

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARINDA OLUŞAN ARIZALARIN
BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Rıda TÜR
(08126103)

Anabilim Dalı: Elektrik Eğitimi
Programı: Enerji Tesisleri

HAZİRAN-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARINDA OLUŞAN ARIZALARIN
BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Rıda TÜR
(08126103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 09 Haziran 2010

Tez Danışmanı: **Yrd. Doç. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ (F.Ü)**

Diğer Jüri Üyeleri: **Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU (F.Ü)**

Doç. Dr. Selçuk YILDIRIM (F.Ü)

HAZİRAN - 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Enerji iletim hatlarında arıza sırasında faz akımlarının açısıl farklılıkları, arıza direnci ve arızalı akımın fazör bileşenleri kullanılarak, iletim hatlarında oluşan arızaların tipleri Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Tez çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyen ve beni yönlendiren çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ 'a teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli hocalarım Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU ve Doç. Dr. Selçuk YILDIRIM 'a da teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışma boyunca bana manevi destekte bulunan özellikle Rahmetli Babama ve diğer aile bireylerine sevgi ve saygılarımı sunarım. Bana Tez çalışması boyunca moral kaynağı olan biricik kızım Hüsna 'yı da sevgi ile kucaklıyorum.

Mehmet Rıda TÜR

ELAZIĞ - 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	V1
ŞEKİLLER LİSTESİ	V11
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrik Enerjisi	1
1.2. Elektrik Enerjisinin Önemi	2
2. ENERJİ İLETİM HATLARI	3
2.1. Kısa İletim Hatları	3
2.2. Orta İletim Hatları	5
2.3. Uzun İletim Hatları	6
3. ENERJİ İLETİM HATLARINDA KISA DEVRE	10
3.1. Kısa Devre Akımları	10
3.2. Enerji İletim Sistemlerinde Tek Hat Diyagramı	14
3.2.1. Empedans ve Reaktans Diyagramları	15
3.3. Simetrik Bileşenler Yöntemi	17
3.3.1. Simetrik Bileşenlerde “a” Operatörü	19
3.3.2. Simetrik Bileşenlerde Gerilimler	20
3.3.3. Simetrik Bileşenlerde Akımlar	21
3.4. Kısa Devre Hesapları	22
3.4.1. Faz-Toprak Kısa Devresi	23
3.4.2. Faz-Faz Kısa Devresi	26
3.4.3. İki Faz-Toprak Kısa Devresi	29
3.4.4. Üç Faz Kısa Devresi	32
4. BULANIK MANTIK	35
4.1. Bulanık Kümeler	38
4.2. Üyelik Fonksiyonu Biçimleri	38
4.3. Üyelik Fonksiyonu Seçiminde Kullanılan Metotlar	39
4.4. Bulanık Mantık Denetleyiciler	39
4.4.1. Bulanıklaştırma Ünitesi	41
4.4.2. Bilgi Tabanı, Veri tabanı ve Kural Tabanı	42
4.4.3. Çıkarım Motoru	44
4.4.4. Durulaştırma Bölümü	47
4.5. Bulanık Mantık Denetleyici Uygulaması	47
5. ENERJİ İLETİM HATLARINDA ARIZA TİPİNİN BULANIK MANTIK İLE TESPİTİ.....	62
5.1. Güç Sistemi Modeli	52
5.2. Bulanık Mantığa Dayalı Arıza Sınıflandırması	53
5.3. Bulanık Mantık Sisteminin Girdi Değişkenlerinin Gösterimi	54
5.4. Bulanık Mantık Sisteminin Üyelik Fonksiyonlarının Gösterimi	55
5.5. Bulanık Kural Tabanının Gösterimi	58
5.6. Test Sonuçları ve Karşılaştırmalar	60
5.6.1. Test Sonuçları ve Karşılaştırmaların Matlab Ortamında İncelenmesi	66
5.6.2. Test Sonuçları ve Karşılaştırmaların Matlab Bulanık Mantık ile Kontrolü	67

6.	SONUÇLAR.....	73
7.	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ	79

ÖZET

Güç sistemlerinde görülen en önemli sorunlardan biri arızalardır. Bu arızaların başında, enerji iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızaları gelmektedir. Enerji iletim hattının herhangi bir noktasında meydana gelen bir kısa devre arızası, elektrik güç sistemindeki elemanlara zarar verebilecek durumlar oluşturabilir. Ortaya çıkan bu arızaların meydana getirdiği hasarı asgari düzeye indirebilmek için, öncelikle meydana gelen kısa devre arızasının tipini en kısa sürede tespit etmek gerekmektedir. Bu çalışmada, arıza tipinin belirlenmesi için, bir insan gibi düşünüp karar verebilen Bulanık Mantık tabanlı bir akıllı sistem kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında enerji iletim hatlarında ortaya çıkan başlıca arıza tipleri olan; Tek Faz-Toprak kısa devre arızası, İki Faz-Toprak kısa devre arızası, Faz-Faz kısa devre arızası ve Üç Faz kısa devre arızası olmak üzere dört temel arıza durumu, arıza öncesi ve arıza sonrası akım bileşenleri gibi temel veriler göz önüne alınarak incelenmiştir.

Meydana gelen arızadan önceki ve arıza durumundaki akım değerleri kullanılarak Bulanık Mantık için girdiler oluşturulmuş, uzman kişilerin ve modellenmiş sistemlerin deneyimlerinden yararlanarak kural tablosu çıkarılıp Mamdani tipi bulanık mantık sistemi kullanılarak çıktılar elde edilmiştir. Elde edilen çıktılar sınıflandırılarak, arızanın türü belirlenmiştir.

Bulanık mantık sistemi Matlab/Simulink kullanılarak oluşturulmuş ve arıza durumları için örnek hesaplardan yararlanarak modelden uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji İletim Hatları, Kısa Devre Arızası, Bulanık Mantık.

SUMMARY

The Determination of Faults on Transmission Lines by Using Fuzzy Logic Method

One of the most important problems in power systems is faults. In the first of the faults, the short-circuit faults on transmission lines take the lead. A short-circuit fault occurs on any part of the transmission line, some damaged situations can be occur for elements of the power system. Decreasing the level of damage occurred by these faults, the determination of fault type is needed in very short period of time. In this work, a fuzzy-based intelligent system that thinks and decides like a human has been used for determining of the fault type.

In this thesis, main fault types occur on transmissionlines: single phase to ground fault, two phase to ground fault, phase to phase fault and three phase fault have been investigated by regarding prefault and fault current components.

The inputs of fuzzy logic have been consisted by using prefault and fault currents and the outputs have been obtained by a rule table using Mamdani type fuzzy system taking account of experiences of the experts and modeled systems. Type of the fault has been determined by classifying acquired outputs.

Matlab/Simulik has been used to consist of the fuzzy logic system and suitable results have been obtained using sample calculations for fault conditions.

Key Words: Energy Transmission Lines, Short-Circuit Fault, Fuzzy Logic.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kısa iletim hattı modeli.....	3
Şekil 2.2. İletim hattının iki uçlu gösterimi	4
Şekil 2.3. Orta uzunluktaki hat için nominal π modeli	5
Şekil 2.4. Dağıtılmış parametrelili uzun hat	7
Şekil 2.5. Uzun hatlar için eşdeğer π modeli.....	9
Şekil 3.1. Generatöre yakın üç fazlı bir kısa devre arızası	11
Şekil 3.2. Endüktif gerilimin sıfırdan geçtiği anda şebekede meydana gelen kısa devre akımı	12
Şekil 3.3. Kısa devre olayı esnasında diğer iki faz iletkenine ait akım ve gerilim değerleri... 13	
Şekil 3.4. Generatöre uzak bir noktada meydana gelen kısa devre akımının değişimi.....	14
Şekil 3.5. Bir güç sisteminin tek hat diyagramı	15
Şekil 3.6. Güç sistemini meydana getiren elemanların eşdeğer devreleri ve sembolleri	16
Şekil 3.7. Tek hat diyagramı verilen sistemin empedans diyagramı.....	16
Şekil 3.8. Sistemin reaktans diyagramı.....	17
Şekil 3.9. Bir sistemin a) Doğru b) Ters c) Sıfır bileşen fazörleri d) Fazörlerin toplamı.....	18
Şekil 3.10. “a” operatörünün değişik kuvvetler için fazör diyagramı gösterilmiştir.....	19
Şekil 3.11. Faz- Toprak arızasının genel gösterimi.....	24
Şekil 3.12. Faz- Toprak kısa devre arızasında doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri.....	24
Şekil 3.13. Faz-faz kısa devre arızasının genel gösterimi	26
Şekil 3.14. Faz-faz kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri.....	27
Şekil 3.15. İki – faz toprak kısa devre arızasının genel gösterimi	29
Şekil 3.16. İki –faz toprak kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	29
Şekil 3.17. Üç faz simetrik kısa devre arızasının genel gösterimi	32
Şekil 3.18. Üç faz simetrik kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri	32
Şekil 4.1. Çan eğrisi, yamuk, üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları	37
Şekil 4.2. Yedi etiketli üyelik fonksiyonu örneği.....	37
Şekil 4.3. Bulanık Mantık denetleyicinin blok diyagramı.....	41
Şekil 4.4. Giriş değerlerinin Bulanık forma dönüştürülmesi	42
Şekil 4.5. Kural tabanı gösterimi.....	44
Şekil 4.6. Minimum ilişki yöntemi ile kuralların değerlendirilmesi	46

Şekil 4.7. Merkez yöntemi ile Durulaştırma işlemi.....	47
Şekil 4.8. Örnek Bulanık Mantık diyagramının genel yapısı.....	48
Şekil 4.9. Örnek Bulanık Mantık Tasarımında Çıkışın elde edilişi	49
Şekil 5.1. Güç sistemi modeli	52
Şekil 5.2. Bulanık Mantığa dayalı arıza sınıflandırma sistemi	53
Şekil 5.3. aç ₁ _A, _B, _C için tanımlanan Bulanık değişkenleri ve üyelik fonksiyonları.....	56
Şekil 5.4. (a) R _{0f} ve (b) R _{2f} için Bulanık değişkenleri üyelik fonksiyonları.....	56
Şekil 5.5. delta_A, delta_B ve delta_C için Bulanık değişkenleri üyelik fonksiyonları.....	56
Şekil 5.6. Bulanık çıktı değişkenlerinin gösterilmiş arıza tiplerinin sayısal aralığı.....	57
Şekil 5.7: Arıza tipini tespit eden Bulanık Mantık sisteminin işleyiş şeması.....	62
Şekil 5.8. A-B-C faz açıları için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları.....	63
Şekil 5.9. Arıza dirençleri için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları	64
Şekil 5.10. Üç faz açısının değişimi için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları	64
Şekil 5.11. Ağırlık merkezi yöntemi ile çıkışın elde edilmesi.....	65
Şekil 5.12. Matlab ile hazırlanmış benzetim devresi.....	66
Şekil 5.13. Matlab ile hazırlanmış Bulanık Mantık editörü.....	67
Şekil 5.14. Matlab ortamında hazırlanmış Bulanık Mantık sistemi için kural editörü	68
Şekil 5.15. Matlab ile hazırlanmış Bulanık Mantık sistemi için kuralların sonuçları.....	68
Şekil 5.16. Güç sisteminin tek hat diyagramı	69
Şekil 5.17. Sistemin Doğru dizi bileşen devresi	69
Şekil 5.18. Sistemin doğru dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi.....	69
Şekil 5.19. Sistemin ters dizi bileşen devresi.....	70
Şekil 5.20. Sistemin ters dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi.....	70
Şekil 5.21. Sistemin sıfır dizi bileşen devresi	70
Şekil 5.22. Sistemin sıfır dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi	70

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Bulanık Mantığın genel özellikleri	36
Tablo 5.1. Güç Sisteminin parametrelerinin gösterimi	53
Tablo 5.2. Arıza çeşitleri ve farklı girdi değerleri arasındaki bağıntı	54
Tablo 5.3. Arıza çeşitleri ve tasarlanan girdi değerleri arasındaki bağıntı	55
Tablo 5.4. Arıza Tipi Kodları.....	58
Tablo 5.5. Bulanık Kural Tablosu	60
Tablo 5.6. Bulanık Mantığa dayalı önerilen arıza sınıflandırma değerleri.....	61

SEMBOLLER LİSTESİ

a	:Her hangi bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120° döndüren operatör
F	:Frekans [Hertz. Hz]
f	:Faz açısı [Derece]
I	:Akım şiddeti [A]
I_S	:Hat başındaki faz akımı [A]
I_R	:Hat sonundaki faz akımı [A]
I_{a1f}	:Arıza öncesi akımlar [A]
I_{1,2,0}	:Kısa devre akımının doğru, ters ve sıfır bileşenleri [A]
I_k	:Sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k1}	:Faz-toprak arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k2}	:İki faz iletkeni arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k2t}	:İki faz-toprak arasında meydana gelen sürekli kısa devre akımı [A]
I_{k3}	:Üç fazlı kısa devre arızasında sürekli kısa devre akımı [A]
ℓ	:Uzunluk [m]
L	:Faz başına indüktans [H]
Pu	:Per-unit (birim değer)
P	:Aktif güç [W]
r	:İletkenin yarı çapı [mm]
R	:Hattın bir iletkeninin toplam direnci [ohm]
R_{0f}	:Arıza direnci [ohm]
S	:Görünen güç [VA]
U	:Fazlar arası gerilim, AC [V]
V	:Faz-nötr gerilimi, AC [V]
V_R	:Hat sonundaki faz gerilimi [V]
V_S	:Hat başındaki faz gerilimi [V]
V_{1,2,0}	:Gerilimin doğru, ters ve sıfır bileşenleri [V]
ω	:Açısal frekans [$2 \cdot \pi \cdot f$, 1/s]
x	:Hattın bir iletkeninin km başına reaktansı [ohm/km.faz]
X_{1,2,0}	:Faz başına doğru, ters ve sıfır bileşen reaktans [ohm]
X	:Hattın bir iletkeninin toplam reaktansı [$X=x \cdot L$, ohm]
Z_{1,2,0}	:Empedansın doğru, ters ve sıfır bileşenleri [ohm]
Z	:Hattın bir iletkeninin empedansı [ohm/faz]
t	:Zaman [sn]
δ	:Yük açısı

1. GİRİŞ

1.1. Elektrik Enerjisi

Elektrik enerjisi, kullanım alanlarıyla bireysel ve kurumsal hayatın en önemli ihtiyaçları arasındadır. Elektrik enerjisi hem tüketiciler, hem de güç sistemini oluşturan üretim, iletim ve dağıtım birimleri açısından özellikle ekonomik rekabetin çok büyük önem arz ettiği günümüz koşullarında, elektrik enerjisindeki kısa süreli bir kesinti bile pek çok sorunu de beraberinde getirecektir. Bu nedenle güç sisteminin temel yapı taşı olarak enerji iletim hatları göz önüne alındığında, güç sistemlerinde meydana gelen bir arızayı en kısa sürede gidermek gerekmektedir.

Elektrik enerjisi güç sistemlerinde üretim, dağıtım ve tüketim esnasında ortaya çıkan arızanın kısa bir sürede giderilebilmesi ve enerji iletim hattının tekrar devreye alınıp sistemin normal çalışma koşullarına dönebilmesi için özellikle arıza tipinin en kısa sürede belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda arıza esnasında arızaya müdahale edecek olan ekibin en kısa sürede enerji iletim hattının arızalı kısmına müdahalesi sağlanarak onarım için arızanın tipine göre müdahalesi yapıp onarım süresi en asgari düzeyde tutulur, oluşan enerji kesintisi süresi ve kesinti nedeniyle ortaya çıkan maddi kayıplar en düşük seviyede tutulmuş olur. Tüm bunların yanında güç sistemlerine bir bütün olarak bakıldığında enerji iletim hatlarında oluşan arıza sonrasında verilecek kontrol kararlarında da arıza tipinin kısa sürede tespiti büyük önem taşımaktadır. Burada amaç enerji iletim sistemlerinde büyük önem teşkil eden bu durumu Akıllı bir sistemle denetlemek en kısa süre arızanın tipini ve yerini tespit edip zararı en asgari düzeye indirmektir. Arıza sınıflandırılmasından elde edilen bilgi arızanın yeri ve ortaya çıkan arızaya müdahale yapılacağı konusunda gereklidir. Arızanın yeri oluşmuş arızanın röle noktasına uzaklığını, hızlı onarımı kolaylaştırmayı, gücün uygunluğunu ve güvenilirliğini arttırmak için arızalı hattın konumu tespit edilir. Arıza tipi tespiti ve arıza koruma sistemleri özellikle yapay zekâya dayalı sistemler tarafından denetlenir. Bu denetleme de arıza sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlardan faydalanır. Bu nedenle, yüksek güvenlikte olan sistemlerde oluşmuş arızalar hızlı ve tam doğru olan sınıflandırmalar ile tespit edilmelidir. Bu sınıflandırma için arıza yerine dayalı Yapay sinir ağları tekniği önemli bir rol oynar. Ancak İletim hattı korunmasında kullanıldığımız asıl teknik ise Bulanık Mantık yaklaşımıdır.

1.2. Elektrik Enerjisinin Önemi

Elektrik enerjisinin ilk kullanım alanı aydınlatma olarak planlanmıştır ama bugün artık elektrik enerjisi sanayi kuruluşların üretim tesislerinde kullanımından bireylerin günlük gereksinimlerini karşılamasına kadar uzanan çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Vazgeçilmez nitelikli bu enerjinin, en genel anlamda, üretim tesislerinde elde edilip tüketicilere ulaşması hizmeti elektrik güç sistemleri tarafından sağlanmaktadır.

Enerji üretim birimlerinde tüketicilere iletim için oluşturulan bağı, enerji akışının temelini oluşturan ve güç sistemlerinin can damarları enerji iletim hatlarıdır.

Güç sistemleri için büyük önem arz eden bu iletim hatlarında her hangi bir arızanın oluşması halinde iletim sisteminin yapısına bağlı olarak tüketicilere enerji iletiminde aksaklıklar oluşabilir. Arızaya sebep olan faktörlerin, örneğin yıldırım ve rüzgâr gibi olayların rastgele olduğu, dolayısıyla herhangi bir zamanda herhangi bir yerde ve farklı bir tipte arızanın olması muhtemel olduğu göz önünde bulundurulduğunda arızanın giderilmesi çalışmalarında hareket noktasının arıza tipinin belirlenmesi olduğu açıktır. Geçici arıza durumunda çoğunlukla hattın tekrar devreye alınmasını sağlayan otomatik geri kapatma girişimleri, arızanın üretece yakın olması durumunda sistemde kararsızlığa sebep olabilir [1].

Enerji sisteminde yıldırım düşmesi ve açma kapama olayları sebebiyle meydana gelen aşırı gerilimler, üzerinde gerilim bulunan sistem parçalarını elektriksel olarak zorlar. Eğer zorlama gerilim yalıtım seviyesini aşarsa kısa devre meydana gelir. Nem, kir ve benzeri etkiler de sistemde yalıtım seviyesini azaltan ve sonuçta kısa devre olaylarına sebep olan faktörler arasında sayılabilir. Ayrıca mekanik hatalar da kısa devreye sebebiyet verebilirler [2].

Bu tez çalışmasında, öncelikle iletim hatları ve iletim hattında olabilecek arıza durumları incelenmiştir. Daha sonra, iletim hatlarında oluşan arızaların tipinin belirlenmesi için Bulanık Mantık tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanmış Bulanık Mantık ile arıza tipinin tespiti kısa sürede ve doğru bir şekilde sağlanır böylece arızaya müdahale edecek olan ekibin arıza en erken sürede müdahale etmesini sağlanmıştır. Böylece güç sistemlerinde büyük bir öneme sahip olan elektrik enerjisinin iletimi esnasında enerjiye ihtiyaç duyulan yerel bölgeye kısa devre arızalarıyla ortaya çıkan problemlerin en kısa sürede giderilmesi sağlanacaktır. Hem arıza tipini tespit için geçen zaman hem de bu arıza süresince ortaya çıkan maddi kayıplar en asgari düzeyde tutulmuş olur.

2. ENERJİ İLETİM HATLARI

Güç sistemlerinde enerji iletim hatları faz başına uygun devre parametreleri olan eşdeğer bir modelle gösterilir. Uç gerilimleri bir fazla bir nötr arasında, akımlar bir faz için ifade edilir ve böylece üç fazlı sistem eşdeğeri olan bir fazlı sisteme indirgenmiş olur [3].

Enerji iletim hatlarında hattın elektriksel verileri bilindiğinde belirli işletme şartlarında hattın herhangi bir noktasında akım, gerilim, güç ve verim gibi çeşitli büyüklükler hesaplanabilir. Bu büyüklüklerin hesabı için düzenlenen denklemlere hat denklemleri denir. Enerji iletim hatları; kısa iletim hattı modeli, orta iletim hattı modeli ve uzun iletim hattı modeli olmak üzere üç model olarak incelenmektedir. Aynı şekilde bu üç farklı modele göre hat denklemleri yazılır ve hesaplamalar yapılır, ancak hesapların sıhhatli olabilmesi için elektriksel sabitlerin yeterince doğru olarak hesaplanması gerekmektedir [4].

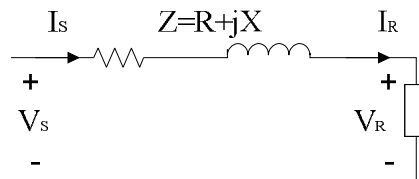
2.1. Kısa İletim Hatları

Enerji iletim hatlarında, kısa iletim hattı modelinin hat uzunluğu 80 km (50 mil) 'den küçük ise veya gerilim 69 kv 'dan fazla değilse çoğunlukla çok fazla hataya sebep olmaksızın hat kapasitesi ihmal edilebilir [3]. Kısa iletim hattı modeli seri empedans Per-unit değerlerini hat uzunluğuyla çarparak elde edilir.

$$Z = (r + j\omega L) \cdot \ell = R + jX \quad (2.1)$$

Burada, r faz başına direnç, L faz başına indüktans, ℓ hat uzunluğudur.

Bir faz için kısa iletim hatları Şekil 2.1 'de gösterilmiştir. Burada, V_S hat başındaki faz gerilimi, I_S hat başındaki faz akımı, V_R hat sonundaki faz gerilimi, I_R hat sonundaki faz akımıdır.



Şekil 2.1. Kısa iletim hattı modeli

İletim hattının sonuna görünür gücü $S_R (3\phi)$ olan üç fazlı bir yük bağlanırsa hat sonu akımı;

$$I_R = \frac{S_R(3\phi)}{3 \cdot V_R} \quad (2.2)$$

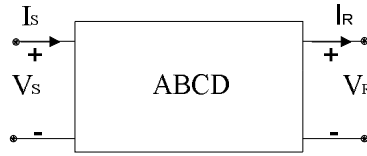
şeklinde elde edilir. Hat başındaki faz gerilimi;

$$V_S = V_R + Z \cdot I_R \quad (2.3)$$

olur. Paralel kapasite ihmal edildiği için hattın iki uç akımları eşittir.

$$I_S = I_R \quad (2.4)$$

İletim hattını Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi iki uçlu bir şebeke olarak göstermek mümkündür [2]. Yukarıdaki eşitliklerde ABCD sabitleri olarak bilinen genelleştirilmiş devre sabitleri cinsinden yazılabilir.



Şekil 2.2. İletim hattının iki uçlu gösterimi

$$V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R \quad (2.5)$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R \quad (2.6)$$

matris formunda;

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

yazılan ABCD sabitlerinin değerleri aşağıda gösterildiği gibidir.

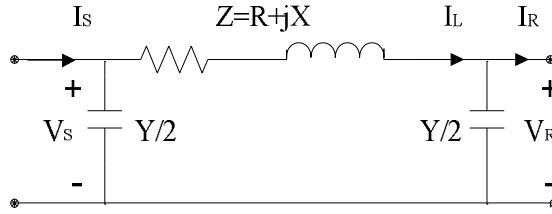
$$A=1, \quad B=Z, \quad C=0, \quad D=1 \quad (2.8)$$

2.2. Orta İletim Hatları

Enerji iletim hatlarında hat uzunluğu arttıkça hattın yükleme akımı önemli hale gelir ve bu nedenle paralel kapasiteler göz önüne alınmalıdır. Hat uzunluğu 80 km 'den uzun ve 250 km 'den kısa olan hatlar orta uzunluktaki iletim hatları diye adlandırılır. Orta uzunluktaki hatlar için paralel kapasitenin yarısı hattının her iki ucunda toplanmış gibi düşünülebilir [2]. Şekil 2.3 'te gösterilen bu modelde nominal π modeli olarak adlandırılır. Burada Z (2.1) 'de verilen hattın toplam seri empedansı ve Y ;

$$Y = (g + j\omega C) \cdot \ell \quad (2.9)$$

Şeklinde verilen hattın toplam paralel admitansdır. Normal şartlarda, izolatörler üzerindeki korona nedeniyle oluşan kaçak akımları temsil eden paralel iletkenlik ihmal edilir ve g sıfır kabul edilir [2]. C kilometre başına faz nötr arasındaki kapasite, ℓ 'de hattın uzunluğudur. Nominal π modeli için hat başındaki gerilim ve akım aşağıdaki gibi elde edilir:



Şekil 2.3. Orta uzunluktaki hat için nominal π modeli

I_L ile gösterilen seri empedans akımı,

$$I_L = I_R + \frac{V}{2} \cdot Y_R \quad (2.10)$$

V_S hat başı gerilimi,

$$V_S = V_R + Z \cdot I_L \quad (2.11)$$

şeklinde hesaplanabilir. I_L Akımın ifadesi (2.11) eşitliğinde yazılırsa;

$$V_S = \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right] \cdot V_R + Z \cdot I_R \quad (2.12)$$

elde edilir. Hat sonundaki akım;

$$I_S = I_L + \frac{Y}{2} \cdot V_S \quad (2.13)$$

ifadesinde I_L ve V_S yerine yazılırsa;

$$I_S = Y \cdot \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right] \cdot V_R + \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right] \cdot I_R \quad (2.14)$$

elde edilir. (2.12) ve (2.13) ifadeleri (2.5) ve (2.6) ile karşılaştırılarak nominal π modeli için ABCD sabitleri aşağıdaki gibi verilir;

$$A = \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right], \quad B = Z \quad (2.15)$$

$$C = Y \cdot \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{4} \right], \quad D = \left[1 + \frac{Z \cdot Y}{2} \right] \quad (2.16)$$

ABCD sabitleri komplekstir ve π modeli simetrik iki uçlu bir şebeke olduğundan $A=D$ 'dir. Ayrıca lineer pasif, iki uçlu bir şebeke ile ilgilenildiği için (2.7) 'de görülen iletim matrislerinin determinantı 1 'dir.

$$A \cdot D - B \cdot C = 1 \quad (2.17)$$

(2.7) ifadesi çözülerek hat sonu büyüklükleri hat başı büyüklükleri cinsinden ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D & -B \\ -C & A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

2.3. Uzun İletim Hatları

Hat parametrelerini toplu kabul ederek kısa ve orta uzunluktaki hatlar için makul doğrulukta modeller elde edilmiştir. 250 km ve daha uzun hatlarda daha doğru çözüm için dağılmış parametre etkisini göz önüne almak gerekir.

Bu bölümde hat üzerindeki herhangi bir noktadaki gerilim ve akım ifadeleri çıkarılmıştır. Daha sonra bu eşitliklerden hareketle uzun hat için bir eşdeğer π modeli elde edilmiştir. Şekil 2.4 'te 1 km uzunluğundaki dağılmış parametrelili bir hattın bir fazı gösterilmiştir. Birim uzunluk başına seri empedans z ile faz başına paralel admitans y ile gösterilmiştir. $z = r + j\omega L$ ve $y = g + j\omega C$ 'dir. Hattın sonundan x kadar uzaklıkta Δx uzunluğundaki küçük bir hat parçasını göz önüne alalım. Bu parçanın her iki ucundaki gerilim ve akımların fazörleri uzaklığın fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Kirchhoff 'un gerilim yasasından;

$$V(x+\Delta x) = V_{(x)} + z\Delta x I_{(x)} \text{ veya}$$

$$\frac{V(x + \Delta x) - V_{(x)}}{\Delta x} = zI_{(x)} \quad (2.19)$$

yazılıp $\Delta x \rightarrow 0$ limiti alınırsa

$$\frac{dV_{(x)}}{dx} = zI_{(x)} \quad (2.20)$$

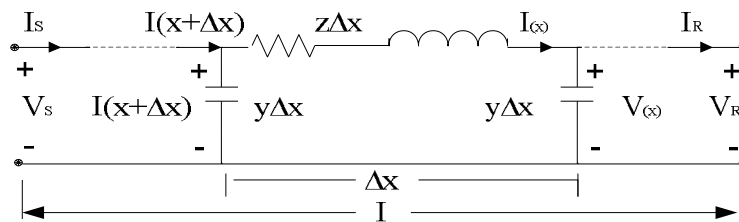
elde edilir. Ayrıca Kirchhoff 'un akım yasasından

$$I(x+\Delta x) = I_{(x)} + y\Delta x V(x + \Delta x) \text{ veya}$$

$$\frac{I(x + \Delta x) - I_{(x)}}{\Delta x} = yV(x + \Delta x) \quad (2.21)$$

yazılıp $\Delta x \rightarrow 0$ limiti alınırsa

$$\frac{dI_{(x)}}{dx} = yV(x) \quad (2.22)$$



Şekil 2.4. Dağıtılmış parametrelili uzun hat

elde edilir. (2.19) ifadesinin türevi alınır ve (2.22) 'de bu ifadede yerine yazılırsa

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z \frac{dI(x)}{dx} = zyV(x) \quad (2.23)$$

elde edilir.

$$\gamma^2 = zy \quad (2.24)$$

şeklinde yazıldığında aşağıdaki ikinci dereceden diferansiyel denklem elde edilir:

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} - \gamma^2 V(x) = 0 \quad (2.25)$$

bu denklemin çözümü

$$V(x) = A_1 \cdot e^{\gamma x} + A_2 \cdot e^{-\gamma x} \quad (2.26)$$

şeklindedir. Burada yayılma sabiti olarak bilinen γ karmaşık bir ifade olup (2.24) ya da

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{zy} = \sqrt{(r + j\omega L)(g + j\omega C)} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. Reel kısım “ α ” zayıflatma sabiti ve sanal kısım “ β ” ise faz sabiti olarak adlandırılır [2]. β Birim uzunluk başına radyan olarak ölçülür. (2.19) 'den akım

$$I(x) = \frac{1}{z} \frac{dV(x)}{dx} = \frac{\gamma}{z} (A_1 e^{\gamma x} - A_2 e^{-\gamma x}) \quad (2.28)$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_c} (A_1 e^{\gamma x} - A_2 e^{-\gamma x}) \quad (2.29)$$

şeklinde elde edilir. Burada karakteristik empedans olarak bilinen Z_c ifadesi

$$Z_c = \sqrt{\frac{Y}{z}} \quad (2.30)$$

şeklinde verilir. $x = 0$ 'da $V(x) = V_R$ ve $I(x) = I_R$ olduğundan (2.26) ve (2.29) ifadeleri yardımıyla A_1 ve A_2 sabitleri

$$A_{1,2} = \frac{V_R + Z_c \cdot I_R}{2} \quad (2.31)$$

bulunur. Uzun bir iletim hattı boyunca akım ve gerilim genel ifadesi, sabitler (2.26) ve (2.29) 'da yerlerine yazılarak elde edilir:

$$V(x) = \frac{V_R + Z_c \cdot I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - Z_c \cdot I_R}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.32)$$

$$I(x) = \frac{\frac{V_R}{Z_c} + I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{\frac{V_R}{Z_c} - I_R}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.33)$$

Çoğunlukla hat başı ve hat sonu arasındaki ilişki ile ilgilenilir [2].

Bu yüzden; $x = l$, $V(l) = V_S$ ve $I(l) = I_S$ alınır

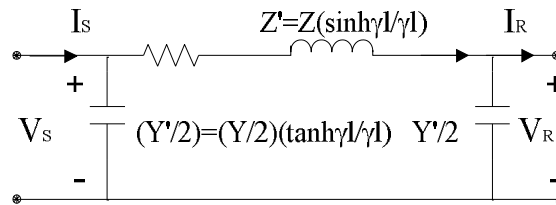
$$V_S = \cosh \gamma l V_R + Z_c \sinh \gamma l I_R \quad (2.34)$$

$$I_S = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l V_R + \cosh \gamma l I_R \quad (2.35)$$

sonucuna ulaşılır. ABCD sabitleri cinsinden yeniden yazılarak

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$A = \cosh \gamma l, \quad B = Z_c \sinh \gamma l, \quad C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l, \quad D = \cosh \gamma l \quad (2.37)$$



Şekil 2.5. Uzun hatlar için eşdeğer π modeli

3. ENERJİ İLETİM HATLARINDA KISA DEVRE

İletim hatlarında kısa devre; faz iletkenleri arasında veya yıldız noktası topraklanmış sistemlerde faz iletkenleri ile toprak arasında yalıtım herhangi bir şekilde ortadan kalması ya da yanlış operasyonlar sonucu oluşan akımın çok büyük değerlere ulaştığı bir arıza durumudur.

Böylece; sistemde, kaynaklar ile kısa devre noktası arasında empedans çok küçük olup, akım yolu üzerindeki bütün tesisat elemanları kısa devrenin termik ve dinamik etkilerine maruz kalırlar. Şayet tesisat elemanları kısa devrenin bu etkilerine, röleler tarafından belirlenen sürede dayanacak şekilde seçilmiş ve tesis edilmişse bir sorun çıkmaz. Ancak bu elemanlar yeterli kapasitede değilse hem kendileri tahrip olur, hem de çevreye zarar vererek can ve mal güvenliğini tehlikeye sokarlar.

İletim hatlarında kısa devrenin kaynağı iç veya dış etkiler olabilir. Kısa devreye neden olabilecek başlıca iç etkiler; aşırı yükleme sonucu izolasyonun aşırı derecede ısınması ve bozulması, aşırı gerilimler sonucu meydana gelen delinmeler ve atlamalar ile izolasyondaki yapıım hatalarıdır. Başlıca dış etkiler ve nedenler ise; kablo ve izoleli hava hattı iletkenlerinin izolasyonlarının zedelenmesi, hava hatları ile atmosfere açık elektrik tesislerine yıldırım düşmesi, hava hattı izolatorlerinin kırılması, atmosferik şartlardan dolayı oluşabilecek atlamalardır. Hava hatlarında kar, buz ile oluşabilecek atlamalar ile transformatör merkezlerine giren çeşitli hayvanların, topraklanmış kısımlar ile gerilim altındaki kısımlar arasında veya fazlar arasında değmeleridir. Sistemin bakımı esnasında güvenlik amacı ile kapatılan topraklama ayırıcılarının tesisata tekrar gerilim verilirken unutulmaları veya yapılan yanlış manevralardır [5].

3.1. Kısa Devre Akımları

Kısa devre akımları, genellikle nominal akımların katları şeklinde meydana gelir. Büyük dinamik ve ısı etkileri ile beraber bazen kabul edilemeyecek ölçüde tehlikeli gerilimleri de beraberinde getirir. Bu olumsuz etkilerin tesis elemanlarını tahrip etmesi ve personel hayatını tehlikeye atması güvenlik önlemlerini zorunlu kılmaktadır [6].

Bir kısa devre olayında meydana gelen akımın alternatif bileşen değeri;

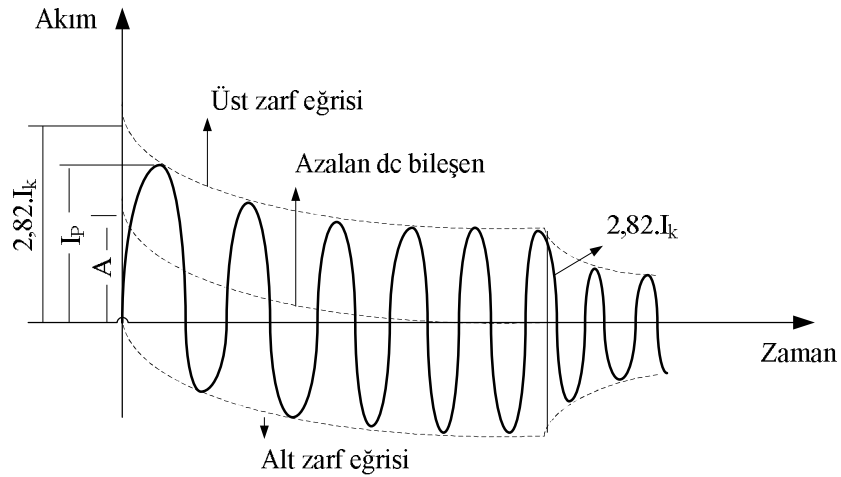
$$E_Y = \frac{E}{\sqrt{3}} \quad (3.1)$$

olmak üzere

$$I_k = \frac{E_Y}{\sum Z(1,2,0)} \quad (3.2)$$

genel ifadesi kullanılarak hesaplanmaktadır.

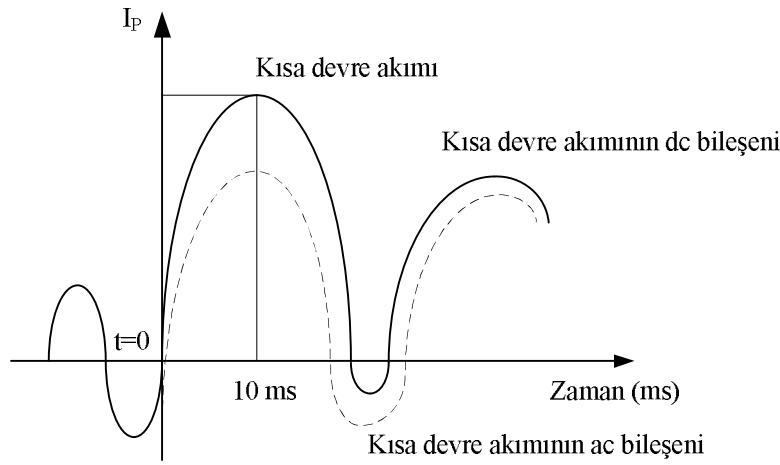
Şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek kısa devre akımının hesabı için, kısa devre yolu üzerindeki tesisat elemanlarının empedansları arasında generatör empedansının özel bir yeri vardır. Kısa devre süresince uyarma alanı, endüvi reaksiyonundan dolayı zayıflar ve generatör klemens gerilimi düşer. Kısa devre olmadan önce, kısa devreyi besleyen makinenin emk 'sı sabit kabul edilirse, klemens geriliminin azalmasının, generatör empedansının artmasından ileri geldiği kabul edilmektedir. Generatör empedansının büyümesiyle; kısa devre akımı, kısa devre noktası generatöre ne kadar yakın ise, o kadar hızla düşmektedir. Tam uyarmalı ve klemensleri aniden kısa devre edilmiş üç fazlı bir generatörün, fazlarından herhangi birinin tipik kısa devre akımının değişimi Şekil 3.1 'de R-fazı için gerilimin sıfırdan geçtiği iletkenlerden herhangi birine ait arıza akımının değişimi örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Generatöre yakın üç fazlı bir kısa devre arızası

Şekil 3.1 'den de görüldüğü gibi; akım, önce maksimum bir tepe değere (darbe kısa devre akımı, I_p) yükselmekte ve bu akım önce hızlı, daha sonra az hızlı olarak kararlı bir değer olan sürekli kısa devre akımına (I_k) düşmektedir.

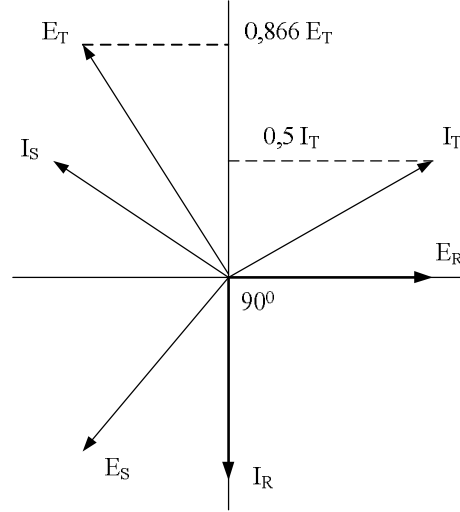
Şekil 3.1 'de görüldüğü gibi, akım kısa bir süre için yatay eksene göre asimetriktir. Kısa devre akımının bu ilk tepe değerini daha iyi anlamak için Şekil 3.2 'deki eğrinin $t=0$ anından hemen sonraki değişimine bakmak gerekir. Kısa devre olayı gerilimin tam sıfırdan geçtiği anda meydana gelirse, oluşacak kısa devre akımı, kısa devre yolunun yaklaşık olarak tam endüktif olmasından (sadece generatörün kaçak reaktansının etkisinden) dolayı Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi yaklaşık 90° bir faz farkına maruz kalacaktır. Böylece $t=0$ anında kısa devre akımı maksimum değerine hızla çıkmak isteyecektir. Ancak; generatör direncinin endüktif karakterinden dolayı, kısa devre akımı maksimum değere ulaşamayacaktır. Pratik olarak $t=0$ anında, yine sıfır değeri ile başlayacaktır. Bu durumda, doğru akım bileşeni de gerekli kompanzasyonu yapacaktır. Kısa devre akımının doğru akım bileşeninin başlangıç değeri, alternatif bileşenin $t=0$ anındaki değerinin negatif işaretlisine eşit olup, değeri de birkaç dönem sonra küçülmektedir. Bu son ifadeden de anlaşılacağı gibi; kısa devre akımı alternatif ve doğru akım bileşenlerinden meydana gelmektedir. Alternatif akım bileşeni zaman eksenine göre simetrik iken, doğru akım bileşeni zaman ekseninin bir tarafında meydana gelmektedir.



Şekil 3.2. Endüktif gerilimin sıfırdan geçtiği anda şebekede meydana gelen kısa devre akımı

Kısa devre akımının herhangi bir anındaki değeri, alternatif ve doğru bileşen akımların toplamından meydana gelmektedir. Şekil 3.2 'den de görüleceği üzere; kısa devre akımı sıfır değeri ile başlar ve yarım dalga (60 Hz. frekansa sahip bir sistemde 10 milisaniye) sonra en yüksek tepe değerine ulaşır ve daha sonra doğru ve alternatif bileşen akımların zaman sabitlerine uygun olarak kararlı ve sürekli değere düşer.

Yukarıda belirtilen şartlarda generatör terminallerinde meydana gelen kısa devre olayı esnasında diğer iki faz iletkeninin gerilimleri Şekil 3.3 'te görüldüğü gibi nominal değerlerinin %86.6 değerine düşmektedir.

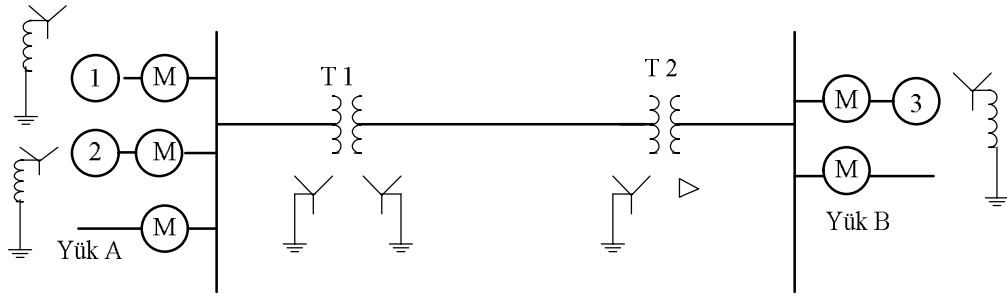


Şekil 3.3. Kısa devre olayı esnasında diğer iki faz iletkenine ait akım ve gerilim değerleri

Ortalama olarak 90° geride bulunan her iki faza ait alternatif akım bileşenleri, maksimum değerlerinin %50 'si ile başlar. Kısa devre olayında oluşan her üç fazdaki doğru akım bileşenlerinin toplamı da, tıpkı alternatif akım bileşenlerinin toplamı gibi sıfır olmaktadır. S ve T fazlarındaki doğru akım bileşenlerinin daha küçük olmasından dolayı, kısa devre akımının zaman eksenine göre değişimi daha az simetrik olmaktadır.

Kısa devre alternatif akımının sürekli kısa devre alternatif akımına dönüşmesi, endüvi reaksiyonundan ileri gelmektedir. Bu reaksiyon uyarma alanını zayıflatarak emk 'yı azaltmaktadır. Bu şekilde kısa devre akımı, oldukça yavaş bir şekilde kararlı, sürekli kısa devre akımına geçmekte ve bu olay geçici olarak adlandırılmaktadır. Buna tekabül eden kısa devre alternatif akımına da **geçici kısa devre akımı** denmektedir. Kısa devre olayının başlangıcında oluşan ve çok hızlı olarak azalan kısa devre alternatif akımına ise **kalıcı kısa devre akımı** adı verilmektedir.

İletim sistemlerinde Kısa devre akımı; generatöre çok uzak olmayan bir noktada meydana gelirse, değişim yaklaşık olarak generatör klemenslerinde meydana gelen kısa devre akımı gibidir. Şayet kısa devre olayı, generatörden uzakta bir noktada meydana gelirse, generatör empedansları şebeke empedanslarına göre etkilerini kaybederler [5].



Şekil 3.5. Bir güç sisteminin tek hat diyagramı

Şekil 3.5 'te örnek bir güç sisteminin tek hat diyagramı gösterilmektedir. Bu diyagramda; generatör, motor, yükseltici ve indirici transformatörlerin yıldız noktalarının reaktans ya da rezistans üzerinden topraklandığı görülmektedir.

3.2.1. Empedans ve Reaktans Diyagramları

Bir enerji sisteminde yük etüdü veya kısa devre etüdü yapılabilmesi için, tek hat diyagramından sistemin empedans diyagramına geçilmesi gerekir. Empedans diyagramına geçebilmek için, sistemi meydana getiren elemanların her birinin eşdeğer devrelerinin bilinmesi gerekir. Bunlar Şekil 3.6 'daki gibi kısaca özetlenebilir. Şekil 3.6 'da görüldüğü gibi,

- a) Empedans diyagramında generatörler, endüklenen elektromotor kuvvetine seri bağlı birer empedans ile,
- b) Tasıma hatları yeterli doğrulukta T ve π devrelerinden biri ile,
- c) Transformatörler kendi eşdeğer devreleri ile gösterilir.

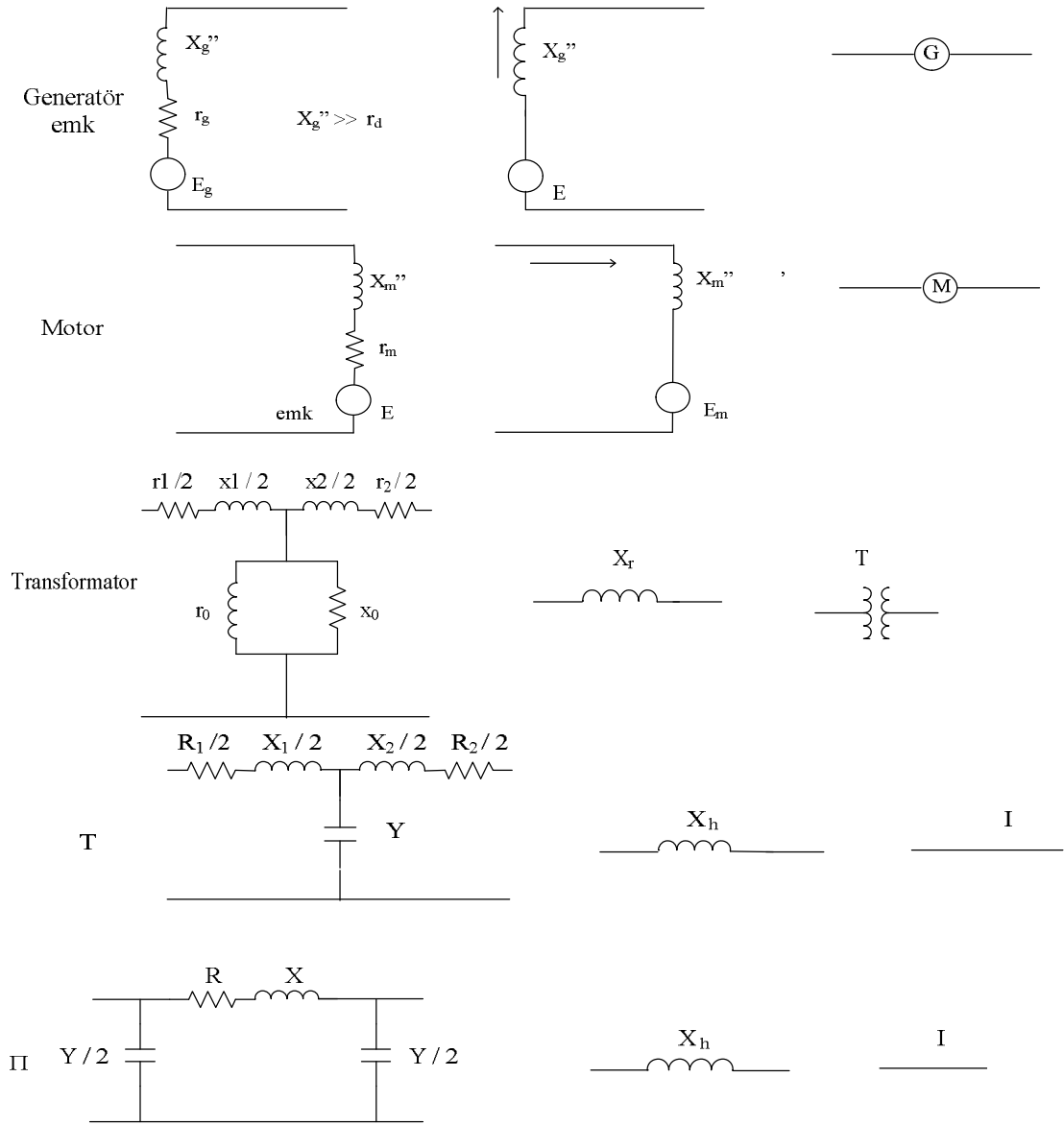
Yük etüdü yapılacak ise, endüktif yükler seri bağlı birer direnç ve reaktansla ifade edilir. Empedans diyagramında, tek hat diyagramlarında görülen generatörlerin nötrleri ile toprak arasındaki akım sınırlandırıcı empedanslar gösterilmez. Çünkü dengeli halde generatör nötrleri sistem nötrleri ile aynı potansiyelde olacağından, bunların üzerinden bir toprak akımı geçmez.

Bunların yanında, empedans diyagramındaki aynı bir gerilime, yani transformatörlerin sekonder veya primer gerilimine göre ifade edilir. Yukarıdaki açıklamalara göre Şekil 3.6 'daki eşdeğer devreler Şekil 3.5 'deki yerlerine konursa, kolayca Şekil 3.7 'deki empedans diyagramları elde edilir [8].

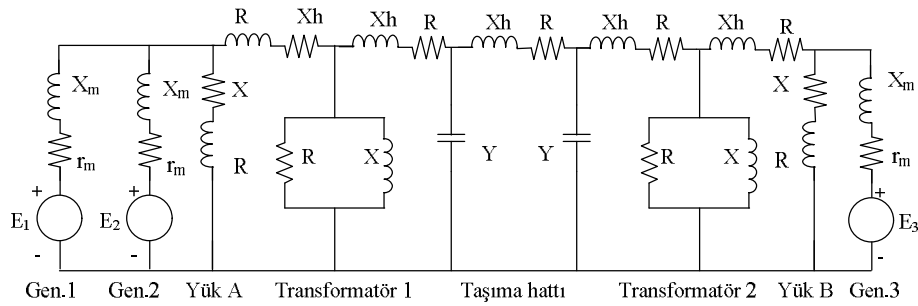
Eşdeğer devre (empedans diyagramında kullanılan)

Kısa devre hesapları için kullanılan eşdeğer devre

Tek hat diyagramı için standart semboller



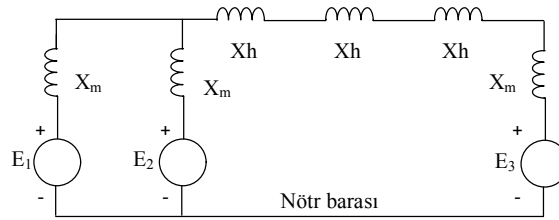
Şekil 3.6. Güç sistemini meydana getiren elemanların eşdeğer devreleri ve sembolleri



Şekil 3.7. Tek hat diyagramı verilen sistemin empedans diyagramı

Arıza etüdü yapılırken, dirençler genellikle ihmal edilebilir. Yüksek gerilim hatlarında omik direnç, reaktansın 0.1 katına kadar inebilir. Bu durumda, yüksek gerilim hatlarında direnç ve reaktans vektörel olarak toplanacağından; empedans, reaktanstan pek farklı bulunmaz. $Z=X_h$ olarak kabul edilebilir. Alçak gerilim hatlarında ise; reaktans, omik direncin 0,1 katı olabilmektedir. Burada da reaktans ihmal edilerek $Z=R$ kabul edilebilir.

Arıza hesapları için; bütün statik yükleri, dirençleri, transformatörlerin mıknatıslanma akımları ve taşıma hatlarının kapasitif akımlarını (kısa devre akımı yanında çok küçük kaldıkları için) ihmal edersek, Şekil 3.7 'deki sistemin empedans diyagramı Şekil 3.8 'deki gibi reaktans diyagramına çevrilmiş olur. Bu diyagramda reaktanslar transformatörün yüksek gerilim tarafına indirgenmiştir.



Şekil 3.8. Sistemin reaktans diyagramı

3.3. Simetrik Bileşenler

Üç fazlı alternatif akım sistemleri sadece teoride dengelidir. Pratikte çok özel durumlar dışında dengeli bir sisteme rastlamak pek mümkün değildir. Üç fazlı simetrik kısa devre dışında ki arıza hallerinde akım ve gerilim değerlerinin hesaplanması, klasik hesap metotları ile zordur ve çok zaman alır. Sistemin biraz büyük olması halinde hesapların içinden çıkılmaz olur.

Fortescue 'nun simetrik bileşenler metodu, çok fazlı sistemlerin basitleştirilerek incelenmesi amacı ile geliştirilmiş ve özellikle üç fazlı sistemlere uygulanması ile yaygınlık kazanmıştır [9].

Bu metoda göre dengesiz üç fazlı sistemin her bir fazörü, üç fazlı bir sistem için üç farklı ve kendi aralarında dengeli doğru, ters ve sıfır bileşen fazörlerin vektörel toplamıdır.

- 1- Doğru Bileşen Sistemi; Üç eşit büyüklükteki fazörden meydana gelir. Bu fazörler arasındaki faz farkı 120° dir. Fazörlerin faz sırası, orijinal fazörlerin faz sırasındadır.

2- Ters Bileşen Sistemi; Üç eşit büyüklükteki fazörden meydana gelir. Fazörler arasındaki faz farkı 120° dir. Fazörlerin faz sırası orijinal fazörlere tam ters faz sırasındadır.

3- Sıfır Bileşen Sistemi; Üç eşit büyüklükteki fazörden meydana gelir. Fazörler arasındaki faz farkı 0° 'dır [10].

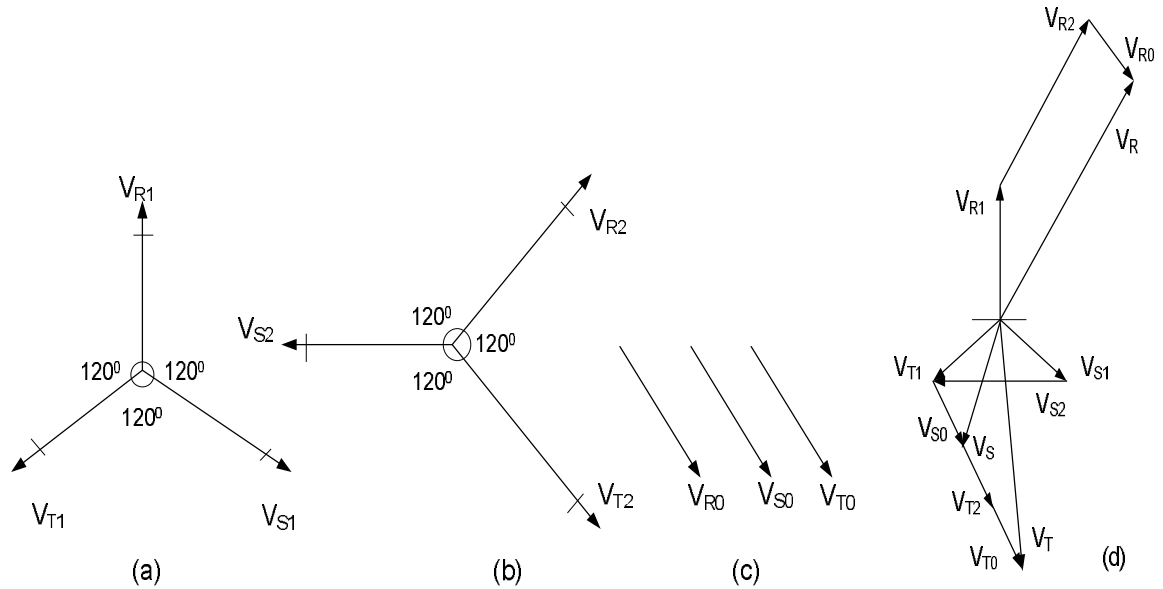
Bu tez çalışmasında, doğru, ters ve sıfır bileşen sistemleri birçok kaynakta gösterildiği gibi, sırasıyla 1, 2 ve 0 indisleri ile gösterilecektir.

Üç fazlı dengesiz bir sistemdeki V_R, V_S ve V_T gerilim fazörleri simetrik bileşen fazörlerin vektörel toplamı olarak;

$$\begin{aligned} V_R &= V_{R1} + V_{R2} + V_{R0} \\ V_S &= V_{S1} + V_{S2} + V_{S0} \\ V_T &= V_{T1} + V_{T2} + V_{T0} \end{aligned} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 3.9 'da üç fazlı bir elektrik sisteminde, üç dengesiz fazörün dengeli üç grup fazörden meydana gelen faz gerilimleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Bir sistemin a) Doğru b) Ters c) Sıfır bileşen fazörleri d) Fazörlerin toplamı

3.3.1. Simetrik Bileşenlerde “a” Operatörü

Bir güç sisteminde; gerilimler ve akımların simetrik bileşenlerindeki fazörlerin arasındaki 120° faz farkını kolayca işaretleyebilmek için, kısa bir gösterilisin bulunması uygun olacaktır. İki karmaşık sayının çarpımının, bu sayıların mutlak değerleri çarpımı ve açıların toplamı sonucunu verdiğinden; bir karmaşık sayı fazör olarak gösterilmek istenirse, bu karmaşık sayı $1\angle\theta$ karmaşık sayısı ile çarpılır. Sonuç olarak elde edilen karmaşık sayı, orijinal fazöre eşit fakat θ açısı kadar saat ibresinin tersi yönünde döndürülmüş bir fazörü gösterecektir. O halde $1\angle\theta$ karmaşık sayısı bir operatördür ve fazörü saat ibresinin tersi yönünde θ açısı kadar döndürür. Bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120° döndüren operatör ise “a” harfi ile bilinir. O halde, bir fazörü saat ibresinin tersi yönünde 120° döndürmek istenirse o fazörün a operatörü ile çarpılması yeterli olur. Bu operatör birim büyüklükte karmaşık bir büyüklük olup, Şekil 3.10 ’da gösterilmiştir.

$$a=1\angle120^\circ \quad (3.4)$$

şeklinde gösterilir.

a operatörü polar formda yukarıdaki gösterimden faydalanılarak

$$a=\cos120^\circ + j\sin120^\circ \quad (3.5)$$

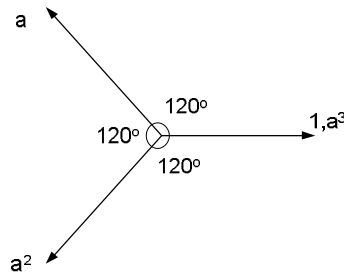
şeklinde de yazılabilir.

a operatörünün katları

$$a \cdot a = a^2 = 1\angle240^\circ \quad (3.6)$$

$$a^2 \cdot a = a^3 = 1\angle -120^\circ \cdot 1\angle120^\circ \quad (3.7)$$

$$1 + a + a^2 = 0 + j0 \quad (3.8)$$



Şekil 3.10. “a” operatörünün değişik kuvvetler için fazör diyagramı gösterilmiştir

3.3.2. Simetrik Bileşenlerde Gerilimler

Fazları sırası ile R, S ve T olan üç fazlı bir sistemin gerilim fazörlerinin doğru, ters ve sıfır bileşenleri R fazı referans alınarak gösterilişi

R - FAZI	S - FAZI	T - FAZI	
V_{R_0}	$V_{S_0} = V_{R_0}$	$V_{T_0} = V_{R_0}$	(3.9)

V_{R_1}	$V_{S_1} = a^2 \cdot V_{R_1}$	$V_{T_1} = a \cdot V_{R_1}$	(3.10)
-----------	-------------------------------	-----------------------------	--------

V_{R_2}	$V_{S_2} = a \cdot V_{R_2}$	$V_{T_2} = a^2 \cdot V_{R_2}$	(3.11)
-----------	-----------------------------	-------------------------------	--------

faz gerilimleri, simetrik bileşenlerin toplamı olarak;

$$V_R = V_{R_0} + V_{R_1} + V_{R_2} \quad (3.12)$$

$$V_S = V_{R_0} + a^2 \cdot V_{R_1} + a \cdot V_{R_2} \quad (3.13)$$

$$V_T = V_{R_0} + a \cdot V_{R_1} + a^2 \cdot V_{R_2} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu ifadeler kullanılarak R fazının simetrik bileşen gerilimleri, şebeke gerilimleri cinsinden;

$$V_{R_0} = \frac{1}{3} (V_R + V_S + V_T) \quad (3.15)$$

$$V_{R_1} = \frac{1}{3} (V_R + a^2 \cdot V_S + a \cdot V_T) \quad (3.16)$$

$$V_{R_2} = \frac{1}{3} (V_R + a \cdot V_S + a^2 \cdot V_T) \quad (3.17)$$

şeklinde yazılabilir.

V_{R_0} eşitliğinden de rahatlıkla görüldüğü gibi, sistem dengeli olursa şebeke gerilimlerinin vektörel toplamı sıfırdır ve bu yüzden sistemde sıfır bileşen mevcut değildir.

Yukarıdaki eşitlikler matris formunda şu şekilde gösterilir.

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{R_0} \\ V_{R_1} \\ V_{R_2} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$\begin{bmatrix} V_{R_0} \\ V_{R_1} \\ V_{R_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Diğer fazların bileşen gerilim değerlerini bulmak için (3.9), (3.10) ve (3.11) no 'lu eşitliklerden yararlanılır.

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

$$[A]^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$[V_{RST}] = \begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$[V_{012}] = \begin{bmatrix} V_{R_0} \\ V_{R_1} \\ V_{R_2} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

olmak üzere yukarıdaki eşitlikler daha kısa formda

$$[V_{RST}] = [A] \cdot [V_{012}] \quad (3.24)$$

$$[V_{012}] = [A]^{-1} \cdot [V_{RST}] \quad (3.25)$$

olarak yazılabilir.

3.3.3. Simetrik Bileşenlerde Akımlar

Gerilimler için yazılan eşitliklere benzer eşitlikler akımlar için, aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_0} \\ I_{R_1} \\ I_{R_2} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$\begin{bmatrix} I_{R_0} \\ I_{R_1} \\ I_{R_2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Akımlar için yukarıda matris formunda yazılan eşitlikler daha kısa formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[I_{RST}] = [A] \cdot [I_{012}] \quad (3.28)$$

$$[I_{012}] = [A]^{-1} \cdot [I_{RST}] \quad (3.29)$$

Üç fazlı bir sistemde akımların vektörel toplamı, sistem dengeli ise sıfırdır. Şayet bir dengesizlik söz konusu ve sistemde nötr iletkeni var ise, nötr iletkeninden bir akım akar ve değeri;

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (3.30)$$

ifadesinden bulunur. Yukarıda akımlar için yazılan matris eşitliklerinden yararlanarak

$$I_{R_0} = \frac{1}{3} \cdot (I_R + I_S + I_T) \quad (3.31)$$

$$3 \cdot I_{R_0} = I_N = (I_R + I_S + I_T) \quad (3.32)$$

$$I_N = 3 \cdot I_{R_0} \quad (3.33)$$

elde edilir.

Bu son ifadeden de görüldüğü gibi nötr iletkeni olmayan, örneğin üçgen (Δ) bağlı sistemlerde sıfır bileşen akımı akmaz.

3.4. Kısa Devre Hesapları

Elektrik sistemindeki bütün tesisat elemanlarının seçilmesi ve meydana gelecek arızanın en kısa sürede sistemden izole edilebilmesi için, kısa devre hesaplarının sağlıklı bir şekilde yapılması gerekir. Bu amaçla hesaplar yapılırken;

— Kısa devre olayı esnasında, kısa devreye dâhil devrede bir değişiklik olmadığı yani üç fazlı kısa devre ise üç fazlı, faz-toprak kısa devresi ise faz-toprak kısa devresi olarak devam ettiği gibi,

- Transformatörlerin ana kademelerinde olduğu,
- Ark dirençlerinin hesaba dâhil edilmediği,
- Kısa devrenin olduğu noktada eşdeğer bir gerilim kaynağının olduğu,
- Tesisat elemanlarının doğru, ters ve sıfır bileşen empedanslarının belirlenebildiği,
- Eşdeğer empedans diyagramının gerekiyorsa dönüşümlerden yararlanarak hesaplar için basitleştirilebildiği,

kabulleri yapılır. Daha sonra ihtiyaca göre, tesisatın çeşitli noktaları için kısa devre akım hesapları ayrı ayrı yapılır.

Elektrik sistemindeki arızaların çok önemli bir kısmı dengesiz olup, çok az bir kısmı dengelidir (simetrik). Arızaların pratikte oluşma sıklığı, tesisatın yapısına, çevreye ve bölgeye göre değişse de sıralama genelde aynıdır.

Bir araştırmaya göre bu sıklık;

- Üç fazlı simetrik kısa devre için %5
- Çift faz-toprak kısa devresi için %10
- Faz-faz kısa devresi için %15
- Faz-toprak kısa devresi için %70

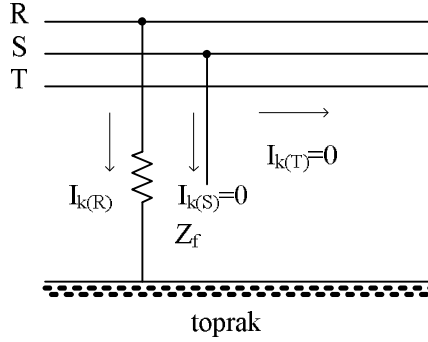
olarak belirlenmiştir.

Üç fazlı simetrik kısa devre oluşumu nadirdir. Genelde operasyon hataları sonucunda oluşur (gerilim altındaki hatların yanlışlıkla topraklanması gibi). Arızaların önemli bir kısmı, başlangıcı farklı olsa da üç fazlı kısa devreye dönüşebilir. Üç fazlı simetrik (dengeli) kısa devre tesisat elemanlarının doğru bileşen empedansları kullanılarak kolayca bulunabildiği halde, diğer arızaların hesaplanabilmesi için arızanın tipine göre doğru, ters ve sıfır bileşen empedansların belirlenmesi, bileşen devrelerin çizilmesi gerekir.

3.4.1. Faz-Toprak Kısa Devresi

Faz-toprak kısa devresinde faz iletkenlerinden herhangi birinin izolasyonunun bozulması veya yanlış manevralar sonucu toprağa, nötr iletkenine veya toprakla irtibatlı metalik gövdeye değmesi sonucu oluşan bir arızadır. Bunlar; a-g, b-g ve c-g olarak kullanılmıştır. Şekil 3.11 'de faz-toprak kısa devre arızasının genel görünüşü verilmekte olup, toprak arıza empedansı Z_f ile gösterilmektedir.

Genelde arıza empedansının büyüklüğü hem net olarak ortaya konulamadığından hem de kısa devrenin büyüklüğü üzerinde çok fazla etkili olmadığından hesaplarda ihmal edilir. Arıza empedansı ark empedansı olarak da yorumlanabilir.



Şekil 3.11. Faz- Toprak arızasının genel gösterimi

Şekil 3.12 'de faz-toprak kısa devre arızası esnasında tesisatın Doğru, Ters ve Sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi doğru, ters ve sıfır bileşen akımları birbirine eşit olup,

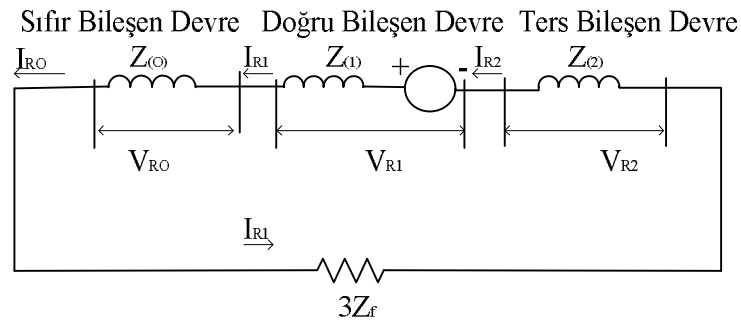
$$I_{R_0} = I_{R_1} = I_{R_2} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(0)} + Z_{(1)} + Z_{(2)} + 3Z_{(f)}} \quad (3.34)$$

şeklinde yazılabilir. Bileşen akımlarından yararlanarak faz-toprak kısa devre arızasında faz akımları (3.26) matrisinden yararlanarak sırasıyla; R fazı için

$$I_{k1(R)} = I_{R_0} + I_{R_1} + I_{R_2} \quad (3.35)$$

veya (3.34) eşitliği de göz önünde bulundurularak

$$I_{k1(R)} = 3 \cdot I_{R_0} + 3 \cdot I_{R_1} + 3 \cdot I_{R_2} \quad (3.36)$$



Şekil 3.12. Faz- Toprak kısa devre arızasında doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

Diğer faz akımları ise benzer şekilde (3.26) 'de verilen matristen yararlanarak

$$I_{k1(S)} = I_{R0} + a^2 \cdot I_{R1} + a \cdot I_{R2} \quad (3.37)$$

$$I_{k1(T)} = I_{R0} + a \cdot I_{R1} + a^2 \cdot I_{R2} \quad (3.38)$$

yazılabilir.

$1 + a + a^2 = 0$ olduğu bilindiğinden S ve T fazlarının faz-toprak kısa devresindeki değerleri

$$I_{k1(S)} = 0 \quad (3.39)$$

$$I_{k1(T)} = 0 \quad (3.40)$$

olarak bulunur.

Kısa devre bilen akımları kısa devre noktasında R fazının bileşen gerilimleri, V_f arıza noktasında arıza öncesi gerilim olmak üzere

$$\begin{bmatrix} V_{R0} \\ V_{R1} \\ V_{R2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{(2)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R0} \\ I_{R1} \\ I_{R2} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

matrisinden yararlanarak

$$V_{R0} = -Z_{(0)} \cdot I_{R0} \quad (3.42)$$

$$V_{R1} = V_f - Z_{(1)} \cdot I_{R1} \quad (3.43)$$

$$V_{R2} = -Z_{(2)} \cdot I_{R2} \quad (3.44)$$

olarak bulunur. Böylece arıza noktasında R fazının toprağa karşı gerilimi

$$V_R = V_f - (Z_{(0)} + Z_{(1)} + Z_{(2)}) \cdot I_{R1} \quad (3.45)$$

şeklinde elde edilir.

Faz-Toprak kısa devresinde diğer fazların gerilimleri simetrik bileşenlerden yararlanarak.

$$V_S = V_{R0} + a^2 \cdot V_{R1} + a \cdot V_{R2} \quad (3.46)$$

$$V_T = V_{R_0} + a. V_{R_1} + a^2. V_{R_2} \quad (3.47)$$

şeklinde elde edilir. Şayet arıza empedansı $Z_f = 0$ olursa.

$$I_{k1(R)} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(0)} + Z_{(1)} + Z_{(2)}} \quad (3.48)$$

bulunur. Bu durumda

$$V_R = 0 \quad (3.49)$$

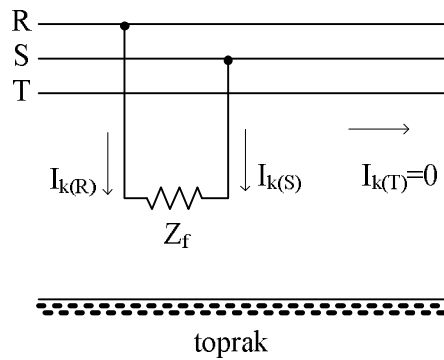
olur. Faz – Toprak kısa devre arızasında arızalı iletkeniden toprağa akan kısa devre akımı genel olarak

$$I_{k1(R)} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(0)} + Z_{(1)} + Z_{(2)}} \quad (3.50)$$

şeklinde gösterilir.

3.4.2. Faz-Faz Kısa Devresi

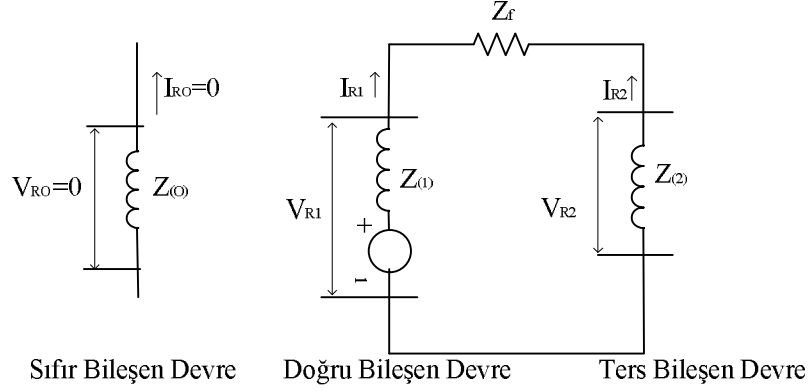
Faz-faz kısa devresi genelde iki iletken arasındaki izolasyonun bozulması, bazen de yanlış bağlantılar veya manevralar sonucu oluşan bir arıza seklidir. Bunlar; a-b, a-c, ve b-c olarak kullanılmıştır. Şekil 3.13 'de faz-faz kısa devre arızasının genel görünüşü verilmiş olup, iletkenler arasındaki arıza empedansı yine Z_f ile gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Faz-faz kısa devre arızasının genel gösterimi

Şekil 3.14 'de faz- faz kısa devre arızası esnasında tesisatın; doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir.

Şekil 3.14 'de görüldüğü gibi arızaya dâhil olmayan R fazının akımı sıfır iken, kısa devre olan R ve S fazlarının kısa devre akımları yönleri ters olmakla beraber mutlak değer olarak birbirlerine eşittir.



Şekil 3.14. Faz-faz kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

Faz-faz kısa devre durumunda akımlar aşağıda gösterildiği gibidir.

$$I_{k1(T)} = 0 \quad (3.51)$$

$$I_{k2(R)} = I_{k2(S)} \quad (3.52)$$

Bu durumda, kısa devre olan faz iletkenleri arasında arıza empedansından dolayı oluşan gerilim

$$V_{RS} = V_R - V_S = Z_f \cdot I_{k2(S)} \quad (3.53)$$

Şekil 3.14 'den yararlanarak bileşen akımlar.

$$I_{R0} = 0 \quad (3.54)$$

$$I_{R1} = -I_{R2} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_f} \quad (3.55)$$

olarak yazılır. Bileşen akımlardan yararlanarak faz-faz kısa devre arızasında fazların kısa devre akımları matrisinden yararlanarak sırasıyla;

$$I_{k2(T)} = 0 \quad (3.56)$$

$$I_{k2(R)} = -I_{k2(S)} = \sqrt{3} \cdot I_{R1} \angle 90^\circ \quad (3.57)$$

Kısa devre bileşen akımları (3.51) ve (3.52) no 'lu eşitliklerden belirlenebildiğinden, kısa devre noktasında R fazının bileşen gerilimleri, V_f arıza noktasında arıza öncesi gerilim olmak üzere

$$\begin{bmatrix} V_{R_0} \\ V_{R_1} \\ V_{R_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{(0)} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{(2)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{R_0} \\ I_{R_1} \\ I_{R_2} \end{bmatrix} \quad (3.58)$$

matrisinden yararlanarak

$$V_{R_0} = 0 \quad (3.59)$$

$$V_{R_1} = V_f - Z_{(1)} \cdot I_{R_1} \quad (3.60)$$

$$V_{R_2} = -Z_{(2)} \cdot I_{R_2} = Z_{(2)} \cdot I_{R_1} \quad (3.61)$$

şeklinde yazılır.

Faz gerilimleri ise, daha önce bulunan simetrik bileşenlerden yararlanarak

$$V_R = V_f + (Z_{(2)} - Z_{(1)}) \cdot I_{R_1} \quad (3.62)$$

$$V_S = a^2 + (a \cdot Z_{(2)} - a^2 Z_{(1)}) \cdot I_{R_1} \quad (3.63)$$

$$V_T = a + (a^2 \cdot Z_{(2)} - a Z_{(1)}) \cdot I_{R_1} \quad (3.64)$$

şeklinde yazılır.

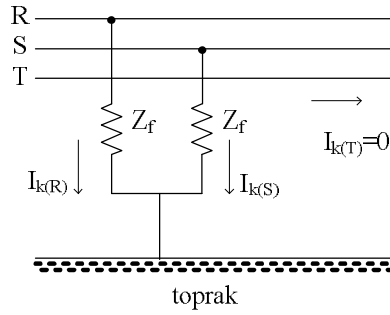
Faz – faz kısa devre arızasında; kısa devre olan iletkenler arasında akan kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olarak birbirine eşit olup, arıza empedansı $Z_f = 0$ alınmasıyla

$$I_{k_2} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(2)}} \quad (3.65)$$

şeklinde gösterilir.

3.4.3. İki Faz-Toprak Kısa Devresi

İki faz-toprak kısa devre arızası, sık karşılaşılmamakla birlikte iki iletkenin direkt toprakla ya da toprakla irtibatlı nötr veya koruma iletkeni ile temas etmesi, çok nadir olarak ta yanlış bağlantılar veya manevralar sonucu oluşan bir arıza seklidir. Bunlar; a-b-g, b-c-g, a-c-g olarak kullanılmıştır. Şekil 3.15 'de iki faz-toprak kısa devre arızasının genel görünüşü verilmekte olup, iletkenler ile toprak arasındaki arıza empedansı yine Z_f ile gösterilmektedir.



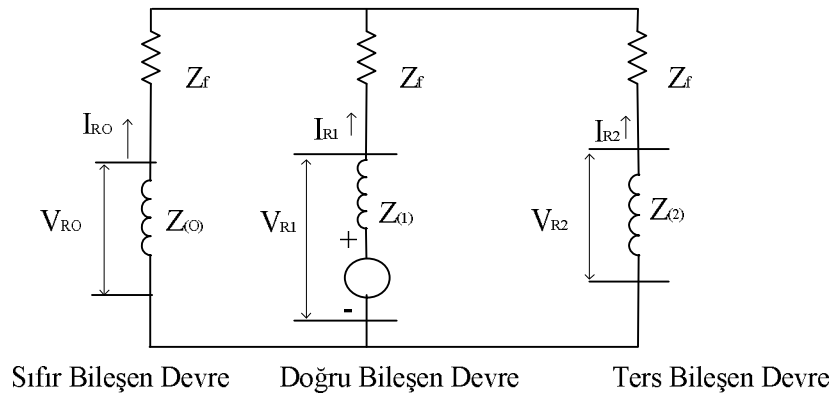
Şekil 3.15. İki – faz toprak kısa devre arızasının genel gösterimi

İki faz- toprak kısa devre arızası Şekil 3.15 'de gösterildiği gibi R ve S fazları ile toprak arasında meydana gelmiş ise

$$I_{k2t(T)} = 0 \quad (3.66)$$

$$V_R = Z_f \cdot I_{k2t(R)} \quad (3.67)$$

$$V_S = Z_f \cdot I_{k2t(S)} \quad (3.68)$$



Şekil 3.16. İki –faz toprak kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

İki faz-toprak kısa devre arızasının bileşen devrelerini gösteren Şekil 3.16 'dan R fazının doğru, ters ve sıfır bileşen akımları sırasıyla;

$$I_{R_1} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(0)} + Z_{(f)} + \frac{(Z_{(2)} + Z_{(f)}) \cdot (Z_{(0)} + Z_{(f)})}{Z_{(0)} + Z_{(2)} + 2 \cdot Z_{(f)}}} \quad (3.69)$$

$$I_{R_2} = \left[\frac{Z_{(0)} + Z_{(f)}}{(Z_{(0)} + Z_{(f)}) + (Z_{(2)} + Z_{(f)})} \right] \cdot I_{R_1} \quad (3.70)$$

$$I_{R_0} = \left[\frac{Z_{(2)} + Z_{(f)}}{(Z_{(2)} + Z_{(f)}) + (Z_{(0)} + Z_{(f)})} \right] \cdot I_{R_1} \quad (3.71)$$

bulunur. Diğer taraftan;

$$I_{k_{2t(R)}} = I_{R_0} + I_{R_1} + I_{R_2} = 0 \quad (3.72)$$

olduğundan

$$I_{R_0} = -(I_{R_1} + I_{R_2}) \quad (3.73)$$

yazılabilir.

İki faz- toprak arasında, faz akımları simetrik bileşenlerden yararlanarak aşağıdaki eşitliklerden kolayca hesaplanır.

$$I_{k_{2t(R)}} = I_{R_0} + a^2 \cdot I_{R_1} + a \cdot I_{R_2} \quad (3.74)$$

$$I_{k_{2t(S)}} = I_{R_0} + a \cdot I_{R_1} + a^2 \cdot I_{R_2} \quad (3.75)$$

nötr iletkeninden akan toplam arıza akımı;

$$I_n = I_{k_{2t(R)}} + I_{k_{2t(S)}} = 3 \cdot I_{R_0} \quad (3.76)$$

bulunur.

Yukarıda tesisat elemanlarının karakteristiklerinden yararlanarak bulunan simetrik bileşen akımları kullanılarak iki faz-toprak kısa devre arızası için gerilimlerin simetrik bileşenleri;

$$V_{R_0} = -Z_0 \cdot I_{R_0} \quad (3.77)$$

$$V_{R_1} = V_f - Z_{(1)} \cdot I_{R_1} \quad (3.78)$$

$$V_{R_2} = -Z_{(2)} \cdot I_{R_2} \quad (3.79)$$

eşitliklerden hesaplanabilir. İki faz-toprak kısa devre arızasında R, S ve T fazlarının toprağa karşı gerilimleri ise;

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{R_0} \\ V_{R_1} \\ V_{R_2} \end{bmatrix} \quad (3.80)$$

matrisinden bulunur.

Arıza empedansının $Z_f = 0$ olması halinde (3.67) ve (3.68) no 'lu eşitliklerden yararlanarak kolayca

$$V_R = 0 \quad (3.81)$$

$$V_S = 0 \quad (3.82)$$

yazılabilir. Bu durumda;

$$V_{R_0} = V_{R_1} = V_{R_2} = V_f - Z_1 \cdot I_{R_1} \quad (3.83)$$

olur. Arızasız hattın toprağa karşı gerilimi ise

$$V_T = V_{T_0} + V_{T_1} + V_{T_2} \quad (3.84)$$

$$V_T = 3 \cdot V_{T_1} \quad (3.85)$$

bulunur.

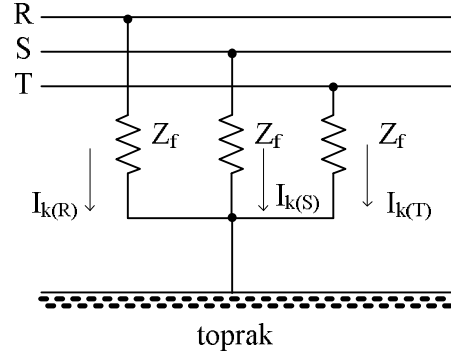
İki faz- toprak kısa devre arızasında kısa devre akımı, arıza empedansı $Z_f = 0$ alınarak, genel olarak

$$I_{k2t} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)} + \frac{Z_{(2)} + Z_{(0)}}{Z_{(0)} + Z_{(2)}}} \quad (3.86)$$

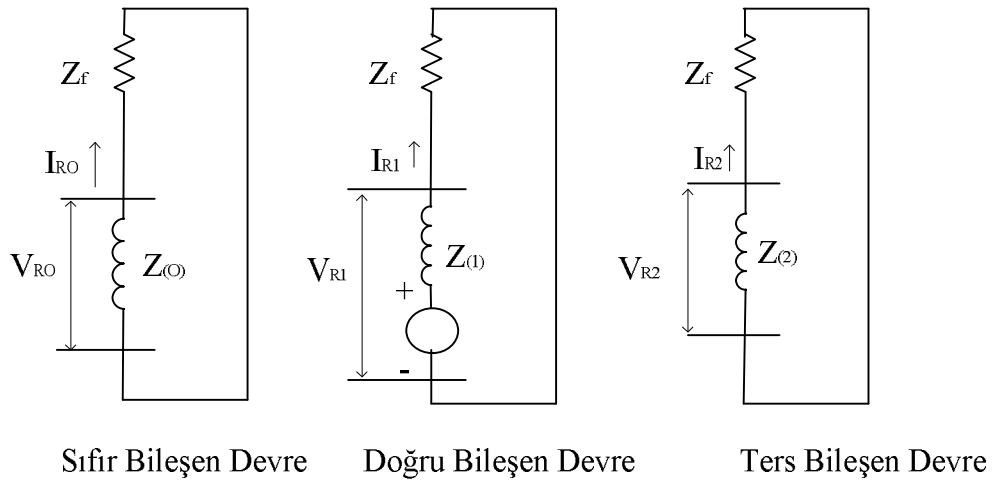
şeklinde ifade edilir.

3.4.4. Üç Faz Kısa Devresi

Üç faz kısa devre arızası; simetrik bir arıza olup, kısa devre akımları her üç fazda genlik olarak farklı olmasına karşın parça olarak birbirine eşittir. Şekil 3.17 'de bir noktada üç fazlı simetrik kısa devre arızasının genel görünümü verilmekte olup, Z_f kısa devre empedansını göstermektedir. Üç fazlı kısa devre arızasında yıldız noktasının toprağa bağlı olması veya olmaması ya da bir direnç veya reaktansa bağlı olması kısa devre akımının büyüklüğü üzerinde bir etki yapmaz. Bu arıza türü a-b-c veya a-b-c-g olarak kullanılabilir. Her iki kullanımda da aynı sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 3.18 'de ise üç fazlı simetrik kısa devre arızası esnasında tesisatın doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi sadece doğru bileşen devre aktif olup, bir gerilim kaynağına sahiptir [11].



Şekil 3.17. Üç faz simetrik kısa devre arızasının genel gösterimi



Şekil 3.18. Üç faz simetrik kısa devre arızasının doğru, ters ve sıfır bileşen devreleri

Tesisat elemanlarının karakteristik değerlerine bağlı olarak, üç fazlı simetrik kısa devre arızasında R fazının doğru, ters ve sıfır bileşen akımları Şekil 3.18 'den yararlanarak

$$I_{R_1} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(f)}} \quad (3.87)$$

$$I_{R_2} = 0 \quad (3.88)$$

$$I_{R_0} = 0 \quad (3.89)$$

şeklinde elde edilir. Şayet arıza empedansı $Z_f = 0$ olursa

$$I_{R_1} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)}} \quad (3.90)$$

olur.

Üç faz simetrik kısa devre olayı dolayısıyla oluşan faz akımları sırasıyla;

$$I_{k_{3t(R)}} = I_{R_1} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(f)}} \quad (3.91)$$

$$I_{k_{3t(S)}} = a^2 \cdot I_{R_1} = \frac{V_f \angle 240^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(f)}} \quad (3.92)$$

$$I_{k_{3t(T)}} = a \cdot I_{R_1} = \frac{V_f \angle 120^\circ}{Z_{(1)} + Z_{(f)}} \quad (3.93)$$

olarak bulunur.

Bu son üç eşitlikten de görüldüğü gibi, her üç fazın kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olup, aralarındaki faz farkı 120° olarak görülmektedir. Şekil 3.18 'den görüldüğü gibi bileşen devreler empedansları üzerinden kısa devre edildiğinde

$$V_{R_0} = 0 \quad (3.94)$$

$$V_{R_1} = Z_f \cdot I_{R_1} \quad (3.95)$$

$$V_{R_2} = 0 \quad (3.96)$$

olur.

Yine simetrik bileşenlerden ve yukarıdaki sonuçlardan yararlanarak üç faz kısa devre esnasında faz gerilimleri;

$$\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ V_{R_1} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.97)$$

eşitliğinden

$$V_R = V_{R_1} = Z_f \cdot I_{R_1} \quad (3.98)$$

$$V_S = a^2 \cdot V_{R_1} = Z_f \cdot I_{R_1} \angle 240^\circ \quad (3.99)$$

$$V_T = a \cdot V_{R_1} = Z_f \cdot I_{R_1} \angle 120^\circ \quad (3.100)$$

Bu arıza tipinde her üç faz iletkenlerinden geçen kısa devre akımları mutlak değer olarak birbirine eşit olup genel olarak

$$I_{k_3} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_{(1)}} \quad (3.101)$$

şeklinde gösterilir [5].

4. BULANIK MANTIK

İlk defa Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya konulan ve günümüzde endüstriyel uygulamalarda oldukça geniş bir kullanım alanı bulunan Bulanık Mantık sistemleri, klasik yöntemlere kıyasla birçok avantajlara sahiptir. Lotfi A. Zadeh, 4 Şubat 1921 'de Azerbaycan Bakü'de doğan, 1942 'de Tahran Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinden mezun olmuştur. 1944 'de lisansüstü eğitimi için ABD 'ye giden Zadeh Massachusetts Teknoloji Enstitüsün 'den, 1946 yılında yüksek lisans derecesini almış, takiben asistan olarak girdiği Columbia Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Fakültesinde 1949 'da doktora derecesine ulaşmış, 1950 'de yardımcı doçentliğe atanmış ve 1957 'de profesörlüğe yükselmiştir.

Doğal süreçler, klasik yöntemlere daima uygun modelleme imkânı vermez. Belirsizlik ve kesinlik durumlarında daha uygun olarak kullanılabilecek başka yöntembilimler de mevcuttur. Lotfi A. Zadeh 'in ileri sürdüğü terimle esnek yöntemler (soft computing) olarak ifade edilebilecek bu grup içerisinde yapay sinir ağları, evrimsel hesaplama, olasılıkçı akıl yürütme, kaotik modelleme ve Bulanık Mantık gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntembilimler arasında bir yarışma ve karşıtlıktan çok, bir bütünleme ve tamamlama söz konusudur. Bunlar beraberce kullanıldıklarında daha etkili modeller de oluşturulabilmektedir. Bugün Bulanık sistemler çok sayıda uygulama alanlarına sahiptir.

Bulanık Mantık kesin akıl yürütme yerine yaklaşık akıl yürütmeye odaklanmaktadır. Aktivitelerin veya gözlemlerin sınırlarının iyi tanımlanmadığı, puslu olduğu durumları ifade etmektedir. İki değerli mantıkta her şey ya doğru ya da yanlıştır. Çok değerli mantıkta doğruluk derece sorunudur. Bulanık Mantıkta ise, doğruluk da dâhil her şey, ya da izin verilen her şey; bir derece sorunudur. Bulanık Mantığın temelleri ve temel bilimlere, özellikle de endüstriyel alanlara etkisi gün geçtikçe daha belirginleşmektedir.

Bulanık Mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin doğruluğunun, önermelerle, kesin yanlış ve kesin doğru arasındaki sonsuz sayıda doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak $[0,1]$ gerçel sayı aralığıyla ilişkilendirilen bir fonksiyon olarak kabulüdür. Bu, Lotfi A. Zadeh 'in bulanık kümeler üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucudur. Bulanık Mantık yaklaşık akıl yürütmenin mantığıdır.

Bu Tez çalışmasında bir iletim hattında ortaya çıkan arıza tipinin giriş değeri olarak kullanılan, değişkenler olarak Faz akımının açıları ve arıza dirençleri değerine göre arızanın simetrik arıza mı? (faz-toprak arızası, iki faz arızası, iki faz toprak arızası) Yoksa asimetrik arıza (üç faz toprak) mı? Diye tespitite bulunan Bulanık Mantık tasarımı yapılmıştır.

Sözel olarak değişik sıfat dereceleri ile ifade edilen doğruluk değerlerine sahip oluşu, örneğin; iletim hatların da en çok rastlanan arıza tipi olan faz-toprak arızası sırasında arıza öncesi ve arıza sonrası faz açıları gibi değerler baz alınarak uzman kişi deneyimlerinden elde edilen kural tablosu ile çıkarım elde edilir - ki bu belirsizlik içeren doğruluk tablolarını da beraberinde getirir - ve geçerliliği kesin değil, fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip oluşu ayırt edici özellikleridir.

Bulanık Mantığı, diğer mantık sistemlerinden ayıran en önemli özelliklerden birisi, üçüncünün olmazlığı ilkesi ve çelişmezlik ilkesi olarak adlandırılan ve diğer mantık sistemleri için önemli olan hatta temel kural denilebilecek iki özelliğin Bulanık Mantık için geçerli olamamasıdır. Bulanık Mantıkta bir önerme aynı zamanda hem doğru hem yanlış olamaz denilemez. Bu durum, doğruluğun çok değerli oluşundan ve bu çerçevede ve bağlaçlarına yüklenen anlamdan kaynaklanmadır. Bulanıklık, bir önerme ile değil arasındaki belirsizlikten kaynaklanır. Bulanık Mantığın en geçerli olduğu durumlardan birincisi incelenen olayın çok karmaşık olması, kontrolün uzman bir şekilde ve kısa sürede çözülmesi gerekliliğinin olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir. İşte bu tür bilgi kaynaklarının, olayların incelenmesinde özgün bir şekilde kullanılmasında Bulanık Mantık ilkeleri yardımcı olacaktır [12].

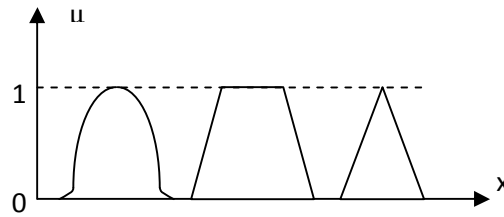
Tablo 4.1. Bulanık Mantığın genel özellikleri

1.	Bulanık Mantıkta kesin nedenlere dayalı düşünme yerine yaklaşık değerlere dayanan düşünme kullanılır.
2.	Bulanık Mantıkta her şey $[0,1]$ Aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
3.	Bulanık Mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler şeklindedir.
4.	Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tamamlanan kurallar ile yapılır.
5.	Her mantıksal sistem Bulanık olarak ifade edilebilir.
6.	Bulanık Mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

Boolean mantık tabanlı kümelerde bir nesne, kümenin ya tam elemanıdır ya da hiç elemanı değildir. Eğer üyelik değeri 0 ise elemanı değildir, üyelik “1” ise tam elemanıdır. Bunların aksine Bulanık Mantık, insanların günlük yaşantılarını taklit eder [13].

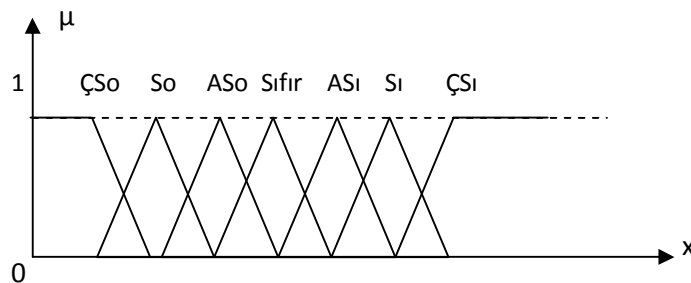
Sistemin temeli, üyelik fonksiyonlarından ortaya çıkan dilsel değişkenlerin oluşturduğu girişleri karar verme sürecinde kullanmaktır. Bu değişkenler, dilsel IF – THEN (EĞER – ÖYLE İSE) kuralların ön şartları tarafından birbirleriyle eşleşirler [14]. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik derecelerinden, durulaştırma metoduyla sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir. Bulanık sistemin kural listesi ve üyelik fonksiyonu dizaynı için genellikle uzman kişinin sağladığı bilgiler kullanılmaktadır.

Üyelik fonksiyonları Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi çan eğrisi, yamuk ve üçgen olarak kullanılmaktadırlar. Kontrol edilen sistemin özelliğine göre bunların dışında uygun bir fonksiyonda kullanılabilir [15].



Şekil 4.1: Çan eğrisi, Yamuk, Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları genellikle soğuk, sıfır, sıcak olarak 3, soğuk, az soğuk, sıfır, az sıcak, sıcak olarak 5 veya çok soğuk, soğuk, az soğuk, sıfır, az sıcak, sıcak, çok sıcak olarak 7 etiketle tanımlanılmaktadır. En yaygın 7 etiketin üyelik fonksiyonu Şekil 4.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Yedi etiketli üyelik fonksiyonu örneği

4.1. Bulanık Kümeler

Bulanık Mantıkta küme kullanımını gerekli kılan bazı durumlar vardır bunlar

1. Uygulanacak sistemde eksik veri ile çalışması mümkündür veya zorunludur, dolayısıyla çalışması bir uzman kişinin deneyimine bağlıdır.
2. Uygulamada kesin bir matematiksel modelinin elde edilmesi gerekmemektedir.
3. Sistemlerin non-lineer olması, eldeki bilgilerin eksik olması veya sistemin çok karmaşık olması gibi sebeplerden dolayı matematiksel modelin elde edilmemesi veya elde edilse bile çok karmaşık olması nedeni ile klasik yöntemlerin uygulanmasından kaçınılır.
4. Sistemin sonuçları klasik kontrol yöntemi ile elde edilen daha doğrudur ya da daha kolay veya doğrudan elde edilebilmişlerdir.
5. Bulanık kontrol sayesinde çıkarım sonucunda kararı verilecek sistemin asgari maliyette ve kısa sürede sonuçlanması sağlanmaktadır [16].

Yapılan bu durum açıklamaları sonucunda, Bulanık Mantıkta kümeye dayanan Bulanık Mantığın avantaj ve dezavantajları şöyle açıklanabilir.

Avantajları:

- Bulanık Mantık insan düşüncesine yakın olması.
- Tasarım sırasında matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaması.
- Sistem girişlerinin eksikliğine bağlı kalmaksızın sonuç elde edilebilir.

Dezavantajları:

- Uzman deneyimlerden yardım alınmasa sonuç yanlış çıkabilir bu yüzden uzman kişiye ihtiyaç duyulur.
- Sistemde sonuca ulaşabilmek için deneme yanılma yöntemi kullanıldığı için zaman kaybına yol açabilir.

şeklde açıklanabilir [18].

4.2. Üyelik Fonksiyonu Biçimleri

Bulanık Mantıkta üyelik fonksiyonları hem tercihe dayalı üyelik fonksiyonları hem de olanak dağılımları inceleme, Bulanık matematiksel programlama problemlerine yön verebilmektedir. Tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ve olanak dağılımları olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Tercihe dayalı bir üyelik fonksiyonu, tercih bilgisini karar vericiden alarak oluşturabilir. Diğer yandan olasılık dağılımının bazı yönlerden aynısı olan olanak dağılımı, olayların olası ortaya çıkışları düşünülerek oluşturulabilir [19]. Üyelik fonksiyonları oluşturmada kullanılan iki yaklaşım mevcuttur. Belitsel ve anlamsal yaklaşım, yarar kuramındaki yaklaşımlara benzeyen belitsel yaklaşım, matematiksel yapı üzerine odaklanmıştır. Anlamsal yaklaşım ise uzman yaklaşım üzerinde odaklanmıştır [20]. Bu çalışmada üyelik fonksiyonu oluşturmada anlamsal yaklaşım kullanılmıştır. Tercihe dayalı üyelik fonksiyonları ve olanak dağılımlarını oluşturmak için geliştirilmiş birçok yaklaşım mevcuttur. Uzaklık yaklaşımı, doğru değerlendirilmiş yaklaşım ve hesap yaklaşımı bu yaklaşımlardan sadece bir kaçıdır.

4.3. Üyelik Fonksiyonu Seçiminde Kullanılan Metotlar

Bulanık kümelerde, üyelik fonksiyonları çok önemli bir yere sahiptir. Bilindiği gibi, bulanık küme teorisinin iki temel özelliği vardır. Bunlardan birincisi; üyelik fonksiyonları seçiminde operatörün en uygun olanını seçmesi, ikincisi ise bulanık küme teorisinin esnek bir yapıya sahip olmasıdır. Birinci unsur dikkate alındığında; Bulanık küme teorisi gerçek bir hayat problemine uygun bir şekilde seçilmesi gerekecektir. Bir üyelik fonksiyonu iki şekilde seçilebilir. Tercih tabanlı olarak yapılan birinci şekli, ikinci şekli ise olabilirlik dağılımlı yapılan seçimdir. Bulanık küme insani özelliklere sahip şekilde davrandığı için üyelik fonksiyonlarını seçerken özel bir yapıda olmasına dikkat etmek gerekir. Bazı bilim adamları insani faktörlerin ve sözel değişkenlerin, problemin çözümüne daha fazla katılabilmesi için ölçme düzeyinin düşük olmasını isterken, diğer taraftan matematikçiler işlerinin anlamlı olabilmesi için ölçme düzeyinin yüksek olmasını istemektedirler.

4.4. Bulanık Mantık Denetleyicileri

Bazı problemlerin üstesinden gelmek ve sadece bir çözüm noktasında değil, tüm işlem aralığında iyi aralanmış bir denetleyiciye sahip olmak için son 30 yıldır yapılan çalışmalar sonucu, Bulanık denetim teknikleri geliştirilmiştir. Denetleyici sistemlerin genelinde sistem faaliyetlerini temsil eden ifadeler kontrol sistemine uygun bir şekilde olması gerekmektedir. Klasik kontrol sisteminin yapısını açıklayan bilgiler, kesin değerler halinde verilir.

Kontrol stratejisinin temelini; sisteme ait bilgilerle sistem değişiklikleri arasında ilişkiler oluşturulur. Bununla birlikte her sistemin modelini tanımlamak her zaman kolay olmayacaktır. Böylesi sistemlere klasik kontrol uygulanırsa genellikle düşük ve basit kapasiteli kontrol algoritmaları kullanılacaktır [21]. Bu yüzden sistemin davranışı istenilen durum ve ayar noktasından sapar. Kontrol sisteminde meydana gelen problemin sebebi, teori ve uygulama arasındaki uyumsuzluktur. Bunun çözümü ise, kontrol edilecek sistemde bulunan belirsizliğin uygun bir şekilde yorumlanmasında yatar. Bulanık Mantık denetleyicilerin ortaya çıkması ile bu problemlerin bazılarına, özellikle belirsizlik problemlerine yeni çözümler bulmuştur. Bulanık Mantık sezgi ve deneyime dayalı bir kontrol algoritmasıdır [22]. Bulanık Mantık denetleyiciler, klasik ve modern kontrol teorisinde olduğu gibi kesin ve tam matematik modellere ihtiyaç duymaz. Çoğu sistemde benzer model ölçümleri belirtmek oldukça zordur.

Denetimi zor olan karmaşık süreçlerde Bulanık Mantık denetimi kullanmak zorunlu hale gelmektedir [23]. Bulanık Mantık denetleyicilerle daha az bir çabayla daha iş yapılabilir. Deneyimler etkin bir şekilde kullanılarak fiziksel bir sistemin kontrolü, aşağıdaki dört unsur dikkate alınarak tasarlanır.

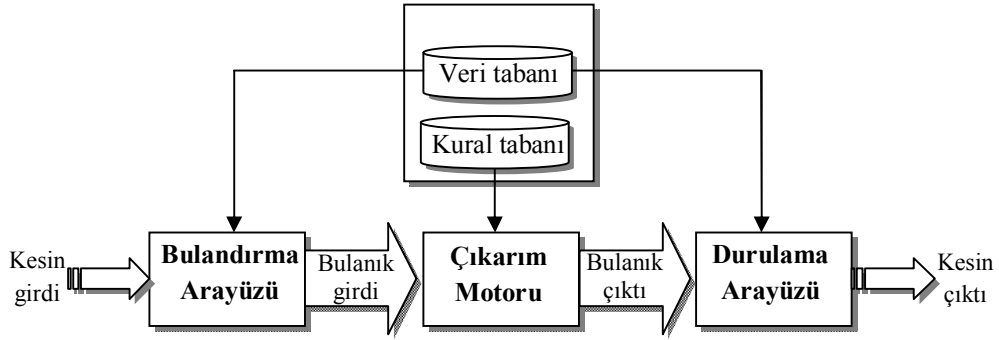
1. Mikro denetleyicilerle çıkarım işlemcisini kaskat bağlayıp beraber çalışmak,
2. Yazılım denetleyicisi kullanmak,
3. Bilgisayar tabanlı uygulamalarda ise;
 - Kural tabanı,
 - Veri tabanı,
 - Bulandırıcı,
 - Çıkarım motoru,
 - Berraklaştırıcı,

olarak yazılım kullanmak ve paralel iletişimle kontrol sistemini tasarlamak,

4. İçinde RAM, EPROM, I/O birimlerinin yanı sıra Bulandırıcı, Çıkarım motoru ve Durulatici bölümlerinde bulunduğu tüm devre şeklinde Bulanık işlemciler kullanılarak fiziksel sistemlerin kontrolünü sağlamak mümkün olacaktır [24].

Bulanık Mantık denetleyicilerin dayandığı temel nokta; uzman bir sistem operatörünün bilgi, deneyim, sezgi ve kontrol stratejisini, denetleyici tasarımında bilgi tabanı olarak oluşturmaktadır. Kontrol işlemleri bilgi ve deneyime dayanan sözel kurallarla gerçekleştirilir.

Örneğin bir uzman sistem için gerekli olan kontrol davranışlarını “yavaş”, “hızlı”, “küçük” gibi sözel terimlerle tanımlanırsa, IF-THEN (EĞER-İSE) konutlarıyla oluşturulacak kurallarda sözel terimler kullanılarak elde edilecektir. Şekil 4.3 'te bir Bulanık Mantık denetleyicinin içyapısı görülmektedir. Bu denetleyici, genel olarak beş ana kısımdan oluşur.



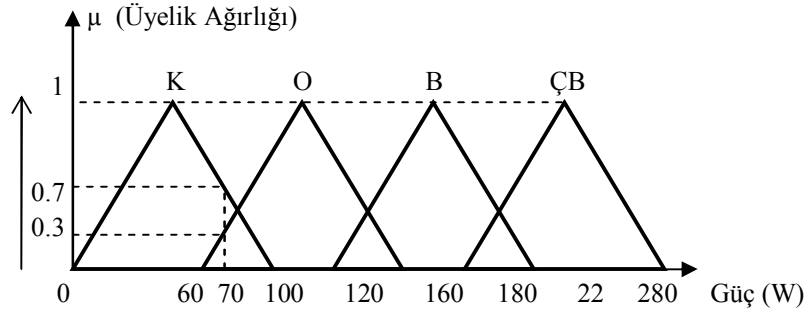
Şekil 4.3: Bulanık Mantık denetleyicinin blok diyagramı

- 1- Bulanıklaştırma ünitesi (Fuzzifier) : Bu bölüm giriş değişkenlerini ölçer, onlar üzerinde bir ölçek değişkenliği yaparak bulanık kümelerle dönüştürür. Yani onlara bir etiket vererek, dilsel bir ölçek değişikliği yaparak Bulanık Mantık kümeleri haline dönüştürür.
- 2- Çıkarım motoru (Inference Engine) : Bu bölüm, kurallar üzerinde Bulanık Mantık kurallarını uygulayarak bulanık çıkışlar verir. Burada insanın düşüncü şeklinin benzetimini yapılmaya çalışılmıştır.
- 3- Veri tabanı (Data Base) : Çıkarım motoru, kural tabanında kullanılan Bulanık kümeleri bu bölümden alır.
- 4- Kural tabanı (Rule Base) : Kontrol amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları buradan bulunur ve çıkarım motoruna verilir.
- 5- Durulaştırma (Defuzzifier) : Çıkarım motorun bulanık küme üzerine yapmış olduğu ölçek değişikliklerini, sayısal değerlere dönüştürür.

4.4.1. Bulanıklaştırma Ünitesi

Bu bölümde, sensordan alınan sayısal bilgileri bulanık formatta temsil etmektedir. Bilgilerin bulanık forma dönüştürülmesi, o büyüklüğün sıfır ile bir [0,1] arasındaki değerlerle ifade edilmesi demektir. Bir sayısal büyüklük sözel olarak ifade edilmiş olur.

Sayısal büyüklükleri bulanık forma dönüştürebilmek için ilk olarak sabit mantık kümelerinin tanımlanması gerekir. Daha sonra sabit mantık kümeleri içerisindeki her bir değerin üyelik fonksiyonları ile tanımlanması gerekir. Üyelik fonksiyonları genellikle “sıfır (SF)”, “küçük pozitif (KP)”, “küçük pozitif (KP)” gibi gruplarla temsil edilir. Giriş değerlerinin bulanık forma dönüştürülmesi Şekil 4.4 'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Giriş değerlerinin bulanık forma dönüştürülmesi

Şekil 4.4 'te güç olarak verilen bir girişin bulanık forma dönüştürülmesi gösterilmiştir. Burada “K” küçük bulanık kümesi, “O” orta bulanık kümesini, “B” büyük bulanık kümesi ve “ÇB” çok büyük bulanık kümesini temsil etmektedir. Girişten 70 W 'luk bir değer geldiğinde, bu değer bulanık formdaki yeni ismi “küçük bölgesinde üyelik ağırlığı 0.7” ve “orta bölgesinde üyelik ağırlığı 0.3” şeklinde olacaktır [25].

Oluşturulacak bir sistemde, verilen bir sayısal ifadenin üyelik ağırlığı üyelik fonksiyonları vasıtası ile gerçekleştirilir. Üyelik fonksiyonlarının tespiti oldukça önemli bir vasıta olup, hassasiyetini belirtir. Üyelik fonksiyonları tespit edilirken özel bir yöntem kullanılmaz. İlk önce dilsel olarak ifade edilecek bölgenin sınırları tespit edilmesi gerekir. Bu sistemin en kaba hassasiyetini belirtir. Daha sonraki hassasiyet ise, üyelik fonksiyonlarının şekilleriyle ayarlanır. En kullanışlı üyelik fonksiyonu elde edinceye kadar birçok deneme yapılır. Üyelik fonksiyonlarının tespiti, uzman kişinin deney tecrübeleri sonucunda elde edilir.

4.4.2. Bilgi Tabanı, Veri tabanı ve Kural Tabanı

Bulanık Mantık denetleyicilerinden bilgi tabanı kural tabanı ve veri tabanından oluşmaktadır. Kural tabanı; uzmanlar tarafında belirlenmiş, Bulanık Mantık denetleyicisinin davranışlarını tespit eden kurallarını içermektedir.

Veri tabanı ise Bulanık Mantık denetleyicisinin kurallarını ve üyelik fonksiyonlarını tanımlamaktadır. Kural tabanı, karar verme işleminde kullanılan birçok paralel kuraldan ve kontrol sistemi değişkenlerinden oluşmuştur. Bu kurallar, sistemin giriş-çıkış arasındaki mantıksal ilişkileri belirlemektedirler. Bulanık Mantık denetleyicisinin çıkış, bu kuralların değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Kurallar sistemi değişkenlerinin tanımlandığı “EĞER (IF)” ve kontrol değişkenlerinin tanımlandığı “İSE (THEN)” komutları ile oluşmaktadır.

Kural davranışı, bulanık kümelerle tanımlanmış kurallar aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{IF } X_1 ; A_1 \text{ THEN and (or) } X_2 ; A_2 \text{ THEN } U ; B_1 \quad (4.1)$$

Burada X_1 ve X_2 kontrol edilerek sistemin değişkenlerini oluşturur. U kurala ait kontrol çıkışını gösterir. X_1 , X_2 ve U değişkenlerini sırasıyla A_1 , A_2 ve B_1 Bulanık Mantık elemanlarının göstermektedir. Denklem (4.1) 'den kuralının davranışı, B_1 üyelik fonksiyonları yerine sayısal bir değer yazılabilir veya sözel bir ifade yazılabilir.

$$\text{IF } X_1 ; A_1 \text{ THEN and (or) } X_2 ; A_2 \text{ THEN } U ; 0.7 \quad (4.2)$$

veya

$$\text{IF } X_1 ; A_1 \text{ THEN and (or) } X_2 ; A_2 \text{ THEN } U ; a \text{ fazı – toprak kısa devresi} \quad (4.3)$$

denklem (4.15) 'den sistemin değişkenleri sayısal olarak girecek olursak

$$\text{IF } I_S ; 0 \text{ THEN and (or) } I_T ; 0 \text{ THEN } U ; b \text{ fazı – c fazı ve toprak kısa devresi} \quad (4.4)$$

şeklinde iletim hattındaki faz-toprak arızasının tespiti için değişkenlere göre çıkışın belirlenmesi çalışmada gösterilmektedir.

Denklem (4.1) 'deki kuralda B_1 üyelik fonksiyonu yerine $u = f(X_1, X_2)$ şeklinde sürekli bir fonksiyonda yazılabilir. Burada X_1 ve X_2 sistemin değişkenlerini göstermektedir. Kuralı temsil eden kontrol davranışı U , X_1 ve X_2 değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. U kural davranışı, sistemin içerisinde ayarlanabilen parametreler dikkate alındığında aşağıdaki gibi bulunacaktır.

$$U = d_0 + d_1.X_1 + \dots + d_n.X_n \quad (4.5)$$

Kontrol alanında yapılan uygulamalarda, kontrol çıkışı genelde singleton bir fonksiyon olarak seçilir.

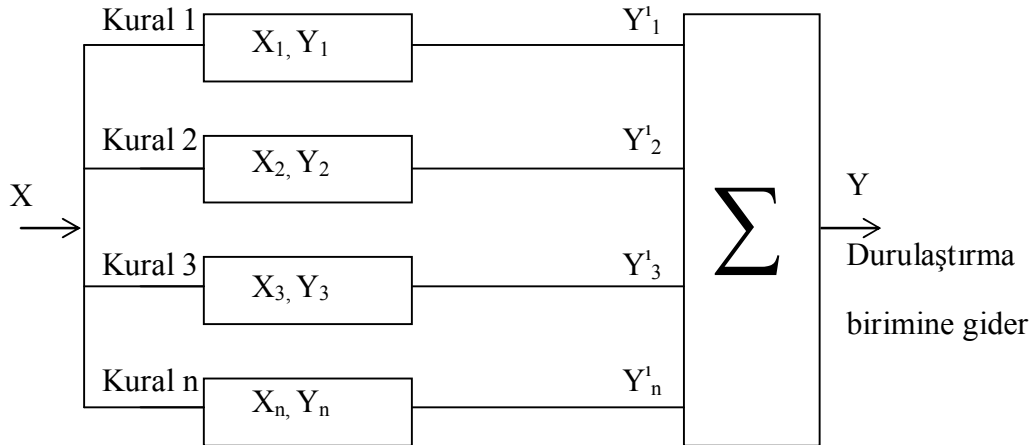
Bir Bulanık Mantık denetleyicisinde, kontrol kuralları dört farklı metot kullanılarak elde edilir.

- 1- Kontrol kuralları sistemin karakteristiklerinin Bulanık şekilde ifade edilmiş modellerden elde edilebilir.
- 2- Kontrol kuralları doğrudan doğruya uzman kişinin bilgi ve deneyiminden yararlanarak elde edilir.
- 3- Kurallar denetleyici tarafından gözetlenebilir.
- 4- Operatörünün kontrol davranışları gözlenir ve denetleyici bu davranışlardan Bulanık model oluşturur.

Tek girişli bir sistem için n adet kuraldan oluşmuş kural tabanının yapısı Şekil 4.5 'te gösterilmiştir. Burada X Bulanık Mantık denetleyicisinin girişini, Y bulanık denetleyicinin çıkışını, X_n, Y_n sırasıyla n. Kurala ait giriş ve çıkış kümelerini, Y'_n n. kurala ait bulanık denetleyici davranışını ve W_n kurallarının skaler ağırlıklarını göstermektedir.

Kuralların skaler ağırlıkları dikkate alındığında Y Bulanık çıkışı aşağıdaki gibi elde edilecektir [22].

$$Y = W_1.Y'_1 + + W_n.Y'_n \quad (4.6)$$



Şekil 4.5: Kural tabanı gösterimi

4.4.3. Çıkarım Motoru

Bu bölümde bulanıklaştırma biriminden gelen Bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde uygulayarak Bulanık sonuçlar üretmektedir.

İlk olarak, her bir giriş değerinin ne oranda hangi üyelik kümesine ait olduğu saptamaktadır. Bu değerler kural tablosuna yerleştirilerek uygun çıkışlar elde edilmektedir. Bulanık Mantık kuralları kural içerisindeki birleştiricileri anlamlarının yorumlanması ile hesaplanmaktadır. Bu kurallar çıkarım işlemi süresince genelleştirilmiş modus ponens yöntemi kullanılmaktadır. X ve Y evrenlerinde girişi A, çıkışı B ile temsil eden iki Bulanık küme tanımlansın. Bu ifadelerin oluşturduğu kural tabanı, X x Y evrenindeki bir $R_{A \rightarrow B}$ Bulanık ilişkisiyle yorumlanır. Bu şekilde verilen bir bulanık ilişki; cebrik çarpım, aritmetik kural, minimum ilişki gibi değişik yöntemler kullanılarak elde edilmektedir. $R_{A \rightarrow B}$ verilen bulanık ilişki minimum ilişki yöntemiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_R(x,y) = (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \quad (4.7)$$

“EĞER A^1 İSE B^1 ” şeklinde verilen bir kural, “EĞER A VE B” şeklindeki bir kurala uygulanırsa elde edilecek B^1 çıkışı, A^1 ise R ’nin kompozisyonu alınarak bulunmaktadır.

$$B^1 = A^1 \circ R \quad (4.8)$$

Yukarıdaki “o” işlem bir bileşimi göstermekte olup Bulanık yorumlama kuralları kullanılarak elde edilmektedir. Bu işlem, max – min yöntemiyle yorumlanırsa aşağıdaki gibi elde edilmektedir [17].

$$\mu_{B^1}(y) = \max [\mu_{A^1}(x) \wedge \mu_R(x,y)] \quad (4.9)$$

μ_R ’nin değeri (4.21) ’de yerine yazılırsa;

$$\mu_{B^1}(y) = \max [(\mu_{A^1}(x)) \wedge (\mu_A(x)) \wedge (\mu_B(y))]$$

$$\mu_{B^1}(y) = \max [\mu_{A^1}(x) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B]$$

$$\alpha = \max (\mu_{A^1}(x) \wedge \mu_A(x)) \text{ ise}$$

$$\mu_{B^1}(y) = \alpha \wedge \mu_B(y) \quad (4.10)$$

Bulanık denetleyicisi sistemlerinde n tane kural birbirine “VEYA” bağlayıcı ile bağlanır. n adet kuraldan oluşan bir kural tabanında bir çok kural aktif hale gelebilmektedir.

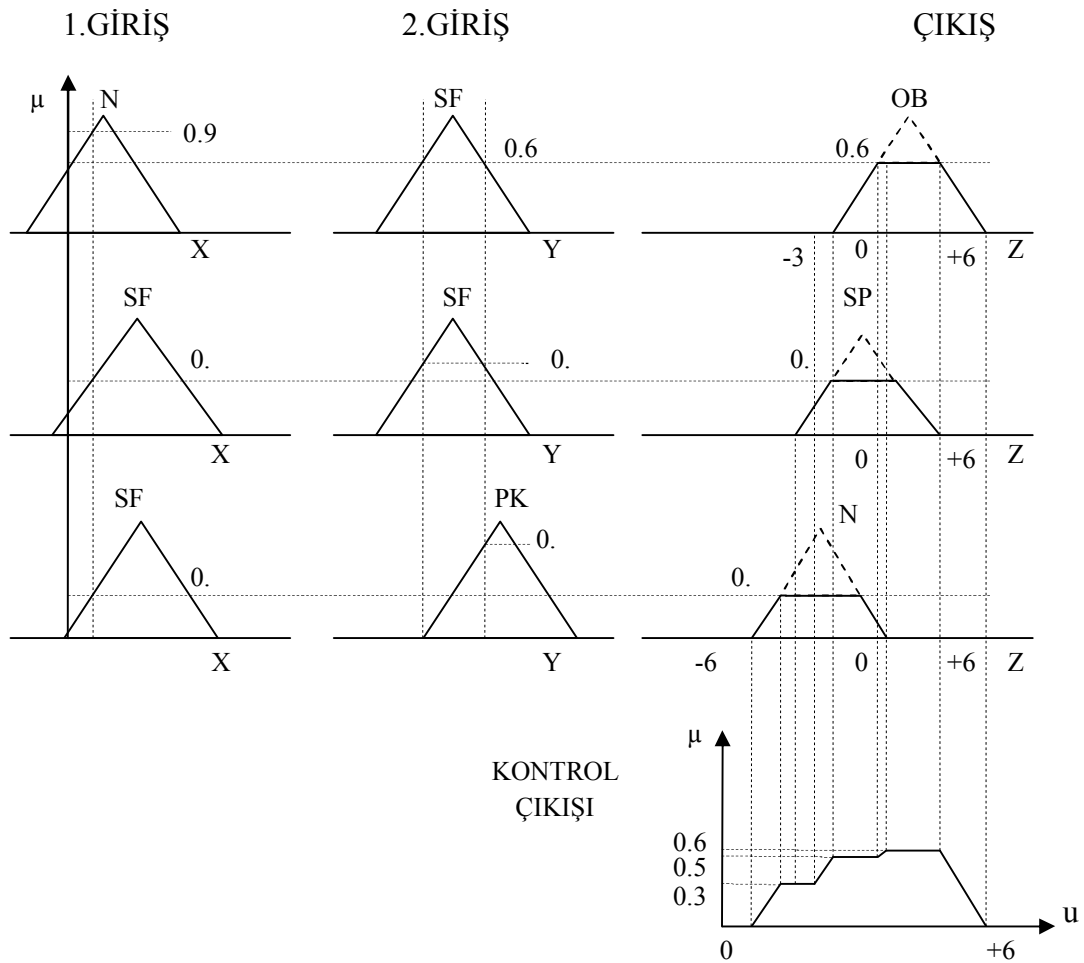
Bu durumda minimum ilişki yöntemiyle tespit edilen kurallar, kendi arasında tekrar değerlendirmeye tabi tutulmaktadır.

Minimum ilişki yöntemleri kullanılarak elde edilen çıkarım sonuçları “VEYA” bağlacı kullanılarak yorumlanmaktadır. Bulanık Mantıkta “VEYA” bağlacı max işlemine karşılık gelmektedir. İlk olarak girişler arasında minimum işlemi uygulanarak, her bir kuralın çıkış üzerinde ne kadar etkili olacağı bulunur. Sonra çıkışlar üzerinde max işlemi uygulanarak Bulanık sonuç elde edilmektedir. Eğer kurallar arasında aynı çıkışı veren kurallar mevcut ise bunların en büyüğü seçilerek diğer kurallar iptal edilmektedir. Şekil 4.6’da üç kural için bu işlemler gösterilmektedir [25].

IF A_1 ve B_1 THEN veya

IF A_2 ve B_2 THEN veya

IF A_3 ve B_3 THEN veya



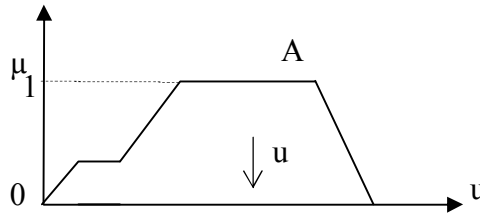
Şekil 4.6: Minimum ilişki yöntemi ile kuralların değerlendirilmesi

4.4.4. Durulaştırma Bölümü

Çıkarım ünitesinden gönderilen kontrol işaretinin sayısal bir değer haline getirilmesini sağlamaktadır. Çalışmamızda Berraklaştırıcı işlemi aşağıda kullanılan yöntem kullanarak yapmaktadır [26].

Merkez yöntemi, Şekil 4.7 'de gösterildiği gibi alan merkezi ya da ağırlık merkezinde denilen bu yöntem, çalışmamızda kullanılan yöntem olmasının yanında en çok kullanılan yöntemlerden biridir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılmaktadır [27].

$$U = \frac{\int \mu(u) \cdot u \cdot dU}{\int \mu(u) \cdot dU} \quad (4.11)$$



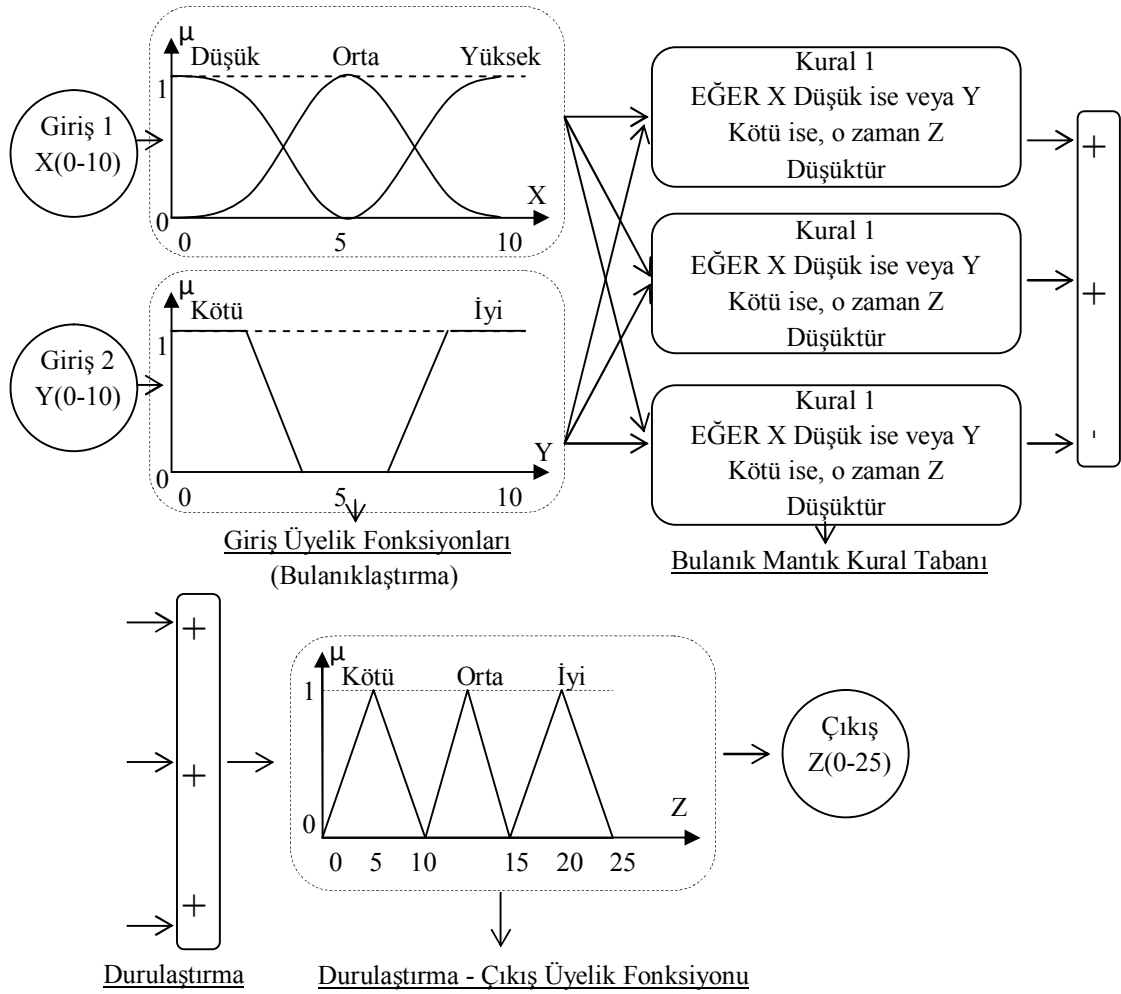
Şekil 4.7: Merkezi yöntemi ile Durulaştırma işlemi

4.5. Bulanık Mantık Denetleyici Uygulaması

Bu kontrol yöntemini sağladığı en büyük fayda insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine imkân sağlamasıdır. Böylece Bulanık Mantık sistemleri, günlük hayatta sıkça karşılaşılan belirsizlik durumlarında kullanılmaya oldukça uygun bir yapıdadır. Bu avantajları sayesinde birçok farklı alanda kullanım açısından oldukça ilgi çekici bir konuma gelmiştir [28]. Ancak Bulanık Mantık ile ilgili en önemli uygulamalar kontrol alanında yoğunlaşmaktadır [29]. Bulanık Mantık kontrolü özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan modellerdeki süreçleri değerlendirmek için oldukça uygundur [30].

Kuralların “EĞER” kısımları girişlerin bölgelerini nitelemektedir. Bir giriş, üyelik fonksiyonun derecesine göre bu bölgelere aittir. Kuralların “İSE” kısımları ise çıkış değişkenlerinin değerini belirlenmektedir. Bulanık Mantık kontrolü çıkışını elde etmek için bütün kuralları “EĞER” kısımlarına ait üyelik fonksiyonlarının derecelerinin ortalaması alınır ve üyelik dereceleri ile ağırlıklandırılır [31]. Oluşturulan kurallar, çıkışlar ve girişler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modellemekte ve kontrol işlemi, kuralların içeriğine göre bulanıklaştırma ve durulaştırma operatörleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir [32].

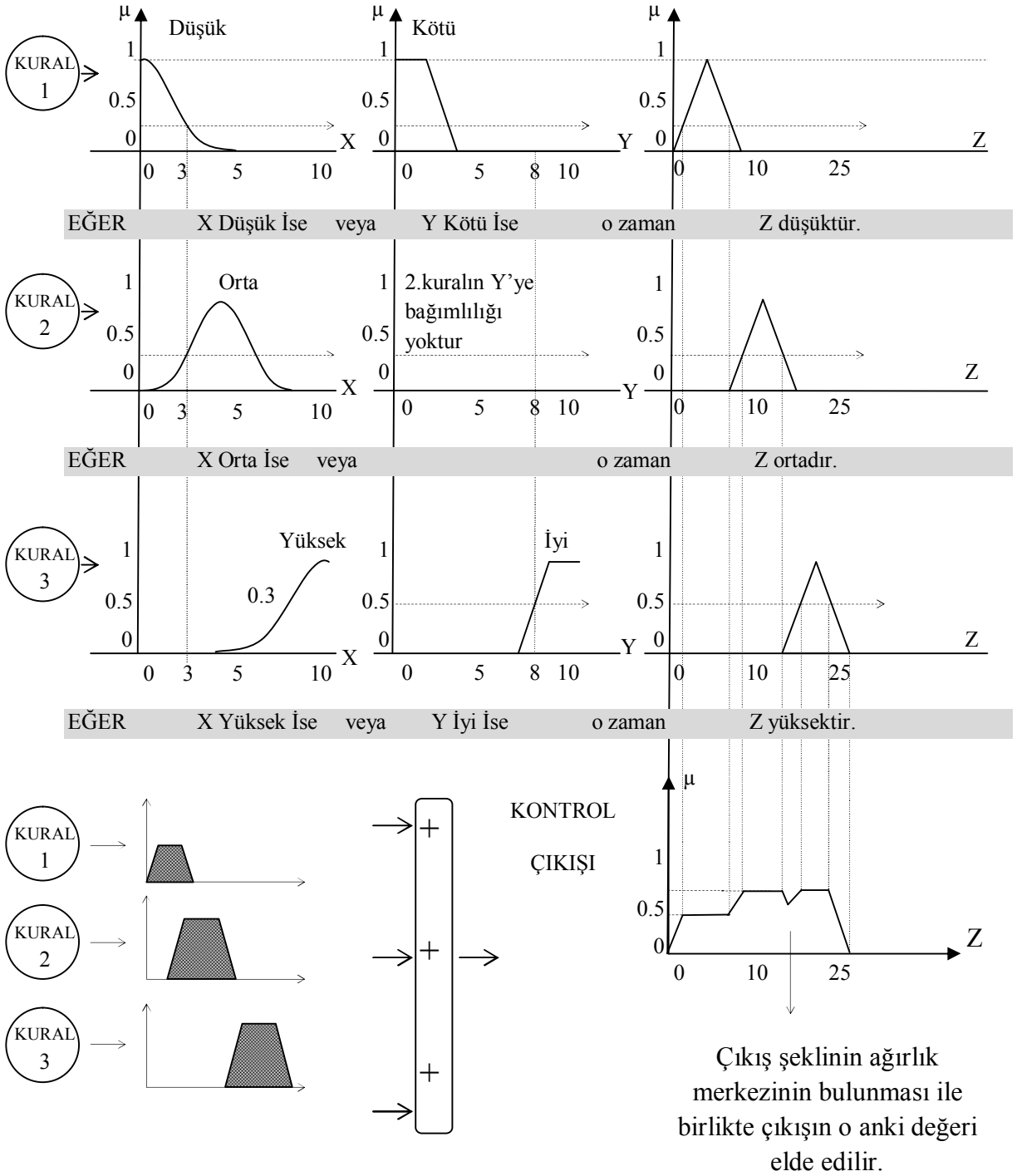
Bu açıklamalar ışığında Enerji iletim hatlarında arıza tipinin Bulanık Mantık kontrolü ile tespiti yapılmadan önce örnek bir Bulanık Mantık kontrol yapısını inceleyelim. X ve Y girişlerinin 0 ile 10 arasında, Z çıkışının ise 0 ile 25 arasında değiştiği farz edilmektedir. Basitçe oluşturulan örnek sistem için ise üç adet kural tanımlanmıştır. Bulanık Mantık diyagramının genel yapısı Şekil 4.8 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Örnek Bulanık Mantık diyagramının genel yapısı

Tasarlanan örnek Bulanık Mantık kontrolünde X girişini 3, Y girişinin 8 olduğu bir durumda çıkış değerlerinin ne olacağını ele alalım. Bu durumda $X = 3$ için X üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen noktalar ile $Y=8$ için Y girişinin üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen noktalar, Şekil 4.9 'da de görüldüğü gibi kurallar göz önüne alınarak birleştirilir. Her kural için, çıkışın üyelik fonksiyonu için bir sonuç şekli oluşur. Her kural için oluşan bu şekiller durulastırma işleminde birleştirilir ve o girişler ait çıkış şekli ortaya çıkmış olur.

Ortaya çıkan bu şeklin ağırlık merkezi; Denklem (4.11) ifadesine göre bulunarak da durulaştırma işlemi tamamlanır ve çıkışın o andaki değeri elde edilmiş olur [33]. Burada “u” çıkışın değerini, “ μ ” ise üyelik derecesini temsil etmektedir.



Şekil 4.9: Örnek Bulanık Mantık tasarımıda çıkışın elde edilişi

5. ENERJİ İLETİM HATLARINDA ARIZA TİPİNİN BULANIK MANTIK İLE TESPİTİ

Enerji iletim hatları işletmelerinden tüketicilere gerekli hizmetin devamlılığını sağlayan temel bağlantılardır. Enerji iletim hatları geniş bölgelere dağılır ve çeşitli arızalara maruz kalır. Maruz kalınan arızalara karşı iletim hatlarının korunması güç sistemlerinin korunmasında en önemli fonksiyonlardan birisidir.

Ayrıca iletim hattı, elektrik güç sistemlerinin önemli bir bileşenidir ve iletim hatlarının korunması da iletim hatlarında oluşabilecek kısa devreden dolayı sistemi dengelemek ve teçhizatlarda olacak zararı en aza indirmek için gereklidir. İletim hattı koruması üç önemli görevi kapsar. Bunlar: arızanın bulunması, arızanın sınıflandırılması ve hem arızanın yerinin tespit edilmesi hem de arızalı hattın servisten hızlı bir şekilde ayrılmasını mümkün kılar böylece sistemi arızanın zararlı etkilerinden korur. Arızanın sınıflandırılması, arızanın çeşidinin tanımlanması anlamına gelmektedir.

Bunlar:

- 1) Bir faz- toprak kısa devre çeşitleri:
 - a-g:** A fazı ile toprak kısa devresi,
 - b-g:** B fazı ile toprak kısa devresi,
 - c-g:** C fazı ile toprak kısa devresi,
- 2) Faz- faz kısa devre çeşitleri:
 - a-b:** A fazı ile B fazı arasında kısa devre,
 - a-c:** A fazı ile C fazı arasında kısa devre,
 - b-c:** B fazı ile C fazı arasında kısa devre,
- 3) İki faz – toprak kısa devre çeşitleri:
 - a-b-g:** A fazı- B fazı ve toprak arasında kısa devre,
 - a-c-g:** A fazı- C fazı ve toprak arasında kısa devre,
 - b-c-g:** B fazı- C fazı ve toprak arasında kısa devre,
- 4) Üç faz ile üç faz-toprak kısa devre çeşitleri:
 - a-b-c-g:** üç faz ve toprak arasındaki kısa devre

Sınıflandırılmış bu arıza türleri Bulanık Mantık Çıkışından elde edilen değerin karşılığında, meydana gelen arızanın hangisi olduğunu tanımlamak amacı ile kullanılmıştır.

Koruyucu röle sisteminde olduğu gibi yapılan çalışmada amaç, iletim sistemi üzerindeki arızaları gösteren anormal sinyalleri sezmek ve elde edilen verilerden arıza tipini tespit edip sistemin geri kalan bölümünü korumak ve dolayısıyla arızanın diğer parçalara geçmesini engellemektir.

Arıza sınıflandırılmasından elde edilen bilgi arızanın yeri ve ortaya çıkan arızaya müdahale yapılacağı konusunda gereklidir. Arızanın yeri oluşmuş arızanın röle noktasına uzaklığını, hızlı onarımı kolaylaştırmayı, gücün uygunluğunu ve güvenilirliğini arttırmak için arızalı hattın yeri saptanır. Arıza yeri ve uzaklık koruma sistemleri özellikle yapay zekâya dayalı sistemler, arıza sınıflandırılmasından elde edilen sonuçlardan faydalanır. Bu nedenle, yüksek güvenlikle oluşmuş arızalar hızlı ve yüksek doğru olan sınıflandırma, bu teknikler için gereklidir; örneğin arıza yerine dayalı Yapay sinir ağlarında ve uzaklık korunmasında arıza sınıflandırıcısı Yapay sinir ağlarını karşılamada önemli bir rol oynar. İletim hattı korunmasında rapor edilen diğer bir teknik ise Bulanık Mantık yaklaşımıdır.

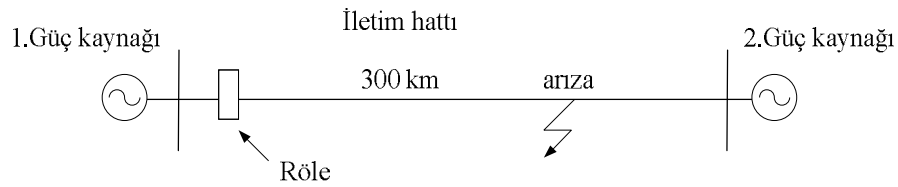
Yapay sinir ağları yaklaşımı kesin bir arızayı bulmada doğru bir yöntem olmasına rağmen (arıza direnci, arıza başlangıç durumu, arıza yeri ve sistemde arıza öncesi yük gibi) tüm arıza ve işletme koşulları daha iyi bir performans için yeterli değildir. Diğer bir taraftan Yapay sinir ağları uygulamalarındaki kullanımı gösterimi kesin bilgisinden engelleyici sayısal hesaplamalardan dolayı çok nadirdir. Bulanık Mantığın esas faydası basit bir “IF-THEN” bağıntısı kullanılarak bilgi gösterimi kesindir. Yapay sinir ağlarının kesin bilgileri görüntülemeye eksiklikleri vardır. Oysaki Bulanık Mantık öznel ve bulgusaldır. Yapay sinir ağlarına ek olarak Bulanık Mantık teknikleri arıza sınıflandırmasının planlanmasında daha basit ve daha hızlı bir metot olabilir.

Oluşan arızalar; faz toprak, iki faz toprak ve üç faz toprak arızaların temelli gösterilmiştir olabilecek bütün (10 çeşit: a-g, b-g, c-g, a-b, a-c, b-c, a-b-g, b-c-g, a-c-g, a-b-c-g) kısa devre arızası gösterilmiştir ve bu amaç için sadece üç fazın akımları kullanılmıştır. İşte bu kısıtlamalardan kaçınmak için bu çalışmada enerji iletim hatlarında en uygun arıza sınıflandırılması için Bulanık Mantığa dayalı yöntemler geliştirilmiştir [34]. Üç fazlı iki güç kaynaklı güç sistemleri üzerinde simülasyonlar uygulanmaktadır. Röle noktasındaki hat akımları ilk kez Ayırık Fourier Dönüşümleri algoritmaları kullanılarak temel frekansın dizi bileşenlerini elde ederek denenmiştir. Bu yüzden arıza boyunca ve arıza öncesi akım fazörleri boyunca dizi bileşimleri arasındaki açısal farklılıkların yanı sıra her bir fazın akım arıza fazörlerine bağlı büyüklükleri ve temel dizi bileşenleri arasındaki açısal farklılıklar Bulanık Mantık sisteminin girdisi olarak kullanılır.

Matlab ortamında Bulanık Mantık araç çubuğu kullanılarak bu sistem modellenmiştir. Tasarlanan bu modelin performansı birçok örnek durum kullanılarak test edilmiştir.

5.1. Güç Sistemi Modeli

Uygulanmış ve önerilmiş strateji aynı güç sistemi arasında daha yakın bir karşılaştırma düşünülmektedir. Şekil 5.1 'de üç fazlı iki güç kaynaklı bir sistem gösterilmektedir. Şekil 5.1 'de δ (delta) yük açısını ve sistem yüklenmesini temsil eder. Bu sistem arıza analizlerini gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Güç sistemi modeli

Bergeron hat modeli iletim hattı için düşünülmektedir. Tablo 5.1 'de güç sistemi parametreleri gösterilmiştir. δ (delta) farklı değerleri için arıza yeri ve R_f değeri için çok sayıda çeşitli test değişik koşullarda yapılmıştır:

- 1) Yük açısı: $\delta=10^\circ$, $\delta=20^\circ$ ve $\delta=30^\circ$
- 2) Arıza yeri: Arıza uygulanması için arıza uzaklıkları L 'nin en uzun olduğu röle noktasında $0.2L$, $0.4L$, $0.6L$ ve $0.8L$ seçilmiştir.
- 3) Arıza direnci: 0.0 , 5.0 , 25.0 ve 50.0 ohm için değişik arıza dirençleri kullanılmıştır.

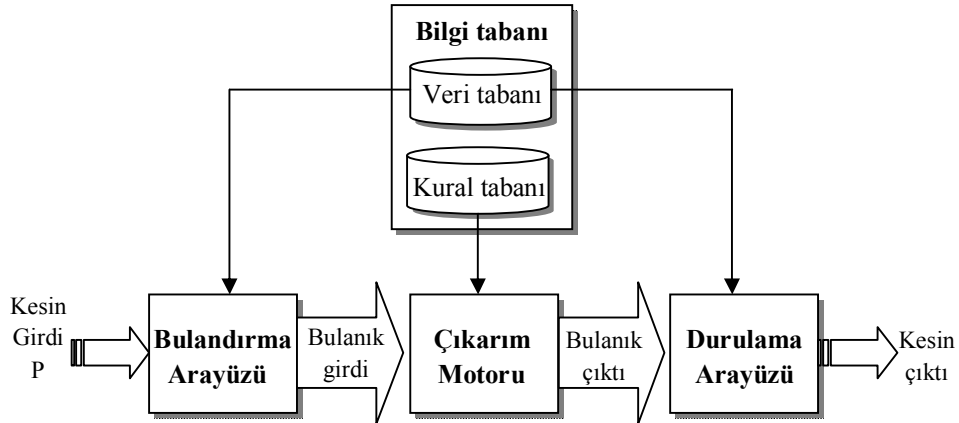
Temel frekanslarının simetrik bileşenlerinin üretiminde ayrık fourier dönüşümleri kullanıldığı için Arıza Başlangıç Açısının (ABA) simülasyon sonuçları üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Bu yüzden δ 'nın toplam $3 \times 4 \times 4 = 48$ kombinasyonları arıza yeri ve R_f (arıza direnci) arıza simülasyon çalışmaları için seçilmiştir. Bu kombinasyonların her biri için bütün 10 çeşit kısa devre arızaları iletim hattı üzerindeki herhangi bir noktaya uygulanabilir. Bu yüzden toplamda $48 \times 10 = 480$ farklı arıza simülasyon çalışmaları mümkündür.

Tablo 5.1: Güç Sisteminin parametrelerinin gösterimi

Kaynak Bilgileri	
Doğru dizi empedansı (Ω)	1,31+j15.0
Sıfır dizi empedansı (Ω)	2.33+j26.6
Frekans (Hz)	50
İletim hattı bilgileri	
Uzunluğu (km)	300
Gerilimi (kV)	400
Doğru dizi empedansı (Ω)	8.25+j94.5
Sıfır dizi empedansı (Ω)	82.5+j308
Doğru dizi kapasitesi (nF/km)	13
Sıfır dizi kapasitesi (nF/km)	8.5

5.2. Bulanık Mantığa Dayalı Arıza Sınıflandırması

Geliştirilmiş Bulanık Mantık temelli arıza sınıflandırması çalışması Şekil 5.2 'de gösterilmektedir [34]. Daha önce anlatıldığı gibi burada temel problemlerinin hiç birinin Bulanık Mantık üyelik fonksiyonları ile çakışmamasıdır. Bazı durumlarda (örneğin yüksek arıza direnci, arıza öncesi sistemin fazla yüklenmesi) girdi değişkenleri kendi bölgelerinin sınırlarını aşarlar bu yüzden girdilerin bazıları kendi özel bölgelerine girmektense diğer girdilerin özel bölgelerine girerler.



Şekil 5.2: Bulanık Mantığa dayalı arıza sınıflandırma sistemi

Bu yöntemi başarmak için sıfır fazör davranışı temel frekansın ters ve doğru dizi bileşenleri birçok simülasyonla incelenmiştir. Bu çalışmalardan sonra aşağıdaki üç fazlı akımın doğru dizi bileşenleri elde edilmiştir.

- Arıza oluşumundan dolayı, arızalı fazdaki akım fazörünün açısındaki değişim büyük negatif değere sahiptir.
- Arıza oluşumundan dolayı, sağlam fazın akım fazörünün açısının değişimi küçük negatif veya küçük pozitif değere sahiptir.

Şekil 5.2 'de gösterildiği gibi Bulanık Mantık sisteminin diğer bölümleri ile ilişkili arıza sınıflandırma şemasına dayalı Bulanık Mantığın gelişimi aşağıda anlatıldığı gibidir [35].

5.3. Bulanık Mantık sisteminin girdi değişkenlerinin gösterimi

Şekil 5.2 'de gösterilen Bulanık Mantık sistemi P noktasında olan 8 adet kesin girdi değeri vardır. Bu girdi değerlerinden 5 âdetinin arasındaki ilişkiler ve arıza çeşitleri Tablo 5.2 'de verilmiştir [34]. Bu tabloda aç₁_A, aç₁_B, aç₁_C, R_{0f} ve R_{2f} değerleri; (5.1) 'de ve (5.2) 'de gösterilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{aç}_1\text{_A} &= |\text{aç}_1(I_{a1f}) - \text{aç}_1(I_{a2f})| \\ \text{aç}_1\text{_B} &= |\text{aç}_1(I_{b1f}) - \text{aç}_1(I_{b2f})| \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \text{aç}_1\text{_C} &= |\text{aç}_1(I_{c1f}) - \text{aç}_1(I_{c2f})| \\ R_{0f} &= \frac{I_{a0f}}{I_{a1f}} \quad \text{ve} \quad R_{2f} = \frac{I_{a2f}}{I_{a1f}} \end{aligned} \quad (5.2)$$

(5.1) ve (5.2) eşitlemelerinde I_{a0f}, I_{a1f} ve I_{a2f} değerleri sıfıra denk gelmektedir, arıza noktası akımın doğru ve ters dizi bileşenleri “a” fazı ile bağlantılıdır. Bezer Şekilde, “b” ve “c” fazı için doğru ve ters dizi bileşenler sırayla I_{b1f}, I_{b2f} ve I_{c1f}, I_{c2f} olarak gösterilir.

Tablo 5.2: Arıza çeşitleri ve farklı girdi değerleri arasındaki bağıntı

Arıza tipi	aç ₁ _A	aç ₁ _B	aç ₁ _C	R _{0f}	R _{2f}
a-g	30°	150°	90°	1.0	1.0
b-g	90°	30°	150°	1.0	1.0
c-g	150°	90°	30°	1.0	1.0
a-b	30°	90°	150°	0.05	1.0
b-c	150°	30°	90°	0.05	1.0
c-a	90°	150°	30°	0.05	1.0
a-b-g	30°	90°	150°	0.5	0.5
b-c-g	150°	30°	90°	0.5	0.5
c-a-g	90°	150°	30°	0.5	0.5
a-b-c-g	-	-	-	0.05	0.05

Bulanık Mantık sisteminin diğer üç girdisi aşağıda tanımlanan üç faz akımın fazörlerinin temel bileşenlerinin faz açılarının değişimidir.

$$\begin{aligned}\text{delta_A} &= \text{açı_syt}(I_{a1f}) - \text{açı_syt}(I_{a1pf}) \\ \text{delta_B} &= \text{açı_syt}(I_{b1f}) - \text{açı_syt}(I_{b1pf}) \\ \text{delta_C} &= \text{açı_syt}(I_{c1f}) - \text{açı_syt}(I_{c1pf})\end{aligned}\tag{5.3}$$

Burada; I_{a1f} ve I_{a1pf} değerleri, arıza boyunca akımın dizi bileşenin fazörünü ve sırasıyla arıza öncesi “a” fazı için kullanılmaktadır. Benzer olarak “b” ve “c” fazları için olan arıza noktası ve arıza öncesi akımlar sırayla I_{b1f} , I_{b1pf} ve I_{c1f} , I_{c1pf} olarak kullanılmaktadır. (5.3) ’de eşitliğinde olan operator “açı_syt” ’nin her zaman saat yönünün tersi yönde hesaplanacağı göz önünde bulundurulmalıdır. (5.3) eşitliğinde verim alınan üç girdi ve arıza çeşitleri arasındaki ara bağlantı Tablo 5.3 ’te gösterilmiştir.

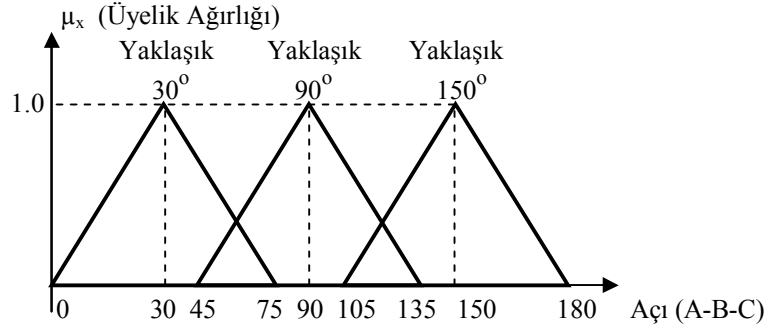
5.4. Bulanık Mantık Sisteminin Üyelik Fonksiyonlarının Gösterimi

Tablo 5.2 ’de gösterilen, Bulanık girdi değişkenlerinin değişik miktardaki üyelik fonksiyonlarıyla uyuşan Bulanık Mantık sisteminin önce gelen değişkenleri, sırasıyla aç1_A, aç1_B, aç1_c ve R_{0f} , R_{2f} ’nin belirtildiği Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 ’te gösterilmiştir. Şekil 5.2 ’te gösterildiği gibi, “yaklaşık olarak 30°”, “yaklaşık olarak 90°” ve “yaklaşık olarak 150°” değerlerini gösteren üçgensel Bulanık Mantık üyelik fonksiyonları, bütün bilgi ve sonuç gösterimleri analiz edilerek örtüşmenin değerinin 30° olarak dikkate alınmıştır.

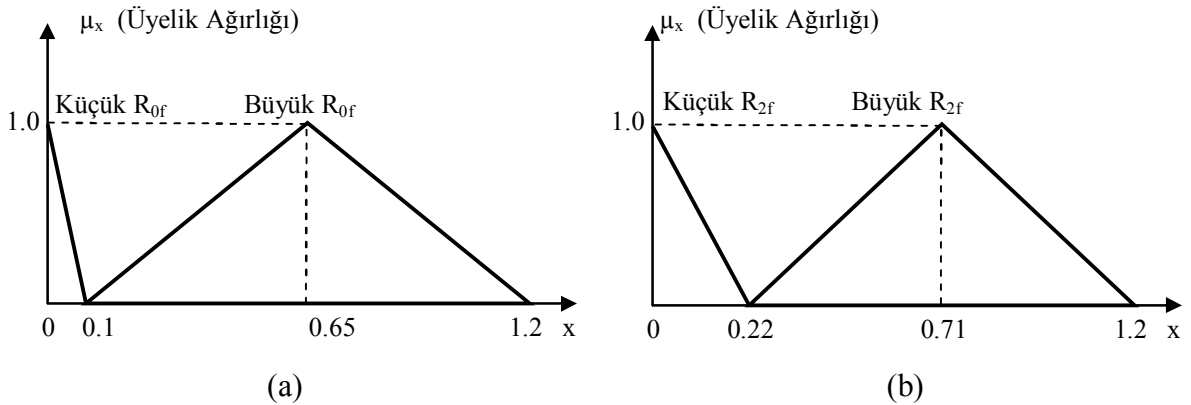
Tablo 5.3: Arıza çeşitleri ve tasarlanan girdi değerleri arasındaki bağıntı

Arıza tipi	delta_A	delta_B	delta_C
a-g	Büyük Negatif	Küçük	Küçük
b-g	Küçük	Büyük Negatif	Küçük
c-g	Küçük	Küçük	Büyük Negatif
a-b	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Küçük
b-c	Küçük	Büyük Negatif	Büyük Negatif
c-a	Büyük Negatif	Küçük	Büyük Negatif
a-b-g	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Küçük
b-c-g	Küçük	Büyük Negatif	Büyük Negatif
c-a-g	Büyük Negatif	Küçük	Büyük Negatif
a-b-c-g	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Büyük Negatif

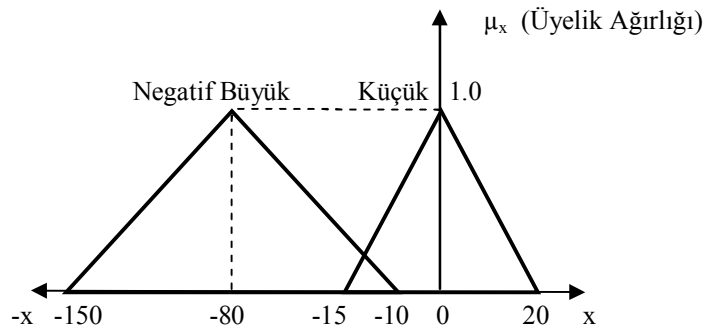
Ayrıca, Tablo 5.3 'de gösterilen diğer önerilmiş üç girdi değişkenlerinin değişik miktardaki karşılıklı üyelik fonksiyonları, δ_A , δ_B ve δ_C için Şekil 5.5 'te gösterilmiştir. Bu üç değişkenin, işletme koşulunun değişmesi ile değişen çeşitlerini bulmak için farklı bileşenlerini arıza yerlerinin altında çok sayıda arıza çalışması gerçekleşmiştir. R_f , δ ve Arıza Başlangıç Açısının (ABA), bu üç değişkenin değerleri her arıza durumunda tek tek hesaplanmıştır.



Şekil 5.3: açı_A, açı_b ve açı_C için tanımlanan Bulanık değişkenleri ve üyelik fonksiyonları



Şekil 5.4: (a) R_{0f} ve (b) R_{2f} için Bulanık değişkenleri üyelik fonksiyonları



Şekil 5.5: δ_A , δ_B ve δ_C için Bulanık değişkenleri üyelik fonksiyonları

Değişkenleri, bulanık değişkenlerde olduğu gibi ifade etmek için, Arıza çeşitlerinin her biri, Şekil 5.6 'da gösterilen bir ondalık rakama eşit sayılmıştır. Bu şekilde eğer Bulanık Mantık sisteminin kesin çıktıları [2.5, 3.5] arasında yer alıyorsa bir “c-g” arızasının meydana geldiğini gösterir aynı şekilde;

[4.5, 5.5] arasında yer alıyorsa bir “b-g” arızasının,

[5.5, 6.5] arasında yer alıyorsa bir “b-c” arızasının,

[6.5, 7.5] arasında yer alıyorsa bir “b-c-g” arızasının,

[8.5, 9.5] arasında yer alıyorsa bir “a-g” arızasının,

[9.5, 10.5] arasında yer alıyorsa bir “c-a” arızasının,

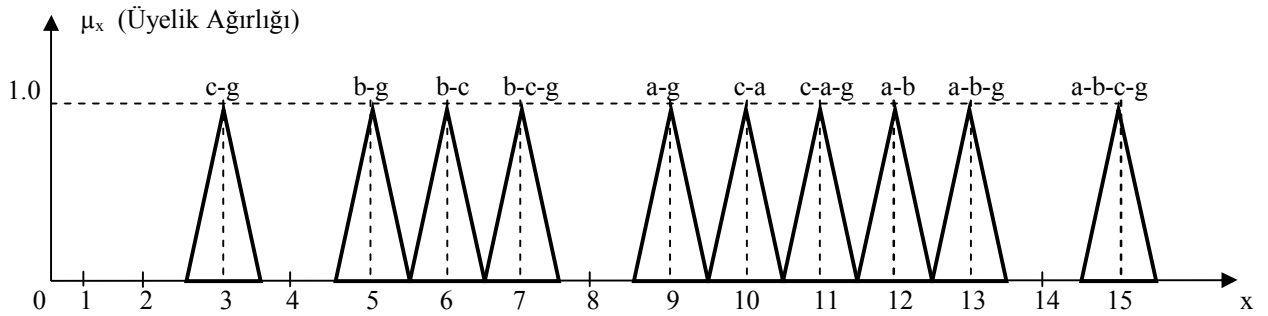
[10.5, 11.5] arasında yer alıyorsa bir “a-c-g” arızasının,

[11.5, 12.5] arasında yer alıyorsa bir “a-b” arızasının,

[12.5, 13.5] arasında yer alıyorsa bir “a-b-g” arızasının,

[14.5, 15.5] arasında yer alıyorsa bir “a-b-c-g” arızasının, meydana geldiği anlaşılabacaktır.

Şekil 5.3 'ten Şekil 5.6 'ya kadar gösterilen şekillerde gösterildiği gibi, üçlü bulanık üyelik fonksiyonlu, girdi ve çıktı miktarlarının hepsi için kullanılmaktadır.



Şekil 5.6: Bulanık çıktı değişkenlerinin gösterilmiş arıza tiplerinin sayısal aralığı

Yukarıda gösterilen Şekil 5.6 'da oluşturulmuş ondalık sayı aralığını elde etmek için ikili sayı sisteminden faydalanarak Tablo 5.4 oluşturulmuştur. Arıza tipi;

A (A fazı kısa devresi),

B (B fazı kısa devresi),

C (C fazı kısa devresi),

G (Toprak ile kısa devre) gibi 4 karakterli ikili sayı sistemi kullanılmıştır [35].

Tablo 5.4: Arıza Tipi Kodları

Arıza tipi	A	B	C	G	Değer
a-g	1	0	0	1	9
b-g	0	1	0	1	5
c-g	0	0	1	1	3
a-b	1	1	0	0	12
b-c	0	1	1	0	6
c-a	1	0	0	0	10
a-b-g	1	1	0	1	13
b-c-g	0	1	1	1	7
c-a-g	1	0	1	1	11
a-b-c-g	1	1	1	1	15

5.5. Bulanık Kural Tabanının Gösterimi

Açıklanan bölümlerde Bulanık değişkenler ayrıntılarıyla belirtilmiştir. Bulanık kural tabanı gösterildiği gibi iletim hattında oluşan bütün 10 çeşit arızayı belirtmek gerekmektedir. Tablo 5.5 'te kural tablosu gösterilmektedir.

IF aç₁_A is ... AND aç₁_B is ... AND aç₁_C is ... AND R_{0f} is ... AND R_{2f} is ... AND delta_A is ... AND delta_B is ... AND delta_C is ..., THEN arıza tipi is “....”

Şeklindeki bir “IF-THEN” kuralı uygulanarak bir tablo oluşturulur.

1. IF aç₁_A is “yaklaşık 30°” AND aç₁_B is “yaklaşık 150°” AND aç₁_C is “yaklaşık 90°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “KÜÇÜK” AND delta_C is “KÜÇÜK”, THEN arıza tipi is “a-g”
2. IF aç₁_A is “yaklaşık 90°” AND aç₁_B is “yaklaşık 30°” AND aç₁_C is “yaklaşık 150°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “KÜÇÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “KÜÇÜK”, THEN arıza tipi is “b-g”
3. IF aç₁_A is “yaklaşık 150°” AND aç₁_B is “yaklaşık 90°” AND aç₁_C is “yaklaşık 30°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “KÜÇÜK” AND delta_B is “KÜÇÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “c-g”

4. IF aç₁_A is “yaklaşık 30°” AND aç₁_B is “yaklaşık 90°” AND aç₁_C is “yaklaşık 150°” AND R_{0f} is “KÜÇÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “KÜÇÜK”, THEN arıza tipi is “a-b”
5. IF aç₁_A is “yaklaşık 150°” AND aç₁_B is “yaklaşık 30°” AND aç₁_C is “yaklaşık 90°” AND R_{0f} is “KÜÇÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “KÜÇÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “b-c”
6. IF aç₁_A is “yaklaşık 90°” AND aç₁_B is “yaklaşık 150°” AND aç₁_C is “yaklaşık 30°” AND R_{0f} is “KÜÇÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “KÜÇÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “c-a”
7. IF aç₁_A is “yaklaşık 30°” AND aç₁_B is “yaklaşık 90°” AND aç₁_C is “yaklaşık 150°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “KÜÇÜK”, THEN arıza tipi is “a-b-g”
8. IF aç₁_A is “yaklaşık 150°” AND aç₁_B is “yaklaşık 30°” AND aç₁_C is “yaklaşık 90°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “KÜÇÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “b-c-g”
9. IF aç₁_A is “yaklaşık 90°” AND aç₁_B is “yaklaşık 150°” AND aç₁_C is “yaklaşık 30°” AND R_{0f} is “BÜYÜK” AND R_{2f} is “BÜYÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “a-c-g”
10. IF R_{0f} is “KÜÇÜK” AND R_{2f} is “KÜÇÜK” AND delta_A is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_B is “NEGATİF BÜYÜK” AND delta_C is “NEGATİF BÜYÜK”, THEN arıza tipi is “a-b-c-g”

Sekiz farklı değişken girdi dikkate alınarak çıktıların belirlenmesi amacı ile yukarıda oluşturulmuş kurallar uzman kişilerin deneyimlerinden ve hesaplanmış testlerin verileri baz alınarak düzenlenmiştir.

Tablo 5.5: Bulanık Kural Tablosu

if aç ₁ _a is ...and aç ₁ _b is ...and aç ₁ _c is ...and r _{0f} is ...and r _{2f} is ...and delta_a is ...and delta_b is ...and delta_c is ... then arıza tipi is “a-g”								
aç ₁ _A	aç ₁ _B	aç ₁ _C	R _{0f}	R _{2f}	delta_A	delta_B	delta_C	Arıza tipi
30°	150°	90°	1.0	1.0	Büyük Negatif	Küçük	Küçük	a-g
90°	30°	150°	1.0	1.0	Küçük	Büyük Negatif	Küçük	b-g
150°	90°	30°	1.0	1.0	Küçük	Küçük	Büyük Negatif	c-g
30°	90°	150°	0.05	1.0	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Küçük	a-b
150°	30°	90°	0.05	1.0	Küçük	Büyük Negatif	Büyük Negatif	b-c
90°	150°	30°	0.05	1.0	Büyük Negatif	Küçük	Büyük Negatif	c-a
30°	90°	150°	0.5	0.5	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Küçük	a-b-g
150°	30°	90°	0.5	0.5	Küçük	Büyük Negatif	Büyük Negatif	b-c-g
90°	150°	30°	0.5	0.5	Büyük Negatif	Küçük	Büyük Negatif	c-a-g
-	-	-	0.05	0.05	Büyük Negatif	Büyük Negatif	Büyük Negatif	a-b-c-g

Şekil 5.2 'de gösterilen Bulanık Mantık sisteminde, Bulandırma işlemi için tek bulanıklaştırma yöntemi kullanılır. Bulanık çıkarım sistemi “Mamdani” çıkarımıdır ve Bulanık çıkarım sisteminden arıza tipinin kesin çıktısını elde etmek için bu yöntemden faydalanır. Bulanık Çıkarım sistemi uygulamak için Bulanık Çıkarım sisteminin çıktısını durulaştırma için kullanılan “Ağırlık Merkezi”, durulama yöntemi yerine sırayla mantık, içerme ve toplama için “MIN”, “MIN” ve “MAX” işlemleri kullanılır.

5.6. Test Sonuçları ve Karşılaştırmalar

Şekil 5.2 'de gösterilen Bulanık Mantık sistemi gösterimi Matlab ortamında Bulanık Mantık araç çubuğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık sistemin girdi özellikleri sadece arıza ve arıza öncesi üç faz akımının esasındaki simetrik bileşenlere dayanır. Bu yüzden Bulanık Mantık sistemi uygulamaya koymak için, bu simetrik bileşenler ayrık fourier dönüşümleri kullanılarak hesaplanır.

Önerilen arıza sınıflandırma şemasının performansını test etmek için güç sistemi modeli gösterilen bölümde çok sayıda arıza gösteriminin hesaplanmasıyla incelenmiştir. Bulanık Mantığa dayalı önerilen arıza sınıflandırma örnekleri şeması Tablo 5.6 'da gösterilmiştir.

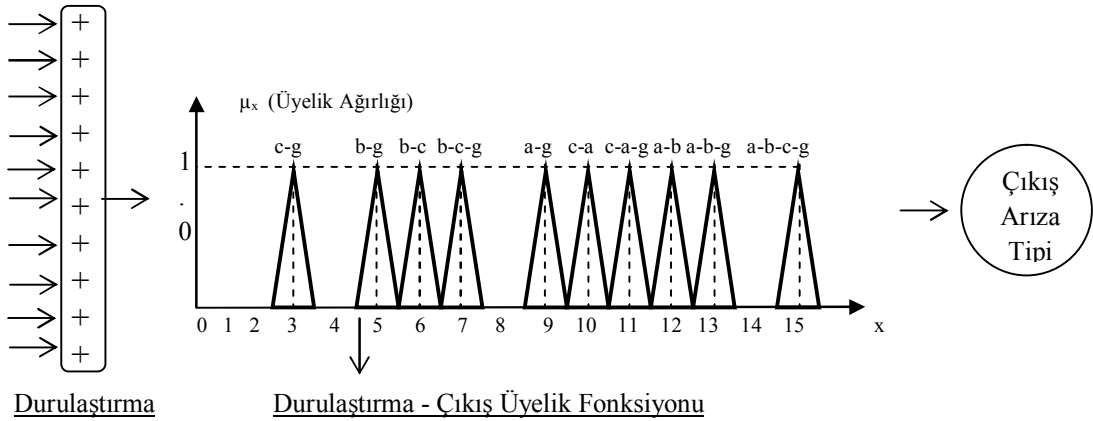
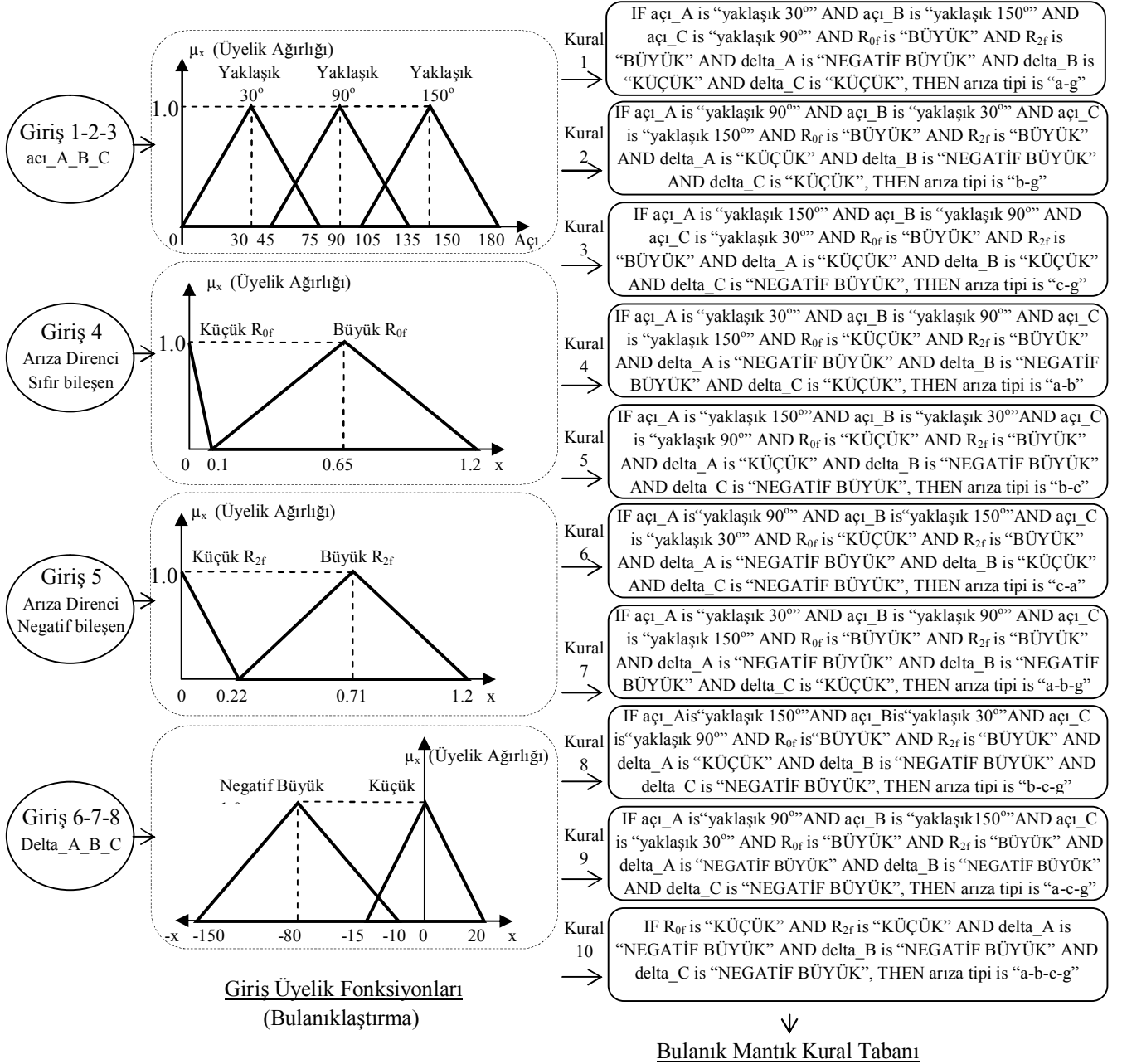
Tablo 5.6: Bulanık Mantığa dayalı önerilen arıza sınıflandırma değerleri

Arıza Mesafesi	Arızanın tipi									
	a-g	b-g	c-g	a-b	b-c	a-c	a-b-g	b-c-g	a-c-g	a-b-c-g
0.2L	9.00	5.00	2.99	12.00	6.00	10.00	13.00	6.99	11.00	15.00
0.4L	9.00	5.01	2.99	12.00	6.00	10.00	13.00	7.00	11.00	15.00
0.6L	9.00	5.04	2.96	12.00	6.00	10.00	13.00	7.00	11.00	15.00
0.8L	9.01	5.08	2.97	12.00	6.00	10.00	13.00	7.00	11.00	15.00

Bütün 480 durum doğru bir şekilde sınıflandırıldı. Bu tablo Bulanık Mantık sistemi sonuçlarından elde edilmiş kesin çıktı değişkenleri içermektedir ve bu yüzden oluşmuş arıza tipini göstermektedir. Örneğin Şekil 5.6 'da kesin çıktılar [8.5 , 9.5] arasında yer alıyorsa bir “a-g” arıza tipi gösterilecektir. Bu hesaplamalar sonucunda Bulanık Mantık tabanlı yapılan tespitte uzman kişilerin deneyimlerinden ve matematiksel hesaplamalar sonucunda elde ettiğimiz üyelik fonksiyonları Bulanık Mantık için girdi olarak kullanıp toplamda dört adet girdinin alt basamakları ile birlikte sisteme toplam sekiz adet girdi uygulanmıştır. Uygulanan sekiz adet girdi sonucunda on adet kural oluşturulmuş ve bu kurallar değerlendirilip girdilere göre arıza tipi çıktı olarak elde edilmiştir. Bu girdilerin kurallar ile denetlenip uygun çıktı olarak arıza tipinin tespiti Matlab ortamında da test edilmiş doğruluğu onaylanmıştır.

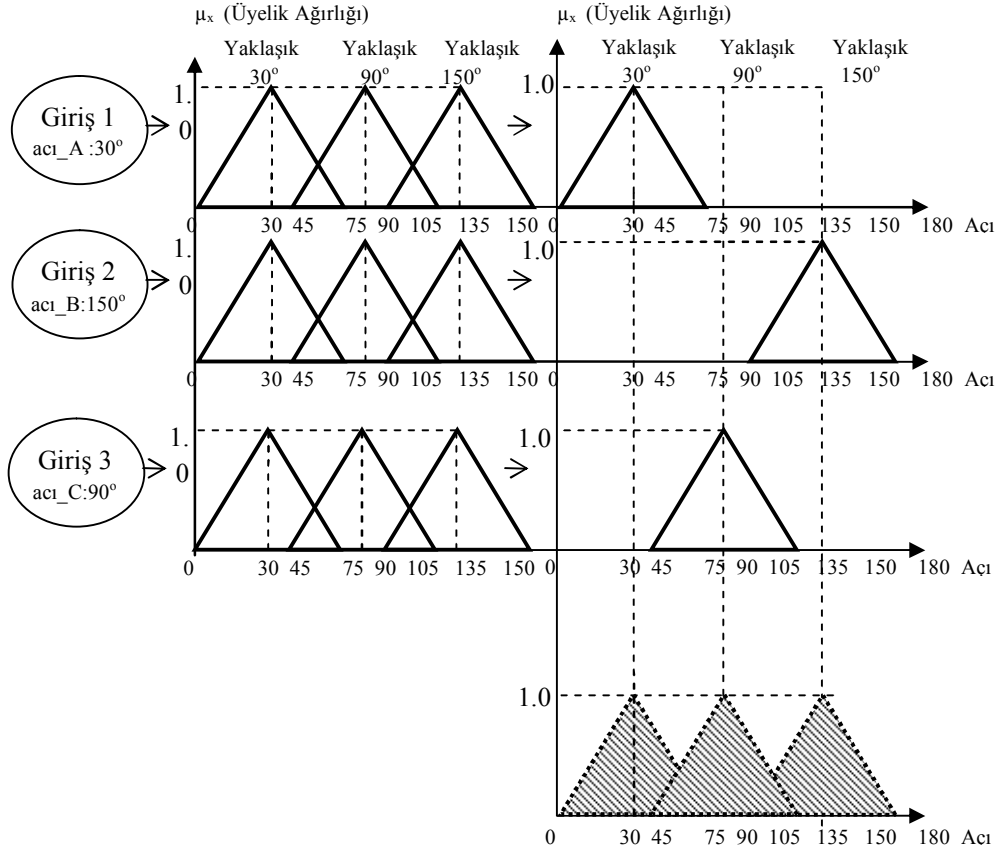
Elde tanımlanmış girdiler dikkate alınarak örnek bir hesaplama yapacak olursak; Şekil 5.7 'de gösterildiği gibi, bulandırma işlemi için üyelik fonksiyonları belirlenmiş sekiz farklı girdinin uygulandığı ve kural tablosunda belirlenmiş on farklı kuraldan geçerek durulama işleminden çıkış olarak elde ettiğimiz arıza tipi,

- Birinci işlem “AND” için “MİN” operatörü,
- İkinci işlem “İMA” için “MİN” operatörü,
- Üçüncü işlem “TOPARLAMA” için “MAX” operatörü,
- Dördüncü işlem “DURULTUCU” için “Ağırlık Merkezi” yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir



Şekil 5.7: Arıza tipini tespit eden Bulanık Mantık sisteminin işleyiş şeması

Bulanık Mantık sistemi için Şekil 5.7 'de gösterildiği gibi, yapılmış çalışmada girdilerin üyelik fonksiyonları dikkate alınarak “AND” işlemi için “MIN” operatörü uygulanırsa Şekil 5.8 'de gösterilen sadece A-B-C faz açıları için üyelik değerlerinin sonuç elde edilmiştir.



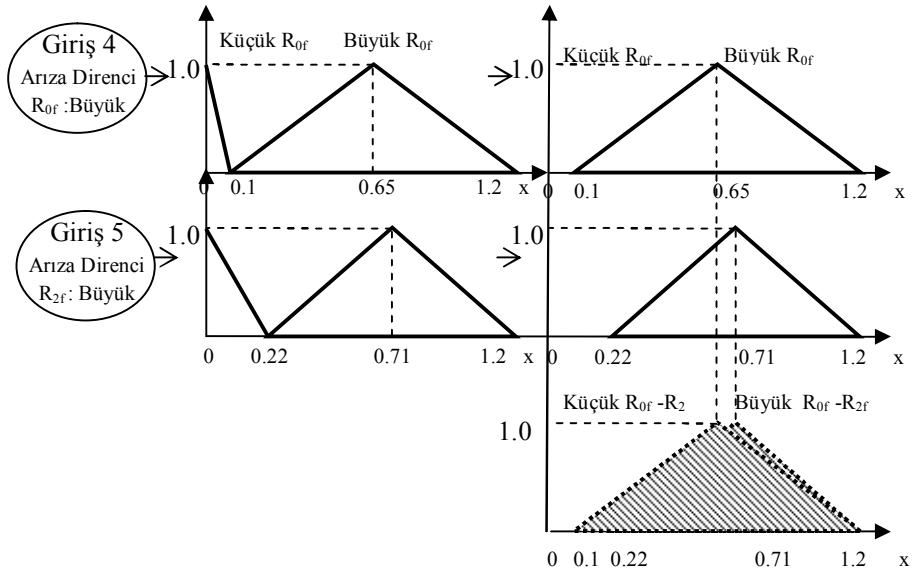
Şekil 5.8: A-B-C faz açıları için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları

Bulanık Mantık girdilerinden ilk üç adeti Şekil 5.8 'de gösterilmiştir. Diğer iki adet girdi ise arıza dirençleri olarak belirlenmiş ve bu girdi değerleri de (5.2) 'de hesaplanmıştır. Dördüncü ve beşinci girdi olarak kullanılacak arıza direncinin sıfır bileşeni ve ters bileşeni olarak iki farklı girdi kullanılmıştır.

Kullanılmış bu girdiler arıza direncinin sıfır bileşeni için; 0-0.1 değeri arasında KÜÇÜK, 0.1-1.2 değerleri arasında ise BÜYÜK olarak atanmıştır. Benzer şekilde arıza direncinin ters bileşeni için; 0-0.22 değeri arasında KÜÇÜK, 0.22-1.2 değerleri arasında ise BÜYÜK olarak atanmıştır.

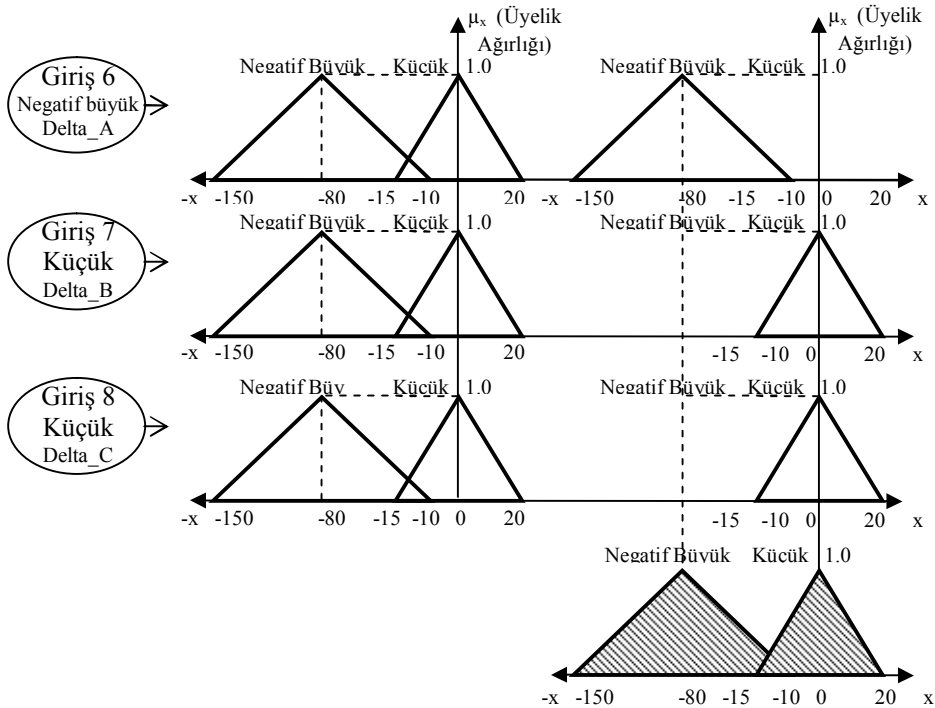
Arıza direncinin her iki bileşeni için girdi değerlerinin üyelik fonksiyonlarına göre “AND” işlemi için “MIN” operatörü uygulanırsa Şekil 5.9 'da gösterilen sonuç elde edilir.

Uygulanmakta olan girdilerin üyelik değerleri kural bir için dikkate alınmaktadır.



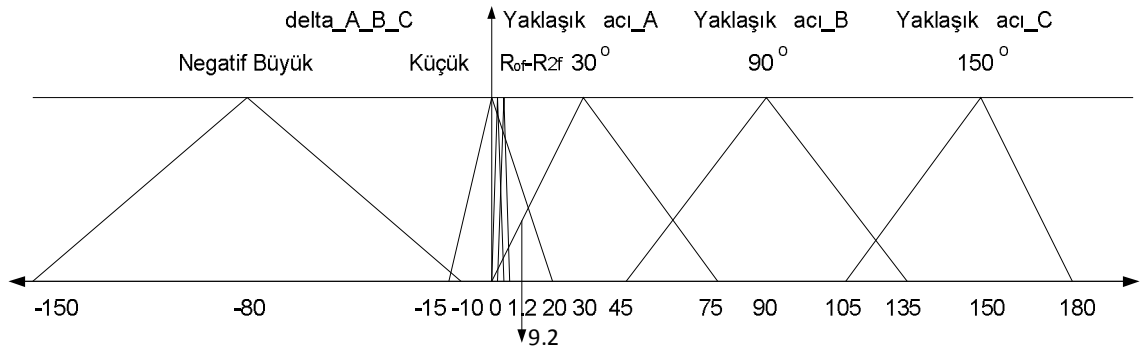
Şekil 5.9: Arıza dirençleri için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları

Bulanık Mantık sistemi için son olarak kullanılacak girdiler olarak delta diye tanımlanmış üç faz akımın fazörlerinin temel bileşenlerinin faz açılarının değişimidir. Bunlar, A fazı için; delta_A, B fazı için delta_B, C fazı için ise delta_C olarak (5.3) gösterildiği gibi hesaplanmış ve bu şekilde tanımlanmıştır. Her üç bileşeni için girdi değerlerinin üyelik fonksiyonlarına göre “AND” işlemi için “MIN” operatörü uygulanırsa Şekil 5.10 ’da gösterilen sonuç elde edilir.



Şekil 5.10: Üç faz açısının değişimi için üyelik değerlerinin elde edilmiş sonuçları

Şekil 5.8 'de gösterilmiş A-B-C faz açıları için üyelik değerleri, Şekil 5.9 'da gösterilmiş arıza dirençleri için üyelik değerleri ve Şekil 5.10 'da gösterilmiş üç faz açısının değişimi için üyelik değerleri sonucunda ikinci işlem “İMA” için “MİN” operatörü, üçüncü işlem “TOPARLAMA” için “MAX” operatörü kullanıldıktan sonra dördüncü işlem “DURULTUCU” için “Ağırlık Merkezi” yöntemi kullanılarak Şekil 5.11 'de gösterildiği gibi ağırlık merkezi sonucu elde edilmiş ve çıktı oluşmuştur.



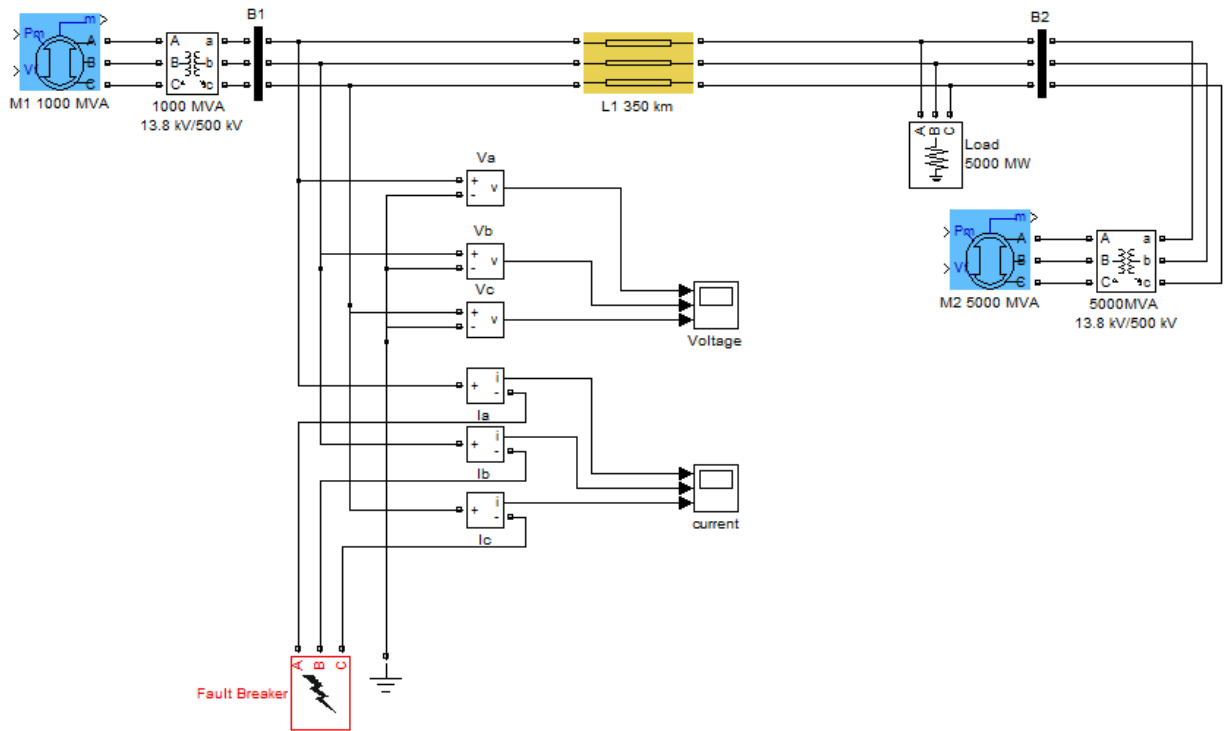
Şekil 5.11: Ağırlık merkezi yöntemi ile çıktının elde edilmesi

Şekil 5.11 'de gösterilmiş ağırlık merkezi yönteminde çıkış hesaplanırken (4.11) 'de gösterilmiş olan denklem kullanılmaktadır. Bu denklemden;

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\int \mu(u) \cdot u \cdot du}{\int \mu(u) \cdot du} \\
 &= \frac{\int_{-150}^{-10} \left(\frac{u+150}{70}\right) u \cdot du}{\int_{-150}^{-10} \left(\frac{u+150}{70}\right) du} + \frac{\int_{-10}^{-80} \left(\frac{u+10}{-70}\right) u \cdot du}{\int_{-10}^{-80} \left(\frac{u+10}{-70}\right) du} + \frac{\int_{-15}^0 \left(\frac{u+15}{15}\right) u \cdot du}{\int_{-15}^0 \left(\frac{u+15}{15}\right) du} \\
 &+ \frac{\int_{0.1}^{0.65} \left(\frac{u-0.1}{0.52}\right) u \cdot du}{\int_{0.1}^{0.65} \left(\frac{u-0.1}{0.52}\right) du} + \frac{\int_{0.65}^{1.2} \left(\frac{u-0.1}{0.55}\right) u \cdot du}{\int_{0.65}^{1.2} \left(\frac{u-0.1}{0.55}\right) du} + \frac{\int_{0.22}^{0.71} \left(\frac{u-0.22}{0.49}\right) u \cdot du}{\int_{0.22}^{0.71} \left(\frac{u-0.22}{0.49}\right) du} \\
 &+ \frac{\int_{0.71}^{1.2} \left(\frac{u-0.22}{0.49}\right) u \cdot du}{\int_{0.71}^{1.2} \left(\frac{u-0.22}{0.49}\right) du} + \frac{\int_{17}^{30} \left(\frac{u-11.4}{13}\right) u \cdot du}{\int_{17}^{30} \left(\frac{u-11.4}{13}\right) u \cdot du} + \frac{\int_{30}^{60} \left(\frac{u+10}{40}\right) u \cdot du}{\int_{30}^{60} \left(\frac{u+10}{40}\right) u \cdot du} \\
 &+ \frac{\int_{60}^{90} \left(\frac{u-50}{40}\right) u \cdot du}{\int_{60}^{90} \left(\frac{u-50}{40}\right) u \cdot du} + \frac{\int_{90}^{120} \left(\frac{u-08}{40}\right) u \cdot du}{\int_{90}^{120} \left(\frac{u-08}{40}\right) u \cdot du} + \frac{\int_{120}^{150} \left(\frac{u-110}{40}\right) u \cdot du}{\int_{120}^{150} \left(\frac{u-110}{40}\right) u \cdot du} \\
 &+ \frac{\int_{150}^{180} \left(\frac{u-140}{40}\right) u \cdot du}{\int_{150}^{180} \left(\frac{u-140}{40}\right) u \cdot du} = 9.2 \text{ 'dir o halde arıza a - g arızasıdır.}
 \end{aligned}$$

5.6.1. Test Sonuçları ve Karşılaştırmaların Matlab Ortamında İncelenmesi

Tasarlanmış sistemin modeli Matlab Simulink ile oluşturulmuştur. Bu model Şekil 5.12 'de gösterilmiştir. Tasarlanmış modelde iletim hatlarında oluşabilecek arızalar elle oluşturulmuş ve incelemeler yapılmıştır. 500 MVA, 13.8 kV, 60 Hz 'lik bir generatör tarafından beslenen üç fazlı bir güç sistemi modeli oluşturulduktan sonra sırasıyla; arızasız, faz-toprak, faz-faz, iki faz-toprak ve üç faz toprak kısa devre arızaları için kısa devre akımı sinyalleri alınmıştır. Alınan bu sinyaller Bulanık Mantık için birer girdi olarak kullanılmıştır.

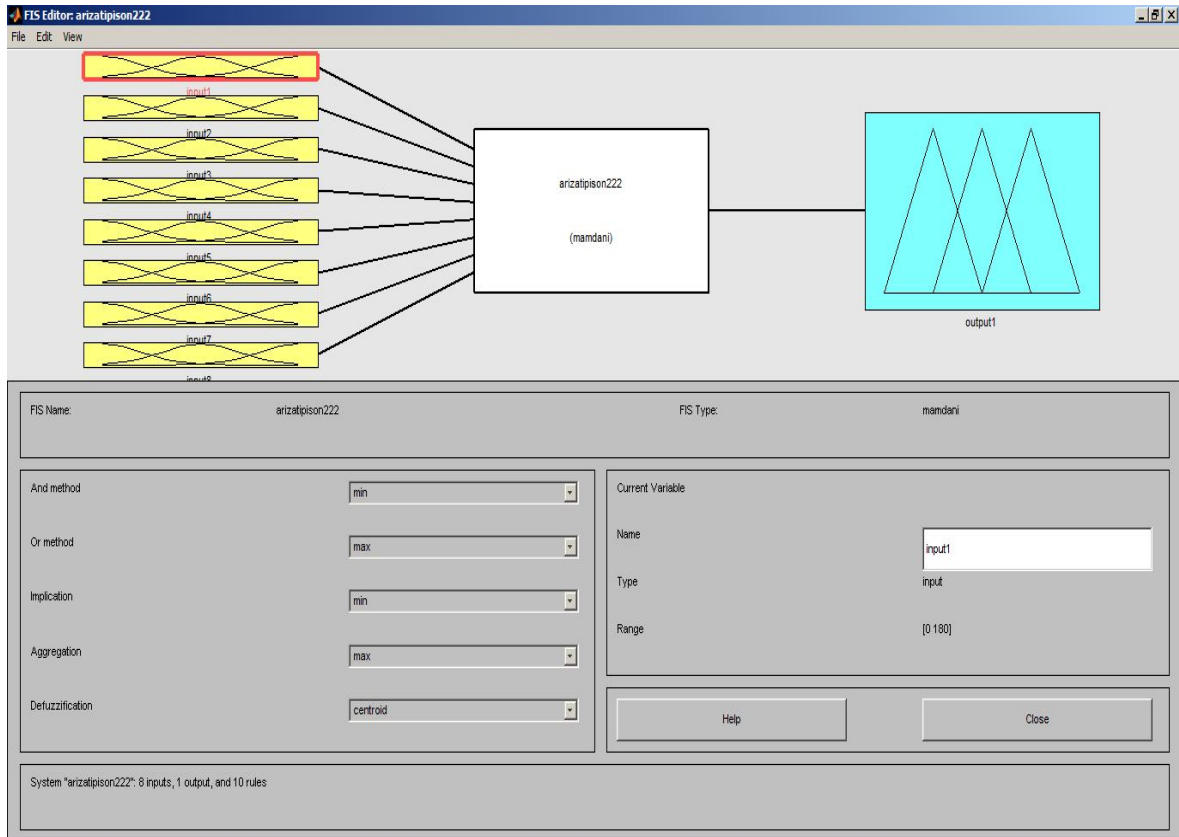


Şekil 5.12: Matlab ile hazırlanmış benzetim devresi

Arıza öncesi ve arıza sonrası A-B-C fazlarının açılırları, arıza direncinin sıfır – ters bileşeni ve arıza oluşumundan dolayı, arızalı fazdaki akım fazörünün açısındaki değişim ve arıza oluşumundan dolayı, sağlam fazın akım fazörünün açısının değişimi incelenmiş ve üyelik fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen tüm bu değişkenler Bulanık Mantık için birer girdi olarak kullanılmıştır.

5.6.2. Test Sonuçları ve Karşılaştırmaların Matlab 'ta Bulanık Mantık ile Kontrolü

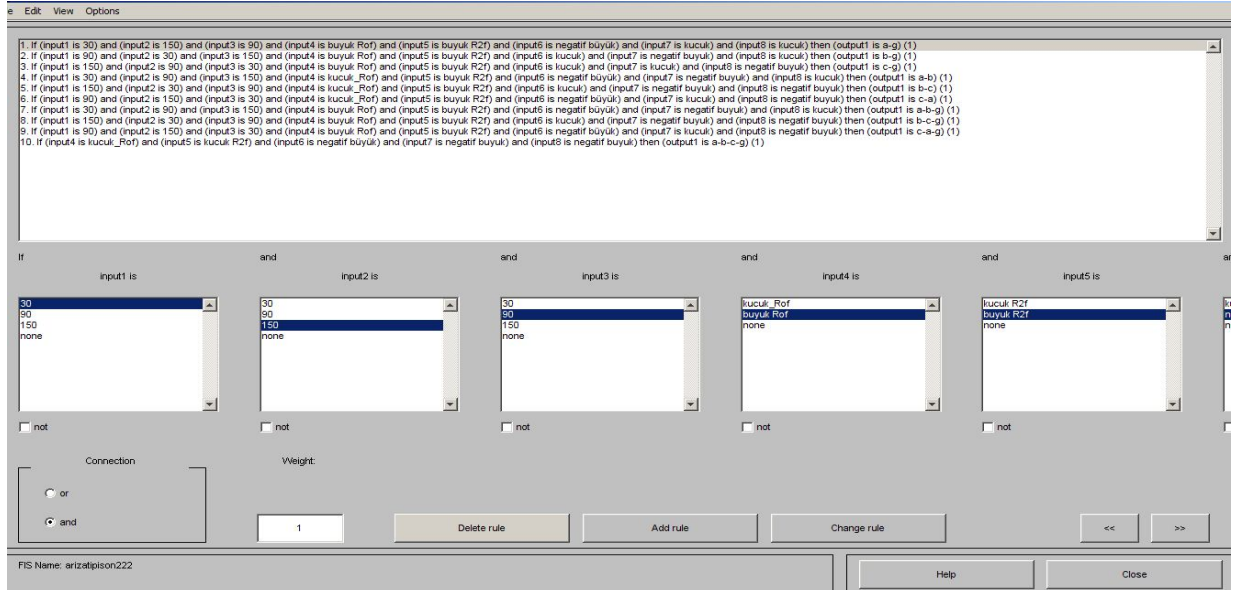
Matlab ortamında Bulanık Mantık araç çubuğu kullanılarak tasarlanmış olan Bulanık Mantık sistemi hazırlanmıştır. Daha önce yapıldığı gibi, elde edilmiş üyelik fonksiyonlarından sekiz adet girdi bulandırılıp veri tabanındaki kural tablosu ile elde edilen çıkarım durulaştırılır ve bir çıktı elde edilir elde edilen çıktı bizim arızalı hattın arıza tipini sınıflandırır. Şekil 5.13 'te Matlab ile hazırlanmış Bulanık Mantık editörü gösterilmiştir.



Şekil 5.13: Matlab ile hazırlanmış Bulanık Mantık editörü

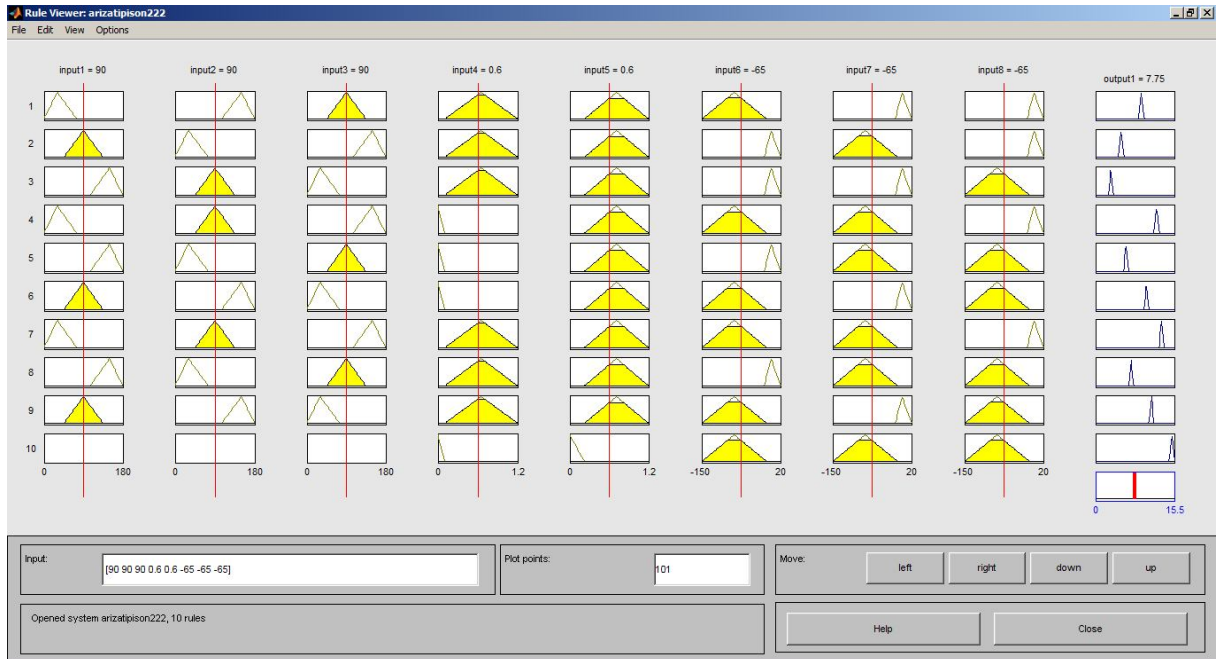
Tasarlanmış bu sistemde Bulanık Mantığın her girdisi için üyelik fonksiyonları değerleri hazırlanmıştır. Matlab ortamında hazırlanmış sistem Mamdani yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır.

Hazırlanmış üyelik fonksiyonlarından bir çıkarım elde edebilmek için on adet kural belirlenmiştir. Şekil 5.14 'te Matlab ortamında hazırlanmış Bulanık Mantık sistemi için kural editörü gösterilmiştir.



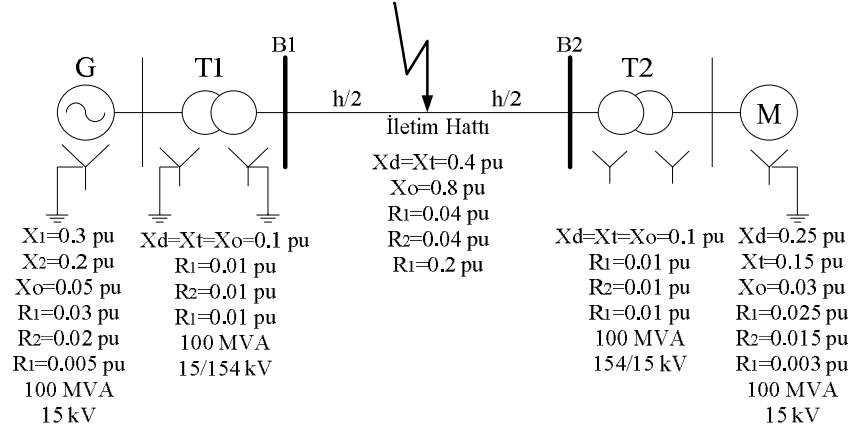
Şekil 5.14: Matlab ortamında hazırlanmış Bulanık Mantık sistemi için kural editörü

Tüm bu işlemlerden sonra çıktı olarak alınacak sonuç, Şekil 5.6 'da Bulanık çıktı değişkenlerinin gösterilmiş arıza tiplerinin sayısal aralığında bir sayısal değere denk gelecek ve sınıflandırma için kesin bir sonuç elde edilecektir. Şekil 5.15 'de Matlab ortamında Bulanık Mantık tabanlı oluşturulmuş sistemde kuralların çıkarımlarından oluşturulmuş on adet kural için on adet arıza durumu (a-g, b-g, c-g, a-b, a-c, b-c, a-b-g, b-c-g, a-c-g, a-b-c-g) için kesin çıktı olarak sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.15: Matlab ile hazırlanmış Bulanık Mantık sistemi için kuralların sonuçları

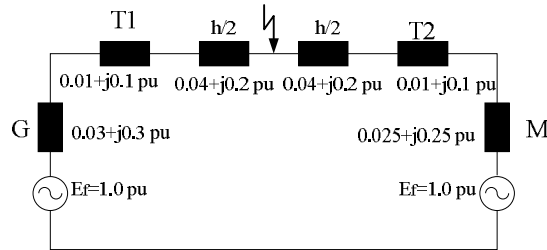
Şekil 5.16 'daki sistemde iletim hattında tek faz- toprak arızası meydana geldiğinde arıza noktasına akan akımları hesaplanmış ve Bulanık Mantık için uygunluğunu test edilmiştir.



Şekil 5.16. Güç sisteminin tek hat diyagramı

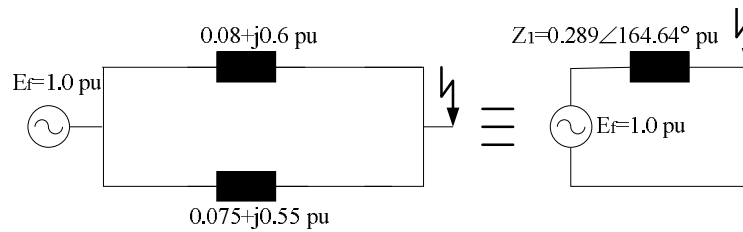
Çözüm:

Doğru dizi devresi için



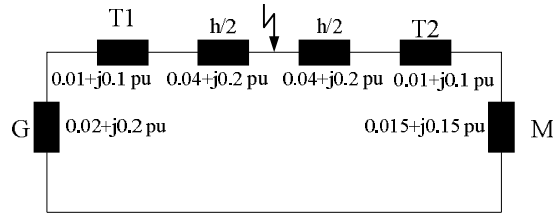
Şekil 5.17 Sistemin Doğru dizi bileşen devresi

Şekil 5.17 'nin Thevenin eşdeğer devresi Şekil 5.18 'de gösterilmiştir.



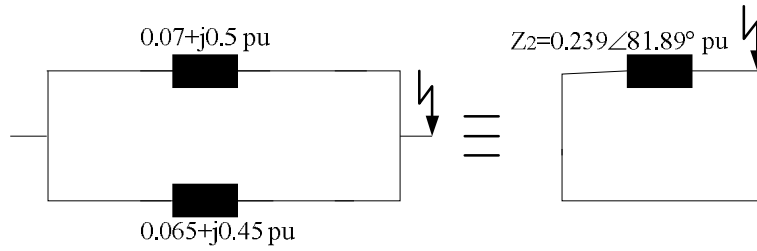
Şekil 5.18 Sistemin doğru dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi

Ters dizi devresi için



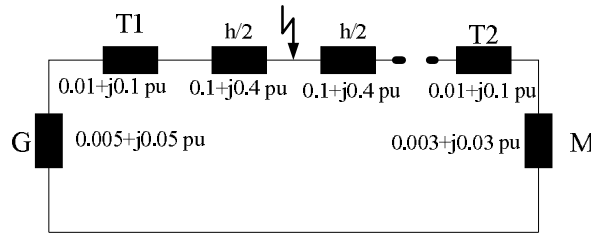
Şekil 5.19 Sistemin ters dizi bileşen devresi

Şekil 5.19 'un Thevenin eşdeğer devresi Şekil 5.20 'de gösterilmiştir.



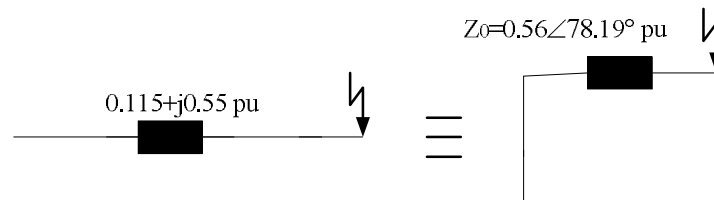
Şekil 5.20 Sistemin ters dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi

Sıfır dizi devresi için



Şekil 5.21 Sistemin sıfır dizi bileşen devresi

Şekil 5.21 'in Thevenin eşdeğer devresi Şekil 5.22 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Sistemin sıfır dizi bileşenine ait Thevenin eşdeğer devresi

Sistemin doğru, ters ve sıfır dizi bileşenleri hesaplandıktan sonra Bulanık Mantık sistemi için kullanılacak girdiler için değerler elde edilmiştir.

Arıza noktasına akan a fazı akımının simetrik bileşenleri

$$I_{a1f} = \frac{E_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = 0.92 \angle -80.1^\circ \text{ pu} \quad (5.4)$$

$$I_{a2f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \text{ pu}$$

$$I_{a0f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \text{ pu}$$

B fazı akımının simetrik bileşenleri;

$$I_{b1f} = I_{a1f} \cdot a^2 \text{ 'den} \quad I_{b1f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \cdot 1 \angle 240^\circ = 0.92 \angle 159.9^\circ \text{ pu}$$

$$I_{b2f} = I_{a2f} \cdot a \text{ 'den} \quad I_{b2f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \cdot 1 \angle 120^\circ = 0.92 \angle 39.9^\circ \text{ pu}$$

$$I_{b0f} = I_{a0f} \text{ 'den} \quad I_{b0f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \text{ pu}$$

Aynı şekilde C fazı akımının simetrik bileşenleri;

$$I_{c1f} = I_{a1f} \cdot a \text{ 'den} \quad I_{c1f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \cdot 1 \angle 120^\circ = 0.92 \angle 39.9^\circ \text{ pu}$$

$$I_{c2f} = I_{a2f} \cdot a^2 \text{ 'den} \quad I_{c2f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \cdot 1 \angle 240^\circ = 0.92 \angle 159.9^\circ \text{ pu}$$

$$I_{c0f} = I_{a0f} \text{ 'den} \quad I_{c0f} = 0.92 \angle -80.1^\circ \text{ pu}$$

Bulanık Mantık sistemi için kullanılan beş girdi Denklem (5.1) ve (5.2) verileri hesaplırsak

$$a\phi_1_A = |a\phi_1(I_{a1f}) - a\phi_1(I_{a2f})| \text{ ise } a\phi_1_A = |(-80.1^\circ - (-80.1^\circ))| = 0^\circ \text{ pu}$$

$$a\phi_1_B = |a\phi_1(I_{b1f}) - a\phi_1(I_{b2f})| \text{ ise } a\phi_1_B = |(159.9^\circ) - (39.9^\circ)| = 120^\circ \text{ pu}$$

$$a\phi_1_C = |a\phi_1(I_{c1f}) - a\phi_1(I_{c2f})| \text{ ise } a\phi_1_C = |(159.9^\circ) - (39.9^\circ)| = 120^\circ \text{ pu}$$

$$R_{of} = \frac{I_{a0f}}{I_{a1f}} = \frac{0.92 \angle -80.1^\circ}{0.92 \angle -80.1^\circ} = 1$$

$$R_{2f} = \frac{I_{a2f}}{I_{a1f}} = \frac{0.92 \angle -80.1^\circ}{0.92 \angle -80.1^\circ} = 1$$

sonuçları elde edilir.

Bulanık Mantık sisteminde kullanılan beş adet girdi elde edilir. Daha sonra Bulanık Mantık için diğer üç girdi olarak delta_A, delta_B ve delta_C tanımlanmaktadır. Bu tanım için sistemin arıza öncesi akımların açılarının bilinmesi gerekmektedir. O halde sistemin arıza öncesi faz akımları ve akımların açıları; Şekil 5.17 'deki Sistemin Doğru dizi bileşen devresinde arıza yokmuş gibi hesaplama yapılırsa;

Doğru dizi bileşeni ; $Z_1 = 0.155 + j1.15$ pu.

Ters dizi bileşeni ; $Z_2 = 0.135 + j0.95$ pu.

Sıfır dizi bileşeni ; $Z_0 = 0.228 + j1.08$ pu.

$$I_{a1pf} = \frac{E_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = 0.31 \angle -1.409^\circ \text{ pu} \quad (5.5)$$

$$I_{a2pf} = I_{a0pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \text{ pu}$$

B fazı akımının simetrik bileşenleri;

$$I_{b1pf} = I_{a1pf} \cdot a^2 \text{ 'den } I_{b1pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \cdot 1 \angle 240^\circ = 0.471 \angle 157.863^\circ \text{ pu}$$

$$I_{b2pf} = I_{a2pf} \cdot a \text{ 'den } I_{b2pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \cdot 1 \angle 120^\circ = 0.471 \angle 37.863^\circ \text{ pu}$$

$$I_{b0pf} = I_{a0pf} \text{ 'den } I_{b0pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \text{ pu}$$

C fazı akımının simetrik bileşenleri;

$$I_{c1pf} = I_{a1pf} \cdot a \text{ 'den } I_{c1pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \cdot 1 \angle 120^\circ = 0.471 \angle 37.863^\circ \text{ pu}$$

$$I_{c2pf} = I_{a2pf} \cdot a^2 \text{ 'den } I_{c2pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \cdot 1 \angle 240^\circ = 0.471 \angle 157.863^\circ \text{ pu}$$

$$I_{c0pf} = I_{a0pf} \text{ 'den } I_{c0pf} = 0.471 \angle -82.137^\circ \text{ pu}$$

elde edilen bu sonuçları denklem (5.3) 'deki değerlere göre hesaplırsak;

$$\Delta_A = \angle(I_{a1f}) - \angle(I_{a1pf}) = 0.92 \angle -80.1^\circ - 0.31 \angle -1.409^\circ = \angle -78.691^\circ \text{ pu}$$

$$\Delta_B = \angle(I_{b1f}) - \angle(I_{b1pf}) = (0.92 \angle 159.9^\circ - 0.471 \angle 157.863^\circ) = \angle 2.037^\circ \text{ pu}$$

$$\Delta_C = \angle(I_{c1f}) - \angle(I_{c1pf}) = 0.92 \angle 39.9^\circ - 0.471 \angle 37.863^\circ = \angle 2.037^\circ \text{ pu}$$

Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi sistemde a fazı ve toprak arızası sırasında akımların açıları arıza öncesi ve arıza sonrası durumları kullanılıp Bulanık Mantık için hazırlanmış olan girdiler gerçek bir sisteme uygulanmıştır. Uygulama sonucu tanımlanmış aralıklarda sonuçlar elde edilmiştir. Arıza a-g arızası için tespit edilen üyelik değerleri arasında uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Böylece Bulanık Mantık sisteminde her kural için tanımlanmış değişkenliklerde arızanın tipi kısa sürede tespit edilmiştir.

6. SONUÇLAR

Enerji akışının temelini oluşturan enerji iletim hatları Enerji üretim birimlerinden tüketicilere iletim için oluşturulan bir bağıdır. Güç sistemleri için büyük önem arz eden bu iletim hatlarında her hangi bir arızanın oluşması halinde iletim sisteminin yapısına bağlı olarak tüketicilere enerji iletiminde aksaklıklar oluşabilir. Oluşan bu aksaklıkların en önemli nedenlerinden biri iletim hatlarındaki kısa devrelerdir.

İletim hattı koruması dört önemli görevi kapsar. Bunlar; arızanın bulunması, arızanın sınıflandırılması, arıza yerinin tespit edilmesi ve arızalı hattın servisten hızlı bir şekilde ayrılmasıdır. Böylece sistem arızanın zararlı etkilerinden korunur. Enerji iletim hatlarındaki oluşan kısa devreler en kısa süre tespit edilmeli ve onarılmalıdır. Akıllı bir sistemin kontrolü altında olan bir iletim hattında, arızanın tipi en kısa sürede tespit edilecek ve kısa sürede bakım onarım ekibini arıza yerine donanımlı bir şekilde gönderilebilecektir. Böyle bir sistem için arıza esnasında bir takım değişkenler Bulanık Mantık için girdi olarak seçilmeli, bu girdilerin durumları, uzman kişilerin deneyimleri ve yapılan hesaplar sonucunda elde edilen kurallar tablosuyla kontrol edilerek durulaştırma işlemi sonucunda elde edilen kesin çıktılar iletim hattındaki arızanın tipini tespit etmelidir.

Bu çalışmada, güç sistemlerinde oluşan arızalara ait her fazın akımının simetrik bileşenlerinin arıza türüne göre değişimi dikkate alınarak faz açıları elde edilmiş, elde edilen bu her fazın arıza öncesi ve arıza sonrası değişen açıları göz önüne alınarak A fazı, B fazı ve C fazına ilişkin açısal değerler birer girdi olmak üzere kullanılmıştır. Simetrik bileşenler Ayrık Fourier Dönüşümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda Bulanık Mantık sisteminin diğer üç girdisi olarak tanımlanan üç faz akımının fazörlerinin temel bileşenlerinin faz açılarının değişimi ve arıza dirençlerinin değişimi olarak toplam sekiz girdi kullanılmıştır. Bunlar; α_A , α_B , α_C , δ_A , δ_B ve δ_C ve ayrıca R_{0f} ve R_{2f} değerleridir.

Kullanılan sekiz farklı girdinin durumları hesaplamalar sonrasında yapılan testlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak on farklı kural ile kural tablosu oluşturulmuştur. Elde edilen tablodan arıza tipleri; faz-toprak, iki faz-toprak, faz-faz ve üç faz-toprak arızalarıdır. Olabilecek bütün fazlara ait 10 çeşit arıza durumu: a-g (a fazı ve toprak kısa devresi) , b-g, c-g, a-b, a-c, b-c, a-b-g, b-c-g, a-c-g, a-b-c-g olarak gösterilmiştir.

Bulanık Mantık tabanlı arıza tipi tespit edilirken sisteminde, Bulandırma işlemi için tek bulanıklaştırma yöntemi kullanılmış. Bulanık çıkarım sistemi olarak Mamdani çıkarım sistemi kullanılmış ve Bulanık çıkarım sisteminden arıza tipinin kesin çıktısını elde etmek için bu yöntemden faydalanılmıştır.

Kullanılan yöntemler doğrultusunda çıktının sınıflandırılması esnasında ondalık sayı aralığını elde etmek için ikili sayı sisteminden faydalanarak bir tablo elde edilmiş arıza tipinin aralığı bu tabloda tanımlanan bölgeler göz önüne alınarak oluşturulmuştur.

Matlab/Simulink programı kullanılarak oluşturulan Bulanık Mantık Sistemi örnek arıza durumları için denenmiş ve arıza durumunda fazların açısal farklılıkları ile elde edilen girdilerin oluşturulmuş kurallar için tanımlanan üyelik fonksiyonlarına uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1] **Kezunoviç, M. And Peruninic, B.,** (1999) Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronic Terminology, vol 7 pp. 276-285 John Wiley.
- [2] **Arifoğlu, U.,** (2002) Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, 464s, Alfa Yayınları, İstanbul.
- [3] **Saadat, H.,** (2002) Power System Analysis, MC Graw Hill Singapore.
- [4] **Haçemanayvalyan, Ş.,** (2007) Enerji İletim Hatlarında Arıza Yerin Belirlenmesi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Küçük, S.,** (2005) Elektrik Tesislerinde Arızalar. Tüpraş İzmir.
- [6] **Özdemir, A.,** (1997) EMTP Yardımıyla Kısa Devre Akımının Dinamik Simülasyonu. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Anonim, H.,** (2005). Connection to the HV utility distribution network. Schneider Electric- Electrical Installation Guide 37.
- [8] **Çakır, H.,** (1986) Elektrik Güç Sistemleri analizi YÜ Müh. Fak. İstanbul 321.
- [9] **Arifoğlu, U.,** (2002) Güç Sistemlerinde Bilgisayar Destekli Analizi, İstanbul.
- [10] **Grainger, J.J., Stevenson, W.D.,** (1994) Power System Analysis. Mc Graw- Hill, Inc. America. 777.
- [11] **Doğruer, V.,** (2007) Elektrik Güç Sistemlerinde Mat. Sim. İle K.D.A.A YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Van.
- [12] **Zadeh, L.A.,** (1997) Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic, Fuzzy Sets and Systems, 90 111-127.
- [13] **Yager, R. R.,** (1974) A Note on Probabilities of Fuzzy Events. Inform. Sci. 18., 113-129

- [14] **Zinnernab, H.**, (1991) Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd ad, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Germany.
- [15] **Zadeh, L.A.**,(1977) Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Electronics Research Laboratory Memorandum M77/12. Barkeley: University. To Appear in Fuzzy Sets and System.
- [16] **Zadeh, L.A.,FU, K.S, TANAKA K. And SHIMURA, M.**, (1975) Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, Academic Press, New York pp.1-39.
- [17] **Khr, G.J., and Folger T.A.**, (1988) Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [18] **Kosko, B.**, (1992) Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [19] **Kaufmann,A.**, (1975) Introduction to the Theory of Fuzzy Subset, vol.1, London
- [20] **Lai, Y. J., Hwang C.L.**, (1992) Fuzzy Mathematical Programming, Springer-Verlag, Berlin.
- [21] **Pedryez, W.**, (1989) Fuzzy Control and Fuzzy Systems, Research Studies Press LTD Taunton, England.
- [22] **Baba, F.**, (1995) Triga Mark-II Reaktörünün Bulanık Kontrolü. İTÜ Doktora Tezi.
- [23] **Taşkın, H., Gümüştas, R.**, (1996) Trafik Akışı Sistemlerinde Bulanık Denetim. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 96.
- [24] **Doğueri, A.K.**, (1996) Bulanık Mantık ve Bulanık Denetleyicileri. Otomasyon Şubat 96.
- [25] **Kıray, V.**, (1997) Oda İçi Sıcaklık ve Hava Kalitesinin Mikro denetleyici ve Bulanık Mantıkla Kontrolü. G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara.
- [26] **ATACAK, İ.**, (1998) Genel Amaçlı Bir Bulanık Mantık Denetleyicisinin Tasarımı, GÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara.
- [27] **Güenal,Ü.**, (1997) Bulanık Mantık Otomasyon.

- [28] **Chen, G., Huang, C. M.,** (2008) A New Approach to Generate Weighted Fuzzy Rules Using Genetic Algorithms for Estimating Null Values, Expert Systems Applications.35:905-917.
- [29] **Leondes, C.T.,** (1998) Fuzzy Logic and Expert Systems Application, Academic Press, California, USA.
- [30] **Wang, L.X.,** (1997) A Course in Fuzzy Systems and Control , Prentice-Hall International, Usa.
- [31] **Schouten, N. J., Salman, M. A., Kheir N.A.,** (2003) Energy Management Strategies for Parallel Hybrid Vehicles Using Fuzzy Logic, Control Engineering Practice, 11(2): 171- 177
- [32] **Jeong, K.S., Lee, W.Y., Kim, C.S.,** (2005) Energy Management Strategies of a Fuel Cell/Battery Hybrid System Using Fuzzy Logics, Journal of Power Sources; 145(2):319-326.
- [33] **Chen, G., Pham, T.T.,** (2001) Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems, CRC Press, Boca Raton.
- [34] **R.N., Mahanty., P.B. Dutta Gupta.,** (2007) A fuzzy logic based fault classification approach using current samples only. Electric Power Systems Research 77 501–507.
- [35] **Razi, K., Hagh M.T., Ahrabian G.,** (2007) High Accurate Fault Classification of Power Transmission Lines Using Fuzzy Logic. The Department of Electrical and Computer Engineering, 978-981-05-9423-7 University of Tabriz, Iran.

ÖZGEÇMİŞ

25.02.1983 Yılında Batman ilinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimimi Batman 'da tamamladı. Liseyi Batman Endüstri Meslek Lisesi ve Teknik Lisesinde, Teknik Liseyi 1999 yılında bitirdi. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi bölümü 2005 mezun oldu. Vatani görevini Denizci olarak İskenderun 'da 2006 yılında kısa dönem erbaş olarak tamamladı ve evli ve bir çocuk babası.

İstanbul 'da özel bir şirkette 3 yıl elektrik teknisyeni olarak çalıştı. Halen Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik eğitimi anabilim dalında Enerji Tesisleri Bilim dalında Tezli Yüksek Lisans eğitim kademesinde okumakta. Ayrıca Batman Endüstri Meslek Lisesi ve Teknik Lisesinde Elektrik Elektronik Teknolojisi alanında iki yıldır eğitim vermekte ve Batman Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Elektronik Teknolojisi – Elektronik Haberleşme bölümlerinde alanımla ilgili dersleri okutmaktadır.