMMARY

PMU-BASED FAULT LOCATION ALGORITHM FOR SERIES
COMPENSATED TRANSMISSION LINES

Doğan Can SAMUK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fatih M. NUROĞLU
2017, 83 Pages, 4 Appendix Pages

Electrical energy demand increases day by day due to the developing industry and growing population. New production facilities are established near to the primary energy sources and the produced energy is transported to consumption centers by transmission lines to meet this demand. The series capacitors are used to increase the transfer capacity by reducing the losses particularly at the long-distanced places between the production and the consumption centers. In addition to positive contributions provided to the network, it is known that the series capacitor affects operation of distance relay negatively.

In this thesis, a protection algorithm based on a synchronous phasor measurement is proposed by using K-NN classification method in order to protect the series-compensated transmission lines securely. This proposed algorithm has been tested in a sample radial network and the partial model of existing Türkiye network covering Kayabaşı Substation and related substations built on the Digsilent PowerFactory program. According to the obtained results, the communication settings of the relays have been rearranged by determining the fault location correctly on the short circuits created at certain points of the lines and. In addition, a sample transmission line was created and load flow analyzes were carried out to investigate the benefits of the series capacitor to the transmission lines within the scope of study.

Key Words: Series Capacitor, Distance Relay, K-NN Classification Method, Phasor Measurement Unit, Short Circuit Analysis, Load Flow Analysis, Digsilent PowerFactory

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tristör anahtarlama seri kapasitör	10
Şekil 1.2. Seri kapasitörün ark boynuzlu koruma şeması	11
Şekil 1.3. Seri kapasitörün MOV tipi koruma şeması	12
Şekil 1.4. İki baralı iletim hattı modeli	14
Şekil 1.5. Aktif güç-yük açısı eğrisi.....	16
Şekil 1.6. İki baralı seri kapasitör içeren iletim hattı modeli	16
Şekil 1.7. Kapasitörlü ve kapasitörsüz durumda aktif güç-yük açısı eğrisi	17
Şekil 1.8. Aktif güç sabit iken kapasitörlü ve kapasitörsüz durumda yük açıları.....	18
Şekil 1.9. Mesafe koruma rölesinin blok şeması	19
Şekil 1.10. Mesafe koruma rölesinin zaman-mesafe karakteristiği	19
Şekil 1.11. Mho rölesinin R-X diyagramı.....	20
Şekil 1.12. Arıza ve seri kapasitör konumunun röleler üzerine etkisi	23
Şekil 1.13. Röle A için R-X diyagramı.....	23
Şekil 1.14. Röle C için R-X diyagramı	24
Şekil 1.15. Kısa devre arıza türlerinin genel gösterimi.....	26
Şekil 1.16. Senkro fazör ölçüm ünitesi blok diyagramı	30
Şekil 2.1. Yük akış analizi için oluşturulan test sistemi	34
Şekil 2.2. Test sistemindeki hatların kompanzasyon derecesine göre yüklenmesi.....	36
Şekil 2.3. Bara 2 ile Bara 3'ün kompanzasyon miktarına göre açılarının değişimi.....	37
Şekil 2.4. Bara 2 ile Bara 5'in kompanzasyon miktarına göre açılarının değişimi	38
Şekil 2.5. Bara 3 ile Bara 5'in kompanzasyon miktarına göre açılarının değişimi	38
Şekil 2.6. Toplam reaktif güç kaybının kompanzasyon miktarına göre değişimi	39
Şekil 2.7. Radyal test sistemi	40
Şekil 2.8. Digsilent PowerFactory programında oluşturulan kısmî şebeke modeli.....	44
Şekil 2.9. Algoritmanın akış diyagramı	66
Şekil 2.10. Radyal şebekede bulunan hatların etiket değerleri	69
Şekil 2.11. Radyal şebeke için algoritmada kullanılan örnek eğitim verileri	69
Şekil 2.12. Kısmî şebekede bulunan hatların etiket değerleri.....	71

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Test sisteminde bulunan iletim hatlarına ait teknik bilgiler.....	34
Tablo 2.2. Test sisteminde bulunan yüklere ait teknik bilgiler	34
Tablo 2.3. Yük akış analizi sonuçlarına göre hatların yüklenme durumları	35
Tablo 2.4. Test sisteminde bulunan baraların kompanzasyon derecesine göre gerilim ve açılma değerleri	37
Tablo 2.5. Hat 1’de oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları	40
Tablo 2.6. Hat 2’de oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları	41
Tablo 2.7. Röle 4-3’ün kademe ayarı.....	41
Tablo 2.8. Hat 3’te oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları	42
Tablo 2.9. Hat 3’ün %50’sinde oluşturulan kısa devrede Bara 3 akım ve gerilim değerleri	42
Tablo 2.10. Hat 4’te oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları.....	43
Tablo 2.11. Kısmî şebekede bulunan iletken tiplerinin R,X ve Y değerleri.....	45
Tablo 2.12. Kısmî şebekede bulunan hatların kesit, uzunluk, gerilim ve akım bilgisi	45
Tablo 2.13. 380 kV Kayabaşı TM yük akış verileri	46
Tablo 2.14. 380 kV Kurşunlu TM yük akış verileri	47
Tablo 2.15. 380 kV Çarşamba TM yük akış verileri	47
Tablo 2.16. 380 kV Samsun DGKÇ TM yük akış verileri	48
Tablo 2.17. 380 kV Tirebolu TM yük akış verileri	48
Tablo 2.18. 380 kV Kalkandere TM yük akış verileri.....	48
Tablo 2.19. 380 kV Osmanca TM yük akış verileri	49
Tablo 2.20. 380 kV Bağlum TM yük akış verileri	49
Tablo 2.21. 380 kV Deçeko TM yük akış verileri.....	50
Tablo 2.22. 380 kV Borçka TM yük akış verileri	50
Tablo 2.23. 380 kV Altınordu TM yük akış verileri	50
Tablo 2.24. 380 kV Boyabat TM yük akış verileri.....	51
Tablo 2.25. 380 kV Altınkaya TM yük akış verileri	51
Tablo 2.26. 380 kV Cengiz DGKÇ TM yük akış verileri	52
Tablo 2.27. 380 kV Hasan Uğurlu TM yük akış verileri.....	52

Tablo 2.28. Kısmî şebeke modelinin yük akış analizi sonuçları	52
Tablo 2.29. Kısmî şebeke modelinin 3 faz kısa devre arıza akımı (Ikss) değerleri.....	53
Tablo 2.30. Kısmî şebeke modelinin tek faz toprak kısa devre arıza akımı (Ikss) değerleri	54
Tablo 2.31. Kayabaşı-Kurşunlu fiderindeki rölelerin ayar değerleri.....	55
Tablo 2.32. Kayabaşı-Bağlum fiderindeki rölelerin ayar değerleri.....	55
Tablo 2.33. Kayabaşı-Deçeko fiderindeki rölelerin ayar değerleri	56
Tablo 2.34. Kayabaşı-Samsun fiderindeki rölelerin ayar değerleri.....	57
Tablo 2.35. Kayabaşı-Çarşamba fiderindeki rölelerin ayar değerleri	57
Tablo 2.36. Kayabaşı-Altınkaya fiderindeki rölelerin ayar değerleri.....	58
Tablo 2.37. Kapasitörler devrede değilken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	59
Tablo 2.38. Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	60
Tablo 2.39. Kayabaşı-Kurşunlu kapasitörü devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları.....	61
Tablo 2.40. Kayabaşı-Kurşunlu ve Kayabaşı-Bağlum kapasitörleri devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	62
Tablo 2.41. Kayabaşı-Bağlum ve Kayabaşı-Deçeko kapasitörleri devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	63
Tablo 2.42. Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Altınkaya fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	64
Tablo 2.43. Kapasitörler devrede iken Kurşunlu-Osmanca fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları	65
Tablo 2.44. Radyal şebekeden alınan test verilerinin sınıflandırma sonuçları	69
Tablo 2.45. Radyal şebekeden için öngörülen röle haberleşme diyagramı	70
Tablo 2.46. Kısmî şebekeden alınan test verilerinin sınıflandırma sonuçları	72
Tablo 2.47. Kısmî şebeke için öngörülen röle haberleşme diyagramı	74

SEMBOLLER DİZİNİ

I	Akım
V	Volt
kV	Kilo Volt
P	Aktif Güç
Q	Reaktif Güç
ms	Mili saniye
L	Endüktans
C	Kapasite
Z	Empedans
R	Rezistans
X	Reaktans
Y	Süseptans
p.u.	Per Unit
k-EYK	K-En Yakın Komşu
MOV	Metal Oxide Varistor (Metal Oksit Varistör)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MYTM	Milli Yük Tevzi Merkezi
EİH	Enerji İletim Hattı
TM	Trafo Merkezi
PMU	Phasor Measurement Unit (Fazör Ölçüm Ünitesi)
DGKÇ	Doğalgaz Kombine Çevrim
AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
TCSC	Thyristor Controlled Series Capacitor (Tristör Kontrollü Seri Kapasitör)
Z1	1. Koruma Bölgesi
Z2	2. Koruma Bölgesi
Z3	3. Koruma Bölgesi
X _L	Hattın Endüktif Reaktansı
X _C	Hattın Kapasitif Reaktansı
Z ₁	Pozitif Bileşen Empedansı
R ₁	Pozitif Bileşen Rezistansı

X_1	Pozitif Bileşen Reaktansı
R_0	Sıfır Bileşen Rezistansı
X_0	Sıfır Bileşen Reaktansı
Ω	Ohm
A	Amper
MVA	Mega Volt-Amper
MW	Megawatt
MVA _r	Mega Volt-Amper Reaktif



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve sanayinin sürekli gelişmesine paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Bu talebin karşılanması hususunda yeni üretim merkezlerinin kurulmasının yanında mevcut elektrik enerjisinin de en verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle enerji kesintisi ve sistem çökmesi gibi olayların en aza indirilmesi ve güç sistemlerinin ekonomik ve güvenilir bir şekilde işletilmesi önem arz etmektedir. Türkiye iletim sisteminde kaynakların yani elektrik enerjisi üretim yerlerinin doğuda, tüketicilerin yani sanayi alanlarının batıda yer alması üretim ve tüketim merkezleri arasındaki mesafenin uzun olmasına sebebiyet vermektedir. Uzak mesafeler arasında iletimin dezavantajları, güç transfer kapasitesinin ve yük açısı değerinin artmasına bağlı olarak açısız kararlılığın azalmasıdır.

Seri kapasitörler, uzun iletim hatlarında hattın transfer kapasitesini artırır ve sistemin geçici kararlılığına olumlu yönde etki ederler. Bundan dolayı Türkiye iletim sisteminde 380 kV gerilim seviyesinde kullanımları yaygındır. Aynı zamanda seri kapasitörün komşu hatlar arasında yük paylaşımına olanak sağlaması ve hattın gerilim profilini düzenlemeye yardımcı olması şebekeye sağladığı diğer olumlu katkılardır. Sağladığı bu olumlu katkıların yanında seri kapasitörün sistemde koruma görevini yerine getiren mesafe koruma rölesinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. İletim hattında kısa devre meydana geldiğinde mesafe koruma rölesi ile arıza arasında kapasitör bulunduğu durumda röle tarafından ölçülen empedans değeri değişir ve bu durum rölenin hatalı bir şekilde çalışmasına sebebiyet verir. Dolayısıyla seri kapasitör içeren iletim hatlarında doğru arıza yeri tespit algoritmalarının geliştirilmesi önemli bir çalışma konusudur.

Bu tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde kapasitörün iletim hattına olan faydalarını göstermek üzere Digsilent PowerFactory programı kullanılarak örnek bir model oluşturulmuştur. Bu model üzerinde farklı kompanzasyon durumlarında yük akış analizleri yapılarak seri kapasitörün hatların yüklenme durumlarına, sistemin geçici hal kararlılığına ve şebekenin toplam reaktif güç kaybına etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise seri kapasitör içeren hatlar için k-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak senkro fazör ölçüm tabanlı bir koruma algoritması önerilmiştir. Algoritma, belirli baralardan alınan gerilim ve akım bilgileri kullanılarak kısa devrenin meydana geldiği hattın tespit edilmesi esasına dayanmaktadır. k-EYK sınıflandırma yöntemini içeren yazılım çalışmaları MATLAB programında yapılmıştır. Algoritmanın testi için, Digsilent PowerFactory programında ilk olarak örnek bir radyal şebeke modellenmiş ve bu modelde bulunan hatlarda 3 faz kısa devre analizi yapılarak rölelerin çalışma durumları incelenmiştir. Daha sonra gerçek yük akışı ve kısa devre verileri kullanılarak mevcut Türkiye şebekesinin Kayabaşı Trafo Merkezi (TM) ve ilgili TM'lerini kapsayan kısmî şebeke modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan kısmî modelin Kayabaşı TM odaklı olmasının nedeni bu bölgede bulunan hatlarda (Kayabaşı-Kurşunlu 380 kV EİH, Kayabaşı-Deçeko 380 kV EİH, Kayabaşı-Bağlum 380 kV EİH) seri kapasitörlerin aktif bir şekilde kullanılıyor olmasıdır. Kısmî modelde Kayabaşı TM'ye bağlı olan hatlarda tek faz toprak kısa devre analizi yapılarak rölelerin çalışma durumları incelenmiştir. Radyal ve kısmî şebekede yapılan kısa devre analizlerinde, kapasitör nedeniyle mesafe koruma rölelerinin hatalı çalıştığı durumların olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın son kısmında önerilen algoritma hem radyal hem de kısmî şebekeden alınan verilerle MATLAB programında oluşturulan yazılımda test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hatların belirlenen noktalarında oluşturulan kısa devrelerde arızalı hattın tespit edilmesinde algoritmanın düzgün bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca kısa devrenin yeri belirlendikten sonra arızanın en az kayıpla giderilmesi için röle haberleşme ayarlarının olması gerektiği düzeni gösteren haberleşme şemaları da verilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Seri kapasitörlerin ilk uygulaması Amerika'da New York Power and Light firmasına ait şebekede 1928 yılında yapılmıştır. Burada kullanılan kapasitör grubu 33 kV gerilim ve 1.25 MVar reaktif güç değerine sahipti. Bu tarihten sonra iletim hatlarında seri kapasitör gruplarının kullanımı tüm dünyada yaygın hale gelmiştir [1]. Seri kapasitörler ilk zamanlarda enerji iletim hatlarında ve endüstriyel dağıtım hatlarında beraber kullanılmaktaydı. Ancak dağıtım hatlarında kullanıldıklarında transformatörler ve seri kapasitör arasında oluşan ferrerezonansın gerilim yükselmesine sebebiyet vermesi ve oluşan hata akımlarından kapasitörün korunmasının güçleşmesi sebebiyle günümüzde

dağıtım sistemlerinde kullanımı pek yaygın değildir [2]. Seri kapasitörler için kullanılan koruma devreleri zaman içinde değişiklik göstermiştir. 1980'lere kadar ark boynuzları ile koruma yapılmaktaydı. Ark boynuzu, kapasitör üzerindeki gerilim seviyesi müsaade edilen sınırı aştığında tetiklenir ve seri kapasitörün devre dışı kalmasını sağlar. Günümüzde kurulan çoğu yeni sistemde metal oxide varistör (MOV) tipi koruma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemin avantajları ani ve otomatik olarak kapasitörlerin yeniden devreye alınabilmesi, geçici hal kararlılığında artış, güvenilirliğin artırılması ve daha az bakım gerektirmesi olarak sıralanabilir. [3] Seri kapasitörlerin ilk uygulamalarında kompanzasyon miktarının ayarlanması için mekanik anahtarlar kullanılıyordu. Bu anahtar sayesinde kapasitörler devreye alınıp çıkarılarak kompanzasyon derecesi kontrol edilmekteydi. Daha sonra güç elektroniğindeki gelişmeler sayesinde kontrol elemanı olarak tristörler kullanılmaya başlanmıştır [4]. Tristör kullanılarak yapılan kontrolde, sıfır geçiş noktasında açma kapama yapabilmek, daha hızlı çalışma, devrede kullanılan elemanların daha uzun ömürlü olmasını sağlama gibi avantajlar vardır [3][5][6].

İletim hatlarında seri kapasitör kullanımının yaygın olması, bu konunun literatürde geniş yer bulmasını sağlamış ve popüler bir çalışma konusu haline gelmesine olanak tanımıştır. Bu konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar ve içerikleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Yapılan çalışmalar seri kapasitörün avantajları ve dezavantajlarını gösterecek şekilde iki bölümde incelenecektir.

1.2.1. Seri Kapasitör Kullanmanın Avantajlarını İçeren Çalışmalar

Bu başlık altında ele alınan çalışmalar genel olarak seri kapasitörün iletim sisteminde güç taşıma kapasitesini artırmaya sağladığı katkı, sürekli ve dinamik durum kararlılığını iyileştirmesi, gerilim kararlılığını artırmasına yönelik konuları içermektedir.

Starr (1942) ve Evans, yüksek gerilimli uzun iletim hatlarının izin verilen yüklenmesini artırmak için seri kapasitörlerin kullanımının analitik ve deneysel bir biçimde incelemesini yapmışlardır. Yapılan çalışma iletim maliyeti ve geçici kararlılık gibi kriterleri ele almaktadır. Uygun şekilde kullanıldığında, seri kapasitörlerin istenen optimum yüklenmeleri mümkün kılacağı ve iletim maliyetlerini önemli ölçüde azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır [7].

Johnson (1948) ve arkadaşları, çelik fabrikası yükünü besleyen 66 kV iletim hattında voltaj regülasyonu ve flicker sorununu çözmek için 500 amper ve 13.5 Ω 'luk seri

kapasitörün tasarımını ve kurulumunu yaptı. Bu kapasitör faz başına seri bağlanmış standart 2.4 kV'luk 15 kVA gücünde üç üniteden oluşmaktaydı. Bu kapasitör grubu bu tarihe kadar yapılan en büyük ve en yüksek gerilim değerine sahip olma özelliği taşımaktaydı [8].

Crary (1953) ve Saline, yüksek gerilimli sistemlerin geçici kararlılık sınırını iyileştirmek için seri kapasitör kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca çalışma seri kapasitörün iletim hattında yerleştirilmesi gereken konum ile ilgili bilgiler de içermektedir. Çalışmada, seri kapasitörlerin 200 mil veya daha uzun iletim hatlarında kararlılık sınırını artırmak için kullanımının ekonomik olduğu belirtilmiştir. Ancak iletim sisteminde kapasitörün yerleştirileceği ekonomik konuma ilişkin net bir sonuç elde edilememiştir [9].

Kumar (1970) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kapasitör konumu, hat uzunluğu ve seri kompanzasyon derecesi gibi çeşitli faktörlerin kompanzasyon verimliliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kompanzasyon verimliliğinin artırılması ile sistemin kararlılığının da artırılacağı görülmüştür [10].

Maneatis (1971) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, 500 kV'luk Pacific Inertie iletim sistemi için Güney California Edison Company ve Pacific Gas & Electric Company tarafından kurulan 4.465 MVAr gücünde 20 adet seri kapasitör grubunu ele almışlardır. Kullanılan kapasitör grubu hattın %70'ini kompanze edecek şekilde ayarlanmıştır. Bu kondansatör tesisatlarının tasarımı, özellikleri, kurulumu ve çalışması ile ilgili mühendislik konuları yaptıkları çalışmanın içeriğini oluşturmuştur. Yapılan incelemelere göre bölgedeki iletim sisteminin kararlılığını artırmaya yönelik kullanılan bu kapasitörlerin amacına uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca hat başına yerleştirilen bu kapasitörlerin konumu itibariyle maliyet, işletme ve bakım açısından avantajlı olduğu belirtilmiştir [11].

Matele (1999) çalışmasında seri kapasitör kullanımının iletim sisteminin güç taşıma kapasitesini artırmasını konu edinmiştir. Çalışmanın içeriğinde tristör kontrollü seri kompanzasyon (TCSC) teknolojisinin getirdiği avantajları vurgulamış ve bu teknolojinin Kuzey Avrupa ülkeleri ve Güney Amerika'da bulunan uzun mesafeli AC güç iletim sistemlerine etkisinin mevcut örnekleri sunulmuştur. Elde ettiği sonuçlara göre seri kompanzasyonun uzun hatlarda güç iletim kapasitesini artırmasının yanında sistemin sürekli durum ve dinamik kararlılığı üzerine de olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Ayrıca tristör kontrolünün seri kompanzasyonun kapsamını ve kullanımını daha da genişlettiği ve zayıf olarak birbirine bağlı güç üreten alanlar arasındaki aktif güç salınımlarının sönümlenmesi gibi yeni değerli faydalar sağladığı sonucuna ulaşılmıştır [12].

Özyürek (1999) yaptığı çalışmada, Türkiye elektrik sisteminde TCSC'nin uygulamasını gerçekleştirmiştir. Çalışmada seri kompanzasyon metodu ile mevcut iletim kapasitesinin artırılıp artırılamayacağı konusu üzerinde durulmuştur. Güç akış analizi için PFlow güç akış programından yararlanılmıştır [13].

Doğan (2003) ve Yanıkoğlu yaptıkları çalışmada, seri kompanzasyon uygulanan iletim sisteminde geçici hal kararlılığı etkileyen kritik temizleme açısını ele almışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan, seri kapasitörün iletim hattına daha kararlı çalışabilme ve bozucu etkilerle karşılaşıldığında salınımları daha kolay sönümleyebilme yetisi kazandırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmada, tristör kontrollü kompanzasyonun sistemin daha sağlıklı çalışmasına katkı sağladığı da vurgulanmaktadır [14].

Gencer (2002) ve Öztürk çalışmalarında, seri kompanzasyonun geçici hal kararlılığına etkilerini incelemişlerdir. Bunun için 11 baralı bir test sistemi oluşturup SIMPOW güç sistemleri analiz programında sistemin simülasyonunu yapmışlardır. Çalışmada arıza durumunda, kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz sistemin davranışı ayrı ayrı ele alınmış, kompanzasyon yapılan durumda taşıma kapasitesi, gerilim kararlılığı ve açısal kararlılık gibi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir [15].

Baysal (2005) ve arkadaşları, farklı iki kompanzasyon metodu olan gelişmiş seri kompanzasyon (ASC) ile seri kapasitörlü tristör kontrollü reaktör (TCRSC)'ün MATLAB/Simulink ortamında karşılaştırmasını yapmışlardır. Karşılaştırmada kompanzasyon miktarı, toplam harmonik bozulma (THD) ve iletilen güç miktarı kıstas olarak alınmıştır. Sonuçlara göre kompanzasyon miktarı ve iletilen güç bakımından TCRSC avantajlı iken, toplam harmonik bozulma açısından ASC sisteminin daha avantajlı olduğu görülmüştür [16].

Aydın (2009) ve arkadaşları, gerilim kararlılığı bakımından seri kapasitör kullanımını ele almışlardır. Yapılan çalışmada 7 baralı bir test sistemi oluşturulmuş ve bu sistemin Powerworld programında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, reaktif güç kontrolünün sistemin gerilim kararlılığını artırmaya fayda sağladığı ve seri kompanzasyonun bunun için ekonomik ve pratik bir çözüm olduğu anlaşılmıştır [17].

Miller (2014) ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada seri kapasitörün yapısını, çalışma ilkesini, uygulandığında oluşturacağı olumlu ve olumsuz etkileri kapsamlı şekilde inceleyerek bu konuda doyurucu bir kaynak oluşturmuşlardır [18].

Sheth (2015) ve arkadaşları, güç sistemlerinde gerilim kararlılığını iyileştirmek için optimum oranda TCSC kullanımını araştırmışlardır. Analiz çalışmaları MATLAB programında IEEE standart 6 baralı test sistemi üzerinde yapılmıştır. Yapılan çalışmada optimizasyon için, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve zamanla değişen ivme katsayısına sahip parçacık sürü optimizasyonu (PSO-TVAC) kullanılmıştır. Çalışmada yük verilerinde ve yüklenme koşullarında değişiklik yapılarak sonuçlar analiz edilmiş ve PSO-TVAC'nin PSO'dan daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [19].

Lee (2016) ve arkadaşları, TCSC'nin Kore Elektrik Güç Sistemi'ne entegrasyonunun sisteme getirdiği faydaları araştırmışlardır. Çalışmada, TCSC'nin güç akışını kontrol etme yeteneği ve iletim kapasitesini artırabilmesi konuları incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın içeriğinde TCSC'nin yeri ve boyutu ile ilgili bilgiler de yer almaktadır [20].

Ziaee (2017) ve Choobineh yaptıkları çalışmada, TCSC'nin konumu ve tahsis edilmesi konusunda yeni bir ayrıştırma yöntemi önermişlerdir. Buna göre TCSC'nin optimal konumu ve iletim hattı için ideal boyutu belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulama için IEEE 118 baralı test sistemi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, TCSC'lerin optimal yerleşimi yük seviyesine ve yerleştirilen TCSC sayısının üst sınırına bağlı olduğu, TCSC'nin maliyetinin çalışma noktasının bir fonksiyonu olduğu ve kurulum maliyetlerinin açıkça dikkate alınması gerektiği görülmüştür [21].

Elagab (2017) ve El-Amin yaptıkları çalışmada, uzun iletim hatlarının gerilim profiline seri kompanzasyonun etkisini incelemişlerdir. Bu etkiyi incelemek için basit bir uzun iletim hattı tasarlanmış ve hattın ortasına gelecek şekilde seri kapasitör yerleştirilerek MATLAB/Simulink'te test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre seri kompanzasyon işleminin hattın yüklenme durumuna ve gerilim kontrolünün ayarına bağlı olarak yüksek veya düşük gerilim profiline sebep olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, anormal koşullar altında oluşabilecek herhangi bir problemten kaçınabilmek için kompanzasyon işleminin başlangıçta belirlenmesinin daha doğru olacağına değinilmiştir [22].

1.2.2. Seri Kapasitörün Dezavantajlarını İçeren Çalışmalar

Bu kısım, iletim hatlarında seri kapasitör kullanımının mevcut koruma elemanlarının çalışması üzerine olumsuz etkilerini gösteren literatür çalışmalarını içermektedir.

Hamlin (1961) yaptığı çalışmada seri kapasitör içeren enerji iletim hattında mesafe koruma rölesinin çalışmasını incelemiştir. Çalışmanın içeriğinde, kapasitör kullanılan hatta

empedans değerinin değişmesinden kaynaklı, mesafe rölesinin çalışmasının olumsuz yönde etkilendiği belirtilmiştir. Çözüm önerisi olarak seri kapasitörlü iletim hattında bulunan mesafe koruma rölesinin hem alçak hem de yüksek güç katsayılı arızalarda çalışması gerekliliği sunulmuştur.

Ballance (1973) ve Goldberg çalışmalarında, seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında meydana gelen senkronaltı rezonans oluşumunu ele almışlardır. Çalışmada gerçek sistem verilerine yakın olacak şekilde 500 kV'luk enerji iletim sisteminin tasarımı yapılmış ve bilgisayar ortamında benzetimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen simulasyon çalışmalarından seri kompanzasyon uygulanan iletim hattında, senkron generatörün rotor hareketi ve indüksiyon oluşumunun senkronaltı osilasyonuna neden olduğu görölmektedir. Çalışmada ayrıca üretim tesislerine yakın yerlerde kapasitör kullanımı için özel tedbirler alınması gerektiği vurgulanmıştır [23].

Aggarwal (1984) ve arkadaşları, seri kapasitörü aşırı gerilime karşı koruyan ark boynuzlarının, çalışmaları sırasında sistem parametrelerinde meydana getirdikleri değişimi gözlemlemişlerdir. Parametrelerdeki bu değişimin iletim hatlarının korunmasını olumsuz yönde etkilediğini ve bu konuda gerçekçi simülasyon çalışmalarının yapılmasının önemini belirtmişlerdir [24].

Ghassemi (1990) ve Johns yaptıkları çalışmada, seri kompanze edilmiş iletim hattında faz-toprak arızası meydana gelmesi durumunda mesafe koruma rölelerinin çalışma durumunu incelemişlerdir. Çalışmada, geleneksel seri kompanzasyon durumunda rölelerin hatalı çalışmasına istinaden alternatif bir kompanzasyon metodu önerilmiştir. Önerilen bu yöntemle arıza durumunda rölelerin arıza yerini tespit etmedeki doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir [25].

Jamali (2006) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, TCSC bulunan iletim hattında koruma görevini yerine getiren mesafe rölesinin kademe genişlemesine bağlı olarak hatalı çalıştığına vurgu yapmışlardır. Çalışmada, korunan iletim hattında veya bitişik hattın baş tarafında TCSC bulunduğu durumda, mesafe koruma rölesinin tetikleme karakteristiğinin etkilendiği ve 1. ve 2. bölge ayar değerlerinin gözden geçirilmesi gerektiği belirtilmiştir [26].

Jiang (2002) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, seri kapasitör bulunan iletim hatlarında arıza yerinin tespit edilmesi için senkro fazör ölçüm ünitelerini kullanarak yeni bir arıza yeri tespit algoritması önermişlerdir. Algoritmanın testi için 300 km uzunluğunda ve 345 kV gerilim değerine sahip iletim hattı modellenmiştir. Yapılan çalışmalarda farklı

arıza türleri ve arıza empedansları altında algoritmanın performansını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre arıza yerini tespit etmede %99.95'lere ulaşan başarı oranı sağlamışlardır. [27].

Silveira (2007) ve Pereira yaptıkları çalışmada fazör ölçüm ünitelerini kullanarak zaman senkronizasyonu olmadan seri kapasitörün bulunduğu hattaki iki baradan yapılan ölçümler ile arıza yerinin tespit edilebileceğini savunmuşlardır. Önerdikleri yöntemde arıza yerini belirlemede arıza noktasının geriliminin genliğinin daha büyük öneme sahip olduğu ve faz açısı bilgisinin gereksiz olduğunu vurgulamışlardır. Test için PSCAD programı kullanılarak 138 kV nominal gerilim değerine sahip 200 km'lik iletim hattının farklı noktalarında tek faz toprak arızası oluşturulmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre önerilen algoritmanın sağlam ve yeterli performansı sağladığı ve senkronizasyon gerektiren algoritmalara göre daha hızlı ve daha kolay bir yöntem olduğu görülmüştür [28].

Zellagui (2011) ve Chaghi çalışmalarında, Cezayir'de bulunan seri kompanze edilmiş 220 kV iletim hattının MATLAB programında simülasyonunu yapmışlardır. Simülasyonda farklı arıza durumlarında kompanzasyonun MHO mesafe koruma rölesine etkileri incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarından, seri kapasitörün konumu ve değerine bağlı olarak mesafe rölelerinin koruma işlevini düzgün olarak yerine getiremediği görülmüştür [29].

Mohammed (2014) ve Abido çalışmalarında senkro fazör ölçüm ünitelerini kullanarak seri kapasitörlü hatlar için koruma algoritması önermişlerdir. Algoritma farklı arıza yerleri, türleri ve empedanslarında PSCAD ve MATLAB programında 400 kV'luk bir iletim sistemi üzerinde test edilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar geliştirdikleri algoritmanın güvenilir ve hassas sonuçlar üretebildiğini ortaya koymaktadır [30].

Magagula (2015) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, seri kompanze edilmiş 400 kV'luk bir iletim hattında arıza meydana gelmesi durumunda mesafe rölesinin çalışmasını incelemişlerdir. Simülasyon çalışmaları için Digsilent PowerFactory programını kullanmışlardır. Çalışmada, kapasitörü koruma amaçlı kullanılan metal oksit varistörün oluşturduğu doğrusal olmayan empedans karakteristiğinin mesafe rölesinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Çözüm önerisi olarak 2. koruma bölgesinin süresinin uzatılması veya yüksek hızda açma kapama yapabilen röle kullanılması önerilmiştir [31].

Seyedi (2015) ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, fazör ölçüm üniteleri yardımıyla hattın bağlı olduğu baralardan alınan arıza öncesi ve arıza durumundaki akım gerilim

bilgileri kullanılarak arıza yerinin tespit edilebileceğini savunmuşlardır. MATLAB programında yaptıkları test çalışmalarında bu yöntemin etkinliği incelemişlerdir [32].

Bakie (2016) ve Westhoff yaptıkları çalışmada, seri kapasitör kullanılan iletim hattında gerilim ve akımın yön değiştirmesine bağlı olarak korumanın nasıl etkileneceğini araştırmışlardır. Modern mikroişlemci tabanlı rölelerin gerilimin yön değiştirmesinden etkilenmediği fakat akımın yön değiştirdiği durumda mesafe ve yönlü koruma yapan rölelerin görevlerini istenilen şekilde yerine getiremediği sonucuna ulaşmışlardır [33].

1.3. Seri Kapasitörler

İletim hatlarında yaygın olarak kullanılan seri kapasitörlerin başlıca kullanım amacı, hattın endüktif reaktansının bir kısmının kompanze edilmesidir [34]. Bu sayede hattın empedans değeri azaltılarak iletim kapasitesinin artırılması sağlanır. Seri kapasitör ilk olarak 1930'lu yıllarda dağıtım ve endüstriyel besleme hatlarında voltaj regülasyonunu iyileştirmek için kullanılmaya başlanmıştır [2]. Kapasitör dağıtım hatlarında kullanıldığında, kararlı durumda gerilim düşümünü azaltmanın yanında yük akımındaki değişikliklere de neredeyse anlık tepki verir. Ancak bu uygulamanın bazı dezavantajları vardır. Örneğin, boştaki bir transformatör devreye alınırken veya bir yük aniden devreden çıktığı durumda transformatörler ile seri kapasitörler arasındaki ferrezonans, harmonik aşırı voltajlara sebebiyet verir. Bu durum dağıtım hattındaki seri kapasitörün arıza durumunda korunmasını güçleştirir. Bu ve benzeri sebepler nedeniyle günümüzde seri kapasitörlerin dağıtım hatlarında kullanımını çok yaygın değildir.

Seri kapasitör kullanılarak yapılan kompanzasyon işleminde kontrol elemanı olarak ilk zamanlarda mekanik anahtarlar kullanılmaktaydı. Kullanılan bu mekanik anahtar sayesinde seri kapasitörler devreye alınarak veya bypass edilerek kompanzasyon miktarı kontrol ediliyordu. Daha sonra güç elektroniği alanındaki gelişmeler sayesinde anahtarlama elemanı olarak tristörler kullanılmaya başlanmıştır.

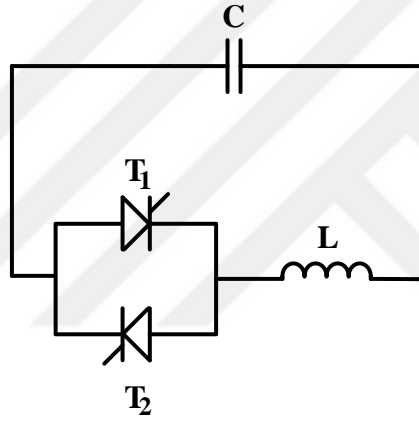
1.3.1. Mekanik Anahtarlama Seri Kapasitörler

Mekanik anahtarlama seri kapasitörler, bir kesici ve ona bağlı bir veya daha fazla kapasitör ünitesinden oluşur. Bu yapıda anahtarlama elemanı olarak kesiciler kullanılır ve

harmonikleri azaltmak için kapasitöre seri olacak şekilde küçük bir reaktör bağlanabilir. Anahtarlama yapılacak kapasitör ünitesi sayısının az olduğu durumlarda mekanik anahtarlama daha ekonomiktir.

1.3.2. Tristör Anahtarlama Seri Kapasitörler

Tristör anahtarlama kapasitör şeması, her biri tristör anahtar kullanılarak açılıp kapanan uygun boyutlu birimlere ayrılmış kapasitör bankalarından oluşur. Her bir tek fazlı ünite, çift yönlü tristör anahtarına seri bağlı indüktör ve kapasitörden oluşur. Bu yapı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tristör anahtarlama seri kapasitör

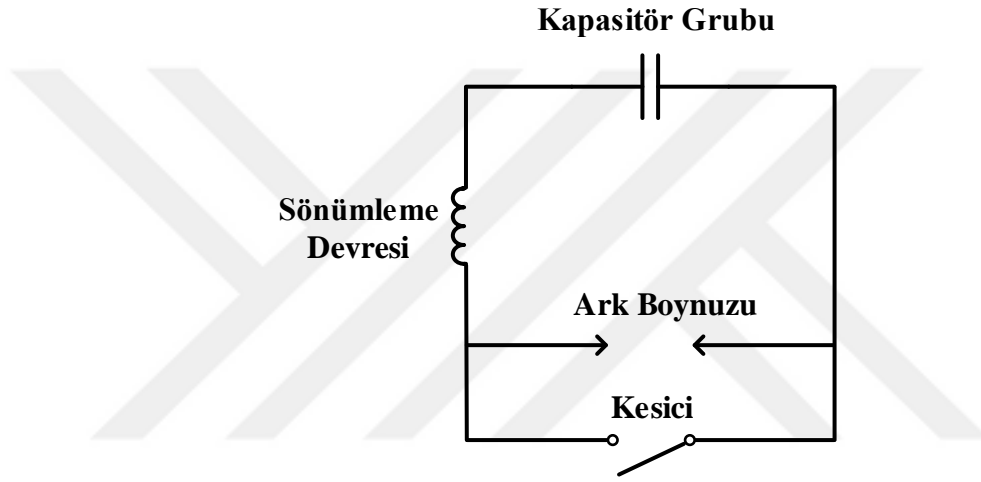
Bu yapıda tristör kontrolü, anahtarlama geçişlerini en aza indirmek üzere tasarlanmıştır. Bu da ancak tristör üzerindeki gerilimin minimumda olduğu anı seçerek başarılır. Tristör anahtarlama yapının güç akışının kontrolüne olanak sağlaması, senkronaltı rezonansın önlenmesi ve güç salınımlarının söndürülmesi gibi pek çok avantajı vardır.

Seri kapasitörler normal çalışma durumunda nominal hat voltajından çok daha düşük bir gerilime maruz kalırlar. Fakat kısa devre durumunda kapasitörün üzerindeki gerilim artar ve bu gerilim değerinden kapasitörün korunması gerekmektedir.

Geleneksel olarak kapasitörün devreye alınıp çıkarılması işlemi sırasında koruma elemanı olarak ark boynuzları kullanılmaktadır. Fakat günümüzde kapasitörün korunması için daha çok metal oksit varistörler tercih edilmektedir. Bu yapının en büyük avantajı kapasitörleri anlık olarak devreye alıp çıkarabilme olanağı sağlamasıdır.

1.3.3. Ark Boynuzu Kullanılarak Kapasitörün Korunması

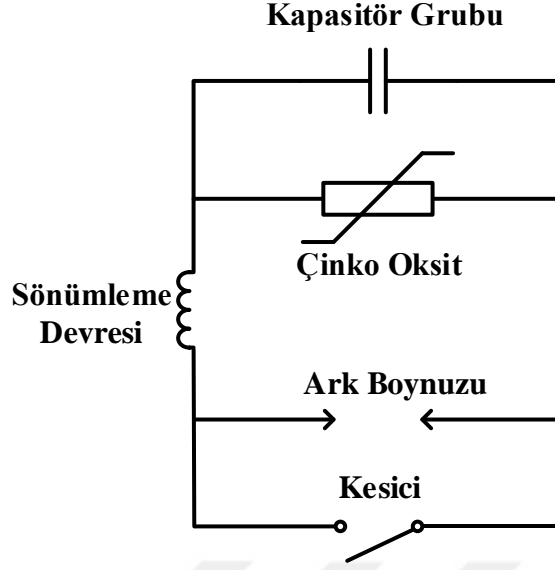
Şekil 1.2'de bu yapı gösterilmiştir. Bu yapıda kapasitör gerilimi ayarlanan değeri aştığında ark boynuzu tetiklenir ve kesici kapatılarak kapasitörün devre dışı kalması sağlanır [35]. Sönümleme devresi deşarj akımını sınırlar ve kapasitörün üzerindeki enerjiyi sönümler. Akım değeri normale döndüğünde kesici açılarak kapasitör tekrardan devreye alınır. Bu işlemler yapılırken geçen süre 200 ile 400 *ms* arasındadır.



Şekil 1.2. Seri kapasitörün ark boynuzlu koruma şeması

1.3.4. Metal Oksit Varistör (MOV) Tabanlı Koruma

Metal oksit varistör veya kısaca MOV voltaja bağlı bir direnç elemanıdır. Bu direnç seramik benzeri bir materyal olan ve çinko oksit (ZnO) adı verilen metalik oksit malzemeden yapılmıştır. MOV'lar yapılarında bulunan metal oksit sayesinde kısa süreli voltaj geçişlerini sönümleme konusunda son derece etkili olduklarından iletim hatlarında kapasitörlerin korunmasında kullanımları yaygındır [36]. Anahtarlama hızının çok yüksek olması ve içerisindeki çinko oksit materyalin kaçak akıma çok az müsaade etmesi artılarıdır. Şekil 1.3'te MOV tipi koruma devresi verilmiştir.



Şekil 1.3. Seri kapasitörün MOV tipi koruma şeması

Doğrusal olmayan direnç elemanı olan çinko oksit arıza esnasında kapasitör bankının voltajını sınırlar ve arıza giderildikten hemen sonra tekrar kapasitörleri devreye alır. Kapasitörün üzerindeki enerjiyi sönümleme işlemi ark boynuzuna gerek kalmadan çinko oksit direnç tarafından yapılır. Buradaki ark boynuzu çinko oksit direnç için yedek bir aşırı voltaj koruması görevini üstlenmiştir.

1.3.5. Seri Kapasitörün İletim Hattındaki Konumu

İletim hattında seri kapasitörün yeri bu teknolojiyi AC iletim şebekelerine entegre ederken önemli bir tasarım konusudur. Seri kapasitörün yeri aşağıda verilen durumlar için önem arz etmektedir [37].

- Seri kapasitörün etkinliği iletim hattı boyunca yerin fonksiyonu olarak değişir.
- Seri kapasitörün yerine bağlı olarak hattın gerilim profili değişir.
- İletim hattındaki koruma ayarları ve kapasitörün bypass enerji dağılımının özellikleri kapasitörün konumuna bağlıdır.
- Seri kapasitör uygulanacak iletim hattının gelecek planlamaları, saha erişilebilirliği, arazi durumu ve bakım durumları seri kapasitörün kurulu olduğu bölgedeki koşullara bağlıdır.

Kapasitör bankaları genelde hat başına veya hattın ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilir.

1.3.5.1. Kapasitörün Hattın Ortasına Yerleştirilmesi

Orta noktaya yerleştirme, hattın ortasında tek bir kapasitör bankası konularak veya her biri hat uzunluğunun üçte birine denk gelecek şekilde iki kapasitör bankası kullanılarak yapılabilir. Bu yapının avantajları:

- Arıza durumunda daha düşük kısa devre akımı oluşur.
- Seri kapasitörlerin etkinliği artırılır.

Dezavantajı:

Acil durumlarda seri kapasitörün gözetim ve güvenlik açısından orta noktaya yerleştirilmesi bu yapının dezavantajıdır.

1.3.5.2. Kapasitörün Hat Başına Yerleştirilmesi

Bu düzende kapasitörler trafo merkezine veya hat terminaline çok yakın bir konuma yerleştirilir. Bu yapının avantajları:

- Bakım ve operasyonlar için kapasitörlere ve ekipmanına erişim daha kolaydır.
- Harici bir şalt sahası kurulumuna gerek duyulmaz.

Dezavantajları:

- Hattın orta noktasına yerleştirme ile aynı etkiyi sağlayabilmek için kullanılan kapasitör grubu sayısının daha fazla olma gerekliliği vardır.
- Arıza durumunda daha yüksek kısa devre akımı akmasına sebebiyet verir. Bu durumda kullanılan koruma ekipmanının daha yüksek dereceden seçilmesi gerekliliği oluşur.

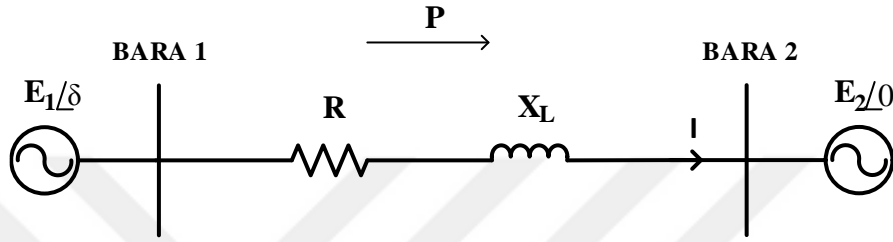
1.3.6. Seri Kapasitörün İletim Hattına Olumlu Etkileri

Seri kapasitörlerin enerji iletim hatlarına pek çok açıdan faydası vardır. Özellikle hatların transfer kapasitesinin artırılması ve geçici hal kararlılığı iyileştirilmesinde seri

kapasitörler önemli rol oynar. Bunların haricinde reaktif güç kayıplarını azaltması ve iletim koridorları arasında yük paylaşımına olanak sağlaması gibi avantajları da vardır. Aşağıda seri kapasitörlerin iletim hatlarına olan olumlu etkileri maddeler halinde incelenmiştir.

- Seri kapasitörler özellikle uzun iletim hatlarında hattın transfer kapasitesini artırmaya yardımcı olur.

Şekil 1.4'te iki baralı bir iletim hattının modeli verilmiştir.



Şekil 1.4. İki baralı iletim hattı modeli

Hattın omik direnç değeri (R) reaktans değerine (X) oranla çok küçük olduğu için işlem yaparken ihmal edilebilir. $E_1 > E_2$ olduğu varsayılırsa ilk durumda kapasitör eklenmeden önce iletim hattından akan akımın değeri denklem (1.1) ve denklem (1.2)'deki gibi olur.

$$I = \frac{E_1(\cos\delta + j\sin\delta) - E_2}{jX_L} \quad (1.1)$$

Denklem (1.1) yeniden düzenlenirse;

$$I = \frac{E_1 \sin\delta}{X_L} + j \left(\frac{E_2 - E_1 \cos\delta}{X_L} \right) \quad (1.2)$$

elde edilir. Bara 2'deki görünür gücün değeri denklem (1.3) ve denklem (1.4)'teki gibi olur.

$$S = E_2 I^* \quad (1.3)$$

Denklem (1.3)'te I^* yerine yazılıp düzenlenirse;

$$S = \frac{E_1 E_2 \sin \delta}{X_L} + j \left(\frac{E_1 E_2 \cos \delta - E_2^2}{X_L} \right) \quad (1.4)$$

Denklem (1.4)'teki görünür güç değerine göre Bara 1'den Bara 2'ye doğru akan aktif güç değeri denklem (1.5)'teki gibi olur.

$$P = \frac{E_1 E_2 \sin \delta}{X_L} \quad (1.5)$$

$\delta = 90^\circ$ iken iletilen aktif güç maksimum olur. Denklem (1.6)'da iletilen maksimum gücün formülü verilmiştir.

$$P_{max} = \frac{E_1 E_2}{X_L} \quad (1.6)$$

Burada;

E_1 : Birinci baranın gerilimi

E_2 : İkinci baranın gerilimi

I : İletim hattından akan akımın değeri

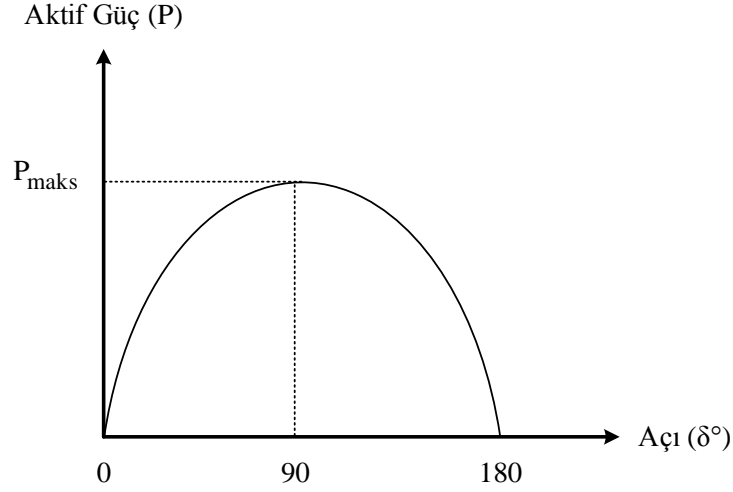
P : Bara 1'den bara 2'ye iletilen aktif güç

X_L : Hattın endüktif reaktansı

R : Hattın omik direnci

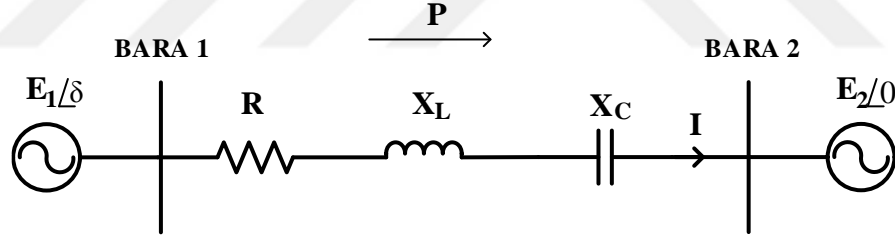
δ : İki bara gerilimi arasındaki güç (yük) açısıdır.

Denklem (1.5)'e göre hattın aktif güç-yük açısı eğrisi Şekil 1.5'teki gibi olur.



Şekil 1.5. Aktif güç-yük açısı eğrisi

Şekil 1.5'ten de görüldüğü gibi iletilen aktif güç $\delta = 90^\circ$ olduğunda maksimum değerini almaktadır. Ancak pratikte bu mümkün değildir. Geçici hal kararlılığının ölçütü olan δ açısı 90° olduğunda sistem kararlılığını kaybeder. Pratikte bu açının $20 - 25^\circ$ olması tercih edilir.



Şekil 1.6. İki baralı seri kapasitör içeren iletim hattı modeli

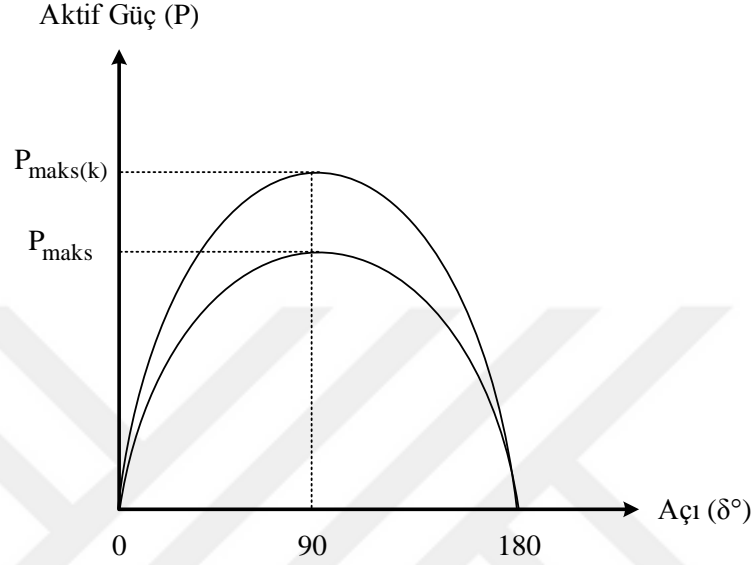
Şekil 1.6'da seri kapasitör eklenmiş iletim hattı gösterilmektedir. Hatta seri kapasitör eklendiğinde yeni empedans değeri denklem (1.7)'deki gibidir Burada X_C eklenen kapasitörün reaktans değeridir.

$$Z = X_L - X_C \quad (1.7)$$

Denklem (1.7)'deki empedans değeri denklem (1.5)'te yerine yazılırsa kapasitörlü durumda iletilen aktif gücün yeni değeri denklem (1.8)'deki gibi olur.

$$P = \frac{E_1 E_2 \sin \delta}{X_L - X_C} \quad (1.8)$$

Denklem (1.8)'e göre iletim hattına kapasitör eklendiğinde hattın empedans değeri azalacağından ileteceği aktif güç miktarı artacaktır. Denklem (1.5) ve denklem (1.8) göz önüne alındığında kapasitörlü ve kapasitörsüz durumdaki aktif güç-yük açısı eğrileri Şekil 1.7'deki gibi olur.

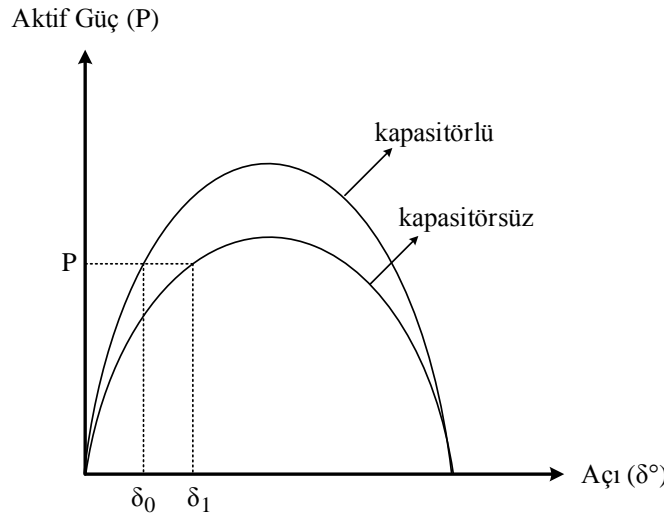


Şekil 1.7. Kapasitörlü ve kapasitörsüz durumda aktif güç-yük açısı eğrileri

Şekil 1.7'den de görüldüğü üzere kapasitör eklenen iletim hattının kapasitörsüz iletim hattına göre ileteceği aktif güç miktarı daha fazla olmaktadır.

- Seri kapasitörler generatörler arasındaki açı farkını azaltarak sistemin geçici hal kararlılığına olumlu yönde etki eder.

İletilecek aktif güç miktarı sabit tutulursa kapasitörlü durumda yük açısı daha düşük olmaktadır. Bu durum Şekil 1.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Aktif güç sabit iken kapasitörlü ve kapasitörsüz durumdaki yük açıları

Şekil 1.8'den de görüldüğü gibi iletilen güç sabit iken kapasitörlü durumdaki açı (δ_0) kapasitörsüz durumdaki açıdan (δ_1) daha küçüktür. δ açısının daha küçük olması sistem kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir.. Kararlılığı iyileştirmede kullanılan diğer metotlarla karşılaştırıldığında (demet iletkenli hat kullanmak, paralel hat sayısını artırmak vb.) seri kapasitör kullanımı oldukça ekonomik ve avantajlıdır.

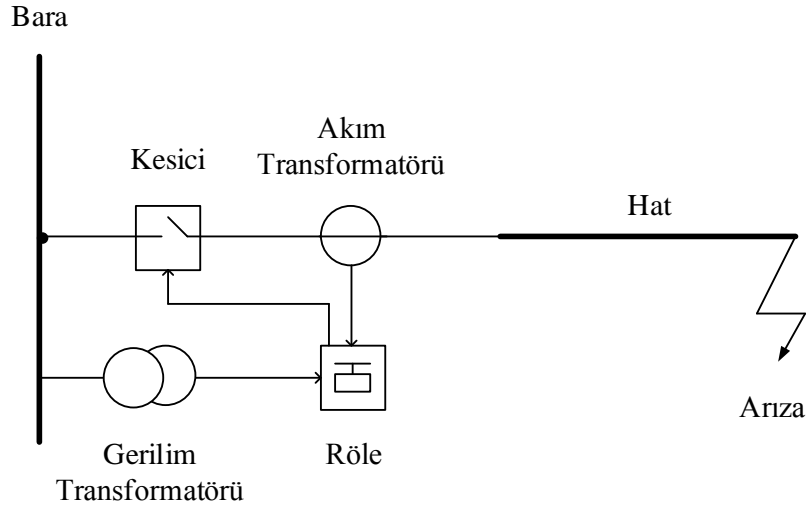
- Seri kapasitörler reaktif güç kayıplarını azaltarak sistemin gerilim profilinin düzenlenmesine katkı sağlar.

İletim hattında reaktif güç kaybı $Q_k = X_L I^2$ formülü ile hesaplanır. Hatta seri kapasitör eklendiğinde hattın reaktans değeri azalır ($X_L - X_C$). Dolayısıyla da hattın reaktif güç kaybı $Q'_k = (X_L - X_C) I^2$ azalmış olur.

Bunların dışında seri kapasitörlerin paralel iletim hatları arasında yük akışının kontrolüne olanak tanımaları ve aktif olarak kontrol edildiklerinde sistemdeki salınımları sönmeye katkı sağlamaları gibi faydaları da vardır.

1.4. Mesafe Koruma Röleleri

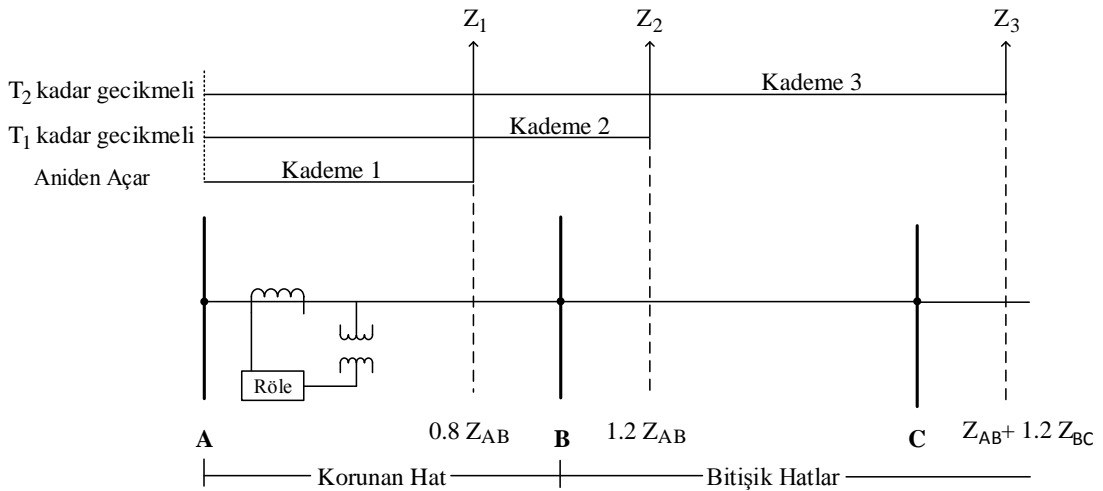
Mesafe koruma röleleri, iletim hatlarında oluşabilecek arıza durumlarında hattı ve diğer ekipmanları (generatör, transformatör vb.) koruma görevini yerine getiren elemanlardır [38]. Şekil 1.9'da mesafe koruma rölesinin blok şeması verilmiştir.



Şekil 1.9. Mesafe koruma rölesinin blok şeması

Mesafe koruma rölesinin çalışma prensibi gerilim ve akım değerini oranlayarak empedans hesabına dayanır. Normal çalışma durumundaki hattın empedans değeri röleye ayar değeri olarak girilir. Hatta kısa devre meydana geldiğinde gerilim azalırken akım değeri artar. Bu durumda röle tarafında görülen empedans değeri ayarlanan empedans değerinden düşük olacağı için röle kesiciye açma sinyali gönderir ve hatalı bölge sistemden ayrılır. Röle gerilim ve akım bilgilerini gerilim ve akım trafolarından sağlar.

Mesafe koruma röleleri yanlış açmalardan kaçınmak için çeşitli koruma bölgelerine ayrılmıştır. Şekil 1.10'da 3 kademeli (koruma bölgesine sahip) mesafe koruma rölesinin zaman-mesafe karakteristiği verilmiştir.



Şekil 1.10. Mesafe koruma rölesinin zaman-mesafe karakteristiği

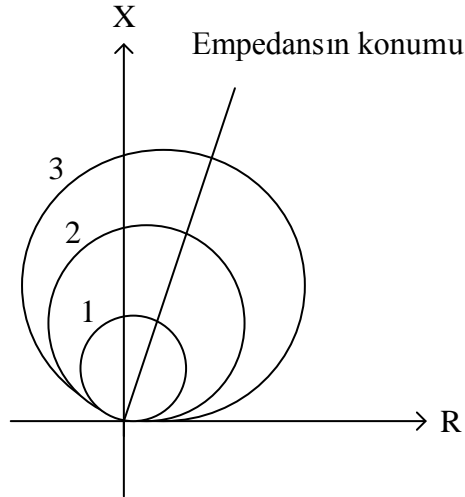
Kademe 1: Kademe 1 genelde korunan hattın %80-85'ni kapsar ve röle bu bölge içindeki arızalarda zaman gecikmesiz açma sinyali üretir. Transformatörlerin ölçüm hataları, hattın empedansının tam olarak bilinmemesi gibi sebeplerden dolayı aşırı menzil riskini ortadan kaldırmak için bu bölgede %15-20 boşluk bırakılır.

Kademe 2: Kademe 2 korunan hattın %120'sini kapsayacak şekilde ayarlanır ve zaman gecikmeli olarak çalışır. Temel görevi korunan hatta kademe 1'in menzili dışında kalan bölümde oluşacak arızaların giderilmesidir. Kademe 1 ve kademe 2 korunan hat için ana koruma görevi görmektedir. Kademe 2 ayrıca bitişik hattın başında meydana gelecek arızalarda yedek koruma sağlar.

Kademe 3: Kademe 3 korunan hattın %100'üne ek olarak bitişik en uzun hattın %120'sini kapsayacak şekilde ayarlanır ve süresi kademe 2'den daha fazla olacak şekilde zaman gecikmeli olarak çalışır. Temel görevi bitişik hat için yedek korumayı sağlamaktır.

1.4.1. Mesafe Koruma Rölelerinin Karakteristikleri

Mesafe koruma röleleri empedans, admitans (Mho), dörtgen(quadrilateral), eliptik vb. şekillerde karakteristiklere sahiptir [38]. Bu karakteristiklerin oluşumunda R ve X değerleri belirgin rol oynadığı için R-X karakteristiği adı da verilebilir. Şekil 1.11'de yapılan çalışmada kullanılan Mho rölesinin karakteristiği verilmiştir.



Şekil 1.11. Mho rölesinin R-X diyagramı

Şekil 1.11’de R-X düzlemine konumlandırılmış çemberler koruma bölgelerini temsil etmektedir. Çemberin içine aldığı bölge yapılan kademe ayarının yüzdesine göre belirlenir. Buna göre röle tarafından ölçülen empedans ilgili kademeye ait çemberin içinde olduğunda röle açma sinyali üretir.

1.4.2. Pilot Röle

Pilot röle, iki veya daha fazla trafo merkezi arasında açma yapma veya yapmama sinyali iletmek için yüksek gerilim iletim hattında uygulanan iletişim ağı anlamına gelir [39]. Buradaki amaç, iletim hattında bir arıza meydana geldiğinde kesicilerin olabildiğince çabuk açma yapmasını sağlayarak hattı korumaktır. Hattın korunmasında kullanılan röleler uzak uç merkezlere açma sinyalinin iletilmesini sağlamak için iletişim veya pilot röleleri ile arabirim oluşturur. Pilot röleleri açma veya açmama sinyalini çeşitli kanallar yardımıyla iletebilir. Bu kanallar:

- Kuranportör sistemi (Power Line Carrier)
- Mikrodalga iletişim
- Fiber optik kablo
- Telefon hatları

Kuranportör sisteminde pilot röleler tarafından üretilen sinyal bir hat ayarlayıcısı yardımıyla güç hattı üzerinden iletebilir. Sinyalin istenilen hedefin ötesine gitmediğinden emin olmak için hat ayırıcılar kullanılır. İletim güç hattı üzerinden yapılmayacaksa telefon hatları yardımıyla taşıyıcı sinyaller uzak istasyonlara gönderilebilir. Bu sistemde arıza durumunu belirtmek üzere değiştirebilen bir ses tonu iletmek için telefon hattı kullanılır. Eğer hat kısa ise hattın uzunluğu boyunca fiber optik kablo kullanmak mantıklı olacaktır. Bu durumda hat ayarlayıcı, hat ayırıcı veya taşıyıcı donanım gibi ayrıntılı kurulumlara gerek kalmaz. Fiber optik kablo hattın herhangi bir ucundaki koruyucu röleye doğrudan bağlanabilir. Eğer iki trafo merkezi arasındaki görüş hattı açıksa, her iki uca bir mikrodalga kule monte edilebilir. Bu şekilde kuleler, açma sinyalini doğrudan birbirlerine iletebilir.

Pilot rölede kullanılan kanallar vasıtasıyla uygulanan çeşitli koruma şemaları vardır. Tipik olarak aşağıda sıralanan koruma şemaları uygulanır.

- Müsaadeli Aşırı Menzil Kesici Açtırma (POTT)
- Müsaadeli Düşük Menzil Kesici Açtırma (PUTT)

- Yönlü Karşılaştırmalı Blokaj (DCB)
- Yönlü Karşılaştırmalı Blokaj Kaldırma (DCUB)
- Direkt Düşük Menzil Kesici Açtırma (DUTT)
- Direkt Kesici Açtırma (DTT)

Müsaadeli aşırı menzil koruma şemasında kesicinin açma yapabilmesi için uzak uçtaki röleden ve yerel röleden bir açma sinyali alması gerekmektedir. Bu sinyalin anahtarlaması frekans kaydırmalı kilitleme kullanarak yapılır. Normal durumda yerel röle bir bekleme frekansı iletir ve bu frekans uzak uçtaki rölenin çalışmasını devre dışı bırakır. Anormal koşullar altında açma sinyalinin iletilmesi için röle daha yüksek veya daha düşük bir frekansa geçer. Kesiciler hattın her iki ucundaki röle açma frekansına geldiğinde devreye girer ve arıza giderilir.

Yönlü karşılaştırmalı blokaj şeması arıza durumunda sistemin daha büyük bölümünün devre dışı kalmasını engellemek için kullanılan en popüler pilot röle koruma şemasıdır. Bu şemada yerel röle arızayı algılar ve kesiciye açma sinyali gönderir. Komşu hatlarda bulunan rölelerin yanlış açmasını engellemek için ise bu rölelere blokaj sinyali gönderilir.

Direkt kesici açtırma şeması iletim hatlarında veya trafo merkezlerinde ciddi bir olay yaşandığında devreye girer ve bu şemada her olay için belirlenen bir kilitleme rölesi vardır. Buna göre belirlenen koşul meydana geldiğinde röleye bağlı olan tüm kesiciler açar ve arızanın temizlenmesi sağlanır. Kesici uzak konumdaysa ve fiziksel olarak röle ile bağlantısı yoksa pilot kanalıyla kesiciye sinyal gönderilir.

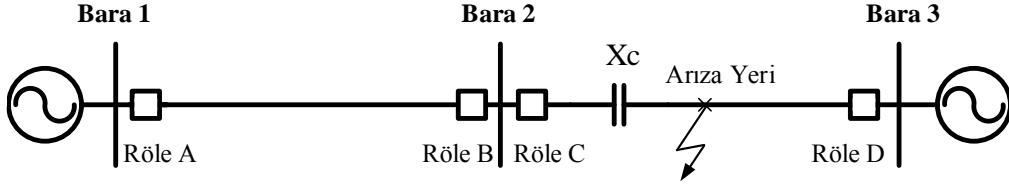
1.4.3. Seri Kapasitörün Mesafe Koruma Rölesi Üzerine Olumsuz Etkileri

İletim hatlarında mesafe koruma rölesi ile kısa devre arızasının olduğu yer arasında seri kapasitör bulunduğu durumda röle tarafından ölçülen empedansın değeri değişir ve bu durum rölenin hatalı şekilde çalışmasına sebebiyet verir. Aynı zamanda seri kapasitör eklenen hattın empedans değeri daha az olacağı için arıza durumunda daha yüksek arıza akımı oluşur. Bu nedenle sistemde kullanılan teçhizatın korunması seri kapasitör eklendiği durumda daha elzem bir konu haline gelmektedir.

Seri kapasitör kullanılan hatta meydana gelen başlıca problemler kademe genişlemesi, gerilimin yön değiştirmesi ve akım yön değiştirmesi olarak sıralanabilir [40],

[41], [42]. Meydana gelen bu problemler oluşumları gereği değişik özelliklere sahip olsa da üçünün de ortak noktası rölenin arıza yerini doğru şekilde tespit edememesi nedeniyle hatalı çalışmasıdır.

Seri kapasitör kullanılması durumunda oluşan kısa devrenin röleler üzerinde etkisi Şekil 1.12 üzerinden açıklanacaktır.

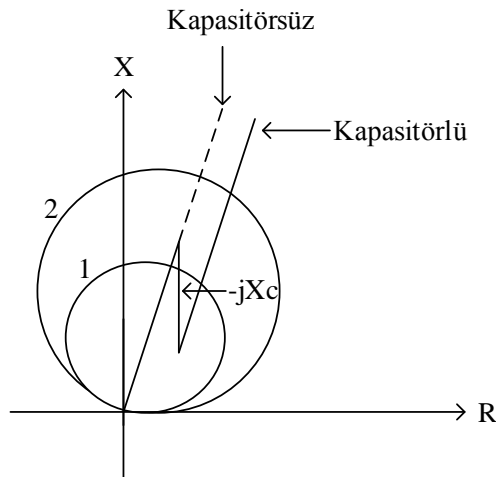


Şekil 1.12. Arıza ve seri kapasitör konumunun röleler üzerine etkisi

1.4.3.1. Kademe Genişlemesi

Kademe genişleme, arıza empedansının seri kapasitörün empedansından daha büyük olduğu durumda meydana gelir. Bu durumda röle ayarlanan kademe değerinden daha uzaktaki bir olayı kendi birinci kademesi içinde görerek hatalı açma sinyali üretir.

Şekil 1.12'de meydana gelen arıza yeri göz önüne alındığında Röle A için oluşacak R-X diyagramı Şekil 1.13'teki gibi olur.

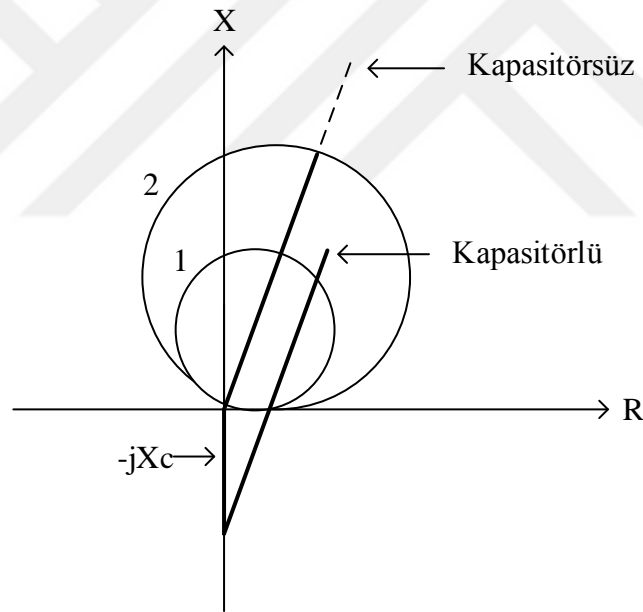


Şekil 1.13. Röle A için R-X diyagramı

Şekil 1.13'e göre normalde 2. koruma bölgesine düşecek olan arıza Röle A tarafından 1. bölgede olacak şekilde algılanabilir ve bu durum Röle A'nın hatalı bir şekilde çalışmasına sebebiyet verebilir.

1.4.3.2. Gerilimin Yön Değiştirmesi

Gerilimin yön değiştirmesi arıza empedansının seri kapasitörün empedansından daha küçük olduğu durumda meydana gelir. Bu durumda rölenin ölçtüğü gerilim açısız olarak 90° veya daha fazla yön değiştirmektedir. Oluşacak kısa devre akımının açısız olarak yönü sabit olduğu durumda gerilimin yön değiştirmesi rölenin arızayı ters yönde algılamasına sebebiyet verir. Yine Şekil 1.12'deki arıza yeri göz önüne alındığında Röle C için oluşacak R-X diyagramı Şekil 1.14'deki gibi olur.



Şekil 1.14. Röle C için R-X diyagramı

Şekil 1.14'e göre normalde 1. koruma bölgesi içine düşecek olan arıza Röle C tarafından ters bölgede algılanabilir ve bu durum Röle C'nin hatalı bir şekilde çalışmasına sebebiyet verebilir.

1.4.3.3. Akımın Yön Değiştirmesi

Akımın yön değiştirmesi arıza, seri kapasitörün hemen önünde meydana geldiği zaman oluşan bir durumdur. Bunun neticesinde arıza akımı 90° veya daha fazla yön değiştirir.

şekil 1.12'de yer alan arızanın kapasitörün hemen önünde meydana geldiğini varsayalım. Bu durumda oluşacak arıza akımı Bara 2'den Bara 3'e doğru ilerlemesi gerekirken Bara 2'den Bara 1'e doğru yön değiştirir. Bunun neticesinde Röle B arızayı 1. koruma bölgesine görür ve hatalı bir şekilde açma sinyali üretir.

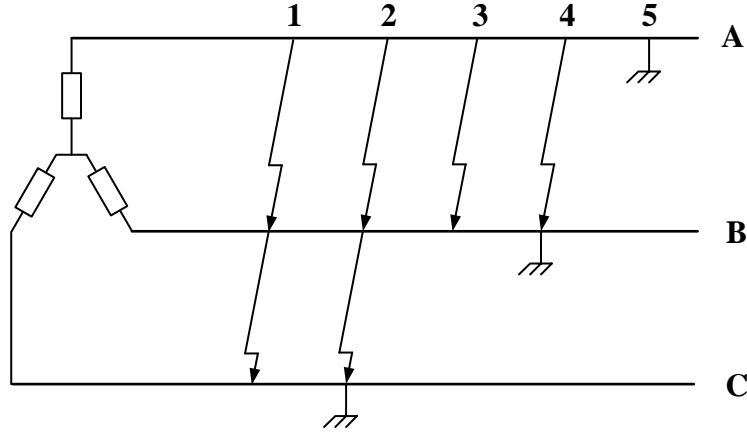
Yukarıda belirtilen bütün durumlarda Röle D, arıza noktasıyla arasında kapasitör bulunmadığı için kısa devre yerini doğru tespit eder.

1.5. Kısa Devre

Elektrik tesislerinde, faz iletkenlerinin birbirine veya yıldız noktası topraklı şebekelerde faz iletkeninin toprakla temas etmesi sonucu meydana gelen olaya kısa devre denir. Kısa devrenin başlıca nedenleri olarak yalıtkanın eskimesi ya da yıpranması, aşırı akım ve gerilimle zorlanması gibi şebeke kaynaklı olaylar, yıldırım düşmesi, rüzgar, direk devrilmesi, yanlış açma kapama gibi dış kaynaklı olaylar sayılabilir. Kısa devre arızaları gerçekteşme şekline bağlı olarak;

1. 3 Faz Kısa Devre Arızası,
2. 3 Faz-Toprak Kısa Devre Arızası,
3. Faz-Faz Kısa Devre Arızası,
4. 2 Faz-Toprak Kısa Devre Arızası,
5. Faz-Toprak Kısa Devre Arızası

olarak isimlendirilirler. şekil 1.15.'te bu arızaların oluşumunun genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.15. Kısa devre arıza türlerinin genel gösterimi

Bu arıza türleri arasında en sık görülen arıza türü %80 orana sahip olan faz-toprak kısa devre arızasıdır. Ayrıca 3 faz kısa devre arızası simetrik bir arıza olup en yüksek kısa devre akımı bu arıza türünde meydana gelmektedir [43].

1.5.1. Kısa Devre Arızasının Etkileri

Kısa devre nedeniyle ortaya çıkan aşırı akımlar genlikleri ve etki süreleri ile orantılı olarak aygıtlarda ısıl ve dinamik zorlanmalara yol açar. Termik zorlanmalar iletkenlerde meydana gelen ısınmalardan kaynaklanır ve yalıtımın yıpranmasına neden olur. İletkenlerin sıcaklığı arttıkça bunları çevreleyen yalıtkanların dayanımı azalır. Dinamik zorlanmalar ise kısa devre akımlarında sargı, bara, izolatör gibi elemanlarda ortaya çıkabilen mekanik kuvvetlerden kaynaklanır. Bu kuvvetler iyi sabitlenmemiş baralarda şekil ve fonksiyon bozukluklarına yol açabilir. Kısa devre arızaları:

- Büyük akımların akmasına neden olacağı için sistem elemanlarında aşırı ısınma yaparlar.
- Bir elektrik arkıyla oluştukları için yüksek sıcaklıklar cihazların tahribatına ve yangına neden olabilir.
- Sistemin dengesiz olmasına sebebiyet verir.
- Güç akışını engelleyebilir.
- Sistemin kararlılığını bozucu etkiye sahiptir.
- Sistemin gerilimini istenilen sınırlar dışında yükseltebilir veya alçaltabilir.

Bu tür durumların önlenmesi için arızalı kısmın mümkün olduğunca hızlı şekilde sistemden ayrılması gerekmektedir. Bu noktada devreye sistemde koruma görevini yerine getiren röleler girmektedir.

1.5.2. Kısa Devre Analizi

Yük akış analizinin yanı sıra, kısa devre analizi elektrik şebekelerini ele alırken en sık yapılan analizlerden biridir. Hem sistemin planlamasında hem de sistemin işletilmesinde kullanılır. Sistem planlamasında kısa devre analizinin tipik uygulama örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Sistemin büyümesi veya güçlendirilmesi ile birlikte kısa devre limitinin aşılmasını önlemek,
- Koruyucu ekipman arasındaki koordinasyonun sağlanması (aşırı akım ve mesafe röleleri),
- Topraklama sistemlerinin boyutlandırılması,
- Kabloların ve iletim hatlarının kabul edilebilir termal limitlerinin belirlenmesi.

Sistem işletilmesinde kısa devre analizinin tipik uygulama örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Sistemin yeniden yapılandırılması durumunda kısa devre limitinin aşılmasını önlemek,
- Koruyucu ekipmanın ayar değerlerinin belirlenmesi,
- Sistemde oluşacak arızaların önceden analizi.

Türkiye iletim sisteminin sahip olduğu enterkonnekte şebeke yapısı, üretim kaynaklarının birbirine paralel olarak bağlı olduğu sistemdir. Bu durum kısa devre meydana geldiğinde hatlarda yüksek akımların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebeple mevcut yapıda hem planlama aşamasında hem de sistemin işletilmesi hususunda mutlak suretle kısa devre analizlerinin yapılması ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

1.6. Yük Akış Analizi

Günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için büyük küçük yeni tesislerin kurulması, mevcut enerji sistemlerinin giderek daha karmaşık yapıya bürünmesine sebep olmuş ve bu durum işletme ve planlama çalışmalarının önemini daha da artırmıştır [44]. Elektrik mühendisleri, güç sistemlerinin çalışmasını ve kontrolünü değerlendirirken tipik olarak bazı sorulara cevap aramak zorundadır. Bunlar:

- Güç sistemindeki her baranın gerilimi kabul edilebilir sınırlar içinde midir?
- Farklı ekipmanların (transformatörler, iletim hatları, generatörler vb.) güç sisteminin yüklenmesine etkisi nedir?
- Güç sisteminin en iyi şekilde işletilmesi nasıl sağlanabilir?
- Güç sisteminde bir zayıflık var mıdır? Eğer varsa hangi kısımda bulunur ve etkisi nasıl önlenebilir?

gibi temel sorulardır. Yukarıda yapılan sorgulamalar sadece mevcut güç sisteminin davranışını analiz ederken değil, gelecekte sistemde meydana gelecek değişimlerin (sistem büyümesinin) etkilerini gözlemlemek için de yapılabilir. Örneğin bir iletim hattının veya enerji santralının işletmeye alınmasının etkisi, ekipmanların yenilenmesi veya devre dışı bırakılmasının etkisi gibi durumlarda da sistemin çalışma koşullarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu noktada devreye yük akış analizi çalışmaları girmektedir. Yük akış hesabı, hatlardan akan aktif ve reaktif güç miktarının ve her bir barada gerilimin genlik ve faz açısı değerinin belirlenmesi için yapılan analizdir. Yük akışı aynı zamanda şebekenin genel durumu ve hat kayıpları hakkında bilgi edinmek için de kullanılabilir.

Bilindiği üzere Türkiye iletim sistemi enterkonnekte şebeke yapısındadır. Bu yapı birbirine paralel bağlı üretim ve tüketim merkezlerinden oluşur ve enerji akışının yönünü belirlemek için oldukça elverişlidir. Enterkonnekte şebeke yapısının kesintisiz enerji sağlaması, yüksek verimli ve ekonomik olması gibi avantajları da vardır. Ancak sistem kararlılığının sağlanmasının zor olması bu yapının bir dezavantajı olarak görülebilir. Türkiye'de Milli Yük Tevzi Merkezi (MYTM) üretimin planlanması ve mevcut sistemde meydana gelecek olumsuz bir durumda gerekli önlemlerin alınması için gününbirlik olarak yük akış analiz çalışmalarını yürütmektedir.

1.7. K En Yakın Komşu (K Nearest Neighbors) Algoritması

K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbor) kısaca k-EYK olarak ifade edilen bu yöntem bilinen en temel sınıflandırma yöntemlerinden biridir [45]. Uygulamasının kolay ve anlaşılabilir olması sebebiyle literatürde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Bu yöntemde hangi sınıfa ait olduğu bilinmeyen veri test verisi, önceden sınıfı belirlenmiş veriler ise eğitim verisi olarak isimlendirilir. k-EYK metodundaki "k" ifadesi komşuluk sayısını belirtir. İşleme alınan test verisinin eğitim verilerine olan uzaklıkları hesaplanır ve test verisinin en yakınındaki k adet komşu çoğunlukla hangi sınıfa aitse test verisinin de o sınıfa ait olduğu varsayılır. Uzaklık hesabı yapılırken Öklid, Minkowski, Manhattan gibi farklı uzaklık ölçütlerinden faydalanılabilir. Öklid uzaklık ölçütü k-EYK algoritmasında kullanılan en temel uzaklık ölçütüdür ve yapılan çalışmada da bu uzaklık ölçütünün kullanılması tercih edilmiştir. $A = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ve $B = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ olarak verilen iki nokta arasındaki Öklid uzaklığı aşağıdaki verilen denklem (1.9) yardımıyla hesaplanır.

$$|AB| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1.9)$$

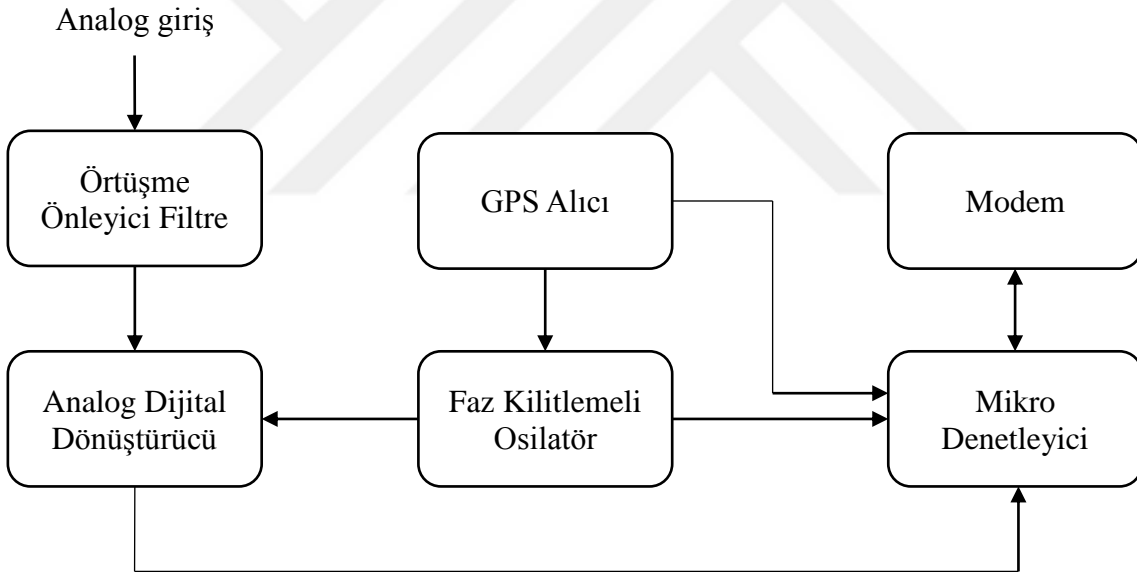
k-EYK yönteminin sayısal veriler üzerinde uygulanmasının kolay olması ve eğitim verilerinin fazla olduğu durumlarda daha verimli olması avantajları olarak sıralanabilir. Ancak test verisinin eğitim verilerine olan uzaklıklarının tek tek hesaplanması zaman kaybı oluşturacağından bu yöntem için bir dezavantaj sayılabilir.

1.8. Senkro Fazör Ölçme Üniteleri (PMU)

Fazör, sinüzoidal bir ifadenin genlik ve faz açısı büyüklükleri kullanılarak gösterimidir. Mevcut güç sistemlerinde frekansın sabit kalması pek mümkün değildir. Fazör gösterimin en önemli avantajı frekanstan bağımsız bir ifade olmasıdır. Senkrofazörler ise, güç sistemlerinde GPS (Global Position System)'e dayalı olarak elde edilmiş gerilim veya akım fazörlerini ifade eder.

Senkrofazör ölçüm üniteleri (PMU), adından da anlaşılacağı üzere güç sistemlerinde senkronize bir şekilde akım ve gerilim fazörlerini ölçmeye yarayan aygıtlardır [46]. Gerçek zamanlı ve yüksek hassasiyetli ölçüm yapabilmeleri ve ölçülen fazörlerin anlık olarak karşılaştırılabilmesine olanak sağlamaları en önemli avantajlarıdır.

Günümüzde enerji kesintisi ve gerilim çökmesi gibi olayların artması, güç sistemlerinin beklenmedik arızalara karşı ekonomik ve güvenilir bir şekilde işletilebilmesi için sistemin anlık olarak izlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda ilk olarak Amerika ve daha sonra diğer ülkeler şebekelerinde senkrofazör ölçüm üniteleri kullanmaya başlamıştır. Senkrofazör ölçüm üniteleri sayesinde şebekenin belirli noktalarından alınan ölçümlerin yüksek bir hassasiyetle karşılaştırılması ve gerçek zamanlı koruma eylemlerinin başlatılması mümkün hale gelmektedir. Ölçümler sonucu alınan veriler ışığında güç sistemleri üzerinde analizler yapılarak sistemin daha güvenli işletilmesi sağlanabilir. Şekil 1.16'da senkrofazör ölçme ünitesinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.16. Senkrofazör ölçüm ünitesi blok diyagramı

Sistemin temelini oluşturan elemanlar analog dijital dönüştürücü (ADD), mikro denetleyici ve iletişimi sağlayan modemdir. Örtüşme önleyici süzgeç sayesinde yüksek frekansın ADD'ye girmesi engellenir. GPS sistemi ise 1 mikro saniyelik hassasiyetle sinyal gönderme işlevini görür. Uzun mesafeler arasında ölçüm yapıldığında senkronizasyon sinyalleri arasındaki doğruluğu korumak için faz kilitlemeli osilatör kullanılır. Mikro denetleyici ise elde edilen verilerin zaman etiketli olarak veri toplayıcısına kaydedilmesini

sağlar. Kaydedilen veriler izleme merkezine aktarılır ve sistemin işletilmesinde kullanılmak üzere saklanır.

1.9. Digsilent PowerFactory Programının Genel Özellikleri

Bu tez çalışmasındaki modelleme ve analiz çalışmaları Digsilent PowerFactory programında yapılmıştır. PowerFactory, iletim dağıtım ve endüstriyel güç sistemlerinin analizi için bilgisayar destekli bir mühendislik aracıdır. Kullanım kolaylığı, içerisinde birçok analiz seçeneği bulunması ve elde edilen sonuçların doğruluğu ve geçerliliğinin güç sistemlerinin dünya çapında planlanması ve işletilmesi ile ilgili organizasyonlar tarafından onaylanmış olması bu programın tercih edilme sebebidir [47]. Programın temel işlevleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yük Akış Analizi
- Alçak Gerilim Şebeke Analizi
- Kısa Devre Analizi
- Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi
- Koruma Analizi
- RMS / EMT Simülasyonu
- Güvenilirlik Analizi

Çalışmada bu temel işlevlerden yük akış analizi ve kısa devre analizinden faydalanılmıştır. Program yük akış analizi için hesaplama türü olarak "AC yük akış, dengeli, pozitif bileşen", "AC yük akış, dengesiz, 3 faz (ABC)" ve "DC yük akış (doğrusal)" seçeneklerini sunmaktadır. Güç akış denklemlerinin çözümü için ise "Newton Raphson" metodunu akım denklemleri veya güç denklemlerini kullanma seçeneği ile birlikte sunmaktadır. Büyük güçlü iletim sistemlerinde, özellikle aşırı yüklü olduğu durumda, güç denklemleri formülasyonu en iyi şekilde yakınsar. Dağıtım sistemlerinde ise akım denklemleri formülasyonunu kullanmak daha iyi sonuç almayı sağlar. Yapılan çalışmanın amacına uygunluğu göz önüne alınarak yük akış analizi AC yük akış, dengeli pozitif bileşen ve Newton Raphson güç denklemleri formülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Digsilent programı kısa devre analizi için içerisinde birçok metodu barındırmaktadır. Çalışmada kısa devre hesaplarında, IEC60909 standardına bağlı kalınmıştır [48].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Günümüzde güç sistemlerinin güvenilir ve ekonomik bir şekilde işletilmesi şebeke operatörleri ve müşteriler için önemli bir konu haline geldiğinden kısa devre arıza yeri tespiti için kullanılan algoritmalar araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. İletim hatlarında kullanılan seri kapasitörlerin mesafe koruma rölelerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Arızanın röle tarafından düzgün bir şekilde tespit edilememesi gereksiz enerji kesintilerine sebebiyet vermenin yanında sistemde kullanılan teçhizatın korunmasını da güçleştirmektedir. Dolayısıyla seri kapasitör bulunduran hatlarda doğru arıza yeri tespit tekniklerinin geliştirilmesi önemli bir çalışma konusudur. Bu bağlamda yapılan çalışmada k-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak senkro fazör ölçüm tabanlı bir koruma algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen metot için gerekli olan programlama çalışmaları MATLAB'te yapılmıştır.

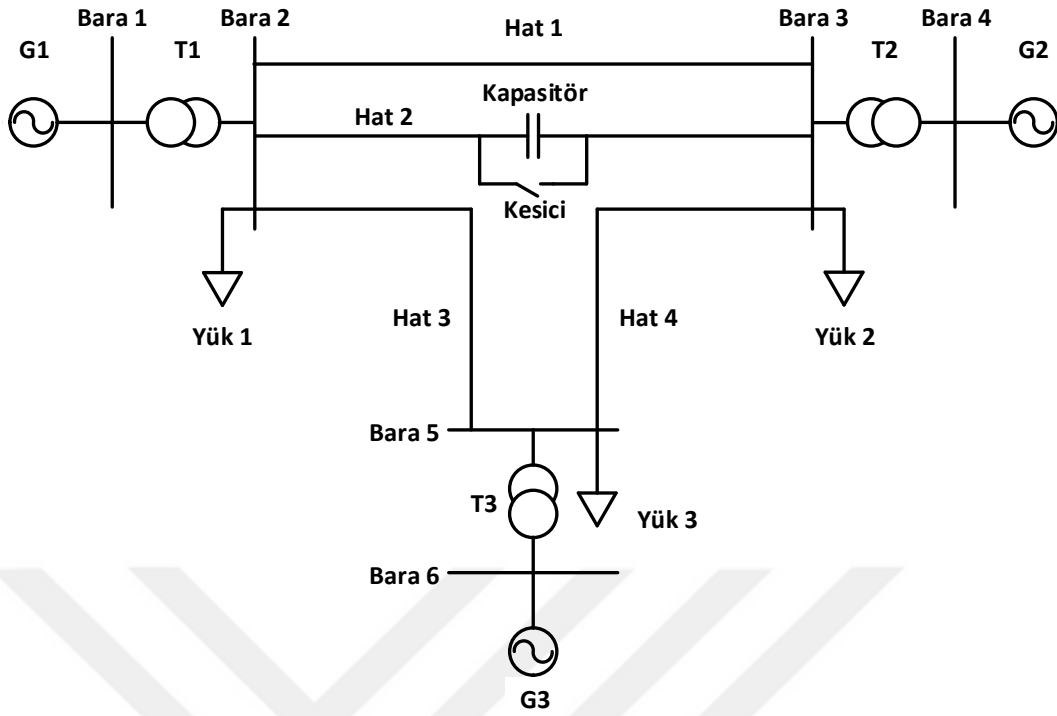
Yapılan çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda seri kapasitörün iletim hattına olan faydalarını incelemek için örnek bir model Digsilent PowerFactory programında oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinde yük akış analizleri yapılarak seri kapasitörün hatların yüklenme durumlarına, sistemin geçici hal kararlılığına ve toplam reaktif güç kaybına etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ilgili çalışma başlığı altında verilmiştir.

İkinci kısımda ise kısa devre analizleri yapılmak üzere örnek bir radyal şebeke ile Türkiye şebekesinin kısmî modeli Digsilent PowerFactory programında oluşturulmuştur. Kısmî şebeke Borçka-Osmanca 380 kV baraları arasında bulunan 17 iletim hattını ve 15 trafo merkezini kapsamaktadır. Şebekede kısa devre analizi için Kayabaşı TM ve ona bağlı olan TM'ler arasında bulunan hatlar esas alınmıştır. Analiz için bu bölgenin seçilme nedeni seri kapasitörlerin bu bölgede aktif olarak transfer kapasitesini artırmada ve hatlar arasında yük paylaşımını sağlamada kullanılıyor olmasıdır. Kısa devre analizleri radyal şebeke için 3 faz dengeli kısa devre, kısmî şebeke için ise tek faz toprak kısa devre arızası oluşturularak yapılmıştır. Her iki durumda da arıza empendası hesaba katılmayarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmaları IEC 60909 standardına uygun olarak yapılmıştır. Standart gereği hesaplanan kısa devre akımlarının genliği ve açısı, kısa devre

noktalarının gerilimi 1.1 p.u. ve açısı 0° kabul edilerek elde edilmiştir. Bilindiği üzere seri kapasitörler ark boynuzlu ve metal oksit varistör tabanlı iki tip koruma devresine sahiptir. Bunlardan ark boynuzları yüksek genlikli kısa devre akımı oluştuğunda seri kapasitörün gerilimin yükselmesine bağlı olarak tetiklenmekte ve seri kapasitörün devre dışı kalmasını sağlamaktadır. Metal oksit varistör tabanlı koruma ise yüksek genlikli kısa devre akımında seri kapasitörün tamamı devre dışı bırakılırken, daha düşük genlikli kısa devre akımlarında ise seri kapasitörün bir kısmını devre dışı bırakan sistemlerdir. Bu durumda mesafe koruma röleleri seri kapasitör etkisi olmaksızın çalışmakta ve arıza yerini doğru bir şekilde belirleyebilmektedir. Ancak geçici karakterde arızalar yapıları gereği düşük genlikli kısa devre arıza akımı oluşturdukları için mesafe koruma rölelerinin seri kapasitörlerin etkisi altında arıza yerini belirlemesi gerekmektedir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda en kötü hal senaryosu dikkate alınarak seri kapasitörlerin koruma ekipmanları modellenmemiş ve seri kapasitörler devrede iken kısa devre analizleri yapılmıştır. Gerekli analizler yapıldıktan sonra önerilen metodun çalışması incelenmek üzere Digsilent PowerFactory programında radyal ve kısmî şebekeden test verileri alınmıştır. Bu veriler simülasyon ortamında fazör ölçüm prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Test verileri ile arızanın yerinin doğru tespit edilip edilemeyeceği incelenmiş ve sonuçlar ilgili çalışma başlığı altında verilmiştir.

2.2. Seri Kapsitörün Yük Akış Analizine Etkisi

Bu kısımda yapılan çalışmada yük akış analizi için 6 bara, 3 transformatör, 3 generatör ve 4 iletim hattından oluşan bir test sistemi Digsilent PowerFactory programında oluşturulmuştur. Test sisteminin simülasyon modeli Şekil 2.1’de verilmiştir. Modelde kullanılan generatörler ve transformatörler özdeştir. Generatörlerin her biri 500 MVA ve 18 kV nominal güç ve gerilim değerine sahiptir. Transformatörler ise 18/230 kV çevirme oranı, %5.1 gerilim düşümü ve 500 MVA nominal güç değerinde seçilmiştir. Gerçekleştirilen yük akışında G1 generatörü referans makine olarak seçilmiş ve gerilim değeri 1.03 p.u. olarak ayarlanmıştır. G2 generatörü 275 MW, 1.04 p.u. ve G3 generatörü 150 MW, 1.02 p.u. aktif güç ve gerilim değerine sahiptir. Digsilent PowerFactory programında oluşturulan test sistemi ayrıca Ek-1’de de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yük akış analizi için oluşturularan test sistemi

İletim hatlarına ait teknik bilgiler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Test sisteminde bulunan iletim hatlarına ait teknik bilgiler

Parametre	Hat 1	Hat 2	Hat 3	Hat 4
Hat Uzunluğu (km)	150	150	80	50
Rezistans (Ω)	15	15	8	5
Reaktans (Ω)	75	75	40	25

Yüklere ait teknik bilgiler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Test sisteminde bulunan yüklere ait teknik bilgiler

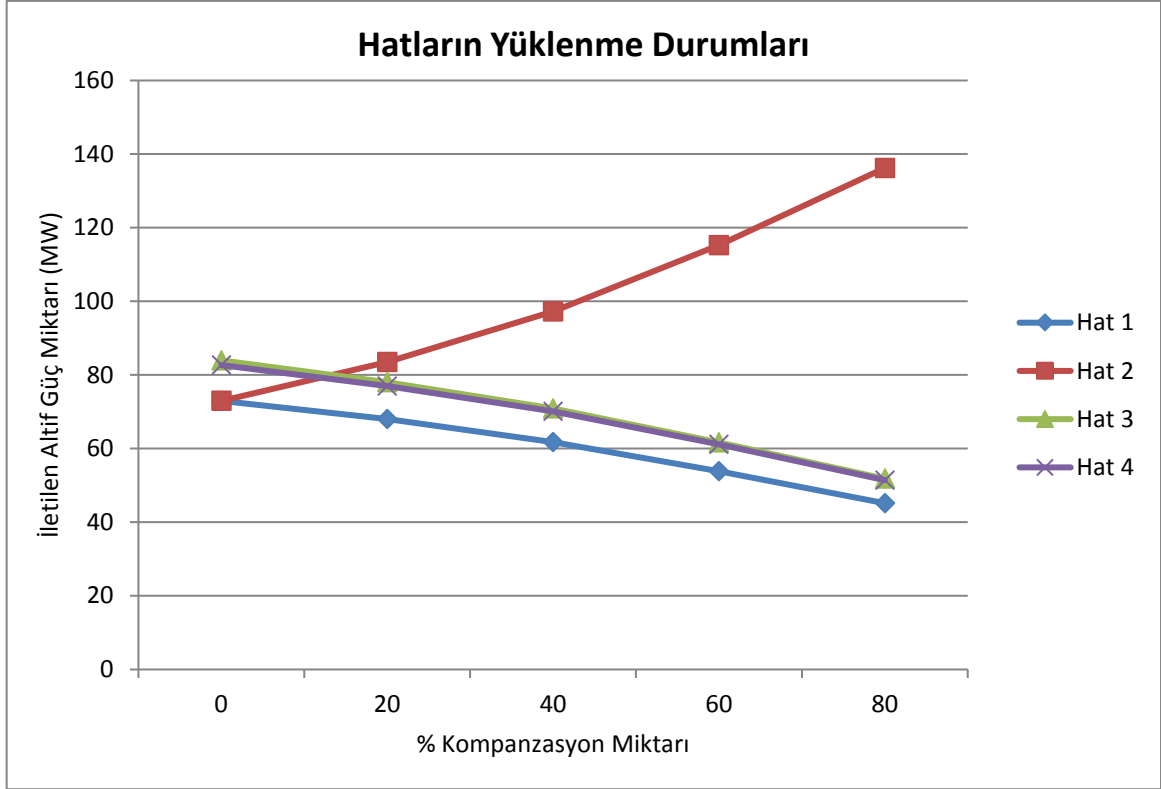
Parametre	Yük 1	Yük 2	Yük 3
Aktif Güç (MW)	150	500	150
Reaktif Güç (MVar)	30	50	10
Görünür Güç (MVA)	152.9	502.5	150.3

Seri kapasitör Hat 2'nin orta noktasında olacak şekilde yerleştirilmiştir ve devreye alınıp çıkarılması kesici yardımıyla yapılmaktadır. Simülasyon çalışmaları seri kapasitör devrede yokken ve kademeli olarak iletim hattına %20, %40, %60 ve %80 kompanzasyon uygulanarak yapılmıştır. Yapılan yük akış analizlerine göre hatların yüklenme durumları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Yük akış analizi sonuçlarına göre hatların yüklenme durumları

Hatlar	Parametreler	% Kompanzasyon Miktarı				
		0	20	40	60	80
Hat 1	P (MW)	72.961	68.071	61.797	53.815	45.169
	Q (MVA _r)	-10.221	-9.347	-7.905	-5.27	0.361
	Yüklenme (%)	17.98	16.76	15.19	13.17	10.96
Hat 2	P (MW)	72.961	83.538	97.294	115.223	136.229
	Q (MVA _r)	-10.221	-15.551	-25.008	-43.833	-89.257
	Yüklenme (%)	17.98	20.73	24.49	30.02	39.53
Hat 3	P (MW)	83.96	78.073	70.871	61.718	51.823
	Q (MVA _r)	-3.651	-2.48	-0.659	2.462	8.663
	Yüklenme (%)	20.44	19.05	17.28	15.04	12.75
Hat 4	P (MW)	82.687	77.02	70.155	61.175	51.432
	Q (MVA _r)	-29.716	-28.296	-26.089	-22.273	-14.468
	Yüklenme (%)	21.6	20.21	18.4	16	13.14

Tablo 2.3'teki verilere göre hatların yüklenme durumlarının kompanzasyon miktarı ile değişimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Test sistemindeki hatların kompanzasyon derecesine göre yüklenmesi

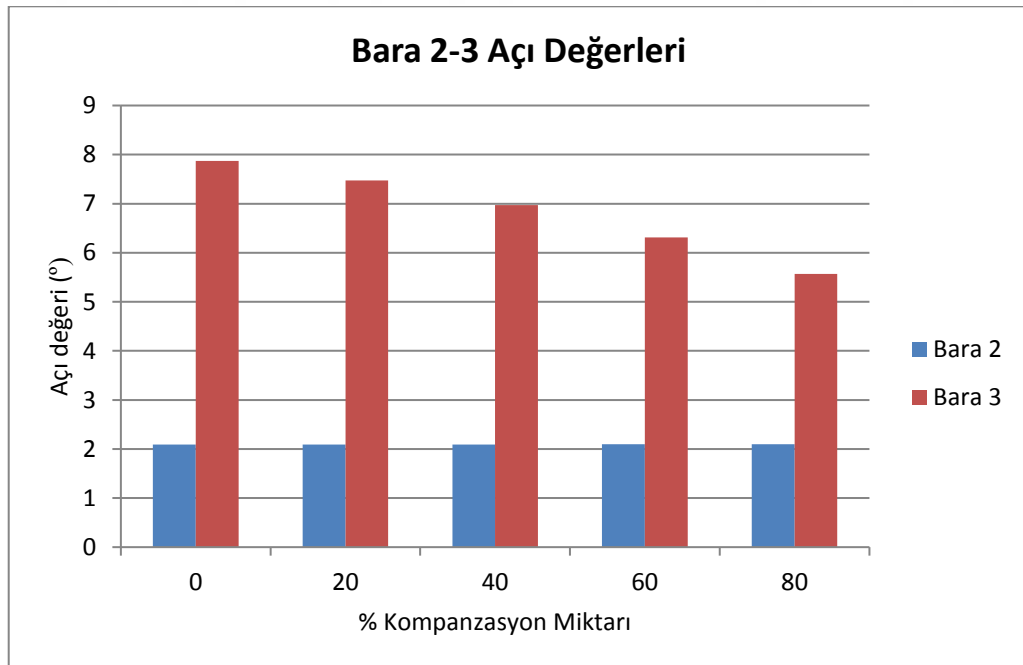
Şekil 2.2'den de görüldüğü üzere seri kapasitör devrede değilken özdeş hatlar olan Hat 1 ve Hat 2 eşit yükü paylaşmaktadır. Daha sonra kademeli olarak kompanzasyon miktarı artırıldığında Hat 2'nin ilettiği aktif güç miktarının da doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu durum Hat 2'nin daha verimli kullanılmasına olanak sağladığı gibi Hat 3 ve Hat 4'ün daha ekonomik yüklenmesine de yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda Hat 2'de bulunan seri kapasitör vasıtasıyla paralel hatlar olan Hat 1 ve Hat 2 arasında yük paylaşımı da kontrol edilebilmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre iletim hatlarını birbirine bağlayan baraların gerilim ve açı değerlerinin kompanzasyon miktarı ile değişimi Tablo 2.4'te verilmiştir.

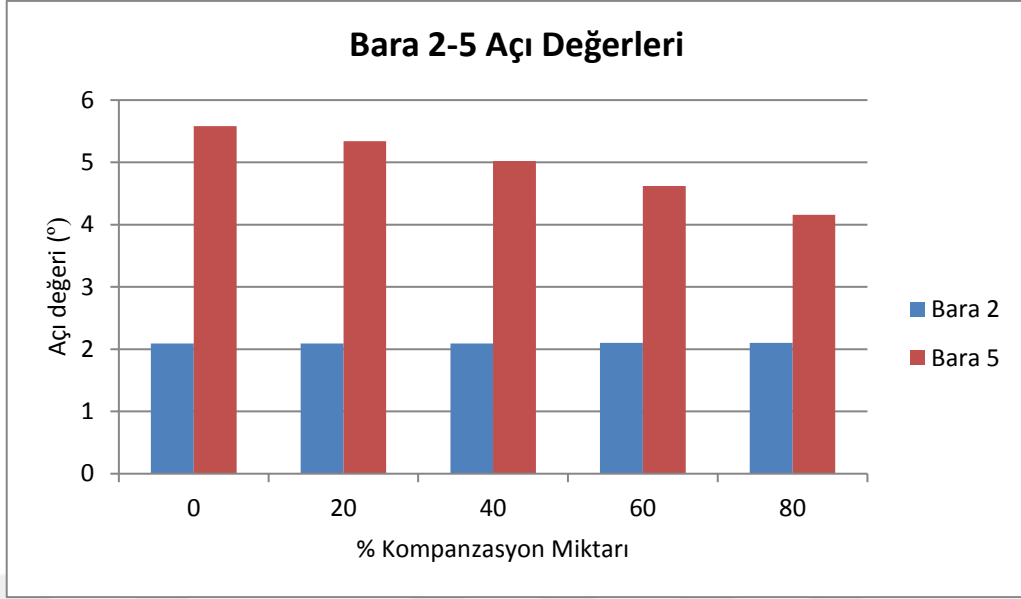
Tablo 2.4. Test sisteminde bulunan baraların kompanzasyon derecesine göre gerilim ve açı değerleri

Baralar	Parametreler	% Kompanzasyon Miktarı				
		0	20	40	60	80
Bara 2	Gerilim (kV)	236.61	236.68	236.82	237.12	237.88
	Gerilim Açısı (°)	-2.09	-2.09	-2.09	-2.1	-2.1
Bara 3	Gerilim (kV)	236.42	236.37	236.27	236.02	235.35
	Gerilim Açısı (°)	-7.87	-7.47	-6.97	-6.31	-5.57
Bara 5	Gerilim (kV)	234.83	234.84	234.85	234.85	234.83
	Gerilim Açısı (°)	-5.58	-5.34	-5.02	-4.62	-4.16

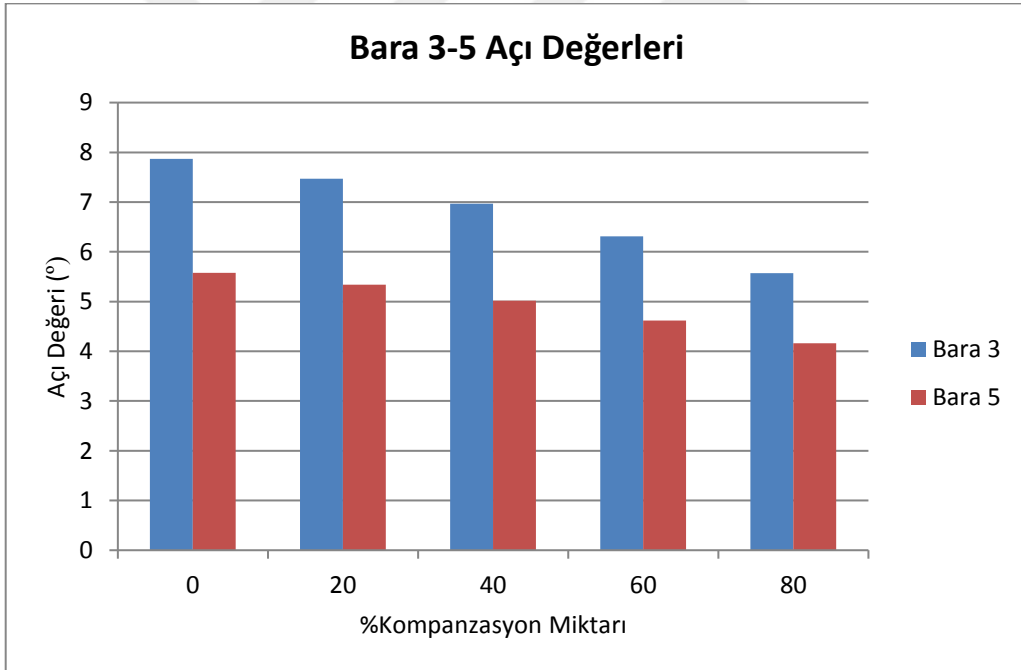
Tablo 2.4'teki verilere göre bara gerilimlerinde meydana gelen açı değişimleri Şekil 2.3 2.4 ve 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Bara 2 ile Bara 3'ün kompanzasyon miktarına göre açıların değişimi



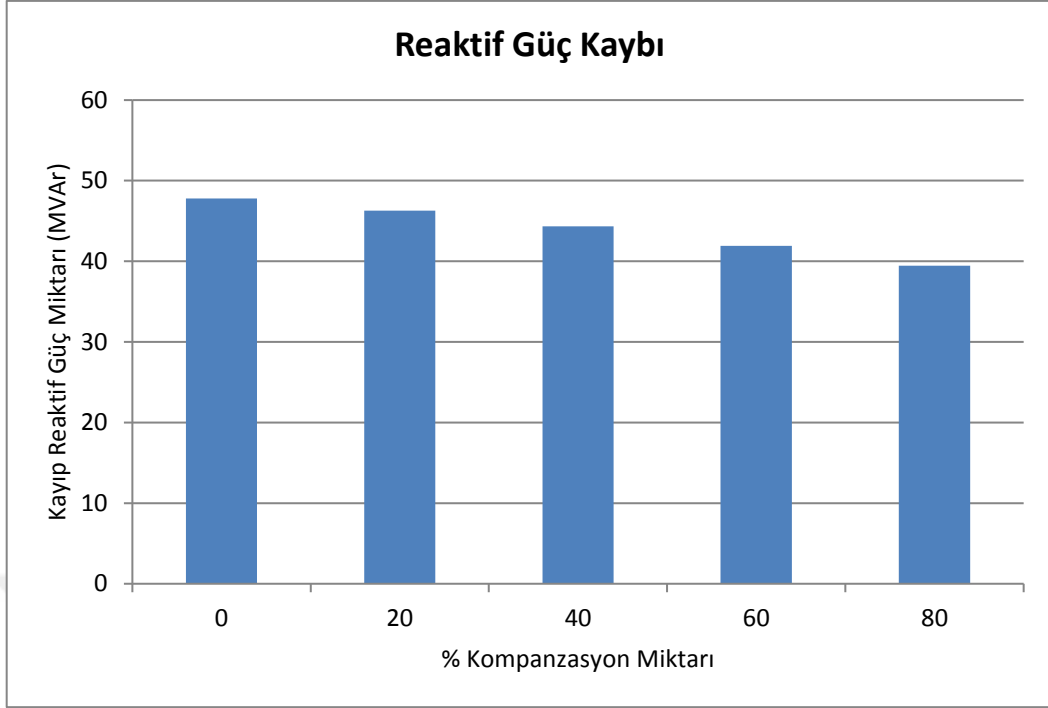
Şekil 2.4. Bara 2 ile Bara 5'in kompanzasyon miktarına göre açılarının değişimi



Şekil 2.5. Bara 3 ile Bara 5'in kompanzasyon miktarına göre açılarının değişimi

Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5 incelendiğinde kompanzasyon derecesi artırıldığında baralar arasında oluşan açı farklarının azaldığı görülmektedir. Bu durum kapasitörün sistemin geçici hal kararlılığını artırıcı etkisinin bir kanıtıdır.

Şekil 2.6'da kompanzasyon derecesine göre sistemin reaktif güç kaybındaki değişim verilmiştir.



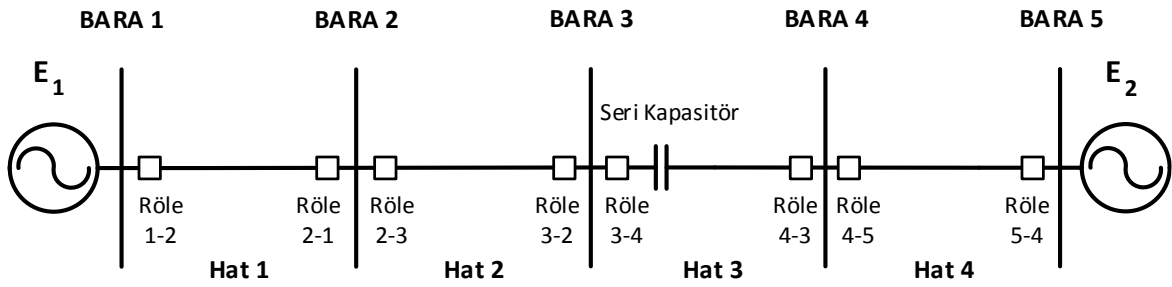
Şekil 2.6. Toplam reaktif güç kaybının kompanzasyon miktarına göre değişimi

Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi iletim hatlarında seri kapasitör kullanmak reaktif güç kayıplarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Aynı zamanda artan transfer kapasitesi seri kapasitör tarafından üretilen reaktif güç miktarını da artıracaktır. Bu iki durum göz önüne alındığında seri kapasitörlerin iletim hatlarında reaktif güç dengesine olumlu etki ettikleri söylenebilir.

2.3. Seri Kapasitörün Kısa Devre Analizine Etkisi

2.3.1. Radyal Test Sistemi

Kısa devre analizi için dört adet iletim hattı ve biri serbest bara olmak üzere iki tane harici şebeke içeren bir radyal test sistemi oluşturulmuştur. Radyal test sisteminin simülasyon modeli Şekil 2.7'de verilmiştir. İletim hatlarının nominal gerilimi 380 kV'tur. Modellemede kullanılan seri kapasitör 33Ω reaktans değerine sahiptir ve Hat 3'ün Bara 3 tarafında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Modelde Bara 1 serbest bara olarak seçilmiştir. Hatların korunması baralara karşılıklı olarak yerleştirilen mesafe koruma röleleri tarafından sağlanmaktadır. Ek-2'de Digsilent PowerFactory programında oluşturulan radyal test sistemi verilmiştir.



Şekil 2.7. Radyal test sistemi

Test sisteminde kullanılan rölelerin koruma bölgelerinin zaman ayarları TEİAŞ koruma pratiğine uygun olarak yapılmıştır. Buna göre 1. bölge zaman gecikmesiz, 2. bölge 400 ms zaman gecikmeli ve 3. bölge 800 ms zaman gecikmeli olacak şekilde ayarlanmıştır.

Kısa devre analizi, her bir hat için hattın ilk 1 km'si, %25'i, %50'si, %75'i ve son 1 km'sine düşen noktalarda 3 faz dengeli kısa devre oluşturularak yapılmıştır. Buna göre Hat 1 için oluşturulan kısa devrelerde rölelerin çalışma durumları Tablo 2.5'te verilmiştir. Tablo 2.5'ten de görüldüğü üzere Hat 1'de oluşan arızalarda röleler düzgün bir şekilde görevini yerine getirmişlerdir.

Tablo 2.5. Hat 1'de oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları

3 Faz Kısa Devre-Hat 1					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Röle 1-2	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 2-1	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 2-3	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-4	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 4-3	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 4-5	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 5-4	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

Hat 2 için oluşturulan kısa devrelerde rölelerin çalışma durumları Tablo 2.6’da verilmiştir. Tablo 2.6 incelendiğinde Hat 2’de meydana gelen kısa devrelerde Röle 4-3’ün kademe genişlemesi sebebiyle bütün arıza noktaları için kısa devreyi kademe 1’de görerek hatalı açma sinyali ürettiği görülmektedir.

Tablo 2.6. Hat 2’de oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları

3 Faz Kısa Devre-Hat 2					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Röle 1-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-1	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-3	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 3-2	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 3-4	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 4-3	Açtı*	Açtı*	Açtı*	Açtı*	Açtı*
Röle 4-5	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 5-4	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

Aşağıda Tablo 2.7’de Röle 4-3’ün kademe 1 ayarları verilmektedir.

Tablo 2.7. Röle 4-3’ün kademe 1 ayarı

Röle 4-3			
Kademe	%Hat	Faz	
		Z	Açı
1	80	3.89	85.03

Hat 2’nin %25’inde meydana gelen arıza göz önüne alındığında kapasitörsüz durumda röle tarafından görülen empedans 5.563 Ω ’dur. Kapasitör devreye alındığında ise görülen empedans 2.806 Ω olup Röle 4-3’ün birinci kademesi içine düşmektedir.

Kapasitörün bulunduğu Hat 3 için oluşturulan kısa devrelerde rölelerin çalışma durumları Tablo 2.8’de verilmiştir. Tablo 2.8’e göre Röle 2-3 kademe genişlemesine, Röle 3-4 ise gerilimin yön değiştirmesine bağlı olarak hatalı şekilde çalışmaktadır.

Tablo 2.8. Hat 3’te oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları

3 Faz Kısa Devre-Hat 3					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Röle 1-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-1	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-3	Açtı*	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-4	Açmadı*	Açmadı*	Açmadı*	Açtı	Açtı
Röle 4-3	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 4-5	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 5-4	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

Hat 3’ün %50’sinde meydana gelen arıza göz önüne alındığında kapasitörlü ve kapasitörsüz durumda Bara 3’teki akım ve gerilim değerlerinin değişimi Tablo 2.9’da verilmiştir. Tablo 2.9 incelendiğinde kapasitörlü durumda kısa devre akımında açılal olarak yön değişimi söz konusu değilken Bara 3 geriliminin açılal olarak yön değiştirdiği açıkça görülmektedir. Bu durum rölenin arızayı ters kademede algılayarak açma sinyali üretmemesine sebebiyet vermektedir.

Tablo 2.9. Hat 3’ün %50’sinde oluşturulan kısa devrede Bara 3 akım ve gerilim değerleri

Bara 3 Kısa Devre Gerilim ve Akım Değerleri				
Durum	Gerilim	Açı	Akım	Açı
Kapasitörsüz	69.64	0.52	2.409	-84.5
Kapasitörlü	17.52	-140.99	3.581	-81.82

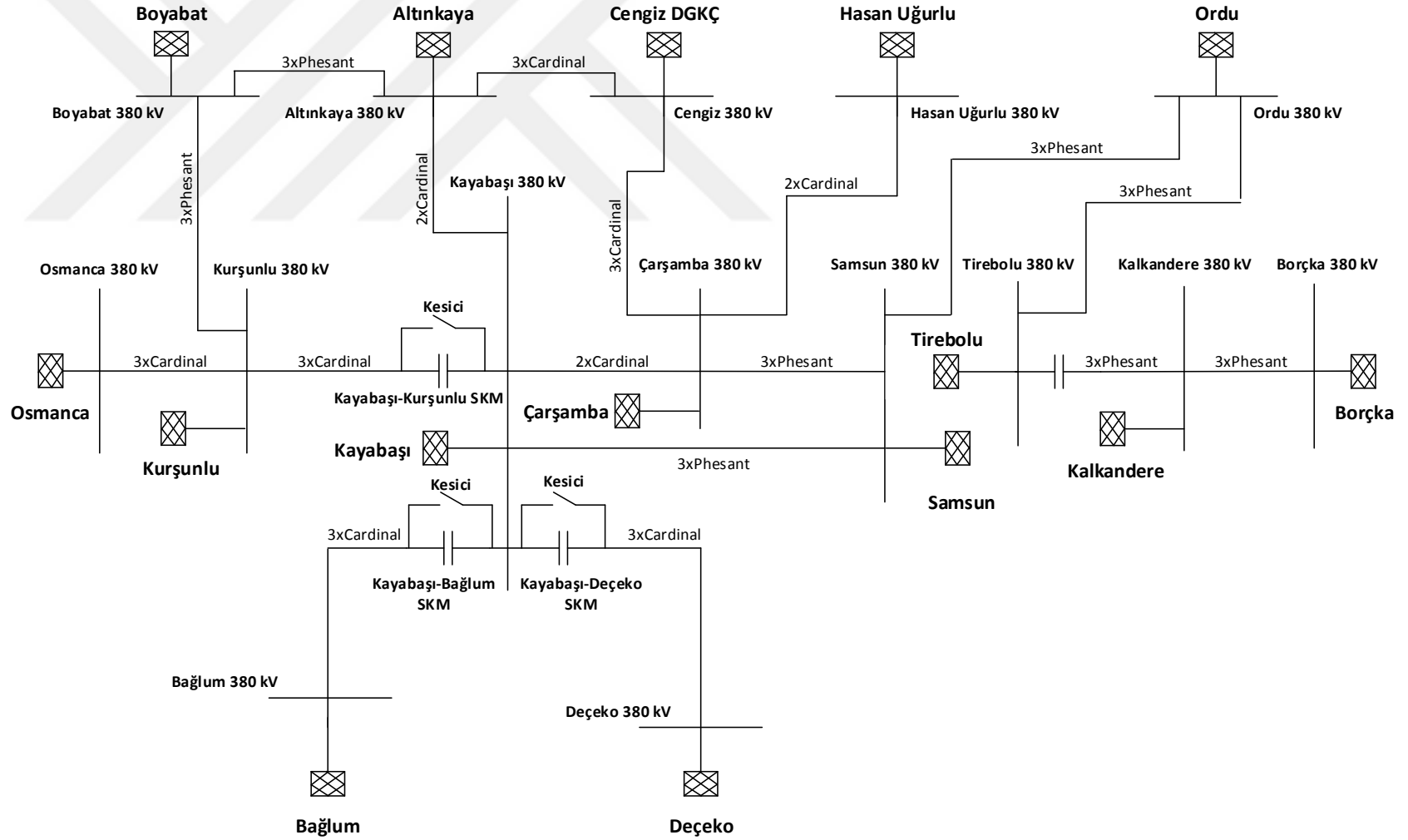
Hat 4 için oluşturulan kısa devrelerde rölelerin çalışma durumları Tablo 2.10'da verilmiştir. Tablo 2.10'dan da görüldüğü üzere Röle 3-4 kademe genişlemesi sebebiyle hat 4'ün ilk 1 km'si ve %25'indeki arızalarda hatalı açma sinyali üretmiştir.

Tablo 2.10. Hat 4'te oluşturulan 3 faz kısa devresi için röle çalışma durumları

3 Faz Kısa Devre-Hat 4					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Röle 1-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-1	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 2-3	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-2	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 3-4	Açtı*	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 4-3	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Röle 4-5	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Röle 5-4	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
				Hatalı Çalışma*	

2.3.2. Kısmî Şebeke Modeli

Yapılan çalışmada kısmî şebeke modeli için mevcut Türkiye enterkonnekte elektrik sistemine ait gerçek yük akış ve kısa devre verileri kullanılarak Borçka 380 kV ile Osmanca 380 kV arasında kalan bölge Digsilent PowerFactory programında modellenmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli Şekil 2.8'de verilmiştir. Ek-3'te ayrıca Digsilent PowerFactory programında oluşturulan kısmî şebeke modeli yer almaktadır.



Şekil 2.8. Digsilent PowerFactory programında oluşturulan kısmî şebeke modeli

Modelleme yapılırken hatların uzunluk, kesit ve kilometre başına düşen rezistans, reaktans ve süseptans değerleri TEİAŞ'ın Türkiye Ulusal Elektrik Ağındaki Havai Hatların, Trafoların, Generatörlerin Elektriki Karakteristikleri kitapçığından alınarak modele eklenmiştir [49]. Bu değerler Tablo 2.11 ve 2.12'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Kısmî şebekede bulunan iletken tiplerinin R, X ve Y değerleri

İletken Tipi		$R_{1,2}$	$X_{1,2}$	R_0	X_0	$Y_{1,2}$	Y_0
		Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	$\mu\text{S}/\text{km}$	$\mu\text{S}/\text{km}$
Cardinal	2x954	0.034735	0.319528	0.293589	1.059507	3.504304	2.38025
	3x954	0.023156	0.266024	0.305035	0.999486	4.191364	2.49414
Pheasant	3x1272	0.017398	0.260093	0.307915	0.98523	4.289632	2.63592

Tablo 2.12. Kısmî şebekede bulunan hatların kesit, uzunluk, gerilim ve akım bilgisi

Hat	İletken	Kesit	Uzunluk	Gerilim	Akım
	Tip	MCM	Km	kV	kA
Osmanca-Kurşunlu	Cardinal	3x954	206.954	380	2.296
Kurşunlu-Boyabat	Pheasant	3x1272	157.004	380	2.776
Boyabat-Altinkaya	Pheasant	3x1272	66.503	380	2.776
Altinkaya-Cengiz DGKÇ	Cardinal	3x954	83.903	380	2.296
Cengiz DGKÇ -Çarşamba	Cardinal	3x954	27.26	380	2.296
Çarşamba-Samsun DGKÇ	Pheasant	3x1272	47.334	380	2.776
Çarşamba-Hasan Uğurlu	Cardinal	2x954	18.595	380	1.528
Kayabaşı-Kurşunlu	Cardinal	3x954	216.516	380	2.296
Kayabaşı-Altinkaya	Cardinal	2x954	102.619	380	1.528
Kayabaşı-Çarşamba	Cardinal	2x954	126.080	380	1.528
Kayabaşı-Bağlum	Cardinal	3x954	264.517	380	2.296
Kayabaşı-Deçeko	Cardinal	3x954	168.183	380	2.296
Kayabaşı-Samsun DGKÇ	Pheasant	3x1272	149.467	380	2.776
Samsun DGKÇ-Altınordu	Pheasant	3x1272	71.2	380	2.296

Tablo 2.12'nin devamı

Tirebolu-Kalkandere	Pheasant	3x1272	135.939	380	2.776
Tirebolu-Altınordu	Pheasant	3x1272	92.6	380	2.776
Kalkandere Borçka	Pheasant	3x1272	128.722	380	2.776

Modelde Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Kayabaşı-Deçeko ve Tirebolu-Kalkandere iletim hatlarında hat başına yerleştirilmiş 4 adet seri kapasitör bulunmaktadır. Bu seri kapasitörler 33Ω reaktans ve 380 kV anma gerilim değerine sahiptir. Bu çalışmada oluşturulan kısmî şebeke modeli yük akış ve kısa devre odaklı olarak modellenmiştir. Şebeke sadece 380 kV gerilim seviyesinde modellenmiş, 154 kV şebekenin katkısı 380 kV tarafına aktararak modele ilave edilmiştir.

İletim hatları ve baralar modellendikten sonra 5 Aralık 2015 saat 04:00'a ait hatların yük akışı ile baraların kısa devre gücü ve akımı bilgileri kullanılarak kısmî şebekenin modellenmesi tamamlanmıştır. Oluşturulan modelin doğruluğu Türkiye şebekesindeki veriler ile kıyaslama yapılarak teyit edilmiştir. Hatların belirlenen tarihe ait yük akış verileri aşağıda tek tek ele alınmıştır.

380 kV Kayabaşı barası yine aynı gerilim seviyesinde Samsun DGKÇ, Çarşamba, Altınkaya, Kurşunlu, Deçeko ve Bağlum baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.13'te verilmiştir.

Tablo 2.13. 380 kV Kayabaşı TM yük akış verileri

380kV Kayabaşı Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Samsun DGKÇ	-9.827	-25.647	380	39
Çarşamba	-24.808	22.061	380	48
Altınkaya	-57.782	85.352	380	148
Kurşunlu	-157.377	-98.289	380	271
Deçeko	74.88	-58.225	380	138
Bağlum	6.289	-143.348	380	206

380 kV Kurşunlu barası yine aynı gerilim seviyesinde Osmanca, Kayabaşı ve Boyabat baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.14'te verilmiştir.

Tablo 2.14. 380 kV Kurşunlu TM yük akış verileri

380 kV Kurşunlu Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVA_r	kV	A
Osmanca	-287.752	-82.769	380	431
Kayabaşı	158.199	-36.01	380	233
Boyabat	28.439	-30.49	380	60

380 kV Çarşamba barası yine aynı gerilim seviyesinde Samsun DGKÇ, Kayabaşı, Cengiz DGKÇ ve Hasan Uğurlu baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.15'te verilmiştir.

Tablo 2.15. 380 kV Çarşamba TM yük akış verileri

380 kV Çarşamba Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVA_r	kV	A
Samsun DGKÇ	58.445	-115.512	380	188
Kayabaşı	24.912	-90.181	380	136
Cengiz DGKÇ	-389.513	170.347	380	628
H. Uğurlu	0	-10.046	380	15

380 kV Samsun DGKÇ barası yine aynı gerilim seviyesinde Çarşamba, Ordu ve Kayabaşı baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16. 380 kV Samsun DGKÇ TM yük akış verileri

380 kV Samsun DGKÇ Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Çarşamba	-58.376	84.206	380	148
Ordu	269.536	-170.364	380	46
Kayabaşı	9.84	-77.689	380	113

380 kV Tirebolu barası yine aynı gerilim seviyesinde Kalkandere ve Ordu baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.17’de verilmiştir.

Tablo 2.17. 380 kV Tirebolu TM yük akış verileri

380 kV Tirebolu Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Kalkandere	205.751	-52.939	380	301
Ordu	-276.398	68.66	380	400

380 kV Kalkandere barası yine aynı gerilim seviyesinde Tirebolu ve Borçka baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.18’de verilmiştir.

Tablo 2.18. 380 kV Kalkandere TM yük akış verileri

380 kV Kalkandere Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Tirebolu	-205.149	-34.939	380	295
Borçka	190.064	43.709	380	276

380 kV Osmanca barası yine aynı gerilim seviyesinde Adapazarı, Ada 2 DGKÇ, Ereğli 2, Kurşunlu, Zetes ve Sincan baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.19’da verilmiştir.

Tablo 2.19. 380 kV Osmanca TM yük akış verileri

380 kV Osmanca Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVA_r	kV	A
Adapazarı	144.389	-56.927	380	134
Ada 2 DGKÇ	-90.469	27.26	380	219
Ereğli 2	-410.861	32.061	380	583
Kurşunlu	290.221	-31.058	380	413
Zetes	-498.364	64.331	380	710
Sincan	382.11	-113.99	380	564

380 kV Bağlum barası yine aynı gerilim seviyesinde Kayabaşı ve Sincan baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.20’de verilmiştir.

Tablo 2.20. 380 kV Bağlum TM yük akış verileri

380 kV Bağlum Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVA_r	kV	A
Sincan	-406.064	-11.203	380	569
Kayabaşı	-6.181	-40.39	380	57

380 kV Deçeko barası yine aynı gerilim seviyesinde Kayabaşı ve Kangal TES baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.21’de verilmiştir.

Tablo 2.21. 380 kV Deçeko TM yük akış verileri

380 kV Deçeko Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Kangal TES	72.713	-79.673	380	157
Kayabaşı	-74.742	-51.857	380	132

380 kV Borçka barası yine aynı gerilim seviyesinde Kalkandere ve Deriner baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.22’de verilmiştir.

Tablo 2.22. 380 kV Borçka TM yük akış verileri

380 kV Borçka Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Kalkandere	-189.497	-121.412	380	325
Deriner	175.312	-16.584	380	254

380 kV Altınordu barası yine aynı gerilim seviyesinde Tirebolu ve Samsun DGKÇ baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.23’te verilmiştir.

Tablo 2.23. 380 kV Altınordu TM yük akış verileri

380 kV Altınordu Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Tirebolu	277.225	-122.732	380	43
Samsun DGKÇ	-268.763	131.721	380	425

380 kV Boyabat barası yine aynı gerilim seviyesinde Altinkaya ve Kurşunlu baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.24'te verilmiştir.

Tablo 2.24. 380 kV Boyabat TM yük akış verileri

380 kV Boyabat Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAR	kV	A
Altinkaya	28.416	76.925	380	119
Kurşunlu	-28.416	-76.925	380	119

380 kV Altinkaya barası yine aynı gerilim seviyesinde Boyabat, Kayabaşı ve Cengiz DGKÇ baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.25'te verilmiştir.

Tablo 2.25. 380 kV Altinkaya TM yük akış verileri

380 kV Altinkaya Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAR	kV	A
Boyabat	-28.338	-120.609	380	181
Kayabaşı	58.143	-139.197	380	221
Cengiz DGKÇ	-85.661	-31.516	380	134

380 kV Cengiz DGKÇ barası yine aynı gerilim seviyesinde Altinkaya ve Çarşamba baralarına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.26'da verilmiştir.

Tablo 2.26. 380 kV Cengiz DGKÇ TM yük akış verileri

380 kV Cengiz DGKÇ Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Altinkaya	85.753	-21.966	380	129
Çarşamba	390.247	-179.517	380	628

380 kV Hasan Uğurlu barası yine aynı gerilim seviyesinde Çarşamba barasına bağlıdır. Belirlenen tarihte bu baralar arasında bulunan fiderlere ait yük akış verileri Tablo 2.27’de verilmiştir.

Tablo 2.27. 380 kV Hasan Uğurlu TM yük akış verileri

380 kV Hasan Uğurlu Trafo Merkezi				
Fiderler	Aktif Güç	Reaktif Güç	Gerilim	Akım
	MW	MVAr	kV	A
Çarşamba	0	0	380	0

Bu veriler ışığında her bir bara için Digsilent PowerFactory programında harici şebeke modeli kullanılarak, aktif güç ve reaktif güç verileri kısmî modele eklenmiştir. Yapılan yük akış analizleri neticesinde genel şebeke ve kısmî şebekeye ait yük akış verileri kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 2.28’de verilmektedir.

Tablo 2.28. Kısmî şebeke modelinin yük akış analizi sonuçları

Hatlar	Genel Şebeke		Kısmî Şebeke		%Mutlak Hata	
	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)	P	Q
Osmanca-Kurşunlu	291.5	-31.1	290.2	-31	0.44	0.32
Kurşunlu-Kayabaşı	160	-36.2	158.2	-36	1.12	0.55
Kurşunlu-Boyabat	28.8	-30.5	28.4	-30.4	1.38	0.32
Altinkaya-Kayabaşı	58.5	-139.3	58.1	-139.1	0.68	0.14
Çarşamba-Kayabaşı	25.3	-91.3	24.9	-90.2	1.58	1.2

Tablo 2.28'in devamı

Kayabaşı-Bağlum	6.6	-143.3	6.3	-143.3	4.54	0
Kayabaşı-Deçeko	74.2	-58.1	74.8	-58.2	0.8	0.17
Samsun-Kayabaşı	10	-77.7	9.84	-77.68	1.6	0.1
H. Uğurlu-Çarşamba	0.6	0.1	0.5	0.1	16.67	0
Çarşamba-Samsun	58.9	-115.7	58.4	-115.5	0.84	0.17
Samsun-Ordu	271.2	-169.9	269.5	-170.3	0.62	0.23
Ordu-Tirebolu	277.5	-122.8	277.2	-122.7	0.1	0.08
Tirebolu-Kalkandere	206.9	-53.3	205.7	-52.9	0.57	0.75
Kalkandere-Borçka	182.5	38.2	190.1	43.7	3.99	12.5
Boyabat-Altınkaya	29.4	77.1	28.4	76.9	3.4	0.25
Cengiz-Altınkaya	85.5	-22	85.7	-21.9	0.23	0.45

Tablo 2.28'den de görüldüğü üzere kısmî şebekede hatlardan akan aktif güç ve reaktif güç verileri Türkiye şebekesi ile çok yakın değerlerdedir. Bu durum bize oluşturulan modelin yük akış analizi için kullanılabileceğini göstermektedir.

Kısa devre analizi için kısmî modelde harici şebekelerin kısa devre gücü ve kısa devre akımı değerleri ayarlanarak 5 Aralık 2015 tarihindeki 3 faz ve tek faz toprak kısa devre değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Kısmî şebekenin 3 faz kısa devre için test sonuçları Tablo 2.29'da verilmektedir.

Tablo 2.29. Kısmî şebeke modelinin 3 faz kısa devre arıza akımı (Ikss) değerleri

Trafo Merkezi	Genel Şebeke		Kısmî Şebeke		% Mutlak Hata	
	kA	Açı (°)	kA	Açı (°)	kA	Açı (°)
Osmanca	28.38	-85.39	28.69	-84.28	1.09	1.3
Kurşunlu	12.06	-83.56	12.02	-83.27	0.35	0.35
Kayabaşı	17.31	-84.61	17.03	-83.62	1.61	1.17
Çarşamba	14.5	-85.57	14.36	-84.44	0.97	1.32
Samsun	14.03	-86.07	14.02	-84.7	0.09	1.59
Tirebolu	8.09	-85.16	8.08	-84.85	0.11	0.36
Kalkandere	7.34	-84.51	7.15	-83.95	2.59	0.66
Borçka	5.67	-84.95	5.62	-84.52	0.85	0.51

Tablo 2.29'un devamı

Boyabat	8.62	-85.6	8.69	-85.06	0.78	0.63
Altinkaya	11.94	-85.41	12.1	-84.45	1.34	1.12
Cengiz DGKÇ	13.7	-85.93	13.88	-84.46	1.31	1.71
Hasan Uğurlu	10.66	-85.1	10.94	-84.28	2.63	0.96
Ordu	9.36	-85.81	9.92	-85.03	5.98	0.91
Bağlum	15.71	-84.37	15.67	-84.36	0.28	0.01
Deçeko	12.88	-82.07	12.8	-81.14	0.61	1.13

Tablo 2.29'daki analiz sonuçları incelendiğinde, kısmî şebekenin 3 faz kısa devre arıza performansının ortalama %1,4 mutlak hata oranı sahip olduğu görülmektedir. Kısmî şebekenin tek faz toprak kısa devre için test sonuçları Tablo 2.30'da verilmektedir.

Tablo 2.30. Kısmî şebeke modelinin tek faz toprak kısa devre arıza akımı (Ikss) değerleri

Trafo Merkezi	Genel Şebeke		Kısmî Şebeke		% Mutlak Hata	
	kA	Açı (°)	kA	Açı (°)	kA	Açı (°)
Osmanca	20.11	-79.86	20.33	-84.12	1.09	5.33
Kurşunlu	6.75	-76.86	6.43	-77.38	4.74	0.68
Kayabaşı	12.19	-78.75	12.03	-78.97	1.31	0.28
Çarşamba	14.55	-84.34	14.05	81.7	3.44	3.13
Samsun	13.46	-85.27	13.04	-82.1	3.12	3.72
Tirebolu	6.06	-79.9	6.13	-81.57	1.16	2.09
Kalkandere	5.5	-83.95	5.23	-80.85	4.91	0.02
Borçka	4.15	-78.77	4.3	-83.04	3.61	5.42
Boyabat	5.49	-79.31	5.67	-78.94	3.28	0.47
Altinkaya	9.96	-83.5	10.13	-81.44	1.71	2.47
Cengiz DGKÇ	13.68	-85.61	13.45	-82.46	1.68	3.68
Hasan Uğurlu	10.97	-84.93	10.93	-82.02	0.36	3.43
Ordu	6.9	-80.93	7.01	-80.46	1.59	0.58
Bağlum	9.54	-78.18	9.59	-83.96	0.52	-7.39
Deçeko	9.42	-78.1	12.8	-81.14	2.23	3.87

Tablo 2.30'daki test sonuçlarına göre, kısmî şebekenin tek faz toprak kısa devre arıza performansının ortalama %2,3 mutlak hata oranına sahip olduğu görülmektedir.

Kısa devre analizi için Kayabaşı barasına bağlı olan fiderlere karşılıklı olarak mesafe koruma röleleri yerleştirilmiştir. Rölelerin akım ve gerilim bilgisini almak için kullandıkları akım trafoları 1200/5, 1600/5 ve 2000/5 A, gerilim trafoları ise 380/0.1 kV kademelerinde seçilmiştir. Kullanılan rölelerin koruma bölgeleri zaman ayarları TEİAŞ koruma pratiğine uygun olarak yapılmıştır. Buna göre 1. bölge zaman gecikmesiz, 2. bölge 400 ms zaman gecikmeli ve 3. bölge 800 ms zaman gecikmeli olacak şekilde ayarlanmıştır. Rölelerin kademe ayar değerleri ve hatlara ait empedans değerleri Tablo 2.31 ile 2.36 arasında verilmiştir.

Tablo 2.31. Kayabaşı-Kurşunlu fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Kurşunlu Rölesi					
Hat Parametreleri					
Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
57.81	85.03	5.01	57.59	66.04	216.40
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	3.89	85.03	7.46	77.54
2	120	5.84	85.03	11.19	77.54
3	343	7.30	85.03	20.1	78.02
Kurşunlu-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	3.89	85.03	7.46	77.54
2	120	5.84	85.03	11.19	77.54
3	246	12.01	85.03	19.01	80.78

Tablo 2.32. Kayabaşı-Bağlum fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Bağlum Rölesi					
Hat Parametreleri					

Tablo 2.32'nin devamı

Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
70.63	85.03	6.13	70.37	80.69	264.381
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	4.76	85.03	8.39	78.59
2	120	7.14	85.03	12.59	78.59
3	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	4.76	85.03	8.39	78.59
2	120	7.14	85.03	12.59	78.59
3	198.224	11.79	85.03	19.13	80.35

Tablo 2.33. Kayabaşı-Deçeko fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Deçeko Rölesi					
Hat Parametreleri					
Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
44.91	85.03	3.89	44.74	51.30	168.09
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	3.03	85.03	5.04	79.85
2	120	5.67	85.03	7.57	79.85
3	-	-	-	-	-
Deçeko-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	3.03	85.03	5.04	79.85
2	120	5.67	85.03	7.57	79.85
3	288.74	10.91	85.03	18.40	77.69

Tablo 2.34. Kayabaşı-Samsun fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Samsun Rölesi					
Hat Parametreleri					
Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
38.96	86.17	2.60	38.87	46.02	147.26
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	2.62	86.17	4.86	78.41
2	120	3.94	86.17	7.29	78.41
3	310	8.21	86.17	10.28	78.41
Samsun-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	2.62	86.17	4.86	78.41
2	120	3.94	86.17	7.29	78.41
3	317	10.41	85.40	17.36	77.94

Tablo 2.35. Kayabaşı-Çarşamba fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Çarşamba Rölesi					
Hat Parametreleri					
Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
40.52	83.79	4.38	40.28	37.02	133.58
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	2.73	83.79	4.71	78.48
2	120	4.09	83.79	7.07	78.48
3	321	8.52	83.79	11.02	78.48
Çarşamba-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı

Tablo 2.35'in devamı

1	80	2.73	83.79	4.71	78.48
2	120	4.09	83.79	7.07	78.48
3	309.11	10.55	84.63	17.31	77.67

Tablo 2.36. Kayabaşı-Altinkaya fiderindeki rölelerin ayar değerleri

Kayabaşı-Altinkaya Rölesi					
Hat Parametreleri					
Z ₁	Açı	R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
32.98	83.79	3.56	32.79	30.13	108.73
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	2.22	83.79	3.83	78.62
2	120	3.33	83.79	5.75	78.62
3	298	8.26	83.79	8.35	77.79
Altinkaya-Kayabaşı Rölesi					
Bölge	% Hat	Faz		Toprak	
		Z	Açı	Z	Açı
1	80	2.22	83.79	3.83	78.62
2	120	3.33	83.79	5.75	78.62
3	356.92	9.91	84.67	16.09	77.76

Kısmî şebeke için 7 farklı kısa devre analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler:

Kısa Devre Analizi 1: Kapasitörler devrede değilken Kayabaşı-Kurşunlu hattında

Kısa Devre Analizi 2: Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu hattında

Kısa Devre Analizi 3: Kurşunlu Kapasitörü devrede iken Kayabaşı Kurşunlu hattında

Kısa Devre Analizi 4: Kurşunlu ve Deçeko kapasitörleri devrede iken Kayabaşı Kurşunlu hattında

Kısa Devre Analizi 5: Deçeko ve Bağlum kapasitörleri devrede iken Kayabaşı Kurşunlu hattında

Kısa Devre Analizi 6: Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Altinkaya hattında

Kısa Devre Analizi 7: Kapasitörler devrede iken Kurşunlu-Osmanca hattında yapılmıştır.

Her bir analiz için analiz edilen hattın ilk 1 km'si, %25'i, %50'si, %75'i ve son 1 km'sine düşen noktalarda tek faz toprak arızası oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada kapasitör içeren hat olarak Kayabaşı-Kurşunlu, kapasitörsüz ancak Kayabaşı barasına bağlı olan hat olarak Kayabaşı-Altinkaya ve bu bölgenin dışında kalan hatlara örnek olarak Kurşunlu-Osmanca hattı analiz edilmek için seçilmiştir.

2.3.2.1. Kısa Devre Analizi 1

Birinci kısa devre analizi Kayabaşı-Kurşunlu hattında kapasitörler devrede değilken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.37'de verilmiştir. Tablo 2.37 incelendiğinde, kapasitörler devrede değilken bütün arızalarda Kayabaşı fiderini koruyan Kayabaşı-Kurşunlu ve Kurşunlu-Kayabaşı mesafe koruma röleleri görevlerini yerine getirerek arızayı temizlediği ve herhangi bir hatalı çalışma durumunun oluşmadığı görülmektedir.

Tablo 2.37. Kapasitörler devrede değilken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Kurşunlu EİH (Kapasitörler Devre Dışı)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altinkaya	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Altinkaya-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

2.3.2.2. Kısa Devre Analizi 2

İkinci kısa devre analizi yine Kayabaşı-Kurşunlu hattında bütün kapasitörler devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.38’de verilmiştir. Tablo 2.38 incelendiğinde, Kurşunlu-Kayabaşı rölesinin bütün durumlarda arızayı görerek doğru bir şekilde açma sinyali ürettiği görülmektedir. Kayabaşı-Kurşunlu rölesi ise gerilimin yön değiştirmesine bağlı olarak hattın %50’sine kadar olan arızayı ters bölgede algıladığı için hatalı olarak açma sinyali üretmemiştir. Diğer yandan Kayabaşı TM’ye bağlı komşu fiderleri koruyan bazı rölelerin de arızayı kademe 1 görerek hatalı olarak açma sinyali ürettikleri sonuçlardan görülmektedir.

Tablo 2.38. Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Kurşunlu EİH (Kapasitörler Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açmadı*	Açmadı*	Açmadı*	Açtı	Açtı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açtı*	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açtı*	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altınkaya	Açmadı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Altınkaya-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

2.3.2.3. Kısa Devre Analizi 3

Üçüncü kısa devre analizi yine Kayabaşı-Kurşunlu hattında yalnızca Kayabaşı-Kurşunlu kapasitörü devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.39’da verilmiştir. Tablo 2.39 incelendiğinde, Kurşunlu-Kayabaşı rölesinin bütün durumlarda arızayı görerek doğru bir şekilde açma sinyali ürettiği görülmektedir. Kayabaşı-Kurşunlu rölesi ise yine hattın %50’sine kadar olan arızalarda arızayı ters kademede algılayarak hatalı şekilde çalışmış ve açma sinyali üretmemiştir. Hattın ilk 1 km’sinde oluşan arıza, Kayabaşı-Kurşunlu seri kapasitörünün devrede olmasına bağlı olarak karşı TM’lerdeki Kayabaşı fiderini koruyan röleler tarafından kademe 1 olarak algılanmış ve röleler hatalı şekilde açma sinyali üreterek Kayabaşı TM’de 380 kV bara boşaltılmıştır.

Tablo 2.39. Kayabaşı-Kurşunlu kapasitörü devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Kurşunlu EİH (Kurşunlu Kapasitörü Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açmadı*	Açmadı*	Açmadı*	Açtı	Açtı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altınkaya	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Altınkaya-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

2.3.2.4. Kısa Devre Analizi 4

Dördüncü kısa devre analizi yine Kayabaşı-Kurşunlu hattında Kayabaşı-Kurşunlu ve Kayabaşı-Bağlum kapasitörleri devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.40'ta verilmiştir.

Tablo 2.40 incelendiğinde, Kurşunlu-Kayabaşı rölesinin bütün durumlarda arızayı görerek doğru bir şekilde açma sinyali ürettiği görülmektedir. Kayabaşı-Kurşunlu rölesi ise yine hattın %50'sine kadar olan arızalarda arızayı ters kademede algılayarak hatalı şekilde çalışmış ve açma sinyali üretmemiştir. Bağlum-Kayabaşı rölesinin arıza ile arasında bulunan Kayabaşı-Kurşunlu ve Kayabaşı-Bağlum kapasitörleri nedeniyle arızayı geri kademede algıladığı için açma sinyali üretmediği tespit edilmiştir. Altinkaya-Kayabaşı ve Samsun-Kayabaşı rölelerinin ise ilk 1 km'deki arızada kapasitörden etkilenmeyip %25 ve %50'deki arızalarda açma sinyali üretmesinin sebebinin infeed etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu bölgede meydana gelen arızalarda infeed etkisi sebebiyle kısa devre akımına katkılar çok fazla olmaktadır. Bu durum katkıda bulunan hatlar devre dışı bırakıldıktan sonra yapılan analizle teyit edilmiştir.

Tablo 2.40. Kayabaşı-Kurşunlu ve Kayabaşı-Bağlum kapasitörü devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Kurşunlu EİH (Kurşunlu-Bağlum Kapasitörü Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açmadı*	Açmadı*	Açmadı*	Açtı	Açtı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altinkaya	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Altinkaya-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı

Tablo 2.40'ın devamı

Çarşamba-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

2.3.2.5. Kısa Devre Analizi 5

Beşinci kısa devre analizi yine Kayabaşı-Kurşunlu hattında Kayabaşı-Deçeko ve Kayabaşı-Bağlum kapasitörleri devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.41'de verilmiştir.

Tablo 2.41 incelendiğinde, Kayabaşı-Kurşunlu ve Kurşunlu-Kayabaşı rölelerinin Kurşunlu kapasitörünün devrede olmamasına bağlı olarak bütün durumlarda arızayı görerek doğru bir şekilde açma sinyali ürettikleri görülmektedir. Bağlum-Kayabaşı ve Deçeko-Kayabaşı röleleri ise Kayabaşı-Bağlum ve Kayabaşı-Deçeko kapasitörlerinin devrede olmasına bağlı olarak ilk 1 km'de meydana gelen arızayı kademe 1 olarak görmüş ve hatalı şekilde açma sinyali üretmişlerdir.

Tablo 2.41. Kayabaşı-Bağlum ve Kayabaşı-Deçeko kapasitörü devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Kurşunlu EİH (Bağlum-Deçeko Kapasitörü Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altinkaya	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Altinkaya-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı

Tablo 2.41'in devamı

Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
					Hatalı Çalışma*

2.3.2.6. Kısa Devre Analizi 6

Altıncı kısa devre analizi Kayabaşı-Altınkaya hattında bütün kapasitörler devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.42'de verilmiştir.

Tablo 2.42 incelendiğinde, Kayabaşı-Altınkaya ve Atınkaya-Kayabaşı rölelerinin bütün durumlarda arızayı görerek doğru bir şekilde açma sinyali ürettikleri görülmektedir. Kapasitörler nedeniyle Kurşunlu-Kayabaşı, Bağlum-Kayabaşı ve Deçeko-Kayabaşı röleleri arızayı kademe 1 olarak algılamış ve hatalı şekilde açma sinyali üretmişlerdir.

Tablo 2.42. Kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Altınkaya fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kayabaşı-Altınkaya EİH (Kapasitörler Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altınkaya	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Altınkaya-Kayabaşı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı	Açtı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
					Hatalı Çalışma*

2.3.2.7. Kısa Devre Analizi 7

Yedinci kısa devre analizi Kurşunlu-Osmanca iletim hattında bütün kapasitörler devrede iken gerçekleştirilmiştir. Buna göre rölelerin çalışma durumları Tablo 2.43'te verilmiştir.

Tablo 2.43 incelendiğinde, Kayabaşı-Kurşunlu kapasitörünün devrede olması sebebiyle ilk 1 km'de ve %25'te meydana gelen arızada kademe genişlemesine bağlı olarak Kayabaşı-Kurşunlu rölesinin arızayı kademe 1'de görerek hatalı şekilde açma sinyali ürettiği görülmektedir.

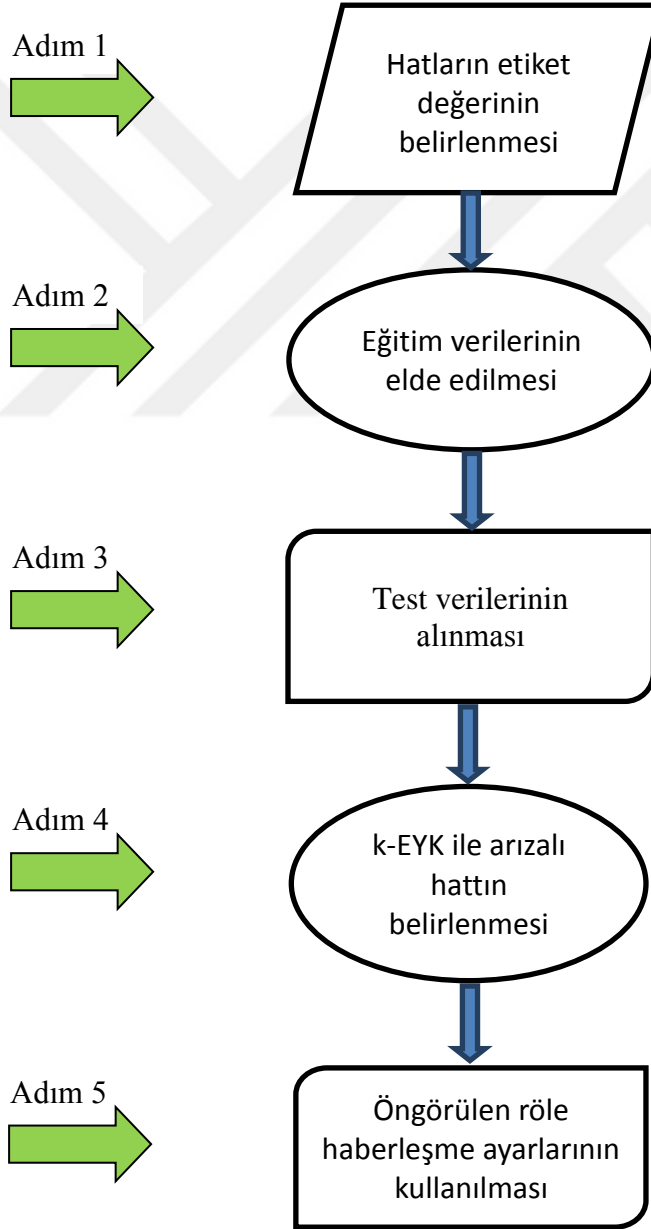
Tablo 2.43. Kapasitörler devrede iken Kurşunlu-Osmanca fiderinde oluşturulan kısa devrede rölelerin çalışma durumları

Tek Faz Toprak Kısa Devre-Kurşunlu-Osmanca EİH (Kapasitörler Devrede)					
Arıza Yerleri					
Röleler	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu	Açtı*	Açtı*	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kurşunlu-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Deçeko	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Deçeko-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Bağlum	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Bağlum-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Altinkaya	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Altinkaya-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Samsun	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Samsun-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Kayabaşı-Çarşamba	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
Çarşamba-Kayabaşı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı	Açmadı
				Hatalı Çalışma*	

Hem radyal şebeke hem de kısmî şebekede yapılan kısa devre analizleri neticesinde hata yeri tespiti için yeni bir algoritma geliştirilmiş ve mevcut mesafe koruma röleleri için pilot röle şemaları önerilmiştir.

2.4. Önerilen Algoritma

Hem radyal şebeke hem de kısmî şebekede yapılan kısa devre analizlerinde seri kapasitörler devrede iken mesafe koruma rölelerinin seri kapasitörün etkisiyle hatalı olarak çalıştığı sonuçlardan görülmektedir. Bu çalışmada seri kapasitör bulunan şebekelerde arızalı hattın doğru bir şekilde tespit edilmesi ve buna bağlı olarak mesafe koruma rölelerinin hatalı çalışmasının önlenmesi için k-EYK sınıflandırma metodu kullanılarak senkro fazör ölçüm tabanlı bir koruma algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın akış diyagramı Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Algoritmanın akış diyagramı

Algoritmada ilk olarak seri kapasitör bulunan şebekede iletim hatlarının etiket değerlerini belirleme işlemi yapılır. Seri kapasitörün bağlı olduğu bara algoritmada kritik bara olarak isimlendirilir. Seri kapasitör bulunan hatlar birinci derecede önem arz ettiğinden etiketlendirmeye önce bu hatlardan başlanır. Buna göre seri kapasitör bulunan hatta etiket değeri olarak "1" verilir. Eğer birden fazla seri kapasitörlü hat varsa sırasıyla her bir seri kapasitörlü hatta bir sonraki etiket değeri atanır. Bu hatların numaralandırma işlemi bittikten sonra kritik baraya bağlı olan seri kapasitörsüz hatlara geçilir. Bu baraya bağlı hatlar ikinci derecede öneme sahiptir ve takip eden etiket değeri ile numaralandırılırlar. Kritik baraya ait hatların etiketlendirme işlemi bittikten sonra geriye kalan hatların hepsi harici hat olarak sayılır ve bu hatlar eş değer öneme sahip olduğundan takip eden etiket değerini alırlar.

Algoritmada etiket değerleri belirlendikten sonra ikinci adım eğitim verilerinin elde edilmesidir. Eğitim verileri elde edilirken, kritik baraya bağlı olan bütün hatlarda toplam uzunluğun %2'sine denk gelecek aralıklarla kısa devre noktaları seçilir. Bu noktalarda oluşturulan kısa devre arızalarından akım ve gerilim bilgileri elde edilmektedir. Akım ve gerilim bilgileri alınırken kritik baradan akım ve açı bilgisi, karşı baralardan ise gerilim ve gerilimin açısı, akım ve akımın açısı bilgileri alınır. Bu bilgiler fazör ölçüm prensibine uygun olarak genlik ve açı şeklinde depolanır. Eğitim veri kümesi oluşturulurken kapasitörlerin devrede ve devrede olmadığı bütün durumlar göz önüne alınmalıdır.

Üçüncü adımda ise alınan eğitim verileri hatların etiket değerine göre MATLAB programında M-file dosyası içerisine kaydedilir. Daha sonra kapasitör devrede ve devrede değilken şebeke üzerinde belirlenen kritik noktalarda kısa devreler oluşturulur. Oluşturulan kısa devreler sonucunda baralardan senkro fazör ölçümler yardımıyla test verileri elde edilir.

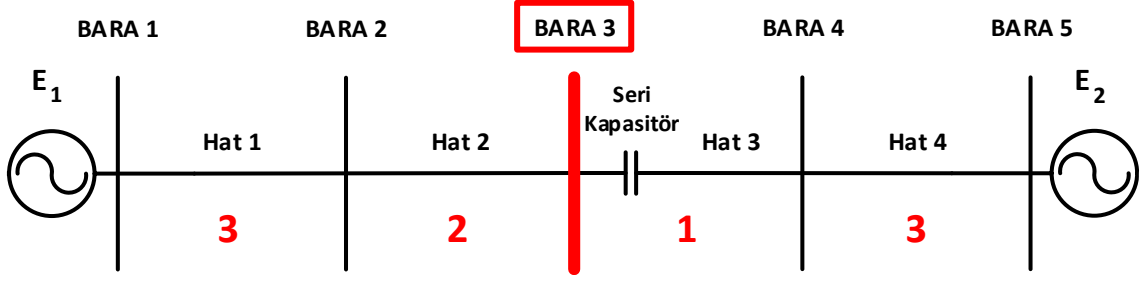
Dördüncü adımda alınan test verileri k-EYK sınıflandırılır ve sınıflandırma sonuçlarına göre arızanın meydana geldiği hat belirlenmiş olur. Algoritmada harici hatlardan eğitim ve test verisi alınmaz. Ancak arızanın harici hatlarda meydana gelmesi durumunda bunun algoritma tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için k-EYK algoritmasındaki Öklid uzaklığı kullanılmaktadır. Harici hatların ilk 1 km'lerinde kısa devre oluşturularak her biri için Öklid uzaklıkları hesaplanır ve elde edilen en küçük değer eşik değeri olarak programa girilir. Bu eşik değeri aşıldığında arızanın kritik hatların haricinde farklı bir hatta meydana geldiği program tarafından belirlenir.

Kısa devrenin meydana geldiği hat doğru bir şekilde tespit edildikten sonra algoritmanın son aşamasında arızanın hızlı bir şekilde giderilmesi için pilot röle şemaları oluşturulur. Buna göre rölelerin haberleşme sürelerinin ayarlanması gerekmektedir. Seri kapasitör içeren iletim hattında arıza meydana geldiğinde algoritmanın çalışabilmesi için mevcut koruma rölelerinin ilk aşamada olaya müdahil olmaması gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için mevcut rölelerde Bölge 1'in zaman gecikmeli olarak çalışması gerekir. Eski tip rölelerde Bölge 1'in zaman gecikmesi ayarı yapılamazken mevcut rölelerde Bölge 1 zaman gecikmeli olarak ayarlanabilmektedir. Zaman gecikmesi ayarı yapılırken algoritmanın çalışma süresi, ölçüm aletlerinin ölçme süresi ve haberleşme süresinin hesaba katılması gerekmektedir.

Müsaadeli açtırma için kullanılan kanallar $8 - 12 \text{ ms}$ arasında bir zamana ihtiyaç duyar. Blokaj sinyali için $3 - 5 \text{ ms}$ ve kesici açtırma sinyalinin gönderilmesi için ise yaklaşık 12 ms süre gereklidir. MATLAB programında 10 farklı arıza durumu için algoritmanın çalışma süresi yaklaşık 200 ms olarak hesaplanmıştır. Ölçü aletlerinin ölçüm süreleri 10 ms olarak düşünüldüğünde bölge 1'e uygulanacak zaman gecikmesi en kötü şartlar altında $> 250 \text{ ms}$ olmalıdır. Bu süre koruma açısından uzun bir süredir. Sürenin kısaltılması için eğitim verilerinin optimize edilmesi ve gömülü sistemlerde algoritmanın kullanılması gerekmektedir.

2.4.1. Algoritmanın Radyal Şebekeye Uygulanması

Algoritmaya göre radyal şebeke için belirlenen etiket değerleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Radyal şebeke için kritik olan bara kapasitörün yakın olduğu Bara 3, kritik olan hat ise kapasitörün bağlı olduğu Hat 3'tür. Dolayısıyla Hat 3'e etiket değeri olarak "1" verilmiştir. Aynı baraya bağlı olan Hat 2 ise "2" numaralı etiket değerini almıştır. Buna göre geriye kalan hatlar ise "3" numaralı etiket değerine sahip olmuştur. Şekil 2.10'da hatların etiket değerleri ve kritik bara kırmızı renkle belirtilmiştir.



Şekil 2.10. Radyal şebekede bulunan hatların etiket değerleri

Radyal şebekede etiket değeri belirleme işlemi yapıldıktan sonra eğitim verilerinin elde edilmesine geçilmiştir. Algoritmada belirtildiği gibi radyal şebekede 1 ve 2 numaralı etiket değerine sahip olan hatlardan veri alınmıştır. Hat 3 için oluşturulan kısa devrelerde alınan eğitim verilerinden bir kesit Şekil 2.11’de verilmiştir.

% Hat	Hat 2						Hat 3					
	Bara 2			Bara 3			Bara 4			Bara 3		
	Gerilim	Açı	Akım	Açı	Akım	Açı	Gerilim	Açı	Akım	Açı	Akım	Açı
0	169,75	-0,04	1,87	-84,62	1,87	95,38	0	0	3,392	-84,86	1,87	-84,62
2	169,1	-0,04	1,887	-84,62	1,887	95,38	3,86	0,16	3,338	-84,86	1,887	-84,62
4	168,44	-0,05	1,904	-84,61	1,904	95,39	7,6	0,16	3,285	-84,87	1,904	-84,61
6	167,77	-0,05	1,921	-84,61	1,921	95,39	11,22	0,16	3,234	-84,87	1,921	-84,61
8	167,09	-0,05	1,939	-84,61	1,939	95,39	14,73	0,15	3,185	-84,87	1,939	-84,61

Şekil 2.11. Radyal şebekede için algoritmada kullanılan örnek eğitim verileri

Radyal şebekede kapasitörün devrede olduğu ve devrede olmadığı durumlar göz önüne alınarak 408 adet eğitim verisi kullanılmıştır. Sonraki adımda ise test verileri elde edilmiştir. Daha önce radyal şebekede yapılan kısa devre analiz noktaları dikkate alınarak test verileri her bir hat için etiketlenen hatların ilk 1 km’si, %25’i, %50’si, %75’i ve son 1 km’sinde 3 faz dengeli kısa devre arızası oluşturularak elde edilmiştir. Buna göre yapılan sınıflandırmada radyal şebekeden 20 adet test verisi kullanılmıştır. Radyal şebeke için kullanılan test verilerinin sınıflandırma sonuçları Tablo 2.44’te verilmiştir.

Tablo 2.44. Radyal şebekeden alınan test verilerinin sınıflandırma sonuçları

3 Faz Kısa Devre Arıza Yeri Tespiti Sonuçları					
Hatlar	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Hat 1	3	3	3	3	3
Hat 2	2	2	2	2	2
Hat 3	1	1	1	1	1
Hat 4	3	3	3	3	3

Yapılan sınıflandırma çalışmasına göre elde edilen etiket değerleri incelendiğinde radyal şebekede algoritmanın belirlenen arıza noktalarında kısa devrenin meydana geldiği hattı doğru olarak belirlediği görülmektedir. Kısa devre yeri doğru bir şekilde tespit edildikten sonra radyal şebeke için öngörülen röle haberleşme ayarları Tablo 2.45'te verilmiştir.

Tablo 2.45. Radyal şebeke için öngörülen röle haberleşme diyagramı

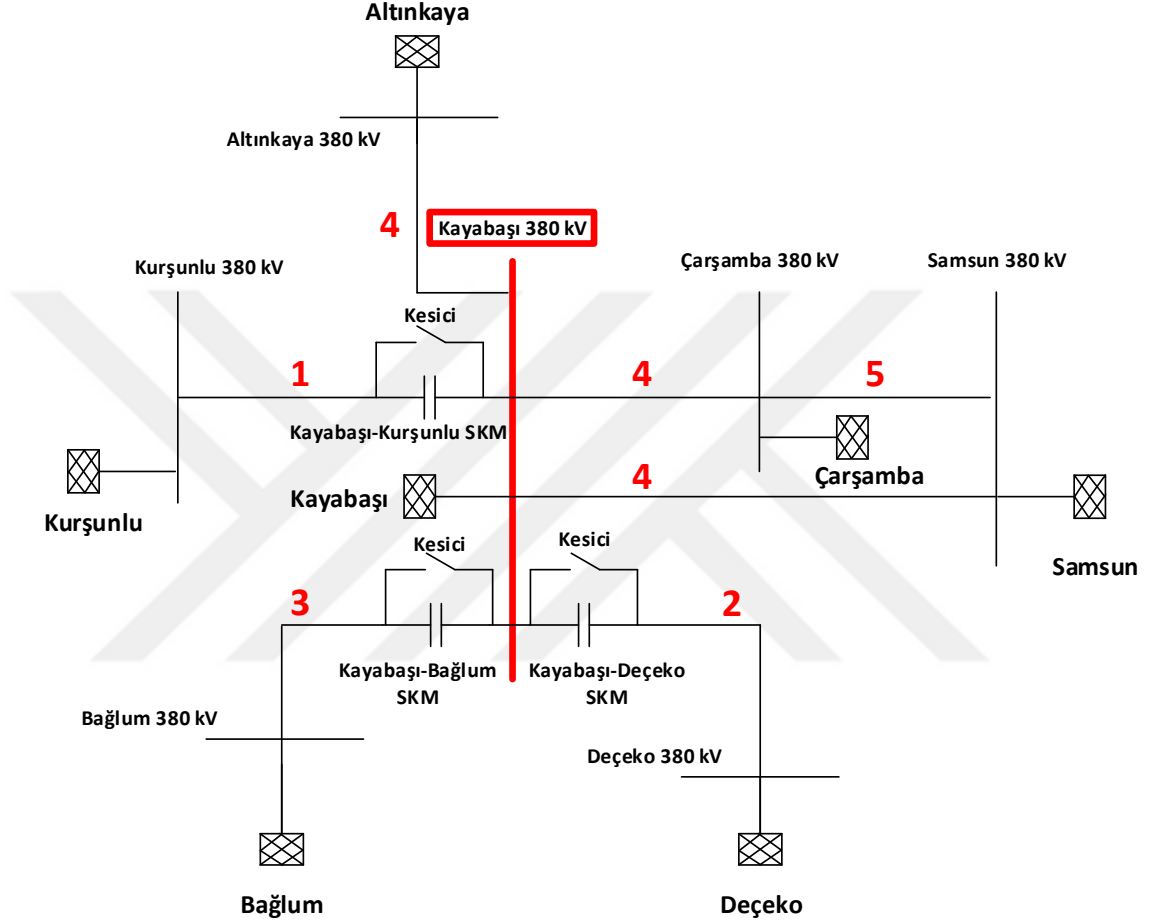
Öngörülen Röle Haberleşme Ayarları				
Arıza Yeri	Etiket	Kesici Açtırma	Müsaadeli Açtırma	Blokaj
Hat 1	3	-	-	-
Hat 2	2	-	-	Röle 4-3
Hat 3	1	Kesici 3-4	Röle 4-3	Röle 2-3
Hat 4	3	-	-	Röle 3-4

Tablo 2.45'te Hat 3 için oluşturulan senaryoyu inceleyelim. Daha önce yapılan kısa devre analizlerinde, Röle 3-4'ün bazı durumlarda arızayı görmediği, Röle 4-3'ün ise bütün durumlar için arızayı doğru bir şekilde tespit ettiği görülmüştür. Yine bu hatta yapılan analizlerde Röle 2-3'ün de kademe genişlemesi sebebiyle hatalı çalıştığı durumların olduğu görülmüştür. Buna göre Hat 3'te kısa devre arızasının meydana geldiği algoritma yardımıyla tespit edildikten sonra, Röle 3-4 için kesici açtırma, Röle 4-3 için ise zaman gecikmesi olmadan açma yaptırma işlemi öngörülmüştür. Röle 2-3'e ise hatalı açma yapmasını engellemek için blokaj sinyali gönderilmektedir. Haberleşme şemasına göre Hat 2'de veya Hat 4'teki arızalarda ise Röle 4-3 ve Röle 3-4'ün hatalı açma yapması blokaj sinyali uygulanarak önlenmektedir.

2.4.2. Algoritmanın Kısmî Şebekeye Uygulanması

Önerilen algoritmanın radyal şebekede düzgün bir şekilde çalıştığı görüldükten sonra kısmî şebekeye uygulanmasına geçilmiştir. Algoritmaya göre kısmî şebeke için belirlenen etiket değerleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Kısmî şebeke için kritik olan bara seri kapasitörlerin yakın olduğu Kayabaşı 380 kV barasıdır. Kısmî şebekede birinci derece öneme sahip olan hatlar ise seri kapasitör içeren Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Deçeko ve Kayabaşı-Bağlum'dur. Bu hatlara sırasıyla "1", "2" ve "3" numaralı etiket değerleri

atanmıştır. Kayabaşı 380 kV barasına bağlı ve kapasitör içermeyen hatlar ise “4” numaralı etiket değerini almıştır. Bunların haricinde olan bütün hatlar eş değer öneme sahip olup bu hatlara “5” numaralı etiket değerini atanmıştır. Şekil 2.12’de hatların etiket değerleri ve kritik bara kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kısmî şebekede bulunan hatların etiket değerleri

Kısmî şebeke için etiket değeri belirleme işlemi yapıldıktan sonra eğitim verilerinin elde edilmesine geçilmiştir. Algoritmada belirtildiği gibi kısmî şebekede “1”, “2”, “3” ve 4 numaralı etiket değerine sahip olan hatlardan veri alınmıştır.

Kısmî şebekede, kapasitörün devrede olduğu ve devrede olmadığı durumlar göz önüne alınarak 4096 adet eğitim verisi kullanılmıştır. Ek-4’te Kayabaşı-Kurşunlu ve Kayabaşı-Deçeko kapasitörleri devrede iken Kayabaşı-Kurşunlu hattından alınan eğitim verileri örnek olarak verilmiştir. Kısmî şebeke için bir sonraki adımda test verileri elde edilmiştir. Test verileri için kapasitör bulunduran Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum ve Kayabaşı-Deçeko, kapasitör bulundurmayan fakat kritik baraya bağlı olan Kayabaşı-

Altinkaya ve algoritmaya göre harici hat sayılan Kurşunlu-Osmanca hatları seçilmiştir. Burada da daha önce kısmî şebekede yapılan kısa devre analiz noktaları dikkate alınmıştır ve test verileri belirlenen hatlarda her bir hat için hattın ilk 1 km'si, %25'i, %50'si, %75'i ve son 1 km'sinde tek faz toprak kısa devresi oluşturularak elde edilmiştir. Buna göre yapılan sınıflandırmada kısmî şebeke için 130 adet test verisi kullanılmıştır. Kısmî şebeke için kullanılan test verilerinin sınıflandırma sonuçları Tablo 2.46'da verilmiştir.

Tablo 2.46. Kısmî şebekeden alınan test verilerinin sınıflandırma sonuçları

Tek Faz Toprak Kısa Devre Arıza Yeri Tespiti Sonuçları					
Hatlar	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
Kayabaşı-Kurşunlu (Kapasitörler Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Kurşunlu-Deçeko Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Kurşunlu-Bağlum Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Deçeko-Bağlum Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Kurşunlu Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Deçeko Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Bağlum Devrede)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Kurşunlu (Kapasitörler Devre Dışı)	1	1	1	1	1
Kayabaşı-Deçeko (Kapasitörler Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Kurşunlu-Deçeko Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Kurşunlu-Bağlum Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Deçeko-Bağlum Devrede)	2	2	2	2	2

Tablo 2.46'nın devamı

Kayabaşı-Deçeko (Kurşunlu Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Deçeko Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Bağlum Devrede)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Deçeko (Kapasitörler Devre Dışı)	2	2	2	2	2
Kayabaşı-Bağlum (Kapasitörler Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Kurşunlu-Deçeko Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Kurşunlu-Bağlum Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Deçeko-Bağlum Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Kurşunlu Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Deçeko Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Bağlum Devrede)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Bağlum (Kapasitörler Devre Dışı)	3	3	3	3	3
Kayabaşı-Altinkaya (Kapasitörler Devrede)	4	4	4	4	4
Kurşunlu-Osmanca (Kapasitörler Devrede)	5	5	5	5	5

Yapılan sınıflandırma çalışmasına göre elde edilen etiket değerleri incelendiğinde kısmî şebekede de algoritmanın belirlenen arıza noktalarında kısa devrenin meydana geldiği hattı doğru olarak belirlediği görülmektedir. Kısa devre yeri doğru bir şekilde tespit edildikten sonra kısmî şebeke için öngörülen röle haberleşme ayarları Tablo 2.47'de verilmiştir.

Tablo 2.47. Kısmî şebeke için öngörülen röle haberleşme diyagramı

Öngörülen Röle Haberleşme Ayarları				
Arıza Yeri	Etiket	Kesici Açtırma	Müsaadeli Açtırma	Blokaj
Kurşunlu	1	Kayabaşı-Kurşunlu	Kurşunlu-Kayabaşı	Deçeko-Kayabaşı Bağlum-Kayabaşı Altinkaya-Kayabaşı Çarşamba-Kayabaşı Samsun-Kayabaşı
Deçeko	2	Kayabaşı-Deçeko	Deçeko-Kayabaşı	Kurşunlu-Kayabaşı Bağlum-Kayabaşı Altinkaya-Kayabaşı Çarşamba-Kayabaşı Samsun-Kayabaşı
Bağlum	3	Kayabaşı-Bağlum	Bağlum-Kayabaşı	Kurşunlu-Kayabaşı Deçeko-Kayabaşı Altinkaya-Kayabaşı Çarşamba-Kayabaşı Samsun-Kayabaşı
Çarşamba	4	-	-	Kurşunlu-Kayabaşı Deçeko-Kayabaşı Bağlum-Kayabaşı
Samsun	4	-	-	Kurşunlu-Kayabaşı Deçeko-Kayabaşı Bağlum-Kayabaşı
Altinkaya	4	-	-	Kurşunlu-Kayabaşı Deçeko-Kayabaşı Bağlum-Kayabaşı
Diğer Hatlar	5	-	-	Kayabaşı-Kurşunlu Kayabaşı-Deçeko Kayabaşı-Bağlum Kayabaşı-Altinkaya Kayabaşı-Çarşamba Kayabaşı-Samsun

Tablo 2.47’de seri kapasitör bulunduran hatlardan Kayabaşı-Kurşulu hattı için oluşturulan senaryoyu inceleyelim. Daha önce yapılan kısa devre analizlerinde, Kayabaşı-

Kurşunlu rölesinin bazı durumlarda arızayı göremediği, Kurşunlu-Kayabaşı rölesinin ise bütün durumlarda arızayı doğru bir şekilde tespit ettiği görülmüştür. Kayabaşı TM’de karşı tarafta bulunan ve Kayabaşı TM’ye bağlı diğer fiderleri koruyan rölelerin ise kademe genişlemesine bağlı olarak hatalı çalıştığı yine analiz sonuçlarından görülmektedir. Buna göre algoritma yardımıyla Kayabaşı-Kurşunlu fiderinde arıza meydana geldiği tespit edildiğinde Kayabaşı-Kurşunlu rölesi için kesici açtırma ve Kurşunlu-Kayabaşı rölesi için ise zaman gecikmesi olmaksızın açma yaptırma işlemi öngörülmüştür. Karşı tarafta bulunan rölelerin hatalı açma yapmasını önlemek için ise bu rölelere blokaj sinyali gönderilir.

Kapasitör bulundurmayan hatlardan Kayabaşı-Çarşamba hattı için oluşturulan senaryo incelendiğinde, bu hatta bir arıza meydana geldiğinde önerilen röle haberleşme şemasına göre, kısa devre ile arasında kapasitör bulunması nedeniyle hatalı açma sinyali üreten Kurşunlu-Kayabaşı, Deçeko-Kayabaşı ve Bağlum-Kayabaşı rölelerine blokaj sinyali uygulanması öngörülmüştür.

Haberleşme ayarlarına göre harici hatlarda arıza oluştuğunda ise Kayabaşı TM’ye bağlı olan rölelerin hatalı açma yapmasını engellemek için yine burada bulunan rölelere blokaj sinyali uygulanması gerektiği öngörülmektedir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, seri kapasitör bulunan iletim hatlarında mesafe koruma rölesinin yanlış açmasına bağlı olarak oluşan kayıpların giderilmesi ve üretilen enerjinin daha verimli iletilmesi için bir koruma algoritması geliştirilmiştir. Algoritmada kullanılan k-EYK sınıflandırma yöntemi için gerekli olan yazılım çalışmaları MATLAB programında yapılmıştır. Algoritmanın eğitilmesi ve test edilmesi için gerekli olan veriler ise, Digsilent PowerFactory programında oluşturulan simülasyon modelleri yardımıyla elde edilmiştir. Bu veriler şebeke üzerinde belirlenen baralardan sanal senkro fazör ölçüm üniteleri kullanılarak alınmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında kapasitörün iletim hattına olan faydalarını incelemek üzere Digsilent PowerFactory programı kullanılarak örnek bir model oluşturulmuştur. Bu model üzerinde farklı kompanzasyon durumlarında yük akış analizleri yapılarak seri kapasitörün hatların yüklenme durumlarına, sistemin geçici hal kararlılığına ve şebekenin toplam reaktif güç kaybına etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, seri kapasitörün, bulunduğu hattın transfer kapasitesini kompanzasyon derecesi ile doğru orantılı olarak artırıp azaltabileceği, aynı zamanda paralel hatlar arasında yük paylaşımına da olanak sağladığı görülmüştür. Yine elde edilen sonuçlara göre, kapasitörün bulunduğu iletim hattında bara açılı farklarının kapasitörsüz duruma göre daha az olduğu görülmüştür. Bu durum kapasitörün sistemin geçici hal kararlılığını artırıcı etkiye sahip olduğunun bir kanıtıdır. Kapasitörsüz ve kapasitörlü durumdaki reaktif güç kayıpları incelendiğinde, kapasitörlü durumda sistemin toplam reaktif güç kaybının daha az olduğu sonuçlardan görülmektedir.

Çalışmanın ikinci kısmında ise ilk olarak 4 baradan oluşan ve seri kapasitör içeren örnek bir radyal şebeke modellenmiştir. Radyal şebeke için yapılan kısa devre analizlerinde, özellikle seri kapasitörün bulunduğu iletim hattında ve bağlı olduğu baraya bitişik olan hatlarda bulunan mesafe koruma rölelerinin kademe genişleme ve gerilimin yön değiştirmesine bağlı olarak hatalı çalıştığı sonuçlardan görülmüştür.

Çalışmanın ikinci kısmının devamında, mevcut Türkiye şebekesinin Kayabaşı TM ve ilgili TM'lerini kapsayan kısmî modeli oluşturulmuştur. Kısmî şebeke modeli için 5 Aralık

2015 saat 04.00'a ait gerçek yük akış ve kısa devre verileri kullanılmıştır. Kısmî model oluşturulduktan sonra yük akış ve kısa devre analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar mevcut Türkiye şebekesine ait verilerle karşılaştırılmış ve modelin kabul edilebilir yüzde hata payları ile doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Kısmî model için yapılan kısa devre analizlerinde de benzer şekilde seri kapasitör bulunan hatlarda mesafe koruma rölelerinin arıza yerini doğru şekilde tespit edemedikleri ve hatalı olarak açma veya açmama durumlarının oluştuğu sonuçlardan görülmektedir.

Çalışmanın son aşamasında algoritmanın testi ilk olarak radyal şebeke üzerinde yapılmıştır. Yapılan test çalışmalarında, şebekede bulunan hatların belirli noktalarında 3 faz kısa devre arızaları oluşturulmuş ve baraların kısa devre akım ve gerilim bilgileri kullanılarak arıza yeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre arızalı hattın tespit edilmesinde algoritmanın düzgün bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Kısa devrenin meydana geldiği hat tespit edildikten sonraki aşamada ise arızanın hızlı ve güvenilir bir şekilde giderilmesi için pilot röleleme şemaları oluşturulmuştur. Daha sonra algoritma kısmî şebeke üzerinde test edilmiştir. Yapılan test çalışmalarında hatların belirli noktalarında tek faz toprak kısa devre arızaları oluşturulmuş ve radyal şebekedeki yöntemin aynısı kullanılarak algoritmanın çalışması incelenmiştir. Buradaki sonuçlardan da önerilen algoritma ile arızanın meydana geldiği hattın doğru bir şekilde belirlenebildiği görülmüştür. Radyal şebekede olduğu gibi arıza yerinin tespiti yapıldıktan sonra kısmî şebeke için de pilot röle şemaları oluşturulmuş ve oluşturulan bu şemalarla arızanın en az kayıpla giderilebileceği öngörülmüştür.

Bu çalışmanın sonucunda önerilen algoritma, seri kapasitörlerin mesafe koruma röleleri üzerine olan olumsuz etkilerini gidermeye yönelik bir çözüm getirmiştir. Çalışma esnasında mevcut mesafe koruma röleleri kullanılmış ve algoritmanın düzgün çalışması için senkro fazör ölçümlerden faydalanılmıştır.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada seri kapasitör içeren iletim hatlarının korunması için senkro fazör ölçüm üniteleri ve k-EYK sınıflandırma yönteminin kullanıldığı bir koruma algoritması önerilmiştir. Algoritmanın testi Digsilent PowerFactory programında modellenen radyal ve kısmî Türkiye şebekesinde 3 faz ve tek faz toprak kısa devre arızaları oluşturularak yapılmıştır. Test aşamasında hatların belirli noktalarında oluşturulan arızalarda algoritmanın arıza yerini doğru şekilde tespit ettiği sonuçlardan görülmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmanın geliştirilmesi açısından aşağıda sıralanan öneriler dikkate alınabilir.

- Farklı arıza türleri için de eğitim verileri alınarak algoritmanın çok yönlü olması sağlanabilir. Veri sayısı arttıkça çalışma doğruluğundaki değişime göre gerekli düzenlemeler yapılabilir.
- Yapılan kısa devre testlerinde arıza empendası göz önüne alınmamıştır. Gerçeğe uygunluk açısından farklı arıza empendası durumlarında sistemin yeniden eğitilmesi ve testinin yapılması gerekir.
- Kısa devre arızalarında ortaya çıkan aşırı akımlar sistemde kullanılan aygıtlarda ısı ve dinamik zorlanmalara neden olmaktadır. Bu tür durumların önlenmesi için arızanın mümkün olduğunca hızlı bir şekilde giderilmesi gerekir. k-EYK sınıflandırma yönteminde test verisinin eğitim verilerine olan uzaklıklarının tek tek hesaplanması, özellikle fazla eğitim verisi kullanıldığı durumda zaman kaybı oluşturabilir. Bu nedenle farklı bir sınıflandırma yöntemi kullanılarak arıza yerinin tespiti daha hızlı yapılabilir.
- Bilindiği gibi günümüzde seri kapasitörlerin korunması metal oksit varistör (MOV) tabanlı koruma devreleri yardımıyla yapılmaktadır. Bu sistemler yüksek genlikli arıza akımında seri kapasitörün tamamını devre dışı bırakırken daha düşük genlikli kısa devre arıza akımlarında ise seri kapasitörün bir kısmını devre dışı bırakır ve mesafe koruma röleleri arıza yerini seri kapasitörün etkisi altında belirlemeye çalışır. Aynı zamanda metal oksit varistörün sahip olduğu empedans karakteristiği de rölenin çalışmasını etkilemektedir. Çalışmada seri kapasitörün koruma ekipmanı

modellenmemiştir. Koruma ekipmanı da modele katılarak tekrardan sistemin kısa devre analizi yapılabilir.



5. KAYNAKLAR

1. De Kock, J. and Strauss C., Practical Power Distribution for Industry, Mackay S., first edition, Newnes Press, Burlington, MA, 2004.
2. Kundur, P., Power System Stability and Control, Balu N.J., Lauby M.G., Vol 7, McGraw-Hill Education, 1994.
3. Doğan, M. ve Yanikoğlu, E., Seri Kompanzasyonun Kritik Temizleme Açısına Etkileri, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7,1 (2003) 221-223.
4. Zhou, X. and Liang, J., Overview of Control Schemes for TCSC to Enhance the Stability of Power Systems, IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 146,2 (1999) 125-130.
5. Canizares, Claudio A., and Zeno T. Faur., Analysis of SVC and TCSC controllers in voltage collapse, IEEE Transactions on power systems 14,1 (1999) 158-165.
6. Varma, Rajiv K., Soubhik Auddy, and Ysni Semsedini., Mitigation of subsynchronous resonance in a series-compensated wind farm using FACTS controllers, IEEE Transactions on Power Delivery 23,3 (2008) 1645-1654.
7. Starr, E. C. and Evans, R. D., Series Capacitors For Transmission Circuits, Electrical Engineering, 61,12 (1942) 963-973.
8. Johnson, A. A., Marbury, R. E., and Arthur, M., Design and Protection of 10,000-Kva Series Capacitor for 66-Kv Transmission Line, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 67, 1 (1948) 363-368.
9. Crary, S. B. and Saline L. E., Location of Series Capacitors in High-Voltage Transmission Systems, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 72, 2 (1953) 1140-1151.
10. Kumar, B. S. A., Parthasarathy, K., Prabhakara, F. S. and Khincha, H. P., Effectiveness of Series Capacitors in Long Distance Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 5 (1970) 941-951.
11. Maneatis, J. A., Hubacher, E. J., Rothenbuhler, W. N. and Sabath, J., 500 Kv Series Capacitor Installations in California, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 3 (1971) 1138-1149.
12. Matele, M., Enhancing of Transmission Capability of Power Corridors by means of Series Compensation, Power Tech Conference 1999, Mumbai, India, 1-7.
13. Özyürek, A., Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon ve Türkiye Enerji İletim Sistemlerine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.

14. Gencer, Ö. Ö. ve Öztürk, S., Seri Kompanzasyonlu Sistemlerin Geçici Hal Kararlılığına Etkileri, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Aralık 2002, Bursa, Türkiye, ELECO Bildiriler Kitabı: 16-20.
15. Baysal, M., Kocatepe, C. ve Uzunoğlu, M., Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon Metodlarının Karşılaştırılması, Elektrik Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, Eylül 2005, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 425-428.
16. Aydın, F., Uyaroğlu, Y. ve Yalçın, M. A., Enerji İletim Sistemlerinde Seri Kapasitörlerin Gerilim Kararlılığı Açısından Sistem Büyümelerine Etkileri, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Mayıs 2009, Kocaeli, Türkiye, Bildiriler Kitabı: 47-51.
17. Miller, J. and Watson, M. B., Review of Series Compensation for Transmission Lines, PSC Consulting Technical Report no JU4715, 2014.
18. Sheth, A., Kotwal, C. D. and Pujara, S., Optimal Placement of TCSC for Improvement of Static Voltage Stability, Engineering (NUiCONE) 2015, 5th Nirma University International Conference on. IEEE, 1-6.
19. Lee, H. J., Kim, S. H., Hur, K., Choi, J. S., Oh, H. J., Lee, B. J., and Chow, J. H. Integrating TCSC to enhance transmission capability and security: Feasibility studies for Korean Electric Power System, Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 2016, IEEE 1-6.
20. Ziaee, O., and Choobineh, F. F., Optimal Location-Allocation of TCSC Devices on a Transmission Network, IEEE Transactions on Power Systems, 32, 2, (2017) 94-102.
21. Elagab, A. M. A. E. and El-Amin, I. M., Improving The Voltage Profile of Transmission Line Under Different Loading Conditions, Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), Ocak 2017, Texas, USA, International Conference on IEEE 1-7.
22. Hamlin, J. L., Protection of Transmission and Distribution Lines Containing Series Capacitors, Journal of the Institution of Electrical Engineers 7, 77, (1961) 278-280.
23. Ballance, J. W. and Goldberg, S., Subsynchronous Resonance in Series Compensated Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 5 (1973) 1649-1658.
24. Aggarwal, R. K., Johns A. T., and Kalam, A., Computer Modelling of Series-Compensated EHV Transmission Systems, IEE Proceedings C (Generation, Transmission and Distribution) 131, 5 (1984) 188-196.
25. Ghassemi, F., and Johns, A. T., Investigation of Alternative Residual Current Compensation for Improving Series Compensated Line Distance Protection, IEEE Transactions on Power Delivery, 5, 2, (1990) 567-574.
26. Jamali, S., Kazemi, A., and Shateri, H., Distance Relay Over-Reaching due to Installation of TCSC on Next Line, Industrial Electronics, Eylül 2006, Cardiff, Wales International Symposium on IEEE 1954-1959.

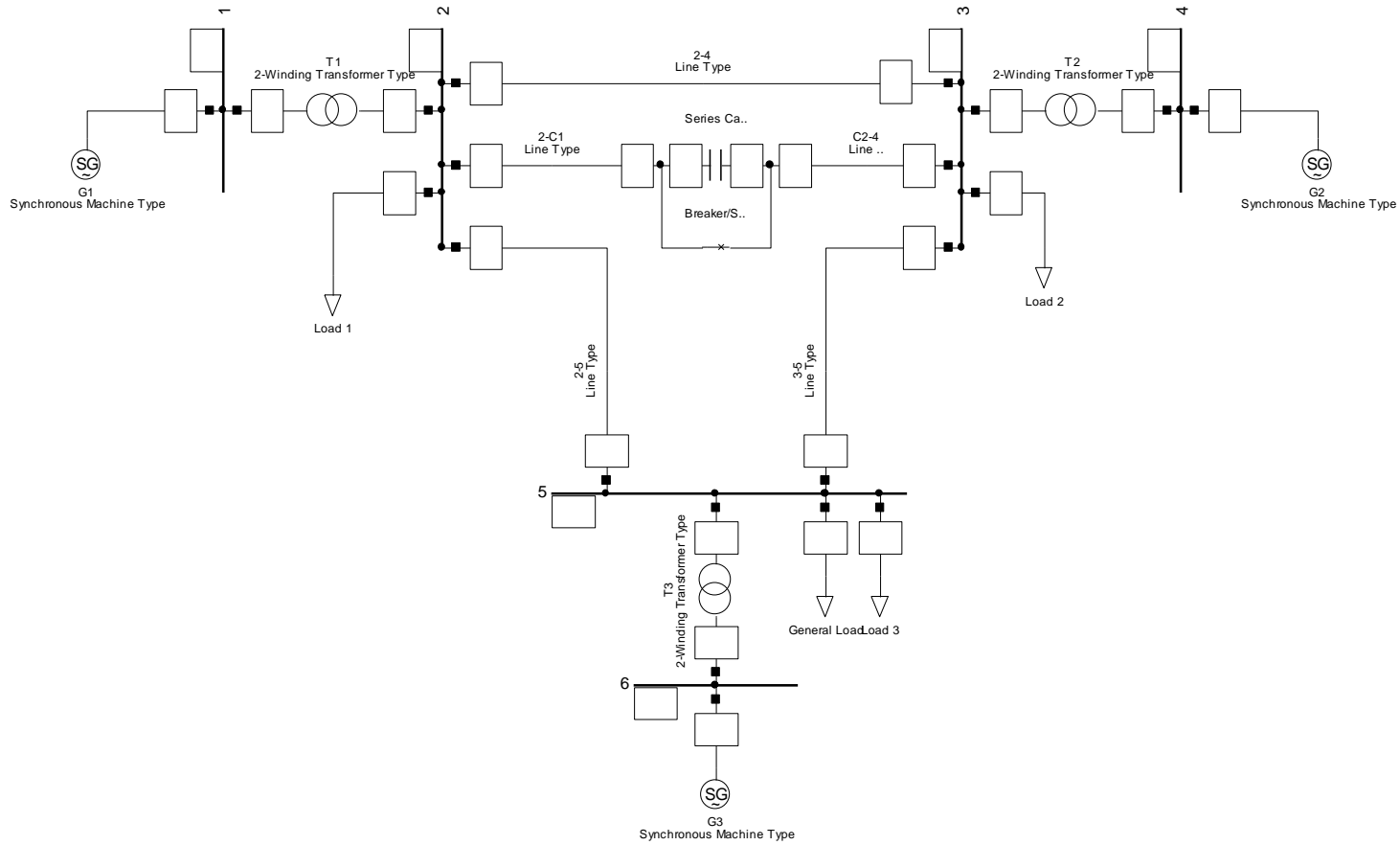
27. Yu, C. S., Liu, C. W., Yu, S. L., and Jiang, J. A., A new PMU-based fault location algorithm for series compensated lines, IEEE Transactions on Power Delivery, 17, 1, (2002) 33-46.
28. Silveira, Eduardo G., and Clever Pereira., Transmission line fault location using two-terminal data without time synchronization., IEEE Transactions on Power Systems, 22, 1 (2007) 498-499.
29. Zellagui, M., and Chaghi, A., Impact of Series Compensation (SC) on the MHO Distance Relay in Algerian 220kV Transmission Line, Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, 2, 6 (2011) 181-189.
30. Al-Mohammed, Ali H., and M. A. Abido., A fully adaptive PMU-based fault location algorithm for series-compensated lines., IEEE Transactions on Power Systems 29, 5, (2014) 2129-2137.
31. Magagula, X. G., Nicolae, D. V. and Yusuff, A. A., The performance of distance protection relay on series compensated line under fault conditions. AFRICON, Eylül 2015, Ababa, Ethiopia, IEEE 1-6.
32. Mousavi-Seyedi, S. S., Aminifar, F., Rezaei, M. R., and Hasani, R., Optimal fault location algorithm for series-compensated transmission lines based on PMU data, Smart Grid Conference (SGC), Aralık 2015, Tehran, Iran, IEEE 105-109.
33. Bakie, E. and Westhoff, C., Voltage and Current Inversion Challenges when Protecting Series-Compensated Lines-A Case Study, 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Nisan 2016, Texas, USA, IEEE 1-16.
34. Saadat, H., Power System Analysis, McGraw-Hill, New York, 1999.
35. Bishop, A. E. and Edmonds, G. D., Low-inductance 100 kV switch (spark gap) for starting, diverting and clamping capacitor discharges, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 113, 9 (1966) 1549-1556.
36. Goldsworthy, Daniel L., A linearized model for MOV-protected series capacitors, IEEE Transactions on Power Systems 2, 4 (1987) 953-957.
37. Miller, J., Watson, M. B. and Leighfield, J., Review of Series Compensation for Transmission Lines, PSC Consulting Technical Report, no JU4715, 2014.
38. Ziegler, G., Numerical Distance Protection: Principles and Applications, John Wiley and Sons, fourth edition, 2011.
39. Dewey, C. G., C. A. Mathews, and W. C. Morris., Static Mho distance and pilot relaying, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 82, 66 (1963) 391-400.
40. Altuve, H., Mooney, J. B. and Alexander, G.E., Advances in series-compensated line protection, Proceedings of the 63rd Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Nisan 2009, Texas, USA, IEEE 263-275.

41. Bakie, E., Westhoff, C., Fischer, N. and Bell, J., Voltage and current inversion challenges when protecting series-compensated lines-a case study, Proceedings of the 42nd Annual Western Protective Relay Conference, Nisan 2016, Texas, USA, IEEE 1-14.
42. Vyas, B., Maheshwari, R. P., and Das, B. (2014). Protection of series compensated transmission line: issues and state of art. Electric power systems research, 107, (2014) 93-108.
43. Kaşıkçı, İ., Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60909, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
44. Powell, L., Power System Load Flow Analysis, McGraw Hill Professional, New York, 2004.
45. Larose, D. T., K-nearest neighbor algorithm, Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining, (2005) 90-106.
46. Sarıtaş, A., Akıllı Şebekeler ve Fazör Ölçüm Birimlerinin Şebekeye Optimal Yerleşimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
47. <http://www.digsilent.de/> 20.11.2017.
48. Sweeting, D., Applying IEC 60909, Fault Current Calculations, IEEE Transactions on Industry Applications, 2, 48 (2012) 575-580.
49. www.teias.gov.tr/ 20.03.2017.

6. EKLER

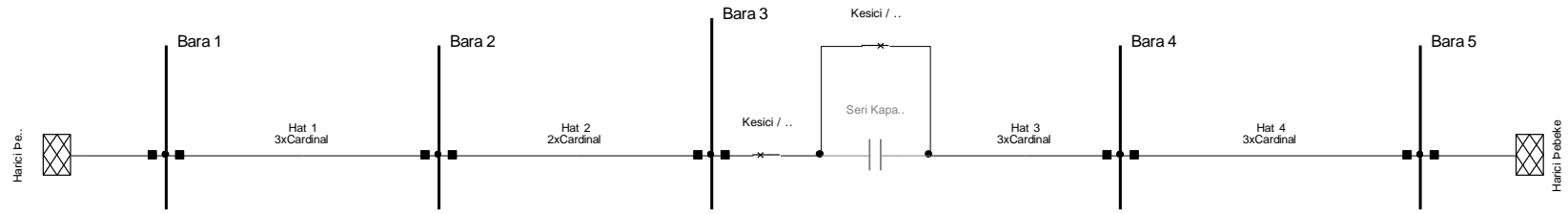
Ek 1.

Digsilent PowerFactory programında oluşturulan test sistemi



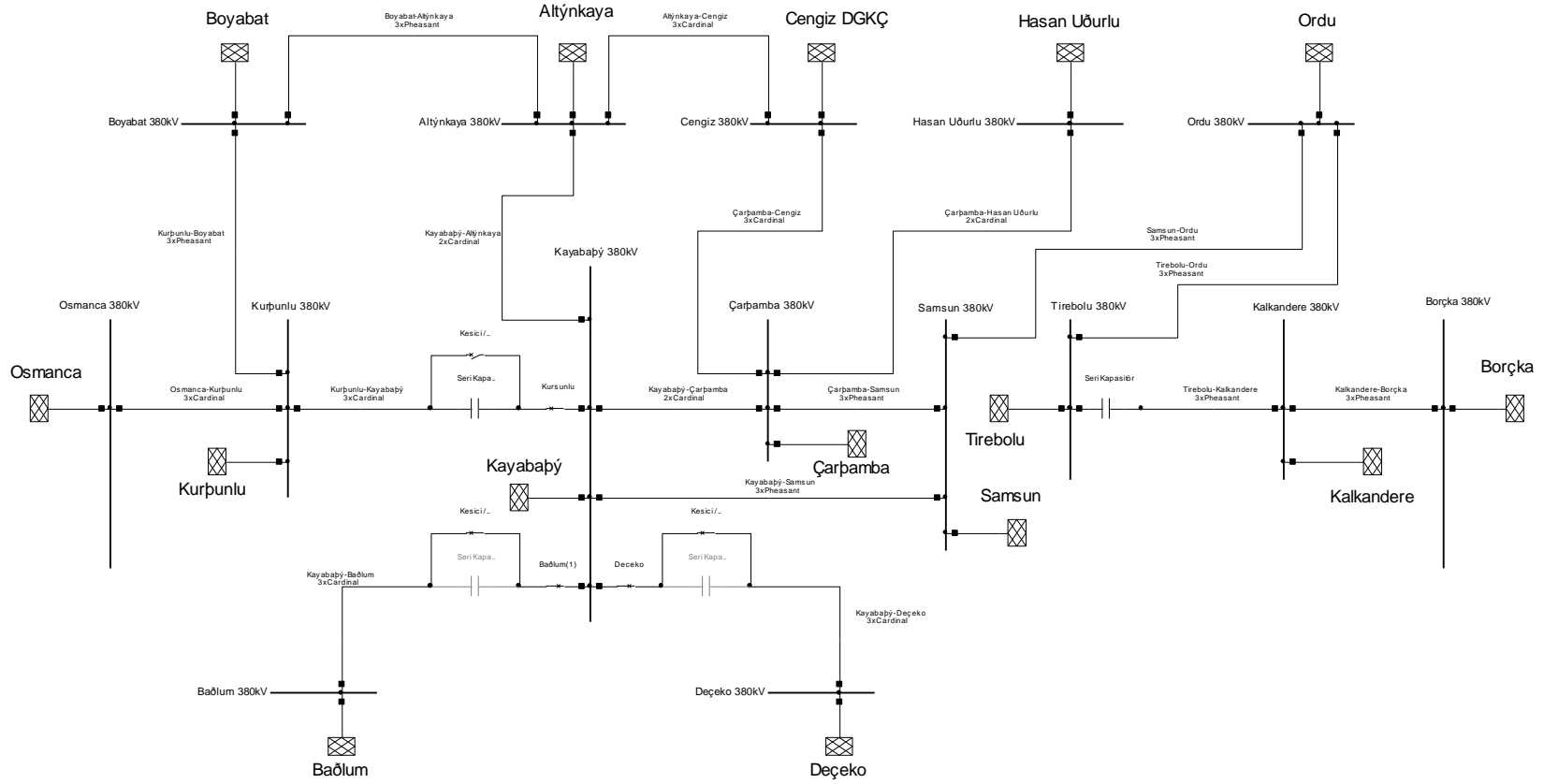
Ek 2.

Digsilent PowerFactory programında oluşturulan radyal şebeke modeli



Ek 3.

Digsilent PowerFactory programında oluşturulan kısmî şebeke modeli



ÖZGEÇMİŞ

Doğan Can SAMUK 1991 yılında Trabzon'da doğdu. 2009 yılında Trabzon Yunus Emre Lisesi'nden, 2014 yılında ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2014 yılında başlayan yüksek lisans eğitimi ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir.

