

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

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMİ KORUMA ANALİZİNDE PETRİ AĞLARI KULLANIMI VE UYGULAMALARI

DOKTORA TEZİ

Elektrik Yük. Müh. Nihat PAMUK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Temmuz 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMİ KORUMA ANALİZİNDE
PETRİ AĞLARI KULLANIMI VE UYGULAMALARI**

DOKTORA TEZİ

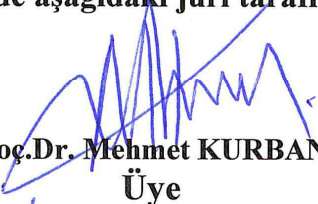
Elektrik Yük. Müh. Nihat PAMUK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

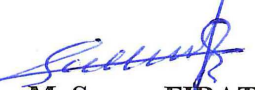
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 09/03/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. M. Ali YALÇIN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Mehmet KURBAN
Üye


Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL
Üye


Yrd. Doç. Dr. M. Server FIRAT
Üye


Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU
Üye

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında çalışmalarımı yönlendirerek beni destekleyen, bilgi ve birikimlerini paylaşan, başlangıcından bitimine kadar yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na, çalışmamda bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen tez izleme jürisindeki değerli hocalarım; Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN'a, Yrd.Doç.Dr. Muhammet Server FIRAT'a, çalışmamda kullandığım verileri elde etmemde yardımlarını esirgemeyen çok değerli 5. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü çalışanlarına, akademik anlamda üzerimde emeği olan tüm hocalarıma ve manevi katkılarını her zaman hissettiğim sevgili arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Son olarak her zaman benimle birlikte olduklarını bilmekten mutluluk duyduğum sevgili aileme en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Nihat PAMUK

Temmuz 2012

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLOLAR LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xviii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Güç Sistemlerindeki Koruma Analizleri için Literatür Taraması.....	3
1.2. Tezin Amacı ve Önerilen Çözüm Yöntemi	5
1.3. Tez Organizasyonu	6

BÖLÜM 2.

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA	8
2.1. Genel.....	8
2.2. Koruma Sistemlerinin Önemi	11
2.2.1. Aşırı akımın oluşması	12
2.2.2. Kısa devre akımının etkileri.....	13
2.2.3. Yapısına göre koruma röleleri	13
2.2.3.1. Elektromekanik röleler	14
2.2.3.2. Statik röleler	15
2.2.3.3. Nümerik (Sayısal) röleler	15
2.3. Güç Sistemlerinde Koruma Çeşitleri	16
2.3.1. Aşırı akım koruma	16

2.3.1.1. Çalışma özellikleri	16
2.3.1.2. Aşırı akım rölelerini çalışma karakteristiklerine göre sınıflandırma	17
2.3.1.3. Aşırı akım rölelerinde ani eleman yardımcı kontaktör ve bayraklar	19
2.3.1.4. Aşırı akım rölelerinin ayarı	20
2.3.1.5. Aşırı akım ve toprak rölelerinin kullanılma yerleri	21
2.3.1.6. Aşırı akım rölelerine ait şebeke bağlantıları	24
2.3.2. Yönlü koruma	25
2.3.2.1. Toprak koruma bakımından yönlü korumanın gerekliliği...	25
2.3.2.2. Aşırı akım koruma bakımından yönlü korumanın gerekliliği	26
2.3.2.3. Aşırı akım rölelerine ait şebeke bağlantıları	27
2.3.3. Diferansiyel koruma	29
2.3.3.1. Pilot diferansiyel koruma	31
2.3.3.2. Trafolar için diferansiyel koruma	33
2.3.4. Kesici arıza koruması ve bara koruma	34
2.3.5. Mesafe koruma	36
2.3.5.1. Mesafe koruma rölesi çalışma prensibi	38
2.3.5.2. Empedans diyagramı	38
2.3.5.3. Yön ölçümü	41
2.3.5.4. Mesafe ölçümü	43
2.3.5.5. Müsaadeli ve kilitlemeli sistem yapıları	43
2.3.5.6. Tekrar kapama yapıları	47
 BÖLÜM 3.	
PETRİ AĞLARI.....	48
3.1. Petri Ağlarının Tanımı ve Özellikleri.....	48
3.2. Petri Ağlarının Karakteristik Özellikleri.....	54
3.2.1. Petri ağlarının yapısal özellikleri.....	54
3.2.1.1. Paralellik.....	54
3.2.1.2. Senkronizasyon.....	54
3.2.1.3. Sınırlı kaynaklar.....	55

3.2.1.4. Çatışma.....	55
3.2.1.5. Sıralama.....	55
3.2.1.6. Bozucu dallar.....	55
3.2.2. Petri ağlarının davranışsal özellikleri.....	56
3.2.2.1. Ulaşılabilirlik.....	56
3.2.2.2. Sınırlılık.....	56
3.2.2.3. Güvenilirlik.....	57
3.2.2.4. Geri dönebilirlik.....	57
3.2.2.5. Canlılık.....	58
3.2.2.6. Kapsanabilirlik.....	58
3.2.2.7. Devamlılık.....	58
3.2.2.8. Tutarlılık.....	58
3.3. Petri Ağlarının Analizi.....	59
3.3.1. Ulaşılabilirlik analizi.....	59
3.3.2. Tekrar oranı matrisi ve durum denklemi analizi.....	62
3.3.2.1. Tekrar oranı matrisi.....	63
3.3.2.2. Durum denklemi.....	63
3.4. Petri Ağ Çeşitleri.....	65
3.4.1. Renkli petri ağları.....	65
3.4.2. Bulanık petri ağları.....	65
3.4.2.1. Bulanık kümeler teorisi.....	65
3.4.2.2. Bulanık aritmetik işlemler.....	69
3.4.2.3. Petri ağlarında bulanıklık.....	72
3.5. Petri Ağlarının Avantajları.....	74
3.6. Petri Ağları için Benzetim Programları.....	75

BÖLÜM 4.

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ KORUMA ELEMANLARININ PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ.....	77
4.1. Giriş	77
4.2. Koruma Elemanlarının Petri Ağları ile Modellenmesi.....	78
4.2.1. İki baralı güç sisteminin modellenmesi.....	78
4.2.1.1. İletim hattına ait petri ağı modeli.....	78

4.2.1.2. Baralara ait petri ağı modeli.....	85
4.2.1.3. İki baralı güç sistemine ait genel koruma yapısının petri ağı modeli.....	94
4.2.2. Beş baralı güç sisteminin modellenmesi.....	100
4.2.2.1. İletim hatlarına ait petri ağı modeli.....	101
4.2.2.2. Baralara ait petri ağı modeli.....	110
 BÖLÜM 5.	
ÖRNEK PA VE BPA UYGULAMALARI.....	116
5.1. KBA'nın Tanıtılması.....	116
5.2. KBA'nın Dört Baralı Güç Sisteminde PA Uygulaması.....	116
5.2.1. Adapazarı TM'ne bağlı L_1 enerji iletim hattına ait arıza doğruluk derecesi değeri için BPA uygulaması.....	122
5.3. KBA'nın Ondört Baralı Güç Sisteminde BPA Uygulamaları	127
5.3.1. Trafo merkezleri için BPA uygulamaları.....	128
5.3.1.1. Adapazarı DGKÇS II (B_1) BPA uygulaması.....	128
5.3.1.2. Adapazarı DGKÇS I (B_2) BPA uygulaması.....	133
5.3.1.3. Paşaköy TM (B_3) BPA uygulaması.....	139
5.3.1.4. Adapazarı TM (B_4) BPA uygulaması.....	142
5.3.1.5. Osmanca TM (B_5) BPA uygulaması.....	149
5.3.1.6. Akçakoca TM (B_6) BPA uygulaması.....	155
5.3.1.7. Bursa Sanayi TM (B_7) BPA uygulaması.....	159
5.3.1.8. Bursa DGKÇS (B_8) BPA uygulaması.....	164
5.3.1.9. Tepeören TM (B_9) BPA uygulaması.....	168
5.3.1.10. İzmit Gis TM (B_{10}) BPA uygulaması.....	174
5.3.1.11. Köseköy TM (B_{11}) BPA uygulaması.....	178
5.3.1.12. Ereğli TM (B_{12}) BPA uygulaması.....	181
5.3.1.13. Zetes TM (B_{13}) BPA uygulaması.....	185
5.3.1.14. Yeni Çates TM (B_{14}) BPA uygulaması.....	191
5.3.2. İletim hatlarındaki çoklu arıza durumları için BPA uygulamaları...	195
5.3.2.1. L_{1314} iletim hattı arıza durumuna ait BPA uygulaması.....	195

5.3.2.2. L ₀₁₀₂ ve L ₀₂₀₃ iletim hatlarına ait arıza durumları için BPA uygulaması.....	200
5.3.2.3. L ₀₇₀₈ L ₀₇₀₄ ve L ₀₉₁₀ iletim hatlarına ait arıza durumları için BPA uygulaması.....	208
 BÖLÜM 6	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	220
6.1. Sonuçlar	220
6.2. Çalışmanın Getirdiği Katkılar	223
6.3. Öneriler.....	224
 KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	234

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

μs	: Mikrosaniye
ms	: Milisaniye
sn	: Saniye
r	: Sistemin herhangi bir elemanın güvenilirliği
Z	: İşaretli petri ağı
m	: Petri ağ işaretlemesi
u	: Ateşleme sayım vektörü
A^T	: Tekrar oranı matrisi
R(m)	: Ulaşılabilirlik grafiği
τ	: Zaman gecikmesi
λ	: Doğruluk faktörü
π	: Denge/kararlı durum olasılığı
μ	: Ateşleme vektörü
$\mu(x)$	: Üyelik derecesi
α	: Bulanık sayılarda alfa kesimi
km	: Kilometre
m	: Metre
mt	: Mesaj çevrimlerinin tekrar sayısı
P	: Konum (Place)
Λ	: Geçiş ateşleme hızı/üstel dağılım parametresi
w	: Ok ağırlığı
p	: Kontrol vektörü
γ	: Ortalama geçiş sayısı
A	: Amper
V	: Volt
I	: Konumlardan geçişlere yönlendirilmiş oklar kümesi

O	: Geçişlerden konumlara yönlendirilmiş oklar kümesi
T	: Sonlu geçiş kümesi(Transition)
t	: Zaman
T _{TC}	: Jeton Çevrim Zamanı
T _{TD}	: İletim gecikme zamanı
H	: Bulanık Petri Ağlarında Ateşleme Kuralı Matrisi
T _{TH}	: Jeton Tutma Süresi (Token Holding Time)
vd.	: Ve diğerleri
TPL	: Jeton aktarma lojiji
SDA	: Kabullü Veri Gönder (Send Data with Acknowledge)
DGD	: Durum Geçiş Diyagramı
SDM	: Sonlu Durum Makinaları
AOS	: Ayrık Olay Sistemleri
PA	: Petri Ağları
BPA	: Bulanık Petri Ağları
SPA	: Stokastik Petri Ağları
AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
OG	: Orta gerilim
U _{sc}	: Kısa devre gerilimi
U _{ref}	: Referans fazör gerilimi
ΔU	: Fark fazörü
Z _R	: Ayarlanmış röle empedansı
OPGW	Fiberoptikli koruma iletkeni
TM	Trafo Merkezi
KBA	Kuzey Batı Anadolu Şebekesi
DGKÇS	Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali
YSA	: Yapay Sinir Ağları
PIPE2	Petri Ağları Programı (Platform Independent Petri Net Editor)
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (Institute of Electrical Electronics Engineering)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	380 kV açık bir şalt merkezi.....	9
Şekil 2.2.	380 kV kumanda panosu.....	9
Şekil 2.3.	380 kV röle panosu.....	10
Şekil 2.4.	Güç sistemlerinde koruma bölgeleri.....	11
Şekil 2.5.	Aşırı akım koruma prensip şeması.....	17
Şekil 2.6.	Aşırı akım rölelerine ait çalışma karakteristikleri.....	18
Şekil 2.7.	Ters ve çok ters zamanlı röle karakteristikleri.....	19
Şekil 2.8.	İletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesi kullanımı.....	22
Şekil 2.9.	İletim hatlarındaki transformatör bağlantılarına göre aşırı akım ve toprak rölesi kullanımı.....	22
Şekil 2.10.	İki transformatör arasında bulunan iletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesi kullanımı.....	23
Şekil 2.11.	Üç fazlı aşırı akım koruma rölesi.....	24
Şekil 2.12.	İki faz ve bir nötr iletkenli devreye ait aşırı akım röle bağlantısı..	24
Şekil 2.13.	Faz - toprak arızasındaki aşırı akım röle bağlantısı.....	25
Şekil 2.14.	Güç sistemlerinde yönlü koruma prensip şeması.....	26
Şekil 2.15.	Ring şebekede yönlü koruma.....	26
Şekil 2.16.	Üç faz için akım / gerilim polarmalı aşırı akım yönlü röle bağlantısı.....	27
Şekil 2.17.	Üç faz için akım / gerilim polarmalı aşırı akım yönlü toprak röle bağlantısı.....	28
Şekil 2.18.	Akım / akım polarmalı aşırı akım yönlü toprak röle bağlantısı....	29
Şekil 2.19.	Diferansiyel rölenin prensip bağlantı şeması.....	30
Şekil 2.20.	Diferansiyel koruma prensip şeması.....	30
Şekil 2.21.	Pilot diferansiyel koruma prensip şeması.....	31

Şekil 2.22.	Adaptör trafosu kullanılarak gerçekleştirilen pilot diferansiyel koruma prensip şeması.....	32
Şekil 2.23.	Kesici arıza koruma ve bara koruma prensip şeması.....	35
Şekil 2.24.	Mesafe koruma rölesi prensip şeması.....	36
Şekil 2.25.	Sayısal mesafe rölelerinin işlevleri.....	37
Şekil 2.26.	Mesafe koruma rölesine ait empedans diyagramı.....	38
Şekil 2.27.	Dört baralı güç sistemine ait gerilim empedans grafiği.....	40
Şekil 2.28.	Dört baralı güç sistemindeki B barasına ait kademe elemanlarının koruma bölgeleri.....	40
Şekil 2.29.	Beş kademeli güç sistemi koruma bölgeleri.....	41
Şekil 2.30.	Dört baralı güç sistemindeki akım akış yönleri.....	41
Şekil 2.31.	K noktasındaki kısa devre akım akış yönleri.....	42
Şekil 2.32.	Hızlandırılmış düşük menzil koruma yapısı.....	44
Şekil 2.33.	Müsaadeli düşük menzil koruma yapısı.....	44
Şekil 2.34.	Müsaadeli aşırı menzil koruma yapısı.....	45
Şekil 2.35.	Kilitlemeli düşük menzil koruma yapısı.....	46
Şekil 2.36.	Kilitlemeli aşırı menzil koruma yapısı.....	46
Şekil 3.1.	PA grafiğinin temel bileşenleri.....	49
Şekil 3.2.	PA grafiğinin temel yapısı.....	50
Şekil 3.3.	PA’da jetonların durumu.....	52
Şekil 3.4.	PA’da geçişin ateşlenme durumu (a) t_1 geçişi etkin (b) t_1 ’in ateşlenmesinden sonraki durum.....	53
Şekil 3.5.	Senkronizasyon örneği.....	55
Şekil 3.6.	Bozucu dal örneği.....	56
Şekil 3.7.	Ulaşılabilirlik ağı örneği.....	60
Şekil 3.8.	t_1 , t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının birinci adımı.....	60
Şekil 3.9.	t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının ikinci adımı.....	61
Şekil 3.10.	t_1 geçişi ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının üçüncü adımı.....	61
Şekil 3.11.	t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının dördüncü adımı.....	61
Şekil 3.12.	Örnek PA’nın olası tüm durum adımları.....	62
Şekil 3.13.	PIPE2 benzetim programı ara yüzü.....	76

Şekil 4.1.	İki baralı ve iki transformatörlü örnek bir güç sistemi.....	78
Şekil 4.2.	İki baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli.	79
Şekil 4.3.	F_1 geçişinin ateşlenmesi.....	81
Şekil 4.4.	R_{L1Rm} ve R_{L1sm} geçişlerinin ateşlenmesi.....	82
Şekil 4.5.	C_1 ve C_2 geçişlerinin ateşlenmesi.....	83
Şekil 4.6.	Değişmez durum şartlarının olduğu PA modeli.....	83
Şekil 4.7.	R_{L1Rp} ve R_{L1sm} geçişlerinin ateşlenmesi.....	84
Şekil 4.8.	İki baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	85
Şekil 4.9.	İki baralı güç sistemindeki bara - 1'e ait PA modeli.....	86
Şekil 4.10.	İki baralı güç sistemindeki bara - 1 barasına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	87
Şekil 4.11.	İki baralı güç sistemindeki bara - 2'ye ait PA modeli.....	89
Şekil 4.12.	İki baralı güç sistemindeki bara - 2 barasına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	91
Şekil 4.13.	İki baralı güç sistemi.....	94
Şekil 4.14.	İki baralı güç sistemine ait PA yapısı.....	95
Şekil 4.15.	İki baralı güç sistemine ait ulaşılabilirlik ağacı.....	98
Şekil 4.16.	Beş baralı örnek bir güç sistemi.....	100
Şekil 4.17.	Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli.....	101
Şekil 4.18.	Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	103
Şekil 4.19.	Beş baralı güç sistemindeki L_2 enerji iletim hattına ait PA modeli.....	105
Şekil 4.20.	Beş baralı güç sistemindeki L_2 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	106
Şekil 4.21.	Beş baralı güç sistemindeki L_4 enerji iletim hattına ait PA modeli.....	107
Şekil 4.22.	Beş baralı güç sistemindeki L_4 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı.....	108
Şekil 4.23.	Beş baralı güç sistemindeki tüm enerji iletim hatlarına ait PA modeli	109

Şekil 4.24.	Beş baralı güç sistemindeki bara - 1'e ait PA modeli.....	110
Şekil 4.25.	Beş baralı güç sistemindeki bara - 1'e ait ulaşılabilirlik ağacı.....	111
Şekil 4.26.	Beş baralı güç sistemindeki tüm baralara ait PA modeli.....	115
Şekil 5.1.	KBA şebekesine ait dört baralı örnek bir güç sistemi.....	117
Şekil 5.2.	Adapazarı trafo merkezi bara - 1'e ait PA modeli.....	118
Şekil 5.3.	Adapazarı trafo merkezindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli.....	120
Şekil 5.4.	Adapazarı trafo merkezindeki T_1 ototrafosuna ait PA modeli.....	121
Şekil 5.5.	KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemi.....	127
Şekil 5.6.	Adapazarı DGKÇS II'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği	129
Şekil 5.7.	Adapazarı DGKÇS II'deki baraya ait BPA modeli.....	130
Şekil 5.8.	Adapazarı DGKÇS I'e ait koruma yapısı konfigürasyon örneği...	134
Şekil 5.9.	Adapazarı DGKÇS I'deki baraya ait BPA modeli.....	135
Şekil 5.10.	Paşaköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	139
Şekil 5.11.	Paşaköy TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	140
Şekil 5.12.	Adapazarı TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	144
Şekil 5.13.	Adapazarı TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	145
Şekil 5.14.	Osmanca TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	150
Şekil 5.15.	Osmanca TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	151
Şekil 5.16.	Akçakoca TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	155
Şekil 5.17.	Akçakoca TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	156
Şekil 5.18.	Bursa Sanayi TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	160
Şekil 5.19.	Bursa Sanayi TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	161
Şekil 5.20.	Bursa DGKÇS'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	164
Şekil 5.21.	Bursa DGKÇS'ndeki baraya ait BPA modeli.....	166
Şekil 5.22.	Tepeören TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	169
Şekil 5.23.	Tepeören TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	171
Şekil 5.24.	İzmit Gis TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	175
Şekil 5.25.	İzmit Gis TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	175
Şekil 5.26.	Köseköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	178
Şekil 5.27.	Köseköy TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	179
Şekil 5.28.	Ereğli TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	182
Şekil 5.29.	Ereğli TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	183

Şekil 5.30.	Zetes TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	186
Şekil 5.31.	Zetes TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	187
Şekil 5.32.	Yeni Çates TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği.....	191
Şekil 5.33.	Yeni Çates TM'ndeki baraya ait BPA modeli.....	191
Şekil 5.34.	L ₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait BPA modeli.....	196
Şekil 5.35.	L ₀₁₀₂ ve L ₀₂₀₃ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli.....	203
Şekil 5.36.	L ₀₇₀₄ L ₀₇₀₈ ve L ₀₉₁₀ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli.....	212

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	PA’da giriş ve çıkış yerleri ile geçişlerin farklı anlamları.....	52
Tablo 3.2.	A^T tekrar oranı matrisi için gerekli olan koşullar.....	65
Tablo 4.1.	İki baralı güç sistemindeki bara - 1’e ait işaretleme vektörleri...	88
Tablo 4.2.	İki baralı güç sistemindeki bara - 1’e ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı.....	88
Tablo 4.3.	İki baralı güç sistemindeki bara - 2’ye ait işaretleme vektörleri.	92
Tablo 4.4.	İki baralı güç sistemindeki bara - 2’ye ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı.....	93
Tablo 4.5.	İki baralı güç sisteminde işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri.....	94
Tablo 4.6.	İki baralı güç sistemine ait durum tanımlamaları.....	96
Tablo 4.7.	İki baralı güç sistemine ait geçiş tanımlamaları.....	97
Tablo 4.8.	İki baralı güç sistemine ait genel koruma yapısının işaretleme vektörleri.....	98
Tablo 4.9.	İki baralı güç sistemi genel koruma yapısı için ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı.....	99
Tablo 4.10.	İki baralı güç sistemi genel koruma yapısı için işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri.....	100
Tablo 4.11.	Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait işaretleme vektörleri.....	104
Tablo 4.12.	Beş baralı güç sistemindeki L_1 iletim hattına ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı.....	104
Tablo 4.13.	Beş baralı güç sistemindeki bara - 1’e ait işaretleme vektörleri.	112
Tablo 4.14.	Beş baralı güç sistemindeki bara - 1’e ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı.....	112

Tablo 5.1.	2007 - 2011 yılları arasında Adapazarı TM'ndeki ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri.....	122
Tablo 5.2.	KBA şebekesine ait dört baralı güç sistemindeki arızalar ve doğruluk derecesi değerleri.....	126
Tablo 5.3.	KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemindeki baralar için doğruluk derecesi değerleri.....	193
Tablo 5.4.	KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemindeki enerji iletim hatları için doğruluk derecesi değerleri.....	219

ÖZET

Anahtar kelimeler: Güç Sistemleri, Koruma Röleleri, Petri Ağları, Arıza Tespiti

Ülkemizdeki elektrik enerjisi ihtiyacı, sanayi, teknoloji alanındaki gelişmeler ve artan nüfus ile her geçen gün hızla artmaktadır. Bu nedenle elektrik enerjisinin üretilmesinden, şehirlere iletilmesine kadar olan süreçte sürekliliğin sağlanması çok önemlidir. Güç sistemin en önemli parçaları; enerji iletim hatları, baralar ve trafolardır. Bu parçalarda oluşacak olan arızalara en kısa zamanda müdahale edilmesi, sistemin verimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla arıza esnasında değişen sistem parametrelerini anında tespit eden ve arızalı bölümü sistemden izole eden çeşitli koruma tertipleri geliştirilmiştir. Grafikselsel doğası, statik ve dinamik sistem karakteristiklerini ve sistem belirsizliğini tanımlayabilme yeteneği ve matematiksel teknikler içermesinden dolayı, petri ağları güçlü bir araç olarak güç sistemlerinin modellenmesi ve analizi için uygun bir kavramsal altyapı oluşturmaktadır. Grafikselsel ve matematiksel bir araç olarak petri ağları, zaman uyumlu, paralel, eşzamanlı, dağıtık, kaynak paylaşımlı, deterministik olmayan ve stokastik olarak karakterize edilebilen karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizi için kullanılabilir. Bu çeşit karmaşık sistemler diferansiyel denklemler, fark denklemleri gibi geleneksel araçlar kullanılarak matematiksel olarak tanımlamanın zor olduğu karakteristik özellikler göstermektedirler. Petri ağları matematiksel bir araç olarak sistem davranışını tanımlayan durum denklemlerinin elde edilmesine, cebirsel sonuçlar bulunmasına ve diğer matematiksel araçlar geliştirilmesine imkân vermektedirler. Blok diyagramları veya mantıksal ağlar gibi diğer grafikselsel sistem temsil tekniklerine göre, petri ağları bir sistemdeki parçalar ve faaliyetler arasındaki mantıksal etkileşimleri daha doğal bir yolla ifade etmek için özellikle daha uygundur. Modelleme açısından bakıldığında, petri ağ teorisi hem etkinlik hem de verimlilik analizi için uygun modeller oluşturulmasına izin vermektedir.

Sistemdeki birden fazla arıza durumunda koruma elemanlarının yanlış açmaları, rölelerin arıza bölgesini tespit etme görevini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, güç sistemlerinde oluşan arıza yerlerinin önceden tespit edilmesi ve bu sorunun çözülmesi amacıyla matematiksel bir model geliştirilmiştir. Benzetim aşamasında sezgisel yöntemlerden daha başarılı sonuç veren Bulanık Petri Ağları kullanılmıştır. İşlemsel ve kontrol karakteristikleri açısından birbirinden farklı yapılara sahip güç sistemleri ele alınmış, arıza esnasında personel müdahalesinin en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Benzetim aşamasında PIPE2 yazılımı kullanılarak Kuzeybatı Anadolu şebekesine ait 14 baralı güç sisteminde arıza olma ihtimali yüksek olan yerlerin doğruluk derecesi değerleri elde edilmiştir. 14 baralı güç sisteminde çeşitli arıza durumları için sistem benzetimleri gerçekleştirilmiş, her arıza için sistem davranışı ve koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri hesaplanmıştır. Oluşturulan yeni Bulanık Petri Ağı yaklaşımı yöntemiyle, arıza yerinin tespitinde kısıt ve amaç fonksiyonu dönüşümlerinde destek hiperdüzlemlerine yaklaşma yerine bulanık yaklaşımlar üzerinde durulmuştur. Doğruluk derecesi değerleri kesici ve koruma rölelerinin kesin olmayan ve tamamlanmamış alarm bilgilerine göre elde edilmiştir. Doğruluk derecesi değerleri kullanılarak en fazla doğrulukta arıza bölgesi tespit etme işlemi gerçekleştirilmiştir.

USAGE AND APPLICATIONS OF PETRI NETS IN ELECTRIC POWER SYSTEM PROTECTION ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Power Systems, Protection Relays, Petri Nets, Fault Diagnosis

The electrical energy demand of our country is rising very fast day by day due to the developments in industry, technology and growing population. Therefore it is very important to sustain continuity within the process beginning with electrical power generation until its transmission to urban areas. Energy transmission lines, transformers and buses are the most important part of the power system. Interfering to an occurred fault in the shortest time is very important for the system efficiency. For this purpose, different protection equipments is developed which detect changing system parameters and isolate broken down part from system during the fault condition. Due to its graphical nature, ability to describe static and dynamic system characteristics and system uncertainty, and the presence of mathematical analysis techniques, Petri nets as a powerful tool, form an appropriate conceptual infrastructure for the modeling and analysis of power systems. Petri nets as a graphical and mathematical tool can be used for modeling and analyzing complex systems which can be characterized as synchronous, parallel, simultaneous, distributed, resource sharing, nondeterministic and stochastic. These types of complex systems exhibit characteristics which are difficult to describe mathematically using conventional tools like differential equations, difference equations. Petri nets as a mathematical tool provide obtaining state equations describing system behavior, finding algebraic results and developing other mathematical models. With respect to other techniques of graphical system representations like block diagrams or logical trees, Petri nets are particularly more suitable to represent in a natural way logical interactions among parts or activities in a system. In modeling point of view, Petri net theory allows the construction of the models amenable both for the effectiveness and efficiency analysis.

The task of fault location determination is difficult for relays when multiple faults, failures of protection elements, and false data are involved. In this study, a mathematical model is improved in order to solve this problem and to predetermine failure locations in power systems. Fuzzy Petri Nets which produce more successful results than heuristic methods are used during simulation. Power systems with different structures are discussed in terms of operational and control characteristics. It is aimed to minimize the staff intervention during fault. Truth degree values of high probability of failure locations are obtained in the 14 buses power system which belongs to Northwestern Anatolia network using PIPE2 software during simulation. Simulation of the system for various fault cases have been realized in 14 buses power system. Behavior of the system for each fault and the truth degree values of the protection elements have been calculated. For the determination of fault locations with the improved new Fuzzy Petri Nets approach method, in transformations of constraint and objective functions, instead of approaching support hyper-planes fuzzy approaches are emphasized. Truth degree values have been obtained according to incomplete information from circuit breakers and uncertain alarm information from protective relays. Using truth degree values, the most accurate fault location determinations are accomplished.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak kalkınmasında en önemli destek unsurlarından birisidir. Farklı enerji çeşitlerinin kullanılması, gelişen ülkelerin sosyal ve ekonomik alanda kalkınmasında büyük katkı sağlamıştır. Bu ülkeler gelişmişliklerini, kaynaklarını verimli ve doğru kullanarak ürettikleri bol ve ucuz elektrik enerjisinden faydalanmalarına borçludurlar.

Elektrik enerjisi bugünkü sosyal ve ekonomik yaşamın en başta gelen temel gereksinimlerinden biridir. Gelişen teknoloji, yükselen yaşam düzeyi ve artan nüfusla birlikte bu enerjiye olan gereksinme her geçen gün büyük ölçüde artmaktadır. Bu önemli talebin istenen miktar ve kalitede, ekonomik olarak karşılanabilmesi için yapılan faaliyetler ekonomik sorunların yanında çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.

Üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin kurulması, işletilmesi, kumandası, izlenmesi ve kontrol edilmesindeki kolaylıkların yanında temiz oluşu ve istenen enerji şekline istenilen yerde, istenilen miktarda dönüştürülebilir olması nedeniyle her zaman tercih edilir olmuştur ve rahatlıkla söylenebilir ki gelecekte de tercih edilir olacaktır. Bu özelliklerinin yanında bu enerjiden faydalanmak için geliştirilen elektrikli makine, alet ve cihazların ucuz, işletilmelerinin kolay ve pratik olması da elektrik enerjisinin önemini bir kat daha artırmıştır.

Ülkemizdeki elektrik enerjisi ihtiyacı kömür, petrol, doğal gaz, hidrolik ve nükleer enerji kaynaklarından, az miktarlarda ise rüzgâr, atıklar, güneş ve denizlerdeki dalgalardan yararlanılarak üretilmektedir. Fakat ülkemizin coğrafi yapısı ve enerji kaynaklarının konumu itibarı ile üretilen elektrik enerjisi, enerji iletim hatları ile uzak mesafelere taşınmaktadır. Bu sebeple iletim sistemlerinin enerji kesintisinin ve kısıtlamasının oluşmayacağı şekilde planlanması ve işletilmesi gerekmektedir. Enerji

iletiminin devamlılığı, elektrik tesislerinin arızalardan etkilenme oranının azaltılması, yedek üretim kaynaklarının tesisi ve aynı yükün alternatif noktalardan beslenmesi gibi hususların geliştirilmesi ile sağlanmaktadır.

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı çok büyük yatırımlar gerektirmektedir. Bu sebeple bütün sistemin mümkün olan en büyük verimle çalışması ve arızalardan korunması gerekmektedir. Sistemdeki arızaları azaltmak için uygulanan tedbirlere rağmen, elektrik şebekelerinde arızalar meydana gelmektedir. Bu sebeple sistemi meydana getiren bütün devre elemanlarının, arızanın kötü ve tahripkâr etkilerinden korunması gerekmektedir. Bu durum sistemde değişik koruma tedbirlerinin alınmasını sağlamıştır.

Üretim merkezlerinden tüketim merkezlerine kadar uzanan şebekeler belirli parçalardan oluşmaktadır. Her parça bir diğerinden kesiciler vasıtasıyla ayrılarak sistemin farklı bölgelerinde yer alacak arızaların bütün sistemi etkilemesi önlenir. İlgili kesicilerin açması ile arıza temizlenir. Enerji iletim hatlarında hat teçhizatını ve insanları koruyan koruma sistemlerinin ana yapısını röleler oluşturmaktadır. Elektrik sistemlerinde kullanılan röleler, sistemde oluşacak olan arızalı kısımları izole ederek sistemin ve teçhizatın hasarlanmasını önlemekte ve sistemin bu durumdan minimum düzeyde etkilenmesini sağlamaktadır.

Güç sistemlerinde; hat, istasyon, transformatör, kesici ve benzeri elemanların hızla çoğalması sistemin karmaşasını arttırmakta ve tüm sistemin bir merkezden kontrolü gerekmektedir. Böyle bir merkeze ihtiyaç duyulmasının güvenilirlik ve ekonomik üretim yapma gibi iki önemli nedeni vardır. Kontrol merkezi hem normal çalışmada hem de acil durumlarda sistem elemanlarından gelen durum bilgilerini inceler ve değerlendirir. Bu bilgiler; uç birimlerden elde edilen akım, gerilim ve güç bilgileri olup uç birimleri tarafından algılanır ve sayısala dönüştürülür. Daha sonra modemler aracılığı ile kontrol merkezine iletilir. Kontrol merkezi gelen verileri analiz eder.

Normal durumda güç sisteminde meydana gelen hataların belirlenmesi ve operatörün uyarılması kullanılan kontrol yazılımı ile sağlanır. Acil durumlarda kontrol merkezine ulaşan veriler operatör tarafından analiz edilir ve hata belirlenerek

giderilmeye çalışılır. Güç sistemlerindeki merkezi kontrolcüler, arızanın hızlı bulunmasını ve tanımlanmasına ihtiyaç gösterirler. Hata analizi için bilgiler fiziksel olarak daima koruyucu cihazlardan alınır. Güç sistemi büyüdükçe bu işlemler giderek zorlaşır. Hatanın belirlenmesi tamamen operatörün tecrübesine ve bilgisine bağlıdır. Sistem karmaşıktıkça ve aynı anda birden fazla hata oluştuğunda operatörün işi daha da zorlaşmaktadır. Operatöre yardımcı olmak amacı ile çeşitli emniyet kontrol algoritmaları geliştirilmiştir.

Elektrik güç sistemlerinin, gelişen teknolojiyle birlikte daha karmaşık bir yapı oluşturduğunu göz önüne alınırsa, koruma sistemlerinin elektrik endüstrisinde daha fazla bir önem teşkil ettiği ortaya çıkmaktadır. Bu önem dâhilinde korumanın maliyeti incelendiğinde, toplam güç sistemi maliyetinin % 0,5 - 1'i civarında olduğu belirlenmiştir.

Elektrik şebekeleri belirli bir yalıtkan seviyesine göre tesis edilirler. Yalıtkan seviyesi sıcaklık, yaşlanma, rutubet, çarpma, vurma gibi fiziki tesirlerden dolayı tahrip olursa, enerjinin akış yolu değişir. Bu duruma kısa devre adı verilir. Kısa devre küçük bir direnci ifade eder. Dolayısıyla kısa devre durumunda jeneratörler veya transformatörler normal işletme şartlarına göre daha küçük bir empedansı besleyeceği için çekilen akım normal değerlerin üzerine çıkar ve arızalı fazda gerilim düşer. Sistemde arıza meydana geldiği anda değişen bu değerlerin anında tespiti ile arızalı bölümü sistemden izole etmek üzere çeşitli koruma tertipleri geliştirilmiştir.

1.1. Güç Sistemlerindeki Koruma Analizleri için Literatür Taraması

Teknolojideki hızlı gelişmeler alışlagelmiş diferansiyel veya fark denklemleriyle açıklanamayan birçok sistemi de beraberinde getirmiştir. Esnek imalat sistemleri, bilgisayar ağı sistemleri, çeşitli ulaşım sistemleri ve güç sistemleri bu sistemlere örnek olarak verilebilir. Eşzamanlılık, asenkron çalışma, olay devamlılığı, belirsizlik gibi özelliklere sahip olan sistemlere “Ayrık Olay Sistemleri” (AOS) denir, Uzam ve Jones (1998). AOS üzerinde tasarım, analiz, sentez gibi işlemler yapılırken ihtiyaç duyulan model, temel olarak iki yöntem kullanılarak elde edilir. Bunlar; “Sonlu Durum Makinesi” (SDM) ve “Petri Ağları” (PA) yaklaşımlarıdır. SDM yaklaşımları

ardışık çalışabilen modeller sunmaktadır. SDM kullanılarak oluşturulan modeller grafiksel görünüm yönünden zayıf kalmaktadır, Uzam (1998). PA, AOS'nin modellenmesinde, analizinde, tasarımında ve kontrolünde anlaşılabilirliği ve grafiksel görselliği yüksek modeller sunmaktadır.

PA ilk defa Alman matematikçisi Carl Adam Petri tarafından 1962 yılında ortaya atılmıştır, Petri (1966). Bu tarihten itibaren PA ile ilgili büyük çapta araştırmalar yapılmış, birçok makale yayınlanmış ve verimli teorik sonuçlar ortaya konulmuştur. PA, paralellik, asenkronizasyon ve kaynak paylaşımı gibi durumların modellenmesini ve görselliğini sağlarlar. PA yapısının modellemede, benzetimde ve analizde çok faydalı olduğu ispatlanmıştır. Günümüzde PA uzman sistemler, robot planlama, bilgi gösterimi alanlarında oldukça fazla kullanılmaktadır. PA ile farklı sistem ve benzetim yapıları kolaylıkla modellenebilmektedir. Buna örnek olarak, yapay sinir ağları ve bulanık mantık kullanarak modellenen sistemlerin PA ile modellenmesini gösterebiliriz. PA ile sınıflandırma fazla matematiksel işlem gerektirmemekte ve birkaç geçişin tetiklenmesi sonuçlandırma için yeterli olmaktadır.

Literatürde güç sistemlerindeki koruma analizleri için birçok çözüm önerilmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde temelde iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar problemleri kural tabanlı ve yapay sinir ağları kullanarak çözmektedirler. Bilgi akışının açıklanması ve analiz edilmesi için doğal, basit ve güçlü modeller gerekmektedir. Özellikle ayrı zamanlı ve paralel aktiviteler için bu modeller kullanılabilir. Her bilim dalında teoremin yanında kendine ait nesnelerin ifade edilmesi için kullanılan modeller vardır. Nesnenin üzerinde çalışma bazen tehlikeli olacağından, o nesne modeli üzerinde çalışmak tercih edilmektedir. Bu nedenle güç sistemleri, özellikle sistemin modellenmesi, tasarımı ve kontrolü, hat üzerindeki işlerin veya iş elemanlarının sıralanması açısından popüler bir uygulama alanıdır.

PA temelli modellerin senkron ve asenkron gerçekleştirilmesini donanım tasarımı ile yapmak mümkündür. Bu anlamda senkron donanım tasarımları, Chang (1998) ve Bulanch (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Lojik devre elemanları kullanılarak PA özelliklerinin asenkron donanım gerçekleştirilmesi Uzam ve Jones (1998)

tarafından ortaya konmuştur. Fukui ve Kawakami, Vazquez vd., Lee vd. ve Sun vd., uzman sistemler ile güç sisteminin modellenmesi ve kontrolü üzerinde çalışmışlardır, Fukui ve Kawakami (1986), Vazquez vd. (1997), Lee vd. (2000), Sun vd. (1998).

Narendra vd., Wen vd., Jiang, Murata, PA ve sezgisel sistemler kullanarak, akıllı şebekelerde oluşabilecek olan arızaların önceden tespit edilmesi işlemlerini modellemişlerdir, Narendra vd. (1998), Wen vd. (2000), Jiang (2003), Murata (1989). Elektrik sistemlerindeki arıza bölgelerinin tahmin edilmesindeki işlem planlarını ve işlem sırasını belirlemek için Lo vd., Yang vd. çalışmalar gerçekleştirmişlerdir, Lo vd. (1999), Yang (2004). Moore vd. ve Frey, PA yardımıyla montaj/demontaj işlem planlarını belirleyen yöntemler geliştirmişlerdir, Moore vd. (2001), Frey (2000). Chin (2003) tarafından güç sistemlerinin arıza bölgelerin bulanık mantık kullanılarak tespit edilmesi, Sun vd. (2004) tarafından elektrik güç sistemlerinde Yapay Sinir Ağları (YSA) tabanlı arıza tespiti gerçekleştirilmiştir.

1.2. Tezin Amacı ve Önerilen Çözüm Yöntemi

Güç sistemlerinde otomasyon kullanılması çok büyük avantajlar sağlamakla birlikte, pahalı olduklarından dolayı çoğu zaman büyük miktarda yatırım gerektirmektedir. Bu nedenle güç sistemlerinin tasarlanmasında, işletilmesinde ve geliştirilmesinde sistematik bir modelleme ve analiz yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde yazılım teknolojisindeki gelişmeler sayesinde benzetim teknikleri sistem tasarımı ve geliştirilmesinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, güç sistemlerinde oluşacak olan arıza yerlerinin önceden tespit edilmesine yönelik çalışmalar sunulmuştur. Bu amaçla sezgisel yöntemlerden daha başarılı sonuç veren ve matematiksel bir yöntem olan PA ve BPA kullanılmıştır. Bu yöntem ile işlemsel ve kontrol karakteristikleri açısından birbirinden farklı yapıya sahip güç sistemleri ele alınarak, arıza esnasındaki personel müdahalesinin (insan ihtiyacının) en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Benzetim aşamasında örnek bir güç sistemindeki arıza olma ihtimali yüksek olan yerler (Baralar, İletim hatları, Transformatörler) PA ile modellenerek, modellenen sistemin doğruluk derecesi değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan BPA yöntemiyle arıza yerinin tespiti için, kısıt

ve amaç fonksiyonu dönüşümlerinde destek hiperdüzlemlerine yaklaşma yerine bulanık yaklaşımlar üzerinde durulmuştur. Bu yöntem ile problem çözülürken en iyi tespit değerleri arasında ikil aralık oluşmaktadır. BPA'da, asıl ve ikil değerler birbirine çok yakın olmaktadır. Doğruluk derecesi değerleri kullanılarak diğer yöntemlere göre en fazla doğrulukta arıza yeri tespit etme işlemi gerçekleştirilmektedir.

1.3. Tez Organizasyonu

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerde ele alınan konuların içerikleri aşağıdaki biçimde organize edilmiştir.

Birinci bölümde problemin tanımı, çalışmanın amacı, önerilen çözüm yöntemi ve tez organizasyonu hakkında bilgi verilmektedir.

İkinci bölümün ilk kısmında, 380 ve 154 kV şalt merkezleri hakkında genel bilgiler verilmekte, koruma sistemlerinin yapıları ve koruma sistemlerinde kullanılan röle çeşitleri sunulmaktadır. İkinci kısmında ise, aşırı akım koruma, yönlü koruma, diferansiyel koruma, kesici arıza koruma, bara koruma ve mesafe koruma yapıları sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde PA'nın tanımı, yapısal ve davranışsal özellikleri, sınıflandırılması, çeşitleri ve analiz yöntemleri sunulmaktadır. Klasik PA'nın dinamik davranışı ile matris analizi yapılmıştır. BPA tanımlanmış ve özellikleri anlatılmıştır. PA'nın avantajları sunularak, PIPE2 benzetim programı tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde iki ve beş baralı örnek güç sistemleri ele alınarak söz konusu sistemlerin PA ile modellenmesi anlatılmaktadır. Her bir model için ulaşılabilirlik ağaçları ve tekrar oranı matrisleri anlatılarak, işaretleme vektörleri elde edilmiştir. Modelleme sonucunda her bir bara tipine ait genel koruma yapılarının doğruluk derecesi değerleri, ortalama jeton sayıları, jetonların bulunma sıklıkları gibi belirli parametreler incelenmiştir.

Beşinci bölümün ilk kısmında 4 baralı 380 ve 154 kV'luk KBA (Kuzey Batı Anadolu Şebekesi) ele alınarak, bu sisteme ait örnek bir PA modellemesi yapılmıştır. İkinci kısmında ise KBA güç sistemine ait 14 baralı bir bölge seçilmiş, seçilen bölgedeki tüm baralar ve çoklu enerji iletim hattı arızaları için BPA modellemesi yapılmıştır. Modellemeler sonucunda arıza yeri tespitinde kullanılan doğruluk derecesi değerleri hesaplanmıştır.

Altıncı bölüm, sonuç kısmından oluşmaktadır. Bu bölümde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar sıralanmış ve elde edilen sonuçlar üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan çalışmanın gerek bilime ve gerekse endüstriye getireceği katkılar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA

2.1. Genel

Ülkemizde, elektrik enerjisi hidroelektrik veya termik santrallerde üretilmektedir. Üretilen bu elektrik enerjisinin gerilim seviyesi santral çıkışında bulunan şalt merkezlerindeki transformatörler yardımıyla 154 kV veya 380 kV gerilim seviyelerine yükseltilerek enerji iletim hatları ile şehir merkezlerine taşınmaktadır. Yine şehirlerde 154 kV veya 380 kV gerilim seviyelerindeki şalt merkezlerinde transformatörler yardımıyla 380 kV/154 kV, 154 kV/34,5 kV, 380 kV/34,5 kV dönüştürme oranları ile farklı gerilim seviyelerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak 380 ve 154 kV gerilim seviyesinde şalt merkezleri bulunmaktadır.

Türkiye’de bulunan yüksek gerilim şalt merkezlerinin çok büyük kısmı açık şalt merkezi olarak bulunmaktadır. Bu şalt merkezleri çok büyük alanlar kaplamaktadır. Son yıllarda özellikle büyük şehirlerde yer sorunu bulunması ve bulunan yerinde pahalı olması nedeniyle gaz izoleli şalt merkezleri kurulmaya başlanmıştır. Son yıllarda TEİAŞ tarafından yapılan tüm şalt merkezleri çift bara-transfer şeklinde yapılmaktadır. Çift bara sisteminin yapılma nedeni, herhangi bir barada arıza olduğunda, yükleri diğer baradan kesintisiz olarak beslemektir.

Şalt merkezlerindeki transfer fiderinin amacı ise, fider kesicisinde bir arıza olmuş ise bu fideri transfer kesicisine yönlendirerek enerjinin sürekliliğini sağlamaktır. Şalt merkezlerinde bir adet transfer fideri olduğundan dolayı, aynı anda iki fider için kullanmak mümkün değildir. 380 kV şalt merkezlerindeki gerilim seviyesi 380/154 kV ototransformatörler kullanılarak 154 kV gerilim seviyesine dönüştürülür. Ayrıca sistemde 380/34.5 kV güç transformatörlerinin kullanılması ile 380 kV gerilim seviyesi doğrudan 34.5 kV gerilim seviyesine dönüştürülmektedir. Şekil 2.1’de 380 kV açık bir şalt merkezi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 380 kV açık bir şalt merkezi

Şalt merkezinde bulunan primer elektriksel elemanlar kesiciler, bara-hat ve topraklama ayırıcıları, güç trafoları, ototrafolar, akım ve gerilim trafoları ve parafudrlar'dır. Söz konusu bu cihazların kumandası şalt merkezinde bulunan kumanda binasından yapılmaktadır. Kumanda binasında gerilim seviyelerine göre kumanda panosu, röle (koruma) panosu ve AC-DC dağıtım panosu bulunmaktadır. Kumanda panosundan her fidere ait kesicinin ayırıcının ve topraklama ayırıcısının manevrası konum anahtarları ile yapılır. Kumanda panosu içinde ölçü cihazları (Ampermetre, Voltmetre, Wattmetre, Varmetre) bulunmakta ve her fider için arıza, açma ve alarmları gözleyebildiğimiz ışıklı ihbar tablosu bulunmaktadır. Şekil 2.2'de 380 kV kumanda panosu gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 380 kV kumanda panosu

Röle panosunda ise fideri çeşitli arızalara karşı koruyan koruma röleleri (mesafe koruma, aşırı akım koruma, nötr-toprak koruma, trafo diferansiyel koruma) ve bu rölelerini test etmeye yarayan test blokları bulunur. Koruma röleleri herhangi bir arıza tespit ettiğinde kontağı vasıtasıyla kesicinin açma bobinine sinyal göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. 380 kV fiderler için 2 adet röle panosu bulunmaktadır. 1. panoda ana koruma röleleri 2. panoda ise yedek koruma röleleri bulunur. 154 kV fiderlerde ise 1 adet röle panosu bulunmaktadır. 34,5 kV fiderler için ise röle panosu önlü arkalıdır ve genellikle 1 panoda 3 fiderin koruma röleleri bulunmaktadır. Şekil 2.3’de 380 kV röle panosu gösterilmiştir.

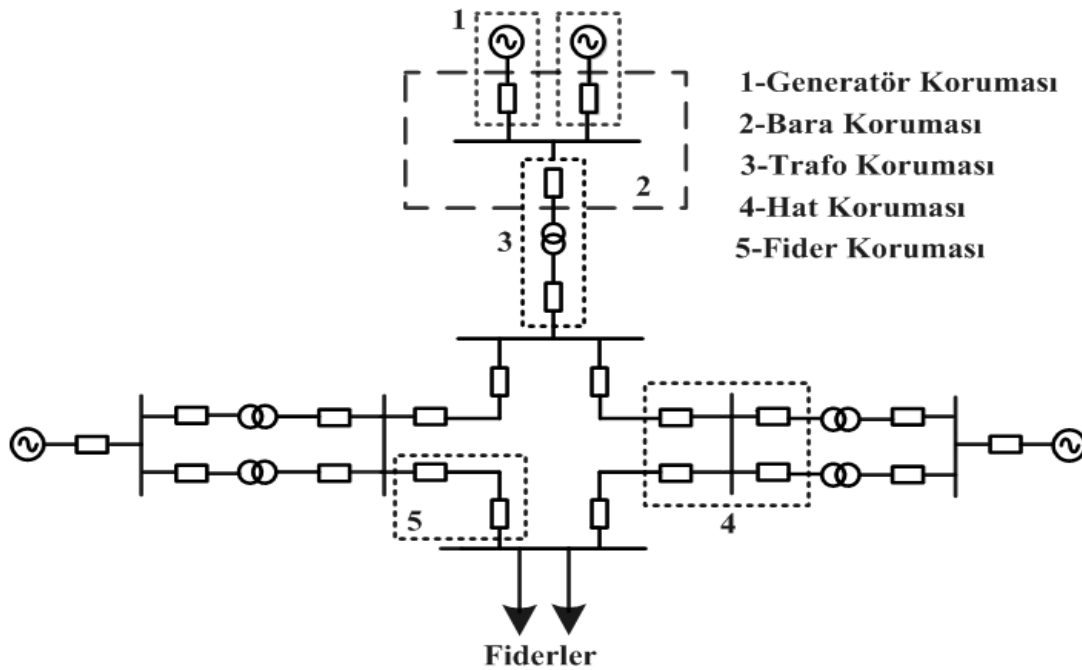


Şekil 2.3. 380 kV röle panosu

380 kV şalt merkezinde röle panolarını ve kumanda panolarını besleyen AC ve DC dağıtım panoları farklı iki kaynaktan beslenmek koşuluyla dört adettir. 380 kV şalt merkezlerinde kullanılan 380 kV kesiciler SF6 gazlı, havalı veya vakumlu kesicilerdir. Bu kesicilerde 2 adet açma bobini ve 1 adet kapama bobini vardır. 154 kV kesiciler SF6 gazlı veya vakumlu kesicilerdir. Bu kesicilerde 2 adet açma bobini vardır. 34,5 kV gerilim seviyesinde kullanılan kesicilerde ise tek açma bobini bulunmaktadır. Tüm sistemde bulunan 110V DC kumanda ve koruma sistemleri sürekli kontrol altındadır.

2.2. Koruma Sistemlerinin Önemi

Elektrik tesisleri, elektrik enerjinin kesintisiz üretilebileceği, iletilebileceği ve dağıtılabileceği şekilde yapılır ve işletilir. Bu uygun yapıma ve işleme rağmen elektrik tesisleri istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalabilirler. Bu istenmeyen durumlar neticesinde elektrik tesislerinde ortaya çıkabilecek sorunlar tesisi ve tesise bağlı tüketicileri yakından etkiler. Sistemdeki tüm teçhizatlar belirli bir akım seviyesine göre yapılan hesaplamalar sonunda dizayn edilir. Değişen sistem koşullarında veya zorunlu durumlarda sistemden nominal işletme akımının üzerinde bir akım çekilmesi aşırı akımın oluşma nedeni olarak gösterilir. Aşırı akım, aşırı yüklenme akımı ve kısa devre akımı olmak üzere iki kısımda ele alınır. Aşırı yüklenme akımı, transformatörün anma yükünün üzerinde bir yükü (aşırı yük) beslemek zorunda kalması ile oluşur. Genel olarak 20 °C çevre sıcaklığında anma işletme akımının %20 fazlası ($1,2 \cdot I_n$) maksimum işletme akımı olarak kabul edilir. Bu değer üstündeki akımların geçmesi, aşırı yüklenme durumudur. Güç sistemlerinde korunan her bir eleman, bir koruma bölgesi içinde kalmalıdır. Koruma bölgeleri de birbirini kapsamalıdır. Şekil 2.4’de güç sistemlerine ait koruma bölgeleri gösterilmiştir (Pamuk, 2011).



Şekil 2.4. Güç sistemlerinde koruma bölgeleri

2.2.1. Aşırı akımın oluşması

Güç sistemlerindeki arızalar fazlar arası arıza, faz-toprak arası arıza veya faz iletkenleri ile iletkenin çevresindeki ekranlama arasındaki yalıtım direncinin azalması sonucunda oluşur. Nem, buz, sis, toz, direk devrilmesi, rüzgâr, yıldırım gibi dış etkenler ile işletme koşulları, sisteme ait yalıtkan malzemenin bozulmasına neden olur (Çalışkan vd. 1990). Güç transformatörlerinden aşırı akımlar çekilmesine neden olan kısa devre arızası, iç ve dış arıza olmak üzere iki şekilde meydana gelebilir. İzolasyon özelliği, pamuk, ipek, kağıt ve izolasyon yağı gibi yalıtkan malzemeler ile sağlandığından, zamanla aşırı akım yada aşırı gerilim etkilerinden dolayı bu maddelerde izolasyon seviyesi düşer. Bu durumda sarımlar, sargılar veya sargı-tank arasında izolasyon seviyesi düşük zayıf noktalar oluşur. Bu zayıf noktalar aşırı akım veya aşırı gerilim gibi bir zorlanma sonucu, hatta normal işletme koşullarında dahi iç arızaların oluşmasına sebep olabilir. Dış arızalar ise güç transformatörünün beslediği devrede (bara ve fiderlerde) oluşan aşırı akımlardır. İç arızaları sarımlar arası kısa devre, sargılar arası kısa devre ve sargı ile tank arasındaki kısa devreler oluşturur. Dış arızaları ise faz-toprak kısa devresi, fazlararası kısa devre ve aşırı yüklenme oluşturur.

Güç transformatörünün primer ve sekonder sargılarını aşırı akımlara karşı korumak amacıyla, Transformatör Giriş Aşırı Akım Koruma ve Transformatör Çıkış Aşırı Akım Koruma tedbirleri uygulanır. Bu amaçla kullanılan koruma rölelerinin çalışma akımları, transformatörün anma akımına bağlı olarak seçilir ve genellikle anma akımının %20 fazlası esas alınır. Zaman ayarı ise transformatörün kısa devreye dayanma süresine bağlı olarak belirlenir. Transformatör Giriş Aşırı Akım Koruması, primer sargıyı aşırı yüklenmeye karşı korumak amacıyla yapılır. Ayrıca fider koruma, transformatör çıkış aşırı akım koruma ve transformatör öz koruma tertiplerinin de artçısı olarak görev yapar. Transformatör Çıkış Aşırı Akım Koruma ise, güç transformatörünün sekonder sargısını aşırı yüklenmeye karşı korumak amacıyla yapılır. Transformatörün primer tarafında bulunan giriş aşırı akım korumasına ilişkin aşırı akım röleleri, primer tarafta bulunan akım transformatörleri üzerinden beslenirler ve bunların çalışma zamanı, çıkış aşırı akım rölelerinden daha büyük seçilir.

2.2.2. Kısa devre akımının etkileri

Gerilim altındaki iletken kısımların birbirlerine değmesi veya nötr iletkeni topraklanmış olan hatların, toprağa değmesi ile güç sistemlerinde kısa devre arızaları oluşur. Kısa devre arızaları genellikle bir fazda başlar ve kısa zamanda diğer fazlara da atlayarak üç faz kısa devre arızasına dönüşür. Atlamalar genellikle ark aracılığı ile gerçekleşir (Pamuk, 2011). Kısa devre akımının doğrudan doğruya olan etkileri üç çeşittir. Bunlar; ark etkisi, kuvvet etkisi ve ısı etkisidir. Arıza yerindeki geçiş direnci, (ark direnci) kısa devre yolunun toplam direncine nazaran kayda değer bir büyüklükte ise, arklı bir kısa devre söz konusu olur. Bundan dolayı arklı kısa devreler çoğunlukla yüksek gerilim cihazlarında veya enerji iletim hatlarında meydana gelirler.

Kısa devrenin ısı ve kuvvet etkisinden dolayı iki tür zorlanma meydana gelir. Bu zorlanmalar termik ve mekanik zorlanmalardır. Termik zorlanma, kısa devrenin ısı etkisi ile oluşur. Kısa devre akımının genliğine ve arızanın süresine bağlıdır. Termik etki iletkenlerin izolasyonunu zorlar. İletkenin ısısı arttıkça izolasyonun ısıya karşı dayanıklılığı azalır. Isı ise akımın karesiyle orantılı olarak artar. Kısa devrenin kuvvet etkisinden dolayı oluşan mekanik zorlanma ise, akımın genliğine bağlı olup, büyük arıza akımları sargılarda, baralarda ve izolatörlerde tehlikeli dinamik kuvvetler oluşturur. Mekanik zorlanmalar ise, güç transformatörlerinde, baralarda ve jeneratörlerde şekil bozukluklarına neden olurlar. Üzerinden akım akan iletkenler, oluşan elektromanyetik kuvvetin etkisiyle birbirlerini iterler veya çekerler. Bu oluşan kuvvet iletkenlerden akan akımın genliği ile doğru orantılıdır (James, 2001).

2.2.3. Yapısına göre koruma röleleri

Röleler, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır. Bir arıza durumunda rölelerin çalışma işlemleri; hatanın tespiti ve faaliyete geçme, hata çeşidinin seçilmesi, gecikme (öngörülmüşse), açma kumandası verme ve arıza öncesi konumuna geri dönme şeklindedir. Bu sıraya göre hata ortaya çıktığı anda rölenin çalışmaya başlaması gerekir. Bu sırada hatayı belirleyen kriter ve ölçü büyüklükleri

tespit edilir. Eğer açma işlemi için bir gecikme öngörölmüşse bu sürenin geçmesi beklenir. Daha sonrada açma kumandası verilerek güç anahtarının açması sağlanır.

2.2.3.1. Elektromekanik röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Röleler yapıış şekillerine göre elektromekanik, yarı iletken (statik) ve sayısal (nümerik) olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Ölçülen büyüklük ile rölenin demir çekirdeğı üzerine etki ettiğı F kuvvetini bir mekanik kuvvetle karşılaştıran rölelere elektromekanik röleler denir. Bu tür röleler sağlam ve ucuzdurlar. Elektromekanik rölelerin tasarımı, elde edilen karakteristiklere, ayarlara ve yük kapasitelerine göre sınırlıdır. Buna karşın statik rölelerde, lojik kapıların yanı sıra, analog devrelerde vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiğı elde edilebilir.

Statik röleler; elektromekanik (konvansiyonel) rölelerden çok daha küçük, hızlı ve güvenlidirler. Ayrıca bu röleler yüksek duyarlılıkları sebebiyle daha küçük güçteki akım transformatörlerinin kullanılmasına ve daha gelişmiş karakteristiklerin elde edilmesine imkân sağlar. Tam statik röleler elektromekanik rölelerin aksine, herhangi bir kontağın herhangi bir fiziksel hareketi olmaksızın elektronik elemanların yalıtım durumundan iletim durumuna geçmesiyle ya da bunun tersiyle devrede bir anahtarlama etkisi meydana getirirler. Anahtarlama etkisinin meydana gelmesinde, bir kontağın açılması veya kapanması gibi fiziksel bir hareket olmadığı için statik rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelere göre çok daha kısadır.

Nümerik röleler ise kullanılan mikroişlemci teknolojisi sayesinde (analog / dijital çevrim yöntemi ile) sayısal ölçme tekniklerini kullanarak diğer iki tip röleden hem daha güvenli hem de kullanımı daha kolay rölelerdir. Sayısal ölçüm teknikleri daha büyük ölçüm doğruluğunu sağlar ve hatalara karşı kararlı bir şekilde korumayı gerçekleştirir. Elektromekanik koruma teknolojisinde kullanılan birçok ek (yardımcı) fonksiyonlar, dijital koruma teknolojisinde tek bir teçhizatta meydana getirilmiştir. Böylelikle donanım yapısı elektromekanik rölelerden çok daha küçüktür.

Elektromekanik rölenin personel tarafından sık sık kontrol edilmesi gerekirken nümerik koruma rölesinin kendi kontrolü sayesinde bakım masrafları da oldukça düşürülmektedir. Herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik röleye göre çok daha kısadır.

2.2.3.2. Statik röleler

Koruma sistemlerinde elektromekanik rölelerden sonra kullanılmaya başlanan diğer röle tipi statik olanlardır. Statik röleler yarı iletken elektronik malzemelerden oluştuğundan bu tip rölelere elektronik röleler adı da verilmektedir. Statik rölelerin avantajları aşağıdaki gibidir (Tsoukalas ve Uhrig 1997):

1. Statik rölelerin çalışması için gereken güç yardımcı bir kaynaktan sağlanır. Bu nedenle bu tip röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.
2. Çalışma hızları elektromekanik rölelere göre daha yüksek olup, ömürleri daha uzundur.
3. Statik rölelerde hareketli parçalar bulunmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur ve hızlı açma-kapama yapabilen kontaklarından dolayı meydana gelen parazitler oluşmamaktadır.
4. Rölenin geri dönüş (reset) hızı elektromekanik tipe göre çok kısadır ve yüksek duyarlılığa sahiptir.
5. Yarıiletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının düşük olması nedeniyle röle boyutları daha küçüktür.

2.2.3.3. Nümerik (Sayısal) röleler

Son yıllarda elektrik tesislerinde kullanılmaya başlanan diğer bir röle tipi ise, mikroişlemcilerle donatılan nümerik (sayısal) rölelerdir. Elektromekanik veya statik röleler analog çalışan koruma röleleridir. Nümerik rölelerde ise mikroişlemci tekniği ile sayısal ölçme tekniğinden yararlanılır. Ölçü büyüklüklerinden alınan ani değerler analog-dijital çeviriciler ile dönüştürülmekte, hafızaya yerleştirilmiş bir programa göre işlem görmekte ve bu işlem sonucunda varılan açma veya açma yapmama kararına göre dijital-analog çeviriciler üzerinden kumanda verilmektedir. Sayısal

ölçme tekniğinin kullanımıyla diğer tip rölelere nazaran güvenlik, emniyet ve kullanım kolaylığı avantajlarından bazılarıdır. Elektromekanik koruma röleleri tek tek koruma modüllerinin birleşmesiyle meydana getirilirken, mikroişlemci tabanlı sayısal rölelerde ise tek bir donanım içinde birden fazla koruma fonksiyonları kullanılır. Sayısal rölelerin bir başka avantajı da yapısında bulunan haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer sayısal rölelerle haberleşme yeteneğinin olmasıdır. Bu terminaller vasıtasıyla sayısal rölelere dışarıdan bir PC yardımıyla müdahale edilebilir ve koruma rölesinin çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir.

2.3. Güç Sistemlerinde Koruma Çeşitleri

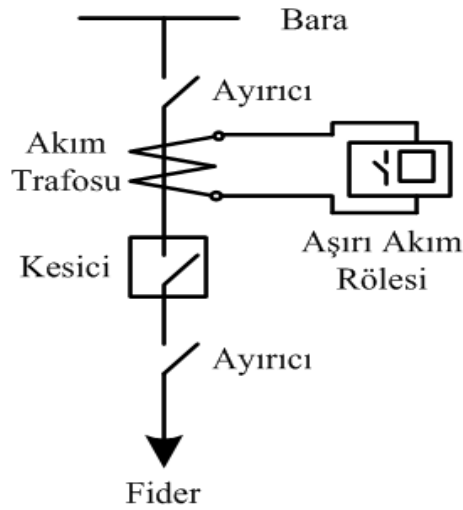
2.3.1. Aşırı akım koruma

Aşırı akım korumanın görevi, bağlı olduğu şebekenin faz veya nötr iletkeninde oluşan aşırı akımı tespit edip sistemi bu duruma karşı korumaktır. Bir elektrik tesisinde aşırı akımın oluşmasının başlıca nedenleri fazlar arası veya faz-toprak arası kısa devrelerdir. En basit aşırı akım koruma cihazı, sigortalardır. Sigortalar, kesinti süresi önemli olmayan veya seyrek arızalanan şebeke bölümlerinin korunmasında kullanılmaktadır. Daha gelişmiş aşırı akım koruma elemanları rölelerdir. Röleler primer ve sekonder aşırı akım röleleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Çalışkan, 1990).

2.3.1.1. Çalışma özellikleri

Primer aşırı akım rölesi, primer devrede kesici üzerinde bulunan bir eleman olduğu için bu ismi alır. Röle bobinindeki nüve, maksimum yük akımında bile harekete geçmeyecek şekilde ayarlanır. Kısa devre akımlarında demir nüve, harekete geçer ve bir açma mekanizması aracılığıyla devre kesicisini açtırarak iletim hattındaki arızayı temizler. Primer rölenin ani ve sabit zaman gecikmeli tipleri vardır. Sekonder aşırı akım rölesi, akım trafosu sekonderinden beslendiği için bu ismi alır. Sekonder aşırı akım röleleri de primer aşırı akım röleleri gibi maksimum yük akımlarında çalışmayacak şekilde ayarlanır. Akım trafosunun primerinden geçen akımın bir kısa

devre arızası esnasında artmasıyla sekonderinden dolayısıyla röle bobininden akan akım değerleri de artar. Bu akım değerleri, rölenin ayarlı olduğu akım değerlerini aşacağından, röle çalışarak koruduğu fiderin kesicisini açtırır. Her aşırı akım rölesi bir akım bobini ve bu akım bobininin kumanda ettiği bir kontaklıktan oluşur. İletim hattındaki bir kısa devre arızasında aşırı akım rölesi kontağını kapatarak kesici mekanizması içindeki açma bobinini enerjiler ve kesiciyi açtırır. Şekil 2.5’de aşırı akım korumaya ait prensip şeması gösterilmiştir.



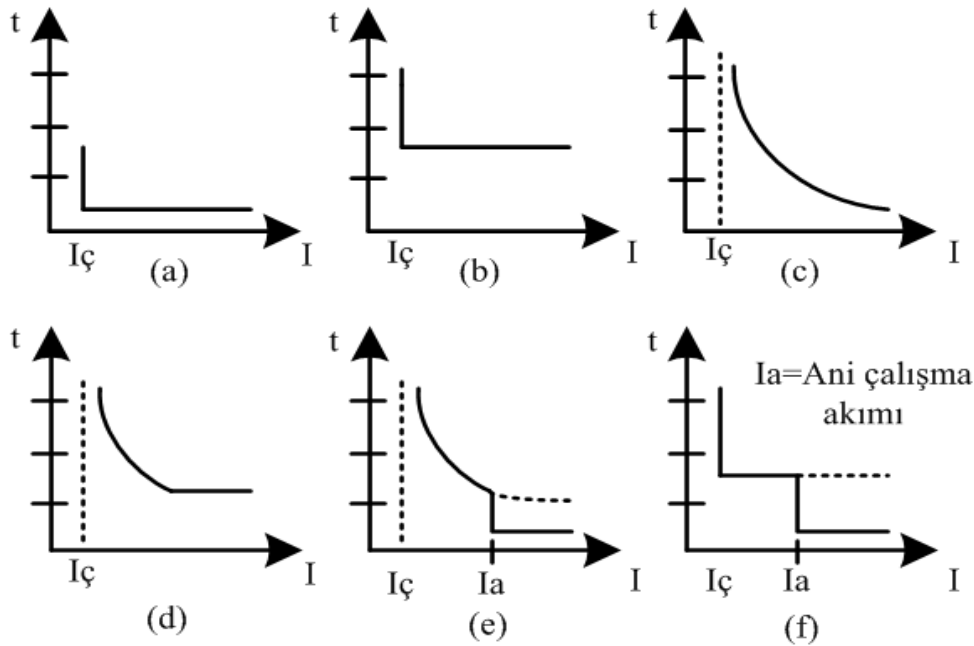
Şekil 2.5. Aşırı akım koruma prensip şeması

2.3.1.2. Aşırı akım rölelerini çalışma karakteristiklerine göre sınıflandırma

Aşırı akım röleleri, uygulamada karşılaşılan her türlü ihtiyaca cevap verebilecek karakteristiklerde imal edilmişlerdir. Bu karakteristiklerden, koruma amacına uygun olan röle seçilir ve kullanılır. Aşırı akım röleleri akım zaman karakteristiklerine göre ikiye ayrılırlar; çalışma akımından büyük olmak koşuluyla hangi akım değeriyle beslenirse beslensin, çalışma zamanı aynı kalan aşırı akım rölelerine “sabit zaman gecikmeli” ya da kısaca “sabit zamanlı” aşırı akım rölesi denir (Tsoukalas ve Uhrig 1997). Çalışma akımından büyük kalmak koşuluyla beslendikleri akım değeri büyüdükçe, çalışma zamanları küçülen aşırı akım rölelerine kısaca “ters zamanlı” röle denir. Ani çalışan röleler, sabit zamanlı rölelerin özel bir çeşidi olarak kabul edilir. Uygulamada sabit zamanlı aşırı akım rölesi, ani bir aşırı akım rölesine sabit zaman gecikmesi temin edilen bir zaman rölesinin ilave edilmesi ile elde edilir.

Aşırı akım röleleri pratikte tek bir karakteristiğe sahip olarak kullanılamaz. Bunların bir grubu, aslında ters zamanlı rölelerdir, fakat akımın belirli bir değerinden itibaren akımın arttırılması zamanı azaltmaz, akımın bu değerinden sonra zaman sabit kalır. Bunlara “belirli minimum ters zamanlı” röleler denir. Karakteristiklerinin ters zamanlı bölümüne, akıma bağlı olarak değiştiği için “bağımlı” kısım, sabit zamanlı bölümüne ise “bağımsız” kısım denir (Pamuk ve Uyaroğlu, 2011).

Pratikte daha çok ters ya da sabit zamanlı röleye ani eleman ilave edilir. Böylece ani elemanın çalışma değerine kadar zaman gecikmeli, bu değerden itibaren ani zaman karakteristiği bir arada elde edilmiş olur. Şekil 2.6’da aşırı akım rölelerine ait çalışma karakteristikleri gösterilmiştir.

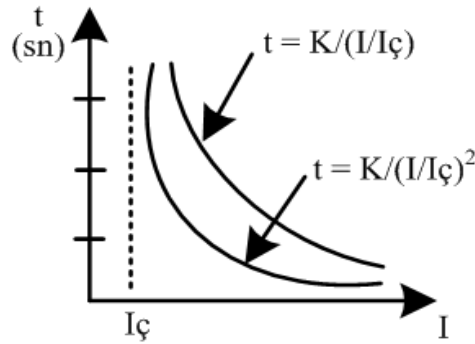


Şekil 2.6. Aşırı akım rölelerine ait çalışma karakteristikleri

Şekil 2.6’da; a-) Ani çalışmalı aşırı akım röle karakteristiğini, b-) Sabit zamanlı aşırı akım röle karakteristiğini, c-) Ters zamanlı aşırı akım röle karakteristiğini, d-) Belirli minimum ters zamanlı aşırı akım röle karakteristiğini, e-) Ani elemanlı ters zamanlı aşırı akım röle karakteristiğini, f-) Ani elemanlı sabit zamanlı aşırı akım röle karakteristiğini ifade eder. Aşırı akım rölelerinin çalışma karakteristikleri (Akım-Zaman eğrileri), $t = f(I)$ ile verilir. Bu fonksiyon genel olarak;

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_{\zeta}}\right)^n} \quad (2.1)$$

şeklinde. K sabit bir katsayıdır. Burada n'nin çeşitli değerlerine göre, değişik eğimlere sahip karakteristikler elde edilir. B tipi röle karakteristiği n=0 için, C tipi röle karakteristiği n=1 için, D tipi röle karakteristiği ise n=2 için elde edilir. Denklem 2.1 ifadesinden, çalışma akımının katları şeklinde arttırılan akım değerlerine karşılık, azalan zaman değerleri elde edilir. Yani n=1 için ters zaman karakteristiği elde edilir. n>1 için çalışma akımının katları şeklinde artan akım değerlerine karşı, hızla azalan zaman değerleri bulunur. Yani n=2 için çok ters, n=3 için aşırı ters zamanlı röle karakteristikleri elde edilir. Şekil 2.7'de ters ve çok ters zamanlı röle karakteristikleri gösterilmiştir. Ani çalışan rölelerde, genellikle $I=I_{\zeta}$ değerinden itibaren karakteristik verildiği halde, ters zamanlı rölelerde $I=1.5I_{\zeta}$ değerinden önce zaman değerleri değişkendir. Bu yüzden bu tip rölelerde karakteristik $1.5I_{\zeta}$ değerinden itibaren verilir (Çalışkan, 1990).



Şekil 2.7. Ters ve çok ters zamanlı röle karakteristikleri

2.3.1.3. Aşırı akım rölelerinde ani eleman, yardımcı kontaktör ve bayraklar

Ani elemanın akım bobini, zamanlı elemanın akım bobinine seri olarak bağlanır. Ani eleman ve yardımcı kontaktörler her röle çeşidinde bulunmaz. DC ve AC gerilim beslemeli tipleri vardır. Yardımcı kontaktör kullanmanın başlıca avantajları, kontak sayısını çoğaltmak, kontak akım kesme kapasitesini arttırmak, kesici açınca kadar kontağı kapalı tutup açmayı garantilemektir. Yardımcı kontaktör elektriksel olarak

kilitlenecekse bu işlem kesici hareket sonu kontağı üzerinden yapılmalıdır. Akım beslemeli olanlarda, kontaktör bobini ile kesici açma bobini seri bağlanmalıdır.

Bayraklar her rölede bulunmaz. Mekanik veya elektriksel olarak harekete geçen tipleri vardır. Elektriksel olanları ayrı bir bayrak kontaktörüyle çalışır. Bayrakların reset haline dönüşü genellikle röle kutusunun dışında elle kumanda edilen mekanik bir düzenle veya butonla sağlanır. Yardımcı kontaktörler ve bayraklar zamanlı ve ani elemanlar için ortak olarak bulunabildiği gibi ayrı ayrıda bulunabilir (Çalışkan vd. 1990).

2.3.1.4. Aşırı akım rölelerinin ayarı

Bir aşırı akım rölesi, kullanılacağı yere ve kullanma gerekçesine göre belirli akım ve zaman değerlerine ayarlanır. Aynı röle bir tüketici fiderinde kullanılırken başka, bir transformatör giriş fiderinde kullanılırken başka değerlere ayarlanır. Röle üreticileri bu gereksinimi göz önünde bulundurarak, bir röleyi çeşitli çalışma akımı ve zaman gecikme değerlerine ayarlanabilecek şekilde imal ederler.

O.G. şebekelerinde faz aşırı akım rölesi ayar kriteri :

35 kV veya daha düşük gerilim seviyesindeki tüketici tesislerini besleyen bir fidere ait faz aşırı akım rölesi ayarında uyulması gereken noktalar şunlardır (Pamuk, 2011): Röle üzerinde ayarlanacak çalışma akımı;

1. Fiderden çekilecek maksimum yük akımından büyük olmalıdır.
2. Fiderde olabilecek en yüksek empedanslı arıza akımından ve ayrıca fider üzerindeki faz iletkenleri, akım transformatörleri, kesiciler ve ayırıcılar akım taşıyan teçhizatın sürekli taşıyabileceği maksimum akım değerinden küçük olmalıdır. Ayrıca bu çalışma akımına karşı düşen geri dönüş akımı (demeraj akımı) ise fider kesicisinin kapatılmasından veya tüketici tesislerindeki bir arızanın temizlenmesinden hemen sonra fiderden çekilecek yol alma akımından büyük olmalıdır.

O.G. şebekelerinde toprak rölesi ayar kriteri :

35 kV veya daha düşük gerilim seviyesindeki tüketici tesislerini besleyen bir fidere ait toprak aşırı akım rölesi ayarında uyulması gereken noktalar şunlardır (Pamuk, 2011): Röle üzerinde ayarlanacak çalışma akımı:

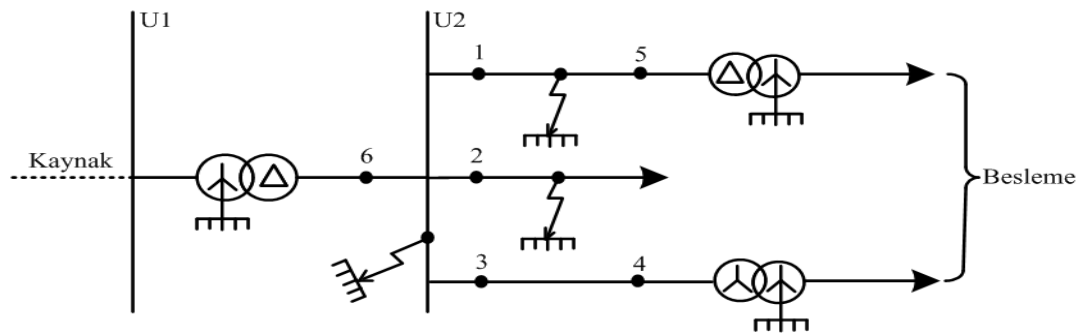
1. Fiderde olabilecek en yüksek empedanslı arıza akımından küçük olmalıdır.
2. Fider kesicisinin kapatılmasından hemen sonra, özellikle tüketici transformatörlerinin mıknatıslanma akımları içindeki üç ve üçün katı harmonikler nedeniyle fiderden çekilecek olan nötr akımlarından büyük olmalıdır.
3. Aynı transformatörden beslenen başka bir fiderde oluşacak olan bir faz-toprak arızasında bağlı bulunduğu fiderden akacak olan rezidüel kapasitif akım değerinden büyük olmalıdır.

Bir hattın kapasitif akımı, onun gerilimine, direk tipine, toprak iletkeni olup olmamasına, tek ya da çift devre oluşuna bağlı olarak değişir. Kablo şebekelerindeki çalışma akımı, havai hat şebekelerine oranla oldukça yüksektir. Pratik bir değer olarak, 35 kV'luk havai hat şebekesinde toplam kapasitif akım, 5-10 A iken, aynı gerilim değerine sahip kablo şebekesinde ise 1-2 A civarındadır. Eğer transformatörün primer sargıları yıldız bağlı ve topraklıysa, bu takdirde aynı şebekeye ait fiderlerden birinde oluşacak olan bir faz-toprak arızasında, diğer fiderlerden sadece rezidüel kapasitif akım değil, transformatörün nötrlerinden dolaşacak arıza akımı da akar. Röle çalışma akımını ayarlanırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

2.3.1.5. Aşırı akım ve toprak rölelerinin kullanılma yerleri

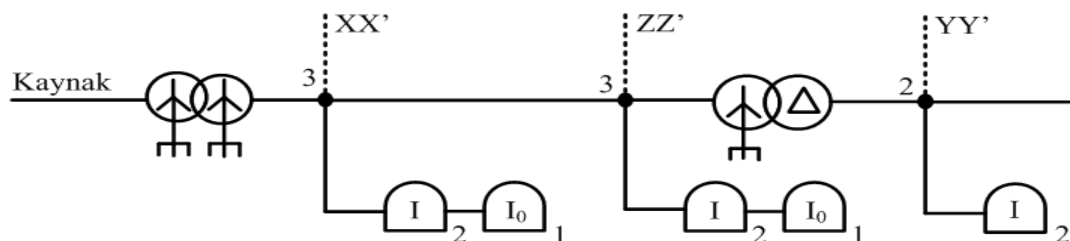
Enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan cihazlar üzerinde kısa devre gibi ağır hasarlar meydana getirebilecek arızalar çabuk (yaklaşık 0.1 sn içinde) ve selektif olarak (sadece arızalı hat ve cihaz ayrılarak) açılmalıdır. Fazla yüklenme gibi ağır hasarlar meydana getirmeyen arızalar daha uzun zamanda (5 sn'ye kadar) açılabilir. Kompanzasyonlu şebekelerde ve jeneratörlerin rotorlarında

meydana gelen toprak değmesi arızaları gibi daha az zararlı etkileri olan arızalarda ise sadece işletme personeli ışıklı veya sesli bir uyarma sistemi ile uyarılır. Selektif koruma cihazları, yani röleler, ilgili kesiciyi açtırarak sadece arızalı kısmı sistemden ayırırlar (Alperöz, 1987). Aşırı akım ve toprak rölelerinin yapıları ve çalışma özellikleri aynıdır. Ancak akım ayar değerleri farklıdır. Mesela aşırı akım rölelerinin akım ayar değerleri; (3-12) A, toprak rölelerinin ise (0.8-2) A arasında değişir. Bu rölelerin nerelerde ve ne miktarda kullanılacağı, korunacak donanımın bağlı olduğu şebekede oluşacak fazlar arası ve faz-toprak arızalarında, arıza akımlarının dağılışı biçimine göre belirlenir. Şekil 2.8’de iletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesinin kullanımı gösterilmiştir.

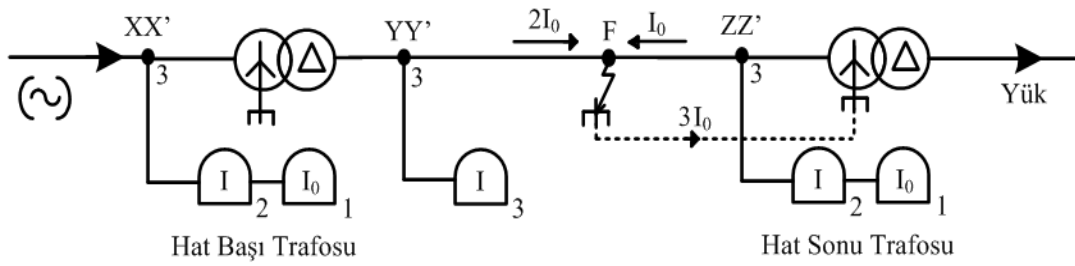


Şekil 2.8. İletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesi kullanımı

Şekil 2.8 incelendiğinde, bu şebekeye ait 1,2,3,4,5 ve 6 noktalarına konulacak olan koruma sistemlerinde toprak rölesinin kullanılmaması gerekmektedir. Şebekenin U_2 gerilimli bölümü, üçgen bağlantı nedeniyle topraktan tamamen yalıtılmıştır. Bu nedenle bu kısımda oluşacak olan faz-toprak arızalarında toprak akımı akmayacaktır. Şekil 2.9’da iletim hatlarındaki transformatör bağlantılarına göre aşırı akım ve toprak rölesinin kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.9’da kaynak (hat başı) transformatörü ile hat sonu transformatörü arasındaki bölgede bir faz-toprak arızası meydana geldiğinde, toprak akımı her iki transformatörün yıldız sargısından da geçecektir. Hat sonu transformatörünün sekonder sargısı üçgen olduğundan sıfır bileşen akımları bu bölümden akamaz. Yani üçgen tarafta toprak rölesi kullanmak gereksiz olur. Şekil 2.9’daki sembol içerisinde I , aşırı akımı ve I_0 , toprak rölesini göstermektedir. Kullanılacak olan röle sayıları da sembollerin altında verilmiştir. İki aşırı akım ve bir toprak rölesi kullanılması durumunda dikkat edilmesi gereken nokta, orta fazda koruma olmamasına rağmen, bu faza akım transformatörü konulması ve bunun çıkışının diğer fazların çıkışı ile yıldızlanmasıdır. Şekil 2.10’da iki transformatör arasında bulunan iletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesinin kullanımı gösterilmiştir.

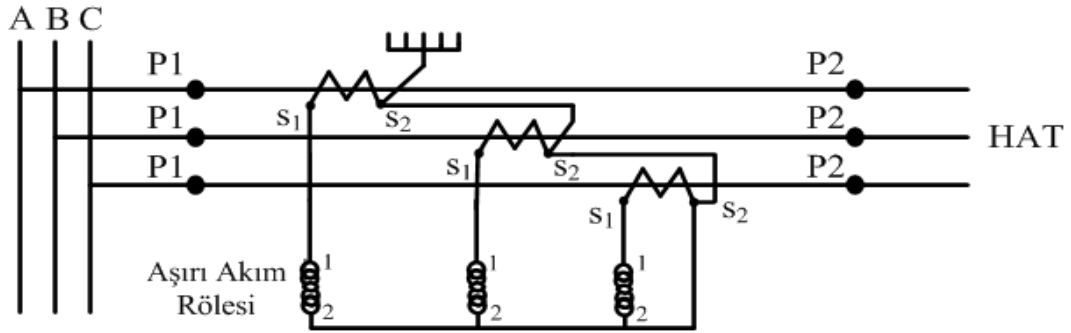


Şekil 2.10. İki transformatör arasında bulunan iletim hatlarındaki aşırı akım ve toprak rölesi kullanımı

Şekil 2.10’da, iki transformatör arasındaki hattın F noktasında meydana gelecek bir faz-toprak arasında $3I_0$ akımı, hat sonu transformatörü üzerinden devresini tamamlayacaktır. Ancak hat başı transformatörünün önüne (üçgen tarafına), buradaki sargı üçgen olmasına rağmen daha güvenilir bir koruma sağlamak için iki yerine üç adet aşırı akım rölesi konulmuştur. Çünkü arızalı olmayan fazlardan I_0 akımı akarken, arızalı fazlardan $2I_0$ akımı akacak ve arızalı olmayan fazlarda I_0 akımı röleyi çalıştırmaya yeterli gelmese bile, arızalı fazlardan akan $2I_0$ akımı, bu fazdaki röleyi çalıştıracaktır. Burada toprak rölesinin kullanılmasının hiçbir faydası olmayacaktır. Çünkü gerek arızada, gerekse normal işletmede üç faz akımının toplamı sıfır olacaktır. Primeri doğrudan topraklı hat sonu transformatörlerinin sekonder sargıları üçgen ise X_0 değeri küçük olduğundan, hattaki arızalarda, hat sonu transformatörleri de devreden çıkmaktadır. Bu transformatör Y-Y olduğu takdirde X_0 büyümekte ve geçen arıza akımı küçüleceği için çalışmaya devam edebilmektedir.

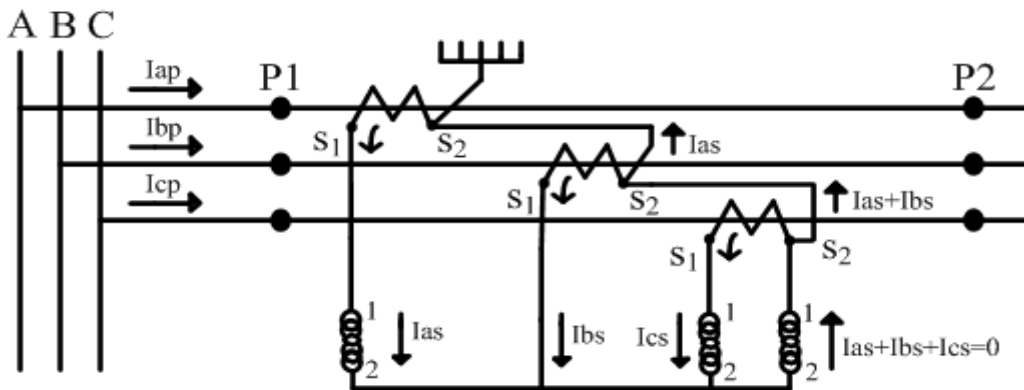
2.3.1.6. Aşırı akım rölelerine ait şebeke bağlantıları

Her faza birer adet aşırı akım rölesi konularak gerçekleştirilen üç fazlı aşırı akım koruma şeması Şekil 2.11’de gösterilmiştir. P1 ve P2 noktaları arasında kalan primer şebeke bölümü, akım trafosunun primer sargısını, s_1 ve s_2 noktaları arasındaki sekonder şebeke bölümü, akım trafosunun sekonder sargısını; 1 ve 2 noktaları arasında kalan sargı ise aşırı akım rölesinin akım bobinini göstermektedir.



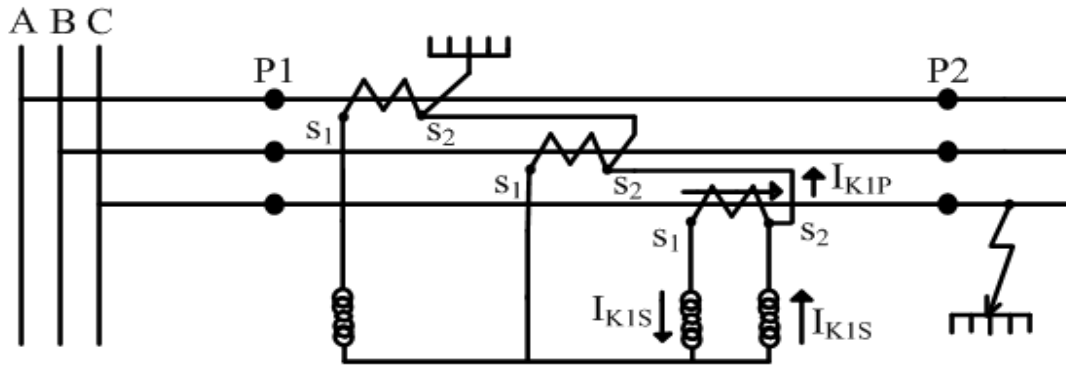
Şekil 2.11. Üç fazlı aşırı akım koruma rölesi

Primer sargıdaki akım P1 ucundan girerse, sekonder sargıda s_1 ucundan çıkar. Rölelerin akım bobinlerine, akımın 1 nolu uçtan veya 2 nolu uçtan girmesi önemli değildir. Bu yüzden primer tarafta da P1 ucunun hat veya bara tarafında olması önemli değildir. Şekil 2.12’de ise iki faz-bir nötr devresine birer adet aşırı akım rölesi konulmak sureti ile gerçekleştirilen, aşırı akım koruma şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.12. İki faz ve bir nötr iletkenli devreye ait aşırı akım röle bağlantısı

Şekil 2.12'deki devrede hattın üç fazlı dengeli bir akım aktığı kabul edilerek, rölelerden geçecek olan akım değerleri gösterilmiştir. Akım trafolarının bağlantıları bu koruma şemasında çok önemlidir. P1 uçlarının hat ya da bara tarafında olması önemli değildir. Ancak nötr iletkeni üzerinde bulunan aşırı akım rölesine, üç faz akımının aynı yönde gelmesi gerekmektedir. Şekil 2.13'de faz-toprak arızası esnasında oluşan aşırı akım koruma şemasının röle bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Faz-toprak arızasındaki aşırı akım röle bağlantısı

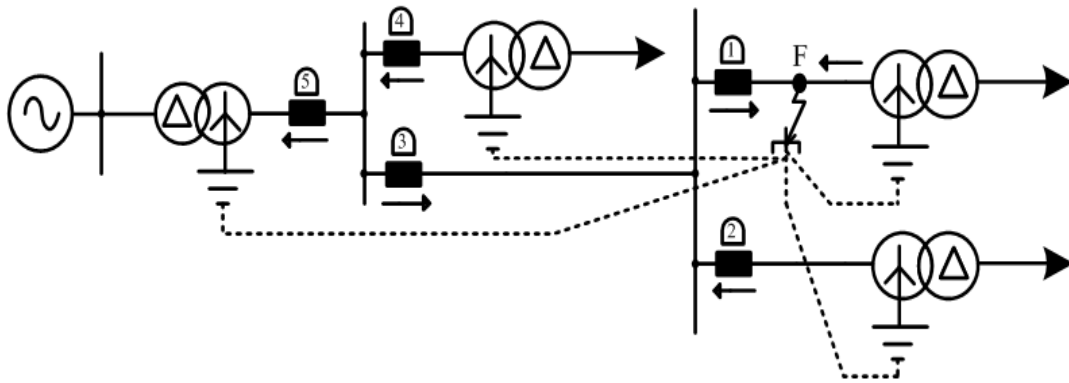
Şekil 2.13'de farklı fazlardaki faz-toprak arızaları için (iki faz + nötr arızası) aşırı akım koruma şemasına bağlı rölelerin çalışması gösterilmiş olup, yük akımları şeklin çiziminde dikkate alınmamıştır. Üç fazlı aşırı akım koruma şemasında; sadece arızalı fazdaki aşırı akım rölesi çalışır. Faz-faz arasında iki, üç faz kısa devre arızasında ise üç aşırı akım rölesi çalışır.

2.3.2. Yönlü koruma

2.3.2.1. Toprak koruma bakımından yönlü korumanın gerekliliği

Elektrik şebekesinde faz iletkenlerinin toprağa temas etmesi sonucunda oluşacak olan faz-toprak arıza akımı, şebekedeki yıldız bağlı ve nötr noktası topraklı transformatörlerin nötr noktasından devresini tamamlar. Şekil 2.14'de güç sistemine ait yönlü koruma prensip şeması gösterilmiştir. Şekil 2.14'de F noktasındaki arıza esnasında arızayı besleyen akım bileşeni yıldız noktası direkt topraklı tüm transformatörlerin yıldız noktasından devresini tamamlamak ister. Ancak bu arızada

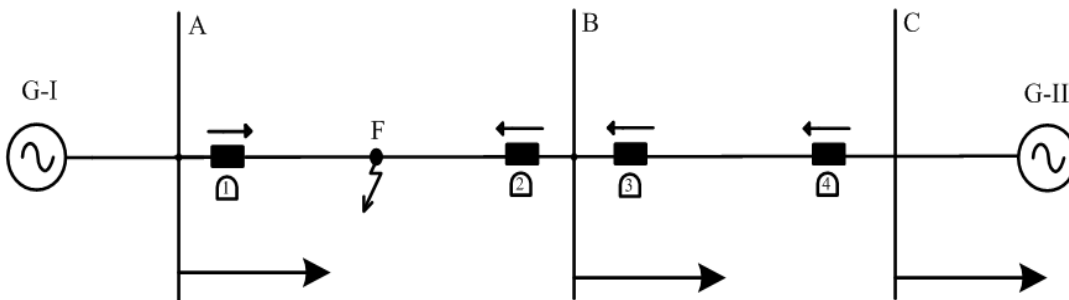
1, 3 ve 5 nolu rölelerden akan akımlar baradan iletim hattına doğrudur. 2 ve 4 nolu rölelerden akan akımlar ise iletim hattından baraya doğrudur. F noktasındaki arızada 1 ve 2 nolu röleler aynı anda çalışıp kesicilerini açtırabilir ve 2 nolu rölenin bulunduğu fiderin gereksiz yere kesintiye uğramasına neden olabilir. Röle devrelerine eklenecek birer yön elemanı ile bu sakıncalı durum ortadan kaldırılabilir. 2 nolu röle açma işlemine karar verse dahi, yönlü röle arızayı yönünde göremeyeceğinden açma yolunu keser (Sun vd. 2004).



Şekil 2.14. Güç sistemlerinde yönlü koruma prensip şeması

2.3.2.2. Aşırı akım koruma bakımından yönlü korumanın gerekliliği

Bir radyal (bir noktadan beslenen) şebekede aşırı akım röleleri ile yapılan koruma ve koordinasyon işlemi kolaydır. Ancak bir ring (iki veya daha çok noktadan beslenen) şebekede ideal bir koruma ve koordinasyon işlemini gerçekleştirmek radyal şebekedeki kadar kolay değildir. Şekil 2.15’de ring şebekeye ait yönlü bir koruma şeması gösterilmiştir.



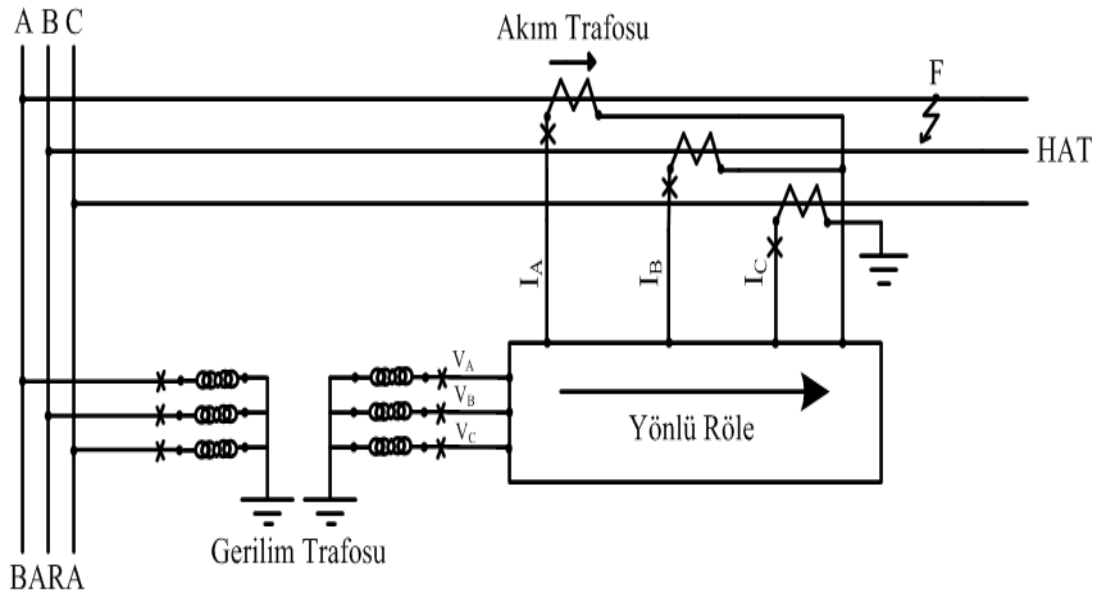
Şekil 2.15. Ring şebekede yönlü koruma

Şekil 2.15’de F noktasında olabilecek bir arızada, arızayı 1 nolu röle ile birlikte 2 ve 3 nolu rölelerde temizleyecektir. 2 ve 3 nolu rölelerin arızayı aynı anda temizlemeleri B barasını boşaltacağından B barasından beslenen fiderlerin gereksiz yere enerjisiz kalmasına neden olacaktır. Eğer 2 ve 3 nolu rölelere baradan iletim hattına doğru yönlendirilmiş birer yön elemanı ilave edilirse F noktasındaki arızada 3 nolu rölenin yön elemanı arızayı ters yönde göreceğinden gereksiz bir açmaya engel olur. Ring şebekelerde seçici çalışma ancak yönlü aşırı akım röleleriyle gerçekleştirilebilir (Allen ve Yung, 2000).

2.3.2.3. Aşırı akım rölelerine ait şebeke bağlantıları

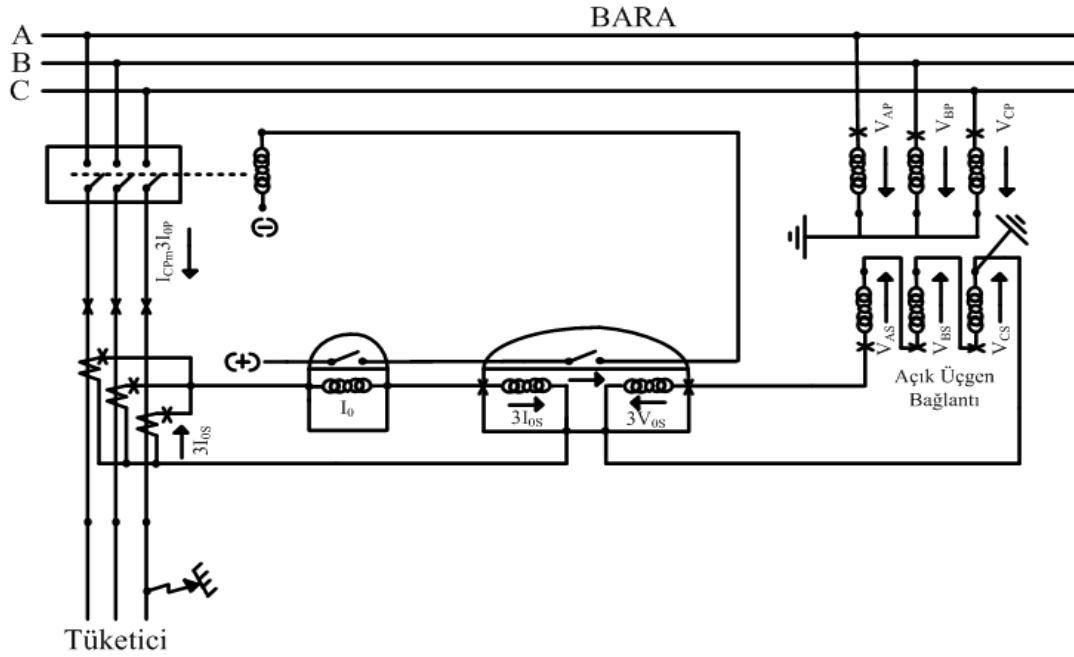
Akım / Gerilim Polarmalı Şebeke Bağlantıları :

Yönlü rölelerde polarite önemlidir. Yönlü röleler, baradan iletim hattına doğru bakacak şekilde yönlendirilirler. Akım / Gerilim polarmalı bağlantı şeklinde, gerilim değeri referans alınır ve röleden akan akımın yönü baradan iletim hattına doğru ise röle kontağını kapatarak kesicisini açtırır. Şekil 2.16’de üç faz aşırı akım yönlü röle bağlantı şeması verilerek polariteleri x ile gösterilmiştir. F noktasındaki arızada yönlü röleye V_{BC} gerilimi ve I_A akımı gelmektedir.



Şekil 2.16. Üç faz için akım / gerilim polarmalı aşırı akım yönlü röle bağlantısı

Gerçek bir arızada arıza akımı saf endüktif'dir. Yönlü röleye gelen akım ve gerilimler aynı fazdadır. Böyle bir bağlantıda yönlü rölenin sağlıklı olabilmesi için akım ve gerilim değerleri arasındaki faz farkı sıfır derece olduğunda maksimum momentle kontak kapatacak şekilde seçilmelidir. Şekil 2.17'de ise üç faz aşırı akım yönlü toprak röle bağlantı şeması verilerek polariteleri x ile gösterilmiştir.



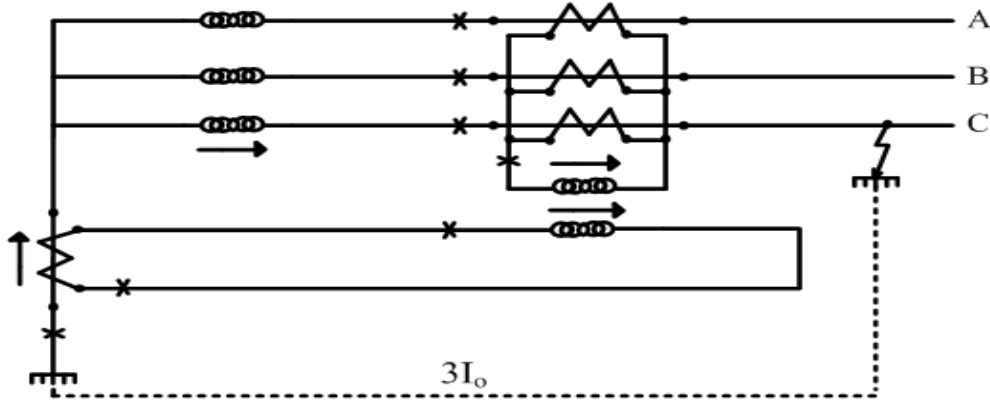
Şekil 2.17. Üç faz için akım / gerilim polarmalı aşırı akım yönlü toprak röle bağlantısı

Bir faz toprak arızasında şebekeye bağlı her topraklı transformatör üzerinden arıza noktasına doğru, arıza akımının bileşeni akar. Arızalı fiderde ise sıfır bileşen akımı (rezidüel akım) baradan iletim hattına doğru akar. Sonuç olarak arızasız fiderlerin yön elemanları çalışmayarak, toprak röleleri çalışsa dahi tek başına fider kesicisini açtıramaz. Böylece seçici bir çalışma sağlanmış olur. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi aşırı akım elemanı ile yön elemanının kontakları seri bağlıdır. Devredeki kesicinin açması ancak iki elemanın birden çalışarak kontaklarını kapatması ile gerçekleşebilir.

Akım / Akım Polarmalı Şebeke Bağlantıları :

Yönlü rölelerin bağlanacağı devrede gerilim transformatörleri yoksa iki farklı sıfır bileşen akımıyla çalışan yönlü toprak rölesi kullanılabilir.

Şekil 2.18’de akım / akım polarmalı aşırı akım yönlü toprak röle bağlantı şeması gösterilmiştir.

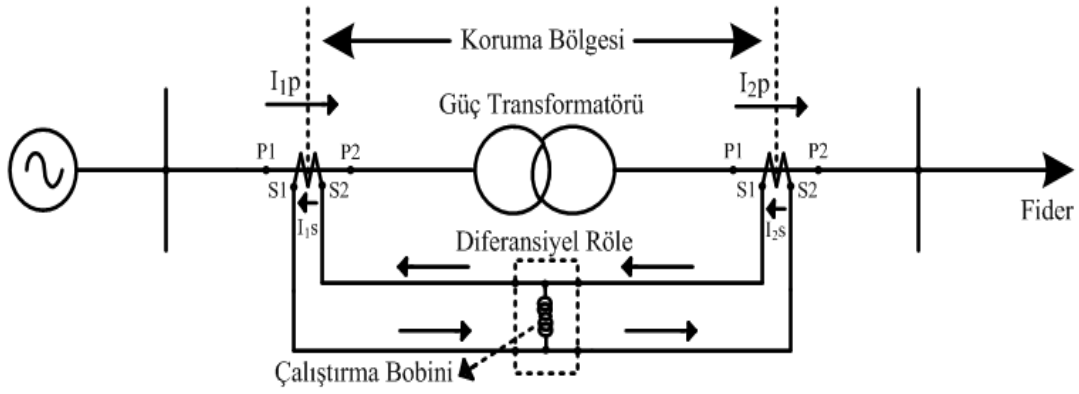


Şekil 2.18. Akım / akım polarmalı aşırı akım yönlü toprak röle bağlantısı

Bu tip korumada arıza akımının daima arızalı noktadan transformatör yıldız noktasına doğru olması gerekir. Nötr akımıyla rezidüel akım arasındaki açının sıfır derece olması halinde maksimum moment elde edilecek tipte bir yön elemanı uygun olacaktır (Pamuk, 2010).

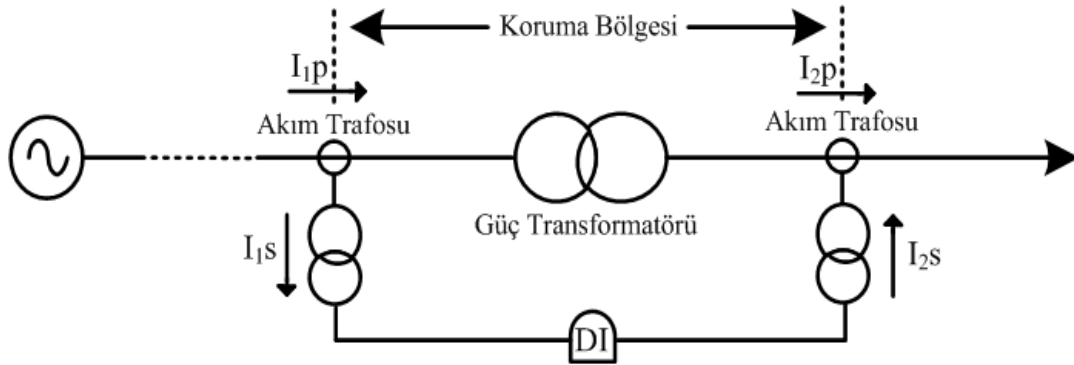
2.3.3. Diferansiyel koruma

Diferansiyel röleler, sınırları belirli bir bölgede koruma yaparlar. Trafoların diferansiyel korumasında, trafonun primer ve sekonderinde bulunan akım trafoları arasında kalan bölgeye, diferansiyel koruma bölgesi denir. Röle, bu bölge içinde kalan arızalarda koruma yapar. Diferansiyel rölenin çalışma prensibi, güç trafolarının her iki tarafındaki akımların büyüklüğünün kıyaslanmasına dayanır. Bunun için, normal işletme koşullarında, her iki taraftan röleye gelen akımların eşit ve 180 derece faz farkı olması sağlanır. Yani bir taraftan röleye gelen akım, diğer taraftan çıkmalıdır. Diferansiyel röleye gelen akımların, büyüklüklerinin eşitlenmesi ve 180 derece faz farklı hale getirilmeleri, ana akım trafolarının ve gerektiğinde yardımcı akım trafolarının oranla bağlantı grubu seçilmesi ile sağlanır. Şekil 2.19’da bir transformatörü koruyan diferansiyel rölenin prensip bağlantı şeması gösterilmiştir. Koruma bölgesi, açıkça görülebileceği gibi her iki taraftaki ana akım trafolarının arasında kalan bölgedir. Yani röle bu bölgedeki arızalarda çalışır.



Şekil 2.19. Diferansiyel rölenin prensip bağlantı şeması

Diferansiyel koruma rölesi, akım trafoları aracılığı ile güç trafosunun her iki tarafındaki akımları kıyaslar. Akım trafolarının oranı, her iki tarafta röleye gelen akımları eşitleyecek şekilde seçilir. Şekil 2.20’de diferansiyel koruma prensip şeması gösterilmiştir.



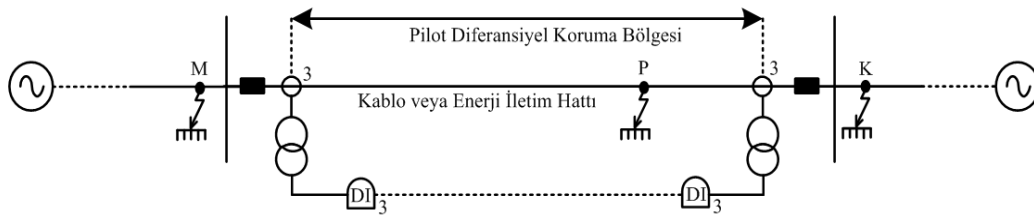
Şekil 2.20. Diferansiyel koruma prensip şeması

Şekil 2.20’de olduğu gibi, akım trafolarının bağlantıları, bir taraftaki polarite ucun diğer taraftaki polarite olmayan uca bağlanması ve aynı faza ait sekonder akımların röleye bir taraftan girerken diğer taraftan çıkacak şekilde bağlanması ile oluşur. Böylece röle çalıştırma bobininden geçen fark akımı normalde sıfırlanır. Trafoda oluşabilecek olan bir arızada akımların eşitliği bozulacağından, meydana gelen fark akımı, diferansiyel röleyi çalıştırır. Diferansiyel rölelerin yanlış çalışma nedenleri aşağıda verilmiştir. Bunlar;

1. Mıknatıslanma akımının ilk birkaç periyodu çok büyük değerlere ulaşır. Çoğunlukla nominal akımdan büyük olan ilk periyotlardaki genlik, çeşitli şartlara bağlı olarak bazen nominal akımın 8-10 katına ulaşabilir. Güç trafosunun sekonder tarafından röleye her hangi bir akım gelmediği için bu akım, rölenin çalışma bobinini çektirecektir. Soruna çözüm olarak gelişmiş rölelerde, bu akımın içindeki 2. ve 3. harmonikleri bloke eden filtre devreleri kullanılır (Pamuk, 2011). İşletmede, eski tip diferansiyel rölelerin filtre devreleri olmadığı için zaman zaman trafoları devreye alırken mıknatıslanma akımından dolayı yanlış çalıştığı görülmektedir (Pamuk, 2011).
2. Diferansiyel Koruma Bölgesinin Dışındaki Arızalar; Farklı gerilim seviyelerinde (154 kV ve 34.5 kV) kullanılan akım trafolarının doyma eğrileri farklı ise, röleye giren akımlar nominal yükte eşit oldukları halde diferansiyel koruma bölgesinin dışındaki arızalarda, sekonder akımlar arasındaki farklılık diferansiyel röleyi yanlış çalıştırabilir.
3. Akım Trafo Oranı; Güç trafolarının primer ve sekonder taraflarındaki akım trafolarının oranı, nominal primer ve sekonder akımlara göre seçilir. Kademe değiştiricinin pozisyonuna göre, nominal yükte bile sekonder akımlarının eşitliği bozulabilir ve çalıştırma bobininden fark akımı akar. Nominal şartlarda, bu fark akımı küçüktür ve hatalı çalışmaya neden olmaz.
4. Normal işletmede akım trafosu sekonderleri ile diferansiyel röle arasındaki kablolardan birinin herhangi bir nedenle klemenden çıkması, diferansiyel rölenin gereksiz yere çalışmasına neden olabilir.

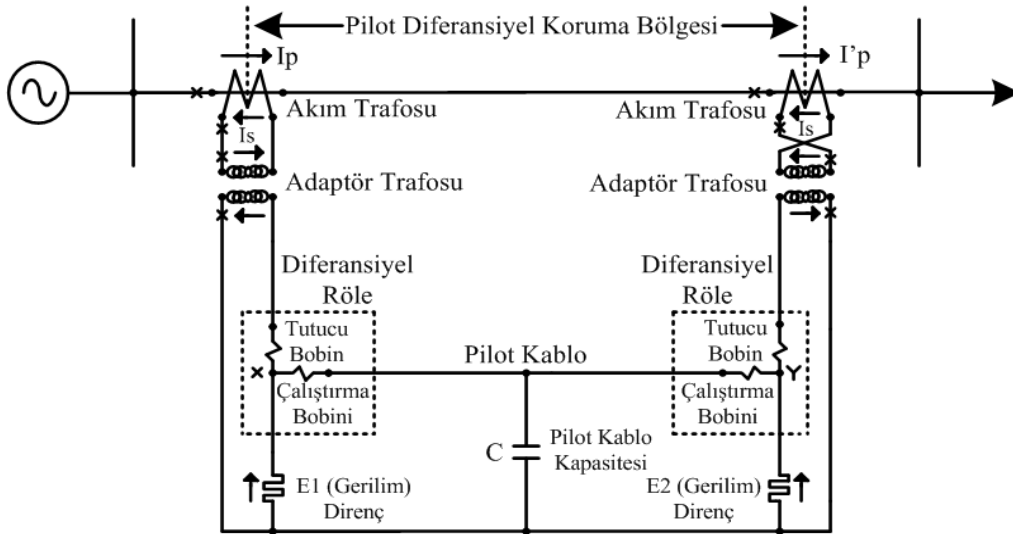
2.3.3.1. Pilot diferansiyel koruma

Şekil 2.21’de pilot diferansiyel koruma prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Pilot diferansiyel koruma prensip şeması

10 Km veya daha kısa havai hatlar ile yer altı kablolarının korunmasında seçiciliğinin zorluğundan dolayı pilot diferansiyel koruma kullanılır. Bu korumada, faz akımları dirençlerden geçirilerek dirençler üzerine düşen gerilimler kıyaslanır. Diferansiyel bölgeyi oluşturan fiderin başı ve sonu arasında P noktasında bir arıza olursa gerilimlerin eşitliği bozulacağından koruma devresinde fark gerilimi oluşur ve her iki taraftaki diferansiyel röleler çalışarak kendi kesicilerini açtırır. Koruma bölgesi dışındaki K ve M noktalarındaki arızalarda ise, diferansiyel koruma sisteminde fark gerilimleri meydana gelmez. Bu durum Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Röle bu korumada, fider başı ve sonundaki akım trafoları arasında kalan diferansiyel koruma bölgesindeki arızalarda çalışır. Diferansiyel koruma bölgesi uzunluğunun çok fazla olması nedeni ile, fark akım prensibine göre çalışan röleler doğru sonuçlar vermemektedir. Pilot diferansiyel korumada bu yüzden akımlar kıyaslanamaz. Şekil 2.22’de adaptör trafosu kullanılarak gerçekleştirilen pilot diferansiyel koruma prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.22. Adaptör trafosu kullanılarak gerçekleştirilen pilot diferansiyel koruma prensip şeması

Şekil 2.22’de görüldüğü gibi, akımlar paralel dirençlerden geçirilerek gerilimler kıyaslanır. Arızasız şartlarda gerilim düşümleri eşit ve aynı yöndedir. Koruma bölgesi içinde bir arıza meydana gelince X ve Y noktaları arasındaki gerilim farkından dolayı rölelere seri bağlı çalıştırma bobinleri üzerinden bir akım akarak röleleri çalıştırır. Arıza esnasında pilot kablo üzerindeki gerilim düşümünün küçük

olması için adaptör akım trafoları kullanılır. Adaptör akım trafoları ile sekonder akımlar, örneğin 0.2 A gibi küçük bir mertebeye indirilir. Rölelerin minimum ayarı, pilot kablonun ilk yüklendiğinde çektiği akımdan (güç trafolarında mıknatıslanma akımı gibi) büyük yapılır. Bu akım değerlerinde rölelerin çalışması için, filtreler kullanılmıştır. Bu olmadığı takdirde rölenin trip devresine 0.2 - 0.3 saniyelik bir zaman gecikme tertibi bağlanarak, geçici rejimlerde yanlış açmaların önüne geçilir.

2.3.3.2. Trafolar için diferansiyel koruma

Diferansiyel koruma sistemleri akım mukayesesi ilkesine göre çalışır ve bundan dolayı akım dengeleme sistemi olarak da bilinir. Bu sistemlerdeki koruma mantığı, korunan nesneden çıkan (noktalı) I akımının bu nesneye giren I akımı ile eşit olması olgusuna dayanır. Ölçülen herhangi bir dengesiz akım, korunan bölge içerisinde arıza olduğunun göstergesidir.

Güç transformatörü üzerinden bir akım aktığında, genellikle akım trafolarının sekonder akımları birbirine eşit olmamaktadır. Güç trafosu bağlantı grubuna, dönüştürme oranına ve akım trafolarının anma akımlarına bağlı olarak bu akımlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu sebeple bu akımların birbiriyle karşılaştırılmadan önce eşleştirilmeleri gerekir.

Korunan bölge içerisinde iki fazlı ve tek toprak temalı bir toprak arızasında şebekenin toprak arıza önceliğine bakılmaksızın trafo daima servis harici edilir. Topraklı sistemlerde eğer korunan bölge içerisinde bir topraklama noktası mevcutsa sıfır bileşen akımları mutlaka elimine edilmelidir. Bu durumda eğer yıldız noktası akımı mevcut ise, yani yıldız noktası ile toprak arasına bir akım trafosu bağlanmışsa daha yüksek bir toprak arızası duyarlılığı elde edilir.

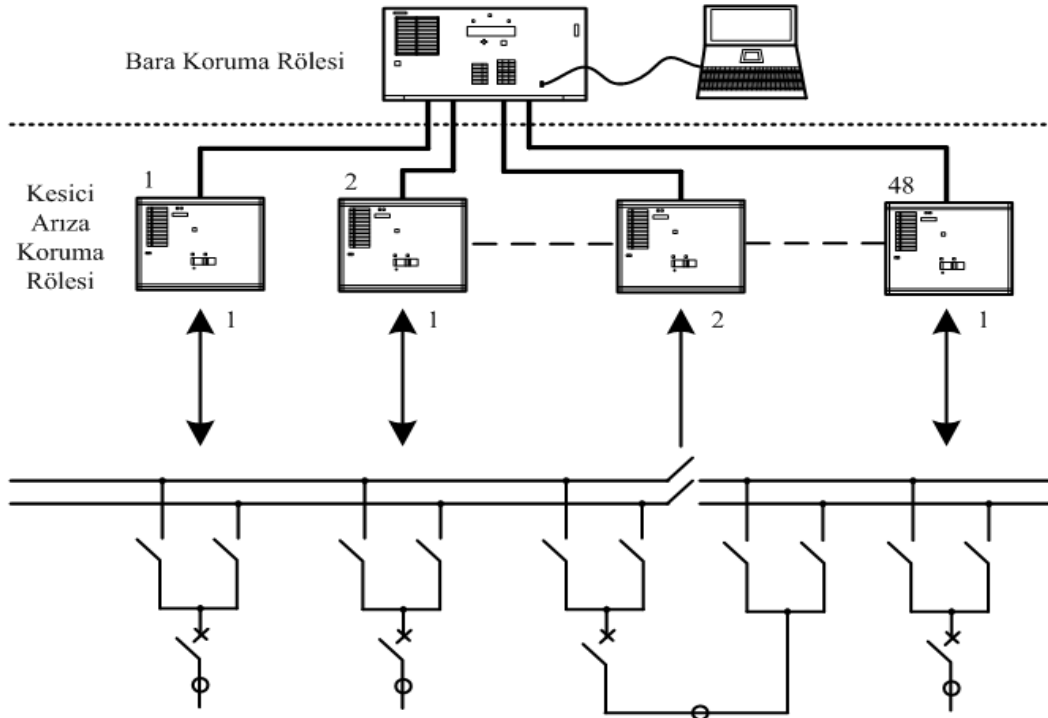
Bu düzeltme ile harici toprak arızalarında sıfır bileşen akımları elimine edilirken dâhili toprak arızalarında tamamıyla hesaba katılmış olur. Değişik güç ve akım trafolarının dönüştürme oranlarına eşleştirme ve korunan trafonun vektör grubuna göre faz kaymasının eşleştirilmesi tamamen matematiksel olarak yapılır. Genelde adaptör akım trafolarının kullanılmasına gerek duyulmaz.

2.3.4. Kesici arıza koruması ve bara koruma

Enerji tesislerinde kullanılan elemanların genellikle büyük boyutlu ve pahalı olmaları, araştırmacıları bu elemanların boyutlarını ve maliyetlerini indirmeye yönünde çalışmaya sevk etmiştir. Ayrıca bir sistemin korunması için değişik koruma amaçları ile birden fazla röle kullanılmaktadır. 380 kV şalt tesislerinde bir fiderde arıza meydana gelmesi durumunda o fiderde bulunan koruma röleleri durumu tespit ederek kesiciye açma kumandası vermektedir. Fakat kesici de bir problem olursa (motorunda, açma devresinde, açma mekanizmasında, hareket sonu kontağında) kesici açamayacak ve güç tesisinin, iletim hattının, trafonun zarar görmesi kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca böyle bir zarar sonucunda uzun süren elektrik kesintileri oluşacaktır. Bu tür olumsuzlukları önlemek için bara koruma ve kesici arıza koruma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde prensip olarak her fidere bir röle ayrılır ve bu röleye o hattın akım ve kesici durum bilgisi, bara ayırıcı konumları ve arıza başladı bilgileri girilir. Ayrıca bir adette ana röle kullanılır bu ana röle her fiderin rölesi ile haberleşir. Tüm kararları ana röle verir, diğer röleler bir bağlantı elemanı gibi çalışır.

154 veya 380 kV gerilim seviyesindeki baralara bağlı herhangi bir kesicinin açma kumandası almasına rağmen açmaması halinde, 150 msn sonra kesicinin ikinci açma bobinine açma komutu gönderilir. Kesicinin hala açmaması durumunda da, kesicinin bağlı bulunduğu baraya irtibatlı tüm kesicilere (hat, trafo ve kuplaj kesicileri) açma ve bu baraya bağlı iletim hattının karşı ucundaki kesicilere de transfer trip gönderilerek, baranın enerjisiz kalması sağlanır. Bu koruma düzeni kesici arıza koruma olarak adlandırılır (Aydoğdu, 2003). Arıza akımına daha az maruz kalınması için, komşu fiderlere trip gönderme zaman ayarının karşı istasyonlardaki mesafe koruma rölelerinin 2. Kademe zaman ayarından düşük olması gerekmektedir. Bu yüzden zaman ayarı 300 msn olarak ayarlanır. Örneğin havai hat fiderinde bir mesafe arızası olduğu varsayılın, mesafe koruma rölesi arızayı tespit edince kontakları vasıtasıyla kesicinin açma bobinine açma sinyali gönderir ve bu açma bilgisi bara koruma panosu içindeki koruma rölesine girilir. Bara koruma rölesine aynı zamanda fiderin akım trafosunun 4. sargısından alınan akım bilgisi ve bara ayırıcı konumları da girilmiştir. Fakat bu bilgiler fiber optik kablolar ile ana röleye iletilir. Eğer fiderde bir arıza oluşmuş ve kesicide sorunsuz olarak açmışsa devreden geçen akım sıfır

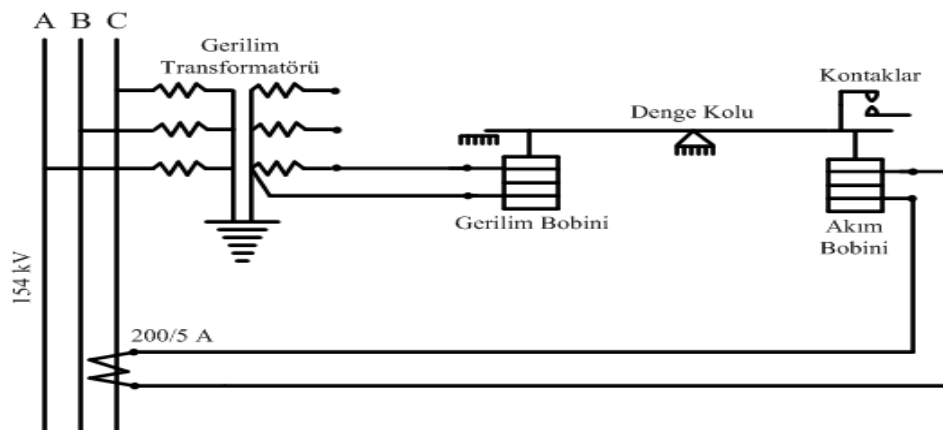
olacaktır. Bara koruma rölesi koruma panosundan arıza başladı bilgisini ve sistemden geçen akım değerini alır ana röleye gönderir. Ana röle durumu bir süre takip eder, eğer akım değeri sıfır değil ise problem vardır ve kontakları vasıtasıyla fiderin rölesini uyarır. Röle ise fiderin kesicisine (her iki açma bobinine) açma sinyali gönderir (1. aşama). Ana röle bir süre bekler, eğer devreden geçen akım değeri sıfır olmuş ise sorun çözülmüş demektir. Eğer akım değeri sıfır değil ise, fiderin bağlı bulunduğu baradaki tüm kesicilerin açılması gerekmektedir. Bunun için ana röle yardımcı röleden aldığı ayırıcıların konum bilgilerini karşılaştırarak bu fiderin hangi baradan beslendiğini tespit eder ve aynı baraya bağlı tüm fiderleri bulur. Ana röle bu baraya bağlı fiderlerin bara koruma rölesini uyarır ve röle o fiderlerin kesicilerine açma sinyali gönderir (2. aşama). Transfer trip, hattın karşı ucundaki kesicinin, kuranportör cihazları ile açtırılmasıdır (Aydoğdu, 2003). Çift baralı sistemlerde ayırıcı pozisyonlarına bakılarak sadece arızalı kesicinin bağlı olduğu baraya irtibatlı fiderlere transfer trip gönderilir. Bu sayede diğer barada oluşacak olan kesinti önlenmiş olur. Bu durumda arızalı fiderde kesici açmamasına rağmen iletim hattı zarar görmemiş olur. Şekil 2.23’de kesici arıza koruma ve bara koruma prensip şeması gösterilmiştir (Siemens, 2005).



Şekil 2.23. Kesici arıza koruma ve bara koruma prensip şeması

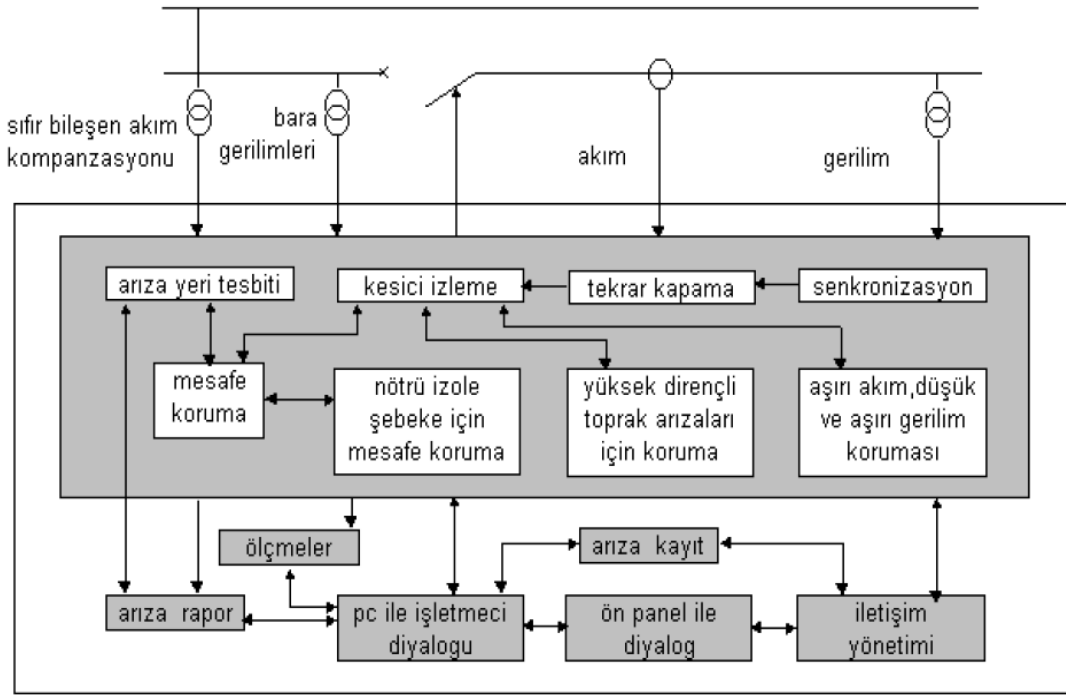
2.3.5. Mesafe koruma

Enterkonnekte bir şebekeyi oluşturan enerji nakil hatlarında meydana gelen kısa devre arıza akımı, şebekenin birkaç kaynaktan beslenmesi nedeniyle oldukça büyük değerler alır. Bu nedenle arızalı kısmın belirlenerek servis dışı bırakılması gerekir. Aksi halde transformatör ve jeneratör gibi elemanların çok kısa zamanda arızalanması, enterkonnekte sistemin enerjisinin kesilmesine sebep olur. Arızalı hat parçasının belirlenerek, servis dışı bırakılması amacına yönelik uygulanan koruma tertibine selektif yani seçici koruma denir. Enterkonnekte sistemde seçici koruma, mesafe koruma adı verilen ve birçok ünitenin birlikte çalışmasıyla oluşan bir koruma sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Güç sistemlerindeki kısa devre arızalarına karşı mesafe koruma, aşırı yüklenmeye karşıda aşırı akım koruma rölelerinden faydalanılır. Şekil 2.24’de mesafe koruma rölesi prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Mesafe koruma rölesi prensip şeması

İletim şebekelerinde seçici ve hızlı bir koruma sağlamak amacıyla kullanılan bir sayısal hat koruma rölesi tek taraftan beslenen veya enterkonnekte şebekeye dahil olan iletim hatlarında, radyal veya her tür ring bağlantılı yer altı kablolarında oluşabilecek faz-toprak arızasını hızlı ve güvenilir bir şekilde temizleyebilecek özelliğe sahiptir. Sayısal mesafe koruma rölesinin ana amacı iletim hattı korumasını sağlamaktır. Koruma yönlü veya yönsüz olarak ayarlanabilir. İlave koruma modülleri ana koruma modülüne eklenmektedir. Şekil 2.25’de mesafe koruma rölesine ait işlev adımları gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Sayısal mesafe rölelerinin işlevleri

Şekil 2.25’deki mesafe koruma rölelerine ait işlev modülleri:

1. Güç salınımindaki kilitlemenin veya herhangi bir senkron kaybının tespiti için salınım modülü,
2. Nötr iletkeni izole veya peterson bobini ile topraklanmış şebekeler için faz-toprak arıza modülü,
3. Yüksek dirençli arızalar için toprak arıza işlem modülü,
4. Aşırı yüke karşı koruma modülü,
5. Bara tarafındaki sigorta arızalarını tespit eden modül,
6. Kesici tekrar kapama modülü

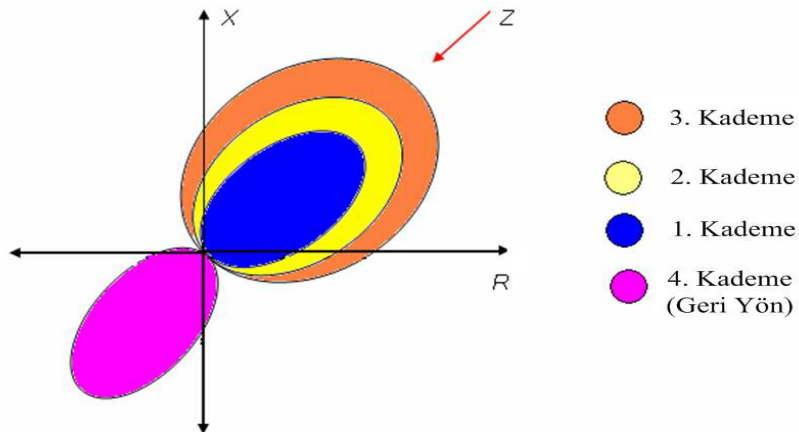
Mesafe koruması hem iletim hemde enterkonnekte dağıtım şebekelerinde, şebeke korumasının temelini oluşturur. Çalışma yöntemi, klasik durumda arıza noktasına olan mesafe ile doğru orantılı olan kısa devre empedansının ölçümü ve değerinin belirlenmesi temeline dayanır. Mesafe koruma röleleri enerji iletim hatları ve kablolar için esas koruma görevi görürken transformatörler, baralar ve diğer hat fiderleri için yedek koruma görevi görürler.

2.3.5.1. Mesafe koruma rölesi çalışma prensibi

Mesafe koruma röleleri yapısal olarak elektromekanik veya statik olabilir. Her iki uygulamanın da çalışma prensibi, bir noktadaki akım ve gerilim değerlerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Bu karşılaştırma, gerilim değerinin akım değerine oranı olarak belirtilir. Bu oran ise empedans değerini verir. Yani röle, $Z_s = U / I$ değerine göre hattın empedansını ölçmektedir. Ölçülen arıza empedansı, bilinen hat empedansı ile karşılaştırılır. Mesafe koruma rölesinin ölçtüğü empedans değeri rölenin ayarlandığı empedans değerinin altında ise, röle başlatma alır ve devre kesicisine bir açma komutu gönderir. Röle, başlatma zincirinin çalışması ile işlev yapması arasındaki aşamada arıza akımının yönüne ve uzaklığına göre açma kumandası verip vermeyeceğine, açma kumandası verecekse hangi süre sonunda vereceğine karar verir.

2.3.5.2. Empedans diyagramı

Kısa devre arızalarında gerilim değerleri azalırken, akım değerleri artış gösterir. Dolayısıyla kısa devre empedansı, normal işletme koşullarındaki yük empedansından daha küçüktür. Rölenin ölçtüğü empedans değeri, arıza noktası ile röle arasındaki mesafeye bağlıdır. Yani arıza halindeki empedans değeri, hattın uzunluğu ile orantılıdır. Röleler mesafe koruma ismini bu özelliğinden dolayı almıştır. Şekil 2.26'da iletim hattının herhangi bir noktasında oluşacak olan arıza esnasında mesafe koruma rölesinin ölçeceği empedans kademeleri gösterilmiştir.

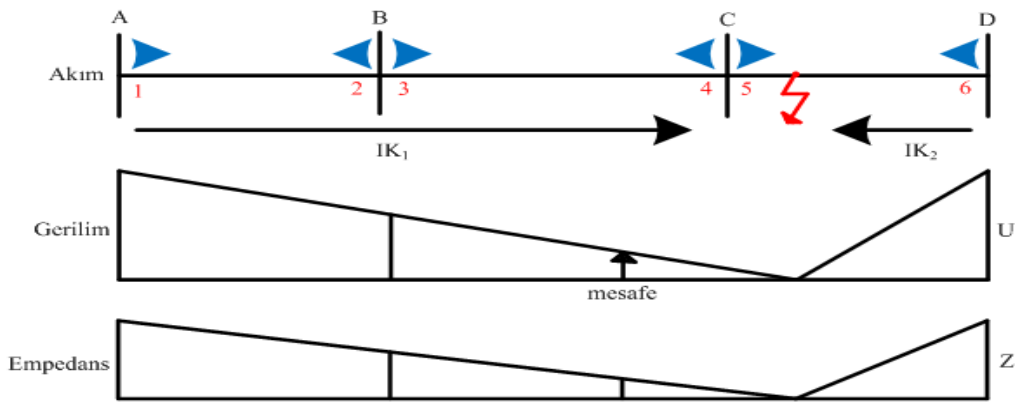


Şekil 2.26. Mesafe koruma rölesine ait empedans diyagramı

Şekil 2.26’da görüldüğü gibi arızanın meydana geldiği nokta mesafe koruma rölesine yaklaştıkça, rölenin ölçtüğü empedans değeri azalmakta ve rölenin çalışacağı kademe değeri de değişmektedir. Şekil 2.26 incelendiğinde, üçüncü kademelerin çalışma empedansı, birinci ve ikinci kademelerin çalışma empedansından daha büyüktür. Yani üçüncü kademe ölçme elemanı, birinci ve ikinci kademe ölçme elemanına göre daha uzak mesafedeki arızayı belirleyebilmektedir. Aynı şekilde ikinci kademe ölçme elemanı, birinci kademe ölçme elemanına göre daha uzak mesafedeki arızayı koruma bölgesi içine alır. Böylece, birinci kademelerin çalışacağı her arızada ikinci ve üçüncü kademe elemanı da çalışır. Ancak birinci kademe ani çalışmalı, ikinci ve üçüncü kademeler ise sabit zamanlı çalışmalıdır. Kademe elemanlarının çalışma zamanı, birinci kademe ani, ikinci kademe 0.4 sn, üçüncü kademe 0.8 sn ve dördüncü kademe (geri yön) 1.5 sn olarak ayarlanmaktadır.

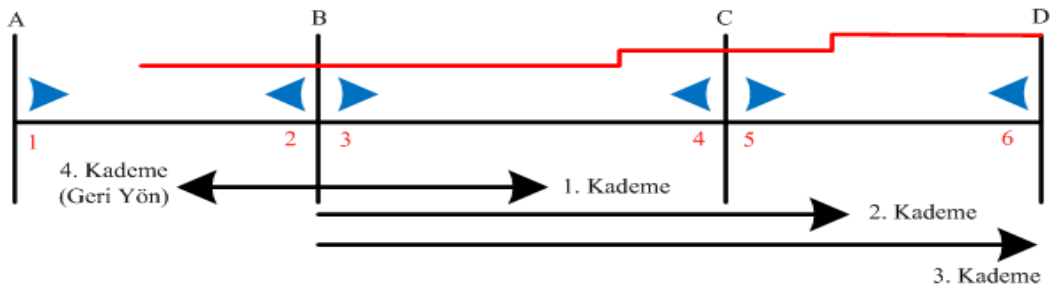
Genellikle, hesaplama dayalı ölçüm hataları, ölçü trafoları dönüştürme hataları ve hat empedansındaki yanlışlıklardan doğan hatalar nedeniyle; bir mesafe koruma rölesinin enerji iletim hattının % 100’ünü korunması mümkün değildir. İç ve dış arızalar arasında güvenli bir koruma seçiminin sağlanabilmesi amacıyla, “düşük menzil bölgesi (birinci kademe)” hattın uzak ucundan bir güvenlik marjı (%10-15) seçilmelidir.

Hattın geriye kalan kısmı ikinci kademe tarafından korunmaktadır. Mutlak seçicilik gösteren diferansiyel koruma yapısına zıt olarak, mesafe koruma yapısı mutlak seçicilik özelliği göstermez. Seçici koruma, komşu koruma ile zaman kademelendirmesi yaparak sağlanır. Mesafe koruma yapısı birbirine bağlı enerji iletim hatları için, yedek koruma imkânı verir ve ikinci kademe bu amaçla kullanılır. Bu kademe, bitişik bara üzerinden komşu hatlara ulaşır. Üçüncü kademe ise komşu hatların tüm uzunluğunu korumak amacıyla uygulanır. Şekil 2.27’de dört baralı bir güç sistemine ait gerilim ve empedans grafiği gösterilmiştir. C ve D baraları arasındaki enerji iletim hattında oluşacak olan bir arıza anında arıza noktasına göre her baradaki gerilim ve empedans değerleri değişmektedir. Arızanın olduğu yerde gerilim ve empedans değerleri sıfır olmakta, arızadan uzaklaştıkça, gerilim ve empedans değerleri büyümektedir. Bu yüzden her baradaki mesafe koruma röleleri için farklı empedans değerleri oluşmaktadır.



Şekil 2.27. Dört baralı güç sistemine ait gerilim empedans grafiği

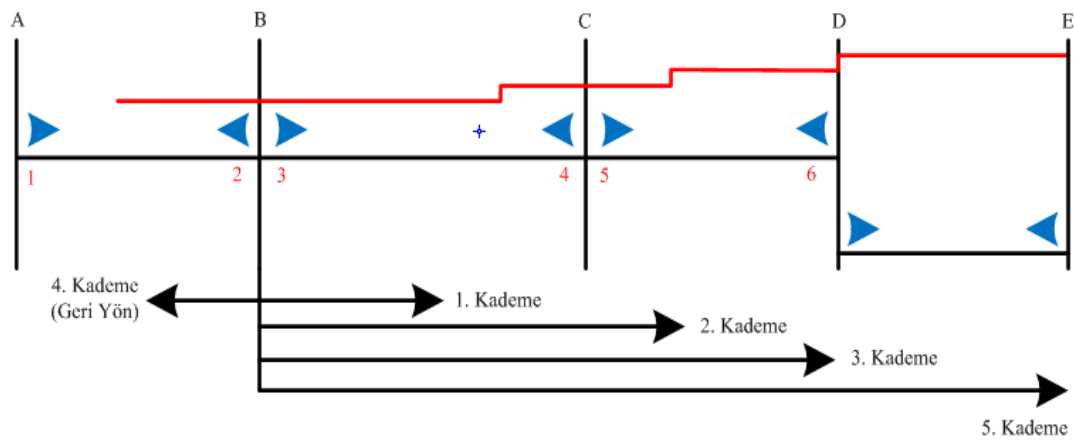
Güç sistemlerindeki mesafe koruma röleleri, genellikle kendisinden sonraki ikinci transformatör merkezine kadar olan hattı koruma bölgesi içine alırlar. Şekil 2.28’de B transformatör merkezindeki ölçme ünitesine ait kademe elemanlarının koruma bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Dört baralı güç sistemindeki B barasına ait kademe elemanlarının koruma bölgeleri

1. 1. Kademe; B ve C trafo merkezleri arasındaki hattın %85’ini koruma bölgesi içine alır.
2. 2. Kademe; B ve C trafo merkezleri arasındaki hattın tamamını ve C trafo merkezi ile D trafo merkezi arasındaki hattın %50’sini koruma bölgesi içine alır.
3. 3. Kademe; B trafo merkezi ile D trafo merkezi arasındaki hattın %100’ünü koruma bölgesi içine alır.
4. 4. Kademe; B trafo merkezi ile A trafo merkezi arasındaki hattın %50’sini koruma bölgesi içine alır.

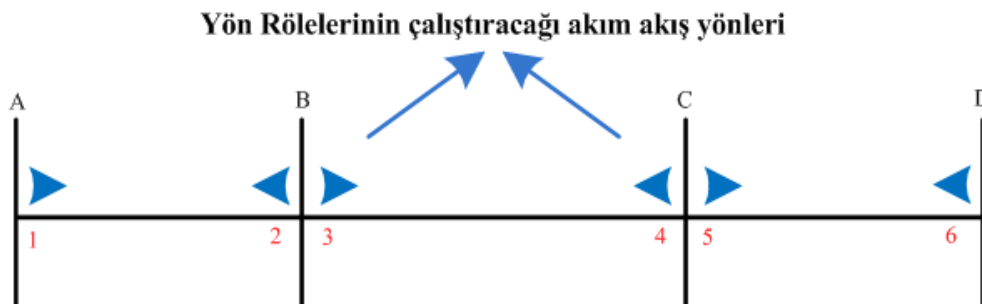
İkinci ve üçüncü kademe uygulaması, güvenli bir selektif korumanın sağlanabilmesi için, birinci kademe elemanının artçısı olarak kullanılır. Yeni nesil mesafe koruma rölelerinde beşinci kademe ayarı da bulunmaktadır. Bu kademe ayarı kullanılmak istendiğinde zaman ayarı, ileri yön 1.2 sn olarak seçilir. Koruma alanı olarak da korunan hatta komşu en uzun hattın tamamı seçilir. Şekil 2.29’da beşinci kademenin kullanılmış olduğu koruma bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 2.29. Beş kademeli güç sistemi koruma bölgeleri

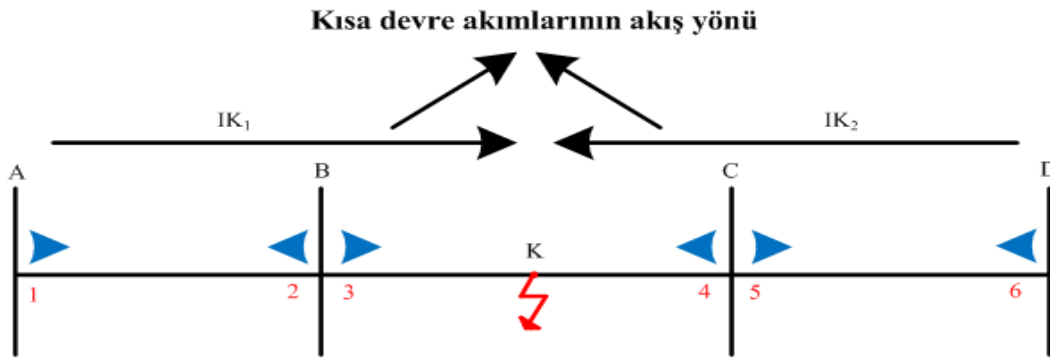
2.3.5.3. Yön ölçümü

Güç sistemlerinde her iki taraftan beslenen fiderlerdeki koruma yapılarının yanlış açmaya neden olmamaları için, oluşacak olan arızanın ileri veya geri yönde olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.30’da dört baralı bir güç sisteminde, arıza anında oluşacak olan akım akış yönleri gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Dört baralı güç sistemindeki akım akış yönleri

Söz konusu yön elemanları, 1-2-3-4-5-6 gibi sayılarla belirtilmekte ve her yön elemanı kontağının kapanması gereken akım akış yönü de okla gösterilmiştir. Örneğin hat akım akış yönü A trafo merkezinden B trafo merkezine doğru ise, 1 nolu yön elemanının kontağı kapanmaktadır. Yön elemanlarının kontakları, akım akış yönü karşı trafo merkezine doğru ise kapanmakta aksi takdirde kapanmamaktadır. Şekil 2.31’de dört baralı bir güç sistemindeki K noktasında oluşacak olan kısa devre akım akış yönleri gösterilmiştir. K noktasında oluşacak olan arızada çalışacak olan yön elemanları incelendiğinde, tüm trafo merkezlerinin arıza noktasını beslemesi nedeniyle akım akış yönüne göre; 1-3-4-6 nolu yön rölelerinin kontakları kapanmaktadır.



Şekil 2.31. K noktasındaki kısa devre akım akış yönleri

Eğer arıza ters doğrultuda ise, akım yönü ters çevrilir. Yani ileri doğrultuda akan akıma göre 180^0 döndürülmüş akım yönü elde edilir. Akımın bu ters çevrilişi aynı zamanda bir empedans ters çevrilişi ile sonuçlanır. Arıza empedansı ters yönlerdeki akım için kartezyen düzlemin üçüncü bölgesinde yer alır. Konvansiyonel rölelerin ölçüm devresi, yön karakteristiğinin gerilim ve empedans düzleminde düz bir çizgi olacak şekilde yapılmaktadır. Nümerik rölelerle, hesaplanan arıza empedanslarının işaretlerini analiz ederek, arıza yönünün benzer şekilde belirlenmesi mümkündür. İletim dairesi ve admitans dairesi kendiliğinden yön bilgisi içermektedir. Söz konusu yön belirleme metodu, gerilimi kısa devre edilmiş çevrimin içinde kullanır. Bu metodun dezavantajı, röle noktasının doğrudan önü veya arkasındaki yakın arızalarda, yön ölçümünün imkânsız oluşudur. Bu nedenle bu tipte konvansiyonel röleler, yaklaşık 0.1 V’un altındaki kısa devreler için “ölü bölge” diye tabir edilen bölgeye sahiptir.

Tüm gerilim değerlerinin arızadan etkilendiği üç fazlı bir arıza için, arızadan önceki gerilim değeri bir gerilim hafızasına kaydedilerek kullanılır. Bunu elde etmek için, analog röleler karmaşık bir gerilim hafızası (rezonans devresi) kullanmak zorundadır. Nümerik röleler ölçülen örnekleme değerlerini çevrimsel tamponlarda saklarlar. Röle, arızanın doğrultusunu, çevrimsel tablonun sabit büyüklüğüne bağlı olarak, ön hafızasına alınmış gerilim değeri ile tespit eder.

2.3.5.4. Mesafe ölçümü

Konvansiyonel röleler arızanın korunan bölgenin içinde veya dışında olup olmadığını belirlemek için, kısa devre empedansını hat modeli empedansı ile karşılaştırırlar. Ölçüm devresindeki değişikliklerle, empedans düzleminde dairesel ve diğer karakteristiklerin üretilmesi mümkündür. En iyi bilinen karakteristik admitans dairesi MHO karakteristiğidir. Mesafe koruma ölçümü için, arıza yerine olan mesafeyi etkili bir şekilde belirlemek amacıyla sadece arıza empedansının reaktif bileşeni X_f kullanılabilir. Omik bileşen, arıza noktasındaki belirlenmemiş arıza direnci nedeniyle değişkenlik gösterebilir. Açık değeri, faz kaymasının hesaplanması ile belirlenir.

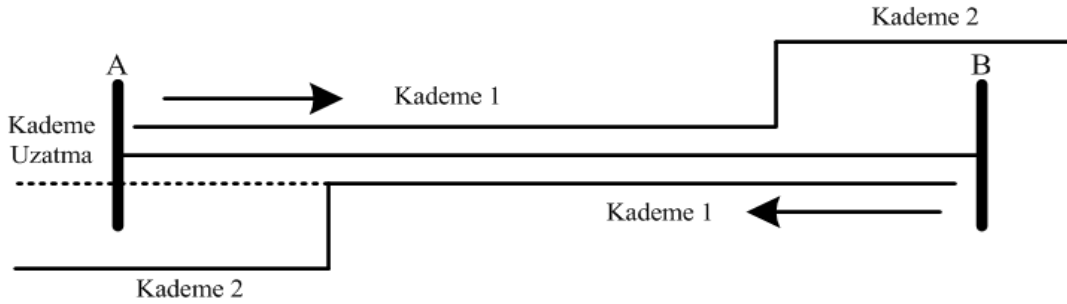
2.3.5.5. Müsaadeli ve kilitlemeli sistem yapıları

Mesafe koruma röleleri arasında koordinasyon yapılırken iki türlü sistem yapısı kullanılmaktadır. Bu sistem yapıları müsaadeli sistem yapısı ve kilitlemeli sistem yapısıdır. Müsaadeli sistem yapısı da kendi arasında üçe ayrılır. Bunlar; hızlandırılmış düşük menzil koruma, müsaadeli düşük menzil koruma ve müsaadeli aşırı menzil korumadır. Kilitlemeli sistem yapısı da kendi arasında ikiye ayrılır. Bunlar; kilitlemeli düşük menzil koruma ve kilitlemeli aşırı menzil korumadır.

Hızlandırılmış Düşük Menzil Koruma :

Şekil 2.32’de hızlandırılmış düşük menzil koruma yapısı gösterilmiştir. Bu yapı ikinci kademe hızlandırılması olarak da adlandırılır. Orta ve çok uzun iletim hatlarında kullanılan bu düzende hızlandırma sinyali alındığında röle ikinci kademe

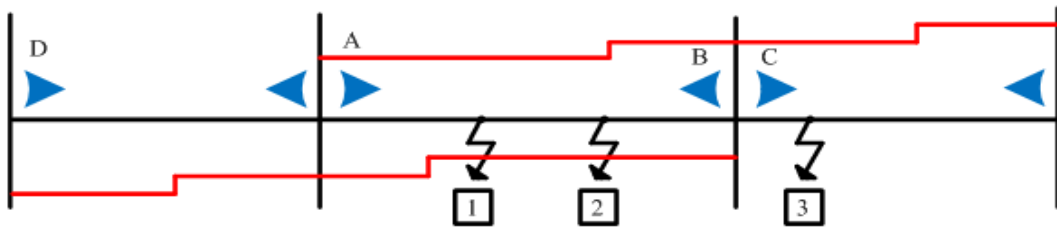
zamanını bekleyeceği yerde, ikinci kademe arızasında ani olarak açar, sinyal alınmamışsa ikinci kademe zamanını bekler.



Şekil 2.32 Hızlandırılmış düşük menzil koruma yapısı

Müsaadeli Düşük Menzil Koruma :

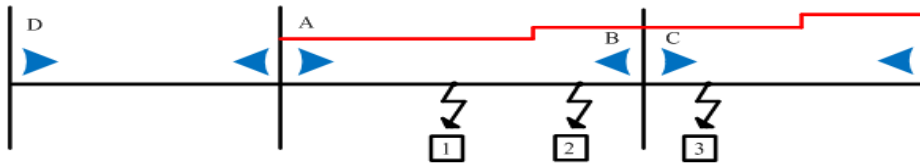
Bu koruma tipi genellikle seçicilik koşullarının güvenilirmez olduğu durumlarda kullanılır. Arızanın yönü ileri olarak saptanmış ve karşı uçtan da sinyal alınmışsa, koruma ani olarak çalışır ve açar. Karşı uçtan sinyal gelmiyorsa kademeli açma gerçekleştirilmez. Şekil 2.33'de müsaadeli düşük menzil koruma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.33 Müsaadeli düşük menzil koruma yapısı

Şekil 2.33'deki 1 nolu arızada, A ve B röleleri birinci kademedede açarlar ve karşı trafo merkezine müsaade sinyali gönderirler. Ama bu sinyalin hiçbir önemi bulunmamaktadır. Röleler bağımsız olarak çalışırlar. 2 nolu arızada, B rölesi birinci kademedede açar ve karşı trafo merkezine müsaade sinyali gönderir. A rölesinin normalde ikinci kademedede açması gerekir. Ancak B rölesinin gönderdiği müsaade sinyali (hızlandırma) sonucunda birinci kademe + sinyal iletim süresi kadar bir gecikmeyle açar. 3 nolu arızada ise, B rölesi geri kademedede kalır. C rölesi arızayı

merkezinden kilitleme sinyali alınmamışsa röle birinci kademedede açar. Karşı trafo merkezinden kilitleme sinyali alınmışsa röle ikinci kademe süresinin sonunda açar. Şekil 2.35’de kilitlemeli düşük menzil koruma yapısı gösterilmiştir.

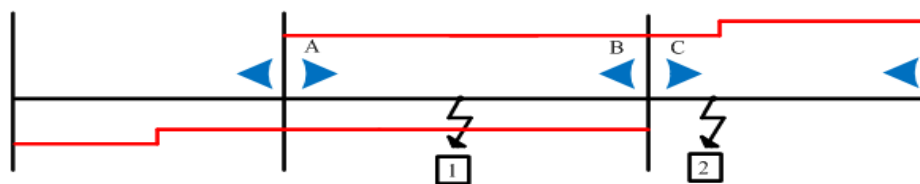


Şekil 2.35 Kilitlemeli düşük menzil koruma yapısı

Şekil 2.35’deki 1 nolu arızada, A ve B röleleri birlikte açarlar ve karşı trafo merkezine hiçbir sinyal göndermezler. 2 nolu arızada, B rölesi birinci kademedede açar. A rölesi birinci kademe + tk_0 zamanı kadar gecikmeli açar. ($tk_0 \leq 50$ msn) Bu sürenin 20 msn zamanına kadar kısaltılması gerekmektedir. 3 nolu arızada ise, A rölesi ikinci kademesindedir. A rölesine kilit sinyali gelmezse, 2 nolu arızada olduğu gibi A rölesi birinci kademe + tk_0 zamanı kadar gecikmeli açar. Ancak B rölesi arızayı geri kademesinde gördüğü için, A rölesine kilitleme sinyali gönderir ve A rölesi ikinci kademe zamanında açar.

Kilitlemeli Aşırı Menzil Koruma :

Bu koruma tipi genellikle kısa iletim hatlarında uygulanmakta olup, arıza birinci kademedede belirlendiğinde karşı trafo merkezinden kilitleme sinyali alınmıyorsa, birinci kademedede açma yapılır. Karşı trafo merkezinden sinyal alınmışsa birinci kademe açma, ikinci kademe zamanı sonunda yapılır. Kilitleme sinyalinin iletişim süresini göz önüne almak için iletişim zaman gecikmesi verilmelidir. Açma emri bu süre boyunca bloke edilir. Şekil 2.36’da kilitlemeli aşırı menzil koruma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.36 Kilitlemeli aşırı menzil koruma yapısı

Şekil 2.36'daki 1 nolu arızada A ve B röleleri $t_1 + tk_0$ zaman diliminde açma işlemi yapar. A ve B röleleri birbirlerine kilit sinyali göndermezler. 2 nolu arızada ise, B rölesi arızayı geri kademesinde görür ve A rölesine kilit sinyali gönderir. A rölesi ikinci kademe zamanını bekler. C rölesi açma yapamaz ise, A rölesi ikinci kademesinde açma işlemi gerçekleştirir.

2.3.5.6. Tekrar kapama yapıları

Sistemde meydana gelebilecek geçici arızalarda devre dışı kalan iletim hattının en kısa sürede tekrar devreye alınması ve kesintinin en aza indirilmesi için otomatik tekrar kapama röleleri kullanılır. Sistemde meydana gelen arızaların çoğu ark sonucunda oluşur. Bu esnada sistem gerilimi, $t_p = 0.2 - 0.5$ sn (ölü zaman) süresince kesilirse ark yolundaki iyonizasyon azalır ve t_p süresi sonunda tekrar gerilim tatbik edildiğinde ark oluşamaz. Otomatik tekrar kapama ile en az düzeyde kesinti ve optimum sistem kararlılığı temin edilir. İlk açmadan sonra bir iptal zamanı (kilitleme süresi) tayin edilir. (3-5 sn) Bu süre içerisinde kesiciyi açtıracak her türlü arızada, kesici üç faz olarak açar ve tekrar kapama kilitlemeye gider. Kilitleme süresince yeni arıza meydana gelmediği takdirde, tekrar kapama sistemi normale döner.

Tekrar kapama rölelerinde iki ayrı zaman vardır.

1-) Tekrar kapama zaman ayarı: Yüksek gerilimli iletim hatlarında en fazla 0.5 sn'dir. Sistem kararlılığı yönünden sadece arızalı fazın açılıp kapanmasını öngörür.

2-) Blokaj zaman ayarı: Genelde 3-5 sn olarak ayarlanır. Arıza esnasında koruma röleleri çalışarak, kesiciye açma kumandası göndermekle birlikte tekrar kapama rölesini de kurar. Tekrar kapama kumandası ayarlı 20 msn sonunda kesiciyi kapatır. Arıza devam ediyor ise kesiciyi tekrar açar ve ayarlı olan blokaj zamanı içerisinde yeniden kapama işlemi gerçekleştirmez.

BÖLÜM 3. PETRİ AĞLARI

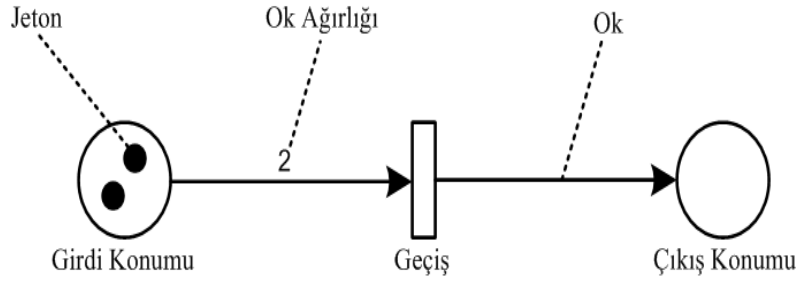
3.1. Petri Ağlarının Tanımı ve Özellikleri

PA, Carl Adam Petri (1962)'nin otomasyon ve haberleşme uygulamaları için ağ şeklinde matematiksel bir araç ortaya koyduğu doktora çalışmasına dayanarak geliştirdiği ve kendi adıyla anılan, ayrık olay sistemlerinin modellenmesi, analiz ve tasarımında kullanılan grafiksel ve matematiksel bir metodolojidir. PA'nın fabrika otomasyonu, performans değerlendirme, iletişim protokolleri doğrulaması, yazılım sistemi spesifikasyonlarının tanımlanması ve tasarımı, ofis bilgi sistemleri, programlanabilir mantık ve güç sistemleri alanlarında uygulamaları geliştirilmiştir.

PA eşzamanlı, eşzamansız, paralel, aynı anda meydana gelen, dağıtılmış, kaynak paylaşımının olduğu, ardışıklığın olduğu, deterministik ve stokastik karakterlere sahip kompleks sistemlerin modellenmesinde kullanılabilmektedir (Murata, 1989), (Bobbio, 1990), (Dicesare vd., 1993), (Zhou ve Venkatesh, 1999), (Cardoso ve Camargo, 2000), (Marsan vd., 1995). PA matematiksel bir araç olarak sistemin davranışlarını açıklayan durum denklemlerinin elde edilmesine, cebirsel sonuçların bulunmasına ve diğer matematiksel modellerin geliştirilmesine imkân sağlamaktadır (Murata, 1989). Ayrıca modelde yer alan semboller yardımıyla sistemdeki olaylar için benzetim imkânı sağlamaktadır.

PA'da olaylar geçişler ile temsil edilir. Bir geçişin (transition) gerçekleşebilmesi için belirli koşulların yerine gelmesi gereklidir. Bu koşullara ilişkin bilgiler ise yerler (places) içerisinde yer alır. Bir geçiş giriş olarak ilişkilendirilmiş demektir. Geri kalan yerler ise geçişe çıkış olarak bağlanmış olup ilgili geçişin gerçekleşmesiyle etkilenen koşullarla ilişkilendirilmiş demektir. Geçişler yerler ve aralarındaki belirli ilişkiler PA grafiklerinin temel bileşenlerini oluşturur. Bir PA'da iki çeşit bağlantı düğümü (yerler ve geçişler) ve bu düğümleri birbirine bağlayan yön bağlantı çizgileri

bulunur. PA'ları iki parçalı grafiklerdir, yani bir yönlü ok aynı cins bağlantı düğümlerini birbirine bağlayamaz, bir geçiş düğümünü bir yer düğümüne ya da bir yer düğümünü bir geçiş düğümüne bağlayabilir (Cassandras ve Lafortune, 2008). Şekil 3.1'de PA temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. PA grafiğinin temel bileşenleri

Başlangıç işaretlemesinin olmadığı ve yönlendirilmiş grafik yapısının tanımlandığı bir PA yapısı $Z = (P, T, I, O, m)$ şeklindeki beş bileşenden oluşur (Zhou ve Venkatesh, 1999). Bu bileşenler, grafiksel gösterimde çember biçiminde ifade edilen konum (place), dikdörtgen kutu ya da çubuk şeklinde gösterilen geçiş (transition), konum ve geçişi birbirine bağlayan yönlendirilmiş ok (arc), ve konumlar içinde nokta biçiminde gösterilen jetonlar (token)'dır (Murata, 1989). Bir PA yapısı, iki parçalı ağırlıklı bir grafikdir ve aşağıdaki koşulları sağlar.

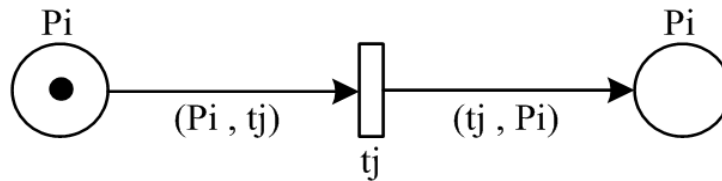
1. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n > 0$, çemberlerle ifade edilen sonlu konum (place) kümesi,
2. $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, $s > 0$, dikdörtgen yada çubuk şeklinde gösterilen sonlu geçiş (transition) kümesi, burada $P \cup T \neq \emptyset$ ve $P \cap T = \emptyset$,
3. $I = P \times T \rightarrow N$, $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ olmak üzere, P'den T'ye yönlendirilmiş oklar (arc) kümesini tanımlayan girdi fonksiyonu,
4. $O = T \times P \rightarrow N$, $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ olmak üzere, T'den P'ye yönlendirilmiş oklar (arc) kümesini tanımlayan çıktı fonksiyonu,
5. $m = P \rightarrow N$, i. bileşeni i. konumundaki jeton (token) sayısını ifade eden işaretlemedir (marking). Bir başlangıç işaretlemesi m_0 ile gösterilir.

$I(p,t) = k$ ifadesi p konumunu t geçişine bağlayan k tane paralel okun olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde $O(p,t) = k$ ifadesi de t geçişini p konumuna bağlayan k tane paralel okun olduğunu göstermektedir. Eğer $k=0$ ise konumlar ile geçişler arasında ok olmadığı anlamına gelmektedir. $I(p,t) > 1$ durumunda $I(p,t)$ sayısı okun ağırlığı ya da p konumunda t geçişine yönlendirilmiş okların sayısı olarak adlandırılır. Aynı şekilde $O(t,p)$ de t geçişinden p konumuna yönlendirilmiş okların sayısı ya da ok ağırlığı olarak ifade edilir. Alternatif biçimde bir PA, $Z = (P, T, F, W, m)$ şeklinde de ifade edilebilir. Burada F tüm okların kümesi $\{P \times T\} \cup \{T \times P\}$ 'nin bir alt kümesi ve $W = F \rightarrow N$ de okların ağırlığıdır.

I ve O iki adet $n \times s$ pozitif tamsayı matrisleridir. Ağ yapısını ifade etmenin pratik bir yolu da tekrar oranı (incidence) matrislerinin kullanılmasıdır. O matrisinden I matrisinin çıkarılmasıyla tekrar oranı matrisi elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A^T = O - I \quad (3.1)$$

Bir işaretli PA veya ağ sistemi ise (Z, M_0) çiftidir. Burada Z , bir PA ve M_0 , başlangıç işaretlemesidir. Bir konumdaki jeton sayısı o konumun yerel durumunu ifade eder. Tüm ağ sisteminin durumu konumların tüm yerel durumlarının birleşimi ile ifade edilir. Bir M işaretlemesi $n = |P|$ vektörü şeklinde ifade edilebilir. Burada p . bileşen, $M(p)$, p konumundaki jeton sayısını ifade eder. M vektörü ağ sistemi tarafından tanımlanan ayırık olay dinamik sisteminin durum vektörüdür. Ağ sisteminin çalışması ve değişimi jeton oyunu olarak da adlandırılan geçerlilik ve oluşum-geçiş kurallarıyla gerçekleşmektedir. Şekil 3.2'de PA grafiğinin temel yapısı gösterilmiştir. Eğer yer düğümünden geçiş düğümüne doğru bir ok yönleniyorsa (p_i, t_j) , geçiş düğümünden yer düğümüne doğru bir ok yönleniyorsa (t_j, p_i) şeklinde gösterilir.



Şekil 3.2. PA grafiğinin temel yapısı

PA durum geçiş diyagramlarına benzemekle birlikte farklılıklar gösterirler. Bir PA grafiğinde düğümle ya P kümesinden seçilebilen yerle ya da T kümesinden seçilebilen geçişlerdir. DGD’ de ise bir durum geçişine sebep olan her bir olay için tek bir ok kullanılır. Bir PA grafiğinde iki düğümü birleştirmek için çok sayıda ok kullanılabilir veya aynı şekilde okların sayısını temsil eden her bir oka bir ağırlık atanabilir. Bir PA’da; t_j geçişine giren giriş yerlerinin kümesi $I(t_j)$ ile, t_j geçişinden çıkan çıkış yerlerinin kümesi ise $O(t_j)$ ile gösterilir.

$$I(t_j) = \{p_i \in P : (p_i, t_j) \in A\} \quad (3.2)$$

$$O(t_j) = \{p_i \in P : (t_j, p_i) \in A\} \quad (3.3)$$

PA grafiklerini tanımlarken iki çeşit düğüm arasındaki farkı şekilsel olarak da ortaya koymak gerekir. Bu nedenle yerle yuvarlak çember şeklinde, geçişlerde çubuk şeklinde çizilmelidir. Yerle ve geçişle birbirine bağlayan oklar bağlantı okları kümesi olan A kümesinin elemanlarını oluşturur. Bunun için p_i yerinden t_j geçişine yönlendirilmiş bir ok $p_i \in I(t_j)$ anlamına gelir.

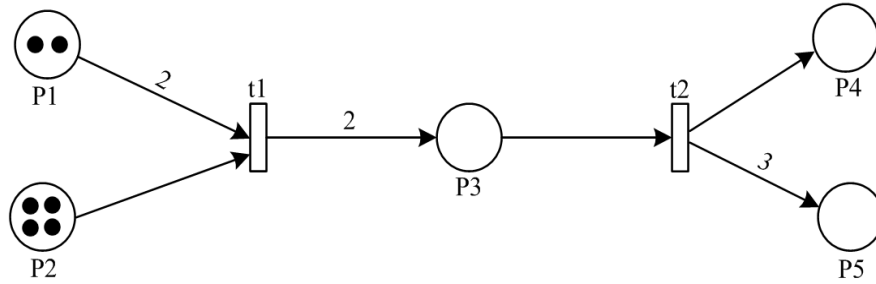
Eğer $w(p_i, t_j) = k$ ise p_i ’den t_j ’ye k adet ok bulunur, ya da başka bir deyişle tek bir ok k ağırlığı ile gösterilir. Benzer şekilde, eğer t_j geçişinden p_i yerine yönlendirilmiş k tane ok var ise bu $p_i \in O(t_j)$ ve $w(t_j, p_i) = k$ anlamına gelir. Genellikle PA grafiği üzerinde ağırlıklar çoklu oklar ile temsil edilir. Buna rağmen PA üzerinde çok sayıda ağırlık bulunduğu zaman daha sade ve güzel bir gösterim için tek bir okun izgişi yanına ağırlığı yazılır. Bir okun ağırlığı (w) ise pozitif bir tamsayı ile gösterilir.

Eğer okun üzerine ağırlık yazılmamış ise otomatik olarak $w(p_i, t_j) = 1$ ve $w(t_j, p_i) = 1$ kabul edilir. $p_i \notin I(t_j)$ olduğu zaman $w(p_i, t_j) = 0$, $p_i \notin O(t_j)$ olduğu zaman da $w(t_j, p_i) = 0$ olur. Ayrık sistemle, bulanık kontrolörle, bilgisayar programlarının ve güç sistemle, PA ile modellenmesinde Tablo 3.1’deki dönüşümler dikkate alınır (Murata, 1989), (Shim ve Lee, 2010). PA tanımı yapılırken dinamik davranışı sağlayan nesnelerden de bahsetmek gereklidir. Bu nesneler PA’nın beşinci parametresi olan jetonlardır. $M_0 : P \rightarrow N (0,1,2,3,...)$ gösterimi M_0 başlangıç durumunda jetonların PA üzerindeki dağılımını anlatır.

Tablo 3.1. PA’da giriş ve çıkış yerleri ile geçişlerin farklı anlamları

Giriş Yerleri	Geçişler	Çıkış Yerleri
Ön koşullar	Olaylar	Sonraki koşullar
Giriş verisi	Hesaplama basamağı	Çıkış verisi
Giriş sinyalleri	Sinyal işlemcisi	Çıkış sinyalleri
Gerekli kaynaklar	Görev veya iş	Serbest kalan kaynaklar
Koşullar	Mantuk önermesi	Sonuçlar
Sürücü	İşlemci	Sürücü

Şekil 3.3’de PA’daki jeton durumları ve geçişleri gösterilmiştir. $M_o : \{p_1 \rightarrow 2, p_2 \rightarrow 4, p_3 \rightarrow 0, p_4 \rightarrow 0, p_5 \rightarrow 0\}$. Genellikle yerlerin indislerine göre ardışık olarak daha sade gösterimlerde yapılmaktadır, Muscholl (2010). $M_o : \{2, 5, 0, 0, 0\}$. İşaretleme fonksiyonu (marking) $M(p)$ harfi ile gösterilir ve jetonların PA içerisinde hangi yerlerde bulunduğuna ilişkin bir fonksiyonu ifade eder. $M(p_i)$ ifadesi PA’da jeton sayısını belirtir.

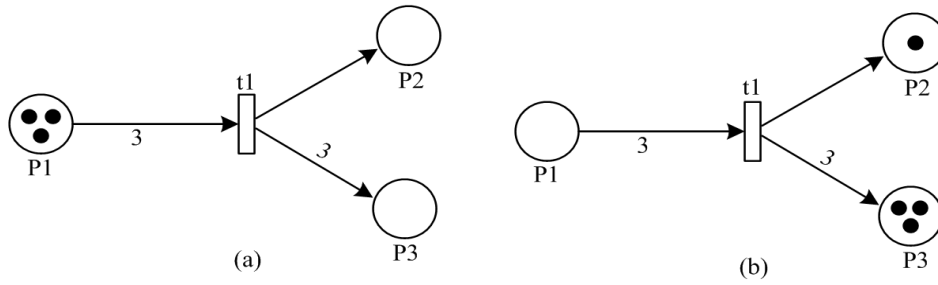


Şekil 3.3. PA’da jetonların durumu

PA’da özel bir başlangıç işaretleme (M_o) tanımlanmadıysa PA yapısı $N=(P,T,A,W)$ şeklinde, bir başlangıç işaretleme verildiyse $PN = (N, M_o)$ şeklinde gösterilir. Bir sistemin dinamik davranışının benzetimini yapabilmek için, PA’daki bir durum ya da işaretleme, aşağıdaki ateşleme kurallarına göre değişir (Murata, 1989).

1. Bir t geçişinin etkin olması için, kendisine giriş olarak bağlanmış her bir p yerinde $w(p, t)$ jeton bulunmalıdır. Burada $w(p, t)$ p ’den t ’ye bağlanan okun ağırlığını belirtir.

2. Etkin olan bir geçiş ateşlenebilir veya ateşlenmeyebilir. (Herhangi bir olayın gerçekleşmesine bağlı olarak)
3. Etkin bir t geçişinin ateşlenmesi, t 'ye giriş yapan p giriş yerlerinden bağlı oldukları okun ağırlığı $w(p,t)$ kadar jeton eksilmesine ve t 'nin çıkışında bulunan her p çıkış yerine bağlı oldukları okun ağırlığı $w(t,p)$ kadar jeton eklenmesine neden olur. Bu durum Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. PA'da geçişin ateşlenme durumu (a) t_1 geçişi etkin (b) t_1 'in ateşlenmesinden sonraki durum

Durum geçiş fonksiyonu için $M(p)$, işaretleme fonksiyonu yerine x gösterimini kullanırsak, $f : N^n \times T \rightarrow N^n$ ve PA (P, T, A, w, x) aşağıdaki bağıntıları sağlar.

$$p_i \in I(t_j) \text{ için } x(p_i) \geq w(p_i, t_j) \text{ olduğunda } t_j \in T \quad (3.4)$$

Eğer $f(x, t_j)$ tanımlandıysa $x' = f(x, t_j)$ fonksiyonu, Denklem 3.5'deki gibi kurulur.

$$x'(p_i) = x(p_i) - w(p_i, t_j) + w(t_j, p_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'e göre, eğer p_i , t_j 'nin bir giriş yeri ise p_i 'den t_j 'ye yönlendirilmiş okun ağırlığı kadar jeton kaybeder, eğer p_i , t_j 'nin bir çıkış yeri ise t_j 'den p_i 'ye yönlendirilmiş okun ağırlığı kadar jeton kazanır. PA'da ateşlenme olduğu zaman sistemdeki toplam jeton sayısının korunması gerekmez. Bu durum Denklem 3.6'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \sum_{p_i \in P} w(t_j, p_i) &> \sum_{p_i \in P} w(p_i, t_j) \\ \sum_{p_i \in P} w(t_j, p_i) &< \sum_{p_i \in P} w(p_i, t_j) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Bu durumda $x' = f(x, t_j)$ herhangi bir şekilde x 'ten daha az ya da daha fazla jetona sahip olabilir. Genellikle belirli sayıda geçiş ateşlenmesi ile birlikte son durumda $x=[0,0,\dots,0]$ olması veya PA'daki yerlere ilişkin jeton sayılarının bir dizi ateşlenme sonucunda rastgele olarak çoğalması mümkündür. Jeton sayılarının dengesiz ve rastgele artması PA'nı otomata'dan ayıran önemli bir farktır (Cassandras ve Lafortune, 2008).

3.2. Petri Ağlarının Karakteristik Özellikleri

Matematiksel bir araç olarak PA bir dizi özelliğe sahiptirler. Bu özellikler modellenen sistemin fonksiyonel özelliklerinin varlığının ya da bulunmamasının belirlenmesine imkân vermektedir (Zhou ve Dicesare, 1993), (Murata, 1989), (Leondes, 2001). Bu özellikler genel olarak yapısal ve davranışsal özellikler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Davranışsal özellikler bir PA'nın başlangıç durumu veya başlangıç işaretlemesine dayanan özelliklerdir. Yapısal özellikler ise başlangıç durumu ya da işaretlemesine dayanmayan özelliklerdir ve sadece PA topolojisi ve yapısına dayanmaktadır.

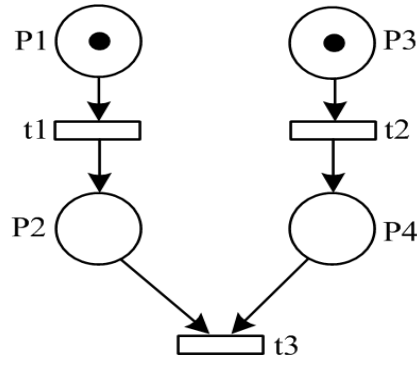
3.2.1. Petri ağlarının yapısal özellikleri

3.2.1.1. Paralellik

Birbirinden bağımsız olarak gerçekleşebilen iki olayın modellenmesinde kullanılan PA modelidir. Bu tür ağlarda olaylar birbirinden bağımsız olarak aynı anda gerçekleşirler.

3.2.1.2. Senkronizasyon

Bir geçişin gerçekleşebilmesi için iki ya da daha fazla koşulun gerçekleşmesi gerekebilir. Senkronizasyon tüm ön koşulların sağlanmış olması durumudur. PA'daki herhangi bir geçiş ancak tüm koşulların sağlandığı durumlarda gerçekleşir. Aksi takdirde geçiş sağlanamaz. Şekil 3.5'de t_3 geçişinin gerçekleşebilmesi için hem t_1 hem de t_2 geçişinin sağlanmış olması gerekmektedir.



Şekil 3.5. Senkronizasyon örneği

3.2.1.3. Sınırlı kaynaklar

Sistem performansını etkileyen faktörlerden biri de mevcut kaynakların sınırlı olmasıdır. Kaynakların tükenmesi durumunda sistem bloke olur ve bu durum analiz açısından zorluk demektir. Bu tür sistem modellemelerinde kaynak sınırlaması denen bir PA yapısı kullanılır.

3.2.1.4. Çatışma

Bir sistemde iki kaynağın birbiriyle paralel olarak çalıştırılması olası iken ortak kullanılan üçüncü bir kaynağın aynı anda kullanılamaması durumudur.

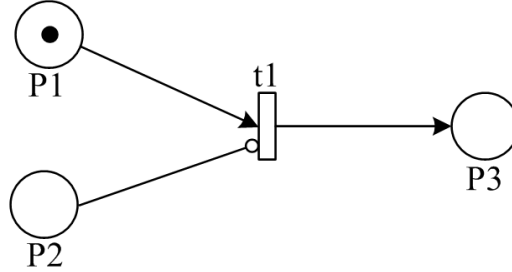
3.2.1.5. Sıralama

PA ile modellemede olayların sırasının önemli olduğu durumlar olabilir. Bu durumda sıralama adı verilen PA yapısı ile olayların öncelik sonralık durumları belirlenebilir.

3.2.1.6. Bozucu dallar

Bir pi durumunda ti geçişine çizilmiş bir bozucu ok mevcut ise; PA'da pi yerinde en az bir jeton varsa, tj geçişi mümkün hale gelmiş olsa bile gerçekleşmez. Bozucu dallar ucu boş daire ok şeklinde gösterilir. Şekil 3.6'da bozucu bir dal örneği gösterilmiştir. Şekil 3.6'da p₂ durumundan t₁ geçişine çizilmiş bir bozucu dal mevcuttur. P₁'de jeton mevcut olduğunda t₁ geçişi mümkündür ve p₂'de jeton olmadığından t₁ geçişi gerçekleşebilir. Eğer, p₂'de en az bir jeton bulunsaydı t₁

gerçekleşmeyecektir. Bozucu dalların kullanılmasındaki asıl amaç çatışma durumundaki iki ya da daha fazla geçişe bir öncelik atamak ve atanan öncelik sırasına göre geçişlerin gerçekleşmesini sağlamaktır.



Şekil 3.6. Bozucu dal örneği

3.2.2. Petri ağlarının davranışsal özellikleri

3.2.2.1. Ulaşılabilirlik

Ulaşılabilirlik özelliği başlangıç işaretlemesine dayandığından davranışsal bir özelliktir. Ulaşılabilirlik, sistemin dinamiğini anlamada önemlidir. Mümkün bir geçişin gerçekleşmesi, önceden belirlenen kurallar dâhilinde sistem içinde jetonların dağılımıyla sonuçlanmaktadır. Sıralı birden fazla geçişin gerçekleşmesi farklı koşulların ortaya çıkmasına sebep olur. Sıralı geçişlerin gerçekleşmesi ile M_0 başlangıç gösteriminden M_n gösterimine ulaşılır. Geçişlerin ortaya çıkma dizisi $\sigma = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ şeklinde gösterilir. Bu durumda M_n, σ yoluyla M_0 'dan ulaşılabilir denir ve $M_0 [\sigma > M_n$ şeklinde gösterilir. M_0 'dan başlayarak ulaşılabilinen tüm durumlar $R(M_0)$ şeklinde ifade edilir (Murata, 1989). Ulaşılabilirlik modellenen sistemin belirli bir m işaretlemesinde olması olasılığı sorusuna cevap vermektedir (Marsan vd., 1995). Ulaşılabilirlik özelliği genel olarak PA ile modellenen sistemin belirlenen spesifikasyonları sağladığı ya da istenmeyen özellikler sergileyip sergilemediğini ortaya koymaya yaradığından oldukça önemlidir.

3.2.2.2. Sınırlılık

Bir PA'da, jeton sayısının bir sınırlı k sayısını aşmadığı durumlarda bu PA için k sınırlı ya da yalnızca sınırlıdır denir. k sayısının 1 olması durumunda PA güvenlidir.

$Z = (P, T, I, O, m_0)$ bir PA ve ulaşılabilir kümesi de R olmak üzere, bir $p \in P$ konumu B-sınırlıdır. Eğer $m(p) \leq B, \forall m \in R$ ise ve burada B pozitif bir tamsayıdır. Eğer P 'deki her bir konum B-sınırlı ise Z 'de B-sınırlıdır. Eğer Z sonlu başlangıç işaretlemesi m_0 için sınırlı ise Z yapısal olarak sınırlıdır. Sınırlılık özelliğinin geçerli olabilmesi için geçişlerin gerçekleşmesi sıradan bağımsız olması gerekmektedir (Zurawski ve Zhou, 1994). PA'nın sınırlılık özelliği modellenen sistemdeki aşırı yüklenmelerin ve aşımaların varlığının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Sistem büyüdüğünde kararsızlık ortaya çıkar ve ağı bir yerinde biriken jetonlar, sistemi kararsızlığa götürür. Sınırlılık sağlanamıyorsa sistem değiştirilmelidir. Çünkü bu durum kararsızlığa neden olur.

3.2.2.3. Güvenilirlik

Güvenilirlik özelliği başlangıç işaretlemesine dayanmadığı için yapısal bir özelliktir. PA'da, bir durumdaki jeton sayısı 1'i kesinlikle geçmiyorsa o yer güvenlidir. Bu ağ durumlarındaki jeton sayısı 0 veya 1'dir. PA'da tüm durumlar güvenli ise PA güvenlidir denir. Eğer $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ vektörü var ve $w_i > 0, i = 1, 2, \dots, n$, $w^T m = w^T m_0, \forall m \in R$ ve R ulaşılabilir bir küme ise, $Z = (P, T, I, O, m_0)$ vektörü w vektörüne göre güvenilirdir. Eğer $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ vektörü var ve $w_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n, w \neq 0, w^T m = w^T m_0, \forall m \in R$ ise, $Z = (P, T, I, O, m_0)$ vektörü w vektörüne göre kısmen güvenilirdir. Eğer Z ağı $w = (1,2,3,\dots,n)^T$ vektörüne göre güvenilir veya $\sum_{i=1}^n m(p_i) = \sum_{i=1}^n m_0(p_i), \forall m \in R$ ise, PA Z katı kadar güvenilirdir.

3.2.2.4. Geri dönebilirlik

Bir PA M_0 başlangıç durumundan M durumuna geçiş yaptıktan sonra, tekrar M_0 başlangıç durumuna dönebiliyorsa bu PA geri dönebilirlik özelliğine sahiptir (Murata 1989). Eğer $\forall m \in R(m_0), m_0 \in R(m)$ ise, $Z = (P, T, I, O, m_0)$ PA geri dönebilirdir. m' işaretlemesi m işaretlemesinden ulaşılabilir olmak üzere $m' \in R(m_0)$ işaretlemesi bir başlangıç durumu olarak adlandırılır. Eğer ağı geri dönebilir yapan sonlu başlangıç işaretlemesi var ise PA yapısal olarak geri dönebilirdir. Bu özellik birçok sistem için hatalı durumlardan doğru durumlara geçiş gerektiğinde çok önemlidir.

3.2.2.5. Canlılık

PA'nın canlı olması, istenen hedefe ulaşması olarak ifade edilebilir. PA'daki çıkmaz, ulaşılan durumun bir sonraki duruma geçememesidir. Yani bir veya birden fazla geçişin gerçekleşememe durumudur. Eğer herhangi bir $m \in R$ işaretlemesinde oluşumu ya da ateşlenmesi t geçişini geçerli yapan bir işaretlemeye ulaşan bir geçiş sıralaması var ise t geçişi canlıdır. Aynı şekilde t geçişi eğer herhangi bir $m \in R$ işaretlemesinde t geçişini içeren bir geçiş oluşum sıralaması var ise canlıdır. $m \in R$ olmak üzere m işaretlemesinde başlayarak t geçişini geçerli kılan herhangi bir geçiş sıralaması yok ise t geçişi ölüdür. Eğer hiçbir geçişin geçerli hale gelmediği bir $m \in R$ işaretlemesi var ise PA ölü nokta içermektedir ve bu işaretleme ölü nokta olarak adlandırılır.

3.2.2.6. Kapsanabilirlik

Bu özellik erişilebilirlik kavramının genişletilmiş halidir. Kapsanabilirlik, PA'daki herhangi bir geçişin daha sonraki durumlarda geçişe uygun olup olmayacağını gösterir. M_0 başlangıç durumundaki bir N PA için $m' \in R(N, M_0)$, $m'' \geq m'$, $m'' \in R(N, m_0)$ koşulunu sağlayan durum mevcut ise m' durumu m'' durumu tarafından kapsanıyor denir.

3.2.2.7. Devamlılık

Bir PA'da herhangi iki geçişten birinin gerçekleşmesi, bir diğerinin gerçekleşmesini engellemiyor ise PA devamlılık özelliğine sahiptir denir. Bu durumda herhangi bir geçişin gerçekleşmesi mümkün ise başka bir geçişin gerçekleşmemesine neden olamaz (Cassandras ve Lafortune, 1999).

3.2.2.8. Tutarlılık

Bir PA'da başlangıç durumundaki jeton sayısı, herhangi bir durum sonucunda sabit kalabiliyor ise bu ağ tutarlı bir yapıya sahiptir. Bu özellik jetonların sistemdeki

kaynak sayısını temsil ettiği düşünülürse, çok önemlidir. Çünkü jeton sayısının sabit kalması, kullanılan kaynakların sisteme geri dönebilmesi anlamına gelir.

PA özelliklerinin sistem modellemesinde ne amaçla kullanıldıklarını özetleyecek olursak; canlılık özelliği, sistemlerin ölü noktalarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Geri dönebilirlik özelliği, belirli bir işlem yapıldıktan sonra, sistemin işlem öncesi durumuna gelmesini sağlamaktadır. Sınırlılık özelliği, sistemdeki kapasite sınırlamalarının modelde gösterilmesine imkân sağlamaktadır. Güvenilirlik özelliği, jeton kaynaklarını ifade ettiklerinden, sistemin PA modelindeki jeton sayısının değişmediğini göstermektedir. Ulaşılabilirlik özelliği, sistemin işleyişinin istenen konumlara gelip gelmediğini araştırmada kullanılmaktadır. Bu özelliğe dayalı olarak geliştirilen ulaşılabilirlik analizi yardımıyla, sistemin başlangıç durumundan itibaren gelebileceği tüm olası durumlar belirlenmektedir (Murata, 1989), (Zurawski ve Zhou, 1994), (Zhou ve Venkatesh, 1999).

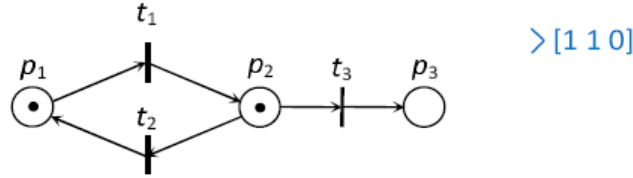
3.3. Petri Ağlarının Analizi

PA ile analiz teknikleri iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar; “Ulaşılabilirlik analizi” ile “Tekrar oranı matrisi ve durum denklemi” analizleridir. Bu tekniklerden ulaşılabilirlik ağacı, tüm ağın ayrıntılı listelenmesi ve tam sayımını içerir. Tüm ağ tiplerine uygulanabilir fakat ağ büyüdükçe gösterim karmaşıklaşacağından detaylı ve büyük ağlar için uygun değildir. Matris-denklemler yaklaşımı daha etkin bir teknik olmasına karşın tüm ağ tiplerine uygulanabilir değildir.

3.3.1. Ulaşılabilirlik analizi

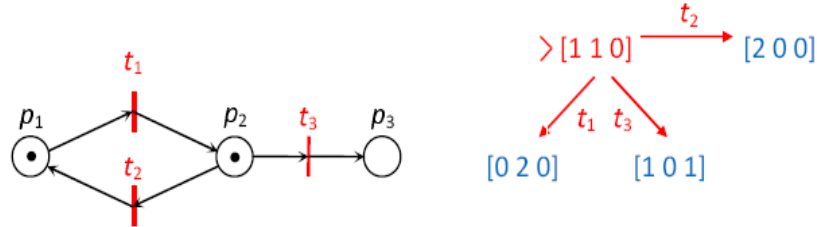
Ulaşılabilirlik analizinde sistemin başlangıç durumu veya koşulundan başlanılarak sistemin ulaşabileceği tüm olası durumlar ve ilişkiler elde edilmeye çalışılır. Bu süreç sonunda elde edilen işaretlemelerin temsili, ulaşılabilirlik ağacı veya grafiği olarak adlandırılır. Ulaşılabilirlik ağacında düğümler m_0 başlangıç işaretlemesinden ve takip eden işaretlemelerden türetilen işaretlemeleri, her bir ok da bir işaretlemeyi diğerine dönüştüren geçiş oluşunu veya ateşlenmesini ifade eder (Murata, 1989). Burada asıl amaç m_0 başlangıç işaretlemesinden başlayarak olası tüm işaretlemelerin

elde edilebilmesidir (Proth ve Xie, 1996). Ulaşılabilirlik ağacı elde edildikten sonra eğer durum sayısı sonlu ise PA'nın davranışsal özellikleri incelenebilir. Ulaşılabilirlik ağacını bir örnek ile açıklayalım. Şekil 3.7'de ulaşılabilirlik ağı örneği gösterilmiştir.



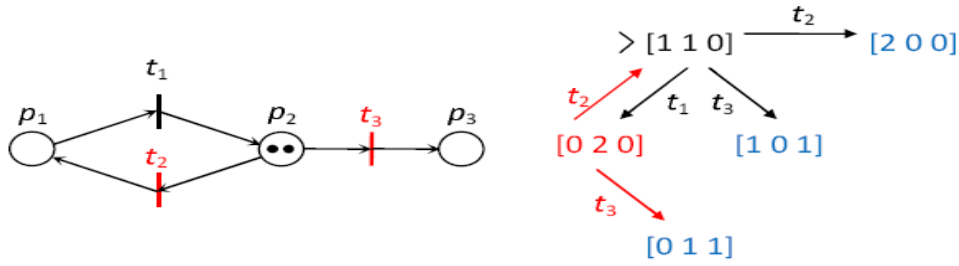
Şekil 3.7. Ulaşılabilirlik ağı örneği

Şekil 3.7'de gösterilen PA'da ilk işaretlemede t_1 , t_2 ve t_3 geçişleri gerçekleşebilir. Bu geçişlerin ortaya çıkması ile ulaşılabilirlik ağacının dallarına geçiş bilgileri atanarak yeni işaretlemeler elde edilir. Şekil 3.8'de t_1 , t_2 ve t_3 gerçekleştiğinde oluşacak olan ağacın ilk dalı gösterilmiştir.



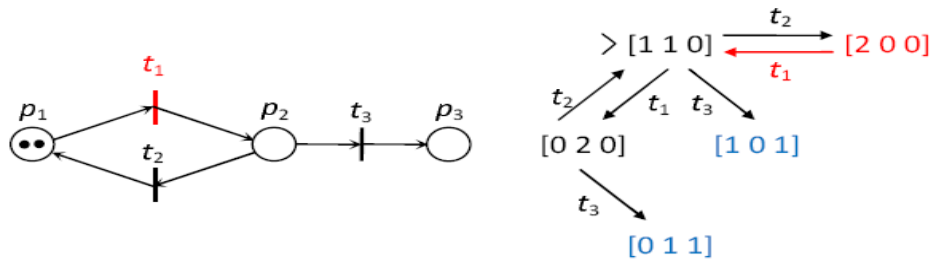
Şekil 3.8. t_1 , t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının birinci adımı

t_1 gerçekleştiğinde $[0\ 2\ 0]$ işaretlemesi, t_2 gerçekleştiğinde $[2\ 0\ 0]$ işaretlemesi ve t_3 gerçekleştiğinde ise $[1\ 0\ 1]$ işaretlemesi elde edilir. Şekil 3.8'de p_2 ile t_2 ve t_3 arasında çift yön mevcut olduğundan t_2 ve t_3 sonsuz sayıda tekrar edilir ve bu durumda ulaşılabilirlik ağacı sonsuz elemanlıdır. Şekil 3.9'da t_2 ve t_3 geçişi ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının ikinci adımı gösterilmiştir. Şekil 3.9'da t_2 ve t_3 sonsuz kere gerçekleşebilir ve her gerçekleştiğinde p_2 deki jeton sayısı 1 artar. Bu şekilde jeton sayısının sonsuza gittiği durumlarda, jeton sayısı ω ile gösterilir ve bu sayı yeterince büyük bir sayı olarak nitelendirilir. t_2 gerçekleştiğinde $[1\ 1\ 0]$ işaretlemesi, t_3 gerçekleştiğinde ise $[0\ 1\ 1]$ işaretlemesi elde edilir.



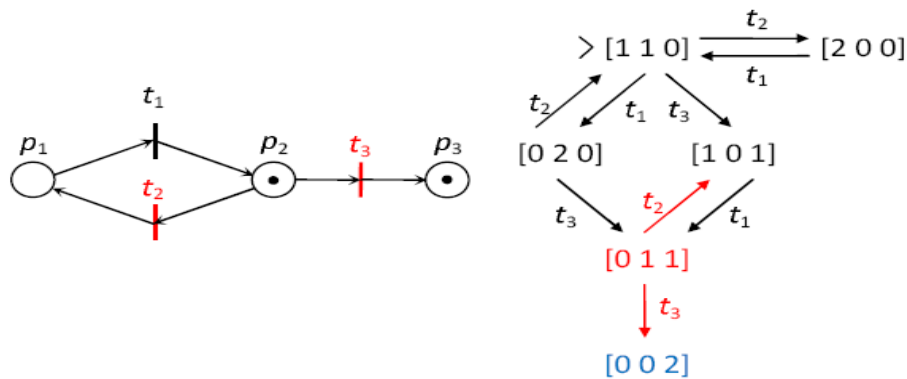
Şekil 3.9. t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının ikinci adımı

Şekil 3.10'da t_1 geçişi ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının üçüncü adımı gösterilmiştir. Şekil 3.10'da p_1 deki jeton sayısı 1 artar. t_1 gerçekleştiğinde ise $[1 \ 1 \ 0]$ işaretlemesi elde edilir. Böylelikle ağacın üçüncü dalı ortaya çıkmış olur.



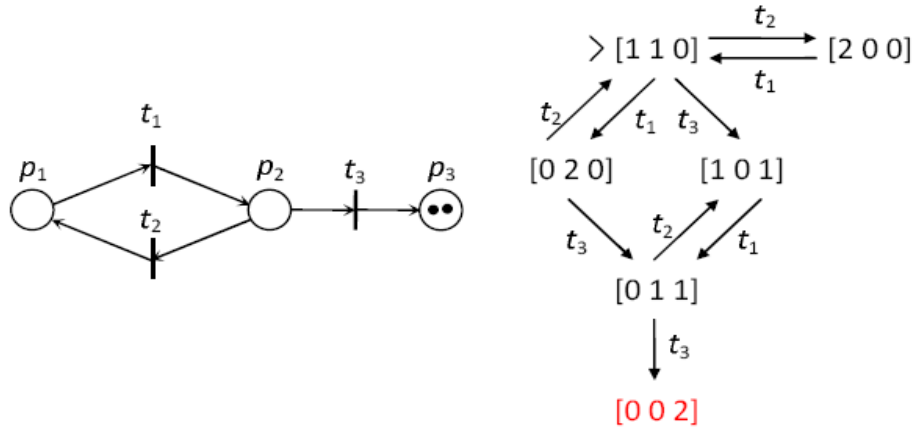
Şekil 3.10. t_1 geçişi ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının üçüncü adımı

Şekil 3.11'de t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının dördüncü adımı gösterilmiştir. t_2 gerçekleştiğinde $[1 \ 0 \ 1]$ işaretlemesi, t_3 gerçekleştiğinde ise $[0 \ 0 \ 2]$ işaretlemesi elde edilir. Böylelikle ağacın dördüncü dalı ortaya çıkmış olur.



Şekil 3.11. t_2 ve t_3 geçişleri ile oluşan ulaşılabilirlik ağacının dördüncü adımı

Ulaşılabilirlik ağacında ilgili geçişlerin gerçekleşmesiyle önceden elde edilen işaretlemeler oluşabilir. Bu düğümlere tekrarlanan düğümler denir ve ilk işaretlemeden sonra oluşan aynı tipteki işaretlemelere de tekrar düğümü denir. Şekil 3.12’de tüm geçişlerin gerçekleşmesi ile oluşacak olan söz konusu PA’nın olası tüm durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Örnek PA’nın olası tüm durum adımları

3.3.2. Tekrar oranı matrisi ve durum denklemi analizi

PA analizinde kullanılan başka bir yöntemde tekrar oranı matrisi ve durum denklemi yaklaşımıdır. Bu yöntemde PA’nın dinamik yapısı tanımlanmaktadır (Zorawski ve Zhou, 1994). Temelde geçişler ve durumlar arasındaki tüm olası bağlantılar tanımlanmakta ve böylece ulaşılabilirlik ağacı elde edilmektedir. Dinamik davranışlar sergileyen tüm sistemler diferansiyel denklemler ya da cebirsel eşitliklerle tanımlanmaktadır. PA’nın dinamik özelliklerinin de denklemlerle tanımlanabilmesi için matris yaklaşımı yöntemi kullanılmaktadır. Konumlar ve geçişler arasındaki ilişkileri temsil eden oklar iki matris şeklinde ifade edilmektedir. Bu matrisler ve oluşum kuralına dayanan doğrusal denklemler oluşturularak jetonların toplamının değişmeden kaldığı konumların alt kümeleri elde edilmektedir. PA modellerinin bazı durumlarında deterministik özelliğe sahip olmamasından dolayı çözümler sınırlı kalacaktır ve kısıtlar sonucu çözüm negatif olmayan sayılar olacaktır. Bu nedenledir ki mevcut PA’nı saf hale getirmek için birtakım durum ve geçiş elemanlarının sisteme eklenmesi gerekecektir (Murata, 1989).

3.3.2.1. Tekrar oranı matrisi

Bir PA için n geçiş sayısı, m durum sayısı olmak üzere tekrar oranı matrisi $A = [a_{ij}]$, $n \times m$ boyutlu ve her bir elemanı;

$$a_{ij} = a_{ij}^+ - a_{ij}^- \quad (3.7)$$

olarak tanımlanan bir matristir. Burada a_{ij}^+ ; t_i geçişini p_j sonraki durumuna bağlayan okun ağırlığını, a_{ij}^- ise t_i geçişini p_j önceki durumuna bağlayan okun ağırlığını ifade etmektedir. Bu ifadede t_i ' nin gerçekleşmesi durumunda p_j ' ye aktarılacak jeton sayısı a_{ij}^+ kadardır. Ayrıca a_{ij}^- de p_j öncelik durumunda kaldırılacak jeton sayısını göstermektedir. Burada a_{ij} , a_{ij}^+ ve a_{ij}^- elemanları ağ içindeki eklenen ve yeri değişen jetonları ifade etmektedir. M olarak isimlendirilen bir ağ için t_i geçişinin gerçekleşmesi $a_{ij}^- \leq M(p_i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, m$ koşulu ile mümkün olmaktadır. A tekrar oranı matrisi yerine A' 'nın transpozunu A^T kullanılır. PA alt kümesi olarak işaretlenmiş ağı tekrar oranı matrisi kadar iyi ifade etmektedir (Murata, 1989).

3.3.2.2. Durum denklemi

M_k , matris denklemlerini oluştururken kullanılan $m \times 1$ boyutlu sütun matrisi olmak üzere, M_k 'nın j girdisi, t_k gerçekleştiikten sonra p_j girişindeki jeton sayısını ifade etmektedir. Kontrol vektörü u_k ise, $n \times 1$ boyutlu, $n-1$ adet sıfır ve bir adet sıfır olmayan girdiden oluşan bir vektördür. Burada negatif olmayan elemanın bulunduğu i . sütun t_i geçişinin gerçekleştiğini göstermektedir. Tekrar oranı matrisindeki j . satır, j . geçişin gerçekleşmesi sonucu oluşacak jeton değişikliğini ifade ettiğinden, bir PA için durum denklemi Denklem 3.8'de verilmektedir.

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.8)$$

Bu ifadede M_k , M_{k-1} işaretlemesinden sonra ulaşılabilir bir işaretleme vektörü, k ise ateşleme vektörü olarak adlandırılır. Eğer k . ateşlemede t_i geçişi ateşlenirse, u_k vektörünün i . elemanı bir ve diğer tüm elemanları sıfır olacaktır. A^T matrisinin i . elemanı t_i geçişinin ateşlenmesi sonucu meydana gelen işaretleme değişimini ifade

etmektedir. Tekrar oranı matrisi ile ilgili olarak iki önemli kavram bulunmaktadır. Bunlar P ve T değişmez değer matrisleridir. Bir P değişmez değer matrisindeki sıfırdan farklı elemanlar okların ağırlığını temsil etmektedir. Bu konumlardaki jetonların ağırlıklı ortalamalarının toplamı bir başlangıç işaretlemesinden ulaşılabilen tüm işaretlemeler için sabittir (Zurawski ve Zhou, 1994). Bu konumlar $\|x\|$ şeklinde gösterilen bir P değişmez değer matrisi tarafından kapsanmaktadır.

Tekrar oranı matrisi incelendiğinde, bir durum birden fazla negatif işarete sahip ise bu işaretler ilişkili geçişlerin birbirleri ile çatışma durumunda olduğunu göstermektedir. Bir durum birden fazla pozitif işaretli ise, bu işaretler ilgili geçişlerin aynı duruma sahip olduğunu göstermektedir. Bu geçişlerden herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda belirtilen sonraki duruma jeton aktarımı söz konusu olur (Teng ve Zhang, 1993).

$1 \times n$ boyutlu bir X vektörü; $A^T X = 0$ koşulunu sağlıyor ise t sabiti olarak adlandırılır. Burada A , PA 'nın tekrar oranı matrisi ve n geçiş sayısını belirtmektedir. X vektöründeki sıfırdan farklı elemanlar söz konusu PA 'nın M_0 durumundan yine M_0 durumuna dönebilmesi için gerekli tedbir adedini göstermektedir. Eğer bir sisteme ait PA 'daki tüm t sabitlerinin aynı elemanı sıfır ise, sistem bir M_0 durumundan aynı M_0 durumuna geri dönemeyecektir.

$1 \times m$ boyutunda negatif olmayan değerlere sahip bir Y vektörü $AY = 0$ koşulunu sağlıyor ise p sabiti olarak adlandırılır. Burada A matrisi tekrar oranı matrisi ve m durum adedini belirtmektedir. p sabitindeki sıfırdan farklı elemanlar ilgili durumların ağırlıklarını göstermektedirler. Durumların ağırlıklandırılmış jeton sayısı toplamı sistem içinde sabit kaldığından M_0 başlangıç durumu, $Y = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_m]$ ve p sabiti ne olursa olsun $S = y_1 M(p_1) + y_2 M(p_2) + \dots + y_m M(p_m)$ değeri tüm $M \in R(M_0)$ için aynıdır. p sabitinin tüm elemanlarının pozitif değerli olması toplam jeton sayısının sınırlandırılmış olması anlamına gelmektedir. p sabitinin tüm elemanlarının 1 olması halinde ise geçişlerin gerçekleşme sırası ne olursa olsun sistemdeki jeton sayısının sabit kaldığını göstermektedir. A^T tekrar oranı matrisi PA 'nın yapısal özelliklerinin analizinde önemli bir rol oynamaktadır. Tablo 3.2'de A^T tekrar oranı matrisi için gerekli olan koşullar gösterilmiştir.

Tablo 3.2. A^T tekrar oranı matrisi için gerekli olan koşullar

Özellik	Gerekli ve Yeterli Koşullar
Yapısal olarak sınırlandırılmışlık	$\exists x > 0, x^T A^T \leq 0$
Korunumluluk	$\exists x > 0, x^T A^T = 0$
Tekrarlılık	$\exists x > 0, A^T x \geq 0$
Tutarlılık	$\exists x > 0, A^T x = 0$

3.4. Petri Ağ Çeşitleri

3.4.1. Renkli petri ağları

Genellikle karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılırlar. Analitik özelliklerinin az olması nedeniyle tek başına yeterli değildirler. Bu nedenle benzetim teknikleriyle birlikte desteklenmeleri gerekmektedir. Renkli PA’da farklı renklerde jetonlar mevcut olup, geçişlerin gerçekleşme sırasına göre renkli jetonlar PA içerisinde hareket etmektedirler.

3.4.2. Bulanık petri ağları

3.4.2.1. Bulanık kümeler teorisi

İlk defa Zadeh tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, esas olarak insan düşünce ve algılarındaki belirsizlikle ilgilenir ve bu belirsizliği sayısallaştırmaya çalışır (Pamuk ve Uyaroğlu, 2010). Bulanık küme teorisinin en önemli özelliği ve katkısı belirsizlik içeren bilgileri temsil edebilme yeteneğidir. Genel anlamda bulanık kelimesi, iyi tanımlanmış sınırları olmayan aktiviteler kümesi veya gözlemlere tanımlamaların yapılamadığı durumları ifade eder (Chen ve Hwang, 1992). Bulanık kümeler teorisinin en önemli gücü ve önemi sayısal değişkenler yerine sözel ifadeleri kullanarak kesin olmayan kavramları temsil etmesidir (Ross, 1995). Klasik kümelerde elemanların bir kümeye ait olma durumları veya üyelikleri iki gruba ayrılır: Üyeler (kesinlikle kümeye ait olanlar) ve üye olmayanlar (kesinlikle kümeye

ait olmayanlar). Klasik kümenin temsil ettiği sınıfa üye olan ve olmayan elemanlar arasında keskin bir ayrım vardır. Klasik küme yaklaşımında bir kümeye giren öğelerin o kümeye ait oluşları durumunda üyelik derecesi 1'e, ait olmamaları durumunda ise 0'a eşit varsayılmaktadır. Bulanık kümeler teorisinde ise elemanların üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değişmektedir.

Klasik kümeler üyelik özelliklerinin kesin olan elemanlarını içerirken, bulanık kümeler üyelik özelliklerinin kesin olmayan elemanlarını içerir. Bu yüzden bulanık bir kümedeki elemanın üyeliği yaklaşık olarak ifade edilir (Ross, 1995). Bir bulanık küme kesintisiz üyelik derecelerine sahip elemanlar topluluğudur (Chen ve Hwang, 1992). Başka bir ifadeyle bulanık küme değişik üyelik derecesinde öğeleri olan bir topluluk olarak tanımlanabilir (Şen, 2001). Bulanık bir küme, evrensel kümedeki her olası elemana, onun bulanık kümedeki üyelik derecesini temsil edecek şekilde bir değer atayarak matematiksel olarak tanımlanmaktadır. Bu üyelik dereceleri $[0,1]$ kapalı aralığında reel sayılarla ifade edilirler.

Matematiksel olarak bulanık kümenin tanımı Zimmermann (1987) tarafından ifade edilmiştir. Buna göre; U klasik bir evrensel küme olsun, elemanları genel olarak x şeklinde gösterilsin. Bu durumda bu evrensel küme, $U = \{x\}$ şeklinde gösterilecektir. U içinde bir A bulanık kümesi, U 'nun her elemanına $[0, 1]$ arasında bir reel sayı değeri atayan $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir. Bulanık küme, A küme elemanı ve üyelik derecesi çifti ile beraber Denklem 3.9'daki gibi gösterilir.

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\} \quad (3.9)$$

Klasik bir A kümesi için üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.10)$$

$U, \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ şeklinde sonlu bir küme ise, U kümesindeki bulanık bir küme olan A denklem 3.11'deki gibi ifade edilir (Zadeh, 1972), (Chen ve Hwang, 1992), (Ross, 1995).

$$f(ti) = A = \left(\sum_{j=1}^h a(pj) \right) / h \times \mu \quad (3.11)$$

Eğer U sonsuz ve sürekli bir küme ise;

$$A = \int \frac{x}{\mu A(x)} \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bulanık bir küme üç önemli özelliğe sahiptir. Bunlar;

1. Bulanık kümenin normal olmasıdır ki, bunun için en azından o kümede bulunan öğelerden bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olması gerekmektedir. Normal olma koşulu, $x \in A$ için $\mu_A(x) = 1$ ile verilmektedir.
2. Bulanık kümenin konveks (dış bükey) olmasıdır ki, bunun anlamı üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik derecelerinin de 1'e yakın olmasıdır. Bulanık kümenin konveks olması uygulama açısından önemlidir.
3. Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa veya sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olması gerekmektedir. Bu duruma bulanık kümenin simetrik özelliği denir.

Bulanık bir kümenin bu üç özellikten ilk iki tanesini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonuna sahip olması gerekmektedir. Bir bulanık kümenin son şart olan simetri özelliğini sağlamasına gerek yoktur.

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad x_1, x_2 \in U \text{ ve } \lambda \in [0, 1] \quad (3.13)$$

Konveks bir bulanık küme üyelik derecesi değerleri monotonik artan veya üyelik derecesi değerleri monotonik azalan veya elemanların artan değerleri için üyelik derecesi değerleri önce monotonik artan ve sonra da monotonik azalan bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Kısaca x, y ve z bir bulanık küme olan A 'nın elemanları olmak üzere ve $x < y < z$ şeklinde bir ilişki varken,

$$\mu_A(y) \geq \min [\mu_A(x), \mu_B(z)] \quad (3.14)$$

ise A'ya konveks bulanık küme denir (Zadeh, 1965). A, B ve C, U evreninde üç bulanık küme olsun. U'daki herhangi bir eleman x olmak üzere A,B ve C bulanık kümeleri için birleşim, kesişim ve tümleyen işlemleri,

$$\text{Birleşim : } \mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.15)$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (3.16)$$

şeklindedir. Burada olduğu gibi A ve B gibi iki tane bulanık kümenin birleşimi durumunda her bir kümeye ait öğenin A ve B'deki üyelik derecelerinin en büyüğü alınır.

$$\text{Kesişim : } \mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.17)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (3.18)$$

şeklindedir. Burada iki kümede de bulunan ortak öğelerin üyelik derecelerinin en küçüğü alınır.

$$\text{Tümleyen : } \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilir. Klasik kümeler için kullanılan DeMorgan kuralı bulanık kümeler içinde kullanılır.

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B} \quad (3.20)$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (3.21)$$

Üyelik fonksiyonu bulanık küme elemanlarının kümeye ait olma derecesini belirleyen matematiksel bir ifadedir. Bulanık kümeler her zaman nesneler evrenini X, [0, 1] birim aralığına taşıyan fonksiyonlardır (Ross, 1995).

3.4.2.2. Bulanık aritmetik işlemler

Bulanık aritmetik işlemler, genelleme ilkesinin doğrudan uygulamasıdır. Bulanık sayılar ile yapılan aritmetik işlemler ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Bulanık Sayılarla Toplama İşlemleri :

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılardan oluşan iki bulanık küme olmak üzere, bu iki bulanık kümenin toplamı, $\forall x, y, z \in R$ olmak üzere,

$$\mu_{\tilde{M}+\tilde{N}}(z) = \max_{z=x+y} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)) \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitliğin sağ tarafındaki maks işaretinin altındaki $z = x + y$ eşitliği $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılarında değişkenlerden x ve y 'nin toplamının z olduğu tüm durumların bulunması anlamına gelmektedir. Bulanık toplama işleminin özellikleri;

- Değişme özelliği: $\tilde{M} + \tilde{N} = \tilde{N} + \tilde{M}$
- Birleşme özelliği : $(\tilde{M} + \tilde{N}) + \tilde{K} = \tilde{M} + (\tilde{N} + \tilde{K})$
- Etkisiz eleman özelliği: $\tilde{M} + 0 = 0 + \tilde{M}$
- Simetrik olmama özelliği: $\tilde{M} + (-\tilde{N}) = (-\tilde{N}) + \tilde{M} \neq 0$

$-\tilde{N}$, $\tilde{N}$ 'nin görüntüsü iken üyelik fonksiyonu $\mu_{-\tilde{N}}(x) = \mu_{\tilde{N}}(-x)$ şeklindedir.

Bulanık Sayılarla Çıkarma İşlemleri :

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılardan oluşan iki bulanık küme olmak üzere, bu iki bulanık kümenin farkı, $\forall x, y, z \in R$ olmak üzere,

$$\mu_{\tilde{M}-\tilde{N}}(z) = \max_{z=x+(-y)} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(-y)) = \max_{z=x+(y)} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{-\tilde{N}}(y)) \quad (3.23)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitliğin sağ tarafındaki maks işaretinin altındaki $z = x+(-y)$ eşitliği $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bulanık sayılarında değişkenlerden x ve $(-y)$ 'nin toplamının z olduğu

tüm durumların bulunması anlamına gelmektedir. Bulanık çıkarma işleminin özellikleri;

- Değişme özelliği: $\tilde{M} - \tilde{N} = \tilde{N} - \tilde{M}$
- Birleşme özelliği : $(\tilde{M} - \tilde{N}) - \tilde{K} = \tilde{M} - (\tilde{N} - \tilde{K})$
- Etkisiz eleman özelliği: $\tilde{M} - 0 = 0 - \tilde{M}$
- Simetrik olmama özelliği: $\tilde{M} - (-\tilde{N}) = (-\tilde{N}) - \tilde{M} \neq 0$

Bulanık Sayılarla Çarpma İşlemleri :

Bulanık sayıların çarpılma işlemi biraz daha karışıktır. Bu karışıklığın nedeni bulanık sayıların işaretlerinin de dikkate alınması gerekliliğidir (Chen ve Hwang, 1992). $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ pozitif bulanık sayılar olmak üzere, $\mu_{\tilde{M}}(x) = 0, \forall x < 0$ ve $\mu_{\tilde{N}}(y) = 0, \forall y < 0$ şeklinde olacaktır.

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ 'nin çarpımının sonucu z ise, $\mu_z(z)$ tepenin ($\mu_z(z) = 1$) solunda monotonik artan, ve sağında da monotonik azalan olduğundan, çarpma işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

1. Sol tarafta, $xy \leq z$ şartını sağlayan tüm (x, y) çiftleri için, $\mu_z(z)$ 'nin sol tarafı Denklem 3.24'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{M} \cdot \tilde{N}}(z) = \max_{xy \leq z} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)) \quad (3.24)$$

1. Sağ tarafta, $xy \geq z$ şartını sağlayan tüm (x, y) çiftleri için, $\mu_z(z)$ 'nin sağ tarafı denklem 3.25'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{M} \cdot \tilde{N}}(z) = \max_{xy \geq z} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)) \quad (3.25)$$

Süreci basitleştirmek için, (x, y) çiftlerinden herhangi birine ait üyelik derecesi 0 olan değerler atlanarak $\mu_{\tilde{M} \cdot \tilde{N}}(z) = 1$ 'i sağlayan z değeri bulunur. Bulanık çarpma işleminin özellikleri;

1. $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ 'nin işaretleri aynı ise $\tilde{M} \cdot \tilde{N}$ pozitif bir bulanık sayıdır.
2. $-\tilde{M} \cdot \tilde{N} = -(\tilde{M} \cdot \tilde{N})$ olduğundan, $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ farklı işaretler alabilirler.
3. Değişme özelliği: $\tilde{M} \cdot \tilde{N} = \tilde{N} \cdot \tilde{M}$
4. Birleşme özelliği : $(\tilde{M} \cdot \tilde{N}) \cdot \tilde{K} = \tilde{M} \cdot (\tilde{N} \cdot \tilde{K})$
5. $\tilde{M}$ 'nin tersi $\tilde{M}^{-1}$ şeklinde ifade edilir ve $\tilde{M} \cdot \tilde{M}^{-1} \neq 1$ 'dir.

Bulanık Sayılarla Bölme İşlemleri :

$\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ pozitif bulanık sayılar olmak üzere, $\mu_{\tilde{M}}(x) = 0, \forall x < 0$ ve $\mu_{\tilde{N}}(y) = 0, \forall y < 0$ şeklinde olacaktır. $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ bölme işleminin sonucu z ise, $\mu_z(z)$ tepenin ($\mu_z(z) = 1$) solunda monotonik azalan ve sağında da monotonik artan olduğundan, bölme işlemi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir (Kaufmann ve Gupta, 1985).

1. Sol tarafta, $z \geq x / y$ şartını sağlayan tüm (x, y) çiftleri için, $\mu_z(z)$ 'nin sol tarafı Denklem 3.26'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{M} : \tilde{N}}(z) = \max_{z \geq x/y} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)), \forall x, y, z \quad (3.26)$$

1. Sağ tarafta, $z \leq x / y$ şartını sağlayan tüm (x, y) çiftleri için, $\mu_z(z)$ 'nin sağ tarafı Denklem 3.27'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{M} : \tilde{N}}(z) = \max_{z \leq x/y} (\mu_{\tilde{M}}(x) \wedge \mu_{\tilde{N}}(y)), \forall x, y, z \quad (3.27)$$

şeklinde. Bölme işlemi çarpma işleminin bir uzantısıdır ve $\tilde{M}^{-1}, \tilde{N}$ 'nin tersi olmak üzere $\tilde{M} \cdot \tilde{N} = \tilde{M} : \tilde{N}^{-1}$ 'dir ve $\tilde{N}^{-1} = \mu_{\tilde{N}^{-1}}(y) = \mu_{\tilde{N}}(1/y)$.

Bulanık bölme işleminin özellikleri;

1. $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ 'nin işaretleri aynı ise $\tilde{M} : \tilde{N}$ pozitif bir bulanık sayıdır.
2. $-\tilde{M} : \tilde{N} = -(\tilde{M} : \tilde{N})$ olduğundan $\tilde{M}$ ve $\tilde{N}$ farklı işaretler alabilirler.
3. Değişme özelliği: $\tilde{M} : \tilde{N} = \tilde{N} : \tilde{M}$
4. Birleşme özelliği : $(\tilde{M} : \tilde{N}) : \tilde{K} = \tilde{M} : (\tilde{N} : \tilde{K})$
5. $\tilde{M}$ 'nin tersi $\tilde{M}^{-1}$ şeklinde ifade edilir ve $\tilde{M} : \tilde{M}^{-1} \neq 1$ 'dir.

3.4.2.3. Petri ağlarında bulanıklık

Karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizinde genellikle iki çeşit belirsizlik bulunmaktadır. Bu belirsizlikler; rassallık ve bulanıklıktır. Rassal modelleme stokastik değişkenliği ifade etmektedir. Bunun yanında bulanıklık sözel yapı veya tam olmayan bilgidен kaynaklanan ölçümdeki kesin olmamayı modellemektedir (Huvd., 2002).

Sistem modellemede karşılaşılan kesin olmama durumunun olası kaynakları; sistem girdileri, sistem çıktıları ve kesin olmayan iç operasyonlardır. Bir PA dört çeşit nesneden oluşmaktadır. Bu nesneler; geçişler, konumlar, jetonlar ve oklardır. Teorik olarak bu nesnelerin hepsi bulanıklaştırılabilir (Srinivasan ve Gracanin, 1993).

1. Bulanık jeton: Bir konuma ait olan veya olmayan standart PA'daki jetonun genellemesidir. Bu şekilde bir jeton gerçeklik değeri olarak 0 veya 1'e sahip bir eleman olarak görülebilir. Bu gerçeklik değerinin $[0, 1]$ birim aralığında bir değer almasına izin verilerek bulanık jeton oluşturulur.
2. Bulanık konum: Kendisiyle ilişkilendirilmiş bir özelliğe sahiptir. Bu konumda yer alan bir jeton bu özelliğe sahip olma derecesi veya bu konuma ait olması ile karakterize edilir. Bu konumda hız düşüktür.
3. Bulanık geçiş: Eğer geçiş bulanık tabanlı bir kural kullanmakta ise bulanık çıkarım algoritmaları ile gerçeklik değerleri elde edilmektedir.
4. Bulanık ok: Kendisine denk gelen girdi jetonunun gereken değerini belirtmektedir. Eğer jeton gereksinimi tam olarak karşılamıyorsa, jeton ile gereken değer arasındaki mesafenin yaklaşık bir tahmini hesaplanır. Eğer mesafe önceden belirlenen maksimum değerden büyük ise geçiş ateşlenemez. Minimum mesafeli jeton seçilmektedir.

Dinamik eş zamanlı sistemlerin performans değerlendirmesi ve tanımlanmasında süre kavramı önemli bir rol oynamaktadır. Karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizinde olasılık süreli PA güçlü bir modelleme aracı olarak öne çıkmaktadır. Zaman gecikmesinin olasılık fonksiyonlarıyla ifade edildiği Stokastik PA sistemdeki

belirsizlikleri olasılıksal ölçüler kapsamında iyi bir şekilde karakterize edebilmektedir.

Klasik stokastik PA yöntem ve araçları kullanılarak büyük ölçekli sistemlerin modellenmesinde en önemli problem durum uzayının aşırı büyümesi problemidir. Bulanık kümeler yaklaşımıyla farklı olabilirlik içeren farklı senaryolar aynı anda modellenabilir ve aynı zamanda da model karmaşıklığı kontrol altında tutulabilir. Dahası fazla sayıda bileşen ve kaynak içeren sistemler, kesin olmayan sayıda aktif bileşen ve kaynak tarafından tanımlanan bulanık durumlar kullanılarak daha kompakt bir şekilde modellenabilir (Ammar ve Yu, 1995).

BPA gerçek zamanlı sistemler, sistem belirsizliklerini ele alabilmek için ortaya koyulmaktadır. BPA’da bulanık küme teorisi belirsiz veya öznel sistem bilgisini ifade etmek için kullanılmaktadır. BPA’da bir t geçişinden p konumuna olan her bir (t, p) oku, $d_{tp}(\tau)$ şeklinde ifade edilen bir bulanık gecikmeyle ilişkilendirilmektedir. Bu fonksiyon t geçişinin bir olayının başlamasını takiben bir jetonun p konumuna varması için gereken uzunluğun olabilirlik dağılımıdır. Kullanılan hesaplamalar, tekrarlı toplamalar ve reel sayıların karşılaştırılması sadece sonlu sayıda belirli sıralama için gerekli olduğundan hızlı hesaplama kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca tüm durum uzayını elde etmeye gerek olmadığı için, sistem hakkında gereken bilgiye daha rahat ulaşılmasını sağlamaktadır.

Bulanık bir işaretlemde her bir jeton lokasyonu konumlar kümesi üzerinde bir olabilirlik dağılımına sahiptir. $[a, b]$ zaman aralığı (o^*, p) çifti ile ilişkilendirilmiş $\mu_{o^*, p}$ şeklinde üyelik fonksiyonu ile temsil edilirse, o^* jetonunun p konumuna ait olduğu durumlar kümesi;

$$\mu_{o^*, p}(\tau) = \pi_{o^*}(p) \quad (3.28)$$

şeklinde hesaplanır. Bu yaklaşım değişen durumların dikkate alınması ve belirsiz bilgiyi birleştirmesi açısından önemlidir.

BPA'nın incelenmesi ve performans analizinde iki temel kavram önemli rol oynamaktadır (Zhou ve Venkatesh, 1999). Bunlar bir döngüdeki toplam zaman gecikmesi ve bir döngüdeki toplam jeton sayısıdır. Toplam jeton sayısı döngüye ait konumlarda yer alan jetonların toplanmasıyla elde edilmektedir. BPA'da çevrim süresi, Denklem 3.29'daki formül ile hesaplanır.

$$\pi = Maks_i\left(\frac{D_i}{N_i}\right) \quad (3.29)$$

Burada D_i : i. döngünün toplam gecikmesini, N_i : i. döngünün jeton sayısını, D_i / N_i ise i. döngünün çevrim zamanını ifade etmektedir.

Eğer toplam gecikme $[\tau_{Min}, \tau_{Maks}]$ gibi zaman aralığı şeklinde verilirse, çevrim süresinin alt ve üst sınırları Denklem 3.30'daki formül ile elde edilir.

$$\pi_{Min} = Maks_i\left(\frac{D_{Min,i}}{N_i}\right) \quad ve \quad \pi_{Maks} = Maks_i\left(\frac{D_{Maks,i}}{N_i}\right) \quad (3.30)$$

Burada $D_{Min,i}$ ve $D_{Maks,i}$ tüm gecikmeler için π_{Min} ve π_{Maks} değerlerini baz alan i. döngünün toplam gecikmesidir. $[\tau_{Min}, \tau_{Maks}]$ gecikmeli bir geçişin olurlu hale geldikten sonra en az τ_{Min} ve en fazla τ_{Maks} kadar süre sonra ateşlenebilmektedir. Elde edilen bu alt ve üst sınırlar kaynakların kullanım durumuyla ilgili problemlerin analiz edilmesine imkân vermektedir.

3.5. Petri Ağlarının Avantajları

PA modelleri kontrol alanında, benzetimde ve performans analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. PA ayrık olaylı sistemlerin tasarımı için matematiksel ve grafiksel özelliklere sahip güçlü bir araçtır. PA'nın başlıca avantajları;

1. Sistem çıkmazı, kilitlenme ve kararsızlık gibi istenmeyen durumlar için sistemi kontrol edebilme yeteneği bulunması,
2. Birçok sistem için benzetim yapılmaksızın performans analizi yapılabilmesi,

3. Üretim alanları, kaynak kullanımı, güvenilirlik ve performans ölçümünün yapılabilmesi,
4. Gerçek-zaman görüntüsüne izin veren durum bilgisine sahip olması,
5. Hangi zamanda sistemin ne durumda olduğunun kolayca öğrenilebilmesidir.

3.6. Petri Ağları için Benzetim Programları

PA için GreatSPN, TimeNet, Cptool, MatLab Toolbox, HPSim ve PIPE2 gibi birçok benzetim programı mevcuttur. Bunların listesine (PA, 2012) kaynağından erişilebilir. Birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcut olan bu programlardan PIPE2 benzetim programı, gerek kullanım kolaylığı, gerek benzetimi anlık izleme ve sonuçları gösterme kabiliyeti ile çalışmamızda tercih edilmiştir.

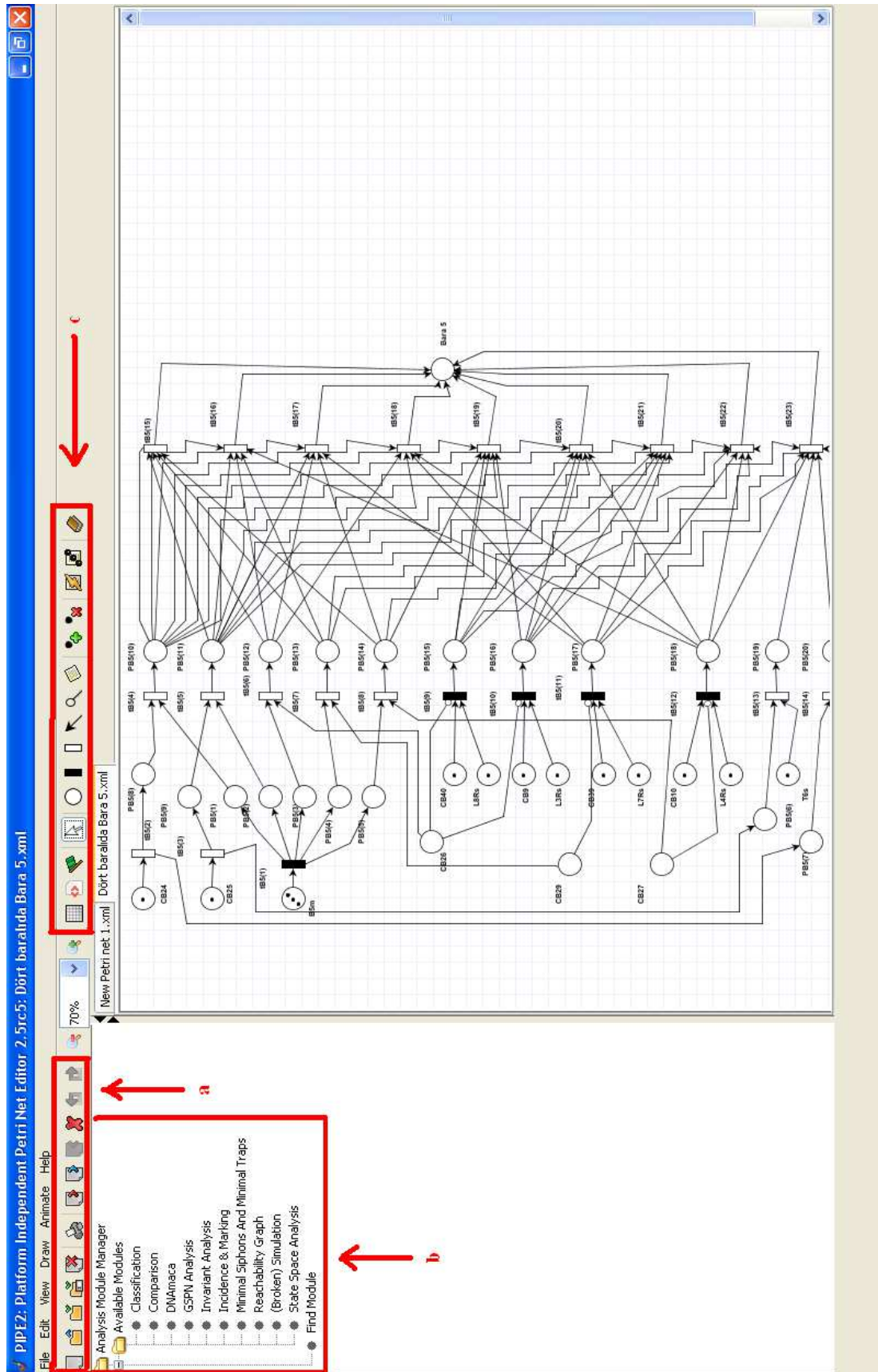
PIPE2, PA'nın hem grafiksel hem de sezgisel tarzda tasarım ve benzetimi için geliştirilmiştir. PIPE2 benzetim yazılımı, BPA'yı destekler. Ağın büyüklüğü ve karmaşıklığı kullanılan bilgisayarın kapasitesi ile sınırlıdır. Benzetim, jeton oyunu animasyonu şeklinde görselleştirilebilmektedir. Bu işlem adım adım ya da sürekli kipte yürütülebilir. Ayrıca hızlı kip ile benzetimin sonuç anına direk ulaşılabilir (PIPE2, 2012).

PIPE2 benzetim programının ara yüzü Şekil 3.13'de görülmektedir. Burada ortada bulunan alan tasarım alanıdır.

a bloğunda yeni çalışma sayfasının açılması, yazıcıdan çıkış alınması ve yapılan çalışmanın kaydedilebilmesi işlemleri mevcuttur.

b bloğunda seçilen herhangi bir nesnenin özellikleri belirlenebilmekte, benzetim aşamasında hangi işlemlerin yapıldığı görülmektedir.

c bloğunda nesne paleti bulunmakta, benzetim aşamasının nasıl yürütüleceği (adım adım, normal, hızlı benzetim) seçilmektedir. Sıfırlama işlemleri ile animasyon ekleme özelliği mevcuttur. Benzetim ile ilgili bilgiler (adım sayacı, zaman, ulaşılabilirlik ağacı, durum uzay analizi, tekrar oranı matrisi ve karşılaştırma seçenekleri) b bloğu çalıştırıldıktan sonra elde edilmektedir.



Şekil 3.13. PIPE2 benzetim programı ara yüzü

BÖLÜM 4. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ KORUMA ELEMANLARININ PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ

4.1. Giriş

PA ile modellemedeki asıl amaç gerçek hayatta karşımıza çıkan sistemlerin koşul-olay mantığında çalışmasıdır. Ağlar, koşullar ve bu koşullara bağlı olarak gerçekleşen olaylardan oluşur. Yani PA'daki durum elemanı sistemdeki koşulları karşılarken, geçiş elemanı ise koşulun sağlanması durumunda ortaya çıkan olaya karşılık gelir. Bir durumda yer alan jeton sayısı o durumla ifade edilen koşula ilişkin kaynak sayısını belirtir. Güç sistemlerindeki koruma yapıları aşağıda verilmiştir.

1. Sistemi tanımlama; Güç sistemindeki baraların numaralarının verilmesi ve koruma tipinin seçilmesi sistem tanımlanmasında kullanılır.
2. Koruma alanının tanımlanması; Koruma bölgeleri sınırlandırılarak alanlar tanımlandırılır.
3. Olası arızaların çalışması; Ana arıza modeli seçilerek bu arızanın sistem üzerindeki etkisi incelenir.
4. PA yapılarının oluşturulması; Her bir arıza durumu için oluşabilecek olan PA yapılarının olasılıkları incelenerek, arıza bölgeleri belirlenir.

Güç sisteminin modellenmesi sırasında, sistem alt bölümlere ayrılarak her bölümün ayrıntıları ile modellenmesi yapılmıştır. Her bölümün kendine has özellikleri korunarak modellemeler birleştirilmiş böylece ana koruma sistemlerinin PA modeli elde edilmiştir. Bu bölümde iki ve beş baralı örnek güç sistemlerindeki iletim hattı ve baraların PA modellenmesi yapılmıştır. Modelleme sonucunda her bir bara tipine ait genel koruma yapılarının doğruluk değerleri, ortalama jeton sayıları ve jetonların bulunma sıklıkları incelenmiştir.

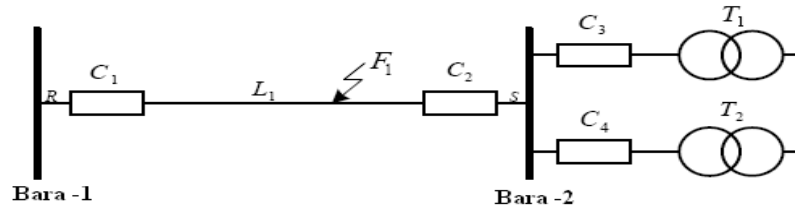
4.2. Koruma Elemanlarının Petri Ağları ile Modellenmesi

4.2.1. İki baralı güç sisteminin modellenmesi

PA yapısı oluşturulurken, iletim hattı arızalarında mesafe koruma rölelerinin, bara arızalarında ise bara koruma rölelerinin çalıştığı kabul edilmiştir. Sistemde oluşacak olan arızaların üç faz olduğu kabul edilmiştir.

4.2.1.1. İletim hattına ait petri ağı modeli

Şekil 4.1’de iki bara ve iki transformatöre sahip örnek bir güç sistemi gösterilmiştir. Bara - 1 ve bara - 2, L_1 enerji iletim hattı ile birbirine bağlanmıştır. Şekil 4.1’deki sistemin koruma elemanları (kesicileri) C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 ’dür.

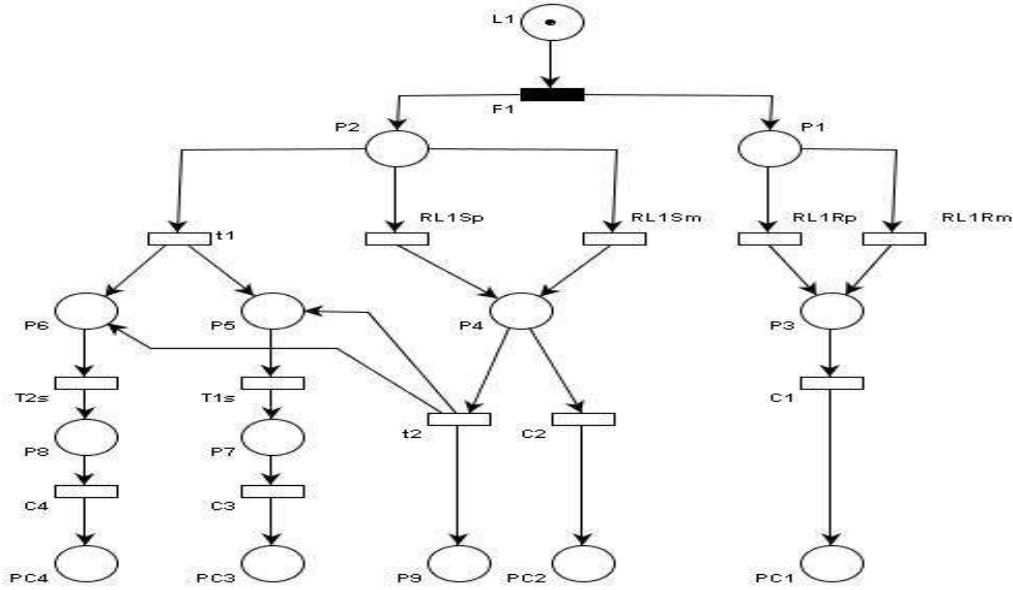


Şekil 4.1. İki baralı ve iki transformatörlü örnek bir güç sistemi

L_1 enerji iletim hattı üzerinde üç fazlı bir arıza olduğu takdirde, arızanın güç sistemine dağılarak büyümesini önlemek amacıyla koruma röleleri kullanılmaktadır. Şekil 4.1’deki güç sisteminde C_1 ve C_2 , L_1 enerji iletim hattına ait koruma röleleridir.

Arıza anında C_1 ve C_2 koruma röleleri bara – 1 ve bara – 2 kesicilerine açma sinyali gönderir. Gönderilen açma sinyali, kesicilerin otomatik olarak çalışmasını sağlar. Kesiciler röleler tarafından yerel olarak kontrol edilirler. Röleler önceden ayarlanmış olan akım ve gerilim sınır değerlerine ulaştığı takdirde çalışmaya başlarlar. Röleler içerisinde fiber optik kablunun geçtiği koruma iletkenleri (OPGW) veya hat tıkaçları yardımıyla kontrol merkezine açma işlemi hakkında bilgi gönderirler. Şekil 4.2’de L_1 enerji iletim hattında oluşacak olan arıza anındaki sistem davranışlarının PA modeli gösterilmiştir. Bu model 14 adet durum bilgisinden ve 13 adet geçiş

bilgisinden oluşmaktadır. Sistemdeki tüm durum ve geçiş bilgileri arasındaki ateşleme birimlerinin ağırlık derecesi 1'dir. L_1 durumunun bir jetona sahip olması, bara – 1 ve bara – 2 arasındaki iletim hattında bir arızanın olduğunu göstermektedir. F_1 geçişinin ateşlenmesi, bara – 1 ve bara – 2 arasındaki iletim hattında bir arıza olacağını göstermektedir (Pamuk ve Uyaroglu, 2012).



Şekil 4.2. İki baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli

Sistemdeki p_1 ve p_2 durumları, iletim hattına ait röleler tarafından algılanan akım ve gerilim sınır değerlerinin değişimini ifade etmektedir. R_{L1Rm} ve R_{L1Rp} geçişleri iletim hattındaki C_1 kesicisine ait ana ve birinci koruma sinyallerinin çalıştığını ifade etmektedir. T_{1s} ve T_{2s} geçişleri ise geri kademedeki C_3 ve C_4 kesicilerine ait ikinci koruma sinyallerinin çalıştığını ifade etmektedir. t_1 geçişi, R_{L1Sm} ve R_{L1Sp} rölelerinin arızalı çalıştığı veya C_2 kesicisinin kontaklarının açmadığı anlamına gelmektedir.

Sistemde C_2 kesicisi için düşünülen arıza durumları C_1 kesicisi içinde düşünülebilir. Sistemdeki p_5 ve p_6 durumları C_3 ve C_4 kesicilerine ait röleler tarafından olası arızaların algılanarak T_{1s} ve T_{2s} geçişlerini ateşlemesini ifade etmektedir. p_3 , p_4 , p_7 ve p_8 durumları ise röleler tarafından kesicilere gönderilen trip sinyallerini ifade etmektedir. Örneğin p_3 durumunda jetonun bulunması, R_{L1Rm} veya R_{L1Rp} geçişlerinden birisinin ateşlendiğini ifade etmektedir. C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 geçişleri kesici

durumlarını, PC_1 , PC_2 , PC_3 ve PC_4 ise sırasıyla C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 kesicilerine trip sinyalinin ulaştığını ifade etmektedir. P_9 durumu ise C_2 kesicisindeki arızadan dolayı ikinci korumanın çalıştığını ifade etmektedir. Şekil 4.2'deki PA modeline ait tekrar oranı matrisi;

$$C_{L1} = \begin{bmatrix} F_1 & R_{L1Rm} & R_{L1Rp} & R_{L1Sm} & R_{L1Sp} & t_1 & C_1 & C_2 & t_2 & T_{1s} & T_{2s} & C_3 & C_4 \\ L_1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ P_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ P_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ PC_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ PC_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ P_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ PC_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ PC_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

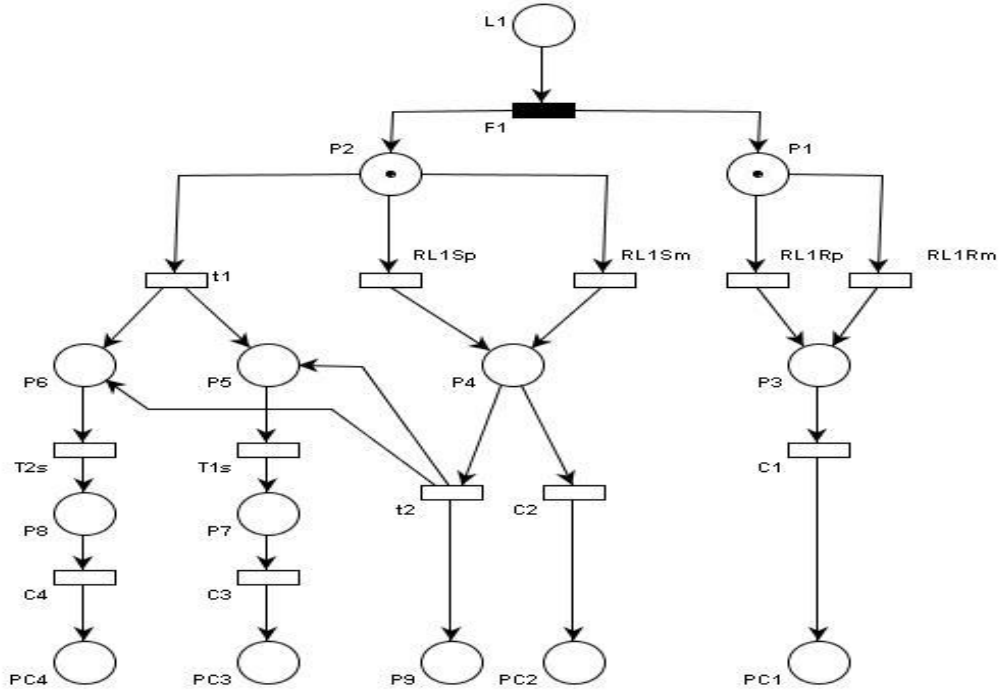
İşaretlenmiş vektörü;

$$M = [L_1, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, PC_1, PC_2, P_9, P_7, P_8, PC_3, PC_4]^T \quad (4.1)$$

Ateşlenmiş geçiş vektörü ise;

$$U = [F_1, R_{L1Rm}, R_{L1Rp}, R_{L1Sm}, R_{L1Sp}, t_1, C_1, C_2, t_2, T_{1s}, T_{2s}, C_3, C_4]^T \quad (4.2)$$

vektörlerinden oluşmaktadır. Denklem 4.1'e göre işaretlenmiş başlangıç vektörü, $M_0 = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$ olur. Bu durumda F_1 geçişi aktifleşir ve içerisinde ağırlığı 1 olan bir adet jeton bulundurur. Denklem 4.2'ye göre ateşlenmiş geçiş vektörü ise, $U_1 = [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$ olur. Bu durumda F_1 geçişi ateşlenmiştir. Sonuç olarak her bir çıkış durumu bir adet jetona sahip olacaktır. Bu durum Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. F_1 geçişinin ateşlenmesi

F_1 geçişi ateşlendikten sonra Denklem 3.8'deki formül ile yeni oluşacak olan işaretleme vektörü M_1 elde edilir. Buna göre; $M_1 = [0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$ olur. p_1 ve p_2 durumlarındaki jetonlar ise iletim hattına ait akım ve gerilim değerleri değişiminin röleler tarafından tespit edilmesini ifade etmektedir. R_{L1Rm} rölesinin doğru olarak çalıştığı durumda, kendi kesicisine gelen trip sinyalini algılayacak ve sorumlusu olduğu kesiciye trip sinyali gönderecektir. Sonuç olarak yenilenmiş olan ateşleme geçiş vektörü U_2 elde edilir.

$$U_2 = [0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

Denklem 3.8'deki formül ile yeni oluşacak olan işaretleme vektörü M_2 elde edilir.

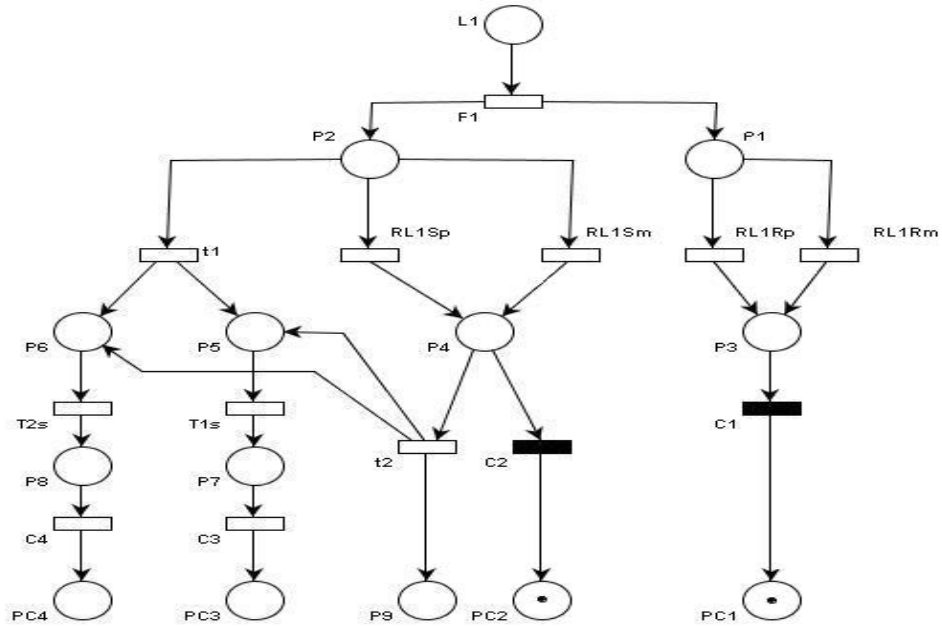
$$M_2 = M_1 + A^T \times U_2 = [0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

C_1 ve C_2 kesicilerine ait rölelerden trip sinyallerinin alınması, sistemdeki p_3 ve p_4 durumlarında birer adet jetonun bulunduğunu ifade etmektedir. Bu durum Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

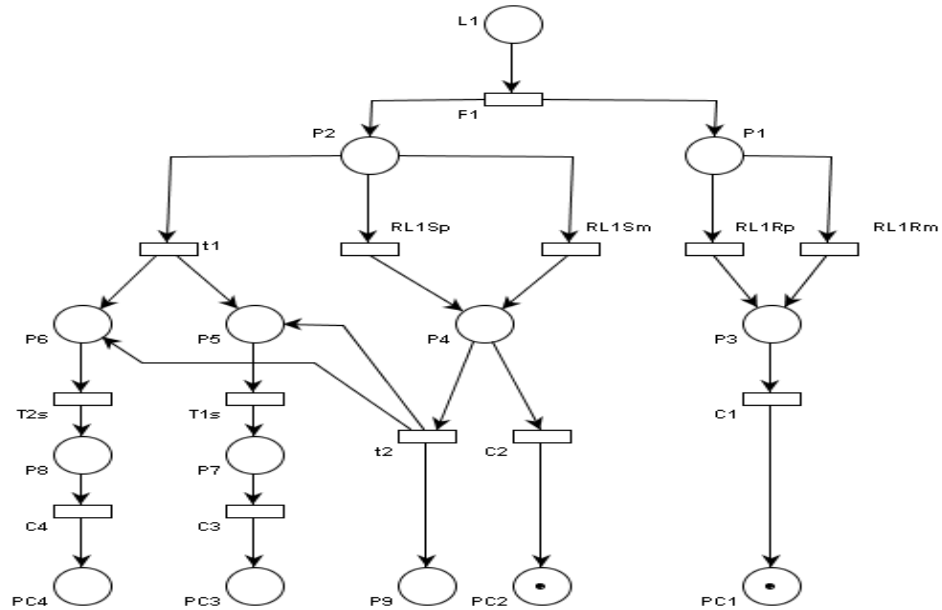
$$U_4 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

$M_4 = M_3 + A^T \times U_4$ ve $U_4 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$ olduğu için $M_4 = M_3$.

$$M_4 = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0]^T$$



Şekil 4.5. C_1 ve C_2 geçişlerinin ateşlenmesi

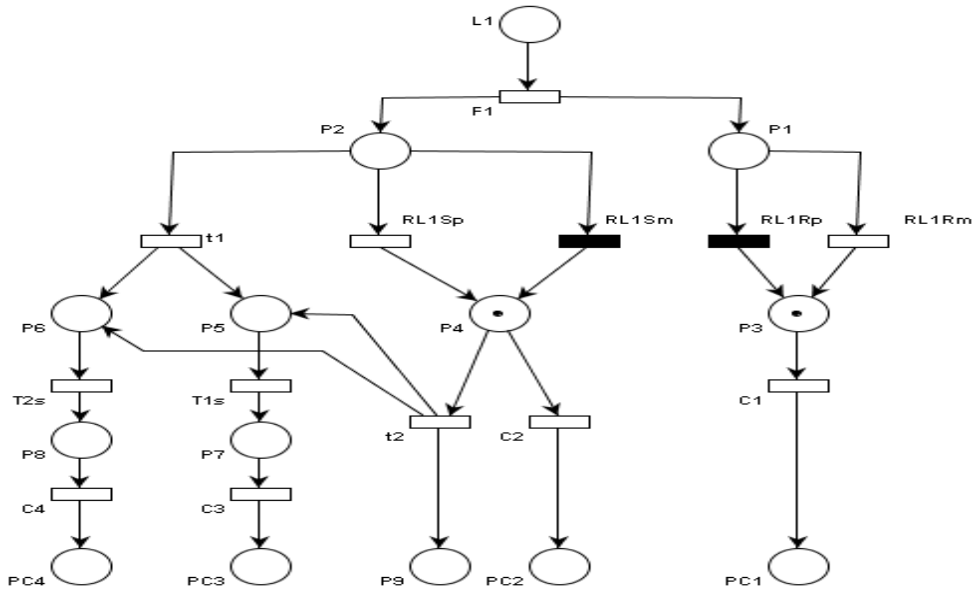


Şekil 4.6. Değişmez durum şartlarının olduğu PA modeli

Bu bölüme kadar R_{L1Rm} geçişinin ateşlendiği kabul edilerek C_1 kesicisine ait ana koruma yapısından bahsedilmiştir. Ancak sistemde C_1 kesicisine ait ana koruma yapısının çalışmadığı durumlarda, C_1 kesicisine ait birinci koruma yapısı devreye girerek, R_{L1Rp} geçişinin ateşlenmesini sağlar. Bu durum PA modelinde R_{L1Rm} ve R_{L1Rp} geçişlerinin birbirine paralel olması ile gerçekleşir. R_{L1Rp} geçişi ateşlendiği durumda yenilenmiş ateşleme geçiş vektörü U_2 ve yenilenmiş işaretleme vektörü M_2 elde edilir. Şekil 4.7’de bu duruma ait PA modeli gösterilmiştir. Jetonların p_3 ve p_4 durumlarına geçmesi ile daha önce anlatılan yenilenmiş ateşleme geçiş vektörleri ve yenilenmiş işaretleme vektörleri (U_3 , M_3 ve U_4 , M_4) aynen elde edilir.

$$U_2 = [0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

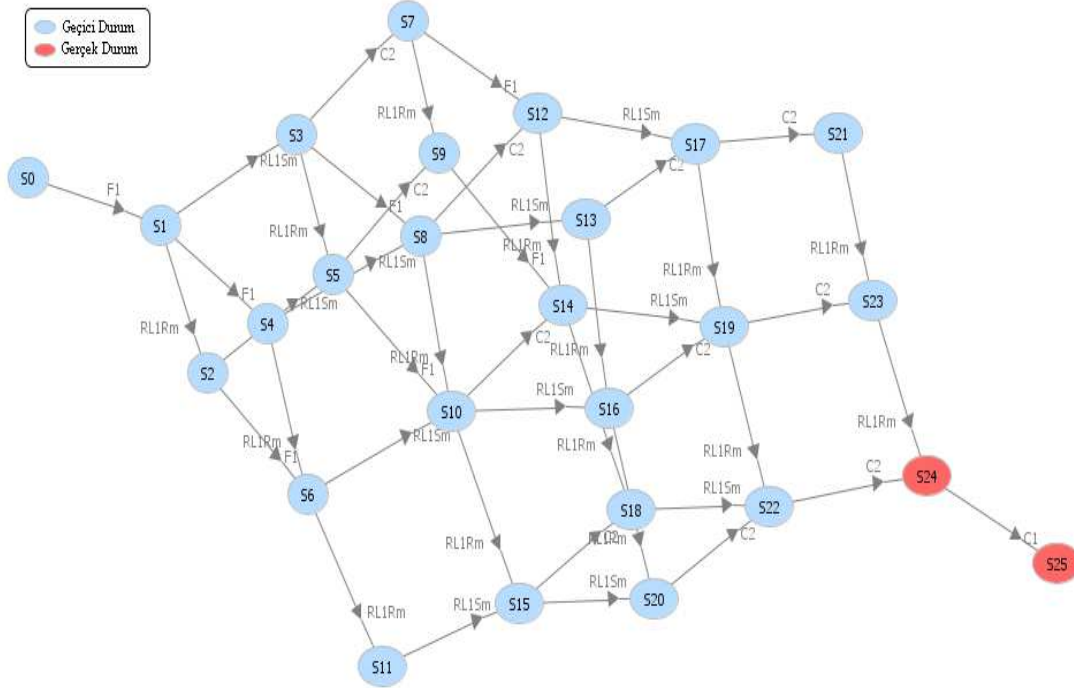
$$M_2 = M_1 + A^T \times U_2 = [0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$



Şekil 4.7. R_{L1Rp} ve R_{L1Sm} geçişlerinin ateşlenmesi

Şekil 4.8’de C_1 ve C_2 kesicilerine ait ana koruma rölelerinden trip sinyali gelmesi ile kesicilerin açması ve arızayı temizlemesi duruma ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacı 32 msn’de elde edilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S_0 başlangıç durumunu göstermektedir. S_1 , L_1 iletim hattına ait arıza durumunu göstermektedir. S_2 , C_1 kesicisine ait ana koruma durumunu, S_3 ise C_2

kesicisine ait ana koruma durumunu göstermektedir. S_{24} ve S_{25} ise sırasıyla C_2 ve C_1 kesicilerinin açması sonucunda arızanın temizlendiği durumu göstermektedir.



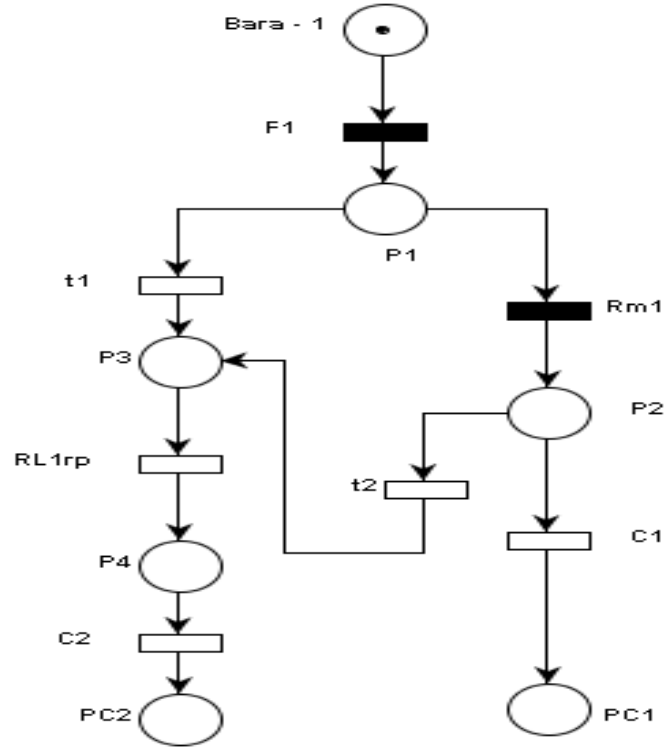
Şekil 4.8. İki baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağı

4.2.1.2. Baralara ait petri ağı modeli

Bara – 1 Petri Ağı Modeli :

Şekil 4.9’da iki baralı örnek güç sistemindeki bara – 1’e ait PA modeli gösterilmiştir. Bu model 7 adet durum bilgisinden ve 7 adet geçiş bilgisinden oluşmaktadır. Sistemdeki tüm durum ve geçiş bilgileri arasındaki ateşleme birimlerinin ağırlık derecesi 1’dir. Bara-1 durumunda jeton bulunması, bara – 1’de arıza olduğunu ifade etmektedir. P_1 durumu, bara -1’deki akım ve gerilim değişimlerinin röleler tarafından algılanmasını, R_{m1} geçişi ise bara – 1’in ana koruma yapısını ifade etmektedir. R_{L1rp} geçişi L_1 enerji iletim hattından alınan bilgilerle C_2 kesicisine ait ikinci koruma yapısını ifade etmektedir. t_1 ve t_2 geçişleri bara – 1’e ait R_{m1} rölesi veya C_1 kesicisinde arıza olması durumunu, p_3 durumu ise R_{L1rp} rölesi tarafından arızanın algılanmasını ifade etmektedir. p_2 ve p_4 durumları C_1 ve C_2 kesicilerine kendi röleleri

tarafından trip sinyali gönderildiğini ifade etmektedir. Bu model dinamik yapısı ve tanımlamalar açısından L_1 iletim hattı model yapısı ile benzerlikler göstermektedir.



Şekil 4.9. İki baralı güç sistemindeki bara - 1'e ait PA modeli

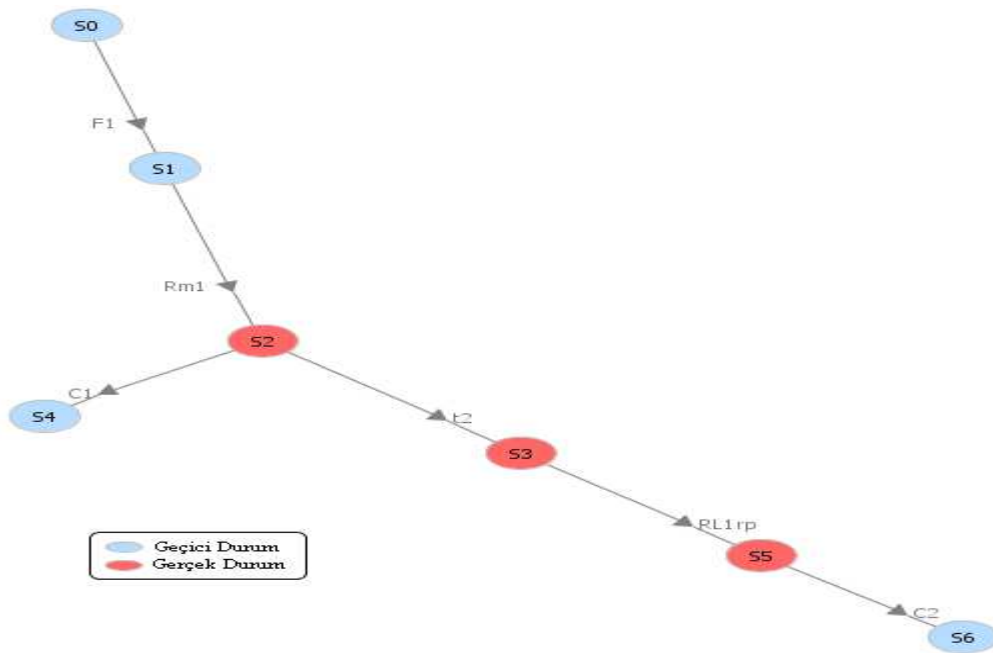
Denklem 3.7'deki formül ile tekrar oranı matrisi elde edilir. Buna göre Şekil 4.9'daki PA modeline ait tekrar oranı matrisi;

$$A^T = a_{ij} = a_{ij}^+ - a_{ij}^-$$

$$a_{ij} = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{Bara-1} \\ P1 \\ P2 \\ PC1 \\ P3 \\ P4 \\ PC2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} F1 & Rm1 & C1 & t2 & t1 & RL1rp & C2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & - & \begin{bmatrix} F1 & Rm1 & C1 & t2 & t1 & RL1rp & C2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A^T = a_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} F1 & Rm1 & C1 & t2 & t1 & RL1rp & C2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bara-1 \\ P1 \\ P2 \\ PC1 \\ P3 \\ P4 \\ PC2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 4.10’da iki baralı sistemdeki bara – 1 ‘e ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S_0 başlangıç durumunu göstermektedir. S_1 , bara - 1 ‘e ait arıza durumunu, S_2 , S_3 ve S_5 durumları ise bara – 1 ‘e ait ana korumadaki arıza durumunu göstermektedir. S_4 ve S_6 ise sırasıyla C_1 ve C_2 kesicilerinin açması sonucunda arızanın temizlendiği durumu göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 15 msn’de elde edilmiştir.



Şekil 4.10. İki baralı güç sistemindeki bara – 1 barasına ait ulaşılabilirlik ağacı

PIPE2 programı yardımıyla bulanık zamanlı değişmez durum analizi yapılmıştır. Tablo 4.1’de bara – 1’e ait işaretleme vektörleri gösterilmiştir.

Tablo 4.1. İki baralı güç sistemindeki bara – 1’e ait işaretleme vektörleri

İşaretleme Vektörleri	Durum Değişkenleri						
	Bara - 1	P ₁	P ₂	PC ₁	P ₃	P ₄	PC ₂
M ₀	0	0	1	0	0	0	0
M ₁	0	0	0	0	1	0	0
M ₂	0	0	0	0	0	1	0

Tablo 4.1 incelendiğinde ilk işaretleme vektöründe (M₀), P₂ = 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki arızayı ilk olarak ana koruma rölesinin görmesi ve temizlemesi gerekliliğidir. İkinci işaretleme vektöründe (M₁), P₃ = 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı C₁ kesicisinin açmaması veya ana koruma rölesinin arızalanmasıdır. Üçüncü işaretleme vektöründe (M₂), P₄ = 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı ise, C₂ kesicisine ait birinci koruma rölesinin arızayı görmesi ve temizlemesidir (Pamuk ve Uyaroğlu, 2012). Tablo 4.2’de ortalama jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklığı gösterilmiştir.

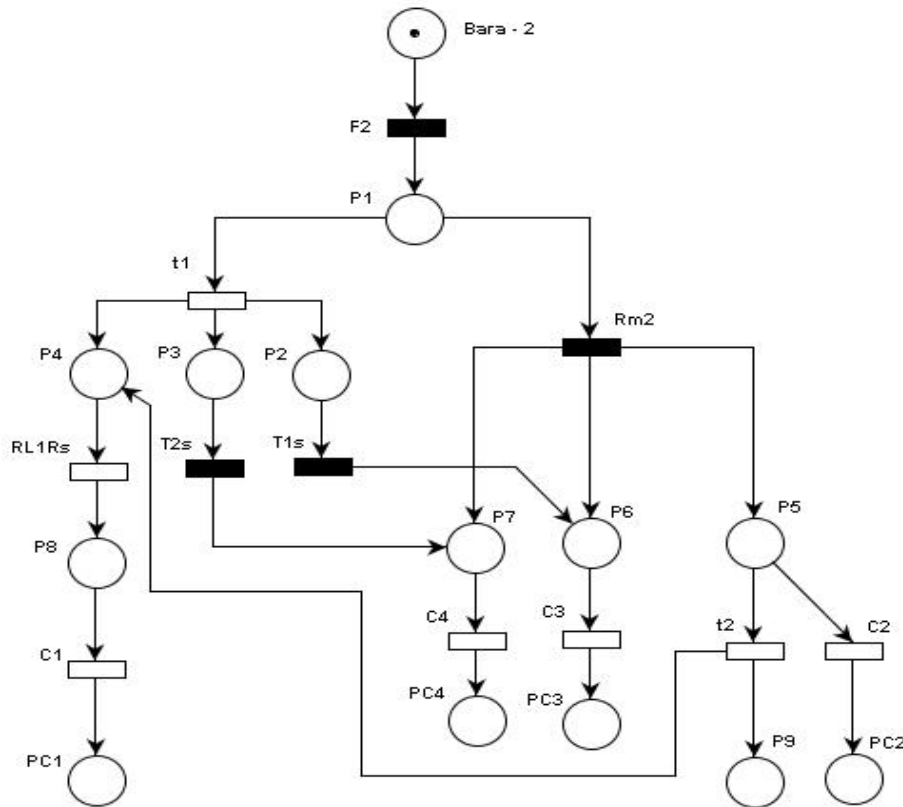
Tablo 4.2. İki baralı güç sistemindeki bara – 1’e ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı

Durum Değişkenleri	Ortalama Jeton Sayısı	Jetonların Bulunma Sıklığı	
		μ = 0	μ = 1
Bara – 1	0	1	0
P1	0	1	0
P2	0	1	0
PC1	0	1	0
P3	0	1	0
P4	1	0	1
PC2	0	1	0

Bara – 2 Petri Ağı Modeli :

Şekil 4.11’de iki baralı örnek güç sistemindeki bara – 2’ye ait PA modeli gösterilmiştir. Bu model 14 adet durum bilgisinden ve 11 adet geçiş bilgisinden oluşmaktadır. Sistemdeki tüm durum ve geçiş bilgileri arasındaki ateşleme birimlerinin ağırlık derecesi 1’dir. Bara – 2 durumunda jeton bulunması, bara – 2’de

arıza olduğunu ifade etmektedir. P_1 durumu, bara - 2'deki akım ve gerilim değişimlerinin röleler tarafından algılanmasını, R_{m2} geçişi ise bara - 2'in ana koruma yapısını ifade etmektedir. T_{1s} ve T_{2s} geçişleri ise bara - 2'ye bağlı C_3 ve C_4 kesicilerinin ikinci koruma yapısını ifade etmektedir. R_{L1rs} geçişi, L_1 enerji iletim hattından alınan bilgilerle C_1 kesicisine bağlı ikinci koruma yapısını ifade etmektedir. t_1 ve t_2 geçişleri bara - 2'ye ait R_{m2} rölesi veya C_2 kesicisinde arıza olması durumunu ifade etmektedir. p_2 , p_3 ve p_4 durumları ise, sırasıyla T_{1s} , T_{2s} ve R_{L1rs} röleleri tarafından arızanın algılanmasını ifade etmektedir. p_5 , p_6 , p_7 ve p_8 durumları ise C_2 , C_3 , C_4 ve C_1 kesicilerine kendi röleleri tarafından trip sinyali gönderildiğini ifade etmektedir. Bu model dinamik yapısı ve tanımlamalar açısından L_1 iletim hattı model yapısı ile benzerlikler göstermektedir.



Şekil 4.11. İki baralı güç sistemindeki bara - 2'ye ait PA modeli

Şekil 4.11'deki PA modeline ait tekrar oranı matrisi;

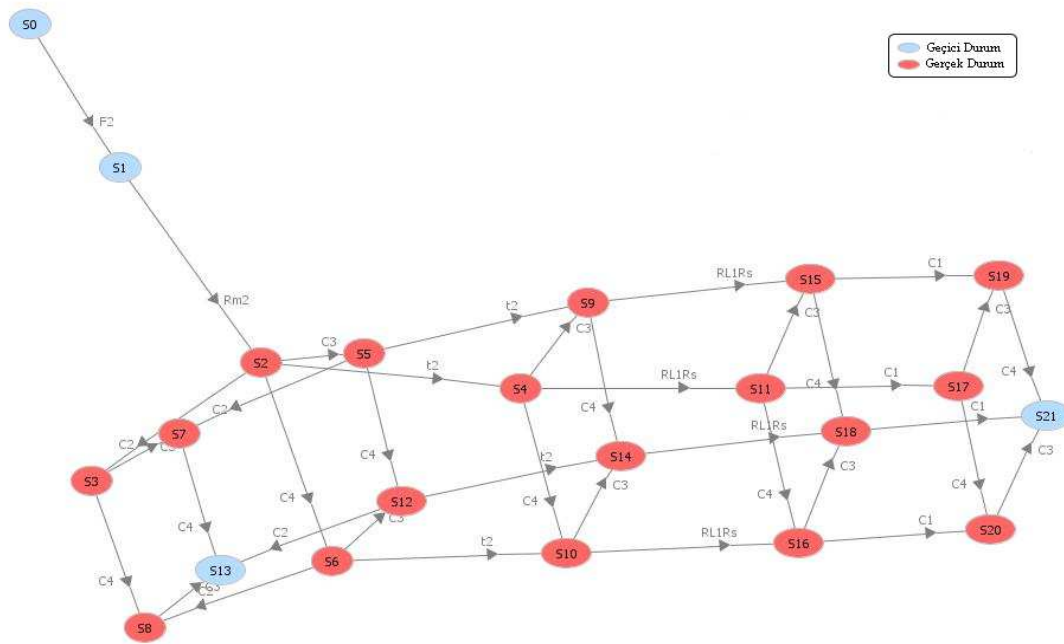
$$A^T = a_{ij} = a_{ij}^+ - a_{ij}^-$$

[illegible]

[illegible]

$$a_{ij} = \begin{matrix} \begin{matrix} \text{Bara} - 2 \\ P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P7 \\ P6 \\ P5 \\ P8 \\ PC1 \\ PC3 \\ PC4 \\ P9 \\ PC2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} F2 & Rm2 & t1 & T2s & T1s & RL1Rs & C1 & C4 & C3 & t2 & C2 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 4.12’de iki baralı sistemdeki bara – 2 ‘ye ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. İki baralı güç sistemindeki bara – 2 barasına ait ulaşılabilirlik ağacı

Ulaşılabilirlik ağacındaki S_0 başlangıç durumunu, S_1 ise bara - 2 'ye ait arıza durumunu göstermektedir. S_{13} bara - 2 'ye ait ana korumadaki arıza durumunu, S_{21} ise birinci korumadaki arıza durumunu göstermektedir. S_7 , S_8 ve S_{12} C_2 kesicisinin açması sonucunda arızanın temizlendiği durumu göstermektedir. S_{18} , S_{19} ve S_{20} ise C_1 , C_3 ve C_4 kesicilerinin açması sonucunda arızanın temizlendiği durumu göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 63 msn'de elde edilmiştir. Bara - 2 için değişmez durum analizi PIPE2 programı yardımıyla yapılmıştır (Pamuk ve Uyaroğlu, 2012). Tablo 4.3'de bara - 2'ye ait işaretleme vektörleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3. İki baralı güç sistemindeki bara - 2'ye ait işaretleme vektörleri

İşaretleme Vektörleri	Durum Değişkenleri													
	Bara-2	P1	PC3	PC4	P9	PC2	P2	P3	P4	P7	P6	P5	P8	PC1
M_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
M_1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
M_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
M_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M_4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
M_5	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M_6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
M_7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
M_8	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M_9	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
M_{10}	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{11}	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
M_{12}	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
M_{13}	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
M_{14}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
M_{15}	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{16}	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
M_{17}	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Tablo 4.3 incelendiğinde ilk işaretleme vektöründe (M_0), P_5 , P_6 ve P_7 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara - 2'deki arızayı ilk olarak ana koruma rölesinin (ana koruma rölesine ait geçiş durumu R_{m2} 'dir.) görmesi ve temizlemesidir.

Beşinci işaretleme vektöründe (M_4), P_6 , P_7 ve PC_2 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı C_2 kesicisinin açması ve C_3 , C_4 kesicilerinin de kendi rölelerine arızanın temizlendiğini bildiren trip sinyali göndermesidir.

Ondördüncü işaretleme vektöründe (M_{13}), P_6 , P_8 , P_9 ve PC_4 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı ise, C_2 kesicisinin bara – 2’deki arızayı görmüş olmasına rağmen temizleyememe durumu ve C_3 , C_4 kesicileri ile ikinci kademedeki C_1 kesicisinin arızayı görmesi ve temizlemesi durumudur. Onsekizinci işaretleme vektöründe (M_{17}), P_6 , P_9 , PC_1 ve PC_4 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı ise, C_1 , C_4 ve C_3 kesicilerine ait ikinci koruma yapılarının arızayı görmesi ve temizlemesi durumudur.

Tablo 4.4’de ortalama jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklığı gösterilmiştir. Tablo 4.5’de ise değişmez durum analizindeki işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri karşılaştırılmıştır. Bulanık zamanlı değişmez durum analizi 375 msn gibi çok kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4. İki baralı güç sistemindeki bara – 2’ye ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı

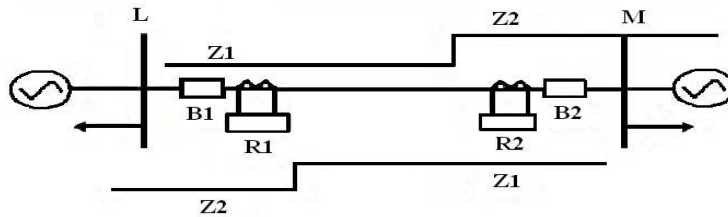
Durum Değişkenleri	Ortalama Jeton Sayısı	Jetonların Bulunma Sıklığı	
		$\mu = 0$	$\mu = 1$
Bara – 2	0	1	0
P1	0	1	0
PC3	0.6	0.4	0.6
PC4	0.6	0.4	0.6
P9	0.6	0.4	0.6
PC2	0.4	0.6	0.4
P2	0	1	0
P3	0	1	0
P4	0	1	0
P7	0.4	0.6	0.4
P6	0.4	0.6	0.4
P5	0	1	0
P8	0.2	0.8	0.2
PC1	0.4	0.6	0.4

Tablo 4.5. İki baralı güç sisteminde işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri

Geçici Zamanlı		Kalıcı Zamanlı
İşaretleme Vektörleri	Değerleri	Değerleri
M_0	0.25	0
M_1	0.33	0
M_2	0.33	0
M_3	0.33	0
M_4	0.50	0
M_5	0.50	0
M_6	0.50	0
M_7	0.33	0
M_8	0.50	0
M_9	1.00	0.20
M_{10}	1.00	0.20
M_{11}	1.00	0
M_{12}	0.50	0
M_{13}	0.50	0
M_{14}	0.50	0
M_{15}	1.00	0.20
M_{16}	1.00	0.20
M_{17}	1.00	0.20

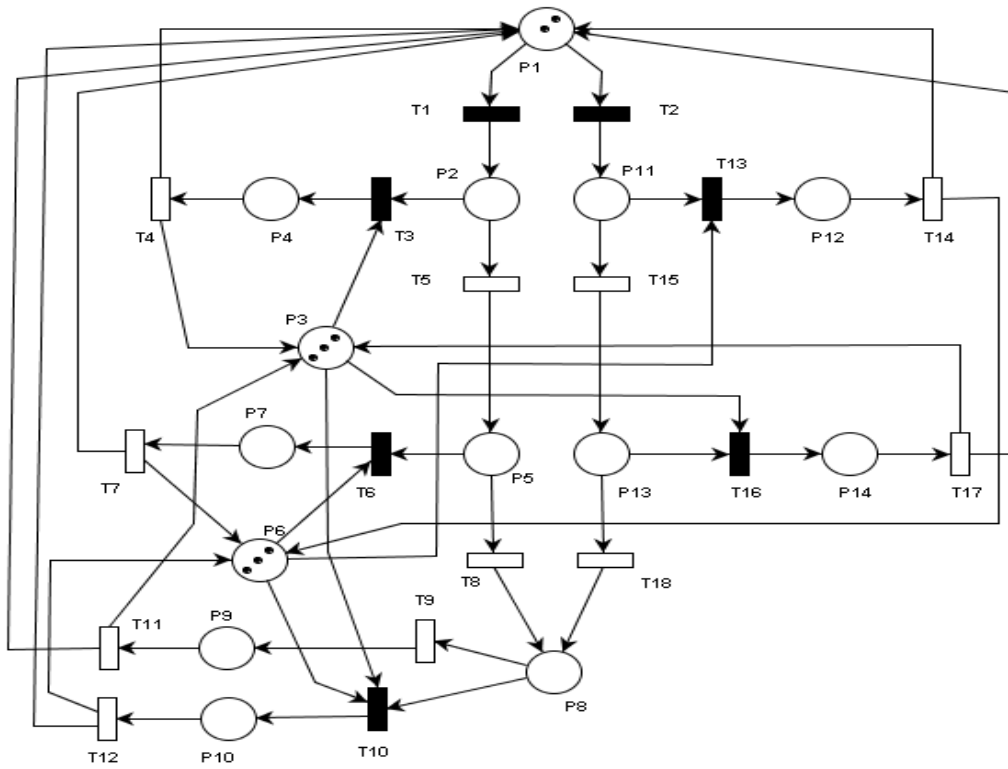
4.2.1.3. İki baralı güç sistemine ait genel koruma yapısının petri ağı modeli

PA yapısı oluşturulurken, iletim hattı arızalarında mesafe koruma rölelerinin, bara arızalarında ise bara koruma rölelerinin çalıştığı kabul edilmiştir. Sistemde oluşacak olan arızaların üç faz olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4.13’de iki baralı örnek bir güç sistemi gösterilmiştir. K ve L baralarına iki adet jeneratör bağlı olup, sistemin koruma elemanları B_1 ve B_2 ’dir.



Şekil 4.13. İki baralı güç sistemi

İki baralı örnek güç sistemindeki arızalar üç adet alarm durumu, bir adet acil durum ve bir adet çok acil durum olarak tanımlanmıştır. L ve M baralarında sırasıyla üç faz arızalarının olduğu kabul edilmiştir. Sistemdeki arızanın ilk olarak L barasında başladığı ve ardından da M barasına sirayet ettiği düşünülmüştür. Ele alınan güç sisteminin PA ile modellenmiş yapısı şekil 4.14’de gösterilmiştir. Tablo 4.6’de iki baralı güç sistemine ait durum tanımlamaları gösterilmiştir. Tablo 4.7’de ise iki baralı güç sistemine ait geçiş tanımlamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.14. İki baralı güç sistemine ait PA yapısı

Şekil 4.14’deki P_1 durumu başlangıç konumudur. T_1 geçişinin ateşlenmesi arızanın L barasında oluştuğunu, T_2 geçişinin ateşlenmesi ise arızanın M barasında oluştuğunu göstermektedir. P_2 durumu L barasındaki arızanın kapatıldığını ifade eder. T_3 geçişi ateşlendiği durumda L barasına ait ana koruma elemanları çalışmaya başlar. P_4 durumu ana koruma elemanları tarafından arızanın temizlendiğini göstermektedir. T_4 geçişinin ateşlenmesi ile sistemin yenilenmesi sağlanmaktadır. T_5 geçişinin ateşlenmesi ana korumanın arızalı olduğunu ifade etmektedir. P_5 durumu ise acil durum sinyali verilmesini sağlamaktadır.

T_6 geçişinin ateşlenmesi ile güç sistemine ait ikinci koruma yapısının çalışması sağlanmaktadır. P_7 durumu güç sistemindeki arızanın ikinci koruma yapısı tarafından temizlendiğini göstermektedir. T_7 geçişinin ateşlenmesi ile sistemin yenilenmesi sağlanmaktadır. T_8 geçişinin ateşlenmesi sistemdeki ikinci koruma yapılarının devre dışı kaldığını göstermektedir. P_8 durumu çok acil durum sinyali verilmesini sağlamaktadır.

Tablo 4.6. İki baralı güç sistemine ait durum tanımlamaları

Durum	Tanımlama
P_1	Başlangıç durumu
P_2	L barasına ait arıza kapama durumu
P_3	L barasına ait ana koruma çalışma
P_4	L barası ana koruma arıza temizleme
P_5	Acil durum
P_6	L barasına ait ikinci koruma çalışma
P_7	L barası ikinci koruma arıza temizleme
P_8	Çok acil durum
P_9	L barasına ait ana koruma elle açma
P_{10}	L barasına ait ikinci koruma elle açma
P_{11}	M barasına ait arıza kapama durumu
P_{12}	M barası ana koruma arıza temizleme
P_{13}	Acil durum
P_{14}	M barası ikinci koruma arıza temizleme

T_9 ve T_{10} geçişlerinin ateşlenmesi güç sistemindeki ana ve ikinci koruma yapılarının devre dışı kalması nedeniyle sistemdeki arızanın elle açılması gerektiğini ifade etmektedir. P_9 ve P_{10} durumları ise ana ve ikinci koruma yapılarında oluşacak olan arızalar nedeniyle sistemin elle açılması gerektiğini ifade etmektedir.

T_{11} ve T_{12} geçişlerinin ateşlenmesi ile sistemin yenilenmesi sağlanmaktadır. P_{11} durumu M barasındaki arızanın kapatıldığını ifade etmektedir. T_{13} geçişinin ateşlenmesi M barasına ait ana koruma sinyalinin çalışmasını sağlamaktadır. P_{12} durumu M barasına ait arızanın ana koruma tarafından temizlendiğini göstermektedir.

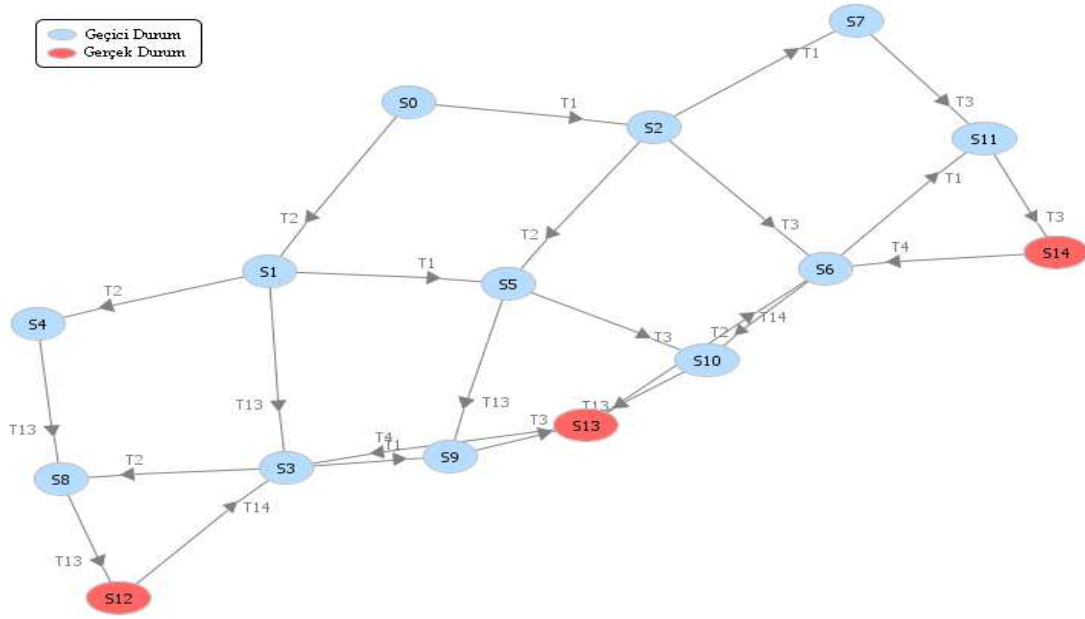
T_{14} geçişinin ateşlenmesi ile sistemin yenilenmesi sağlanmaktadır. T_{15} geçişinin ateşlenmesi M barasına ait ana koruma yapısının arızalı olduğunu ifade etmektedir. P_{13} durumu ise acil durum sinyali verilmesini sağlamaktadır.

T_{16} geçişinin ateşlenmesi güç sistemindeki M barasına ait ikinci koruma yapısının çalışmasını sağlar. P_{14} durumu güç sistemindeki arızanın M barasına ait ikinci koruma yapısı tarafından temizlendiğini göstermektedir. T_{17} geçişinin ateşlenmesi ile sistemin yenilenmesi sağlanmaktadır.

T_{18} geçişinin ateşlenmesi M barasına ait sistemdeki ikinci koruma yapılarının devre dışı kaldığını göstermektedir. P_8 durumu çok acil durum sinyali verilmesini sağlamakta ve arızalı bölgenin elle açılarak temizlenmesini sağlamaktadır. Şekil 4.15’de iki baralı örnek güç sistemine ait ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir.

Tablo 4.7. İki baralı güç sistemine ait geçiş tanımlamaları

Geçiş	Tanımlama
T_1	L barası arıza kapama geçişi
T_2	M barası arıza kapama geçişi
T_3	L barası ana koruma ateşleme
T_4	Sistem yenileme
T_5	L barası ana koruma ateşleme
T_6	L barası ikinci koruma ateşleme
T_7	Sistem yenileme
T_8	L barası ikinci koruma devre dışı
T_9	Elle açma
T_{10}	Elle açma
T_{11}	Sistem yenileme
T_{12}	Sistem yenileme
T_{13}	M barası ana koruma ateşleme
T_{14}	Sistem yenileme
T_{15}	M barası ana koruma arızası
T_{16}	M barası ikinci koruma ateşleme
T_{17}	Sistem yenileme
T_{18}	M barası ikinci koruma arızası



Şekil 4.15. İki baralı güç sistemine ait ulaşılabilirlik ağacı

Ulaşılabilirlik ağacındaki S_0 başlangıç durumunu göstermektedir. S_1 L barasına ait arıza durumunu, S_2 ise M barasına ait arıza durumunu göstermektedir. S_4 L barasına ait ana koruma durumunu, S_7 ise M barasına ait ana koruma durumunu göstermektedir. S_3 ve S_6 ise L ve M baralarına ait ikinci koruma durumlarını göstermektedir. S_{12} L barasına ait elle açma durumunu, S_{14} ise M barasına ait elle açma durumunu göstermektedir. S_{13} durumu ise her iki barada oluşacak olan arızaların temizlendiği durumu göstermektedir (Pamuk ve Uyaroğlu, 2012). İki baralı güç sistemine ait ulaşılabilirlik ağacı 16 msn'de elde edilmiştir. Tablo 4.8'de iki baralı güç sistemine ait genel koruma yapısının işaretleme vektörleri gösterilmiştir. Tablo 4.9'da iki baralı güç sistemi genel koruma yapısı için ortalama jeton sayısı ve bu jetonların bulunma sıklıkları gösterilmiştir.

Tablo 4.8. İki baralı güç sistemine ait genel koruma yapısının işaretleme vektörleri

İşaretleme Vektörleri	Durum Değişkenleri													
	P1	P2	P8	P9	P10	P6	P11	P12	P4	P5	P13	P14	P7	P3
M_0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	2
M_1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	2
M_2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0

Tablo 4.9. İki baralı güç sistemi genel koruma yapısı için ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı

Durum Değişkenleri	Ortalama Jeton Sayısı	Jetonların Bulunma Sıklığı			
		$\mu = 0$	$\mu = 1$	$\mu = 2$	$\mu = 3$
P1	0	1	0	0	0
P2	0	1	0	0	0
P8	0	1	0	0	0
P9	0	1	0	0	0
P10	0	1	0	0	0
P6	2	0	0.33	0.33	0.33
P11	0	1	0	0	0
P12	1	0.33	0.33	0.33	0
P4	1	0.33	0.33	0.33	0
P5	0	1	0	0	0
P13	0	1	0	0	0
P14	0	1	0	0	0
P7	0	1	0	0	0
P3	2	0	0.33	0.33	0.33

Tablo 4.8 incelendiğinde ilk işaretleme vektöründe (M_0), $P_1 = 0$ olması L ve M baralarında arıza olduğunu göstermektedir. $P_3 = 2$ olması L barasına ait ana koruma yapısının çalıştığını ve $P_6 = 2$ olması ise M barasına ait ana koruma yapısının çalıştığını göstermektedir. $P_4 = 1$ durumunun anlamı L barasına ait arızanın ana koruma tarafından temizlendiğini, $P_{12} = 1$ durumunun anlamı ise M barasına ait arızanın ana koruma tarafından temizlendiğini göstermektedir.

İkinci işaretleme vektöründe (M_1), $P_1 = 0$ olması L ve M baralarında arıza olduğunu göstermektedir. $P_6 = 2$ olması L barasına ait ikinci koruma yapısının çalıştığını, $P_3 = 2$ olması ise M barasına ait ikinci koruma yapısının çalıştığını göstermektedir. $P_7 = 1$ durumunun anlamı L barasına ait arızanın ikinci koruma yapısı tarafından temizlendiğini, $P_{14} = 1$ durumunun anlamı ise M barasına ait arızanın ikinci koruma yapısı tarafından temizlendiğini göstermektedir. Üçüncü işaretleme vektöründe (M_2), $P_1 = 0$ olması L ve M baralarında arıza olduğunu göstermektedir. $P_5 = 1$ olması L barasına ait ana ve ikinci koruma yapılarının çalışmadığını, $P_{13} = 1$ olması ise M barasına ait ana ve ikinci koruma yapılarının çalışmadığını göstermektedir. $P_8 = 2$

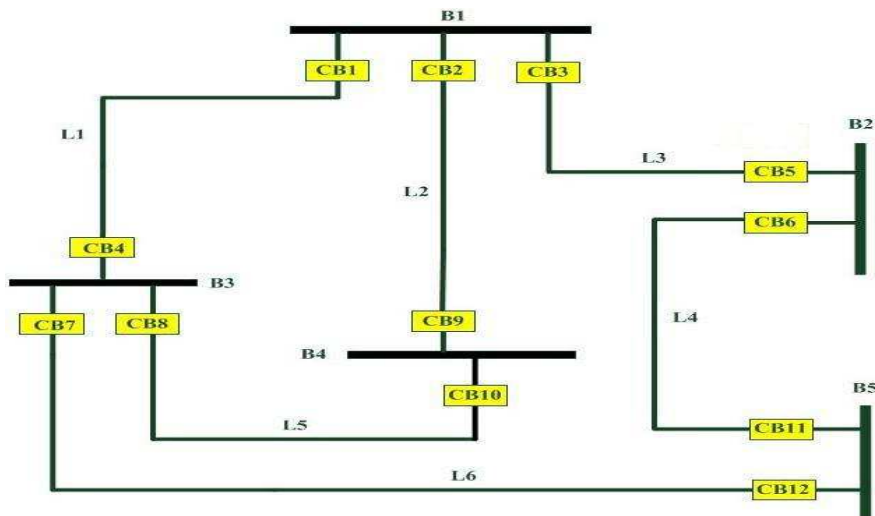
durumu ise L ve M baralarının elle açılması gerektiğini göstermektedir. $P_9 = 1$ durumu L barasına ait arızanın elle açılarak temizlendiğini, $P_{10} = 1$ durumu ise M barasına ait arızanın elle açılarak temizlendiğini göstermektedir. Tablo 4.10'da iki baralı güç sistemindeki genel koruma yapısına ait değişmez durum analizindeki işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.10. İki baralı güç sistemi genel koruma yapısı için işaretleme vektörlerinin geçici ve kalıcı zamanlı gerçek değerleri

Geçici Zamanlı		Kalıcı Zamanlı
İşaretleme Vektörleri	Değerleri	Değerleri
M_0	1	0.33
M_1	0.5	0.33
M_2	1	0.33

4.2.2. Beş baralı güç sisteminin modellenmesi

PA yapısı oluşturulurken, iletim hattı arızalarında mesafe koruma rölelerinin, bara arızalarında ise bara koruma rölelerinin çalıştığı kabul edilmiştir. Sistemde oluşacak olan arızaların üç faz olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4.16'da beş baradan ve altı enerji iletim hattından oluşan örnek bir güç sistemi gösterilmiştir. Şekil 4.16'daki güç sisteminde baralar B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 ve B_6 olarak enerji iletim hatları ise L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 ve L_6 olarak gösterilmiştir.



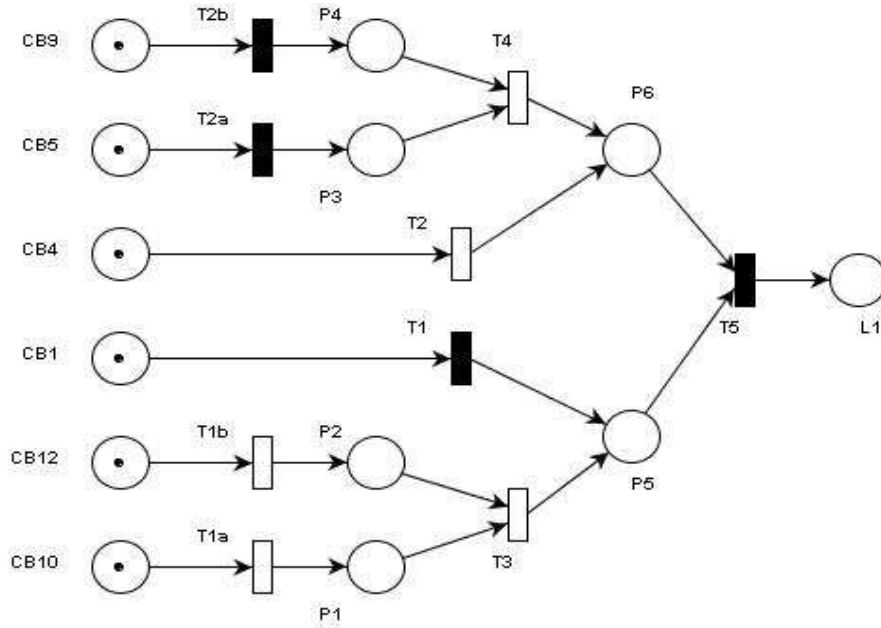
Şekil 4.16. Beş baralı örnek bir güç sistemi

Bara - 1 ve bara - 3, L_1 enerji iletim hattı ile, bara - 1 ve bara - 4, L_2 enerji iletim hattı ile, bara - 1 ve bara - 2, L_3 enerji iletim hattı ile, bara - 2 ve bara - 5, L_4 enerji iletim hattı ile, bara - 3 ve bara - 4, L_5 enerji iletim hattı ile, bara - 3 ve bara - 5, L_6 enerji iletim hattı ile birbirine bağlanmıştır. Şekil 4.16'daki sistemin koruma elemanları (kesicileri) CB_1 , CB_2 , CB_3 , CB_4 , CB_5 , CB_6 , CB_7 , CB_8 , CB_9 , CB_{10} , CB_{11} ve CB_{12} 'dir.

4.2.2.1. İletim hatlarına ait petri ağı modeli

L_1 İletim Hattına ait Petri Ağı Modeli :

L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



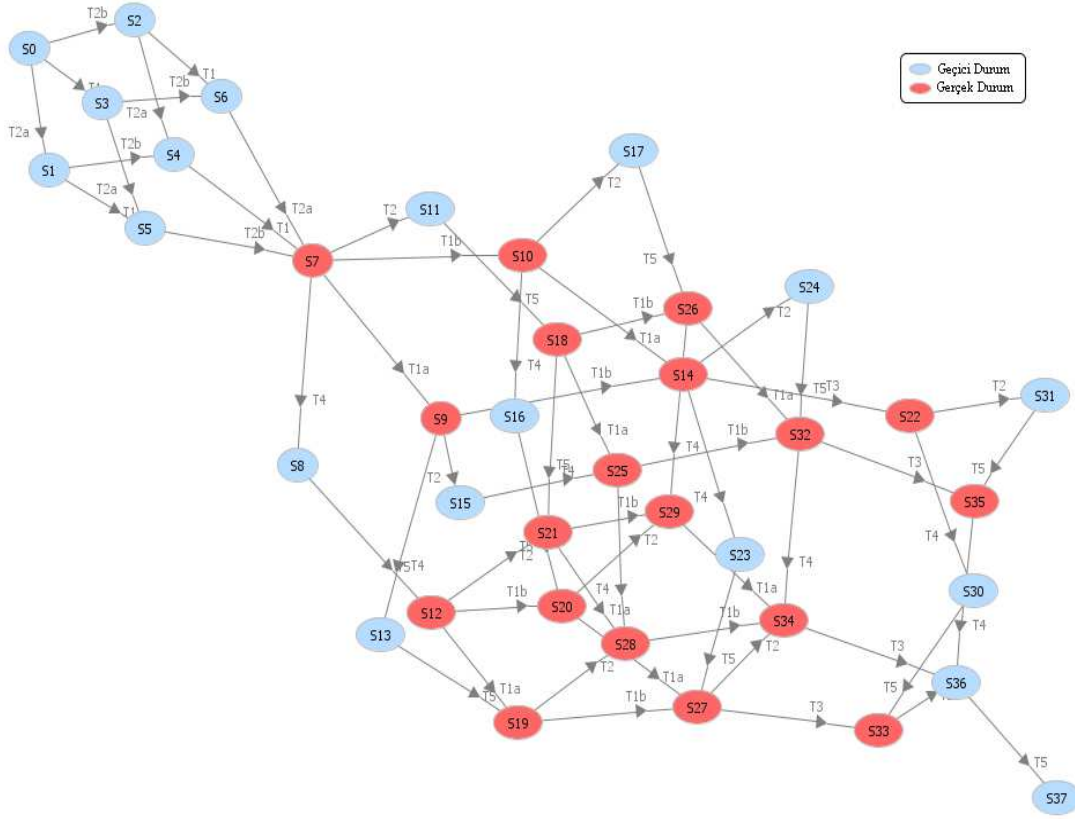
Şekil 4.17. Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli

CB_1 ve CB_4 kesicileri ana koruma elemanlarıdır. CB_5 ve CB_9 kesicileri, CB_1 kesicisine ait birinci koruma elemanlarıdır. CB_{10} ve CB_{12} kesicileri, CB_4 kesicisine ait birinci koruma elemanlarıdır. T_1 ve T_2 geçişleri ana korumaya ait geçiş elemanlarıdır. T_{1a} ve T_{1b} geçişleri CB_4 kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanlarını, T_{2a} ve T_{2b} geçişleri ise CB_1 kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanlarını temsil etmektedir. P_1 ve P_2 durumları CB_4 kesicisine ait birinci koruma

yapısının çalıştığını, P_3 ve P_4 durumları ise CB_1 kesicisine ait birinci koruma yapısının çalıştığını göstermektedir. T_3 ve T_4 geçişlerinin ateşlenmesi sistemdeki birinci koruma yapısının çalıştığını göstermektedir. P_5 durumu CB_1 kesicisine ait tüm koruma yapılarını, P_6 durumu ise CB_4 kesicisine ait tüm koruma yapılarını göstermektedir. Modelin sonundaki L_1 durumu ise L_1 enerji iletim hattına ait arıza durumunu göstermektedir. Sistemin tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} & T1 & T2b & T2a & T2 & T1b & T1a & T4 & T3 & T5 \\ CB9 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ P6 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ L1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ CB4 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB12 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ P4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ P3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ P2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ P1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.18’de beş baralı sistemdeki L_1 iletim hattına ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S_0 başlangıç durumunu, S_1 ve S_2 durumları CB_5 ve CB_9 kesicilerinin ateşlenme durumunu (L_1 enerji iletim hattına ait birinci koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S_3 durumu ise CB_1 kesicisinin ateşlenme durumunu (L_1 enerji iletim hattına ait ana koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S_7 , S_9 ve S_{10} durumları CB_4 , CB_{10} ve CB_{12} kesicilerinin açma durumunu göstermektedir. S_{36} durumu ise T_5 geçişinin ateşlenerek arızanın temizlendiğini göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 31 msn’de elde edilmiştir. L_1 enerji iletim hattı için değişmez durum analizi PIPE2 programı yardımıyla yapılmıştır. Tablo 4.11’de L_1 iletim hattına ait işaretleme vektörleri gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı

Tablo 4.11 incelendiğinde ilk işaretleme vektöründe (M_0), CB_1 , CB_4 , P_5 ve P_6 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı L_1 enerji iletim hattında öncelikle CB_1 ve CB_4 kesicilerinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı görmeleri ve temizlemeleridir.

Dördüncü işaretleme vektöründe (M_3), CB_4 , CB_5 , CB_9 , P_3 , P_4 ve P_6 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_1 kesicisinde sorun olması durumunda CB_5 ve CB_9 kesicilerinin (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı ikinci kademedeki görmeleri ile CB_4 kesicisinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı birinci kademedeki görmesi ve temizlemeleridir.

Dokuzuncu işaretleme vektöründe (M_8), CB_1 , CB_{10} , CB_{12} , P_1 , P_2 ve P_5 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_4 kesicisinde sorun olması durumunda CB_{10} ve CB_{12} kesicilerinin (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı ikinci kademedeki görmeleri ile CB_1 kesicisinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal

gönderilmesi) arızayı birinci kademede görmesi ve temizlemeleridir. On üçüncü işaretleme vektöründe (M_{12}), CB_5 , CB_9 , CB_{10} , CB_{12} , P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 ve P_6 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_4 ve CB_1 kesicilerinin arızalı olduğu durumdur. Bu durumda CB_5 , CB_9 , CB_{10} ve CB_{12} kesicileri (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi nedeniyle) arızayı ikinci kademede görüp, temizlemektedirler. Tablo 4.12’de ortalama jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklığı gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Beş baralı güç sistemindeki L_1 enerji iletim hattına ait işaretleme vektörleri

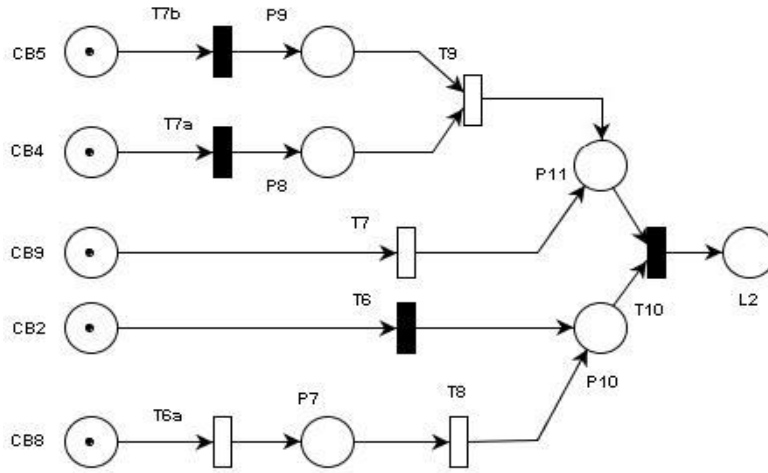
İşaretleme Vektörleri	Durum Değişkenleri												
	CB_9	CB_5	P_5	P_6	L_1	CB_4	CB_1	CB_{12}	CB_{10}	P_4	P_3	P_2	P_1
M_0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
M_1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
M_2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
M_3	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
M_4	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M_5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M_6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
M_7	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
M_8	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
M_9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
M_{10}	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
M_{11}	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
M_{12}	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
M_{13}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablo 4.12. Beş baralı güç sistemindeki L_1 iletim hattına ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı

Durum Değişkenleri		CB_9	CB_5	P_5	P_6	L_1	CB_4	CB_1	CB_{12}	CB_{10}	P_4	P_3	P_2	P_1
Ortalama Jeton Sayısı		0	0	0.67	0.33	1	0.33	0	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33
Jetonların Bulunma Sıklığı	μ_0	1	1	0.33	0.67	0	0.67	1	1	1	0.67	0.67	0.67	0.67
	μ_1	0	0	0.67	0.33	0	0.33	0	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33
	μ_2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

L₂ İletim Hattına ait Petri Ağı Modeli :

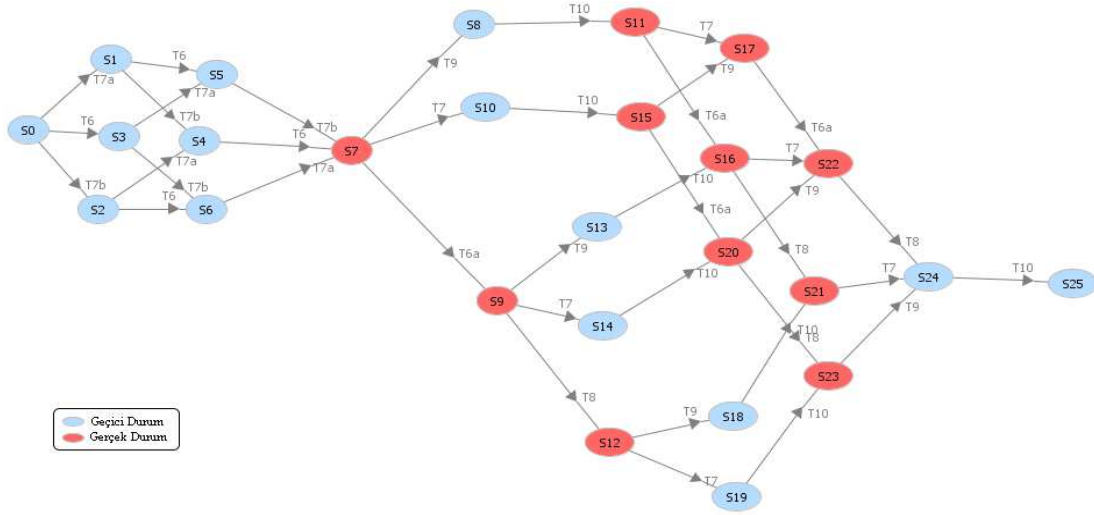
L₂ enerji iletim hattına ait PA modeli Şekil 4.19’da gösterilmiştir. CB₂ ve CB₉ kesicileri ana koruma elemanlarıdır. CB₄ ve CB₅ kesicileri, CB₂ kesicisine ait birinci koruma elemanlarıdır. CB₈ kesicisi, CB₉ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. T₆ ve T₇ geçişleri ana korumaya ait geçiş elemanlarıdır. T_{7a} ve T_{7b} geçişleri CB₂ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanlarını, T_{6a} geçişi ise CB₉ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını temsil etmektedir. P₇ durumu CB₉ kesicisine ait birinci koruma yapısının çalıştığını, P₈ ve P₉ durumları ise CB₂ kesicisine ait birinci koruma yapılarının çalıştığını göstermektedir. T₈ ve T₉ geçişlerinin ateşlenmesi sistemdeki birinci koruma yapılarının çalıştığını göstermektedir. P₁₀ durumu CB₂ kesicisine ait tüm koruma yapılarını, P₁₁ durumu ise CB₉ kesicisine ait tüm koruma yapılarını göstermektedir. Modelin sonundaki L₂ durumu ise L₂ enerji iletim hattına ait arıza durumunu göstermektedir.



Şekil 4.19. Beş baralı güç sistemindeki L₂ enerji iletim hattına ait PA modeli

Şekil 4.20’de beş baralı sistemdeki L₂ iletim hattına ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S₀ başlangıç durumunu, S₁ ve S₂ durumları CB₄ ve CB₅ kesicilerinin ateşlenme durumunu (L₂ enerji iletim hattına ait birinci koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S₃ durumu ise CB₂ kesicisinin ateşlenme durumunu (L₂ enerji iletim hattına ait ana koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S₁₁, S₁₅, S₂₀, S₂₃ ve S₁₂ durumları CB₄, CB₅,

CB₉, CB₂ ve CB₈ kesicilerinin açma durumunu göstermektedir. S₂₅ durumu ise T₁₀ geçişinin ateşlenerek arızanın temizlendiğini göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 47 msn’de elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Beş baralı güç sistemindeki L₂ enerji iletim hattına ait ulaşılabilirlik ağacı

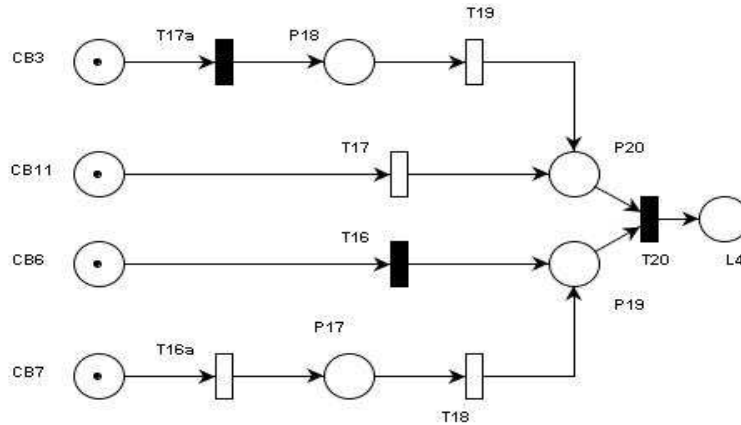
Sistemin tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} & T6 & T7b & T7a & T7 & T6a & T9 & T8 & T10 \\ CB5 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB4 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P10 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ P11 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ L2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ CB9 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB8 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ P9 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ P8 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ P7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

L₃, L₅ ve L₆ enerji iletim hatlarına ait PA modelleri, L₂ enerji iletim hattına ait PA modeli ile aynı yapıya sahiptir. Bu nedenle bu bölümde L₃, L₅ ve L₆ enerji iletim hatlarına ait PA modeli yeniden oluşturulmamıştır.

L₄ İletim Hattına ait Petri Ağı Modeli :

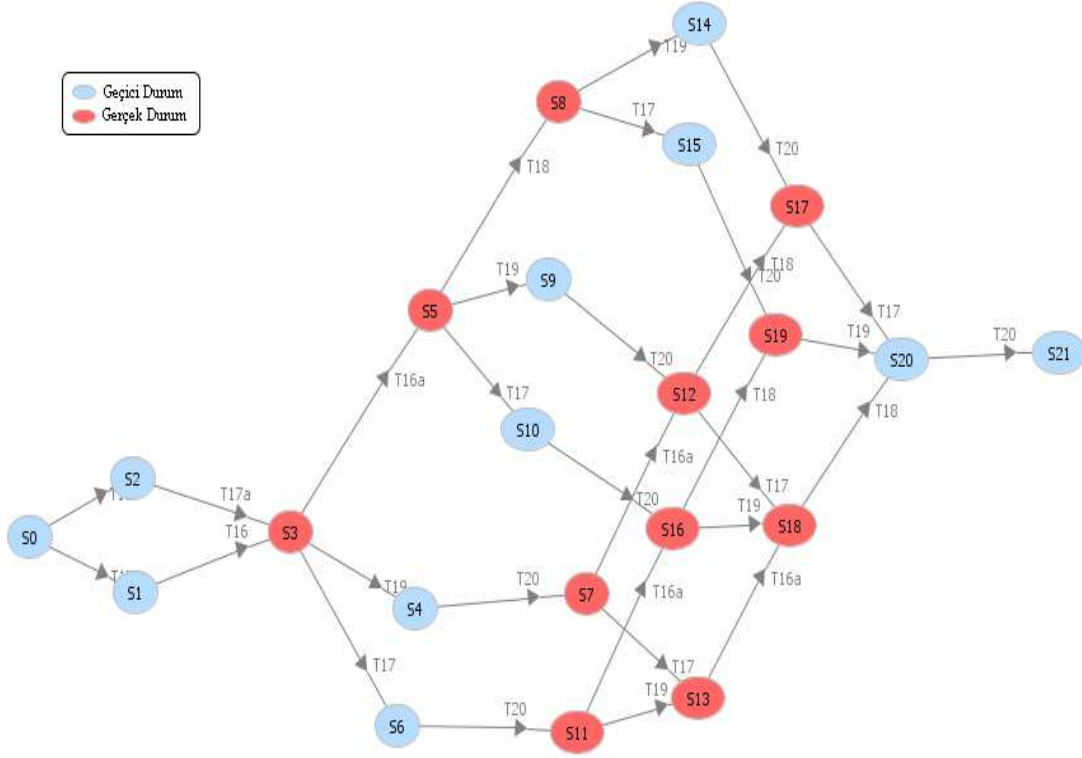
L₄ enerji iletim hattına ait PA modeli Şekil 4.21’de gösterilmiştir. CB₆ ve CB₁₁ kesicileri ana koruma elemanlarıdır. CB₃ kesicisi, CB₆ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. CB₇ kesicisi, CB₁₁ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. T₁₆ ve T₁₇ geçişleri ana korumaya ait geçiş elemanlarıdır. T_{17a} geçişi CB₆ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını, T_{16a} geçişi ise CB₁₁ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını temsil etmektedir. P₁₇ durumu CB₁₁ kesicisine ait birinci koruma yapısının çalıştığını, P₁₈ durumu ise CB₆ kesicisine ait birinci koruma yapılarının çalıştığını göstermektedir. T₁₈ ve T₁₉ geçişlerinin ateşlenmesi sistemdeki birinci koruma yapılarının çalıştığını göstermektedir. P₁₉ durumu CB₆ kesicisine ait tüm koruma yapılarını, P₂₀ durumu ise CB₁₁ kesicisine ait tüm koruma yapılarını göstermektedir. Modelin sonundaki L₄ durumu ise L₄ enerji iletim hattına ait arıza durumunu göstermektedir.



Şekil 4.21. Beş baralı güç sistemindeki L₄ enerji iletim hattına ait PA modeli

Şekil 4.22’de beş baralı sistemdeki L₄ iletim hattına ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S₀ başlangıç durumunu, S₁ durumu CB₃ kesicisinin ateşlenme durumunu (L₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S₂ durumu ise CB₆ kesicisinin ateşlenme durumunu (L₄ enerji iletim hattına ait ana koruma yapısının etkin olma durumunu) göstermektedir. S₇, S₁₂ ve S₁₇ durumları CB₃ kesicisinin, S₁₁, S₁₆ ve S₁₉ durumları ise CB₁₁ kesicisinin açma durumunu göstermektedir. S₂₁ durumu ise T₂₀

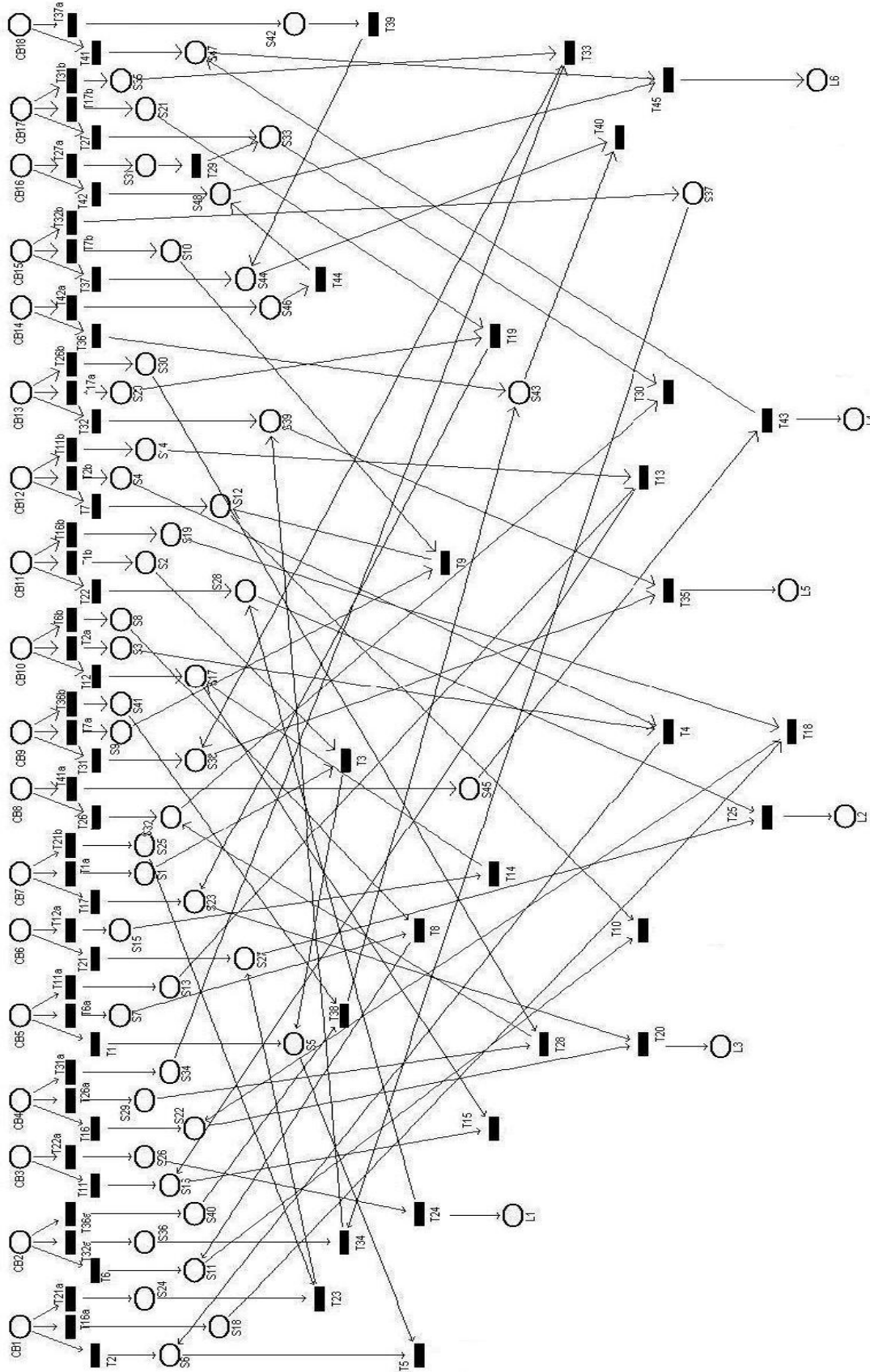
geçişinin ateşlenerek arızanın temizlendiğini göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 15 msn'de elde edilmiştir. Şekil 4.23'de tüm enerji iletim hatlarına ait PA modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Beş baralı güç sistemindeki L₄ enerji iletim hatına ait ulaşılabilirlik ağacı

Sistemin tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} & T16 & T17a & T17 & T16a & T19 & T18 & T20 \\ CB3 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P19 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ P20 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ L4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ CB11 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB6 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ CB7 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ P18 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ P17 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

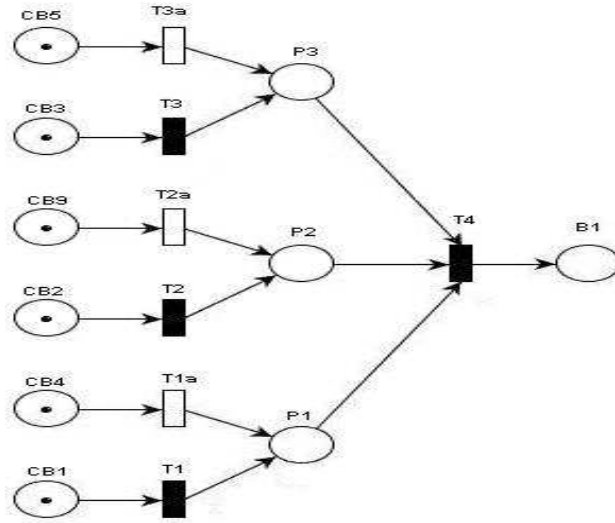


Şekil 4.23. Beş baralı güç sistemindeki tüm enerji iletim hatlarına ait PA modeli

4.2.2.2. Baralara ait petri ağı modeli

Bara - 1 Petri Ağı Modeli :

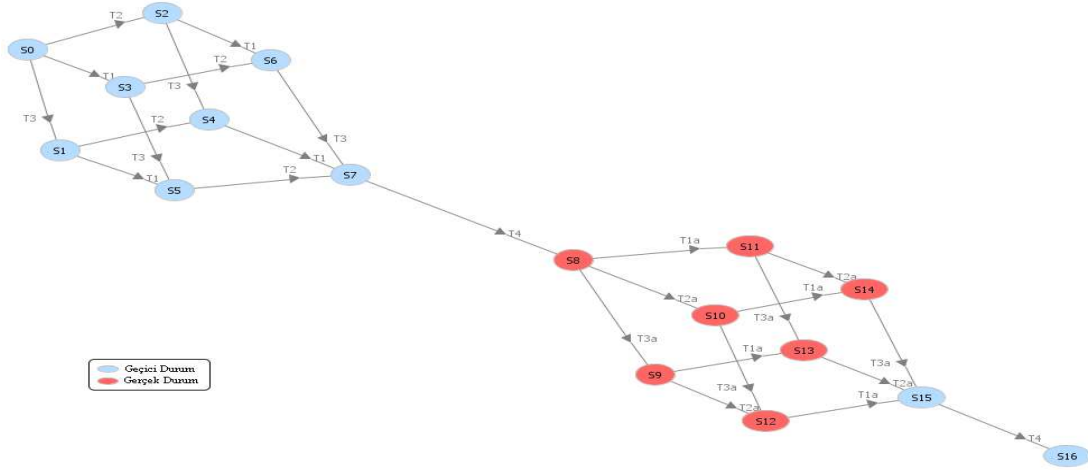
Bara - 1 e ait PA modeli Şekil 4.24’de gösterilmiştir. CB₁, CB₂ ve CB₃ kesicileri ana koruma elemanlarıdır. CB₄ kesicisi, CB₁ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. CB₉ kesicisi, CB₂ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. CB₅ kesicisi, CB₃ kesicisine ait birinci koruma elemanıdır. T₁, T₂ ve T₃ geçişleri ana korumaya ait geçiş elemanlarıdır. T_{1a} geçişi CB₄ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını, T_{2a} geçişi CB₉ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını, T_{3a} geçişi ise CB₅ kesicisine ait birinci koruma geçiş elemanını temsil etmektedir. T₁, T₂ ve T₃ geçişlerinin ateşlenmesi sistemdeki ana koruma yapılarının çalıştığını, T_{1a}, T_{2a} ve T_{3a} geçişlerinin ateşlenmesi ise sistemdeki birinci koruma yapılarının çalıştığını göstermektedir. P₁, P₂ ve P₃ durumları bara - 1 ‘e ait tüm koruma yapılarını göstermektedir. Modelin sonundaki B₁ durumu ise, bara - 1’e ait arıza durumunu göstermektedir.



Şekil 4.24. Beş baralı güç sistemindeki bara -1’e ait PA modeli

Şekil 4.25’de beş baralı sistemdeki bara -1 ‘e ait PA modelinin ulaşılabilirlik ağacı gösterilmiştir. Ulaşılabilirlik ağacındaki S₀ başlangıç durumunu, S₁ durumu CB₃ kesicisinin ateşlenme durumunu, S₂ durumu CB₂ kesicisinin ateşlenme durumunu, S₃ durumu ise CB₁ kesicisinin ateşlenme durumunu göstermektedir. S₇ durumu T₁, T₂,

T_3 geçişlerinin ateşlendiğini ve P_1, P_2, P_3 durumlarında jeton bulunduğunu (Bara-1'e ait ana koruma yapısının etkin olma durumu) göstermektedir. S_8 durumu ana koruma kesicilerinde arıza olmaması halindeki bara-1 arıza durumunu göstermektedir.



Şekil 4.25. Beş baralı güç sistemindeki bara -1'e ait ulaşılabilirlik ağacı

S_{11} CB_1 kesicisinin ana koruma arızasını (CB_4 kesicisine trip sinyali gönderilmesi), S_{10} CB_2 kesicisinin ana koruma arızasını (CB_9 kesicisine trip sinyali gönderilmesi), S_9 CB_3 kesicisinin ana koruma arızasını (CB_5 kesicisine trip sinyali gönderilmesi) ifade etmektedir. S_{15} durumu bara - 1'e bağlı tüm kesicilerin açma durumunu, S_{16} durumu ise T_4 geçişinin ateşlenerek arızanın temizlendiğini göstermektedir. Ulaşılabilirlik ağacı 16 msn'de elde edilmiştir. Sistemin tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} T1 & T1a & T2 & T2a & T3 & T3a & T4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} CB2 \\ CB3 \\ CB5 \\ CB9 \\ CB1 \\ CB4 \\ P1 \\ P2 \\ P3 \\ B1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Bara-1 için değişmez durum analizi yapılmıştır. Tablo 4.13’de bara-1’e ait işaretleme vektörleri, Tablo 4.14’de ise ortalama jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklıkları gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Beş baralı güç sistemindeki bara - 1 ‘e ait işaretleme vektörleri

İşaretleme Vektörleri	Durum Değişkenleri									
	CB2	CB3	CB5	CB9	CB1	CB4	P1	P2	P3	B1
M_0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
M_1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1
M_2	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1
M_3	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
M_4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
M_5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
M_6	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
M_7	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1
M_8	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1
M_9	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
M_{10}	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
M_{11}	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
M_{12}	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
M_{13}	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1

Tablo 4.14. Beş baralı güç sistemindeki bara - 1 ‘e ait ortalama jeton sayısı ve bulunma sıklığı

Durum Değişkenleri		CB2	CB3	CB5	CB9	CB1	CB4	P1	P2	P3	B1
Ortalama Jeton Sayısı		0	0	0.33	0.33	0	0.33	0.67	0.67	0.67	1
Jetonların Bulunma Sıklığı	μ_0	1	1	0.67	0.67	1	0.67	0.33	0.33	0.33	0
	μ_1	0	0	0.33	0.33	0	0.33	0.67	0.67	0.67	1

Tablo 4.13 incelendiğinde ilk işaretleme vektöründe (M_0), CB_1 , CB_3 , P_1 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_1 , CB_3 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_1 , T_3 geçişlerini ateşleyerek (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı temizlemeleridir.

İkinci işaretleme vektöründe (M_1), CB_4 , CB_5 , CB_9 , P_1 , P_2 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_1 , CB_2 , CB_3 kesicilerinde sorun olması nedeniyle CB_4 , CB_5 ve CB_9 kesicilerinin arızayı ikinci kademede görmeleri ve T_{1a} , T_{2a} ve T_{3a} geçişlerini ateşleyerek (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı temizlemeleridir.

Üçüncü işaretleme vektöründe (M_2), CB_1 , CB_2 , CB_3 , P_1 , P_2 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara –1’deki CB_1 , CB_2 ve CB_3 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_1 , T_2 , T_3 geçişlerini ateşleyerek (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı temizlemeleridir.

Dördüncü işaretleme vektöründe (M_3), CB_9 ve P_2 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_2 kesicisinde sorun olması nedeniyle CB_9 kesicisinin (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı ikinci kademede görmesi ve temizlemesidir.

Beşinci işaretleme vektöründe (M_4), CB_4 ve P_1 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_1 kesicisinde sorun olması nedeniyle CB_4 kesicisinin (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı ikinci kademede görmesi ve temizlemesidir.

Altıncı işaretleme vektöründe (M_5), CB_5 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı CB_3 kesicisinde sorun olması nedeniyle CB_5 kesicisinin (birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı ikinci kademede görmesi ve temizlemesidir.

Yedinci işaretleme vektöründe (M_6), CB_1 , CB_9 , P_1 ve P_2 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_1 , CB_9 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_1 , T_{2a} geçişlerini ateşleyerek (CB_1 kesicisi için ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi, CB_9 kesicisi için ise CB_2 kesicisinde sorun olması nedeniyle birinci koruma rölesinin çalışması ve arızayı ikinci kademede görmesi) arızayı temizlemeleridir.

Sekizinci işaretleme vektöründe (M_7), CB_2 , CB_4 , P_2 ve P_1 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_2 , CB_4 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_2 , T_{1a} geçişlerini ateşleyerek (CB_2 kesicisi için ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi, CB_4 kesicisi için ise CB_1 kesicisinde sorun olması nedeniyle birinci koruma rölesinin çalışması ve arızayı ikinci kademedede görmesi) arızayı temizlemeleridir.

Dokuzuncu işaretleme vektöründe (M_8), CB_3 , CB_9 , P_3 ve P_2 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_3 , CB_9 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_3 , T_{2a} geçişlerini ateşleyerek (CB_3 kesicisi için ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi, CB_9 kesicisi için ise CB_2 kesicisinde sorun olması nedeniyle birinci koruma rölesinin çalışması ve arızayı ikinci kademedede görmesi) arızayı temizlemeleridir.

Onuncu işaretleme vektöründe (M_9), CB_4 , CB_5 ve P_1 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_4 , CB_5 kesicilerinin arızayı görmeleri, ancak sadece T_{1a} geçişinin ateşlenerek (CB_1 ve CB_3 kesicilerinde sorun olması nedeniyle CB_4 ve CB_5 kesicilerine birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi, ancak sadece CB_4 kesicisinin arızayı ikinci kademedede görmesi) arızayı temizlemesidir.

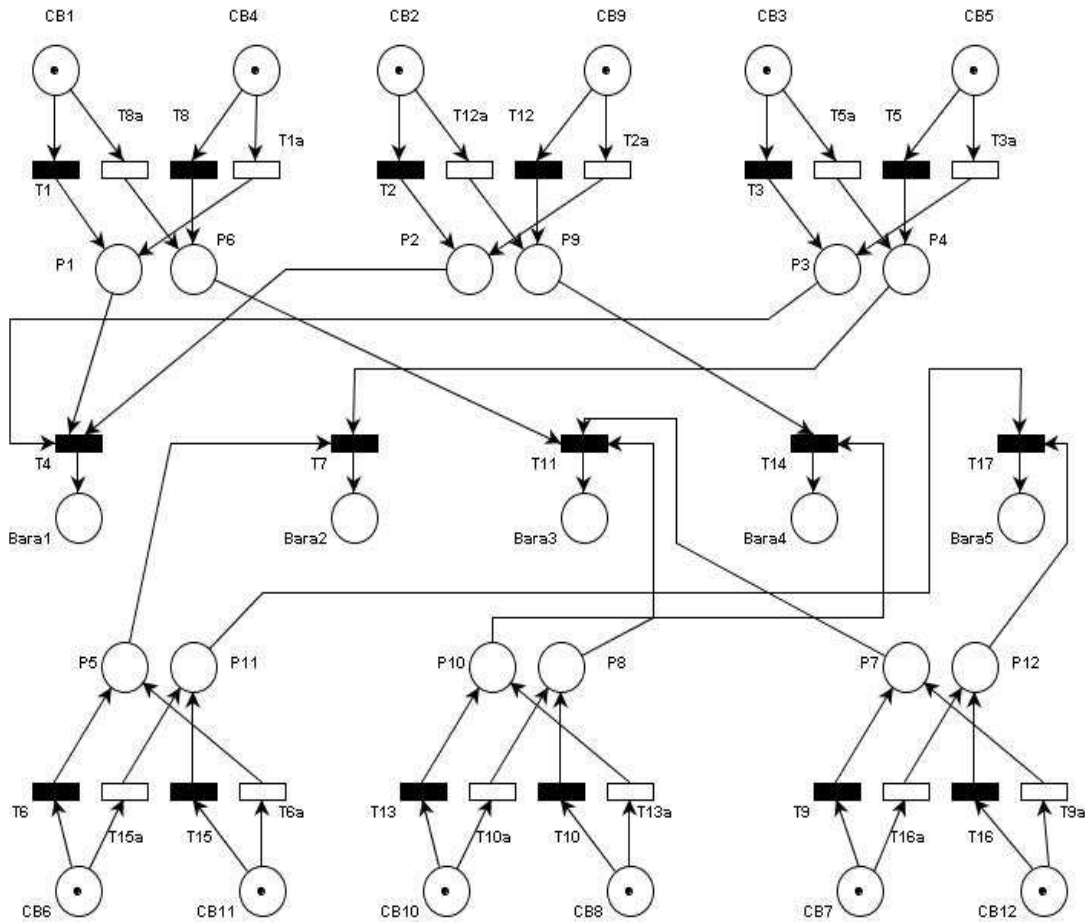
On birinci işaretleme vektöründe (M_{10}), CB_2 , CB_3 , CB_9 , P_2 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_2 , CB_3 ve CB_9 kesicilerinin arızayı görmeleri ve T_2 , T_{2a} , T_3 geçişlerini ateşleyerek (CB_3 ve CB_2 kesicileri için ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi, CB_9 kesicisi için birinci koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı temizlemeleridir.

On ikinci işaretleme vektöründe (M_{11}), CB_1 ve P_1 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_1 kesicisinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı görmesi ve temizlemesidir.

On üçüncü işaretleme vektöründe (M_{12}), CB_2 ve P_2 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_2 kesicisinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı görmesi ve temizlemesidir.

On dördüncü işaretleme vektöründe (M_{13}), CB_3 ve P_3 durumları 1 değerini almıştır. Bu durumun anlamı bara – 1’deki CB_3 kesicisinin (ana koruma rölesi tarafından sinyal gönderilmesi) arızayı görmesi ve temizlemesidir.

Tablo 4.14’deki jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklıkları, her bir işaretleme vektöründeki arıza olasılığına karşı jetonların hareketini ve işaretleme vektörlerinde bulunma oranını göstermektedir. Şekil 4.26’da tüm baralara ait PA modeli gösterilmiştir. Bara – 2, bara – 3, bara – 4 ve bara – 5’e ait PA modelleri, bara – 1’e ait PA modeli ile aynı yapıya sahiptir. Bu nedenle bu bölümde söz konusu baralara ait PA modeli yeniden oluşturulmamıştır.



Şekil 4.26. Beş baralı güç sistemindeki tüm baralara ait PA modeli

BÖLÜM 5. PA VE BPA UYGULAMALARI

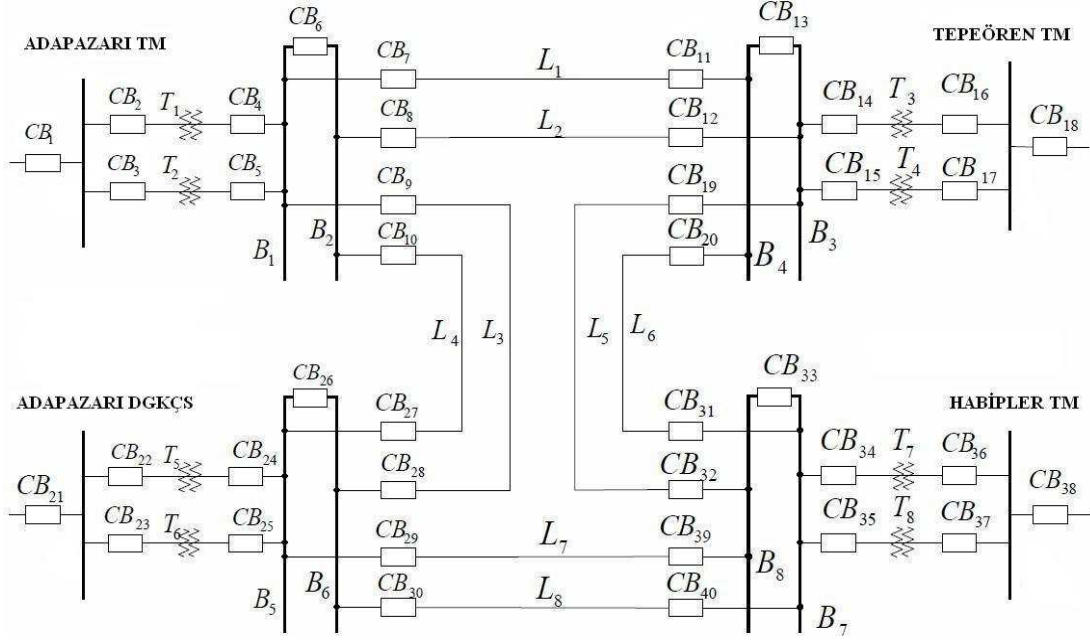
5.1. KBA'nın Tanıtılması

Enterkonnekte sistem işletmesinde üretim - tüketim dengesinin sürekli olarak sağlanması zorunludur. Bu dengenin sağlanması sistemin bir merkezden kontrol ve kumandasının yapılması ile mümkündür. Çok büyük olan sistemlerde, sistem birden fazla bölgeye ayrılarak bu bölgeler kendi merkezlerinden kontrol edilirler. Türkiye'deki sistem bölgelerinden biriside Kuzey Batı Anadolu şebekesidir. Kuzey Batı Anadolu şebekesinde mevcut işletme gerilimi 380 ve 154 Kv'tur. Bölgede 14 tane 380 Kv ve 105 tane 154 Kv'luk TM bulunmaktadır. Bu 119 baranın 21 tanesi üretim, 98 tanesi ise yük barasıdır. Bu sistemde 6 tane otoprodüktör santrali, 6 tane özel santral, 7 tane termik santrali ve 2 tane hidroelektrik santrali bulunmaktadır (Pamuk ve Uyaroğlu, 2011).

5.2. KBA'nın Dört Baralı Güç Sisteminde PA Uygulaması

Şekil 5.1'de KBA güç sistemine ait dört baralı örnek bir güç sistemi gösterilmiştir. Bu sistemdeki baralar; Adapazarı TM, Tepeören TM, Habipler TM ve Adapazarı DGKÇS'dir. T_1 ve T_2 Adapazarı TM'deki ototrafo ları, T_3 ve T_4 Tepeören TM'deki ototrafo ları, T_5 ve T_6 Adapazarı DGKÇS'deki ototrafo ları, T_7 ve T_8 ise Habipler TM'deki ototrafo ları temsil etmektedir. Her TM'de 154 kV gerilime sahip iki bara bulunmaktadır. Bu baralar; B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 , B_6 , B_7 ve B_8 'dir. CB_6 Adapazarı TM'deki 154 kV kublaj kesicisini, CB_{13} Tepeören TM'deki 154 kV kublaj kesicisini, CB_{26} Adapazarı DGKÇS'deki 154 kV kublaj kesicisini, CB_{33} Habipler TM'deki 154 kV kublaj kesicisini göstermektedir. CB_2 , CB_3 , CB_{16} , CB_{17} , CB_{22} , CB_{23} , CB_{36} ve CB_{37} 380 kV bank kesicilerini göstermektedir. CB_4 , CB_5 , CB_{14} , CB_{15} , CB_{24} , CB_{25} , CB_{34} ve CB_{35} 154 kV bank kesicilerini göstermektedir. CB_7 , CB_8 , CB_9 , CB_{19} Adapazarı TM'ne ait hat kesicilerini, CB_{11} , CB_{12} , CB_{19} , CB_{20} Tepeören TM'ne ait

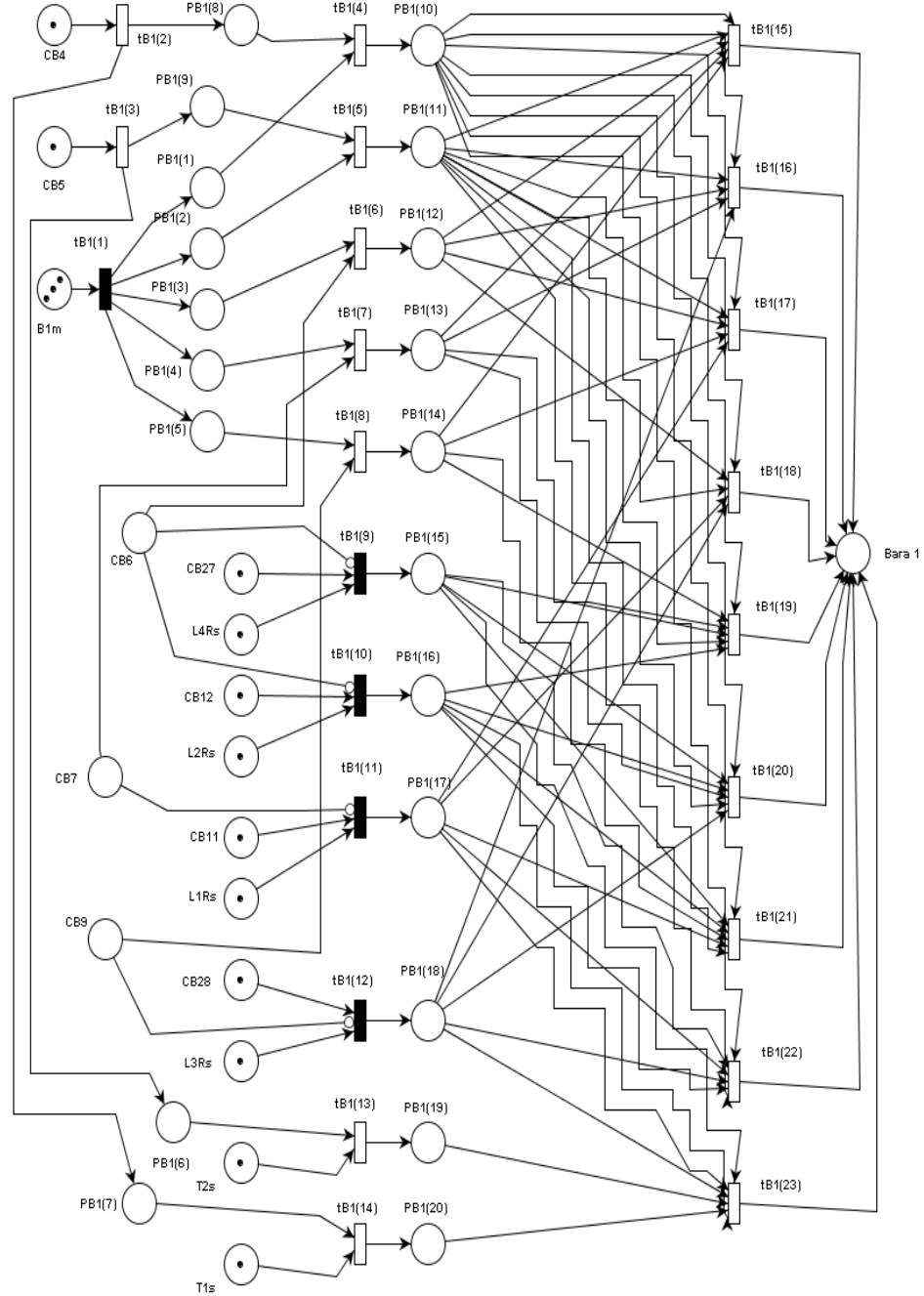
hat kesicilerini, CB₂₇, CB₂₈, CB₂₉, CB₃₀ Adapazarı DGKÇS'ne ait hat kesicilerini ve CB₃₁, CB₃₂, CB₃₉, CB₄₀ Habipler TM'ne ait hat kesicilerini göstermektedir.



Şekil 5.1. KBA şebekesine ait dört baralı örnek bir güç sistemi

Şekil 5.1'deki güç sistemi 28 çeşit koruma elemanı, 84 adet koruma rölesi ve 40 adet devre kesicisi içermektedir. Koruma elemanları; 4 adet TM (Adapazarı, Tepeören, Adapazarı DGKÇS ve Habipler), 8 adet ototrafo (T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈), 8 adet 154 kV baralar (B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₆, B₇, B₈), 8 adet enerji iletim hattıdır, (L₁, L₂, L₃, L₄, L₅, L₆, L₇, L₈). 40 adet devre kesicileri; CB₁, CB₂, CB₃, ... ,CB₄₀'dır. 84 adet koruma rölesinin 36 tanesi ana koruma röleleridir, (r₁, r₂, r₃, ... ,r₃₆). Bu ana koruma rölelerinin; 4 tanesi TM'ne ait ana koruma röleleri (380 kV bara koruma), 8 tanesi ototrafoları ait ana koruma röleleri (T_{1m}, T_{2m}, ... ,T_{8m}), 8 tanesi 154 kV baralara ait ana koruma röleleri (B_{1m}, B_{2m}, ...B_{8m}), 8 tanesi gönderilen ve 8 tanesi de alınan olmak üzere 16 tanesi iletim hatlarına ait ana koruma röleleridir, (L_{1sm}, L_{1rm}, L_{2sm}, L_{2rm}, ... , L_{8sm}, L_{8rm}). 48 tanesi ise birinci ve ikinci koruma rölelerinden oluşmaktadır. Bunlardan 24 tanesi birinci koruma, 24 tanesi de ikinci koruma röleleridir. 24 tane birinci koruma rölelerinden; 8 tanesi ototrafoları ait birinci koruma rölelerini (T_{1p}, T_{2p}, T_{3p}, ... ,T_{8p}), 8 tanesi gönderilen ve 8 tanesi de alınan olmak üzere 16 tanesi iletim hatlarına ait birinci koruma röleleridir, (L_{1sp}, L_{1rp}, L_{2sp},

$L_{2rp}, \dots, L_{8sp}, L_{8rp}$). 24 tane ikinci koruma rölelerinden; 8 tanesi ototrafoalara ait ikinci koruma rölelerini ($T_{1s}, T_{2s}, T_{3s}, \dots, T_{8s}$), 8 tanesi gönderilen ve 8 tanesi de alınan olmak üzere 16 tanesi iletim hatlarına ait ikinci koruma röleleridir, ($L_{1ss}, L_{1rs}, L_{2ss}, L_{2rs}, \dots, L_{8ss}, L_{8rs}$). Şekil 5.2’de Adapazarı TM ’deki bara – 1’e ait PA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Adapazarı trafo merkezi bara - 1'e ait PA modeli

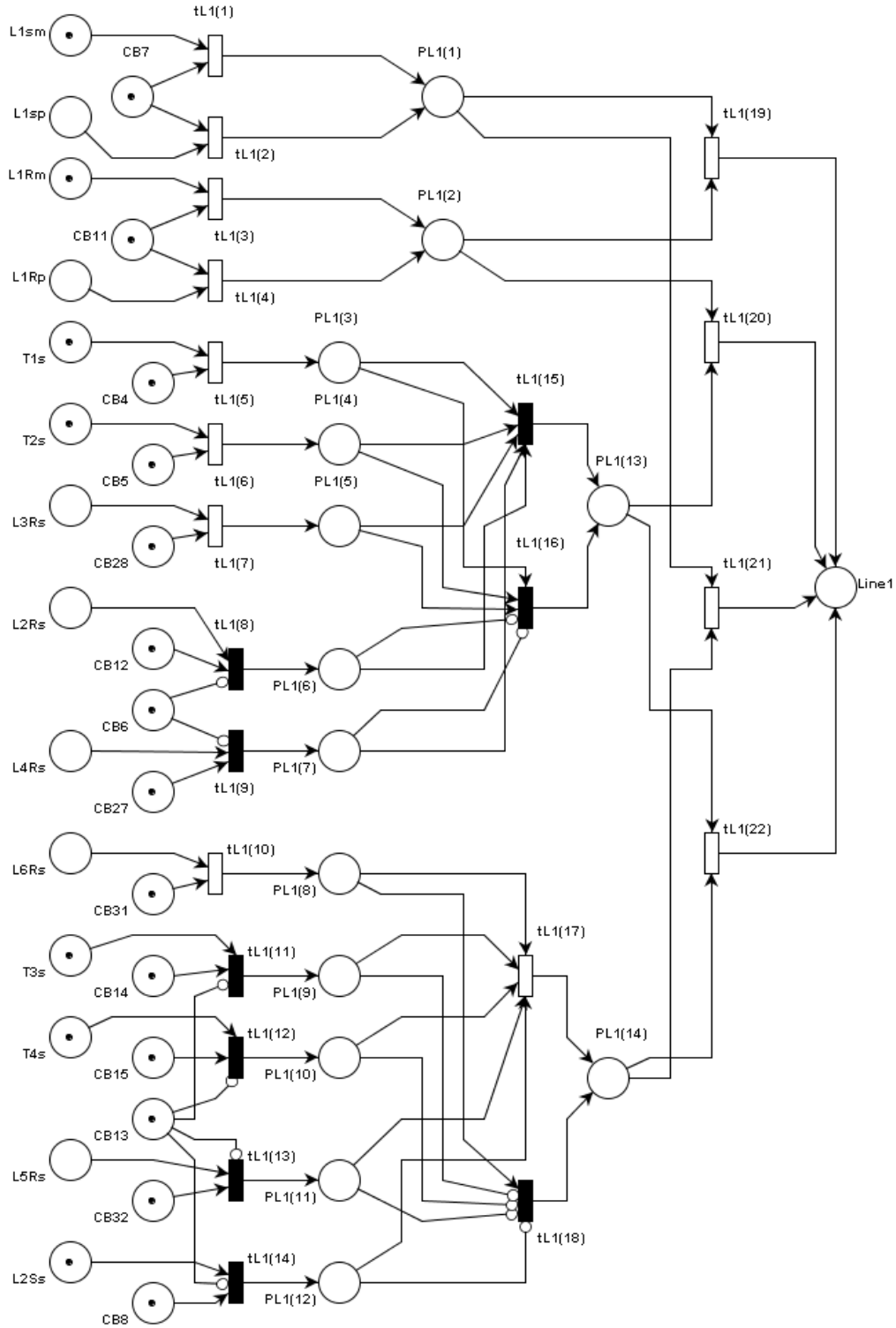
Şekil 5.2’de Adapazarı TM’de bara koruma rölesi B_{1m} olarak gösterilmiştir. B_{1m} rölesi, arıza yerine göre bara -1’e bağlı CB_6 kublaj kesicisine, CB_4 ve CB_5 ototrafo fider kesicilerine ve L_1 , L_3 hat fideri kesicilerine trip sinyali göndermesi amaçlanmıştır. Arıza esnasında ilgili geçişler ateşlenerek, durumlar içerisinde jeton aktarımı başlar. Kublaj kesicisinde jeton bulunma şartı Adapazarı TM’deki bara - 2 ile doğrudan irtibatlı olan karşı TM’lerindeki kesicilerin hareket sonu kontak pozisyonları ile değerlendirilmiştir. B_1 durumunda jeton bulunması, bara - 1’de arıza olduğunu göstermektedir. Bara - 1’deki arıza durumunu bir örnek ile açıklarsak;

Bara - 1’de bir arıza olduğu takdirde, bara koruma rölesi B_{1m} , L_2 enerji iletim hattına ait rölenin ikinci kademede trip sinyali alması L_{2Rs} ve L_4 enerji iletim hattına ait rölenin ikinci kademede trip sinyali alması L_{4RS} işlemleri gerçekleşir. CB_4 , CB_5 , CB_7 , CB_9 , CB_{12} ve CB_{27} kesicilerine trip sinyali gönderilir. Sırasıyla B_{1m} , L_{2Rs} , L_{4Rs} , CB_4 , CB_5 , CB_7 , CB_9 , CB_{12} ve CB_{27} durumlarında birer jeton oluşur. Bu esnada diğer durumlardaki jeton sayısı sıfırdır. Bundan dolayı $t_{B1(1)}$, $t_{B1(2)}$, $t_{B1(3)}$, $t_{B1(9)}$ ve $t_{B1(10)}$ geçişleri ateşlenir. Bu durumda $P_{B1(1)}$, $P_{B1(2)}$, $P_{B1(3)}$, $P_{B1(4)}$, $P_{B1(5)}$, $P_{B1(6)}$, $P_{B1(7)}$, $P_{B1(8)}$, $P_{B1(9)}$, $P_{B1(15)}$, $P_{B1(16)}$ değerleri bir olur. Daha sonra $t_{B1(4)}$, $t_{B1(5)}$, $t_{B1(7)}$, $t_{B1(8)}$ ateşlenerek, $P_{B1(10)}$, $P_{B1(11)}$, $P_{B1(13)}$, $P_{B1(14)}$, $P_{B1(15)}$ ve $P_{B1(16)}$ değerleri bir olur. Son olarak $t_{B1(19)}$ ateşlenerek B_1 değeri bir olur. Bu durumun anlamı bara - 1’de arıza olmasıdır.

Şekil 5.3’de Adapazarı TM ’deki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli gösterilmiştir. L_{1sm} ve L_{1Rm} ana koruma rölelerini, L_{1sp} ve L_{1Rp} birinci koruma rölelerini, T_{1s} , T_{2s} , L_{2Rs} , L_{3Rs} , T_{3s} , T_{4s} , L_{5Rs} , L_{6Rs} , L_{2ss} ikinci koruma rölelerini göstermektedir. CB_7 , CB_{11} , CB_4 , CB_5 , CB_6 , CB_8 , CB_{12} , CB_{13} , CB_{14} , CB_{15} , CB_{27} , CB_{28} , CB_{31} ve CB_{32} ise devre kesicilerini göstermektedir. Bu modelde L_{1sm} durumu, L_1 enerji iletim hattına ait ana koruma rölesi tarafından trip sinyali gönderilmesini ve gönderilen sinyal ile CB_7 kesicisinin açması sağlanmaktadır. L_1 enerji iletim hattındaki arıza durumunu bir örnek ile açıklarsak;

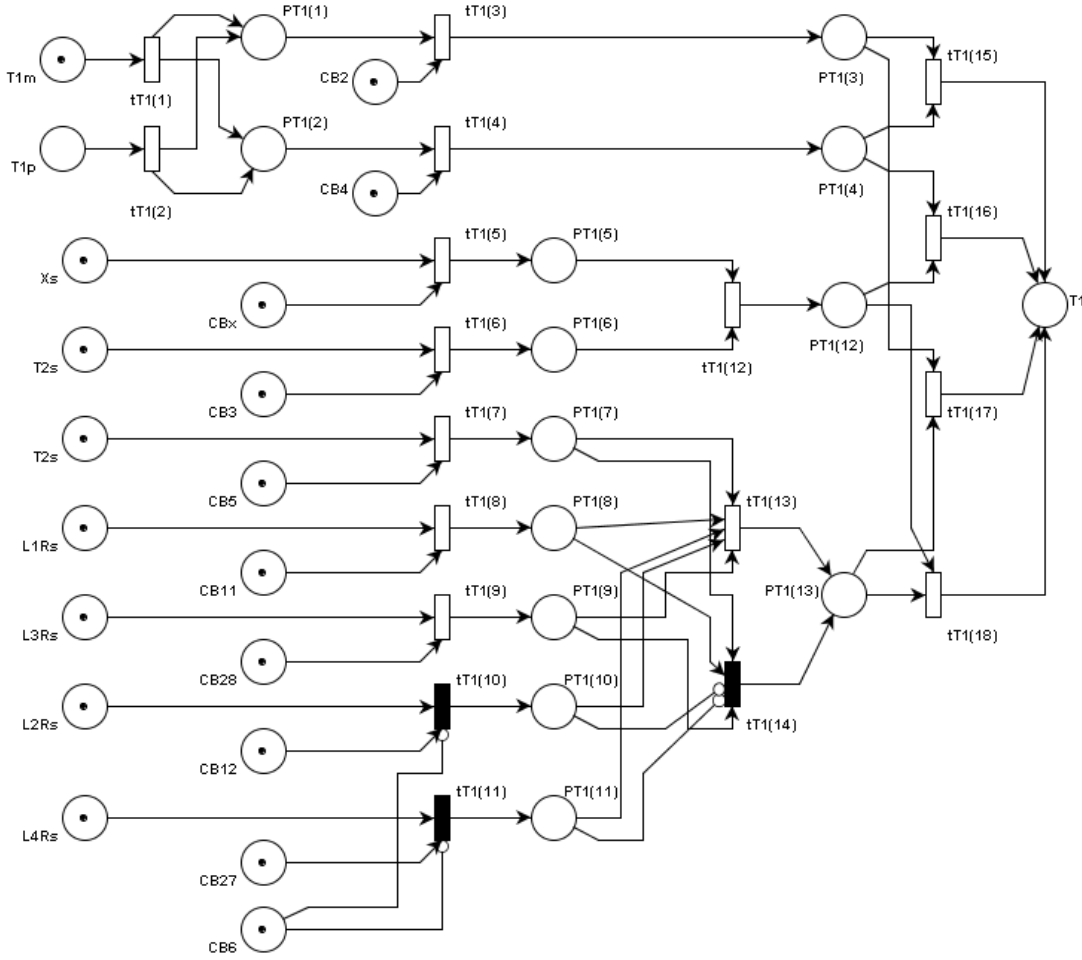
L_1 enerji iletim hattında bir arıza olduğu takdirde, L_{1sp} ve L_{1Rm} koruma rölelerinden CB_7 ve CB_{11} kesicilerine trip sinyali gönderilir. Trip sinyali ile CB_7 ve CB_{11} kesicilerine ait durumlarda jeton oluşur. Diğer geçiş terminallerinde jeton bulunmamaktadır. Bundan dolayı $t_{L1(2)}$, $t_{L1(3)}$ geçişleri ateşlenir. Bu durumda $P_{L1(1)}$,

$P_{L1(2)}$ değerleri bir olur. Son olarak $t_{L1(19)}$ ateşlenerek L_1 değeri bir olur. Bu durumun anlamı L_1 enerji iletim hattında arıza olmasıdır.



Şekil 5.3. Adapazarı trafo merkezindeki L_1 enerji iletim hattına ait PA modeli

Şekil 5.4’de Adapazarı TM ’deki T_1 ototrafosuna ait PA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Adapazarı trafo merkezindeki T_1 ototrafosuna ait PA modeli

Şekil 5.4’de Adapazarı TM’deki T_1 ototrafosu CB_2 kesicisi (380 kV bank girişi) ile CB_4 kesicisi (154 kV bank çıkışı) arasında bulunmaktadır. T_{1m} ototrafonun ana koruma yapısını, T_{1p} ise birinci koruma yapısını göstermektedir. Güç sisteminde bir arıza oluştuğu takdirde, T_{1m} ve T_{1p} koruma yapıları trip sinyali alarak, $t_{T1(1)}$ ve $t_{T1(2)}$ geçişlerini ateşler. $P_{T1(1)}$, $P_{T1(2)}$, CB_2 ve CB_4 durumlarında birer jeton oluşur. Bu esnada diğer durumlardaki jeton sayısı sıfırdır. Bundan dolayı $t_{T1(3)}$ ve $t_{T1(4)}$ geçişleri ateşlenir. Bu durumda $P_{T1(3)}$ ve $P_{T1(4)}$ değerleri bir olur. Daha sonra $t_{T1(15)}$ veya $t_{T1(16)}$ T_1 değeri bir olur. Bu durumun anlamı ototrafo - 1’de arıza olmasıdır. Adapazarı DGKÇS, Tepeören TM ve Habipler TM için oluşturulacak olan PA modelleri, Adapazarı TM PA modeli ile aynı yapıya sahiptir. Bu nedenle bu bölümde söz konusu diğer TM’lere ait PA modelleri yeniden oluşturulmamıştır.

5.2.1. Adapazarı TM'ne bağlı L₁ enerji iletim hattına ait arıza doğruluk derecesi değeri için BPA uygulaması

Adapazarı TM'deki kesici ve koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri istatistiksel olarak hesaplanmaktadır. Ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri;

$$P_L = (N_c / N_t) \times 100 \quad (5.1)$$

formülüne göre hesaplanmıştır. Bu ifadede, N_c : Ana koruma elemanının bir yıl içerisinde doğru çalışma sayısını, N_t : Ana koruma elemanının bir yıl içerisinde toplam çalışma sayısını göstermektedir. Buna göre Adapazarı TM'deki 154 kV Tepeören enerji iletim hattına ait rölelerin 2011 yılı çalışma sayıları; N_c : 148 adet doğru çalışma sayısı, N_t : 149 adet toplam çalışma sayısıdır. Buna göre P_L = % 99.32 olarak bulunmuştur. Denklem 5.1 formülü ile Adapazarı TM'deki ototrafo - 1 ve bara - 1 için beş yıllık doğruluk derecesi değerleri hesaplanarak Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. 2007 - 2011 yılları arasında Adapazarı TM'ndeki ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri

Adapazarı TM	2007	2008	2009	2010	2011
L₁ İletim Hattı	% 98.86	% 99.19	% 99.15	% 99.14	% 99.32
Ototrafo - 1	% 75.21	% 82.54	% 74.77	% 76.21	% 79.05
Bara - 1	% 93.05	% 81.05	% 90.28	% 80.23	% 84.09

L₁ enerji iletim hattına ait ana koruma elemanının ortalama doğruluk derecesi değeri;

$$R_L = (N_d / N) \quad (5.2)$$

formülü ile hesaplanır. Bu ifadede, N_d : Ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri toplamını, N : Yıl sayısını göstermektedir. Buna göre; 2007 – 2011 yılları arasında Adapazarı TM'ndeki ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri;

$R_L = (0.9886 + 0.9919 + 0.9915 + 0.9914 + 0.9932) / 5 = 0.99132$ bulunur.

Aynı şekilde ototrafo - 1, bara - 1 ve CB_7 kesicisine ait ana koruma elemanlarının doğruluk derecesi değeri bulunur. Buna göre $R_T = 0.77556$, $R_B = 0.8574$ ve $R_C = 0.99942$ 'dir.

Benzer şekilde Adapazarı TM'deki L_1 enerji iletim hattı, ototrafo - 1 ve bara - 1'e ait birinci koruma ve ikinci koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri bulunur. Birinci koruma elemanları doğruluk derecesi değerleri; $R_{1L1} = 0.8$, $R_{1T1} = 0.6$, $R_{1B1} = 0.7$ 'dir. İkinci koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri; $R_{2L1} = 0.7$, $R_{2T1} = 0.5$, $R_{2B1} = 0.6$ 'dır.

PIPE2 programında oluşturulan L_1 enerji iletim hattına ait BPA modeli çalıştırılmıştır. Buna göre ilk işaretleme vektörü (M_0);

$$M_0 = \begin{bmatrix} L_{1sm} & CB_7 & L_{1sp} & L_{1Rm} & CB_{11} & L_{1Rp} & CB_4 & & P_{11} & & & P_{39} & L_1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & & 0 & & & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

elde edilmiştir. L_1 enerji iletim hattına ait ana ve birinci koruma röleleri ile CB_7 kesicisinin doğruluk derecesi değerleri $R_L = 0.99132$, $R_{1L1} = 0.8$ ve $R_C = 0.99942$ 'dir. Sistemin tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} & T_{m1} & & T_{21} & & T_{39} \\ L_{1sm} & -1 & 0 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ CB_7 & -1 & -1 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ L_{1sp} & 0 & -1 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ L_{1Rm} & 0 & 0 & -1 & 0 & & 0 & & 0 \\ CB_{11} & 0 & 0 & -1 & -1 & & 0 & & 0 \\ L_{1Rp} & 0 & 0 & 0 & -1 & & 0 & & 0 \\ CB_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & & 0 & & 0 \\ & & & & & & & & \\ P_{11} & 1 & 0 & 0 & 0 & & -1 & & 0 \\ & & & & & & & & \\ P_{26} & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & & -1 \\ L_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & & 1 \end{bmatrix}$$

Tekrar oranı matrisinin boyutu 43x29'dur. İlk işaretleme vektöründen de görüleceği üzere L_{1Rm} , L_{1sp} , CB_7 ve CB_{11} durumlarında jeton sayısı bir olmakta, diğer durumlarda ise jeton sayısı sıfır olmaktadır. Tekrar oranı matrisindeki geçişlerde L_1 durumu dışında -1 değerini içermektedir. Tekrar oranı matrisindeki satırlardan L_{1Rm} , L_{1sp} , CB_7 ve CB_{11} durumları dışındaki sadece -1 değerini alan sütunlar silinerek matris boyutu azaltılmıştır. (T_{11} , T_{14} , T_{m1} vd.) Bu durumda sistemin yeni oluşturulan tekrar oranı matrisi;

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} T_{12} & T_{13} & T_{21} & & T_{31} & & T_{39} \\ CB_7 & -1 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ L_{1sp} & -1 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ L_{1Rm} & 0 & -1 & 0 & & 0 & & 0 \\ CB_{11} & 0 & -1 & 0 & & 0 & & 0 \\ P_{11} & 0 & 0 & -1 & & 0 & & 0 \\ & & & & & & & \\ P_{m1} & 0 & 0 & 0 & & 0 & & 0 \\ & & & & & & & \\ P_{21} & 0 & 0 & 1 & & -1 & & 0 \\ & & & & & & & \\ P_{25} & 0 & 0 & 0 & & 0 & & -1 \\ P_{26} & 0 & 0 & 0 & & 0 & & -1 \\ L_1 & 0 & 0 & 0 & & 0 & & 1 \end{bmatrix}$$

Yeni oluşturulan tekrar oranı matrisinin boyutu 23x19'dur. Yeni oluşturulan tekrar oranı matrisine göre ilk işaretleme vektörü (M'_0);

$$M'_0 = \begin{bmatrix} CB_7 & L_{1sp} & L_{1Rm} & CB_{11} & P_{11} & & P_{14} & P_{m1} & & P_{m8} & P_{21} & & P_{26} & L_1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & & 0 & 0 & & 0 & 0 & & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

elde edilmiştir. PIPE2 programından $\lambda = 0.67$ bulunmuştur. Bu durumda $t_{L1(2)}$ ve $t_{L1(3)}$ geçiş derecesi değerleri denklem 3.11'den hesaplanır. Buna göre;

$$f(t_{L1(2)}) = \alpha \cdot (L_{1sp}) \cdot w_{12} + \alpha \cdot (CB_7) \cdot w_{12} = 0.8547$$

$$f(t_{L1(3)}) = \alpha \cdot (L_{1Rm}) \cdot w_{13} + \alpha \cdot (CB_{11}) \cdot w_{13} = 0.9456$$

$f(t_{L1(2)}) > \lambda$ ve $f(t_{L1(3)}) > \lambda$ olduğundan $t_{L1(2)}$ ve $t_{L1(3)}$ geçişleri ateşlenir. Jetonlar $P_{L1(2)}$ ve $P_{L1(3)}$ durumlarına geçer. $P_{L1(2)}$ ve $P_{L1(3)}$ durumlarındaki doğruluk derecesi değerleri;

$$\alpha \cdot (P_{L1(2)}) = t_{L1(2)} \cdot \mu_{L1(2)} / (1 + e^{-b(t_{L1(2)} - \lambda_{12})}) = 0.8547$$

$$\alpha \cdot (P_{L1(3)}) = t_{L1(3)} \cdot \mu_{L1(3)} / (1 + e^{-b(t_{L1(3)} - \lambda_{13})}) = 0.9456$$

Benzer şekilde $t_{L1(22)}$ ve $t_{L1(23)}$ geçiş derecesi değerleri denklem 3.11'den hesaplanacak olursa;

$$f(t_{L1(22)}) = \alpha \cdot (P_{L1(2)}) \cdot w_{22} + \alpha \cdot (P_{L1(3)}) \cdot w_{22} = 0.8334$$

$$f(t_{L1(23)}) = \alpha \cdot (P_{L1(2)}) \cdot w_{23} + \alpha \cdot (P_{L1(3)}) \cdot w_{23} = 0.9219$$

$f(t_{L1(22)}) > \lambda$ ve $f(t_{L1(23)}) > \lambda$ olduğundan $t_{L1(22)}$ ve $t_{L1(23)}$ geçişleri ateşlenir. Jetonlar $P_{L1(22)}$ ve $P_{L1(23)}$ durumlarına geçer. $P_{L1(22)}$ ve $P_{L1(23)}$ durumlarındaki doğruluk derecesi değerleri;

$$\alpha \cdot (P_{L1(22)}) = t_{L1(22)} \cdot \mu_{L1(22)} / (1 + e^{-b(t_{L1(22)} - \lambda_{22})}) = 0.8119$$

$$\alpha \cdot (P_{L1(23)}) = t_{L1(23)} \cdot \mu_{L1(23)} / (1 + e^{-b(t_{L1(23)} - \lambda_{23})}) = 0.8983$$

Son olarak $t_{L1(20)}$ geçiş derecesi değeri denklem 3.11'den hesaplanacak olursa;

$$f(t_{L1(20)}) = \alpha \cdot (P_{L1(22)}) \cdot w_{20} + \alpha \cdot (P_{L1(23)}) \cdot w_{20} = 0.8124 \text{ bulunur.}$$

Denklem 3.30'dan; L_1 enerji iletim hattına ait arıza durumunun doğruluk derecesi değeri, $Maks(0 \ 0 \ 0.8124 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) = 0.8124$ bulunur. Sonuç olarak Adapazarı TM deki L_1 enerji iletim hattına ait arızaların gerçekleşme doğruluk derecesi değeri 0.8124'dür.

Benzer şekilde eğer L_{1sp} koruma durumunda bir arıza gerçekleşirse, (L_{1sp} durumunda jeton bulunma hali) CB_4 , CB_5 , CB_{28} , CB_{27} ve CB_6 kesicileri tarafından T_{1s} , T_{2s} , L_{3Rs} ve L_{4Rs} geçişlerine trip sinyali gönderilerek, arızalı kısım şebekeden izole edilir.

PIPE2 programı çalıştırılarak bu sistemin 30x23 boyutunda tekrar oranı matrisi elde edilir. Matris incelendiğinde L_{1sm} , L_{1sp} , CB_7 , L_{1Rp} , T_{3s} , L_{6Rs} ve CB_{13} durumlarında sadece -1 değerini alan sütunlar silinerek, tekrar oranı matrisi indirgenmiştir. Yeni durumdaki tekrar oranı matrisi sonucunda, L_1 enerji iletim hattına ait arıza durumunun doğruluk derecesi değeri 0.7749 bulunmuştur. L_{1sp} koruma durumunda arıza gerçekleştiği esnada L_{1Rp} koruma durumunda da arıza gerçekleşirse 24x20 boyutlu tekrar oranı matrisi elde edilir. $t_{L1(4)}$ geçişi ateşlenir. $P_{L1(2)} = 0.8547$ bulunur. $t_{L1(19)}$ ve $t_{L1(20)}$ geçişleri ateşlenerek, $P_{L1(19)} = 0.8124$ ve $P_{L1(20)} = 0.7714$ bulunur. $P_{L1(19)} > \lambda$ ve $P_{L1(20)} > \lambda$ olduğundan dolayı, L_1 enerji iletim hattına ait arıza durumunun doğruluk derecesi değeri büyük olan 0.8124 olur. Tablo 5.2’de KBA şebekesine ait dört baralı örnek güç sistemindeki altı adet arıza olayı ve doğruluk derecesi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2. KBA şebekesine ait dört baralı güç sistemindeki arızalar ve doğruluk derecesi değerleri

Trafo Merkezi Adı	Arıza Sinyalleri	Doğruluk Derecesi Değerleri
Adapazarı TM	B_{1m} , L_{2Rs} ve L_{4Rs} röleleri çalışarak, CB_4 , CB_5 , CB_7 , CB_9 , CB_{12} , CB_{27} kesicilerine açma sinyali gönderme	B_1 bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.762
Adapazarı TM	B_{1m} , L_{1sp} ve L_{1m} röleleri çalışarak, CB_4 , CB_5 , CB_6 , CB_7 , CB_9 , CB_{11} kesicilerine açma sinyali gönderme	B_1 bara arızası ve L_1 iletim hattı arızası, Doğruluk derecesi değerleri 0.7956 ve 0.8124
Adapazarı TM	B_{1m} , B_{2m} , L_{1sm} , L_{1Rp} , L_{2sp} , L_{2Rm} röleleri çalışarak, CB_4 , CB_5 , CB_6 , CB_7 , CB_8 , CB_9 , CB_{10} , CB_{11} , CB_{12} kesicilerine açma sinyali gönderme	B_1 ve B_2 bara arızaları ile L_1 ve L_2 iletim hattı arızaları, Doğruluk derecesi değerleri 0.7956, 0.7956, 0.8124 ve 0.8124
Tepeören TM	T_{3p} , L_{7sp} ve L_{7Rp} röleleri çalışarak, CB_{14} , CB_{16} , CB_{29} , CB_{39} kesicilerine açma sinyali gönderme	T_3 ototrafo arızası ve L_6 iletim hattı arızası, Doğruluk derecesi değerleri 0.7217 ve 0.7714
Adapazarı DGKÇS	T_{5s} , T_{6s} röleleri çalışarak, CB_{22} , CB_{23} , CB_{24} , CB_{25} kesicilerine açma sinyali gönderme	380 kV Adapazarı DGKÇS bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.6428
Habipler	T_{7m} , T_{8m} , B_{7m} , B_{8m} , L_{5sm} , L_{5Rp} , L_{6ss} , L_{7Rm} , L_{8ss} röleleri çalışarak, CB_{19} , CB_{20} , CB_{29} , CB_{30} , CB_{32} , CB_{33} , CB_{34} , CB_{35} , CB_{36} , CB_{37} , CB_{39} kesicilerine açma sinyali gönderme	B_7 ve B_8 bara arızaları, L_5 ve L_7 iletim hattı arızaları ile T_7 ve T_8 ototrafo arızaları Doğruluk derecesi değerleri 0.762, 0.7956, 0.8424, 0.8124, 0.801, 0.801

$$neg \gamma^k = 1_m - \gamma^k = \overline{\gamma^k} \quad (5.5)$$

$$neg \lambda^k = 1_m - \lambda^k = \overline{\lambda^k} \quad (5.6)$$

$1_m = (1, 1, 1, \dots, 1)^T$. μ^k değeri Denklem 5.7 ile hesaplandıktan sonra γ^k değeri işaretlenir ve p^k değeri Denklem 5.8 ile hesaplanır. Denklem 5.8'deki W matrisin ağırlığını vermektedir. ($\cdot$ operatörü ise; $\cdot : A \cdot B = D$ matrislerini ifade eder.)

$$\mu^k = \overline{(I + H)^T \otimes \gamma^k} \quad (5.7)$$

$$\rho^k = ((I^T \cdot W^T) \cdot \lambda^k + (H^T \cdot W^T) \cdot \overline{\lambda^k}) \cdot \mu^k \quad (5.8)$$

Denklem 5.3 ile Denklem 5.7 daha sade bir şekilde birleştirilerek Denklem 5.9 elde edilir. Denklem 5.4 ile Denklem 5.8 daha sade bir şekilde birleştirilerek Denklem 5.10 elde edilir.

$$\gamma^{k+1} = \gamma^k \oplus \overline{[O \otimes (I + H)^T \otimes \gamma^k]} \quad (5.9)$$

$$\lambda^{k+1} = \lambda^k \oplus [(O.C) \otimes (((I^T \cdot W^T) \cdot \lambda^k + (H^T \cdot W^T) \cdot \overline{\lambda^k}) \cdot \mu^k)] \quad (5.10)$$

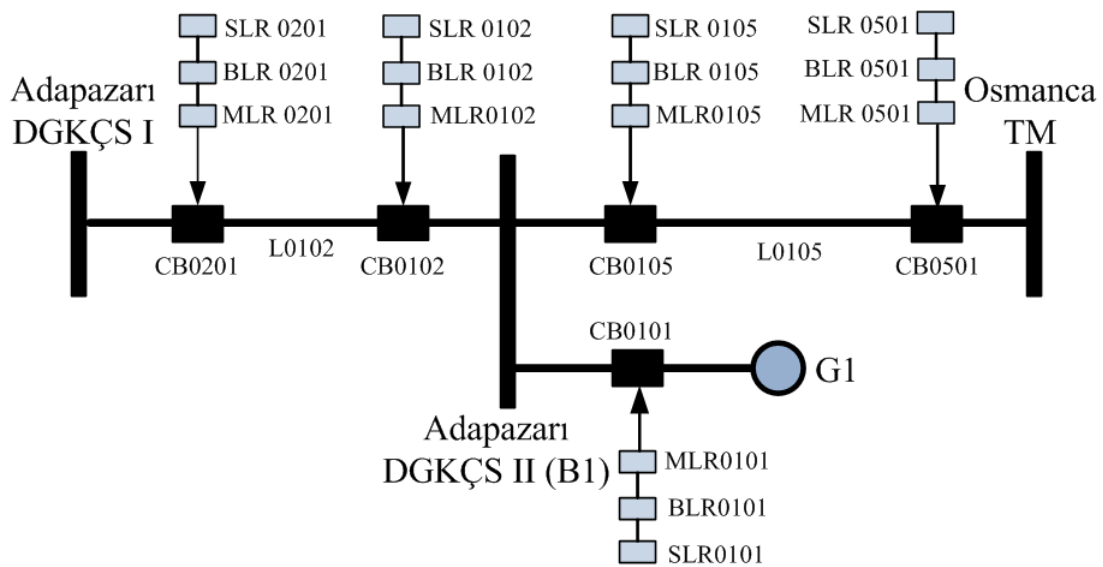
Ondört baralı güç sistemindeki BPA uygulamaları iki kategoride yapılmıştır. Bunlar; bara modellemesi ve enerji iletim hattı modellemesidir.

5.3.1. Trafo merkezleri için BPA uygulamaları

5.3.1.1. Adapazarı DGKÇS II (B₁) BPA uygulaması

Şekil 5.6'da ondört baralı güç sistemindeki Adapazarı DGKÇS II'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Adapazarı DGKÇS II'ye ait bara koruma rölesi BR₁'dir. BR₁ bara koruma rölesi Adapazarı DGKÇS II'de bir arıza oluştuğu durumda CB₀₁₀₁, CB₀₁₀₂ ve CB₀₁₀₅ kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR₀₁₀₁ koruma

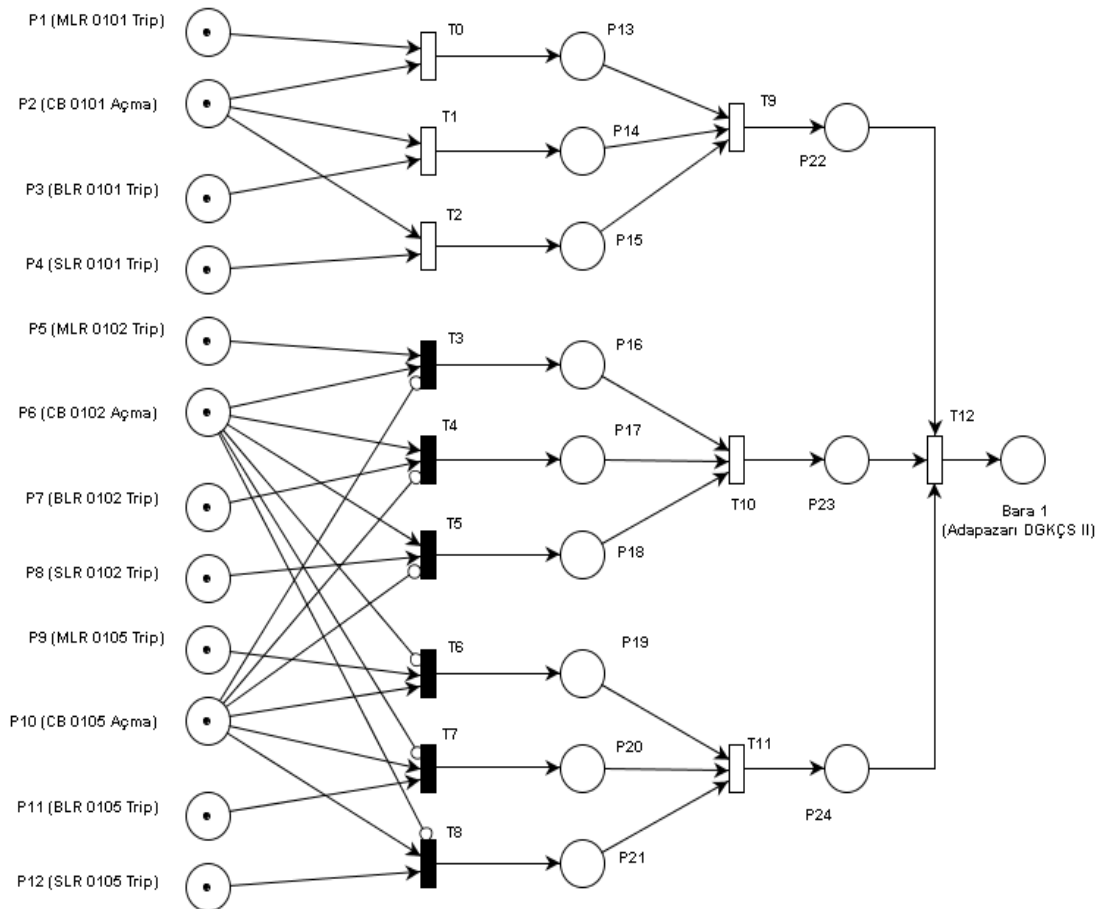
rölesi G_1 jeneratörüne ait birinci koruma rölesi, SLR_{0101} koruma rölesi G_1 jeneratörüne ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0101} ve SLR_{0101} koruma röleleri, MLR_{0101} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0101} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0101} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0101} ikinci koruma rölesi CB_{0101} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR_{0105} koruma rölesi L_{0105} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0105} koruma rölesi L_{0105} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0105} ve SLR_{0105} koruma röleleri, MLR_{0105} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0105} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0105} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0105} ikinci koruma rölesi CB_{0105} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR_{0102} koruma rölesi L_{0102} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0102} koruma rölesi L_{0102} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0102} ve SLR_{0102} koruma röleleri, MLR_{0102} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0102} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0102} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0102} ikinci koruma rölesi CB_{0102} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.6. Adapazarı DGKÇS II'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₂₀₁ ve SLR₀₅₀₁ koruma röleleri L₀₁₀₂ ve L₀₁₀₅ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₂₀₁ ve SLR₀₅₀₁ koruma röleleri aynı zamanda BR₁ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₁ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₂₀₁ ve CB₀₅₀₁ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar.

Şekil 5.7'de Adapazarı DGKÇS II'deki 380 kV baraya (B₁) ait BPA modeli gösterilmiştir. Şekil 5.7'deki p₁, p₂, p₃,...,p₁₂ giriş durumları, Adapazarı DGKÇS II ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. p₁₃, p₁₄, p₁₅, ... , p₂₁ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir.



Şekil 5.7. Adapazarı DGKÇS II'deki baraya ait BPA modeli

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0.3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 19x12, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 12x12'dir. BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0.735 \ 0.639 \ 0.807 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0.735 \ 0.639 \ 0.807 \ 0.881]^T$$

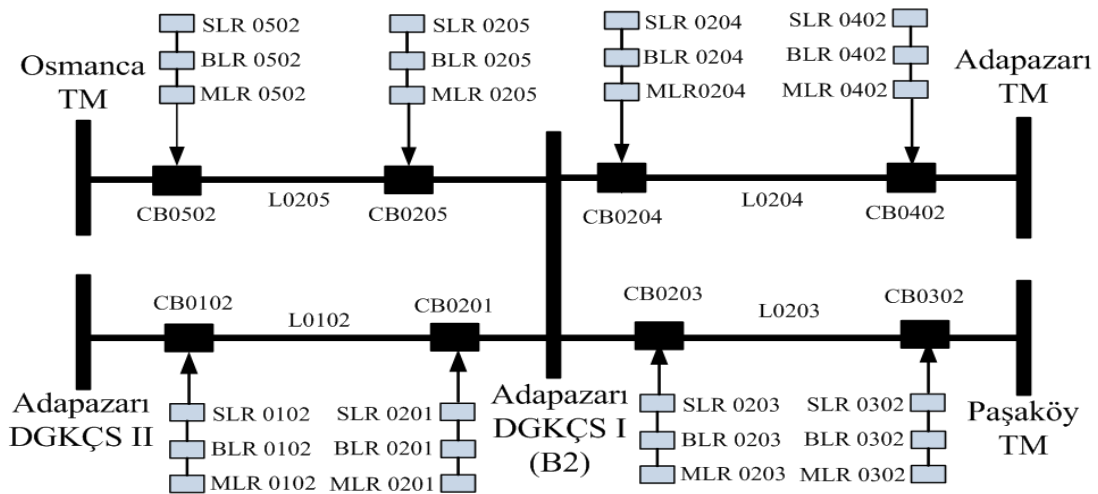
λ^3 doğruluk faktöründen Adapazarı DGKÇS II (B_1) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.881'dir.

5.3.1.2. Adapazarı DGKÇS I (B_2) BPA uygulaması

Şekil 5.8'de ondört baralı güç sistemindeki Adapazarı DGKÇS I'e ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Adapazarı DGKÇS I'e ait bara koruma rölesi BR_2 'dir. BR_2 bara koruma rölesi Adapazarı DGKÇS I'de bir arıza olduğu durumda, CB_{0201} CB_{0203} CB_{0204} ve CB_{0205} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{0201} koruma rölesi L_{0102} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0201} koruma rölesi L_{0102} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0201} ve SLR_{0201} koruma röleleri, MLR_{0201} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0201} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0201} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0201} ikinci koruma rölesi CB_{0201} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

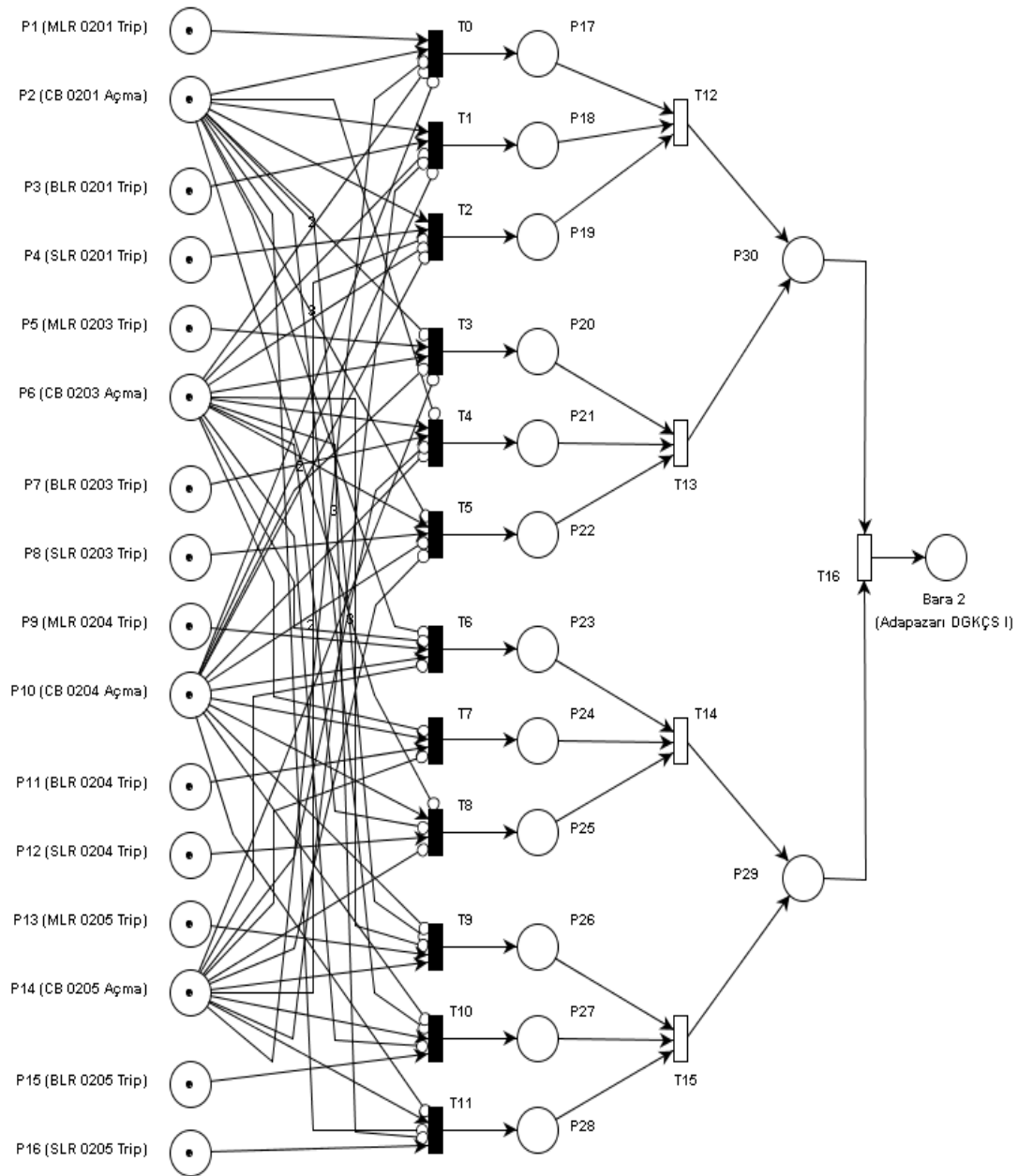
BLR₀₂₀₃ koruma rölesi L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₂₀₃ koruma rölesi L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₂₀₃ ve SLR₀₂₀₃ koruma röleleri, MLR₀₂₀₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₂₀₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₂₀₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₂₀₃ ikinci koruma rölesi CB₀₂₀₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR₀₂₀₄ koruma rölesi L₀₂₀₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₂₀₄ koruma rölesi L₀₂₀₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₂₀₄ ve SLR₀₂₀₄ koruma röleleri, MLR₀₂₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₂₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₂₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₂₀₄ ikinci koruma rölesi CB₀₂₀₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₂₀₅ koruma rölesi L₀₂₀₅ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₂₀₅ koruma rölesi L₀₂₀₅ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₂₀₅ ve SLR₀₂₀₅ koruma röleleri, MLR₀₂₀₅ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₂₀₅ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₂₀₅ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₂₀₅ ikinci koruma rölesi CB₀₂₀₅ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.8. Adapazarı DGKÇS I' e ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₁₀₂ SLR₀₃₀₂ SLR₀₄₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri L₀₁₀₂ L₀₂₀₃ L₀₂₀₄ ve L₀₂₀₅ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₁₀₂ SLR₀₃₀₂ SLR₀₄₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri aynı zamanda BR₂ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₂ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₁₀₂ CB₀₃₀₂ CB₀₄₀₂ ve CB₀₅₀₂ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.9'da Adapazarı DGKÇS I'deki 380 kV baraya (B₂) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Adapazarı DGKÇS I'deki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.9'daki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{16}$ giriş durumları, Adapazarı DGKÇS I ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_{17}, p_{18}, p_{19}, \dots, p_{28}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_2 barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu MLR_{0201} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{0201} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{0203} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{0203} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{0203} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{0203} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_9 durumu MLR_{0204} rölesinin arızayı algılamasını, p_{10} durumu CB_{0204} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR_{0204} rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu SLR_{0204} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{13} durumu MLR_{0205} rölesinin arızayı algılamasını, p_{14} durumu CB_{0205} kesicisinin açmasını, p_{15} durumu BLR_{0205} rölesinin trip sinyali almasını, p_{16} durumu SLR_{0205} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.9'da p_2 'den $t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e, p_6 'dan $t_0, t_1, t_2, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e, p_{10} 'dan $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e ve p_{14} 'den $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8$ 'e otuz altı adet bozucu dal görülmektedir.

Bu bozucu dalların anlamı, CB_{0201} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0203}, CB_{0204} ve CB_{0205} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0203} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0201}, CB_{0204} ve CB_{0205} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0204} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0201}, CB_{0203} ve CB_{0205} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0205} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0201}, CB_{0203} ve CB_{0204} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[illegible]

I, O, H, W matrislerinin boyutu 28x16, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 16x16'dır.

BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

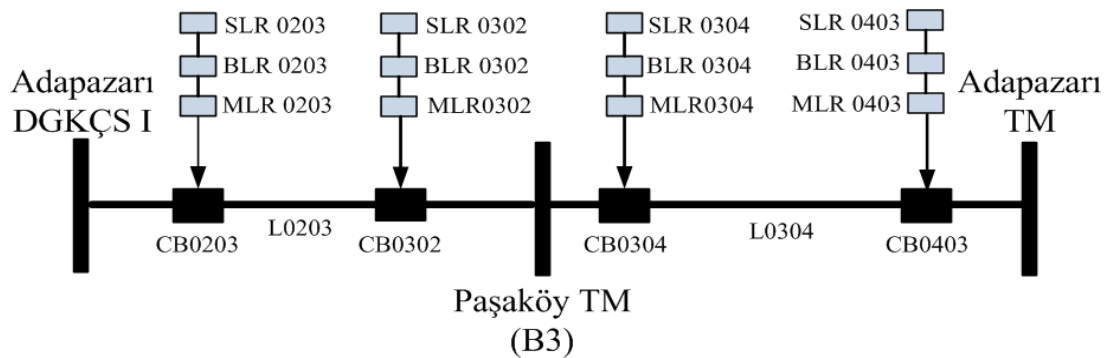
$$\lambda^3 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0.833]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Adapazarı DGKÇS I (B₂) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.833'dür.

5.3.1.3. Paşaköy TM (B₃) BPA uygulaması

Şekil 5.10'da ondört baralı güç sistemindeki Paşaköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Paşaköy TM'ne ait bara koruma rölesi BR₃'dür. BR₃ bara koruma rölesi Paşaköy TM'nde bir arıza olduğu durumda CB₀₃₀₂ ve CB₀₃₀₄ kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR₀₃₀₂ koruma rölesi L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₃₀₂ koruma rölesi L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₃₀₂ ve SLR₀₃₀₂ koruma röleleri, MLR₀₃₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₃₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₃₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₃₀₂ ikinci koruma rölesi CB₀₃₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

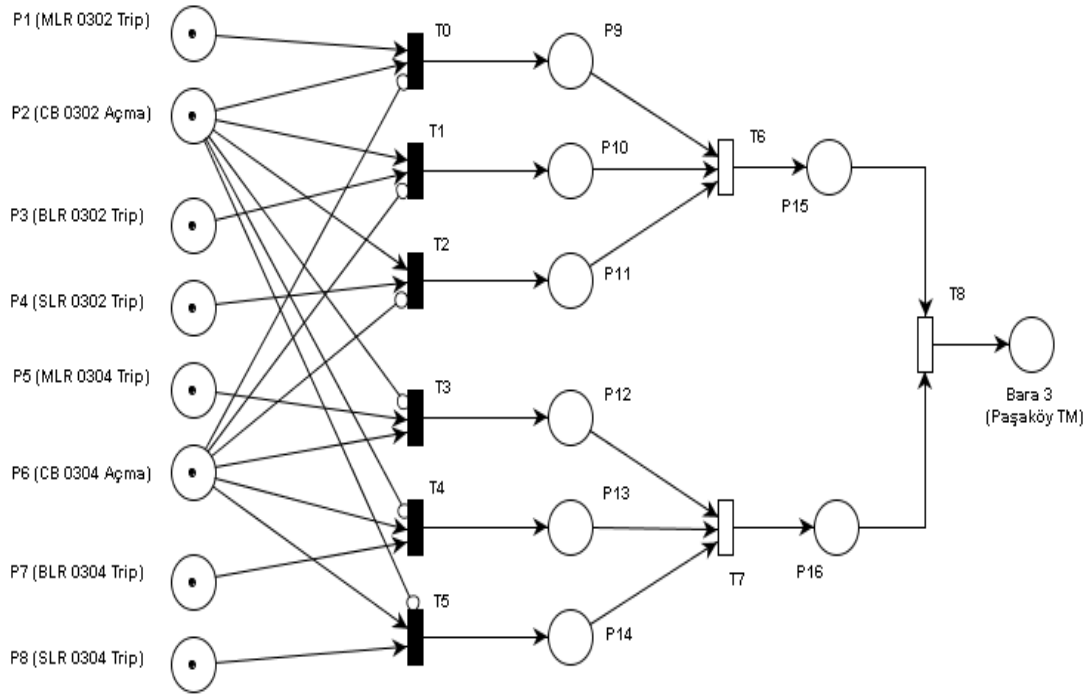
BLR₀₃₀₄ koruma rölesi L₀₃₀₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₃₀₄ koruma rölesi L₀₃₀₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₃₀₄ ve SLR₀₃₀₄ koruma röleleri, MLR₀₃₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₃₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₃₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₃₀₄ ikinci koruma rölesi CB₀₃₀₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.10. Paşaköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₂₀₃ ve SLR₀₄₀₃ koruma röleleri L₀₂₀₃ ve L₀₃₀₄ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₂₀₃ ve SLR₀₄₀₃ koruma röleleri aynı zamanda

BR₃ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₃ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₂₀₃ ve CB₀₄₀₃ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.11’de Paşaköy TM’ndeki 380 kV baraya (B₃) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Paşaköy TM’ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.11’deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_8$ giriş durumları, Paşaköy TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_9, p_{10}, p_{11}, \dots, p_{14}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B₃ barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR₀₃₀₂ rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB₀₃₀₂ kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR₀₃₀₂ rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR₀₃₀₂ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR₀₃₀₄ rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB₀₃₀₄ kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR₀₃₀₄ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_8 durumu SLR₀₃₀₄ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.11’de p₂’den t₃, t₄, t₅’e, p₆’dan t₀, t₁, t₂’ye altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB₀₃₀₂ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₃₀₄ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₃₀₄ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₃₀₂ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 14x8, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 8x8’dir. BPA’da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0.927]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Paşaköy TM (B_3) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.927'dir.

5.3.1.4. Adapazarı TM (B_4) BPA uygulaması

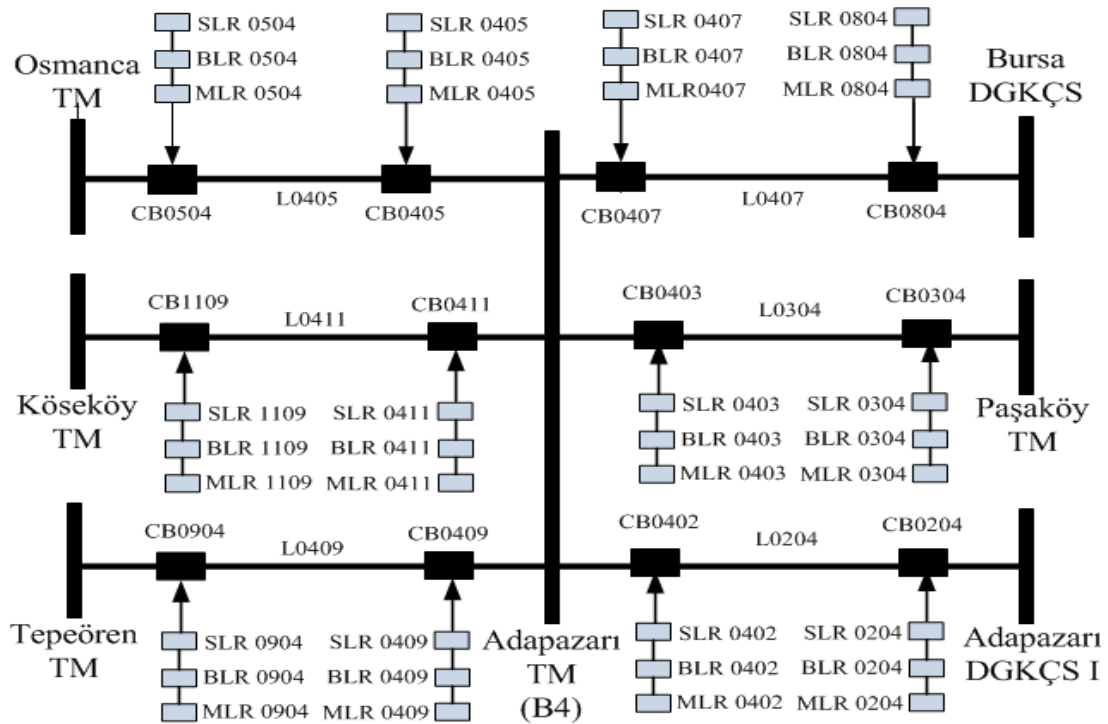
Şekil 5.12'de ondört baralı güç sistemindeki Adapazarı TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Adapazarı TM'ne ait bara koruma rölesi BR_4 'dir. BR_4 bara koruma rölesi Adapazarı TM'nde bir arıza olduğu durumda, CB_{0402} CB_{0403} CB_{0405} CB_{0407} CB_{0409} ve CB_{0411} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{0402} koruma rölesi L_{0204} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0402}

koruma rölesi L₀₂₀₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₀₂ ve SLR₀₄₀₂ koruma röleleri, MLR₀₄₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₂ ikinci koruma rölesi CB₀₄₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₄₀₃ koruma rölesi L₀₃₀₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₄₀₃ koruma rölesi L₀₃₀₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₀₃ ve SLR₀₄₀₃ koruma röleleri, MLR₀₄₀₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₀₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₃ ikinci koruma rölesi CB₀₄₀₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR₀₄₀₅ koruma rölesi L₀₄₀₅ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₄₀₅ koruma rölesi L₀₄₀₅ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₀₅ ve SLR₀₄₀₅ koruma röleleri, MLR₀₄₀₅ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₀₅ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₅ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₅ ikinci koruma rölesi CB₀₄₀₅ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

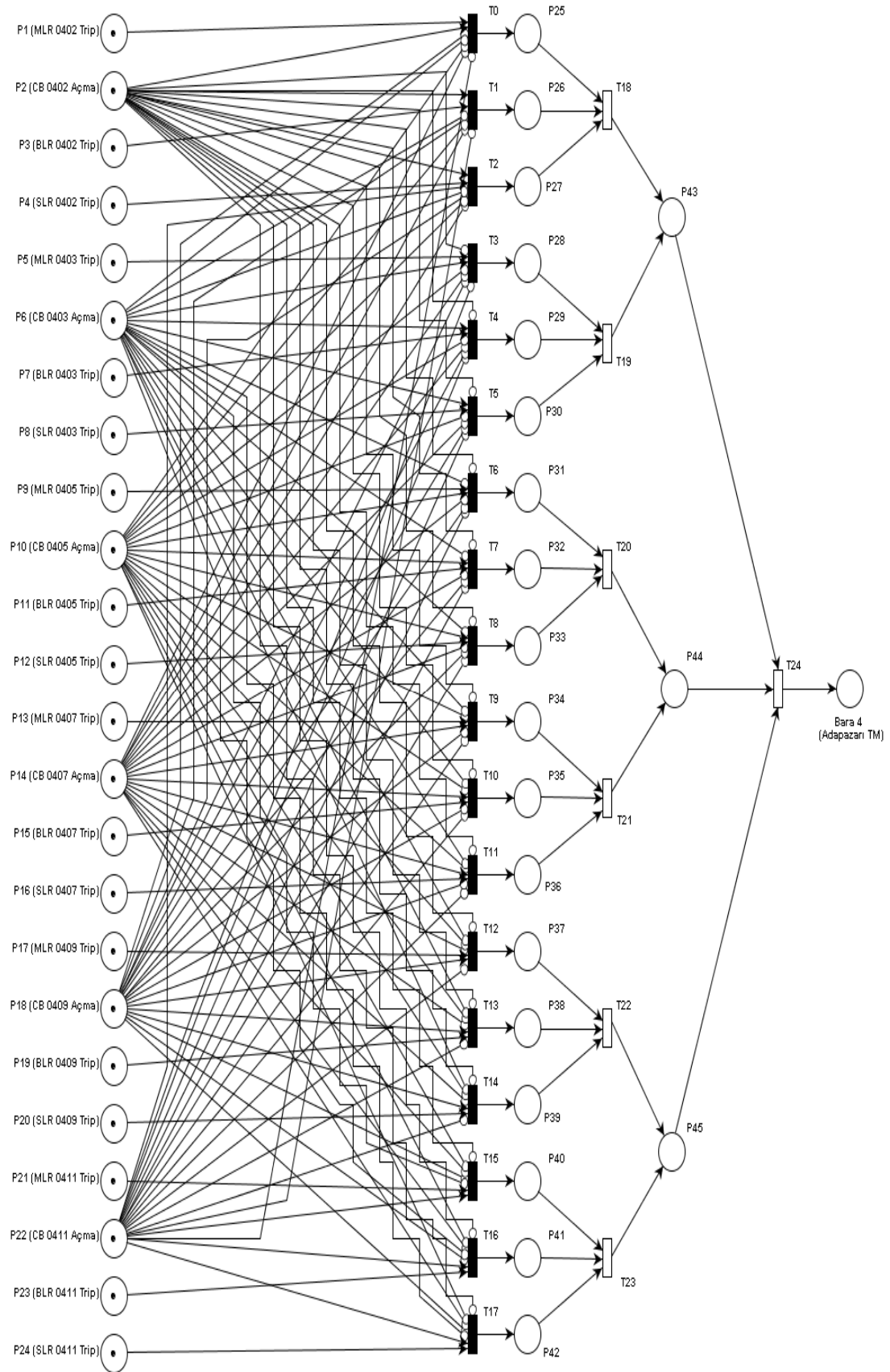
BLR₀₄₀₇ koruma rölesi L₀₄₀₇ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₄₀₇ koruma rölesi L₀₄₀₇ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₀₇ ve SLR₀₄₀₇ koruma röleleri, MLR₀₄₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₇ ikinci koruma rölesi CB₀₄₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR₀₄₀₉ koruma rölesi L₀₄₀₉ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₄₀₉ koruma rölesi L₀₄₀₉ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₀₉ ve SLR₀₄₀₉ koruma röleleri, MLR₀₄₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₉ ikinci koruma rölesi CB₀₄₀₉ kesicisine trip

sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR₀₄₁₁ koruma rölesi L₀₄₁₁ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₄₁₁ koruma rölesi L₀₄₁₁ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₄₁₁ ve SLR₀₄₁₁ koruma röleleri, MLR₀₄₁₁ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₄₁₁ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₁₁ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₄₁₁ ikinci koruma rölesi CB₀₄₁₁ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.12. Adapazarı TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₂₀₄ SLR₀₃₀₄ SLR₀₅₀₄ SLR₀₈₀₄ SLR₀₉₀₄ ve SLR₁₁₀₉ koruma röleleri L₀₂₀₄ L₀₃₀₄ L₀₄₀₅ L₀₄₀₇ L₀₄₀₉ ve L₀₄₁₁ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₂₀₄ SLR₀₃₀₄ SLR₀₅₀₄ SLR₀₈₀₄ SLR₀₉₀₄ ve SLR₁₁₀₉ koruma röleleri aynı zamanda BR₄ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₄ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₂₀₄ CB₀₃₀₄ CB₀₅₀₄ CB₀₈₀₄ CB₀₉₀₄ ve CB₁₁₀₉ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.13'de Adapazarı TM'ndeki 380 kV baraya (B₄) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Adapazarı TM’ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.13'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{24}$ giriş durumları, Adapazarı TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_{25}, p_{26}, p_{27}, \dots, p_{42}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_4 barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu MLR_{0402} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{0402} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{0402} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{0402} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{0403} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{0403} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{0403} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{0403} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_9 durumu MLR_{0405} rölesinin arızayı algılamasını, p_{10} durumu CB_{0405} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR_{0405} rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu SLR_{0405} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{13} durumu MLR_{0407} rölesinin arızayı algılamasını, p_{14} durumu CB_{0407} kesicisinin açmasını, p_{15} durumu BLR_{0407} rölesinin trip sinyali almasını, p_{16} durumu SLR_{0407} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{17} durumu MLR_{0409} rölesinin arızayı algılamasını, p_{18} durumu CB_{0409} kesicisinin açmasını, p_{19} durumu BLR_{0409} rölesinin trip sinyali almasını, p_{20} durumu SLR_{0409} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{21} durumu MLR_{0411} rölesinin arızayı algılamasını, p_{22} durumu CB_{0411} kesicisinin açmasını, p_{23} durumu BLR_{0411} rölesinin trip sinyali almasını, p_{24} durumu SLR_{0411} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.13'de p_2 'den $t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ 'ye, p_6 'dan $t_0, t_1, t_2, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ 'ye, p_{10} 'dan $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ 'ye, p_{14} 'den $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ 'ye, p_{18} 'den $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$ 'ye ve p_{22} 'den $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}$ 'e doksan adet bozucu dal görülmektedir.

Bu bozucu dalların anlamı, CB_{0402} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin $CB_{0403}, CB_{0405}, CB_{0407}, CB_{0409}$ ve CB_{0411} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0403} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse,

sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₄₀₂, CB₀₄₀₅, CB₀₄₀₇, CB₀₄₀₉ ve CB₀₄₁₁ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₄₀₅ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₄₀₂, CB₀₄₀₃, CB₀₄₀₇, CB₀₄₀₉ ve CB₀₄₁₁ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₄₀₇ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₄₀₂, CB₀₄₀₃, CB₀₄₀₅, CB₀₄₀₉ ve CB₀₄₁₁ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₄₀₉ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₄₀₂, CB₀₄₀₃, CB₀₄₀₅, CB₀₄₀₇ ve CB₀₄₁₁ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₄₁₁ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₄₀₂, CB₀₄₀₃, CB₀₄₀₅, CB₀₄₀₇ ve CB₀₄₀₉ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0.3 & 0 & 0.4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0.8 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.8 \end{bmatrix}$$

[illegible]
$$\begin{aligned}\gamma^1 &= [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \\ &\quad 0 \ 0 \ 0]^T \\ \lambda^1 &= [0.80 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.75 \ 0.90 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.70 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ &\quad 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.267 \ 0.267 \ 0.316 \ 0.419 \ 0.419 \ 0.527 \ 0.267 \ 0.527 \ 0.582 \ 0.582 \ 0.316 \ 0.394 \\ &\quad 0.494 \ 0.494 \ 0.582 \ 0.527 \ 0.536 \ 0.582 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T\end{aligned}$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

[illegible]

$$\lambda^2 = \begin{bmatrix} 0.80 & 0.70 & 0.75 & 0.85 & 0.80 & 0.95 & 0.70 & 0.85 & 0.75 & 0.90 & 0.80 & 0.75 & 0.80 & 0.70 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0.267 & 0.267 & 0.316 & 0.419 & 0.419 & 0.527 & 0.267 & 0.527 & 0.582 & 0.582 & 0.316 & 0.394 \\ 0.494 & 0.494 & 0.582 & 0.527 & 0.536 & 0.582 & 0.476 & 0.582 & 0.599 & 0 \end{bmatrix}^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

[illegible]

$$\lambda^3 = [0.80 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.75 \ 0.90 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.70 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.267 \ 0.267 \ 0.316 \ 0.419 \ 0.419 \ 0.527 \ 0.267 \ 0.527 \ 0.582 \ 0.582 \ 0.316 \ 0.394 \ 0.494 \ 0.494 \ 0.582 \ 0.527 \ 0.536 \ 0.582 \ 0.476 \ 0.582 \ 0.599 \ 0.604]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Adapazarı TM (B₄) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.604'dür.

5.3.1.5. Osmanca TM (B₅) BPA uygulaması

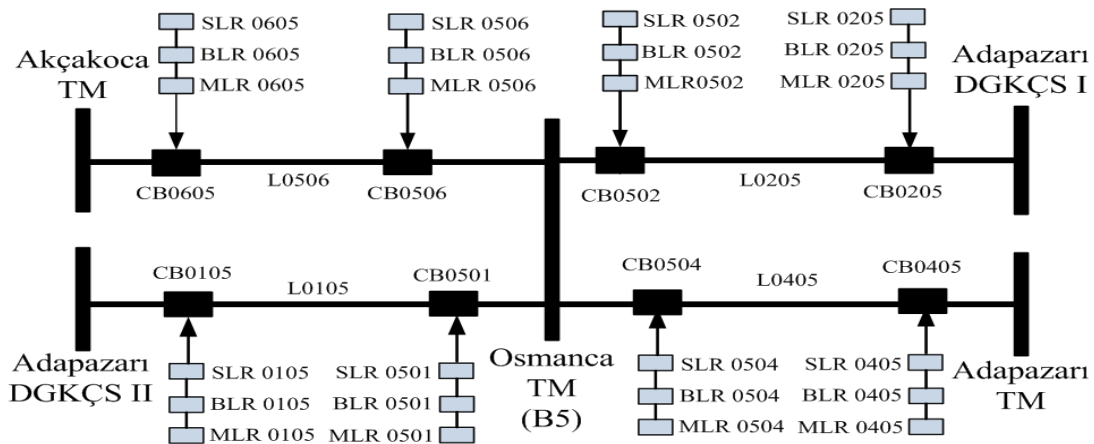
Şekil 5.14’de ondört baralı güç sistemindeki Osmanca TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Osmanca TM’ne ait bara koruma rölesi BR₅’dir. BR₅ bara koruma rölesi Osmanca TM’nde bir arıza olduğu durumda, CB₀₅₀₁ CB₀₅₀₂ CB₀₅₀₄ ve CB₀₅₀₆ kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR₀₅₀₁ koruma rölesi L₀₁₀₅ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₅₀₁ koruma rölesi L₀₁₀₅ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir.

BLR₀₅₀₁ ve SLR₀₅₀₁ koruma röleleri, MLR₀₅₀₁ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₅₀₁ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₁ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₁ ikinci koruma rölesi CB₀₅₀₁ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR₀₅₀₂ koruma rölesi L₀₂₀₅ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₅₀₂ koruma rölesi L₀₂₀₅ enerji

iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₅₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri, MLR₀₅₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₅₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₂ ikinci koruma rölesi CB₀₅₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

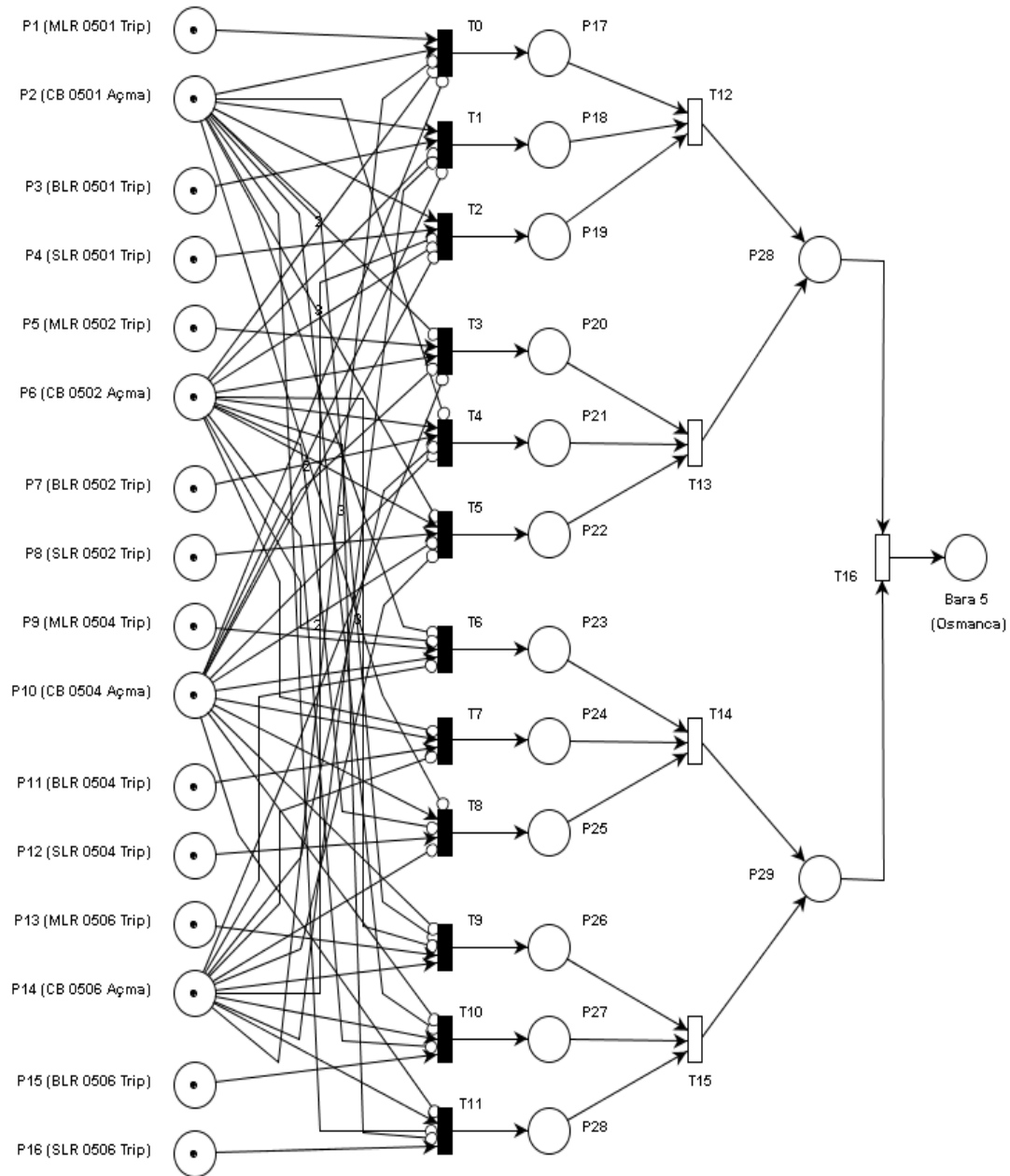
BLR₀₅₀₄ koruma rölesi L₀₄₀₅ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₅₀₄ koruma rölesi L₀₄₀₅ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₅₀₄ ve SLR₀₅₀₄ koruma röleleri, MLR₀₅₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₅₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₄ ikinci koruma rölesi CB₀₅₀₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₅₀₆ koruma rölesi L₀₅₀₆ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₅₀₆ koruma rölesi L₀₅₀₆ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₅₀₆ ve SLR₀₅₀₆ koruma röleleri, MLR₀₅₀₆ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₅₀₆ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₆ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₆ ikinci koruma rölesi CB₀₅₀₆ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.14. Osmanca TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₁₀₅ SLR₀₂₀₅ SLR₀₄₀₅ ve SLR₀₆₀₅ koruma röleleri L₀₁₀₅ L₀₂₀₅ L₀₄₀₅ ve L₀₅₀₆ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₁₀₅ SLR₀₂₀₅ SLR₀₄₀₅ ve SLR₀₆₀₅ koruma röleleri aynı zamanda BR₅ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₅ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₁₀₅ CB₀₂₀₅ CB₀₄₀₅ ve CB₀₆₀₅ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.15'de Osmanca TM'ndeki 380 kV baraya (B₅) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Osmanca TM'ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.15'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{16}$ giriş durumları, Osmanca TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_{17}, p_{18}, p_{19}, \dots, p_{28}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_5 barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu MLR_{0501} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{0501} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{0501} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{0501} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{0502} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{0502} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{0502} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{0502} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_9 durumu MLR_{0504} rölesinin arızayı algılamasını, p_{10} durumu CB_{0504} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR_{0504} rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu SLR_{0504} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{13} durumu MLR_{0506} rölesinin arızayı algılamasını, p_{14} durumu CB_{0506} kesicisinin açmasını, p_{15} durumu BLR_{0506} rölesinin trip sinyali almasını, p_{16} durumu SLR_{0506} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.15'de p_2 'den $t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e, p_6 'dan $t_0, t_1, t_2, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e, p_{10} 'dan $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e ve p_{14} 'den $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8$ 'e otuz altı adet bozucu dal görülmektedir.

Bu bozucu dalların anlamı, CB_{0501} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0502}, CB_{0504} ve CB_{0506} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0502} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0501}, CB_{0504} ve CB_{0506} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0504} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0501}, CB_{0502} ve CB_{0506} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0506} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{0501}, CB_{0502} ve CB_{0504} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[illegible]

I, O, H, W matrislerinin boyutu 28x16, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 16x16'dır.

BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

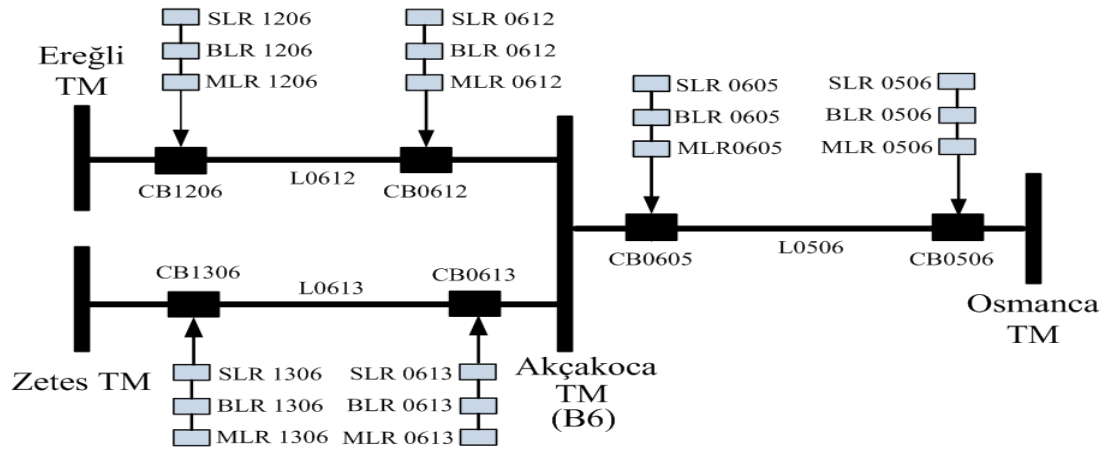
$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0.833]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Osmanca TM (B₅) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.833'dür. Osmanca TM ile Adapazarı DGKÇS I dört adet çıkış fiderine sahip olduğundan doğruluk derecesi değerleri aynı elde edilmiştir.

5.3.1.6. Akçakoca TM (B₆) BPA uygulaması

Şekil 5.16’da ondört baralı güç sistemindeki Akçakoca TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Akçakoca TM’ne ait bara koruma rölesi BR₆’dir. BR₆ bara koruma rölesi Akçakoca TM’nde bir arıza olduğu durumda CB₀₆₀₅, CB₀₆₁₂ ve CB₀₆₁₃ kesicilerine trip sinyali gönderir.



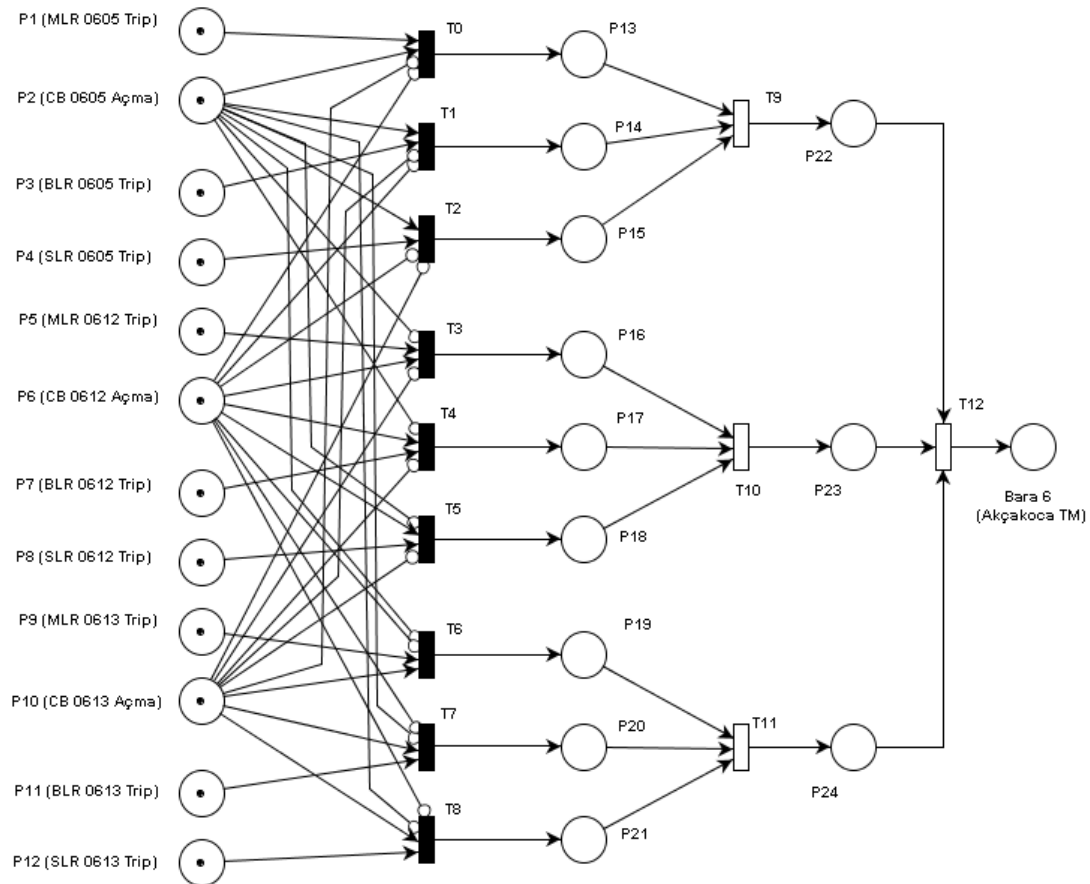
Şekil 5.16. Akçakoca TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

BLR₀₆₀₅ koruma rölesi L₀₅₀₆ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₆₀₅ koruma rölesi L₀₅₀₆ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₆₀₅ ve SLR₀₆₀₅ koruma röleleri, MLR₀₆₀₅ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₆₀₅ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₆₀₅ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₆₀₅ ikinci koruma rölesi CB₀₆₀₅ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₆₁₂ koruma rölesi L₀₆₁₂ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₆₁₂ koruma rölesi L₀₆₁₂ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₆₁₂ ve SLR₀₆₁₂ koruma röleleri, MLR₀₆₁₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₆₁₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₆₁₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₆₁₂ ikinci koruma rölesi CB₀₆₁₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₆₁₃ koruma rölesi L₀₆₁₃ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₆₁₃ koruma rölesi L₀₆₁₃ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₆₁₃ ve SLR₀₆₁₃ koruma röleleri, MLR₀₆₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₆₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₆₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₆₁₃ ikinci koruma rölesi CB₀₆₁₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

SLR₀₅₀₆, SLR₁₂₀₆ ve SLR₁₃₀₆ koruma röleleri L₀₅₀₆, L₀₆₁₂ ve L₀₆₁₃ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₅₀₆, SLR₁₂₀₆ ve SLR₁₃₀₆ koruma röleleri aynı zamanda BR₆ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₆ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₅₀₆, CB₁₂₀₆ ve CB₁₃₀₆ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.17'de Akçakoca TM'ndeki 154 kV baraya (B₆) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Akçakoca TM'ndeki baraya ait BPA modeli

[illegible]

$$\begin{aligned}\gamma^0 &= [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T \\ \lambda^0 &= [0.95\ 0.70\ 0.75\ 0.80\ 0.80\ 0.95\ 0.80\ 0.75\ 0.90\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T\end{aligned}$$
[illegible]

$$\lambda^1 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0.792 \ 0.649 \ 0.821 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

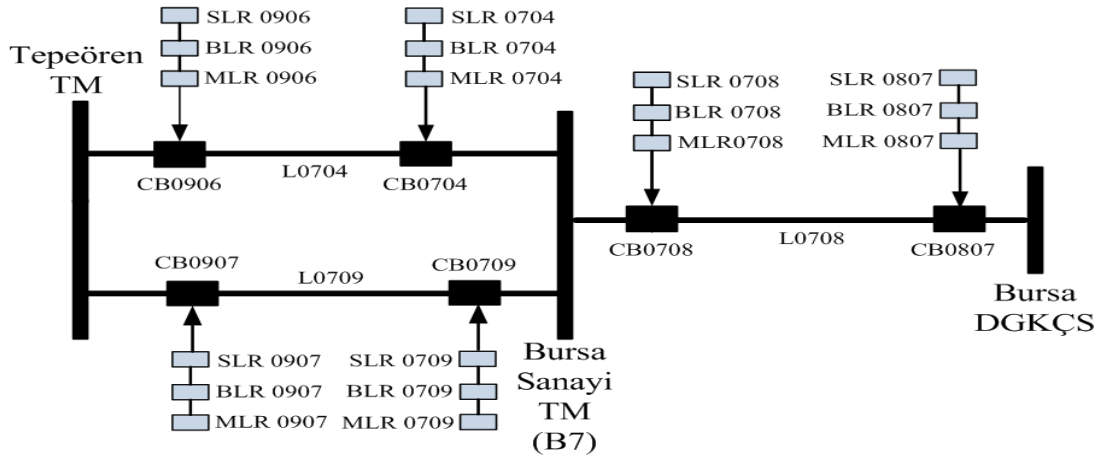
$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0.792 \ 0.649 \ 0.821 \ 0.859]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Akçakoca TM (B_6) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.859'dur.

5.3.1.7. Bursa Sanayi TM (B_7) BPA uygulaması

Şekil 5.18'da ondört baralı güç sistemindeki Bursa Sanayi TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Bursa Sanayi TM'ne ait bara koruma rölesi BR_7 'dir. BR_7 bara koruma rölesi Bursa Sanayi TM'ne bir arıza olduğu durumda CB_{0704} , CB_{0708} ve CB_{0709} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{0704} koruma rölesi L_{0704} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0704} koruma rölesi L_{0704} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0704} ve SLR_{0704} koruma röleleri, MLR_{0704} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0704} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0704} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0704} ikinci koruma rölesi CB_{0704} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

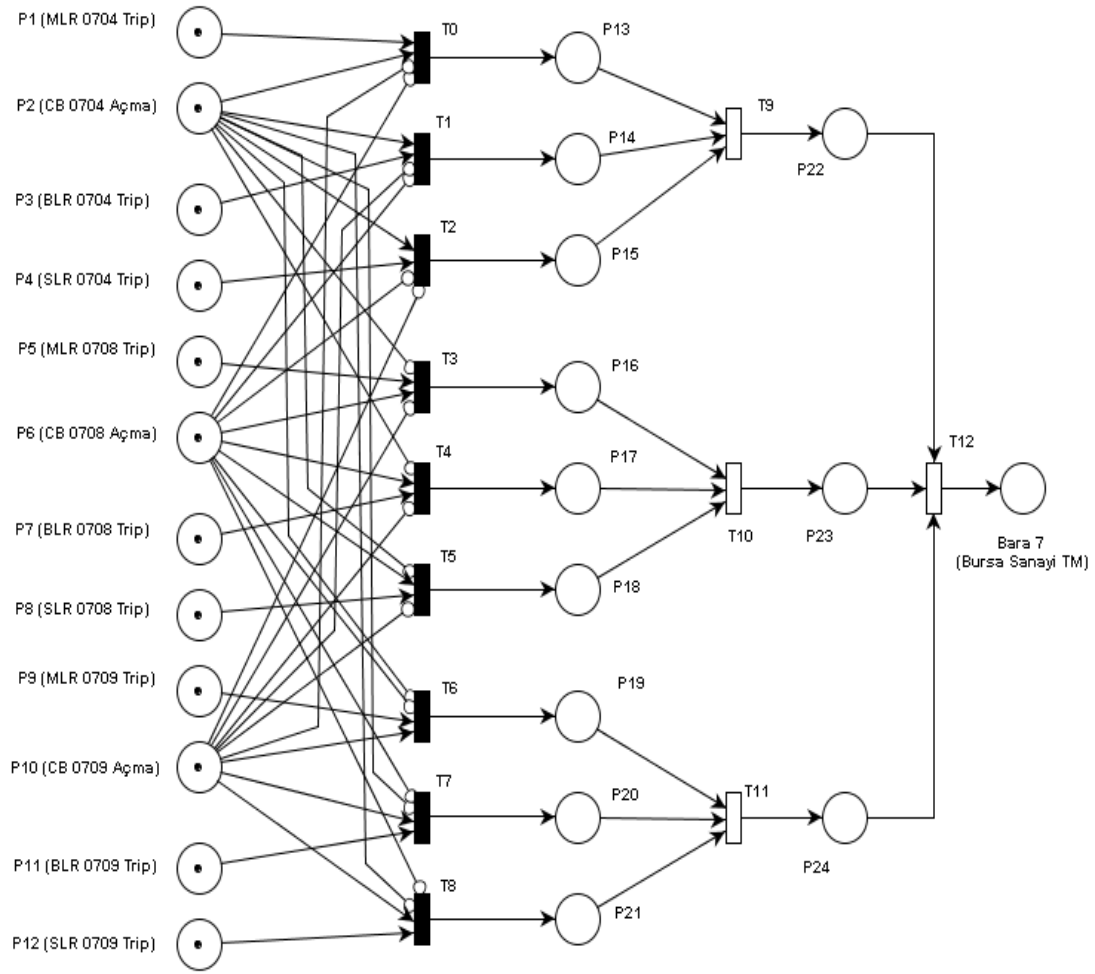


Şekil 5.18. Bursa Sanayi TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

BLR₀₇₀₈ koruma rölesi L₀₇₀₈ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₇₀₈ koruma rölesi L₀₇₀₈ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₇₀₈ ve SLR₀₇₀₈ koruma röleleri, MLR₀₇₀₈ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₇₀₈ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₈ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₇₀₈ ikinci koruma rölesi CB₀₇₀₈ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₇₀₉ koruma rölesi L₀₇₀₉ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₇₀₉ koruma rölesi L₀₇₀₉ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₇₀₉ ve SLR₀₇₀₉ koruma röleleri, MLR₀₇₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₇₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₇₀₉ ikinci koruma rölesi CB₀₇₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

SLR₀₉₀₆, SLR₀₈₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri L₀₇₀₄, L₀₇₀₈ ve L₀₇₀₉ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₉₀₆, SLR₀₈₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri aynı zamanda BR₇ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₇ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₉₀₆, CB₀₈₀₇ ve CB₀₉₀₇ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.19'da Bursa Sanayi TM'ndeki 380 kV baraya (B₇) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Bursa Sanayi TM’ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.19’daki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{12}$ giriş durumları, Bursa Sanayi TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_{13}, p_{14}, p_{15}, \dots, p_{21}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_7 barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR₀₇₀₄ rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB₀₇₀₄ kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR₀₇₀₄ rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR₀₇₀₄ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR₀₇₀₈ rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB₀₇₀₈ kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR₀₇₀₈ rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR₀₇₀₈ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_9 durumu MLR₀₇₀₉ rölesinin arızayı algılamasını, p_{10}

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.70 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.90 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 25x12, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 12x12'dir.

BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0.792 \ 0.649 \ 0.821 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

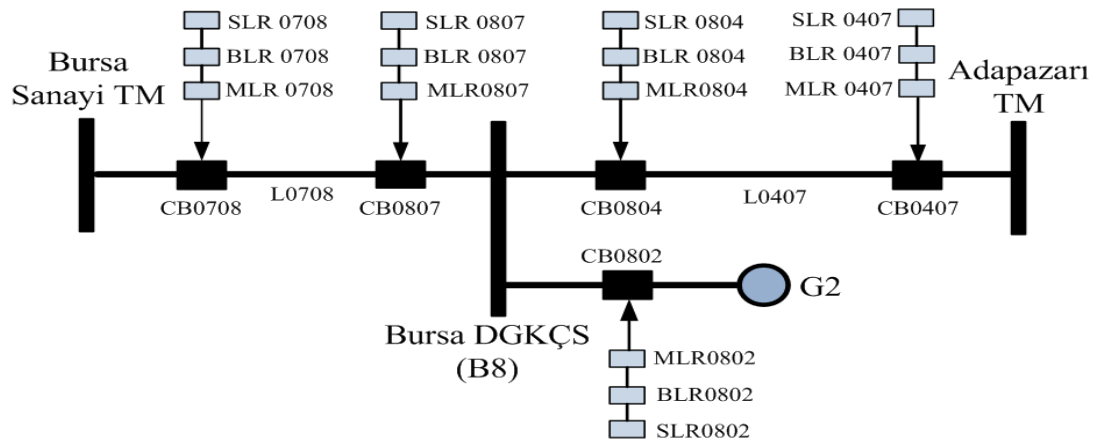
$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.80 \ 0.75 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.578 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.649 \ 0.368 \ 0.792 \ 0.764 \ 0.817 \ 0.817 \ 0.792 \ 0.649 \ 0.821 \ 0.859]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Bursa Sanayi TM (B_7) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.859'dur.

5.3.1.8. Bursa DGKÇS (B_8) BPA uygulaması

Şekil 5.20'de ondört baralı güç sistemindeki Bursa DGKÇS'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Bursa DGKÇS'ye ait bara koruma rölesi BR_8 'dir. BR_8 bara koruma rölesi Bursa DGKÇS'de bir arıza olduğu durumda CB_{0802} , CB_{0804} ve CB_{0807} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{0802} koruma rölesi G_2 jeneratörüne ait birinci koruma rölesi, SLR_{0802} koruma rölesi G_2 jeneratörüne ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0802} ve SLR_{0802} koruma röleleri, MLR_{0802} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0802} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0802} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0802} ikinci koruma rölesi CB_{0802} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.20. Bursa DGKÇS'ye ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

BLR₀₈₀₄ koruma rölesi L₀₄₀₇ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₈₀₄ koruma rölesi L₀₄₀₇ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₈₀₄ ve SLR₀₈₀₄ koruma röleleri, MLR₀₈₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₈₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₈₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₈₀₄ ikinci koruma rölesi CB₀₈₀₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

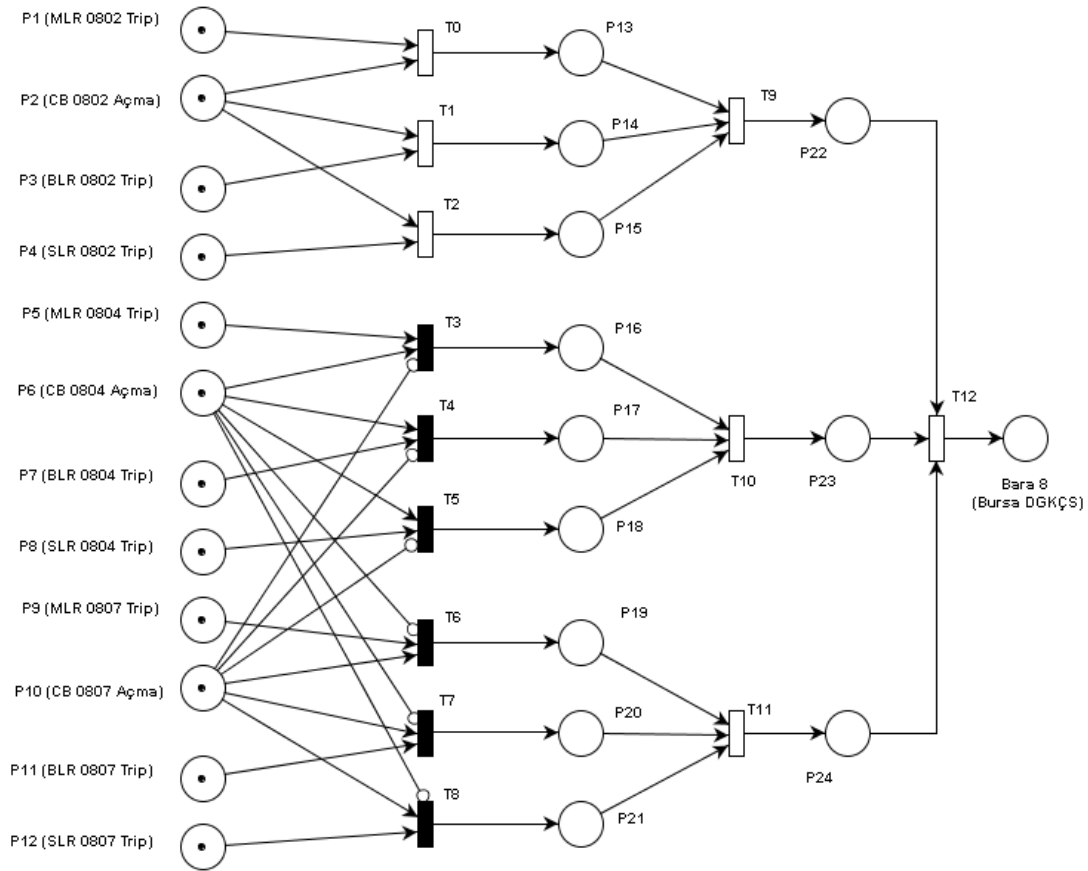
BLR₀₈₀₇ koruma rölesi L₀₇₀₈ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₈₀₇ koruma rölesi L₀₇₀₈ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₈₀₇ ve SLR₀₈₀₇ koruma röleleri, MLR₀₈₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₈₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₈₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₈₀₇ ikinci koruma rölesi CB₀₈₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

SLR₀₄₀₇ ve SLR₀₇₀₈ koruma röleleri L₀₄₀₇ ve L₀₇₀₈ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₄₀₇ ve SLR₀₇₀₈ koruma röleleri aynı zamanda BR₈ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₈ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₄₀₇ ve CB₀₇₀₈ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar.

Şekil 5.21'de Bursa DGKÇS' deki 380 kV baraya (B₈) ait BPA modeli gösterilmiştir. Şekil 5.21'deki p₁, p₂, p₃,...,p₁₂ giriş durumları, Bursa DGKÇS ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. p₁₃, p₁₄, p₁₅, ... , p₂₁ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B₈ barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir.

Buna göre p₁ durumu MLR₀₈₀₂ rölesinin arızayı algılamasını, p₂ durumu CB₀₈₀₂ kesicisinin açmasını, p₃ durumu BLR₀₈₀₂ rölesinin trip sinyali almasını, p₄ durumu

SLR₀₈₀₂ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p₅ durumu MLR₀₈₀₄ rölesinin arızayı algılamasını, p₆ durumu CB₀₈₀₄ kesicisinin açmasını, p₇ durumu BLR₀₈₀₄ rölesinin trip sinyali almasını, p₈ durumu SLR₀₈₀₄ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p₉ durumu MLR₀₈₀₇ rölesinin arızayı algılamasını, p₁₀ durumu CB₀₈₀₇ kesicisinin açmasını, p₁₁ durumu BLR₀₈₀₇ rölesinin trip sinyali almasını, p₁₂ durumu SLR₀₈₀₇ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.



Şekil 5.21. Bursa DGKÇS’ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.21’de p₆’dan t₆, t₇, t₈’e, p₁₀’dan t₃, t₄, t₅’e altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB₀₈₀₄ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₈₀₇ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₈₀₇ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₈₀₄ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir. I, O, H, W matrislerinin boyutu 19x12, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 12x12’dir.

BPA’da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA’daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA’daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0.735 \ 0.639 \ 0.807 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA’daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

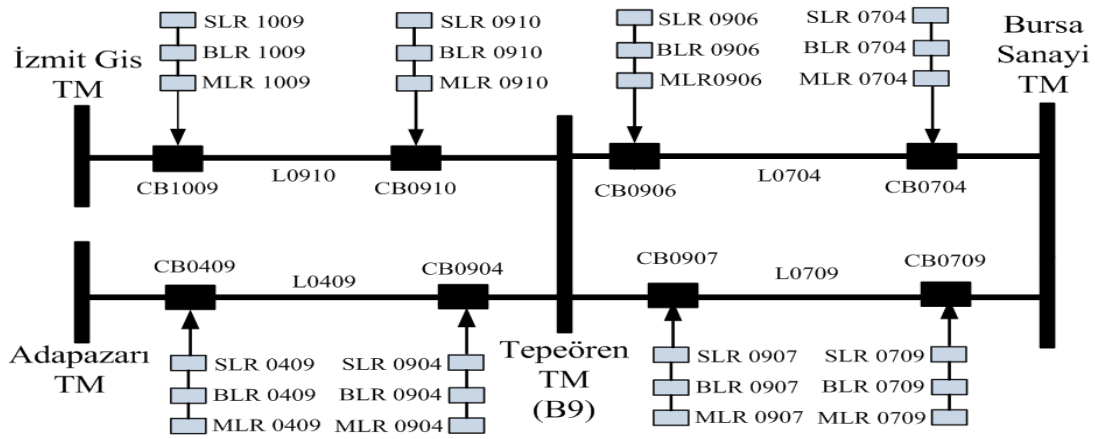
$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.80 \ 0.95 \ 0.9 \ 0.85 \ 0.85 \ 0.8 \ 0.95 \ 0.8 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.515 \ 0.638 \ 0.375 \ 0.375 \ 0.796 \ 0.745 \ 0.756 \ 0.496 \ 0.496 \ 0.735 \ 0.639 \ 0.807 \ 0.881]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Bursa DGKÇS (B_8)’e ait doğruluk derecesi değeri 0.881’dir

5.3.1.9. Tepeören TM (B_9) BPA uygulaması

Şekil 5.22’de ondört baralı güç sistemindeki Tepeören TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Tepeören TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

Tepeören TM'ne ait bara koruma rölesi BR_9 'dur. BR_9 bara koruma rölesi Tepeören TM'nde bir arıza oluştuğu durumda, CB_{0904} CB_{0906} CB_{0907} ve CB_{0910} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{0904} koruma rölesi L_{0409} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0904} koruma rölesi L_{0409} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0904} ve SLR_{0904} koruma röleleri, MLR_{0904} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0904} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0904} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0904} ikinci koruma rölesi CB_{0904} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR_{0906} koruma rölesi L_{0704} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0906} koruma rölesi L_{0704} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0906} ve SLR_{0906} koruma röleleri, MLR_{0906} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0906} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0906} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{0906} ikinci koruma rölesi CB_{0906} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR_{0907} koruma rölesi L_{0709} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{0907} koruma rölesi L_{0709} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{0907} ve SLR_{0907} koruma röleleri, MLR_{0907} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{0907} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{0907} koruma rölesi

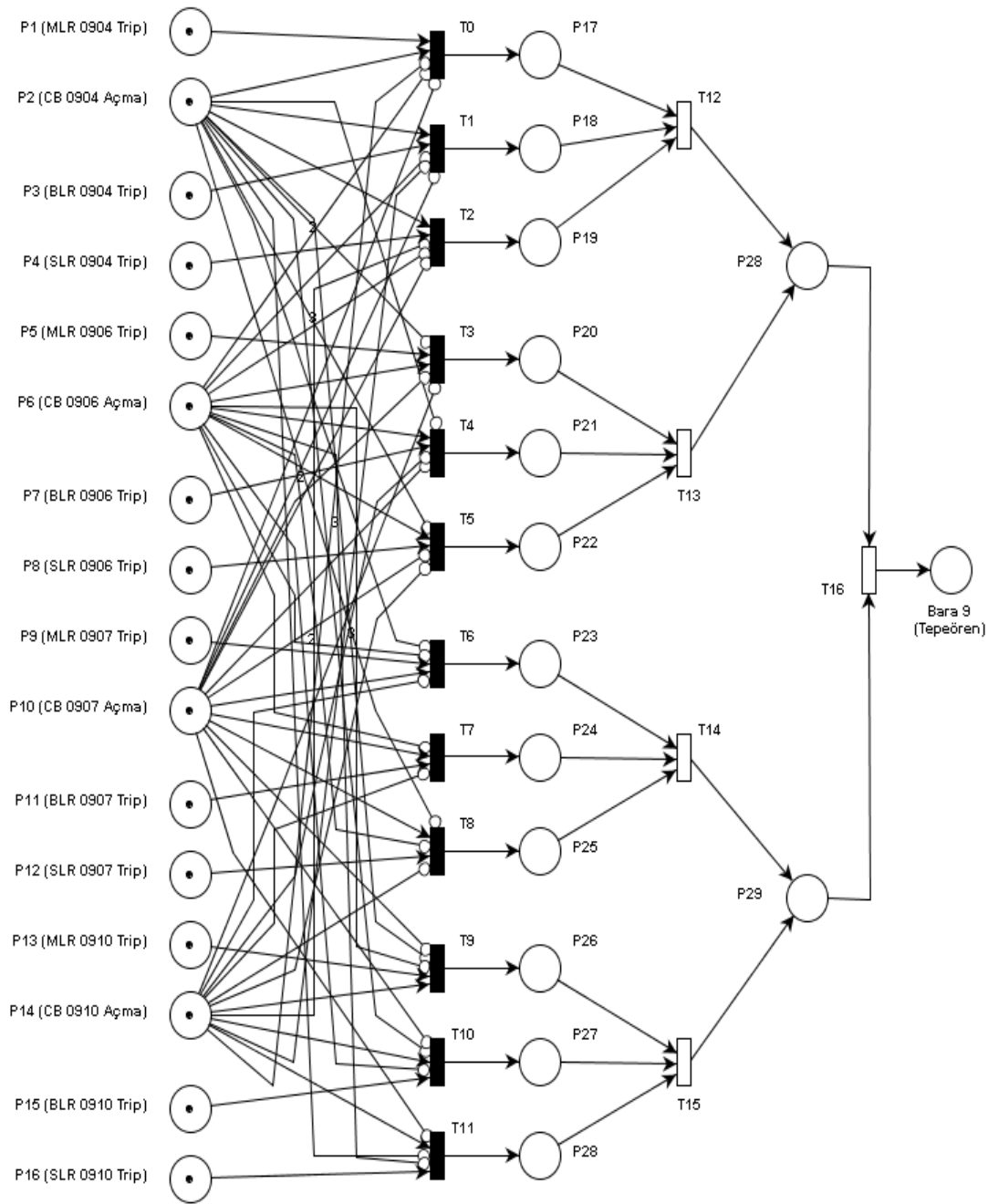
çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₉₀₇ ikinci koruma rölesi CB₀₉₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₀₉₁₀ koruma rölesi L₀₉₁₀ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₀₉₁₀ koruma rölesi L₀₉₁₀ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₀₉₁₀ ve SLR₀₉₁₀ koruma röleleri, MLR₀₉₁₀ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₉₁₀ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₁₀ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₀₉₁₀ ikinci koruma rölesi CB₀₉₁₀ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

SLR₀₄₀₉ SLR₀₇₀₄ SLR₀₇₀₉ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri L₀₄₀₉, L₀₇₀₄, L₀₇₀₉ ve L₀₉₁₀ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₄₀₉ SLR₀₇₀₄ SLR₀₇₀₉ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri aynı zamanda BR₉ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₉ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₄₀₉ CB₀₇₀₄ CB₀₇₀₉ ve CB₀₉₁₀ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.23'de Tepeören TM'ndeki 380 kV baraya (B₉) ait BPA modeli gösterilmiştir.

Şekil 5.23'deki p₁, p₂, p₃,...,p₁₆ giriş durumları, Tepeören TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. p₁₇, p₁₈, p₁₉, ... , p₂₈ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B₉ barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p₁ durumu MLR₀₉₀₄ rölesinin arızayı algılamasını, p₂ durumu CB₀₉₀₄ kesicisinin açmasını, p₃ durumu BLR₀₉₀₄ rölesinin trip sinyali almasını, p₄ durumu SLR₀₉₀₄ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p₅ durumu MLR₀₉₀₆ rölesinin arızayı algılamasını, p₆ durumu CB₀₉₀₆ kesicisinin açmasını, p₇ durumu BLR₀₉₀₆ rölesinin trip sinyali almasını, p₈ durumu SLR₀₉₀₆ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.



Şekil 5.23. Tepeören TM’ndeki baraya ait BPA modeli

p_9 durumu MLR₀₉₀₇ rölesinin arızayı algılamasını, p_{10} durumu CB₀₉₀₇ kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR₀₉₀₇ rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu SLR₀₉₀₇ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{13} durumu MLR₀₉₁₀ rölesinin arızayı algılamasını, p_{14} durumu CB₀₉₁₀ kesicisinin açmasını, p_{15} durumu BLR₀₉₁₀ rölesinin trip sinyali almasını, p_{16} durumu SLR₀₉₁₀ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.23’de p₂’den t₃, t₄, t₅, t₆, t₇, t₈, t₉, t₁₀, t₁₁’e, p₆’dan t₀, t₁, t₂, t₆, t₇, t₈, t₉, t₁₀, t₁₁’e, p₁₀’dan t₀, t₁, t₂, t₃, t₄, t₅, t₉, t₁₀, t₁₁’e ve p₁₄’den t₀, t₁, t₂, t₃, t₄, t₅, t₆, t₇, t₈’e otuz altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB₀₉₀₄ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₉₀₆, CB₀₉₀₇ ve CB₀₉₁₀ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir.

CB₀₉₀₆ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₉₀₄, CB₀₉₀₇ ve CB₀₉₁₀ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₉₀₇ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₉₀₄ CB₀₉₀₆ ve CB₀₉₁₀ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₉₁₀ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB₀₉₀₄ CB₀₉₀₆ ve CB₀₉₀₇ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$O = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0.6 & 0 & 0.3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\lambda^2 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

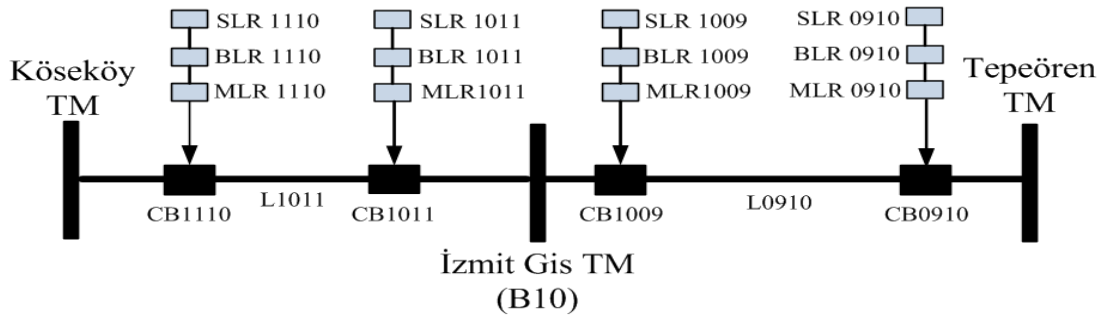
$$\lambda^3 = [0.75 \ 0.90 \ 0.90 \ 0.85 \ 0.70 \ 0.85 \ 0.90 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.85 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.434 \ 0.435 \ 0.634 \ 0.567 \ 0.567 \ 0.634 \ 0.754 \ 0.754 \ 0.563 \ 0.653 \ 0.754 \ 0.434 \ 0.734 \ 0.734 \ 0.833]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Tepeören TM (B_9) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.833'dür.

5.3.1.10. İzmit Gis TM (B_{10}) BPA uygulaması

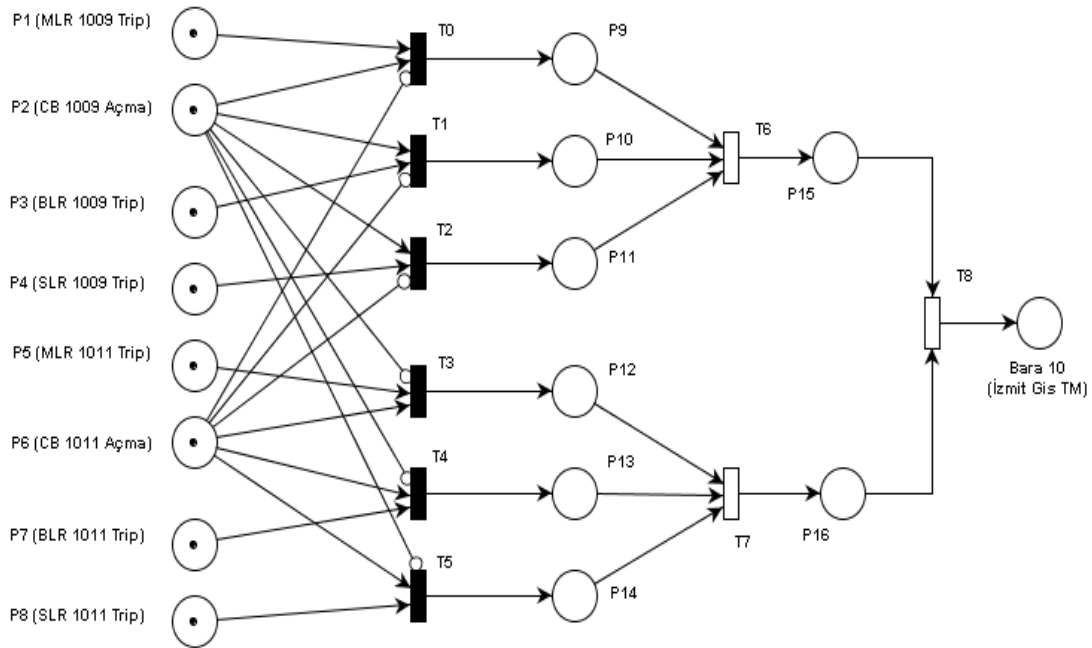
Şekil 5.24'de ondört baralı güç sistemindeki İzmit Gis TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. İzmit Gis TM'ne ait bara koruma rölesi BR_{10} 'dur. BR_{10} bara koruma rölesi İzmit Gis TM'nde bir arıza oluştuğu durumda CB_{1009} ve CB_{1011} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{1009} koruma rölesi L_{0910} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1009} koruma rölesi L_{0910} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1009} ve SLR_{1009} koruma röleleri, MLR_{1009} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1009} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1009} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1009} ikinci koruma rölesi CB_{1009} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR_{1011} koruma rölesi L_{1011} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1011} koruma rölesi L_{1011} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1011} ve SLR_{1011} koruma röleleri, MLR_{1011} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1011} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1011} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1011} ikinci koruma rölesi CB_{1011} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.24. İzmit Gis TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₉₁₀ ve SLR₁₁₁₀ koruma röleleri L₀₉₁₀ ve L₁₀₁₁ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₉₁₀ ve SLR₁₁₁₀ koruma röleleri aynı zamanda BR₁₀ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₁₀ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₉₁₀ ve CB₁₁₁₀ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.25'de İzmit Gis TM'ndeki 154 kV baraya (B₁₀) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.25. İzmit Gis TM'ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.25'deki p₁, p₂, p₃, ..., p₈ giriş durumları, İzmit Gis TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. p₉, p₁₀, p₁₁, ..., p₁₄ ara geçiş

durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_{10} barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR_{1009} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{1009} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{1009} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{1009} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{1011} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{1011} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{1011} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{1011} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.25’de p_2 ’den t_3 , t_4 , t_5 ’e, p_6 ’dan t_0 , t_1 , t_2 ’ye altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB_{1009} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1011} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{1011} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1009} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 14x8, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 8x8'dir. BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

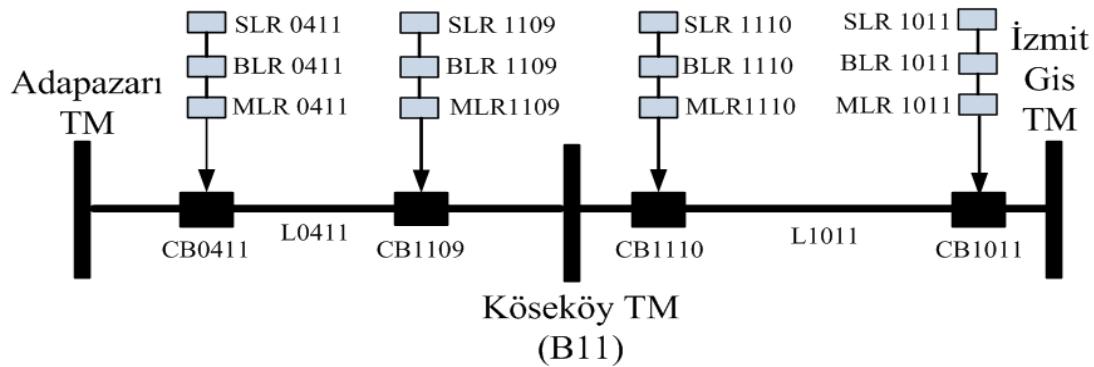
$$\lambda^3 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0.927]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen İzmit Gis TM (B_{10}) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.927'dir.

5.3.1.11. Köseköy TM (B_{11}) BPA uygulaması

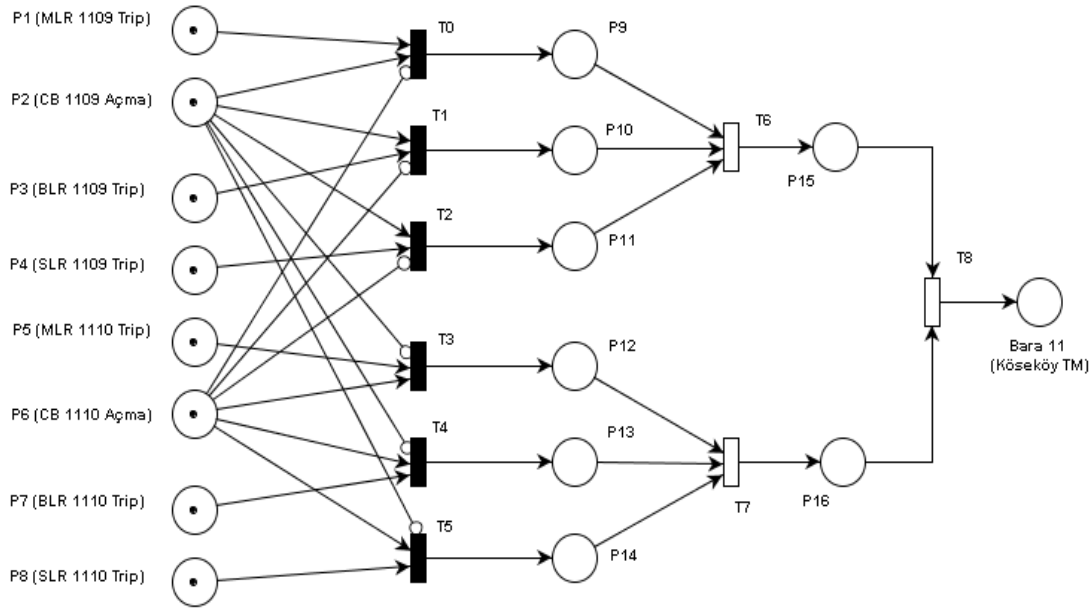
Şekil 5.26'da ondört baralı güç sistemindeki Köseköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Köseköy TM'ne ait bara koruma rölesi BR_{11} 'dir. BR_{11} bara koruma rölesi Köseköy TM'nde bir arıza olduğu durumda CB_{1109} ve CB_{1110} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{1109} koruma rölesi L_{0411} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1109} koruma rölesi L_{0411} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1109} ve SLR_{1109} koruma röleleri, MLR_{1109} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1109} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1109} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1109} ikinci koruma rölesi CB_{1109} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR_{1110} koruma rölesi L_{1011} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1110} koruma rölesi L_{1011} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1110} ve SLR_{1110} koruma röleleri, MLR_{1110} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1110} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1110} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1110} ikinci koruma rölesi CB_{1110} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.26. Köseköy TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₄₁₁ ve SLR₁₀₁₁ koruma röleleri L₀₄₁₁ ve L₁₀₁₁ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₄₁₁ ve SLR₁₀₁₁ koruma röleleri aynı zamanda BR₁₁ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₁₁ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₄₁₁ ve CB₁₀₁₁ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.27'de Köseköy TM'ndeki 154 kV baraya (B₁₁) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Köseköy TM'ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.27'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_8$ giriş durumları, Köseköy TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_9, p_{10}, p_{11}, \dots, p_{14}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B₁₁ barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR₁₁₀₉ rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB₁₁₀₉ kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR₁₁₀₉ rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR₁₁₀₉ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR₁₁₁₀ rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB₁₁₁₀ kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR₁₁₁₀ rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR₁₁₁₀ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.27’de p_2 ’den t_3 , t_4 , t_5 ’e, p_6 ’dan t_0 , t_1 , t_2 ’ye altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB_{1109} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1110} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{1110} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1109} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 14x8, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 8x8'dir. BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0.927]^T$$

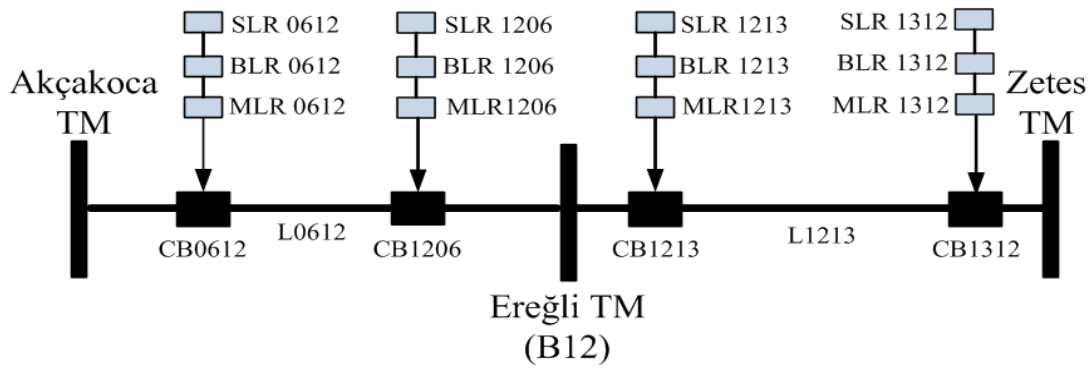
λ^3 doğruluk faktöründen Köseköy TM (B_{11}) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.927'dir.

5.3.1.12. Ereğli TM (B_{12}) BPA uygulaması

Şekil 5.28'de ondört baralı güç sistemindeki Ereğli TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Ereğli TM'ne ait bara koruma rölesi BR_{12} 'dir.

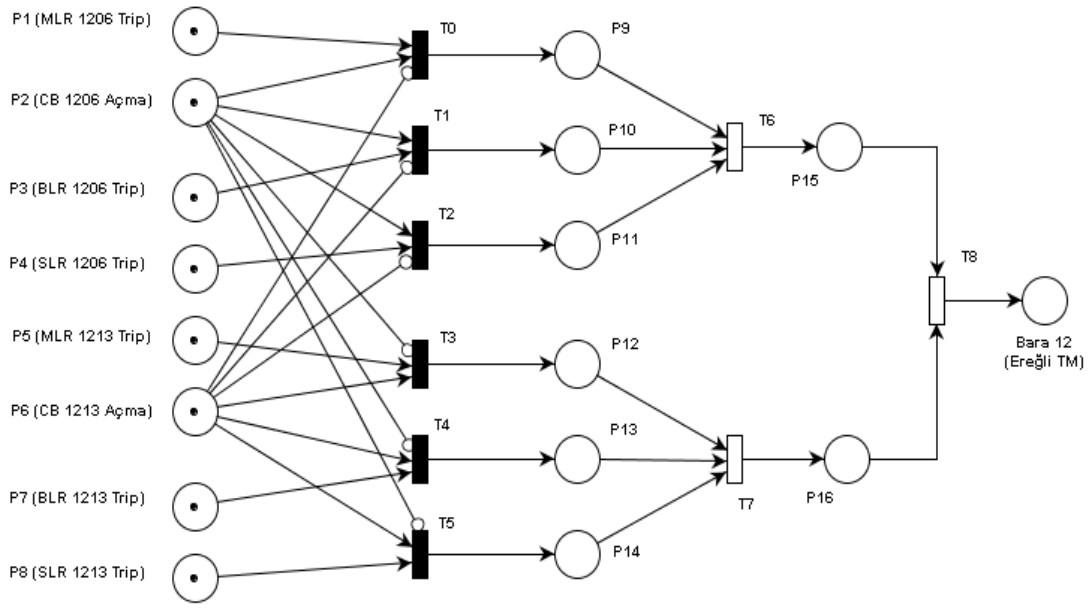
BR₁₂ bara koruma rölesi Ereğli TM'nde arıza olduğu durumda CB₁₂₀₆ ve CB₁₂₁₃ kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR₁₂₀₆ koruma rölesi L₀₆₁₂ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₁₂₀₆ koruma rölesi L₀₆₁₂ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₁₂₀₆ ve SLR₁₂₀₆ koruma röleleri, MLR₁₂₀₆ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₁₂₀₆ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₂₀₆ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₁₂₀₆ ikinci koruma rölesi CB₁₂₀₆ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR₁₂₁₃ koruma rölesi L₁₂₁₃ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₁₂₁₃ koruma rölesi L₁₂₁₃ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₁₂₁₃ ve SLR₁₂₁₃ koruma röleleri, MLR₁₂₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₁₂₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₂₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₁₂₁₃ ikinci koruma rölesi CB₁₂₁₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.28. Ereğli TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₆₁₂ ve SLR₁₃₁₂ koruma röleleri L₀₆₁₂ ve L₁₂₁₃ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₆₁₂ ve SLR₁₃₁₂ koruma röleleri aynı zamanda BR₁₂ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₁₂ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₆₁₂ ve CB₁₃₁₂ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.29'da Ereğli TM'ndeki 380 kV baraya (B₁₂) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.29. Ereğli TM'ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.29'daki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_8$ giriş durumları, Ereğli TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_9, p_{10}, p_{11}, \dots, p_{14}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_{12} barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR_{1206} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{1206} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{1206} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{1206} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{1213} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{1213} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{1213} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{1213} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

Şekil 5.29'da p_2 'den t_3, t_4, t_5 'e, p_6 'dan t_0, t_1, t_2 'ye altı adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB_{1206} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1213} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{1213} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1206} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.85 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 14x8, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 8x8'dir. BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.90 \ 0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.95 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.732 \ 0.741 \ 0.741 \ 0.813 \ 0.732 \ 0.813 \ 0.859 \ 0.896 \ 0.927]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Ereğli TM (B_{12}) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.927'dir.

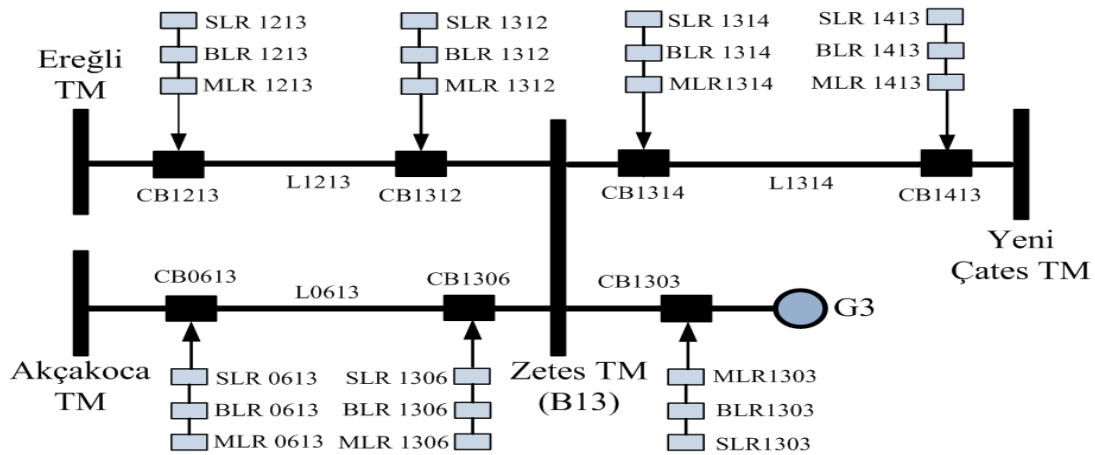
5.3.1.13. Zetes TM (B_{13}) BPA uygulaması

Şekil 5.30'da ondört baralı güç sistemindeki Zetes TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Zetes TM'ne ait bara koruma rölesi BR_{13} 'dür. BR_{13} bara koruma rölesi Zetes TM'nde bir arıza olduğu durumda CB_{1303} , CB_{1306} , CB_{1312} ve CB_{1314} kesicilerine trip sinyali gönderir. BLR_{1303} koruma rölesi G_3 jeneratörüne ait birinci koruma rölesi, SLR_{1303} koruma rölesi G_3 jeneratörüne ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1303} ve SLR_{1303} koruma röleleri, MLR_{1303} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1303} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1303} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1303} ikinci koruma rölesi CB_{1303} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. BLR_{1306} koruma rölesi L_{0613} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1306}

koruma rölesi L_{0613} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1306} ve SLR_{1306} koruma röleleri, MLR_{1306} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1306} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1306} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1306} ikinci koruma rölesi CB_{1306} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

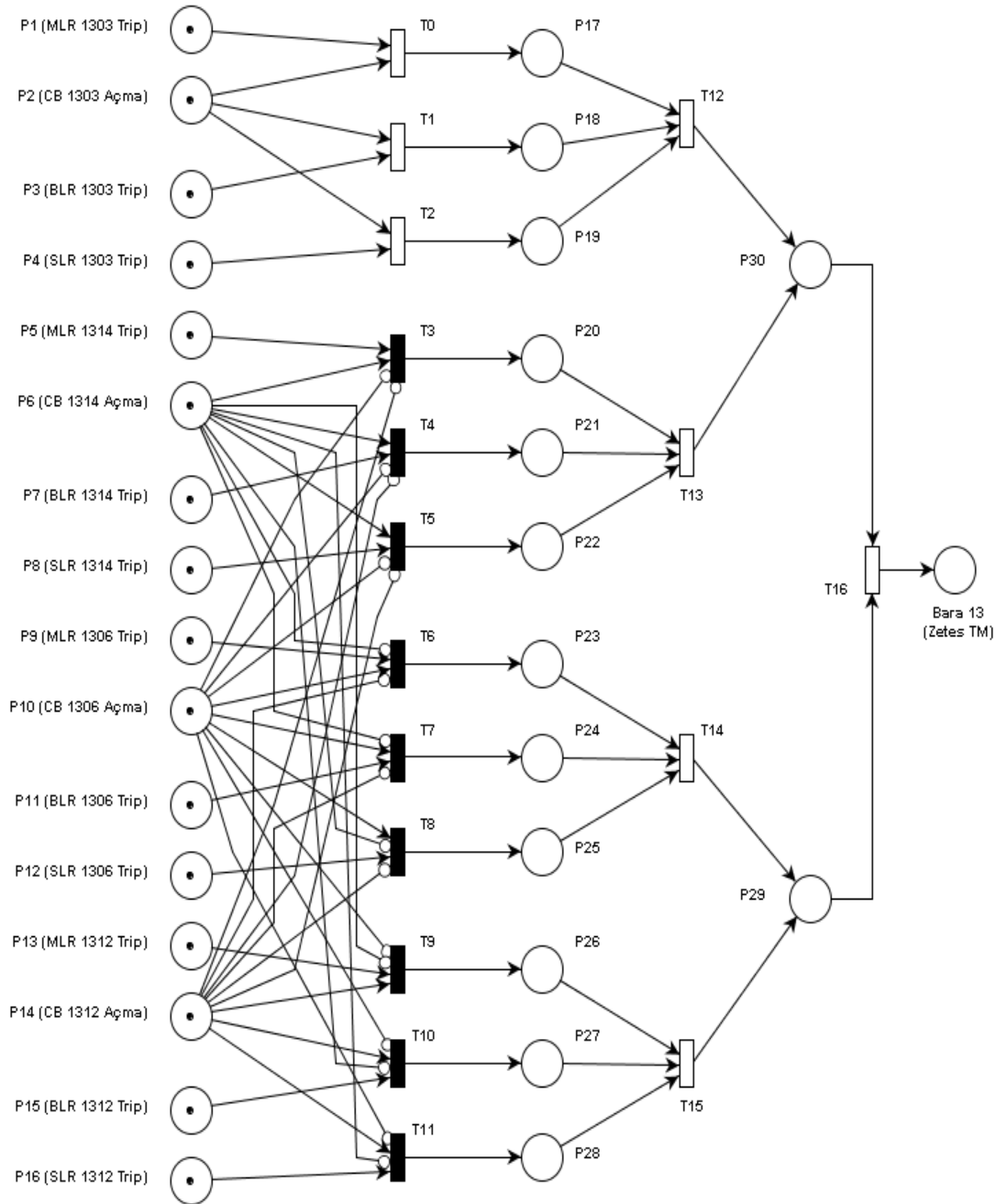
BLR_{1312} koruma rölesi L_{1213} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1312} koruma rölesi L_{1213} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1312} ve SLR_{1312} koruma röleleri, MLR_{1312} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1312} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1312} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1312} ikinci koruma rölesi CB_{1312} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

BLR_{1314} koruma rölesi L_{1314} enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR_{1314} koruma rölesi L_{1314} enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR_{1314} ve SLR_{1314} koruma röleleri, MLR_{1314} koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR_{1314} koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR_{1314} koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR_{1314} ikinci koruma rölesi CB_{1314} kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.30. Zetes TM'ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₀₆₁₃, SLR₁₂₁₃ ve SLR₁₄₁₃ koruma röleleri L₀₆₁₃, L₁₂₁₃ ve L₁₃₁₄ enerji iletim hatlarının karşı TM'deki ikinci koruma röleleridir. SLR₀₆₁₃, SLR₁₂₁₃ ve SLR₁₄₁₃ koruma röleleri aynı zamanda BR₁₃ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röleler BR₁₃ bara koruma rölesinde arıza olduğu durumda sırasıyla CB₀₆₁₃, CB₁₂₁₃ ve CB₁₄₁₃ kesicilerine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlarlar. Şekil 5.31'de Zetes TM'ndeki 380 kV baraya (B₁₃) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Zetes TM'ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.31'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{16}$ giriş durumları, Zetes TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. $p_{17}, p_{18}, p_{19}, \dots, p_{28}$ ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_{13} barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu MLR_{1303} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{1303} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{1303} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{1303} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_5 durumu MLR_{1314} rölesinin arızayı algılamasını, p_6 durumu CB_{1314} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{1314} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu SLR_{1314} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_9 durumu MLR_{1306} rölesinin arızayı algılamasını, p_{10} durumu CB_{1306} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR_{1306} rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu SLR_{1306} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{13} durumu MLR_{1312} rölesinin arızayı algılamasını, p_{14} durumu CB_{1312} kesicisinin açmasını, p_{15} durumu BLR_{1312} rölesinin trip sinyali almasını, p_{16} durumu SLR_{1312} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. Şekil 5.31'de p_6 'dan $t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e, p_{10} 'dan $t_3, t_4, t_5, t_9, t_{10}, t_{11}$ 'e ve p_{14} 'den $t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8$ 'e onsekiz adet bozucu dal görülmektedir.

Bu bozucu dalların anlamı, CB_{1314} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1306} ve CB_{1312} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{1306} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1312} ve CB_{1314} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{1312} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikinci koruma rölesinin CB_{1306} ve CB_{1314} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Eğer bir koruma elemanının çalışma durumu gerçekten gözlenebiliyorsa bu durumdaki koruma elemanının doğruluk derecesi değerleri sıfırdan büyük olmaktadır. Bir başka ifadeyle koruma elemanı gözlenmiyorsa doğruluk derecesi değeri 0 kabul edilmektedir. Sistemdeki ana koruma röleleri, birinci koruma rölelerine göre, birinci koruma röleleri ise ikinci koruma rölelerine göre daha güvenilir olmak zorundadır. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

I, O, H, W matrislerinin boyutu 33x16, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 16x16'dır.

BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.473 \ 0.473 \ 0.691 \ 0.573 \ 0.573 \ 0.694 \ 0.744 \ 0.744 \ 0.516 \ 0.532 \ 0.715 \ 0.444 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^2 = [0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.473 \ 0.473 \ 0.691 \ 0.573 \ 0.573 \ 0.694 \ 0.744 \ 0.744 \ 0.516 \ 0.532 \ 0.715 \ 0.444 \ 0.732 \ 0.783 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

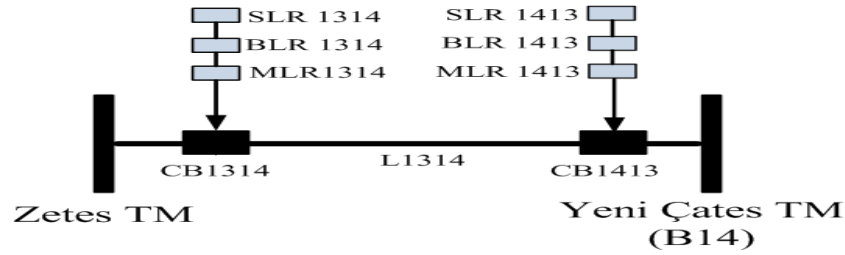
$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.80 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.85 \ 0.80 \ 0.95 \ 0.70 \ 0.75 \ 0.80 \ 0.80 \ 0.90 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.473 \ 0.473 \ 0.691 \ 0.573 \ 0.573 \ 0.694 \ 0.744 \ 0.744 \ 0.516 \ 0.532 \ 0.715 \ 0.444 \ 0.732 \ 0.783 \ 0.819]^T$$

λ^3 doğruluk faktöründen Zetes TM (B_{13}) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.819'dir.

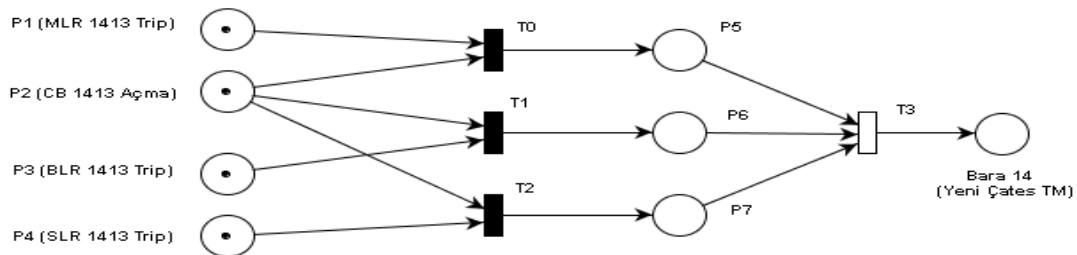
5.3.1.14. Yeni Çates TM (B₁₄) BPA uygulaması

Şekil 5.32’de ondört baralı güç sistemindeki Yeni Çates TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği gösterilmiştir. Yeni Çates TM’ne ait bara koruma rölesi BR₁₄’dür. BR₁₄ bara koruma rölesi Yeni Çates TM’nde bir arıza olduğu durumda CB₁₄₁₃ kesicisine trip sinyali gönderir. BLR₁₄₁₃ koruma rölesi L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma rölesi, SLR₁₄₁₃ koruma rölesi L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma rölesidir. BLR₁₄₁₃ ve SLR₁₄₁₃ koruma röleleri, MLR₁₄₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₁₄₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₄₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. Her iki koruma rölesinin de çalışmadığı durumda, SLR₁₄₁₃ ikinci koruma rölesi CB₁₄₁₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.32. Yeni Çates TM’ne ait koruma yapısı konfigürasyon örneği

SLR₁₃₁₄ koruma rölesi L₁₃₁₄ enerji iletim hattının karşı TM’deki ikinci koruma röleleridir. SLR₁₃₁₄ koruma rölesi aynı zamanda BR₁₄ bara koruma rölesinin birinci koruma röleleridir. Bu röle BR₁₄ bara koruma rölesinde bir arıza olduğu durumda CB₁₃₁₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlar. Şekil 5.33’da Yeni Çates TM’ndeki 154 kV baraya (B₁₄) ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.33. Yeni Çates TM’ndeki baraya ait BPA modeli

Şekil 5.33'deki p_1, p_2, p_3, p_4 giriş durumları, Yeni Çates TM ile koruma elemanları arasındaki işlem adımlarını göstermektedir. p_5, p_6, p_7 ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında giriş durumları birer adet jeton bulundurmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. B_{14} barasına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda ifade edilmiştir. Buna göre p_1 durumu MLR_{1413} rölesinin arızayı algılamasını, p_2 durumu CB_{1413} kesicisinin açmasını, p_3 durumu BLR_{1413} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu SLR_{1413} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. Şekil 5.33'de bozucu dal bulunmamaktadır. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0.95 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

I, O, H, W matrislerinin boyutu 7x4, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 4x4'dür. BPA'da ateşleme durumlarındaki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

$$\lambda^0 = [0.95 \ 0.95 \ 0.90 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]^T$$

$$\lambda^1 = [0.95 \ 0.95 \ 0.90 \ 1 \ 0.649 \ 0.783 \ 0.871 \ 0]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^2 = [0.95 \ 0.95 \ 0.90 \ 1 \ 0.649 \ 0.783 \ 0.871 \ 0.952]^T$$

λ^2 doğruluk faktöründen Yeni Çates TM (B_{14}) barasına ait doğruluk derecesi değeri 0.952'dir.

Tablo 5.3'de KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemindeki baralar için doğruluk derecesi değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.3. KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemindeki baralar için doğruluk derecesi değerleri

Trafo Merkezi Adı	Arıza Sinyalleri	Doğruluk Derecesi Değerleri
Adapazarı DGKÇS II (B_1)	MLR ₀₁₀₁ , MLR ₀₁₀₂ , MLR ₀₁₀₅ röleleri çalışarak, CB ₀₁₀₁ , CB ₀₁₀₂ , CB ₀₁₀₅ , kesicilerine açma, CB ₀₂₀₁ ve CB ₀₅₀₁ kesicilerine trip sinyali gönderme	B_1 bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.881
Adapazarı DGKÇS I (B_2)	MLR ₀₂₀₁ , MLR ₀₂₀₃ , MLR ₀₂₀₄ ve MLR ₀₂₀₅ röleleri çalışarak, CB ₀₂₀₁ , CB ₀₂₀₃ , CB ₀₂₀₄ , CB ₀₂₀₅ , kesicilerine açma, CB ₀₁₀₂ , CB ₀₃₀₂ , CB ₀₄₀₂ , CB ₀₅₀₂ kesicilerine trip sinyali gönderme	B_2 bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.833
Paşaköy TM (B_3)	MLR ₀₃₀₂ , MLR ₀₃₀₄ röleleri çalışarak, CB ₀₃₀₂ , CB ₀₃₀₄ kesicilerine açma, CB ₀₂₀₃ ve CB ₀₄₀₃ kesicilerine trip sinyali gönderme	B_3 bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.927
Adapazarı TM (B_4)	MLR ₀₄₀₂ , MLR ₀₄₀₃ , MLR ₀₄₀₅ , MLR ₀₄₀₇ , MLR ₀₄₀₉ , MLR ₀₄₁₁ röleleri çalışarak, CB ₀₄₀₂ , CB ₀₄₀₃ , CB ₀₄₀₅ , CB ₀₄₀₇ , CB ₀₄₀₉ , CB ₀₄₁₁ kesicilerine açma, CB ₀₂₀₄ , CB ₀₃₀₄ , CB ₀₅₀₄ , CB ₀₈₀₄ , CB ₀₉₀₄ , CB ₁₁₀₉ kesicilerine trip sinyali gönderme	B_4 bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.604

Tablo 5.3. devamı

Trafo Merkezi Adı	Arıza Sinyalleri	Doğruluk Derecesi Değerleri
Osmanca TM (B ₅)	MLR ₀₅₀₁ , MLR ₀₅₀₂ , MLR ₀₅₀₄ ve MLR ₀₅₀₆ röleleri çalışarak, CB ₀₅₀₁ , CB ₀₅₀₂ , CB ₀₅₀₄ , CB ₀₅₀₆ , kesicilerine açma, CB ₀₁₀₅ , CB ₀₂₀₅ , CB ₀₄₀₅ , CB ₀₆₀₅ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₅ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.833
Akçakoca TM (B ₆)	MLR ₀₆₀₅ , MLR ₀₆₁₂ ve MLR ₀₆₁₃ röleleri çalışarak, CB ₀₆₀₅ , CB ₀₆₁₂ ve CB ₀₆₁₃ kesicilerine açma, CB ₀₅₀₆ , CB ₁₂₀₆ , CB ₁₃₀₆ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₆ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.859
Bursa Sanayi TM (B ₇)	MLR ₀₇₀₄ , MLR ₀₇₀₈ ve MLR ₀₇₀₉ röleleri çalışarak, CB ₀₇₀₄ , CB ₀₇₀₈ ve CB ₀₇₀₉ kesicilerine açma, CB ₀₉₀₆ , CB ₀₈₀₇ , CB ₀₉₀₇ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₇ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.859
Bursa DGKÇS (B ₈)	MLR ₀₈₀₂ , MLR ₀₈₀₄ , MLR ₀₈₀₇ röleleri çalışarak, CB ₀₈₀₂ , CB ₀₈₀₄ , CB ₀₈₀₇ , kesicilerine açma, CB ₀₄₀₇ ve CB ₀₇₀₈ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₈ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.881
Tepeören TM (B ₉)	MLR ₀₉₀₄ , MLR ₀₉₀₆ , MLR ₀₉₀₇ ve MLR ₀₉₁₀ röleleri çalışarak, CB ₀₉₀₄ , CB ₀₉₀₆ , CB ₀₉₀₇ , CB ₀₉₁₀ , kesicilerine açma, CB ₀₄₀₉ , CB ₀₇₀₄ , CB ₀₇₀₉ , CB ₁₀₀₉ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₉ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.833
İzmit Gis TM (B ₁₀)	MLR ₁₀₀₉ , MLR ₁₀₁₁ röleleri çalışarak, CB ₁₀₀₉ , CB ₁₀₁₁ kesicilerine açma, CB ₀₉₁₀ ve CB ₁₁₁₀ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₁₀ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.927
Köseköy TM (B ₁₁)	MLR ₁₁₀₉ , MLR ₁₁₁₀ röleleri çalışarak, CB ₁₁₀₉ , CB ₁₁₁₀ kesicilerine açma, CB ₀₄₁₁ ve CB ₁₀₁₁ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₁₁ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.927
Ereğli TM (B ₁₂)	MLR ₁₂₀₆ , MLR ₁₂₁₃ röleleri çalışarak, CB ₁₂₀₆ , CB ₁₂₁₃ kesicilerine açma, CB ₀₆₁₂ ve CB ₁₃₁₂ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₁₂ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.927

Tablo 5.3. devamı

Trafo Merkezi Adı	Arıza Sinyalleri	Doğruluk Derecesi Değerleri
Zetes TM (B ₁₃)	MLR ₁₃₀₃ , MLR ₁₃₀₆ , MLR ₁₃₁₂ ve MLR ₁₃₁₄ röleleri çalışarak, CB ₁₃₀₃ , CB ₁₃₀₆ , CB ₁₃₁₂ ve CB ₁₃₁₄ kesicilerine açma, CB ₀₆₁₃ , CB ₁₂₁₃ ve CB ₁₄₁₃ kesicilerine trip sinyali gönderme	B ₁₃ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.819
Yeni Çates TM (B ₁₄)	MLR ₁₄₁₃ rölesi çalışarak, CB ₁₄₁₃ kesicisine açma, CB ₁₃₁₄ kesicisine trip sinyali gönderme	B ₁₄ bara arızası, Doğruluk derecesi değeri 0.952

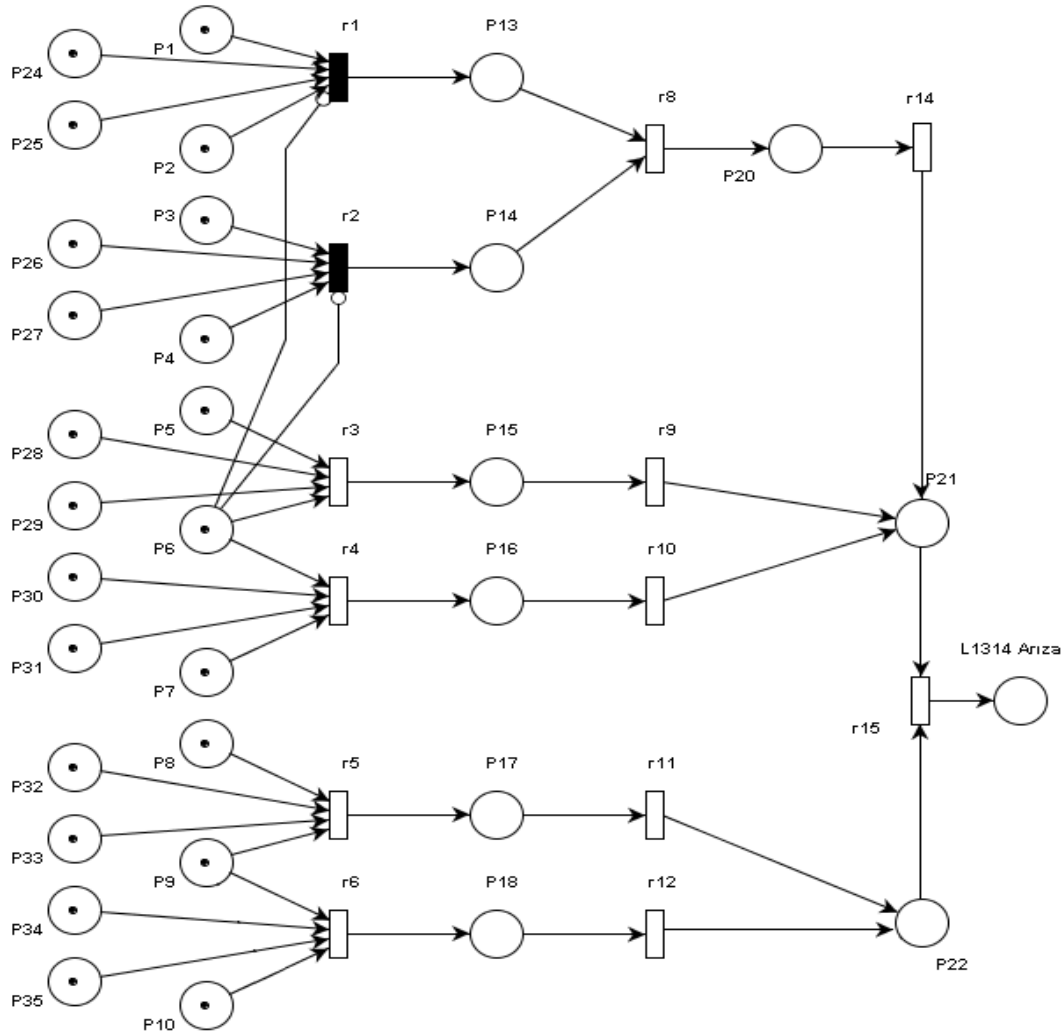
5.3.2 İletim hatlarındaki çoklu arıza durumları için BPA uygulamaları

5.3.2.1. L₁₃₁₄ iletim hattı arıza durumuna ait BPA uygulaması

L₁₃₁₄ enerji iletim hattı B₁₃ - B₁₄ baraları arasında bulunmaktadır. L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait olan ana koruma röleleri MLR₁₃₁₄ ve MLR₁₄₁₃'dür. L₁₃₁₄ enerji iletim hattında bir arıza oluştuğu durumda CB₁₃₁₄ ve CB₁₄₁₃ kesicilerine açma sinyali gönderilirken, CB₁₂₁₃ ve CB₀₆₁₃ kesicilerine trip sinyali gönderilir. BLR₁₄₁₃ ve BLR₁₃₁₄ koruma röleleri L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait birinci koruma röleleri, SLR₁₄₁₃ ve SLR₁₃₁₄ koruma röleleri ise L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait ikinci koruma röleleridir. BLR₁₃₁₄ ve SLR₁₃₁₄ koruma röleleri, MLR₁₃₁₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₁₄₁₃ ve SLR₁₄₁₃ koruma röleleri, MLR₁₄₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

MLR₁₃₁₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₃₁₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₃₁₄ ve BLR₁₃₁₄ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₁₃₁₄ ikinci koruma rölesi CB₁₃₁₄ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₁₄₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₄₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₄₁₃ ve BLR₁₄₁₃ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₁₄₁₃ ikinci koruma rölesi CB₁₄₁₃ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₆₁₃, BLR₀₆₁₃ ve SLR₀₆₁₃ koruma röleleri ve MLR₁₂₁₃, BLR₁₂₁₃ ve SLR₁₂₁₃ koruma röleleri L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir.

BLR₀₆₁₃ ve SLR₀₆₁₃ koruma röleleri, MLR₀₆₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₁₂₁₃ ve SLR₁₂₁₃ koruma röleleri, MLR₁₂₁₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. MLR₀₆₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₆₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₆₁₃ ve BLR₀₆₁₃ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₆₁₃ ikincil koruma rölesi CB₀₆₁₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₁₂₁₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₂₁₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₂₁₃ ve BLR₁₂₁₃ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₁₂₁₃ ikincil koruma rölesi CB₁₂₁₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. Şekil 5.34'de L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.34. L₁₃₁₄ enerji iletim hattına ait BPA modeli

Şekil 5.34'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{10}$ ve $p_{24}, p_{25}, p_{26}, \dots, p_{35}$ giriş durumları, Zetes TM ile Ereğli TM arasındaki L_{1314} enerji iletim hattına ait koruma elemanlarının işlem adımlarını göstermektedir. $p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}, p_{18}$ ise ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında tüm giriş durumlarında bir adet jeton bulunmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. L_{1314} enerji iletim hattına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu SLR_{0613} rölesinin trip sinyali almasını, p_2 durumu CB_{0613} kesicisinin açmasını, p_3 durumu SLR_{1213} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu CB_{1213} kesicisinin açmasını, p_5 durumu BLR_{1314} rölesinin trip sinyali almasını p_6 durumu CB_{1314} kesicisinin açmasını ifade etmektedir.

p_7 durumu MLR_{1314} rölesinin trip sinyali almasını, p_8 durumu MLR_{1413} rölesinin trip sinyali almasını, p_9 durumu CB_{1413} kesicisinin açmasını, p_{10} durumu BLR_{1413} rölesinin trip sinyali almasını, p_{23} durumu ise L_{1314} enerji iletim hattında arıza olduğunu ifade etmektedir.

p_{24} durumu SLR_{0613} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{25} durumu SLR_{0613} rölesinin çalıştığını, p_{26} durumu SLR_{1213} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{27} durumu SLR_{1213} rölesinin çalıştığını, p_{28} durumu BLR_{1314} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{29} durumu BLR_{1314} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

p_{30} durumu MLR_{1314} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{31} durumu MLR_{1314} rölesinin çalıştığını, p_{32} durumu MLR_{1413} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{33} durumu MLR_{1413} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir. p_{34} durumu BLR_{1413} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{35} durumu BLR_{1413} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

Şekil 5.34'de p_6 'dan r_1 ve r_2 'ye iki adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı, CB_{1314} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB_{0613} ve CB_{1213} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir. I, O, H, W matrislerinin boyutu 49x22, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 22x22'dir.

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^1 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^1 = [0.85 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.90 \ 0.70 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.632 \ 0.539 \ 0.539 \ 0.691 \ 0.643 \ 0.724 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.75 \ 0.75 \ 0.95 \ 1 \ 1]^T$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^2 = [0.85 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.90 \ 0.70 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.632 \ 0.539 \ 0.539 \ 0.691 \ 0.643 \ 0.724 \ 0.825 \ 0 \ 0.899 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.75 \ 0.75 \ 0.95 \ 1 \ 1]^T$$

Üçüncü ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^3 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^3 = [0.85 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.90 \ 0.70 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.632 \ 0.539 \ 0.539 \ 0.691 \ 0.643 \ 0.724 \ 0.825 \ 0.903 \ 0.899 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.75 \ 0.75 \ 0.95 \ 1 \ 1]^T$$

Son ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\gamma^4 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

$$\lambda^4 = [0.85 \ 0.85 \ 0.95 \ 0.90 \ 0.70 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.632 \ 0.539 \ 0.539 \ 0.691 \ 0.643 \ 0.724 \ 0.825 \ 0.903 \ 0.899 \ 0.911 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.75 \ 0.75 \ 0.95 \ 1 \ 1]^T$$

λ^4 doğruluk faktöründen L_{1314} enerji iletim hattına ait doğruluk derecesi değeri 0.911'dir. Aynı örnek için MLR_{1413} ana koruma rölesi üzerinden trip sinyali alınmadığı (arızalı olduğu) durumda, L_{1314} enerji iletim hattına ait doğruluk derecesi değeri 0.782 hesaplanır. MLR_{1413} ana koruma rölesinin çalışmaması durumunda sistemdeki arıza bölgesinin tespiti zorlaşmaktadır.

5.3.2.2. L₀₁₀₂ ve L₀₂₀₃ iletim hatlarına ait arıza durumları için BPA uygulaması

L₀₁₀₂ enerji iletim hattı B₁ - B₂ baraları arasında, L₀₂₀₃ enerji iletim hattı ise B₂ - B₃ baraları arasında bulunmaktadır. Her iki enerji iletim hattındada arıza olduğu durumda L₀₁₀₂ enerji iletim hattına ait olan ana koruma röleleri MLR₀₁₀₂ ve MLR₀₂₀₁'dir. L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait olan ana koruma röleleri MLR₀₂₀₃ ve MLR₀₃₀₂'dir. L₀₁₀₂ enerji iletim hattında bir arıza oluştuğu durumda CB₀₁₀₂ ve CB₀₂₀₁ kesicilerine açma sinyali gönderilirken, CB₀₅₀₁, CB₀₅₀₂, CB₀₄₀₂ ve CB₀₃₀₂ kesicilerine trip sinyali gönderilir.

L₀₂₀₃ enerji iletim hattında bir arıza oluştuğu durumda CB₀₂₀₃ ve CB₀₃₀₂ kesicilerine açma sinyali gönderilirken, CB₀₄₀₂, CB₀₅₀₂, CB₀₁₀₂ ve CB₀₄₀₃ kesicilerine trip sinyali gönderilir. BLR₀₁₀₂ ve BLR₀₂₀₁ koruma röleleri L₀₁₀₂ enerji iletim hattına ait birinci koruma röleleri, SLR₀₁₀₂ ve SLR₀₂₀₁ koruma röleleri ise L₀₁₀₂ enerji iletim hattına ait ikinci koruma röleleridir. BLR₀₂₀₃ ve BLR₀₃₀₂ koruma röleleri L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait birinci koruma röleleri, SLR₀₂₀₃ ve SLR₀₃₀₂ koruma röleleri ise L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait ikinci koruma röleleridir.

BLR₀₁₀₂ ve SLR₀₁₀₂ koruma röleleri, MLR₀₁₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₂₀₁ ve SLR₀₂₀₁ koruma röleleri, MLR₀₂₀₁ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₂₀₃ ve SLR₀₂₀₃ koruma röleleri, MLR₀₂₀₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₃₀₂ ve SLR₀₃₀₂ koruma röleleri, MLR₀₃₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

MLR₀₁₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₁₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₁₀₂ ve BLR₀₁₀₂ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₁₀₂ ikinci koruma rölesi CB₀₁₀₂ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₂₀₁ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₂₀₁ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₂₀₁ ve BLR₀₂₀₁ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₂₀₁ ikinci koruma rölesi CB₀₂₀₁ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

MLR₀₂₀₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₂₀₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₂₀₃ ve BLR₀₂₀₃ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₂₀₃ ikinci koruma rölesi CB₀₂₀₃ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₃₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₃₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₃₀₂ ve BLR₀₃₀₂ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₃₀₂ ikinci koruma rölesi CB₀₃₀₂ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

MLR₀₅₀₁, BLR₀₅₀₁ ve SLR₀₅₀₁ koruma röleleri, MLR₀₅₀₂, BLR₀₅₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri, MLR₀₄₀₂, BLR₀₄₀₂ ve SLR₀₄₀₂ koruma röleleri ve MLR₀₃₀₂, BLR₀₃₀₂ ve SLR₀₃₀₂ koruma röleleri L₀₁₀₂ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir. MLR₀₄₀₃, BLR₀₄₀₃ ve SLR₀₄₀₃ koruma röleleri, MLR₀₄₀₂, BLR₀₄₀₂ ve SLR₀₄₀₂ koruma röleleri, MLR₀₅₀₂, BLR₀₅₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri ve MLR₀₁₀₂, BLR₀₁₀₂ ve SLR₀₁₀₂ koruma röleleri L₀₂₀₃ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir.

L₀₁₀₂ enerji iletim hattı için, BLR₀₅₀₁ ve SLR₀₅₀₁ koruma röleleri, MLR₀₅₀₁ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₅₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri, MLR₀₅₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₃₀₂ ve SLR₀₃₀₂ koruma röleleri, MLR₀₃₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₄₀₂ ve SLR₀₄₀₂ koruma röleleri, MLR₀₄₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

L₀₂₀₃ enerji iletim hattı için, BLR₀₄₀₃ ve SLR₀₄₀₃ koruma röleleri, MLR₀₄₀₃ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₅₀₂ ve SLR₀₅₀₂ koruma röleleri, MLR₀₅₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₁₀₂ ve SLR₀₁₀₂ koruma röleleri, MLR₀₁₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₄₀₂ ve SLR₀₄₀₂ koruma röleleri, MLR₀₄₀₂ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

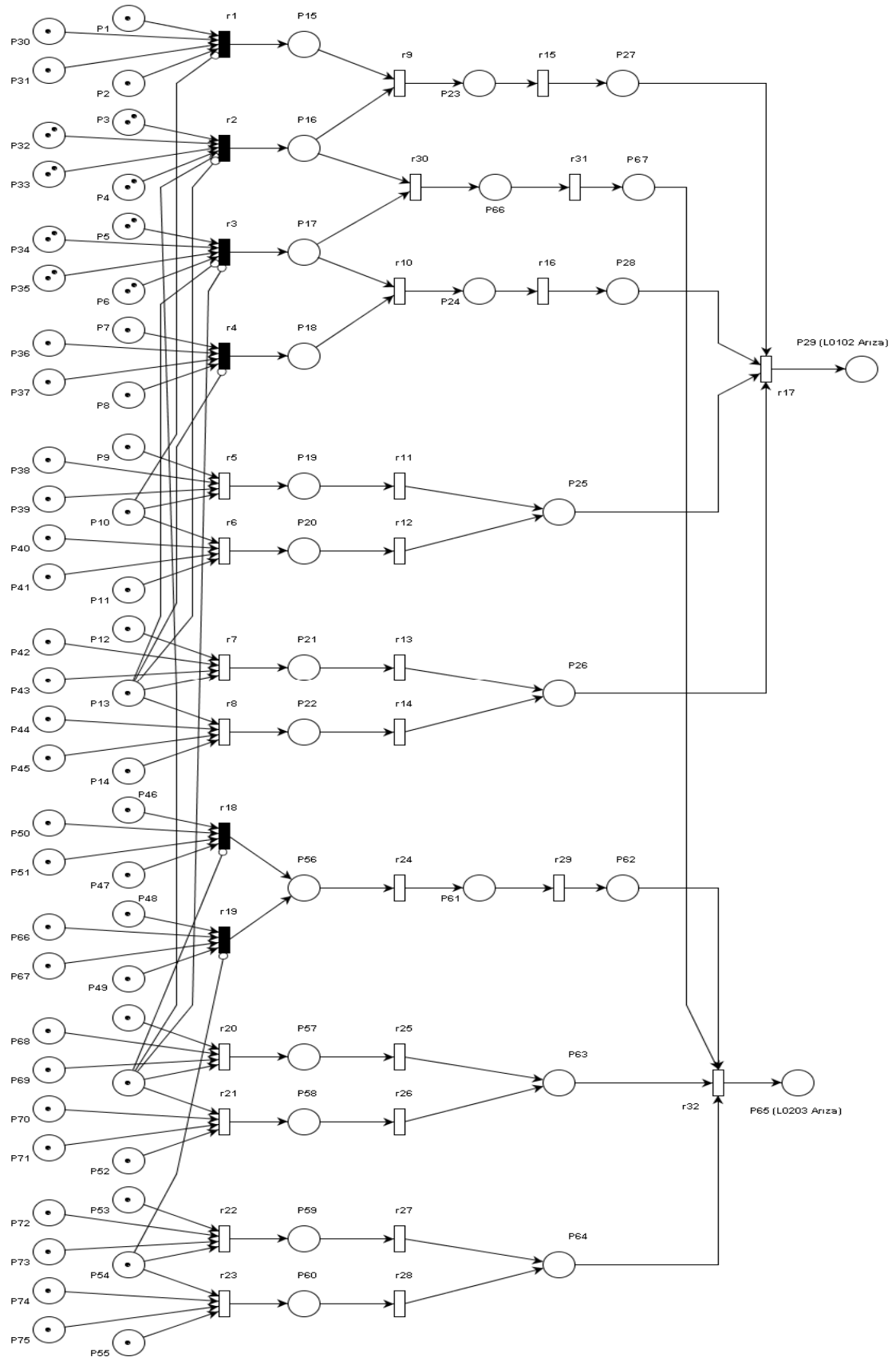
L₀₁₀₂ enerji iletim hattı için, MLR₀₅₀₁ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₁ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₅₀₁ ve BLR₀₅₀₁ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₁ ikincil koruma rölesi

CB₀₅₀₁ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₅₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₅₀₂ ve BLR₀₅₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₅₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

MLR₀₃₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₃₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₃₀₂ ve BLR₀₃₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₃₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₃₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₄₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₄₀₂ ve BLR₀₄₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

L₀₂₀₃ enerji iletim hattı için, MLR₀₄₀₃ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₃ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₄₀₃ ve BLR₀₄₀₃ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₃ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₃ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₅₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₅₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₅₀₂ ve BLR₀₅₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₅₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₅₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

MLR₀₁₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₁₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₁₀₂ ve BLR₀₁₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₁₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₁₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₄₀₂ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₂ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₄₀₂ ve BLR₀₄₀₂ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₂ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₂ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. Şekil 5.35’de L₀₁₀₂ ve L₀₂₀₃ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.35. L₀₁₀₂ ve L₀₂₀₃ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli

Şekil 5.35'deki $p_1, p_2, p_3, \dots, p_{14}, p_{30}, p_{31}, p_{32}, \dots, p_{55}$ ve $p_{66}, p_{67}, p_{68}, \dots, p_{75}$ giriş durumları, Adapazarı DGKÇS II – Adapazarı DGKÇS I ve Adapazarı DGKÇS I – Paşaköy TM arasındaki L_{0102} ve L_{0203} enerji iletim hatlarına ait koruma elemanlarının işlem adımlarını göstermektedir. $p_{15}, p_{16}, p_{17}, \dots, p_{29}$ ve $p_{56}, p_{57}, p_{58}, \dots, p_{67}$ ise ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında tüm giriş durumlarında bir adet jeton bulunmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. L_{0102} ve L_{0203} enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p_1 durumu SLR_{0501} rölesinin trip sinyali almasını, p_2 durumu CB_{0501} kesicisinin açmasını, p_3 durumu SLR_{0502} rölesinin trip sinyali almasını, p_4 durumu CB_{0502} kesicisinin açmasını, p_5 durumu BLR_{0402} rölesinin trip sinyali almasını p_6 durumu CB_{0402} kesicisinin açmasını, p_7 durumu BLR_{0302} rölesinin trip sinyali almasını p_8 durumu CB_{0302} kesicisinin açmasını ifade etmektedir. p_9 durumu BLR_{0102} rölesinin trip sinyali almasını, p_{10} durumu CB_{0102} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu MLR_{0102} rölesinin trip sinyali almasını, p_{12} durumu MLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını, p_{13} durumu CB_{0201} kesicisinin açmasını, p_{14} durumu BLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını, p_{29} durumu ise L_{0102} enerji iletim hattında arıza olduğunu ifade etmektedir. p_{30} durumu SLR_{0501} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{31} durumu SLR_{0501} rölesinin çalıştığını, p_{32} durumu SLR_{0502} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{33} durumu SLR_{0502} rölesinin çalıştığını, p_{34} durumu SLR_{0402} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{35} durumu SLR_{0402} rölesinin çalıştığını, p_{36} durumu SLR_{0302} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{37} durumu SLR_{0302} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

p_{38} durumu MLR_{0102} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{39} durumu MLR_{0102} rölesinin çalıştığını, p_{40} durumu BLR_{0102} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{41} durumu BLR_{0102} rölesinin çalıştığını, p_{42} durumu MLR_{0201} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{43} durumu MLR_{0201} rölesinin çalıştığını, p_{44} durumu BLR_{0201} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{45} durumu BLR_{0201} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir. p_{46} durumu BLR_{0403} rölesinin trip sinyali almasını p_{47} durumu CB_{0403} kesicisinin açmasını, p_{48} durumu BLR_{0102} rölesinin trip sinyali almasını p_{49} durumu CB_{0102} kesicisinin açmasını ifade etmektedir. p_{50} durumu SLR_{0403} rölesinin trip sinyali almasını, p_{51} durumu SLR_{0403}

rölesinin çalışmasını, p_{52} durumu MLR_{0102} rölesinin trip sinyali almasını, p_{53} durumu MLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını, p_{54} durumu CB_{0201} kesicisinin açmasını, p_{55} durumu BLR_{0201} rölesinin trip sinyali almasını, p_{65} durumu ise L_{0203} enerji iletim hattında arıza olduğunu ifade etmektedir. p_{66} durumu SLR_{0102} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{67} durumu SLR_{0102} rölesinin çalıştığını, p_{68} durumu MLR_{0203} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{69} durumu MLR_{0203} rölesinin çalıştığını, p_{70} durumu BLR_{0203} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{71} durumu BLR_{0203} rölesinin çalıştığını, p_{72} durumu MLR_{0302} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{73} durumu MLR_{0302} rölesinin çalıştığını, p_{74} durumu BLR_{0302} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{75} durumu BLR_{0302} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

Şekil 5.35’de p_{10} ’dan r_1 ’e, p_{13} ’den r_2, r_3, r_4 ’e ve p_{54} ’den r_{19} ’a, p_{51} ’den r_2, r_3, r_{18} ’e sekiz adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı L_{0102} enerji iletim hattı için; CB_{0102} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB_{0501} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0201} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB_{0502} , CB_{0402} ve CB_{0302} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. L_{0203} enerji iletim hattı için; CB_{0302} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB_{0403} kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB_{0203} kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB_{0502} , CB_{0402} ve CB_{0102} kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir. I, O, H, W matrislerinin boyutu 169x52, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 52x52’dir.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$O = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda^0 = [0.45 \ 0.60 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.80 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0.65 \\ 0.90 \ 1 \ 0.75 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.35 \ 1 \\ 1 \ 1]^T$$

İlk ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\begin{aligned} \gamma^1 &= [1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ &\quad 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T \\ \lambda^1 &= [0.45 \ 0.60 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.80 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.526 \ 0.504 \ 0.629 \ 0.629 \ 0.672 \ 0.526 \\ &\quad 0.711 \ 0.711 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0.65 \ 0.90 \ 1 \ 0.75 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ &\quad 0.698 \ 0.617 \ 0.617 \ 0.543 \ 0.692 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.35 \ 1 \ 1 \ 1]^T \end{aligned}$$

İkinci ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\begin{aligned}\gamma^2 &= [1\ 1\ 2\ 2\ 2\ 2\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 2\ 2\ 2\ 2\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ &\quad 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]^\text{T} \\ \lambda^2 &= [0.45\ 0.60\ 0.95\ 0.95\ 0.80\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0.526\ 0.504\ 0.629\ 0.629\ 0.672\ 0.526 \\ &\quad 0.711\ 0.711\ 0.816\ 0.745\ 0.816\ 0.837\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0.65\ 0.90\ 1\ 0.75\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ &\quad 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0.698\ 0.617\ 0.617\ 0.543\ 0.692\ 0.793\ 0\ 0.816\ 0.823\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0.35 \\ &\quad 1\ 1\ 1]^\text{T}\end{aligned}$$

Üçüncü ateşleme durumunda BPA'daki jetonların ortalama geçiş sayıları ve doğruluk derecesi değerleri;

$$\begin{aligned} \gamma^3 &= [1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ &\quad 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T \\ \lambda^3 &= [0.45 \ 0.60 \ 0.95 \ 0.95 \ 0.80 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.526 \ 0.504 \ 0.629 \ 0.629 \ 0.672 \ 0.526 \\ &\quad 0.711 \ 0.711 \ 0.816 \ 0.745 \ 0.816 \ 0.837 \ 0.844 \ 0.844 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0.65 \ 0.90 \ 1 \ 0.75 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \\ &\quad 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.698 \ 0.617 \ 0.617 \ 0.543 \ 0.692 \ 0.793 \ 0.877 \ 0.816 \ 0.823 \ 0 \ 1 \ 1 \\ &\quad 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0.35 \ 1 \ 1 \ 1]^T \end{aligned}$$

enerji iletim hattına ait ikinci koruma röleleridir. BLR₀₉₁₀ ve BLR₁₀₀₉ koruma röleleri L₀₉₁₀ enerji iletim hattına ait birinci koruma röleleri, SLR₀₉₁₀ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri ise L₀₉₁₀ enerji iletim hattına ait ikinci koruma röleleridir.

BLR₀₇₀₄ ve SLR₀₇₀₄ koruma röleleri, MLR₀₇₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₉₀₆ ve SLR₀₉₀₆ koruma röleleri, MLR₀₉₀₆ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₇₀₈ ve SLR₀₇₀₈ koruma röleleri, MLR₀₇₀₈ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₈₀₇ ve SLR₀₈₀₇ koruma röleleri, MLR₀₈₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₉₁₀ ve SLR₀₉₁₀ koruma röleleri, MLR₀₉₁₀ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₁₀₀₉ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri, MLR₁₀₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

MLR₀₇₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₇₀₄ ve BLR₀₇₀₄ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₇₀₄ ikinci koruma rölesi CB₀₇₀₄ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₉₀₆ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₀₆ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₉₀₆ ve BLR₀₉₀₆ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₉₀₆ ikinci koruma rölesi CB₀₉₀₆ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

MLR₀₇₀₈ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₈ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₇₀₈ ve BLR₀₇₀₈ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₇₀₈ ikinci koruma rölesi CB₀₇₀₈ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₈₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₈₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir.

MLR₀₈₀₇ ve BLR₀₈₀₇ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₈₀₇ ikinci koruma rölesi CB₀₈₀₇ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₉₁₀ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₁₀ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₉₁₀ ve BLR₀₉₁₀ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₀₉₁₀ ikinci koruma rölesi CB₀₉₁₀ kesicisine

açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₁₀₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₀₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₀₀₉ ve BLR₁₀₀₉ koruma rölelerinin çalışmadığı durumlarda, SLR₁₀₀₉ ikinci koruma rölesi CB₁₀₀₉ kesicisine açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

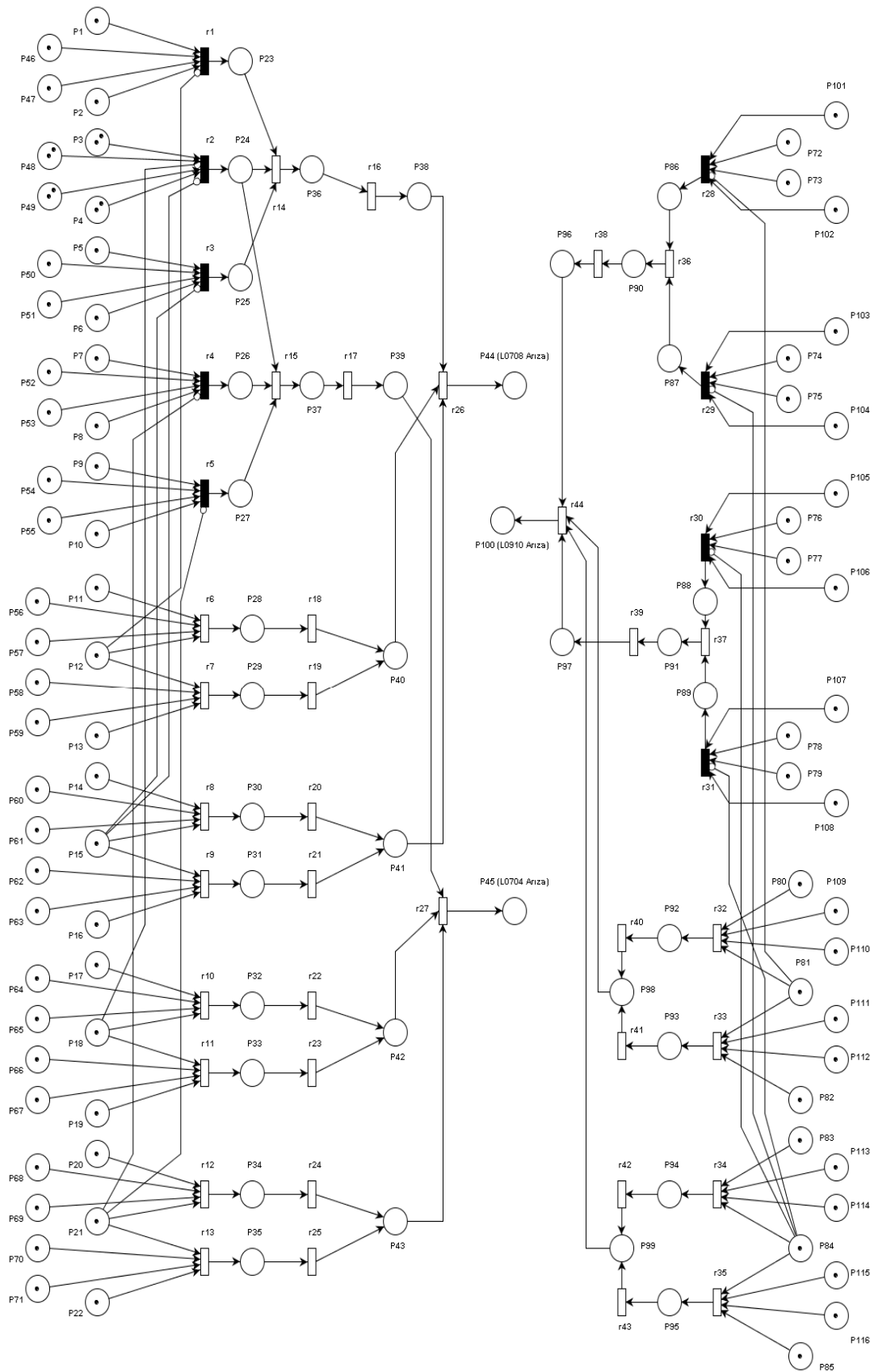
MLR₀₈₀₇, BLR₀₈₀₇ ve SLR₀₈₀₇ koruma röleleri, MLR₀₉₀₇, BLR₀₉₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri, MLR₀₇₀₉, BLR₀₇₀₉ ve SLR₀₇₀₉ koruma röleleri, MLR₀₄₀₉, BLR₀₄₀₉ ve SLR₀₄₀₉ koruma röleleri ve MLR₁₀₀₉, BLR₁₀₀₉ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri L₀₇₀₄ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir. MLR₀₄₀₇, BLR₀₄₀₇ ve SLR₀₄₀₇ koruma röleleri, MLR₀₉₀₆, BLR₀₉₀₆ ve SLR₀₉₀₆ koruma röleleri ve MLR₀₉₀₇, BLR₀₉₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri L₀₇₀₈ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir. MLR₁₁₁₀, BLR₁₁₁₀ ve SLR₁₁₁₀ koruma röleleri, MLR₀₄₀₉, BLR₀₄₀₉ ve SLR₀₄₀₉ koruma röleleri, MLR₀₇₀₉, BLR₀₇₀₉ ve SLR₀₇₀₉ koruma röleleri ve MLR₀₇₀₄, BLR₀₇₀₄ ve SLR₀₇₀₄ koruma röleleri L₀₉₁₀ enerji iletim hattına ait ikincil koruma röleleridir.

L₀₇₀₄ enerji iletim hattı için, BLR₀₈₀₇ ve SLR₀₈₀₇ koruma röleleri, MLR₀₈₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₉₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri, MLR₀₉₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₇₀₉ ve SLR₀₇₀₉ koruma röleleri, MLR₀₇₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₄₀₉ ve SLR₀₄₀₉ koruma röleleri, MLR₀₄₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₁₀₀₉ ve SLR₁₀₀₉ koruma röleleri, MLR₁₀₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

L₀₇₀₈ enerji iletim hattı için, BLR₀₄₀₇ ve SLR₀₄₀₇ koruma röleleri, MLR₀₄₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₉₀₆ ve SLR₀₉₀₆ koruma röleleri, MLR₀₉₀₆ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₉₀₇ ve SLR₀₉₀₇ koruma röleleri, MLR₀₉₀₇ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. L₀₉₁₀ enerji iletim hattı için, BLR₁₁₁₀ ve SLR₁₁₁₀ koruma röleleri, MLR₁₁₁₀ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₄₀₉ ve SLR₀₄₀₉ koruma röleleri, MLR₀₄₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₇₀₄ ve SLR₀₇₀₄ koruma röleleri, MLR₀₇₀₄ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir. BLR₀₇₀₉ ve SLR₀₇₀₉ koruma röleleri, MLR₀₇₀₉ koruma rölesi ile aynı koruma bölgesine sahiptir.

L₀₇₀₄ enerji iletim hattı için, MLR₀₈₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₈₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₈₀₇ ve BLR₀₈₀₇ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₈₀₇ ikincil koruma rölesi CB₀₈₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₉₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₉₀₇ ve BLR₀₉₀₇ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₉₀₇ ikincil koruma rölesi CB₀₉₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₇₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₇₀₉ ve BLR₀₇₀₉ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₇₀₉ ikincil koruma rölesi CB₀₇₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₄₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₄₀₉ ve BLR₀₄₀₉ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₉ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₁₀₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₀₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₀₀₉ ve BLR₁₀₀₉ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₁₀₀₉ ikincil koruma rölesi CB₁₀₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

L₀₇₀₈ enerji iletim hattı için, MLR₀₄₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₄₀₇ ve BLR₀₄₀₇ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₇ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₉₀₆ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₀₆ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₉₀₆ ve BLR₀₉₀₆ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₉₀₆ ikincil koruma rölesi CB₀₉₀₆ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₉₀₇ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₉₀₇ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₉₀₇ ve BLR₀₉₀₇ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₉₀₇ ikincil koruma rölesi CB₀₉₀₇ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. Şekil 5.36'da L₀₇₀₄, L₀₇₀₈ ve L₀₉₁₀ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.36. L₀₇₀₄ L₀₇₀₈ ve L₀₉₁₀ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modeli

L₀₉₁₀ enerji iletim hattı için, MLR₁₁₁₀ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₁₁₁₀ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₁₁₁₀ ve BLR₁₁₁₀ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₁₁₁₀ ikincil koruma rölesi CB₁₁₁₀ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₄₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₄₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir.

MLR₀₄₀₉ ve BLR₀₄₀₉ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₄₀₉ ikincil koruma rölesi CB₀₄₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₇₀₄ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₄ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₇₀₄ ve BLR₀₇₀₄ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₇₀₄ ikincil koruma rölesi CB₀₇₀₄ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır. MLR₀₇₀₉ koruma rölesinin arızayı temizleyemediği durumda, BLR₀₇₀₉ koruma rölesi çalışarak arızayı temizlemektedir. MLR₀₇₀₉ ve BLR₀₇₀₉ koruma rölelerinde çalışmadığı durumda, SLR₀₇₀₉ ikincil koruma rölesi CB₀₇₀₉ kesicisine trip sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır.

Şekil 5.36'daki p₁, p₂, p₃,...,p₂₂, p₄₆, p₄₇, p₄₈,...,p₈₅ ve p₁₀₁, p₁₀₂, p₁₀₃,...,p₁₁₆ giriş durumları, Bursa Sanayi TM – Tepeören, Bursa Sanayi TM – Bursa DGKÇS II ve Tepeören TM – İzmit Gis TM arasındaki L₀₇₀₄, L₀₇₀₈ ve L₀₉₁₀ enerji iletim hatlarına ait koruma elemanlarının işlem adımlarını göstermektedir. p₂₃, p₂₄, p₂₅,..., p₄₅ ve p₈₆, p₈₇, p₈₈,..., p₁₀₀ ise ara geçiş durumlarını ifade etmektedir. Başlangıç anında tüm giriş durumlarında bir adet jeton bulunmakta ve bu durumlara ait doğruluk derecesi değerleri 1 olmaktadır. Jetonların durumlar arasındaki hareketleri ile sistemin doğruluk derecesi değerleri değişmektedir. L₀₇₀₄, L₀₇₀₈ ve L₀₉₁₀ enerji iletim hatlarındaki arıza durumlarına ait BPA modelindeki geçiş durumları aşağıda verilmiştir.

Buna göre p₁ durumu SLR₀₄₀₇ rölesinin trip sinyali almasını, p₂ durumu CB₀₄₀₇ kesicisinin açmasını, p₃ durumu SLR₀₉₀₇ rölesinin trip sinyali almasını, p₄ durumu CB₀₉₀₇ kesicisinin açmasını, p₅ durumu BLR₀₉₀₆ rölesinin trip sinyali almasını p₆ durumu CB₀₉₀₆ kesicisinin açmasını ifade etmektedir. p₇ durumu SLR₁₀₀₉ rölesinin

trip sinyali almasını, p_8 durumu CB_{1009} kesicisinin açmasını, p_9 durumu SLR_{0807} rölesinin trip sinyali almasını, p_{10} durumu CB_{0807} kesicisinin açmasını, p_{11} durumu BLR_{0708} rölesinin trip sinyali almasını p_{12} durumu CB_{0708} kesicisinin açmasını, p_{13} durumu MLR_{0708} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir. p_{14} durumu BLR_{0807} rölesinin trip sinyali almasını p_{15} durumu CB_{0807} kesicisinin açmasını, p_{16} durumu MLR_{0807} rölesinin trip sinyali almasını, p_{17} durumu BLR_{0906} rölesinin trip sinyali almasını p_{18} durumu CB_{0906} kesicisinin açmasını, p_{19} durumu MLR_{0906} rölesinin trip sinyali almasını, p_{20} durumu BLR_{0704} rölesinin trip sinyali almasını, p_{21} durumu CB_{0704} kesicisinin açmasını, p_{22} durumu MLR_{0704} rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

p_{46} durumu SLR_{0407} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{47} durumu SLR_{0407} rölesinin çalıştığını, p_{48} durumu SLR_{0907} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{49} durumu SLR_{0907} rölesinin çalıştığını, p_{50} durumu SLR_{0906} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{51} durumu SLR_{0906} rölesinin çalıştığını, p_{52} durumu SLR_{1009} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{53} durumu SLR_{1009} rölesinin çalıştığını, p_{54} durumu SLR_{0807} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{55} durumu SLR_{0807} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir. p_{56} durumu MLR_{0708} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{57} durumu MLR_{0708} rölesinin çalıştığını, p_{58} durumu BLR_{0708} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{59} durumu BLR_{0708} rölesinin çalıştığını, p_{60} durumu MLR_{0807} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{61} durumu MLR_{0807} rölesinin çalıştığını, p_{62} durumu BLR_{0807} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{63} durumu BLR_{0807} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

p_{64} durumu MLR_{0704} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{65} durumu MLR_{0704} rölesinin çalıştığını, p_{66} durumu BLR_{0704} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{67} durumu BLR_{0704} rölesinin çalıştığını, p_{68} durumu MLR_{0906} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{69} durumu MLR_{0906} rölesinin çalıştığını, p_{70} durumu BLR_{0906} rölesinin trip sinyali aldığını, p_{71} durumu BLR_{0906} rölesinin çalıştığını ifade etmektedir. p_{72} durumu SLR_{1110} rölesinin trip sinyali almasını, p_{73} durumu CB_{1110} kesicisinin açmasını, p_{74} durumu SLR_{0409} rölesinin trip sinyali almasını, p_{75} durumu CB_{0409} kesicisinin açmasını, p_{76} durumu BLR_{0704} rölesinin trip sinyali almasını p_{77} durumu CB_{0704} kesicisinin açmasını, p_{78} durumu BLR_{0709} rölesinin trip sinyali almasını p_{79} durumu CB_{0709} kesicisinin açmasını ifade etmektedir. p_{80} durumu BLR_{1009} rölesinin trip sinyali almasını, p_{81}

durumu CB₁₀₀₉ kesicisinin açmasını, p₈₂ durumu MLR₁₀₀₉ rölesinin trip sinyali almasını, p₈₃ durumu BLR₁₀₁₁ rölesinin trip sinyali almasını, p₈₄ durumu CB₁₀₁₁ kesicisinin açmasını, p₈₅ durumu MLR₁₀₁₁ rölesinin trip sinyali almasını ifade etmektedir.

p₁₀₁ durumu SLR₁₁₁₀ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₀₂ durumu SLR₁₁₁₀ rölesinin çalıştığını, p₁₀₃ durumu SLR₀₄₀₉ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₀₄ durumu SLR₀₄₀₉ rölesinin çalıştığını, p₁₀₅ durumu SLR₀₇₀₄ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₀₆ durumu SLR₀₇₀₄ rölesinin çalıştığını, p₁₀₇ durumu SLR₀₇₀₉ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₀₈ durumu SLR₀₇₀₉ rölesinin çalıştığını ifade etmektedir. p₁₀₉ durumu MLR₀₉₁₀ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₁₀ durumu MLR₀₉₁₀ rölesinin çalıştığını, p₁₁₁ durumu BLR₀₉₁₀ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₁₂ durumu BLR₀₉₁₀ rölesinin çalıştığını, p₁₁₃ durumu MLR₁₀₀₉ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₁₄ durumu MLR₁₀₀₉ rölesinin çalıştığını, p₁₁₅ durumu BLR₁₀₀₉ rölesinin trip sinyali aldığını, p₁₁₆ durumu BLR₁₀₀₉ rölesinin çalıştığını ifade etmektedir.

Şekil 5.36'da p₁₂'den r₁'e, p₁₅'den r₂, r₃'e, p₁₈'den r₂'ye, p₂₁'den r₄, r₅'e, p₈₁'den r₂₈'e ve p₈₄'den r₂₉, r₃₀, r₃₁'e on adet bozucu dal görülmektedir. Bu bozucu dalların anlamı L₀₇₀₈ enerji iletim hattı için; CB₀₈₀₇ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₀₄₀₇ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₇₀₈ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₀₉₀₇, CB₀₉₀₆ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. L₀₇₀₄ enerji iletim hattı için; CB₀₇₀₄ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₀₈₀₇ ve CB₀₉₀₇ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₉₀₆ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₀₄₀₉, CB₁₀₀₉ ve CB₀₇₀₉ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. L₀₉₁₀ enerji iletim hattı için; CB₁₀₀₉ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₁₁₁₀ kesicisine açma sinyali göndermesini engellemektir. CB₀₉₁₀ kesicisi açma işlemi gerçekleştirirse, sistemdeki ikincil koruma rölesinin CB₀₄₀₉, CB₀₇₀₉ ve CB₀₇₀₄ kesicilerine açma sinyali göndermesini engellemektir. Söz konusu modelin matris yapıları PIPE2 programı ile elde edilir. I, O, H, W matrislerinin boyutu 283x78, tekrar oranı matrisinin boyutu ise 78x78'dir.

Tablo 5.4. KBA şebekesine ait ondört baralı güç sistemindeki enerji iletim hatları için doğruluk derecesi değerleri

Enerji İletim Hattı Adı	Çalışan Kesiciler	Doğruluk Derecesi Değerleri
L ₀₄₀₇ Enerji İletim Hattı	CB ₀₄₀₇ , CB ₀₈₀₄ kesicileri açma	L ₀₄₀₇ enerji iletim hattı arızası doğruluk derecesi değeri 0.817
L ₀₄₀₅ ve L ₀₂₀₄ Enerji İletim Hatları	CB ₀₄₀₅ , CB ₀₅₀₄ , CB ₀₄₀₂ , CB ₀₂₀₄ kesicileri açma	L ₀₄₀₅ ve L ₀₂₀₄ enerji iletim hatlarına ait arızaların doğruluk derecesi değerleri 0.839 , 0.847
L ₀₂₀₃ , L ₀₅₀₆ ve L ₀₆₁₃ Enerji İletim Hatları	CB ₀₂₀₃ , CB ₀₃₀₂ , CB ₀₅₀₆ , CB ₀₆₀₅ , CB ₀₆₁₃ , CB ₁₃₀₆ kesicileri açma	L ₀₂₀₃ , L ₀₅₀₆ ve L ₀₆₁₃ enerji iletim hatlarına ait arızaların doğruluk derecesi değerleri 0.682 , 0.717 , 0.738
L ₀₁₀₅ , L ₀₄₀₉ , L ₀₄₁₁ , ve L ₀₆₁₂ Enerji İletim Hatları	CB ₀₁₀₅ , CB ₀₅₀₁ , CB ₀₄₀₉ , CB ₀₉₀₄ , CB ₀₄₁₁ , CB ₁₁₀₉ , CB ₀₆₁₂ , CB ₁₂₀₆ kesicileri açma	L ₀₁₀₅ , L ₀₄₀₉ , L ₀₄₁₁ , ve L ₀₆₁₂ enerji iletim hatlarına ait arızaların doğruluk derecesi değerleri 0.913, 0.766, 0.835, 0.896

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1.Sonuçlar

Elektrik enerjisi ihtiyacı, teknolojiadaki önemli gelişmeler ve artan dünya nüfusu ile birlikte orantılı olarak artmaktadır. Bunun yanında enerji üretim merkezlerinin yerleşim bölgelerinin uzaklarında kurulmaları, oldukça uzun ve yüksek gerilime sahip enerji iletim hatlarının kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Ancak enerji üretiminin ve buna bağlı olarak da iletiminin büyümesi önemli işletme ve kontrol sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bir güç sisteminde istenen faktörlerden güvenilirlik, verim, kalite gibi unsurlar, koruma sistemlerinin güç sistemlerindeki yerini bir kat daha artırmaktadır.

Son yıllarda yazılım teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde benzetim teknikleri artmakta, güç sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Güç sistemleri gibi karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analizinde belirsizliğin iki boyutu söz konusudur. Bu boyutlar rassallık ve bulanıklıktır. Rassallık, parametrelerin davranışlarının olasılık dağılımları ile ifade edilmesini içermekte ve olasılıksal ya da stokastik değişkenliği modellemektedir. Bulanıklık ise dilsel yapıdan ya da bilginin tam olmamasından kaynaklanan kesin olmamayı modellemektedir.

Sistem modellemede belirsizliği tanımlamak için kullanılan baskın kavram olasılık teorisini temel alan stokastik modeller olmakla beraber, bu olasılıksal modeller belirsizliğin tüm boyutlarını tanımlamakta yetersiz kalmaktadır ve sadece rassallığı ifade edebilmektedir. Özellikle modellemede kullanılacak olan veriler gözlem ve ölçümlerden elde edildiğinden ve de ölçmenin sınırlı kesinliğinden dolayı, verilerin kesin olmaması istatistiksel bir yapıda değildir ve olasılık teorisiyle de ifade edilememektedir.

Bu çalışmada koruma analizi konusu ele alınarak güç sistemlerinin BPA ile modellenmesi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kuzeybatı Anadolu şebekesine ait enerji iletim hatlarında, baralarda ve ototransformatörler de çeşitli arıza durumları için sistem benzetimleri gerçekleştirilmiş, her arıza durumu için sistem davranışı ve koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri hesaplanmıştır. Doğruluk derecesi değerleri kesici ve koruma rölelerinin kesin olmayan ve tamamlanmamış alarm bilgilerine göre hesaplanmıştır. Benzetim aşamasında ateşlenmesi yapılan durumlar bağımsız olarak hareket edebilmektedir. Her durum kendi içerisinde jeton bulundurmakta ve jetonlar arasında aktarım yapılabilir.

Dört baralı Kuzeybatı Anadolu şebekesindeki PA benzetim sonuçlarına göre; 380 kV Adapazarı DGKÇS bara arızasına ait doğruluk derecesi değeri 0.6428 hesaplanmıştır. Doğruluk derecesi değerinin düşük olma sebebi, üretim santrali gibi önemli TM'ndeki akım ve gerilim değerlerinin limit değerlerini aşması nedeniyle, birden fazla koruma elemanının çalışmasıdır. Elde edilen BPA benzetim sonuçlarına göre; baralar için en düşük doğruluk derecesi değeri Adapazarı TM için elde edilmiştir. Adapazarı TM'deki doğruluk derecesinin en düşük olma sebebi, en fazla enerji iletim hattının bu TM'ne bağlı olmasıdır.

Enerji iletim hatları için en düşük doğruluk derecesi değerleri, Adapazarı DGKÇS I ile Adapazarı TM arasındaki L_{0204} enerji iletim hattı ile Adapazarı TM ile Tepeören TM arasındaki L_{0409} enerji iletim hatlarından elde edilmiştir. L_{0204} ve L_{0409} enerji iletim hatlarındaki doğruluk derecesi değerlerinin en düşük olma sebebi, en fazla enerji iletim hattının bağlı bulunduğu (girdi-çıkış durumu) TM'leri arasında bulunmalarıdır. Çoklu arıza durumları incelendiğinde ise, üretim santrallerinin bağlı bulunduğu TM ile (Adapazarı DGKÇS II, Bursa DGKÇS ve Zetes TM) Adapazarı ve Tepeören TM'lerine bağlı bulunan enerji iletim hatlarında bir arıza oluştuğu durumda on dört baralı güç sistemindeki arıza yerinin teşhisinde kullanılan doğruluk derecesi değerleri çok düşük olmaktadır.

BPA, iyi yapılandırılmış, modüler tasarımlı, azaltılmış kurallara sahip, matematiksel temelli, arzu edilen birçok özelliği analiz edebilen bir yapıya sahiptir. Sistemin BPA modeli ile matematiksel ve grafiksel modeli çıkartılmış olduğundan, farklı giriş

parametre değerleri ile sistemin yeniden benzetimi yapılabilmektedir. Bu çalışma ile elde edilen doğruluk derecesi değerleri sayesinde sistemdeki arızalı bölgelerin önceden tespit edilmesine katkı sağlanmıştır. Yeni kurulacak olan güç sistemlerinin güvenilirlik analizleri için BPA kullanılarak yapılan benzetim sonuçları, elektrik güç sistemi elemanlarının güvenilirliklerinin elde edilmesinde doğru sonuçlar verecektir. BPA, daha karmaşık ve büyük güç sistemlerinin modellenmesinde, rahatlıkla kullanılabilir. PA ve BPA modelleri kontrol alanında, benzetimde, performans analizinde ve arıza bölgesi tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

PA'nın avantajları incelendiğinde;

1. Sistem çıkmazı, kilitlenme ve kararsızlık gibi istenmeyen durumlar için sistemi kontrol edebilme yeteneği bulunması,
2. Birçok sistem için benzetim yapılmaksızın performans analizi yapılabilmesi,
3. Üretim alanları, kaynak kullanımı, güvenilirlik ve performans ölçümünün yapılabilmesi,
4. BPA kullanılarak güç sistemlerinde arıza olma olasılığı yüksek olan bölgelerin önceden tespit edilmesine olanak sağlaması,
5. Gerçek-zaman görüntüsüne izin veren durum bilgisi içermesi ve istenilen zamanda sistemin ne durumda olduğunun öğrenilebilmesine olanak sağlamasıdır.

PA günümüzde ayrıık olaylı sistemlerin tasarımı için matematiksel ve grafiksel özelliklere sahip güçlü bir araç olarak görölmektedir. Çalışmada, benzetim yazılımı olarak da PIPE2 (Platform Independent Petri Net Editor) yazılımı tercih edilmiştir.

PA ile modellemedeki asıl amaç gerçek hayatta karşımıza çıkan sistemlerin koşul-olay mantığında çalışmasıdır. Ağlar, koşullar ve bu koşullara bağlı olarak gerçekleşen olaylardan oluşur. PA canlılık ve güvenilirlik özelliklerine sahip olması nedeniyle, güç sistemlerinde koruma protokollerini doğrulamada sıklıkla kullanılmaktadır. PA'daki durum elemanı sistemdeki koşulları karşılarken, geçiş elemanı ise koşulun sağlanması durumunda ortaya çıkan olaya karşılık gelir. Benzetim yöntemiyle, güç sistemlerinin güvenilirliğinin değerlendirilmesine yönelik

PA açısından modelleme çalışmaları yapılabilmektedir. PA, temel güvenilirlik fonksiyonlarının dağılımının açıklanmasına (sistemin güvenilirlik veya güvenilmezlik katsayılarının tespiti), güvenilirlik katsayılarının ortalama değerlerinin belirlenmesine (arıza veya yenileme yoğunluğu) izin vermektedir.

Çalışmamızda ateşlenmesi yapılan durumlar otonom olarak düşünülmekte olup, her durum kendi içerisinde jeton bulundurmakta ve jetonlar arasında aktarım yapılabilmektedir. Tekli arızaların olduğu güç sistemlerinde, her durum arasında tek bir jeton aktarımı olmaktadır. Bu durum güç sistemlerindeki tekli ve çoklu arıza tipleri için arızalı elemanın tespit edilme olasılıklarında karşılaştırma imkânı sağlamaktadır. Diğer taraftan sistemin BPA modeli ile matematiksel ve grafiksel model çıkartılmış olduğundan farklı parametre değerleri (arıza ihtimallerine göre jeton ağırlıkları) ile sistemde yeniden benzetim yapılarak koruma elemanlarının güvenilirlik değerleri elde edilebilmektedir.

Güç sisteminin modellenmesi sırasında, sistem alt bölümlere ayrılarak her bölümün ayrıntıları ile modellenmesi yapılmıştır. Her bölümün kendine has özellikleri korunarak modellemeler birleştirilmiş böylece ana koruma sistemlerinin PA modeli elde edilmiştir. Her bir model sonucunda sistemin ulaşılabilirlik ağaçları elde edilmiştir. Program yardımıyla ortalama jeton sayısı ve jetonların bulunma sıklıkları tespit edilmiştir.

6.2. Çalışmanın Getirdiği Katkılar

1. Ana koruma röleleri ve kesicilerin çalışma şartları tanımlanarak, koruma elemanlarının doğruluk derecesi değerleri hesaplanabilmektedir.
2. PA'daki doğruluk ağırlıkları BPA kullanılarak elde edilebilmektedir. BPA kullanılması sonucunda arıza tespit bölgesinin tahminine ait doğruluk derecesi değerleri arttırılmaktadır.
3. Güç sistemlerinde çeşitli sebeplerle ortaya çıkan ve istenmeyen çoklu arıza tiplerinde doğru çalışan koruma elemanları tespit edilebilmekte ve doğruluk oranları belirlenebilmektedir.

4. Güç sisteminde arızalı olan elemanların ihtimal değerleri doğru bir şekilde tahmin edilebilmekte ve sistem yenilemesi sırasında öncelikli olarak nereden başlanması gerektiği tespit edilebilmektedir.
5. BPA yapısının gereği olarak paralel işlem yapması nedeniyle, çok hızlı ve doğru değerler elde edilmektedir. Bu nedenle çok daha büyük ve karmaşık güç sistemlerinde rahatlıkla uygulanabilir.
6. Güç sistemlerindeki arızalı bölgenin tespit edilmesi, TM'lerinde çalışan operatörün arızaya müdahalesini hızlandırmakta, arızalı bölgenin sistemden hızla izole edilmesine neden olmaktadır.

6.3. Öneriler

Klasik PA yöntemi yapılan modelleme ve analizlerde sistem karmaşıklığı arttıkça sistemin içerdiği durum sayısı artmakta ve sonuç olarak da ulaşılabilirlik grafiği genişlemektedir. Durum uzayı patlaması olarak adlandırılan bu durum nedeniyle PA ile yapılan modelleme ve analizlerde çoğunlukla yazılım desteğine ihtiyaç duyulmaktadır. Oysaki bu yazılımlar sayısal değerler olarak matrissel sonuç vermekte ve kararlı durum olasılıklarının parametrik ifadesini hesaplayamamaktadır. Zorluk teşkil eden bu durum ancak genel modelleme yaklaşımlarından biri olan sistemin daha küçük anlamlı parçalara bölünmesi ve her parçanın kendi içinde modellendikten sonra birleştirilmesi ve parçalı olarak analiz edilmesiyle aşılabılır.

Birden fazla güç sisteminin modellenebildiği ve klasik PA'nın bir uzantısı olan renkli PA 'nın stokastik uzantıları incelenerek, renkli PA yöntemi ile güç sistemlerinin modellenebilmesi önemli bir çalışma konusu olarak düşünülebilir. Ayrıca, her ne kadar kullanılan bu yöntem bulanık doğası gereği esneklik sağlasa da bulanık parametrelere dayanan daha detaylı bir duyarlılık analizi üzerinde de çalışmak mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

AMMAR, H.H., and YU, L., Fuzzy marking Petri nets: concepts and definition, Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Monterey, CA, USA, Aug 27-29. 1995.

ALLEN, K., YUNG, L., Inheritance and Polymorphism in Real Time Monitoring and Control Systems, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. II, pp.285, 2000.

ALPERÖZ, N., Elektrik Enerji Dağıtımı, Nesil Matbaacılık Yayıncılık Tic.A.Ş., İstanbul, 337, 1987.

AYDOĞDU, N., İletim Hatlarında Arıza Modelleme ve Sayısal Rölelerde Koruma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 31-50, 2003.

BOBBIO, A., System Modelling with Petri Nets, Systems Reliability Assessment, pp. 103-143, Eds. Colombo, A.G. and Saiz de Bustamante, A., Kluwer Academic P.G., 1990.

BOUYER, P., HADDAD, S., and REYNIER, P. A., Timed Petri nets and timed automata: on the discriminating power of zeno sequences. Information and Computation, 206, 73–107, 2008.

BOWDEN, F. D. J., A brief survey and synthesis of the roles of time in Petri nets. Mathematical and Computer Modeling, 31, 55-68, 2000.

BUCKLEY, J.J., Simulating Fuzzy Systems. Springer Berlin Heidelberg New York, Vol. 171, Germany, 2005

BULANCH, S., BRAUCHLE, A., PFLEIDERER, H.J., KUCERAVSKY, Z., Design and Implementation of Discrete Event Control Systems; A Petri Net Based Hardware Approach, Discrete Event Dynamic Systems Theory and Applications, 12(3), pp. 287-309, 2002.

CHANG, N., KWON, W.H., PARK, J., Hardware Implementation of Real-Time Petri Net Based Continuous, Cont. Eng. Practice, 6(7), pp. 889-895, 1998.

CHIN, H.C., Fault Section Diagnosis of Power System Using Fuzzy Logic, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No.1, pp.245-250, 2003.

CARDOSO, J., and CAMARGO, H., Fuzziness in Petri Nets. Physica-Verlag, Germany, 2000.

CASSANDRAS, G.C.; LAFORTUNE, S., 'Introduction to Discrete Event Systems', Kluwer Academic Publishers, MA, 1999.

CASSEZ, F., and ROUX, O.H., Structural translation from time Petri nets to timed automata. The Journal of Systems and Software, 79, 1456–1468, 2006.

CHEN, S. J. and HWANG, C. L., Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag, Germany, 1992.

ÇALIŞKAN, K., Trafo Merkezlerinde Koruma ve Kumanda Devrelerinde Kullanılan Semboller ve Tip Şemalar, TEK Yayınları, 1990.

ÇALIŞKAN, K., PAK, H., YILDIR, K., KÖK, F., Orta Gerilim Elektrik Tesislerinde Koruma ve Kontrol, TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Eğitim Dairesi Başkanlığı, 311, 1990.

DIAZ, M., and SENAC, P., Time stream Petri nets-a model for timed multimedia information. Lecture Notes in Computer Science, 815, 219-238, 1994.

DICESARE, F., HARHALAKIS, G., PROTH, J.M., SILVA, M., and VERNADAT, F.B., Practice of Petri Nets in Manufacturing. Chapman & Hall, Great Britain, 1993.

DICESARE F., and JENG, M. D., Synthesis for Manufacturing Systems Integration, Practice of Petri Nets in Manufacturing Systems, pp. 103-146, Eds. DiCesare, F., Harhalakis, G., Proth, J. M., Silva, M., and Vernadat, F. B., Chapman & Hall, Great Britain, 1993.

DING, Z., BUNKE, H., SCHNEIDER, M., and KANDEL, A., Fuzzy timed Petri net definitions, properties, and applications. Mathematical and Computer Modelling, 41, 345-360, 2005.

ERNESTO V. M., OSCAR, L., CHACON, M., HECTOR, J., ALTUVE, F., An On Line Expert System For Fault Section Diagnosis in Power System, IEEE Trans. Power Systems, Vol.12, No.1, pp. 357-362, 1997.

FUKUI, C., KAWAKAMI, J., An Expert System for Fault Section Estimation Using Information From Protective Relays and Circuit Breakers, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 1, No.4. pp. 83-90, 1986.

FREY, G., Assembly Line Sequencing Based on Petri Net t-Invariants, Control Engineering Practice, Vol.8, pp.63-69, 2000.

HAAS, P.J., Stochastic Petri Nets: Modelling, Stability, Simulation. Springer-Verlag, USA, 2002.

HAAS, P.J., Stochastic Petri nets for modeling and simulation. Proceedings of the 2004 Winter, 2004.

HILLION, H.P.; J.M. PROTH; X.L.; 'Performance Evaluation of Job-Shop Systems Using Timed Event-Graphs', IEEE Transaction on Automatic Control, Vol.34, 1989, pp.3-9

HU, L., WU, R., and SHAO, S., Analysis of dynamical systems whose inputs are fuzzy stochastic processes, *Fuzzy Sets and Systems*, 129, 111-118, 2002.

JAMES, A.N., *Electric Power System Applications of Optimization*, Marcel Dekker Publisher, New York, USA, pp.65-90, 2001.

JIANG, C.J., *Petri Net Theory and its Applications*, Beijing: Higher Education Press, 2003.

KAUFMANN, A. and GUPTA, M. M., *Introduction to Fuzzy Arithmetic*, Van Nostrand, New York, 1985.

KÖRPEOĞLU, B.B., and YAZICI, A., A fuzzy Petri net model for intelligent databases. *Data & Knowledge Engineering*, 62, 219–247, 2007.

LEE, H.J., PARK, D.Y., AHN, B.S., PARK, Y.M., PARK, J.K., VENKATA, S.S., A Fuzzy Expert System For The Integrated Fault Diagnosis, *IEEE Trans. Power Delivery*, Vol.15, No.2, pp. 833-838, 2000.

LEFEBVRE, D., Estimation of the firing frequencies in discrete and continuous Petri nets models. *International Journal of Systems Science*, Vol. 32, no. 11, 1321-1332, 2001.

LEONDES, C.T., *Computer-Aided Design, Engineering, & Manufacturing: Systems Techniques & Applications*, Vol. V, The Design of Manufacturing Systems. CRC Press LLC, Boca Raton, 2001.

LO, K.L., NG, H.S., GRANT, D.M., TRECAT, J., Extended Petri Net Models For Fault Diagnosis For Substation Automation, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 146(3), pp.229-234, 1999.

MARSAN, M.A, BALBO, G., CONTE, G., DONATELLI, S., and FRANCESCHI, G., 1995. *Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets*. Wiley, Chichester.

MERLİN, P. M., A study of the recoverability of computing systems. PhD thesis, University of California, Irvine, CA, 1974.

MARSAN, M.A., and CHIOLA, G., On Petri nets with deterministic and exponentially distributed firing times, in Advances in Petri Nets 1987, Lecture Notes in Computer Science, vol. 266, 132-145, Eds. G. Rozenberg, Springer, Berlin, 1987.

MOLLOY, M.K., Performance analysis using stochastic Petri nets. IEEE Transactions on Computers, Vol. C-31, no. 9, 913-917, 1982.

MOORE, K.E., GÜNGÖR, A., GUPTA, S.M., Petri Net Approach to disassembly Process Planning for Products with Complex AND/OR Precedence Relationships, European Journal of Operational Research, Vol.135, pp.428-449, 2001.

MURATA, T., Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, Proceedings of IEEE, Vol.77, No.4, pp.541-580, 1989.

MUSCHOLL, A., Petri Nets, (tutorial, J. Esparza), Retrieved March 12, 2010, from <http://www.labri.fr/perso/anca/>

NARENDRA, K.G., SOOD, V.K., KHORASANI, K., PATEL, R., Application of a Radial Bass Function (RBF) Neural Network for Fault Diagnosis in a HVDC System, IEEE Trans. Power System, Vol.13, No.1, pp. 399-414, 2000.

PAMUK, N., Sakarya İli Sapanca İlçesinin Adapazarı ve Kırkpınar Trafo Merkezlerinden Beslenmesi Durumundaki Kısa Devre Güçlerinin Karşılaştırılması ve Uygun Koruma Elemanlarının Belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(1), 48-61, 2011.

PAMUK, N., Sakarya İli Elektrik İletim Şebekesinin Matlab / Simulink Programı Kullanılarak Modellenmesi ve Analiz Edilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(1), 19-39, 2011.

PAMUK, N., Kuzeybatı Anadolu İletim Sistemindeki Üretim ve Yük Değişimlerinin Sistem Kararlılığına Olan Etkileri, Elektrik-Elektornik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2010, 67-71, 2010.

PAMUK, N., Elektrik İletim Sisteminin Güç Kalitesi ve Harmonikler Yönünden İncelenmesi, Anadolu Enerji Sempozyumu, 573-584, 2011.

PAMUK, N., Elektrik İletim Sistemindeki Güç Kalitesi Olaylarının Gerçek Zamanda İzlenmesi ve Analiz Edilmesi, Anadolu Enerji Sempozyumu, 642-652, 2011.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., Comparison the 154 and 380 kV Transmission System Network of Northwest Anatolia by Making Power Flow Emulaiton with Constraint Analysis in Turkey, Scientific Research and Essays, Vol. 6(2), pp.469-478, 2011.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., Modeling of Fault Diagnosis in Power Systems Using Petri Nets, Elektronika le Elektrotechnika, No.2(118),pp.63-66, 2012.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., The Determination of Fault Sections on Energy Transmission Lines Using Fuzzy Petri Nets, 6th International Ege Energy Syposium and Exhibition, 2012.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., Fault Section Estimation of Electric Energy Systems Using Petri Nets, 6th International Ege Energy Syposium and Exhibition, 2012.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., The Fault Diagnosis for Power System Using Fuzzy Petri Nets, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), No. 7a, pp.99-102, 2012.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., The Expert System for Power Transformer Fault Diagnosis Using Advanced Generalized Stochastic Petri Net, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), No.8, 2012.

PAMUK, N., UYAROĞLU, Y., The Analysis of Electrical and Mechanical Faults in Power Transformers by Fuzzy Expert Systems, Scientific Research and Essays, Vol. 5(24), pp. 4018-4027, 2010.

PETRÎ, C.A., Kommunikation mit Automaten. Bonn: Institut für Instrumentelle Mathematik, Schriften des IIM Nr. 3, 1962, English translation: Communication with Automata, New York: Griffiss Air Force Base, Tech. Rep., RADC-TR-65-377, Vol. 1, Suppl. 1, 1966.

PETRÎ, C.A., Communication with Automata (in German), New York: Griffiss Air Force Base, Tech. Rep., RADC-TR-65-377, Supp 1, 1966.

PROTH, J.M., XIAOLAN X., Petri Nets: A Tool for Design and Management of Manufacturing Systems, John Wiley and Sons Pres, England 1996

PLATFORM INDEPENDENT PETRÎ NET EDITOR 2, 2012,
<http://pipe2.sourceforge.net/others>

RAMCHANDANI, C., Analysis of asynchronous concurrent systems by timed Petri nets, PhD thesis, MIT, Cambridge, MA, 1974.

ROSS, T. J., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, USA.

SİFAKİS, J., Use of Petri nets for performance evaluation, in Measuring, Modelling and Evaluating Computer Systems, pp. 75-93, Eds. H. Beilner and E. Gelenbe, North Holland, 1977.

SIEMENS, 7SS522 Busbar Protection Relay Catalogue, Germany, 2005.

SRİNIVASAN, P., and GRACANİN, D., Approximate reasoning with fuzzy Petri nets. The second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 396-401, San Francisco, California, USA, 1993.

SUN, J., QIN, S.Y., SONG, Y.H., Fault Diagnosis of Electric Power Systems Based on Artificial Neural Networks, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No.4, pp. 2053-2058, 2004.

SUN, Y., JIANG, H., WANG, D., Fault Synthetic Recognition For An EHV Transmission Line Using A Group of Neural Network with A Time –Space Property, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol.145, No.3, pp.265-270.1998.

ŞEN, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.

TENG, Z.H.J. ZHANG., APetri Net Based Decomposition Approach in Modelling of Manufacturing Systems', International Journal of Production Research, Vol.31, , pp.1423-1439, 1993.

TSOUKALAS, L.H., UHRIG, R.E., Power Systems Protection, Edited by The Electricity Training Association, Wiley-Interscience Publication, 1997.

TUNÇEL, Gonca; 'Modelling, Behavioral Analysis and Performance Evaluation of an Automotive Assembly Plant by Using Petri Nets, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.

UZAM, M., Petri Net Based Supervisory Control of Discrete Event Systems and Their Ladder Logic Diagram Implementations, PhD Thesis, University of Salford, Salford, UK, 1998.

UZAM, M., Jones, A.H., Discrete Event Control Systems Design Using Automation Petri Nets and Their Ladder Logic Diagram Implementations, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14(10), pp.716-728, 1998.

WEN, F.S., CHANG, C.S., TIAN, L., A Modified Abductive Inference Model For Fault Section Estimation in Power Systems Using The Tabu Search Approach, Electric Machines and Power Systems, Vol.28, pp. 399-414, 2000.

YANG, C.F., BÌ, T.S., HUANG, S.F., YANG, Q.X., Fault Diagnosis in Power Systems Using Petri Net Aproach, Power System Conf. of Chinese Universities, pp. 1412-1415, 2004.

ZADEH, L.A., Fuzzy sets, Information Control, 8, 338 –353, 1965.

ZADEH, L. A., A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges, Journal of Sybernetics, 2 (3), 4-34, 1972.

ZHOU, M., and DICESARE, F., Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems. Kluwer Academic, Norwell, MA, 1993.

ZHOU, M.C, and VENKATESH, K., Modeling, Simulation and Control of Flexible Manufacturing Systems: A Petri Net Approach. World Scientific, Singapore, 1999.

ZHOU, Y., MURATA, T., DEFANTI, T., and ZHANG, H., Fuzzy-timing Petri net modeling and simulation of a networked virtual environment: NICE, Trans. on Fundemantels in Electronics, Communications and Computers, Vol. E83-A, no. 11, 2166-2176, 2000.

ZIMMERMANN, H. J., Fuzzy Set, Decision Making and Expert Systems, Kluwer, Boston, 1987.

ZUBEREK, W.M., and KUBIAK, W., Timed Petri net models of flexible manufacturing cells. Proceedings of the 36th Midwest Symposium on Volume, Detroit, Michigan, USA, August 16-18, 1993.

ZURAWSKI R., and ZHOU M.C., Petri nets and industrial applications: a tutorial, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, no. 6, 567-583, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Nihat PAMUK, 25.04.1982 yılında Malatya 'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2000-2005 yılları arasında Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2006 yılında askerlik görevini tamamladı. 2007 yılında Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.'de İşletme ve Bakım Mühendisi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin sorumluluğunda bulunan Kocaeli, Sakarya, Bolu ve Düzce illerindeki bakım onarım projelerinin kontrolünde aktif rol aldı. 2007 yılında Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 5.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü bünyesinde İşletme ve Bakım Mühendisi olarak görev yapmaya başladı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans çalışmalarına başlayarak 2009 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. 2011 yılında Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 5.İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğünde İşletme ve Bakım Grup Baş Mühendisi olarak, 2012 yılında ise Test Mühendisi olarak görev yapmaya başladı. Halen aynı göreve devam etmektedir.