

**TÜRKİYE BATI KARADENİZ BÖLGESİ GÜÇ SİSTEMİNİN  
KARARLILIK VE ARIZA DURUMLARININ FARKLI ÇALIŞMA  
KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ**

**YALÇIN TURAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. SALİH TOSUN**

**DÜZCE, 2023**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE BATI KARADENİZ BÖLGESİ GÜÇ SİSTEMİNİN**  
**KARARLILIK VE ARIZA DURUMLARININ FARKLI ÇALIŞMA**  
**KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ**

Yalçın TURAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Salih TOSUN

Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Salih TOSUN

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Öztürk

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Nihat PAMUK

Bülent Ecevit Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/08/2023

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Ağustos 2023

Yalçın TURAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Salih TOSUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**24 Ağustos 2023**

**Yalçın TURAN**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
HARİTA LİSTESİ .....	iv
KISALTMALAR.....	v
SİMGELER .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	2
2. GÜÇ SİSTEMLERİ .....	7
2.1. ELEKTRİK ŞEBEKESİ .....	10
2.1.1. Açık (Dalbudak veya Radyal) Şebekeler.....	11
2.1.2. Kapalı (Ring ve Gözlü) Şebekeler.....	11
2.1.3. Enterkonnekte Şebekeler.....	12
2.2. TÜRKİYE ELEKTRİK ŞEBEKESİNDEKİ YÜK TEVZİ MERKEZLERİ. 14	
2.3. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEÇHİZATLAR VE ŞALT MALZEMELERİ.....	15
2.3.1. Transformör Merkezi.....	15
2.3.2. Trafo Merkezi Kumanda Bölümü .....	16
2.3.3. Akümülatör (Akü) Odaları .....	18
2.3.4. Senkronoskop Panosu.....	19
2.3.5. Oto Transformörler .....	20
2.3.6. Ayırıcılar .....	21
2.3.7. Kesiciler (Disjonktörler).....	22
2.3.8. Akım ve Gerilim Transformörleri (Ölçü Transformörleri) .....	23
2.3.9. Enerji İletim Hatları (EİH) .....	24
2.3.10. Direkler .....	25
2.3.11. Baralar .....	26
2.3.12. Parafudr .....	26
2.3.13. Koruma İletkeni (Hattı).....	27
2.3.14. Ark Boynuzları .....	28
2.3.15. Line Trap (Hat Tıkacı) .....	28
2.3.16. Spacer (Ara Tutucu) .....	29
2.3.17. Damper .....	30
2.3.18. Camper .....	31
2.3.19. İkaz Küreleri.....	31
2.4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA VE KUMANDA .....	32
2.4.1. Diferansiyel Koruma Sistemi (Diferansiyel Röle) .....	32
2.4.2. Buchholz Rölesi.....	33
2.4.3. Transformör Tank Koruma Rölesi.....	33

2.4.4. Transformatör Termik Koruma Rölesi .....	34
2.4.5. Mesafe Koruma Rölesi.....	36
<b>3. ENERJİ İLETİM HATLARI .....</b>	<b>37</b>
3.1. HAT ÇEŞİTLERİ.....	37
3.1.1. Kısa Mesafeli Enerji İletim Hattı.....	37
3.1.2. Orta Mesafeli Enerji İletim Hattı .....	37
3.1.3. Uzun Mesafeli Enerji İletim Hattı .....	38
<b>4. HAT ARIZALARI.....</b>	<b>39</b>
4.1. SİMETRİK ARIZALAR.....	39
4.2. SİMETRİK OLMAYAN ARIZALAR (ASİMETRİK ARIZALAR).....	40
4.2.1. Tek Faz Toprak Arızaları .....	40
4.2.2. İki Faz (Faz-Faz) Arızaları.....	41
4.2.3. İki Faz Toprak Arızaları .....	41
4.3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMETRİLİ BİLEŞENLER YÖNTEMİ .....	42
<b>5. YÜK AKIŞI .....</b>	<b>45</b>
5.1. GÜÇ AKIŞ ANALİZİ METOTLARI .....	46
5.2. GAUSS SEİDEL METOTU .....	46
5.3. NEWTON-RAPHSON METOTU.....	47
5.4. HIZLI AYRIŞIK (FAST DECOUPLED) METOTU.....	48
<b>6. POWERWORLD SİMÜLATÖR (PWS) PROGRAMI.....</b>	<b>50</b>
6.1. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON VE ANALİZ UYGULAMA PROGRAMI PWS .....	51
<b>7. PSAT (POWER SYSTEM TOOLBOX) .....</b>	<b>55</b>
7.1. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON VE ANALİZ UYGULAMA PROGRAMI PSAT .....	56
<b>8. YÜK AKIŞI VE ARIZA ANALİZİ UYGULAMALARI .....</b>	<b>63</b>
8.1. BATI KARADENİZ BÖLGESİ ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMİNİN POWERWORLD SİMÜLATÖR(PWS) İLE NORMAL ÇALIŞMA SİMÜLASYONU .....	63
8.2. BATI KARADENİZ BÖLGESİ ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMİNİN MATLAB PSAT UYGULAMASI İLE NORMAL ÇALIŞMA SİMÜLASYONU	66
8.3. SENARYO-1 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI.....	70
8.4. SENARYO-2 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI.....	72
8.5. SENARYO-3 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI.....	74
8.6. SENARYO-4 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI.....	76
8.7. SENARYO-5 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI.....	77
8.8. SENARYO-1 MATLAB PSAT UYGULAMASI.....	79
8.9. SENARYO-2 MATLAB PSAT UYGULAMASI.....	81
8.10. SENARYO-3 MATLAB PSAT UYGULAMASI .....	83
8.11. SENARYO-4 MATLAB PSAT UYGULAMASI .....	86
8.12. SENARYO-5 MATLAB PSAT UYGULAMASI .....	88
<b>9. SONUÇ .....</b>	<b>91</b>
<b>10. KAYNAKÇA.....</b>	<b>93</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1 Elektrik Enerjisinin Dağıtımı.....	7
Şekil 2.2 Elektrik Enerjisinin Üretimi İletimi ve Dağıtımından Sorumlu Şirketler .....	8
Şekil 2.3 Türkiye'nin Kurulu Güç Değişimi [16].....	9
Şekil 2.4 Kaynaklara Göre Türkiye'nin Kurulu Gücü [16] .....	10
Şekil 2.5 Türkiyedeki Elektrik Santrallerinin Kaynaklara Göre Dağılımı [16].....	10
Şekil 2.6. Dallı Şebeke Sistemi [49].....	11
Şekil 2.7. Ağ(Gözlü) Şebekeler [49] .....	12
Şekil 2.8. Enterkonnekte Şebeke Sistemi [49].....	13
Şekil 2.9. Türkiye Enterkonnekte Sistemi –TEİAŞ 380kV ve 154kV ENH [5] .....	13
Şekil 2.10. Açık Şalt Sahası Bütünleşik Sistem Görünümü [33].....	16
Şekil 2.11. Güvenlik Kartları .....	17
Şekil 2.12. Trafo Merkezi(TM) Kumanda Odası .....	18
Şekil 2.13. Trafo Merkezi Akü Odası.....	19
Şekil 2.14. Senkronoskop Panosu.....	19
Şekil 2.15. Oto Transformatör .....	20
Şekil 2.16. Pantograf Tipi Ayırıcı ve Ortadan Açmalı Ayırıcı .....	21
Şekil 2.17. 380kV SF-6 Gazlı Kesici (Disjonktör).....	22
Şekil 2.18. Ölçü Transformatörleri (Akım ve Gerilim Transformatörleri).....	23
Şekil 2.19. Ölçme ve Koruma Sisteminde Ölçü Transformatörlerinin Kullanımı .....	23
Şekil 2.20. Çeşitli Tipte Alüminyum Örgülü İletkenler ve İç Yapısı .....	24
Şekil 2.21. Çeşitli Direkler .....	25
Şekil 2.22. YG Şalt Sahasında Bulunan Baralar.....	26
Şekil 2.23. Parafudr Bağlantısı ve İç Yapısı .....	27
Şekil 2.24. Koruma İletkeni .....	28
Şekil 2.25. Ark Boynuzu.....	28
Şekil 2.26. Hat Tıkacı(Line Trap) ve Bağlantı Şeması.....	29
Şekil 2.27. Çeşitli Ara Tutucular (Spacer).....	30
Şekil 2.28. Damper .....	30
Şekil 2.29. Camper.....	31
Şekil 2.30. İkaz Küresi.....	31
Şekil 2.31. Diferansiyel Koruma Sistemi Prensipteki Şeması.....	32
Şekil 2.32. Buchholz Rölesi ve İç Yapısı .....	33
Şekil 2.33. Tank Koruma .....	34
Şekil 2.34. Transformatör Zati Korumaları ve Termik Koruma Rölesi Göstergesi [3]..	34
Şekil 2.35. Transformatör Zati Koruma Prensipteki Bağlantı Şeması [3].....	35
Şekil 2.36. Mesafe Koruma Rölesi Prensipteki Şeması.....	36
Şekil 3.1. Kısa Mesafeli Enerji Nakil Hattı Devre modeli [47].....	37
Şekil 3.2. Orta Mesafeli Enerji Nakil Hattı T ve $\pi$ Eşdeğer Devre Modeli.....	38
Şekil 3.3. Uzun Mesafeli Enerji İletim Hattı Devre Modeli .....	38
Şekil 4.1. Güç Sistemlerinde Oluşan Asimetrik ve Simetrik Arızalar.....	39
Şekil 4.2. Simetrik Arıza.....	40
Şekil 4.3. Tek Faz Toprak Arızası .....	40
Şekil 4.4. Faz-Faz Arızası.....	41
Şekil 4.5. İki Faz Toprak Arızası .....	41
Şekil 4.6. Dengeli Üç Fazlı Sistem [31] .....	42
Şekil 4.7. Dengesiz Üç Fazlı Sistem [31] .....	43

Şekil 4.8. Arızalı Sistemin Sınır Koşulları [31].....	44
Şekil 5.1. Güç Akış Analizi Blok Şeması [35] .....	45
Şekil 5.2. Newton-Raphson Formülünün Geometrik Açıklaması [20] .....	48
Şekil 6.1. PowerWorld Simülatör Programının Ana Ekranı.....	50
Şekil 6.2. PowerWorld Simülatör Programında Çizim (Draw) Bölümü .....	51
Şekil 6.3. PowerWorld Simülatör Programında Batı Karadeniz Bölgesi Hat Yerleşimi .....	51
Şekil 6.4. PowerWorld Simülatör Run Modu.....	52
Şekil 6.5. Line/Transformer Flow Pie Chart(Hat/Transformatör Yük Akış Grafiği).....	53
Şekil 6.6. Bus Information For Present (Bara Bilgileri-Anlık).....	53
Şekil 6.7. Bus View For Osmanca TM (Osmanca TM Bara Görüntüsü).....	54
Şekil 6.8. Model Explorer( Simülasyon Sonuçları).....	54
Şekil 7.1. Türkiye Enterkonnekte Sisteminin Batı Karadeniz Bölgesine Ait Bölümü [16] .....	55
Şekil 7.2. Matlab Programının Başlatılması .....	56
Şekil 7.3. Psat Toolbox Programının Ana Ekran Görüntüsü.....	57
Şekil 7.4. PSAT Toolbox Library (PSAT Kütüphane Bölümü).....	57
Şekil 7.5. PSAT Toolbox Power Flow (Yük Akış Bölümü) .....	58
Şekil 7.6. PSAT Toolbox Options (PSAT Araç Çubuğu Ayarları).....	58
Şekil 7.7. PSAT Analiz Ekranı .....	59
Şekil 7.8. PSAT Toolbox Static Report (PSAT Özet Rapor Ekranı) .....	60
Şekil 7.9. PSAT Batı Karadeniz Bölgesi Enterkonnekte Sistem Görünümü (Wiew File) .....	60
Şekil 7.10. PSAT Batı Karadeniz Bölgesi Enterkonnekte Sistemi Gerilim Büyüklük Alanı .....	61
Şekil 7.11. İletim Hatlarına Ait Karakteristikler [32].....	62
Şekil 8.1. Batı Karadeniz Bölgesine Ait Enterkonnekte Sistem Haritası [16] .....	64
Şekil 8.2. Batı Karadeniz Bölgesine Ait PWS Çalışma Görünümü .....	65
Şekil 8.3. PowerWorld Simülatör Bara Parametreleri.....	65
Şekil 8.4. PWS contouring (PWS Yük Yoğunluğu Renkli Şekillendirme).....	66
Şekil 8.5. Psat Programında Batı Karadeniz Bölgesine Ait Enterkonnekte Sistem Yerleşimi Görünümü.....	67
Şekil 8.6. Psat Network Visualisation-Line Flows(Enterkonnekte Ağ Görselleştirilmiş Yük Akışı) .....	68
Şekil 8.7. Psat Static Report (Statik Rapor Ekranı) .....	68
Şekil 8.8. Psat Plot(Çizim Menüsü).....	69
Şekil 8.9. PWS Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Normal Çalışma Durumu.....	70
Şekil 8.10. PWS Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Açık Devre Durumu .....	71
Şekil 8.11. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH'nın Enerjili ve Devrede Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri.....	72
Şekil 8.12. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH'nın Devre Dışı Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri .....	72
Şekil 8.13. PWS Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Olma Durumu.....	73
Şekil 8.14. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri .....	73
Şekil 8.15. PWS Bolu-1 ve Bolu-2 ENH Üç Faz Kısa Devre Arızası Durumu Bara Gerilim Değerleri(Pu) .....	75
Şekil 8.16. Bolu-1 ve Bolu-2 ENH Üç Faz Kısa Devre Arızası Durumuna Ait PWS Bara Parametreleri.....	75

Şekil 8.17. PWS Bolu -2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumu.....	76
Şekil 8.18. PWS Bolu -2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumuna Ait Bara Parametreleri.....	77
Şekil 8.19. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumu.....	78
Şekil 8.20. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Bara Parametreleri.....	78
Şekil 8.21. Psat Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumu.....	80
Şekil 8.22. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumuna Ait Parametreler( $\lambda$ -pu) ....	80
Şekil 8.23. Psat Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumuna Ait Arıza Öncesi ve Arıza Sonrası Parametreler.....	81
Şekil 8.24. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralının Devre Dışı Durumu .....	82
Şekil 8.25. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralının Devre Dışı Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı .....	82
Şekil 8.26. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralının Devre Dışı Durumuna Ait Gerilim Değerleri(kV) .....	83
Şekil 8.27. Bolu-1 TM Barasında Üç Faz Arızası Durumu.....	84
Şekil 8.28. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler .....	84
Şekil 8.29. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler (kV).....	85
Şekil 8.30. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler(Pu) .....	85
Şekil 8.31. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı .....	86
Şekil 8.32. Bolu-2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumu.....	87
Şekil 8.33. Bolu-2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumuna Ait Parametreler (kV).....	87
Şekil 8.34. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumu.....	88
Şekil 8.35. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Parametreler ( $V_{pu}$ ).....	89
Şekil 8.36. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı.....	89
Şekil 8.37. Batı Karadeniz Enterkonnekte Güç Sistemine Ait Senaryo Durum Özetleri .....	90

## HARİTA LİSTESİ

### Sayfa No

Harita 2.1. Elektrik Enerjisinin Dağıtımından Sorumlu Şirketlerin Sorumluluk Sahaları [25] .....	8
Harita 2.2. Türkiye'nin YTM haritasını göstermektedir. [3].....	15
Harita 2.3. Türkiye Buz Yüğü Haritası.....	25



## KISALTMALAR

AG	Alçak Gerilim
BYTM	Bölge Yük Tevzi Merkezi
DFR	Düşük Frekans Rölesi
EİH	Enerji İletim Hattı
EMK	Elektro Motor Kuvvet
ENH	Enerji Nakil Hattı
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
OG	Orta Gerilim
MATLAB	Matrix Laboratory
PSAT	Power System Analysis Toolbox
PWS	Power World Simülâtör
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TFT	Tek Faz Toprak Arızası
TS	Türkiye Standartları
YG	Yüksek Gerilim
YTM	Yük Tevzi Merkezi
2FA	İki Faz Arızası
2FTA	İki Faz Toprak Arızası
3F	Üç Faz Simetrik Arıza

## SİMGELER

C	Birim Uzunluk Kapasitansı
F	Frekans
G	Kaçak İletkenliği
H	Henry
I	Akım
L	Endüktans
P	Aktif Güç
Pu	Per-unit
R	Direnç
V	Gerilim
Y	Admintans
Z	Toplam Empedans
$\Omega$	Ohm
$\sigma$	Öz İletkenlik
$\delta$	İç Faz Açısı
$\Phi$	Faz açısı
$\omega$	Açısal hız

## ÖZET

# TÜRKİYE BATI KARADENİZ BÖLGESİ GÜÇ SİSTEMİNİN KARARLILIK VE ARIZA DURUMLARININ FARKLI ÇALIŞMA KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ

Yalçın TURAN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim  
Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Salih TOSUN

Ağustos 2023, 96 sayfa

Enerji nakil hatlarının güvenilirliği ve kararlı bir şekilde çalışması her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır. Nüfustaki artış, sürekli gelişen teknoloji ve sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte enerji talepleri de doğru orantılı olarak artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ülkeleri yeni santraller yapmaya, iletim hatları ve güç aktarım istasyonları kurmaya ve geliştirmeye zorlamaktadır. Büyük güç sistemlerini işletmenin ve kontrol altında tutmanın bazı zorlukları bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Bolu, Düzce ve Zonguldak illerinin enterkonnekte şebekesi incelenerek PowerWorld Simülasyon programı ve Matlab Psat programında simüle edilmiştir. Farklı simülasyon senaryoları ile güç sistemlerinde oluşabilecek çökme ve toparlanma senaryoları bilgisayar ortamında incelenerek bu programlar ile yük akışı analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Güç Sistemleri, Arıza Analizi, Kısa Devre, Matlab Psat, PowerWorld Simülasyon

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF STABILITY AND FAILURE CONDITIONS OF THE WESTERN BLACK SEA REGION POWER SYSTEM OF TURKEY UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS

Yalçın TURAN

Düzce University

Graduate School, Department of Department of Electrical Electronics and Computer Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih TOSUN

August 2023, 96 pages

The reliability and stable operation of energy transmission lines are gaining more and more importance day by day. With the increase in population, constantly developing technology and the development of industrialization, energy demands are increasing in direct proportion. Increasing energy needs force countries to build new power plants, establish and develop transmission lines and power transmission stations. There are some challenges in operating and controlling large power systems. In this study, the interconnected network of Bolu, Düzce and Zonguldak provinces in the Western Black Sea Region was examined and simulated in the PowerWorld Simulator program and Matlab Psat program. Crash and recovery scenarios that may occur in power systems with different simulation scenarios were examined in the computer environment and evaluated by making load flow analyzes with these programs.

**Keywords:** Power Systems, Fault Analysis, Short Circuit, Matlab Psat, PowerWorld Simulator

# 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin önemi her geçen gün dünyada da ülkemizde de artmaktadır. Bunun çok fazla sebebi olmasına rağmen birkaçından bahsetmek gerekirse elektrik enerjisinin temiz, sessiz bir enerji olması ve elektrik enerjisinin başka enerjilere kolaylıkla dönüştürülebilir olmasıdır. Diğer taraftan büyük güç sistemlerinde istenmeyen arızalar sebebiyle enerji kesintileri de yaşanabilmektedir.

Nitekim geçmiş tarihlerde Dünya’da ve Türkiye’de bölgesel ya da ulusal çapta sistem oturmaları yaşanmıştır. Ülkemizde 31 Mart 2015 tarihinde 79 ilde 5,5 ila 8 saat arasında süren (70.000.000) yetmiş milyon insanın etkilendiği çökme olayında 32.200 MW kaybedilen yük oluşmuştur. Benzer olarak yine yakın tarihte meydana gelen başka bir çökme olayında da 2006 yılında gerçekleşen Bursa Doğalgaz Çevrim Santrali’nde oluşan teknik arıza nedeniyle Akdeniz ile Ege ve Marmara bölgelerindeki İstanbul’un Anadolu yakası ve İzmir başta olmak üzere on üç şehir enerjisiz kalmıştır. Kesinti yaklaşık olarak 6 saat sürmüştür. Arızalar; aşırı yüklenme, teçhizatın eskimesi ve deforme olması, dengesiz yüklerin dağılımı, yetersiz kapasitif ya da reaktif güç desteği gibi çok fazla sebeplerden dolayı olabilmektedir ve bunlara bağlı sistem oturması diğer ismiyle gerilim çökmesi sorunlarıyla karşılaşılabilir.

Güç sistemlerinde oluşan arızalar tek faz eşdeğer devrenin modellenmesiyle arıza analizleri gerçekleştirilmektedir. [5]

Güç sistemlerinde işletme şartlarının uygun bulunması ve kullanılan malzeme ve teçhizatların düzenli bakımlarının yapılıyor olması, sistem üzerinde gerçekleşmesi muhtemel arızaların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Güç sisteminde bulunan eleman ve malzemeleri mümkün olduğu müddetçe iyi korumak gerekmektedir. [41]

Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların birçoğu atmosferik kaynaklıdır. Coğrafi olarak bölge analizi yapılmalı, nakil hatları monte edilirken tüm durumların göz önüne alınması gerekmektedir. Buz yükü ve kar, rüzgar, kuşlar ayrıca fırtınaların taşıdığı uçurtma ve poşetler arızalara neden olmaktadır. İzolatör yüzeyinde oluşan çamur ve toz birikintileri, yıldırımlar, doğal afetler de arıza sebeplerini oluşturmaktadır. [40]

Güç sistemi üzerinde gerçekleşen arızaları önleyebilmek için koruma röleleri kullanılır. Bu röleler sistemde arıza oluştuğu anda arıza noktasına en yakın konumdaki rölenin bu

arızayı algılayarak ve bağlı bulunduğu kesiciye komut göndererek kesiciyi açtırması ve arızalı bölümün devre dışı bırakılması şeklinde gerçekleşir. [38]

Arıza tiplerin bulunması ve arıza yerinin neresi olduğu konusunda çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bununla ilgili son zamanlarda yapay zeka araştırmaları yapılarak akıllı sistemler üzerine çalışılmaktadır. [34]

Güç sistemlerindeki arızaların yaklaşık %80'i tek faz-toprak arızalarıdır. Sistemde görülen en az arıza tipi ise üç fazlı simetrik arızalardır. [53],[15]

Günümüzde bilgisayar programları vasıtasıyla yük akış analizleri gerçekleştirilerek gerilim, açı, genlik ve hatlar ile ilgili parametreleri hesaplayabilmek mümkündür. [19]

Güç akışı yöntemi ile sistemin en uygun çalışma şartları belirlenir, bu çözümden salınım barası haricindeki tüm bara gerilimlerinin genlikleri ve açıları bulunmaktadır. Daha sonra, sistemdeki hatlardan iletilen, aktif ve reaktif güçler ve hatlardaki kayıplar hesaplanmaktadır. Optimal güç akışı analizi, üretim birimlerinin sistemin maliyetini minimuma indirebilecek şekilde yüklenmesini ve aynı zamanda tüm bara gerilimlerinin genlikleri ve açılarını, reaktif güçlerini hesaplar. [55]

Bir güç sisteminde analiz yapılırken sistemdeki baraların sınıflandırılması gerekmektedir. Bu durumda baralar Salınım Barası, Üretim Barası (P-V) ve Yük Barası (P-Q), şeklinde sınıflandırılmaktadır.

## 1.1. LİTERATÜR TARAMASI

Güç sistemlerinde arıza analizleri ve yük akışı için literatürde çok fazla çalışma bulmak mümkündür. Farklı bilgisayar programları ile analiz ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş olup çeşitli araştırma raporları hazırlanmıştır. Güç sistemlerine için yapılmış bazı çalışmalar ise;

P. Prudvi Raj şebekeye entegre yenilenebilir Dağıtılmış Üretim (DG) ağı için yeni bir pasif ada tanıma tekniği sunmuştur. Yapılan çalışmada oluşturulan sistem bir 13 bara sistemidir ve çeşitli ada dışı koşullar için test etmiştir. MATLAB R2016a yazılımı kullanılarak bir mikro şebeke ağı simüle etmiştir. [28]

S. Mishra ve YS Brar tarafından MATLAB Kullanarak yük akışı analizi çalışmasını gerçekleştirerek Newton Raphson yük akışı analizinde IEEE 14 bara sistemi hem de IEEE 30 bara sistemi için incelenerek aktif güç kaybı ve reaktif güç kaybı için grafikler

ve sonuçlar verilmiştir. [28]

D. Asija ve ark. MATLAB kullanarak WSCC 9 Bara test sisteminin güç akışı çalışması ve acil durum durumu çalışması yapmışlardır. MATLAB ortamında PSAT araç kutusu kullanılarak 9 baralı test sisteminin maksimum yükleme parametresi hesaplanmış ve beklenmedik durum analizi incelemesi yapılmıştır. [28]

J. Prajapati ve ark. Matlab ile yük akışı, kısa devre ve kararlılık analizi çalışmasını yapmışlardır. Gauss-Seidel, Newton Raphson ve Decouple yöntemleri kullanılarak kısa devre ve kararlılık analizleri gerçekleştirmişlerdir. [28]

J. Jangra ve S. Vadhera Matlab kullanan üç fazlı dengesiz dağıtım besleyicileri için yük akış analizi çalışmasını yaparak yük akış analizi için Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır. [28]

U. Shahzad PowerWorld Simülator ile yük akışı analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar programı PowerWorld Simülator kullanarak 16 baralı sistem üzerinde arıza analizi ve yük akışı gerçekleştirerek ortaya çıkan sonuçları değerlendirmiştir. [28]

Afolabi ve diğerleri Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarını kullanarak iterasyon ve yakınsama durumlarını araştırmıştır. [28]

Singh ve diğerleri 30, 57 ve 118 baralı test sistemlerini Gauss-Seidel ve Newton-Raphson metotlarını kullanarak iterasyon sayıları, toplam hat kayıpları ve hesaplama sürelerine göre karşılaştırmıştır. [28]

Kumar ve diğerleri 57 baralı sistemde statik senkron kompanzatorün yer tespiti için Gauss-Seidel, Newton-Raphson ile karşılaştırmıştır. [28]

Kailay ve diğerleri 5 ve 30 baralı test sistemleri için Gauss-Seidel ve Newton-Raphson metotlarını gerilim genlik ve açı değerlerine göre karşılaştırmıştır. [28]

Dharamjit ve diğerleri 30 baralı test sistemi için Newton-Raphson ve Gauss-Seidel metotlarını gerilim genlik ve açı değerleri açısından karşılaştırmıştır. [28]

Seng ve diğerleri 14, 24, 30, 39, 57 ve 118 baralı test sistemlerini geleneksel Newton-Raphson ve geliştirilmiş Newton-Raphson metotlarıyla karşılaştırılmıştır. [28]

Mokhlis ve diğerleri 664 baralı bir güç sistemi için geliştirdikleri ikinci dereceden yük akışı metoduyla Newton-Raphson ve Fast Decoupled metotlarını iterasyon, gerilim genlik ve açı değerlerine göre karşılaştırmıştır. [28]

Kamel ve diğeri 9, 30 ve 118 baralı sistemleri Newton-Raphson metodunu gerilim ve açı değerleri açısından karşılaştırmıştır. [28]

Borzacchiello ve diğeri 14, 30 ve 57 baralı sistemleri Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Fast Decoupled metodlarını iterasyon sayıları ve gerilim dūřümlerine gōre karşılaştırmıştır. [28]

Salih Tosun tarafından yapılan çalışmada yeni bir yōntem olarak gerilim kararlılığının kritik değerleri, sezgisel yōntemlerle elde edilmiştir. [42]

Muhammed Maşuk Doğanay tarafından gō sistemlerinde simetrik arızalar araştırılarak arıza analizleri ve uygulamaları gerçekleştirmiştir. İ Batı Anadolu Bōlgesine ait gō sistemini PowerWorld Simōlatōr ile grafik tabanlı bilgisayar destekli program ile birlikte analizler ve gō akışı hesaplamaları yapmıştır. [25]

Alperen alışır Power World Simōlatōr programı ile Bursa ili bōlgesi iletim sisteminin modellenmesini incelemiştir. [25]

Merve Karlitepe etinkaya tarafından radyal elektrik dağıtım şebekesi test sistemi tasarımı ve dağıtık ūretim analizi çalışması yapılmıştır. [25]

Būřra Őzyōrek tarafından Tūrkiye’de enterkonnekte sistemin ōkmesi durumunda Bartın ilinin şebekeden bağımsız acil durum beslemesi çalışmasını yapmıştır. Bartın ilinin dağıtım şebekesi Digsilent Power Factory analiz programı kullanılarak modellenmiştir. Simōlasyonda yūk akış analizi, gerilim ve frekans kontrolleri yapılarak gerekli analizler yapılmıştır. [6]

Celal Yařar ve diğeri gōrsel bir program, yūk akışı analizi ve aktif gō optimizasyonu uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. [33]

Orhan Deniz Iđdır ilinin enerji tūketimi ve bu tūketimi karřılayacak ūretim, Iđdır iline ait ūretimi devam eden yenilenebilir enerji kaynakları arařtırılmıřtır. Iđdır ilinde mevcut olan yenilenebilir enerji kaynakları ve trafo merkezi, MATLAB/Simulink ile modellenip ve bir fizibilite çalıřması yapılmıřtır. [33]

Ahmet ifti ve diğeri tarafından elektrik sistemlerinin arıza oluşturan sebepler araştırılarak analiz edilmiştir. [3]

Bilal Erim tarafından 154kV bir iletim şebekesindeki trafo merkezlerine ait bara kısa devre analizlerini yapmıştır. [25]

Hakan akır ve Muhsin Tunay Gençoğlu yk akışının analiz edilmesi için MATLAB/guide tabanlı program kullanmıştır. [25]

Yasin İçel ve diğerleri PowerWorld simülatör programında yenilenebilir enerji sistemlerinin güç sistemine dahil edilmesini incelenmiştir. [56]

Mehmet Yeşilbudak ve arkadaşları Gauss-Seidel, Newton-raphson ve Fast Decalled metotlarını kullanarak farklı tolerans değerlerini incelemişlerdir. [28]

İsmail ylek ve Metin Varon tarafından Kuzeybatı Anadolu bölgesinde ait güç sistemi PowerWorld simülatör programı ile incelenmiştir. [25]

Hasan Uzal ve arkadaşları İzmir bölgesini PowerWorld simülatör programında modellemiştir. [25]

Ali ztrk ve Serhat Duman hatlarda meydana gelen kayıpları ve gerilim genlik değerlerini Genetik algoritma ile hesaplamışlardır. [4]

Nihat Pamuk tarafından Sakarya ili sapanca ilçesi Matlab programı ile modelleyerek üç faz kısa devre arızası hesaplamıştır. [32]

Ramazan Bayındır ve arkadaşları çalışmalarında gerilim kararlılığına etki eden bozucu etkenleri ele almıştır. [28]

Asım Kaygusuz ve arkadaşları yenilenebilir enerji santrallerinin güç sistemlerine entegre edildiğinde sistem kararsızlığına neden olabilecek olumsuz senaryoları incelemişlerdir. [25]

Burak Yıldırım tarafından mikro şebekelerin g kararlılığına etkileri incelenmiştir. Güç sistemlerinde meydana gelen kararlılık problemleri ve bu problemlerin sınıflandırmaları yapılmıştır. [25]

Veysi Doğruer tarafından Van ilindeki muhtemel durum analizlerini MATLAB/Simulink ile modellenip ve bir uygulama çalışması yapmıştır. [52]

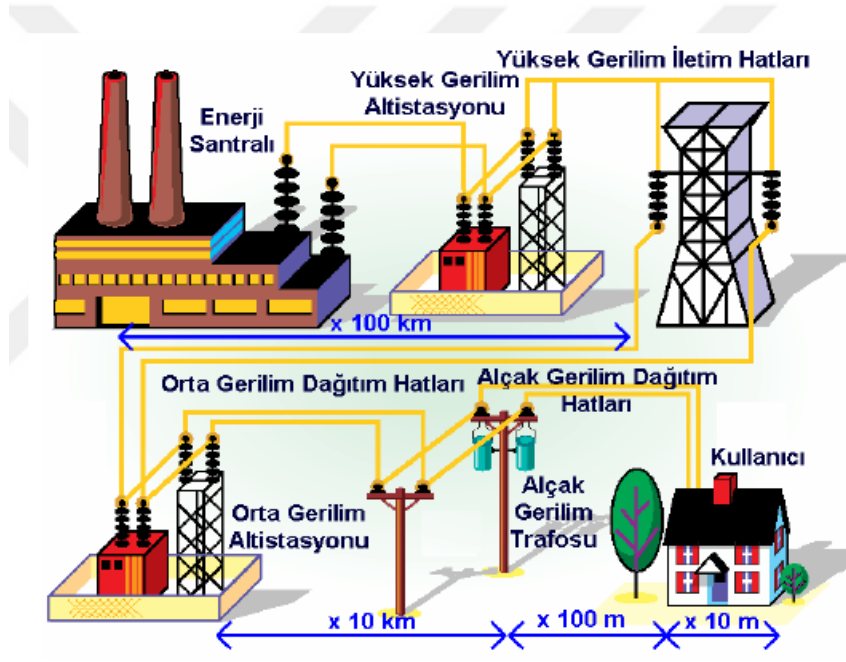
Sefer Soysal tarafından Bolu-Düzce bölgesi 154/34,5kV iletim ve dağıtım şebekesini Simulink programında incelenmiştir. [41]

Yapılan bu tez çalışmasında ise; Türkiye enterkonnekte sistemi incelenerek Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Bolu-Düzce ve Zonguldak illerini kapsayan bir ada oluşturulmuştur. Matlab Psat programı ve PowerWorld Simülatör programı üzerinden bilgisayar ortamında iletim hatlarında güç akışı ve arıza analizi simülasyonları yapılarak

niceliksel olarak analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Olası senaryolar ile enerji nakil hatlarında oluşabilecek yanlış manevra sonucu kesici amaları veya faz toprak arızaları ve faz-faz arızaları incelenerek, mesafe koruma rölesi çalışmasına neden olan arızalar, sistem oturmaları(Sıfır İstasyon), irtibat hatlarındaki durumlar gibi çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelebilecek sistem çökmeleri(Blackout) durumları araştırılmış ve bu durumlardan kaynaklı sistem çökmeleri sonucunda enterkonnekte sistemin tekrar nasıl toparlanabileceği(Blackstart) konularında geleceğe ışık tutan bir çalışma yapılmak istenmiştir. Türkiye enterkonnekte sisteminin verimli ve etkili bir şekilde çalışmasına katkı sunarken ayrıca gelecekte planlanan geliştirme programlarına, manevra ve bakım çalışmalarına da yardımcı olması dūřünölmüřtür.

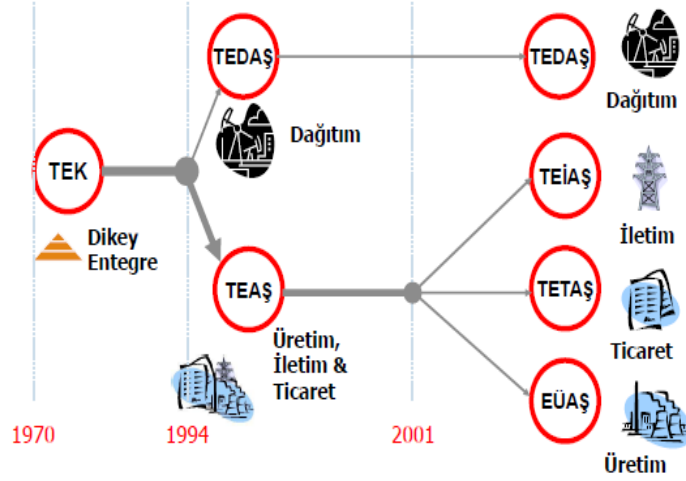
## 2. GÜÇ SİSTEMLERİ

Güç sistemlerini oluşturan bileşenler enterekte sistemin yüksek gerilim bölümünde yer alan teçhizatlardan meydana gelmektedir. Oto transformatörler, kesiciler, ayırıcılar, izolatörler, akım-gerilim trafoları, çelik örgülü alüminyum iletkenler, yüksek gerilimde kullanılan çatal-kule tipi direkler, gibi birçok bileşen bu sistem içerisinde yer alır. Elektrik enerjisi elektrik santralleri vasıtasıyla üretilir ve yüksek gerilime dönüştürülerek taşınır. Bu esnada üretim, iletim ve dağıtım işlemleri çeşitli birimler vasıtasıyla yönetilmektedir. Trafo merkezleri (TM) ve yük tevzi merkezleri (YTM) koordinasyonunda gerekli manevralar ile yük akışı ve yönlendirmeleri yapılmaktadır.



Şekil 2.1 Elektrik Enerjisinin Dağıtımı

Elektrik santrallerinden itibaren enerjinin üretilerek tüketicilere yani yük merkezlerine ulaştırılmasında iletim hatları kritik rol oynamaktadır. Ülkemizdeki tüm iletim hatlarının bir ağ şeklinde birbirine bağlanmasıyla da elektrik şebekesi oluşmaktadır.



Şekil 2.2 Elektrik Enerjisinin Üretimi İletimi ve Dağıtımından Sorumlu Şirketler

Tüm sistemin işletilmesinden ve yönetilmesinden başlıca kurumlarımız kendi iş sahaları ölçüsünde sorumludurlar. Günümüzde ise üretim, iletim ve dağıtım şirketleri farklı kurumsal yapıya bürünmüştür. 1970’lerde Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) ile başlayan süreçte 1990’lı yıllarda TEDAŞ ve TEAŞ olarak devam etmiştir. Bu şirketler 2001 yılından itibaren ise Üretim(EÜAŞ), Dağıtım(TEDAŞ), Ticaret(TETAŞ) ve İletim(TEİAŞ) şirketleri olarak yollarına devam etmektedirler.



Harita 2.1. Elektrik Enerjisinin Dağıtımından Sorumlu Şirketlerin Sorumluluk Sahaları

[25]

Tablo 2.1 Elektrik Enerjisinin Dağıtımından Sorumlu Şirketler [25]

ŞİRKET	GÖREV İLLERİ
Akdeniz Elektrik A.Ş. (AKDENİZ EDAŞ)	Antalya, Burdur, Isparta il sınırları
Aras Elektrik A.Ş. (ARAS EDAŞ)	Erzurum, Ağrı, Ardahan, Bayburt, Erzincan, Iğdır, Kars
Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. (ÇORUH EDAŞ)	Trabzon, Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize
Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. (DEDAŞ)	Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin, Batman, Siirt, Şırnak
Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. (FIRAT EDAŞ)	Elazığ, Bingöl, Malatya, Tunceli
Gediz Elektrik Dağıtım A.Ş. (GDZ EDAŞ)	İzmir, Manisa
Göksu Elektrik Dağıtım A.Ş. (AKEDAŞ)	Kahramanmaraş, Adıyaman
Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş. (ÇEDAŞ)	Sivas, Tokat, Yozgat
Menderes Elektrik Dağıtım A.Ş. (AYDEM)	Aydın, Denizli, Muğla
Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş. (OSMANGAZİ EDAŞ)	Eskişehir, Afyon, Bilecik, Kütahya, Uşak
Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş. (TOROSLAR EDAŞ)	Adana, Gaziantep, Hatay, Mersin, Osmaniye, Kilis
Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ)	Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Yalova
Vançölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ)	Bitlis, Hakkari, Muş, Van
Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş. (YEDAŞ)	Samsun, Amasya, Çorum, Ordu, Sinop
Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş. (BAŞKENT EDAŞ)	Ankara, Kırıkkale, Zonguldak, Bartın, Karabük, Çankırı, Kastamonu
Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ)	İstanbul ili Rumeli Yakası.
İstanbul Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş. (AYEDAŞ)	İstanbul ili Anadolu Yakası.
Kayseri ve Civarı Elektrik Dağıtım Şirketi (KCTAŞ)	Kayseri (Türkiye'deki ilk Dağıtım Şirketi-1926)
Meram Elektrik Dağıtım A.Ş. (MERAM EDAŞ)	Kırşehir, Nevşehir, Niğde, Aksaray, Konya, Karaman
Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. (SEDAŞ)	Sakarya, Bolu, Düzce, Kocaeli
Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş. (TREDAŞ)	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ.

Türkiye'nin toplam enerji üretimini de ifade eden kurulu güç kavramı ise ülkemizdeki tüm elektrik santrallerinin üretebileceği gücü ifade etmektedir. 1980'li yıllarda 5000MW dolaylarında olan kurulu gücümüz 2022 yılı itibarıyla 100.000MW gücü aşmıştır.



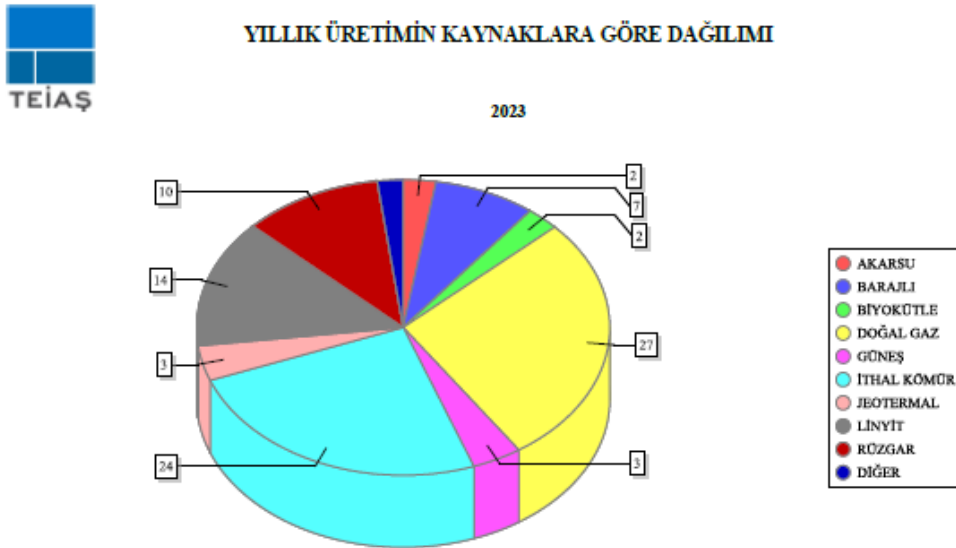
Şekil 2.3 Türkiye'nin Kurulu Güç Değişimi [16]

Dünyada olduğu gibi elektrik enerjisi üretiminde ülkemizde de son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına (Rüzgar, Su, Güneş, Jeotermal) daha fazla yatırım yapılmakta,

özellikle yenilenebilir enerji alanı yeni yasalar ile teşvik edilmekte olup bu kaynaklardan enerji üretimine öncelik verilmektedir. 2021 yılında ise yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretim yapılan bu oran miktarı %50 üstünde değere ulaşmıştır.



Şekil 2.4 Kaynaklara Göre Türkiye'nin Kurulu Gücü [16]



Şekil 2.5 Türkiye'deki Elektrik Santrallerinin Kaynaklara Göre Dağılımı [16]

## 2.1. ELEKTRİK ŞEBEKESİ

Güç sistemlerinde elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisini tüketicilere aktaran sistemin adı elektrik şebekesidir. Şebeke sistemi elektrik üreten elektrik santralleri,

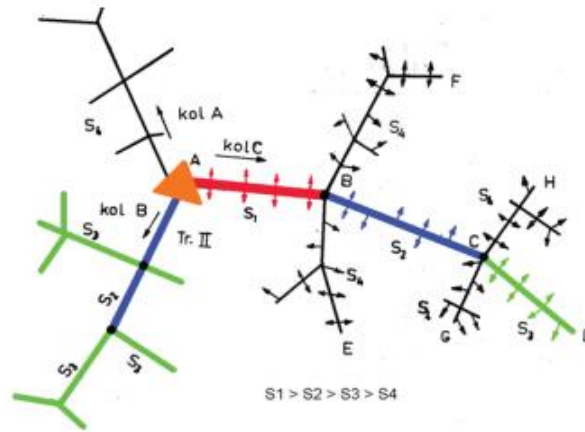
iletim hatları ve dağıtım fiderlerinden meydana gelir. Ülkedeki ya da bölgedeki tüm trafoların paralel bağlı olduğu sisteme enterkonnekte sistem ismi verilir. Enterkonnekte sistem enerjinin sürekli arzı için gereklidir. Kullanıldıkları gerilim seviyelerine göre şebeke sistemleri dört gruba ayrılır. Bunlar;

- Alçak Gerilim Şebekeleri (AG) (1-1000 Volt arası)
- Orta Gerilim Şebekeleri (OG) (1kV-35 kV arası)
- Yüksek Gerilim Şebekeleri (YG) (35kV-154 kV arası)
- Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri (154 kV'tan fazla)

Elektrik şebekeleri yapılarına göre ise; Açık (Dalbudak veya radyal) şebekeler, Kapalı (Ring ve gözlü) şebekeler ve Enterkonnekte şebekeler olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

### 2.1.1. Açık (Dalbudak veya Radyal) Şebekeler

Yerleşim ve şehir merkezleri, köy ve kasabalarda beslemesi genellikle tek kaynaktan yapılan ve dağılım şekli ağaç dallarına benzeyen şebeke türüne denir. Dallı şebekelerde dağıtım yapılacağı yerin yük bakımından ağırlık merkezlerine trafolar yerleştirilir. Bu trafonun etrafındaki iletim yapılacak olan alıcılara(sokak lambaları, apartmanlar, dükkanlar vb.) bir ağacın dalları gibi önce kalın kollara daha sonra da ince kollara ayrılarak son alıcıya kadar ulaşır.

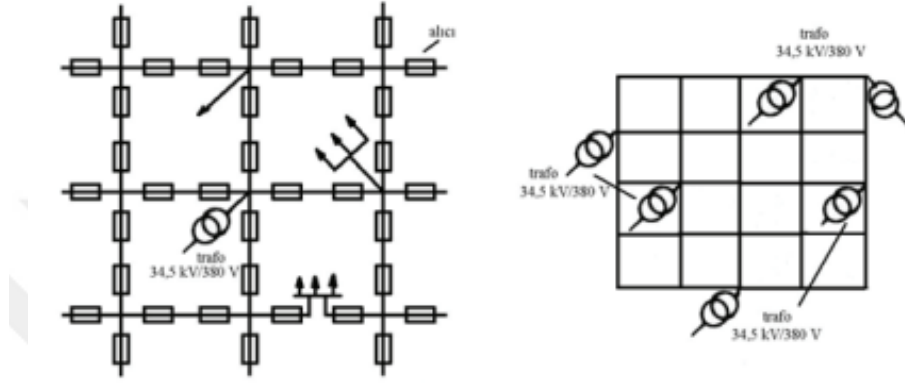


Şekil 2.6. Dallı Şebeke Sistemi [49]

### 2.1.2. Kapalı (Ring ve Gözlü) Şebekeler

Enerjinin iletilmesi gereken şehir merkezlerine, kasaba ve köylere uygulanan, beslemenin birden fazla trafo ile yapıldığı ve alıcıları besleyen hatların bir ağ gibi

örülerek gözlerin oluşturulduğu şebeke tipidir. Ağ gözlü şebekelerde besleme sürekli trafolarla yapılır ve bir arıza meydana geldiği zaman sadece arıza olan kısmı enerjisiz kalır. Arıza olursa sigorta veya özel koruma elemanları devreye girer. Bu tür şebekeler de yine kesintisiz enerji alınabildiği gibi sisteme güçlü alıcılarda bağlanabilir. İşletimleri ve bakımları zor olması ve kısa devre akımı etkisinin büyük olması da dezavantajlarındandır.

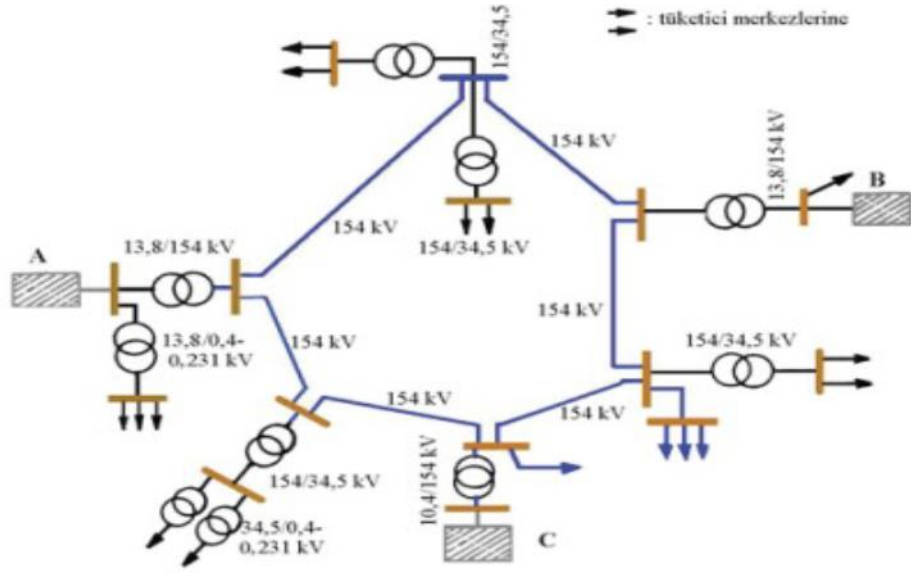


Şekil 2.7. Ağ(Gözlü) Şebekeler [49]

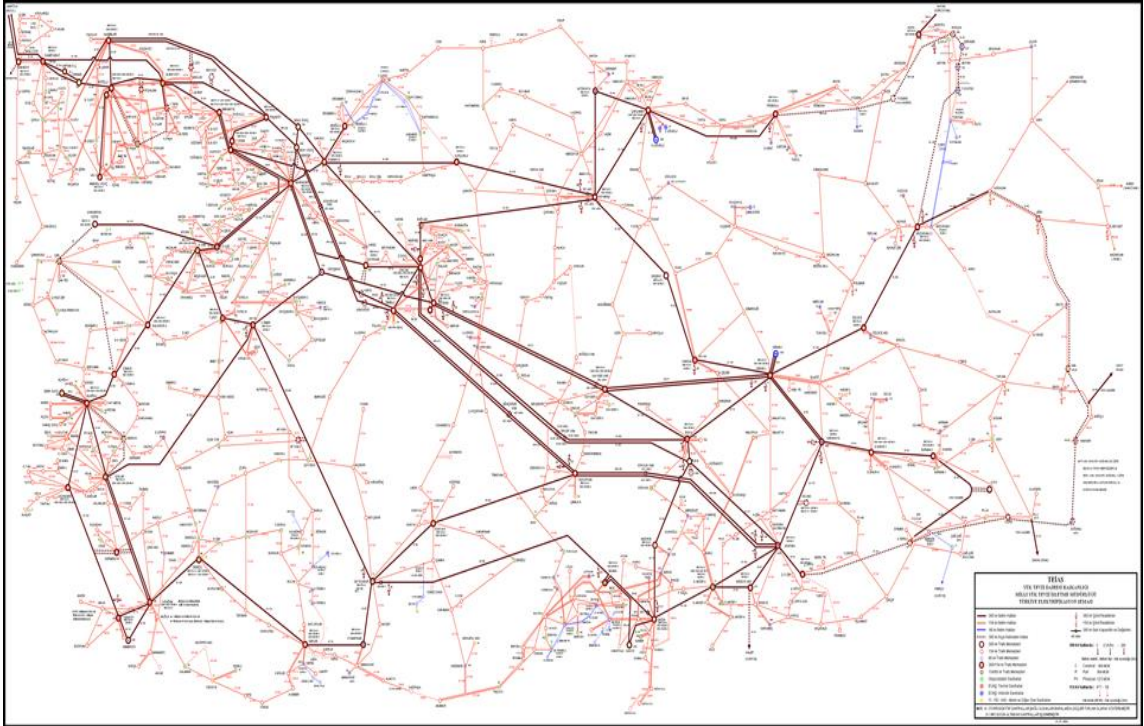
### 2.1.3. Enterkonnekte Şebekeler

Dilimize İngilizceden interconnect(bir elektrik veya makine güçleri taşıyanları arasında bağ kuran şebeke) kelimesiyle giren bir ülkenin tamamının yada belirli bölgelerinin elektrik enerji gereksinimlerini karşılayabilecek bir biçimde üretim ile tüketim merkezleri arasındaki enerji alışverişini sağlayan enerji taşıma sistemine enterkonnekte sistemi denir. Bu tip şebekelerde, o bölgedeki bütün elektrik üretim ve tüketim araçları büyük küçük ayrımı yapılmaksızın sisteme dahil edilmektedir. Genellikle birbirinden uzak olan elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı iletim şebekeleri ve enterkonnekte sistemlerle sağlanır.

Enterkonnekte şebekelerin en önemli avantajları arasında yüksek verim, kesintisiz elektrik sağlayabilme ve ekonomiklik bulunmaktadır. [3]



Şekil 2.8. Enterkonnekte Şebeke Sistemi [49]



Şekil 2.9. Türkiye Enterkonnekte Sistemi –TEİAŞ 380kV ve 154kV ENH [5]

## 2.2. TÜRKİYE ELEKTRİK ŞEBEKESİNDEKİ YÜK TEVZİ MERKEZLERİ

Elektrik enerjisinin üretimi ve iletimi esnasında kontrol ve yönlendirme işlemlerini Yük Tevzi Müdürlükleri idaresindeki Yük Tevzi Merkezleri yapmaktadır. Merkezi Ankara Gölbaşı'nda bulunan Milli Yük Tevzi Müdürlüğü (MYTM) ve bağlı bulunan dokuz Yük Tevzi Müdürlüğü ile tüm Türkiye enterkonnekte sistemi an be an izlenmekte ve işletilmektedir.

Türkiye elektrik şebekesinin yük durumlarını, santrallerin üretimini, yenilenebilir enerjinin hangi durumlarda ve daha öncelikli olarak devreye alınacağı, ada modlarına geçişleri, irtibat hatlarının göz önünde bulundurulmasını, trafo merkezlerinin yapacağı manevraları ve yönlendirilmesini, gerekli arıza ve bakım manevraların yaptırılmasını, akım-gerilim, güç ve frekans gibi iletim hatlarında bulunan bütün elektriksel ve niceliksel verilerin kaydedilmesi, bilgisayar ortamında analizlerinin yapılması gibi daha birçok işlevi yerine getiren bu merkezler enterkonnekte sistemin sağlıklı bir şekilde işletilmesini sağlamaktadırlar. Tüm bu görevleri Yük Tevzi Merkezleri(YTM) hassasiyetle yerine getirmektedir.



**Görsel 2.1.** Yük Tevzi Merkezi (YTM) [16]

Milli Yük Tevzi Merkezi(MYTM) dokuz adet Bölgesel Yük Tevzi Merkezi(BYTM) ile birlikte ülkemizin elektrik iletim sistemini işletmektedir.

Milli Yük Tevzi Merkezi, ulusal enerji üretim ve iletim sisteminin güvenliğini ve arz kalitesini koruyarak gerçek zamanlı üretim-tüketim dengesinin sağlanmasında ve şebekenin ana omurgasını oluşturan 400 kV iletim sisteminin işletilmesi ile dengeleme

güç piyasası ve gerçek zamanlı yan hizmetler piyasasının işletilmesinde en önemli işlevi görmektedir.

Bölgesel Yük Tevzi Merkezleri ise esas olarak 154 kV iletim sisteminin işletilmesi, manevra, veri toplama ve değerlendirme faaliyetlerini yürütmektedir. [16]



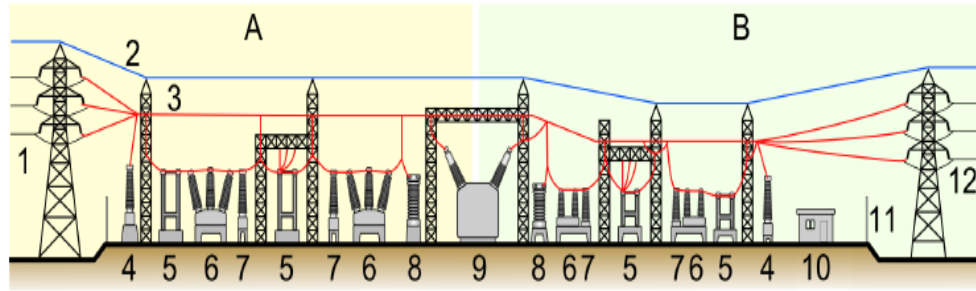
Harita 2.2. Türkiye'nin YTM haritasını göstermektedir. [3]

## 2.3. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEÇHİZATLAR VE ŞALT MALZEMELERİ

### 2.3.1. Transformatör Merkezi

380kV ve 154kV Trafo merkezleri ile ülkemizin tüm enerji ağı enterkonnekte şebeke sistemi ile birbirine bağlı bir şekilde işletilmektedir. Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım esnasında ara merkez konumundaki bu merkezler güç sisteminin ortasında adeta bir beyin olarak yürütücü işlev yapmaktadır. Koruma, kumanda ve manevra imkanlarıyla sistemin sağlıklı bir şekilde işletilmesinde önemli bir görevi yerine getirmektedir. Genel yapısı itibariyle şalt sahası ve kumanda binasından meydana gelen trafo merkezleri içerisinde kesiciler, ayırıcılar, güç transformatörleri ve oto transformatörleri, akım ve gerilim transformatörleri, line trap(hat tıkaçı), baralar, redresörler, ölçü aletleri, senkronoskop cihazları, akü grupları, koruma röleleri ve

yardımcı elemanlar gibi birçok malzeme ve teçhizatı barındırır.



1. Birinci İletim Hattı, 2. Topraklama Hattı, 3. Havai Hat, 4. Gerilimin Trafolar İçin Ölçümü,
5. İzolatörler, 6. Kesiciler, 7. Akım Transformatörü, 8. Yıldırım Parafudru, 9. Ana Trafo, 10. Kontrol Binası,
11. Güvenlik Çitleri, 12. İkincil İletim Hattı

Şekil 2.10. Açık Şalt Sahası Bütünleşik Sistem Görünümü [33]

Elektrik enerjisi üretim, dağıtım ve iletiminin yapıldığı bu tesislerde Oto transformatörler vasıtasıyla gerilim seviyesi istenilen değerlere dönüştürülerek iletim hatları, güç merkezleri ve tüketim yerleri beslenmektedir. Elektrik enerjisini aynı gerilim seviyesindeki baralarda toplamaya ve bu gerilim ya da akım seviyesini güç aynı kalmak kaydı ile aynı frekansta farklı voltaj seviyelerine dönüştüren oto transformatörlerdir. Aynı zamanda yük merkezleri ve 34,5kV (OG) orta gerilim seviyesindeki alıcılar ve tüketim yerlerine besleme güç trafoları kullanılır. Diğer bir ifade ile OG fiderlere de güç transformatörleri vasıtası ile güç aktarımı ve enerji beslemesi yapılır.

### 2.3.2. Trafo Merkezi Kumanda Bölümü

Transformatör merkezlerinde bina içerisinde yer alan kumanda bölümlerinde kumanda odası, akü grup odası ve röle odası olmak üzere genel olarak üç ana bölüm bulunmaktadır. Kumanda odasında bulunan kumanda panoları üzerinde ölçü aletleri, sinyal lambaları, kumanda butonları, sesli korna ve ışıklı arıza gösterge sinyalleri ve manevra şemaları bulunmaktadır.

Manevra şeması üzerinde farklı renkler mevcuttur. İşletme operatörleri tarafından kesici ve ayırıcılara uzaktan açma kapama komutları verilerek güvenli ve hızlı bir

manevra yapma imkanını sunan gerilim seviye renkleri aşağıda gösterilmiştir.

- 380kV kahverengi
- 154kV kırmızı
- 66kV-34,5kV mavi
- 15kV-10,5kV sarı

Trafo işletme operatörleri tarafından iş güvenliği kurallarına uygun olarak manevralar gerçekleştirilmektedir.154kV ve 380kV yüksek gerilim manevraları yük tevzi merkezleri tarafından yaptırılmaktadır. Manevra öncesinde YTM manevra formunu fax-mail yöntemleriyle trafo merkezine göndermekte olup kuranportör cihazı yada pax makinasıyla adım adım manevrayı yönetmektedir.

Kumanda panosu üzerine önlem ve tedbir amaçlı iş güvenliği kartları yapıştırılarak manevra sonrası şema üzerine monte edilmektedir. Bu kartlar;

Kırmızı Kart: Dokunma Tehlike Var

Turuncu Kart: Dokunma Çalışma Var

Sarı Kart: Dikkat Gerilim Altında Çalışma Var

Beyaz Kart: Özel Durum Kartı



Şekil 2.11. Güvenlik Kartları

Kumanda panosu üzerinde akım, gerilim, frekans ve güç değerlerini gösteren ölçü aletleri saat başı kontrol edilerek kayıt altına alınmaktadır. Tüm bu değerler aynı zamanda BYTM sistemine online olarak işlenmekte ve kaydedilmektedir.

Elektriksel nicelik olan bu büyüklükler MYTM bünyesinde toplanarak analiz edilmektedir. Tüm sistemin istenilen değerler arasında çalışıp çalışmadığı anlık olarak kontrol altında tutulmakta ve izlenmektedir.



Şekil 2.12. Trafo Merkezi(TM) Kumanda Odası

### 2.3.3. Akümülatör (Akü) Odaları

Trafo merkezi içerisinde bulunan diğer bir bölüm ise akümülatör odasıdır. Trafo merkezlerinde 110V DC ve 48V DC olmak üzere ayrı odalarda iki akü grubu bulunmaktadır. Aküler stasyonier tip sabit tesis için üretilmiş kurşun asitli akümülatör gruplarıdır. Bomemetre ile işletme teknisyenleri tarafından günlük her vardiya yoğunlukları ölçülerek kontrol edilmektedir. Oda sıcaklığında 1.240 gr/cm<sup>3</sup> elektrolit sıvısının yoğunluğu bulunmaktadır. Trafo merkezinde enerji tamamen kesildiğinde diğer bir ifade ile istasyon sıfır olduğunda kesicilere uzaktan komut verebilmek(Remote Control) ve YTM ile iletişim kurabilmek, pax ve diğer haberleşme cihazlarının çalışabilmesi için stasyonier akü grupları kullanılmaktadır.



Şekil 2.13. Trafo Merkezi Akü Odası

#### 2.3.4. Senkronoskop Panosu

Senkronoskop panosu üzerinde voltmetre, frekansmetre ve senkronoskop cihazı bulunmaktadır. Trafo merkezine girişi olan tüm 154kV ve 380kV ENH birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Enterkonnekte sistem ülkede ve bölgede bulunan tüm trafoların paralel bağlı olduğu sistemdir. Bağımsız çalışan gerilimi ve frekansı farklı iki ayrı sistemi paralele almak için diğer bir ifade ile ringe girmek için izin verilen değerler arasında olmasının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Senkronoskop panosu üzerinde bulunan senkronoskop anahtarı ile senkronoskop panosu ve üzerinde bulunan ölçü aletleri aktif hale gelmekte olup işletme teknisyenleri YTM koordinasyonunda iletim hatlarının kesicilerine kapama kumandası vererek ringe girmektedirler.



Şekil 2.14. Senkronoskop Panosu

### 2.3.5. Oto Transformatörler

Transformatörler enterkonnekte güç sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Elektrik enerji ağı ve şebekesinin en önemli parçalarından biridir. Frekansı değiştirmeden akım ve gerilim ayarı yapan güç oranını sabit tutan ve hareketli parçası olmayan yüksek verimli elektrik makineleri olan transformatörler ile güç aktarımı yapılmaktadır.

Oto trafolar birincil sargılarının (primer sargı) tamamının ya da bir kısmının ikincil sargı(sekonder sargı) olarak kullanan transformatörlerdir. Oto transformatörler ile tek sargıdan farklı gerilim seviyeleri için kademeli olarak çıkışlar alınarak kolaylıkla gerilim seviye değişimleri yapılabilmektedir.

Oto transformatörün çok sayıda avantajını sıralamak mümkündür. Bunlardan birkaçından bahsederek;

- Gerilim alçaltma ve yükseltme işleminde tek sargı kullanan bu transformatörler küçük güçlerde daha az yer kaplarlar.
- Çıkış gerilimi kademe dönüştürücüler ile birlikte kullanılarak ayarlanabilir.
- Normal trafolarla göre oto transformatörlerin ısınmaları daha azdır.
- Oto transformatörlerin verimleri yüksektir.
- Oto transformatörlerde tek sargı kullanıldığından bakır, demir ve diğer kayıpları diğer transformatörlere göre daha azdır.



Şekil 2.15. Oto Transformatör

### 2.3.6. Ayırıcılar

O.G ve Y.G seviyelerinde farklı tipte ayırıcılar kullanılmaktadır. Yük altında olmayan devreleri açma işleminde kullanılan ayırıcılar gözlemlenebilir bir ark aralığı, yüksek izolasyon ve yalıtım sağlar. Emniyetli bir çalışma imkanı sunan bu şalt cihazları farklı tipte imal edilmektedir.

Kapalı alanda ve şalt sahasında kullanılan ayırıcılar dahili ve harici tip olmak üzere ikiye ayrılırlar. Güç iletimi ve aktarımı yapma, baraları bölümlere ayırma, manevra imkanı sağlama, çalışma yapılan hattın topraklanarak emniyetli çalışma olanağı sağlama gibi birçok alanda fayda sağlamaktadırlar.

Kullanıldıkları yere göre ise ayırıcılar;

- Transfer ayırıcıları
- Bara ayırıcısı,
- Topraklama ayırıcısı,
- Hat ayırıcısı,
- Topraklama ayırıcısı,
- By - Pass ayırıcı olarak isimlendirilirler.



Şekil 2.16. Pantograf Tipi Ayırıcı ve Ortadan Açmalı Ayırıcı

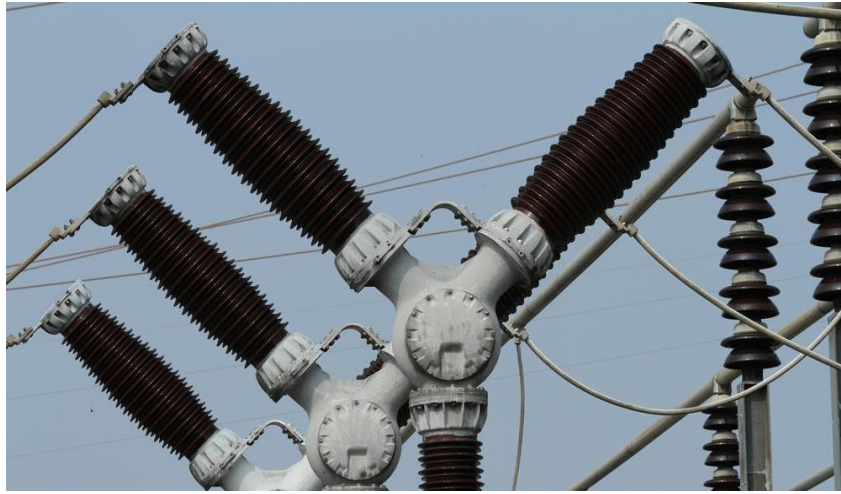
### 2.3.7. Kesiciler (Disjonktörler)

OG ve YG elektrik şebekelerinde yük akımlarını ve kısa devre akımlarını kesen elektrik teçhizatlarıdır. Enerjili sistemlerin enerjisini kesmeye yararlar. Asıl görevleri arıza durumu algılamak ve derhal elektrik akımını kesmektir. [33]

Sabit ve hareketli kontakları, ark söndürme hücresi ve işletme mekanizmaları olmak üzere üç ana gruptan oluşurlar. Kontakları arasındaki mesafe de kontak dirençleri de ayırıcılara oranla oldukça küçüktür. Yük altında açma ve kapama yaptıklarından sistemin tüm gücünü kesebilecek kapasitede olmalı, sistemin gerilim seviyesi göre seçilmeli ve kesicinin kısa devre kesme akımı da uygun olmalıdır. Kesiciler OG ve YG için farklı gerilim seviyelerinde (34,5kV-154kV-380kV) üretilirler. Kesicilere ilave ark söndürme hücreleri de monte edilebilmektedir. Elle kurlmalı, motorlu kurlmalı ve basınçlı kurma prensibine sahip kesiciler bulunmaktadır.

Akım kesme şekline göre kesiciler farklı isimler ile adlandırılırlar. Kesiciler;

- Yağlı Kesiciler( Az Yağlı, Tam Yağlı),
- Havalı Kesiciler,
- Vakumlu Kesiciler,
- SF-6 Gazlı Kesiciler,
- Basınçlı Havalı Kesiciler olarak beş çeşittirler.



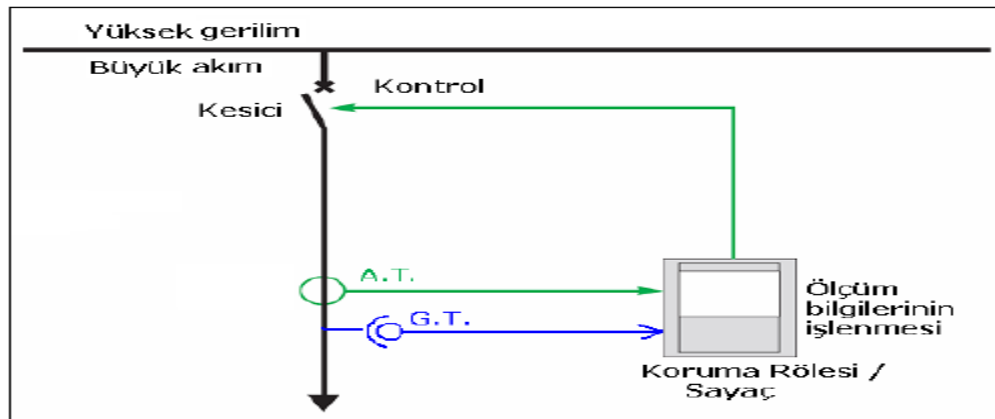
Şekil 2.17. 380kV SF-6 Gazlı Kesici (Disjonktör)

### 2.3.8. Akım ve Gerilim Transformatörleri (Ölçü Transformatörleri)

Güç sistemlerinde iletim yüksek gerilim ile olmaktadır. Koruma, kumanda ve ölçme işlemleri insan hayatı için risk teşkil etmektedir. Bunun için akım ve gerilim transformatörleri olan ölçü trafoları kullanılmaktadır. Bu şekilde yüksek izolasyon ve yalıtım imkanı ile beraber sağlıklı bir şekilde ölçme ve kumanda yapılabilmektedir. Akım transformatörleri iletim hattına seri bağlandığından hat akımını da taşımakta ve büyük ebatları ile ön planı çıkmaktadır. Gerilim transformatörleri ise iletim hattına paralel bağlı olarak görev yaparlar. Bir ucu bara veya iletim hattına bağlı iken diğer ucu toprağa bağlanmıştır. Gerilim transformatörleri akım transformatörlerine göre daha ince yapıdadırlar.



Şekil 2.18. Ölçü Transformatörleri (Akım ve Gerilim Transformatörleri)



Şekil 2.19. Ölçme ve Koruma Sisteminde Ölçü Transformatörlerinin Kullanımı

### 2.3.9. Enerji İletim Hatları (EİH)

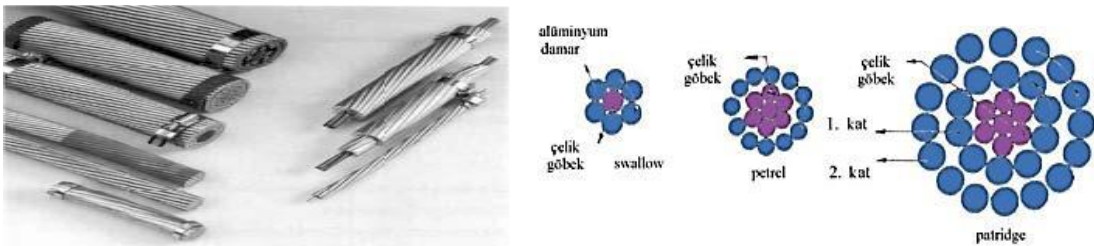
Elektrik enerjisinin üretiminden iletimine ve dağıtımına kadar bütün akım ve gerilim taşınma işlemi enerji iletim hatları vasıtası ile olmaktadır. Enterkonnekte sistemde ülkemizdeki tüm elektrik üretim santralleri, transformatör merkezleri ve dağıtım noktalarına kadar bir ağ gibi iletim hatları ile örülmüştür.

Enerji nakil hatları üzerinde taşınacak akımın kapasitesi, gerilim seviyesi, çalışma şartları, atmosferik etkiler, bölge ve coğrafi konum gibi etmenlere bağlı olarak farklı tel ve değişen kesit oranlarında kullanılırlar.

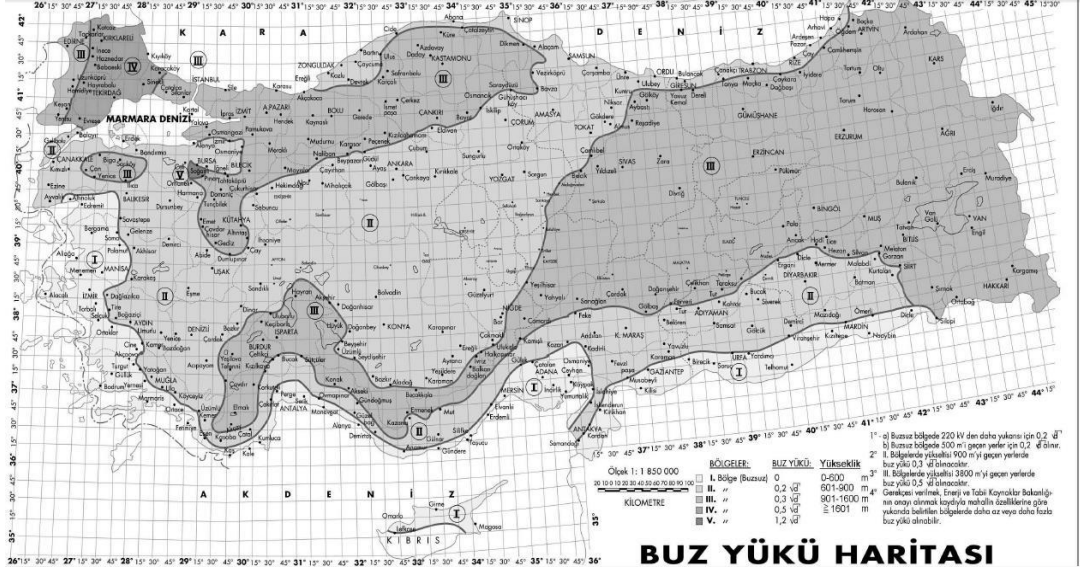
Ulusal elektrik sistemimizde iki farklı yüksek gerilim (YG) kademesi mevcuttur. 380kV ve 154kV EİH olarak üretim kaynakları yüksek gerilime dönüştürülerek bu hatlara bağlanmaktadır. Elektrik İletim Hatları (EİH) bir iletken olarak akım, gerilim ve frekans gibi elektriksel üzerindeki kar ve buz yükü, rüzgar, titreşim gibi istenmeyen mekanik etkilere de maruz kalmaktadır. Bu nicelikleri taşıırken aynı zamanda da atmosferik etkilere dayanmalıdır. İletim hattı nedenle dayanıklı olarak kopmayı önleyici gerekli esnek yapıda örgülü ve spiral olarak imal edilmektedirler.

Ülkemizde OG hatlarında genellikle SWALLOW, RAVEN ve PIGEON tipi iletkenler kullanılır.

YG enerji iletiminde ise 3AWG SWALLOW, 1/0AWG RAVEN, 3/0AWG PIGEON, 266 MCM PATRIDGE ve 477 MCM HAWK, 795 MCM ACSR DRAKE, 954 MCM ACSR CARDINAL, 954 MCM ACSR RAIL, 1272 MCM ACSR PHEASANT St-Al tipi iletkenler tercih edilmektedir.



Şekil 2.20. Çeşitli Tipte Alüminyum Örgülü İletkenler ve İç Yapısı

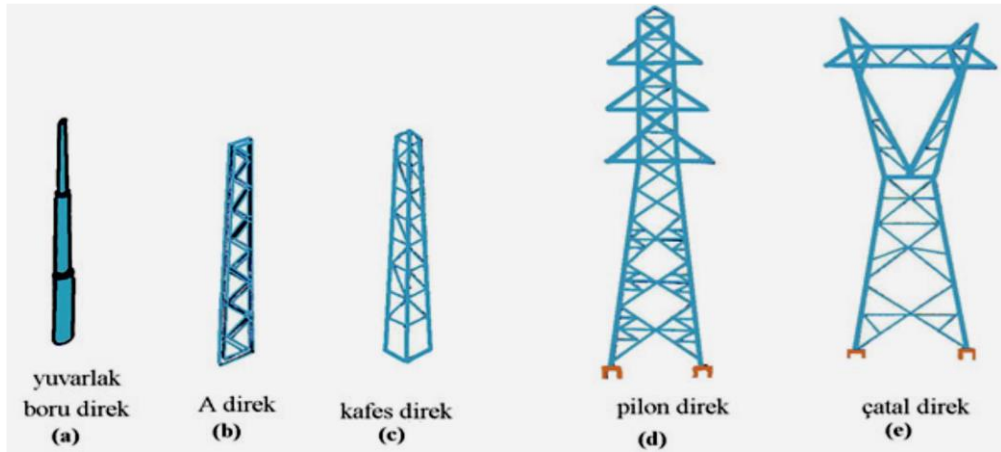


Harita 2.3. Türkiye Buz Yükü Haritası

### 2.3.10. Direkler

Yapıları göre elektrik direkleri demir, beton ve ağaç olarak imal edilirler. Yüksek gerilimde demir direklerden olan pylon-kule tipi ve çatal tipi direkler kullanılmaktadır. Pylon tipi direklerde çift devre 154kV ENH'da kullanılmakta olup çatal tipi direklerde ise 380kV ENH'da kullanılmaktadır.

Kullanım işlevlerine göre direkler durdurucu direkler, köşede durdurucu direkler, köşede taşıyıcı direkler, taşıyıcı direkler, branşman direkleri ve nihayet direkleri isimlerini alırlar.



Şekil 2.21. Çeşitli Direkler

### 2.3.11. Baralar

Baralar aynı gerilim ve frekans değerlerini içeren elektrik enerjisinin toplandığı ve bu merkezden kumanda edilerek korumalı bir şekilde dağıtıldığı iletken metal teçhizatlardır. Başta bakır ve alüminyum olmak üzere çeşitli iletken metallere yapılmaktadırlar. Baralar boru, lama ve prizma şeklinde geometrik yapıda üretilirler.



Şekil 2.22. YG Şalt Sahasında Bulunan Baralar

### 2.3.12. Parafudr

Parafudrılar şalt teçhizat malzemelerini aşırı yüksek gerilime karşı korurlar. Fonksiyonel bir topraklama çeşitidir. İletim hatlarında oluşabilecek aşırı gerilimler iç aşırı gerilimler ve dış aşırı gerilimler olarak iki gruba ayrılmaktadır. İç aşırı gerilimler teçhizatın kendinden oluşan, yanlış manevralar, kısa devre ve diğer arızalar sonucu oluşan şebeke kaynaklı istenmeyen aşırı gerilimlerdir. Dış aşırı gerilimler ise iletim hattı yada şalt sahası üzerine yıldırım düşmesi sonucu oluşan sistemin ani ve istenmeyen bir şekilde gerilimin aşırı artmasına neden olan durumlardır.

Yüksek gerilimin aşırı yükselmesi sebebiyle şalt donanım cihazlarında ve malzemelerinde yalıtımın bozulmasına yada deforme olmasına sebep olmaktadır. Parafudrılar sistemdeki istenmeyen aşırı gerilimleri toprağa vererek teçhizatın zarar görmesini engellerler. İletim hatlarında her yedi direktte bir koruma iletkeni topraklanarak yıldırımın sakıncalarından koruma sağlanır. Şalt sahaslarında bulunan

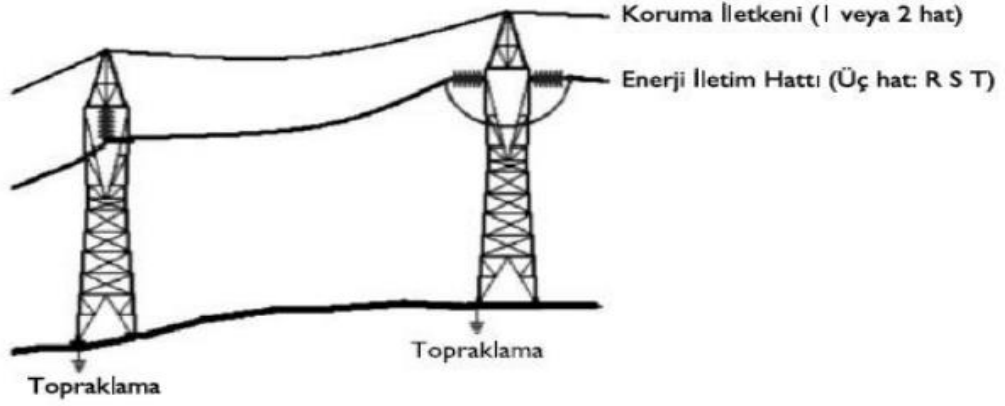
transformatörlerin girişlerine parafudr bağlanarak trafo ve diğer teçhizat koruma altına alınmış olur. İç yapısında seri ark aralıkları ile aşırı gerilimi deşarj ederken patlamaya engel olacak şekilde imal edilen parafudr içerisinde değişken dirençler ile de normal gerilim seviyesinde yalıtkan durumda iken aşırı gerilim durumlarında iletken hale geçerek istenmeyen aşırı gerilimleri toprağa deşarj etmektedir.



Şekil 2.23. Parafudr Bağlantısı ve İç Yapısı

### 2.3.13. Koruma İletkeni (Hattı)

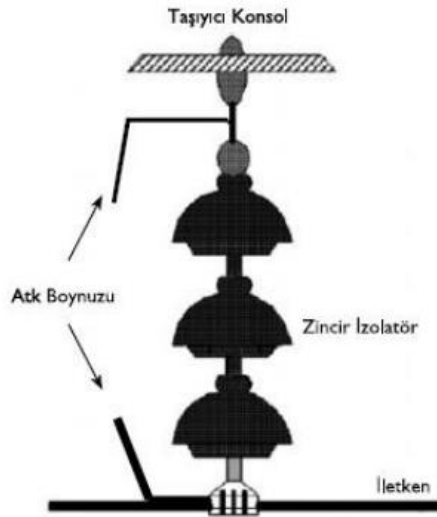
Koruma İletkeni ENH için fazla maliyet gerektiren ancak mecburi kullanılması gereken bir unsurdur. YG hatlarının en üst kısmında bulunurlar ve enerjisizdirler. ENH'nı yıldırım düşmesine karşı korurlar. Genellikle her yedi direkte bir koruma iletkenleri üzerinden YG hatları topraklanmaktadır. Bunun yanı sıra haberleşme için de kullanılırlar. Ayrıca koruma iletkeni içlerinden PTT kablosu, fiber optik kablolar geçirilerek şehirler arası internet ve telefon hatları taşınmasında kullanılırlar.



Şekil 2.24. Koruma İletkeni

### 2.3.14. Ark Boynuzları

Ark boynuzları izolatörlerde kullanılan koruma parçalarıdır. İzolatör üzerinde zamanla oluşan toz, leke ve kar gibi dış etkenler üzerinden ark akması sırasında izolatörlerin çatlama hatta patlamasına neden olmaktadır. Bu durumu önlemek için ark boynuzları kullanılmaktadır. YG hatlarında atlama geriliminin neden olduğu bu ark akışının çubuk yada demir ark boynuzları üzerinden yapılması ile iletken ve taşıyıcı konsol üzerinden deşarj edilmesini ve toprağa akmasını sağlayarak izolatörü korumaktadır.

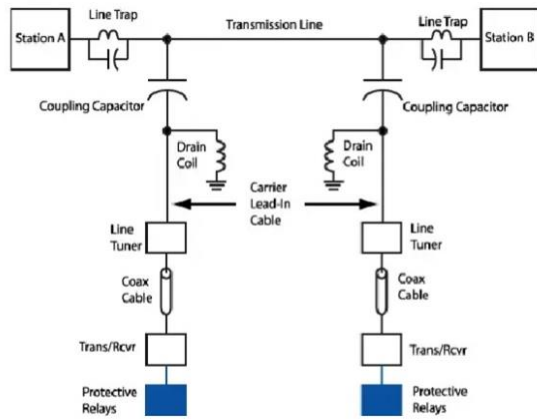


Şekil 2.25. Ark Boynuzu

### 2.3.15. Line Trap (Hat Tıkacı)

Trafo merkezlerinde hat girişlerine ve hat çıkışlarına hat tıkacı (line trap) bağlanarak bu teçhizatlar haberleşme amaçlı kullanılırlar. Kuranportör cihazı ile trafo merkezleri ve

BYTM arasında sürekli ve kesintisiz bir haberleşme ve iletişim imkanı sağlanmasında rol oynarlar. İletim hatları üzerine yüksek frekans yüklenerek bu yüksek frekans üzerinden haberleşme sağlanır. Trafo merkezinin girişinde hat tıkaçı vasıtasıyla yüksek frekans alınarak şalt sahasına girişi engellenir. Bu frekans daha sonra haberleşme ünitelerine ve kuranportör cihazlarına aktarılarak iletişim sağlanmış olur. Trafo merkezinde istasyon sıfır olduğunda da iletişim ve haberleşme kuranportör cihazları üzerinden diğer trafo merkezleri ve BYTM arasında sağlanarak gerekli manevraların yapılması sağlanır. Bu sayede tekrar istasyon eski konumuna alınarak sistem toparlanabilir.



Şekil 2.26. Hat Tıkacı(Line Trap) ve Bağlantı Şeması

### 2.3.16. Spacer (Ara Tutucu)

EİH'da daha fazla güç aktarımı yapabilmek için iletim hatları birden fazla demet iletkenler halinde döşenirler. Aynı faza ait iletkenlerin birbirine çarpmasını, sürtünmesini ve temasını engellemek amacıyla belirli aralıklarla ara tutucular (spacer) yerleştirilir. Bu sayede hatların deforme olmasının engellenmesine aynı zamanda salınım ve titreşim gibi problemlerine çözüm bulunmuş olur.



Şekil 2.27. Çeşitli Ara Tutucular (Spacer)

### 2.3.17. Damper

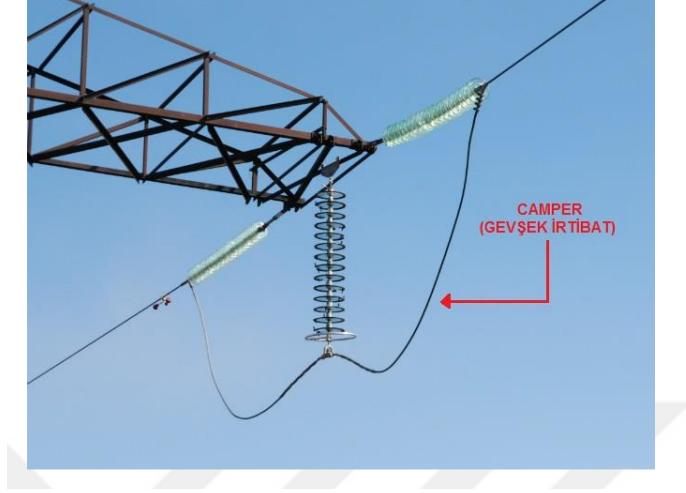
Damperler izolatörlerin ön bölümüne monte edilen ağırlık malzemeleridir. Temel görevleri iletim hattında rüzgar nedeniyle oluşan salınımları durdurma ve sönümlendirme işlevidir. Ayrıca YG hatlarda ark atlama mesafesi sebebiyle fazlar arası mesafe oldukça uzundur. Bu salınımlar sonucu mesafe kısalarak faz iletkenlerinin birbirine yaklaşmasına ve faz-faz kısa devre arızalarına neden olabilmektedir. Aşırı salınım ve titreşimler bağlantı noktalarının sökülmesine, cıvataların gevşemesine ve hatlarda kopmalar yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Tüm bu durumları engellemek amaçlı hatlarda damperler kullanılarak bu damperler titreşim sönümleme işlevi yapmakta diğer bir ifade ile amortisör görevi görmektedir.



Şekil 2.28. Damper

### 2.3.18. Camper

Camperler iletim hatlarında direklerde durdurucu ve bağlantı görevi görürler. Atlama ve gevşek irtibat olarak da adlandırılırlar.



Şekil 2.29. Camper

### 2.3.19. İkaz Küreleri

İkaz Küreleri boyutları 30 metreyi aşan ENH üzerinde koruma iletkeninin orta bölümüne monte edilirler. 4-5kg ağırlığında alüminyumdan imal edilen kırmızı-beyaz veya turuncu-beyaz renkli bu kürelerin kullanılmasındaki amaç ise helikopterler başta olmak üzere hava araçlarına karşı havai iletim hatlarının görülebilirliğini sağlamaktır.



Şekil 2.30. İkaz Küresi

## 2.4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA VE KUMANDA

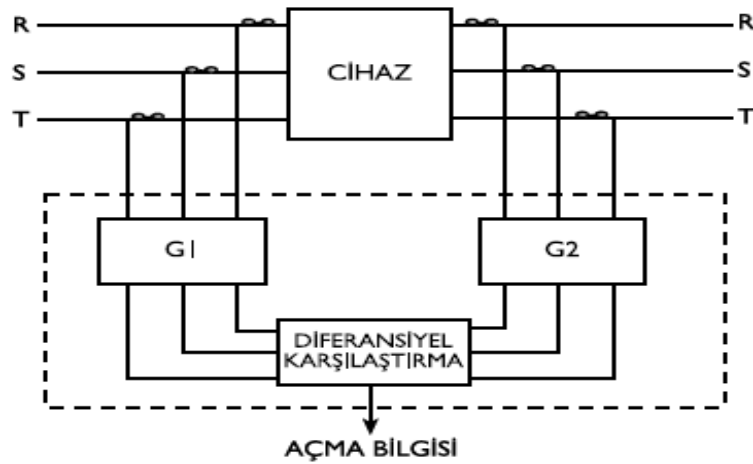
Güç sistemlerinde enerjinin korunumu, hassas akım, gerilim ve frekans dengesinin sağlanması tüm teçhizatı kısa devre ve aşırı gerilimlere karşı koruma, sağlıklı bir işletme ve kaliteli enerji aktarımı için hayati önem arz etmektedir. Sistem üzerinde herhangi bir noktada yada teçhizatı oluşabilecek arızalara karşı enterkonnekte sistemin kendini korumaya alması ve arızalı bölüm, fider yada hattı devre dışı bırakması gerekir. Bunun için her kademedeki çeşitli koruma röleleri kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, oluşan hatalarda devreye girerek, şebekeyi, alıcı yükleri ve canlıları koruyan sistemlere “koruma röleleri” denir. [26]

Güç sistemlerinde bulunan teçhizatların koruma röleleri ile korunması sağlıklı bir işletme ve şebeke sistemi için önem arz etmektedir.

### 2.4.1. Diferansiyel Koruma Sistemi (Diferansiyel Röle)

Diferansiyel koruma sistemi adından da anlaşılacağı üzere İngilizce different kelimesinden gelmektedir. Türkçe manası fark akımı anlamındadır. Diferansiyel röle genellikle transformatörün giriş ve çıkış akım trafoları arasında bağlanır. Normal çalışma şartlarında herhangi bir fark akımı oluşmayacağı için röle çalışmaz. Kısa devre, faz-toprak gibi arızalar neticesinde giriş çıkış akımları arasında bir fark oluşacak ve diferansiyel röle çalışacaktır. Diferansiyel röle bağlı olduğu transformatörlerin giriş ve çıkış kesicilerine açma komutu verdirerek transformatörü genel açmaya götürecektir.

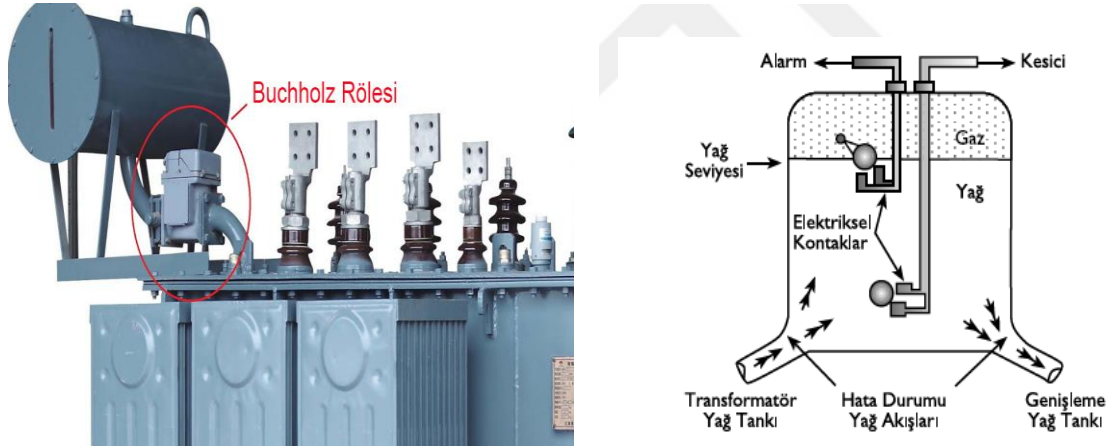


Şekil 2.31. Diferansiyel Koruma Sistemi Prensip Şeması

### 2.4.2. Buchholz Rölesi

Buchholz rölesi transformatör kazanı ile genişleme tankı arasında bulunan içerisinde iki adet şamandıralı kontağı bulunan ve transformatör iç arızaları neticesinde çalışan röledir. Buchholz röle çalıştığında kazan içerisinde bulunan iç arıza sonucu gaz açığa çıkmıştır ve bu gazın transformatör kazanından genişleme tankına doğru geçişi sırasında kontakları harekete geçirmesiyle arıza açığa çıkmıştır. Buchholz röle çalıştığında transformatör için kanser olmuş denebilir. Kazan içerisinde sargılar arası, sargı tank arası gibi kalıcı arızalar meydana gelmiş olabilir.

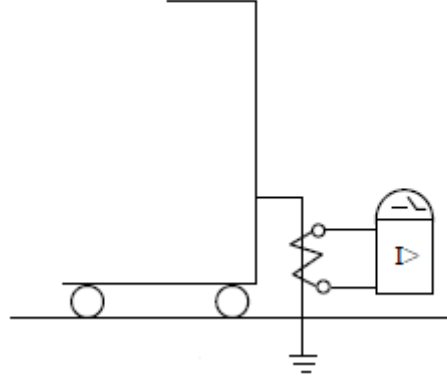
Buchholz rölesinde içinde yanma kaynaklı olarak bir gaz oluşur. Gaz rengi gri veya siyah renkli ise trafo yağı veya plastik aksamının yandığı, beyaz renk ise de kağıt izolasyonun yandığı, sarı renk olduğunda ahşap bölümlerin yandığı, renksiz ise yağın eksik ve havanın fazla olduğunu anlaşılmaktadır. Gaz yanıcı bir gaz ise trafoda iç arıza olduğunu belirtmektedir. [26]



Şekil 2.32. Buchholz Rölesi ve İç Yapısı

### 2.4.3. Transformatör Tank Koruma Rölesi

Transformatör tankı ve topraklama iletkeni arasında bağlı bulunan bir akım transformatörünün sargı tank arasında bir kısa devre oluşması durumunda kesicilere açma komutu göndermesi prensibine dayanan bir koruma rölesidir. Transformatörün topraklanmış tankından geçecek kaçak akımlara karşı transformatörü koruma sistemidir.

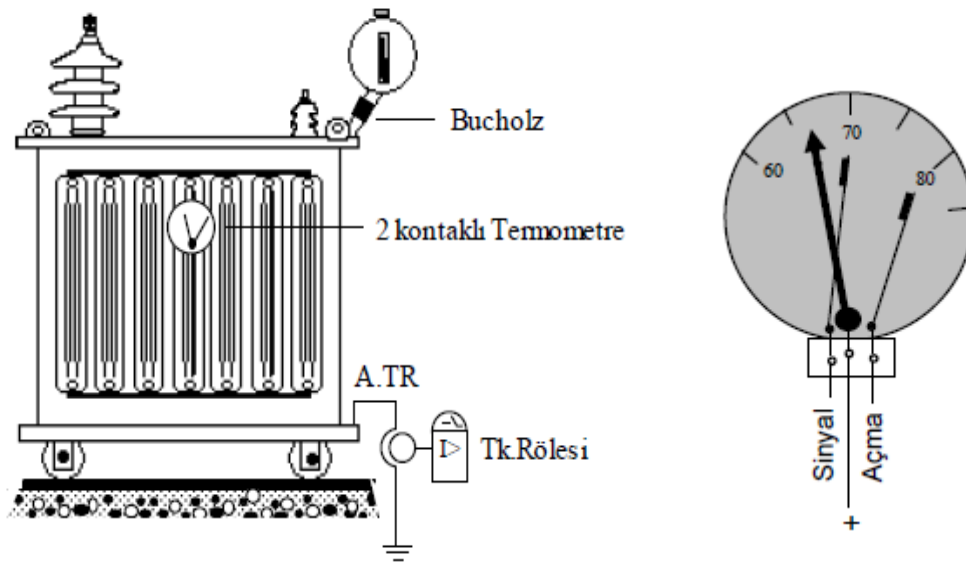


Şekil 2.33. Tank Koruma

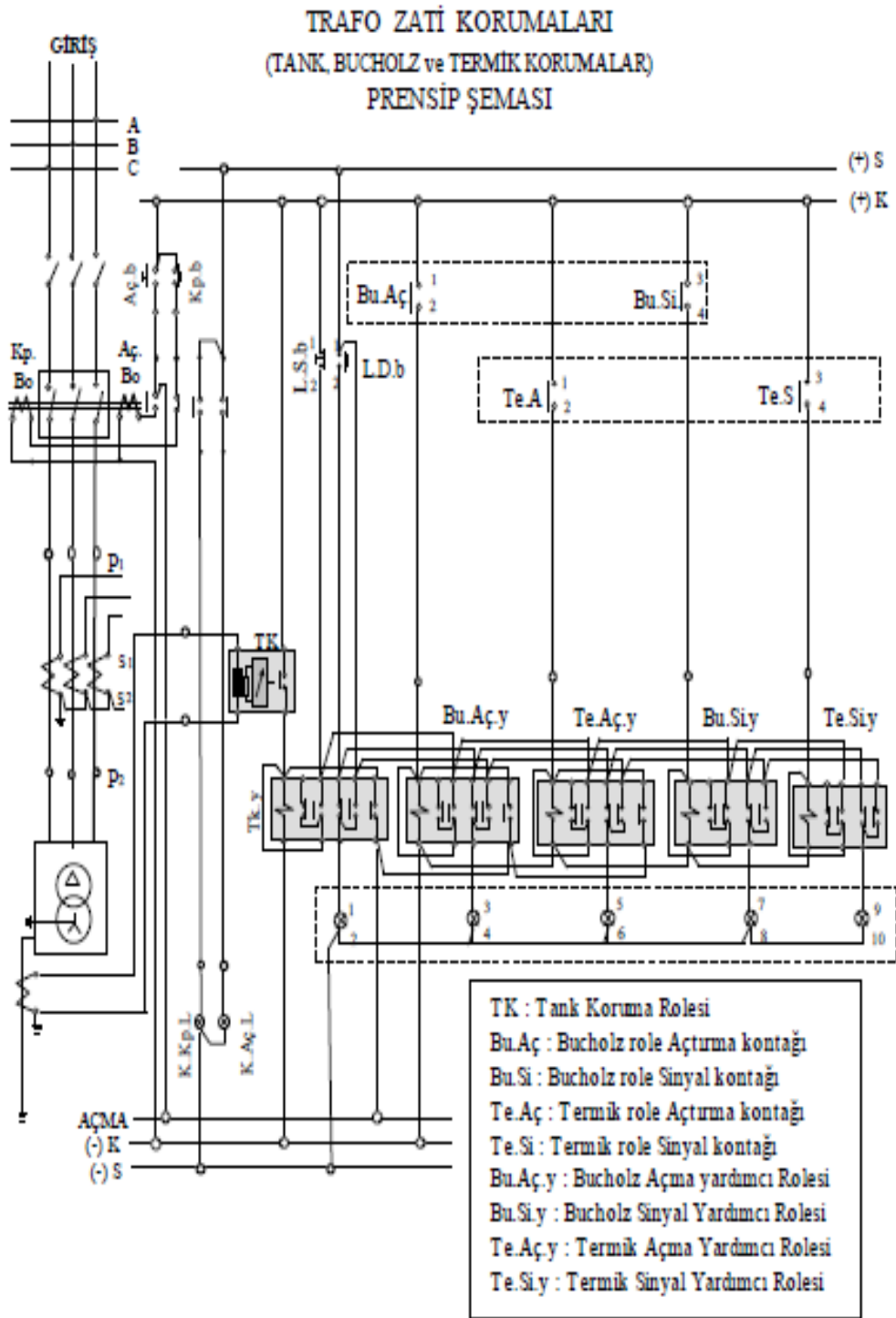
#### 2.4.4. Transformatör Termik Koruma Rölesi

Transformatör kazanı içerisinde bulunan soğutma ve yalıtım amaçlı kullanılan yağ sargı sıcaklıkları neticesinde ısınır ve sıcaklığı artar. Termik Koruma rölesi iki bayrakçık ile kadran üzerinde gösterilen  $70^{\circ}\text{C}$ ' de sinyal ve  $80^{\circ}\text{C}$ 'de açma yaptıracak şekilde ayarlanır. Yağ sıcaklığı  $70^{\circ}\text{C}$  olduğunda sesli ve ışıklı sinyal çalışır korna çalar. Transformatör yağ sıcaklığı  $80^{\circ}\text{C}$  olduğunda ise transformatör giriş ve çıkışlarında bulunan kesicilere açma komutu göndererek transformatörü korumaya alır.

Transformatör yağının özelliği bu sıcaklıktan sonra deforme olup özelliğini yitirdiği için genellikle bu değerler baz alınarak alarm ve açma seviyeleri ayarlanır.



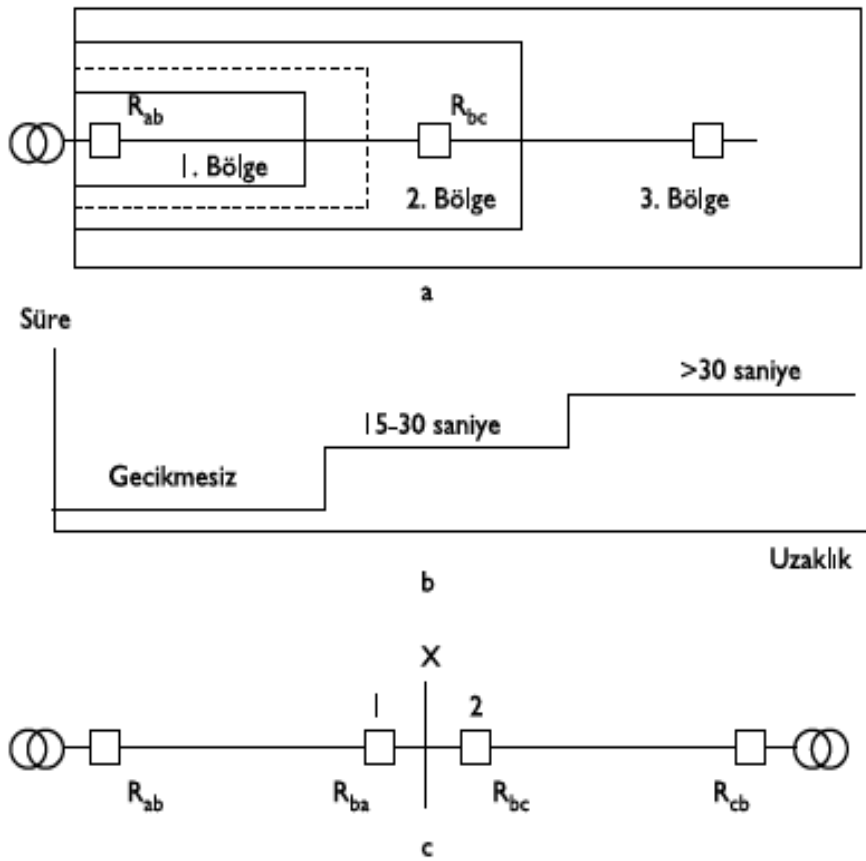
Şekil 2.34. Transformatör Zati Korumaları ve Termik Koruma Rölesi Göstergesi [3]



Şekil 2.35. Transformatör Zati Koruma Prensip Bağlantı Şeması [3]

### 2.4.5. Mesafe Koruma Rölesi

Mesafe koruma röleleri hat üzerindeki empedansı baz alarak çalışan rölelerdir. Hatlar üzerinde kısa devre, faz-toprak veya faz-faz arızaları neticesinde hattın sistem dışı bırakılması gerekmektedir. Aksi takdirde zincirleme olarak tüm ada bölge yada ülke sisteminin enerjisiz kalma durumuyla karşılaşılacaktır. EİH üzerinde bir arıza meydana geldiğinde hat üzerindeki gerilim ve akım oranı ( $Z=U/I$ ) değişeceğinden mesafe koruma rölesinin çalışmasını sağlayacaktır. Mesafe koruma rölesi hattın kesicilerine açma yaptırarak iletim hattını korumaya aldığı gibi empedans oranından da arızanın kaçınıcı kilometrede olduğunu bildirmektedir.



a) Mesafe koruma rölesinin tesisi b) Açma süre diyagramı c)Yönlü tip mesafe rölesi

Şekil 2.36. Mesafe Koruma Rölesi Prensi Şeması

### 3. ENERJİ İLETİM HATLARI

Enerji iletim hatları uzunluklarına göre üçe bölüme ayrılırlar.

Kısa mesafeli hatlar: uzunluğu 100 km'ye kadar olan hatlar. Eşdeğer empedans veya eşdeğer admitans devresi kullanılarak çözümleri yapılır.

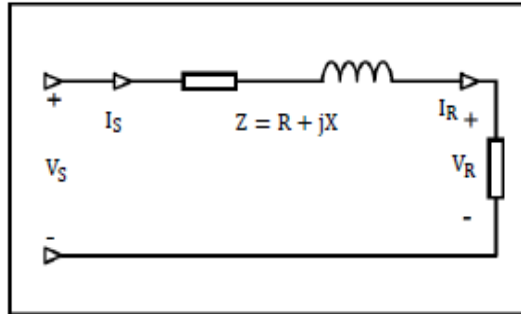
Orta mesafeli uzunluktaki hatlar: 100-250 km arası. Eşdeğer pi-  $\pi$  veya eşdeğer T devresi kullanılarak çözümleri yapılır.

Uzun mesafeli hatlar: 250 km ve daha uzun hatlar. Hiperbolik fonksiyonlar kullanılarak çözümleri yapılır.

#### 3.1. HAT ÇEŞİTLERİ

##### 3.1.1. Kısa Mesafeli Enerji İletim Hattı

Normal yapıda ve boyları 0-100 km arasında değişen hatlar için kapasite ihmal edilebilir. Kapasitenin ihmal edilerek akım ve gerilim denklemlerinin kurulabileceği iletim hatlarına kısa iletim hatları denilir.



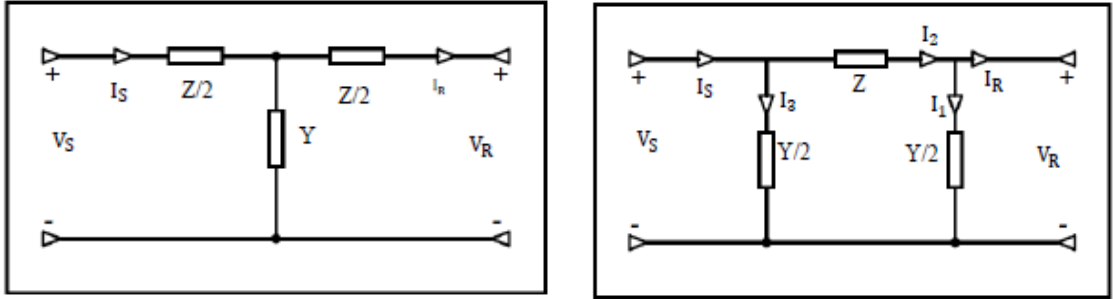
Şekil 3.1. Kısa Mesafeli Enerji Nakil Hattı Devre modeli [47]

##### 3.1.2. Orta Mesafeli Enerji İletim Hattı

100 ila 250 km arasında değişen hat orta iletim hattı olarak adlandırılır. Orta iletim hattının kapasitansı göz ardı edilemez. Orta iletim hattının kapasitansının, hatların bir veya daha fazla noktasında toplandığı düşünülmektedir. Çizginin etkisi daha yüksek frekansta ve sızıntı endüktansı ve kapasitansı ihmal edilmiş olarak kabul edilir. Orta

iletim hattı Pi - model ve T - modeline bölünmüştür.

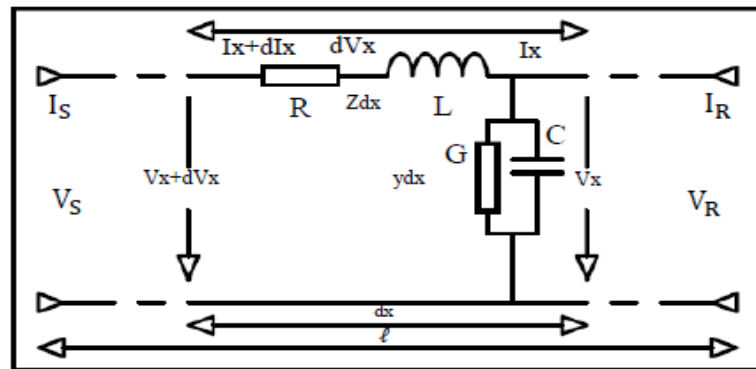
Nominal Pi modelinde, kapasitansın yarısının hattın her bir ucunda toplandığı varsayılmaktadır. T modelinde, kapasitansın hattın merkezinde yoğunlaştığı varsayılmaktadır.



Şekil 3.2. Orta Mesafeli Enerji Nakil Hattı T ve  $\pi$  Eşdeğer Devre Modeli

### 3.1.3. Uzun Mesafeli Enerji İletim Hattı

250 km'den daha uzun mesafesi olan hatlar uzun bir iletim hattı olarak kabul edilir. Dört parametrenin hepsinde (direnç, endüktans, kapasitans ve kaçak iletkenlik) hattın tüm uzunluğu boyunca eşit olarak dağıldığı bulunmuştur.

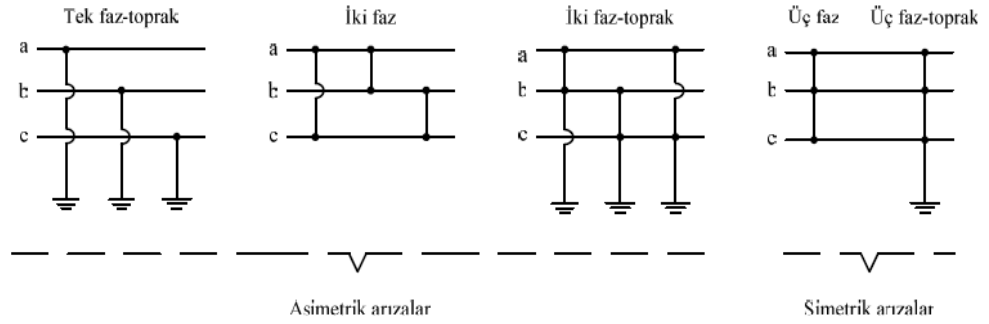


Şekil 3.3. Uzun Mesafeli Enerji İletim Hattı Devre Modeli

## 4. HAT ARIZALARI

Bir elektrik sistemi kurulurken en büyük kısa devrenin oluşturacağı mekanik ve dinamik zorlanmalarına dayanacak şekilde açma - kapama cihazlarıyla, en büyük ve en küçük kısa devreyi algılayacak niteliğe sahip koruma sistemleriyle donatılmalıdır. Kısa devre genelde iletken kesitinin değiştiği noktalarda oluşmaktadır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalara göre sistemde oluşan kısa devre çeşitlerinin oranları şu şekildedir: % 80 faz-toprak kısa devresi, % 15 faz-faz kısa devresi, % 5 üç faz kısa devresidir. [7]

Güç sistemlerinde oluşan kısa devre arızaları, simetrik ve asimetric arızalar olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Her üç fazın birbiriyle ya da toprak ile temas etmesiyle meydana gelen arızalar simetrik arızalardır. Tek fazın toprak ile temas etmesiyle meydana gelen 1FTA ve iki fazın birbirleriyle ya da toprak ile temas etmesi sonucu meydana gelen 2FA ve 2FTA asimetric arızalar sınıfındadır. [1]



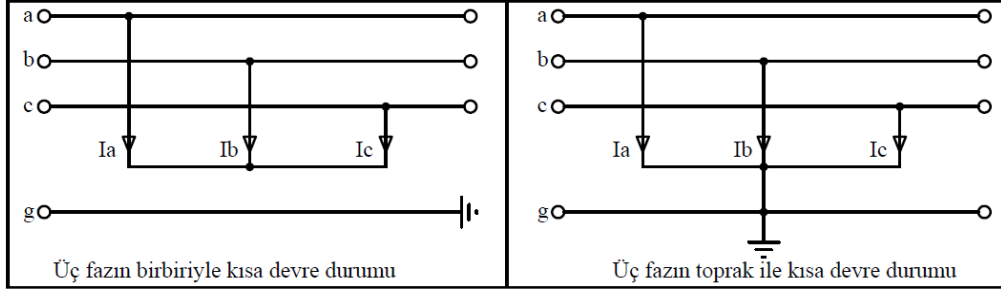
Şekil 4.1. Güç Sistemlerinde Oluşan Asimetric ve Simetrik Arızalar

### 4.1. SİMETRİK ARIZALAR

Şebekenin herhangi bir yerinde her üç fazın birbiri ile temas etmesi sonucu oluşur. Bu tip arızalarda, sistemin yıldız noktasının topraklı olup olmaması ya da bir direnç veya reaktans üzerinden topraklanması önemli değildir. Pratikte az rastlanan bir arıza tipi olup genelde asimetric bir arızanın büyümesi sonucu oluşur. Bu arıza tipinde, diğer arızalara göre daha yüksek kısa devre akımları oluşur ve en fazla hasar veren arıza tipidir.

Arıza meydana geldiğinde arıza noktası diğer sistemden yalıtım yapılarak en kısa sürede arıza yeri devreden çıkarılmalıdır. [47]

Güç sistemlerinde oluşan üç faz kısa devre ve üç faz toprak ile kısa devre durumları simetrik arıza türlerindedir. Arıza sırasında toprak ile direkt temas etmesi veya bir direnç üzerinden akım geçmesi hata akımını değiştirmemektedir. Arıza meydana geldiğinde faz açıları değişmez. Kalıcı hasar verecek maksimum düzeyde hata akımının geçişine sebep olur. Bu nedenle yüksek koruma ve güvenlik durumu ele alınmalıdır.



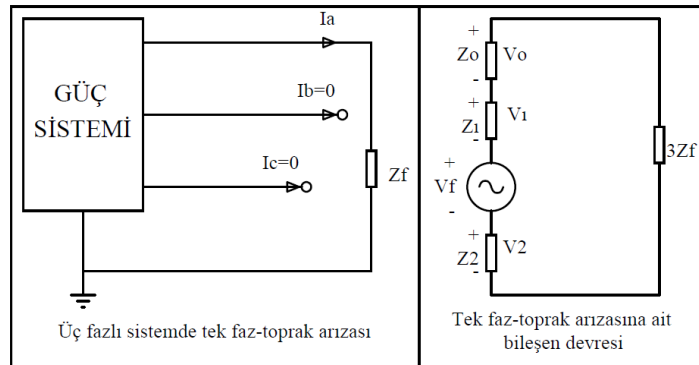
Şekil 4.2. Simetrik Arıza

## 4.2. SİMETRİK OLMAYAN ARIZALAR (ASİMETRİK ARIZALAR)

Üç fazlı güç sistemlerinde kısa devreler büyüklüğüne ve oluşma sıklığına göre sırasıyla tek faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve dengeli üç faz arıza olarak sıralanır. [23]

### 4.2.1. Tek Faz Toprak Arızaları

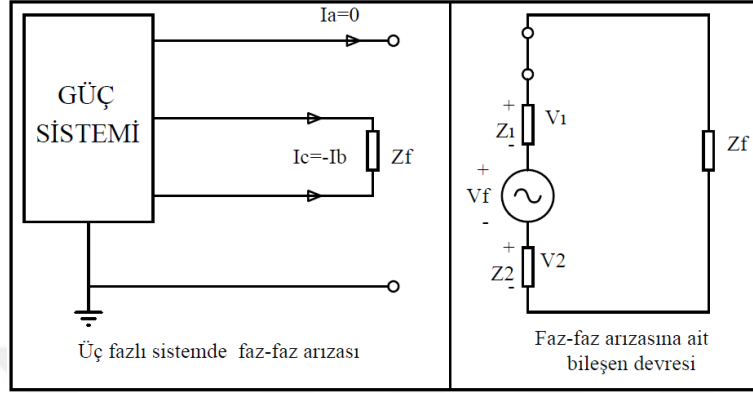
Tek fazın toprağa direkt olarak ya da bir empedans üzerinden geçerek teması ile meydana gelen arıza türüdür. Genellikle açık şebekelerde %80 oranında meydana geliş sıklığı vardır. Meydana gelen arıza akımı arıza yerine bağlı olarak en yüksek kısa devre akımı değerlerine çıkabilmektedir. Arıza sırasında arıza akımı yüz kata kadar artabilir.



Şekil 4.3. Tek Faz Toprak Arızası

#### 4.2.2. İki Faz (Faz-Faz) Arızaları

Bu kısa devre arızasında, şebekenin yıldız noktasının topraklanmış olması ya da olmaması etkili değildir. İki faz üzerinden geçecek hata akımları da aynı büyüklükte olacaktır.

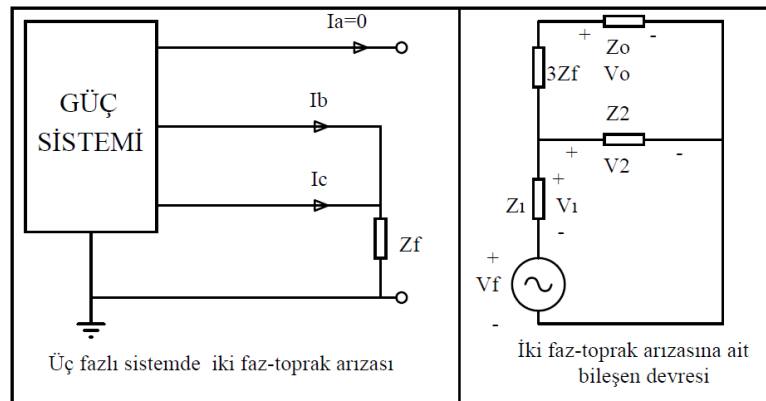


Şekil 4.4. Faz-Faz Arızası

#### 4.2.3. İki Faz Toprak Arızaları

Güç sistemlerinde meydana gelen bu arıza tipinde herhangi iki fazın birbiriyle ve toprakla kısa devre olması neticesinde meydana gelen arızalardır.

Yıldız noktası topraklı sistemlerde, iki farklı noktada oluşan topraktan devresini tamamlayan iki fazlı bir kısa devredir. Bu manada, iki faz arızasına benzeyen bir durum söz konusudur. Yıldız noktasının doğrudan topraklı olması durumunda da geçiş direnci yoksa arıza yerinde arızalı faz gerilimleri sıfır olur. [1]

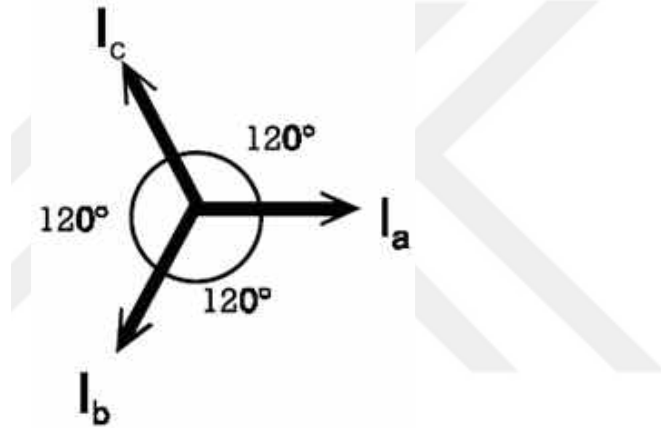


Şekil 4.5. İki Faz Toprak Arızası

### 4.3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMETRİLİ BİLEŞENLER YÖNTEMİ

İlk olarak C.L. Fortescue tarafından açıklanan Simetrik bileşenler metodu dengesiz sistemlerle ilgilidir. Bu teoreme göre n fazörlü dengesiz bir sistem, dengeli fazörlerden oluşan n tane ayırık sistemle çözülebilir ve bunun ispatı Fortescue tarafından yapılmıştır. N fazörlü dizinin bileşenlerinin herbirinin genlikleri ve dizinin fazörleri arasındaki faz açıları birbirine eşittir.

Metot, orijinal sistemin dengesiz fazörlerini çözmek amacıyla dengeli fazör gruplarının geliştirilmesine müsaade eder. Herhangi "N" adet dengesiz çok fazlı nicelik, "N" adet dengeli fazör simetrik gruplarının toplamı şeklinde ifade edilebilir. [31]



Şekil 4.6. Dengeli Üç Fazlı Sistem [31]

Şekil-4.6, dengeli üç fazlı bir sistemin fazörlerini göstermektedir. Üç fazörün her biri büyüklük olarak eşit ve birbirlerinden 120 derece fark ile yerleştirilmiştir. Ayrıca, pozitif dönüş yönü, saatin ters yönündedir. Böyle bir şekil, normal olarak çalışan bir güç sisteminin üç faz akımlarını temsil etmektedir. Diğer taraftan, Şekil-4.7 üç fazörün büyüklüklerinin eşit olmadığı ve üç fazörün arasındaki açıların 120 derece olmayabileceği, dengesiz bir üç fazlı sistemi göstermektedir.  $|I_a| \neq |I_b| \neq |I_c|$

Orijinal sistemdeki fazörler, üç fazlı bir güç sisteminde bir A fazı toprak kısa devresi akımlarıdır.

Şekil-4.7 'de gösterilen kavramlar matematiksel olarak aşağıdaki (1),(2) ve (3) nolu denklemlerde verilmektedir:

$$(1) I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$(2) I_b = I_{b0} + I_{b1} + I_{b2}$$

$$(3) I_c = I_{c0} + I_{c1} + I_{c2}$$

a vektörü :

$$(4) a = 1 \angle 120^\circ \text{ şeklinde tanımlanır.}$$

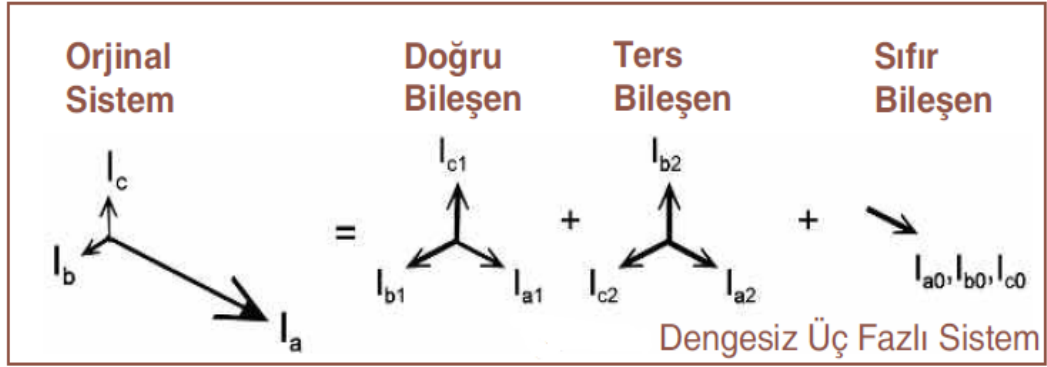
$$\text{Buradan ; (5) } I_{b1} = a^2 I_{a1} \text{ ve } I_{b2} = a I_{a2} ,$$

$$(6) I_{c1} = a I_{a1} \text{ ve } I_{c2} = a^2 I_{a2} \text{ elde edilir. A, B ve C fazı akımları ise :}$$

$$(7) I_a = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}$$

$$(8) I_b = I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}$$

$$(9) I_c = I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2}$$



Şekil 4.7. Dengesiz Üç Fazlı Sistem [31]

(7), (8) ve (9). denklemlerden görüleceği üzere, her bir faz akımı bağımsız bileşen akımlarından oluşmaktadır. A fazı akımı, örneğin, ( $I_{a1}$ ) doğru-bileşen, ( $I_{a2}$ ) ters-bileşen, ( $I_{a0}$ ) sıfır-bileşen akımlarının toplamıdır.

(7),(8) ve (9) nolu denklemlerden, (10), (11) ve (12) nolu denklemlerde gösterildiği şekilde bileşen nicelikleri elde edilir :

$$(10) I_0 = 1/3 (I_a + I_b + I_c)$$

$$(11) I_1 = 1/3 (I_a + aI_b + a^2 I_c)$$

$$(12) I_2 = 1/3 (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

Benzer çözüm kullanılarak, güç sistemi gerilimleri de (13), (14) ve (15) nolu denklemlerde verilmiştir :

$$(13) V = 1/3 (V_a + V_b + V_c)$$

$$(14) V = 1/3 (V_a + a V_b + a^2 V_c)$$

$$(15) V = 1/3 (V_a + a^2 V_b + a V_c)$$

Yukarıdaki denklemlerde "A" fazı referans alınmış,  $I_{a0}$ ,  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$  yerine  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  kullanılmıştır. Aynı durum gerilimler için de geçerlidir.

Şekil-4.8'de bir güç sisteminde oluşabilecek kısa-devre arızaları ve bu arızaların matematiksel sınır koşulları listelenmiştir. Bu sınır koşulları, arızalı sistemin bileşen empedans devreleri ile nasıl modellendirileceğini belirlemek açısından çok kullanışlıdır.

Arızanın Tipi	Sınır Koşulları
Faz-toprak-kısa-devre	$I_b = I_c = 0 ; V_a = 0$
Faz-faz-toprak kısa-devre	$I_a = 0 ; V_b = V_c = 0$
Faz-faz kısa-devre	$I_b = -I_c ; V_b = V_c$
Üç faz kısa-devre	$I_a + I_b + I_c = 0 ; V_a = V_b = V_c$

Şekil 4.8. Arızalı Sistemin Sınır Koşulları [31]

Simetrik bileşenler metodu kullanılarak, üç fazlı güç sistemlerinde dengesiz kısa-devre arızaları başta olmak üzere dengeli (üç faz) kısa-devre arızaları ve açık-devre arızalarının analizi kolaylıkla yapılabilir. Bu metod, ayrıca güç sistemlerinde koruma ve koruma koordinasyonu konusunda da kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada sistemin kısa devre olması durumları ve hattın açması durumlarına göre analizler yapılmıştır. Arıza tiplerinden faz-toprak kısa devre, faz-faz-toprak kısa devre, faz-faz(iki faz) kısa devre ve üç faz kısa devre sonucu hat açmalarının aynı zamanda da santrallerin devreden çıkması sonuçlarının analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

## 5. YÜK AKIŞI

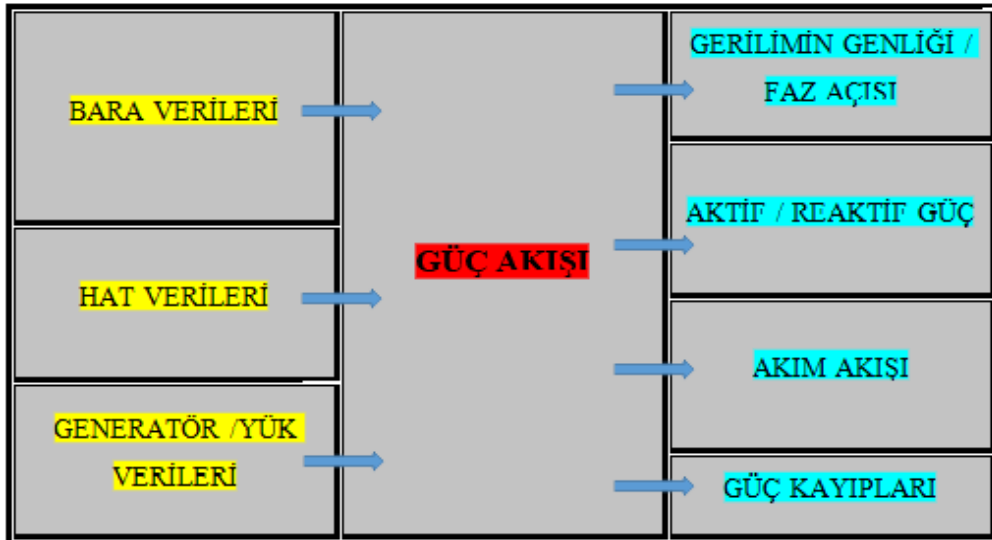
Güç sistemlerinde bulunan baralar Salınım Barası, Yük Barası (P-Q), Üretim Barası (P-V) olarak üç bölümde isimlendirilir.

Salınım barası; Herhangi bir güç sisteminde yalnızca bir salınım barası bulunur. Referans bara olarak alınır ve diğer baralar onunla salınır. Bu barada bilinen değişkenler  $|V|$  ve  $\delta$ , bilinmeyen değişkenler ise P ve Q'dur.

Üretim barası (PV barası); Gerilim kontrollü bara olarak da adlandırılan bu bara tipinde gerilimin kontrol edilebilmesinde veya sabit tutulmasında bu baradaki reaktif güç limitleri kullanılır. Bu barada P ve  $|V|$  biliniyorken, Q ve  $\delta$  güç akış analizleri ile bulunması gereken değişkenlerdir.

Yük barası (PQ barası); Bu barada P ve Q değişkenleri biliniyorken,  $|V|$  ve  $\delta$  hesaplanması gereken değişkenlerdir. Generatörü olmayan tüm baralar yük baralarıdır.

Yük akışı hesapları, bölgesel enerji sistemleri arasındaki net yük alış-verişlerinin ve bu sistemlerinin bara gerilim değerlerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bilgiler, mevcut güç sistemlerinin değerlendirilmesi ve artan güç ihtiyacına karşı giderek büyüyen güç sistemleri için verimli alternatif planların yapılabilmesi için gerekmektedir. Bu planların değerlendirmesinin yapılabilmesi için normal ve arıza durumları için birçok yük akışı analizlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. [1]



Şekil 5.1. Güç Akış Analizi Blok Şeması [35]

## 5.1. GÜÇ AKIŞ ANALİZİ METOTLARI

Yük akışı ya da diğer ismiyle güç akışı bir sürekli durum halini ortaya koyar. Yük akışının sonucunda hata akımları ve bara gerilimleri elde edilir. [32]

Yük akışı bir güç sistemindeki her baraya ait olan akım, gerilim, aktif ve reaktif güçten oluşan şebeke çözümüne verilen isimdir. Bir güç sisteminde hat, transformatör gibi güç sistemine ait teçhizatlara ait veriler sabit varsayıldığından ilgili güç sistemi doğrusal gibi düşünülürken, bunun tam aksine her baraya ait akım-gerilim arasındaki fark, aktif-reaktif güç üretim dengesi, baranın istenilen gerilim seviyesinde tutulması gibi şebeke ilişkileri doğrusal olmayan bir işlem olarak düşünülebilir.

## 5.2. GAUSS SEİDEL METOTU

Gauss yönteminden faydalanılarak bu yöntem geliştirilmiştir. Gauss-Seidel yöntemi yineleme çözümü önceden belirlenmiş, kabul edilebilir bir hata sınırı içinde olana kadar denklem sistemine bir çözüm bulmaya çalışan bir iterasyon yöntemidir. Yöntem, tahmini bir gerilim değerini kullanarak belirli bir değişkenin değerini elde etmek için kullanılır. Başlangıç değerle hesaplanan bir değer, diğer iterasyonda başka bir değeri bulmak için kullanılır ve işlem daha sonra yineleme çözümü yakınsayana kadar tekrarlanır.

Güç akış analizinin çözümünde karşılaşılan zorluklar, değişik baralar için tarif edilen verilerin farklılığından ileri gelir. Güç akış problemlerinin sayısal çözümleri bilinmeyen bara gerilimlerine tahmini değerler verip tanımlanan aktif ve reaktif güçler ve baralardaki tahminin değerlerden her bara için yeni bir gerilim değeri hesaplanarak yapılır. [8],[18]

Gauss-Seidel Metotu uygulama denklemi:

$$V_k^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{kk}} \left\{ \frac{S_k^*}{V_k^{*(i)}} - \sum_{j=1}^{k-1} Y_{kj} V_j^{(i+1)} - \sum_{j=k+1}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right\} \quad (5.1)$$

Gauss-Seidel Yöntemi uygulanırken aşağıdaki işlem sırası takip edilir;

1- Bara 2 için  $I_2 = \frac{S_2^*}{V_2^*}$  hesaplanır.

2-  $I_2 = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^n Y_{2j} V_j$  hesaplanır.

3-  $V_2$  'nin yeni değerini bulmak için 2. adımda elde edilen sonuç 1. adımda elde edilen sonuçtan çıkarılır ve bu fark  $Y_{22}$  'ye bölünür.

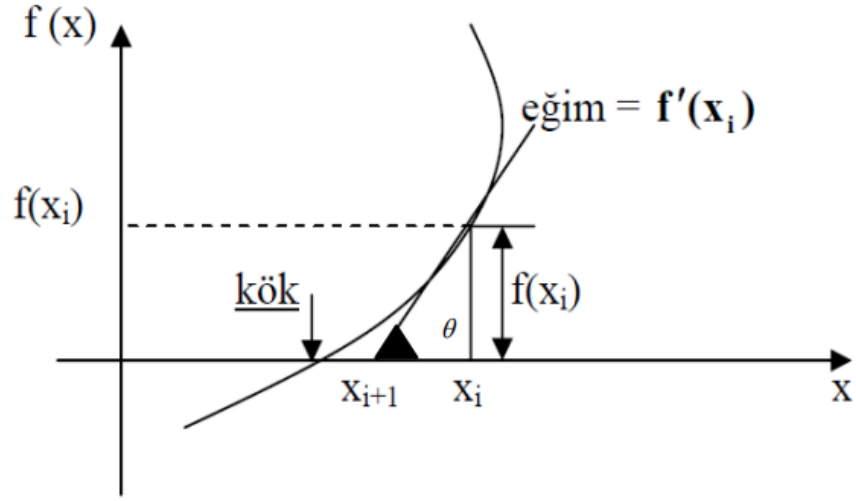
4- Daha sonra bütün bara  $V$ 'lerinin oluşacak yeni değerleri için tekrarlanır.

5- Son gerilim değerleri ile ilk gerilim değerleriyle kıyaslanır. Sonuçlar tolerans içerisinde eşit ise işlem bitirilir. Fakat eşitlik oluşmamışsa istenen sonuçlara ulaşıncaya kadar ilk adımdan itibaren tekrarlama yapılır.

### 5.3. NEWTON-RAPHSON METOTU

Sayısal çözümlemede, Isaac Newton ve Joseph Raphson'dan ismini alan Newton – Raphson yöntemi (Newton yöntemi olarak da bilinir), gerçek değerli işlevlerin kökleri için art arda ve hızlı bir şekilde daha iyi yaklaşımlar bulmak için kullanılan bir yöntemdir. Newton-Raphson yöntemi, denklemleri sayısal olarak çözmek için güçlü bir tekniktir. Sürekli ve farklılaşabilir bir fonksiyonun ona teğet düz bir çizgi ile yaklaşabileceği fikrini kullanır. Fikir, gerçek köke makul bir şekilde yakın olan bir başlangıç tahmini ile başlar, daha sonra işlevi teğet çizgisiyle yaklaşılaştırmak ve bu teğet çizginin  $x$  kesişimini temel cebir işlemi ile hesaplamak. Bu  $x$  kesme noktası orijinal fonksiyonun köküne ilk tahminden daha iyi bir yaklaşım olacaktır ve yöntem tekrarlanabilir.

Tek değişkenli bir  $f(x)$  fonksiyonu Şekil 5.2'deki gibi tanımlansın.  $f(x) = 0$  denklemini sağlayan  $x$  değerinin elde edilmesi (kök değerinin bulunması) ile ilgilenilsin.  $f(x) = 0$  denkleminin köklerinden biri yaklaşık bir değer olarak  $x_0$  olsun.  $X_0$  değeri, Şekil 5.2' de  $x_i$  ile belirtilmiştir.  $X_i$  noktasından çizilen dikey çizginin eğriyi kestiği noktadaki teğetin,  $x$  - eksenini kestiği nokta ( $x_{i+1}$  noktası) kök noktasına daha yakındır. Buna göre amaç,  $x_i$  noktası biliniyorken, köke daha yakın olan  $x_{i+1}$  noktasını elde etmek olmalıdır. [20]



Şekil 5.2. Newton-Raphson Formülünün Geometrik Açıklaması [20]

Şekil 5.2 Newton-Raphson formülünün geometrik açıklaması  $x_{i+1}$  noktası da,  $f(x)$  fonksiyonunun  $x_i$  noktasındaki eğiminden bulunacaktır. Burada,  $\tan \theta = f'(x_i)$  dir. Buna göre,

$$\tan \theta = f'(x_i) = \frac{f(x_i)}{x_i - x_{i+1}} \Rightarrow x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (5.2)$$

$$P_i (\text{Aktif Güç}) = |V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.3)$$

$$Q_i (\text{Reaktif Güç}) = -|V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.4)$$

#### 5.4. HIZLI AYRIŞIK (FAST DECOUPLED) METOTU

Hızlı Ayrık(Fast Decoupled) yöntemi, Newton-Raphson yönteminin basitleştirilmesine dayanan ve 1974 yılında Stott ve Alsac tarafından geliştirilen yöntemlerden biridir. Bu

yöntem, Newton- Raphson yöntemi gibi hesaplamaların basitleştirilmesi, hızlı yakınsama ve güvenilir sonuçlar sunması gibi nedenlerden dolayı yük akışı analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Fast Decoupled yönteminde, Newton-Raphson yöntemine göre daha fazla iterasyon yapılması gerekir. Ancak, iterasyon başına geçen süre daha azdır.

$$J_1(i)\Delta\delta(i) = \Delta P(i) \quad (5.4)$$

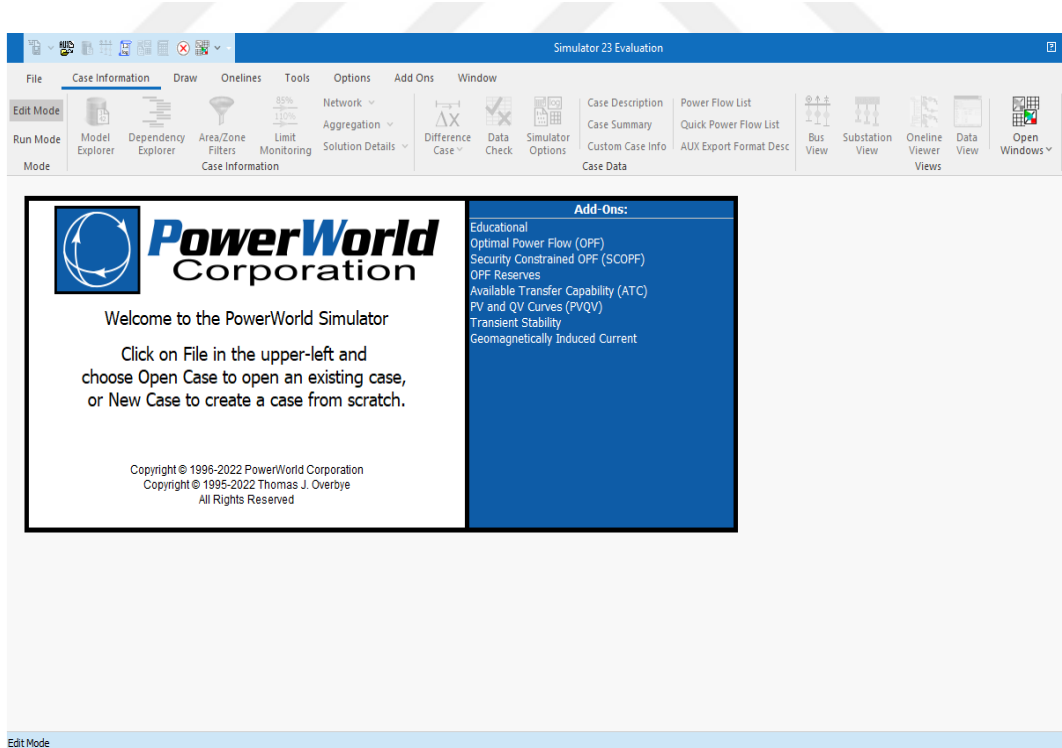
$$J_4(i)\Delta V(i) = \Delta Q(i) \quad (5.5)$$

Fast Decoupled yönteminin geleneksel Newton-Raphson yöntemine göre en büyük avantajı, Jakobiyen matrisinin küçültülmüş boyutuyla elde edilen büyük güç sistemleri için kısa hesaplama süresidir. Fast-decouple yönteminde kullanılan Jacobian elemanlarının sayısı Newton-Raphson yönteminde kullanılanların sadece yarısı kadardır.

## 6. POWERWORLD SİMÜLATÖR (PWS) PROGRAMI

Grafik kullanıcı arayüzleri, kolay ve görsel bir yaklaşım sağlamak için bilgisayar destekli eğitimde giderek daha fazla kullanılmaktadır ve kullanıcıların öğrenme deneyimini geliştirmeye yardımcı olmaktadır. PowerWorld Simülör üzerinde Düzenleme Modu (Edit Mode) ve Çalıştırma Modu (Run Mode) olmak üzere iki farklı moda sahiptir. Düzenleme modu, yeni güç akışı durumları oluşturmak veya mevcut durumlarda değişiklik yapmak için kullanılırken, Çalıştırma modu güç sistemi simülasyonunu gerçekleştirmek ve birçok güç akış analiz aracını kullanmak için kullanılır.

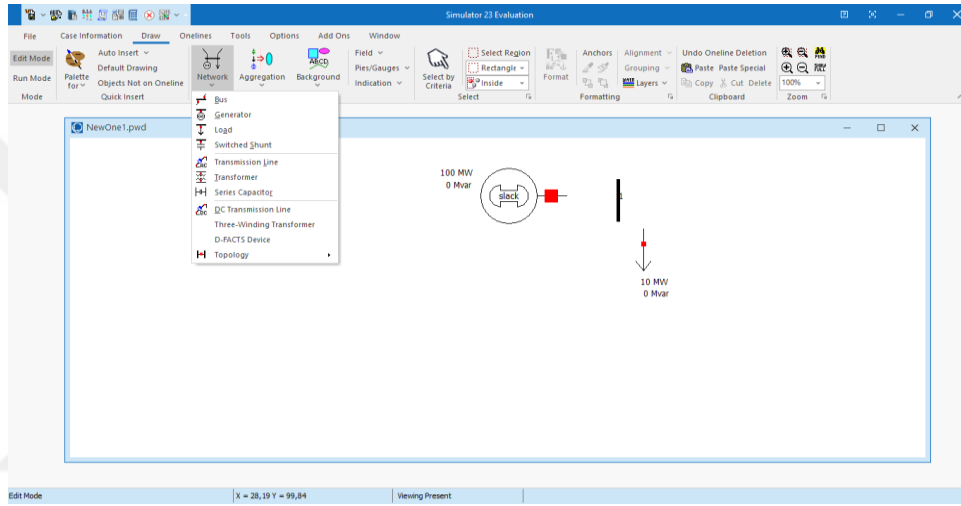
PWS, renkli animasyonlu tek hat şemalarından faydalanır. PowerWorld, güç akışının analizini işlemek için etkili bir araçtır ve aynı zamanda 250000 barayı işleme kapasitesine sahiptir. Programın öğrenci sürümü [www.powerworld.com](http://www.powerworld.com) adresinde mevcuttur. Öğrenci sürümü ile 13 baraya kadar çalışılabilmektedir. [48]



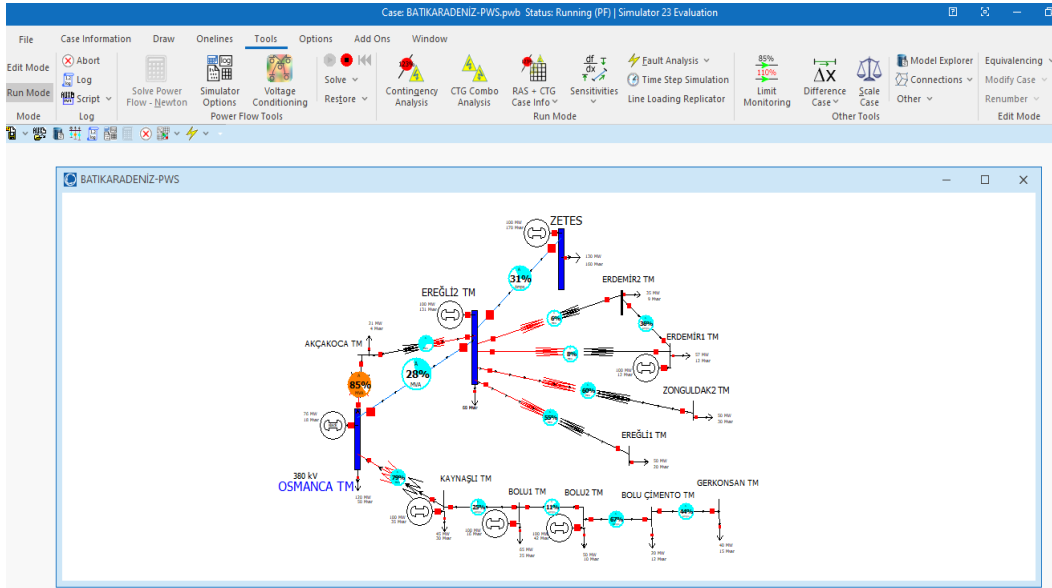
Şekil 6.1. PowerWorld Simülör Programının Ana Ekranı

## 6.1. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON VE ANALİZ UYGULAMA PROGRAMI PWS

Program üzerinde bulunan (FILE) Dosya menüsü üzerinden New Case tıklanarak yeni bir tasarım alanı ekranı açılır. Yine (DRAW) Çizim menüsü seçildiğinde tasarım alanı çağırabilen güç sistemleri elemanları NETWORK bölümünden seçerek eklenebilir. Bara, generatör, yük, iletim hattı, transformatör gibi simülasyonda kullanılan bu elemanlar (Edit Mode) düzenleme modunda iken tasarım alanına yerleştirilerek şebeke sistemi oluşturulabilir.



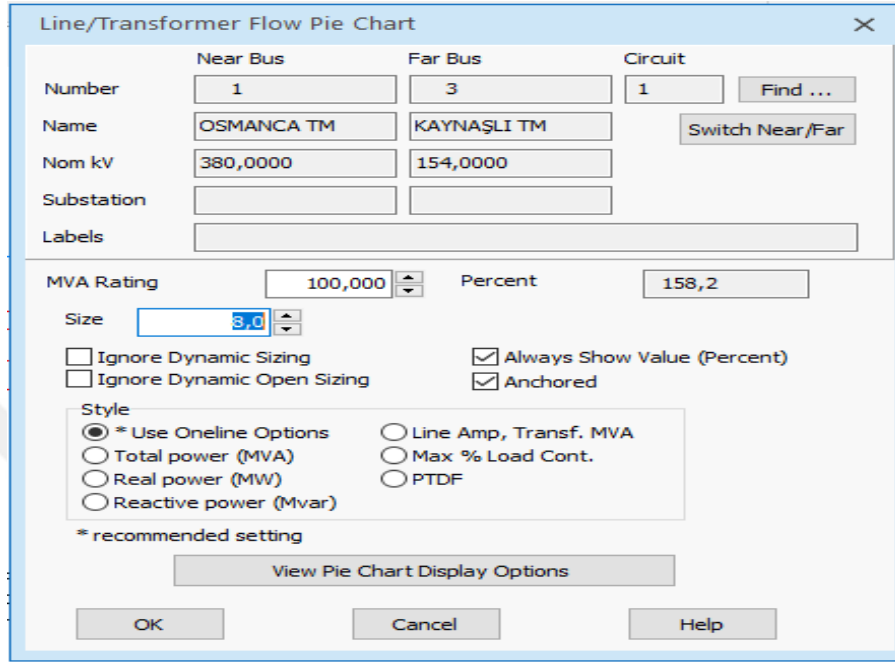
Şekil 6.2. PowerWorld Simülör Programında Çizim (Draw) Bölümü



Şekil 6.3. PowerWorld Simülör Programında Batı Karadeniz Bölgesi Hat Yerleşimi



Raphson metodu, Hızlı Ayrık metodu gibi yakınsama metodlarını kullanarak yapılmakta olup farklı iterasyonlar ile sonuca gitmektedir. İletim hattı üzerine veya bara ve diğer teçhizatın üzerine çift tıklanıldığında aşağıdaki açılan ekrandan hat veya bara özelliklerine ait ayarlar yapılabilmektedir.



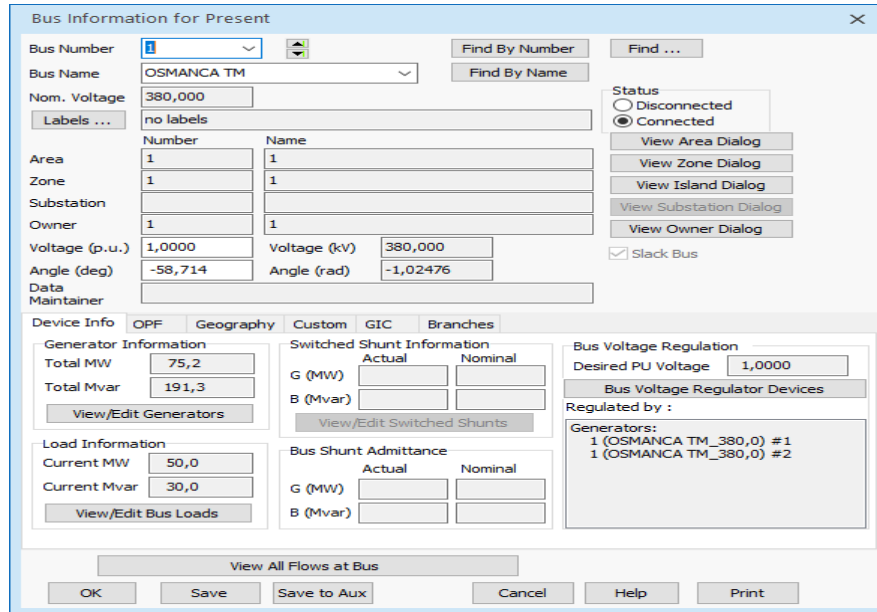
The dialog box 'Line/Transformer Flow Pie Chart' contains the following fields and options:

	Near Bus	Far Bus	Circuit
Number	1	3	1
Name	OSMANCA TM	KAYNAŞLI TM	Find ...
Nom kV	380,0000	154,0000	Switch Near/Far
Substation			
Labels			

Below the table, there are additional settings:

- MVA Rating: 100,000 (with a spinner) Percent: 158,2
- Size: 3,0 (with a spinner)
- Ignore Dynamic Sizing  Always Show Value (Percent)
- Ignore Dynamic Open Sizing  Anchored
- Style:
  - \* Use Online Options
  - Total power (MVA)
  - Real power (MW)
  - Reactive power (Mvar)
  - Line Amp, Transf. MVA
  - Max % Load Cont.
  - PTDF
- \* recommended setting
- View Pie Chart Display Options
- Buttons: OK, Cancel, Help

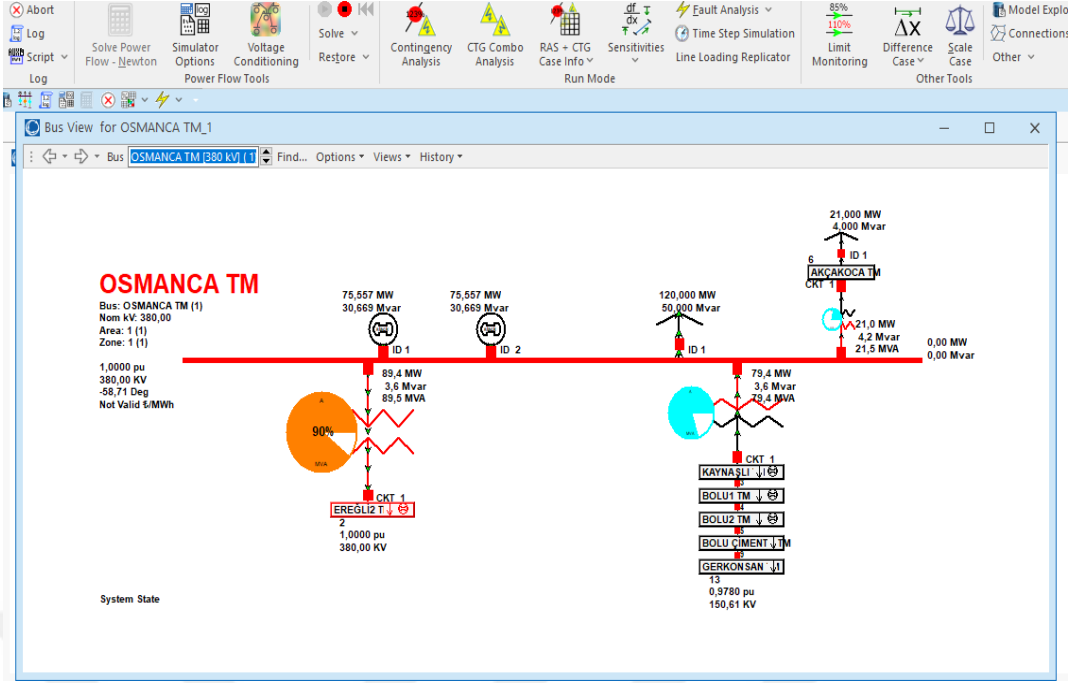
Şekil 6.5. Line/Transformer Flow Pie Chart(Hat/Transformatör Yük Akış Grafiği)



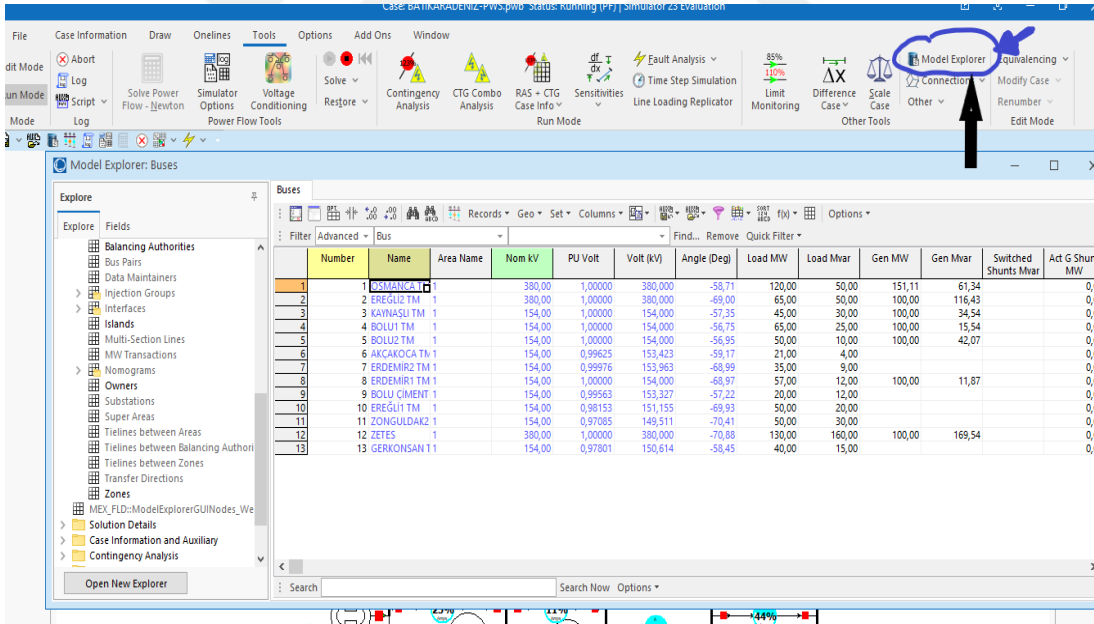
The dialog box 'Bus Information for Present' displays the following information for Bus 1:

- Bus Number: 1
- Bus Name: OSMANCA TM
- Nom. Voltage: 380,000
- Labels: no labels
- Area: 1
- Zone: 1
- Substation: 1
- Owner: 1
- Voltage (p.u.): 1,0000
- Angle (deg): -58,714
- Voltage (kV): 380,000
- Angle (rad): -1,02476
- Status:  Connected
- Slack Bus:
- Generator Information:
  - Total MW: 75,2
  - Total Mvar: 191,3
- Switched Shunt Information:
  - G (MW): Actual, Nominal
  - B (Mvar): Actual, Nominal
- Bus Shunt Admittance:
  - G (MW): Actual, Nominal
  - B (Mvar): Actual, Nominal
- Bus Voltage Regulation:
  - Desired PU Voltage: 1,0000
  - Regulated by: 1 (OSMANCA TM\_380,0) #1, 1 (OSMANCA TM\_380,0) #2
- Buttons: OK, Save, Save to Aux, Cancel, Help, Print

Şekil 6.6. Bus Information For Present (Bara Bilgileri-Anlık)



Şekil 6.7. Bus View For Osmanca TM (Osmanca TM Bara Görüntüsü)



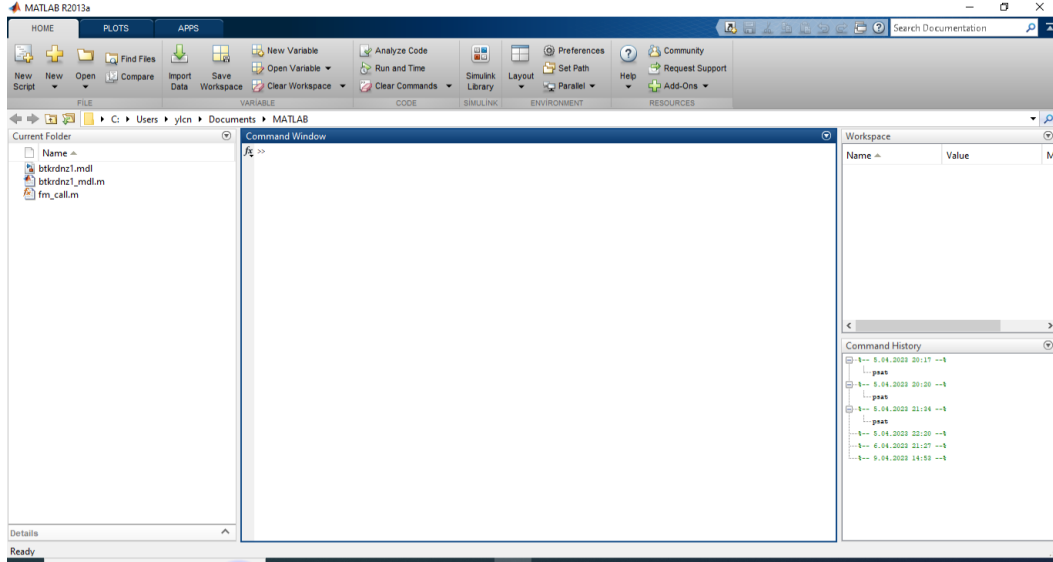
Şekil 6.8. Model Explorer( Simülasyon Sonuçları)



## 7.1. GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİMÜLASYON VE ANALİZ UYGULAMA PROGRAMI PSAT

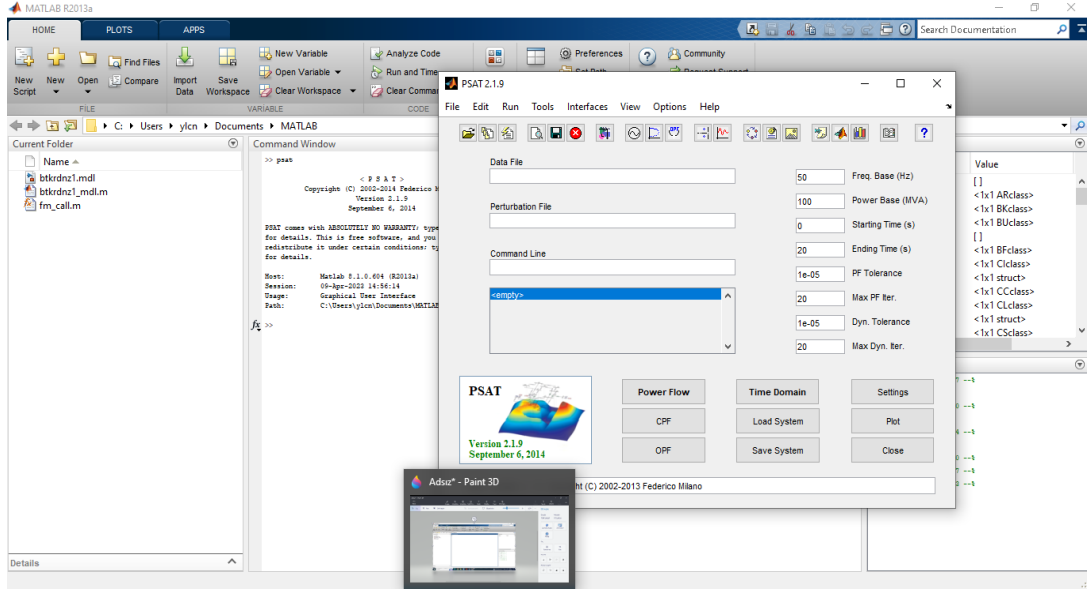
Power System Analysis Toolbox (PSAT) güç sistemlerinin benzetim ve analizini oluşturan bir matlab uygulamasıdır. Psat uygulamasının yaptığı ana işler, yük akışı, sürekli yük akışı, optimal yük akışı, küçük işaret kararlılık analizi, zaman domeni benzetimini, fazör ölçüm birimi yerleşimi (PMU), FACTS modelleri, rüzgar türbin modelleri, bazı formattaki verilerin çevrimi, program sonuç raporlaması, GAMS ve UWPFLOW programları ile ara yüz sunmasıdır. [36]

Matlab programına Federico Milano tarafından tasarlanan Psat Toolbox (Araç Kutusu) aynı internet sitesi üzerinden indirilerek yükleme işlemi yapılır. İndirilen Psat araç çubuğu ana ekrandan SET PATH tıklanarak Add Folder ve Save yapılarak Matlab Toolbox içerisine kaydedilir.



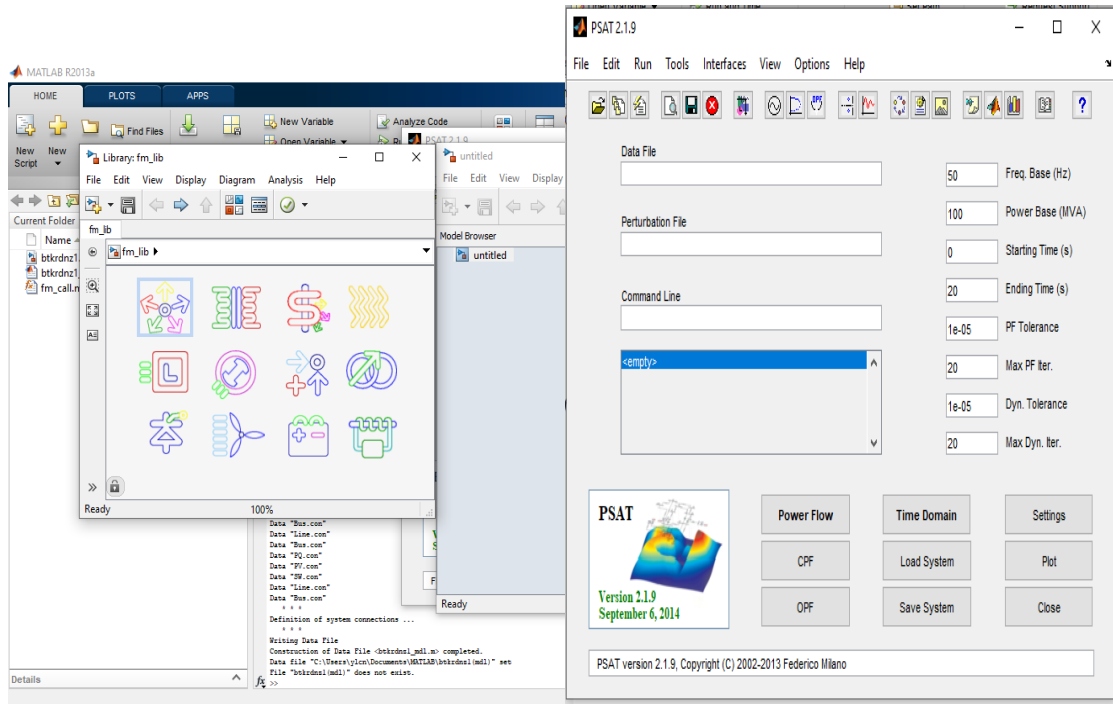
Şekil 7.2. Matlab Programının Başlatılması

Matlab programı başlatılarak Command Window (Komut Satırı) bölümüne Psat yazılarak giriş(enter) yapılır ve program başlatılır. Program ikinci bir ekran olarak açılır ve versiyon numarasıyla birlikte görünür.(PSAT 2.1.9)



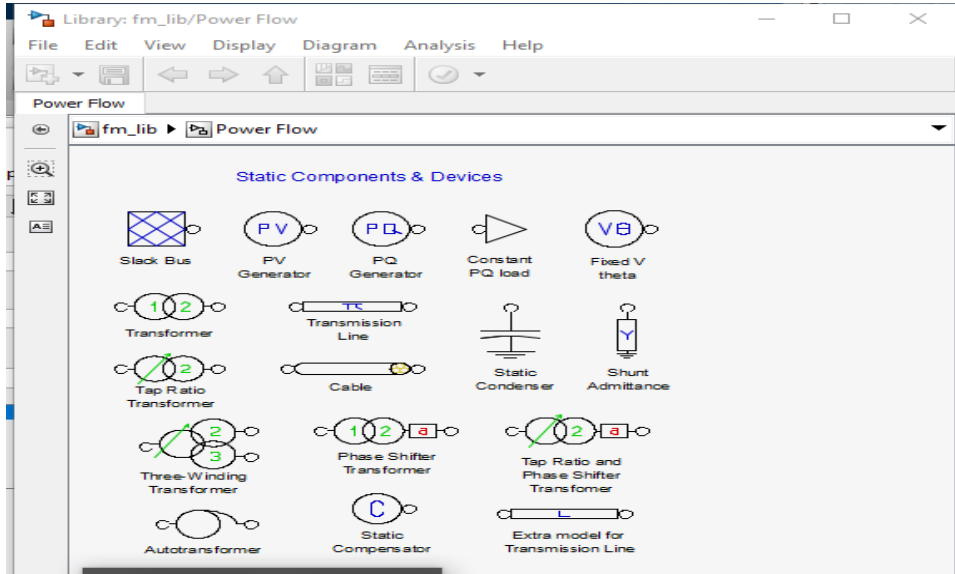
Şekil 7.3. Psat Toolbox Programının Ana Ekran Görüntüsü

Psat araç kutuları içerisinde bulunan Open Psat Simulink Library araç kutusuna tıkladığımızda çizim komutlarının yer aldığı kütüphane karşımıza çıkmaktadır.



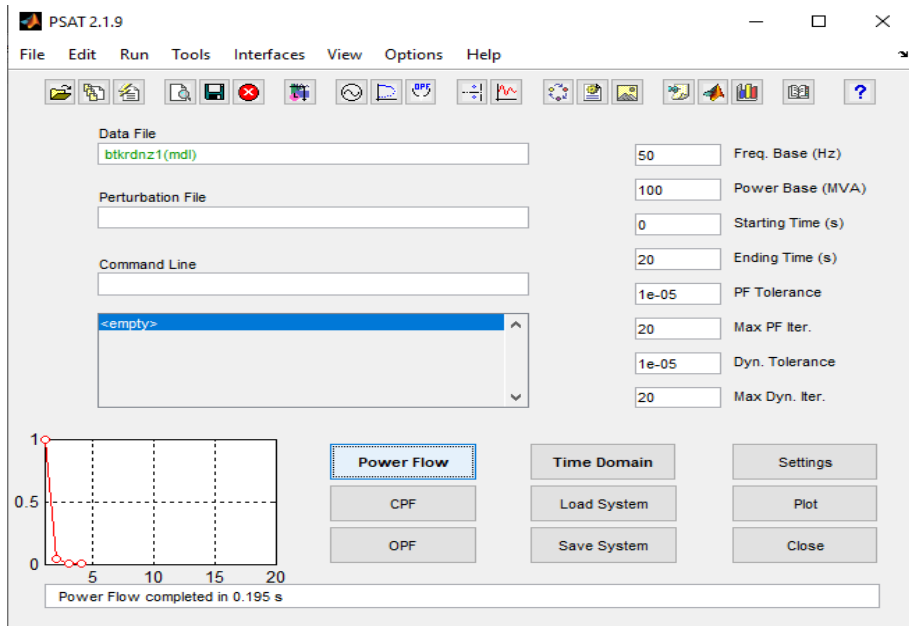
Şekil 7.4. PSAT Toolbox Library (PSAT Kütüphane Bölümü)

Library (Kütüphane) bölümünde yer alan Connections, Power Flow, Loads, Machines...gibi renkli birimler ile çizim alanına çağırmak istediğimiz şebeke elemanlarına erişim sağlanabilmektedir.



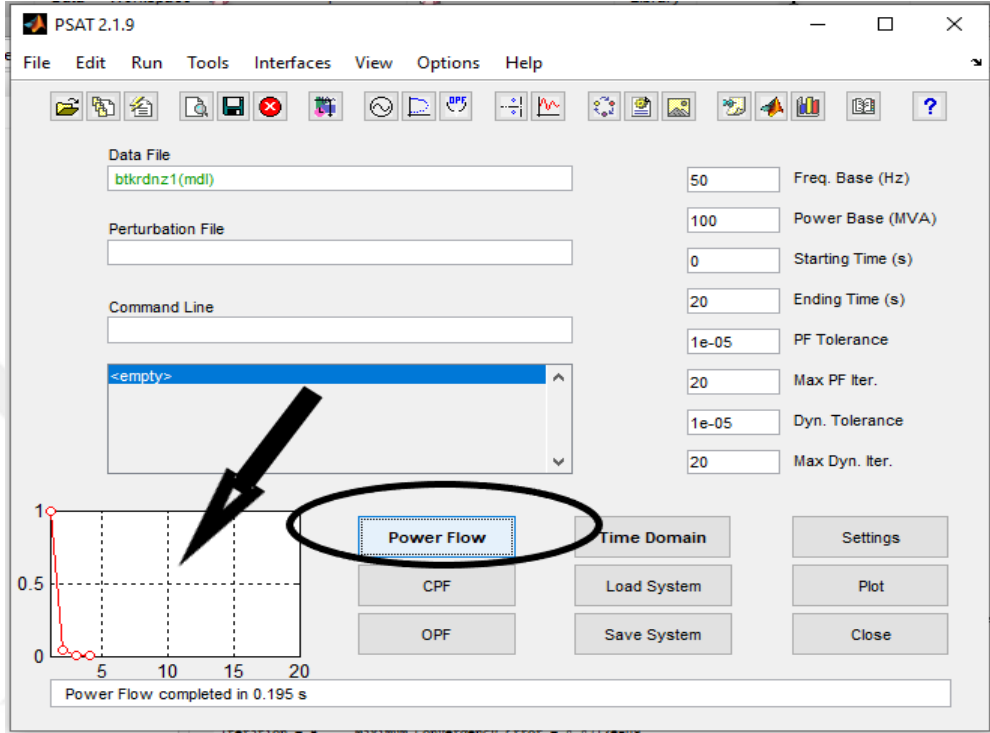
Şekil 7.5. PSAT Toolbox Power Flow (Yük Akış Bölümü)

Psat menüsü üzerinde yer alan Edit menüsü ile düzen ayarları, Run menüsü ile yük akışı çalıştırma ve analiz etme durumları, Tools menüsü ile araçlar bölümüne ait ayarları, options menüsü ile ayarları, View menüsü ile görünüm ayarlarını ve sonuçları aldığımız Static Report istatistiksel tablo ayarları yapabilmektedir.



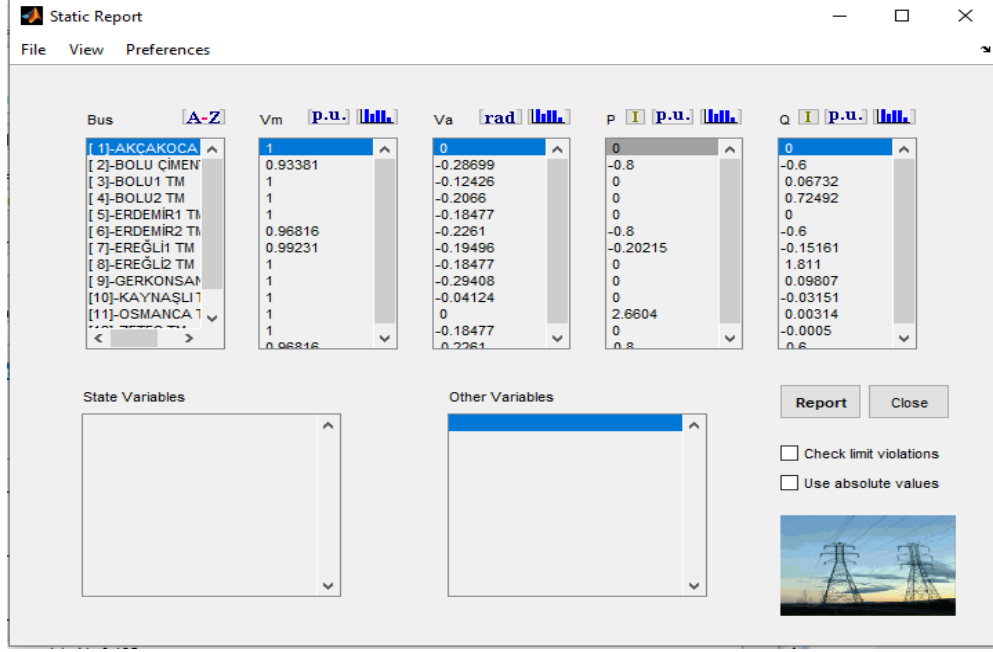
Şekil 7.6. PSAT Toolbox Options (PSAT Araç Çubuğu Ayarları)

Program üzerinde bulunan DATA FİLE bölümünden yük akış simülasyonunu çizdiğimiz ve kaydettiğimiz dosyayı çağırabiliyoruz. Bu bölüme çift tıkladığımızda kayıtlı ve .mdl uzantılı psat dosyasını alana ekliyoruz ve yeşil renkte olduğundan emin oluyoruz artık program yüklenmeye hazır hale geliyor.



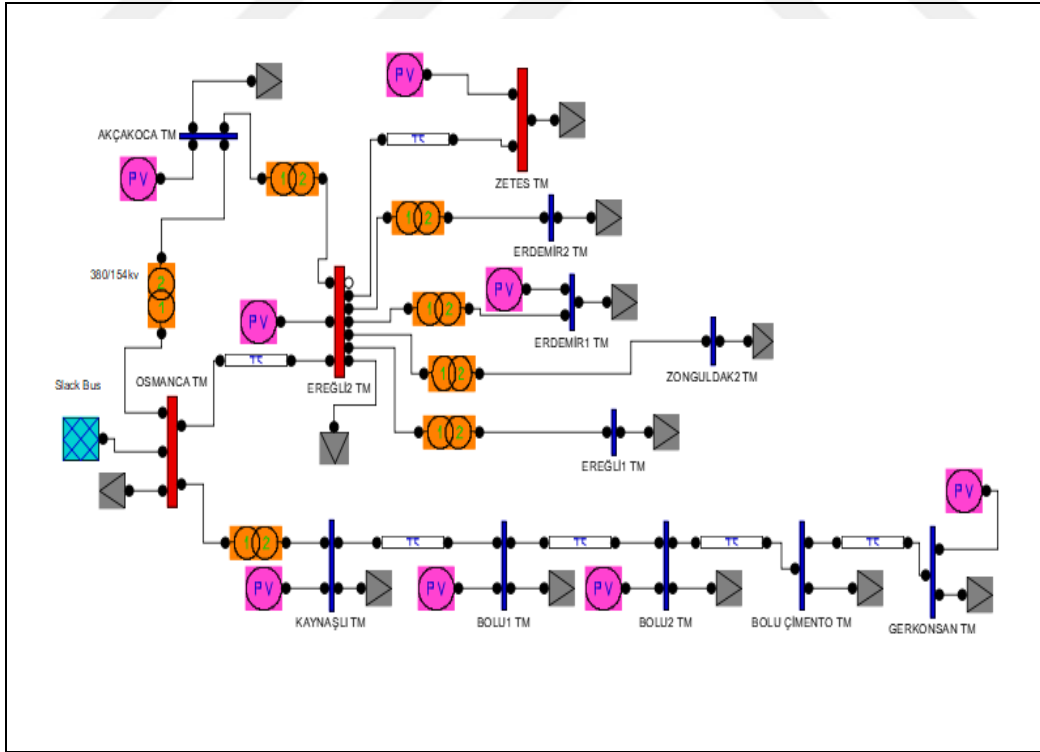
Şekil 7.7. PSAT Analiz Ekranı

Ara yüz üzerinde bulunan Power Flow (Yük Akış) bölümüne tıkladığımızda daha önce belirlediğimiz yaklaşımlardan biri ile program analizini gerçekleştirmektir. Kırmızı çizgi üzerinde bulunan daireler bu analizin kaç iterasyonda sonuçlandığını göstermektedir.



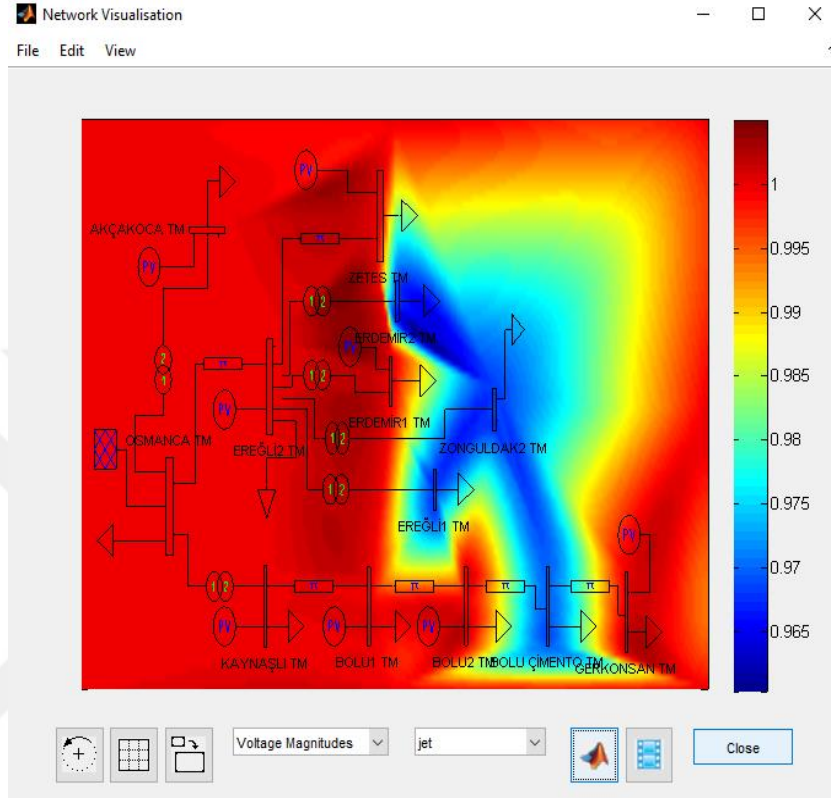
Şekil 7.8. PSAT Toolbox Static Report (PSAT Özet Rapor Ekranı)

Araç kutuları içerisinde yer alan Static Report kutucuğu seçildiğinde şebekemize ait özet rapor ekranı açılmaktadır. Tüm baralara ait(Bus) değerleri gerçek değer ya da per-unit(Pu) değer olarak bu ekrandan okuyabilir ve grafiklerini görebilmekteyiz.



Şekil 7.9. PSAT Batı Karadeniz Bölgesi Enterkonnekte Sistem Görünümü (Wiew File)

Psat üzerinde oluşturulan şebeke sistemine ait 380kV baralar kırmızı renkli ve oto transformatörler ise turuncu renkli olarak gösterilmiştir. Yine aynı şekilde gerçekleştirilen çizim üzerinde 154kV baralar mavi renkler ile yükler(tüketiciler) ise gri renkler ile gösterilmiştir. Otoproduktör santraller ise mor renk olarak ifade edilmiştir.



Şekil 7.10. PSAT Batı Karadeniz Bölgesi Enterkonnekte Sistemi Gerilim Büyüklük Alanı

İlk Bara İstasyonu	Son Bara İstasyonu	Hat Kesitleri	100MVA (pu) R	100MVA (pu) X	100MVA (pu) Y	Mesafe (km)
154 Kv Kaynaşlı	154 Kv Osmanca	477 MCM	0.012437	0.039894	0.013672	22
154 Kv Bolu 1	154 Kv Kaynaşlı	477 MCM	0.014748	0.047306	0.016212	26
154 Kv Bolu 1	154 Kv Bolu 2	477 MCM	0.009784	0.030984	0.010907	17
380 Kv Ereğli 2	380 Kv Osmanca	C2 954 MCM	0.001174	0.010699	0.249531	49

154 Kv Akçakoca	154 Kv Osmanca	477 MCM	0.013107	0.041363	0.014666	23
154 Kv Akçakoca	154 Kv Ereğli 2	477 MCM	0.020041	0.063604	0.022288	35
154 Kv Erdemir 1	154 Kv Ereğli 2	795 MCM	0.001131	0.005607	0.002148	3
154 Kv Ereğli 2	154 Kv Erdemir 2	795 MCM	0.000854	0.004232	0.001622	2
154 Kv Erdemir 1	154 Kv Erdemir 2	795 MCM	0.000356	0.001765	0.000676	3
154 Kv Ereğli 2	154 Kv Zonguldak	477 MCM	0.021577	0.069210	0.023719	38
154 Kv Bolu Çimento	154 Kv Gerkonsan	477 MCM	0.021826	0.069609	0.024144	37
154 Kv Bolu 2	154 Kv Bolu Çimento	477 MCM	0.002897	0.009090	0.003261	5

Şekil 7.11. İletim Hatlarına Ait Karakteristikler [32]

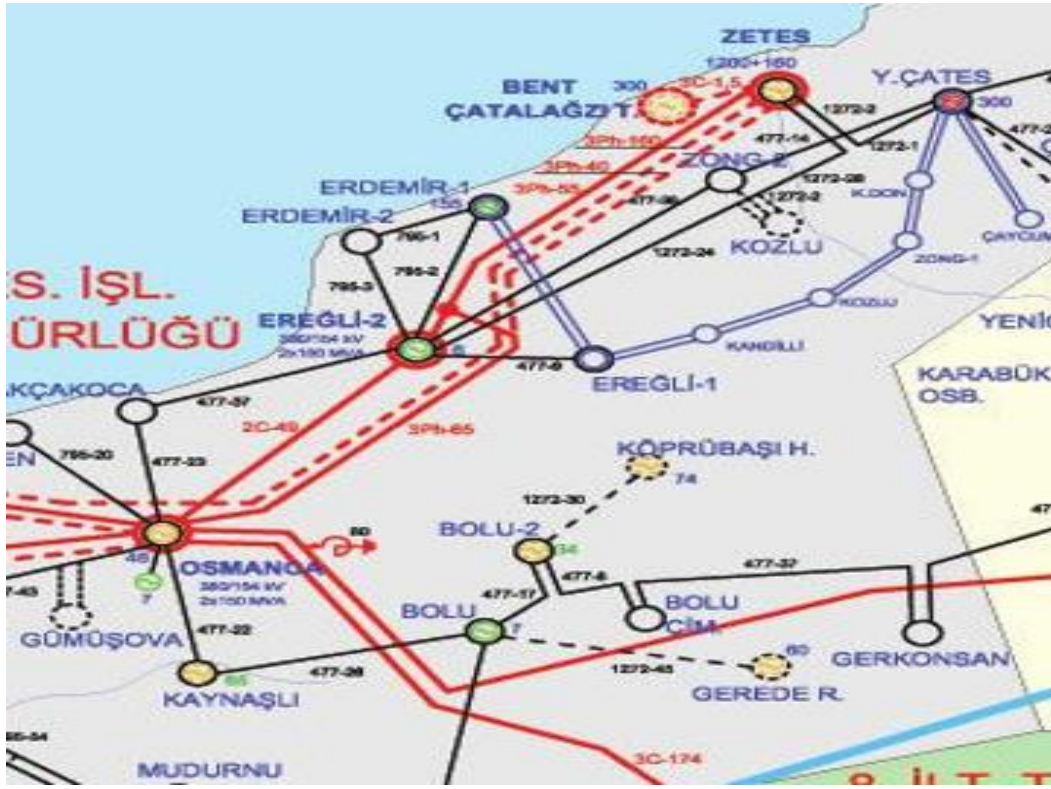
## 8. YÜK AKIŞI VE ARIZA ANALİZİ UYGULAMALARI

### 8.1. BATI KARADENİZ BÖLGESİ ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMİNİN POWERWORLD SİMÜLATÖR(PWS) İLE NORMAL ÇALIŞMA SİMÜLASYONU

Türkiye enterkonnekte sisteminin Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Bolu, Düzce ve Zonguldak illerini içine alacak şekilde bir ada oluşturularak çalışma alanı belirlenmiştir. Bölge üzerinde Düzce ili sınırları içerisinde bulunan 380kV Osmanca Trafo Merkezi (TM) salınım barası(Slack Bus) olarak seçilmiştir. Osmanca TM'nin bölgede bulunan 380kV üç baradan biri oluşu ve bu merkezden iki kola ayrılan ENH'nın bulunuşu bu bölge için merkez noktası oluşturan Osmanca TM'nin kritik bir noktada yer alması da slack bus (salınım barası) olarak seçiminde önemli etkenler olmuştur. 380kV Osmanca TM'den yine 380kV Ereğli-2 TM'ne uzanan birinci kol ENH 380kV Zetes TM barasına kadar uzanmaktadır. Batı Karadeniz bölgesine ait oluşturulan bu güç sistemi adasında 380kV Osmanca, Ereğli-2 ve Zetes TM olmak üzere üç adet 380kV bara mevcuttur. 154kV Akçakoca, Ereğli-1, Erdemir-1, Erdemir-2, Zonguldak, Kaynaşlı, Bolu-1, Bolu-2, Bolu-Çimento, Gerkonsan TM olmak üzere de on (10) adet de 154kV bara bulunmaktadır. Toplam on üç adet trafo merkezi PWS ( Power World Simülatör) programının öğrenci versiyonu ile çalışılmasına da olanak sağlamıştır.

Bölgede bulunan sekiz (8) trafo merkezinde otoprodüktör santral bulunmaktadır. Bu santraller daha çok sanayi ve endüstrinin yoğun olduğu bölgelerde kendi enerjisini üretmek için özel ya da kamu teşebbüslerince kurulmuş küçük güçlü santraller olup tüketiminden fazlasını ise TEİAŞ ile yaptıkları protokoller ile bu kuruma satabilmektedirler.

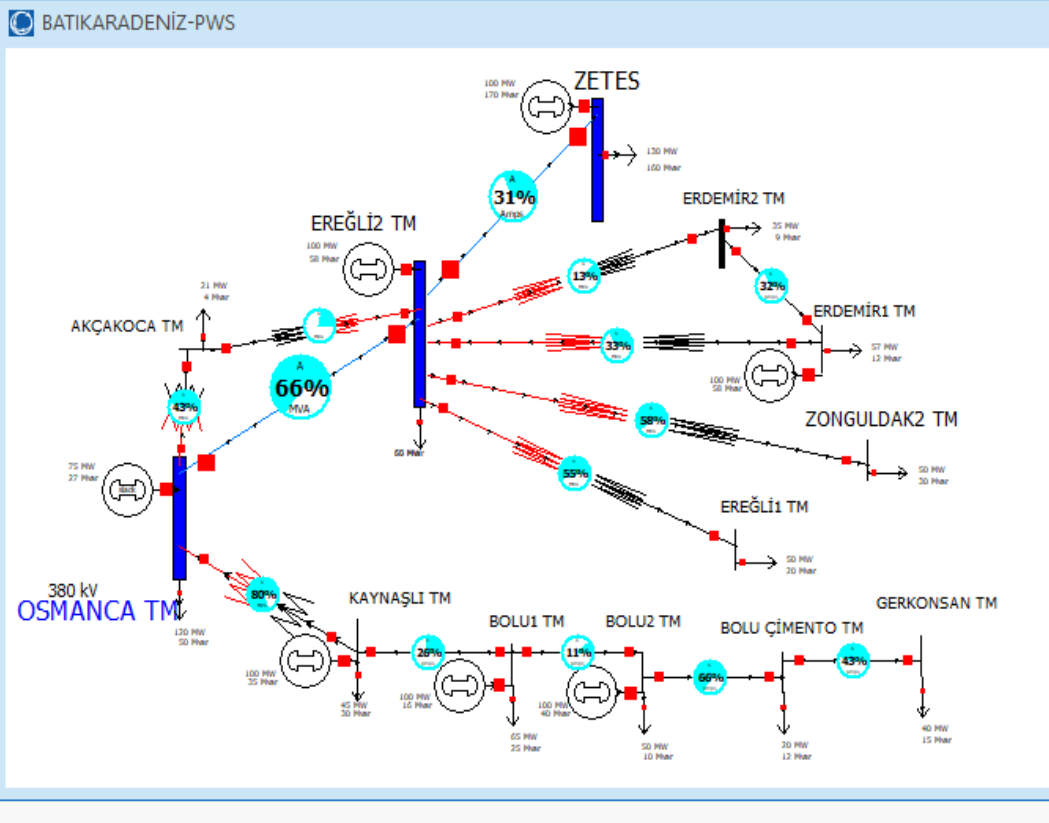
Trafo merkezlerinde bulunan 380/154kV oto transformatörler çift yönlü olarak çalışabilmektedir. Daha net açıklayacak olursak enterkonnekte sistem üzerinde ihtiyaç ne yönde hasıl oldu ise o tarafa yük akışı sağlanmaktadır. Oto transformatörler zaman zaman yükseltici transformatör görevi görür iken ihtiyaç dahilinde de alçaltıcı-düşürücü transformatör görevi görmektedirler.



Şekil 8.1. Batı Karadeniz Bölgesine Ait Enterkonnekte Sistem Haritası [16]

Batı Karadeniz bölgesine ait enterkonnekte sistemin PWS programı üzerinde yerleşim hali şekil-8.2’de gösterilmiştir. Ekran görüntüsü üzerinde 380kV Osmanca TM, Ereğli-2 TM ve Zetes TM baraları mavi renkte gösterilmiştir. 154kV Gerkonsan TM, Bolu Çimento TM, Bolu-1 TM, Bolu-2 TM, Kaynaşlı TM, Akçakoca TM, Erdemir-1 TM, Erdemir-2 TM, Zonguldak-2 ve Ereğli-1 TM baraları siyah renkli olarak gösterilmiştir ve bara parametreleri verilmiştir.

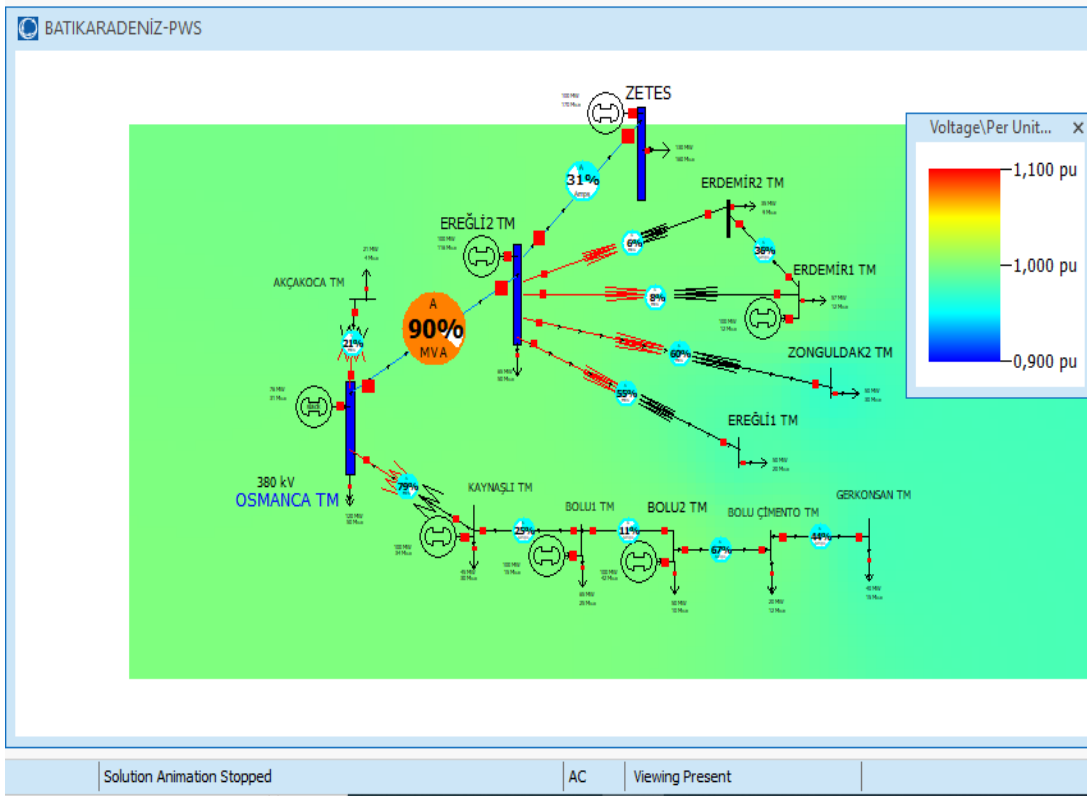
Normal çalışma durumu incelendiğinde amper ya da güç akışında anormal bir durum söz konusu değildir. 380kV Ereğli-2 TM ve 380kV Osmanca TM hattı arasında bulunan ENH %90 kapasite ile en yüksek yoğunluk oranıyla çalışan hat olarak görülmektedir. Bara parametrelerinde ise 0,97 per-unit ile en düşük gerilim değeri Zonguldak-2 TM barasından alınmaktadır. Hatlar üzerinde aşırı bir akım (Amper-A) yada güç akış değeri (MVA) oluşarak kapasite aşımı olduğunda sırasıyla turuncu ve kırmızı renklerle hat orta bölümünde dairesel veri olarak gösterilmekte ve aşım oranı da yüzde büyüklük ile simülasyon üzerinde belirtilmektedir.



Şekil 8.2. Batı Karadeniz Bölgesine Ait PWS Çalışma Görünümü

Bus Number	Name	Area Nam	Nom kv	PU Volt	Volt (kv)	Angle (De)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA	1	380	1	380	0	120	50	151,11	61,28
2	EREĞLİ2 T1		380	1	380	-10,28	65	50	100	116,43
3	KAYNAŞLI 1		154	1,00002	154,003	1,37	45	30	100	34,39
4	BOLU1 TM1		154	1,0001	154,016	1,96	65	25	100	15,36
5	BOLU2 TM1		154	1,00022	154,034	1,76	50	10	100	42,46
6	AKÇAKOC.1		154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2		154	0,99976	153,963	-10,28	35	9		
8	ERDEMİR1		154	1	154	-10,26	57	12	100	11,87
9	BOLU ÇİM 1		154	0,99585	153,361	1,5	20	12		
10	EREĞLİ1 T1		154	0,98153	151,155	-11,22	50	20		
11	ZONGULD.1		154	0,97085	149,511	-11,7	50	30		
12	ZETES		380	1	380	-12,17	130	160	100	169,54
13	GERKONS.1		154	0,97823	150,647	0,26	40	15		

Şekil 8.3. PowerWorld Simülör Bara Parametreleri



Şekil 8.4.PWS contouring (PWS Yük Yoğunluğu Renkli Şekillendirme)

## 8.2. BATI KARADENİZ BÖLGESİ ENTERKONNEKTE GÜÇ SİSTEMİNİN MATLAB PSAT UYGULAMASI İLE NORMAL ÇALIŞMA SİMÜLASYONU

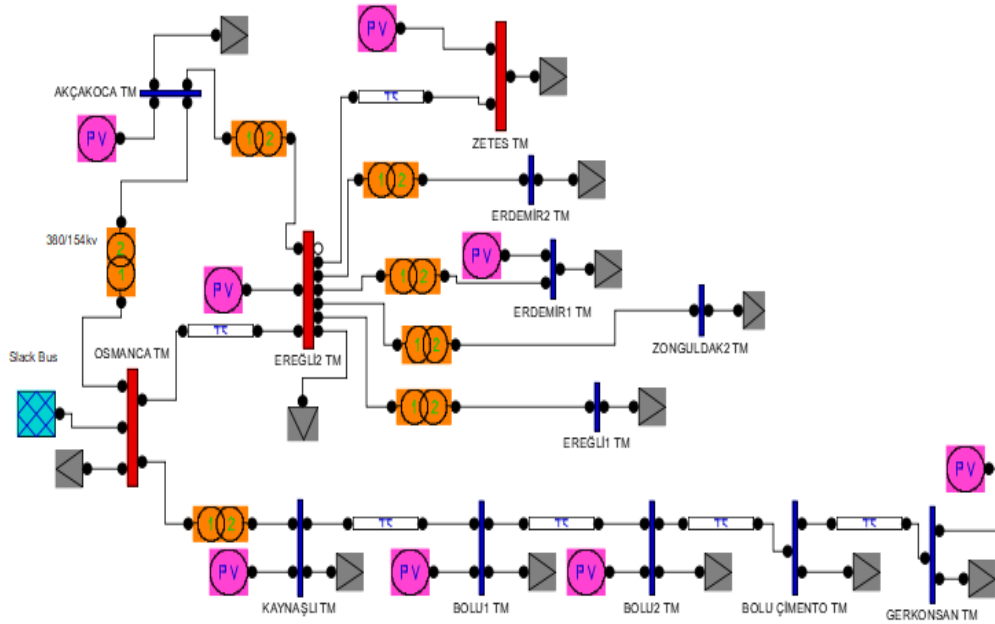
Türkiye enterkonnekte sisteminin Batı Karadeniz bölgesinde bulunan Bolu, Düzce ve Zonguldak illerini içine alacak şekilde bir ada oluşturularak çalışma alanı belirlenmiştir.

Psat üzerinde 380kV Osmanca TM salınım barası (Slack Bus) açık mavi renkli gösterilmiş 380kV baralar kırmızı renkli ve oto transformatörler ise turuncu renkli olarak gösterilmiştir. Yine aynı şekilde gerçekleştirilen simülasyon üzerinde 154kV baralar mavi renkler ile yükler (tüketiciler) ise gri renkler ile gösterilmiştir. Otoprodüktör santraller ise mor renkli olarak ifade edilmiştir. Psat Programında yapılan çalışmada PowerWorld Simülatör programına ek olarak Gerkonsan TM barasına sanal otoprodüktör santral bağlantısı yapılmıştır. Bunun sebebi uç noktada oluşan gerilim düşümünün izin verilen değerlerin çok altına düşmesi durumundan kaynaklıdır. Batı Karadeniz enterkonnekte güç sistemi örnek alan seçimi ile ülke sistemi üzerinden alınan

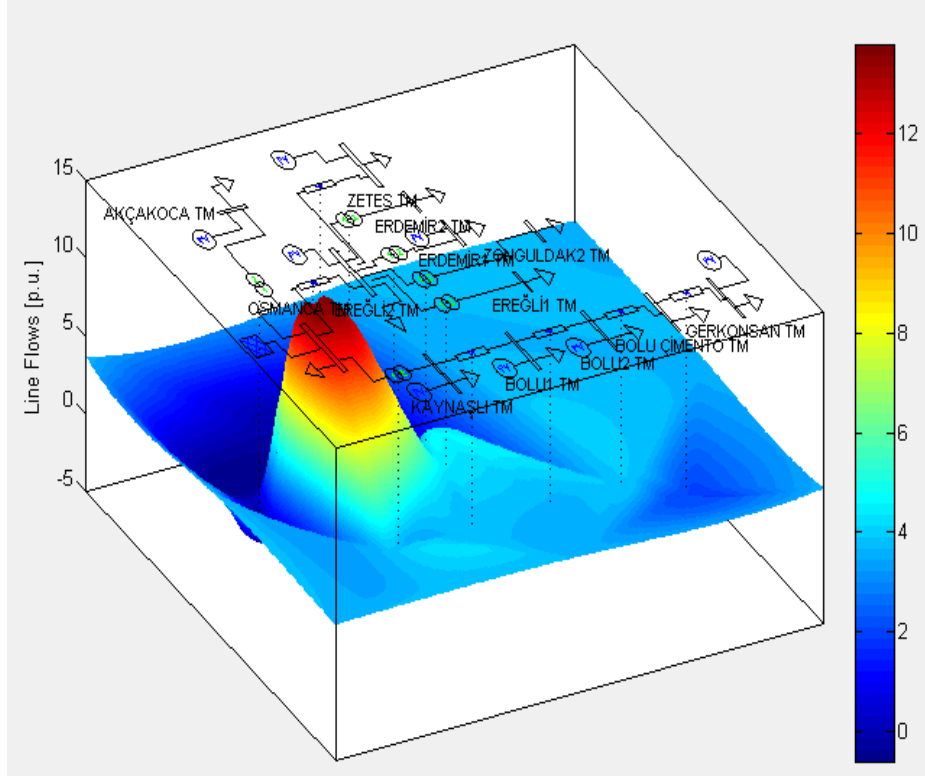
bir bölge kesitidir. Tüm adalar esasında irtibat hatları ile birbirine bağlıdır. Gerkonsan TM de daha ileride İsmetpaşa TM bağlantısına sahip olarak alternatif bir besleme noktasına sahiptir. Nadir de olsa ülkemizde hattın uç noktasında bulunan ve ikinci bir besleme hattı alternatifi olmayan tek hat ile beslenen trafo merkezleri de mevcuttur. Bu merkezlerde hem gerilim düşümü kaynaklı gerilim azalmalarına rastlanmakta hem de arıza ve bakım kaynaklı olarak hattın enerjisz kaldığı durumlarda uzun süreli enerji kaybı yaşanmaktadır.

PowerWorld Simülör programı üzerinde yüzde doksan (%90) olarak en yoğun yük akışının olduğu 380kV Osmanca TM ve 380kV Ereğli-2 TM arasında bulunan hat yine aynı şekilde Psat programında da Network Visualisation (Line Flows)yük akışı bölümünde kırmızı renkli alan görüntüsü ile belirtilerek yük yoğunluğu en yüksek bölge olarak gösterilmiş ve hat üzerinde yine ifade edilmiştir.

Batı Karadeniz bölgesine ait normal çalışma simülasyonuna ait veriler şekil-8.7 ve şekil-8.8’de verilmiştir.



Şekil 8.5. Psat Programında Batı Karadeniz Bölgesine Ait Enterkonnekte Sistem Yerleşimi Görünümü



Şekil 8.6. Psat Network Visualisation-Line Flows(Enterkonnekte Ağ Görselleştirilmiş Yük Akışı)

```

NETWORK STATISTICS
Buses: 13
Lines: 6
Transformers: 6
Generators: 9
Loads: 13

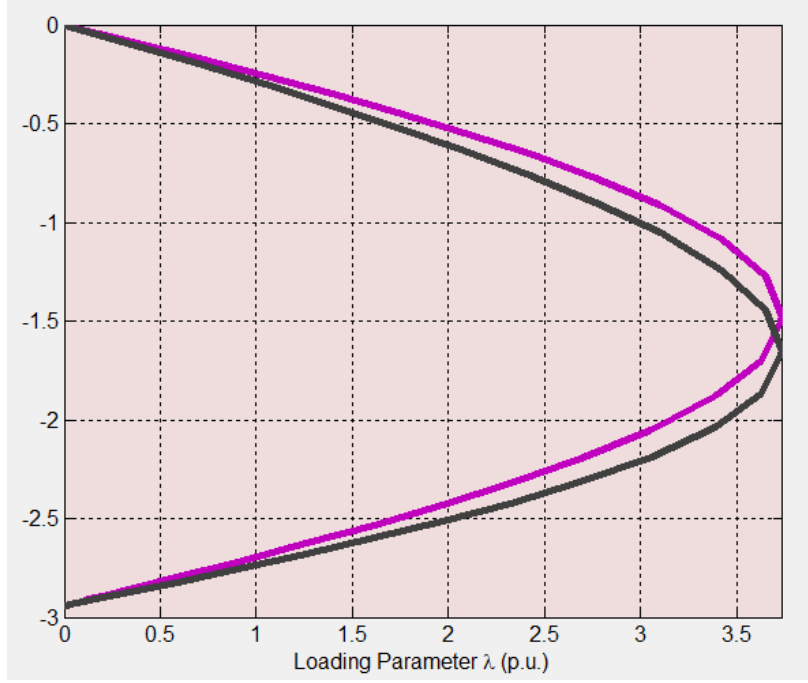
SOLUTION STATISTICS
Number of Iterations: 4
Maximum P mismatch [p.u.] 0
Maximum Q mismatch [p.u.] 0
Power rate [MVA] 100

POWER FLOW RESULTS

```

Bus	V [p.u.]	phase [rad]	P gen [p.u.]	Q gen [p.u.]
AKÇAKOCA T	1	0	0.8	0.6
BOLU ÇİMEN	0.97248	-0.29103	0	0
BOLU1 TM	1	-0.12567	0.8	0.66888
BOLU2 TM	1	-0.20894	0.8	0.94163
ERDEMİR1 T	1	-0.24799	0.8	0.6
ERDEMİR2 T	0.96816	-0.28932	0	0
EREĞLİ1 TM	0.96816	-0.28932	0	0
EREĞLİ2 TM	1	-0.24799	0.8	3.105
GERKONSAN	1	-0.31975	0.8	1.0586
KAYNAŞLI T	1	-0.04171	0.8	0.56873
OSMANCA TM	1	0	4.0945	0.67677
ZETES TM	1	-0.24799	0.8	0.5995
ZONGULDAK2	0.96816	-0.28932	0	0

Şekil 8.7. Psat Static Report (Statik Rapor Ekranı)



Şekil 8.8. Psat Plot(Çizim Menüü)

Şekil-8.6 üzerinde gösterilen Psat Network Visualisation -Line Flows (Enterkonnekte Ağ Görselleştirilmiş Yük Akışı) bölümde kırmızı alan yük akışının yoğun olduğu bölgeyi ifade etmektedir. Görsel üzerinde bulunan diğer bölgelerde sarı, mavi ve koyu mavi alanlar ise oransal olarak daha düşük yoğunlukta yük akışının olduğu merkezleri belirtmektedir. Her iki program üzerinden(Psat-Pws) uygulama sonuçlarına göre Osmanca TM ve Ereğli-2 TM ENH'nın yüksek yük akışı kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

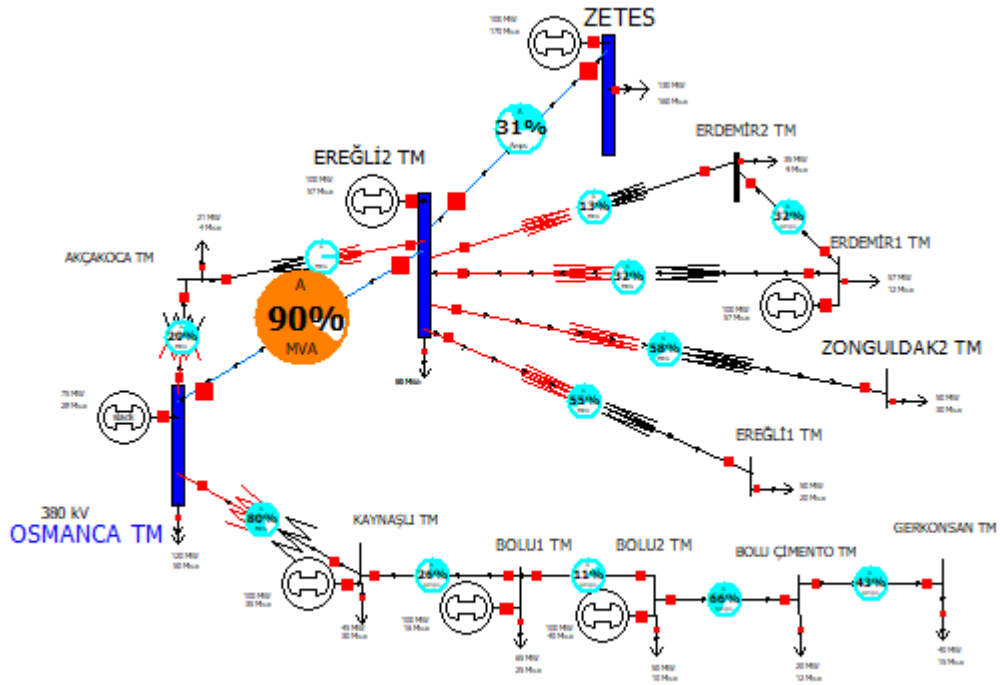
Şekil-8.7 görseli üzerinde Psat Static Report (Statik Rapor) simülasyon sonuç raporlarından baralara ait gerilim ve açı değerleri verilmektedir. İstenirse bu değerlere Per-unit(Pu) ve radyan olarak da erişilebilmektedir. Statik rapor bölümünden aktif-reaktif yük durumları ile ilgili veriler ve tüm verilerin çubuk grafiği sonuç ekranları da elde edilebilmektedir.

Şekil-8.8 üzerinde Psat programına ait plot-grafik ve eğriler bölümünden açı ve gerilim değerlerine ait temel eğriler çizdirilebilmektedir. Seçili bara veya baralara ait açı ve gerilim değerlerine ait grafikler elde edilebilmektedir. P-V eğrisi baraların maksimum yüklenme ilişkisini gösteren eğrilerdir. Gerilim ve maksimum yüklenme parametresi ( $V-\lambda$ ) arasındaki ilişkiyi kurmak ve belirlemek için sürekli yük akışı yapılmalıdır.[56]  $\lambda$  (maksimum yüklenme parametresi) yüklenme oranını temsil etmektedir.

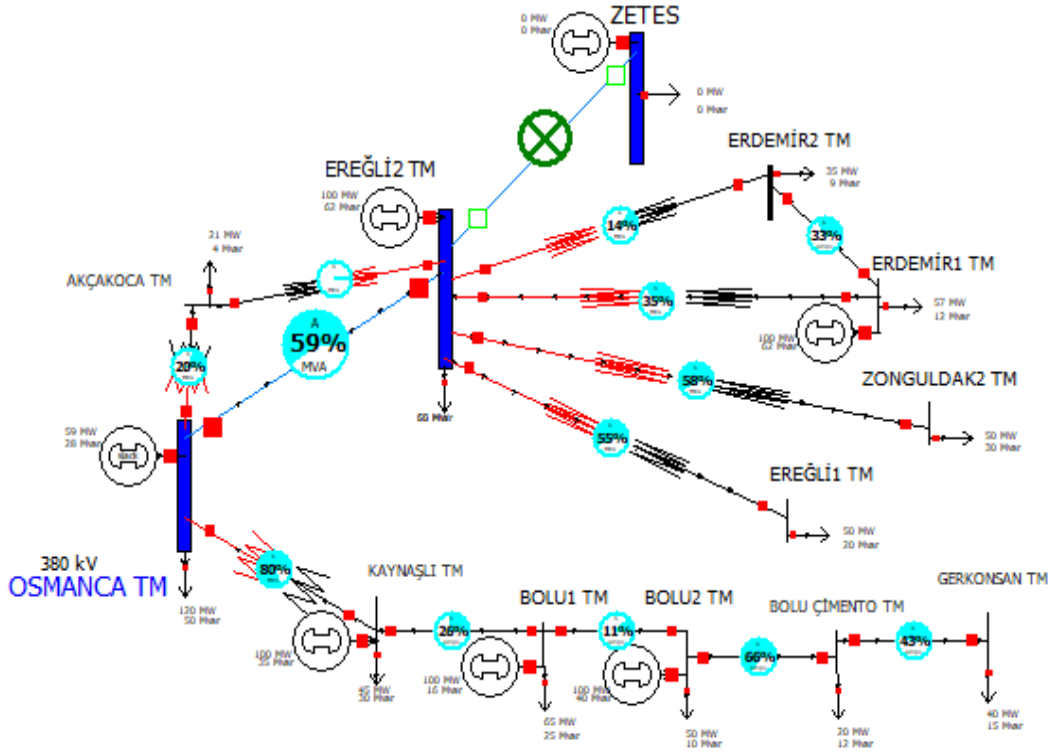
### 8.3. SENARYO-1 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI

Ereğli-2 TM ve Zetes TM arasındaki 380kV ENH'nın faz-toprak arızası sonucu hatta ait mesafe koruma rölesinin çalışarak ve kesicilerinin açarak hattın devreden çıktığı durum incelendiğinde; PowerWorld simülasyonu üzerinde herhangi bir değişiklik olmadan sistemin kararlı bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmektedir. Zetes - Ereğli2 380kV ENH devre dışı kaldığında Osmanca-Ereğli2 380kV'luk hat üzerinde taşınan yükün %31 oranında azaldığı görülmüştür. Osmanca TM'den Zetes TM yönüne yük akışı olduğu görülmekte olduğundan bölgede bulunan otoprodüktör santrallerin gücünün artırılması olağanüstü durumlarda ada moduna geçiş yapıldığında bölgenin enerjisiz kalmasını da önleyecektir.

Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH'na ait kapalı devre öncesi ve sonrası simülasyon durumları şekillerde verilmiştir.



Şekil 8.9. PWS Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Normal Çalışma Durumu



Şekil 8.10. PWS Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Açık Devre Durumu

Sistemi tekrar eski konumuna almak için kesiciler kapatıldığında herhangi bir anormal durum ile karşılaşılmamaktadır. Enterkonnekte güç sistemlerinde herhangi bir arıza ya da manevra sonucu sistem tekrar eski haline getirilmek istenildiğinde tehlikeli durumlar ile karşılaşılması söz konusu olabilmektedir. Sistem üzerinde izin verilen çalışma gerilim değerlerinin değişmesine yine aynı şekilde koruma sistemi üzerinde bulunan düşük frekans rölelerinin (DFR) çalışarak sistemde bulunan diğer kesicilere açma komutu göndermesine kadar içinden çıkılmaz durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu şekilde zincirleme olarak sistemde bulunan kesicilerin açması neticesinde bölgesel sistem oturmaları (sıfır istasyon) görülebilmektedir. Bu gibi istenmeyen durumlar için çok dikkatli olunmalıdır.

Gerilim, frekans ve diğer parametreler göz önünde bulundurularak gerekli şartlar sağlandığında YTM koordinesinde iletim hatları ve transformatörler devreye alınmaktadır.

Bus										
Number	Name	Area Nam	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (De	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA	1	380	1	380	0	120	50	151,11	61,28
2	EREĞLİ2	TM	380	1	380	-10,28	65	50	100	116,43
3	KAYNAŞLI	1	154	1,00002	154,003	1,37	45	30	100	34,39
4	BOLU1	TM	154	1,0001	154,016	1,96	65	25	100	15,36
5	BOLU2	TM	154	1,00022	154,034	1,76	50	10	100	42,46
6	AKÇAKOC	1	154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2	1	154	0,99976	153,963	-10,28	35	9		
8	ERDEMİR1	1	154	1	154	-10,26	57	12	100	11,87
9	BOLU ÇİM	1	154	0,99585	153,361	1,5	20	12		
10	EREĞLİ1	TM	154	0,98153	151,155	-11,22	50	20		
11	ZONGULD	1	154	0,97085	149,511	-11,7	50	30		
12	ZETES	1	380	1	380	-12,17	130	160	100	169,54
13	GERKONS	1	154	0,97823	150,647	0,26	40	15		

Şekil 8.11. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH'nın Enerjili ve Devrede Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri

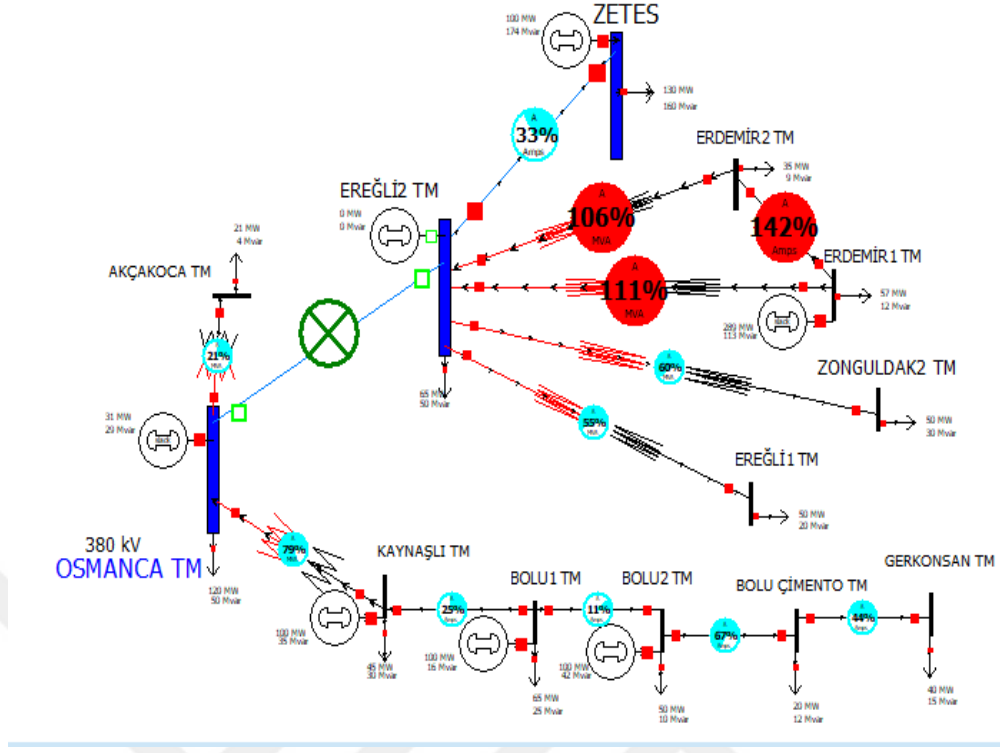
Bus										
Number	Name	Area Nam	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (De	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA	TM	380	1	380	0	120	50	120,38	58,29
2	EREĞLİ2	TM	380	1	380	-6,74	65	50	100	118,89
3	KAYNAŞLI	TM	154	1	154	1,37	45	30	100	34,54
4	BOLU1	TM	154	1	154	1,96	65	25	100	15,53
5	BOLU2	TM	154	1	154	1,76	50	10	100	42,07
6	AKÇAKOCA	TM	154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2	TM	154	0,99976	153,963	-6,73	35	9		
8	ERDEMİR1	TM	154	1	154	-6,71	57	12	100	11,87
9	BOLU ÇİMENT	1	154	0,99563	153,326	1,5	20	12		
10	EREĞLİ1	TM	154	0,98153	151,155	-7,67	50	20		
11	ZONGULDAK	2	154	0,97085	149,511	-8,15	50	30		
12	ZETES	1	380	0	0	0	0	0	0	0
13	GERKONSAN	1	154	0,97801	150,614	0,26	40	15		

Şekil 8.12. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH'nın Devre Dışı Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri

#### 8.4. SENARYO-2 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI

380kV Osmanca TM ve 380kV Ereğli-2 TM hattına ait kesicilerin açıldığında aynı zamanda da Ereğli-2 barasına bağlı otoprodüktör santralin devre dışı kaldığı durum incelendiğinde; sistem kararlı bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmektedir. Ancak 380kV Ereğli-2 barasına bağlı bulunan 154kV hatlardan Erdemir-1 ve Erdemir-2 ENH'nın aşırı yüklendiği görülmektedir. Erdemir-1 ve Erdemir-2 ENH'nın %42 oranında bölge üzerinde en fazla yüklenen hat olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Ereğli-2 ve Erdemir-1 ENH'nın %11 aşırı yük taşıdığı görülmektedir. Ereğli-2 ve Erdemir-2 ENH'nın %6 kapasite fazlasıyla çalıştığı görülmektedir.

Sisteme ait simülasyonun çalışma görüntüleri şekil-8.13'de verilmiştir.



Şekil 8.13. PWS Ereğli-2 ve Osманca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Olma Durumu

Bus Number	Name	Area Nam	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (De	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA TM	1	380	1	380	0	120	50	61,7	57,78
2	EREĞLİ2 TM	1	380	0,99578	378,396	-10,5	65	50	0	0
3	KAYNAŞLI TM	1	154	1	154	1,37	45	30	100	34,54
4	BOLU1 TM	1	154	1	154	1,96	65	25	100	15,53
5	BOLU2 TM	1	154	1	154	1,76	50	10	100	42,07
6	AKÇAKOCA TM	1	154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2 TM	1	154	0,99865	153,792	-10,31	35	9		
8	ERDEMİR1 TM	1	154	1	154	-10,26	57	12	289,14	112,96
9	BOLU ÇİMENTO TM	1	154	0,99563	153,326	1,5	20	12		
10	EREĞLİ1 TM	1	154	0,97723	150,493	-11,45	50	20		
11	ZONGULDAK2 TM	1	154	0,9665	148,841	-11,93	50	30		
12	ZETES	1	380	1	380	-12,47	130	160	100	173,81
13	GERKONSAN TM	1	154	0,97801	150,614	0,26	40	15		

Şekil 8.14. Ereğli-2 ve Osманca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Olma Durumuna Ait Bara Parametreleri

İletim hatlarında kapasite üstünde enerji taşınması durumlarında hatlar aşırı ısınıp deforme olacak buna bağlı sebeplerden kaynaklanan camper kopması, izolatör arızaları, hat kopmaları oluşacak ve benzeri olası arızalara yol açabilecektir. Bu istenmeyen

durumları engellemek için Erdemir-1 barasına ait otoprodüktör santralin kapasitesinin artırılması gerekmektedir. İkinci bir çözüm olarak ise sistemler üzerinde daha fazla maliyet oluşturacak bölge ya da ada çökmelerine karşı yapılabilecek olan öneri yük atılması olacaktır. İstenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkan bu seçenek tüm sistemdeki alıcıların etkilenmemesi için bir ya da birkaç alıcının kısa süreli de olsa devre dışı kalmasına sebebiyet verecektir. Ancak bütün bölge sistemin enerjisiz kalma ihtimalini de ortadan kaldıracaktır.

Arıza ya da manevra sonrası sistemi tekrar eski konumuna geri getirmek istendiğinde herhangi bir anormal durum ile karşılaşmamaktadır. Unutulmaması gereken bir durum da sistemi tekrar eski haline getirirken tekrar arıza ve açma senaryolarıyla karşılaşabilme ihtimalleri olmalıdır.

## **8.5. SENARYO-3 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI**

154kV Bolu-1 ve Bolu-2 ENH için hattın tam orta noktasında üç faz kısa devre arızası meydana gelmesi sonucu sistemin kararsızlığa gittiği görülmüştür. Bolu-1 TM barasına ait değerlerin sıfır olacağı diğer baraların 0,2-0,5 Pu olduğu gözlemlenmektedir. Gerilim değerlerinin ani olarak aşırı düşmesi neticesinde tüm sistemin etkilendiği ve bölgesel bir sıfırlanmaya neden olduğu ortaya çıkmıştır. Blackout(Sistem Çökmesi) sonrasında toparlanma manevrası için sistemi kararlı çalışır hale getirmek ve yeniden toparlanma manevrasının yapılabilmesi için şu yolun izlenmesi gerekmektedir. Tüm hat ve santrallerin kesicileri açılıp hat boyunca tüm alıcılar devre dışı bırakılarak; Kaynaşlı TM'den başlayarak enerji verilmeli en son Gerkonsan TM barası beslenmelidir. Sistem toparlanması senaryolarından en güvenilir yöntem olarak karşımıza çıkan bu yöntemde hat boş olarak alıcılar devre dışı olacak şekilde enerjilendirilir. Daha sonra yakından uzağa doğru alıcılar devreye alınır, yükler beslenir. Burada en önemli bir diğer faktör ise besleme, devreye alma ve toparlanma manevralarında öncelik sırasının olması durumudur. Hastane, sağlık merkezleri ve şehirler için stratejik konumdaki tesislerin bulunduğu hat ve fiderlerin besleme ve enerjilendirmede öncelikli olarak göz önüne alınması gerekmektedir.

154kV Bolu-1 ve Bolu-2 ENH orta noktasında üç faz kısa devre arızası sonrası sistem çökmesine(Blackout) ait simülasyon görüntüsü şekil-8.15'te verilmiştir.

Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	OSMANCA TM	0,41892	0,41892	0,41892	10,4	-109,6	130,4
2	EREĞLİ2 TM	0,41896	0,41896	0,41896	10,4	-109,6	130,4
3	KAYNAŞLI TM	0,26424	0,26424	0,26424	7,7	-112,3	127,7
4	BOLU1 TM	0	0	0	-177,71	62,29	-57,71
5	BOLU2 TM	0,05181	0,05181	0,05181	17,74	-102,26	137,74
6	AKÇAKOCA TM	0,41874	0,41874	0,41874	10,41	-109,59	130,41
7	ERDEMİR2 TM	0,435	0,435	0,435	9,13	-110,87	129,13
8	ERDEMİR1 TM	0,435	0,435	0,435	9,13	-110,87	129,13
9	BOLU ÇİMENTO TM	0,05165	0,05165	0,05165	17,82	-102,18	137,82
10	EREĞLİ1 TM	0,40993	0,40993	0,40993	9,3	-110,7	129,3
11	ZONGULDAK2 TM	0,41854	0,41854	0,41854	10,44	-109,56	130,44
12	ZETES	0,55162	0,55162	0,55162	4,51	-115,49	124,51
13	GERKONSAN TM	0,05164	0,05164	0,05164	17,82	-102,18	137,82

Şekil 8.15. PWS Bolu-1 ve Bolu-2 ENH Üç Faz Kısa Devre Arızası Durumu Bara Gerilim Değerleri(Pu)

The screenshot shows the Fault Analysis software interface. The top part displays a table of bus voltages and angles, which is identical to the table in Şekil 8.15. The bottom part shows a table of fault analysis results, including bus numbers, names, and various current and voltage parameters.

Number	Name	Phase Volt A	Phase Volt B	Phase Volt C	Phase Ang A	Phase Ang B	Phase Ang C
1	OSMANCA TM	0,41892	0,41892	0,41892	10,40	-109,60	130,40
2	EREĞLİ2 TM	0,41896	0,41896	0,41896	10,40	-109,60	130,40
3	KAYNAŞLI TM	0,26424	0,26424	0,26424	7,70	-112,30	127,70
4	BOLU1 TM	0,00000	0,00000	0,00000	-177,71	62,29	-57,71
5	BOLU2 TM	0,05181	0,05181	0,05181	17,74	-102,26	137,74
6	AKÇAKOCA TM	0,41874	0,41874	0,41874	10,41	-109,59	130,41
7	ERDEMİR2 TM	0,43500	0,43500	0,43500	9,13	-110,87	129,13
8	ERDEMİR1 TM	0,43500	0,43500	0,43500	9,13	-110,87	129,13
9	BOLU ÇİMENTO TM	0,05165	0,05165	0,05165	17,82	-102,18	137,82
10	EREĞLİ1 TM	0,40993	0,40993	0,40993	9,30	-110,70	129,30
11	ZONGULDAK2 TM	0,41854	0,41854	0,41854	10,44	-109,56	130,44
12	ZETES	0,55162	0,55162	0,55162	4,51	-115,49	124,51
13	GERKONSAN TM	0,05164	0,05164	0,05164	17,82	-102,18	137,82

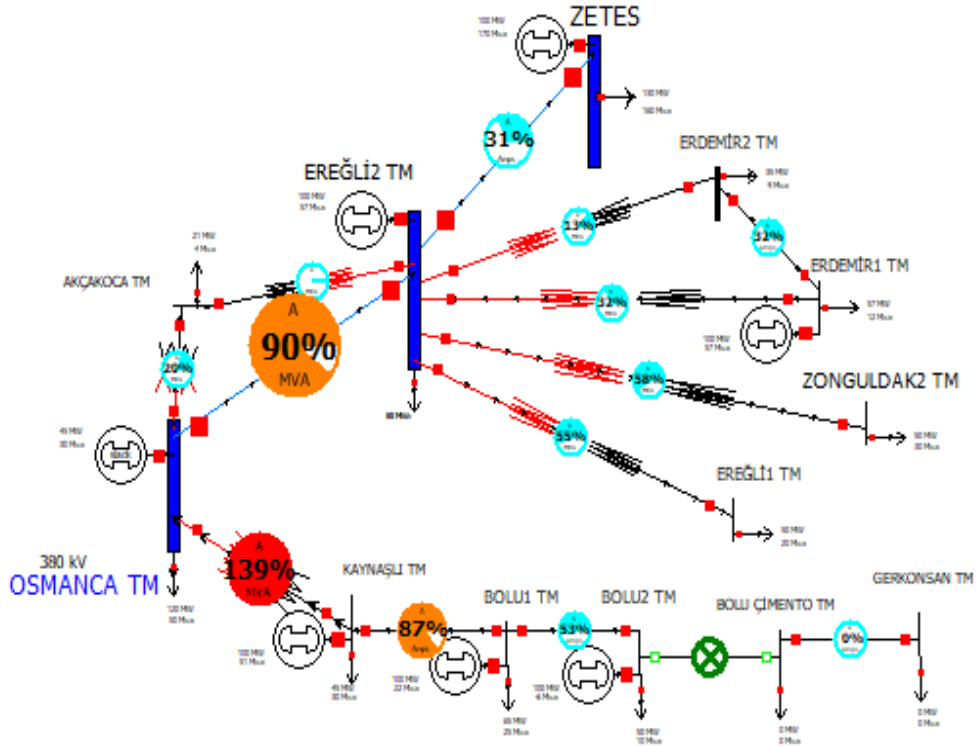
From Number	From Name	To Number	To Name	Xfrmr	Phase Cur A	Phase Cur B	Phase Cur C	Phase Cur A	Phase Cur B	Phase Cur C
1	OSMANCA TM	2	EREĞLİ2 TM	YES	519,67	519,67	519,67	519,67	519,67	519,67
1	OSMANCA TM	3	KAYNAŞLI TM	YES	786,93	786,93	786,93	1941,78	1941,78	1941,78
1	OSMANCA TM	6	AKÇAKOCA TM	YES	12,31	12,31	12,31	30,38	30,38	30,38
6	AKÇAKOCA TM	2	EREĞLİ2 TM	YES	3,21	3,21	3,21	1,3	1,3	1,3
2	EREĞLİ2 TM	7	ERDEMİR2 TM	YES	40,03	40,03	40,03	98,78	98,78	98,78
2	EREĞLİ2 TM	8	ERDEMİR1 TM	YES	56,6	56,6	56,6	139,65	139,65	139,65
2	EREĞLİ2 TM	10	EREĞLİ1 TM	YES	35,03	35,03	35,03	86,45	86,45	86,45
2	EREĞLİ2 TM	11	ZONGULDAK2 TM	YES	37,15	37,15	37,15	91,67	91,67	91,67
2	EREĞLİ2 TM	12	ZETES	NO	206,02	206,02	206,02	206,02	206,02	206,02
3	KAYNAŞLI TM	4	BOLU1 TM	NO	2402,7	2402,7	2402,7	2402,7	2402,7	2402,7
4	BOLU1 TM	5	BOLU2 TM	NO	614,19	614,19	614,19	614,19	614,19	614,19
5	BOLU2 TM	9	BOLU ÇİMENTO TM	NO	12,82	12,82	12,82	12,82	12,82	12,82
7	ERDEMİR2 TM	8	ERDEMİR1 TM	NO	149,16	149,16	149,16	149,16	149,16	149,16
9	BOLU ÇİMENTO TM	13	GERKONSAN TM	NO	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31	8,31

Şekil 8.16. Bolu-1 ve Bolu-2 ENH Üç Faz Kısa Devre Arızası Durumuna Ait PWS Bara Parametreleri

## 8.6. SENARYO-4 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI

154kV Bolu-2 TM ve 154kV Bolu-Çimento TM arasındaki iletim hattına ait kesiciler açıldığında sistemde bazı iletim hatlarının aşırı yüklendiği ancak sistemin kararlı bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmektedir. Osmanca TM ve Kaynaşlı TM arasında bulunan 154kV ENH % 39 daha fazla yüklendiği görülmektedir. Bolu-Çimento TM ve Gerkonsan TM baralarının da enerjisiz hale geldiği görülmektedir.

Sisteme ait simülasyonun çalışma görüntüleri şekil-8.17’de verilmiştir.



Şekil 8.17. PWS Bolu -2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumu

Bus										
Number	Name	Area Nam	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (De	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA TM	1	380	1	380	0	120	50	91,69	65,27
2	EREĞLİ2 TM	1	380	1	380	-10,28	65	50	100	116,43
3	KAYNAŞLI TM	1	154	1	154	2,39	45	30	100	50,87
4	BOLU1 TM	1	154	1	154	4,45	65	25	100	22,46
5	BOLU2 TM	1	154	1	154	5,4	50	10	100	-6,21
6	AKÇAKOCA TM	1	154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2 TM	1	154	0,99976	153,963	-10,28	35	9		
8	ERDEMİR1 TM	1	154	1	154	-10,26	57	12	100	11,87
9	BOLU ÇİMENTO TM	1	154	0	0	0	0	0		
10	EREĞLİ1 TM	1	154	0,98153	151,155	-11,22	50	20		
11	ZONGULDAK2 TM	1	154	0,97085	149,511	-11,7	50	30		
12	ZETES	1	380	1	380	-12,17	130	160	100	169,54
13	GERKONSAN TM	1	154	0	0	0	0	0		

Şekil 8.18. PWS Bolu -2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumuna Ait Bara Parametreleri

Bölgenin güneyinde bulunan Kaynaşlı TM, Bolu-1 ve Bolu-2 TM baralarına bağlı otoprodüktör santrallerin üretim gücünü azaltmak suretiyle Osmanca TM yönüne olan yük akışını azaltmak hat üzerinde oluşan fazla yükün azaltılmasını sağlayacaktır.

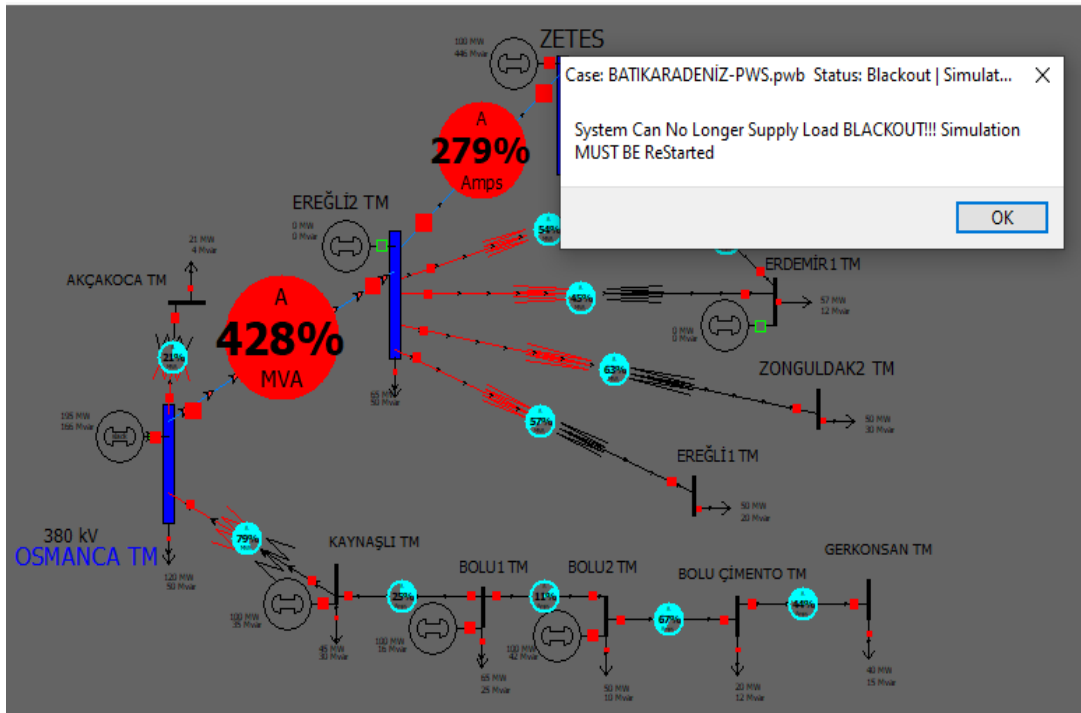
154 kV Bolu-2 TM ve 154 kV Bolu-Çimento TM baralarına ait kesiciler yeniden toparlanma manevrası için kapatıldığında herhangi bir anormal durum ile karşılaşılacaktır. Sistem eski haline gelerek normal çalışma seyrini almıştır. Önceki senaryolarda bahsedilen durumu tekrar belirtirsek arıza ve açma manevralarından daha mühimi, önemli olan nokta ise toparlanma manevrasıdır. Sistem üzerinde toparlanma manevrası için kesicinin kapatılması esnasında tüm bölgeyi içine alabilecek bir sistem çökmesi yaşanması da muhtemel senaryolar dahilindedir.

## 8.7. SENARYO-5 POWERWORLD SİMÜLATÖR UYGULAMASI

380kV Ereğli-2 TM barasına bağlı santral ile 154kV Erdemir-1 TM barasına bağlı bulunan santrallerin ikisinin de aynı anda devre dışı kaldığı durum incelendiğinde; sistem Blackout(sistem çökmesi) sinyali vermektedir. Ereğli-2 TM, Ereğli-1 TM, Erdemir-1 TM, Erdemir-2 TM ve Zonguldak TM bara değerlerinin ani olarak 0,7Per-unit seviyelerine düşmesi neticesinde tüm sistemin de etkileneceği görülmektedir.

İki santral eğer aynı zamanda çalışmasını durdurur yada arıza kaynaklı olarak kesicilerinin açtığı varsayımında Batı Karadeniz enterkonnekte güç sisteminde sistem çökmesi yaşanacağına işaret verilmektedir.

Sisteme ait simülasyon görüntüleri şekil-8.19’da verilmiştir.



Şekil 8.19. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumu

Bus Number	Name	Area Nam	Nom kv	PU Volt	Volt (kv)	Angle (De	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	OSMANCA TM	1	380	1	380	0	120	50	389,82	332,46
2	EREĞLİ2 TM	1	380	0,75493	286,875	-56,4	65	50	0	0
3	KAYNAŞLI TM	1	154	1	154	1,37	45	30	100	34,54
4	BOLU1 TM	1	154	1	154	1,96	65	25	100	15,53
5	BOLU2 TM	1	154	1	154	1,76	50	10	100	42,07
6	AKÇAKOCA TM	1	154	0,99625	153,423	-0,46	21	4		
7	ERDEMİR2 TM	1	154	0,7537	116,07	-56,6	35	9		
8	ERDEMİR1 TM	1	154	0,75354	116,045	-56,62	57	12	0	0
9	BOLU ÇİMENTO TM	1	154	0,99563	153,326	1,5	20	12		
10	EREĞLİ1 TM	1	154	0,73015	112,443	-58,16	50	20		
11	ZONGULDAK2 TM	1	154	0,71532	110,159	-59,11	50	30		
12	ZETES	1	380	1,02376	389,029	-63,75	130	160	100	445,55
13	GERKONSAN TM	1	154	0,97801	150,614	0,26	40	15		

Şekil 8.20. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Bara Parametreleri

Bölge üzerinde bu durumun yaşanmaması ve sistemde bir enerji kesintisi (inkita) olmaması için otoprodüktör santral sayısının artırılması sağlanabilir. Bölge içinde

bulunan diğler merkezleri besleyecek bu santraller olası arıza durumunda sistemin yükünün karşılanmasına yardımcı olacak ve tüm sistemin çökmesine engel olacaktır.

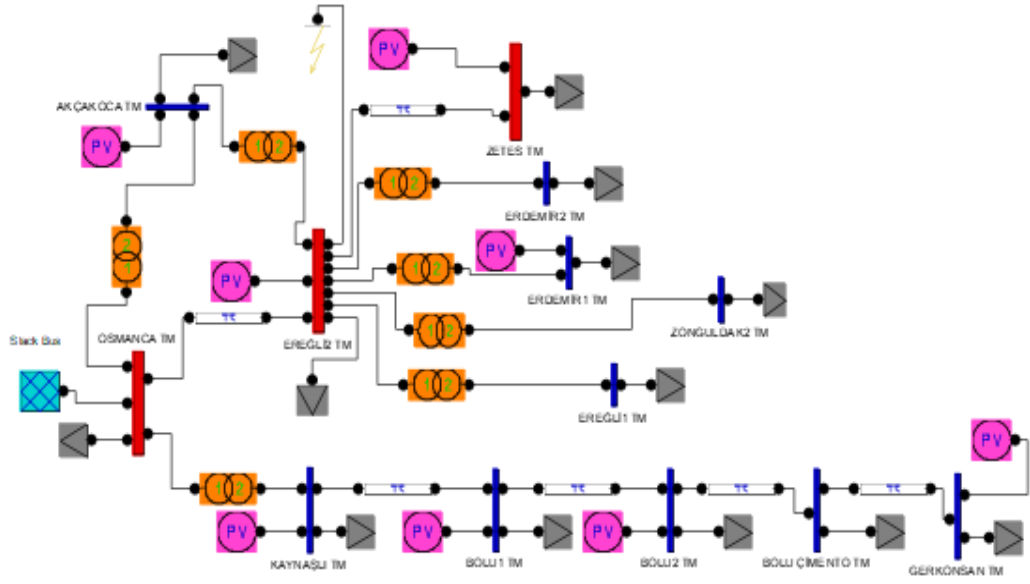
Bir diğler yapılabilecek önemli yatırım bölgedeki trafo merkezi (TM) sayısını arttırmaktır. Enterkonnekte sistem üzerinde ne kadar çok paralel bağılı transformatör olursa sistemin yük paylaşımı da o denli artacaktır. Bölgede bulunan trafo merkezlerine giriş yapan bağılı bulunan hat sayısının da fazla olması alternatif enerji beslemesi oluşturacağı için daha güvenilir bir enerji aktarımı oluşturacaktır. Hat ve merkez sayısının artırılması tüm alanlar için avantaj sağlayacaktır.

### **8.8. SENARYO-1 MATLAB PSAT UYGULAMASI**

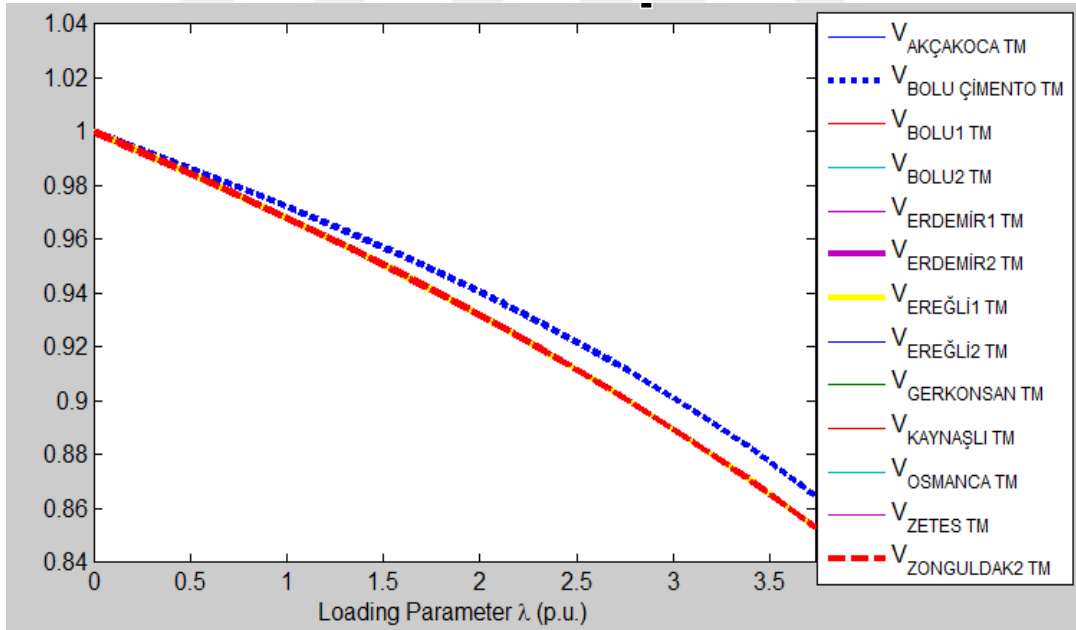
Ereğli-2 TM barasında faz-toprak arızası sonucu hatta ait mesafe koruma rölesinin çalışarak hat kesicilerinin açıp hattın devreden çıktığı durum incelendiğinde sistemin kararsızlığa gittiği görülmüştür. İzin verilen gerilim sınırlarının altına düşeceğinden sisteme bağılı diğler baraların da kesicilerine açma sinyali gönderilecek olup genel bir inkita oluşacağı görülmektedir. Ancak Zetes TM ve Ereğli-2 TM arasındaki 380kV ENH'nın kesicisi açılarak açık devre olduğu durumda sistemin kararlı şekilde çalışmaya devam ettiği görülmüş nominal çalışmasına ek olarak sistemde gerilim değışimlerine rastlanmıştır.

Ereğli-1 TM, Bolu Çimento TM, Erdemir-2 TM ve Zonguldak TM baralarına ait gerilim değıerlerinin 0,86 Per-unit altına düştüğü ve açığı değıerlerinin de oldukça farklılaştığı görülmektedir.

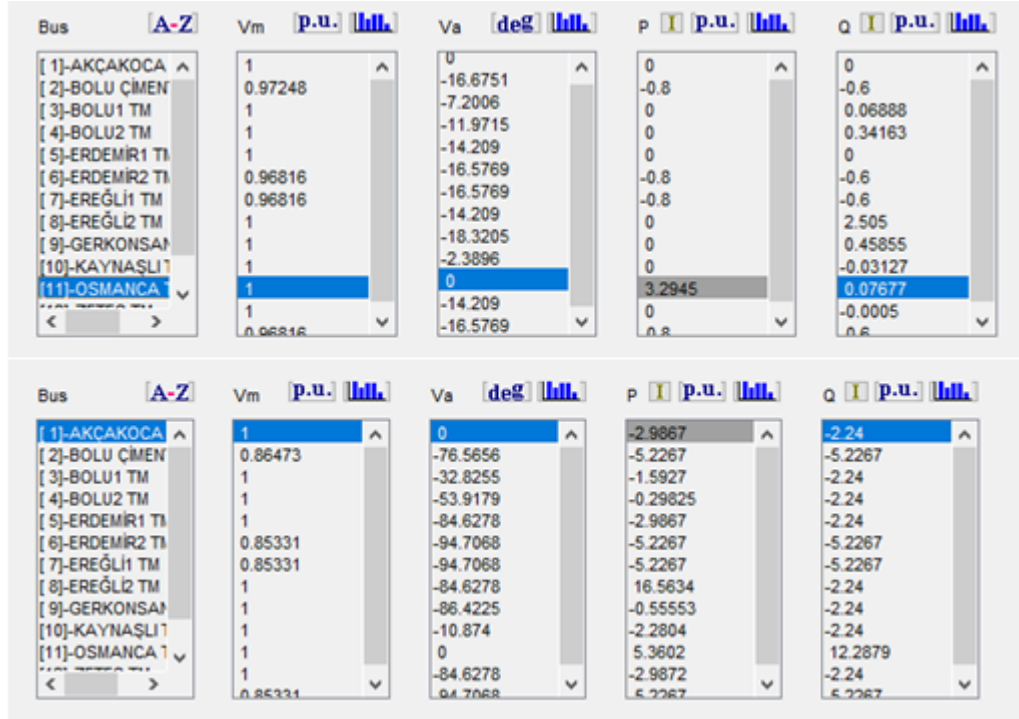
Sisteme ait simülasyon şeması ve parametre eğırileri şekillerde verilmiştir.



Şekil 8.21. Psat Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumu



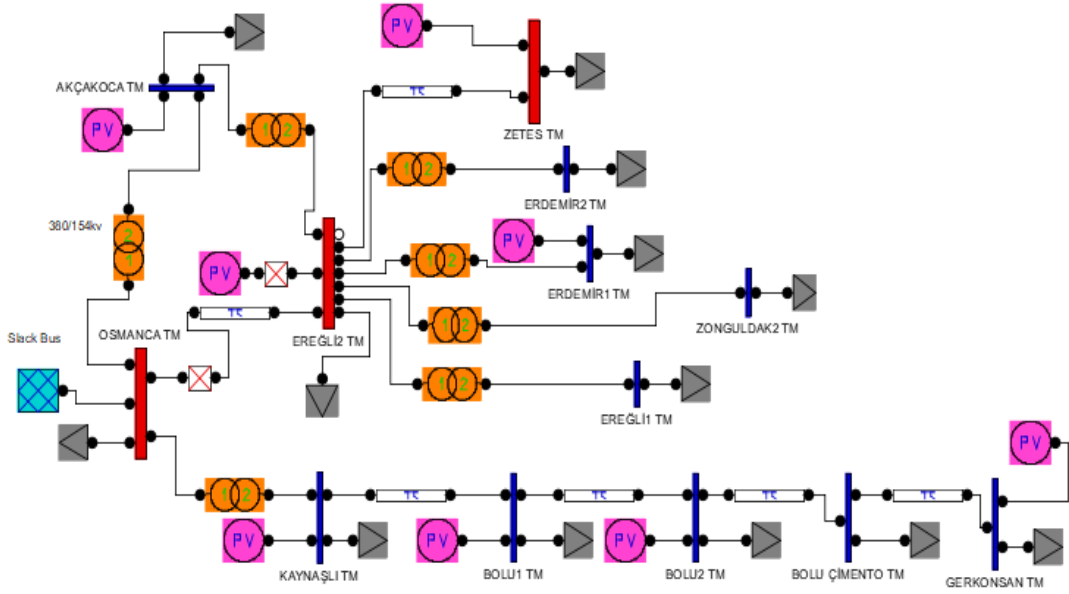
Şekil 8.22. Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumuna Ait Parametreler( $\lambda$ -pu)



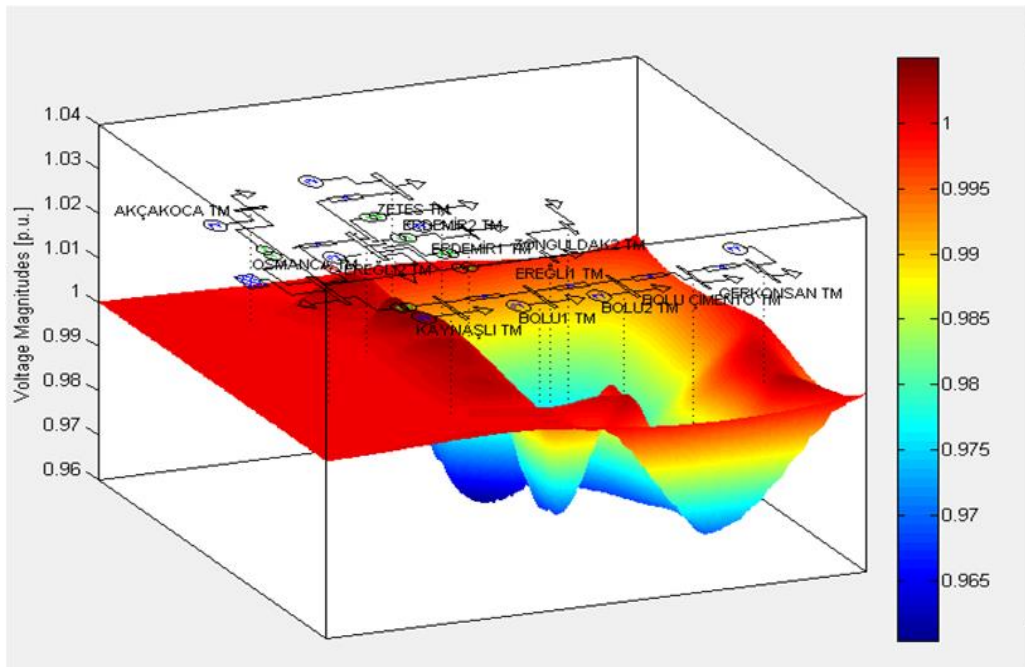
Şekil 8.23. Psat Ereğli-2 ve Zetes 380kV ENH Arıza Durumuna Ait Arıza Öncesi ve Arıza Sonrası Parametreler

## 8.9. SENARYO-2 MATLAB PSAT UYGULAMASI

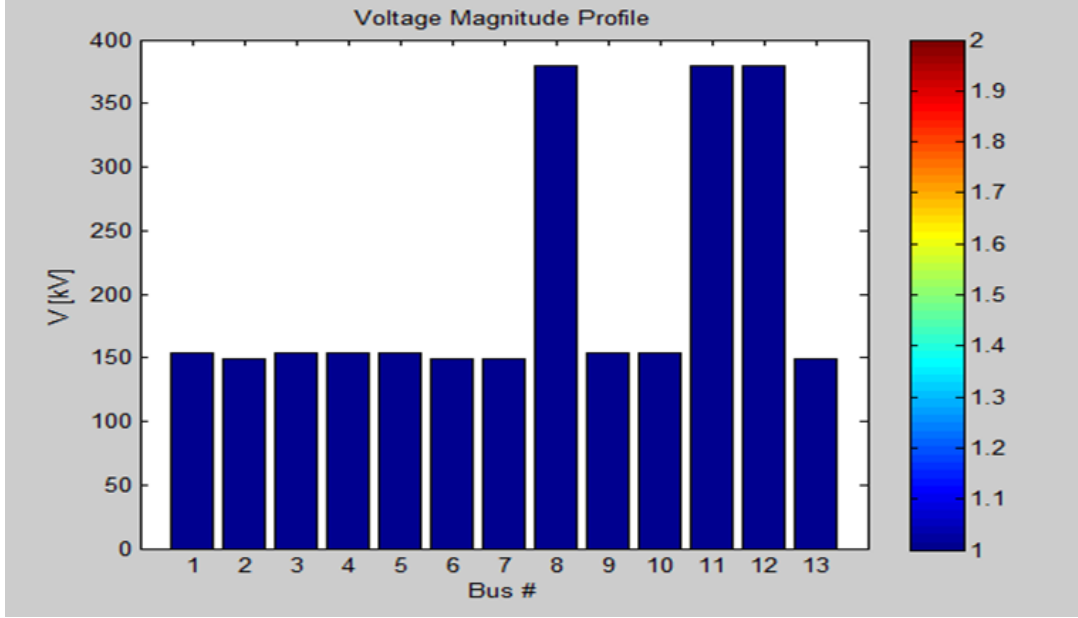
Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH açık devre ve Ereğli-2 santralının devre dışı olduğu durum incelendiğinde sistemin kararlı bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmektedir. Sisteme ait simülasyon görüntüleri şekil-8.24'te verilmiştir.



Şekil 8.24. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Durumu



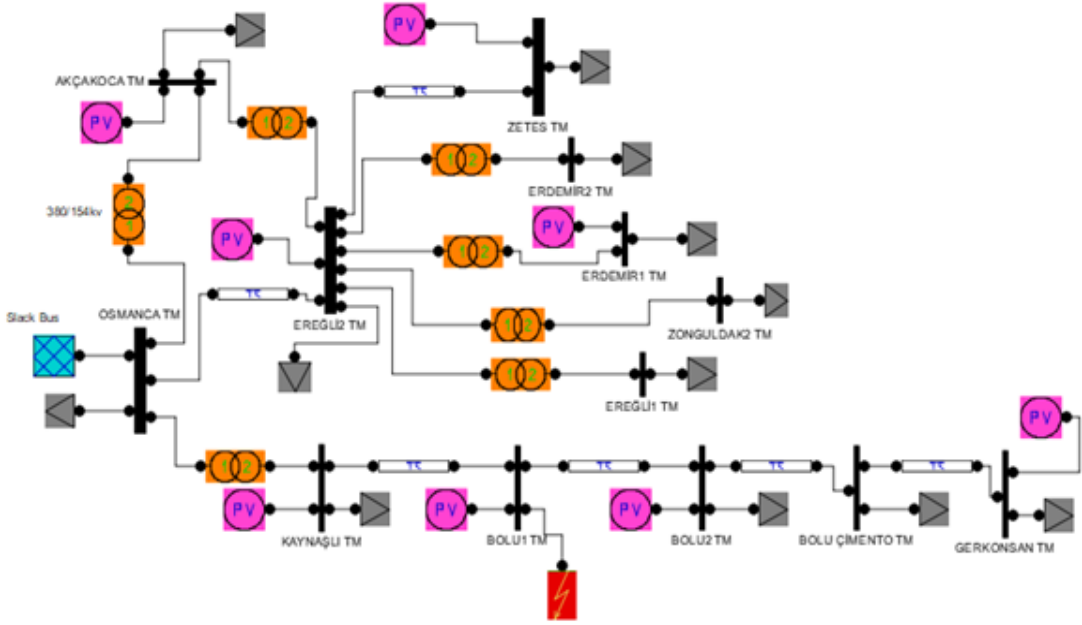
Şekil 8.25. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı



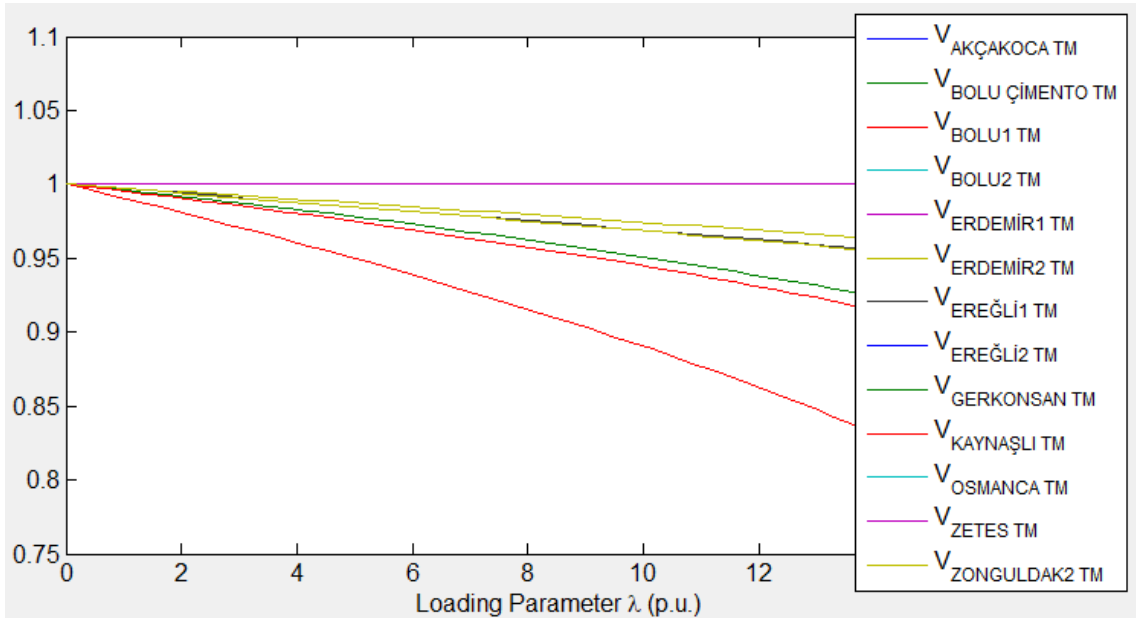
Şekil 8.26. Ereğli-2 ve Osmanca 380kV ENH Açık Devre ve Ereğli-2 Santralinin Devre Dışı Durumuna Ait Gerilim Değerleri(kV)

### 8.10. SENARYO-3 MATLAB PSAT UYGULAMASI

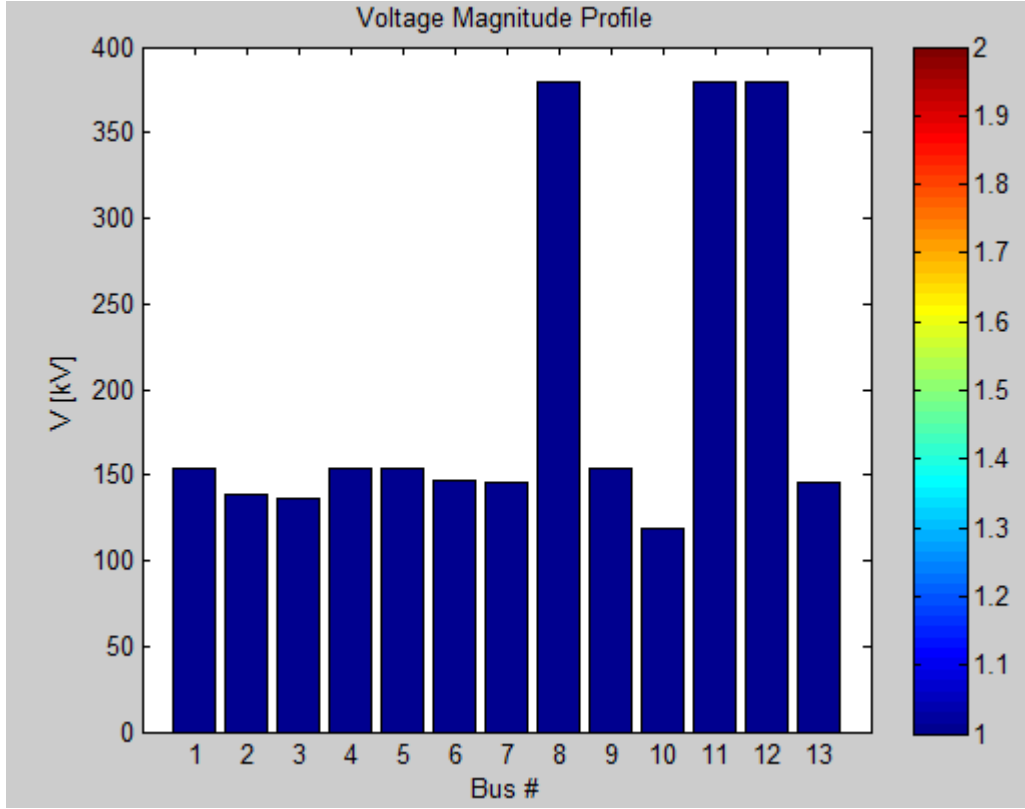
154kV Bolu-1 TM barasında meydana gelecek bir üç faz kısa devre arızası sonucu sistemin kararsızlığa gideceği görülmüştür. Bolu-Çimento TM, Erdemir-2 TM, Ereğli-1 TM ve Zonguldak TM baralarına ait gerilim değerlerinin düştüğü görülmektedir. Görülen değerler sistemde bir çökme yaşanacağına işaret etmektedir. Benzer şekilde PowerWorld Simülatör programı üzerinde yapılan Bolu-1 ve Bolu-2 ENH'nın tam ortasında üç faz arızasına ait durum incelendiğinde (Blackout)sistem çökmesinin yaşanacağı görülmektedir. Çökme alanı gerilim büyüklük alanı görseli üzerinden net bir şekilde görülmektedir. Simülasyon sonuçlarına ait görüntüler şekil-8.27'de verilmiştir.



Şekil 8.27. Bolu-1 TM Barasında Üç Faz Arızası Durumu



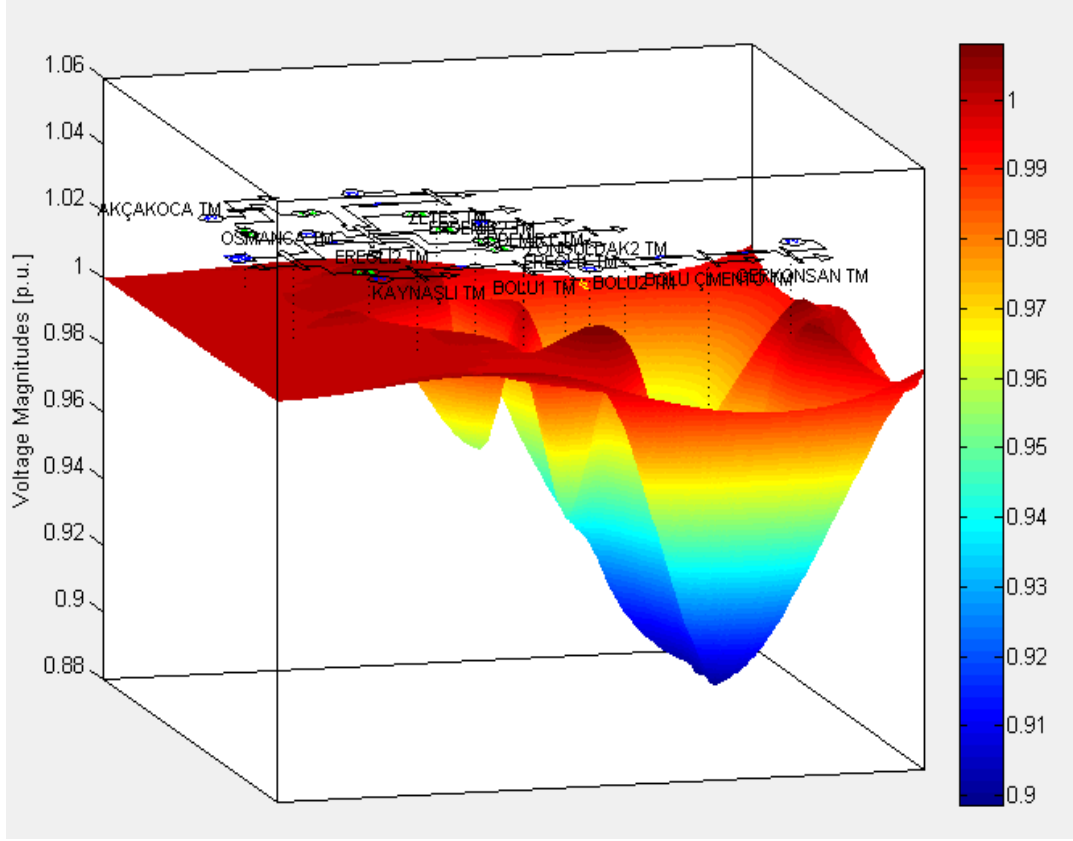
Şekil 8.28. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler



Şekil 8.29. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler (kV)

Bus	Vm	Va	P	Q
	p.u.	değ	p.u.	p.u.
[1]-AKÇAKKOCA TM	1	16.8199	8.5754	-0.73436
[2]-BOLU CEMENTO TM	0.89979	35.7408	-10.2905	-5.1452
[3]-BOLU1 TM	1	33.2535	5.1452	-0.83161
[4]-BOLU2 TM	1	36.0631	5.1452	9.4218
[5]-ERDEMİR1 TM	1	-15.5857	5.1452	-0.95787
[6]-ERDEMİR2 TM	0.95481	-19.1735	-10.2905	-8.5754
[7]-EREĞLİ1 TM	0.94542	-19.5269	-12.0055	-10.2905
[8]-EREĞLİ2 TM	1	-17.1147	0	35.5791
[9]-GERKONISAN TM	1	74.4182	8.5754	1.5738
[10]-KAYNAŞLI TM	1	20.7519	5.1452	1.0996
[11]-OSMANCA TM	1	0	11.0897	9.1809
[12]-ZETES TM	1	-17.1147	0	-0.12477
[13]-ZONGULDAK2 TM	0.95734	-20.5657	-10.2905	-5.1452

Şekil 8.30. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Parametreler(Pu)

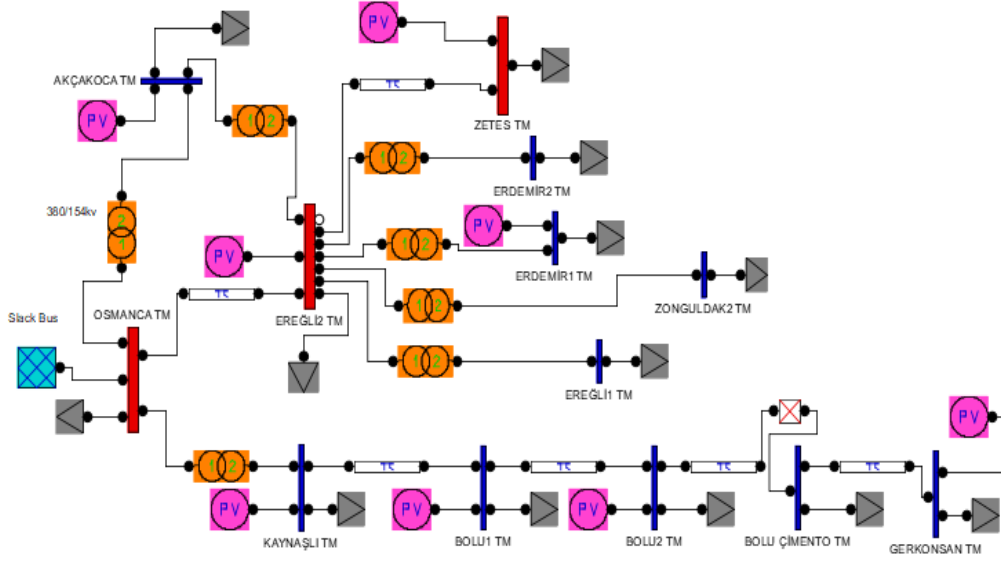


Şekil 8.31. Bolu-1 TM Barası Üç Faz Arızası Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı

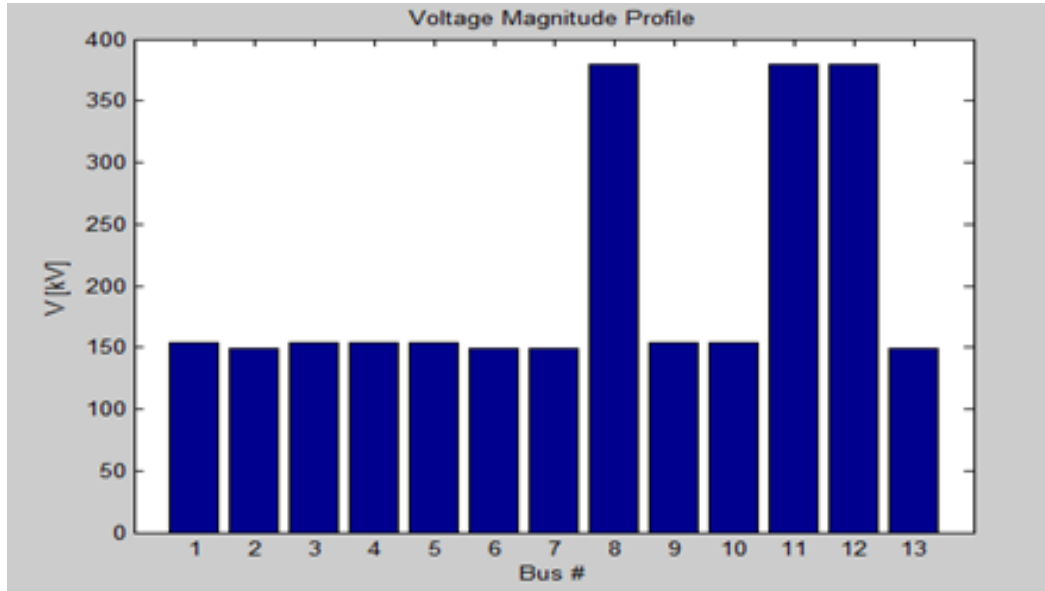
### 8.11. SENARYO-4 MATLAB PSAT UYGULAMASI

154kV Bolu-2 TM ve Bolu Çimento TM arasındaki iletim hattına ait kesiciler açıldığında sistemin kararlı bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmektedir.

Bolu-2 TM ve Bolu-Çimento TM arasındaki hattın açık devre durumlarına ait simülasyon görüntüleri şekil-8.32’de verilmiştir.



Şekil 8.32. Bolu-2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumu



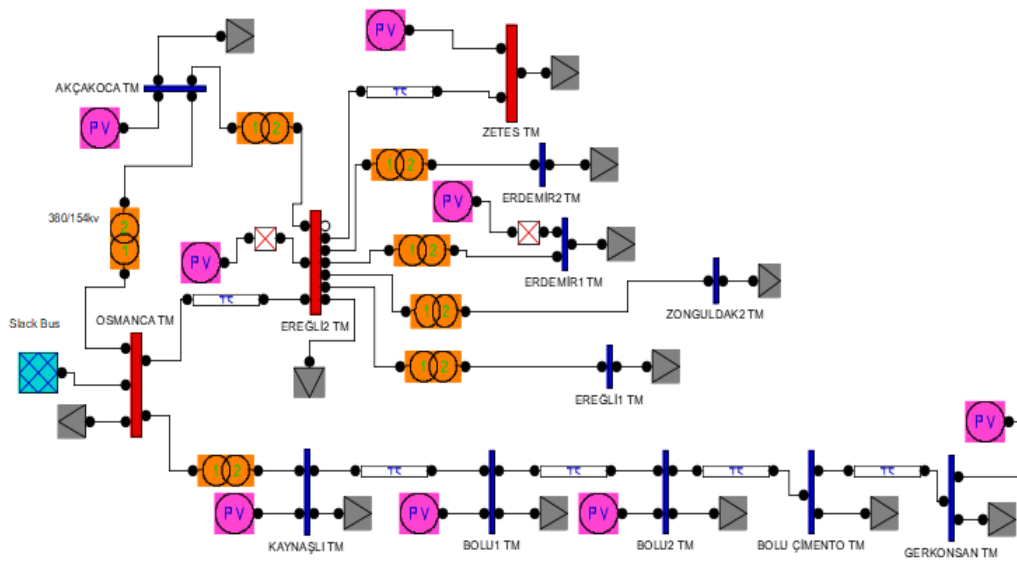
Şekil 8.33. Bolu-2 TM ve Bolu Çimento TM 154kV ENH Açık Devre Durumuna Ait Parametreler (kV)

Enterkonnekte sistem üzerinde bulunan son merkez Gerkonsan TM'nin böyle bir durumda sıfır istasyon yani enerjisiz kalma durumuna düşmesi beklenirdi ancak bölge üzerinde son merkez olan bu hat ileride İsmetpaşa TM barasına bağlıdır. Programın bu baranın her daim enerjili olduğunu anlaması açısından da Gerkonsan TM barasına sanal otoproduktör santral bağlanmıştır. Enterkonnekte sistem içinde her trafo merkezinin

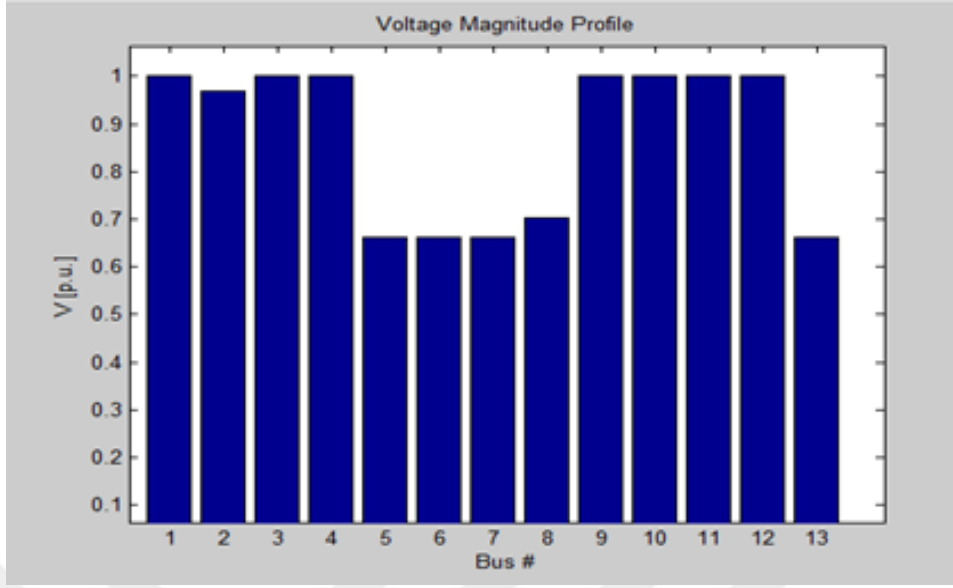
birden fazla alternatif bara bağlantısına sahip olması ve beslemesinin bulunması enerjisiz kalmama açısından gereklilik oluşturmaktadır. Aksi takdirde tek hattan beslemesi olan son merkezlerin arıza ve bakım durumlarında enerjisiz kalma durumu ortaya çıkmaktadır.

## 8.12. SENARYO-5 MATLAB PSAT UYGULAMASI

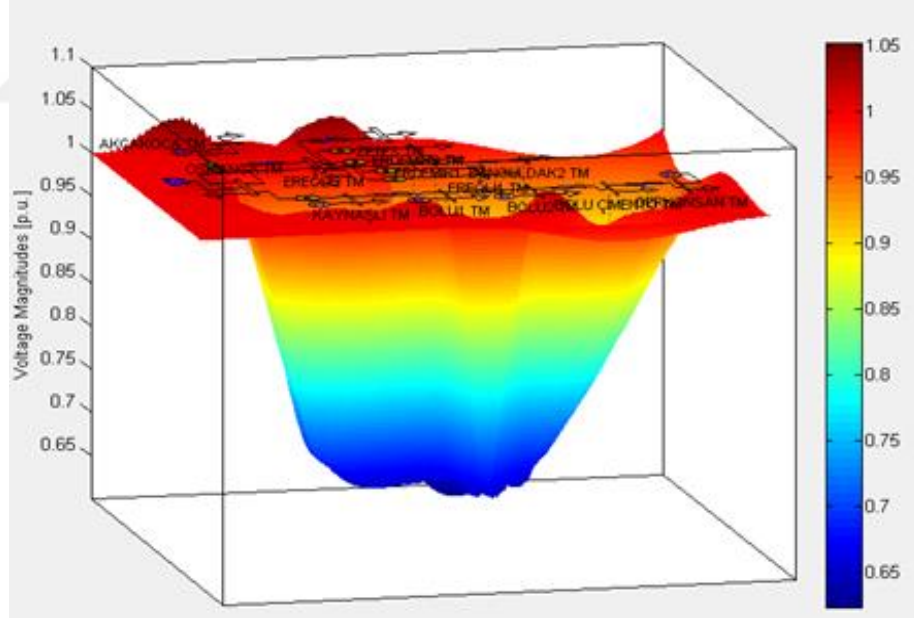
380kV Ereğli-2 TM barasına bağlı santral ile 154kV Erdemir-1 TM barasına bağlı bulunan santrallerin ikisinin de aynı anda devre dışı kaldığı zamanda sistem kararsızlığa gitmektedir. Zonguldak bölgesine ait simülasyon üzerinde mavi renkli bulunan gerilim büyüklük alanından da görüleceği üzere toplam beş barada 0,66 Per-unit değerlerine düşüş oluşmuştur. Böyle bir durumda sistemin izin vereceği gerilim düşümünü Erdemir1, Erdemir2, Ereğli1, Ereğli2 ve Zonguldak TM'nin aşacağı ve kesicilerinin açarak bölgesel bir sistem çökmesine neden olacağı görülmektedir. Aynı Simülasyonu PowerWorld Simülatör üzerinde gerçekleştirdiğimizde de benzer durumla karşılaşmış olduğumuzu söyleyebiliriz. Yine benzer şekilde çözüm odaklı olarak şu yorumlara yer verirsek; iki santral eğer aynı zamanda çalışmasını durdurur ya da arıza kaynaklı olarak kesicilerinin açtığı varsayımında Batı Karadeniz enterkonnekte güç sisteminde sistem çökmesi yaşanacağına işaret verilmektedir.



Şekil 8.34. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoproduktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumu



Şekil 8.35. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Parametreler (Vpu)



Şekil 8.36. Ereğli-2 TM ve Erdemir-1 TM Barasına Bağlı Bulunan Otoprodüktör Santrallerin Devre Dışı Kalma Durumuna Ait Gerilim Büyüklük Alanı

Bölgede bu durumun yaşanmaması için bölge üzerinde bir enerji kesintisi (inkita) olmaması için otoprodüktör santral sayısının artırılması sağlanabilir. Bölge içinde bulunan diğer merkezleri besleyecek bu santraller olası arıza durumunda sistemin

yükünün karşılanmasında yardımcı olacak ve sistemin çökmesine engel olacaktır.

Bir diğer yapılabilecek önemli yatırım bölgedeki trafo merkezi (TM) sayısını arttırmaktır. Enterkonnekte sistem üzerinde ne kadar çok paralel bağlı transformatör olursa sistemin yük paylaşımı da o denli artacaktır. Bölgede bulunan trafo merkezlerine giriş yapan bağlı bulunan hat sayısının da fazla olması alternatif enerji beslemesi oluşturacağı için daha güvenilir bir enerji aktarımı sağlayacaktır.

380kV Ereğli-2 TM barasına bağlı santral ile 154kV Erdemir-1 TM barasına bağlı bulunan santrallerin ikisinin de aynı anda devre dışı kaldığı durumuna ait simülasyon görüntüleri şekilde verilmiştir. Network Visualisation bölümünde sistem çökmesi durumu detaylı olarak görülmektedir. Erdemir1, Erdemir2, Ereğli1, Ereğli2 ve Zonguldak TM'ye ait alan üzerinde mavi renkli olarak izlenmektedir.

SENARYOLAR	BÖLGE-YER	ARIZA VEYA AÇMA TIPI	DURUM
SENARYO-1	EREĞLİ-2 & ZETES ENH	FAZ-TOPRAK ARIZASI	SİSTEM KARARLI BİR ŞEKİLDE ÇALIŞMAYA DEVAM EDİYOR
SENARYO-2	OSMANCA & EREĞLİ-2 ENH EREĞLİ-2 BARASINA BAĞLI OTOPRODÜKTÖR SANTRAL	HAT AÇMASI VE SANTRAL DEVRE DIŞI	SİSTEM ÇALIŞIYOR ANCAK STRES ARTIYOR
SENARYO-3	BOLU-1 & BOLU-2 ENH	ÜÇ FAZ KISA DEVRE ARIZASI	SİSTEM KARARSIZLIĞA GİDİYOR (BLOCKOUT)
SENARYO-4	BOLU-2 & BOLU-ÇİMENTO ENH	HAT AÇMASI	SİSTEM KARARLI ÇALIŞIYOR ANCAK STRES ARTIYOR
SENARYO-5	EREĞLİ-2 TM & ERDEMİR-1 TM BARASINA BAĞLI OTOPRODÜKTÖR SANTRALLER	SANTRAL DEVRE DIŞI	SİSTEM KARARSIZLIĞA GİDİYOR (BLOCKOUT)

Şekil 8.37. Batı Karadeniz Enterkonnekte Güç Sistemine Ait Senaryo Durum Özetleri

## 9. SONUÇ

Batı Karadeniz bölgesine ait yapılan yük akışı çalışmaları ve arıza analizleri ile Matlab Psat ve PowerWorld Simülatör programları üzerinden farklı senaryolar altında incelenmiş olup alınan simülasyon sonuçları birlikte değerlendirilerek farklı veri sonuçlarının ortaya çıktığı görülmüştür. Bilgisayar ortamında farklı programlar ile bu simülasyon çalışmaları yapılarak olası senaryo sonuçlarına karşı gerekli bilgiler toplanabilmekte ve analizler yapılabilmektedir. Kararlılık ve güç akışı analizlerinin güç sistemlerinin planlanması ve sağlıklı bir şekilde işletilmesi açısından çok önemli olduğu bilinmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında PowerWorld Simülatör programı ve Matlab Psat programları vasıtasıyla Batı Karadeniz bölgesine ait uyumlu modeller oluşturularak incelemeler yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasının amaçlarından ilki Türkiye enterkonnekte sistemin bir bölümünü Batı Karadeniz bölgesinin kesiti alınarak Matlab Psat Programında ve PowerWorld Simülatör Programı üzerinde muhtemel senaryolar üzerinden analizler yaparak gerekli verilere ulaşmaktır. İkinci ulaşılmak istenen amaç araştırmacılar açısından faydalanabilecek akademik literatür kaynakları oluşturmaktır. İncelemeler sonucu yük akışı sonuçlarına dayalı olarak olası çözüm yollarına değinilmiştir. İncelenen sonuçlara göre sistemde aşırı yüklenen hatların ve gerilim seviyesinin sınırlarının üstüne çıkan merkezlerin olduğu belirlenmektedir. Enterkonnekte sistem bir bütün olarak çalıştırılarak yük akışı yapıldığında kayıplar, hat yüklenmeleri ve gerilim değerlerinin arıza senaryolarına göre daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Ancak buna karşılık olarak güç sistemi üzerinde aynı anda oluşacak arıza ve açmalar güç sisteminde genel bir kesintiye(inkita) ya da sistem çökmesine(blackout) de yol açabilmektedir.

Batı Karadeniz bölgesinde Düzce il sınırları içerisinde bulunan Osmanca TM bir merkez görevi görmektedir. Osmanca TM'den Kaynaşlı TM ve Bolu TM yönüne bir kol şeklinde ENH uzanmaktadır. Zonguldak TM ve Zetes TM istikametinde ikinci bir kol olarak ENH uzanarak enterkonnekte sistem oluşmuştur. Merkez noktada bulunan Osmanca TM salınım barası (slack bus) seçilmiştir. Osmanca TM'nin Batı Karadeniz bölgesi enterkonnekte sistemi için kritik ve önemli bir merkez nokta olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan bölgede bazı merkezlerde bulunan otoprodüktör santrallerin arıza durumlarına karşı üretim kapasitelerinin yetersiz olduğu görülmüştür. Bölge üzerinde bulunan trafo merkezi sayısının artırılması hatlar üzerine düşen yük

yoğunluklarının da azalmasını sağlayacağından faydalı olacaktır. Bu sayede oto trafolarının da aşırı yüklenme ve ısınma sorunlarına karşı önlem alınmış olacaktır.

Sonuç olarak, güç sistemlerinde nasıl bir yük akışının olduğu, yük akışlarının nasıl, ne zaman ve hangi şartlarda yön değiştireceği konuları gösterilmiş, kararlı ve kararsız çalışma durumları incelenmiş, sistemin hangi durumlarda kararsız duruma geçeceği belirtilmiştir. Güç sistemlerinin nasıl tepkiler verebileceği bilgisayar destekli simülasyonlar ile benzetimler yapılarak incelenebileceği görülmüştür. Güç sistemlerinin verimli ve etkili bir şekilde çalışması, olağanüstü durumlara karşı hazırlıklı olunması ve bu durumlara hazır senaryo planlarının bulunması, gerekli kararlılık analizlerinin yapılması sağlıklı bir enterkonnekte sistemin işletilmesi açısından önem arz etmektedir.



## 10. KAYNAKÇA

- [1] A. Cichocki, & T. Lobos, “Artificial neural networks for real-time estimation of basic,”1994.
- [2] A. B. M. Nasiruzzaman, “A student friendly toolbox for power system analysis using MATLAB,” *Matlab-Modelling, Programming and Simulations*, ss. 67–86, 2010.
- [3] A.Çifci “Güç Akışı Analizini Öğrenmede PowerWorld Simülatör Kullanımı: Bilgisayar Destekli Bir Görselleştirme Aracı,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 13, sayı 2, ss. 281-291, 2022.
- [4] A.Ö., & S.Tosun, “Faz Kaydırıcı Transformatörlerin Dinamik Gerilim Kararlılığına Etkileri,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.6, ss. 469-480, 2018.
- [5] Ankara Üniversitesi Ders Notları, (2023,7 Temmuz).[Çevrimiçi].Erişim: <https://acikders.ankara.edu.tr/>.
- [6] B. Özyürek, “Türkiye’de Enterkonnekte Sistemin Çökmesi Durumunda Bartın İlinin Şebekeden Bağımsız Acil Durum Beslenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, 2022.
- [7] C. Ayhancı, “Güç Sistemlerinde Çökme ve Yeniden Toparlanma,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.
- [8] D.D.S. Demir, *Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı*, 2013.
- [9] E. Soyberk, *Enerji İletim Hatları Mühendisliği*, 2013.
- [10] Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi, (2023,12 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: [https://www.emo.org.tr/ekler/0ba46d49fb8aaa7\\_ek.pdf?dergi=4](https://www.emo.org.tr/ekler/0ba46d49fb8aaa7_ek.pdf?dergi=4).
- [11] Elektrik Mühendisleri Odası, (2023,12 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.emo.org.tr/>.
- [12] G. Koçyiğit, “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi, Analizi Ve İnternet Üzerinden Eğitim Amaçlı Programlarının Tasarlanması,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [13] H. Çakır, “*Elektrik Güç Sistemleri Analizi*, ” Nesil Yayıncılık San. Tic., 1986, s337.
- [14] H. Saadat, “Power system analysis, ” 3rd ed., *Alexandria: Psa Publishing Llc*, c. 6, 2010.

- [15] H.Escribano, A.Villena-Ruiz, E.Artigao, E.Gomez, & L. Morales, “A. Advanced teaching method for learning power system operation based on load flow simulations,” *Computer Applications in Engineering Education*, c. 29, sayı 6, ss.1743–1756, 2021.
- [16] IEEE *Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms*, IEEE Std. 100, 1996.
- [17] J. Gracia, A.J. Mazon, & I. Zamora, “Best ANN structures for fault location in,” 2005.
- [18] J. Lucas, “*Power System Analysis: Faults*,” 2005.
- [19] J. S., Glover, “*Power System Analysis & Design*,” U.S.A: Nobel, 2008.
- [20] J.D. Glover, & M. Sama, “*Power System Analysis and Design, Northeastern*”.
- [21] J.D. Glover, M.S. Sarma & T.J. Overbye, “Power System Analysis and Design,” 5th Ed., *Stamford, USA; Cengage Learning*, ss. 294-354, 2012.
- [22] J.H. Teng, “A Modified Gauss-Seidel Algorithm of Three-Phase Power Flow”.
- [23] J.J. Burke, & D.J. Lawrence, “*Characteristics of fault currents on distribution*,” 1984.
- [24] Kırklareli Üniversitesi Yüksek Gerilim Tekniği Ders Notu, (2023,12 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.klu.edu.tr/>.
- [25] M. M. Doğanay, “Güç Sistemlerinde Simetrik ve Simetrik Olmayan Arıza Analizleri ve Uygulamaları,” Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, , Bilecik, 2022.
- [26] M. Mahdı, “Enterkonekte Güç Sistemlerinde Eşvrelilik Tabanlı Adalara Ayırma ve Dinamik Eşdeğerliğin Belirlenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [27] M. Mohammadi, A. Shayegani & H. Adaminejad, “A new approach of point estimate method for probabilistic load flow”, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, c. 51, ss. 54-60, 2013.
- [28] M. Yeşilbudak, S. Ermiş & R. Bayındır, “Farklı Bara Sayısına Sahip Güç Sistemlerinde Yük Akışı Analiz Metotlarının Karşılaştırılması,”*Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, sayı 3, ss.237-246, 2017.
- [29] M.E. El-Hawary, “*Electrical Energy Systems*,” *Crc Press Llc*, Boca Raton, 2000, s.361.
- [30] M.I. Gilany, O.P. Malik, & G.S. Hope, “A digital protection technique for

parallel,” 1992.

- [31] M. Uçan, “Enterkonnekte Sisteme Bağlı Generatör yada Yüksek Gerilim Transformatörlerinin Yıldız Noktasının Topraklanması Bilgisayar Destekli İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2011.
- [32] N. Pamuk, “380 ve 154 kV’luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2009.
- [33] O. Deniz, “İğdır İlindeki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Enerjisi Üretiminin Matlab/Simulink Tabanlı Modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İğdır Üniversitesi, İğdır, 2021.
- [34] P. Candar, “Enterkonnekte Şebekelerde Oluşan Sistem Çökmelerinin İrdelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [35] P.S.R. Murthy, “Power System Analysis”, 1st Ed., *Hyderabad, India: BS Publications*, 2007, ss. 98-124.
- [36] Power World Corporation, (2023,10 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.powerworld.com/>.
- [37] R. Sharma, & J. Dhillon, “Pypsa: Open source Python tool for load flow study,” *Journal of Physics: Conference Series*, c. 1854, sayı 1, ss.012-036, 2021.
- [38] R. Terzioğlu, “Olasılıksal Yük Akışı Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2013.
- [39] S. Aksoy, “Bir Endüstriyel Tesis Elektrik Dağıtım Sisteminin Gerilim Çökmeleri Bakımından İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [40] S. Ekici, “Elektrik Güç Sistemlerinde Akıllı Sistemler Yardımıyla Arıza Tipi ve Yerinin Belirlenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2007.
- [41] S. Soysal, “Bolu Düzce Bölgesi 154kV/34,5kV İletim ve Dağıtım Şebekesinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2008.
- [42] S. Tosun, “Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Sezgisel Yöntemlerle İncelenmesi,” Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2011.
- [43] S. Umair. “Power flow analysis using power world simülatör,” *Durreesamin*

*Journal 3*, 2017.

- [44] S.B. Efe, “Mikro Şebekelerde Güç Akışı,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2014.
- [45] Ş. Karadayı, “Elektrik Enerji Sistemlerinde Gerilim Düşümlerinin Etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007.
- [46] T. Biçer, “Elektrik Güç Sistemleri ve Kayıpları,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2009.
- [47] T.A. Short, “Electric Power Distribution Handbook”, *Crc Press Lcc*, 2004, s.773.
- [48] T.A.S. Kawady, “*Fault Location Estimation in Power Systems with Universal*,” 2005.
- [49] T.L. Oliveira, G.C. Guimaraes, L.R. Silva, & J.O. Rezende, “Power system education and research applications using free and open-source, graphical and multi-platform Psp-Ufu software,” *The International Journal of Electrical Engineering & Educatio*, 2019.
- [50] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., (2023,27 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.tedag.gov.tr/>.
- [51] Türkiye Elektrik İletim A.Ş., (2023,07 Nisan). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/>.
- [52] V. Doğruer, “Elektrik Güç Sistemlerinde Matlab Simülink İle Kısa Devre Arıza Analizi ve Bir Örnek Olarak Van Enerji Nakil Hattının İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 2007.
- [53] V. Esen, “Elektrik Güç Sistemlerinde Kısa Devre ve Toprak Arızalarının Zaman Frekans Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [54] W.F. Tinney & C.E. Hart, “Power Flow Solution by Newton’s Method,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, 1967, ss.86.
- [55] Y. Yıldırım, “Elektrik Güç Sistemlerinde Kısa Devre Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, 2019.
- [56] Y.İçel, “Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı,” *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, TOK2013, 26-28 Eylül, Malatya, Türkiye, 2013.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yalçın TURAN

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Toplam Kalite Yönetimi.	Düzce Üniversitesi	2024
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2021
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Elektrik Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	2008
Lise		Bolu Teknik Lisesi	2002

## YAYINLAR

Y. TURAN & S. TOSUN, “Batı Karadeniz Enterkonnekte Güç Sisteminde Arıza Analizi,” *5. International Hasankeyf Scientific Research And Innovation Congress Batman/TURKEY*, ss 5-13, 2023.