

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAÇAK AKIM RÖLELERİNİN HATALI ÇALIŞMALARINA
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

ENSAR KORKMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2015

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAÇAK AKIM RÖLELERİNİN HATALI
ÇALIŞMALARINA ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

ENSAR KORKMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. M.HAKAN HOCAOĞLU

GEBZE
2015

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION INTO
MALFUNCTIONING OF RESIDUAL
CURRENT BREAKERS

ENSAR KORKMAZ
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. M.HAKAN HOCAOGLU

GEBZE
2015



GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24./10/2015 tarih ve 2015.../...39 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 14/10/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ensar Korkmaz'ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. M. Hakan Hocaoğlu

ÜYE

: Doç. Dr. Abdulkadir Balıkçı

ÜYE

: Doç. Dr. Bahtiyar Dursun

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tezde Alçak Gerilim tesislerinde, özellikle endüstriyel sistemlerde kaçak akım rölelerinin kullanılması ile yaşanan sorunlar incelemiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Kaçak Akım Röleleri, elektrik kaynaklı kaza veya arızalarda can ve mal güvenliğinin korunması için tasarlanmış koruma elemanlarıdır. Yürürlükteki iş güvenliği yönetmeliği, topraklama tesisat yönetmeliği ve iç tesisat yönetmeliğinde kaçak akım rölelerinin kullanılması belirli kriterlere bağlanarak şart koşulmuş fakat uygulamada yaşanan sorunlar nedeniyle kaçak akım rölelerinin kullanımı özellikle endüstriyel tesislerde yaygınlaşmamıştır.

Kaçak akım koruma sistemleri, kullanım alanları, teknik gerekler ve yönetmeliklerdeki zaruretler yönüyle bu tezin ileriki bölümünde geniş bir şekilde tanıtılmış. ATP (Alternative Transients Program) programı ile devre modellemeleri yapılarak uygulama sorunlarının sebepleri araştırılmış ve çözüm önerileri oluşturulmaya çalışılmıştır. Çalışma sırasında alçak gerilim tesislerinde en sık görülen şebeke tipleri, yük ve dağıtım sistemleri modellenmiş, normal çalışma ve arıza durumları modellenerek, kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına sebep olabilecek muhtemel etkiler araştırılmıştır. Araştırmalar sırasında uygulamada yaşanan sorunların temel sebepleri olarak; hatalı uygulamalar, tesislerdeki harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kaçak Akım Rölelerinin (KAR) hatalı çalışma sebepleri, hatalı çalışmalarda dengesizlik durumu, kapastif kayıplar ve harmonikli akımların etkisi.

SUMMARY

In this thesis, low voltage installations, especially problems and solutions experienced in the use of residual current breakers (RCBs) for industrial systems have been investigated. RCBs are special protection devices which are designed for the protection of lives and property during electrical failures. Despite the fact that current national occupational safety standards and earthing on electrical installation codes enforce the use of RCBs, in practice, usage of this devices has not been wide spread, particularly, in industrial environment due to malfunctioning problems.

The usage of RCBs has been critically evaluated in terms of technical requirements and national regulations in the second chapter of the thesis. The root causes of the problems are investigated by using ATP circuit modeling program and possible solutions are proposed. The most common types of low voltage network configurations distribution systems are modeled for normal and faulted operation modes. The potential impact of RCBs, which may cause malfunctioning was investigated. As a result of the investigation, the main causes of the malfunctioning problem identified as; misapplication of the device, harmonics in the plant, conductor capacitance, filter circuits in the load side, voltage peaks due to high voltage switchgear operations, lightning, high-frequency electro-magnetic waves. Some practical remedies are also provided in the conclusion.

Key Words : Residual Current Breakers'(RCBs) malfunction causes , imbalance of the malfunction , the effect of the harmonic current and kapastif losses current.

TEŞEKKÜR

BaŐta, Yüksek Lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluŐmasının yolunu açan danıŐmanım Prof. Dr. M. Hakan Hocoaoğlu'na,

Bütün çalıŐmam boyunca, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Özgür Karacasu'ya, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve Sınırları	3
1.2. Tezin Yapısı	3
2. KAÇAK AKIM RÖLELERİ	5
2.1. Topraklama Sistemine Göre Şebeke Tipleri	5
2.1.1. TT Şebeke	5
2.1.2. TN Şebeke	8
2.1.3. IT Şebeke	10
2.2. Elektrik Çarpması	12
2.2.1 Elektrik Çarpması ve Fizyolojik Etkileri	13
2.3. Kaçak Akım Röleleri (KAR)	19
2.4. Kaçak Akım Rölelerinin Mevzuatlardaki Yeri	22
3. KAÇAK AKIM RÖLELERİNİN HATALI ÇALIŞMASI	29
3.1. Sık Karşılaşılan Hatalı Çalışma Sebepleri	29
3.2. Gerçek Tesislerde Yapılan Kaçak Akım Ölçümleri	32
4. ŞEBEKE TİPLERİNİN MODELLENMESİ VE KAÇAK AKIM HATALARININ İNCELENMESİ	36
4.1. NYY, NYFGBY Tip Kabloların Modellenmesi	36
4.2. ATP Programında TT Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Bir Faz Toprak Arızasının İncelenmesi	38

4.3. TT Sistemde Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmasına Etki eden Faktörler	41
4.3.1. TT Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli Yükte, Kablo Mesafesine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi	42
4.3.2. TT Şebekelerde, Üç Fazlı, Sistemde Yük Değişimine Bağlı Olarak Faz Akımlarında Oluşan Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi	44
4.3.3. TT Şebekelerde Gerilim Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi	46
4.3.4. TT Şebekelerde Akım Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi	48
4.4. ATP Programında TN-S Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Faz Toprak Arıza Durumunun İncelenmesi	53
4.5. TN -S Sistemde Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmasına Etki Eden Faktörler	56
4.5.1. TN-S Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Empedanslı Yük Modelinde, Kablo Mesafesine Bağlı Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi	57
4.5.2. TN-S Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Kablo Mesafesinde, Yük Empedansının Değişimine Bağlı Olarak Oluşan Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi	59
4.5.3. TN-S Şebekelerde Gerilim ve Akım Harmoniklerinin Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımlara Etkisi	60
4.6. EMTP Programında IT Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Faz Toprak Arıza Durumunun İncelenmesi	61
4.7. IT Sistemde Kaçak Akım Rölelerin Hatalı Çalışmasına Etki Eden Faktörler	64
4.7.1. IT Şebekede Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Empedanslı Yük Modelinde, Kablo Mesafesine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi	64
4.7.2. IT Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Kablo Mesafesinde, Yük Empedansının Değişimine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi	66

4.7.3. IT Şebekelerde Gerilim Harmoniği, Akım Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi	67
5. SONUÇ	68
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	: Amper
ATP	: Alternative Transient Program
ÇASGB	: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
EMO	: Elektrik Mühendisleri Odası
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
Hz	: Hertz
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu.
IT	: İzalasyon - Toprak Şebeke tipi.
İBB	: İstanbul Büyük Şehir Belediyesi.
İMO	: İnşaat Mühendisleri Odası
KAR	: Kaçak (Artık) Akım Rölesi
PE	: Koruma İletkeni
PEN	: Müşterek Koruma ve Nötr İletkeni.
R	: Birinci faz.
RCD	: Residual-current device (Artık akım cihazı)
S	: İkinci Faz
SGK	: Sosyal Güvenlik Kurumu.
T	: Üçüncü Faz
TN	: Toprak- Nötr Şebeke tipi
TN-C	: Toprak Nötr Bağlı Şebeke (PEN Tek iletken)
TN-C-S	: Toprak Nötr kısmen bağlı , Kısmen ayrı şebeke (PEN, PE+N)
TN-S	: Toprak Nötr Ayrı şebeke (İki iletken. PE+N)
TS	: Türk Standartları.
TT	: Toprak – Toprak Şebeke tipi.
V	: Volt

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: TT Şebeke.	6
2.2: TT Şebeke faz toprak arızası.	6
2.3: TNS Şebeke.	9
2.4: TN-C Şebeke.	9
2.5: TN-C-S Şebeke.	10
2.6: Nötrü dağıtılmamış IT şebeke tipi.	10
2.7: Nötrü dağıtılmış IT şebeke tipi.	11
2.8: IT Şebeke faz toprak arızası.	11
2.9: IEC 60479 çarpılma akımının fizyolojik etkileri.	14
2.10: Doğrudan temas durumu.	15
2.11: Doğrudan temas eşdeğer devresi.	16
2.12: Dolaylı Temas Durumu.	17
2.13: Doğrudan temas eşdeğer devresi.	17
2.14: Mekanik kaçak akım rölesi prensip şeması .	19
3.1: Dolaylı temas sonucu oluşan ölümlü kaza.	31
3.2: Kaçak Akım ölçüm şeması.	33
3.3: Uni-t Cihazıyla kaçak akım ölçümü.	34
4.1: NYFGBY kablo.	37
4.2: TT Şebekede faz toprak arızası.	39
4.3: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda nötrde (yeşil) ve gövdede (kırmızı) oluşan gerilimler.	39
4.4: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda faz akımları (kırmızı arızalı faz) .	40
4.5: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda nötre akan akım (Yeşil) - gövdeden toprağa akan akım(Kırmızı).	41
4.6: TT Şebeke tipi.	42
4.7: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.	43

4.8:	TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.	45
4.9:	TT Şebekede tek fazlı yük sistemi modeli.	47
4.10:	TT Şebekede yarım dalga doğrultuculu devre.	49
4.11:	TT Şebekede HFS akım harmoniği kaynaklı model devre.	49
4.12:	TN-S Tipi şebekede faz toprak arızası.	54
4.13:	Nötrde oluşan gerilim (yeşil) ve gövdede oluşan gerilim (kırmızı).	54
4.14:	Faz akımları (kırmızı arızalı faz).	55
4.15:	Nötre PE iletkeninden akan akım (yeşil) - gövdeden toprağa akan akım (kırmızı)-devre yıldız noktasından nötre akan akım (mavi).	55
4.16:	Faz gerilimleri (kırmızı arızalı faz).	56
4.17:	TNS Şebeke tipi.	57
4.18:	TN-S Şebeke de, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.	58
4.19:	TN-S Şebeke de, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yük'e göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.	60
4.20:	IT Şebekede çift faz toprak arızası modeli.	62
4.21:	Nötrde (yeşil) ve gövdede (kırmızı) oluşan gerilimler.	62
4.22:	Nötre akan akım (yeşil) - gövdeden toprağa akan akım (kırmızı).	63
4.23:	Faz akımları (kırmızı ve yeşil arızalı fazlar).	63
4.24:	IT Şebeke tipi.	65
4.25:	IT Şebeke, yıldız bağlı sabit yükte, değişken mesafelere göre yıldız akım değişimi grafiği.	66

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: TN Sistemler için açma süreleri.	8
2.2: TT Sistemde topraklama ölçüm raporu.	27
3.1: Kaçak akım ölçüm tablosu.	34
4.1: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu.	43
4.2: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu.	45
4.3: Gerilim harmoniklerinin mesafeye bağlı olarak kaçak akımlara etkisi.	47
4.4: TT Şebekede tek fazlı sistemde 2. harmoniğin kaçak akıma etkisi.	50
4.5: TT Şebekede tek fazlı sistemde 3. harmoniğin kaçak akıma etkisi.	51
4.6: TT Şebekede tek fazlı sistemde 4. harmoniğin kaçak akıma etkisi.	52
4.7: TT Şebekede tek fazlı sistemde 5. harmoniğin kaçak akıma etkisi.	52
4.8: TN-S Şebeke de, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi.	58
4.9: TN-S Şebeke de, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yük'e göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi.	59
4.10: IT Şebeke, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız akım değişimi tablosu.	65
4.11: IT Şebeke, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yük'e göre yıldız akım değişimi tablo	67

1. GİRİŞ

Ülkemizdeki istatistiki verilere bakıldığında ölüm ve yaralanmalarla sonuçlanan iş kazalarında ve maddi hasarlı yangınlarda elektrik kaçaklarının rolünün oldukça büyük olduğu görülmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2005-2009 istatistiki verilerine göre hazırlanmış, İnşaat Mühendisleri Odası tarafından yayınlanmış bir çalışmada, inşaatlardaki ölümlü iş kazalarının %12,2'sinin elektrik çarpması sonucu meydana geldiği ve bu kazaların %38,9'unun kaçak akım nedeniyle oluştuğu görülmektedir [1]. Yine SGK'nın 2013 yılında iş kazalarının oluş sebebine göre düzenlemiş olduğu istatistikte; 2013 yılı içerisinde meydana gelen ölümlü iş kazalarının %4,26'sı ve yaralanmalı iş kazalarının %6,19'u "Elektrikle doğrudan temas, elektrik yüklenmenin bedene alınması" şeklinde olduğu görülmektedir [2]. Bu verilerden de görüleceği üzere bir izolasyon hatası sonucu oluşan kaçak akımlar can güvenliği açısından oldukça sakıncalıdır. Kaçak akımların bir diğer önemli sakıncası ise mal güvenliği ve yangın riski açısındandır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi itfaiye daire başkanlığı 2008-2013 yılı yangın sebepleri istatistiki verilerine göre, yangınların %18'i elektrik kontağı kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu oran diğer elektrik kaynaklı trafo patlamaları ve havai hat kaynaklı yangınları kapsamamaktadır [3]. Bütün bu istatistiki verilere bakıldığında gerek insan sağlığı ve iş güvenliği gerekse tesis ve mal güvenliği açısından elektrik kaçak akımlarının potansiyel tehlikesi ve bu tehlikeden korunmak için alınması gereken tedbirlerin önemi ortaya çıkmaktadır. Kaçak akımlardan kaynaklanan bu tür kazaların önlenmesinde alınacak tedbirler Elektrik İç Tesisleri ve Topraklama Tesisleri yönetmeliklerinde belirtilmiştir. Bu tedbirlerden biri de alçak gerilim elektrik tesisatlarında Kaçak Akım Röle sistemleri (KAR) kurmak ve bu sistemleri çalışır halde tutmaktır [4], [5] .

Kaçak akım; gerilimli işletme devresinden toprağa ya da topraklanmış bölümlere geçen akımlardır. Kaçak Akım Rölesi (KAR) ; ilgili işletme akım devresindeki faz ve nötr akımlarının veya üç fazlı, nötr bağlanmayan devrelerde sadece faz akımlarının vektörel toplamalarına göre çalışan elektromekanik cihazlardır. Kaçak akım koruma düzeneklerinin kullanımı yasal mevzuatlarla düzenlenmektedir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın 2013 yılında yayınlamış olduğu işyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik ile

hata akımı koruma düzenleri seçicilik ilkesine göre iş yerlerinin tüm ana ve tali panolarına konulması zorunlu hale getirilmiştir [6]. Yine Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği ve Topraklama Tesisatı Yönetmeliğinde de kaçak akım koruma rölelerinin kullanımı şebeke topraklama tipi, koruma düzeneği tipi ve tesis tipi gibi detaylarla ilişkilendirilerek şart koşulmuştur [4], [5]. Tesis, tesisat ve topraklama sistemlerine göre şebeke tipleri ve bu sistemlerde kaçak akım rölesi kullanımı ile ilgili yasal zorunluluklar bu tezin ilerleyen bölümlerinde ayrıntılarıyla verilecektir.

Kaçak akım koruma sisteminin kullanım zorunluluğu kanun ve yönetmeliklerle düzenlendiği halde özellikle işyerlerinde, endüstriyel tesislerde ve inşaat şantiyelerinde bu önemli koruma sisteminin istenen ölçekte kullanılmadığı görülmektedir. Bu durumun sebeplerinden biri kaçak akım koruma sistemlerinin özellikle endüstriyel tesislerde görevi ve hayati fonksiyonu gereği normal açmaların yanı sıra görevi olmayan, istenmeyen hatalı açmalarda yapmalarıdır. Rölelerin yaygın olarak kullanılabilmesi için hatalı açma sebepleri iyi analiz edilerek bilinmeli ve hatalı açmalar ortadan kaldırılmalıdır. Bu amaçla uluslararası yayınlar da dâhil birçok makale ve forumda bu hatalı açma sebepleri araştırılmıştır. İspanya'da bir hastanede Kaçak Akım Rölelerinin sürekli açma yapması üzerine yapılan araştırmada bu açmaların sinüzoidal olmayan akımlardan kaynaklandığı deneysel olarak incelenmiştir [7]. Yine bu çalışmaya benzer bir çalışma Honkong'da da yapılmış harmonik akım, topraklama arıza akımı ve ani geçişler, açma kapama manevralarından kaynaklı dalgalanma akımlarının röleler üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir [8].

Bu tezde ulusal standartlar açısından rölelerin hatalı çalışmasına etki eden faktörler ve röle sonrasındaki kabloların geometrisinden kaynaklı empedans dengesizlikleri, kablo kapasitanslarının mesafe ve yüke göre kaçak akımlara etkisi, tesisdeki akım ve gerilim harmoniklerinin kaçak akımlara ve dolayısıyla rölelerin hatalı çalışmalarına etkisi derinlemesine analiz edilecektir.

Tezde endüstriyel tesislerde kullanılan elektrik kablolarının zamana bağlı yıpranması, çalıştığı ortam şartları ve ömür etkileri göz önünde bulundurulmamıştır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve Sınırları

Kaçak Akım Rölelerinin endüstriyel tesislerdeki uygulamalarında karşılaşılan sorunlarının araştırılması tezin genel amacıdır. Bu çalışma kullanımı can ve mal güvenliği açısından oldukça önemli olan KAR uygulama sorunlarının tespiti ile koruma sistemlerinin teknik olarak geliştirilmesine, ilgili yönetmeliklerin düzenlenmesine ve KAR kullanımının yaygınlaşarak daha güvenli sistemlerin kurulmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Bu tezde alçak gerilim tesislerinde KAR'ların kullanılmasında yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri araştırılmıştır. Tezde topraklama tipine göre şebeke tipleri modellenerek tanıtılmış böylelikle çarpma etkisine sebep olan arıza senaryoları incelenmiştir. Ayrıca kaçak akım koruma röleleri tanıtılmış, yapısı, çalışma prensibi ve tipleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. ATP [9] programı ile devre modellemeleri yapılarak uygulama sorunlarının sebepleri araştırılmış ve çözüm önerileri oluşturulmaya çalışılmıştır. Tezin asli amacı olan rölelerin hatalı çalışmasına etki eden faktörlerden, kablo geometrisinden kaynaklı empedans dengesizliklerinin ve kablo kapasitanslarının mesafe ve yüke göre kaçak akımlara etkisi ve tesisteki akım ve gerilim harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi ATP programı ile yapılan simülasyonlarla incelenmiştir. Ayrıca tez çalışması sırasında gerçek endüstriyel sistemler üzerinde de incelemeler ve ölçümler yapılarak, uygulamada yaşanan sorunlar tezde verilmiştir.

1.2. Tezin Yapısı

- i) Birinci bölümde, çalışmanın özeti, amacı ve çalışmadan beklenenler kısaca verilmiştir.
- ii) İkinci bölümde, kaçak akım röle sistemlerinin kullanımıyla doğrudan ilişkili olan topraklama sistemine göre şebeke tipleri tanıtılmış, devamında elektrik çarpmasının insanlar üzerindeki fizyolojik etkileri incelenmiştir. Elektrik çarpma senaryolarının insanların elektriğe temas tipine göre verildiği bu bölümde, doğrudan veya dolaylı temas durumlarında elektrik çarpma hadisesinden korunmanın önemli yollarından biri olan kaçak akım koruma röleleri, çalışma prensipleri, tür ve seçim kriterleri yönüyle incelenmiştir. Kaçak akım rölelerinin kullanımını düzenleyen ulusal standart ve yönetmeliklerde yine bu bölüm içerisinde değerlendirilmiştir.

iii) Üçüncü bölümde, kaçak akım röle sistemlerinin uygulamada yaşanan sorunları idari ve teknik sebepler yönüyle ele alınmış, ayrıca gerçek endüstriyel yükler üzerinden kaçak akım ölçümleri yapılarak mevcut sistemlerdeki doğal kaçak akımların varlığı araştırılmıştır.

iv) Dördüncü bölümde, tezin amacı da olan şebeke tiplerine göre kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörlerin incelendiği bölümdür. Bu bölümde şebeke tiplerinin faz toprak arızaları sırasındaki davranışı, kablo geometrisi, kablo kapastif akımları, gerilim ve akım harmoniklerinin kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasındaki rolü, ATP programında modellenen devreler üzerinde incelenmiştir. Bu bölümde ayrıca ulusal yönetmeliklerin kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmalarındaki etkileri de incelenmiştir.

v) Beşinci bölümde, çalışma sonuçları değerlendirilmiş, daha güvenli sistemlerinin kurulmasına katkı sunacağına inanılan görüş ve önerilere yer verilmiştir.

2. KAÇAK AKIM RÖLELERİ

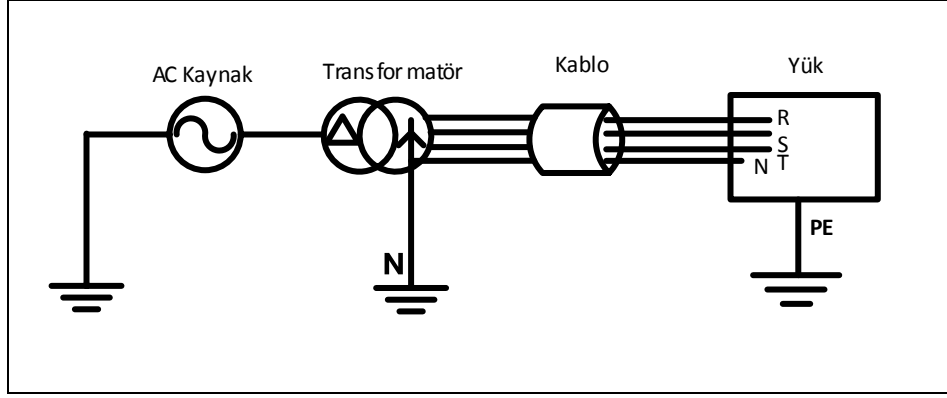
Bu bölümde, kaçak akım rölelerinin bir bütün olarak ele alınması amacıyla, tezde geçen teknik ve idari konuların tanımlanması yapılmıştır. İlk olarak topraklama şekillerine göre şebeke tipleri incelenmiş ve şebeke tipleriyle kaçak akım koruma rölesi kullanımı detaylarına yer verilmiştir. Devamında elektrik çarpmasının insanlar üzerindeki fizyolojik etkileri ve elektrik çarpma senaryoları ele alınmıştır. Yine bu bölümde tez konusu kaçak akım koruma rölelerinin çalışma prensipleri, tür ve seçim kriterleri tanıtılmıştır. Ayrıca yerel yönetmeliklerde kaçak akım rölelerinin kullanımını düzenleyen şartlar da yine bu bölüm içerisinde değerlendirilmiştir.

2.1. Topraklama Sistemine Göre Şebeke Tipleri

Sistem elemanlarının toprakla bağlantı şekline bağlı olarak elektrik sistemleri üç temel tipe ayrılarak incelenebilir. Bunlar TT, TN ve IT sistemlerdir. Bu sistemler literatürde kısaca iki harf ile ifade edilmektedir. Birinci harf sistemdeki transformatörün nötr bağlantı şeklini, ikinci harf ise yükün gövdesinin toprağa bağlantı şeklini göstermektedir. Birinci harf T ise transformatör nötr noktası toprağa bağlı, I ise transformatör nötr noktası izole anlamına gelir. İkinci harf T ise yük gövdesi doğrudan toprağa bağlı, N ise yük gövdesi ayrı bir PE. İletkeni ile nötre direkt irtibatlı anlamındadır [5], [10].

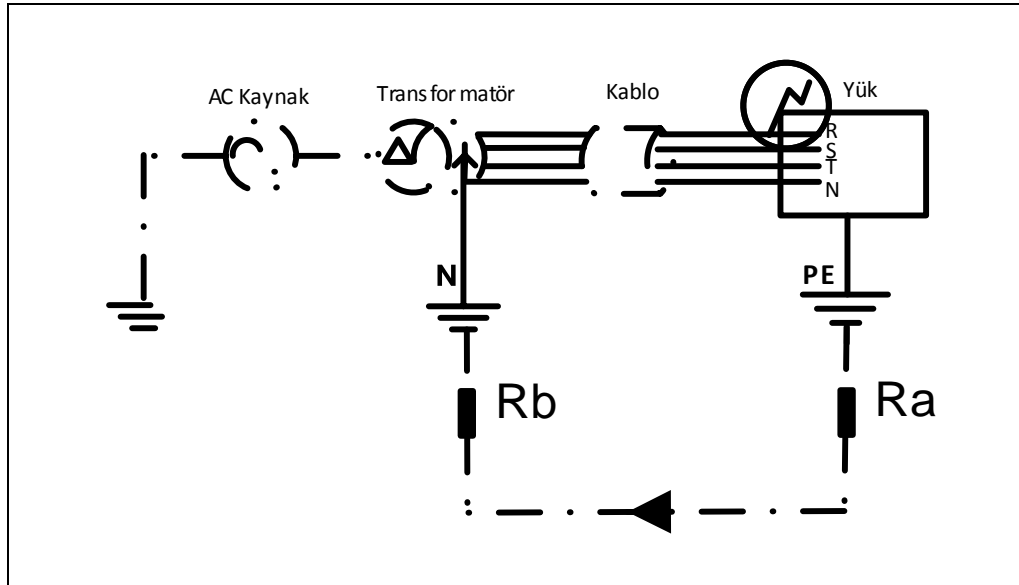
2.1.1. TT Şebeke

TT Şebekeler Şekil 2.1’de görüleceği üzere besleme güç transformatörü yıldız noktası doğrudan topraklı, yük tarafı gövdesi ise ayrı bağımsız topraklıdır, bu iki topraklama arasında fiziksel iletkenli bir bağlantı yoktur. Türkiye’de dağıtım kurumlarınca, alçak gerilim dağıtımı, üç fazlı sistemlerde üç faz ve nötr, tek fazlı sistemlerde ise tek faz ve nötr olarak yapılmakta dolayısıyla ülkemizdeki yerel alçak gerilim şebekesinin tümüne yakınında TT şebeke sistemi kullanılmaktadır [4].



Şekil 2.1: TT Şebeke.

Şekil 2.1' deki eşdeğer devrede yük tarafının koruma topraklama direnci ise R_a Transformatörün yıldız noktası direnci ise R_b dir. TT tipi bir sistemde Şekil 2.2'deki gibi yük tarafında meydana gelen bir izolasyon hatasında oluşacak hata akımının değerini (I_{Δ}) yük tarafındaki topraklama direnci R_a ve R_b direnç değerleri belirlemektedir.



Şekil 2.2: TT Şebeke faz toprak arızası.

TT Tipi bir sistemde bu hata akımının değeri (I_{Δ});

$$I_{\Delta} = \frac{U_o}{(R_a + R_b)} \quad (2.1)$$

gibi olacaktır. Burada, Ra: Gövde koruma topraklama direnci, Rb: Nötr Topraklama direnci, Uo: Şebekenin Faz - Nötr gerilimi ve IΔ: Gövde bağımsız koruma topraklama devresi üzerinden transformatör nötrüne dönen kaçak akım veya faz toprak kısa devre akımıdır. Böyle bir faz toprak arızası durumunda yük gövdesinde oluşacak dokunma gerilimi de (UΔ);

$$U\Delta = Ra \cdot \frac{Uo}{(Ra+Rb)} \quad (2.2)$$

şeklinde olacaktır. Faz ve topraklama iletkenlerinin dirençleri, Ra ve Rb dirençlerinin yanında çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir. TT Sistemlerde Ra direncinin değeri, IΔ hata akımını sınırlayacağından, hata akımı, aşırı akım koruma elemanlarının ani açma akımından (Ia) çoğu sistemlerde düşük kalacaktır. Ia; koruma devresinin ani açma akım değeridir. Bu değer koruma sisteminin özelliğine bağlı olarak değişir. Ia, Termik manyetik şalterlerde set edilen değer iken, otomatik sigortalarda 5In, 10In, 15In değerlerinde olabilmekte ve kaçak akım rölelerinde ise kaçak akım set değeri olmaktadır. Buradaki In; aşırı akım koruma elemanı veya termik manyetik şalterlerin nominal açma akımlarıdır. Yerel yönetmeliklere göre dokunma gerilimi $U\Delta < 50V$ olmalıdır [4]. Bu sebeple TT tipi şebekelerde koruma elemanı tipi ne olursa olsun, dokunma gerilimi (UΔn)

$$Ra \cdot Ia < 50v \quad (2.3)$$

şartı sağlanmalıdır. Bu şartın sağlanmadığı sistemlerde kaçak akım koruma röle sistemleri kullanılmalıdır [5]. Aksi halde ileriki bölümlerde de inceleneceği üzere faz toprak hatası durumunda yük gövdesinde yüksek dokunma gerilimleri, Nötrde ise nötr geriliminin yükselmesi gibi olumsuz sonuçlar oluşabilir. Sistemde kaçak akım rölesi kullanıldığında Ia; kaçak akım rölesinin açma değeri (0,03A-30A) olacağından (2.3) numaralı denklemdeki şartı sağlayan Ra direnci daha büyük değerlerde de olabilecektir. (2.3) denkleme göre 30mA değerinde kaçak akım rölesi ile korunan bir sistemin koruma topraklama direnci en fazla 1666 ohm olabilirken, 30A değerinde kaçak akım rölesiyle korunan bir sistemin Ra topraklama direnci en fazla 1,6 ohm olmalıdır.

2.1.2. TN Şebeke

TN Şebekelerde besleme güç transformatörü yıldız noktası doğrudan topraklı ve yük tarafı gövdesindeki açıktaki bütün iletken bölümlerin bu noktaya fiziksel iletkenle irtibatlı olduğu şebeke tipidir. TN şebeke, yük gövde koruma iletkeninin transformatör nötrüne bağlantı şekline göre TN-C, TN-S, TN-C-S olarak üçe ayrılır. Bu şebeke tipinde de herhangi bir faz iletkeni ile gövde arasında izolasyon hatası oluşması durumunda, koruma devresi tarafından şart koşulan sınır ve süre içerisinde beslemenin otomatik olarak kesilmesi gerekir. Topraklama tesisat yönetmeliğinde doğrudan temas riski önlenmiş sabit bağlı sistemlerde Tablo 2.1'deki açma sürelerine bağlı olarak farklı dokunma gerilimlerine müsaade edilmiştir [5].

Tablo 2.1: TN Sistemler için açma süreleri.

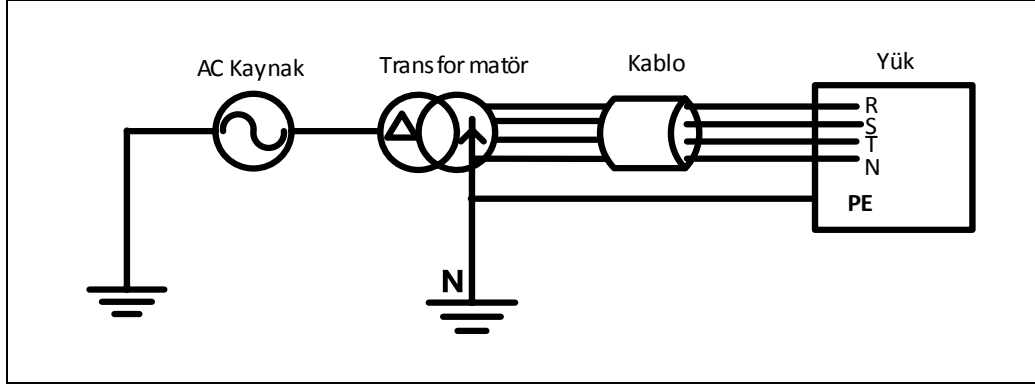
U _o (V)	Açma Süresi (sn)
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

Elektrik tesisleri topraklama yönetmeliğine göre, TN Sistemlerde bir faz iletkeni ile koruma devresi arasında düşük empedanslı bir hata meydana gelirse

$$Z_s \cdot I_a < U_o \quad (2.4)$$

koşulu sağlanmalıdır. Koşuldaki Z_s; kaynakla arıza noktası arasındaki faz ve koruma iletkeni çevirimini içeren empedansdır. I_a; Tablo 2.1'deki açma sürelerini sağlayan ani açma akımlarıdır. U_o, toprağa göre anma gerilimidir.

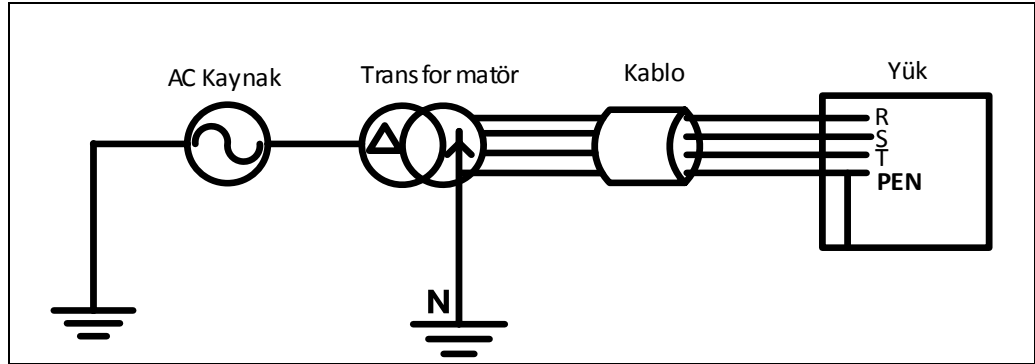
TN-S Sistem; Şekil 2.3'teki gibi yük tarafına koruma topraklaması olarak transformatör yıldız noktasından ikinci bir iletkenin çekilmesi durumuna TN-S tipi şebeke denir.



Şekil 2.3: TNS Şebeke.

TN-S Tipi şebekede nötr kablosuyla gövde koruma topraklama kablosu ayrı ayrı olduğundan ilgili iç tesisat yönetmeliği ve topraklama tesisatı yönetmeliğindeki şartlara göre kaçak akım rölesi kullanılabilir.

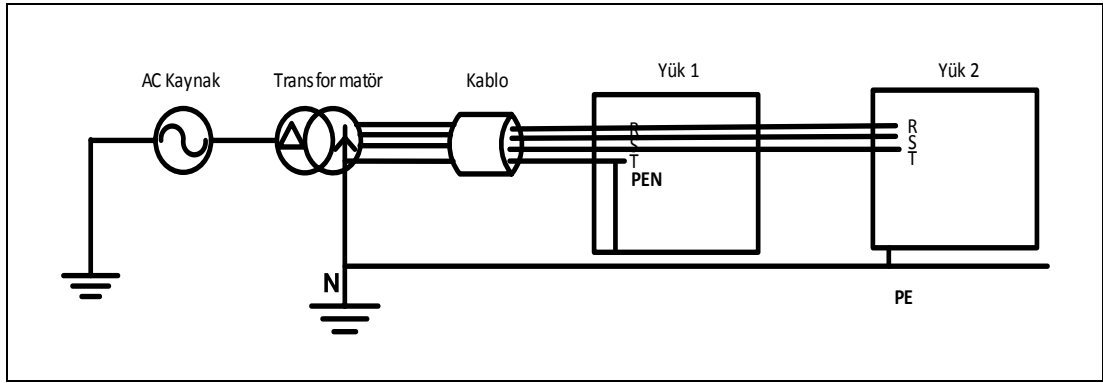
TN-C şebeke; Şekil 2.4'te görüleceği üzere koruma ve nötr görevi tek bir iletkenle sağlanan sistemdir.



Şekil 2.4: TN-C Şebeke.

TN-C şebekede PEN İletkeni yük tarafında gövde koruma topraklaması olarak kullanılmıştır. Bu sebeple devrenin işletme nötrü üzerinden gövdeye doğal akımlar akacağından TN-C Sistemlerde kaçak akım koruma rölesi kullanılamaz [5].

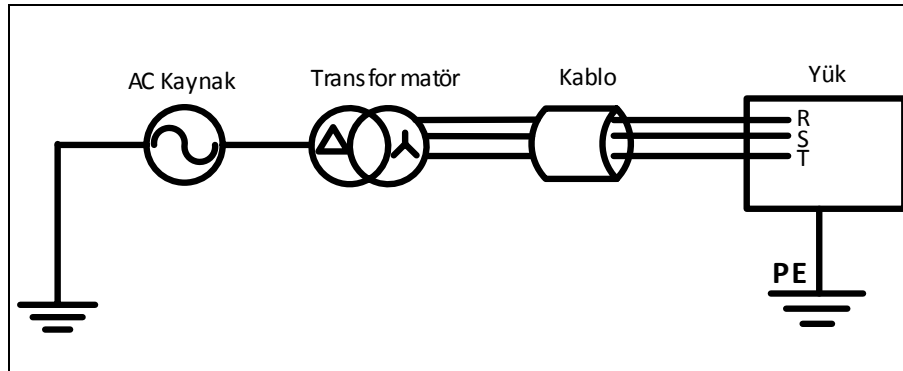
TN-C-S Sistem; TN-C ve TN-S Tipindeki şebekelerin ortak kullanılması durumunda yani Şekil 2.5'teki gibi, sistemin bir bölümünde koruma topraklaması ile nötr ortak, bir bölümünde ayrı kullanılmışsa bu şebeke tipine ise TN-C-S tipi şebeke denmektedir. Bu şebeke tipinde de TN-C Tipinde olduğu gibi kaçak akım rölesi direk kullanılmaz, bu sistemde TN-S tipindeki şartların sağlandığı bölümlerde kaçak akım röleleri kullanılabilir.



Şekil 2.5: TN-C-S Şebeke.

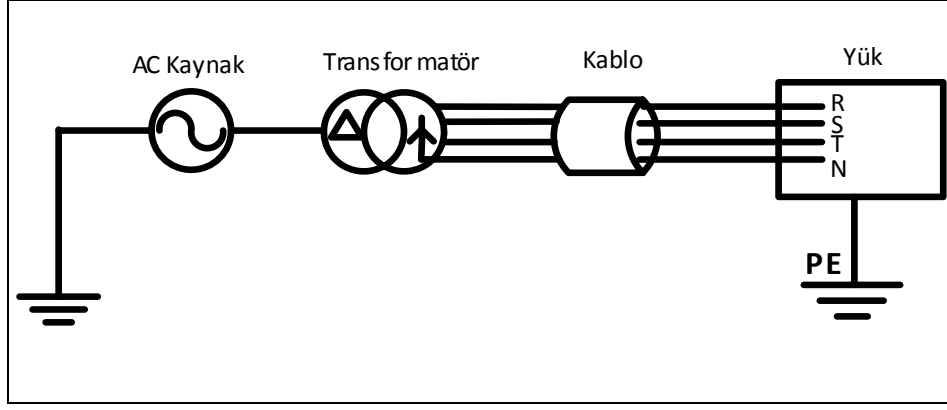
2.1.3. IT Şebeke

Üçüncü şebeke tipi IT şebekedir. Bu şebeke tipinde besleme güç transformatörü yıldız noktası topraklanmamış veya çok büyük bir izolasyon direnci üzerinden topraklanmıştır. IT şebeke tipinde yük tarafı gövde koruma olarak bağımsız topraklanmıştır. IT şebeke tipinde, Şekil 2.6'daki gibi yük tarafında nötr kullanılmamışsa nötr dağıtılmamış IT şebeke diye adlandırılır.



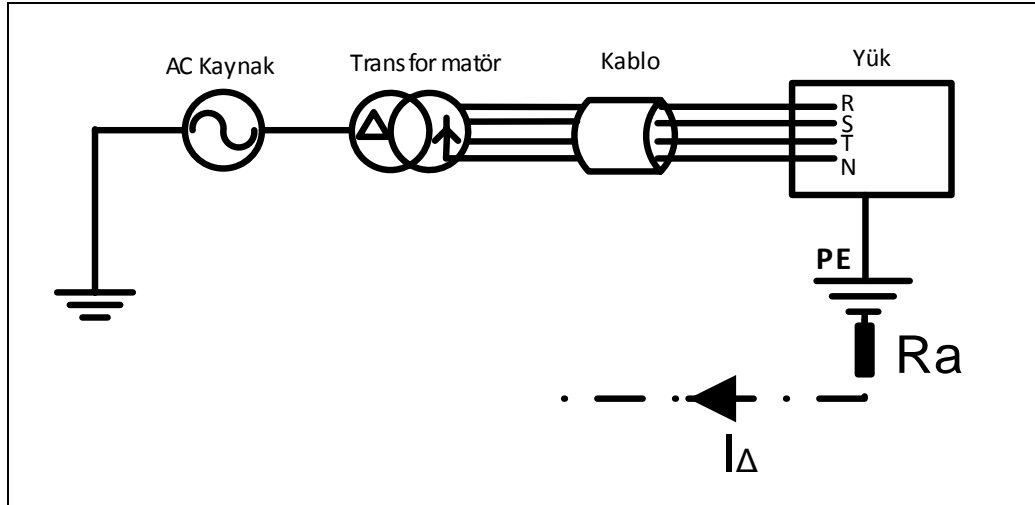
Şekil 2.6: Nötrü dağıtılmamış IT şebeke tipi.

Yine IT şebeke tipinde, Şekil 2.7'deki gibi yük tarafında nötr kullanılmışsa nötr dağıtılmış IT şebeke diye adlandırılır.



Şekil 2.7: Nötrü dağıtılmış IT şebeke tipi.

Nötrü dağıtılmış sistemde nötr iletkeni TT şebekede olduğu gibi gövdeden tamamen izoledir. Nötrü dağıtılmış IT sistemde Şekil 2.8'deki gibi yük tarafında meydana gelen birinci izolasyon hatasında transformatör tarafında nötr toprağa bağlı olmadığından akım yolu oluşmayacak dolayısıyla da gövdeden toprağa bir akım akmayacaktır.



Şekil 2.8: IT Şebeke faz toprak arızası.

IT sistemde Şekil 2.8'deki gibi bir faz toprak arızası durumunda, kapasitif doğal kaçak akımlar ihmal edilerek $I_{\Delta}=0$ olduğundan yük gövdesinde oluşacak dokunma gerilimi

$$U_{\Delta} = R_a \cdot I_{\Delta} \quad (2.5)$$

olacağından $U_{\Delta}=0$ olacaktır. Burada R_a : Gövde koruma topraklama direnci, I_{Δ} : Hata akımı, U_{Δ} : Gövde dokunma gerilimidir. Böylelikle birinci faz toprak arızasında çok küçük değerli kapastif kaçak akımlar dışında herhangi bir tehlike oluşmadan sistem çalışmasına devam edebilecektir. Fakat bu arıza giderilmemişken başka bir fazda ikinci bir faz toprak arızası oluşursa sistemde faz –faz kısa devresi mertebelerinde akımlar akacaktır. Bu sebeple diğer sistemlerde olduğu gibi IT sistemde de, gövdedeki iletken kısımlar bölümler halinde veya topluca topraklanmalıdır. Yüksek veya büyük binalarda veya taşıtlarda uygulamaya bağlı olarak koruma iletkeninin toprağa doğrudan bağlanması mümkün olmayabilir bu durumda açıktaki iletken bölümlerin topraklanması, koruma iletkenleri, gövde iletken bölümleri kuşaklaması ile sağlanabilir. Bu durumda

$$R_a \cdot I_{\Delta} < 50V \quad (2.6)$$

artı sağlanmalıdır. Burada R_a : Koruma yapılan açıktaki iletken bölümlerin yayılma direnci, I_{Δ} : Bir faz iletkeni ile iletken gövde bölümü arasında küçük empedanslı ilk hata durumundaki arıza akımıdır. IT sistemde beslemenin sürekliliğinin önemi nedeniyle birinci arızanın oluştuğunu gösteren görsel ve işitsel ihbarlı izolasyon izleme sistemi bulunmalıdır. Birinci arıza mümkün olan en kısa sürede giderilmelidir. Birinci arıza devam ederken ikinci arızanın oluşması durumunda beslemenin ayrılmasında, gövde de açıktaki iletkenler tek tek veya guruplar halinde topraklanmışsa TT sistem koşulları uygulanacaktır, Kolektif olarak bir koruma iletkenine bağlanmış ise TN sistem koşulları uygulanacaktır [5].

2.2. Elektrik Çarpması

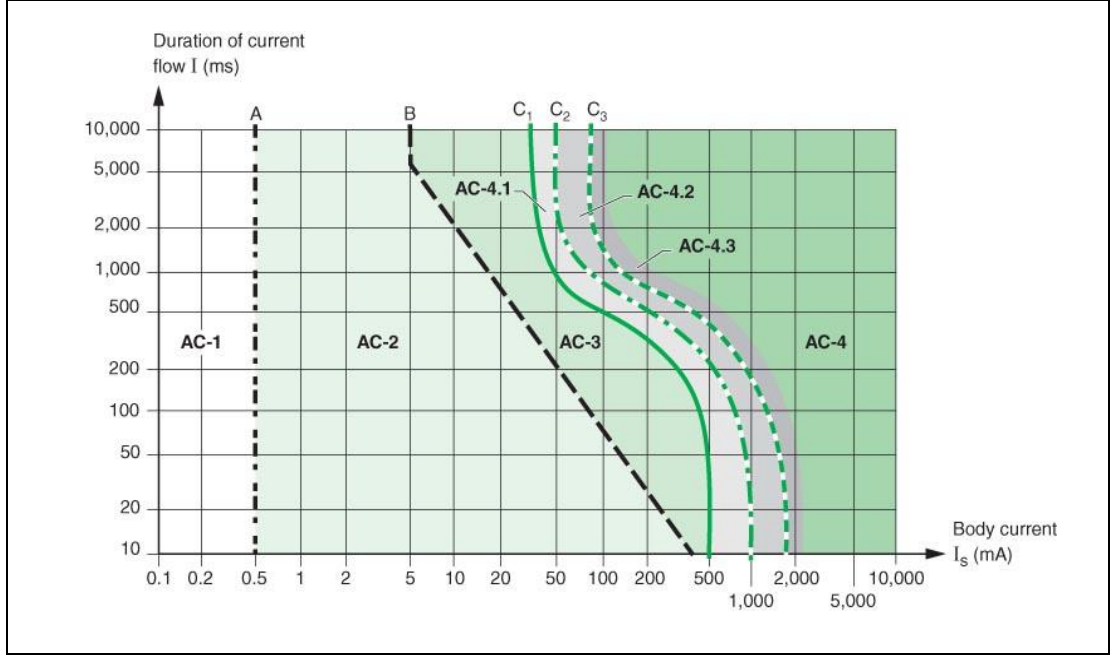
Bu bölümde elektrik çarpması ile ilgili olarak, çarpmanın fizyolojik etkileri ve temas durumlarına bağlı olarak çarpılma senaryoları incelenecektir. Bir önceki bölümde de belirtilen 50V değerindeki tehlikeli dokunma gerilimi sınır değerinin aşılması durumunda meydana gelecek elektrik çarpması hadisesi incelenecektir.

2.2.1. Elektrik arpması ve Fizyolojik Etkileri

İnsanların ve diğer canlıların elektrik kokenli yaşadıkları en temel kaza, elektrik çarpması sonucu oluşan kazalardır. Elektrik arpması vücutun bir bölümünün veya tümünün iki farklı elektrik potansiyel değerinin arasında kalması, bir diğer ifadeyle potansiyel fark arasında bedeni ile iletim yolu oluşturmasıdır. Çarpılma hadisesi iki şekilde oluşabilir birincisi doğrudan faz iletkenine temas etmek suretiyle oluşabileceği gibi, topraklı bir cihaza nüfuz etmiş elektriğe dolaylı temasla da oluşabilir. Her iki durumda da vücut direncine bağlı olarak vücuttan

$$I_{\text{vücut}} = U_{\text{dokunma}} / R_{\text{vücut}} \quad (2.7)$$

değerinde bir akım akar ve bu akımın şiddetini yukarıdaki formülden de görüldüğü üzere dokunulan gerilim ve vücut direnci belirler. Bu akım şekil 2.9'da da görüleceği üzere belirli seviyelerde farklı şekilde fizyolojik etkiler oluşturacaktır. Akım şiddeti ve süresine bağlı olarak vücuttaki kaslarda kasılmalar oluşturarak ağır yaralanmalara ve kalp kaslarına etki ederek kalp fibrilasyonlarına (ritim bozukluğu) ve buna bağlı olarak ölümlere sebep olabilir. şekil 2.9'da IEC 60479 Standardına göre elektriğin insan vücutundaki fizyolojik etkilerini gösterir grafik görülmektedir, bu grafikte akım yolu olarak en riskli kabul edilen sol el, gövde, sol ayak yolu, akım yolu olarak alınmıştır. Grafikte yatay eksen vücuttan akan akım şiddetini, diğey eksen ise vücuttan geçen akım süresini göstermektedir. Bu verilere göre insanlara etki eden fizyolojik etki bölgeleri oluşturulmuş ve tehlike dereceleri sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.9: IEC 60479 çarpılma akımının fizyolojik etkileri.

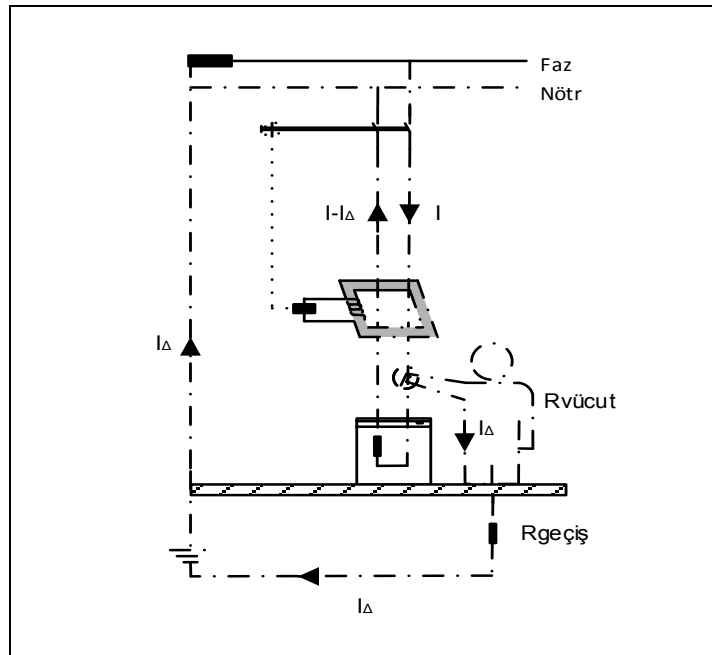
AC-1 bölgesinde genellikle tepki yoktur. AC-2 bölgesinde zararlı bir fizyolojik etki yoktur. AC-3 bölgesinde kalp atışlarında aksaklıklar görülür. AC-4 bölgesinde ise ağır yanıklar, artan fibrilasyonlar görülür. Yine aynı grafikte a, b,c1,c2,c3 bölgeleri fiziksel etkileri ise şöyledir. a bölgesi tehlikesiz bölgedir. b bölgesi bırakabilme sınırındır. c1 bölgesi %5, c2 bölgesi %50, c3 bölgesi ise %95 olasılıkla fibrilasyon bölgeleridir [11].

IEC 60479 standardına göre düzenlenmiş bu grafikte vücuttan geçecek tehlikeli kabul edilen akımların koruma devresinin açma süresiyle ilişkili olduğu görülmektedir. Grafığe göre örneğin 30mA değerindeki bir vücut akımı AC-3 bölgesine (kalp atışlarında düzensizlik) girmeden 0,5 sn. gibi kısa bir sürede kesilmesi gerektiği görülmektedir. Yine aynı 30mA değerindeki vücut akımının AC-4 (ağır yanıklar, kalp fibrilasyonu) bölgesine girmeden 5 sn. de kesilmesi gerekmektedir. Bu sebeple koruma devreleri tasarlanırken bu hayati grafik göz önünde bulundurulmalı ve koruma elemanlarının bu süre ve akım değerlerini sağlayıp sağlamadığı hesaplarla kanıtlanmalıdır.

Elektrik çarpmasının temel iki şekli vardır bunlardan birincisi doğrudan elektrikli iletkenle temas şeklinde olabileceği gibi, bir yalıtım hatası oluşmuş makine gövdesine veya sisteme ait açıktaki iletken bir bölüme dolaylı temas şeklinde de oluşabilir. Bu iki durumu inceleyecek olursak.

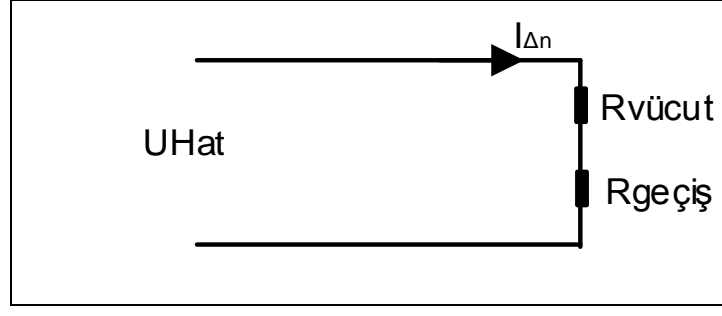
i) Doğrudan temas durumunda elektrik çarpması:

Elektrik çarpma etkisi olarak en tehlikeli çarpılma şeklidir. Gerilimli bir iletkenle doğrudan temas biçiminde gelişen bu kaza Şekil 2.10'daki gibidir. Bir kişinin normal şartlarda gerilimli olan bir iletkenle kaza ile veya bilerek dokunması doğrudan temas olarak adlandırılır. Doğrudan temas durumunda maruz kalınan gerilim hat gerilimidir. IEC 60479-1 standardına göre insan hayatı için kritik akım eşiği süre ve akım seviyesi 0,5sn için 30mA olarak belirlenmiştir [11]. Doğrudan temas durumu için alınması gereken koruma tedbirleri iç tesisat yönetmeliğinde Madde 30 da elektrikli işletme araçlarının gerilimli bölümleri doğrudan temasa karşı korunmuş olmalıdır demektir. Elektrikli işletme yerleri ve kilitli elektrik işletme yerleri bu hükmün dışında bırakılmıştır [4].



Şekil 2.10: Doğrudan temas durumu.

Elektriğe doğrudan temas sonucu kişinin vücudu üzerinden geçen akım Şekil 2.11' de verilen eşdeğer devredeki gibi olacaktır.



Şekil 2.11: Doğrudan temas eşdeğer devresi.

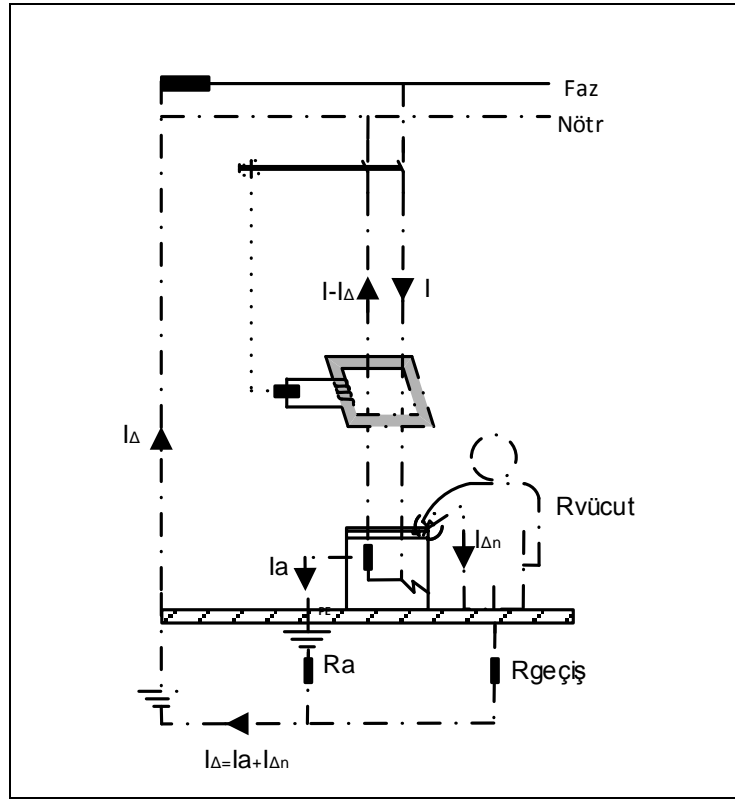
Şekil 2.11'deki devre çözümlemesi yapıldığında insan vücudu üzerinden geçecek IΔn akımının

$$I_{\Delta n} = \frac{U_{Hat}}{(R_{vücut} + R_{geçiş})} \quad (2.8)$$

denkleminde görüldüğü üzere, kişinin dokunduğu hattın Uhat gerilimine, vücut direncine (Rvücut), toprağa temasındaki geçiş direnç (Rgeçiş) değerlerine bağlı olduğu görülmektedir. Bir insanın vücudunun elektriğe karşı gösterdiği direnç, koşulların değişmesi durumuna bağlı olarak 700 ila 6.100 ohm arası değişir. Hesaplamalarda ortalama olarak bir insanın direnci 1.666 ohm alınır. Bu insanın vücudundan geçecek olan akım değeri (2.8) formülünden; UHat: 50V için I = 30mA, olarak hesaplanır. Bu sebepten dolayı doğrudan temas riski bulunan ve kilitli olmayan yerlerde, tek başına yeterli olmamakla birlikte ek korunma tedbiri olarak 30mA değerinde Kaçak Akım Rölesi kullanılması gereklidir. 30mA ve üzeri vücut akımı, 50V ve üzeri dokunma gerilimleri, tehlikeli akım ve gerilim sınırlarıdır doğrudan temas riski bulunan kısımlarda, evlerde ve benzeri doğrudan dokunma riski olabilecek kullanımlar için 30mA değerinde kaçak akım röleleri kullanılmalıdır [12] .

ii) Dolaylı temas durumunda elektrik çarpması:

Şekil 2.12'deki gibi bir yalıtım hatası sonucunda gerilim altında kalan cihazın gövdesine dokunan bir kişinin halidir. Dolaylı temas ile dokunulan veya çalışılan yüzeyin gerilimli olup olmadığı gözle görülemeyeceğinden olası bir izolasyon hatası durumunda, bu makine veya sistemde koruma tedbirleri uygulanmamışsa dolaylı temas durumunda sistem gövdesinde tehlikeli dokunma gerilimleri oluşacaktır. Tüm sistemler için dolaylı dokunma gerilimi üst seviyesi 50V tur [13], [4].

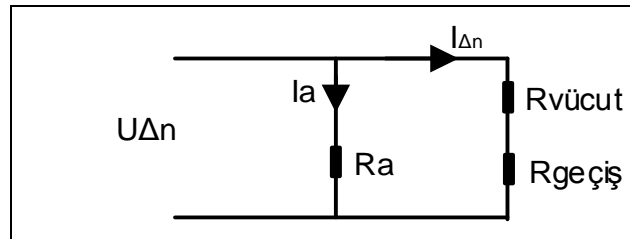


Şekil 2.12: Dolaylı Temas Durumu.

Dolaylı temas durumu için alınması gereken koruma tedbirleri iç tesisat yönetmeliği Madde 31’de

“Koruyucu yalıtma, küçük gerilim, koruma topraklaması, sıfırlama, koruma hat sistemi, hata gerilimi koruma bağlaması, hata akımı koruma bağlaması ve koruyucu ayırma”

şeklinde sıralanmıştır [4].



Şekil 2.13: Doğrudan temas eşdeğer devresi.

Şekil 2.12'deki dolaylı temas durumunun, elektriksel eşdeğer devresi Şekil 2.13'teki gibidir. Bu devrenin çözümlemesi yapıldığında kişinin dokunduğu gerilim $U_{\Delta n}$

$$U_{\Delta n} = I_a \cdot R_a \quad (2.9)$$

olduğu görülecektir. Bu da TT tipi bir şebeke sisteminde dolaylı dokunma geriliminin ($U_{\Delta n}$), R_a gövde koruma topraklama direnç değerine bağlı olduğu görülmektedir. Yine kişi üzerinden geçecek olan $I_{\Delta n}$ akımının ise bu dokunma gerilimine bağlı olarak kişinin vücut direnci ve kişinin toprağa teması ile oluşan geçiş direncine bağlı olarak değiştiği görülecektir.

$$I_{\Delta n} = U_{\Delta n} / (R_{vucut} + R_{geciş}) \quad (2.10)$$

Dolayısıyla temas durumunda dokunulan noktanın gerilimi oldukça önemlidir. Dokunulan noktanın gerilimini ise (2.9) nolu bağıntıda da görüldüğü üzere yük tarafının topraklama direnç değeri R_a belirleyecektir.

R_a direnç değeri TT tipi şebekede;

$$R_a < 50V/I_a \quad (2.11)$$

TN Şebekede ise koruma elemanı açma süresine bağlı olmak şartıyla, yönetmelikler gereği örneğin 0,4 sn için [5]

$$R_a < 230V/I_a \quad (2.12)$$

şartlarını sağlamalıdır. Buradaki I_a aşırı akım koruma elemanının ani açma akımıdır. Bu şartların sağlanmadığı sistemler de diğer dolaylı dokunmaya karşı koruma önlemlerinden biri olan kaçak akım röleleriyle koruma sistemi uygulanmalıdır. Daha öncede belirtildiği üzere doğrudan temas riski olan yerlerde kaçak akım rölesi açma akımı kesinlikle 30mA değerinde olmalıdır, dolaylı temas riski olan yerlerde ise kaçak akım rölesinin açma akım değeri (2.11) ve (2.12) numaralı bağıntıları sağlayacak şekilde (I_a kaçak akım rölesi açma akımı) seçilmeli ve tesis genelinde kaçak akım seçiciliği uygulanmış olmalıdır [4], [5].

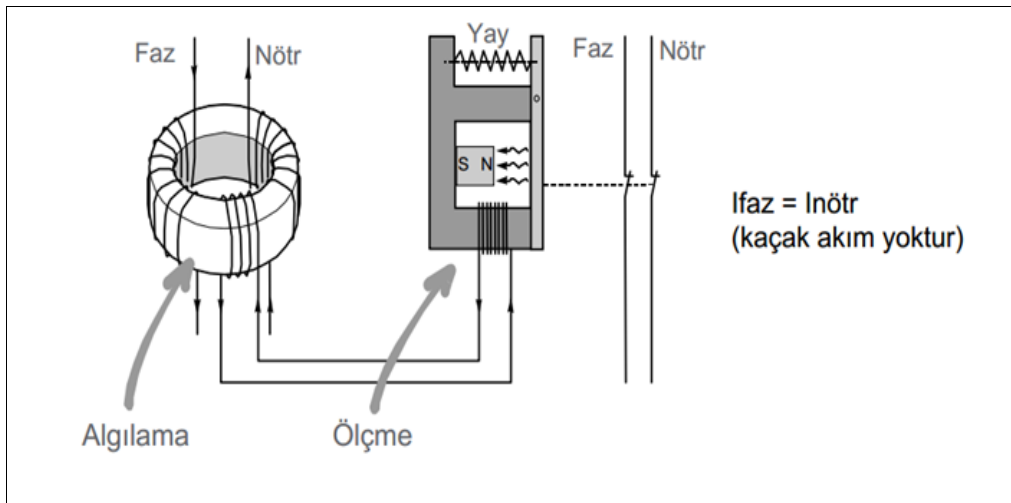
2.3. Kaçak Akım Röleleri (KAR)

Bir önceki bölümde şebeke tiplerinin tümünde (TN-C Hariç) kaçak akım koruma düzeneklerinin önemli bir koruma faktörü olduğu ve belirli koşullara göre kullanılmasının kaçınılmaz olduğu durumların varlığından bahsedilmişti. Dolayısıyla bu bölümde kaçak akım röleleri, çalışma prensipleri, yasal mevzuatlardaki yeri ve kullanılması yönündeki bağlayıcılığı ele alınmıştır.

Kaçak Akım; Gerilimli işletme devresinden toprağa ya da topraklanmış bölümlere geçen akımdır.

Kaçak Akım Rölesi; İlgili işletme akım devresindeki faz ve nötr akımlarının veya üç fazlı nötr bağlanmayan devrelerde sadece faz akımlarının vektörel toplamına göre çalışan elektromekanik cihazlardır.

Farklı tip ve modelde de olsa kaçak akım rölelerinin temel çalışma mantığı aynıdır. Çalışma prensibi açısından ise piyasada Mekanik ve Elektronik olarak iki tip röle sistemi vardır. Faz iletkenlerinden ilgili yüke veya devreye giden akımlar ile varsa nötr iletkeninden dönen akımların vektörel toplamlarındaki fark akımı ($I_{\Delta n}$) rölenin çalışma referansı aldığı akımdır. Bu fark akım $I_{\Delta n}$ dir. Mekanik rölelerde bu değer sabit bir değerken (30mA, 300mA gibi), elektronik kaçak akım rölelerinde ise sabit ve ayarlanabilir tipleri de mevcuttur. Elektronik rölelerde sistemdeki kaçak akım miktarı set edilen bu akım değerine ulaştığında 150msn-300msn gibi bir sürede devrenin elektriği röle sistemi tarafından kesilir. Kaçak akım şiddeti arttıkça bu süre azalır.



Şekil 2.14: Mekanik kaçak akım rölesi prensip şeması¹.

¹ Şekil2.14'teki görsel Schenider Vigirex 2012 kataloğundan alınmıştır.

Mekanik tip kaçak akım koruma rölesinin en temel yapısı Şekil 2.14'teki gibidir. Tek fazlı bir model olan bu rölede, faz ve nötr iletkenleri toroidal bir sistem içerisinde geçirilerek, faz ve nötr iletkenleri akım değerleri karşılaştırılır. Faz akımı toroidal sistem üzerinde bir emk (elektro motor kuvveti) üretir, yine nötr iletkenide aynı toroidal yapıda sarım şeklinden dolayı ters bir emk üretir. Bu iki emk arasında fark yoksa sistem normal çalışır. Fark varsa bu emk farkı toroidal sistem üzerine sarılı üçüncü (algılama) sargında bir akım oluşturur. Bu akım Şekil 2.14'ün sağ tarafında görülen nüvede sarılı bobin ile bir elektro mıknatıs etkisi oluşturarak, sabit mıknatıs çekim kuvvetine ters bir itme kuvveti uygular, mekanizmayı iter ve rölenin kontaklarını açar. Faz sayısı birden fazla olduğu dağıtımlarda da temel çalışma mantığı aynıdır.

Doğrudan temas riski bulunan yerlerde; faz iletkenine doğrudan temas ihtimali olan ortamlarda (ev, okul, hastahane, ofis, atölye, seyyar kablo, seyyar elektrikli aletler, ıslak zeminli yerler, vs.) sabit 30mA hassasiyetindeki kaçak akım koruma röleleri kullanılmalıdır. Bu röleler faz iletkenine temas riskine karşı insan hayatını korumaya yönelik olarak kullanılır [14].

Bir yalıtım hatasının olduğu yerde, yangın riskini engellemeye yönelik kullanılması gereken röle 300mA değerinde olmalıdır. Bu değer cisimlerin tutuşup alev alma enerjisine göre hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalarda 300mA'lık bir toprak kaçak akımının ilgili noktadaki tutuşabilir malzemelerin varlığına ve cinsine göre yangına sebebiyet verdiği belirtilmiştir [14].

Endüstriyel yerlerdeki dolaylı temas riskine karşı kurulacak sistemlerde; Topraklama yönetmeliğine göre bu tür yerlerde sistemin temas durumu, topraklama biçimi (TT, TN, IT) ve topraklama direnç değeri incelenmiş, ölçülmüş olmalıdır. Bu tür yerlerde de ofis, el aletleri ve benzeri seyyar kablolu sistemler yani doğrudan temas riski bulunan yerlerde, 30mA sabit değerli rölelerle korunmalıdır. Sabit tesisatlı doğrudan temas riskleri önlenmiş, endüstriyel yük ve makinalarda ise, elektrik sistemlerinin güvenli işletilmesi için izolasyon hatalarını izlemek, kaçak akımlarının oluşturacağı dolaylı dokunma gerilimlerinin oluşmasını önlemek amacıyla sistemlerin koruma topraklama direnç değerine göre ($I\Delta n$) açma akım değeri yeterli ise sabit değilse, ayarlanan cihaz gurupları kullanılabilir. Doğrudan temas riski önlenmiş sabit tesisatlı endüstriyel tesis bölümlerinde, kaçak akım röleleri dolaylı dokunmaya karşı önemli bir koruma tedbiri olacaktır [14]. Kaçak akım rölesi dolaylı temas sonucu korumayı

$$I_a < 50V/R_a \quad (2.13)$$

denklem deki gibi sağlamaktadır. Örneğin TT tipi bir şebekede, bir makinanın R_a gövde koruma topraklama direnç değerinin 10 ohm olduğu varsayılırsa, kaçak akım rölesi 5A'e ayarlandığında bu makine gurubunda herhangi bir izolasyon hatasında dokunma gerilimi $U_{\Delta n}$; 50 V'un üzerine çıkamayacaktır. Yine aynı sistemde koruma topraklama direnci 50 Ohm olan bir makinanın izolasyon hatası durumunda gövde dokunma geriliminin 50V'u aşmaması için kaçak akım rölesi sabit tip kullanılacaksa 1A değerinde olmalı veya ayarlı bir röle kullanılacaksa röle 1A ayarlanmış olmalıdır. Kaçak akım koruma rölesi seçiminde 4 ana kriter vardır [14].

Kutup sayısı: Kaçak akım koruma röleleri sabit tipte 2 veya 4 kutupludur. Tek fazlı elektrik sistemlerinde 2 kutuplu, üç fazlı elektrik sistemlerinde ise 4 kutuplu röleler kullanılır. Endüstriyel üç fazlı dengeli sistemlerde de toroid akım trafolu röleler veya 4 kutuplu kaçak akım rölesini 3 kutuplu bağlama metodu kullanılarak koruma yapılır.

Hassasiyet: Sabit tipli kaçak akım koruma röleleri 10mA - 500mA arası hassasiyete sahip sabit modelleri vardır. Ayrıca daha büyük sistemler ve endüstriyel tesisler için toroid akım trafolu sistemlerde mevcuttur. Bu sistemlerde kaçak akım ayar sınırı 0,03A-30A aralığındadır. Standart olarak insan hayatını korumada 50V üzeri bir sisteme direk temas durumunda 30mA hassasiyetinde, yangına karşı korumada ise 300mA hassasiyetinde kaçak akım koruma rölesi kullanılmalıdır. Dolaylı temas durumlarında koruma için sistemin topraklama direncine göre ayarlanabilir röleler de kullanılabilir.

Nominal akım değerleri (I_n): Kaçak akım koruma röleleri termik veya manyetik koruma yapmazlar. Fakat kaçak akım koruma röleleri koruyacakları devrenin şalter nominal akım değerine göre seçilmelidirler.

Tip: Kaçak akım koruma röleleri kullanım alanlarına ve yapılacak korumanın hassasiyetine göre sınıflandırılmaktadır.

AC sınıfı: Alternatif gerilimli, güç devreleri genel uygulamalar ve aydınlatma sistemleri için tasarlanmıştır.

A sınıfı: Alternatif Gerilimde ve yarım dalga doğrultucu olan devrelerde Elektronik devreli sistemler, fanlar, pompa ve indüksiyon fırınları olan sistemlerde kullanılır.

B sınıfı: Alternatif gerilimde, yarım dalga ve tam dalga doğrultucu olan devrelerde elektronik devreli sistemler, fanlar, pompa ve indüksiyon fırınları olan sistemlerde kullanılır.

Si tip: Dış aşırı gerilim (yıldırım) sıklığı fazla olan bölgelerde, hız kontrol ve frekans konvertörleri olan devre ve elektronik balast olan tesisatlar da kullanılır.

SiE tip: Si tipi ile aynı özelliklerde olup nemli yerlerde kullanılabilme özelliği ile havuzlara ve nemli yerlere ait tesisatlar da kullanılır.

Kaçak akım röleleri IEC 61008², IEC 60947-1 ve IEC 60947-3³ standartlarına uygun olmalıdır.

2.4. Kaçak Akım Rölelerinin Mevzuatlardaki Yeri

Bu bölümde Kaçak akım rölelerinin mevzuattaki uygulama zorunluluklarına yer verilmiştir. Hatalı çalışma durumunu analiz ederken yönetmelikleri de göz önünde bulundurmak ve rölelerin kurulumundan işletmesine, hatalı çalışmasına sebep olabilecek ifade ve talimatların tespiti amaçlanmıştır. Yönetmeliklerdeki talimatlarda rölelerin kullanım bölgeleri ve kullanım şartlarını inceleyerek, hatalı açmalarda yönetmelik kaynaklı ifadelerin payı olup olmadığı araştırılacaktır. Bu kısımda yönetmeliklerden farklı anlam çıkarımları olmaması için önemli görülen madde ve ifadeler aynen alınmıştır.

i) Elektrik iç tesisleri yönetmeliğinde: Madde 18'de [4]

“Çok basit tarım binaları, barakalar, basit köy evleri hariç yapı bağlantı kutusuna (ana buat veya kofra) yangın koruma (300mA), sayaç kolon devrelerine ise hayat koruma (30mA) eşikli, düzeneği ile birlikte termik manyetik şalter veya otomatik sigorta (ayrı ayrı veya birlikte) konulmalı ve tüm koruma düzenleri arasında seçicilik sağlanmalıdır. Yapıda tek sayaç varsa, kofre tesis edilemez Bu maddeye aykırı olarak yapılan tesise işletme kesinlikle elektrik veremez.”

² IEC 61008 standardı ev ve benzeri kullanımlar için kullanılan kaçak akım rölelerinin standartlarını belirler.

³ IEC 60947-1 ve 3 standartları Alçak gerilim sistemlerinde anahtarlama ve kontrol sistemlerinin standartlarını belirler.

denmektedir [4]. Bu madde ilerideki bölümlerde de üzerinde yorum yapılacak olan birçok proje ve uygulama çelişkisinin olduğu, idari şartlardan kaynaklı hatalı uygulamalarda etken olan bir maddedir.

Madde 31.Şebeke tiplerinin tümünde (TN-TT-IT) dolaylı dokunmaya karşı alınacak tedbirlerden biri olarak hata akımı koruma bağlantısı yapılması sıralanmıştır. [4] Bu maddeye göre her üç şebeke tipinde de kaçak akım rölesinin kullanılabilir olduğu görülmektedir. Madde 39'da [4]

“Hata akımı koruma bağlaması nın gerilim altında olmayan iletken tesis bölümlerinde meydana gelebilecek olan yüksek dokunma gerilimlerinin tesiste sürekli olarak kalmasını, böyle bir durumun ortaya çıkması durumunda akan ve belirli bir değeri aşan arıza akımının, tüm faz iletkenlerini ve varsa orta iletkeninin devresini 0,2 s içinde açması ile önlemektir.”

denmektedir. Bu madde dolaylı dokunma gerilimlerinin tesiste uzun süre kalmaması ve dokunma gerilimi değerini sınırlamak amacıyla kaçak akım rölesi kullanılması gerekliliğine vurgu yapmaktadır.Madde 64'te [4]

“Yangın tehlikesi olan yerlerde Hata akımı anma değeri en fazla 0,5 A olan hata akımı koruma anahtarları ile denetlenen yalıtılan dış kılıfları bulunmayan metal kılıflı ya da kablolar kullanılmalıdır.”

denmektedir. Bu madde sınır değer belirttiği için yine idari şartlardan kaynaklı hatalı uygulamalara sebep olan bir maddedir.

Madde 65'te inşaat şantiyelerindeki koruma tedbirlerinden biri olarak hata akımı koruma bağlantısı önerilmektedir [4].

Madde 66'da KAR' ın tarımsal işletmelerde kullanımıyla ilgili olarak [4]

“Tarımsal işletme yerlerinde Büyük baş hayvanlara ait ahırların içinde ve yakınındaki su pompaları, su ısıtıcıları, gübre vinçleri, pancar kesme makineleri, gübre şerbeti pompaları ve priz gibi elektrik işletme araçlarında arıza olduğunda 24 V'tan daha yüksek bu dokunma gerilimi sürekli olarak kalmamalıdır. Bu istek örneğin hata akımı yada hata gerilimi koruma sistemi ile yerine getirilebilir. Hata

akımı koruma sisteminde korunacak işletme araçlarının topraklama direnci $24V/I_h$ değerinden daha büyük olmamalıdır.”

denmektedir. Burada I_h anma hata akımıdır. Hata gerilimi koruma sisteminde yardımcı topraklayıcının topraklama direnci topraklama yönetmeliği gereği 200 ohm'dan daha büyük olmamalıdır.

ii) Elektrik tesislerinde topraklamalar yönetmeliğinde:

Elektrik tesislerinde topraklamalar yönetmeliğine göre kaçak akım rölelerinin elektrik sistemlerinde kullanılması zorunluluğu daha da belirginleşmektedir. Yönetmelik Madde 10 da özetle her topraklama tesisatının gözle ve deneylerle denetlenmesi gerektiğini değerlerinin ölçülmüş olmasının gerekliliği ve ilgili devre elemanlarının tehlikeli bir durumu önleyecek şekilde açma yapıp yapmayacağını denetlenmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Burada topraklama değerlerinin ölçülmesi ve değerlerin uygunluğunun araştırılmasından beklenen temel sonuç: Bir elektrik kaçağı faz toprak (gövde üzerinden) arızası durumunda koruma devresi elemanının, oluşan bu hatayı önleyecek süre ve sınır değerlerde sistemin enerjisini kesme işlemini sağlayıp sağlamadığının denetlenmesidir. Bu durum topraklama tesisleri yönetmeliği Madde 10'da [5]

“Topraklama direnci, kompanzasyon veya akım-gerilim yöntemiyle ölçülebilir, ölçülen değer, şart koşulan topraklama direncine eşit veya ondan daha küçük olmak zorundadır.”

şeklinde ifade edilmiştir. Alçak gerilim sistemlerinde dolaylı dokunulan iletken tesis bölümünün toprağa göre direnç değeri, IT ve TT Şebekeler de

$$\text{Rölçülen} < 50V/I_a \quad (2.14)$$

TN Şebekede ise

$$\text{Rölçülen} < 230V/I_a \quad (2.15)$$

değerlerinde olmalıdır. Buradaki Ia koruma devresi ani açma akım değeridir.

Madde 6'da [5]

“beslemenin otomatik açma işlemiyle kesilip kesilmediğinin denetlenmesinin gerekliliği ve alternatif gerilimler için TN, TT ve IT sistemlerindeki koruma önlemlerinin doğrulanması gerekliliği istenilmektedir”

TN sistemde yapılacak kontrollerde [5]

“Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa çevrim empedansının ölçülmesiyle veya hesaplama ile ya da şebekenin, şebeke modeli üzerinde incelenmesiyle, her açma zamanı için gerekli olan açma akımının akıp akamayacağı tespit edilmelidir”, “Hata akımı koruma düzenleri kullanıldığında, Madde 10-c6.1.2.3/ii'deki önlemlere gerek yoktur”

denilmektedir.

TT sisteminde yapılacak kontrollerde [5]

“Aynı anda dokunulabilecek veya ortak bir koruma düzenine bağlı bütün cihaz gövdelerinin ortak topraklayıcılarının olup olmadığı tespit edilmelidir. Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa, Şebekenin herhangi bir yerinde ilgili koruma düzeninin 0,2sn içinde açma yaptırıp yaptırmadığı tespit edilmelidir. Dolaylı dokunmaya karşı koruma için aşırı akım koruma düzenleri kullanılıyorsa, Madde 10-c5'e göre ölçülecek topraklama direncinin, Çizelge-11'de verilen ve her bir açma zamanı için gerekli olan açma akımını geçirebilecek kadar küçük olup olmadığı tespit edilmelidir. Hata akımı koruma düzeninin kullanılması durumunda Madde 10-c6.3'ye göre deney yapılmalıdır.”

IT sisteminde yapılacak kontrollerde ilk hata durumunda koruma önlemlerinin etkisinin kontrolü [5]

“Madde 10-c5'deki tespitlere uygun olarak Ra topraklama direnci ve bir ana iletkenin besleme kaynağında topraklanmasından sonra şebekeden toprağa geçen Ia akımı ölçülmelidir. Tamamlama amacıyla Ia, tasarım dokümanlarından tahmin

edilebilir. RA.Ia çarpımı izin verilen sürekli dokunma geriliminin sınırını ($U\Delta = 50$ V) sınırını aşmamalıdır. Ya da; Bir ana iletkenin besleme kaynağında topraklanmasından sonra, topraklama direnci R_a üzerindeki gerilim düşümü ölçülmelidir; bu gerilim düşümü sürekli dokunma gerilimi $U\Delta$ 'den küçük veya ona eşit olmalıdır.”

Bu yönetmeliği özetleyecek olursak Topraklama tesisat yönetmeliğinde sistemdeki pano, makine ve cihazların gövde koruma topraklama direncinin ölçümü ve sonuçlarının değerlendirilmesi üzerine bir şartlandırma yapılmış ve bu direnç değerlerinin sınırları belirlenmiştir. TT ve IT tipi topraklama sistemi olan tesislerde ölçüm yapılan her noktada ölçülen değer $R_a < 50V/I_a$, TN Şebekede ise $R_a < 220V/I_a$ değerini sağlaması istenmektedir [5]. Buradaki I_a devre koruma elemanının ani açma akım değeridir. Bu değer koruma elemanının tipine göre $5I_n$ ile $15I_n$ değerlerinde olabilmektedir. Kaçak akım Koruma röle sistemi kullanılması durumunda da buradaki I_a değeri kullanılan kaçak akım röle sisteminin $I_{\Delta n}$ set değeri olacaktır. Bu değer sistemdeki temas riski göz önünde bulundurulmak şartıyla doğrudan temas riski olan yerlerde kesinlikle 30mA, diğer dolaylı temas riski bulunan yer ve sistemlerde ise sistemin topraklama direncine bağlı olarak 30mA-30A' e kadar olabilir. [14] Sistemde böyle bir hata akımı koruma düzeneği varsa Topraklama yönetmeliği aşağıdaki ifadeyle bu ispatı yeterli bulmaktadır [5].

“Hata akımı koruma düzeninin arkasındaki bir yerde koruma önleminin etkisi kanıtlandığı takdirde, bundan sonra, bu hata akımı koruma düzeni tarafından korunan bütün tesis kısımlarının, koruma iletkeni vasıtasıyla bu ölçme noktasına güvenli şekilde bağlandığının kanıtlanması yeterlidir”

Aşağıda Tablo 2.2'de TT tipi bir şebekede yapılan gerçek bir topraklama ölçüm raporu görülmektedir. Bu ölçüm, otomotiv parçası üreten bir endüstriyel tesiste yapılmıştır. Ölçüm raporunda ismi geçen kısım ve makinelerin gövdesindeki iletken bölümlerin toprağa göre yayılma (geçiş) direnci, bu amaç için üretilmiş kapastif ölçüm metoduna göre çalışan ERT-S [15] marka topraklama ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 2.2: TT Sistemde topraklama ölçüm raporu.

A.G. TESİSLERİ TOPRAKLAMA ÖLÇÜM RAPORU		ŞEBEKE TİPİ : TT.						
S. NO	ÖLÇÜLEN NOKTA	İletken Kesiti Ana /Koruma	In A	Açma Eğrisi Tipi	Ia A	Rx Ölçülen	RA: 50/ Ia	Sonuç Rx < RA
1	K1/2 Pano Koruma Topraklaması	2(3*50+70)	630	1,25	787,5	0,83	0,06	Uygun Değil
2	K3/4 Pano Koruma Topraklaması	3*150+70	630	1,25	787,5	0,46	0,06	Uygun Değil
3	H5 dikey Homlama Koruma Topraklaması	4*6	63	10	630	0,69	0,08	Uygun Değil
4	M1 Matkap Koruma Topraklaması	4*2,5	32	10	320	0,86	0,16	Uygun Değil
5	F1 Freze Koruma Topraklaması	4*2,5	25	10	250	0,87	0,2	Uygun Değil
6	CNC Büyük Torna Koruma Topraklaması	3*35+16	150	1,25	187,5	2,85	0,27	Uygun Değil
7	TK 1 Torna Koruma Topraklaması	4*6	40	10	400	0,81	0,13	Uygun Değil
8	Hidrolik Pres Koruma Topraklaması	4*2,5	25	10	250	1,03	0,2	Uygun Değil
9	Tali-1 Dağıtım Panosu	3*70+35	400	KAR	1	2,5	50	Uygundur
10	İdari ofis kat dağıtım panosu	3x35+16	150	KAR	0,3	1,23	166,6667	Uygundur
11	Muhasebe ofis priz linyesi	3*2,5	16	KAR	0,03	1,23	1666,667	Uygundur
In: Koruma elemanının anma akımı								
Ia: Koruma elemanının açma akımı. Artık Akım Anahtarında I _{dn} , Otomatik sigortalarda tiplerine göre B: 5 I _n , C: 10 I _n , D: 15 I _n ,								
Rx: Ölçülen topraklama yayılım direnci.								
RA: Hesaplanan sınır topraklama direnci. (TT şebeke tipi için RA = 50 V / Ia)								
Zx: Ölçülen Çevrim empedansı								
Zs: Hesaplanan sınır çevrim empedansı (TN şebeke için Zs= 230 V / Ia)								
Sonuç: 1-8 Nolu noktalarda yapılan koruma topraklaması ölçüm değerleri uygun değildir.								
9-11 Nolu noktalarda yapılan koruma topraklaması ölçüm değerleri uygundur.								

Tablo 2.2'deki raporda ilgili ölçüm noktalarının sırasıyla isimi, kablo kesiti, aşırı akım koruma elemanının nominal açma akımı, açma eğrisi (ani açma için gereken nominal akım katsayısı) ve sistemde KAR bulunup bulunmadığı bilgileri sistem üzerinden incelenerek girilmiştir. Devamında ani açma akımları, açma eğrisi veya sistemde kaçak akım rölesi bulunup bulunmaması durumu belirtilmiştir. Bu veriler ile koruma topraklaması sınır değerleri

$$Ra < 50V/Ia \quad (2.16)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda TT şebekelerde ani açma akımı Ia, sistemde kaçak akım rölesi varsa kaçak akım koruma rölesinin açma değeri, yoksa aşırı koruma elemanının ani açma akım değeri olarak girilmiştir. Son olarak tesiste ERT-S Marka kapastif topraklama ölçüm cihazıyla ilgili kısımların Rx koruma topraklamaları ölçülmüş ve ölçülen Rx topraklama direnç değerlerinin, hesapla bulunan Ra direnç değerlerinden küçük olması durumu “uygundur”, büyük olması durumu ise “uygun değildir” ifadesi ile raporlanmıştır. Topraklama yönetmeliğine göre uygun olmayan noktaların uygun hale getirilmesi gerekmektedir [5]. Bu çoğu tesiste kaçak akım rölesi kullanılmasıyla mümkündür. TN sistemlerde yapılan ölçümlerde ise ilgili devrenin bir faz ve nötr hattını içeren çevrim empedansı

ölçülür ve bu empedans değeri (2.17) numaralı denklemdeki referans değeri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

$$Z_s < \frac{230V}{I_a} \quad (2.17)$$

Z_s çevrim empedans değeri (2.17) denklemdeki şartı sağlamadığı durumlarda sistemde ek koruma önlemleri alınmalı ve kaçak akım röle sistemleri tesis edilmiş olmalıdır.

iii) İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelikte hata akımı koruma düzenleri [6];

Bu yönetmelik teknik bir yönetmelik olmamakla birlikte, aşağıda aynen verilmiş olan maddelerde görüleceği üzere kaçak akım rölesi kullanılması zorunluluğunda bağlayıcı, genel ve hakim ifadeler içermektedir. Bu yönetmeliğin uygulamadaki karşılığı, zorunluluk ve uygulanabilirlik ikileminde tez konusu kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edip etmeyeceği incelenecektir.

Yönetmelik EK-1 maddeleri. Madde 4'te [6]

“Elektrik tesisatı, yangın veya patlama tehlikesi oluşturmayacak şekilde projelendirilip tesis edilir ve çalışanlar doğrudan veya dolaylı temas sonucu kaza riskine karşı korunur”

Madde 8'de [6]

“İşyerinin ana pano ve tali elektrik panolarında seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi (artık akım anahtarı) tesis edilir.”

Bu yönetmeliklerin tezde verilme sebebi kaçak akım rölelerinin yasal mevzuatlardaki kullanım şartlarının tanımlanması ve bu idari şartlardan kaynaklı olabilecek hatalı çalışma sebeplerinin de olabileceğini ve teknik sebeplerin yanı sıra idari konularında hatalı uygulamalarda etken olabileceğini vurgulamaktır. Yönetmeliklerin kaçak akım rölelerinin uygulanmasında ve çalışmasında ne gibi hatalara sebep olacağı bir sonraki bölümde detaylıca incelenmiştir.

3. KAÇAK AKIM RÖLELERİNİN HATALI ÇALIŞMASI

Bu bölümde özellikle endüstriyel tesislerde karşılaşılan hatalı çalışma sebepleri incelenecektir. Kaçak akım rölesinin meskenlerdeki kullanımı, son yıllarda gerek elektrik enerjisi sağlayan kurumlar, gerekse yapı kullanma izin belgesi veren belediyelerce proje ve kabullerde yapılan sıkı denetimler ile belirli bir standarda ulaşmıştır. Fakat iş yerleri, inşaat şantiyeleri ve endüstriyel tesislerdeki kaçak akım rölesi kullanımıyla ilgili belirsizlik ve karmaşa devam etmektedir. Bu bölümde uygulamada yaşanan bu sorunlar tanımlanacaktır.

3.1. Sık Karşılaşılan Hatalı Çalışma Sebepleri

Endüstriyel tesislerde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler iki bölümde değerlendirilecek olursa, idari ve teknik sebeplerden kaynaklı hatalar olarak sınıflandırılabilir.

i) İdari sebeplerden kaynaklı uygulama hataları;

Genel olarak idari yönetmelikler ve bağlı şartnamelerden kaynaklı hatalardır. Yürürlükte olan Elektrik İç Tesisat yönetmeliğinin 18.Madde'sine göre bina bağlantı girişine 300mA değerinde yangın rölesi, kolon hatlarına ise 30mA değerinde hayat koruma rölesi tesis etmelidir denmektedir [4]. Bu madde ile mesken ve benzeri yapıların elektrik proje ve uygulaması yapılabilir ama bir atölye veya endüstriyel tesis proje ve uygulaması yapmak imkânsız olur. Çünkü yönetmelikte çok basit tarım binaları, barakalar, basit köy evleri hariç bina girişine (kofra) yangın rölesi (300mA), kolon devresinde hayat koruma rölesi (30mA) tesis edilmelidir denerek asgari yapılar sınırlanmış fakat daha büyük yapı ve organizasyonlarda ne olacağı belirtilmemiştir. Bugün yapılan büyük boyutlu yapılarda ve endüstriyel tesislerde bu çelişki projelerde kararsız bir şekilde sürdürülmektedir. Projelerde yönetmelik şartını sağlamak için düzensiz bir şekilde konulan bu tarz kaçak akım röleleri tesisin gerçek ihtiyacına uygun olmadığından fiilen ya hiç takılmamakta ya da takılsa da iptal edilmektedir. Oysa aynı maddenin son bölümünde bu kurala uygun yapılmayan tesislere elektrik

verilemez denmektedir. Bu idari yönetmelik maddesi röle değerlerinden ve yapı sınıfı üst sınırı belirtilmediğinden dolayı uygulamada hatalar oluşturan bir maddedir.

İdari şartlardan kaynaklı bir diğer hata sebebi yönetmelik maddesi ise iş güvenliği yönetmeliğindeki 8. maddedir. Bu maddeye göre "Ana ve Tali Panolara seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi tesis edilir" denmektedir [6]. Bu seçicilik ilkesinden kast edilen amper aralığı iç tesisat yönetmeliği 18. Maddesindeki gibi 30mA ile 300mA aralığında bir seçicilik ise, ki bu maddede herhangi bir röle değeri telaffuz edilmemiştir, buna rağmen iş yerleri için tasarım yapan projeci veya uygulayıcı kaçak akım rölesi değeri belirlerken iç tesisat yönetmeliği 18. Madde şartına göre 30mA-300mA değerleri baz alınarak seçimler yapmakta ve haliyle de büyük akımlı makine, pano ve tesis kısımlarında bu röleler, tezde derinlemesine inceleyeceğimiz sebeplerden dolayı hatalı açmalar yapmaktadır.

Bir diğer örnek Topraklama Tesisat Yönetmeliği 6. maddesine göre TT tipi şebekede dolaylı dokunmaya karşı alınması gereken tedbirlerde korumanın görev yapıp yapmadığının kontrolünü şebeke tipi, koruma elemanının açma akımı, açma süresi ve sistemin koruma topraklama direnç değerlerinin uygun olması şartına bağlamıştır. Bugün bu maddedeki şartlar TT Şebeke ile işletilen, kamusal alanlarda kullanılan aydınlatma direkleri, parsel panoları gibi elektrikli, metal gövdeli tesislerde incelendiğinde, TEDAŞ- MYD/2003-006.A numaralı metal muhafazalı alçak gerilim dağıtım panoları teknik şartnamesi, genel parsel panosu tek hat şeması tipinde, ana koruma elemanının termik manyetik (TMS) koruma yaptığı görülmektedir. Bu TMS şalterlerin ani açma akımı I_a , ayarlanabilir olmakla birlikte en hızlı olanında, nominal akımının 1,25 katında ani açma yapabilmektedirler. Bu tür bir panoda olası bir pano içi izolasyon hatasında, örneğin su baskının da TT şebeke koruma şartlarına göre panonun koruma topraklama direncinin değeri topraklama yönetmeliğine göre

$$R_a < 50V/I_a \quad (3.1)$$

değerini sağlamalıdır. 630A değerinde bir termik manyetik şalterle korunan dağıtım şebekesi parsel panosunda olası izolasyon hatası sonucunda tehlikeli bir dokunma geriliminin oluşmaması için koruma sisteminin devreyi yönetmelik gereği 0,2 sn'de açması istenir bu da R_a direnç değerinin ve I_a açma akım değerinin (3.1) nolu

bağıntıyı sağlanması ile mümkündür. Bu durumda Ra gövde koruma topraklama direnç değeri;

$$Ra < 50V / (1,25 * 630) \quad (3.2)$$

(3.1)'deki formülden $Ra < 0,063$ ohm olarak hesaplanır. Yani bu parsel panosunun gövde koruma direnci 0,063 ohm gibi çok küçük bir değere sahip olması gerekir. Bu değeri sağlamak oldukça güçtür. TEDAŞ MYD şartnamesi ile topraklama tesisleri şartnamesinin çelişkili bu durumu, yönetmeliklerdeki çelişkilere ve hata kaynaklarına en somut örneklerden biridir. Aşağıdaki Şekil 3.1'de 2014 yılında böyle bir parsel panosuna su baskını sırasında dolaylı temas etmek sonucu yaşanmış ölümlü bir elektrik kazası görülmektedir.



Şekil 3.1: Dolaylı temas sonucu oluşan ölümlü kaza.

Kazada görgü tanıklarının ifadesiyle lise öğrencisi Resul Pekuslu yağmur suyuyla dolan sokakta yürürken yaya kaldırımındaki elektrik parsel panosuna tutunmak istemiş ve dokunduğu panoda oluşan elektrik kaçağı nedeniyle akıma kapılmıştır. Maalesef Resul Pekuslu bu kazada hayatını kaybetmiştir [16]. Her yıl ülkemizde dolaylı dokunma sonucu bu kazaya benzer onlarca kaza yaşanmaktadır. Bu kazadan da anlaşılacağı üzere elektrik sistemlerindeki koruma devreleri tehlikeli doğrudan ve dolaylı dokunma gerilimlerini önleyecek şekilde dizayn edilmelidir. Tüm elektrik tesislerinde topraklama sisteminin ölçümü yılda en az bir kez

yapılmalıdır. İlgili sistemin topraklama tipine bağılı olarak sistem kontrolleri ve direnç değerlerinin korumayı sağlayıp sağlamadığı ölçülerek kontrol edilmelidir. Ölçüm sonuçlarına göre yeterli koruma sağlamıyorsa ek koruma önlemleri alınmalıdır. Bu bölümde yönetmelikler bölümünde de ayrıntılarıyla bahsedildiği üzere, bu önlemlerden biri de elektrik tesisatlarında kaçak akım koruma rölesi kullanılmasıdır. Bir sonraki bölümde bu önemli koruma aracının, hayati öneme sahip olmasına rağmen özellikle endüstriyel tesislerde ve örnekteki gibi kamusal tesislerde kullanılmamasının sebepleri araştırılacaktır.

ii) Teknik uygulama hataları;

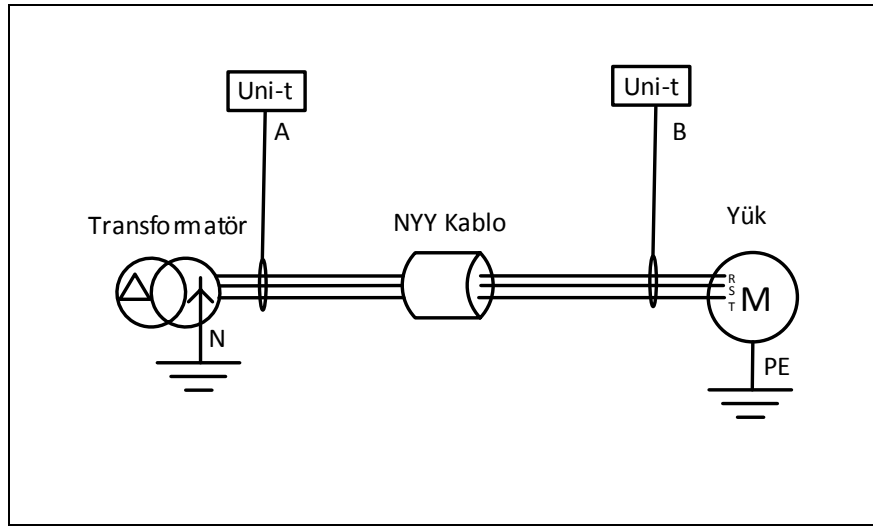
Endüstriyel tesislerde teknik uygulama hatalarının başında yanlış ürün seçimi, projelendirme hatası ve bağlantı hataları gelmektedir. Yanlış ürün seçiminden kasıt, bu tezde de derinlemesine incelenecek olan doğal kaçak akımlar, tesisattaki harmonik değerler ve tesis şartlarının et

kilerini göz önünde bulundurmadan yapılan kaçak akım rölesi seçimleri ve uygulamalarıdır. Yine kaçak akım rölelerinin bağlantı hataları da teknik uygulama hataları olarak görülmektedir. Röle sonrasında nötr ile toprak hattının irtibatlı olması, devreyi TN-C sistemdeki gibi yapacaktır. Yani tek fazlı sistemlerde, yüke giden akımın bir miktarı gövdeden toprağa akacak, nötrden dönen akım fazdan gelen akıma eşit olmayacaktır. Böylelikle nötr ile faz arasında bir fark akımı oluşacaktır. Bu akım normalde olmaması gereken hatalı bir bağlantı sonucu oluştuğundan kaçak akım rölesi hatalı çalışacaktır. Bunun yanı sıra uygulamada yaşanan sorunların temel sebepleri olarak yapılmış araştırmalarda tesislerdeki harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileyebileceği görülmüştür [14]. Teknik hata sebeplerinden ve bu tezinde konusu olan kablo kaynaklı etkiler ile akım, gerilim harmoniklerinin etkisi ileriki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.2. Gerçek Tesislerde Yapılan Kaçak Akım Ölçümleri

Tez çalışmaları sırasında gerçek sistemlerdeki kaçak akımların varlığı da araştırılmıştır. Endüstriyel bir tesiste farklı makine ve motor devreleri üzerinde kaçak akım ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler bu amaç için üretilmiş UNİ-T [17] Toprak ve

Kaçak akım test cihazı ile yapılmıştır. UNİ-T kaçak akım test cihazı pens ampermetre gibi çalışan bir cihaz olup, pens ampermetrelerden farkı, cihazın akım trafosu içine alınmış iletkenlerden geçen akımları vektörel olarak toplayabilme ve rms sonuç verebilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Bu cihazla Şekil 3.2'deki şemadan da görüleceği üzere makine devresi besleme kablosunun kaynak tarafı, hat başından (A Noktasından) ve yük tarafı, hat sonundan (B noktasından) kaçak akımlar ölçülmüştür. Bu ölçümler ile kablo kaynaklı kaçak akımların fiili durumu görülmüştür.



Şekil 3.2: Kaçak Akım ölçüm şeması.

Şekil 3.3'te sahada yapılan bu ölçümlere ilgili resimler görülmektedir. Yapılan ölçümlerde her sistemin, hattın ve makinanın kendine özgü doğal bir kaçak akıma sahip olduğu gözlemlenmiş ve Tablo 3.1'de bu ölçüm sonuçları görülmektedir.



a) Panodan ölçüm. b) Motor bağlantısı. c) Motor üzerinden ölçüm.

Şekil 3.3: Uni-t Cihazıyla kaçak akım ölçümü.

Ölçümdeki 11kW lık vakum pompası normal çalışma durumunda sabit çalışırken, üçgen bağlı motorun besleme panosunda yani Şekil 3.2'deki şemaya göre A noktasında 1,04A kaçak akım değeri ölçülmüş, 40mt uzunluğundaki 4x4 NYY Kablo hattının motor girişinde yani B noktasında ise 0,75A lik bir kaçak akım (RC) ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre ilgili makinada sadece kablo kaynaklı doğal kaçak akım miktarının 259mA. olduğu görülmektedir. Bu ölçümler aynı cihazla yapılmıştır, ölçüm anı aynı değildir yaklaşık bir dakika zaman farkı vardır. Ölçümler aynı ölçüm metodu ile tesisteki farklı sistemlerde de tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 3.1' deki gibidir.

Tablo 3.1: Kaçak akım ölçüm tablosu.

Makine Adı	Güç	Kablo	Mesafe	A. Hat başı	B. Hat sonu	A-B Kablodaki kaçak akım (Amper)
K.Sirkilasyon	7,5kW	4x4NYY	70	0,74	0,65	0,09
V.Pomp.	11kW	4x4NYY	40	1,04	0,75	0,29
Enjeksiyon	11kW	4x4NYY	100	1,25	0,49	0,76

Tablo 3.1'deki değerler incelendiğinde hat başındaki kaçak akım değerleri ile hat sonundaki kaçak akım değerlerinin farklı olduğu görülmüştür. Bu ölçümler ile kablolardaki kayıp akımın kablo mesafesine ve yük miktarına bağlı olarak arttığı

görülmüştür. Bu ölçümün yapıldığı makinalarda çalışan personelin dolaylı dokunmaya karşı güvenliğinin sağlanması için yukarıda da genişçe yer verilen tesis topraklama tipine göre korumalar yapılmalıdır. Bu korumaların en önemlilerinden biride kaçak akım röleleri ile korumadır. Fakat Tablo 3.1’de görüleceği üzere bu tür tesislerde kaçak akım koruma rölesi uygulanabilmesi sistemde gerçek manada dolaylı dokunma gerilimlerine neden olmayan, kaçak akımlar olduğu ve bu akımlarında kurulacak röle sistemlerinde hatalara ve istemsiz açmalara sebebiyet verebileceği görülmüştür. Bu tür doğal kaçak akımların varlığı ve bu akımların oluşumunu etkileyen faktörlerin tasarımcı ve uygulayıcı tarafından bilinmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma ile tezde simülasyonla yapılan parametrik analiz sonuçları ile gerçek sistemler üzerinde yapılan ölçüm sonuçları arasında benzerlikler ve yakınsamalar olduğu görülmektedir.

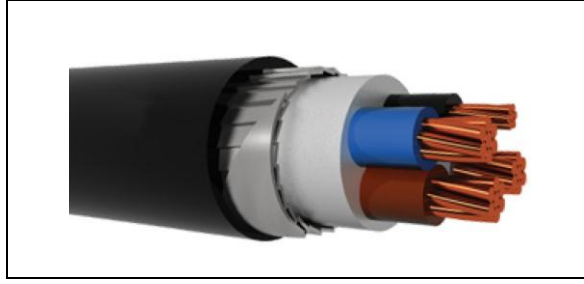
4. ŞEBEKE TİPLERİNİN MODELLENMESİ VE KAÇAK AKIM HATALARININ İNCELENMESİ

Bu bölümde, tez konusu olan kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörlerin araştırılması amacıyla ATP Programında devre modellemeleri yapılarak kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etek eden faktörler incelenecektir. Bir önceki bölümde kaçak akım ölçme cihazıyla, gerçek yük sistemlerinde yapılan ölçümlere yer verilmişti. Ölçümlerde mesafe ve yüke göre değişen kaçak akımlar ölçülmüştü. Bu bölümdeki çalışmayla ölçümlerle de tespit edile bilinen doğal kaçak akımların kaynağı araştırılacaktır. Çalışmada kablo kaynaklı doğal kaçak akımlar ve Akım, Gerilim harmoniklerinin kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmalarına etkileri, yük, mesafe ve harmonik frekanslar ile parametrik analiz yöntemiyle yapılacaktır.

4.1. NYY, NYFGBY Tip Kabloların Modellenmesi

Çalışmada kullanılacak olan güç kabloları YVV(NYY) TS 212 ve NYFGBY TS 212 kablolarıdır. Bu kablolar endüstriyel tesislerde sıkça kullanılmaktadır. enerji kablosu olarak toprak altında, kablo kanallarında, hariçte ve dahilde, yer altında, tatlı suda, (özel olarak imal edilmesi halinde) tuzlu suda, enerji santrallerinde, endüstriyel tesislerde ve şalt tesislerinde kullanılır. Tek damarlılarda 1.5-10 mm²'ye kadar tek telli, 10 mm²'den 300 mm²'ye kadar çok tellidir. Yalıtkan kılıfla yalıtılmış ve üzerine dış kılıf geçirilmiştir. 2-4 damarlılarda 10 mm²'ye kadar tek telli, 10 mm²'den büyük kesitlerde çok tellidir. Birbirine burulmuş damarlar üzerinde ortak kılıf ve üzerinde siyah renkli dış kılıf vardır. En yüksek iletken sıcaklığı 70°C, Anma gerilimi 0.6/1kv dur [18].

Bu kabloların gerek birbirlerine göre gerekse zırha veya toprağa göre dizilişleri genelde asimetriktir, bu durum kabloların faz iletkenlerinde empedans farklılıklarına sebep olmaktadır. Ayrıca kablo iletkenlerinin toprağa ve zırha göre doğal kapasitansları vardır. ATP Programında bu NYY ve NYFGBY gurubundan 1x35mm, 3x35+16mm² , 3x70+35mm² ve 5x35mm² ve 2x10mm² Kabloları modellenmiştir. 3x35+16mm² +zırh olan NYFGBY Kablo Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1: Çelik zırlı kablo.

ATP programında modellenen Şekil 4.1'deki gibi bir kablonun empedans değerleri aşağıdaki matrislerdeki gibidir. Modelde toprak öz direnci 100 Ohm/Mt alınmıştır. 3x35+16mm²+zırlı NYGBFY Kablo modelinin 75 metredeki empedans değerleri (4.1), (4.2) ve (4.3) numaralı matrislerdeki gibidir. Bu matrislerde R(Ohm), L(mH) ve C(µF) değerlerine bakıldığında iletkenlerin bir birilerine ve zırha göre olan empedans değerlerinde farklılıklar (dengesizlikler) olduğu görülmektedir. Matristeki R11 elemanı birinci faz, R22 ikinci faz, R33 üçüncü faz iletkeninin, R44 nötr iletkeninin ve R55 elemanı ise zırlı iletkeninin self empedans değerlerini verir. Matristeki diğer üst üçgen bölgedeki elemanlar ise kablo içerisindeki bu beş iletkenin karşılıklı empedans değerleridir.

$$R = \begin{vmatrix} 6.08404368E-02 & 3.69600599E-03 & 3.54067515E-03 & 3.69777770E-03 & 3.69934542E-03 \\ & 6.08404368E-02 & 3.69600599E-03 & 3.59042143E-03 & 3.69934542E-03 \\ & & 6.08404368E-02 & 3.69777770E-03 & 3.69934542E-03 \\ & & & 1.39841550E-01 & 3.69934542E-03 \\ & & & & 2.47720578E-03 \end{vmatrix} \quad (4.1)$$

$$L = \begin{vmatrix} 1.90820920E-01 & 1.72958679E-01 & 1.68094846E-01 & 1.75288574E-01 & 1.70278374E-01 \\ & 1.90820920E-01 & 1.72958679E-01 & 1.70581133E-01 & 1.70278374E-01 \\ & & 1.90820920E-01 & 1.75288574E-01 & 1.70278374E-01 \\ & & & 1.97531091E-01 & 1.70278374E-01 \\ & & & & 1.70396534E-01 \end{vmatrix} \quad (4.2)$$

$$C = \begin{vmatrix} 1.62320153E-02 & -4.39152921E-03 & 2.67159276E-04 & -3.64624943E-03 & -8.46139596E-03 \\ & 1.59821689E-02 & -4.39152921E-03 & -2.47640822E-04 & -6.95146962E-03 \\ & & 6.08404368E-02 & -3.64624943E-03 & -8.46139596E-03 \\ & & & 1.39841550E-01 & -1.18789878E-03 \\ & & & & 8.89691070E-02 \end{vmatrix} \quad (4.3)$$

Kablo içerisinde bulunan iletkenlerin bir birlerine göre olan empedanslardaki bu dengesizlikler sistem ne kadar dengeli olursa olsun üç fazlı dengeli sistemlerde kablo geometrisinden kaynaklı dengesizlik akımlarına ve toprağa akacak kapasitif sızıntı akımlarına sebep olacaktır. Kablonun yapısı, bulunduğu ortam ve mesafe etkilerinden kaynaklı bu durumun, doğal kapasitif kaçak akımlara ve RCD röle sistemlerindeki hatalı açmalara etkisi ileriki bölümlerde incelenecektir.

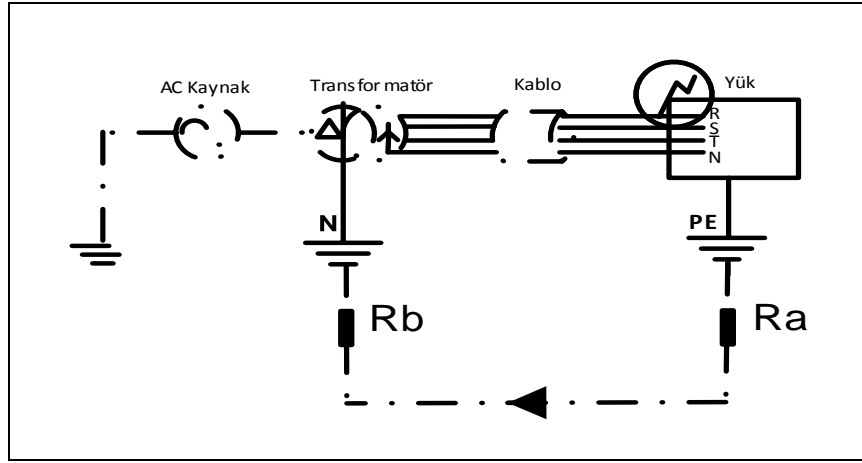
4.2. ATP Programında TT Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Bir Faz Toprak Arızasının İncelenmesi

Bu kısımda topraklama sistemine göre sınıflandırılan şebeke tiplerinden olan TT şebeke tipi ATP Programında modellenmiştir. Arıza durumlarındaki devre davranışı ve kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler bu bölümde incelenecektir. Çalışma aşağıdaki üç durum için yapılmıştır.

- i) ATP programında modellenen devre üzerinde kalıcı hal analizi yapılacaktır. Faz toprak arızası sırasında yük gövdesindeki dokunma gerilimi değişimi, nötrdeki gerilim yükselmesi, nötr ve gövde topraklaması akımlarındaki değişimler incelenecektir.
- ii) Model devrelerde kablo geometrisi, kablo mesafesi ve yük değişimlerinin kaçak akımlara etkileri incelenecektir.
- iii) Model devrelerde gerilim ve akım harmoniklerinin değişiminin, kablo mesafesi faktörüne bağlı olarak kaçak akımlara etkisi incelenecektir.

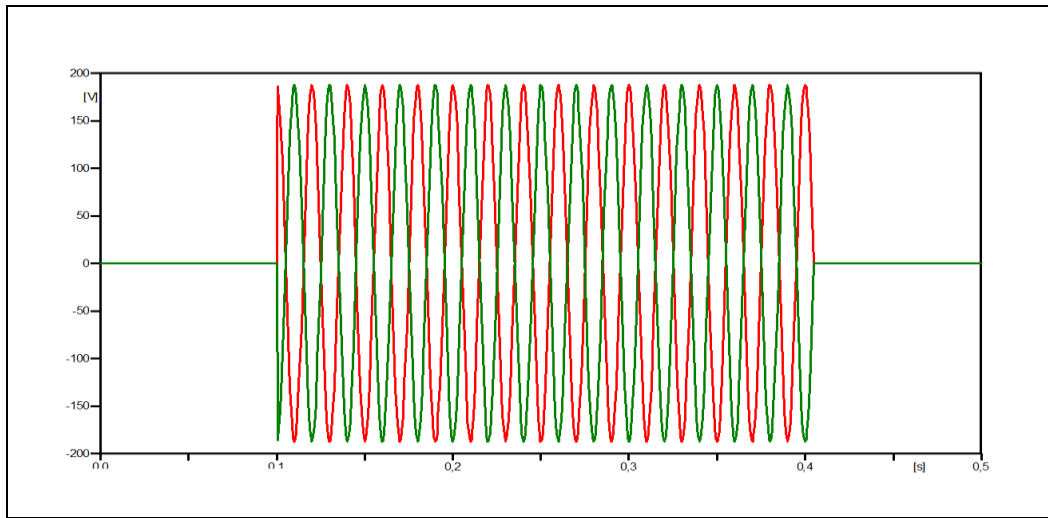
Şekil 4.2’de TT tipi bir devre modellenmiş ve faz akımlarından yüke giden ve yükten dönen akım grafikleri arıza durumunu da içerecek şekilde incelenmiştir. Yirmi beş periyotluk bir normal çalışma süresi içerisinde, beşinci periyotta zaman kontrollü anahtar yardımıyla on beş periyotluk, bir faz toprak arızası yapılarak, TT şebekede kaçak akımının oluşumu ve devredeki etkileri incelenmiştir. Model devrede 3 Fazlı 34,5kV kaynak, 34,5/0,4kV Üçgen/Yıldız bağlı transformatör, 3x35+16mm² NYY kablo ile 3 fazlı yıldız bağlı, faz başına 4ohm değerinde bir rezistans yükü bağlanmıştır. Devredeki Ra direnci 0,5ohm değerindedir ve TT sistemli devrenin

koruma topraklamasıdır. R_b direnci ise 0,5ohm değerinde nötr toprak direnç değeridir.



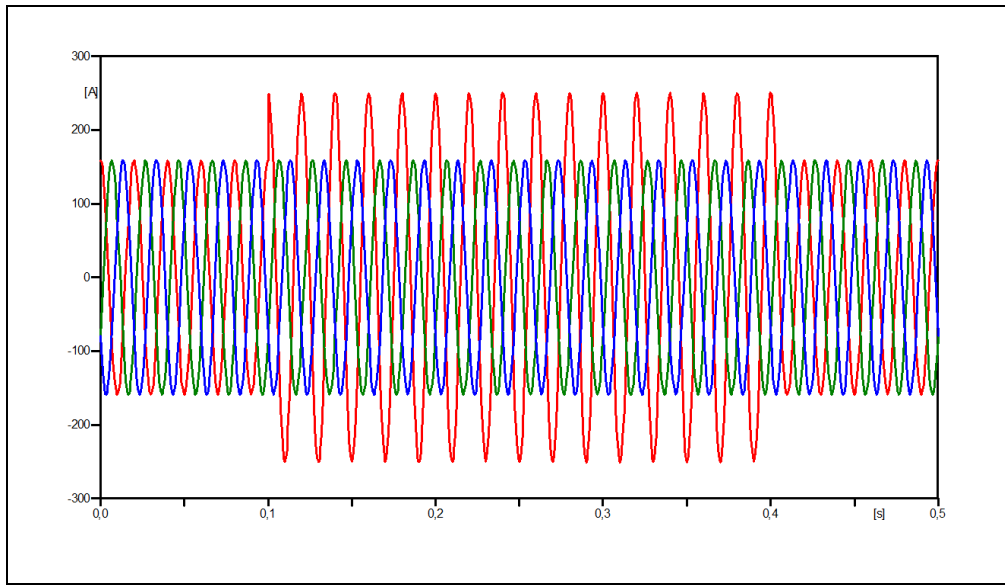
Şekil 4.2: TT Şebekede faz toprak arızası.

ATP programında bu devre incelendiğinde TT Şebekede bir faz toprak arızası durumunda Şekil 4.3'te görüldüğü gibi yük tarafında 178V değerinde dokunma ve trafo tarafında 178V değerinde nötr gerilimi oluşmaktadır. R_a (Gövde koruma topraklama geçiş direnci) direnç değeri arttıkça bu değer yani dokunma gerilimi de artmış olacaktır. Devrenin bu şekilde sürekli çalışması düşünülemeyeceği gibi açmanın uzaması halinde can ve mal emniyeti açısından büyük riskler ve sakıncalar oluşacaktır.



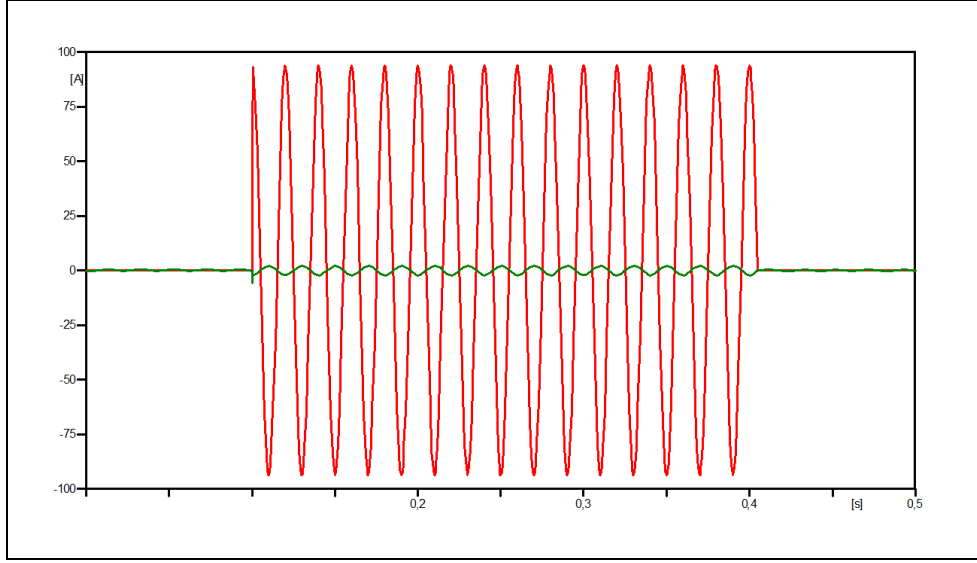
Şekil 4.3: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda nötrde (yeşil) ve gövdede (kırmızı) oluşan gerilimler.

Aynı devre için Şekil 4.4'te normalde faz akımları 160A iken arıza sırasında arızalı faz akımı 250A olduğu görülmektedir, aşırı akım koruma elemanlarının bu akım değerinde açması, koruma sigorta veya şalterinin tipine bağlı olarak değişmekle birlikte akım genliğinin, aşırı akım açma elemanlarının açma akımı sınırına yakın olması nedeniyle oldukça yavaş ve geç kalınmış bir açma olacaktır. Sigorta veya termik şalterlerin ani açma akımı ve açma süresine kadar bu sakıncalı ve aşırı riskli durum tesis içerisinde devam edecektir. Bu nedenle TT şebekelerin tümü tesisin şekline uygun bir projelendirme ile gerçek kaçak akımlarda açma yapabilecek kaçak akım röleleriyle donatılmalıdır.



Şekil 4.4: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda faz akımları (kırmızı arızalı faz) .

Son olarak Şekil 4.5'te nötre akan akım ile gövdeden toprağa akan akımların grafiği verilmiştir, Bu grafikte koruma iletkeni üzerinden toprağa akan akımın 90A maksimum değerinde olduğu görülmektedir. Bu akım ilgili dolaylı dokunulan sistem veya makine üzerinde koruma topraklama direncine bağlı bir gerilim oluşturacağı ve bu geriliminde yine tehlikeli dolaylı dokunma gerilimleri seviyelerine gelmeden sistemde elektriğin ani olarak kesilmesi gerekliliğine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.5: TT Şebekede faz –toprak arızası durumunda nötre akan akım (Yeşil) - gövdeden toprağa akan akım(Kırmızı).

Bu kısımda TT şebekede yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, faz toprak izolasyon hatası durumunda, yük tarafında, koruma topraklama direnç değerine bağlı olarak, hata anında ve sonrasında, sistem üzerinde tehlikeli dokunma gerilimlerinin oluşabileceği görülmüştür. Böyle bir durumda oluşacak hata akımı, çoğunlukla koruma devresinin ani açma akımından küçük kalacağından, kesinlikle koruma elemanı olarak sistemin karakteristiğine uygun seçilmiş tür ve değerdeki kaçak akım röleleriyle korunması gerektiği görülmüştür.

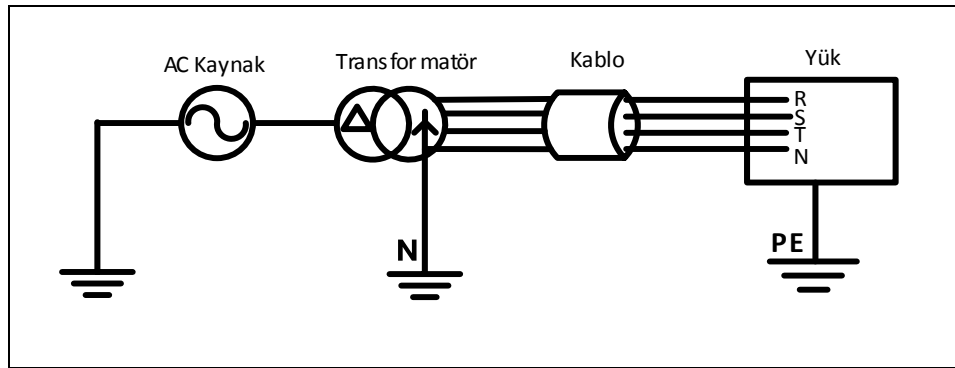
4.3. TT Sistemde Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmasına Etki eden Faktörler

Bu kısımda TT şebeke tipinde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edebilecek faktörlerden kablo geometrisi ve kablo empedans dengesizliklerinin etkisi ile akım ve gerilim harmoniklerinin etkisi incelenecektir. Çalışma ile enerji sistemlerinde kullanılan kabloların geometrik yapıları ve izolasyon malzemelerine bağlı olarak toprağa ve birbirilerine göre olan empedans değerlerinden dolayı doğal kaçak akımların oluşabileceği ve bu akımlarında, kaçak akım rölelerinin görevleri dışında açmalara sebep olabileceği araştırılmıştır. İnceleme ATP Programında modellenen Şekil 4.6'da bulunan devre üzerindeki veriler ile parametrik analiz yöntemiyle yapılacaktır. Kablo mesafesine bağlı analizde, kablo mesafesi ve yük

kaynaklı analizde ise mevcut kablunun taşıdığı yük miktarı değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Gerilim ve Akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi incelenirken gerilim harmoniği için kaynak gerilim frekansları değiştirilerek ve akım harmoniklerinin etkisi incelenirken de tek fazlı devrede akım kaynaklarından farklı akım harmonik değerleri uygulanarak analizler yapılmıştır.

4.3.1. TT Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli Yükte, Kablo Mesafesine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi

Şekil 4.6'daki eş değer devre modeli ATP Programında modellenmiştir. 3 Fazlı, 400V luk bir alçak gerilim TT Şebeke den 3x35+16+zırh NYY kablo ile beslenen 3 fazlı yıldız bağlı ideal dengeli rezistans yük bağlanmış, İdeal dengeli yükte kablo geometrisinden kaynaklı dengesizlikler ve kapastif etkilerin görülmesi için yükün yıldız noktası topraklanmıştır. Böylece sistem yirmi beş periyot boyunca çalıştırılarak sonuçlar listelenmiştir.

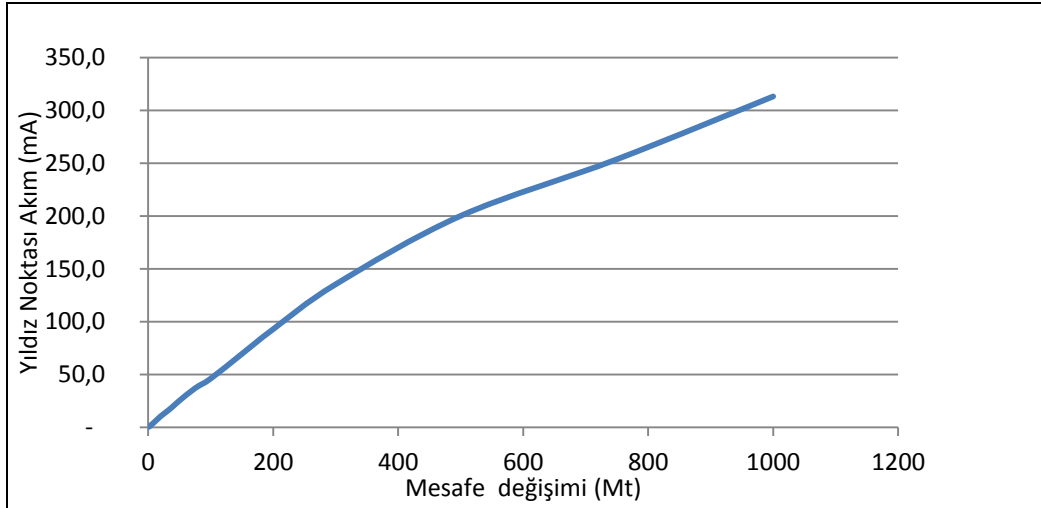


Şekil 4.6: TT Şebeke tipi.

Tablo 4.1 ve Şekil 4.7'de görülen tablo ve grafiklerde yük empedansı sabit tutularak iletken boyu 1 metreden 1000 metreye belirli ölçülerde değiştirilerek dengeli yükün çektiği faz akımları ve yıldız noktasından toprağa akan akım değerleri kaydedilmiştir. Yük ideal dengeli olduğu için, faz akımlarının vektörel toplamından oluşan ve yıldız noktasından toprağa akan akım; kablo faz iletkenleri aynı kesit ve özellikte olduğu halde iletkenlerin geometrik dizilişinden dolayı oluşan empedans dengesizliğinden kaynaklanmış ve mesafeye göre arttığı gözlenmiştir. Tablo ve grafiklerdeki akımlar, maksimum değerleridir.

Tablo 4.1: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu.

Gerilim	Sistem	Yük Tipi	yük değeri	besleme kablosu	Mesafe (metre)	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	3x35+16 da Yıldız noktasından akan akım (mAmper)	1x3x35+16da Yıldız noktasından akan akım (mAmper)
380V	TT	3 faz yıldız bağlı omik yük	2,4 ohm	3*35+16+shlt NYY-NYFGBY	1	135,43	135,43	135,43	5	
					10	135,02	135,04	135,06	44	
					20	134,58	134,61	134,65	85	
					30	134,14	134,19	134,25	124	
					40	133,7	133,75	133,85	161	
					50	133,27	133,35	133,44	196	
					75	132,19	132,32	132,45	276	485
					100	131,14	131,3	131,46	335	
					150	129,08	129,3	129,54	462	
					200	127,1	127,37	127,65	560	
					300	123,31	123,68	124,05	694	
					500	116,4	116,89	117,4	846	
					750	108,78	109,39	109,97	925	
					1000	102,11	102,79	103,42	960	
					1500	90,94	91,72	92,4	934	



Şekil 4.7: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yükün yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.

Şekil 4.6'daki devre endüstriyel tesislerde sıkça karşılaşılan bir yük ve tesisat tipidir. Bu kısımdaki çalışma da, kaçak akım rölesi kullanılacak yükün veya sistemin, röleye olan mesafesinin ve bağlantı şeklinin rölenin hatalı çalışmasında önemli bir etken olduğu ve modelde kullanılan devre için Şekil 4.7'de görüldüğü üzere kablo kaynaklı kapasitif kaçak akımlar ve dengesizlik akımlarının kablo mesafesiyle ve bağlantı şekliyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kablo geometrisi kaynaklı kapasitif kaçak akımların ve dengesizlik akımlarının kablo mesafesine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, model devrede yükün yıldız noktası koruma topraklaması olan PE ile topraklanmış olduğundan böyle bir

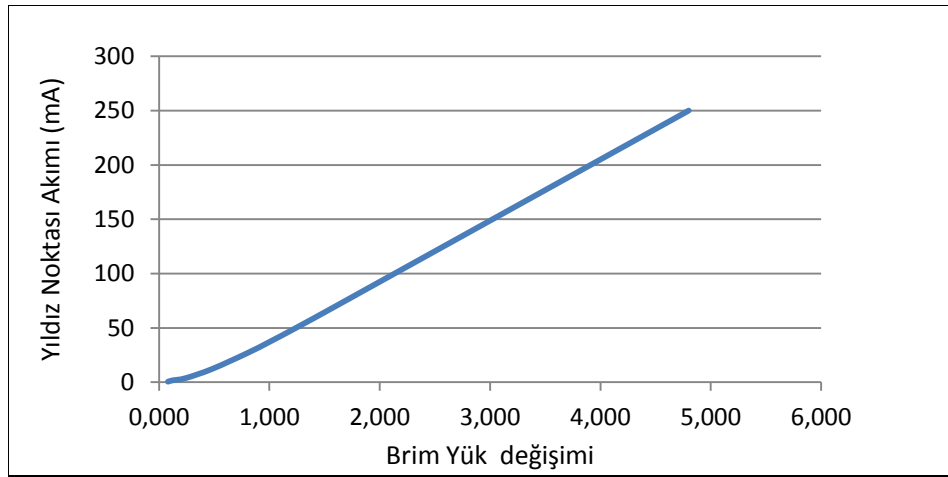
devrede kaçak akım rölesi üç faz ve nötr devresini kapsayacak şekilde ve yükün yıldız noktası PE iletkenine bağlı olduğundan, PE iletkeninden nötre dönen yıldız noktası akımı, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden, kaçak akım rölesi hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde kaçak akım rölesi kullanılacaksa yükün yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı ve röle sadece üç faz olarak bağlanmalı veya yıldız noktasının topraklanması gerekli ise bu topraklama, TT Şebeke şartını bozmadan nötr ile yapılmalıdır. Bu durumda nötrün gövdeden izole edildiğinden emin olunmalıdır. Bu sebeple projeci veya uygulamacı TT Şebekede kaçak akım rölesi uygulayacağı üç fazlı sistemlerde, kaçak akım rölesinden nötrün geçirilip geçirilmeyeceğine, nötrün yük tarafında kullanılıp kullanılmaması durumuna göre karar vermelidir. Nötr yük tarafındaki devrede kullanılacaksa, Kaçak akım rölesinden faz iletkenleriyle birlikte geçirilmeli ve devredeki bütün aktif devre nötr dönüşleri bu nötr iletkenine bağlanmalıdır. Özellikle kaçak akım rölesi ile korunan üç fazlı yükte, yükün yıldız noktasının, topraklanıp topraklanmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca bu bölümde yapılan analizde de görüldüğü üzere röle ile yük arasındaki kablo mesafesinin, kablodaki kapastif etkilerden kaynaklı dengesizlik akımlarını artırdığı ve dolayısıyla iletkenlerin gerek karşılıklı, gerekse de toprağa göre olan kapasitanslarından dolayı, kapastif kaçak akımlarını mesafeye bağlı olarak arttırdığı görülmüştür. Bu faktörün, kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etkisini önlemek için, kaçak akım rölesi, yüke oldukça yakın mesafelerde konumlandırılmalıdır.

4.3.2. TT Şebekelerde, Üç Fazlı, Sistemde Yük Değişimine Bağlı Olarak Faz Akımlarında Oluşan Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi

Şekil 4.6'da görülen eş değer devre modelinde kablo 75 metre olarak sabit tutulup, yük empedansı değiştirilerek Tablo 4.2 ve Şekil 4.8'de görülen tablo ve grafiklerde dengeli yükün çektiği faz akımları ve yıldız noktasından toprağa akan dengesizlik akımları değerleri kaydedilmiştir. Mesafeye bağlı etkilerin incelendiği bölümdeki gibi yük ideal dengeli olduğu için, faz akımlarının vektörel toplamından oluşan ve yıldız noktasından toprağa akan bu akım tamamen kablo empedans dengesizliğinden kaynaklanmış ve yük değişimine bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.2: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi tablosu.

Gerilim	Sistem	Yük Tipi	Mesafe	besleme kablosu	Yük R 3 Fazlı yıldız (ohm)	Yük R 3 Fazlı 2,4ohm :1 br yük ise	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	Yıldız noktasından akan akım (mAmper)
380V	TT	3 faz yıldız bağlı omik yük	sabit 75 metre	3*35+16+şhlt NYY-NYFGBY	30	0,080	10,82	10,82	10,82	2,2
					20	0,120	16,21	16,21	16,21	4,74
					10	0,240	32,33	32,33	32,34	18,5
					5	0,480	64,27	64,3	64,33	73
					3	0,800	106,28	106,36	106,44	183
					2,4	1,000	132,19	132,32	132,45	276
					1,9	1,263	165,91	166,09	166,3	420
					1,5	1,600	208,44	208,73	209,04	635
					1	2,400	306,74	307,35	307,96	1254
					0,5	4,800	580,68	582,62	584,59	3605
					0,3	8,000	903,37	907,5	911,99	7081



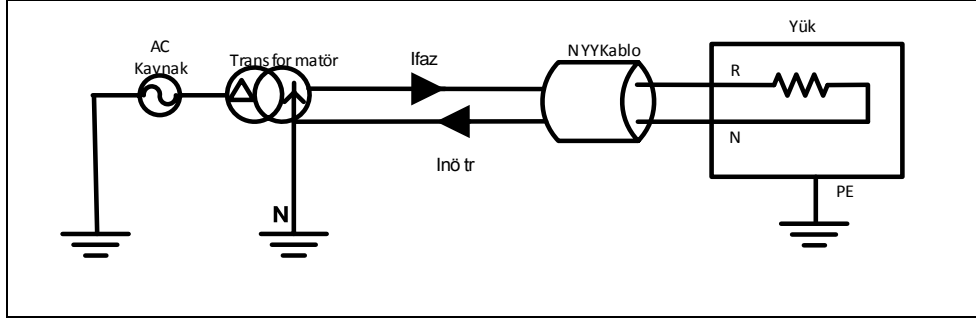
Şekil 4.8: TT Şebeke de yıldız bağlı 3 fazlı sabit mesafede, değişen yük empedans değerlerinde yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.

Bu kısımdaki çalışma ile, kaçak akım rölesi kullanılacak olan sistemlerde, yük miktarının değişimi kablolardaki dengesiz empedanslardan dolayı, doğal kapastif kaçak akımların artışında etkili olduğu görülmüştür. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere yük miktarının artışı, kablo empedans dengesizliğine bağlı kapastif kaçak akımları ve dengesizlik akımlarının artışına doğrudan etki etmektedir. Çalışmada Tablo 4.2’de görüldüğü üzere yük miktarının artması, bu akımların artmasına sebep olmaktadır. Böyle bir durumda sistem de bulunan kaçak akım röleleri görevi dışında doğal kaçak akımlardan dolayı hatalı açmalar yapacaktır. Model devrede yükün yıldız noktası koruma topraklaması olan PE ile topraklanmış olduğundan devrede kaçak akım rölesi üç faz ve nötrü kapsayacak şekilde bağlandığında, yükün yıldız noktası PE iletkenine bağlı olduğundan, PE iletkeninden nötre dönen yıldız noktası akımı, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden, kaçak akım rölesi

hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde kaçak akım rölesi kullanılacaksa yükün yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı ve röle sadece üç faz olarak bağlanmalı veya yıldız noktasının topraklanması gerekli ise bu topraklama, TT Şebeke şartını bozmadan nötr ile yapılmalıdır. Bu durumda nötrün gövdeden izole edildiğinden emin olunmalıdır. Bu sebeple projeci veya uygulamacı TT Şebekede kaçak akım rölesi uygulayacağı üç fazlı sistemlerde, kaçak akım rölesinden nötrün geçirilip geçirilmeyeceğine, nötrün yük tarafında kullanılıp kullanılmaması durumuna göre karar vermelidir. Nötr yük tarafındaki devrede kullanılacaksa, Kaçak akım rölesinden faz iletkenleriyle birlikte geçirilmeli ve devredeki bütün aktif devre nötr dönüşleri bu nötr iletkenine bağlanmalıdır. Özellikle kaçak akım rölesi ile korunan üç fazlı yükte, yükün yıldız noktasının, topraklanıp topraklanmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Mesafeye bağlı etkiler de olduğu gibi projeci veya uygulamacı, kaçak akım rölesi uygulayacağı sistemin bağlantı şeklini, yük miktarını ve besleme kablosu mesafesini birlikte değerlendirerek uygulama yapmalıdır. Kaçak akım uygulaması yapılacak sistemde; koruma rölesi ile yük arasında ki mesafe ve yük miktarının sistemde oluşturacağı kablo kapasitif kayıplarına bağlı doğal kaçak akımlar dikkate alınmalıdır.

4.3.3. TT Şebekelerde Gerilim Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi

Şekil 4.9'da görülen TT Şebeke sistemin de tek fazlı olarak modellenen devrede 2x10mm² NYFGBY kablodan tek fazlı 4ohm değerindeki sabit omik yük beslenmekte iken, kablo kapasitif kaçak akımların şebeke gerilim frekansına bağlı olan değişimi, kablo mesafesi ve gerilim harmoniklerini simgeleyen şebeke geriliminin frekansları artırılarak oluşan faz nötr akım farkı (Doğal kaçak akım) değerleri kaydedilmiştir. Devre deki kaçak akım miktarları ATP programı fark alma özelliğiyle elde edilmiş, farklı frekans ve kablo mesafesi değerleri için bu metod tekrar edilerek parametrik analiz yapılmıştır.



Şekil 4.9: TT Şebekede tek fazlı yük sistemi modeli.

Model devrenin üzerinde yapılan çalışmada Tablo 4.3'te görülen veriler elde edilmiştir. Bu verilere göre tek fazlı bir sistemde faz iletkeni ile nötr iletkeni akımı bir birine eşit olması gerekirken iki akım arasında bir fark olduğu görülmüştür. Bu fark akımlar bilinen manada bir hata akımı değil, kabloların kapasitansları ve gerilim harmonik frekansları etkisiyle değişen doğal kaçak akımlardır. Devredeki kaçak akım $I\Delta$, ATP programında

$$I\Delta = I_{faz} - I_{nötr} \quad (4.4)$$

işlemiyle elde edilmiştir. Tablo 4.3'te görüleceği üzere bu akımlar gerilim harmonik frekansı ve kablo mesafesinin artışına bağlı olarak artmaktadır. Kaçak akım rölelerinin normalde bir izolasyon hatası olmadığı halde kaçak akım rölesinin eşik değerine ulaşabilecek bu türden bir durumda açma yapacağı görülmektedir.

Tablo 4.3: Gerilim harmoniklerinin mesafeye bağlı olarak kaçak akımlara etkisi.

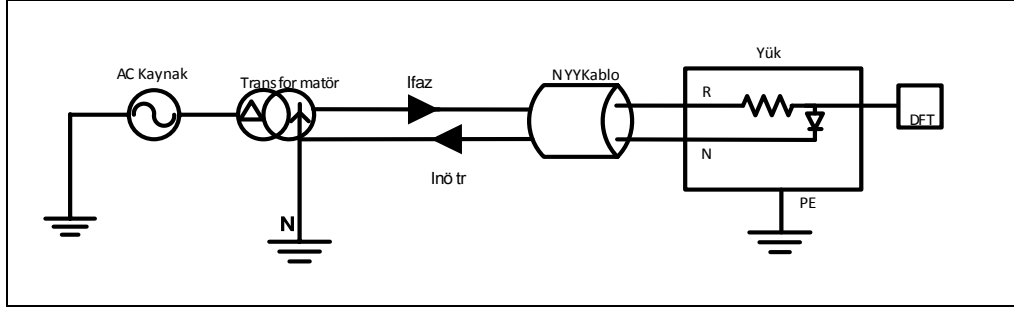
TT 1 Faz Sistem	Kablo Mesafesi (Mt.)							
	10	40	75	150	300	500	750	1000
Frekans(Hz)	10	40	75	150	300	500	750	1000
50	0,1	0,4	0,75	1,5	3	5	7,5	10
150	0,318	1,272	2,385	4,77	9,54	15,9	23,85	31,8
250	0,53	2,12	3,975	7,95	15,9	26,5	39,75	53
350	0,742	2,968	5,565	11,13	22,26	37,1	55,65	74,2
550	1,18	4,72	8,85	17,7	35,4	59	88,5	118
750	1,62	6,48	12,15	24,3	48,6	81	121,5	162
950	2,07	8,28	15,525	31,05	62,1	103,5	155,25	207
1350	3,21	12,84	24,075	48,15	96,3	160,5	240,75	321
1550	3,66	14,64	27,45	54,9	109,8	183	274,5	366
	1.Bölge		2.Bölge	3. Bölge				

Bu çalışma ile Tablo 4.3'te görüldüğü üzere sistemlerdeki gerilim harmoniğinin varlığı, kablo mesafesine bağlı olarak devrede ki doğal kaçak akımları

artırdığı görülmektedir. Ayrıca Mesafe ve Harmonik frekansının artışı sistemdeki doğal kaçak akım miktarını logaritmik olarak artırdığından, bu tür etkilerin olabileceği yerlerde ve devrelerde harmonik değerler ve mesafe etkileri göz önünde bulundurularak kaçak akım röle projelendirmesi ve tesisi yapılmalıdır. Bu çalışmada Gerilim harmonik frekans değerlerinin röle ile yük arasındaki kablo mesafesiyle birlikte Tablo4.3'teki gibi üç bölgeyi bir kaçak akım etkisi oluşturduğu görülmektedir. 1.bölgede gerilim harmonik frekansının kaçak akım rölesi açısından bir sakınca oluşmadığı, 2. bölgede 30mA değerindeki röleler açısından riskli bölge olduğu ve 3. bölgede ise 30mA değerindeki rölelerin çalışmayacağı görülmektedir. Bu değerlere göre, örneğin bir mesken tesisatında yaklaşık otuz adet priz ve aydınlatma sortisi olduğunu ve her sortinin de ortalama on metre uzunluğunda olduğu kabul edildiğinde tek bir kaçak akım rölesi çıkışında yaklaşık dört yüz elli metre uzunluğunda kablo olacaktır. Bu miktardaki bir kabloda üçüncü gerilim harmoniğinin olması durumunda, Tablo 4.3'e göre 30mA'e yakın harmonik kaynaklı doğal kaçak akım geçeceği ve bu akımında kaçak akım rölesinin hatalı çalışmasına sebep olabileceği görülmektedir. Bu nedenle kaçak akım kurulacak tesislerdeki harmonikler projeci veya uygulayıcı tarafından planlama aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

4.3.4. TT Şebekelerde Akım Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi

TS EN 61000-3-2 standardında faz başına 16A'den küçük, tek fazlı veya üç fazlı yüklerin harmonik akım sınırlarını, TS EN 61000-3-4 standardı ise faz başına 16A'den büyük yükler için harmonik akım sınırlarını düzenlemektedir [13]. Bu standarda göre cihazların üreteceği harmonikler sınırlandırılmıştır. Fakat uygulamada gerek tesis bazlı çözümler gerekse de bozunumlar nedeniyle ve tesisin faaliyetinden, kaynaklı yüksek harmonik değerlerle karşılaşmaktadır. Bu tür cihaz veya cihazların ürettikleri harmonikler de kaçak akım koruma rölelerinin fonksiyonu dışında hatalı açmalarına sebep olabilmektedir.

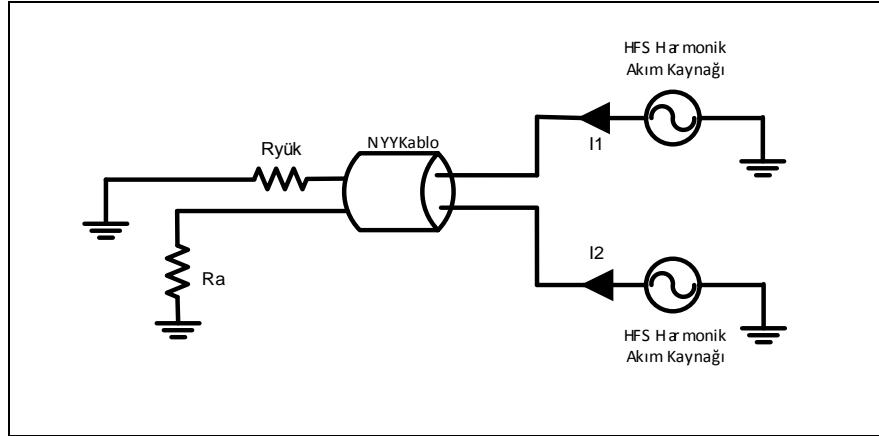


Şekil 4.10: TT Şebekede yarım dalga doğrultuculu devre.

Bu bölümde bu durumun incelenmesi için şekil 4.10'daki gibi tek faz yüklü bir devre modellenmiştir. Tek fazlı rezistif yüklü devreye yarım dalga doğrultucu ekleyerek devrede oluşan tek ve çift dereceli harmonikler DFT ölçü modeliyle tespit edilmiş, bu harmoniklerden dolayı oluşan

$$I\Delta DFT = Ifaz - Inötr \quad (4.5)$$

akımının yani kaçak akımın rms değeri kayıt edilmiştir. Daha sonra 22. harmoniğe kadar kaydedilen bu harmonik akımlar Şekil 4.11'de görülen harmonikli akım kaynağı (HFS) ile oluşturulan devreye dönüştürülerek iki devrenin sonuçları karşılaştırılmıştır



Şekil 4.11: TT Şebekede HFS akım harmoniği kaynaklı model devre.

Şekil 4.11'deki devrede HFS kaynağına girilen harmonik akımların sistemde oluşturacağı $I\Delta$ (HFS) doğal kaçak akımlar;

$$I\Delta HFS = I1 - I2 \quad (4.6)$$

rms değerleri kayıt edilmiştir. Yarım dalga doğrultuculu devre kaçak akım değeri ile HFS kaynaklı devrenin kaçak akım sonuçları karşılaştırıldığında 0,75 mA değerinde eşit olduğu görülmüştür.

Böylelikle Şekil 4.11'deki HFS Harmonik kaynaklı model devrenin akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisini araştırmada parametrik analiz için kullanılabileceğine karar verilmiştir. Akım harmoniğinin farklı yüzde değerleri ve frekans değerleri için oluşan kaçak akımlar bu model devre ile parametrik analizle elde edilmiştir. Her bir harmonik frekansı için Harmonik akım genlikleri %1 den %20'ye ve yük-kablo mesafesi de 10 metreden 1000 metreye kadar değiştirilerek akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi incelenmiştir. 2, 3, 4 ve 5. akım harmonikleri için yapılan bu çalışmada akım harmoniklerinin derecesi arttıkça doğal kapastif kaçak akımların da arttığı görülmüştür.

Aşağıda Tablo 4.4'te görüldüğü üzere tek fazlı sistemlerde olabilen ikinci harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. İkinci akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Yine ikinci harmonik olan bir devrede kablo mesafesi uzadıkça da devredeki kaçak akım miktarının arttığı görülmektedir. Mesafe atışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 4.4'teki gibidir. Ayrıca bu çalışmada 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 4.4 üzerinde üç bölgeli bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2. Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 4.4: TT Şebekede tek fazlı sistemde 2. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+2.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 2.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,2	0,6	1,3	1,9	3,7	7,5	11,2	14,9	18,6
	7,36	20%	0,2	0,6	1,4	2,0	4,0	7,9	11,8	15,8	19,7
	14,72	40%	0,2	0,7	1,6	2,3	4,7	9,4	14,1	18,7	23,4
	29,44	80%	0,4	1,0	2,4	3,4	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5
	44,16	120%	0,5	1,4	3,3	4,8	9,5	19,0	28,5	38,1	47,6
	55,20	150%	0,6	1,7	4,0	5,8	11,6	23,1	34,7	46,3	57,9
1.Bölge							2.Bölge		3.Bölge		

Tablo 4.5'te üçüncü harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. 3. Harmoniğin genliği arttıkça ve devredeki kablo mesafesi uzadıkça devredeki kaçak

akım miktarı artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 4.5'teki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 4.5 üzerinde üç bölgeyi bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. bölge güvenli, 2.bölge riskli ve 3. bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışmayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 4.5: TT Şebekede tek fazlı sistemde 3. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+3.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 3.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,191	0,573	1,337	1,910	3,820	7,639	11,459	15,3	19,1
	7,36	20%	0,213	0,640	1,493	2,133	4,267	8,534	12,801	17,1	21,3
	14,72	40%	0,286	0,857	2,000	2,858	5,716	11,431	17,147	22,9	28,6
	29,44	80%	0,476	1,427	3,330	4,757	9,513	19,026	28,539	38,1	47,6
	44,16	120%	0,684	2,051	4,785	6,836	13,671	27,342	41,013	54,7	68,4
	55,20	150%	0,84325	2,52975	5,90275	8,4325	16,865	33,73	50,595	67,5	84,3
			1.Bölge				2.Bölge	3.Bölge			

Tablo 4.6'da görüldüğü üzere tek fazlı sistemlerde oluşabilen çift dereceli harmoniklerden dördüncü harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. Mesafe ve akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 4.6'daki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 4.6 üzerinde üç bölgeyi bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2.Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışmayacağı bölge olarak işaretlenmiştir. 4. Harmonikli bir sistemde 30mA değerindeki bir kaçak akım rölesinin çalışma bölgeleri Tablo 4.6' daki gibidir.

Tablo 4.6: TT Şebekede tek fazlı sistemde 4. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+4.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 4.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,2	0,6	1,4	2,0	4,0	7,9	11,8	15,8	19,7
	7,36	20%	0,2	0,7	1,6	2,3	4,7	9,4	14,1	18,7	23,4
	14,72	40%	0,3	1,0	2,4	3,5	6,9	13,8	20,7	27,6	34,5
	29,44	80%	0,6	1,8	4,3	6,1	12,3	24,5	36,8	49,1	61,3
	44,16	120%	0,9	2,7	6,3	9,0	17,9	35,9	53,8	71,8	89,7
	55,20	150%	1,1	3,3	7,8	11,1	22,3	44,5	66,8	89,0	111,3
1.Bölge							2.Bölge	3.Bölge			

Son olarak Tablo 4.7’de beşinci harmoniğin kaçak akımlara etkisi görülmektedir. Akım harmoniğinin genliği arttıkça devredeki kaçak akım miktarı da artmaktadır. Yine beşinci harmonik olan bir devrede kablo mesafesi uzadıkça devredeki kaçak akım miktarı artmaktadır. Mesafe artışı ve akım harmoniğinin yüzde genlik artışına göre kaçak akım değişimleri Tablo 4.7’deki gibidir. 30mA değerinde bir kaçak akım rölesi için Tablo 4.7 üzerinde üç bölge bir çalışma şekli belirlenmiştir. Bu bölgelerden 1. Bölge güvenli, 2. Bölge riskli ve 3. Bölge ise 30mA kaçak akım rölesinin çalışamayacağı bölge olarak işaretlenmiştir.

Tablo 4.7: TT Şebekede tek fazlı sistemde 5. harmoniğin kaçak akıma etkisi.

1+5.Harmonik		% IHD	(10-1000Mt.) Kablo Mesafesi (Mt.)								
1.Harmonik In(A)=	36,799		10	30	70	100	200	400	600	800	1000
1.Akım Harmoniğinin tamamı + 5.Akım harmoniğinin farklı % değerleri için devrede oluşan kaçak akım (mA)	3,68	10%	0,203	0,610	1,428	2,040	4,090	8,180	12,270	16,4	20,5
	7,36	20%	0,259	0,776	1,811	2,587	5,174	10,348	15,522	20,7	25,9
	14,72	40%	0,409	1,227	2,863	4,09	8,18	16,36	24,54	32,7	40,9
	29,44	80%	0,7543	2,2629	5,2801	7,543	15,086	30,172	45,258	60,3	75,4
	44,16	120%	1,112875	3,338625	7,790125	11,12875	22,2575	44,515	66,7725	89,0	111,3
	55,20	150%	1,376177	4,1292078	9,6664078	13,809154	27,686	55,372	83,058	110,7	138,4
1.Bölge							2.Bölge	3.Bölge			

Bu bölümdeki çalışma ile gerilim harmoniğinde olduğu gibi, sistemlerde ki akım harmoniğinin de, kapastif doğal kaçak akımları artırdığı görülmüştür. Bu harmonikleri akımların etkileri incelendiğinde harmonik derece arttıkça sistemdeki kapastif kaçak akımlarında arttığı görülmektedir. Bu sebeple kaçak akım rölesi uygulanacak tesiste akım harmonikleri araştırılmalı, akım harmoniği olan tesislerde mümkünse filtre devreler kullanılarak bu harmonikler filtre edilmelidir. Akım

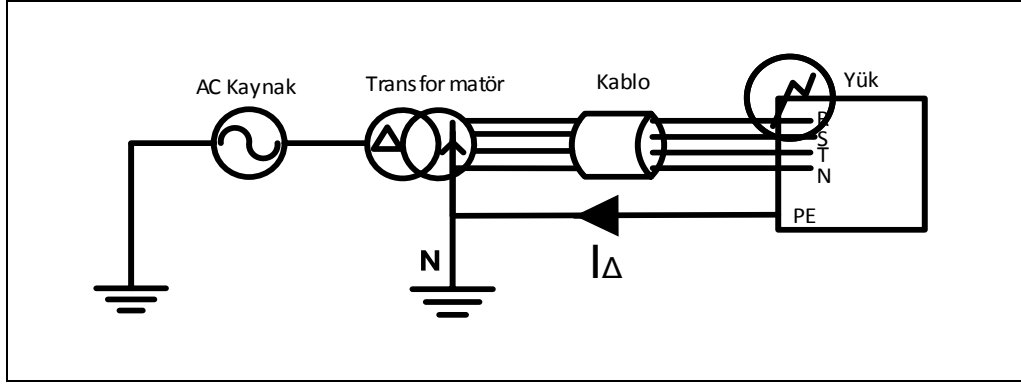
harmoniği olan sistemlerde C tipi KAR leri kullanılmalı ve bu kısımdaki çalışmada tespit edilen harmoniğin kaçak akımlar açısından, kablo mesafesiyle olan doğrudan ilişkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

4.4. ATP Programında TN-S Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Faz Toprak Arıza Durumunun İncelenmesi

Bu bölümde kaçak akım koruma devresi uygulanabilir olan TN-S tipi şebeke ATP programında modellenmiştir. 2.1.2. bölümde ayrıntılı olarak bahsedilen TN-C veya TN-C-S Sistemlerde kaçak akım rölesi yük tarafında gövde ile nötr arasında irtibat olduğu için çalışmayacağından bu bölümde sadece TN-S Tipi şebekeler incelenmiştir. Model devrede bir faz toprak arızası durumlarındaki devre davranışı ve kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler incelenecektir. Çalışma aşağıdaki üç durum için yapılmıştır.

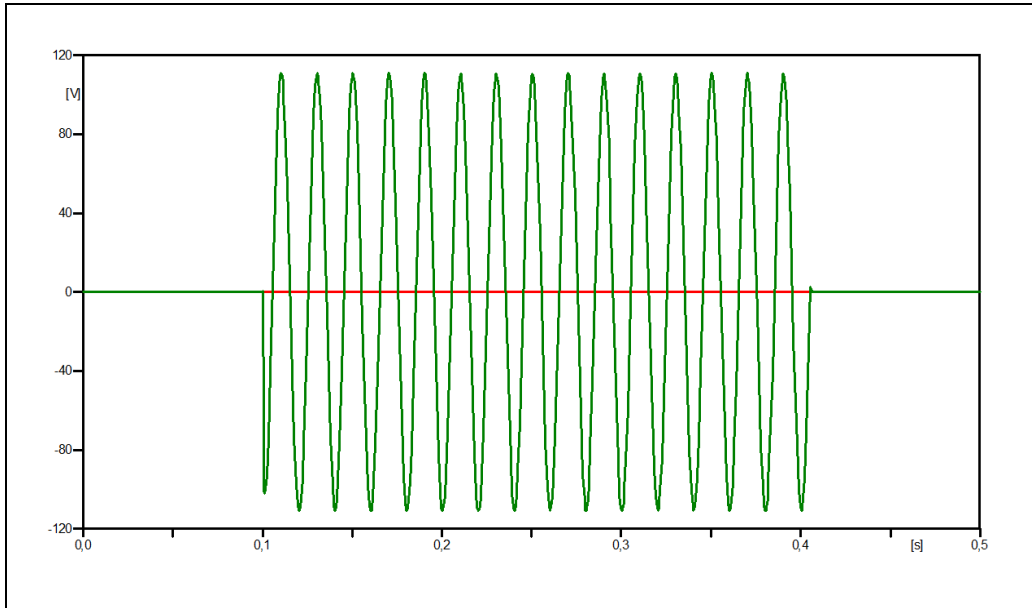
- i) ATP programında modellenen devre üzerinde kalıcı hal analizi yapılacaktır. Faz toprak arızası sırasında yük gövdesindeki dokunma gerilimi değişimi, nötrdeki gerilim yükselmesi nötr ve gövde topraklaması akımlarındaki değişimler incelenecektir.
- ii) Model devrelerde kablo geometrisi, kablo mesafesi ve yük değişimlerinin kaçak akımlara etkileri incelenecektir.
- iii) Model devrelerde gerilim ve akım harmoniklerinin değişiminin, kablo mesafesi faktörüne de bağlı olarak kaçak akımlara etkisi incelenecektir.

Aşağıda Şekil 4.12’de TN-S tipi bir devre modellenmiş ve faz akımlarından yüke giden ve yükten dönen akım grafikleri arıza durumunu da içerecek şekilde incelenmiştir. Yirmi beş periyotluk bir normal çalışma süresi içerisinde, beşinci periyotta zaman kontrollü anahtar yardımıyla on beş periyotluk, bir faz toprak arızası yapılarak TN-S Şebekede kaçak akımının oluşumu ve devredeki etkileri incelenmiştir. Model devrede 3 Fazlı 34,5Kv kaynak, 34,5/0,4Kv Üçgen/Yıldız bağlı transformatör, 3x35+16mm² NYY kablo ile 3 fazlı yıldız bağlı faz başına 4ohm değerinde bir rezistans yükü bağlanmıştır. RA direnci 0,5ohm değerinde nötr toprak direnç değeridir.



Şekil 4.12: TN-S Tipi şebekede faz toprak arızası.

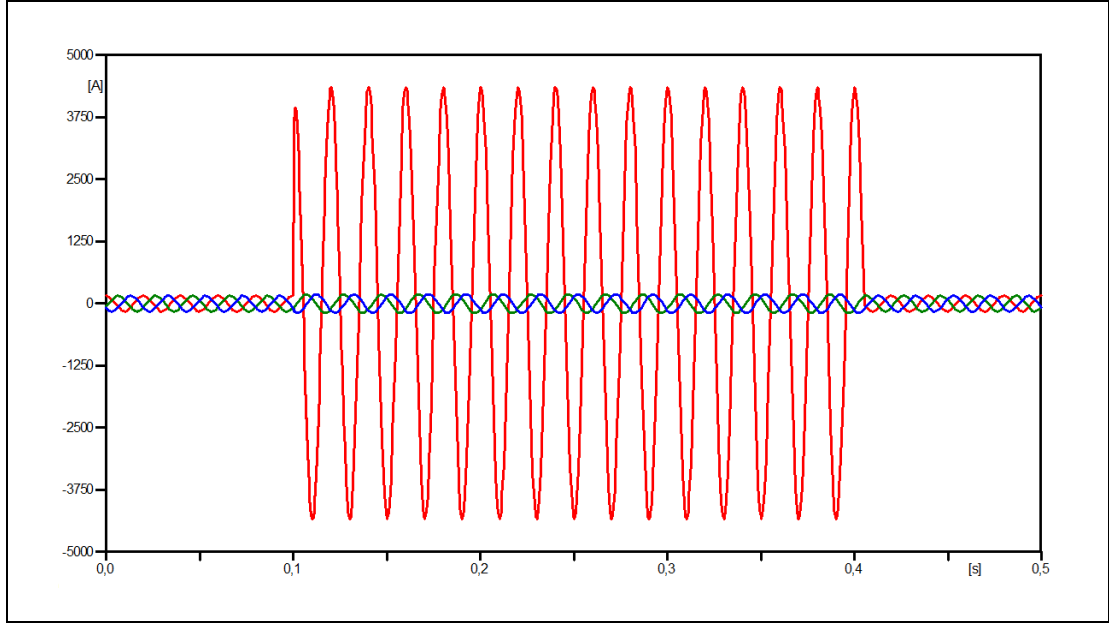
TN-S Şebekede faz toprak arızası durumunda Şekil 4.13'te görüldüğü gibi yük gövdesinde 0 Volt değerinde bir dokunma gerilimi ve trafo tarafında 110V değerinde bir nötr gerilimi oluşmaktadır.



Şekil 4.13: Nötrde oluşan gerilim (yeşil) ve gövdede oluşan gerilim (kırmızı).

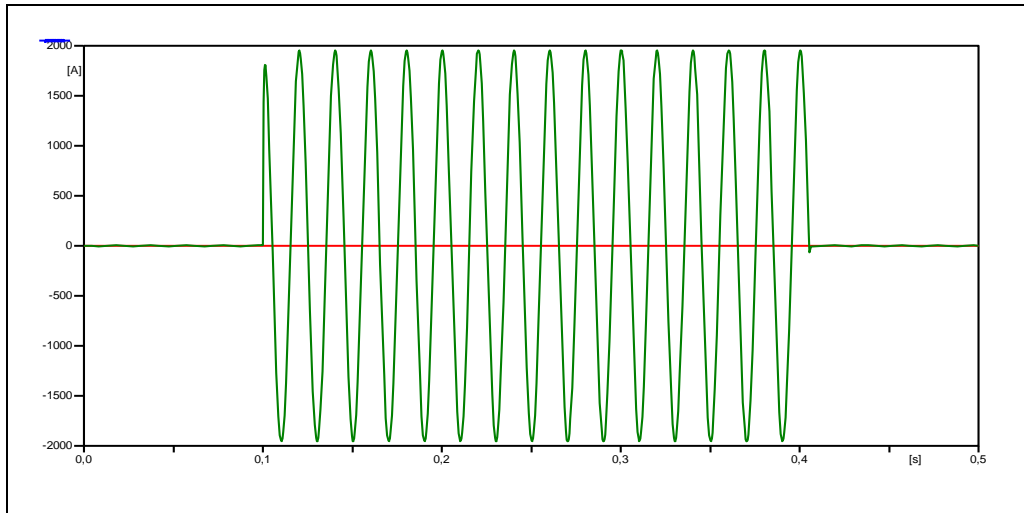
Şekil 4.14'te görüleceği üzere arıza öncesi faz akımları 160A iken arıza sırasında arızalı faz akımı 4280A Gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmaktadır. Normal şartlar altında aşırı akım koruma elemanlarının bu arıza durumunda açması, cihaz tipine bağlı olarak değişmekle birlikte akım genliğinin aşırı akım açma

elemanlarının açma akımı sınırından çok yüksek olduğu için yeterince hızlı bir açma sağlanmış olacaktır.



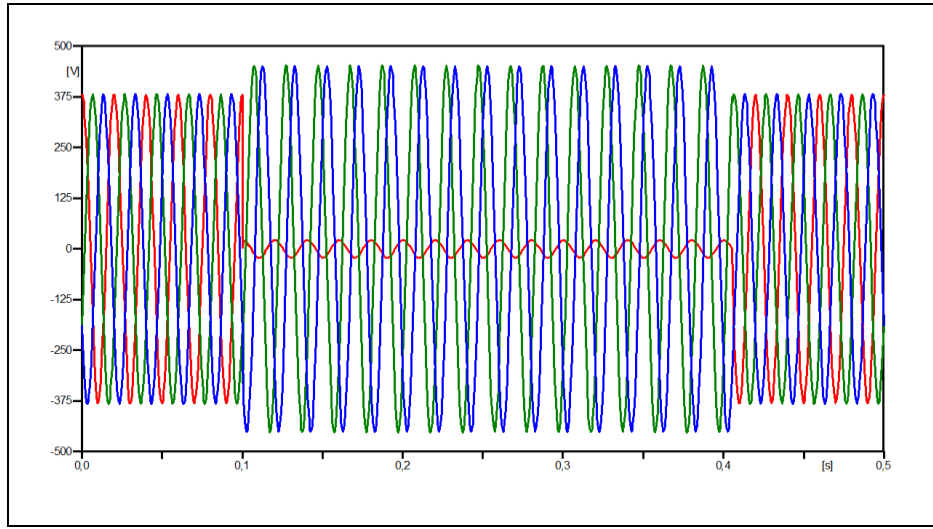
Şekil 4.14: Faz akımları (kırmızı arızalı faz).

Aşağıda Şekil 4.15'te arıza anında Nötr hattı, Koruma hattı(PE) ve Gövdeden toprağa akan akımlar görülmektedir. Görüldüğü üzere nötr akımı oldukça yüksektir. Dolayısıyla bu seviyedeki bir akım çok kısa bir sürede sonlandırılmalıdır aksi halde Faz veya Nötr hattı üzerinde ısıya bağlı kopma ve izolasyon hataları oluşabilir.



Şekil 4.15: Nötre PE iletkeninden akan akım (yeşil) - gövdeden toprağa akan akım (kırmızı)-devre yıldız noktasından nötre akan akım (mavi).

TN- S şebekelerde faz toprak izolasyonu hatası durumunda oluşan bir diğer önemli durumda arıza olmayan fazlardaki durumdur. Şekil 4.16’da görüleceği üzere, TN-S şebekeli bir sistemde, transformatör yıldız bağlı olduğundan, bir fazda meydana gelen faz toprak arızası, yıldız noktasının kaymasına neden olmakta ve buna bağlı olarak arıza olmayan fazlarda gerilim yükselmeleri meydana gelmektedir. Bu durum özellikle elektronik cihazlar olmak üzere, yük sistemlerinde çeşitli hasarlara sebep olabilmektedir.



Şekil 4.16: Faz gerilimleri (kırmızı arızalı faz).

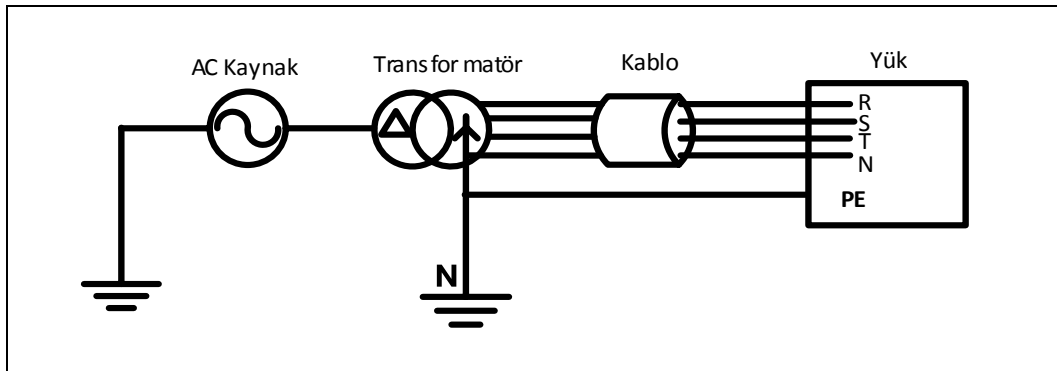
Bu kısımda TN-S şebekede yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, modeldeki arıza oldukça ideal tam temaslı (dirençsiz) bir kaçak olduğundan sistem faz-nötr kısa devresi gibi davranmaktadır. Bu durum her zaman böyle olmayabilir iletken mesafesine bağlı hat direnci ve kontak direncinin büyük olması durumunda veya nötr devresinin kopması durumunda yine dokunma gerilimlerine maruz kalma olasılığı oluşabileceği ve ayrıca sistemin genelinde izolasyon hatalarının izlenmesi ve önleyici koruma yapılması adına TN-S Sistemlerde de tesisin şekline uygun bir projelendirme ile gerçek kaçak akımlarda açma yapabilecek kaçak akım röleleri (RCD) kullanılmalıdır.

4.5. TN -S Sistemde Kaçak Akım Rölelerinin Hatalı Çalışmasına Etki Eden Faktörler

Bu kısımda TN-S şebeke tipinde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edebilecek faktörlerden kablo geometrisi ve kablo empedans dengesizliklerinin etkisi ile akım ve gerilim harmoniklerinin etkisi incelenecektir. Çalışma ATP Programında modellenen Şekil 4.17'deki devre verileri ile parametrik analiz yöntemiyle yapılacaktır. Kablo kaynaklı analizde kablo mesafesi değiştirilerek, yük kaynaklı analizde ise yük miktarı değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Gerilim ve Akım harmoniklerinin kaçak akımlara etkisi TT Şebekedeki devre ve inceleme metoduyla birebir aynı olduğundan bu bölümde bir daha tekrar edilmemiştir.

4.5.1. TN-S Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Empedanslı Yük Modelinde, Kablo Mesafesine Bağlı Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi

TT Şebekede olduğu gibi, TN-S tipi sistemlerde de sıkça kullanılan üç fazlı dengeli yıldız bağlı bir devre Şekil 4.17'deki gibi, ATP Programında modellenmiştir. 3 Fazlı, 400V luk bir alçak gerilim TN-S Şebeke tipi ile 3x35+16+zırh NYY kablo ile beslenen 3 fazlı yıldız bağlı ideal dengeli rezistans yük bağlanmış, sistem yirmi beş periyot boyunca çalıştırılarak sonuçlar listelenmiştir



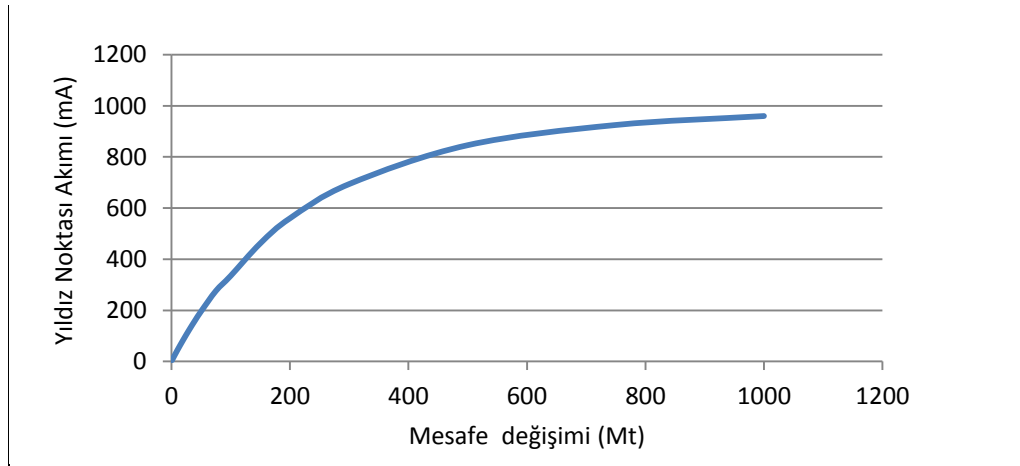
Şekil 4.17: TNS Şebeke tipi.

Tablo 4.8 ve Şekil 4.18'de görülen grafikte yük empedansı sabit tutularak iletken boyu 1 metreden 1000 metreye belirli ölçülerde değiştirilerek dengeli yükün çektiği

faz akımları ve yükün yıldız noktasından transformatör nötrüne PE iletkeni üzerinden akan dengesizlik akım değerleri kaydedilmiştir. Yükün yıldız noktası PE iletkeni ile topraklandığından, yük ideal dengeli olduğu için yıldız noktasından akan bu akım tamamen kablo empedans dengesizliği ve kablo kapasitif kayıplarından kaynaklanmakta ve mesafeye göre arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.8: TN-S Şebekede, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi.

Gerilim	Sistem	Yük Tipi	yük değeri	besleme kablosu	Mesafe (metre)	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	Yıldız noktasından akan akım (mAmper)
380V	TN-S	3 faz yıldız bağlı omik yük	2,4 ohm	3*35+16+shlt NYY-NYFGBY	1	135,43	135,43	135,43	4
					10	135,02	135,04	135,06	39
					20	134,58	134,61	134,65	76
					30	134,14	134,19	134,25	121
					40	133,69	133,77	133,85	155
					50	133,27	133,35	133,44	184
					75	132,19	132,32	132,45	266
					100	131,11	131,28	131,48	342
					150	129,08	129,3	129,54	480
					200	127,03	127,37	127,65	601
					300	123,31	123,68	124,05	804
					500	116,19	116,89	117,52	1104
					750	108,78	109,39	109,97	1355
					1000	102,11	102,79	103,42	1521
1500	90,51	91,72	92,72	1750					



Şekil 4.18: TN-S Şebekede, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.

Bu kısımdaki çalışma sonucunda, kaçak akım kullanılacak yükün röleye olan mesafesinin rölelerin hatalı çalışmasında önemli bir etken olduğu ve modelde kullanılan devre için Şekil 4.18'de görüldüğü üzere kablo empedans dengesizliğinden kaynaklanan yıldız noktası hatalı kaçak akım artışının mesafeye

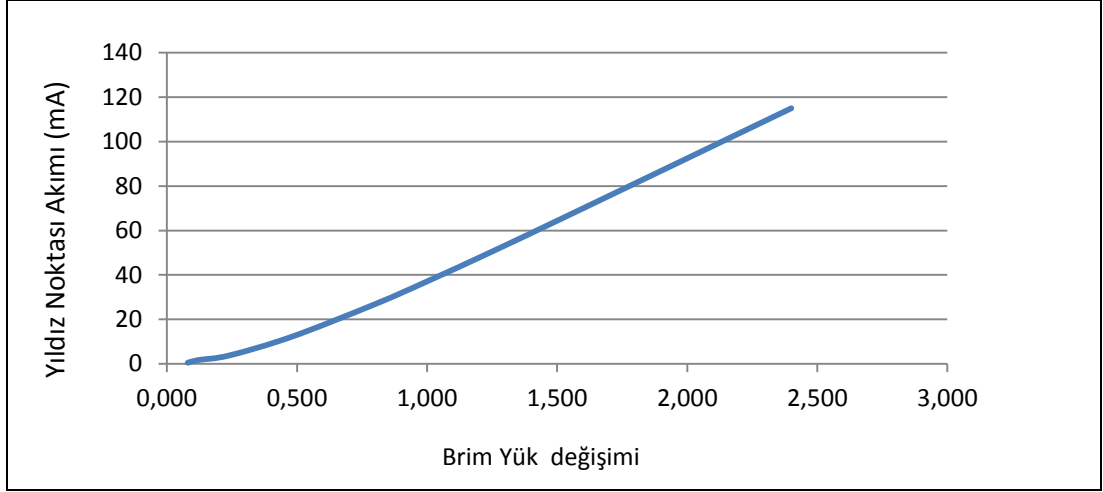
bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Modelde kaçak akım rölesi üç faz ve nötr devresi üzerine takılmıştır. Yükün yıldız noktası ise hatalı bağlantı sonuçlarını incelemek için PE iletkeniyle topraklanmıştır. Röle üç faz ve nötr devresini kapsadığı için, yükün yıldız noktasından, PE iletkeni üzerinden akacak dengesizlik akımları, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden kaçak akım rölesi hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı veya topraklama gerekli ise yükün yıldız noktası PE iletkenine değil, nötr iletkenine bağlanmalıdır.

4.5.2. TN-S Şebekelerde, Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Kablo Mesafesinde, Yük Empedansının Değişimine Bağlı Olarak Oluşan Hatalı Kaçak Akımların İncelenmesi

Şekil 4.17'deki eş değer değer devre modelinde kablo sabit 75 metre olacak ve yük empedansı nominal yükün katları olarak değiştirilerek dengeli yükün çektiği faz akımları ve yükün yıldız noktasından transformatör nötrüne PE iletkeni üzerinden akan dengesizlik akım değerleri Tablo 4.9'daki gibi kaydedilmiştir. Yük ideal dengeli olduğu için, yıldız noktasından akan bu akım tamamen kablo empedans dengesizliği ve kablo kapastif kayıplarından kaynaklanmakta ve mesafeye göre arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.9: TN-S Şebekede, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yüke göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi.

Gerlim	Sistem	Yük Tipi	Mesafe	besleme kablosu	Yük R3 Fazlı yıldız (ohm)	Yük R3 Fazlı 2,4ohm :1 br yük ise	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	Yıldız noktasından akan akım (mAmpere)
380V	TN-S	3faz yıldız bağlı omik yük	sabit 75 metre	3*35+16+shlt NYY-NYFGBY	30	0,080	10,82	10,82	10,82	2
					20	0,120	16,21	16,21	16,21	4,8
					10	0,240	32,32	32,33	32,34	16
					5	0,480	64,27	64,3	64,33	64
					3	0,800	106,27	106,36	106,45	172
					2,4	1,000	132,16	132,3	132,45	265
					1,9	1,263	165,88	166,1	166,3	420
					1,5	1,600	208,39	208,85	209,08	649
					1	2,400	306,61	307,35	308,09	1376
					0,5	4,800	579,88	582,57	585,15	4600
0,3	8,000	901,54	907,57	913,61	10051					



Şekil 4.19: TN-S Şebekede, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yüke göre yıldız noktasından toprağa akan akım değişimi grafiği.

Bu kısımdaki çalışma ile kaçak akım kullanılacak yükün miktarının da yine kablolardaki dengesiz empedanslar nedeniyle rölelerin hatalı çalışmasında etken olduğu ve modelde kullanılan devre için Şekil 4.19'da görüldüğü üzere kablo empedans dengesizliğinden kaynaklanan yıldız noktası hatalı kaçak akım artışının mesafeye bağlı etkilerde olduğu gibi yük miktarının artışına da bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Modelde kaçak akım rölesi üç faz ve nötr devresi üzerine takılmıştır. Yükün yıldız noktası ise hatalı bağlantı sonuçlarını incelemek için PE iletkeniyle topraklanmıştır. Röle üç faz ve nötr devresini kapsadığı için, yükün yıldız noktasından, PE iletkeni üzerinden akacak dengesizlik akımları, rölenin çalışma prensibi olan vektörel toplama girmeyeceğinden kaçak akım rölesi hatalı açmalar yapacaktır. Bu tür bir sistemde yıldız noktası ya hiç topraklanmamalı veya topraklama gerekli ise yükün yıldız noktası PE iletkenine değil, nötr iletkenine bağlanmalıdır.

4.5.3. TN-S Şebekelerde Gerilim ve Akım Harmoniklerinin Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımlara Etkisi

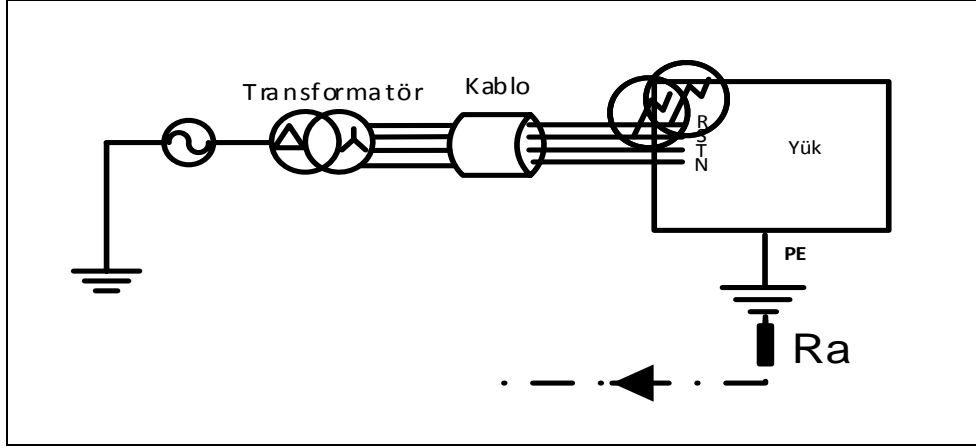
TN-S Şebeke sisteminde de gerilim ve akım harmoniklerinin kaçak akımlar üzerindeki etkisinin TT Şebekede elde edilen sonuçlarla aynı olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu bölümde tekrar verilmemiştir

4.6. EMTP Programında IT Şebeke Tipinin Modellenmesi ve Faz Toprak Arıza Durumunun İncelenmesi

2.1.3 bölümünde de tanıtılan IT tipi şebekede faz toprak arızası durumunda koruma mantığı TT- TN Şebekelerden farklıdır. TT ve TN sistemlerde herhangi bir faz toprak arızası olur olmaz koruma elemanlarının devreyi açması gerekirken, IT sistemde birinci faz toprak arızasında sistemin normal çalışmasına devam etmesi ve farklı bir fazda, ikinci bir faz toprak arızasında koruma devresinin arızayı sistemin toprak bağlantısına göre TT veya TN sistemler gibi koruması istenir. Bu bölümde model devrede bir faz toprak arızası ve ikinci bir fazda faz toprak arızası durumlarındaki devre davranışı ve kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki eden faktörler incelenecektir. Çalışma aşağıdaki üç durum için yapılmıştır.

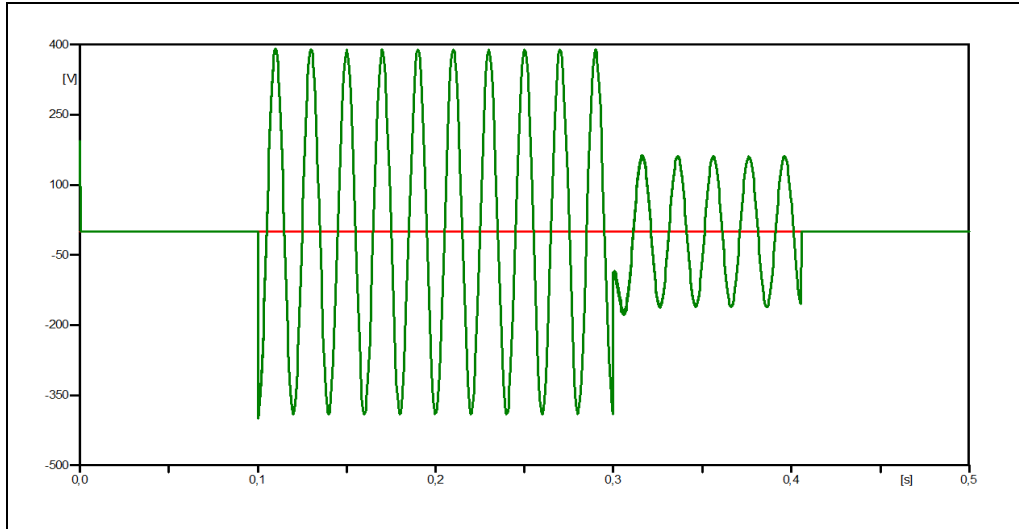
- i) Yirmi beş periyotluk bir normal çalışma süresi içerisinde, birinci ve ikinci faz toprak arızaları zaman farkıyla yapılmış ve bu arızalar sırasında yük gövdesindeki dokunma gerilimi değişimi, nötrdeki gerilim yükselmesi, nötr ve gövde topraklaması akımlarındaki değişimler incelenecektir.
- ii) Model devrelerde kablo geometrisi, kablo mesafesi ve yük değişimlerinin kaçak akımlara etkileri incelenecektir.

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere nötrü dağıtılmış IT tipi bir devre modellenmiş ve faz akımlarından yüke giden ve yükten dönen akım grafikleri arıza durumunu da içerecek şekilde incelenmiştir. Yirmi beş periyotluk bir normal çalışma süresi içerisinde R fazında 0,01. saniyede birinci faz toprak arızası oluşturulmuş ve bu arıza 0,06. saniyeye kadar devam ettirilmiştir. Aynı devrede T fazında 0,03. saniyede ikinci faz toprak arızası oluşturularak IT şebekede kaçak akımının oluşumu ve devredeki etkileri incelenmiştir. Model devrede 3 Fazlı 34,5Kv kaynak, 34,5/0,4Kv Üçgen/Yıldız bağlı transformatör, 3x35+16mm² NYY kablo ile 3 fazlı yıldız bağlı faz başına 4ohm değerinde bir rezistans yükü bağlanmıştır. Devrede de görüldüğü üzere transformatörün nötrü topraklanmamıştır.



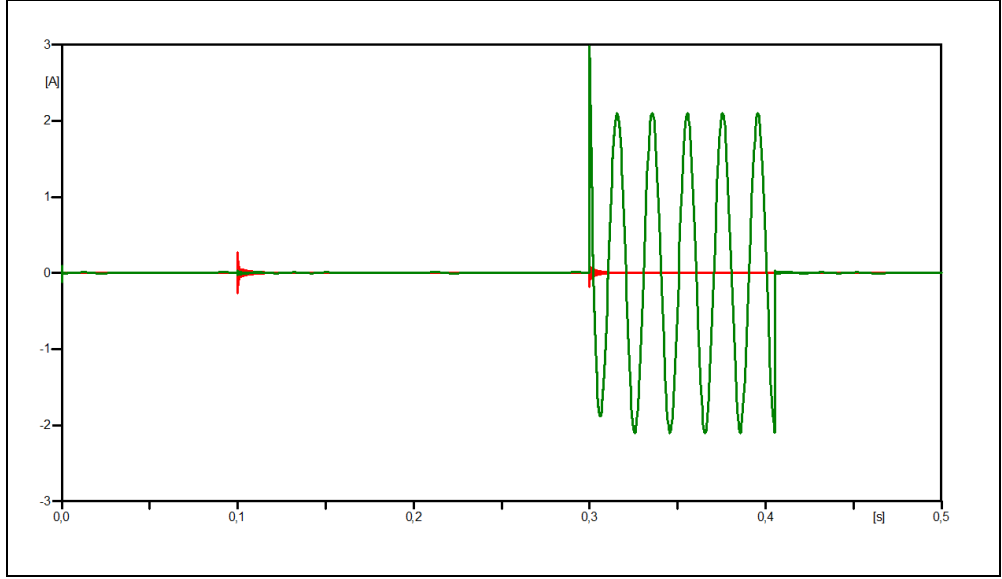
Şekil 4.20: IT Şebekede çift faz toprak arızası modeli.

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi her iki arıza durumunda da normal sistemde 0 volt değerinde bir gövde ve 250-350V gibi bir nötr gerilimi oluşmaktadır. Enerjinin sürekliliği sebebi ile IT şebeke sistemi uygulanan yerlerde faz iletkenleri ve toprak arasındaki izolasyon hatalarını izlemek için bir ihbar sistemi kurulmalıdır. IT Şebeke sisteminde birinci faz toprak arızası oluştuğunda, sistem görülebilir veya duyulabilir şekilde ihbar vermelidir. İşaretlerden biri kullanılacaksa bu görülebilir işaret olmalıdır ve arıza süresince ikaz ihbarı devam etmelidir [5].



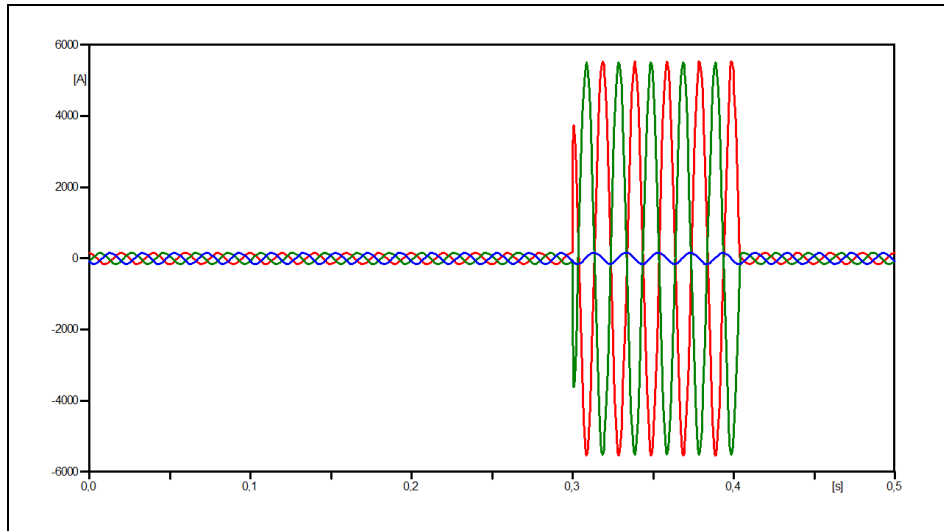
Şekil 4.21: Nötrde (yeşil) ve gövdede (kırmızı) oluşan gerilimler.

Aşağıdaki Şekil 4.22’de birinci ve ikinci hata öncesinde, sırasında ve sonrasında nötr akımı değişimleri görülmektedir. Özellikle ikinci hata durumunda nötr akımında ani bir pik ve yükselme olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22: Nötre akan akım (yeşil) - gövdeden toprağa akan akım (kırmızı).

IT tipi bir şebekede arızalar sırasındaki faz akımlarının durumunu gösteren grafik Şekil 4.23'teki gibidir. Bu grafiğe göre birinci 0,1. saniyede meydana gelen birinci arıza ve sonrasında faz akımlarında hiçbir değişiklik olmamıştır. Birinci arıza devam ederken 0,3. saniyede farklı bir fazda meydana gelen ikinci faz toprak arızası ile sistem faz faz kısa devresi olmuş ve ilgili fazlardaki akımlar 5kA'e kadar yükselmiştir.



Şekil 4.23: Faz akımları (kırmızı ve yeşil arızalı fazlar).

IT şebeke tipinde ilk bir faz toprak arızasının en kısa sürede düzeltilmesi beklenir. İlk arızadan sonra, ikinci arızanın oluşması halinde enerjinin kesilmesi

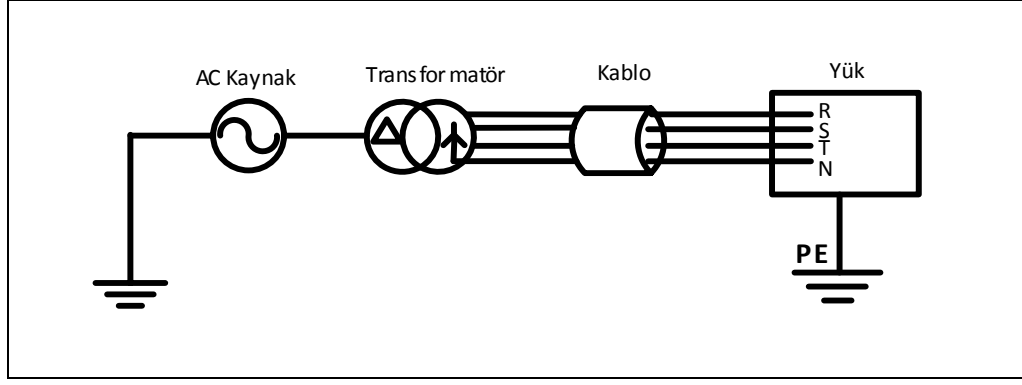
gerekir, enerjinin kesilmesi için dokunulabilen gövdedeki tüm iletken kesimlerin bir birine bağlanmış olmasına (kollektif topraklama) veya ayrı ayrı ve/veya gruplar şeklinde topraklanmış olmasına göre değerlendirilerek koruma yapılır. Gövdedeki iletken kısımların ayrı ayrı ve/veya gruplar şeklinde topraklanmış olması durumunda koruma koşulları, TT şebeke sistemindeki gibi olmalıdır. Gövdedeki dokunulabilen tüm iletken bölümler kollektif olarak topraklanmış bir iletkene bağlanmış ise TN şebeke sistemlerindeki koruma koşulları uygulanır. IT sistemlerde Koruma devresi olarak yalıtım izleme düzenleri, Aşırı akım koruma düzenleri ve Kaçak akım koruma düzenleri kullanılabilir.

4.7. IT Sistemde Kaçak Akım Rölelerin Hatalı Çalışmasına Etki Eden Faktörler

Bu kısımda IT şebeke tipinde kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına etki edebilecek faktörlerden kablo geometrisi ve kablo empedans dengesizliklerinin etkisi ile akım ve gerilim harmoniklerinin etkisi incelenecektir. Çalışma ATP Programında modellenen Şekil 4.24'teki devre verileri ile parametrik analiz yöntemiyle yapılacaktır. Kablo kaynaklı analizde kablo mesafesi değiştirilerek, yük kaynaklı analizde ise yük miktarı değiştirilerek inceleme yapılmıştır.

4.7.1. IT Şebekede Üç Fazlı, Dengeli, Sabit Empedanslı Yük Modelinde, Kablo Mesafesine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi

Nötrü dağıtılmış IT Şebeke tipinde yukarıda da bahsedildiği üzere ikinci arıza durumunda koruma elemanlarının beslemeyi ayırması, sistemin topraklama bağlantı şekline göre TT veya TN şebeke koruma şartları ile yapılacaktır. Şekil 4.21'de görülen devrede transformatör nötrü topraklanmamıştır. Sistem bu şartlarda normal çalışırken aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

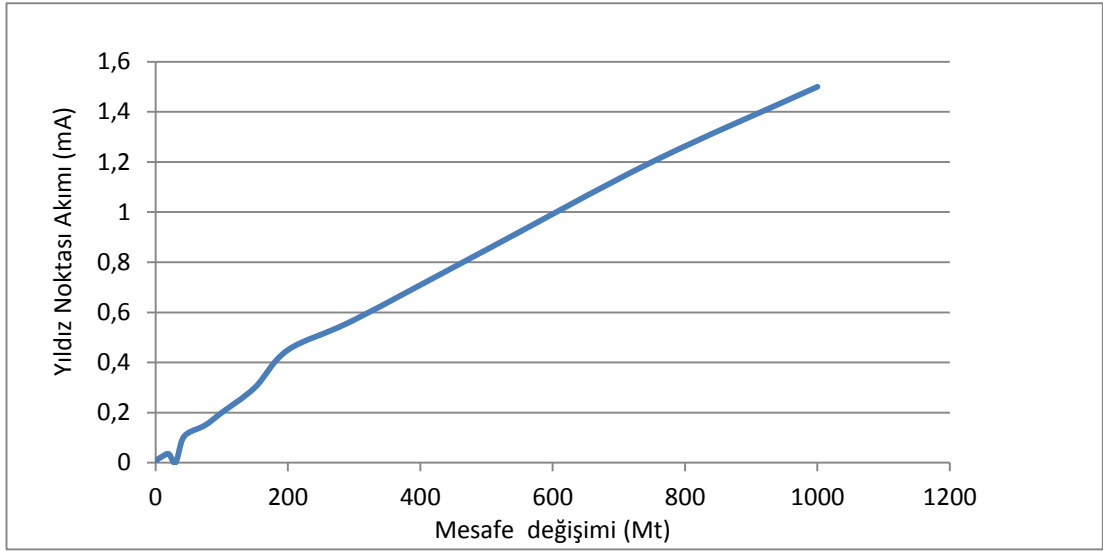


Şekil 4.24: IT Şebeke tipi.

Şekil 4.24'te görülen eş değer devre modelinde 3Fazlı, 400V luk bir alçak gerilim IT Şebeke den 3x35+16+zırh NYY kablo ile beslenen 3 fazlı yıldız bağlı dengeli rezistasns yük bağlanmış sistem yirmi beş periyot boyunca çalıştırılarak sonuçlar listelenmiştir. Tablo 4.10 ve Şekil 4.25'te görüleceği üzere yük empedansı sabit tutularak iletken boyu bir metreden bin beş yüz metreye belirli ölçülerde değiştirilerek dengeli yükün çektiği faz akımları ve yıldız noktasından toprağa akan çok küçük değerli sızıntı akımları kaydedilmiştir. Trafo nötrü izole olduğu için yükün yıldız noktasından toprağa akan akımın önemsiz sayılacak kadar küçük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.10: IT Şebeke, yıldız bağlı sabit yükte, değişen mesafelere göre yıldız akım değişimi tablosu.

Gerilim	Sistem	Yük Tipi	yük değeri	besleme kablosu	Mesafe (metre)	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	YükYıldız Noktası Toprak akımı (mA)
380V	IT	3 faz yıldız bağlı omik yük	2,4 ohm	3*35+16+shlt NYY-NYFGBY	1	135,43	135,43	135,43	0,01
					10	135,02	135,04	135,06	0,025
					20	134,58	134,61	134,65	0,035
					30	134,14	134,19	134,25	0,065
					40	133,7	133,75	133,85	0,09
					50	133,27	133,35	133,44	0,12
					75	132,19	132,32	132,45	0,15
					100	131,14	131,3	131,46	0,2
					150	129,08	129,3	129,54	0,3
					200	127,1	127,37	127,65	0,45
					300	123,31	123,68	124,05	0,57
					500	116,4	116,89	117,4	0,85
					750	108,78	109,39	109,97	1,2
					1000	102,11	102,79	103,42	1,5



Şekil 4.25: IT Şebeke, yıldız bağlı sabit yükte, değişken mesafelere göre yıldız akım değişimi grafiği.

Bu kısımdaki çalışmada da, kaçak akım rölesi kullanılacak olan IT sistemde Transformatörün nötrü toprakla irtibatlı olmadığından yk tarafındaki yıldız noktasından toprağa yok sayılabilecek kadar küçük sızıntı akımları olduğundan IT tipi Şebekelerde kablo mesafesinin kaçak akımlara ve dolayısıyla kaçak akım rölelerinin çalışmasına etki etmediği görülmektedir.

4.7.2. IT Şebekelerde,  Fazlı, Dengeli, Sabit Kablo Mesafesinde, Yük Empedansının Değişimine Bağlı Kaçak Akımların İncelenmesi

Şekil 4.24'te görülen eş değer devre modelinde kablonun sabit 75 metre olduğu durumda ve yük empedansı nominal yükün katları olarak değiştirilerek dengeli yükün çektiği faz akımları ve yükün yıldız noktasından toprağa akan dengesizlik akım değerleri kaydedilmiştir. Bu durumda da traf nötrü izole olduğu için yükün yıldız noktasından toprağa akan akım 0,15mA gibi önemsiz sayılacak kadar küçük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.11: IT Şebeke, sabit mesafe, yıldız bağlı değişken yüke göre yıldız akım değişimi tablo

Gerilim	Sistem	Yük Tipi	Mesafe	besleme kablosu	Yük R 3 Fazlı yıldız (ohm)	Yük R 3 Fazlı 2,4ohm :1 br yük ise	A faz Akımı IA (Amper)	B faz Akımı IB (Amper)	C faz Akımı IC (Amper)	YükYıldız Noktası Toprak akımı.(mA)
380V	IT	3 faz yıldız bağlı omik yük	sabit 75 metre	3*35+16+5HIT NYY-NYFGBY	30	0,080	10,82	10,82	10,82	0,15
					20	0,120	16,21	16,21	16,21	0,15
					10	0,240	32,33	32,33	32,34	0,15
					5	0,480	64,27	64,3	64,33	0,15
					3	0,800	106,28	106,36	106,44	0,15
					2,4	1,000	132,19	132,32	132,45	0,15
					1,9	1,263	165,91	166,09	166,3	0,15
					1,5	1,600	208,44	208,73	209,04	0,15
					1	2,400	306,74	307,35	307,96	0,15
					0,5	4,800	580,68	582,62	584,59	0,15

Bu kısımdaki çalışmada da, kaçak akım rölesi kullanılacak olan IT sistemde Transformatörün nötrü toprakla irtibatlı olmadığından yük tarafındaki yıldız noktasından toprağa Tablo 4.11’de görüleceği üzere yok sayılabilecek kadar küçük sızıntı akımları olduğu için IT tipi şebekelerde yük miktarının kaçak akımlara ve dolayısıyla kaçak akım rölelerinin çalışmasına etki etmediği görülmektedir.

4.7.3. IT Şebekelerde Gerilim Harmoniği, Akım Harmoniği ve Kablo Mesafesine Bağlı Olarak Kaçak Akımın Değişimi

IT Şebeke sisteminde tek fazlı olarak modellenen devrede 2x10mm² NYFGBY kablodan 4ohm değerindeki sabit omik yüklü devrede kapasitif kaçak akımların varlığını görebilmek için kablo mesafesi ve harmonikleri simgeleyen şebeke geriliminin frekansları artırılarak oluşan faz nötr akım farkı (Doğal kaçak akım) değerleri incelenmiş sistemde her frekans ve kablo mesafesinde kaçak akım oluşmadığı görülmüştür. Bu durumun IT şebekeli sistemlerde kullanılan kabloların toprağa göre olan kapasitansları üzerinden, nötre bir iletim yolu bulunmadığı için olduğu görülmüştür.

5.SONUÇ

Kaçak akım koruma rölelerinin endüstriyel tesislerde kullanımında rölelerin hatalı seçimi veya hatalı çalışmaları nedeniyle sorunlar yaşandığı ve bu gerekçe ile çoğunlukla tesislerde ya hiç kurulmadığı ya da kurulsada iptal edilerek devre dışı bırakıldığı görülmüştür. Bu sebeple rölelerin hatalı seçimi veya hatalı çalışmalarına etki eden faktörler bu tezin temel amacı olarak gerek idari yönetmelikler açısından, gerekse de teknik yönden detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İdari yönden hatalı seçim veya hatalı çalışmalara etki eden faktörler incelendiğinde, yönetmeliklerin endüstriyel tesis ile mesken ayırımı yapılmadan, genel hükümler içermesi ve her koruma devre mantığının en küçük tesis birimi olan meskene indirgenerek verilmesi olarak özetlenebilir. Bu karmaşa ve aşırı hassas bölge de kalma eğilimi ile yazılan talimatlar özellikle endüstriyel, ticari tesis proje ve uygulamalarında, uygulaması imkansız sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin Elektrik iç tesisleri yönetmeliği madde 18 bunun en somut örneğidir. Madde 18 de yapı sınırları tarifî, çok basit yapılar hariç tüm yapıları kapsayacak şekilde yapılmıştır. Bu maddeye göre kofra veya girişte yangın koruma rölesi (300mA KAR), Kolon hatlarında ise hayat koruma rölesi (30mA KAR) kullanılması zorunlu kılınmıştır [4]. Tez içerisinde de görüleceği üzere endüstriyel yerlerde bu değerlerdeki normalde kaçak olmayan doğal kaçak akımlar, sadece bir makinanın hatta bazı durumlarda 75 metre uzunluğundaki 3x35+16mm² kablonun tek başına çekebileceği doğal kaçak akımlardır. Bu nedenle bu yönetmelik maddesinin bir çok ticari ve endüstriyel tesis de uygulanması imkansız görülmektedir.

Bir diğer idari yönetmelik maddesi ise 2013 yılında çıkan İş güvenliği yönetmeliğinde ki EK1- 8. maddedir. Bu maddeye göre ana ve tali panolara seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi tesis edilmesi şart koşulmaktadır [6]. Bu maddeye göre iş yeri tanımına giren yerlerde, tüm ana ve tali dağıtım panolarına yani tesislerin tümünde kaçak akım koruma sistemi zorunlu kılınmıştır. Bu madde oldukça geniş bir alanı kapsayan çok genel bir ifade olması nedeniyle uygulamada çelişkiler doğurmaktadır. Madde de geçen seçicilik ilkesi şartı akım ve açma zamanı olarak algılanmaktadır. Bu seçicilik ilkesi ile iç tesisleri yönetmeliği madde 18'deki 30mA ile 300mA aralığındaki sınır şartında bir seçicilikten bahsediliyorsa bu değerler ile endüstriyel tesislerde kaçak akım koruma sistemi tesis etmek yüksek doğal kaçak akımlardan dolayı imkansız olacaktır. Bu madde de tek başına herhangi bir değer

telaffuz edilmemiştir. Görüldüğü üzere idari yönetmelikler de, kaçak akım rölelerinin hatalı uygulanmalarına ve dolayısıyla hatalı çalışmalara sebep olabilmektedir. Sanayi olarak gelişen ve büyüyen ülkemizde, yürürlükteki teknik kanun ve yönetmeliklere bu açıdan baktığımızda, çelişkiye meydan vermeyecek, daha fazla detaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Özellikle ticari ve endüstriyel tesislerdeki elektrik güvenliği için yeni düzenlemelere, uluslararası standartlara uygun yönetmelik güncellemelerine ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasında kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasında uygulamalardan ve teknik sebeplerden kaynaklı hata sebepleri de incelenmiştir. Güvenli bir elektrik koruma sistemi tesisi için, koruma devresinin hatalı çalışma sebeplerinin gerek tasarımcı gerekse de uygulamacı tarafından biliniyor olması önemlidir. Gerçek endüstriyel tesisler incelendiğinde en sık karşılaşılan uygulama hataları olarak röle seçimi ve bağlantı hatalarının olduğu görülmüştür. Koruma sistemi seçiminde uygulama yapılacak sistemdeki çarpılma riski ve çarpılma senaryosu analiz edilmeli ve o sistem için koruma türlerinden hangisi veya hangilerinin yeterli olabileceği belirlenmelidir. Koruma sisteminin uygunluğunun denetleniyor olması da ayrıca bir gerekliliktir. Doğrudan temas riski önlenmiş sistemlerde koruma sistemi olarak kaçak akım sistemleri kullanılacaksa, “en iyi koruma 30mA dir” diye genel bir yaklaşımla tesisin tümünü dizayn etmek, tezde de işlendiği üzere bir çok sebepten ötürü imkansızdır. Tezde de geniş bir şekilde anlatıldığı gibi her makinanın, hattın, devrenin kendine özgü doğal kaçak akımları vardır ve bu akımlar kaçak akım koruma rölesi projecisi ve uygulamacısı tarafından öngörülmelidir. Bunun yanında rölelerin hatalı çalışmasında tesislerin kendi yapısı, çevre şartları ve sistem kaynaklı hatalarda oldukça fazladır. Kaçak akım rölelerinin hatalı çalışması ile ilgili yapılan çalışmalarda harmonikler, iletken kapasitansları, filtre devreleri, yüksek gerilim anahtarlama arıza pikleri, yıldırımlar, yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalar, radyo dalgaları gibi birçok faktörün kaçak akım koruma sistemlerini olumsuz etkileye bileceği görülmüştür [11]. Bu tezde kablo geometrisi kaynaklı kapasitif etkiler ve harmoniklerin etkisi incelenmiş ve tesislerdeki doğal kaçak akımların varlığı similasyonlar ve yapılan ölçümlerle gösterilmiştir. İncelemeler de kablo diziliş geometrisinden kaynaklı empedans dengesizlikleri, doğal kapasitansları ve tesiste bulunan akım-gerilim harmonik frekanslarının varlığının kaçak akım rölelerinin hatalı çalışmasına sebep olabileceği görülmüştür. Tezde ATP Programında modellenen devrelerde kablo mesafesi ve yük miktarına bağlı olarak kabloların doğal

kapasitanslarından kaynaklı kaçak akımlar oluştuğu görülmüş ve bu akımların bilinen manada dokunma gerilimine sebep olabilecek bir kaçak akım olmadığı ve bu faktörler göz önünde bulundurulmadan kurulan kaçak akım koruma sistemlerinde hatalı açmaların oluşacağı kanaatine varılmıştır. Bu sebeple iletken empedans dengesizliği ve iletken kapasitanslarının yük ve mesafe ilişkisi göz önünde bulundurularak, kaçak akım koruma sistemleri projelendirme ve uygulamalarında birer faktör olarak göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] İMO, (2011) İş kazaları istatistikleri, TMH-469, İnşaat Mühendisleri Odası.
- [2] SGK, (2013), İş Kazaları istatistikleri, Sosyal Güvenlik Kurumu.
- [3] İBB, (2013), İtfaiye Daire Başkanlığı 2008-2013 Yılları Yangın İstatistikleri, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi.
- [4] ResGaz 1, (2004), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, 16 Haziran 2004 tarih 25494 sayılı Resmi Gazete.
- [5] ResGaz 2, (2001), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 21 Ağustos 2001 tarih 24500 sayılı Resmi Gazete.
- [6] ResGaz 3, (2013), Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik, 17 Temmuz 2013 tarih 28710 sayılı Resmi Gazete.
- [7] Roldán-Porta, C., Escrivá-Escrivá, G., Cárcel-Carrasco, F. J., Roldán-Blay, C. (2014), "Nuisance tripping of residual current circuit breakers: A practical case", *Electric Power Systems Research*, 106, 180-187.
- [8] Luo X., Du Y., Wang XH., Chen ML., (2011) "Tripping characteristics of residual current devices under nonsinusoidal currents", *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 47 (3), 1515-1521
- [9] ATP, (1992), Can/Am EMTP User Group Rule Book, Alternative Transients Program.
- [10] Calvas R., Lacroix B., (2004) "System earthings in LV.", *Schneider Electric CT*, (172).
- [11] IEC, (2011), Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1 General rules, IEC 60947-1 , International Standard.
- [12] IEC, (2011), Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) - Part 1 General rules, IEC 6008-1, International Standard.
- [13] TSE, (2007), Alçak Gerilim Elektrik Tesisleri Sigortalar ve Diğer Aşırı Akımdan Korunma Düzenleri Standardı, TS HD 60364-6, Türk Standartları Enstitüsü.

- [14] Schineder, (2012), Low Voltage Vigirex Residual-current protection relay brochure, Schineder Electric.
- [15] Web 1, (2015), <http://www.morssmitt.nl/catalogus/>, (Erişim Tarihi: 22/08/2015)
- [16] Web 2, (2015), <http://www.milliyet.com.tr/sokak-ortasinda-inanilmaz-olum--gundem-1940672/>, (Erişim Tarihi: 11/05/2015)
- [17] Web 3, (2015), <http://www.uni-trend.com.cn/en/> (Erişim Tarihi: 22/08/2015)
- [18] Web 4, (2015), http://www.hes.com.tr/images/user_uploaded_files/katalog (Erişim Tarihi: 15/05/2015)
- [19] IEC, (2005), Effects of current on human beings and livestock - Part 1 General aspects, IEC 60479-1, International Standard.
- [20] Web 5, http://www.electrical-installation.org/enwiki/Electric_shock (Erişim Tarihi: 27/05/2015)
- [21] Czapp S., (2008), “The effect of earth fault current harmonics on tripping of residual current devices, In nonsinusoidal Currents and Compensation, ISNCC International School on IEEE, 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Ensar Korkmaz 1973 yılında Ardahan'ın ıldır İlçesinde dünyaya geldi. İlk, Orta ve Lise öğrenimini ıldır'da tamamlamıştır. Yüksek ğrenimini Elazığ Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde yapmış, 1996 yılında buradan mezun olmuştur. Gebze Teknik niversitesinde Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans yapmaktadır, şuan Gebze'de elektrik dağıtım ve iletim sistemleri üzerine mühendislik ve taahhüt hizmetleri alanında faaliyet gösteren As Mühendisler Ltd. şti.'nin sahibi ve yönetim kurulu başkanıdır.