**T.C.**

**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ELEKTRİK DAĞITIM SEKTÖRÜNDE PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMASI ÜZERİNE BİR HESAPLAMA

**ASİM LAÇIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT**

**EDİRNE – 2021**

ASİM LAÇIN'ın hazırladığı "ELEKTRİK DAĞITIM SEKTÖRÜNDE PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMASI ÜZERİNE BİR HESAPLAMA" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

| Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad): | İmza |
|---|---|
| Dr.Öğr.Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT (Danışman) | …… |
| Doç.Dr. İsmail KIYAK | …… |
| Dr.Öğr.Üyesi İsmail BECENEN | …… |
| ……. | …… |
| ……. | …… |

Tez Savunma Tarihi: 09/06/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

(Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT)
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

.... / .... / ....

*Asim LAÇIN*

*İmza*

Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Dağıtım Sektöründe Personel Koruma Topraklaması Üzerine Bir Hesaplama
T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

# ÖZET

Elektrik dağıtım sektöründe meydana gelen ölümlü iş kazaları arasında yüksek gerilim hava hatlarında elektrik çarpılması ile sonuçlanan iş kazaları yer almaktadır. Mevzuat ve uluslararası standartlar gereğince yalıtımsız yüksek gerilim iletkenleri üzerinde çalışma yapacak olan personelin, çalışma süresince elektrik akımından dolayı zarar görmemesi için çalışma alanında gerilimin olmadığını ve güvenliğin sağlandığını temin etmesi gerekmektedir. Bunun için beş temel gereklilik; çalışma bölgesinin tüm elektrik kaynaklarından bağlantısının kesilmesi, hattın beslenebileceği kaynaklarda etiket ve kilitleme yapılması, çalışma bölgesinde gerilimin bulunmadığının kontrol edilmesi, çalışma bölgesine yakın enerjili hatlara karşı önlem alınması ve son olarak çalışılacak hatta personel koruma topraklamasının yapılmasıdır.

Bu beş temel gerekliliğin yerine getirildiği düşünülse bile bazı hatalardan dolayı çalışma yapılacak olan hat, gerilim altında kalabilir. Bu durumda hatta yapılmış olan personel koruma topraklaması kritik önem gösteren bir tedbir haline gelmektedir. Personel koruma topraklamasının, hattın istem dışı gerilim altında kalması durumunda hat üzerinde çalışacak personelin ölümcül seviyede zarar görmesini engellemesi gerekmektedir.

Yalıtımsız yüksek gerilim iletkenleri üzerinde çalışmaya başlamadan önce hattı enerjilendirme ihtimali bulunan tüm kaynak kollarında personel koruma topraklaması yapılmaktadır. Fakat mevcut topraklama yöntemlerinin yeterliliğinden emin olunamamaktadır. Bu sebeple yüzlerce çalışma senaryosu hazırlanmış olup bu senaryolara bağlı olarak yüksek gerilim hatlarında çalışanı koruma amacıyla personel koruma topraklamalarının şeklinin, sayısının ve yönlerinin doğru bir şekilde uygulanması için birtakım hesaplamalar yapılmış, hesaplamaların nihayetinde senaryolara bağlı olarak en güvenli uygulamanın nasıl olması gerektiği ortaya çıkarılmıştır.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 199

Anahtar Kelimeler : Personel koruma topraklaması, Mahalli topraklama Elektrik dağıtım hatlarında güvenli çalışma, YG hat topraklaması

Master's Thesis
A Calculatıon About Personnel Protectıon Groundıng In The Electrıcıty Dıstrıbutıon Sector

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Applied Sciences

# ABSTRACT

Occupational accidents resulting in electric shock in high voltage overhead lines are among the fatal occupational accidents that occur in the electricity distribution sector. In accordance with the legislation and international standards, the personnel who will work on uninsulated high voltage conductors must ensure that there is no voltage in the working area and that safety is ensured in order not to be damaged due to electric current during the work. Five basic requirements for this; Disconnecting the work area from all electrical sources, tagging and locking the sources that the line can be fed, checking that there is no voltage in the work area, taking precautions against energized lines close to the work area and finally making personnel protection grounding on the line to be worked.

Even if these five basic requirements are considered to be fulfilled, the line to be worked on may remain under voltage due to some faults. In this case, the personnel protection grounding on the line becomes a critical measure. Personnel protection grounding must prevent fatal damage to the personnel who will work on the line in case the line is under voltage unintentionally.

Before starting to work on uninsulated high voltage conductors, personnel protection grounding is performed on all welding branches that may energize the line. However, the adequacy of existing grounding methods cannot be assured. For this reason, hundreds of working scenarios have been prepared, and depending on these scenarios, some calculations have been made for the correct application of the shape, number and directions of personnel protection grounding in order to protect the employee in high voltage lines, and finally, the safest application depending on the scenarios has been revealed.

Year : 2021

Number of Pages : 199

Keywords : Personal protection grounding, Local grounding, Safe operation in electrical distribution lines, HV line grounding

# TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırlamamda büyük emekleri olan, her türlü bilgi birikimini benimle paylaşan danışmanım, sevgili hocam Dr. Öğretim Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT'e, çalışmamın hazırlanması sürecinde desteğini benden esirgemeyen İbrahim Yasin TUNCEL'e, yoğun çalışmalarım döneminde bana sabır gösteren eşim Asya'ya, çalışmalarımda motivasyon kaynağı olan küçük kızlarım Zeynep, Zehra ve oğlum Ali'ye, karşılaştığım tüm zorluklarda her zaman arkamda desteğini ve gücünü hissettiğim dostum Ebuzer ÖZGÜNDÜZ'e ve bana her zaman sevgi kaynağı olan aileme çok teşekkür ediyorum.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

**ÖZET** ..... **iv**
**ABSTRACT** ..... **vi**
**TEŞEKKÜR** ..... **viii**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ix**
**SİMGELER DİZİNİ** ..... **xiv**
**KISALTMALAR DİZİNİ** ..... **xvi**
**ŞEKİLLER DİZİNİ** ..... **xvii**
**ÇİZELGELER DİZİNİ** ..... **xxvi**
**BÖLÜM 1** ..... **1**
**GİRİŞ** ..... **1**
**BÖLÜM 2** ..... **3**
**PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMASI ÜZERİNE TEMEL BİLGİLER** ..... **3**
2.1. Literatür ..... 3
2.1.1. Personel Koruma Topraklama Etkenleri ..... 9
2.1.1.1. Arıza Akımları ..... 9
2.1.1.2. Hata Akımlarının Büyüklüğü ..... 10
2.1.1.3. Hata Akımlarının Süresi ..... 10
2.1.1.4. DC Kayma ve Mekanik Kuvvet ..... 10
2.1.1.5. İndüksiyon ..... 12
2.1.1.6. Manyetik Etki ..... 12
2.1.1.7. Yıldırım ..... 12
2.1.1.8. Topraklama ekipmanlarında meydana gelebilecek direnç değişiklikleri ..... 13
2.1.2. Elektrik Çarpması Nedir? ..... 13

2.1.2.1. Elektrik Akımının İnsan Vücuduna Etkisi Nedir? ..... 15
2.1.2.2. Dokunma Gerilimi ..... 16
2.1.2.3. Topraklama ..... 17
2.1.2.4. Topraklamanın amacı ..... 17
2.1.3. Topraklama Çeşitleri ..... 18
2.1.3.1. Koruma Topraklaması ..... 18
2.1.3.2. İşletme Topraklaması ..... 19
2.1.3.3. Fonksiyonel (özel) Topraklama ..... 19
2.1.3.4. Personel Koruma Topraklama ..... 20
2.1.4. Topraklama Nasıl Korur ..... 22
2.1.4.1. Personel koruma topraklaması hakkında bazı öneriler ..... 24
**BÖLÜM 3 ..... 26**
**MATERYAL, METOD ve TANIMLAMALAR ..... 26**
3.1. Materyal ve Metod ..... 26
3.2. Tanımlamalar ..... 32
3.2.1. Çizelgelerde kullanılan topraklama durum ve şekil tanımlamaları ..... 32
3.2.2. YG hat topraklama ve uygulama örnekleri ..... 37
**BÖLÜM 4 ..... 41**
**ÇALIŞMA YAPILAN HATTIN TEK FAZ ÜZERİNDEN İSTEMSİZ BESLENME DURUMU İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR ..... 41**
4.1. YG Havai Hatta Tırmanarak Yapılan Çalışmalardaki Topraklama Hesaplamaları ..... 41
4.1.1. Çift taraftan ayrı topraklı, tek çalışan. ..... 41
4.1.2. Dağıtım merkezinden topraklı ve çift taraftan ayrı topraklı, tek çalışan ..... 46
4.1.3. Dağıtım merkezinden topraklı ve çift taraftan ayrı topraklı, iki çalışan ..... 48
4.1.4. Tek taraftan ayrı topraklı, iki çalışan ..... 51
4.1.5. Çift taraftan priz ve ayrı topraklı, iki çalışan ..... 54
4.1.5.1. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Toprak İletken Geçiş Dirençleri Konulmuştur), İki Çalışan ..... 57
4.1.6. Çift Taraftan Priz, Eşpotansiyel Veya Ayrı Toprak Durumunun Demir, Ağaç Ve Beton Direkler İçin Ayrı Ayrı Hesaplanması ..... 61

4.1.6.1. Demir Direk ..... 61
4.1.6.1.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan ..... 61
4.1.6.1.b. Çift taraftan eş potansiyel topraklı, iki çalışan ..... 64
4.1.6.1.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan ..... 66
4.1.6.2. Ağaç Direk ..... 69
4.1.6.2.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan ..... 69
4.1.6.2.b. Çift taraftan eşpotansiyel topraklı, iki çalışan ..... 71
4.1.6.2.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan ..... 74
4.1.6.3. Beton Direk ..... 76
4.1.6.3.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan ..... 76
4.1.6.3.b. Çift Taraftan Eşpotansiyel Topraklı, İki Çalışan ..... 78
4.1.6.3.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan ..... 81
4.1.7. Dağıtım Merkezinden Topraklı Ve Çift Taraftan Priz Topraklı, İki Çalışan ..... 83
4.2. YG Havai Hatta Yalıtkan Sepetli Araç İle Yapılan Çalışmalardaki Topraklama Hesaplamaları ..... 86
4.2.1. Çift Taraftan Ayrı Topraklı, İki Çalışan ..... 86
4.2.2. Tek Taraftan Ayrı Topraklı, İki Çalışan ..... 89
4.2.3. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı, Üç Çalışan ..... 92
4.2.4. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Sepet Yalıtkan Gövdesinden Prizli), İki Çalışan ..... 95
4.2.5. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Sepetli Araç Gövdesinden Prizli Ve Ayrı), İki Çalışan ..... 98
**BÖLÜM 5 ..... 102**
**ÇALIŞMA YAPILAN HATTIN ÜÇ FAZ ÜZERİNDEN İSTEMSİZ BESLENME DURUMU İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR ..... 102**
5.1. Dengeli Yük Durumunda Nötrden Akan Akımın Teorik Hesabı ..... 102
5.1.1. Üç Faz Kısa Devre Durumunda Enerjilendirilse, Faz-Toprak Arasında Çalışan Personelin Durum Analizi ..... 103
5.1.2. Üç Faz Kısa Devre Durumunda Enerjilendirilse, Faz-Faz Arasında Çalışan Personelin Durum Analizi ..... 105
5.2. Elektrik Dağıtım Sektöründe Aktif Çalışan Rölelerden Alınan Örnek Kısa Devre Akımları ..... 108

5.3. Dengeli Yük Durumunda Nötrden Akan Akımın Pratik Uygulama Örnekleri ..109
**BÖLÜM 6 ..... 111**
**SONUÇLAR ve ÖNERİLER-1 (100mA tehlikeli sınır değer kabul edilirse) ..... 111**
6.1. Sonuçlar 1 ..... 113
6.1.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 113
6.1.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 114
6.1.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 116
6.1.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar ..... 118
6.1.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu ..... 120
6.2. Öneriler 1 ..... 122
6.2.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 122
6.2.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 124
6.2.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 126
6.2.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar ..... 129
6.2.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu ..... 132
**BÖLÜM 7 ..... 134**
**SONUÇ ve ÖNERİLER-2 (Zamana bağlı 500mA tehlikeli sınır değer kabul edilirse) ..... 134**
7.1. Sonuçlar 2 ..... 136
7.1.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 136
7.1.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 137
7.1.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 139
7.1.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar ..... 142
7.1.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu ..... 144
7.2. Öneriler 2 ..... 146
7.2.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 146
7.2.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 149

7.2.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar ..... 152
7.2.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar ..... 155
7.2.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu ..... 158
**KAYNAKLAR ..... 165**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 167**

# SİMGELER DİZİNİ

$I_L$ : Ana hat hata akımı

$I_N$ : Nötr üzerinden akan akım

$I_Ç$ : Çalışan üzerinden akan akım

$I_{Ç1}$ : 1.çalışan üzerinden akan akım

$I_{Ç2}$ : 2.çalışan üzerinden akan akım

$I_{Ç3}$ : 3.çalışan üzerinden akan akım

$I_{mk}$ : Dağıtım merkezi toprak akımı

$I_{pk}$ : Personel koruma toprak akımı

$I_{pk1}$ : 1.personel koruma toprak akımı

$I_{pk2}$ : 2.personel koruma toprak akımı

$I_1, I_2, I_3$ : L1, L2, L3 fazlarından akan akımlar

**L1, L2, L3** : 3 fazlı sistemdeki her bir faz

$R_N$ : Nötr direnci

$R_{ag}$ : Araç gövde direnci

$R_{as}$ : Araç sepet direnci

$R_{eş}$ : Devre eşdeğer direnci

$R_{pk}$ : Personel koruma toprak direnci

$R_{pk1}$ : 1. personel koruma toprak direnci

$R_{pk2}$ : 2. personel koruma toprak direnci

$R_{pk3}$ : 3. personel koruma toprak direnci

$R_{1h}, R_{2h}, R_{3h}$ : L1, L2, L3 hat dirençleri

$R_Ç$ : Çalışan vücut direnci

$R_{Ç1}$ : 1.çalışan vücut direnci

$R_{Ç2}$ : 2.çalışan vücut direnci

$R_{Ç3}$ : 3.çalışan vücut direnci

$R_{dk}$ : Direk koruma toprak direnci

$R_d$, $R_{d1}$ : Direk gövde dirençleri

$R_{d2}$, $R_{d3}$ : Direk gövde dirençleri

$R_{mk}$ : Dağıtım merkezi toprak direnci

$R_{tt}$ : Eşpotansiyellenmiş hattın ayrı topraklama direnci

$Rg_1$ : Direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci

$Rg_2$ : 15 metre toprak iletken direnci

$Rg_3$ : Topraklama maşasının iletkene geçiş direnci

$V$ : Kaynak gerilimi (faz-toprak)

$V_Ç$ : Çalışan temas gerilimi

$V_{Ç1}$ : 1.çalışan temas gerilimi

$V_{Ç2}$ : 2.çalışan temas gerilimi

$V_{Ç3}$ : 3.çalışan temas gerilimi

$\Omega$ : Ohm

# KISALTMALAR DİZİNİ

**AG** **:** Alçak Gerilim

**ENH** **:** Enerji Nakil Hattı

**YG** **:** Yüksek Gerilim

**A** **:** Amper

**kA** **:** Kiloamper

**mA** **:** Miliamper

**V** **:** Volt

**kV** **:** Kilovolt

**Std** **:** Standard

**XL** **:** Endüktif Direnç

**R** **:** Direnç

**Hz** **:** Hertz

**Km** **:** Kilometre

# ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1.** İletim hatlarındaki demir direkler için tek faz personel koruma topraklaması. 4
**Şekil 2.2.** Üç fazlı dirsek topraklama. ..... 5
**Şekil 2.3.** Bileşik topraklama. ..... 6
**Şekil 2.4.** Tek fazlı çalışma alanı topraklaması. ..... 6
**Şekil 2.5.** Tek fazlı çalışma alanı topraklaması. ..... 7
**Şekil 2.6.** Kişisel eşpotansiyel topraklama. ..... 8
**Şekil 2.7.** Tayvan Elektrik Şirketi için önerilen en güvenli personel koruma topraklama yöntemi. ..... 9
**Şekil 2.8.** Tipik bir hata akımının olasılık yoğunluk dağılımı (IEEE Std 1048, 2003). . 10
**Şekil 2.9.** Alçak gerilimden çarpılan insanın üzerinden geçen akımın hesaplanması. ... 14
**Şekil 2.10.** 15 Hz'den 100 Hz'e kadar alternatif akım etkilerinin akım/zaman bölgeleri (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001). ..... 16
**Şekil 2.11.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri (Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, 2000). ..... 17
**Şekil 2.12.** Topraklama örneği. ..... 17
**Şekil 2.13.** Topraklama çeşitleri. ..... 18
**Şekil 2.14.** Koruma topraklaması örneği. ..... 19
**Şekil 2.15.** İşletme topraklaması örneği. ..... 19
**Şekil 2.16.** Fonksiyonel topraklama örnekleri. ..... 20
**Şekil 2.17.** Elektrik dağıtım hatlarında çalışan personelin çalışma bölgesinde yaptığı personel koruma topraklama örneği. ..... 20
**Şekil 2.18.** Çalışma yapılacak olan hatta yapılan personel koruma topraklaması. ..... 21
**Şekil 2.19.** Personel koruma topraklanma uygulaması. ..... 21

**Şekil 2.20.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo (Akımın geldiği yönde toprakalama yapıldığı durum). ..... 22
**Şekil 2.21.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo (Akımın geldiği yönün tersine topraklama yapıldığı durum). ..... 23
**Şekil 2.22.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo. ..... 23
**Şekil 2.23.** Çift taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo. ..... 24
**Şekil 3.1.** Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemi. ..... 27
**Şekil 3.2.** YG Havai hat personel koruma topraklama yapan çalışan. ..... 27
**Şekil 3.3.** YG Havai hat personel koruma topraklama uygulamaları. ..... 28
**Şekil 3.4.** İzin verilen dokunma gerilim seviyeleri (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-C, 2001). ..... 30
**Şekil 3.5.** Personel koruma topraklama yok, topraklamasız bir hattın gösterimi. ..... 32
**Şekil 3.6.** Tek taraftan topraklı, ayrı topraklı hattın gösterimi. ..... 33
**Şekil 3.7.** Tek taraftan topraklı, ayrı ve eşpotansiyel topraklı bir hattın gösterimi. ..... 34
**Şekil 3.8.** Tek taraftan topraklı, priz topraklı hattın gösterimi. ..... 34
**Şekil 3.9.** Çift taraftan topraklı, ayrı topraklı hattın gösterimi. ..... 35
**Şekil 3.10.** Çift taraftan topraklı, ayrı ve eşpotansiyel topraklı hattın gösterimi. ..... 36
**Şekil 3.11.** Çift taraftan topraklı, priz topraklı hattın gösterimi. ..... 36
**Şekil 3.12.** Sepetli araçta çalışma, araçtan priz topraklı hattın gösterimi. ..... 37
**Şekil 3.13.** YG Hat personel koruma topraklama teçhizatı örneği. ..... 38
**Şekil 3.14.** YG hat personel koruma topraklama uygulama örnekleri. ..... 38
**Şekil 3.15.** YG Bara personel koruma topraklama teçhizatı örneği. ..... 39
**Şekil 3.16.** YG Bara personel koruma topraklama uygulama örneği. ..... 39
**Şekil 4.1.** Çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryo. ..... 41
**Şekil 4.2.** Çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryonun eşdeğer devresi. ..... 42

**Şekil 4.3.** Dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryo. .....46
**Şekil 4.4.** Dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryonun eşdeğer devresi.....47
**Şekil 4.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....49
**Şekil 4.6.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....49
**Şekil 4.7.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.....52
**Şekil 4.8.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....52
**Şekil 4.9.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.....54
**Şekil 4.10.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....55
**Şekil 4.11.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.....58
**Şekil 4.12.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır (Toprak iletken geçiş dirençleri gösterilmiştir). .....58
**Şekil 4.13.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....61
**Şekil 4.14.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....62
**Şekil 4.15.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eş potansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....64

**Şekil 4.16.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eş potansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....65
**Şekil 4.17.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....67
**Şekil 4.18.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....67
**Şekil 4.19.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....69
**Şekil 4.20.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....70
**Şekil 4.21.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....72
**Şekil 4.22.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....72
**Şekil 4.23.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....74
**Şekil 4.24.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....75
**Şekil 4.25.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....77
**Şekil 4.26.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....77
**Şekil 4.27.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....79
**Şekil 4.28.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....79

**Şekil 4.29.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....81
**Şekil 4.30.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....82
**Şekil 4.31.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....83
**Şekil 4.32.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....84
**Şekil 4.33.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. .....87
**Şekil 4.34.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. .....87
**Şekil 4.35.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. .....90
**Şekil 4.36.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. .....90
**Şekil 4.37.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır.....93
**Şekil 4.38.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır. .....93
**Şekil 4.39.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır. .....96
**Şekil 4.40.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır. .....96

**Şekil 4.41.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır. .....99
**Şekil 4.42.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır. .....99
**Şekil 5.1.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunu gösteren çizim.....102
**Şekil 5.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır. .....104
**Şekil 5.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır. .....104
**Şekil 5.4.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.....106
**Şekil 5.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır. .....106
**Şekil 5.6.** Dengeli yük durumunda nötrden akan akım miktarını gösteren şekil. .....109
**Şekil 6.1.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri eğrisinde sürekli zaman için sınırlı akımın bulunması (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001). .....112
**Şekil 6.2.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....113
**Şekil 6.3.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....115

**Şekil 6.4.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. ..... 117
**Şekil 6.5.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. ..... 119
**Şekil 6.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. ..... 121
**Şekil 6.7.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. ..... 121
**Şekil 6.8.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil. ..... 123
**Şekil 6.9.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). ..... 124
**Şekil 6.10.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 125
**Şekil 6.11.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). ..... 127
**Şekil 6.12.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 127
**Şekil 6.13.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). ..... 130
**Şekil 6.14.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 130

**Şekil 6.15.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.....132
**Şekil 6.16.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.....133
**Şekil 7.1.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri eğrisinde 200 ms süre için geçen sınır akımın bulunması (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001). .....135
**Şekil 7.2.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....136
**Şekil 7.3.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....138
**Şekil 7.4.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....140
**Şekil 7.5.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.....142
**Şekil 7.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli. .....144
**Şekil 7.7.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.....145
**Şekil 7.8.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). .....147
**Şekil 7.9.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). .....148
**Şekil 7.10.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). .....150

**Şekil 7.11.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 150
**Şekil 7.12.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). ..... 153
**Şekil 7.13.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 153
**Şekil 7.14.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için). ..... 156
**Şekil 7.15.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için). ..... 156
**Şekil 7.16.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil..... 159
**Şekil 7.17.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil. ..... 159

# ÇİZELGELER DİZİNİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1.** Hata akımlarına karşı oluşan mekanik kuvvetler (IEEE Std 1048, 2003). . 11
**Çizelge 2.2.** İnsan vücudunda sol elden her iki ayağa doğru akan 15 Hz'den 100 Hz'e kadar frekanslı sinüsoidal alternatif akımın etkileri. ..... 15
**Çizelge 4.1.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır. ..... 45
**Çizelge 4.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır. ..... 45
**Çizelge 4.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır. ..... 47
**Çizelge 4.4.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır. ..... 48
**Çizelge 4.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 50
**Çizelge 4.6.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 51

**Çizelge 4.7.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 53
**Çizelge 4.8.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 53
**Çizelge 4.9.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 56
**Çizelge 4.10.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo..... 56
**Çizelge 4.11.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve iki çalışan bulunmaktadır. ..... 57
**Çizelge 4.12.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 59
**Çizelge 4.13.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo..... 60
**Çizelge 4.14.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. 60
**Çizelge 4.15.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 63
**Çizelge 4.16.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo..... 63
**Çizelge 4.17.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ..... 64

**Çizelge 4.18.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....66
**Çizelge 4.19.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....68
**Çizelge 4.20.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....71
**Çizelge 4.21.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....73
**Çizelge 4.22.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....76
**Çizelge 4.23.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....78
**Çizelge 4.24.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....80
**Çizelge 4.25.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....83
**Çizelge 4.26.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. .....85
**Çizelge 4.27.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi.

Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır. ....86
**Çizelge 4.28.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. ....88
**Çizelge 4.29.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. ...89
**Çizelge 4.30.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. ....91
**Çizelge 4.31.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır. ...92
**Çizelge 4.32.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır. ....94
**Çizelge 4.33.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır. ....95
**Çizelge 4.34.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır. ....97
**Çizelge 4.35.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır. ....98
**Çizelge 4.36.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır. ....100
**Çizelge 4.37.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi.

Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır. ..... 101
**Çizelge 5.1.** 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda kollardan geçen akım miktarlarına göre nötr hattından geçen akım miktarını gösteren çizelgeler. ..... 103
**Çizelge 5.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarını gösteren tablolar. ..... 105
**Çizelge 5.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarını gösteren tablolar. ..... 107
**Çizelge 5.4.** Elektrik dağıtım sektöründe, hatta oluşan bir hata durumunda röleler vasıtasıyla kayıt altına alınan arıza akımlarını gösteren tablo. ..... 108
**Çizelge 5.5.** Dengeli yük durumunda, Edirne TEKSTİPLİK/OMLUKSA Fideri nötründen akan akım miktarını gösteren tablo. ..... 110
**Çizelge 5.6.** Dengeli yük durumunda, Uzunköprü KARAPINAR ENH nötründen akan akım miktarını gösteren tablo ..... 110
**Çizelge 6.1.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ..... 114
**Çizelge 6.2.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ..... 116
**Çizelge 6.3.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ..... 118
**Çizelge 6.4.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ..... 120
**Çizelge 6.5.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ..... 122
**Çizelge 6.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamasının hesaplama çizelgesi. ..... 123

**Çizelge 6.7.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 126
**Çizelge 6.8.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 129
**Çizelge 6.9.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 131
**Çizelge 6.10.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 133
**Çizelge 7.1.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ... 137
**Çizelge 7.2.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ... 139
**Çizelge 7.3.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ... 141
**Çizelge 7.4.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi. ... 143
**Çizelge 7.5.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumlarını gösteren senaryoların hesaplama tabloları. ... 146
**Çizelge 7.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 149
**Çizelge 7.7.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 152
**Çizelge 7.8.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 155
**Çizelge 7.9.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi. ... 158

**Çizelge 7.10.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.....160

# BÖLÜM 1

# GİRİŞ

Elektrik dağıtım sektöründe çalışan personeli korumak amacıyla yapılan personel koruma topraklaması, çalışanı elektrik çarpılmasına karşı koruması beklenmektedir. Bu amaçla topraklamanın uygun montaj usullerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Elektrik dağıtım hatlarında, arızaların giderilmesi veya düzenli bakım faaliyetleri yapılması gerektiğinde, çalışma alanının enerjisinin kesilmesi gerekir. Enerji kesildiği durumda çalışanlara güvenli bir çalışma alanı sağlamak için uygun bir topraklama yapılmalıdır.

Yüksek gerilim hatlarında enerjisi kesilmiş ve hatta çalışma yapıldığı durumda, çalışma yapılan elektrik dağıtım hattı, aşağıdaki nedenlerden dolayı enerjilenebilir;

1) İş arkadaşlarının, dikkatsizlik sonucu enerjisi kesilmiş çalışma yapılan hattı enerjilendirmesi.

2) Çalışma yapılan hattın yakınında bulunan ve enerjili olan başka bir hat ile temas etmesinden dolayı bu hattın enerjilenmesi. (arıza veya rüzgardan dolayı salınım yapan enerjili iletkenin kopası/salınması durumunda diğer hatlara temas edebilir)

3) Yakın olan enerjili hatlar sebebiyle kapasitif ve endüktif kuplaj yoluyla çalışma yapılan hattın enerjilenmesi.

Elektrik dağıtım sektöründe teknolojik gelişmeler hızla varlığını göstermektedir. İş günü kayıplarının fazla olduğu ve çok tehlikeli sınıfta yer alan elektrik dağıtım sektöründe güvenli çalışma için bilimsel bir çalışmaya dayalı koruma topraklaması yapılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Bu sayede yüksek gerilim havai hatlarında çalışanın korunması için yapılan personel korum topraklamasının doğru kullanımı

sağlanabilecektir. Bu sayede iş kazalarında meydana gelen kayıpların önüne geçilebilecektir. Ayrıca personel koruma topraklaması için kullanılan ekipman sayısının optimum seviyede seçilmesi sağlanarak hem iş yükü hem de ham madde kaybının önüne geçilecektir. Bu iş yükü ve hammadde kayıplarının önüne geçilerek elektrik dağıtım sektöründe faaliyet gösteren şirketlerdeki maliyetlere de pozitif katkısı olacaktır. Şöyle ki arazi araçlarıyla ulaşımın mümkün olmadığı kırsalda yer alan yüksek gerilim havai hattında çalışma yapılması gerektiği durumda, bir adet personel koruma topraklamasıyla optimum koruma sağlanıyorken çalışan iki personel koruma topraklamasını yürüyerek çalışma bölgesine taşıyacaktır ve bu da ağır bir malzeme olan bakır iletkenin taşınması fazladan iş yükü ve hammadde maliyeti gerektirir.

Elektrik dağıtım sektöründe yapılan arıza onarım bakım faaliyetlerinde alınacak güvenlik önlemleri, çalışmayı yapan personel için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma ile elektrik dağıtım sektöründeki yüksek gerilim (1000 volt- 36000 volt) seviyesinde arıza, onarım ve bakım faaliyetlerinde alınması gereken güvenlik önlemlerinden personel koruma topraklama faaliyetlerini kapsamaktadır.

# BÖLÜM 2

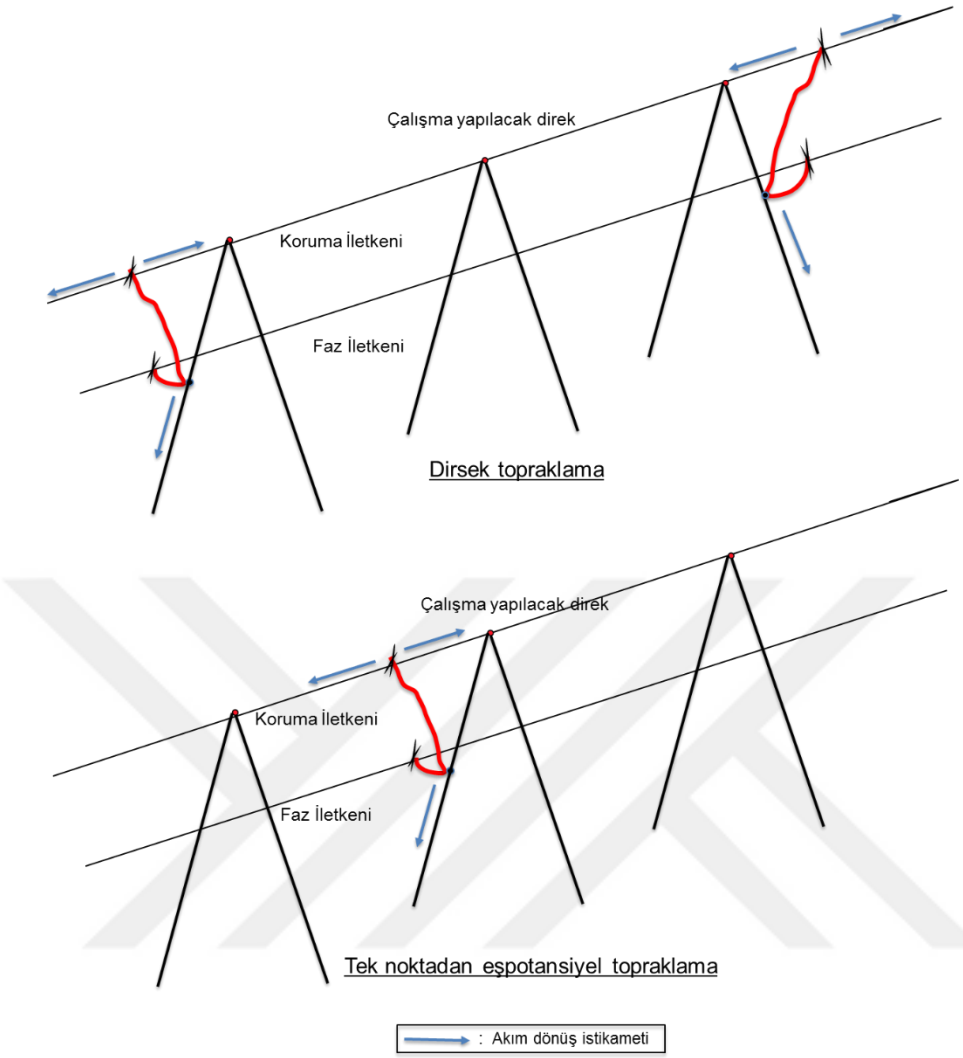
# PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMASI ÜZERİNE TEMEL BİLGİLER

## 2.1. Literatür

Yapılan araştırmalar neticesinde personel koruma topraklaması üzerine standartların ve araştırma yazılarının olduğu görülmüştür. Yapılan örnek çalışmalar, çalışma yapılan bölgenin elektrik şebekesine has olup ülkemizde bulunan elektrik şebekesinin ihtiyaçlarını tam olarak karşılamamaktadır. Bu örnek çalışmalar her ne kadar ülkemizdeki elektrik şebekesine tam olarak oturmasa da yapılacak hesaplamalarla sahamıza uygun hale getirilebilecektir.

Elektrik iletim hatlarında yapılan iki yaygın personel koruma topraklama yöntemi; bitişik hatlarda dirsek topraklaması ve çalışma bölgesinde tek noktadan eşpotansiyel topraklamadır. Diğer personel koruma topraklama yöntemleri genellikle bu iki tekniğin bazı varyasyonlarıdır.

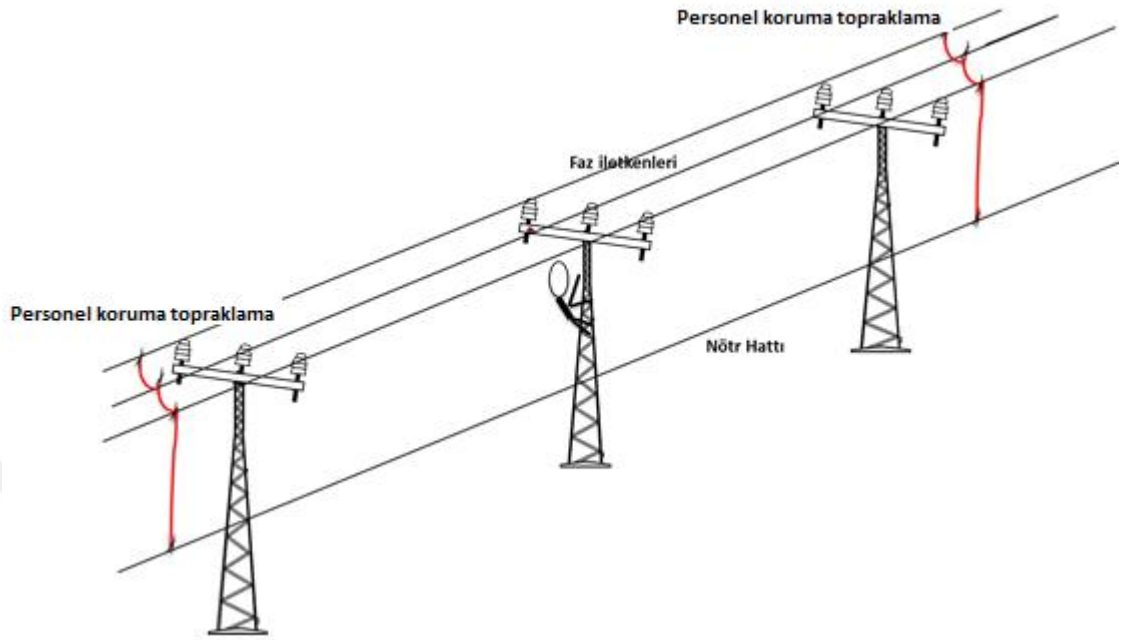
Bu iki yöntemin anlaşılması amacıyla demir direkte bulunan elektrik hattının tek fazdan topraklanması için yapılmış olan örnek çizim, gösterilen Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Taylor, McIver, Weiler, Murray & Bronfeld, 1995).




**Şekil 2.1.** İletim hatlarındaki demir direkler için tek faz personel koruma topraklaması.

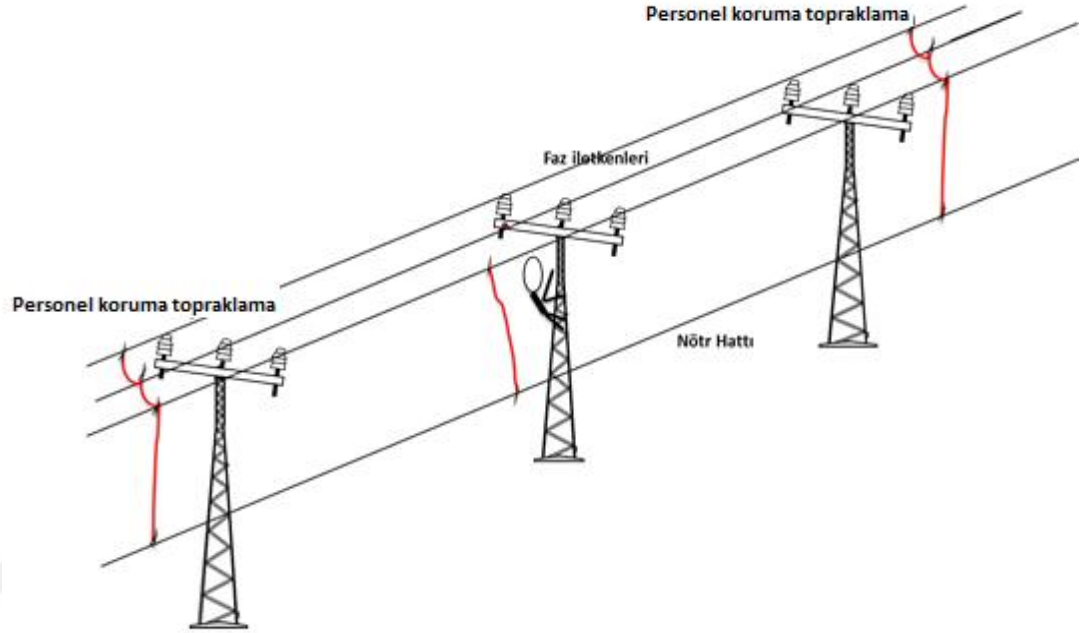
Enerjisi kesilmiş yüksek gerilim hatlarında çalışma yapacak olan personelin korunması için diğer ülkelerdeki elektrik şebekesinde uygulanan çeşitli topraklama yöntemleri araştırılmış ve aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

1) Üç fazlı dirsek topraklaması; personel koruma topraklama iletkenlerinin üç fazlı iletkenler ile nötr arasına, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi çalışma alanının her iki tarafında monte edilir. Bu topraklama yöntemi ile çalışanın temas edeceği/edebileceği iletkenler nötr hattı üzerinden dolaylı olarak topraklanmaktadır. Bu topraklama modelinde çalışan, faz iletkenine temas ettiği durumda hat istenmeden beslenir ise devre, nötr hattı üzerinden çevrimini tamamlayacak. Çalışanın aynı anda temas ettiği iletken ile direk arasında oluşabilecek potansiyel fark, çalışana zarar vermeyecek düzeyde olması beklenmektedir.



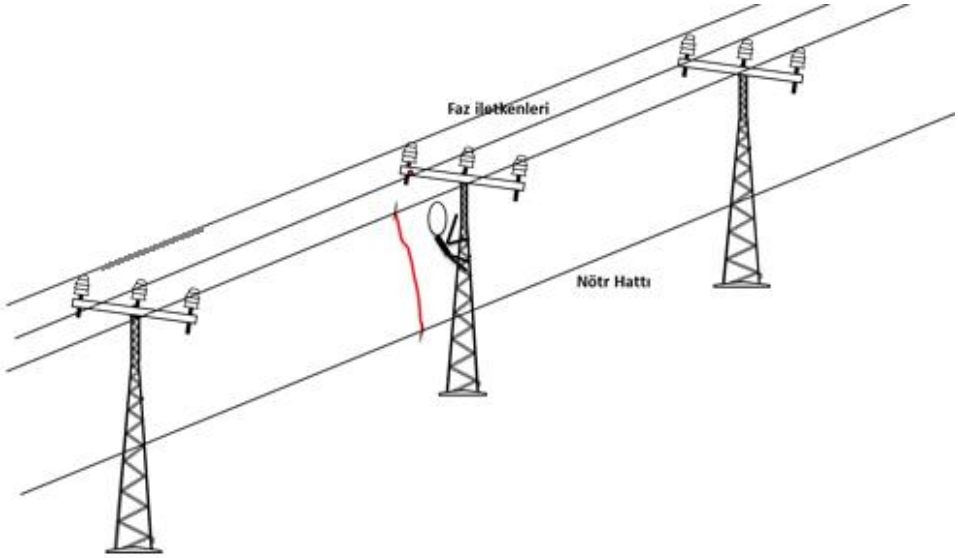

**Şekil 2.2.** Üç fazlı dirsek topraklama.

2) Bileşik topraklama; üç fazlı dirsek topraklamasına ilave olarak Şekil 2.3'te gösterildiği gibi nötr hattı ile çalışılan faz irtibatlandırılır. Bu koruma topraklama yöntemi de üç fazlı direk topraklama mantığıyla koruma sağlayacaktır. İlave olarak çalışana yakın yapılan koruma topraklaması ise çalışanın iletkene temas ettiği nokta ile direk arasında oluşabilecek potansiyel farkı daha da aşağı çekecektir.



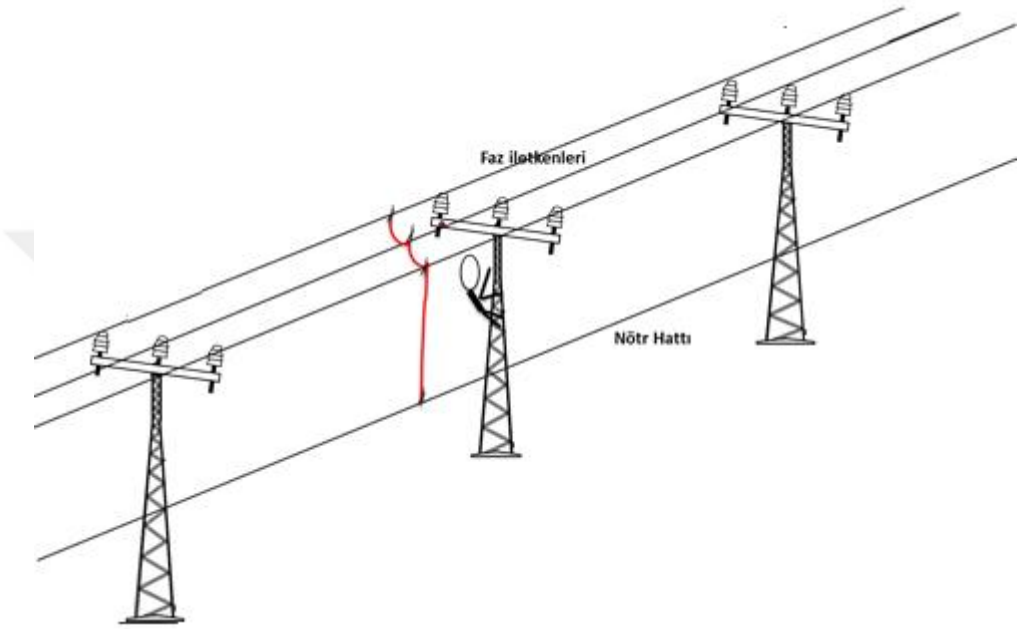

**Şekil 2.3.** Bileşik topraklama.

3) Tek fazlı çalışma alanı topraklaması; çalışılan faz Şekil 2.4'te gösterildiği gibi nötr hattına bağlanır, çalışanı korumak amacıyla başka bir ilave topraklama bulunmamaktadır. Personel, sadece toprak yapılmış olan fazda çalışacak olsa da diğer fazlara da temas etme durumu söz konusudur. Bu durum hattın istenmeden beslenmesi durumunda personele zarar verebilecek riskler barındırmaktadır.



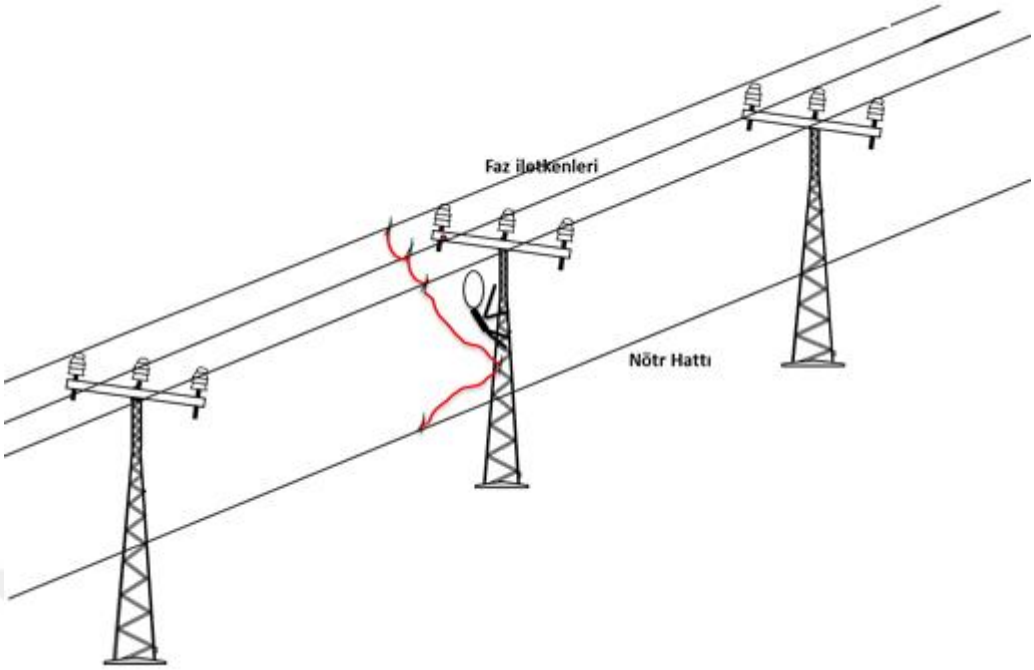

**Şekil 2.4.** Tek fazlı çalışma alanı topraklaması.

4) Üç fazlı çalışma alanı topraklaması; Şekil 2.5'te gösterildiği gibi üç fazlı iletkenler ile nötr arasında yapılan topraklamadır. Bu topraklama ile çalışanın temas edeceği/edebileceği iletkenler topraklanmış olmaktadır.




**Şekil 2.5.** Tek fazlı çalışma alanı topraklaması.

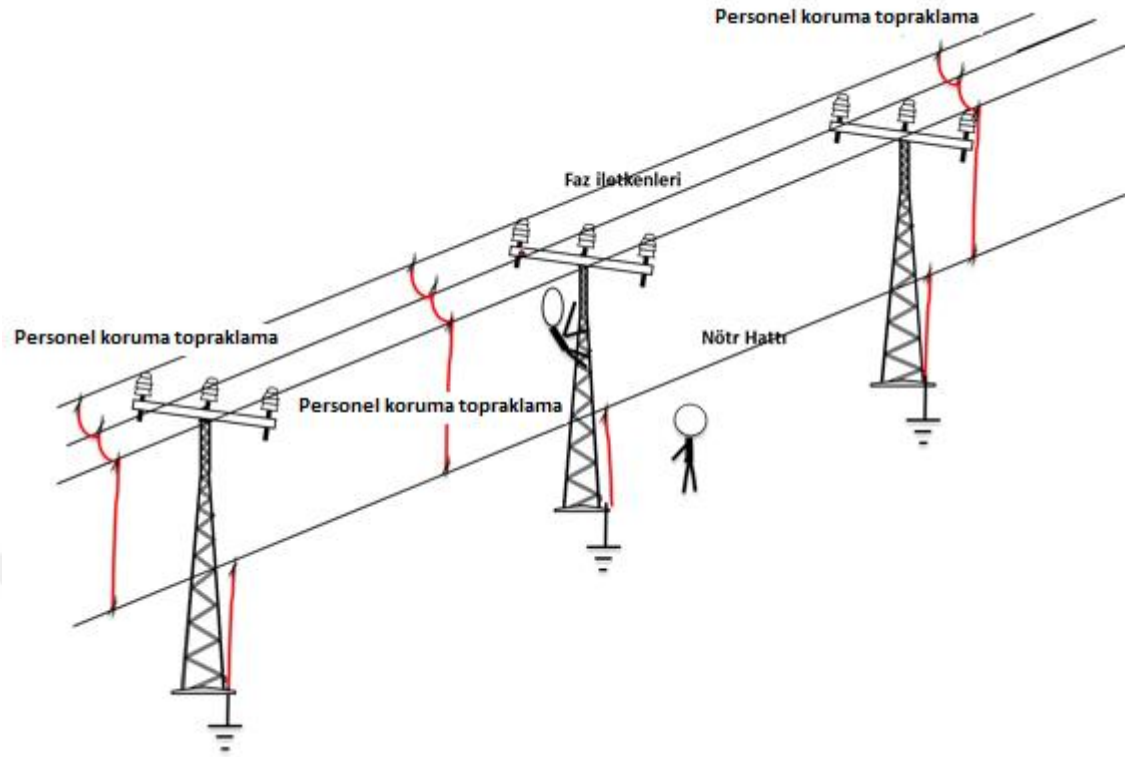
5) Kişisel eşpotansiyel topraklama; üç fazlı hat ile birlikte çalışanın ayakları altındaki direk üzerinde bir noktadan nötr hattına yapılan topraklamadır. Kişisel eşpotansiyel topraklama Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu koruma topraklama yöntemi ile personelin aynı anda temas ettiği faz iletkeni ile direk arasında eşpotansiyel alan meydana gelecektir. Bu eşpotansiyel alan, personelin zarar görmesini engelleyecek en önemli etkenlerden biridir.




**Şekil 2.6.** Kişisel eşpotansiyel topraklama.

Literatür taraması neticesinde yapacağımız çalışmaya en yakın bilgi, Tayvan Enerji Şirketi sistemi için yapılan çalışma üzerine yazılan makalede görülmektedir. Bu makalede yedi temel topraklama şeması değerlendirilmiş ve etkin olan topraklama şeması belirlenmiştir. Enerjisi kesilmiş yüksek gerilim havai hatlarının yanlışlıkla enerjilendirilmesi durumunda çalışanın korunması için gerekli topraklama konfigürasyonları tespit edilmeye çalışılmış (Lee & Hsu, 2005).

Tayvan Elektrik Şirketi için farklı topraklama varyasyon sonuçları değerlendirilmiş olup enerjisi kesilmiş yüksek gerilim elektrik dağıtım hatlarının arıza onarım bakımı için kullanılan şemalardan çalışanın korunması adına en güvenli yöntem Şekil 2.7'de gösterilmiş.




**Şekil 2.7.** Tayvan Elektrik Şirketi için önerilen en güvenli personel koruma topraklama yöntemi.

### 2.1.1. Personel Koruma Topraklama Etkenleri

#### 2.1.1.1. Arıza Akımları

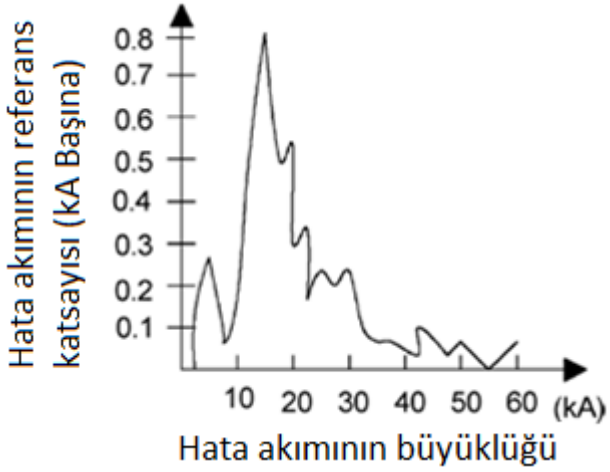
Enerjisi kesilmiş elektrik dağıtım hatlarında yapılan arıza onarım bakım faaliyetlerinde, çalışma alanına uygun personel koruma topraklama yapılmalıdır. Bununla birlikte, enerjisi kesilmiş elektrik dağıtım hatlarının yanlışlıkla enerjilenmesi durumunda, sistemde bir arıza akımı oluşacaktır. Oluşan bu arıza akımı, potansiyel elektrik çarpma tehlikesi oluşturur.

Genel olarak, bir personel koruma topraklama iletkeninin kapasitesi, topraklama yapılan hatta oluşacak arıza akımına dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Uygun bir topraklama iletkeni seçmek için, arıza akımının büyüklüğü, süresi, dc kayma sapması ve manyetik kuvvet gibi arıza akımının özelliklerine bakılmalıdır.

### 2.1.1.2. Hata Akımlarının Büyüklüğü

Personel koruma topraklama iletken kesitinin seçilmesinde önemli bir etken olan maksimum hata akımı dikkatlice hesaplanmalıdır. Genel olarak, hata akımının olası dağılımı hesaplamalar sırasında dikkate alınır. Tipik bir hata akımı, Şekil 2.8'de belirtilen şekilde gösterilmiştir (IEEE Std 1048, 2003).

Şekilde görüldüğü gibi, sistemde meydana gelen maksimum arıza akımı olasılığı oldukça düşüktür. Arıza akımının yaklaşık% 99'u, azami arıza akımının% 60'ını geçmez.




**Şekil 2.8.** Tipik bir hata akımının olasılık yoğunluk dağılımı (IEEE Std 1048, 2003).

### 2.1.1.3. Hata Akımlarının Süresi

Hata akımlarının süresi koruyucu ekipmana bağlıdır. Elektrik dağıtım sistemi için koruyucu ekipmanı olarak sigorta içeren sistemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, trafo merkezlerinde kesicileri korumak için aşırı akım rölesi kullanır.

### 2.1.1.4. DC Kayma ve Mekanik Kuvvet

Arıza oluşumunun başlangıcında, arıza akımı sabit durumda arıza akımından biraz daha büyüktür. Birkaç periyottan sonra akım, sabit durumuna ulaşacaktır.

Personel koruma topraklama tertibatı kelepçeler, yüksükler ve kablodan oluşur. Montajın tüm bileşenlerini, koruyucu röleler ve kesiciler devrenin enerjisini kesene kadar maksimum arıza akımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

Yüksek asimetrik akım ve yüksek dc kaymasının oluşturduğu manyetik kuvvetler, personel koruma topraklama tertibatında, iletken veya ekipmanların kopabileceği bir noktaya kadar şiddetli bir "kırbaçlama" etkisi yaratacaktır.

Personel koruma topraklama tertibatları, üretilen hata akımının yüksek bir dc kaymaya (yüksek XL / R değeri) sahip olduğu durumlarda çok yüksek mekanik kuvvetlere maruz kalabilir. Bir arıza meydana geldiğinde, topraklama iletkenlerinin mekanik kuvveti hata akımının karesiyle orantılıdır. Bu nedenle, uygun bir topraklama iletkeninin bulunabilmesi için maksimum arıza akımının (veya dc kayma kaymasının) hesaplanması önemlidir. Hata akımları ve mekanik kuvvetler arasındaki ilişki Çizelge 2.1'de listelenmiştir (IEEE Std 1048, 2003).

**Çizelge 2.1.** Hata akımlarına karşı oluşan mekanik kuvvetler (IEEE Std 1048, 2003).

| Hata Akımları | | Mekaniksel kuvvet (lb/ft) |
|---|---|---|
| Sürekli durum | Pik | |
| 10 kA | 12 kA | 18 |
| 10 kA | 20 kA | 50 |
| 30 kA | 40 kA | 200 |
| 30 kA | 60 kA | 450 |

Personel koruma topraklama iletkeni genellikle yalıtkan tarafından kaplanır ve arıza akımına dayanacak yeterli kapasiteye ve mekanik gerilime sahip olmalıdır. Ayrıca, personel koruma topraklama kablolarındaki gerilim, çalışanlar için tehlike oluşturmamalıdır. Personel koruma topraklama kabloları, aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır:

1) İletkenin akım taşıma kapasitesi;

2) Kablo kelepçesinin kapasitesi;

3) Terminal kontağı ve kablo kelepçesinin yüzeyi;

4) Güç sistemlerinin yapısı;

5) Personel koruma topraklama iletkeni takıldıktan sonra topraklama devrelerinin empedansı.

#### 2.1.1.5. İndüksiyon

Enerjisi kesilen bir elektrik dağıtım hattı yakınında diğer enerjili hatlar bulunuyorsa, bu hatlar üzerinde hem kapasitif hem de manyetik kuplajlar meydana gelecektir. Kapasitif kuplaj nedeniyle, enerjisiz iletkenlerde indüklenmiş bir gerilim meydana gelebilir. İndüklenen gerilim, çalışma geriliminin ve faz iletkenlerinin göreli konumunun fonksiyonudur. Enerjisi kesilen hat bir noktadan topraklanmışsa indüklenen gerilimden dolayı oluşan akım, diğer hatların açıkta kalan uzunluğu ile doğru orantılı olacaktır.

#### 2.1.1.6. Manyetik Etki

Enerjili ve enerjisiz iletkenler arasındaki manyetik indüksiyon nedeniyle, yükleri olan enerjili bir elektrik dağıtım hattı, bitişik paralel enerjisiz hatlarda bir gerilim indükleyebilir. Enerjisi kesilmiş devre, hat topraklama anahtarları veya personel koruma topraklamalar yoluyla iki taraftan topraklanırsa, bu hatlar üzerinde bir sirkülasyon akımı meydana gelebilir. Bu durumda personel koruma topraklama iletkenlerinin sökülmesi, çalışan için tehlike oluşturabilir. Bu nedenle, bu tehlikenin giderilmesi için uygun çalışma yöntemleri belirlenmelidir (Kişisel koruyucu donanım kullanılması vb).

#### 2.1.1.7. Yıldırım

Havai elektrik dağıtım hatlarında arıza onarım bakım çalışmaları genellikle şarjlı havayı barındıran bir fırtına sırasında yapılmasa da, çalışma esnasında elektrik dağıtım hatlarına veya bu hatların yakınına yıldırım düşmesi mümkündür. Sonuç olarak, yıldırımdan oluşan darbe akımı bu hatta çalışan için tehlike oluşturacaktır.

Uygun kapasitedeki koruyucu topraklama kabloları, yıldırımlara ve hatta en şiddetli yıldırım çarpmasından kaynaklanan yıldırım akımına dayanmalıdır. Mousa ve Srivastava (1986)'nın çalışmasına göre, topraklama kablolarının kapasitesi 6,5 kA akımı taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, çalışma bölgesinin tabanındaki

adım ve dokunma gerilimleri, yıldırım çarpmasının görülme sıklığından uzak yerlerde çalışılsa bile tehlikeli olabilir.

#### 2.1.1.8. Topraklama ekipmanlarında meydana gelebilecek direnç değişiklikleri

Hem kirli yüzeyler hem de gevşek bağlantılar, uygun bir bağlantıya kıyasla yüksek dirençli bağlantılara neden olur. Yanlış bir bağlantı yoluyla yüksek hata akımının akışından üretilen ısı, sıkıştırma kuvveti kaybı ile çene / iletken arayüzündeki metal yüzeylerin yumuşamasına neden olabilir. Bu, direnci daha da artırır ve kelepçe iletkenden çıkana kadar daha fazla ısı üretir. Kirli bağlantılar, saha uygulamalarında tipik bir sorundur (Safety and Regulations Working Group, 1995).

Çalışma sahasındaki elektrik hizmet aracıyla ilgili tehlikeleri en aza indirmek gerekmektedir. Bunun için;

- Araçlar her zaman çıplak elle çalışma yapabilmek için topraklanmalıdır.

- Elektrik hizmet aracı standartlara uygun olmalıdır.

- Çalışanlar, üçüncü şahısların enerjili hatların ve tesislerin yakınında çalışan araçlardan uzak durmasını sağlamaktan sorumlu olmalıdır.

- Güvenli çalışma uygulamaları geliştirilirken tüm koşullar gözden geçirilmelidir.

- Kamu güvenliği için, çalışma alanına barikat kurarak sınırlandırılması, üçüncü şahısların potansiyel elektrik tehlikelerinden korumanın en iyi yöntemidir (ESMOL Subcommittee of T&D, 1995).

### 2.1.2. Elektrik Çarpması Nedir?

Elektrik çarpması, insanların ve diğer canlıların üzerinden akan elektrik akımının belli bir süreyle vücutta başka tepkilere sebep olma durumuna denir. Her insanın aynı miktarda geçen elektrik akımına tepkisi farklıdır. İnsanların ve diğer canlıların elektrik çarpması olayı etkisinde kalmaları için vücutlarının iki ayrı noktasının farklı elektriksel potansiyelde olması ve bu sebeple üzerlerinden akım geçmesi gerekir.

Daha çok elektrik çarpılmaları, elektrik hatlarının taşındığı, dağıtıldığı ve kullanıldığı yerlerde iletkenlere temas durumunda meydana gelmektedir. Bununla beraber elektrik sektöründe çalışanların yeterli güvenlik önlemleri almadan yapmış

oldukları çalışmalarda, çalışma bölgesinin istemsiz enerjilenmesi durumunda da elektrik çarpılması meydana gelmektedir.

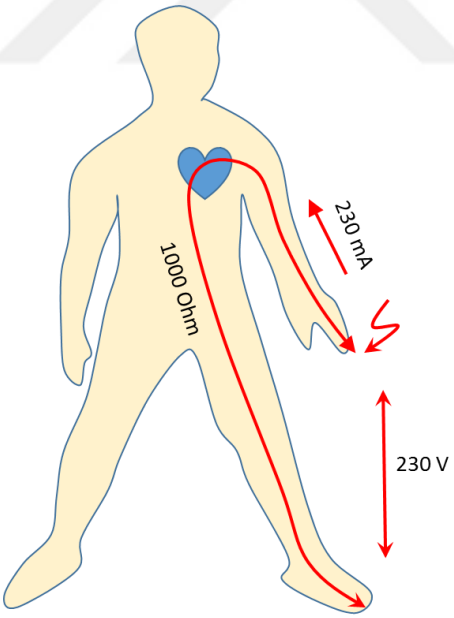
Elektrik çarpması ile meydana gelen kazalar, etki bakımından 3 grupta toplanabilir;

1-Elektrik akımının sinirler, adeleler ve kalp çalışması üzerindeki etkileri.

2-Elektrik akımından doğan ısınmanın, ark patlamasının yaptığı zararlar.

3-Korku sebebi ile düşme, çarpma gibi kazalar.

Şekil 2.9'da gösterildiği gibi insan vücudunun direnci, el ve ayak arasında tahminen 1000 Ohm'dur. 1000 Ohm direnç değerinin seçiminde, el ile bir ayak veya her iki ayak arasındaki yollar dikkate alınmıştır. Bu akımın büyük bir kısmı kalp dahil hayati organları içeren vücut bölümlerinden geçtiği unutulmamalıdır (IEEE Std 80, 2000). Ohm kanununa göre devreden geçen akım miktarı; devre geriliminin eşdeğer devre direnç değerine oranı ile bulunmaktadır. Bu durumda 1000 ohm olan vücut direnci 230 voltluk bir gerilime temas ettiği durumda vücuttan geçen akım miktarı 230 mA olmaktadır.



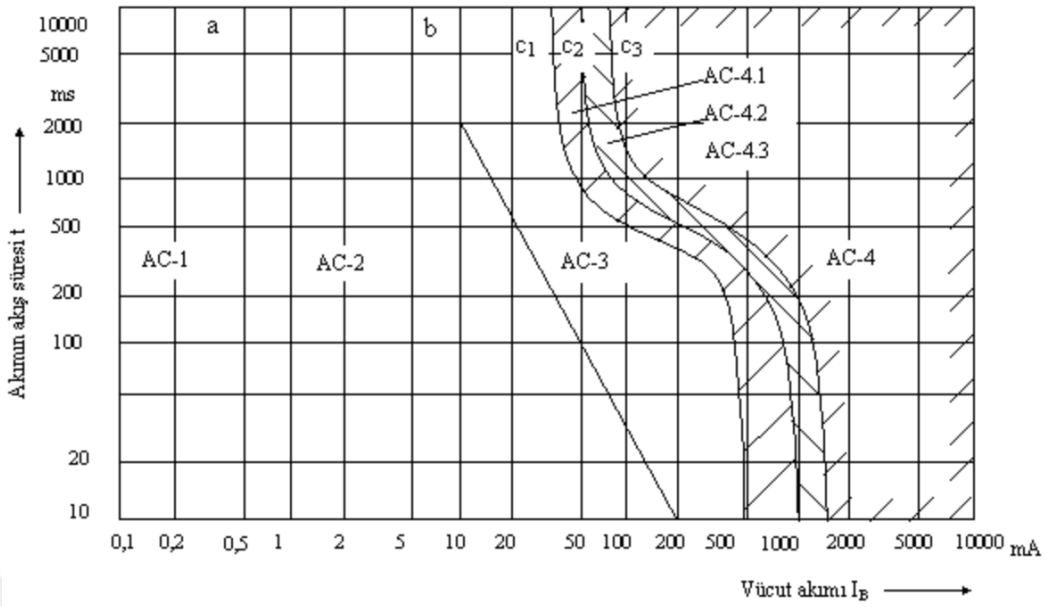

**Şekil 2.9.** Alçak gerilimden çarpılan insanın üzerinden geçen akımın hesaplanması.

### 2.1.2.1. Elektrik Akımının İnsan Vücuduna Etkisi Nedir?

İnsan vücudunda sol elden her iki ayağa doğru akan 15 Hz'den 100 Hz'e kadar frekanslı sinüsoidal alternatif akımın etkileri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.10'da ise bu etkilerin akım/zaman bölgeleri verilmiştir (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001). Bu sonuçlara bakılarak 230 voltluk alçak gerilim şebekesine temas eden bir kişi üzerinde akım akış süresinin 1 (bir) saniyeden uzun olması halinde kaslarda kramp kasılmaları ve nefes almada zorluklar görülecektir. Sürenin uzaması durumunda atriyel fibrilasyon, geçici kalp kasılmaları, kalp atışlarının iletiminde ve biçiminde bozulmalar ve ventriküler fibrilasyon olasılığı %50'nin üzerinde olacaktır.

**Çizelge 2.2.** İnsan vücudunda sol elden her iki ayağa doğru akan 15 Hz'den 100 Hz'e kadar frekanslı sinüsoidal alternatif akımın etkileri.

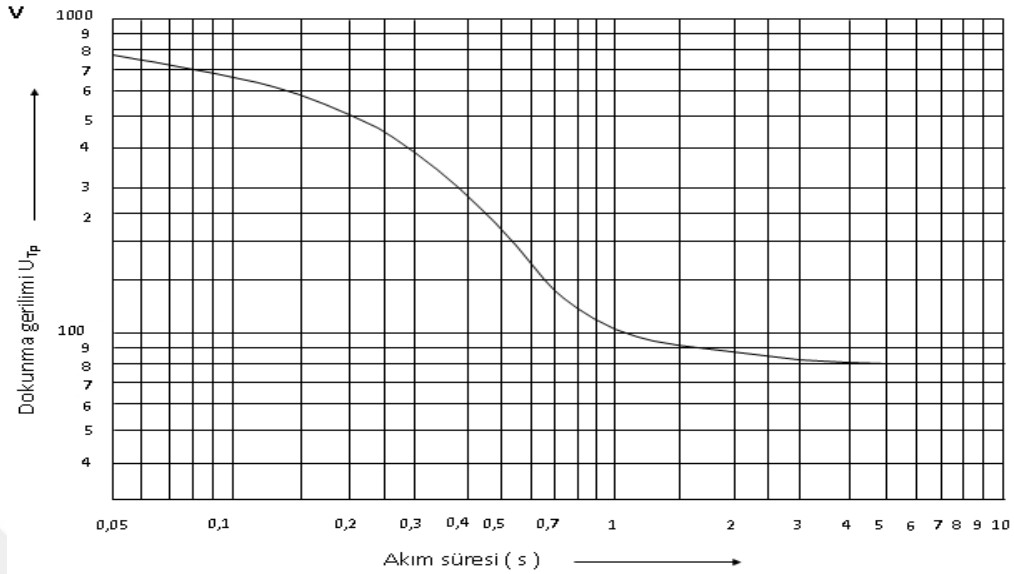
| **Bölge No** | **Bölge sınırları** | **Fizyolojik etkiler** |
|---|---|---|
| AC-1 | doğrusu | Genellikle bir tepki yoktur. |
| AC-2 | 0,5 mA b doğrusuna kadar | Genellikle zararlı bir fizyolojik etki yoktur. |
| AC-3 | b doğrusu c1 eğrisine kadar. (10 ms'nin altındaki akım akış süreleri için b doğrusundaki vücut akımı için olan sınır 200 mA'lik bir değerde olduğu kabul edilir.) | Genellikle organik bir hasar beklenmez. Akım akış süresinin 2 s'den daha uzun olmasıyla kaslarda kramp kasılmaları ve nefes almada zorluklar görülür. Akımın büyüklüğü ve süresinin artmasıyla ventriküler fibrilasyon hariç, atriyel fibrilasyon ve geçici kalp kasılmaları gibi kalpte, kalp atışlarının iletiminde ve biçiminde bozulmalar görülür. |
| AC-4 | c1 eğrisinden sonra | AC-3 bölgesindeki etkilere ek olarak kalpte ve nefes alıp vermede akımın büyüklüğü ve süresinin artmasıyla tehlikeli fizyolojik etkiler ve ağır yanıklar meydana gelebilir |
| AC-4.1 | c1-c2 | Ventriküler fibrilasyon olasılığı yaklaşık % 5'e kadar yükselir. |
| AC-4.2 | c2-c3 | Ventriküler fibrilasyon olasılığı yaklaşık % 50'ye kadardır. |
| AC-4.3 | c3 eğrisinden sonra | Ventriküler fibrilasyon olasılığı %50'nin üzerindedir. |




**Şekil 2.10.** 15 Hz'den 100 Hz'e kadar alternatif akım etkilerinin akım/zaman bölgeleri (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001).

### 2.1.2.2. Dokunma Gerilimi

İletken kısımlarla toprak arasında ortaya çıkan bir hata esnasında topraklama geriliminin insan tarafından elden-ele veya elden-ayağa köprülenen bölümüdür. Sınırlı akım süreleri için izin verilen dokunma gerilimi Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Bu eğri sadece YG şebekeler için geçerlidir (Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, 2000).




**Şekil 2.11.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri (Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, 2000).

### 2.1.2.3. Topraklama

Topraklama, gerilim altında olmayan bütün tesisat kısımlarının veya bazı teçhizatların yıldız noktasının, uygun iletkenlerle yer kütlesi içerisine yerleştirilmiş bir topraklayıcıya bağlanmasıdır.

### 2.1.2.4. Topraklamanın amacı

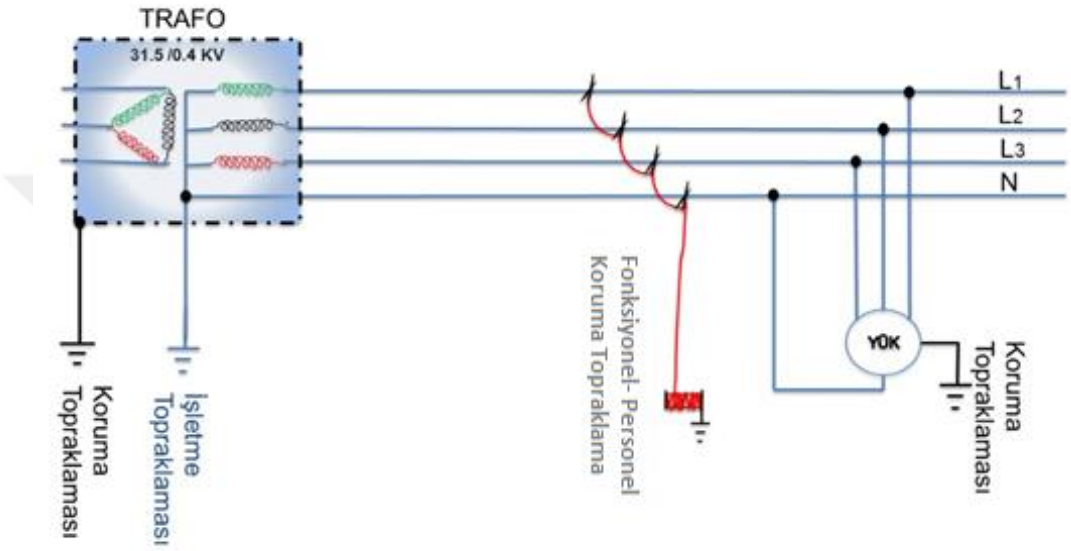
Elektrik üretim, iletim ve dağıtım tesislerinde insan hayatının ve teçhizatın korunmasıdır. Bir topraklama örneği Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.12.** Topraklama örneği.

### 2.1.3. Topraklama Çeşitleri

Topraklama çeşitleri, koruma topraklaması, işletme topraklaması, fonksiyonel-personel koruma topraklamasıdır. Topraklama çeşitlerini gösteren çizim Şekil 2.13'te gösterilmiştir.




**Şekil 2.13.** Topraklama çeşitleri.

#### 2.1.3.1. Koruma Topraklaması

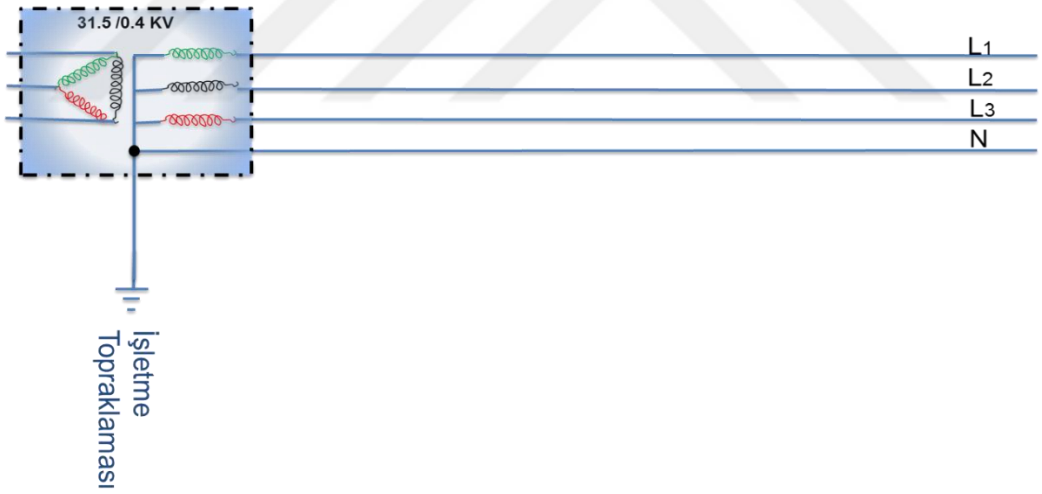
Uygun işletme şartları içerisinde, gerilim altında bulunmayan ancak arıza oluştuğunda gerilim altında girebilecek tesisatın metal bölümlerinin bir iletken yolu ile topraklayıcıya bağlanmasıdır. Koruma topraklama örneği Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.14.** Koruma topraklaması örneği.

### 2.1.3.2. İşletme Topraklaması

Transformatörlerin veya Jeneratörlerin dışarı çıkartılmış yıldız (nötr) noktalarının topraklanmasıdır. İşletme topraklama örneği Şekil 2.15'te gösterilmiştir.




**Şekil 2.15.** İşletme topraklaması örneği.

### 2.1.3.3. Fonksiyonel (özel) Topraklama

Koruma ve işletme topraklamalarının dışında yapılan topraklamalardır. Şekil 2.16'de görüldüğü gibi personel koruma topraklama, paratoner topraklama, raylı sistem, Zayıf akım topraklama, kamyon vb. yapılan topraklamalar fonksiyonel topraklama çeşitleridir.



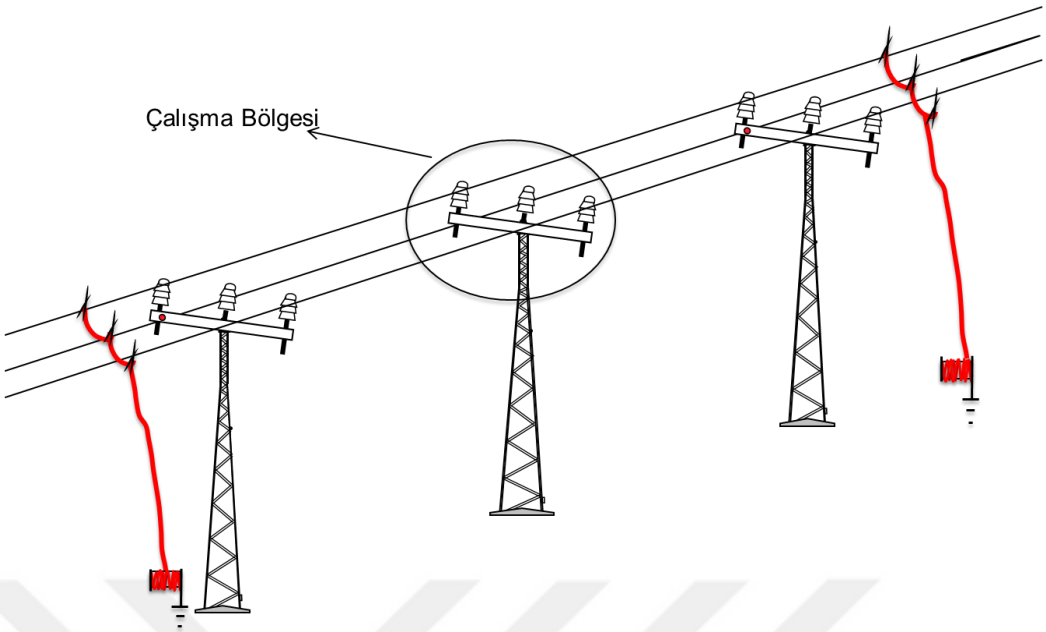

**Şekil 2.16.** Fonksiyonel topraklama örnekleri.

### 2.1.3.4. Personel Koruma Topraklama

Çalışma mahallinde yapılan harici topraklamalardır. Personel koruma topraklaması; arıza ve bakım hallerinde enerjisi kesilmiş tesisatta, güvenli çalışmayı sağlamak amacıyla yapılır. Örnek çalışmada yapılan topraklama Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'da gösterilmiştir.

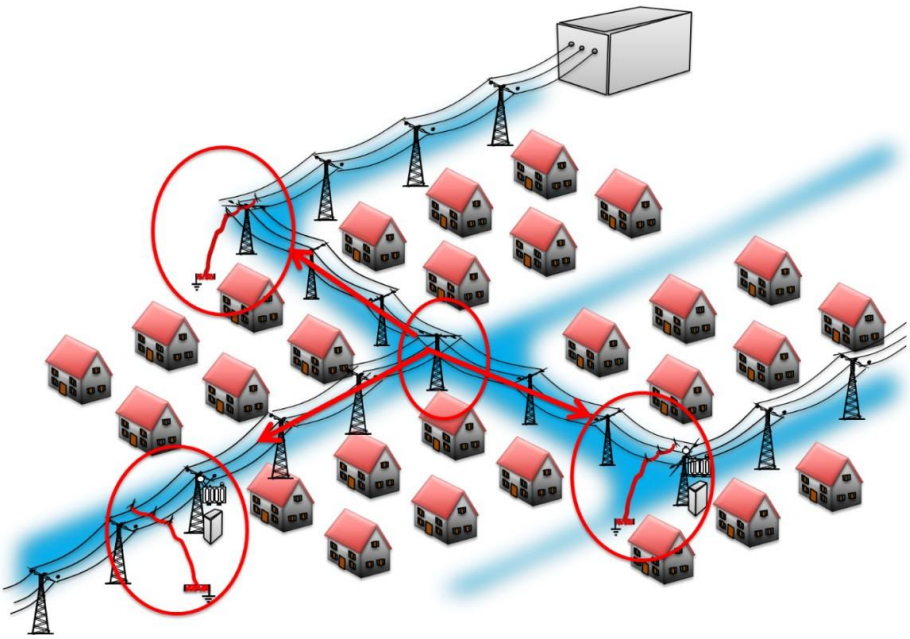



**Şekil 2.17.** Elektrik dağıtım hatlarında çalışan personelin çalışma bölgesinde yaptığı personel koruma topraklama örneği.




**Şekil 2.18.** Çalışma yapılacak olan hatta yapılan personel koruma topraklaması.

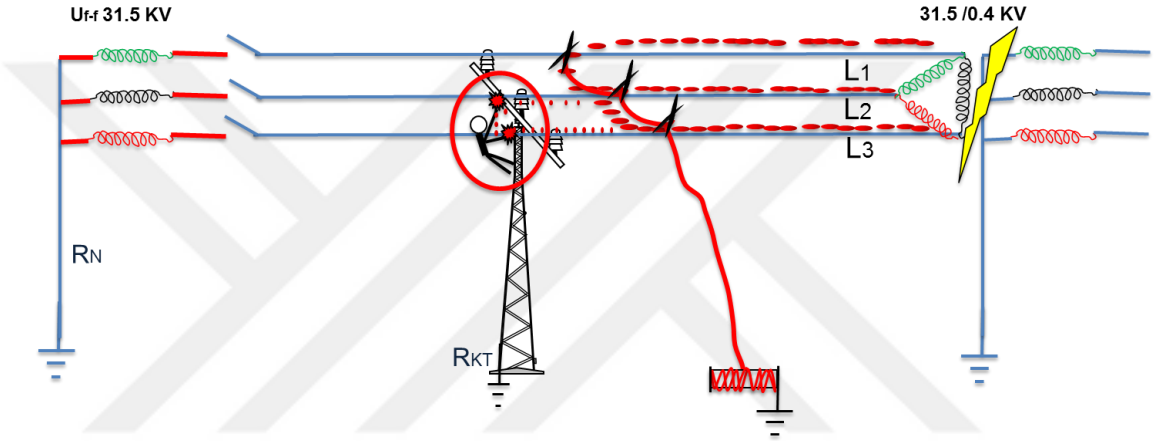
Şekil 2.19'de çalışma yapılacak olan enerjisi kesilmiş branşman direğinde bulunan yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklanması gösterilmiştir. Bu uygulamada çalışma yapılacak yer branşman direğinin bulunduğu bölge ise; çalışma alanının bulunduğu her yönden personel koruma topraklama yapılmıştır.



**Şekil 2.19.** Personel koruma topraklanma uygulaması.

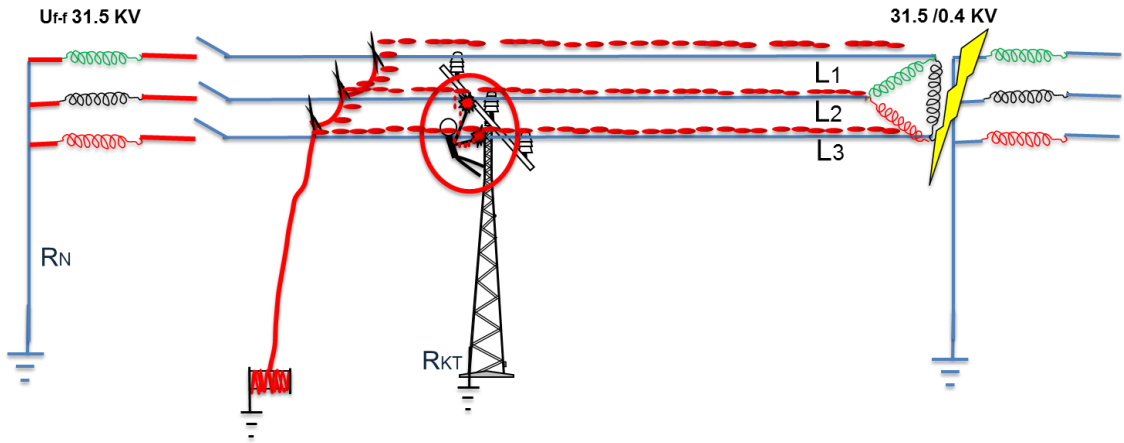
### 2.1.4. Topraklama Nasıl Korur

Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryoda akımın geldiği yönden topraklama yapıldığı çizim Şekil 2.20'de gösterilmiştir. Senaryoda trafo üçgen bağlı olduğu için istenmeden beslenen YG hat devresini fazlar üzerinden tamamlayacaktır. Bu durumda çalışan için risk iki faz arasında kalma durumudur. Topraklama yapıldığı durumda personelin üzerinden geçen akımı etkileyen faktörlerden birisi fazlar arasında yapılan topraklama direncidir.



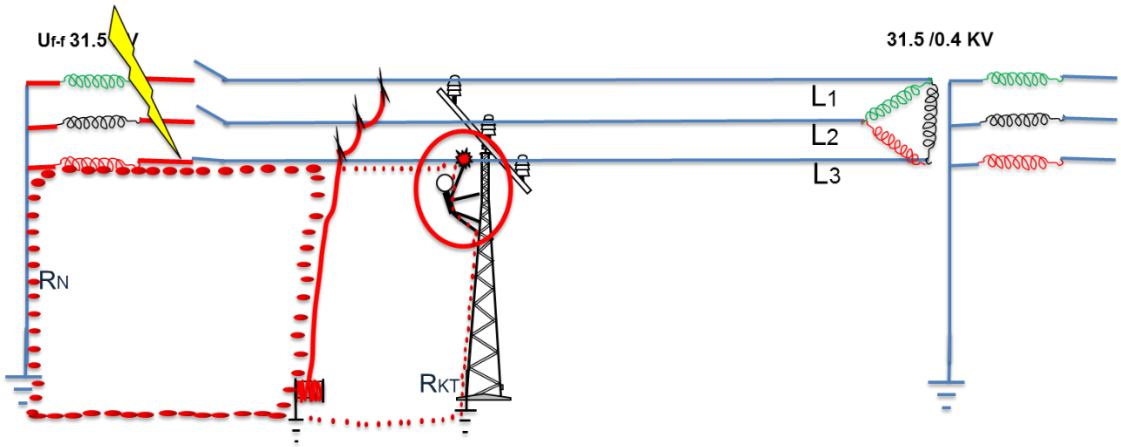

**Şekil 2.20.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo (Akımın geldiği yönde toprakalama yapıldığı durum).

Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryoda akımın geldiği yönün tersinden topraklama yapıldığı çizim Şekil 2.21'de gösterilmiştir. Senaryoda trafo üçgen bağlı olduğu için istenmeden beslenen YG Hat devresini fazlar üzerinden tamamlayacaktır. Bu durumda çalışan için risk iki faz arasında kalma durumudur. Topraklama yapıldığı durumda personelin üzerinden geçen akımı etkileyen faktörlerden birisi fazlar arasında yapılan topraklama direncidir. Şekil 2.20'de belirtilen senaryo ile kıyaslandığı durumda topraklamanın akım yönünde veya akım yönünün tersinden yapılması, personelin üzerinden geçen akım miktarında ihmal edilebilecek derecede farklılıklara sebep olacaktır. Fakat çalışma alanında açık devre olma durumunda, akımın geldiği tarafta bulunan iletkenler topraksız olacak olup personel zarar görebilecektir.




**Şekil 2.21.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-faz arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo (Akımın geldiği yönün tersine topraklama yapıldığı durum).

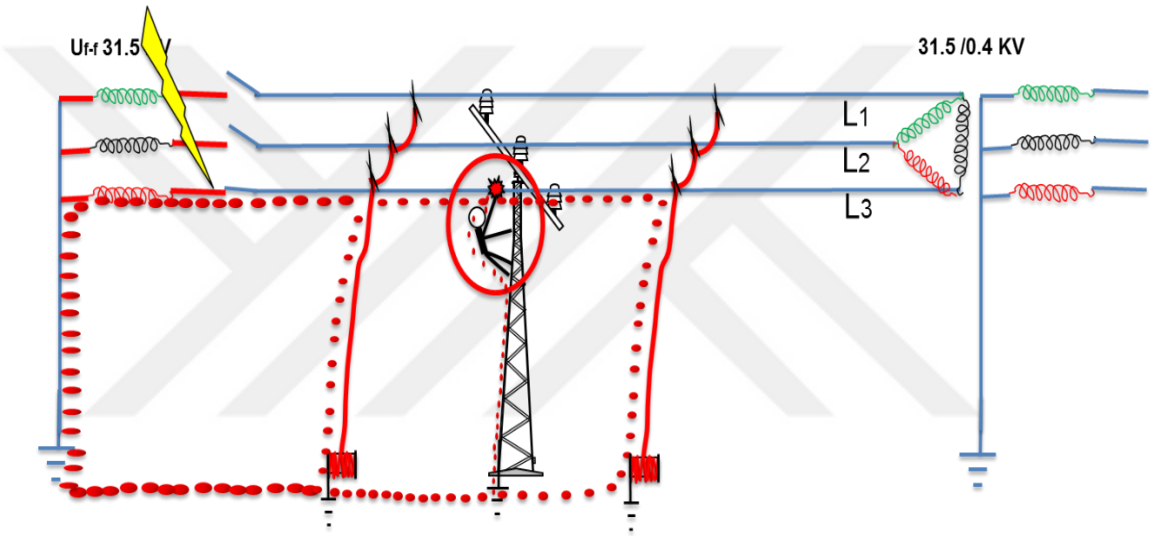
Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo. Şekil 2.22'te gösterilmiştir. Senaryoda kaynaktan beslenme durumunda YG Hat devresini toprak üzerinden tamamlayacaktır. Bu durumda çalışan için risk faz-toprak arasında kalma durumudur. Topraklama yapıldığı durumda personelin üzerinden geçen akımı etkileyen faktörlerden birisi yapılan personel koruma topraklama direncidir.




**Şekil 2.22.** Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo.

Çift taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo. Şekil 2.23'de gösterilmiştir. Senaryoda kaynaktan beslenme durumunda YG Hat devresini toprak üzerinden tamamlayacaktır. Bu durumda çalışan için risk faz-toprak arasında kalma durumudur. Topraklama yapıldığı

durumda personelin üzerinden geçen akımı etkileyen faktörlerden birisi yapılan personel koruma topraklamaların eşdeğer direncidir. Şekil 2.22'te Tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo ile kıyaslandığında; personel koruma topraklamanın tek taraftan veya çift taraftan yapılması, personelin üzerinden akacak akım miktarını önemli ölçüde etkileyebilir. Bunun sebebi paralel yapılan her ilave personel koruma topraklama, eşdeğer direncini düşürmesidir. Bununla beraber tek taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda; çalışma alanında açık devre ( iletken kopması, jumper vb.) varsa hattın bir tarafı topraklamasız kalabilecektir.




**Şekil 2.23.** Çift taraftan personel koruma topraklama yapıldığı durumda faz-toprak arasında kalan personelin durumunu gösteren senaryo.

### 2.1.4.1. Personel koruma topraklaması hakkında bazı öneriler

Birkaç nedenden ötürü, elektrik dağıtım hatlarında geçici topraklama yöntemleriyle ilgili birkaç test yapılmıştır. Elektrik dağıtım hatları ağaç direkler üzerine inşa edildiği durumda, ağaç direk direncinin çalışanları elektriksel tehlikelerden koruyacağı düşünülüyordu. Ayrıca, hat üzerinde ve çalışma alanında bulunan çalışanlar, çalışma alanlarının ve direk zeminlerinin mutlak güvenlik sağladığına inanmaya yönlendirildi.

Çalışma alanları ve topraklama zeminlerinin tüm akımı çalışma alnından uzağa yönlendirdiği düşünülmüştür. Bununla birlikte, bir personelin ağaç direk üzerindeki

elektrik dağıtım hattında çalışırken ve bir faz iletkenine temas ettiğinde, personelin vücudundan, koruma toprakları takılı olsa bile akım geçecektir. Personel vücudundan geçecek akım miktarı, direk direnci ve temas edilen gerilim ile doğrudan ilişkilidir.

Personel koruma topraklaması teorik olarak çalışan için en iyi korumayı sağlasa da bir dağıtım transformatöründe bulunan nötr, personel koruma topraklama yöntemini nasıl etkileyeceğine ilişkin sorular ortaya çıkarmıştır (Bonner, Erga, Gibbs & Gregorius, 1989).

Topraklama şalterleri ile yapılan topraklama prosedürleri, hattın indüksiyon seviyelerinin önemli ölçüde olduğu yerlerde ciddi eksiklikler sergiler. Söz konusu sorunları çözmek için getirilen önlemlerle güvenlik prosedürleri önemli ölçüde karmaşık hale gelmiştir. Karmaşıklık, eski yaklaşımları (topraklama şalteri kullanılması prosedürleri) değişen çalışma ortamına uyarlama girişiminden kaynaklandı. Bunun aksine, enerjisiz hatlarda çalışma için personel koruma topraklaması kullanılarak yapılan çalışma prosedürlerinin daha güvenli, daha basit ve daha verimli olduğu görülmektedir (Mousa, 1982).

Üç fazlı personel koruma topraklaması hala çok etkili bir topraklama yöntemidir. Bununla birlikte, çalışılan ortam koşullarının çalışan personel için ek tehlikeler oluşturduğu göz önüne alındığında, yalnızca çalışma ortamına uygun topraklama ile önlem almak daha mantıklı olacaktır. Tek fazlı personel koruma topraklaması yapıldığı durumda çalışan personel, topraklanmamış diğer hatlarda olabilecek elektrik tehlikeleri konusunda sürekli bir farkındalık sağlamalıdır. Topraklanmamış fazlarda enerji varmış gibi çalışma yapılmalıdır. Topraklanmamış bir faza uygun minimum yaklaşma mesafesinin korunması zorunludur.

Beklendiği gibi, arıza koşulları sırasında çalışan personele zarar verebilecek tehlikeli gerilimler, topraklanmış yapıların veya topraklama sistemlerinin yakınında bulunan zeminlerde oluşmaktadır. Bu tehlikeleri azaltmanın bir yolu, herhangi bir topraklanmış yapı veya topraklama sistemiyle mümkün olduğunca temastan kaçınmaktır. Diğer seçenekler ise yalıtkan tabanlı iş ayakkabısı veya yalıtımlı paspaslar kullanmaktır. Yetkisiz personelin, topraklanmış yapılardan veya topraklama sistemlerinden en az 3 metre uzakta tutulması şiddetle tavsiye edilir (Dvorak, 1997).

# BÖLÜM 3

# MATERYAL, METOD ve TANIMLAMALAR

## 3.1. Materyal ve Metod

TREDAŞ'ın sorumluluk bölgesinde bulunan yüksek gerilim elektrik dağıtım şebekesindeki havai hatlarda farklı çalışma senaryoları belirlenmiştir. Bu senaryolarda personellerin çalışacağı hattın istemsiz beslenme durumları değerlendirilmiştir. Bu durumlar için elektrik eşdeğer devresi oluşturularak matematiksel hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamaları etkileyecek faktörler TREDAŞ Arıza Onarım Bakım ekiplerinin çalışma modelleri göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Personel güvenlik topraklaması yapılmış yüksek gerilim havai hatta çalışan personelin çarpılma senaryosu hesaplamaları değerlendirilmiştir. Bu senaryolarda yapılan hesaplamaların tutarlılığının ve değişkenlerin doğruluğunun teyiti için TREDAŞ'ta ki iş kazaları irdelenmiştir. Topraklanmış hattın istemsiz beslenmesi durumunda koruma topraklamalarının üzerinden geçen akım miktarları, koruma röleleri vasıtasıyla alınmış olup yapılan hesaplamalarla karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak alınmış değerler ulusal standartlarla harmanlanarak uygun personel koruma topraklama yöntemi belirlenmiştir.

Şekil 3.1'de de gösterildiği gibi elektrik, üretiminden son kullanıcıya ulaştırılmasına kadar ki süreçte üretim, iletim ve dağıtım kademesinden oluşmaktadır.




**Şekil 3.1.** Elektrik Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemi.

Trakya Elektrik Dağıtım A.Ş. Tekirdağ, Kırklareli, Edirne ili ve ilçelerinde elektrik dağıtım sektöründe arıza, onarım ve bakım faaliyetlerini yerine getirmektedir. Söz konusu faaliyetlerin yerine getirilme sürecinde çalışan personeller için geçici koruma sağlamak amacıyla enerjisi kesilmiş olan ve çalışmanın yapılacağı yüksek gerilimli havai hatlarda personel koruma topraklama yapılmaktadır.

YG hat topraklama ve uygulama örnekleri

YG Havai hat personel koruma topraklama faaliyetini yalıtkan sepetli platformlu araç ile gerçekleştiren çalışanı gösteren fotoğraf Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** YG Havai hat personel koruma topraklama yapan çalışan.

YG Havai hat personel koruma topraklama uygulamaları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** YG Havai hat personel koruma topraklama uygulamaları.

Enerjisi kesilmiş hattın istem dışı enerjilenmesi durumunda yapılmış olan personel koruma topraklamanın çalışan personeli koruması hedeflenmektedir. Bu amaçla yapılan personel koruma topraklamada sayı, yön ve şekil olarak en doğru uygulamanın ne olması gerektiğini bulmak amacındayız. Bu noktada yapılan personel koruma topraklamanın çalışan için ne derece güvenli olduğu konusunda bazı açık noktalar bulunmaktadır. Bu açık noktaların aydınlatılması amacıyla sahada çalışan personeller için senaryolar hazırlanmış, bu senaryolar doğrultusunda personelin korunabilmesi için bazı hesaplamalar yapılmıştır.

Yapılan bu teorik hesaplamalar için kullanılan parametreler şu şekildedir:

-Çalışma yapılacak olan YG hattı besleyen trafo yıldız bağlı olup nötr iletkeni 20 ohm luk direnç üzerinden topraklanmıştır.

-Sahamızda bulunan YG çalışma gerilimleri farklılıklar göstermesine rağmen hesaplamalar mevcut en yüksek faz-faz arası gerilim seviyesi olan 36 kV'a göre hesaplama yapılmıştır. Faz-faz arası gerilim 36 kV olması durumunda faz-toprak gerilim seviyesi $36/\sqrt{3}=20$ kV olarak alınmış ve hesaplamalarda kaynak gerilimi olarak kullanılmıştır.

-Çalışmanın yapıldığı varsayılan elektrik direğinin koruma topraklama direnci 5 ohm olarak kabul edilmiştir.

- Çalışma yapılacak alanda bulunan toprak cinsi, topraklama kazığının yeraltındaki boyu, personel koruma topraklama bağlantı noktalarının gevşekliği vb. etkenler düşünülerek çalışma alanında personelin korunması amacıyla yapılan personel koruma topraklama direnç değeri 30 ohm olarak alınmıştır.

-Çalışma yapılacak olan hattın beslendiği dağıtım merkezinde bu hattı topraklayan dağıtım merkezi topraklama direnci 5 ohm olarak alınmıştır.

-Elden ayağa insan direnç değeri 1000 ohm olarak alınmıştır (IEEE Std. 80, 2000).

-Personel için izin verilen dokunma gerilim seviyesi bu çalışmada 2 durum için değerlendirilmiştir. Bunlar:

1- Sürekli maruziyet durumunda sınır akım değeri 100 mA olarak alınmış olup bu değer üzerinde ki akımlar personel için tehlikeli akım olarak kabul edilmiş, "Sonuç ve Öneriler-1" bu durum için hazırlanmıştır. Bu hesaplamalar çalışma yapılan sahada koruma sistemlerinin bulunmadığı veya çalışmadığı/devreye girmediği durum için düşünülebilir.

2- Çalışan personel üzerinden geçen akım miktarının, akımın geçtiği süreye bağlı olduğu ve $I= k/\sqrt{t}$ formülüne göre hazırlanmış "Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-C" de izin verilen dokunma gerilim seviyelerine göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda çalışma yapılan sahada koruma sistemlerinin bulunduğu ve aktif olarak çalıştığı durum için düşünülmüştür. "Sonuç ve Öneriler-2" bu durum için hazırlanmıştır. Çalışma yapılan sahada bulunan koruma sistemleri herhangi bir faz-toprak veya faz-faz kısa devre hatası durumunda farklı açma süreleri bulunmakla beraber bu hesaplamalar maksimum açma süresi olan 0,2 sn de sistemi açma durumuna göre yapılmıştır.

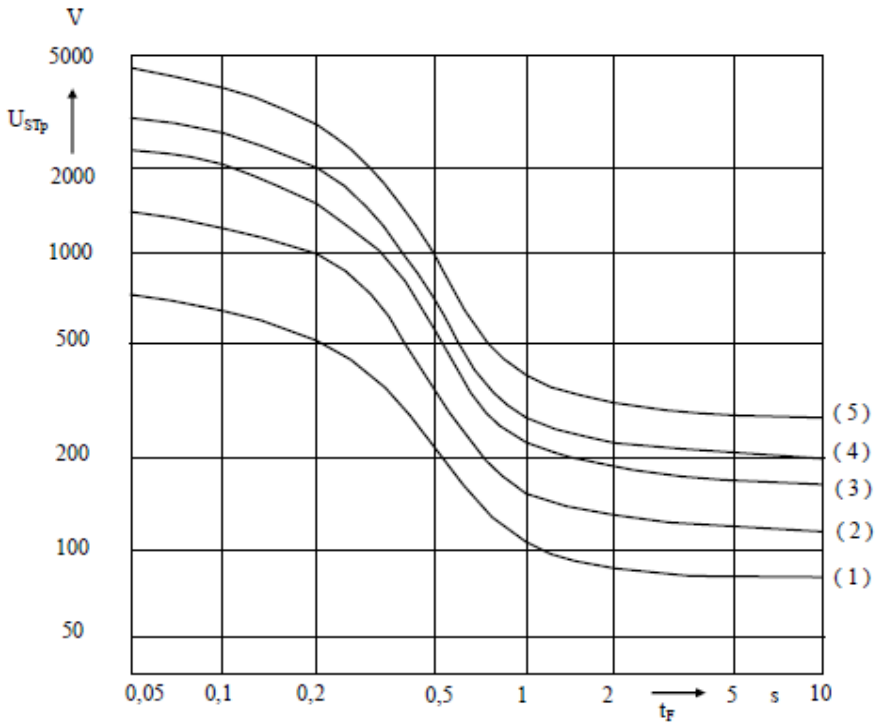
Tolere edilebilir vücut akımı sınırını belirlerken;

Yaygın olarak kullanılan bir formül olan denklem ($I= k/\sqrt{t}$), insan vücudunun izin verilen maksimum akımını belirler. Örneğin röle ve kesici çalışma süresi dahil toplam 0,1 saniye süre boyunca elektrik akımına maruz kalan vücudun tolere edebileceği maksimum akım sınırı 367 mA'dır. Koruma sistemlerinin devreye girmediği bir hata durumunda 1,5

saniyelik bir çarpılma süresi meydana gelir, bu süre zarfında vücut yaklaşık 95 mA'yı tolere eder (Malmedal, K., Sen, P.K. & Nelson, J. P., 2008).

Sonuçlar değerlendirilirken çalışanlar üzerinden geçtiğinde çalışanlara zarar vermeyecek akım miktarları yeşil renk ile renklendirilmiştir. Kas kasılması ve kalp durmasına sebep olabilecek akım miktarları kahverengi ile renklendirilmiştir. İç yanıklara sebep olabilecek akım miktarları ise kırmızı renk ile renklendirilmiştir.

Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-C'de İzin verilen dokunma gerilim seviyeleri Şekil 3.4'te görülmektedir.




**Şekil 3.4.** İzin verilen dokunma gerilim seviyeleri (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği Ek-C, 2001).

Hattın kaynağa olan uzaklığının hesaplamalara etkisini gözlemlemek için hattan 5 metre ve 5 km uzaklıkta iki durum değerlendirilmiş ve hesaplamalar bu iki durum için yapılmıştır. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. 50×0,112=2,6Ω hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda çalışma yapan personele zarar verme potansiyeli bakımından iki ana senaryo düşünülmüştür, bu senaryolar:

1- Personelin çalışma yaptığı hattın istemsiz olarak tek faz üzerinden beslenmesi

2- Personelin çalışma yaptığı hattın istemsiz olarak üç faz üzerinden beslenmesi

Ayrıca bu çalışma coğrafi koşullara göre tesis edilmiş 3 farklı YG direk tipi için hazırlanmıştır. Bunlar:

1- Demir Direk
2- Ağaç Direk

Ağaç direklerde yapılan hesaplamalar, ağaç direklerin belirli hava koşullarında göre elektriksel dirençleri bulunmuştur (Wahlberg, M. & Rönnberg S., 2017).

3- Beton direk

Beton direklerde yapılan hesaplamalar, betonun elektriksel özdirenç değeri direk boyu metre başına 300 kohm olarak hesaba katılmıştır (Uygunoğlu, Topçu, Şimşek & Çınar, 2018).

Ağaç direklerin dibinde koruma topraklaması olmadığı varsayılmış olup direkten toprağa geçiş direnci 500 ohm olarak alınmıştır.

Çalışmamızda, tek fazdan istemsiz beslenen hat üzerinde çalışan personel için olası bütün senaryolar değerlendirilmiş, söz konusu değerlendirmeler ışığında sonuç ve öneriler kısmı yazılmıştır. Ayrıca personel koruma topraklama yapılmış ve 3 fazdan beslenen hat üzerinde çalışma yapan personel için de hesaplamalar yapılmış ve neticesinde değerlendirmeler kısmı yazılmıştır.

Topraklama kabloları yeterli kapasitede olmalıdır ve bazı durumlarda bu sayı iki veya daha fazlasının paralel olmasını gerektirir. Yeterli kapasiteye üç faktör katkıda bulunur:

1- Kablo uçlarına takılan yüksüklerin bağlantı gücü
2- Erimeye dayanabilecek düzeyde maksimum akımı taşıyabilecek iletken kesiti
3- Gerilim düşümünü minimumda tutmak için düşük iletken direnci

Topraklama kabloları, direnci düşük tutmak için gerekenden daha uzun olmamalıdır. Arıza akımına maruz kalan kablolarda şiddetli hareketleri önlemek için kablolardaki gevşeklik mümkün olduğu kadar en aza indirilmelidir. Hat yanlışlıkla yeniden enerjilenirse, arıza akımından dolayı oluşan manyetik kuvvetler, gevşek topraklama kablolarında ciddi ve tehlikeli hareketlere neden olabilir (NFPA 70B, 2006).

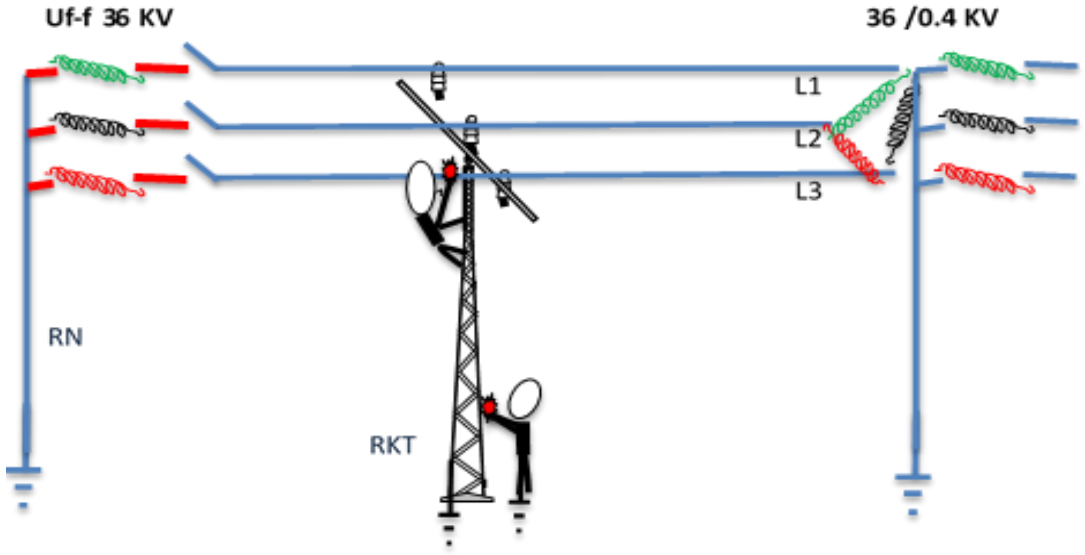
Personel koruma topraklama senaryoları için eşdeğer devre şemaları çizilerek hesaplamalar yapılmış ve sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu hesaplamaların doğruluğunun teyit edilmesi amacıyla http://tinyurl.com/ web sitesinde tüm durumların simülasyon eşdeğer devreleri oluşturulmuş, üzerinden parametreler girilerek elde edilen sonuçlar bu çizelgelere eklenmiştir.

## 3.2. Tanımlamalar

### 3.2.1. Çizelgelerde kullanılan topraklama durum ve şekil tanımlamaları

Enerjisi kesilmiş fakat personel koruma topraklamasının ve dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattının çizimi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

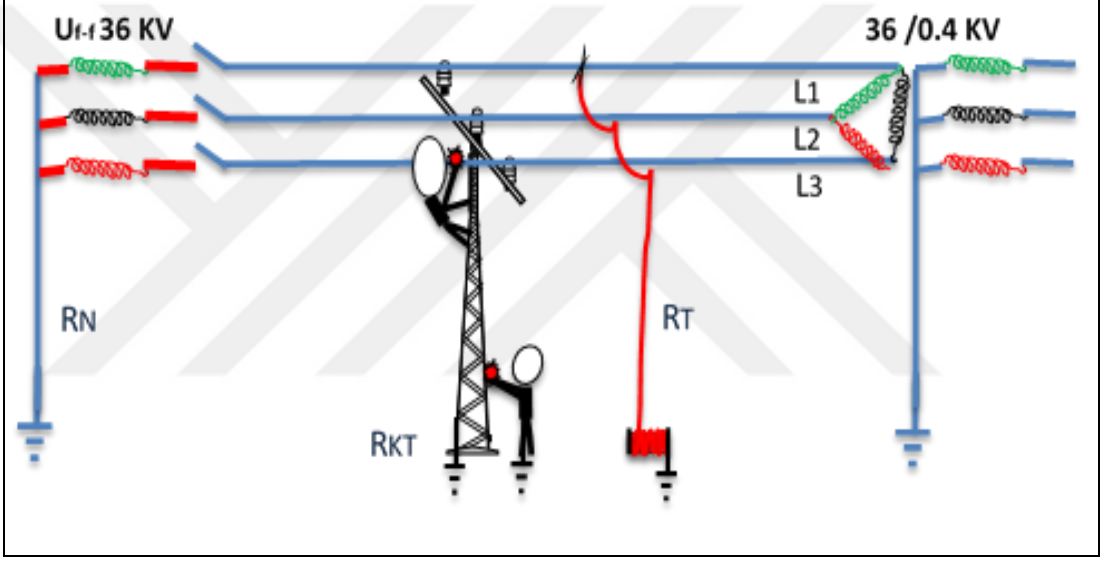
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Personel Koruma Topraklama Yok |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Topraklamasız |




**Şekil 3.5.** Personel koruma topraklama yok, topraklamasız bir hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, üç faz kısa devre edilip tek taraftan ayrı olacak şekilde toprakla irtibatı yapılmıştır. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

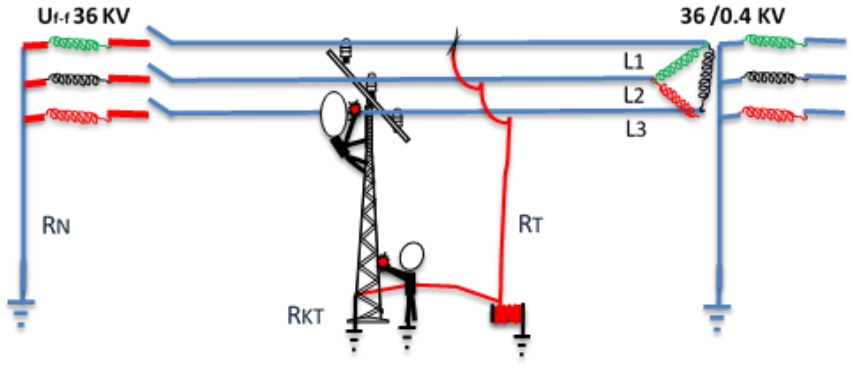
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Tek Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Ayrı Topraklı |




**Şekil 3.6.** Tek taraftan topraklı, ayrı topraklı hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, üç faz kısa devre edilip tek taraftan ayrı olacak şekilde toprakla irtibatı yapılmış olup aynı zamanda çalışma yapılan direğin koruma topraklamasıyla da irtibatı gerçekleştirilmiştir. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

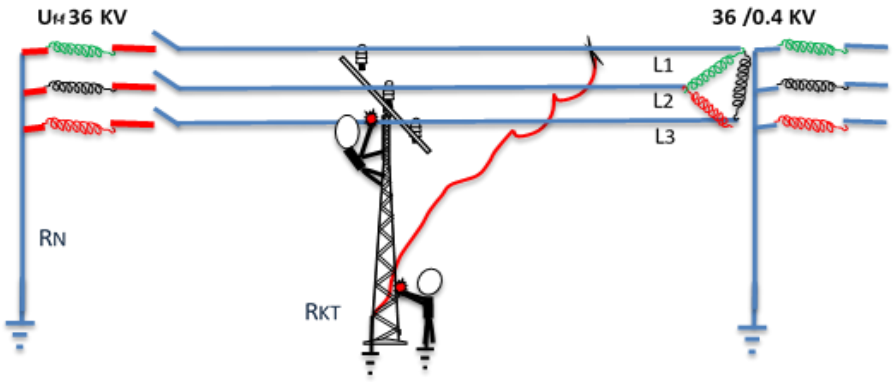
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Tek Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Ayrı Ve Eşpotansiyel Topraklı |




**Şekil 3.7.** Tek taraftan topraklı, ayrı ve eşpotansiyel topraklı bir hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, üç faz kısa devre edilip çalışma yapılan direğin koruma topraklamasıyla irtibatı gerçekleştirilmiştir. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

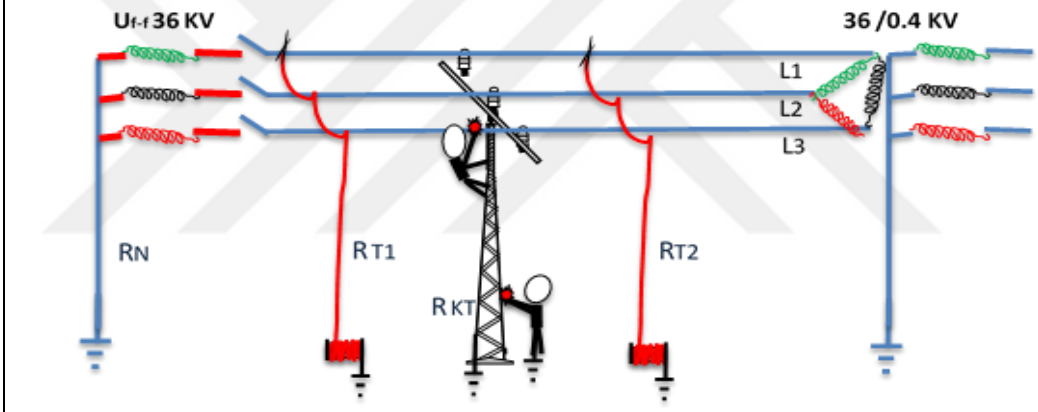
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Tek Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Priz Topraklı |




**Şekil 3.8.** Tek taraftan topraklı, priz topraklı hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, iki taraftan üç faz kısa devre edilip ayrı olacak şekilde toprakla irtibatı yapılmıştır. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

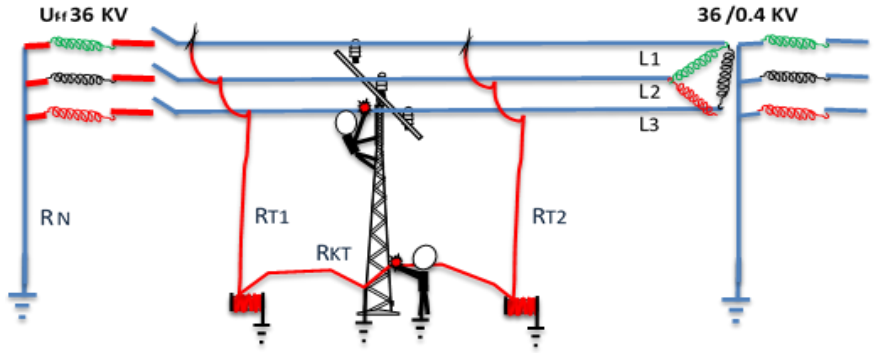
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Çift Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Ayrı Topraklı |




**Şekil 3.9.** Çift taraftan topraklı, ayrı topraklı hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, iki taraftan üç faz kısa devre edilip ayrı olacak şekilde toprakla irtibatı yapılmış aynı zamanda çalışma yapılan direğin koruma topraklamasıyla da irtibatı gerçekleştirilmiştir. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

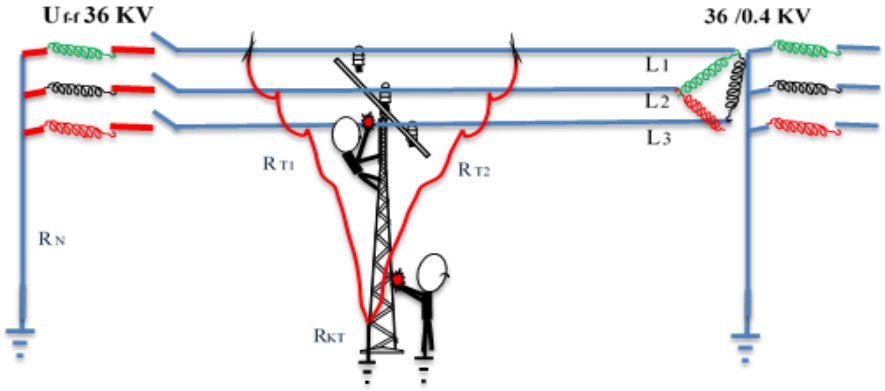
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Çift Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Ayrı Ve Eşpotansiyel Topraklı |




**Şekil 3.10.** Çift taraftan topraklı, ayrı ve eşpotansiyel topraklı hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, iki taraftan üç faz kısa devre edilip çalışma yapılan direğin koruma topraklamasıyla irtibatı gerçekleştirilmiştir. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin direğe tırmanarak çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Direğe tırmanarak çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise direğe temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

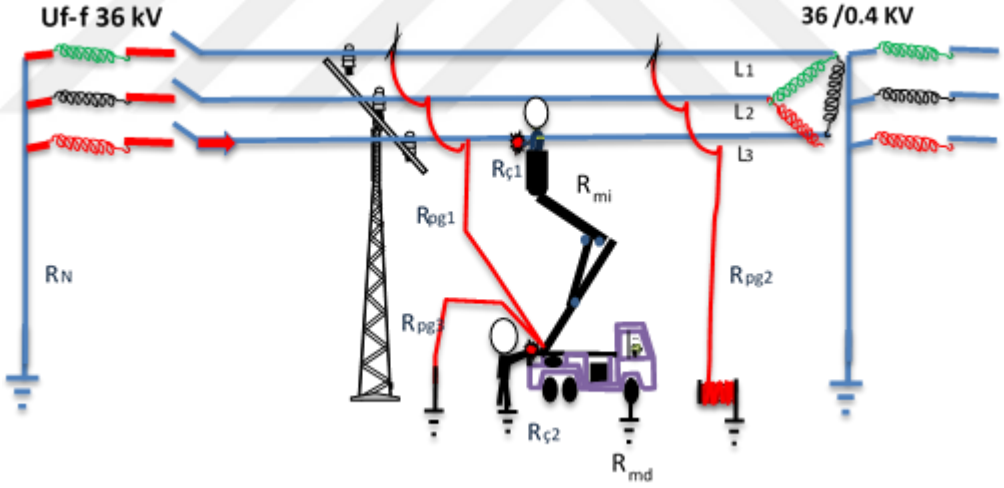
| | |
|---|---|
| Personel Koruma Topraklama Durumu: | Çift Taraftan Topraklı |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Priz Topraklı |




**Şekil 3.11.** Çift taraftan topraklı, priz topraklı hattın gösterimi.

Enerjisi kesilmiş olan fakat dağıtım merkezi koruma topraklamasının bulunmadığı bir yüksek gerilim hattında yapılan personel koruma topraklamasının çizimi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Bu hatta bulunan personel koruma topraklamasının, üç faz kısa devre edilip tek taraftan ayrı olacak şekilde toprakla irtibatı yapılmıştır. Aynı zamanda ikinci bir koruma topraklaması için üç faz kısa devre edilip çalışma yapılacak olan sepetli aracın gövdesiyle irtibatlandırıldıktan sonra toprak ile irtibatı yapılmıştır. Bu çizimde, çalışan iki personelden birisinin sepetli araçta çalışma yaptığı, ikinci personelin ise yerde çalışma yaptığı görülmektedir. Sepetli araçta çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, aşağıdaki personelin ise sepetli aracın gövdesine temas ettiği durum değerlendirilmiştir.

| | |
|---|---|
| Çalışma Durumu: | Sepetli Araçta Çalışma |
| Personel Koruma Topraklama Şekli: | Araçtan Priz Topraklı |




**Şekil 3.12.** Sepetli araçta çalışma, araçtan priz topraklı hattın gösterimi.

### 3.2.2. YG hat topraklama ve uygulama örnekleri

YG Hat personel koruma topraklama teçhizatı örneği Şekil 3.13'da gösterilmiştir. Bu teçhizat bir setten oluşmaktadır. Set içerisinde üç faz kısa devre edilmesi amacıyla birbirleriyle irtibatlı metalden yapılmış üç kıskaç bulunmaktadır. Bu kıskaçları birbirine

birleştiren iletkenin toprakla temasını sağlayan uzatma aparatı bulunmaktadır. Aynı set içerisinde topraklama kazığı ve yalıtkan ıstanka bulunmaktadır.



**Şekil 3.13.** YG Hat personel koruma topraklama teçhizatı örneği.

YG hat personel koruma topraklama uygulama örnekleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Enerjisi kesilmiş yüksek gerilim hattında sepetli araçla yapılan çalışmalarda çalışma bölgesinin iki tarafından ayrı personel koruma topraklama yapılmıştır.



**Şekil 3.14.** YG hat personel koruma topraklama uygulama örnekleri.

YG Bara personel koruma topraklama teçhizatı örneği Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bu teçhizat bir setten oluşmaktadır. Set içerisinde üç faz kısa devre edilmesi amacıyla birbirleriyle irtibatlı metalden yapılmış üç kıskaç bulunmaktadır. Bu kıskaçları birbirine birleştiren iletkenin topraklama barasıyla temasını sağlayan uzatma aparatı bulunmaktadır. Aynı set içerisinde topraklama yalıtkan ıstanka bulunmaktadır.



**Şekil 3.15.** YG Bara personel koruma topraklama teçhizatı örneği.

YG Bara personel koruma topraklama uygulama örneği Şekil 3.16'de gösterilmiştir. Bu örnekte enerjisi kesilmiş yüksek gerilim barasında yapılan çalışmalarda YG Bara personel koruma topraklama yapılmıştır.



**Şekil 3.16.** YG Bara personel koruma topraklama uygulama örneği.

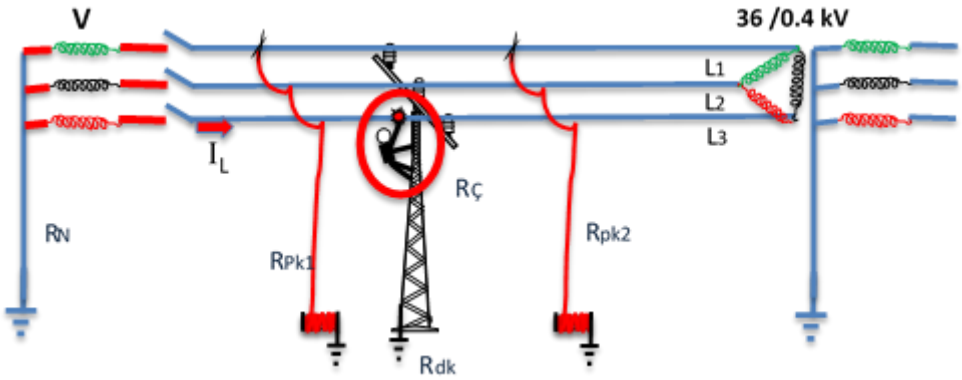
# BÖLÜM 4

# ÇALIŞMA YAPILAN HATTIN TEK FAZ ÜZERİNDEN İSTEMSİZ BESLENME DURUMU İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR

## 4.1. YG Havai Hatta Tırmanarak Yapılan Çalışmalardaki Topraklama Hesaplamaları

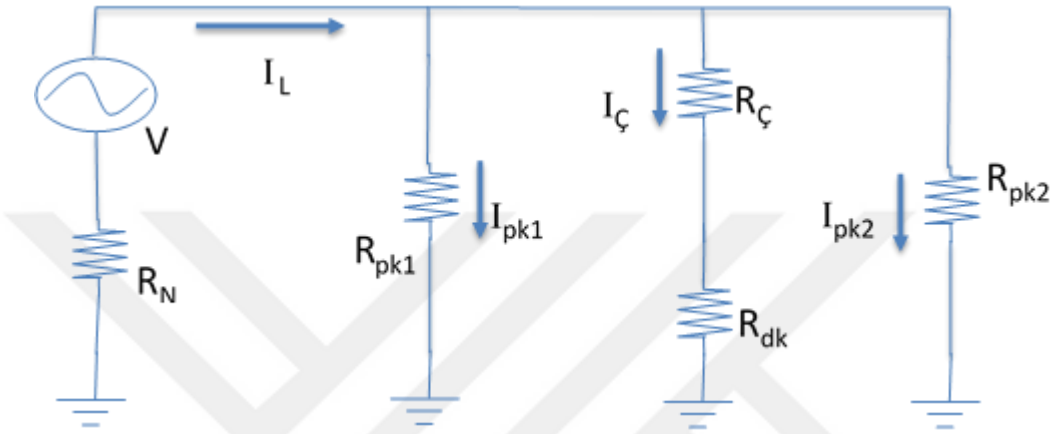
### 4.1.1. Çift taraftan ayrı topraklı, tek çalışan.

Şekil 4.1'de ki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan ve yüksek gerilim hattını taşıyan demir direkte çalışma yapacak bir personelin olduğu varsayılmıştır. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı ve iki taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.1.** Çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryo.

Şekil 4.1'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.2'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençlerinin hesaba katılmaması, ulaşılmak istenen sonuçta kayda değer bir değişiklik oluşturmayacaktır. Bu sebepten dolayı iletkenlerdeki özdirençler ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.




**Şekil 4.2.** Çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryonun eşdeğer devresi.

Şekil 4.1'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.1'de görülmektedir. Personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk1}$, $R_{pk2}$) 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut direnci ($R_Ç$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci ($R_{dk}$), 5 ohm olarak tesis edilmektedir.

Yapılacak devre analiz çözümü ile çalışan üzerinden geçen akım, temas gerilimi vb. sonuçlar aşağıdaki denklemlerle bulunabilir.

$$\frac{1}{R1} = \frac{1}{Rpk1} + \frac{1}{Rpk2} + \frac{1}{RÇ+Rdk} \qquad (4.1)$$

(4.1) ifadesi $I_L$ akımının bölündüğü kollarda bulunan ve birbirine paralel olan kolların eşdeğer direncini bulmak için kullanılacak formüldür.

$$\frac{1}{R1} = \frac{1}{30} + \frac{1}{30} + \frac{1}{1000+5}$$

$$\frac{1}{R1} = \frac{1005+1005+30}{30x1005}$$

$R_1 = 14{,}779$ ohm (4.2)

Formülde değerler yerine konularak yapılan hesaplamalar sonucunda (4.2) ifadesinde belirtilen bölünmüş kollardaki eşdeğer devre direncinin sayısal değeri bulunmaktadır.

(4.3) eşdeğer devrenin direncini bulmak için kullanılacak formüldür. Birbirine seri olan R1 ve RN dirençleri toplanarak eşdeğer devre direncinin sayısal değeri (4.4) ifadesinde bulunmaktadır.

$R_{EŞ} = R_1 + R_N$ (4.3)

$R_{EŞ} = 20+14{,}779$

$R_{EŞ} = 34{,}779$ ohm (4.4)

Eşdeğer devreden geçen ana hat hata akımı (IL), (4.5) ifadesinde belirtilen formül ile bulunmaktadır. Formülde değerler yerine konularak yapılan hesaplamalar sonucunda (4.6) ifadesinde belirtilen ana hat hata akımının sayısal değeri bulunmaktadır.

$$I_L = \frac{V}{REŞ} \quad (4.5)$$

$$I_L = \frac{20000}{34{,}779}$$

$I_L = 575{,}053$ A (4.6)

Çalışan üzerinden geçen akım (IÇ), (4.7) ifadesinde belirtilen formül ile bulunmaktadır. Bu formüle göre ana koldan akan akım, paralel dirençler arasında ters orantılı olarak bölünür. Formülde değerler yerine konularak yapılan hesaplamalar sonucunda (4.8) ifadesinde belirtilen çalışan üzerinden geçen akımın sayısal değeri bulunmaktadır.

$$I_Ç = I_L \text{ x } \frac{R1}{RÇ+Rdk} \quad (4.7)$$

$$I_Ç = 575{,}053\text{x } \frac{14{,}779}{1000+5}$$

$$I_Ç = 8{,}457 \text{ A} \quad (4.8)$$

Çalışanın elden ayağa faz-toprak arasında kaldığı durumda maruz kalacağı temas gerilimi (VÇ), (4.9) ifadesinde belirtilen formül ile bulunmaktadır. Formülde değerler yerine konularak yapılan hesaplama sonucunda, (4.10) ifadesinde belirtilen çalışanın elden ayağa temas gerilimi sayısal değeri bulunmaktadır.

$$V_Ç = I_Ç \text{ x } Rç \quad (4.9)$$

$$V_Ç = 8{,}457 \text{ x } 1000$$

$$V_Ç = 8.457 \text{ V} \quad (4.10)$$

Personel koruma topraklamaları üzerinden geçen akım miktarları Ipk1 ve Ipk2 eşit olup (4.11) ve (4.13) ifadelerinde belirtilen formüller ile bulunmaktadır. Formülde değerler yerine konularak yapılan hesaplama sonucunda, (4.12) ve (4.14) ifadelerinde belirtilen akımların sayısal değeri bulunmaktadır.

$$I_{pk1} = I_L \text{ x } \frac{R1}{Rpk1} \quad (4.11)$$

$$I_{pk1} = 575{,}053 \text{ x } \frac{14{,}779}{30}$$

$$I_{pk1} = 283{,}298 \quad (4.12)$$

$$I_{pk2} = I_L \text{ x } \frac{R1}{Rpk2} \quad (4.13)$$

$$I_{pk2} = 575{,}053 \text{ x } \frac{14{,}779}{30}$$

$$I_{pk2} = 283{,}298 \quad (4.14)$$

**Çizelge 4.1.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | V | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | $\mathbf{R_N}$ | 20 | Ω |
| *1. personel koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{pk1}}$ | 30 | Ω |
| *2. personel koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{pk2}}$ | 30 | Ω |
| *Çalışan vücut direnci* | $\mathbf{R_Ç}$ | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{dk}}$ | 5 | Ω |

Şekil 4.1'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.2'de görülmektedir. Sonuçlara göre çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_Ç$), 8,457 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y9yk5w4q web sitesinden teyit edilebilir.

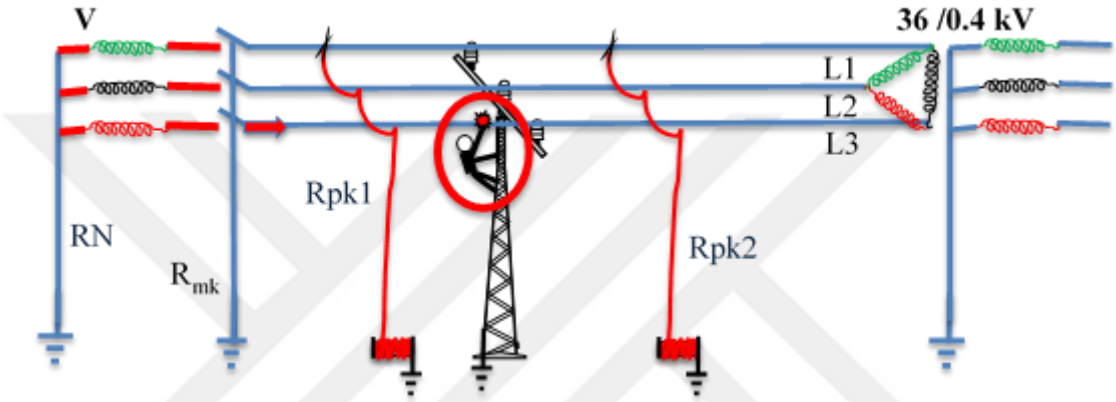
**Çizelge 4.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 34,779 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 575,053 | A |
| *Çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_Ç}$ | 8,457 | A |
| *1.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk1}}$ | 283,298 | A |
| *2.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk2}}$ | 283,298 | A |
| *Çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_Ç}$ | 8.457 | V |

Bundan sonraki senaryolarda yapılan hesaplamalar, bu senaryoda belirtilen formüllerle yapılabilir. Sonraki senaryolardaki hesaplamalar gösterilmeyecek olup sadece sonuçlar tablolara işlenerek değerlendirilmeye alınacaktır.

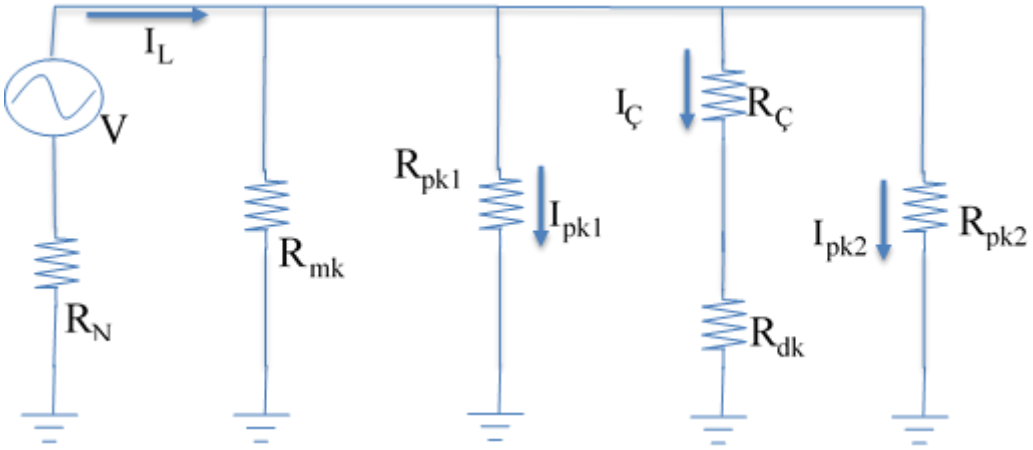
### 4.1.2. Dağıtım merkezinden topraklı ve çift taraftan ayrı topraklı, tek çalışan

Şekil 4.3'te ki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan ve yüksek gerilim hattını taşıyan demir direkte çalışma yapacak bir personelin olduğu varsayılmıştır. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapıldığı ve iki taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.3.** Dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryo.

Şekil 4.3'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.4'te görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençlerinin hesaba katılmaması, ulaşılmak istenen sonuçta kayda değer bir değişiklik oluşturmayacaktır. Bu sebepten dolayı iletkenlerdeki özdirençler ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.




**Şekil 4.4.** Dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunan senaryonun eşdeğer devresi.

Şekil 4.3'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.3'te görülmektedir. Personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk1}$, $R_{pk2}$) 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut direnci ($R_Ç$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci ($R_{dk}$) ile dağıtım merkezi toprak direnci ($R_{mk}$), 5 ohm olarak tesis edilmektedir.

**Çizelge 4.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır.

| ***Açıklama*** | **Simge** | **Değer** | **Birim** |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 30 | Ω |
| *2. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *Çalışan vücut direnci* | **$R_Ç$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |
| *Dağıtım merkezi toprak direnci* | **$R_{mk}$** | 5 | Ω |

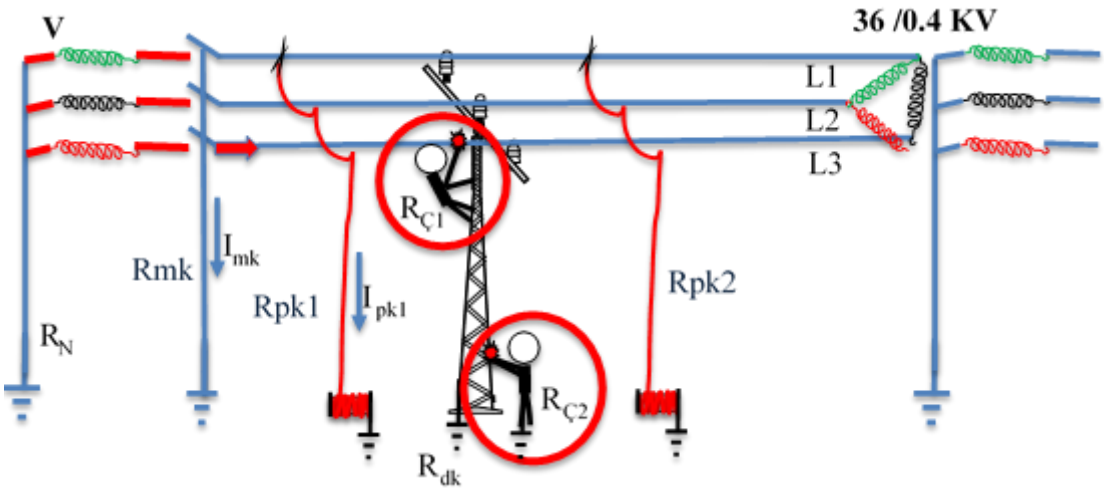
Şekil 4.3'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.4'te görülmektedir. Sonuçlara göre çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_Ç$), 3,132 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y8wk2mcy web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.4.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte tek çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 23,74 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 842,60 | A |
| *Çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_Ç}$ | 3,132 | A |
| *1.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk1}}$ | 104,933 | A |
| *2.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk2}}$ | 104,933 | A |
| *Çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_Ç}$ | 3.132 | V |

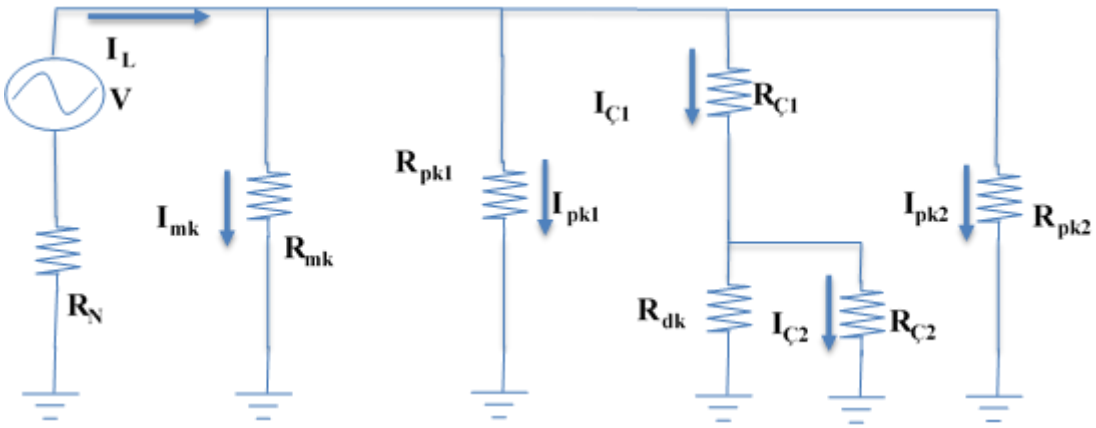
### 4.1.3. Dağıtım merkezinden topraklı ve çift taraftan ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.5'te ki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı ve iki taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.5'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.6'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençlerinin hesaba katılmaması, ulaşılmak istenen sonuçta kayda değer bir değişiklik oluşturmayacaktır. Bu sebepten dolayı iletkenlerdeki özdirençler ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.




**Şekil 4.6.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.5'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.5'te görülmektedir. Personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk1}$, $R_{pk2}$) 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci ($R_{dk}$) ile dağıtım merkezi toprak direnci ($R_{mk}$), 5 ohm olarak tesis edilmektedir.

**Çizelge 4.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 30 | Ω |
| *2. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |
| *Dağıtım merkezi toprak direnci* | **$R_{mk}$** | 5 | Ω |

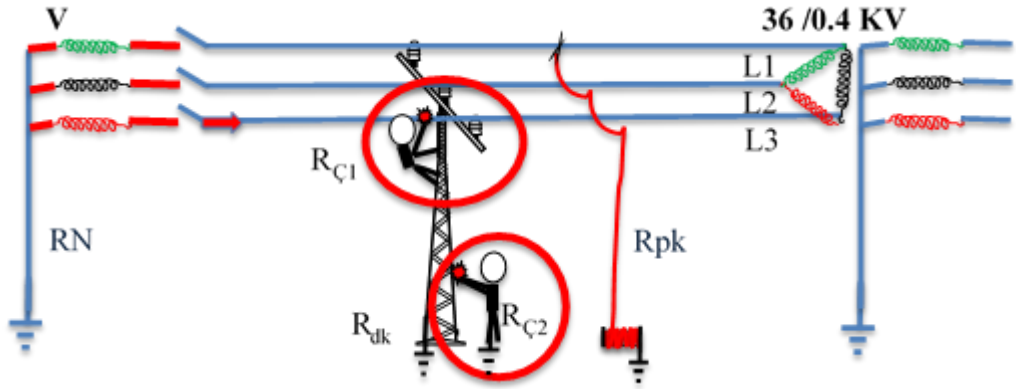
Şekil 4.5'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 3,132 A ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 16 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y8q6js37 web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.6.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, dağıtım merkezinden topraklanmış, çift taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 23,736 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 842,60 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 3,132 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,015584 | A |
| *1.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk1}}$ | 104,933 | A |
| *2.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk2}}$ | 104,933 | A |
| *Dağıtım merkezi toprak akımı* | $\mathbf{I_{mk}}$ | 629,60 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 3.132 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 16 | V |

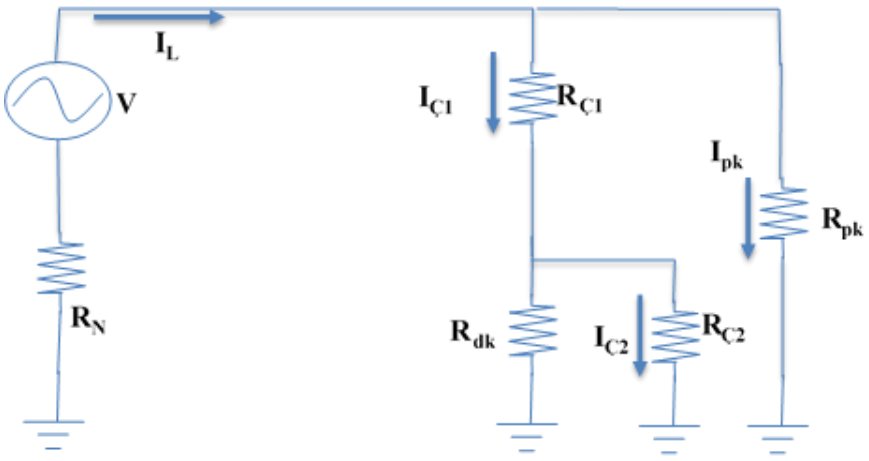
### 4.1.4. Tek taraftan ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.7'de ki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamış ve tek taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.7.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.7'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.8'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençlerinin hesaba katılmaması, ulaşılmak istenen sonuçta kayda değer bir değişiklik oluşturmayacaktır. Bu sebepten dolayı iletkenlerdeki özdirençler ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.




**Şekil 4.8.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.7'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.7'de görülmektedir. Personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk1}$, $R_{pk2}$) 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş

sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci ($R_{dk}$), 5 ohm olarak tesis edilmektedir.

**Çizelge 4.7.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |

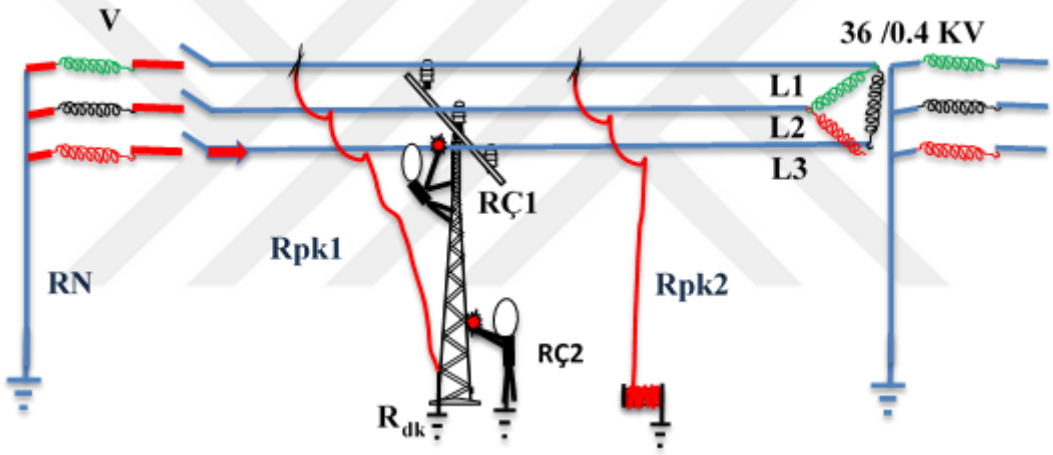
Şekil 4.7'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.8'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 11,80 A ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 59 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y8l37x5l web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.8.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | **$R_{eş}$** | 49,13 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | **$I_L$** | 407,08 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | **$I_{Ç1}$** | 11,80 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | **$I_{Ç2}$** | 0,058705 | A |
| *Personel koruma toprak akımı* | **$I_{pk}$** | 395,28 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | **$V_{Ç1}$** | 11.800 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | **$V_{Ç2}$** | 59 | V |

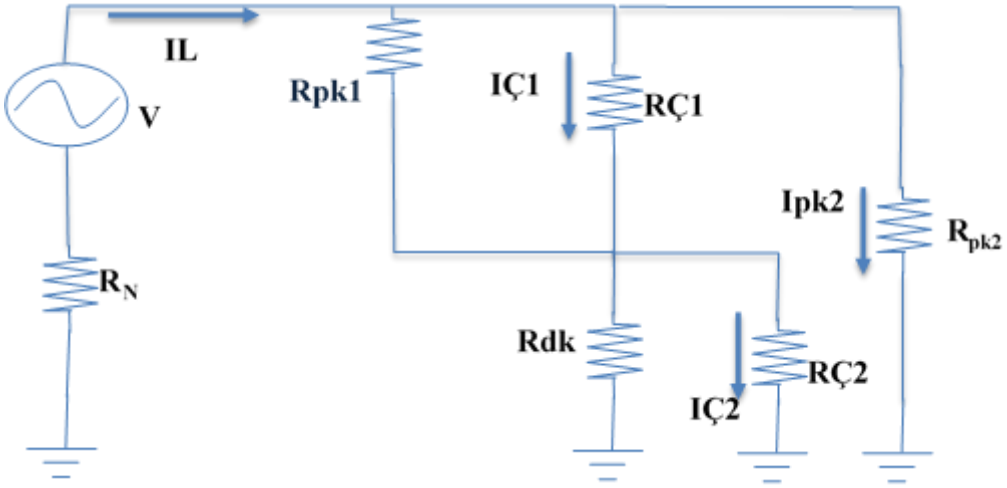
### 4.1.5. Çift taraftan priz ve ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.9'daki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise bir taraftan ayrı, diğer taraftan ise demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.9.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.9'daki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.10'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençlerinin hesaba katılmaması, ulaşılmak istenen sonuçta kayda değer bir değişiklik oluşturmayacaktır. Bu sebepten dolayı iletkenlerdeki özdirençler ihmal edilerek hesaplamalara katılmamıştır.




**Şekil 4.10.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.9'daki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.9'da görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Ayrı topraklanmış personel koruma topraklama direnci (Rpk2), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Diğer taraftan demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamasının direnç hesabı Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Çizelge 4.10'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.9.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *2.personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |
| *1.personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 0,417 | Ω |

**Çizelge 4.10.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo.

| *Açıklama* | *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|---|
| ***1.personel koruma toprak direnci*** | Direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci | $Rg_1$ | 0,2 | Ω |
| $R_{pk1}=Rg1+Rg2+Rg3$ $R_{pk1}=0,417\ \Omega$ | 16 mm2 kesitinde ve 15 metre uzunluğunda bakır iletken direnci [R=(Özdirenç X İletken uzunluğu) / iletken kesiti ] | $Rg_2$ | 0,017 | Ω |
| | Topraklama maşasının iletkene geçiş direnci | $Rg_3$ | 0,2 | Ω |

Şekil 4.9'daki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.11'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 288 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı

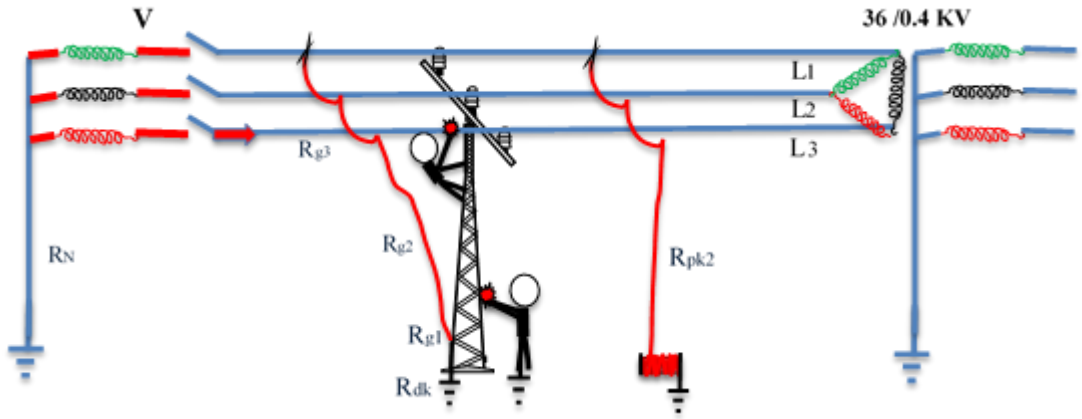
($I_{Ç2}$), 3,43 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y6c6ppuy web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.11.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 24,57 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 813,985 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,287599 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 3,433 | A |
| *2.personel koruma toprak akımı* | $\mathbf{I_{pk}}$ | 124,01 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 288 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 3.433 | V |

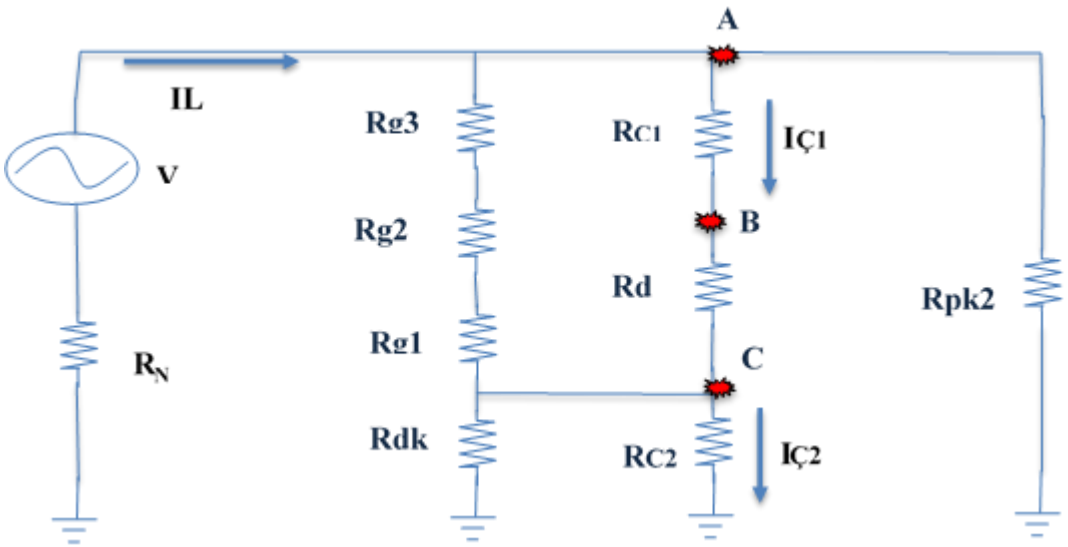
#### 4.1.5.1. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Toprak İletken Geçiş Dirençleri Konulmuştur), İki Çalışan

Şekil 4.11'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise bir taraftan ayrı, diğer taraftan ise demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır. Bu senaryo, Şekil 4.9'daki senaryodan farklı olarak hesaplamalarda toprak iletken geçiş dirençleri ile demir direk dirençleri hesaba katılmış olup bu dirençlerin sonuçlara etkisinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.




**Şekil 4.11.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.11'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.12'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve demir direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.12.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır (Toprak iletken geçiş dirençleri gösterilmiştir).

Şekil 4.11'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.12'de görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Ayrı topraklanmış personel koruma topraklama direnci (Rpk2), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Diğer taraftan demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamasının direnç hesabı Çizelge 4.13'te gösterilmiştir. Çizelge 4.13'teki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.12.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| ***Açıklama*** | **Simge** | **Değer** | **Birim** |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | $\mathbf{R_N}$ | 20 | Ω |
| *2.personel koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{pk2}}$ | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | $\mathbf{R_{Ç1}}$ | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | $\mathbf{R_{Ç2}}$ | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{dk}}$ | 5 | Ω |
| *1.personel koruma toprak direnci* | $\mathbf{R_{pk1}}$ | 0,417 | Ω |
| *Demir direk direnci* | $\mathbf{R_d}$ | 0,0067 | Ω |

**Çizelge 4.13.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo.

| *Açıklama* | *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|---|
| ***1.personel koruma toprak direnci*** | Direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci | $Rg_1$ | 0,2 | Ω |
| $R_{pk1}=Rg1+Rg2+Rg3$ | 16 mm2 kesitinde ve 15 metre uzunluğunda bakır iletken direnci [R=(Özdirenç X İletken uzunluğu) / iletken kesiti ] | $Rg_2$ | 0,017 | Ω |
| $R_{pk1}=0,417\ \Omega$ | Topraklama maşasının iletkene geçiş direnci | $Rg_3$ | 0,2 | Ω |

Şekil 4.11'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.14'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 288 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 3,43 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ya2b29la web sitesinden teyit edilebilir. Şekil 4.9'daki senaryo ile kıyaslandığı durumda toprak iletken geçiş dirençlerinin hesaba katılması, çalışanlar üzerinden geçen akım miktarlarında ihmal edilebilir kadar ufak değişimler olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.14.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

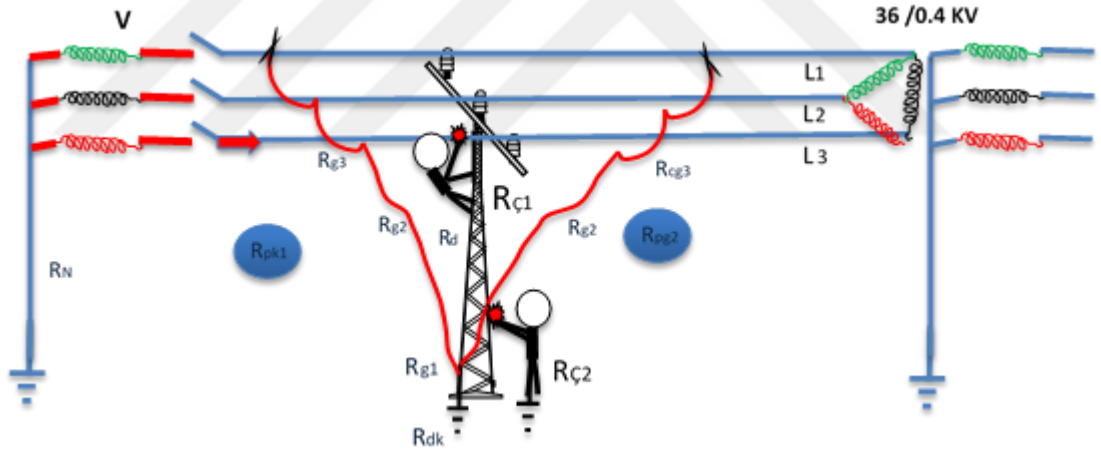
| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $R_{eş}$ | 24,57 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $I_L$ | 813,985 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç1}$ | 0,287597 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç2}$ | 3,433 | A |
| *2.personel koruma toprak akımı* | $I_{pk}$ | 124,01 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç1}$ | 288 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç2}$ | 3433 | V |

### 4.1.6. Çift Taraftan Priz, Eşpotansiyel Veya Ayrı Toprak Durumunun Demir, Ağaç Ve Beton Direkler İçin Ayrı Ayrı Hesaplanması

#### 4.1.6.1. Demir Direk

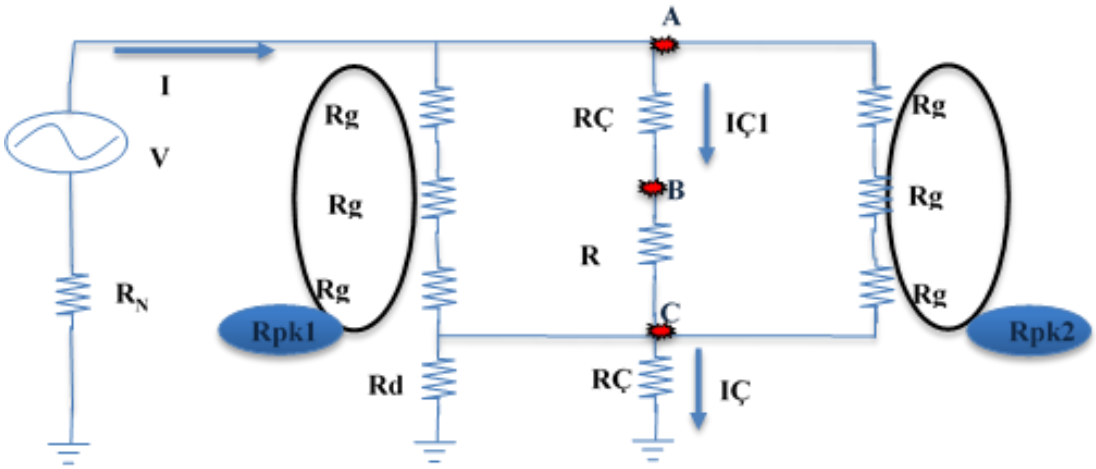
#### 4.1.6.1.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan

Şekil 4.13'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.13.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.13'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.14'te görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve demir direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.14.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.13'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.15'te görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamalarının direnç hesabı Çizelge 4.16'da gösterilmiştir. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.15.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1.personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 0,417 | Ω |
| *2.personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 0,417 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |
| *Demir direk direnci* | **$R_d$** | 0,0067 | Ω |

**Çizelge 4.16.** Personel koruma toprak direncinin priz durumunda direnç hesabının yapılmasını gösteren tablo.

| *Açıklama* | *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|---|
| ***1.personel koruma toprak direnci*** | Direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci | $Rg_1$ | 0,2 | Ω |
| ***$R_{pk1}$=Rg1+Rg2+Rg3*** | 16 mm2 kesitinde ve 15 metre uzunluğunda bakır iletken direnci [R=(Özdirenç X İletken uzunluğu) / iletken kesiti ] | $Rg_2$ | 0,017 | Ω |
| ***$R_{pk1}$=0,417 Ω*** | Topraklama maşasının iletkene geçiş direnci | $Rg_3$ | 0,2 | Ω |

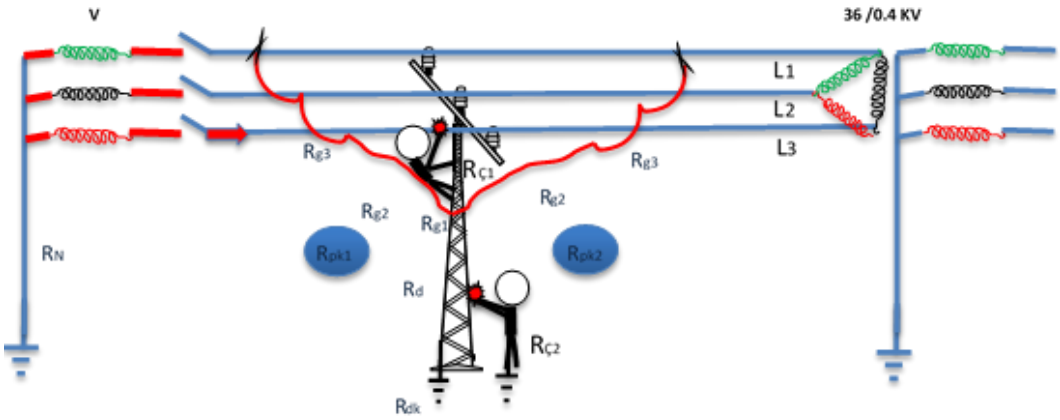
Şekil 4.13'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.17'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 166 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 3,95 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/yajgcxx8 web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.17.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $R_{eş}$ | 25,184 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $I_L$ | 794,168 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç1}$ | 0,165548 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç2}$ | 3,951 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç1}$ | 166 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç2}$ | 3951 | V |

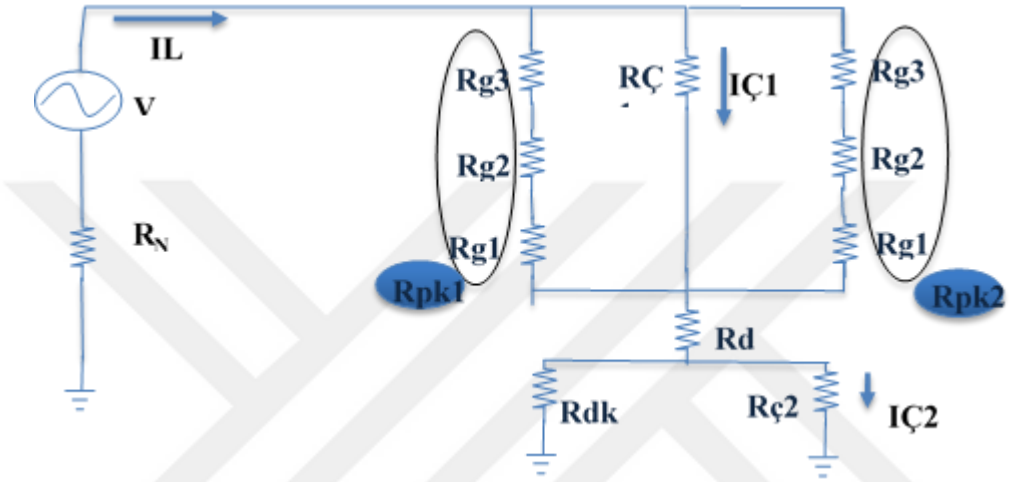
### 4.1.6.1.b. Çift taraftan eş potansiyel topraklı, iki çalışan

Şekil 4.15'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel topraklama şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.15.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eş potansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.15'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.16'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve demir direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.16.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eş potansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.15'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynı olarak alınmıştır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur.

Şekil 4.15'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.18'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan

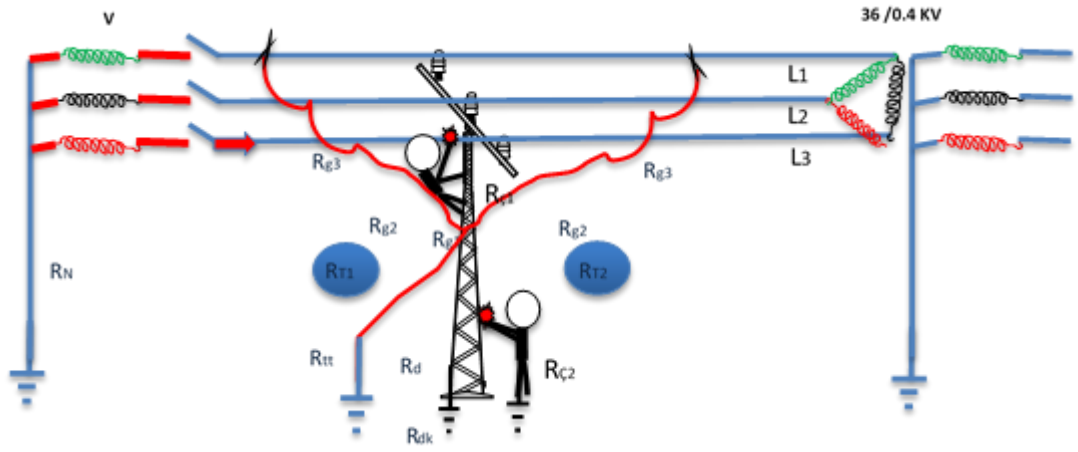
üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 166 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 3,95 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ych6z6hl web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.18.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 25,198 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 793,729 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,165458 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 3,954 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 166 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 3954 | V |

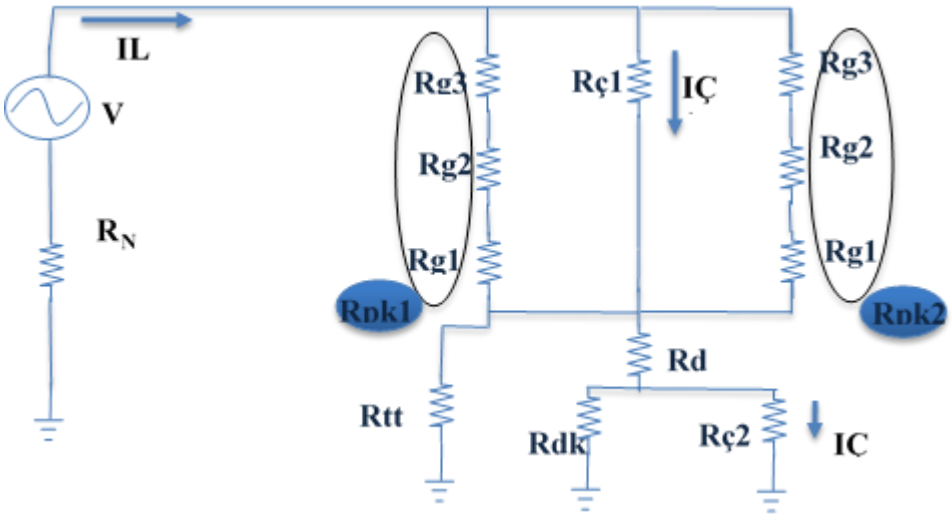
#### 4.1.6.1.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.17'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklama şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.17.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.17'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.18'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve demir direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.18.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.17'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynı olarak alınmıştır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Ayrı topraklanmış personel koruma topraklama direnci (Rtt), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır.

Şekil 4.17'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.19'da görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 170 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 3,49 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y9wvze3m web sitesinden teyit edilebilir.

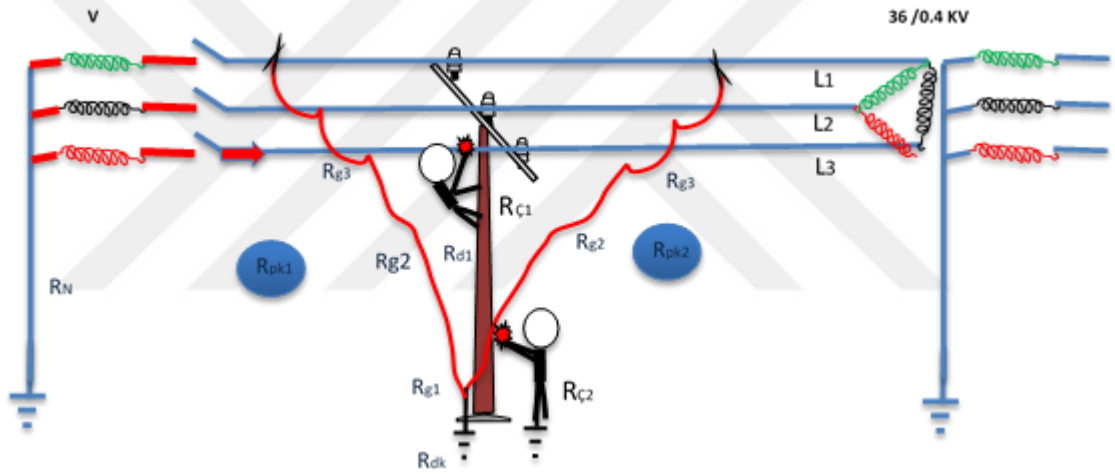
**Çizelge 4.19.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 24,486 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 816,789 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,170265 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 3,489 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 170 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 3489 | V |

### 4.1.6.2. Ağaç Direk

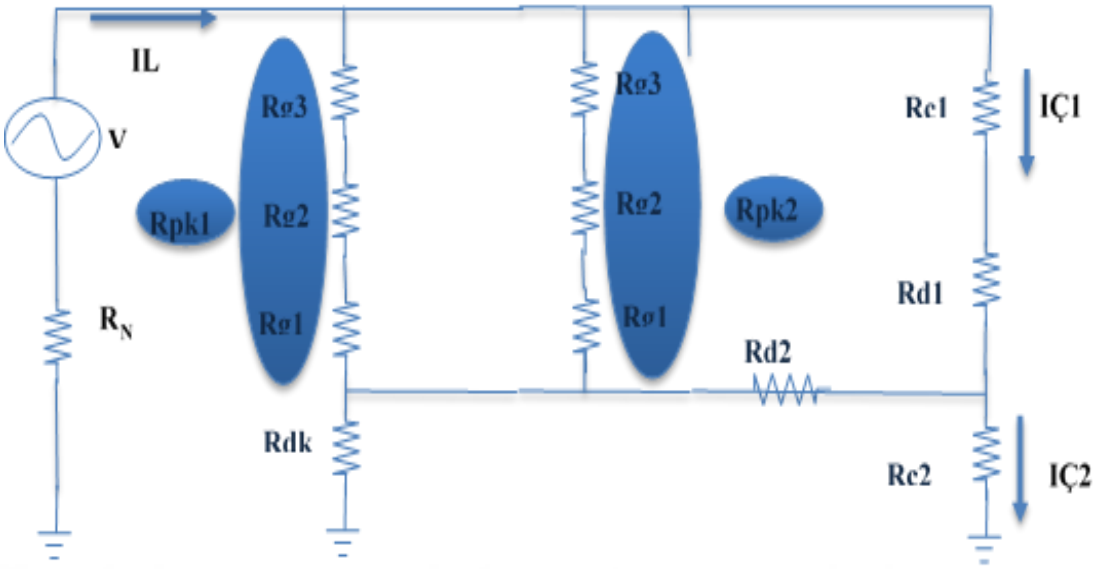
#### 4.1.6.2.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan

Şekil 4.19'daki senaryoda, ağaç direkte bulunan ve enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan ağaç direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan ağaç direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, ağaç direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise ağaç direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.19.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.19'daki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.20'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve ağaç direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.20.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.19'daki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelere benzer şekilde belirlenmiştir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Ağaç direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamalarının direnç değerleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynıdır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Ağaç direğin metre başına düşen direnç değeri 7 kohm olarak alınmıştır.

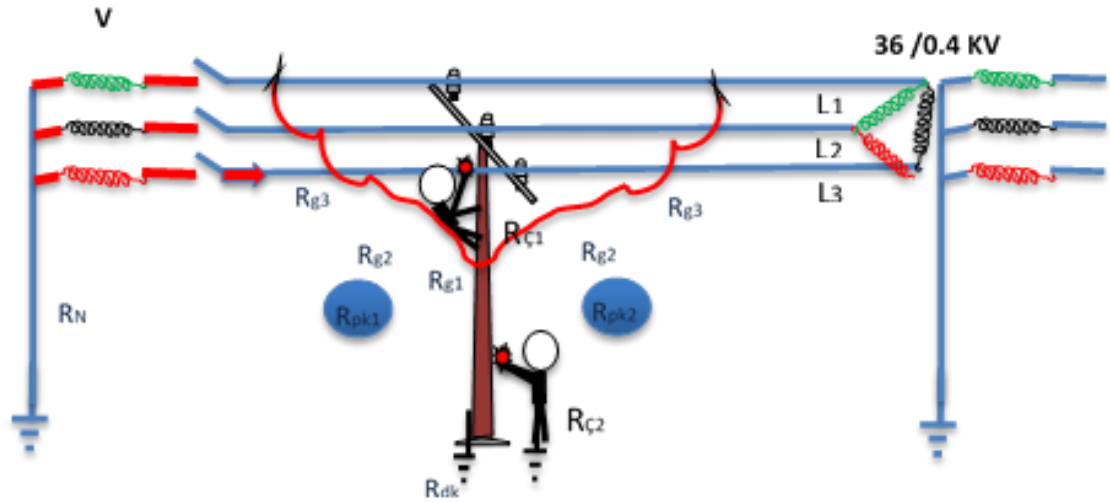
Şekil 4.19'daki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.20'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 152 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 1,38 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ycpw3usv web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.20.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 40,15 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 498,09 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,152 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 1,38 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 152 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 1375 | V |

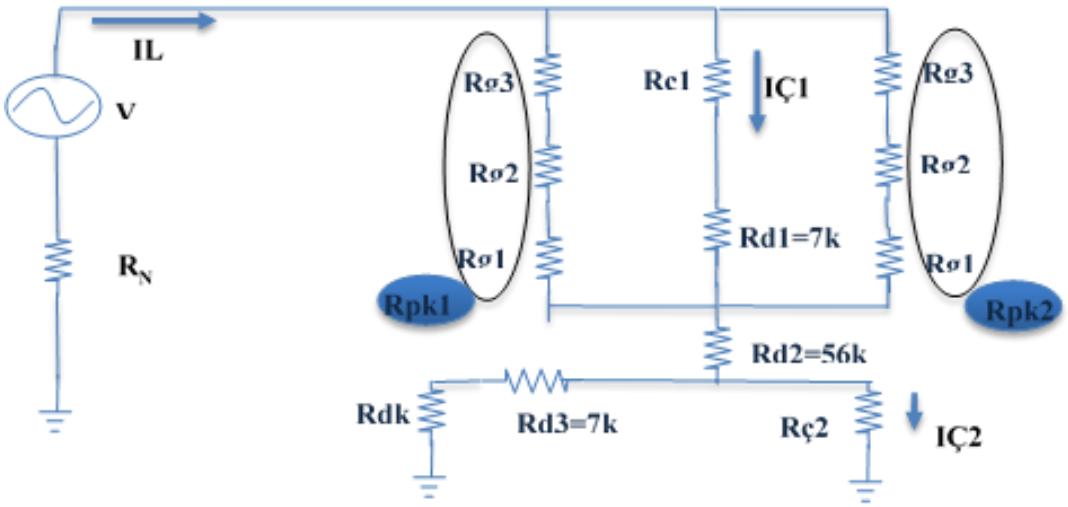
#### 4.1.6.2.b. Çift taraftan eşpotansiyel topraklı, iki çalışan

Şekil 4.21'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel topraklama şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan ağaç direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, ağaç direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise ağaç direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.21.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.21'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.22'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve ağaç direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.22.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.21'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynıdır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Ağaç direğin metre başına düşen direnç değeri 7 kohm olarak alınmıştır.

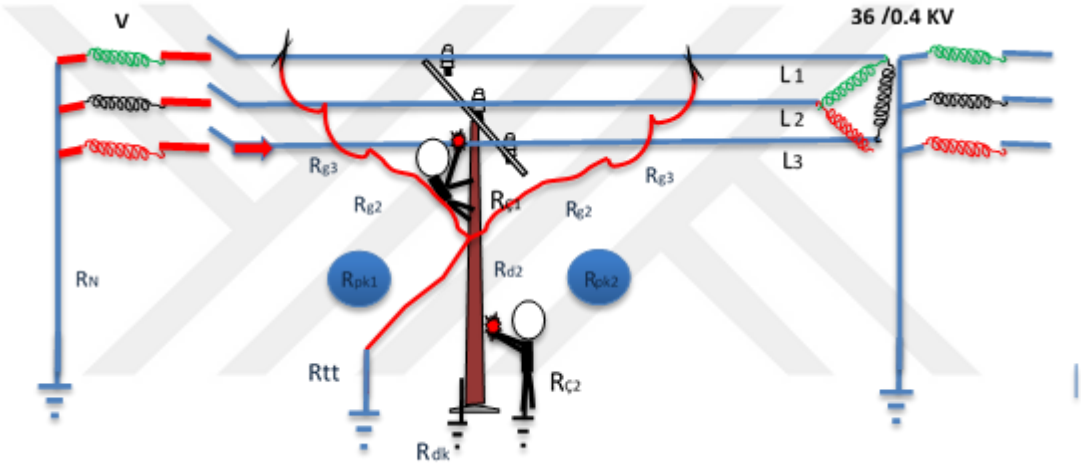
Şekil 4.21'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.21'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 54 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 307 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y899e2pu web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.21.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| ***Açıklama*** | **Simge** | **Değer** | **Birim** |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | **$R_{eş}$** | 57,02 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | **$I_L$** | 0,35 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | **$I_{Ç1}$** | 0,054 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | **$I_{Ç2}$** | 0,307 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | **$V_{Ç1}$** | 54 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | **$V_{Ç2}$** | 307 | V |

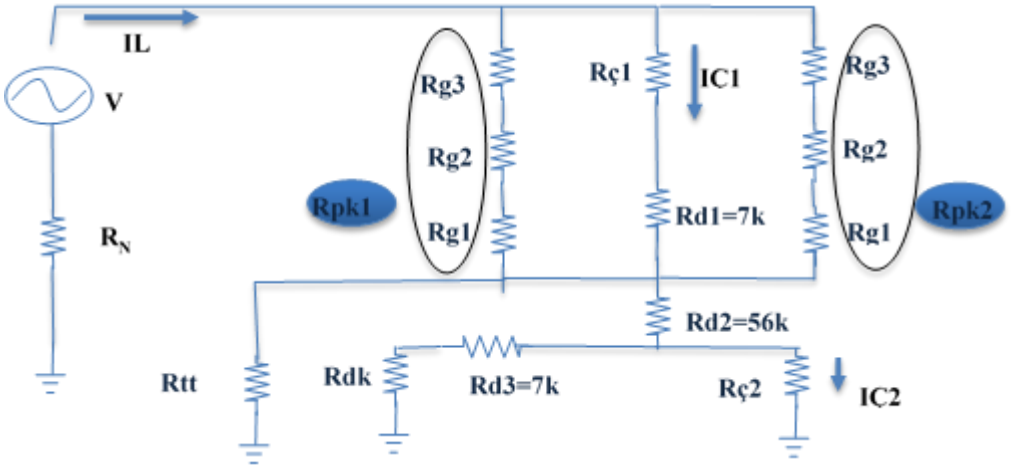
#### 4.1.6.2.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.23'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklama şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan ağaç direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, ağaç direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise ağaç direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.23.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.23'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.24'te görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve ağaç direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.24.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.23'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynı olarak alınmıştır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Ayrı topraklanmış personel koruma topraklama direnci (Rtt), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır.

Şekil 4.23'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.22'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 10 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 184 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ya2rqubn web sitesinden teyit edilebilir.

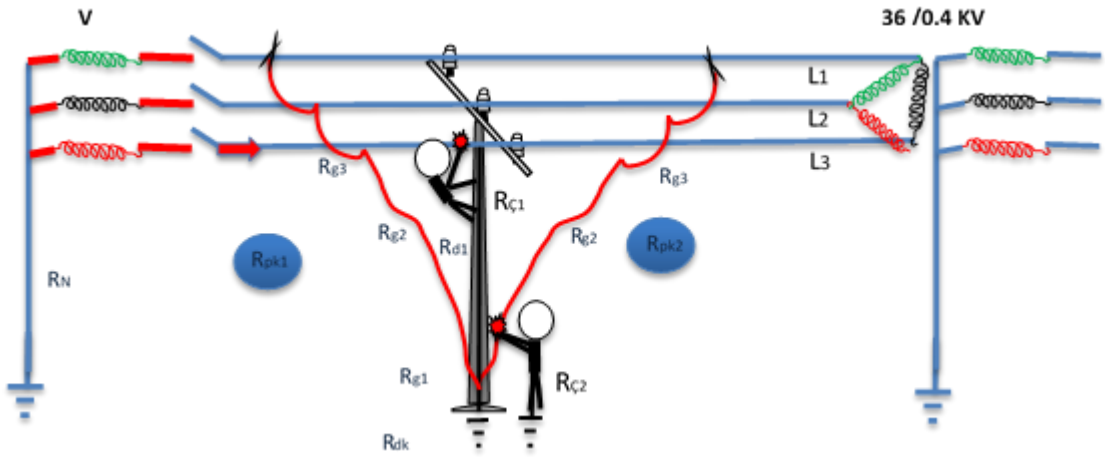
**Çizelge 4.22.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve ağaç direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $R_{eş}$ | 50,10 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $I_L$ | 398,46 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç1}$ | 0,010 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç2}$ | 0,184 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç1}$ | 10 | V |
| *yug2.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç2}$ | 184 | V |

### 4.1.6.3. Beton Direk

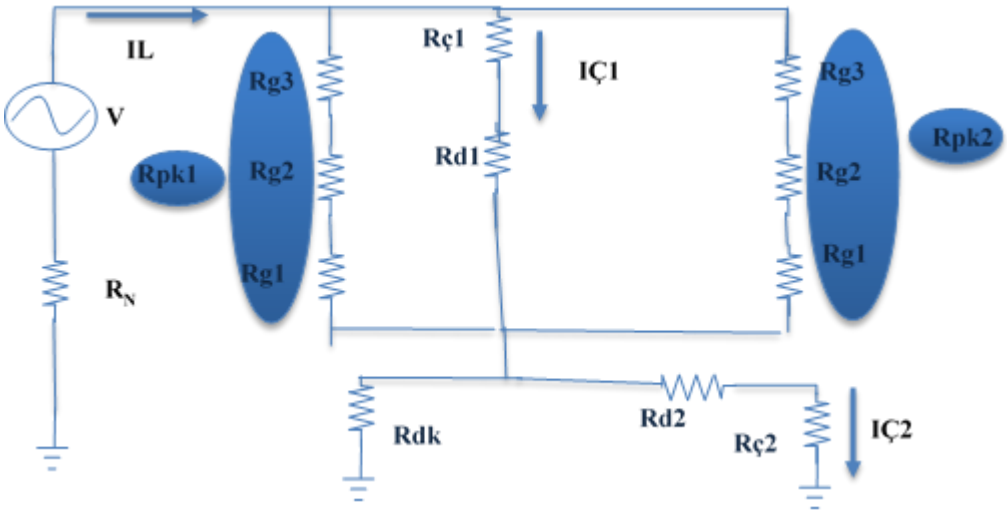
#### 4.1.6.3.a. Çift taraftan priz topraklı, iki çalışan

Şekil 4.25'teki senaryoda, beton direkte bulunan ve enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan beton direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan beton direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, beton direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise beton direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.25.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.25'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.26'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve beton direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.26.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.25'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelere benzer şekilde belirlenmiştir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2), 1000 ohm olarak alınmıştır.

Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Beton direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamalarının direnç değerleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynıdır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Beton direğin metre başına düşen direnç değeri 7 kohm olarak alınmıştır.

Şekil 4.25'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.23'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 152 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 1,38 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ydy3dxx3 web sitesinden teyit edilebilir.

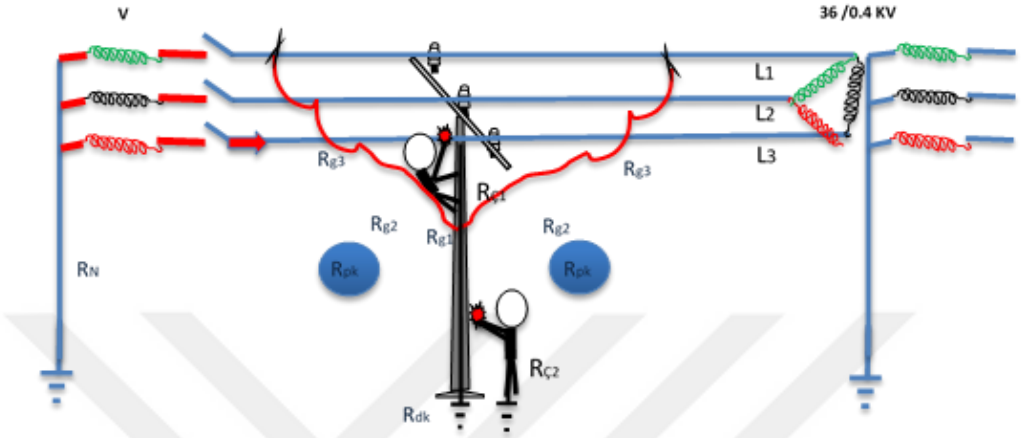
**Çizelge 4.23.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 25,50 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 784,36 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,002 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,245 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 2 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 245 | V |

### 4.1.6.3.b. Çift Taraftan Eşpotansiyel Topraklı, İki Çalışan

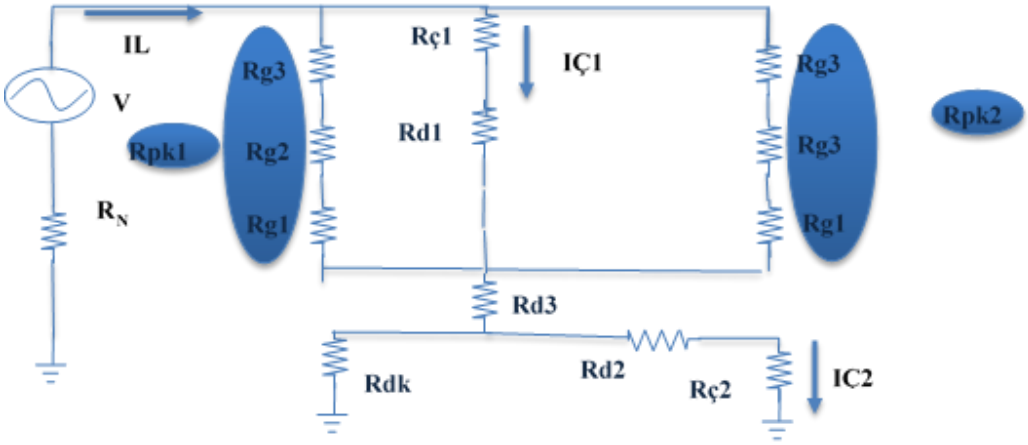
Şekil 4.27'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel topraklama

şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan beton direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, beton direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise beton direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.27.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.27'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.28'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve beton direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.28.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.27'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynıdır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Beton direğin metre başına düşen direnç değeri 7 kohm olarak alınmıştır.

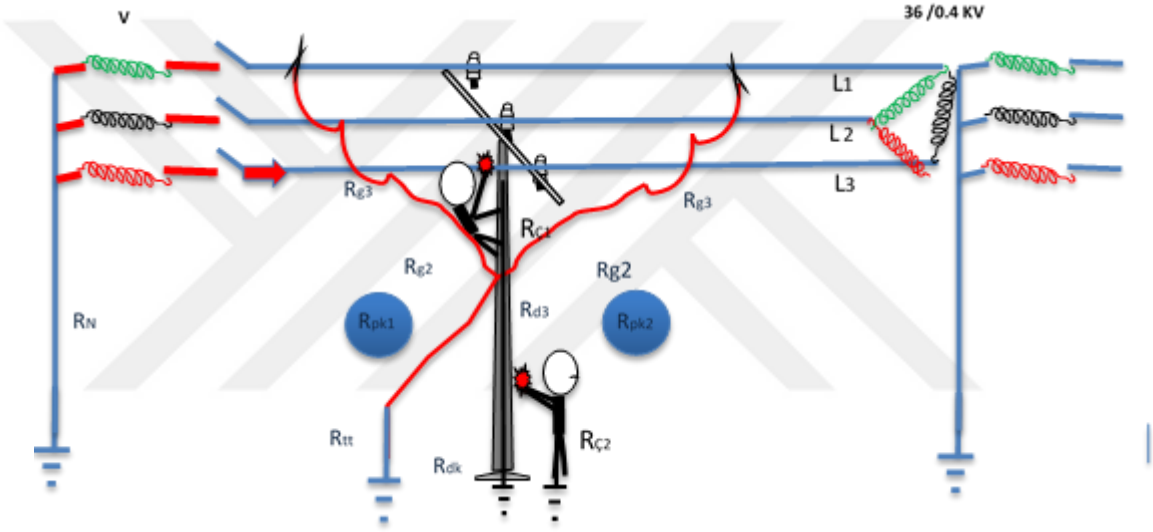
Şekil 4.27'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.24'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 1 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 308 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y3rx85ge web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.24.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| ***Açıklama*** | **Simge** | **Değer** | **Birim** |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 56,895 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 0,352 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,001 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,308 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 1 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 307 | V |

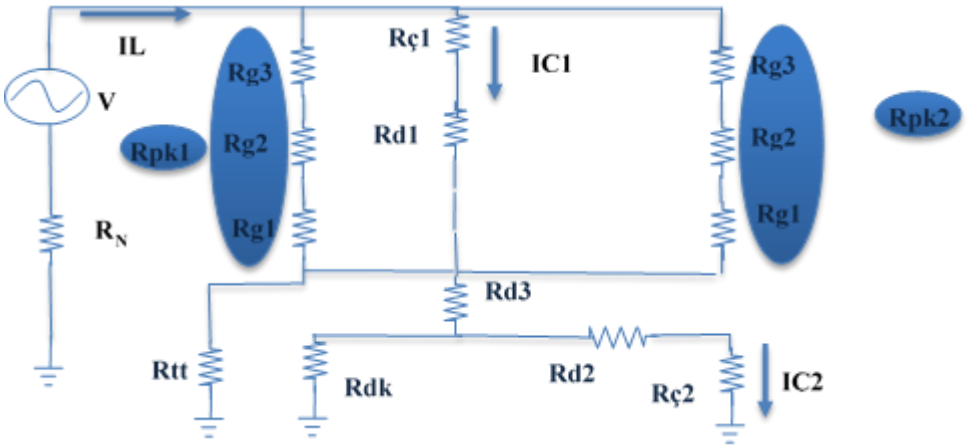
#### 4.1.6.3.c. Çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı, iki çalışan

Şekil 4.29'daki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmamıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklama şeklinde yapılmıştır. Bu hattı taşıyan beton direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, beton direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise beton direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.29.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.29'daki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.30'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve beton direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.30.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.29'daki senaryonun eşdeğer devre parametreleri önceki çizelgelerde görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Birinci çalışanın ayak tarafından yapılan eşpotansiyel personel koruma topraklamalarının dirençleri (Rpk1, Rpk2), 0,417 ohm olarak hesaba katılmış olup Çizelge 4.16'daki hesaplamalarla aynı olarak alınmıştır. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur. Ayrı topraklanmış personel koruma topraklama direnci (Rtt), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır.

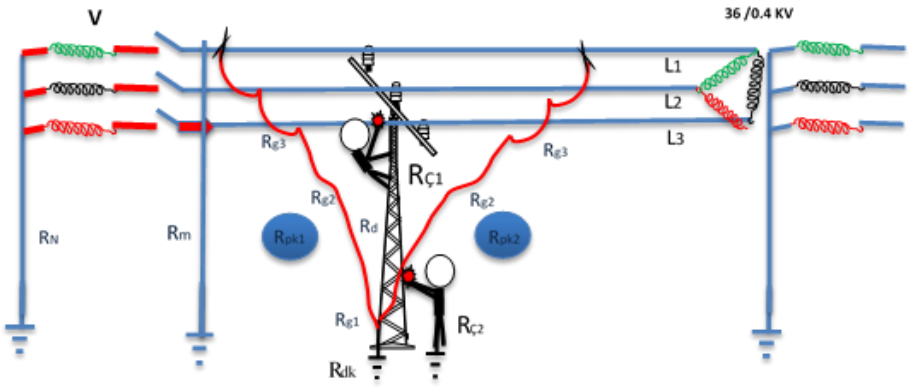
Şekil 4.29'daki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.25'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 10 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 183 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/yxr5qrb9 web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.25.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan eşpotansiyel ve ayrı topraklı ve beton direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $R_{eş}$ | 50,193 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $I_L$ | 398 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç1}$ | 0,01 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç2}$ | 0,183 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç1}$ | 10 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç2}$ | 183 | V |

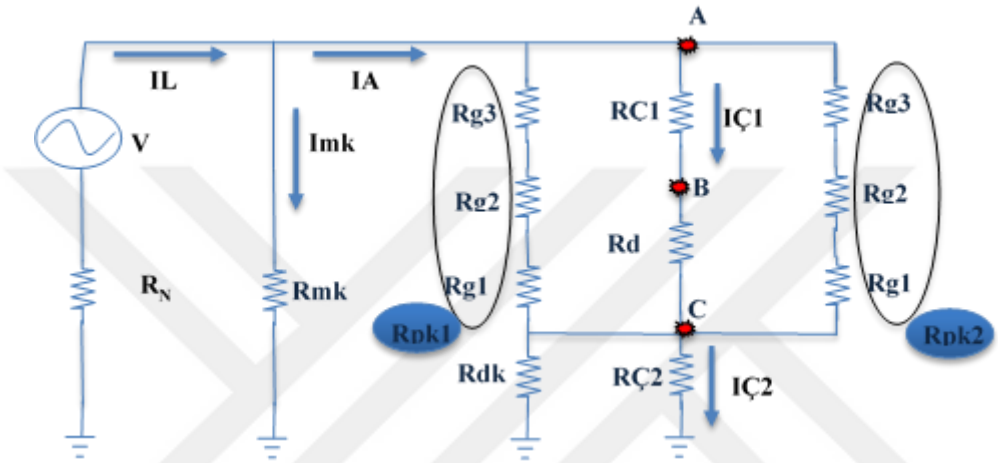
### 4.1.7. Dağıtım Merkezinden Topraklı Ve Çift Taraftan Priz Topraklı, İki Çalışan

Şekil 4.31'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattı görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağı yapılmıştır. Personel koruma topraklaması ise çift taraftan demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılmıştır. Bu hattı taşıyan demir direk üzerinde ve yerde çalışma yapacak iki personelin olduğu varsayılmıştır. Senaryoda, demir direğe tırmanarak çıkan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde çalışan personelin ise demir direğe temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum değerlendirmeye alınmıştır.




**Şekil 4.31.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.31'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.32'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, iletken özdirençleri, bağlantı noktalarındaki geçiş dirençleri ve demir direk dirençleri hesaba katılmış olup eşdeğer devrede belirtilmiştir.




**Şekil 4.32.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

Şekil 4.31'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.26'da görülmektedir. Çalışan vücut dirençleri (RÇ1, RÇ2) 1000 ohm olarak alınmıştır. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk) ve dağıtım merkezlerinden yapılan dağıtım merkezi koruma topraklama direnci (Rmk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamalarının direnç hesabı Çizelge 4.16'da gösterilmiştir. Çizelge 4.16'daki personel koruma toprak direnci; direk koruma topraklaması bağlantı geçiş direnci, 15 metre iletken direnci ve topraklama maşasının iletkene geçiş direnci toplanarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.26.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 0,417 | Ω |
| *2. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 0,417 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Direk koruma toprak direnci* | **$R_{dk}$** | 5 | Ω |
| *Dağıtım merkezi toprak direnci* | **$R_{mk}$** | 5 | Ω |
| *Demir direk direnci* | **Rd** | 0,007 | Ω |

Şekil 4.31'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.27'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 91 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 2,167 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y8smexxp web sitesinden teyit edilebilir.

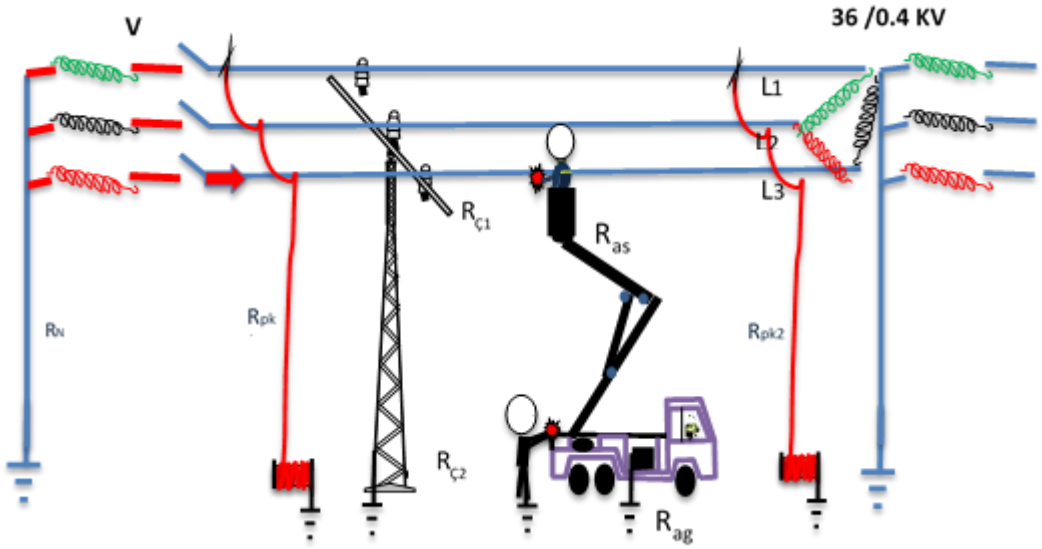
**Çizelge 4.27.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan priz topraklı ve demir direkte iki çalışan bulunmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $R_{eş}$ | 22,55 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $I_L$ | 887,11 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç1}$ | 0,091 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $I_{Ç2}$ | 2,167 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç1}$ | 91 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $V_{Ç2}$ | 2167 | V |

## 4.2. YG Havai Hatta Yalıtkan Sepetli Araç İle Yapılan Çalışmalardaki Topraklama Hesaplamaları

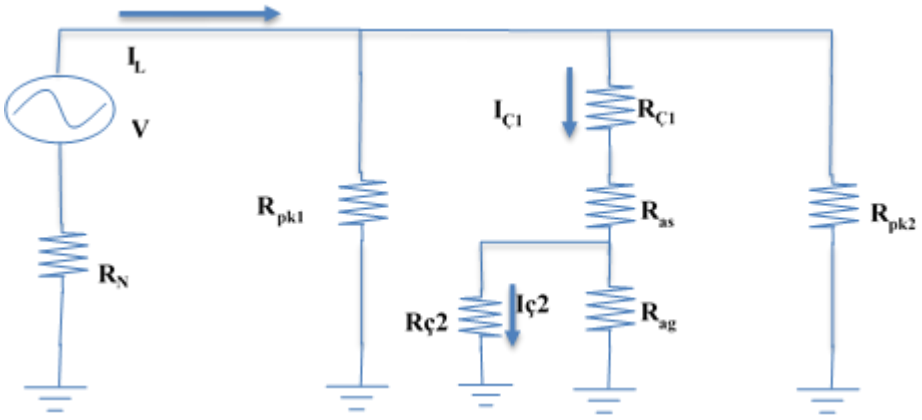
### 4.2.1. Çift Taraftan Ayrı Topraklı, İki Çalışan

Şekil 4.33'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattında yalıtılmış sepetli araçla iki kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Birinci çalışanın sepetin içerisinde diğer çalışanın ise yerde olduğu görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı ve iki taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, yalıtılmış sepet içerisinde çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde bulunan personelin aracın gövdesine temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.33.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.33'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.34'te görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, yalıtılmış sepetli araçla çalışma yapıldığı durumda çalışan üzerinden akan akımlar bulunmaya çalışılmıştır.




**Şekil 4.34.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.33'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.28'de görülmektedir. Personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk1}$, $R_{pk2}$) 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Sepetli aracın gövdesi iletken metalden yapılmış olup araç gövde direnci (Rag), akım yolu üzerinde 100 ohm'luk direnç göstermektedir. Yalıtılmış sepet gövde direnci (Ras) ise 500 kohm olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.28.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 30 | Ω |
| *2. personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Araç gövde direnci* | **$R_{ag}$** | 100 | Ω |
| *Araç sepet direnci* | **$R_{as}$** | 500000 | Ω |

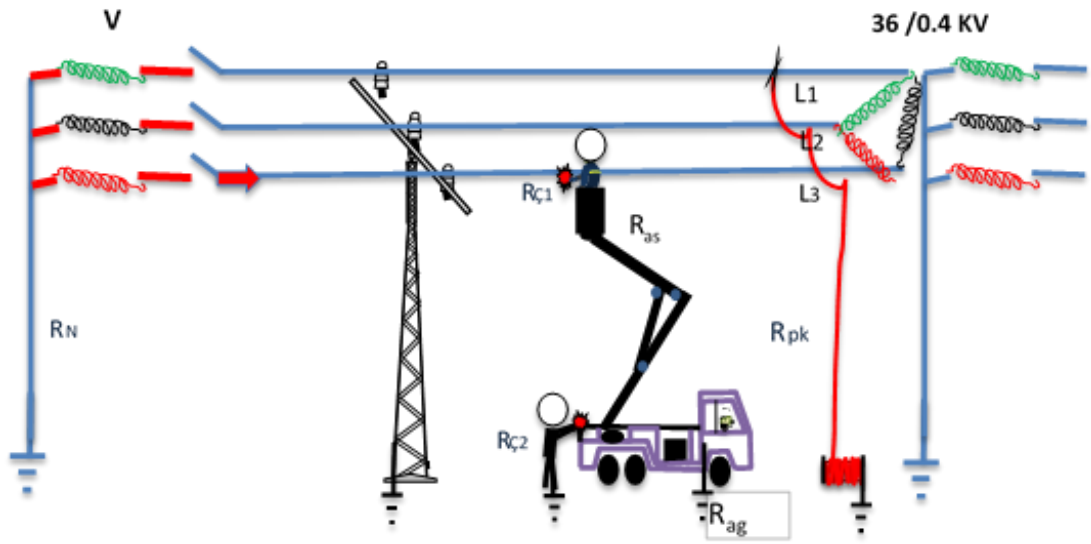
Şekil 4.33'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.29'da görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 17 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 2 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ycvuhnwg web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.29.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 35 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 571,44 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,017 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,002 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 17 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 2 | V |

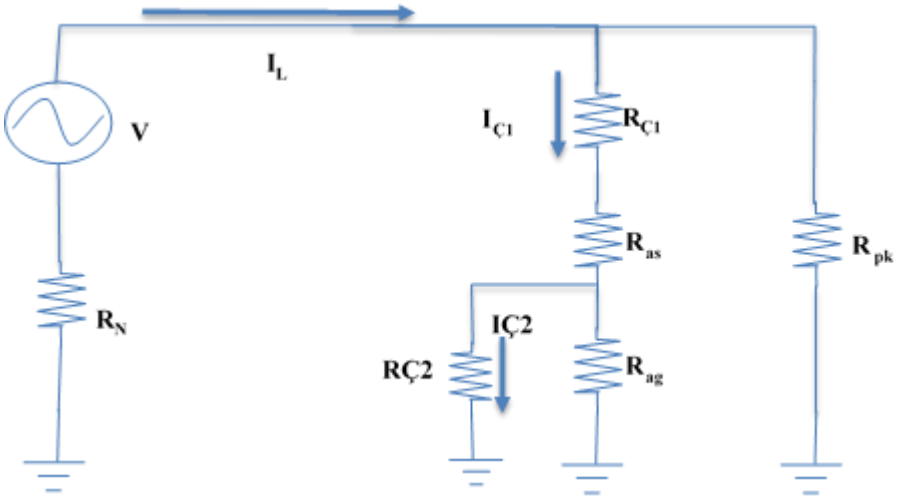
### 4.2.2. Tek Taraftan Ayrı Topraklı, İki Çalışan

Şekil 4.35'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattında yalıtılmış sepetli araçla iki kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Birinci çalışanın sepetin içerisinde diğer çalışanın ise yerde olduğu görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı ve tek taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, yalıtılmış sepet içerisinde çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde bulunan personelin aracın gövdesine temas ettiği ve bu esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.35.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.35'teki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.36'da görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, yalıtılmış sepetli araçla çalışma yapıldığı durumda çalışan üzerinden akan akımlar bulunmaya çalışılmıştır.




**Şekil 4.36.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.35'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.30'da görülmektedir. Personel koruma topraklama direnci ($R_{pk}$), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Sepetli aracın gövdesi iletken metalden yapılmış olup araç gövde direnci (Rag), akım yolu üzerinde 100 ohm'luk direnç göstermektedir. Yalıtılmış sepet gövde direnci (Ras) ise 500 kohm olarak kabul edilmiştir.

**Çizelge 4.30.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *Araç gövde direnci* | **$R_{ag}$** | 100 | Ω |
| *Araç sepet direnci* | **$R_{as}$** | 500000 | Ω |

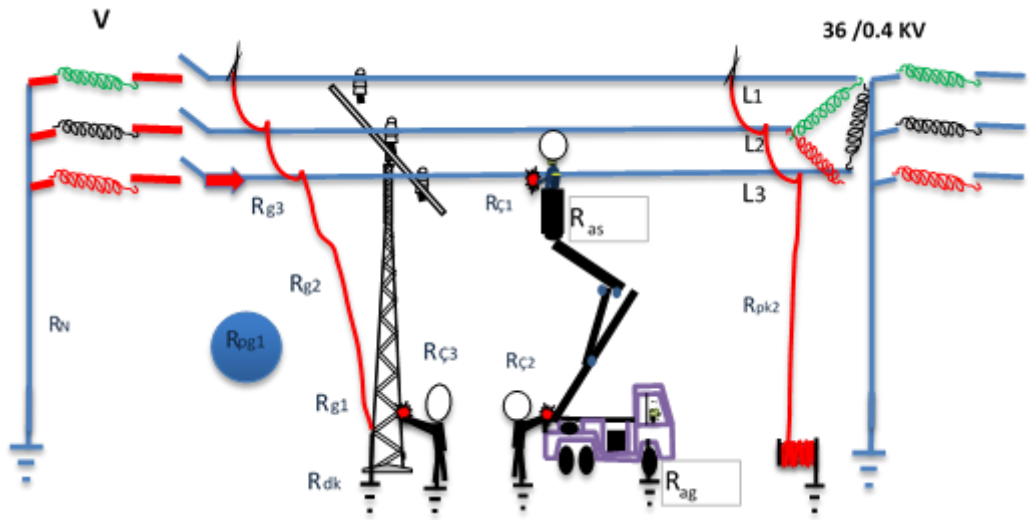
Şekil 4.35'teki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.31'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 24 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 2 mA olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/yc43v5fr web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.31.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış ve yalıtılmış sepetli araçla iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 50 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 400,01 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,024 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,002 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 24 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 2 | V |

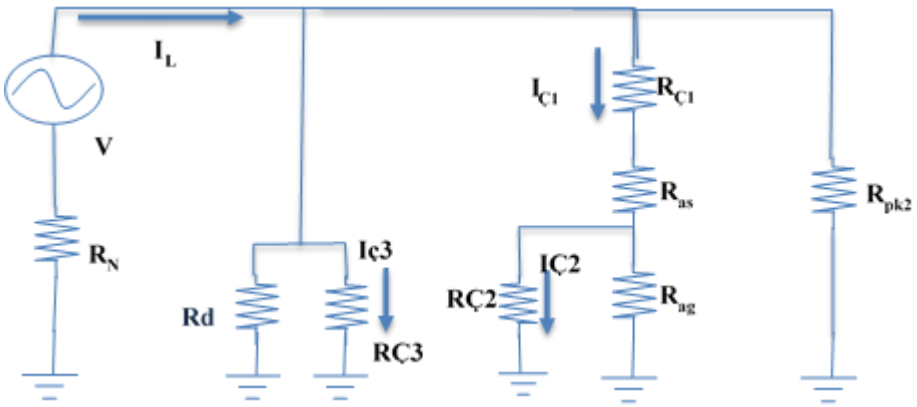
### 4.2.3. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı, Üç Çalışan

Şekil 4.35'teki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattında yalıtılmış sepetli araçla üç kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Birinci çalışanın sepetin içerisinde , diğer iki çalışanın ise yerde olduğu görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı, bir taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı ve diğer taraftan ise demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, yalıtılmış sepet içerisinde çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği, yerde bulunan bir personelin aracın gövdesine temas ettiği ve diğer personelin ise topraklamasına priz bağlantı yapılan demir direğe temas ettiği esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.37.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.37'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.38'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, yalıtılmış sepetli araçla çalışma yapıldığı durumda yerde ve sepette çalışma yapan personellerin üzerinden akan akımlar bulunmaya çalışılmıştır.




**Şekil 4.38.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.37'teki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.32'de görülmektedir. Ayrı yapılan personel koruma topraklama direnci ($R_{pk2}$), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$, $R_{Ç3}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Sepetli aracın gövdesi iletken metalden yapılmış olup araç gövde direnci (Rag), akım yolu üzerinde 100 ohm'luk direnç göstermektedir. Yalıtılmış sepet gövde direnci (Ras) ise 500 kohm olarak kabul edilmiştir. Tredaş sorumluluk alanında bulunan elektrik direklerindeki direk koruma toprak direnci (Rdk), 5 ohm olarak tesis edilmektedir. Demir direğin topraklamasına priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamasının ($R_{pk1}$) bağlantı geçiş dirençleri ihmal edilerek hesaba katılmıştır.

**Çizelge 4.32.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 5 | Ω |
| *2.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *3.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç3}$** | 1000 | Ω |
| *Araç gövde direnci* | **$R_{ag}$** | 100 | Ω |
| *Araç sepet direnci* | **$R_{as}$** | 500000 | Ω |

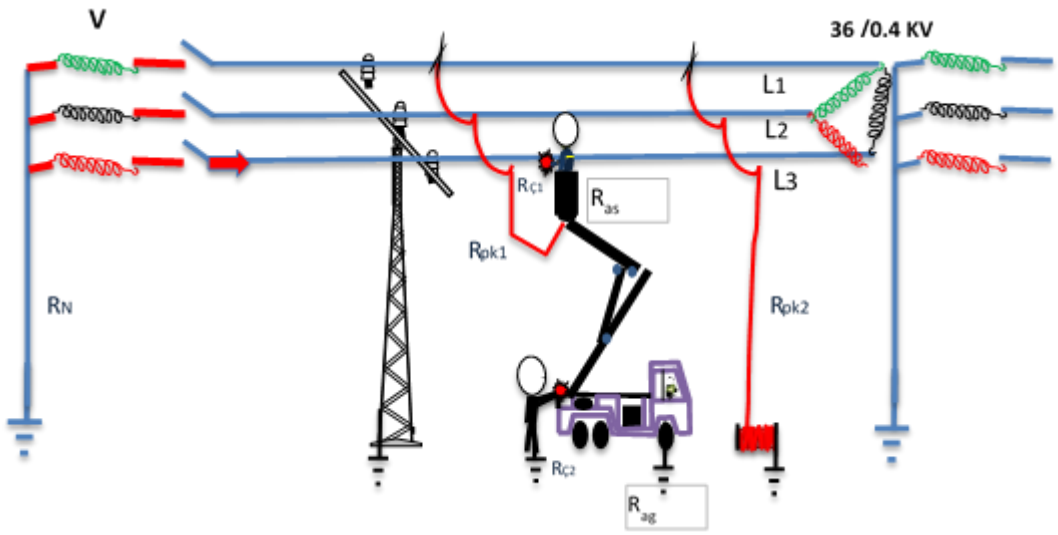
Şekil 4.37'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.33'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 7 mA, ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 1 mA ve üçüncü çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç3}$), 3,517 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y7886mew web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.33.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış ve üç kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 24,27 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 824,15 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,007 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 0,001 | A |
| *3.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç3}}$ | 3,517 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 24 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 1 | V |
| *3.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç3}}$ | 3517 | V |

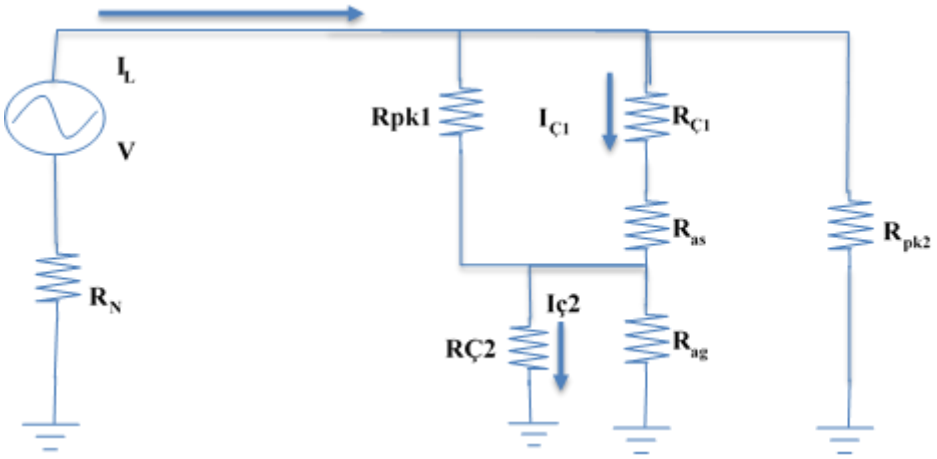
### 4.2.4. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Sepet Yalıtkan Gövdesinden Prizli), İki Çalışan

Şekil 4.39'daki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattında yalıtılmış sepetli araçla iki kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Birinci çalışanın sepetin içerisinde, diğer çalışanın ise yerde olduğu görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı, bir taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı ve diğer personel koruma topraklamasının ise sepet yalıtkan gövdesinden priz bağlantı şeklinde yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, yalıtılmış sepet içerisinde çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği ve yerde bulunan personelin ise aracın gövdesine temas ettiği esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.39.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.39'daki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.40'ta görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, yalıtılmış sepetli araçla çalışma yapıldığı durumda yerde ve sepette çalışma yapan personellerin üzerinden akan akımlar bulunmaya çalışılmıştır.




**Şekil 4.40.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.39'daki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.34'te görülmektedir. Ayrı yapılan personel koruma topraklama direnci ($R_{pk2}$), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Sepetli aracın gövdesi iletken metalden yapılmış olup araç gövde direnci (Rag), akım yolu üzerinde 100 ohm'luk direnç göstermektedir. Yalıtılmış sepet gövde direnci (Ras) ise 500 kohm olarak kabul edilmiştir. Sepetin yalıtılmış gövdesinden priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamasının ($R_{pk1}$), direnç değeri 1 ohm olarak alınmıştır.

**Çizelge 4.34.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 1 | Ω |
| *2.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *3.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç3}$** | 1000 | Ω |
| *Araç gövde direnci* | **$R_{ag}$** | 100 | Ω |
| *Araç sepet direnci* | **$R_{as}$** | 500000 | Ω |

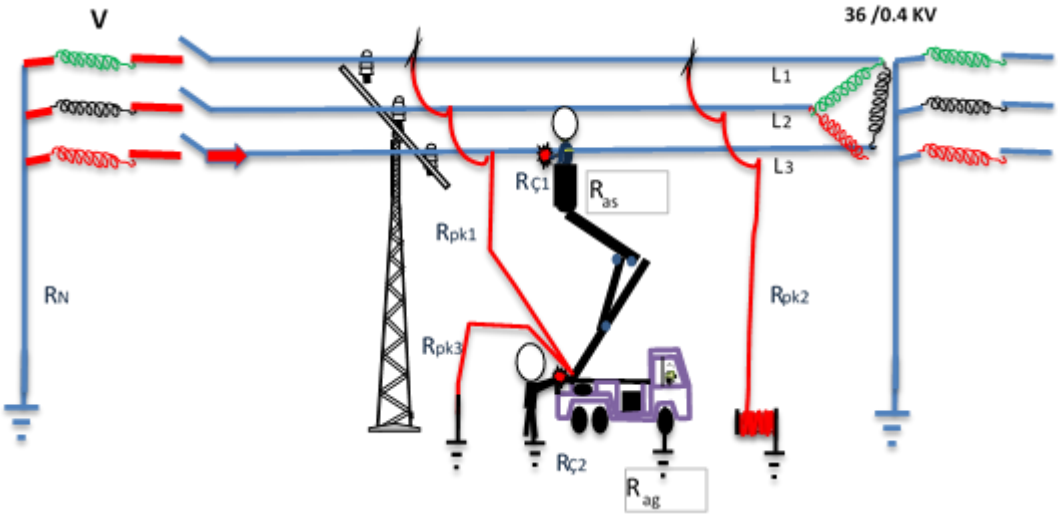
Şekil 4.39'daki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.35'te görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 0,2 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 10,50 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/ybmw6obn web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.35.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepet yalıtılmış gövdesinden prizli) ve iki kişi çalışmaktadır.

| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 42,62 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 469,29 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,0002 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 10,499 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 0 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 10499 | V |

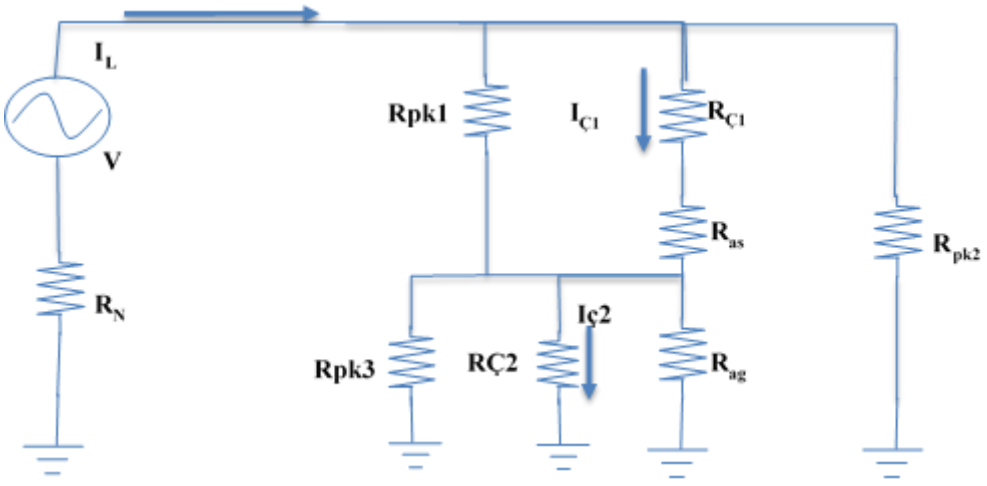
### 4.2.5. Çift Taraftan Priz Ve Ayrı Topraklı (Sepetli Araç Gövdesinden Prizli Ve Ayrı), İki Çalışan

Şekil 4.41'deki senaryoda, enerjisi kesilmiş olan yüksek gerilim hattında yalıtılmış sepetli araçla iki kişinin çalıştığı varsayılmıştır. Birinci çalışanın sepetin içerisinde, diğer çalışanın ise yerde olduğu görülmektedir. Enerjisi kesilmiş olan bu hattın dağıtım merkezi koruma toprağının yapılmadığı, bir taraftan ayrı personel koruma topraklaması yapıldığı ve diğer personel koruma topraklamasının ise sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı bağlantı şeklinde yapıldığı durum değerlendirmeye alınmıştır. Senaryoda, yalıtılmış sepet içerisinde çalışan personelin faz iletkeni ile temas ettiği ve yerde bulunan personelin ise aracın gövdesine temas ettiği esnada hattın tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durum görülmektedir.




**Şekil 4.41.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryo. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.41'deki senaryonun eşdeğer devresi Şekil 4.42'de görülmektedir. Hat, tek faz üzerinden istemsiz beslendiği durumda sistemden akacak olan akımlar ve bu akımları etkileyebilecek direnç değerleri bu eşdeğer devrede gösterilmiştir. Bu senaryoda, yalıtılmış sepetli araçla çalışma yapıldığı durumda yerde ve sepette çalışma yapan personellerin üzerinden akan akımlar bulunmaya çalışılmıştır.




**Şekil 4.42.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır.

Şekil 4.41'deki senaryonun eşdeğer devre parametreleri Çizelge 4.36'da görülmektedir. Ayrı yapılan personel koruma topraklama dirençleri ($R_{pk2}$, $R_{pk3}$), 30 ohm olarak hesaba katılmıştır. Çalışan vücut dirençleri ($R_{Ç1}$, $R_{Ç2}$) ise 1000 ohm olarak alınmıştır. Sepetli aracın gövdesi iletken metalden yapılmış olup araç gövde direnci (Rag), akım yolu üzerinde 100 ohm'luk direnç göstermektedir. Yalıtılmış sepet gövde direnci (Ras) ise 500 kohm olarak kabul edilmiştir. Sepetin yalıtılmış gövdesinden priz bağlantı yapılan personel koruma topraklamasının ($R_{pk1}$), direnç değeri 1 ohm olarak alınmıştır.

**Çizelge 4.36.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devre parametreleri. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır.

| ***Açıklama*** | **Simge** | **Değer** | **Birim** |
|---|---|---|---|
| *Kaynak gerilimi (faz-toprak)* | **V** | 20 | Kv |
| *Nötr direnci* | **$R_N$** | 20 | Ω |
| *1.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk1}$** | 1 | Ω |
| *2.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk2}$** | 30 | Ω |
| *3.Personel koruma toprak direnci* | **$R_{pk3}$** | 30 | Ω |
| *1.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç1}$** | 1000 | Ω |
| *2.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç2}$** | 1000 | Ω |
| *3.çalışan vücut direnci* | **$R_{Ç3}$** | 1000 | Ω |
| *Araç gövde direnci* | **$R_{ag}$** | 100 | Ω |
| *Araç sepet direnci* | **$R_{as}$** | 500000 | Ω |

Şekil 4.41'deki senaryoda, eşdeğer devre parametreleri girilerek yapılan hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.37'de görülmektedir. Sonuçlara göre birinci çalışan üzerinden akan akım miktarı ($I_{Ç1}$), 0,7 mA ve ikinci çalışan üzerinden geçen akım miktarı ($I_{Ç2}$), 7,61 A olduğu görülmektedir. Sonuçlar http://tinyurl.com/y9s9dhf6 web sitesinden teyit edilebilir.

**Çizelge 4.37.** Enerjisi kesilmiş YG hatta çalışma durumunu gösteren senaryoya göre hattın tek fazdan istemsiz beslenmesi durumunda yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi. Hat, çift taraftan priz ve ayrı topraklanmış (sepetli araç gövdesinden prizli ve ayrı) ve iki kişi çalışmaktadır.

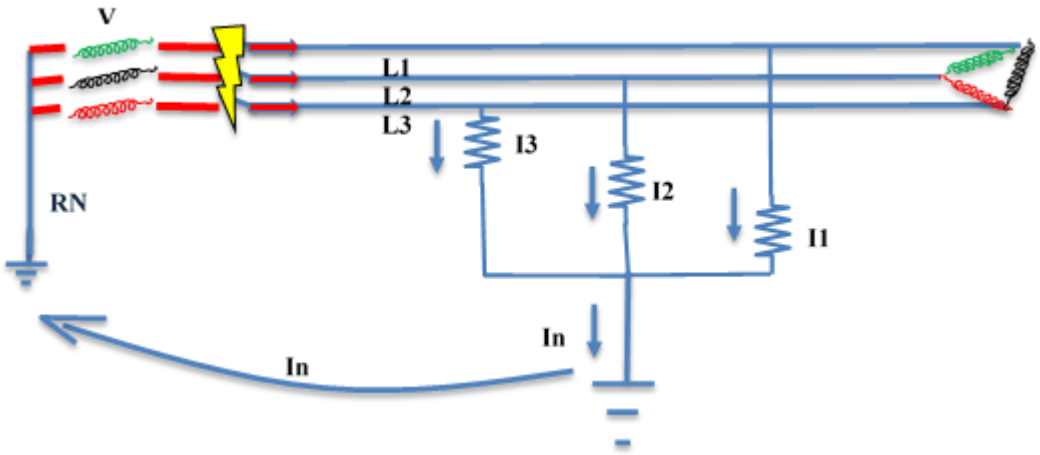
| *Açıklama* | Simge | Değer | Birim |
|---|---|---|---|
| *Devre eşdeğer direnci* | $\mathbf{R_{eş}}$ | 33,20 | Ω |
| *Ana hat hata akımı* | $\mathbf{I_L}$ | 602,50 | A |
| *1.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç1}}$ | 0,0007 | A |
| *2.çalışan üzerinden akan akım* | $\mathbf{I_{Ç2}}$ | 7,613 | A |
| *1.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç1}}$ | 1 | V |
| *2.çalışan temas gerilimi* | $\mathbf{V_{Ç2}}$ | 7613 | V |

# BÖLÜM 5

# ÇALIŞMA YAPILAN HATTIN ÜÇ FAZ ÜZERİNDEN İSTEMSİZ BESLENME DURUMU İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR

## 5.1. Dengeli Yük Durumunda Nötrden Akan Akımın Teorik Hesabı

Şekil 5.1'de gösterilen 3 faz beslenen bir hat üzerinde personel koruma topraklama ile 3 faz kısa devre edildiği durumda, dengeli bir yük durumu olup her fazdan eşit miktarda akım akacaktır. Teorik olarak akımların birbirlerine yakın/eşit olduğu durumda nötrden akan akım miktarı 0 veya sıfıra yakın değerler olacaktır. Birkaç örnek hesaplama Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.




**Şekil 5.1.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunu gösteren çizim.

**Çizelge 5.1.** 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda kollardan geçen akım miktarlarına göre nötr hattından geçen akım miktarını gösteren çizelgeler.

| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 25 | 25 | 0 |
| L2 | 120 | 20 | -10 | 17,32050808 |
| L3 | 240 | 15 | -7,5 | -12,9903811 |
| Nötr | | 8,660254 | 7,5 | 4,330127019 |

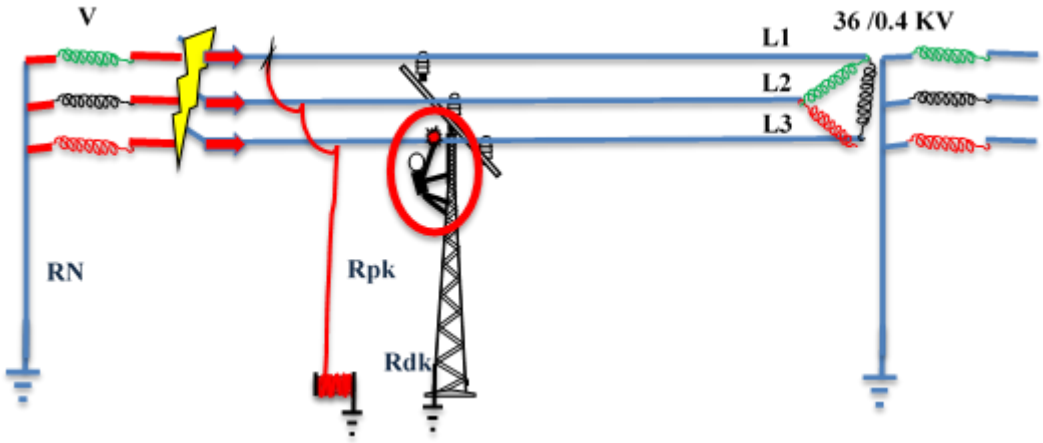
| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 30 | 30 | 0 |
| L2 | 120 | 30 | -15 | 25,98076211 |
| L3 | 240 | 30 | -15 | -25,9807621 |
| Nötr | | 0 | 0 | 0 |

| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 25 | 25 | 0 |
| L2 | 120 | 25 | -12,5 | 21,65063509 |
| L3 | 240 | 0 | 0 | 0 |
| Nötr | | 25 | 12,5 | 21,65063509 |

| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 25 | 25 | 0 |
| L2 | 120 | 0 | 0 | 0 |
| L3 | 240 | 0 | 0 | 0 |
| Nötr | | 25 | 25 | 0 |

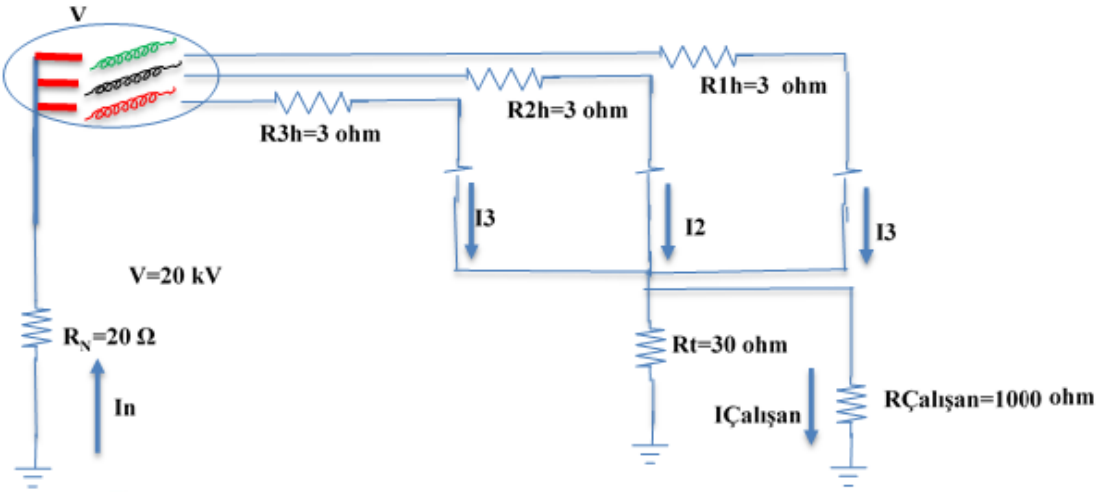
### 5.1.1. Üç Faz Kısa Devre Durumunda Enerjilendirilse, Faz-Toprak Arasında Çalışan Personelin Durum Analizi

Şekil 5.2'de enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryo gösterilmiştir. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.




**Şekil 5.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.

Şekil 5.3'te enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi gösterilmiştir. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.




**Şekil 5.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan ayrı topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.

Çizelge 5.2'de enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarı gösterilmiştir. 3 faz kısa devre edildiği durumda şekildeki gibi çalışan personel üzerinden akan akım miktarı nötrden geçen akan akım ile ilgilidir. Nötr iletkeninden akım geçmediği durumda personel üzerinden de akım geçmez. Dengesiz yük durumunda nötr iletkeninden geçen akım miktarının yaklaşık yüzde 3'ü personelden geçer. Bu değerlerde kabul edilebilir seviyelerde olmaktadır.

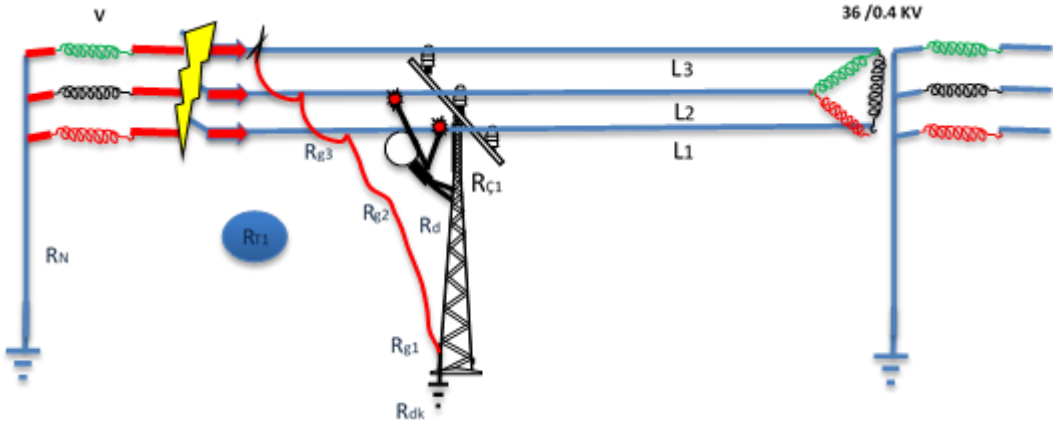
**Çizelge 5.2.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-toprak arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarını gösteren tablolar.

| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 2700 | 2700 | 0 |
| L2 | 120 | 2700 | -1350 | 2338,26859 |
| L3 | 240 | 2700 | -1350 | -2338,26859 |
| Nötr | | 0 | 0 | 0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Içalışan= | 0 | Inötr= | 0 |

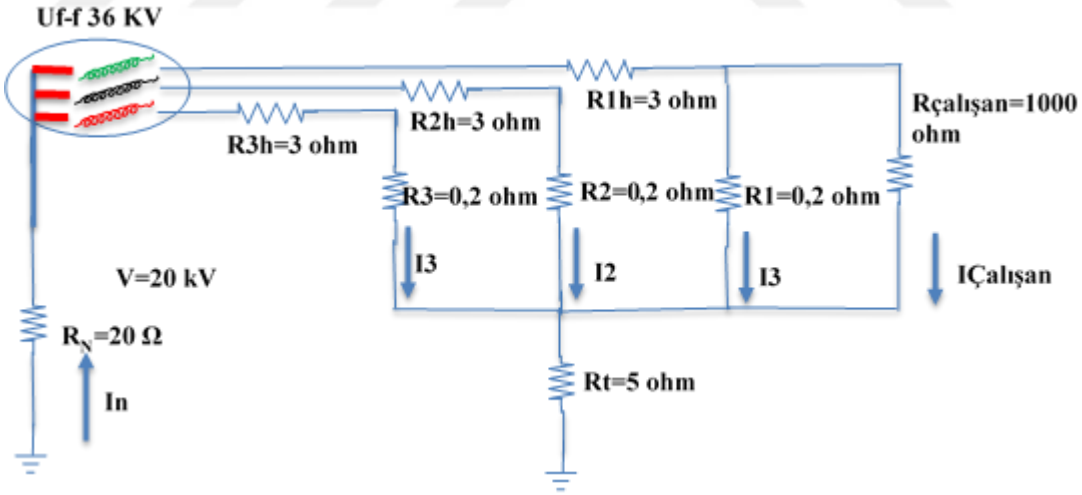
### 5.1.2. Üç Faz Kısa Devre Durumunda Enerjilendirilse, Faz-Faz Arasında Çalışan Personelin Durum Analizi

Şekil 5.4'te enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumu gösterilmiştir. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.




**Şekil 5.4.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryo. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.

Şekil 5.5'te enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi gösterilmiştir. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.




**Şekil 5.5.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin durumunu gösteren senaryonun eşdeğer devresi. Hat, tek taraftan priz topraklanmış tek kişi çalışmaktadır.

Çizelge 5.3'te enerjisi kesilmiş ve topraklama yapılmış hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarı gösterilmiştir. 3 faz kısa devre edildiği durumda şekildeki gibi çalışan personel L1 fazına paralel bir direnç oluşturur. Personel üzerinden akan akım miktarı, dengesiz yük durumunda nötrden akan akım ile ilgili değildir. Nötrden akan akım miktarı 0 olmasına rağmen personel üzerinden akan akım miktarı 55 mA'dir.

**Çizelge 5.3.** Enerjisi kesilmiş YG hatta 3 faz kısa devre ve topraklama yapılmaktadır. Hattın üç fazdan istemsiz beslenmesi durumunda faz-faz arasında çalışan personelin üzerinden geçen akım miktarını gösteren tablolar.

| Faz | Açı | Akım (Amper) | X bileşeni (Xa=cosx×I) | Y bileşeni (Ya=cosx×I) |
|---|---|---|---|---|
| L1 | 0 | 2750 | 2750 | 0 |
| L2 | 120 | 2750 | -1375 | 2381,56986 |
| L3 | 240 | 2750 | -1375 | -2381,56986 |
| Nötr | | 0 | 0 | 0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Içalışan= | 0,0549989 | Inötr= | 0 |

## 5.2. Elektrik Dağıtım Sektöründe Aktif Çalışan Rölelerden Alınan Örnek Kısa Devre Akımları

Çizelge 5.4'te elektrik dağıtım sektöründe, hatta oluşan bir hata durumunda röleler vasıtasıyla kayıt altına alınan arıza akımları gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4.** Elektrik dağıtım sektöründe, hatta oluşan bir hata durumunda röleler vasıtasıyla kayıt altına alınan arıza akımlarını gösteren tablo.

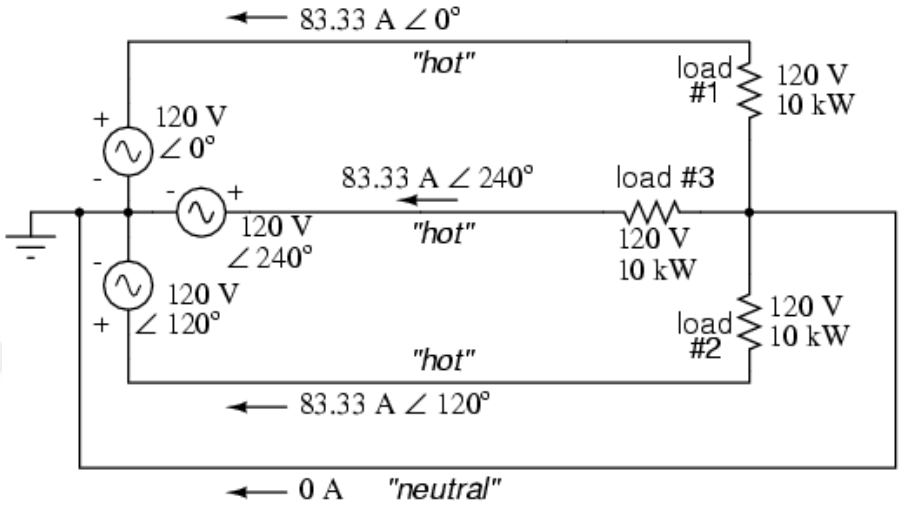
| **Arıza Kayıtları** | |
|---|---|
| Arıza 0 | |
| Arıza Sayacı | 119 |
| Tarih | 03/08/2017 |
| Saat | 21:25:25:765 |
| Arıza nedeni | I>> Açma |
| IL1 Faz Akımı | 2754.600 A |
| IL2 Faz Akımı | 2826.600 A |
| IL3 Faz Akımı | 84.488 A |
| Reziduel Akım | 0.566 A |
| Girişler IN1-IN5 | IN2, |
| Kontaklar K1-K6 | K1, |
| Arıza nedeni bilgisi | IL1 IL2 |

| Arıza 1 | |
|---|---|
| Arıza sayacı | 163 |
| Tarih | 04/07/2017 |
| Saat | 16:03:51:960 |
| Arıza nedeni | IE> Açma |
| Açma zamanı | 0.300 s |
| IL1 Faz Akımı | 721.500 A |
| IL2 Faz Akımı | 30.506 A |
| IL3 Faz Akımı | 37.050 A |
| Reziduel Akım | 686.910 A |

| Arıza 9 | |
|---|---|
| Arıza sayacı | 1 |
| Tarih | 17/07/2016 |
| Saat | 08:26:56:828 |
| Arıza nedeni | I>> Açma |
| Açma zamanı | 0.030 s |
| IL1 Faz Akımı | 1673.400 A |
| IL2 Faz Akımı | 2159.400 A |
| IL3 Faz Akımı | 39.262 A |
| Reziduel Akım | 540.540 A |
| Girişler IN1-IN5 | IN2, |
| Kontaklar K1-K6 | K1, |
| Arıza nedeni bilgisi | IL1 IL2 |

### 5.3. Dengeli Yük Durumunda Nötrden Akan Akımın Pratik Uygulama Örnekleri

Şekil 5.6'da dengeli yük durumunda nötrden akan akım miktarı gösterilmiştir. Yüklerin dengeli olduğu durumda nötr hattından akım geçmediği görülmektedir.




**Şekil 5.6.** Dengeli yük durumunda nötrden akan akım miktarını gösteren şekil.

Çizelge 5.5'te dengeli yük durumunda, Edirne TEKSTİPLİK/OMLUKSA Fideri nötründen akan akım miktarı gösterilmiştir. Normal işletme şartlarında üç faza ait Ia, Ib ve Ic akımlarının sırasıyla 115 A, 113 A ve114 A olduğu görülmektedir. Bu durumda nötr hattından akan akım miktarının 0 (sıfır) olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.5.** Dengeli yük durumunda, Edirne TEKSTİPLİK/OMLUKSA Fideri nötründen akan akım miktarını gösteren tablo.



TEKSTİPLİK / OLMUKSA FİDERİ

| | |
|---|---|
| Otomatik Yenileme | ON |
| Cihaz Id | : 100490 |
| Cihaz Modeli | : PAC E100 |
| TM | : EDIRNE TM |
| TR | : EDIRNE TRB |
| FD | : 2H08 FİDER-9 DM-2 |
| DM | : GÜLLAPOGLU KÖK |

| Tag | Değer | Tarih | Birim |
|---|---|---|---|
| Arıza Akımı (Ia) | 7 | 26.5.2016 19:07:33 | A |
| Arıza Akımı (Ib) | 771 | 26.5.2016 19:07:33 | A |
| Arıza Akımı (Ic) | 1024 | 26.5.2016 19:07:33 | A |
| Arıza Akımı (In) | 256 | 26.5.2016 19:07:33 | A |
| Ia | 115 | 23.1.2019 16:49:09 | A |
| Ib | 113 | 23.1.2019 16:49:09 | A |
| Ic | 114 | 23.1.2019 16:49:09 | A |
| In | 0 | 23.1.2019 16:49:09 | A |

Çizelge 5.6'da dengeli yük durumunda, Uzunköprü KARAPINAR ENH nötründen akan akım miktarı gösterilmiştir. Normal işletme şartlarında üç faza ait Ia, Ib ve Ic akımlarının sırasıyla 69.72 A, 69.99 A ve 70.5 A olduğu görülmektedir. Bu durumda nötr hattından akan akım miktarının 0,66 A olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.6.** Dengeli yük durumunda, Uzunköprü KARAPINAR ENH nötründen akan akım miktarını gösteren tablo.



Uzk.KARAPINAR ENH

| | |
|---|---|
| Otomatik Yenileme | ON |
| Cihaz Id | : 102798 |
| Cihaz Modeli | : NA 011 |
| TM | : UZUNKOPRU TM |
| TR | : UZUNKOPRU TRB |
| FD | : FİDER-4 87000 DM-1 |
| DM | : Uzk. 87000 154 ÖNÜ YENİ DM |

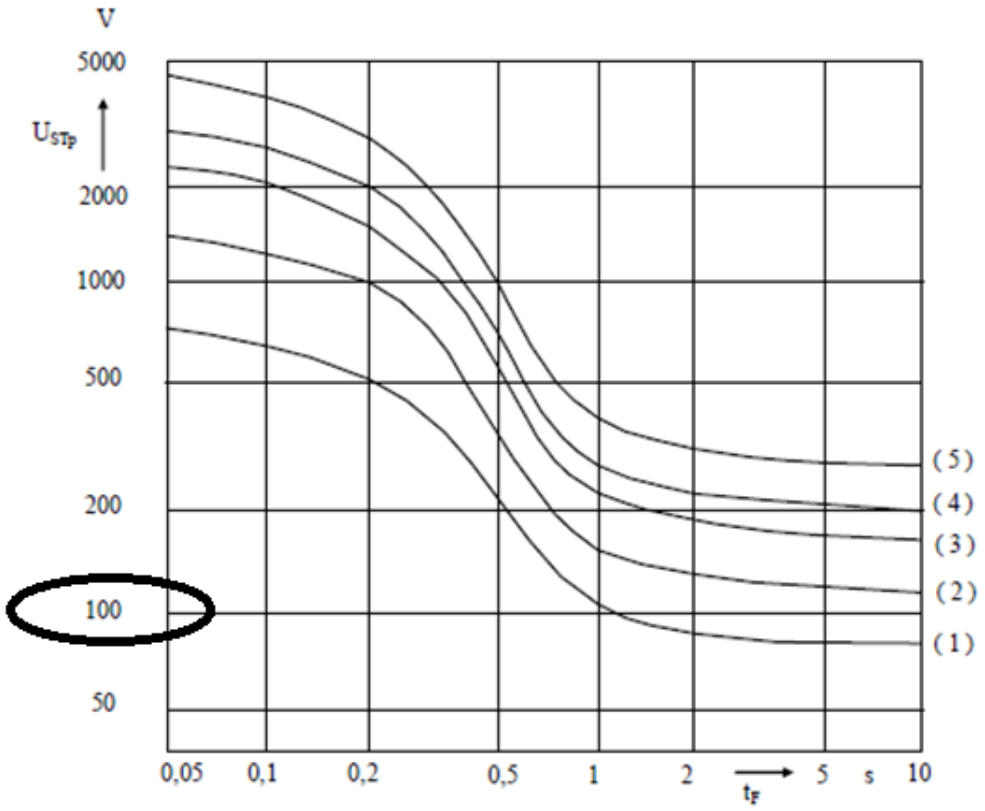
| Tag | Değer | Tarih | Birim |
|---|---|---|---|
| Arıza Akımı (Ia) | 4132.32 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Arıza Akımı (Ib) | 4025.28 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Arıza Akımı (Ic) | 125.01 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Arıza Akımı (In) | 0.882 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Ia | 69.72 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Ib | 69.99 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| Ic | 70.5 | 23.1.2019 16:54:00 | A |
| In | 0.66 | 23.1.2019 16:54:00 | A |

# BÖLÜM 6

# SONUÇLAR ve ÖNERİLER-1 (100mA tehlikeli sınır değer kabul edilirse)

Çalışma yapılacak hat 3 faz-toprak kısa devre yapıldığı durumda mevcut sistemdeki röle korumaları faz-faz veya faz-toprak kısa devresinde ani açma devreye girecektir. Fakat rölelerin çalışmadığı veya bulunmadığı durumlar göz önünde bulundurularak sürekli maruziyet gerilimi, yönetmeliğin belirttiği *"sınır süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri"* eğirisinden 100 Volt olarak seçilmiştir. Bu durumda 100/1000=0.1 Amper (100 mA) personelden geçecek olan akım miktarıdır.

Şekil 6.1'de Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği'nin Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri eğrisi gösterilmiştir. Şekil 6.1'de de görüldüğü üzere sonuç olarak 3 faz-toprak kısa devre edilmiş bir hatta çalışma yapan personel için tehlikeli akım sınırı 100 mA'dir. Aşağıdaki çalışmalar bu değerlere göre yapılmıştır.




| | | | |
|---|---|---|---|
| (1) | Ek dirençsiz | | |
| (2) | Ra=750 ohm | Ra1=0 ohm | ρs=500 ohm |
| (3) | Ra=1750 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=500 ohm |
| (4) | Ra=2500 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=1000 ohm |
| (5) | Ra=4000 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=2000 ohm |

| | |
|---|---|
| Ra1 | değeri kullanılmış nemli ayakkabılar için bir ortalama değer |
| ρs | bir tesisin sathındaki toprak özdirenci |
| Ustp, | kaynak gerilimi |
| $tF$ | hata süresi |
| Ra2 | basılan yerdeki toprak yayılma direnci |

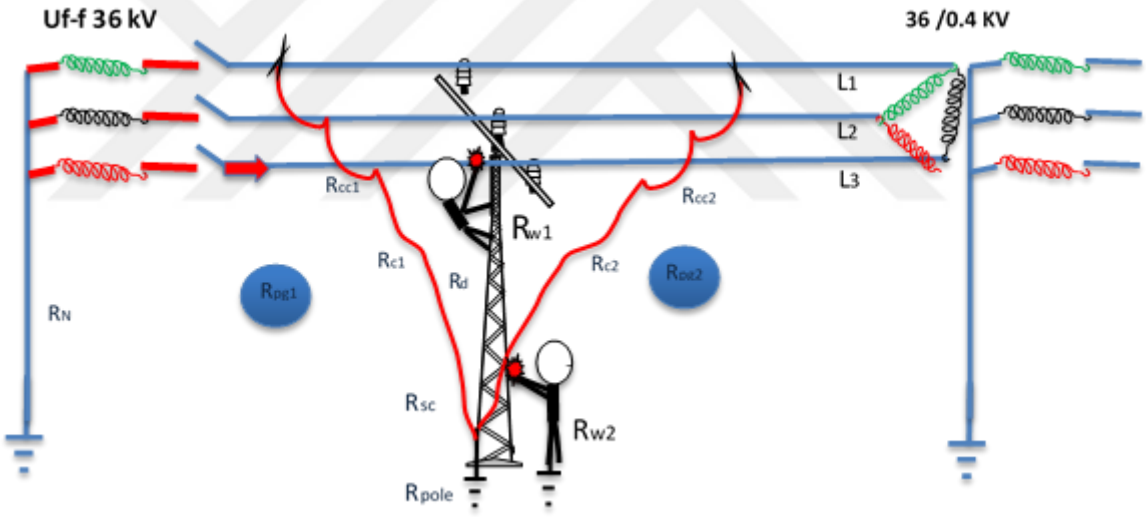
Farklı ek dirençler Ra=Ra1+Ra2 için Ustp=$f(tF)$ eğrileri şekilde verilmiştir.

**Şekil 6.1.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri eğrisinde sürekli zaman için sınırlı akımın bulunması (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001).

## 6.1. Sonuçlar 1

### 6.1.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.2'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli gösterilmiştir. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km'de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. Eşdeğer direnç, 50×0,112=2,6Ω olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.1'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 6.2.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 6.1.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

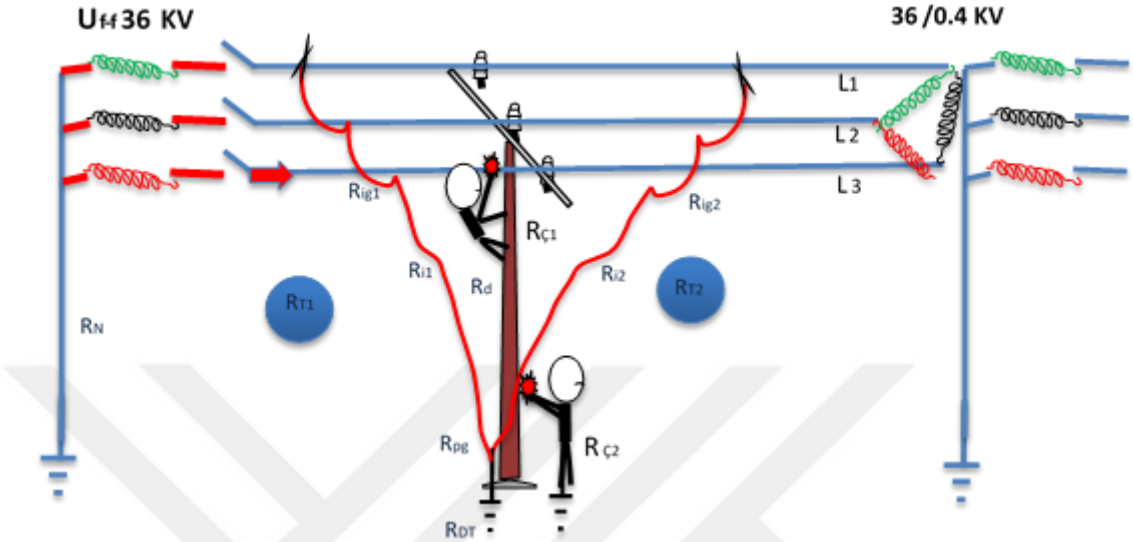
| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| **x<100mA** | **100mA<x<3A** | **3A<x** |

| DİREK CİNSİ | KABİN TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 19,51 | 0,097 | 19,41 | 0,096 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 11,8 | 0,059 | 10,59 | 0,053 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,65 | 3,36 | 0,53 | 2,74 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,37 | 3,91 | 0,3 | 3,21 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 8,46 | 0,042 | 7,28 | 0,036 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,318 | 3,05 | 0,267 | 2,79 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,186 | 3,95 | 0,152 | 3,23 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 3,96 | 0,022 | 3,94 | 0,022 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 3,5 | 0,017 | 2,99 | 0,015 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,358 | 1,86 | 0,22 | 1,15 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,199 | 2,11 | 0,125 | 1,32 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 3,13 | 0,016 | 2,41 | 0,012 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,19 | 1,82 | 0,11 | 1,19 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,09 | 2,17 | 0,056 | 1,35 |

### 6.1.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.3'te ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli gösterilmiştir. Ağaç direklerin dibinde koruma topraklaması olmadığı varsayılmış olup direkten toprağa geçiş direnci 500 ohm olarak alınmıştır. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km'de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. Eşdeğer direnç, 50×0,112=2,6Ω olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.2'de ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı

koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir. Ağaç direklerde koruma toprağının olduğu ve traverslerin topraklandığı durumda hesaplar demir direkteki hesaplarla aynı olmaktadır.




**Şekil 6.3.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 6.2.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

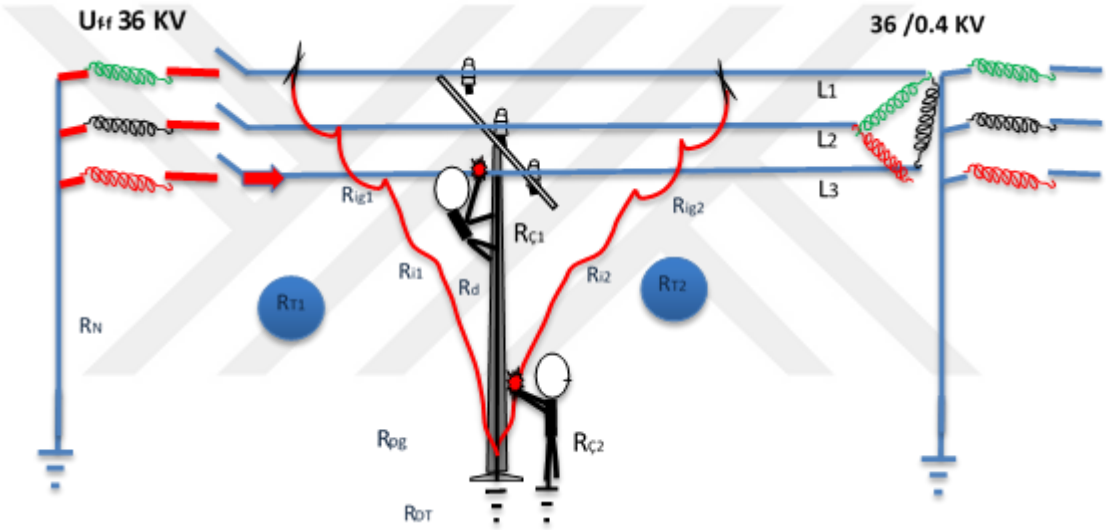
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| AĞAÇ DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,297 | 0,245 | 0,297 | 0,245 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,179 | 0,147 | 0,161 | 0,132 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,147 | 1,47 | 0,132 | 1,32 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,235 | 2,45 | 0,233 | 2,42 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,128 | 0,105 | 0,11 | 0,091 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,106 | 1,06 | 0,091 | 0,917 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,235 | 2,45 | 0,232 | 2,42 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,06 | 0,049 | 0,06 | 0,05 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,053 | 0,043 | 0,045 | 0,037 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,043 | 0,435 | 0,037 | 0,373 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,047 | 0,037 | 0,036 | 0,03 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,039 | 0,391 | 0,03 | 0,303 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |

### 6.1.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.4'te beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli gösterilmiştir. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km'de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. Eşdeğer direnç,

50×0,112=2,6 Ω olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.3'te beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.

Beton direk 1 metre direnci 300 kohm'dur. Beton direğin gövdesinde demir bulunduğu için temas edilen demir yüzey ile toprak arası mesafe 5 cm olarak hesaplanmış olup beton direğin direnci 15 kohm olarak alınmıştır. Beton direğin topraklama iletkeninin var olduğu ve traversin topraklandığı varsayılmıştır. Çalışan personel traverse temas ettiği durumda hesaplar demir direkteki hesaplarla aynı olmaktadır.




**Şekil 6.4.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

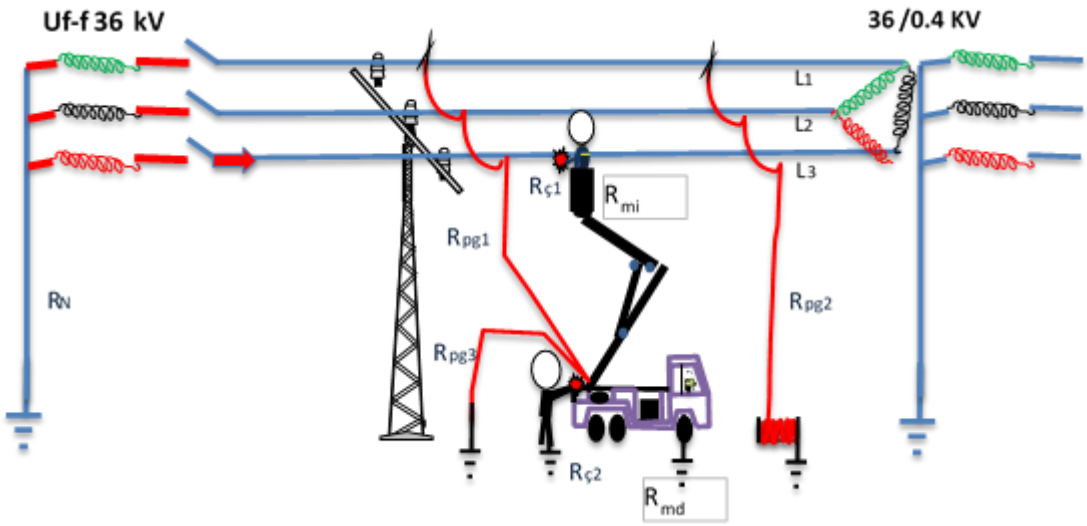
**Çizelge 6.3.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 1,25 | 0,0004 | 1,25 | 0,0004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,749 | 0,0002 | 0,674 | 0,0002 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,049 | 0,212 | 0,041 | 0,173 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,048 | 0,24 | 0,04 | 0,198 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,535 | 0,0002 | 0,461 | 0,0001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,026 | 0,193 | 0,021 | 0,157 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,245 | 0,02 | 0,201 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,25 | 0,00008 | 0,25 | 0,00008 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,22 | 0,00007 | 0,189 | 0,00006 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,027 | 0,115 | 0,017 | 0,071 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,125 | 0,016 | 0,08 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,197 | 0,00006 | 0,152 | 0,00005 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,015 | 0,114 | 0,009 | 0,068 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,013 | 0,132 | 0,008 | 0,083 |

### 6.1.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.5'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli gösterilmiştir. Bu çalışma şekline göre yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi Çizelge 6.4'te gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 6.5.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 6.4.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

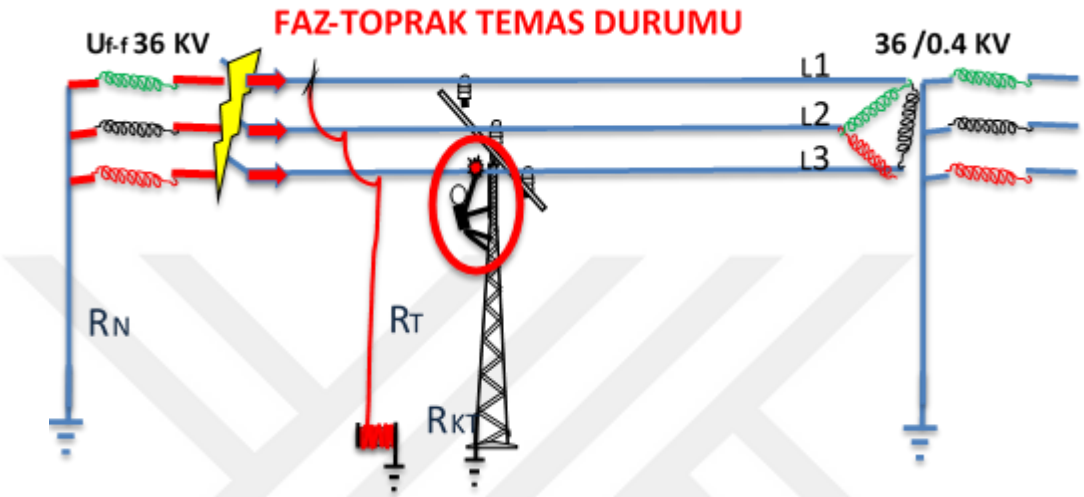
| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK, AĞAÇ DİREK, BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,04 | 0,004 | 0,04 | 0,004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,024 | 0,002 | 0,022 | 0,002 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,001 | 10,36 | 0,001 | 9,18 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,0004 | 16,25 | 0,0004 | 15,47 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,017 | 0,002 | 0,015 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,0001 | 7,72 | 0,0001 | 6,61 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,00002 | 16,32 | 0,00002 | 15,54 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,007 | 0,001 | 0,006 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,001 | 3,27 | 0,001 | 2,72 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,0001 | 3,79 | 0,0001 | 3,58 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,006 | 0,001 | 0,005 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,0001 | 2,96 | 0,0001 | 2,24 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,00001 | 3,81 | 0,00001 | 3,6 |

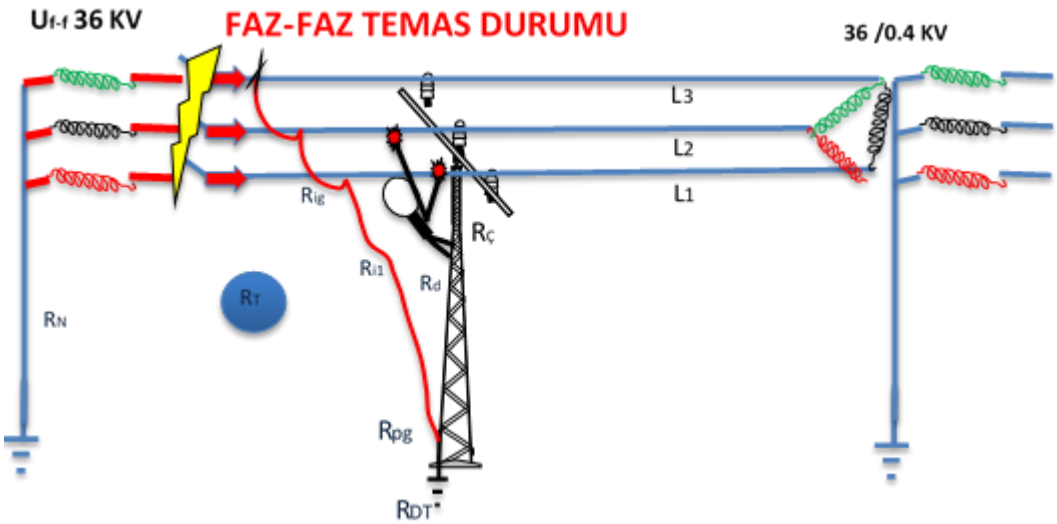
### 6.1.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 faz hatalı beslenen ve faz-toprak ile faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekilleri gösterilmiştir. Çizelge

6.5'te ise demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz ile faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 6.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.




**Şekil 6.7.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 6.5.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TIRMANARAK ÇALIŞMA | 3 FAZ HATALI BESLEME DURUMU | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK DURUMU | PERSONEL POZİSYONU | Dengesiz yük durumunda Nötr akımı (Amper) | Personel üzerinden geçen akım (Amper) |
| | | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | Faz-Toprak arasında çalışan personel | YOK | 20 |
| | | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | | 31 |
| | | | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA VAR | Faz-Toprak arasında çalışan personel | 1 | 0,00019996 |
| | | | | | 100 | 0,019996001 |
| | | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | 0 | 0,549890022 |
| | | | | | 1000 | 0,549890022 |

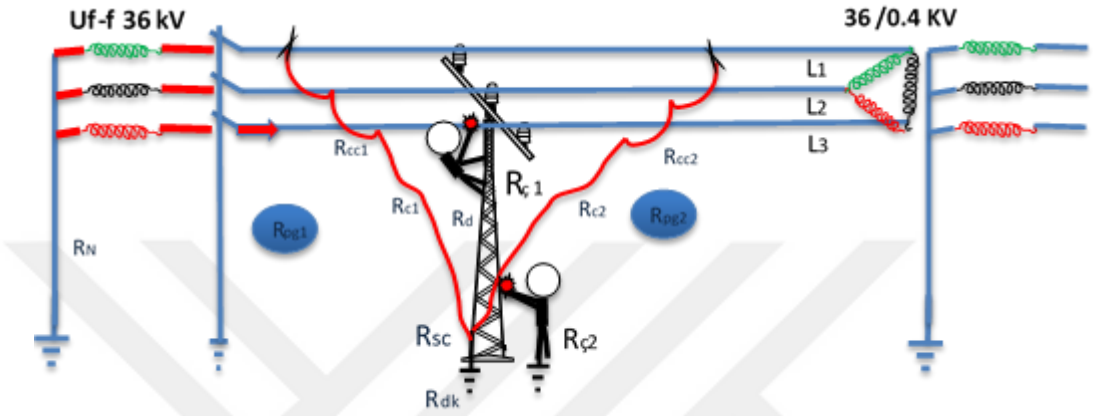
## 6.2. Öneriler 1

### 6.2.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Demir direkte tırmanarak yapılacak çalışmalarda, çalışan personel üzerinden geçen akımı zararsız sınırlarda tutmak için Şekil 6.8'de gösterildiği gibi dağıtım merkezinden koruma topraklı, çift taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır. Bu topraklama şeklinin uygulama zorlukları ve kendi içinde özel riskleri ayrıca değerlendirmeye alınmalıdır. Bu özel riskler içerisinde enerjisi kesilmiş olan iletkenlerin, personel koruma topraklama mandallarıyla temas ettiği yerlerde bir hata akımı durumunda ark patlaması ve şiddetli salınım meydana gelebilme ihtimali de bulunmaktadır. Bundan dolayı personel koruma topraklamaları, direk üzerinde çalışanın bu ark patlaması ve salınımdan zarar görmeyeceği mümkün olan en uzak noktadan yapılmalıdır. Bununla beraber bu mesafe çalışma zorluklarını optimum seviyede tutabilmek için personelin tırmanarak çalışacağı direk üzerinden uzanarak yapabileceği en uzak mesafe olmalıdır. Bunun kararını verebilmek için çalışma yapılacak olan sahanın

ve göze alınabilecek risklerin yöneticiler tarafından doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 6.8'de gösterilen ve aşağıda bulunan personel prizden topraklanmış direğe temastan kaçınmalı, temas etmek zorunda ise yalıtılmış halı/sehpa ve yalıtkan eldiven kullanarak direnci artırılmalıdır. Ancak bu şekilde korunma sağlanabilir.




**Şekil 6.8.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.

Çizelge 6.6'da demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamasının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

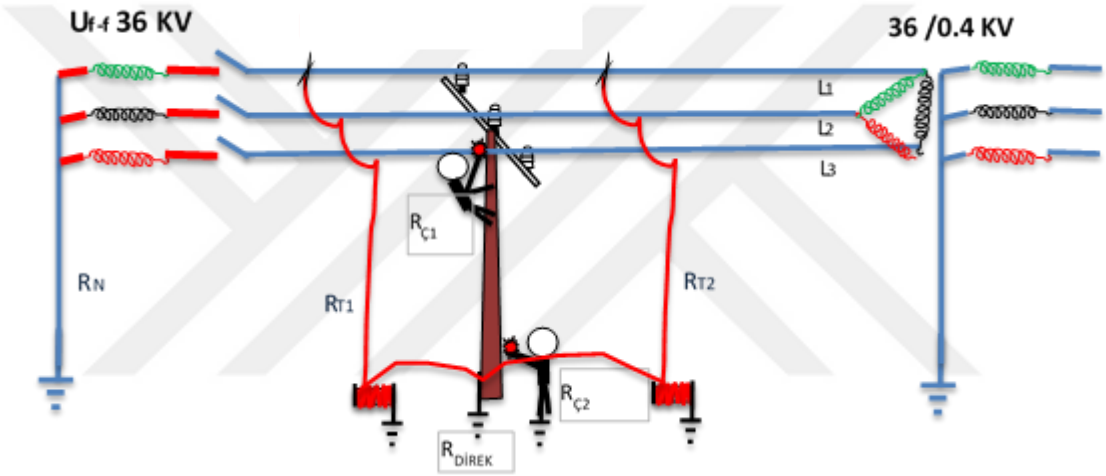
**Çizelge 6.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamasının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | PRİZ TOPRAKLI | 0,09 | 2,17 | 0,056 | 1,35 |

### 6.2.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.9'da gösterilen ağaç direkler üzerine tırmanarak yapılan çalışmalarda dağıtım merkezi koruma toprağının bulunmadığı durumlarda yapılan çalışmalar riskli olup dağıtım merkezi koruma toprağı olmayan hatta çalışma yapılması zorunlu ise çift taraftan personel koruma toprak, ayrı ve eşpotansiyel toprak yapılarak ağaç direğe tırmanarak çalışma yapan personel üzerinden akacak akım istenilen sınır değerlere kadar çekilebilir. Aşağıda bulunan diğer personel ise prizden topraklanmış direğe temastan kaçınmalı, temas etmek zorunda ise yalıtılmış halı/sehpa ve yalıtkan eldiven kullanarak direnci artırılmalıdır. Ancak bu şekilde korunma sağlanabilir.



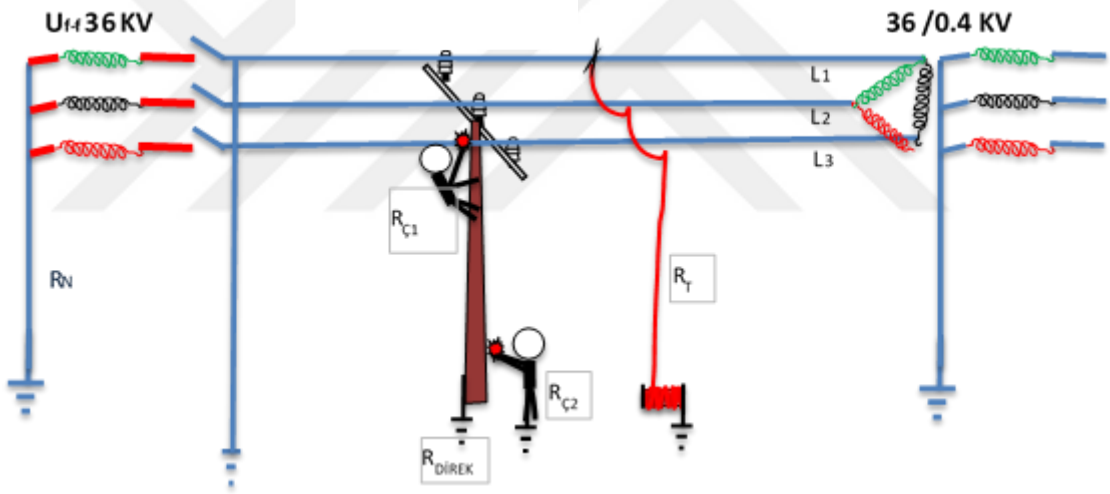

**Şekil 6.9.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 6.10'da gösterilen dağıtım merkezi koruma toprağı bulunan çalışmalarda, personeller üzerinden geçen akım miktarlarının zararsız olduğu görülmektedir. Fakat çalışma bölgesinin dağıtım merkezi koruma topraklaması ile irtibatın kesilmesine sebep olabilecek açık devre bulunma ihtimali olabilir. Bu ihtimale karşı en az bir personel koruma toprak yapılması gerekmektedir. Bu durumda her iki personelin de zarar görmemesi için dağıtım merkezi koruma den toprak, tek taraflı personel koruma toprak ve ayrı toprak yapılmalıdır.

Bu topraklama şeklinin uygulama zorlukları ve kendi içinde özel riskleri ayrıca değerlendirmeye alınmalıdır. Bu özel riskler içerisinde enerjisi kesilmiş olan iletkenlerin,

personel koruma topraklama mandallarıyla temas ettiği yerlerde bir hata akımı durumunda ark patlaması ve şiddetli salınım meydana gelebilme ihtimali de bulunmaktadır. Bundan dolayı personel koruma topraklamaları, direk üzerinde çalışanın bu ark patlaması ve salınımdan zarar görmeyeceği mümkün olan en uzak noktadan yapılmalıdır. Bunun kararını verebilmek için çalışma yapılacak olan sahanın ve göze alınabilecek risklerin yöneticiler tarafından doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapılan önerilerde en riskli saha koşulları düşünülerek ağaç direklerde travers ve gövde koruma topraklamasının bulunmadığı varsayılmıştır. Fakat ağaç direklerde koruma topraklaması var ve travers ile gövde topraklı ise sistem demir direk gibi davranacaktır. Bu durumda "Demir Direkte Tırmanarak Yapılacak Çalışmalarda" alınacak önlemler uygulanmalıdır.




**Şekil 6.10.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Çizelge 6.7'de ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

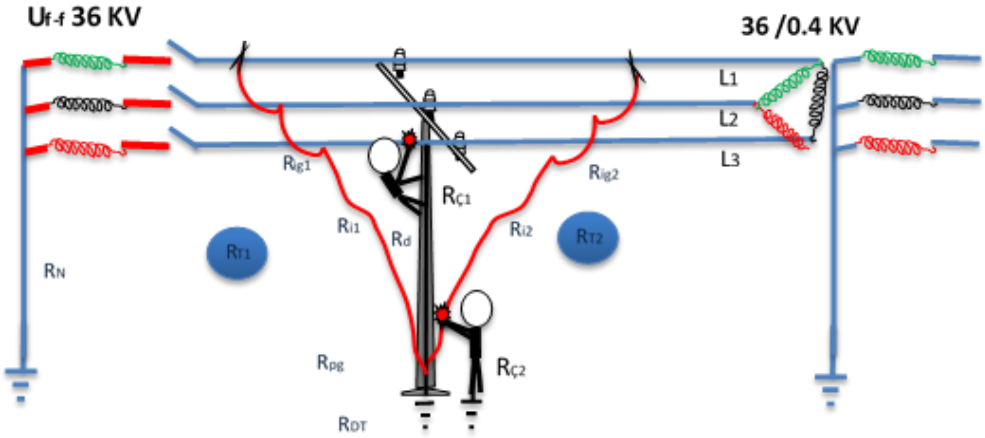
**Çizelge 6.7.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| AĞAÇ DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,106 | 1,06 | 0,091 | 0,917 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,06 | 0,049 | 0,06 | 0,05 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,053 | 0,043 | 0,045 | 0,037 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,043 | 0,435 | 0,037 | 0,373 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,047 | 0,037 | 0,036 | 0,03 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,039 | 0,391 | 0,03 | 0,303 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |

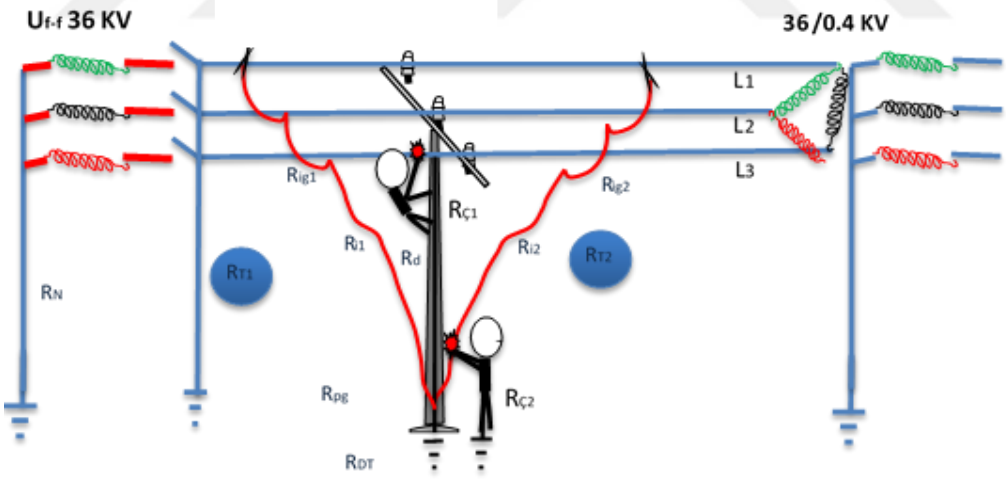
### 6.2.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.11'de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durum için personelin zarar görmemesi amacıyla yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir. Bu durumda topraklama şekli çift taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır.




**Şekil 6.11.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 6.12'de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için personelin zarar görmemesi amacıyla yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir.




**Şekil 6.12.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Beton direklerde tırmanarak yapılan çalışmalarda en az bir topraklamanın yeterli olduğu görülmekle beraber iki taraftan topraklama yapılarak daha güvenli bir çalışma

ortamı oluşturulmalıdır. Bunun yanında beton direklerde koruma topraklaması mevcuttur. Çalışan personelin travers ve koruma topraklama iletkenine temas durumu bulunmaktadır. Bu durumda sistem demir direk dibi davranacağı için "Demir Direkte Tırmanarak Yapılacak Çalışmalarda" alınacak önlemler uygulanmalıdır. Yani çalışan personel üzerinden geçen akımı zararsız sınırlarda tutmak için dağıtım merkezinden topraklı, çift taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır.

Çift taraftan topraklı ve priz topraklama şeklinin uygulama zorlukları ve kendi içinde özel riskleri ayrıca değerlendirmeye alınmalıdır. Bu özel riskler içerisinde enerjisi kesilmiş olan iletkenlerin, personel koruma topraklama mandallarıyla temas ettiği yerlerde bir hata akımı durumunda ark patlaması ve şiddetli salınım meydana gelebilme ihtimali de bulunmaktadır. Bundan dolayı personel koruma topraklamaları, direk üzerinde çalışanın bu ark patlaması ve salınımdan zarar görmeyeceği mümkün olan en uzak noktadan yapılmalıdır. Bununla beraber bu mesafe çalışma zorluklarını optimum seviyede tutabilmek için personelin tırmanarak çalışacağı direk üzerinden uzanarak yapabileceği en uzak mesafe olmalıdır. Bunun kararını verebilmek için çalışma yapılacak olan sahanın ve göze alınabilecek risklerin yöneticiler tarafından doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te, aşağıda bulunan personel prizden topraklanmış direğe temastan kaçınmalı, temas etmek zorunda ise yalıtılmış halı/sehpa ve yalıtkan eldiven kullanarak direnci artırılmalıdır. Ancak bu şekilde korunma sağlanabilir.

Çizelge 6.8'de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

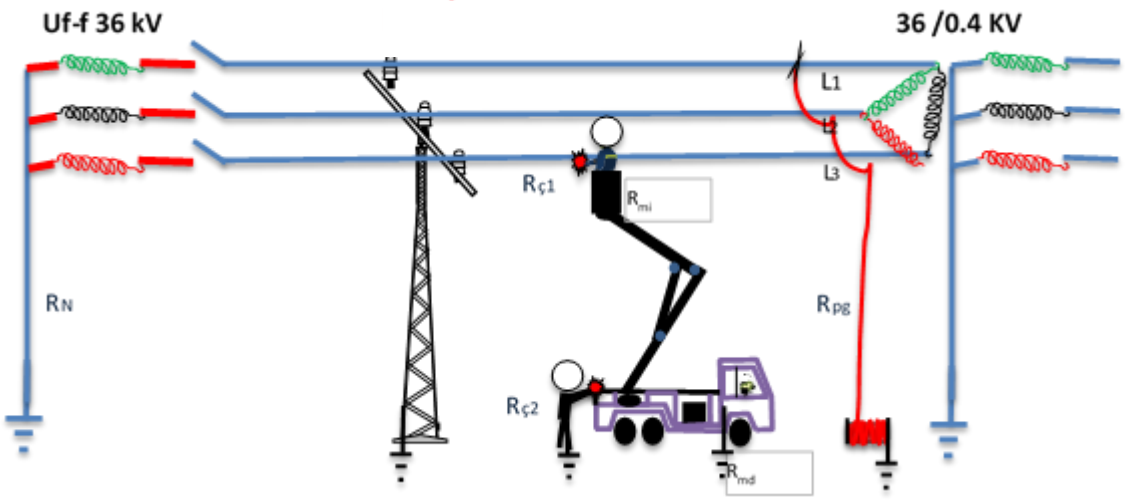
**Çizelge 6.8.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,049 | 0,212 | 0,041 | 0,173 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,048 | 0,24 | 0,04 | 0,198 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,026 | 0,193 | 0,021 | 0,157 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,245 | 0,02 | 0,201 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,027 | 0,115 | 0,017 | 0,071 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,125 | 0,016 | 0,08 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,015 | 0,114 | 0,009 | 0,068 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,013 | 0,132 | 0,008 | 0,083 |

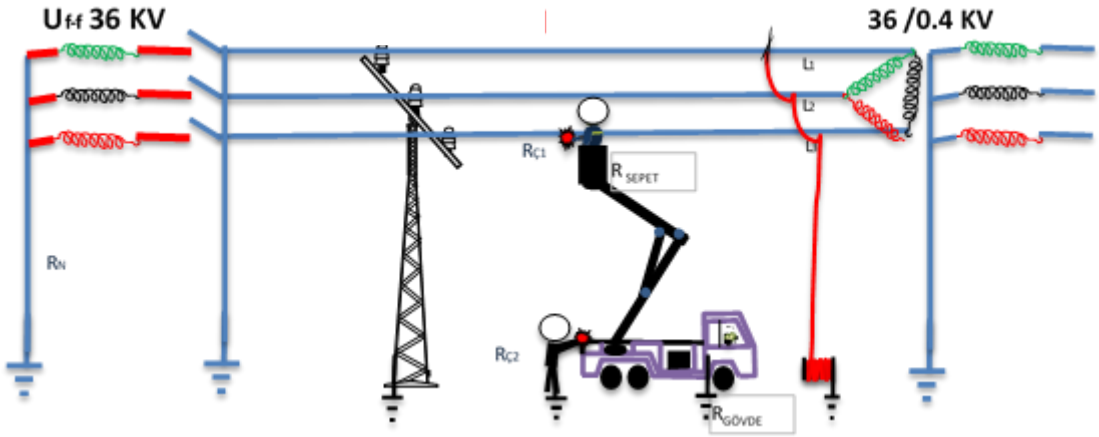
### 6.2.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar

Şekil 6.13'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir.




**Şekil 6.13.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 6.14'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir.




**Şekil 6.14.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Sepetli araç ile yapılan çalışmalarda personelin iletkenlerde çalışma yaptığı ve direklere temasının bulunmadığı düşünülmüştür. Eğer personel direğe temas edecek

kadar yakın çalışma yapıyorsa, o cins (demir direk, beton direk, ağaç direk) direkte yapılan çalışma için gerekli topraklama faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.

Sepetli araçta sepetin yalıtım seviyesinin 500 kohm olduğu varsayılmıştır. Bu durumda personel hiçbir topraklama yapılmamış hatta dahi zarar görmeyecektir. Fakat hata durumunda röle sistemlerinin devreye girebilmesi için en az bir topraklamanın bulunması gerekmektedir.

Personelin zarar görmemesi için sepetin yalıtım seviyesi minimum 200 kohm seviyesinden yukarıda olması gerekmektedir. Net direnç değerleri bilinmediği için bu personelin üzerinden geçen akım miktarları faraza kalmaktadır. Gerçek değerler için sepetli aracın sepet direnç değerleri ölçülmelidir. Çizelge 6.9'da yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

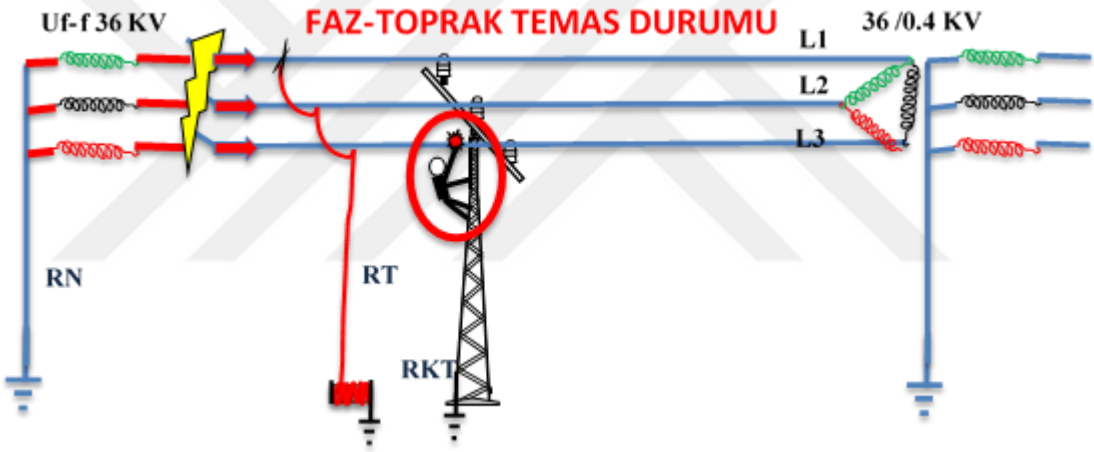
**Çizelge 6.9.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK, AĞAÇ DİREK, BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,04 | 0,004 | 0,04 | 0,004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,024 | 0,002 | 0,022 | 0,002 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,017 | 0,002 | 0,015 | 0,001 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,007 | 0,001 | 0,006 | 0,001 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,006 | 0,001 | 0,005 | 0,001 |

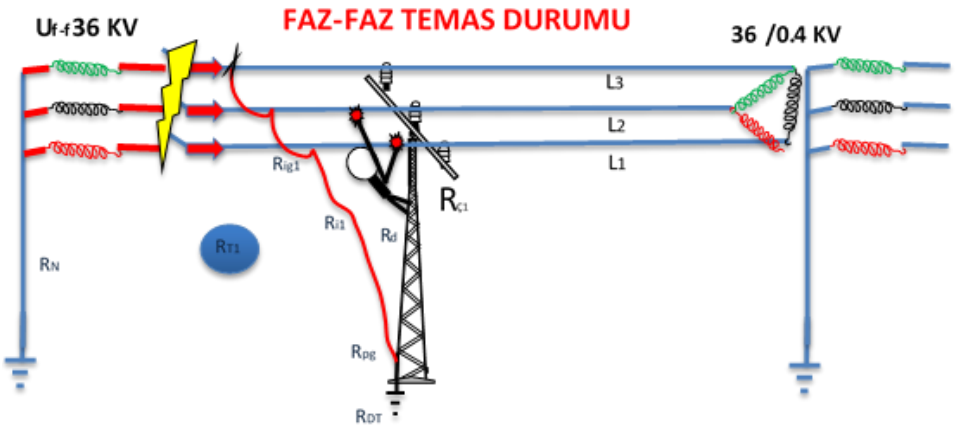
### 6.2.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu

Daha önce yapılan değerlendirmelerin tamamı tek fazdan hatalı besleme durumu içindir. Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da ise 3 faz beslenen bir hat üzerinde personel koruma topraklama ile 3 faz kısa devre edildiği durumda, dengeli bir yük durumu olup her fazdan eşit miktarda akım akacaktır. Teorik olarak akımların birbirlerine yakın/eşit olduğu durumda nötrden akan akım miktarı 0 veya sıfıra yakın değerler olacaktır. Şekil 6.15'te gösterilen 3 faz kısa devre edildiği durumda faz-toprak arasında çalışan personel üzerinden akan akım miktarı nötrden geçen akan akım ile ilgilidir. Nötr iletkeninden akım geçmediği durumda personel üzerinden de akım geçmez. Dengesiz yük durumunda nötr iletkeninden geçen akım miktarının yaklaşık yüzde 3'ü personelden geçmekte ve bu değerler de personele zarar vermeyecek seviyelerde olmaktadır.




**Şekil 6.15.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.

Şekil 6.16'da, 3 faz kısa devre edildiği durumda faz-faz arasında çalışan personel için nötrden akan akım miktarı 0 olmasına rağmen personel üzerinden akan akım miktarı 550 mA'dir. Bu akımı etkileyen etkenler ise faz-faz kısa devre akımı ve mandallar ile iletken arasındaki geçiş direncidir. Bu geçiş direnci 0,2 ohm civarında alınmış olup bu direnç ölçülerek daha net sonuçlar alınabilir. Personel aynı anda iki faz iletkenine temastan kaçınmak suretiyle güvende çalışma yapabilir.




**Şekil 6.16.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.

Çizelge 6.10'da demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

**Çizelge 6.10.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<100mA | 100mA<x<3A | 3A<x |

| | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK DURUMU | PERSONEL POZİSYONU | Dengesiz yük durumunda Nötr akımı (Amper) | Personel üzerinden geçen akım (Amper) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3FAZ HATALI BESLENME DURUMU | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | Faz-Toprak arasında çalışan personel | YOK | 20 |
| | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | | 31 |
| | | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA VAR | Faz-Toprak arasında çalışan personel | 1 | 0,00019996 |
| | | | | 100 | 0,019996001 |
| | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | 0 | 0,549890022 |
| | | | | 1000 | 0,549890022 |

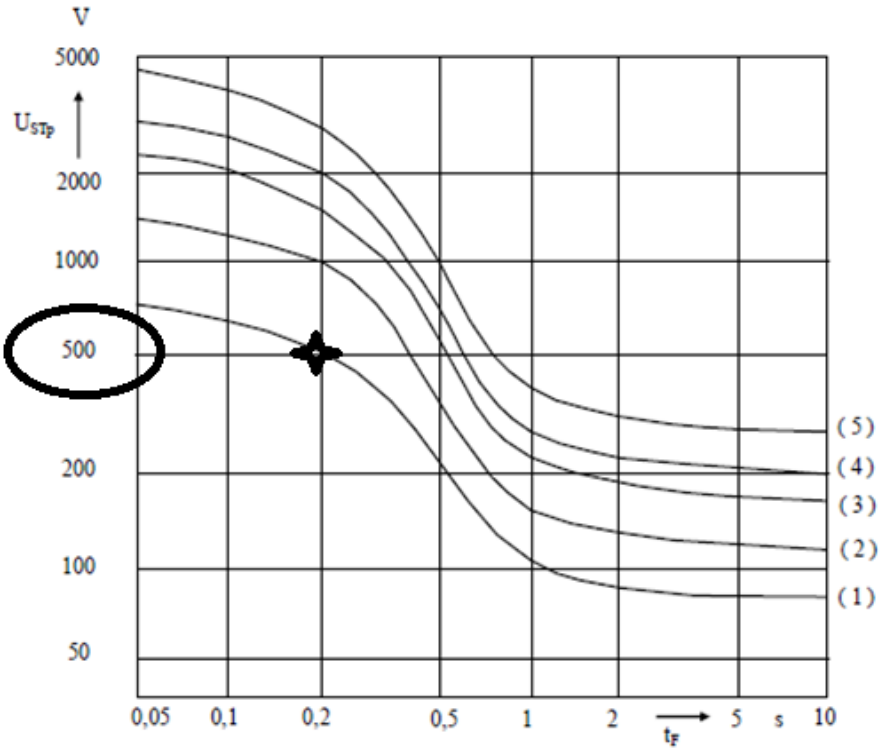
# BÖLÜM 7

## SONUÇ ve ÖNERİLER-2 (Zamana bağlı 500mA tehlikeli sınır değer kabul edilirse)

Çalışma yapılacak hat 3 faz-toprak kısa devre yapıldığı durumda mevcut sistemdeki röle korumaları faz-faz veya faz-toprak kısa devresinde ani açma devreye girecektir. Röle korumalarında ani açma süreleri maksimum 200 ms'dir. Yani kesici en fazla 200 ms'de açma gerçekleştirmektedir. Yönetmeliğin belirttiği *"sınır süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri"* eğrisi 200 ms için 500 Volt'tur. 500/1000=0,5 Amper personelden geçecek olan akım miktarıdır.

Sadece 3 faz kısa devre edildiği durumunda faz-toprak kısa devre ani açma devreye girmeyebilir. Bundan dolayı 3 faz kısa devre edilmiş hat mutlaka toprak ile irtibatlandırılmalıdır.

Şekil 7.1'de de görüldüğü üzere sonuç olarak 3 faz-toprak kısa devre edilmiş bir hatta çalışma yapan personel için tehlikeli akım sınırı 500 mA'dir. Aşağıdaki çalışmalar bu değerlere göre yapılmıştır.




| | | | |
|---|---|---|---|
| (1) | Ek dirençsiz | | |
| (2) | Ra=750 ohm | Ra1=0 ohm | ρs=500 ohm |
| (3) | Ra=1750 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=500 ohm |
| (4) | Ra=2500 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=1000 ohm |
| (5) | Ra=4000 ohm | Ra1=1000 ohm | ρs=2000 ohm |

| | |
|---|---|
| Ra1 | değeri kullanılmış nemli ayakkabılar için bir ortalama değer |
| ρs | bir tesisin sathındaki toprak özdirenci |
| Ustp, | kaynak gerilimi |
| $tF$ | hata süresi |
| Ra2 | basılan yerdeki toprak yayılma direnci |

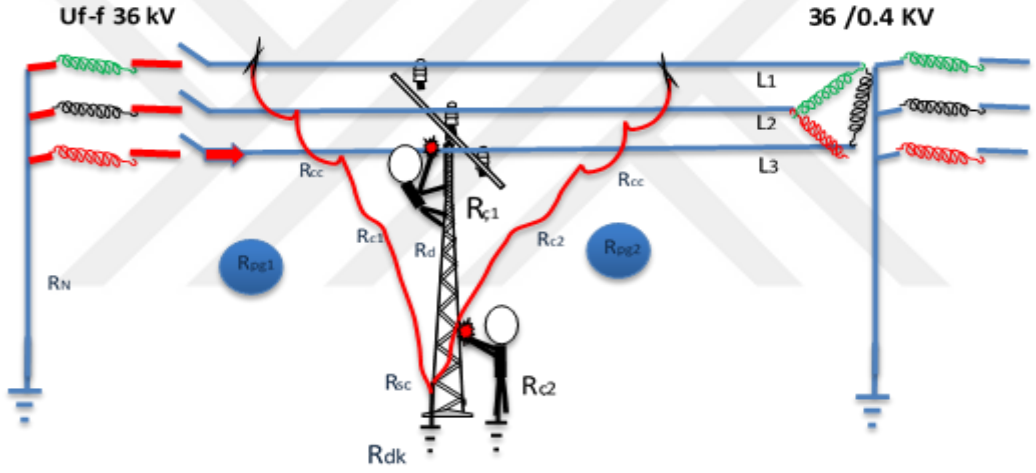
Farklı ek dirençler Ra=Ra1+Ra2 için Ustp=$f(tF)$ eğrileri şekilde verilmiştir.

**Şekil 7.1.** Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri eğrisinde 200 ms süre için geçen sınır akımın bulunması (Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, 2001).

## 7.1. Sonuçlar 2

### 7.1.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.2'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. 50×0,112=2,6Ω hesaplanmıştır. Çizelge 7.1'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 7.2.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 7.1.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

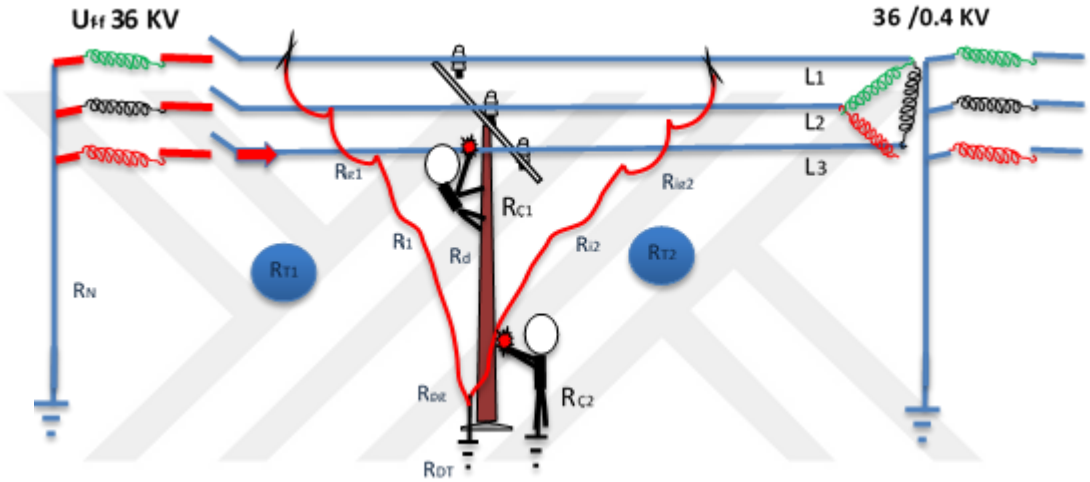
| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 19,51 | 0,097 | 19,41 | 0,096 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 11,8 | 0,059 | 10,59 | 0,053 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,65 | 3,36 | 0,53 | 2,74 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,37 | 3,91 | 0,3 | 3,21 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 8,46 | 0,042 | 7,28 | 0,036 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,318 | 3,05 | 0,267 | 2,79 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,186 | 3,95 | 0,152 | 3,23 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 3,96 | 0,022 | 3,94 | 0,022 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 3,5 | 0,017 | 2,99 | 0,015 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,358 | 1,86 | 0,22 | 1,15 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,199 | 2,11 | 0,125 | 1,32 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 3,13 | 0,016 | 2,41 | 0,012 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,19 | 1,82 | 0,11 | 1,19 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,09 | 2,17 | 0,056 | 1,35 |

### 7.1.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.3'te ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir. Ağaç direklerin dibinde koruma topraklaması olmadığı varsayılmış olup direkten toprağa geçiş direnci 500 ohm olarak

alınmıştır. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km'de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. Eşdeğer direnç, 50×0,112=2,6Ω olarak hesaplanmıştır. Çizelge 7.2'de ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir. Ağaç direklerde koruma toprağının olduğu ve traverslerin topraklandığı durumda hesaplar demir direkteki hesaplarla aynı olmaktadır.




**Şekil 7.3.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 7.2.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

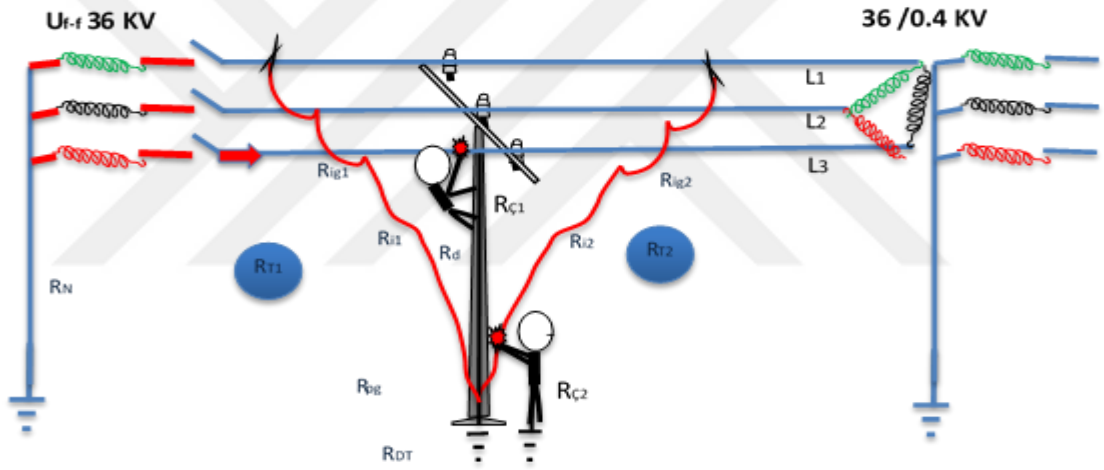
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| AĞAÇ DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,297 | 0,245 | 0,297 | 0,245 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,179 | 0,147 | 0,161 | 0,132 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,147 | 1,47 | 0,132 | 1,32 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,235 | 2,45 | 0,233 | 2,42 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,128 | 0,105 | 0,11 | 0,091 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,106 | 1,06 | 0,091 | 0,917 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,235 | 2,45 | 0,232 | 2,42 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,06 | 0,049 | 0,06 | 0,05 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,053 | 0,043 | 0,045 | 0,037 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,043 | 0,435 | 0,037 | 0,373 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,047 | 0,037 | 0,036 | 0,03 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,039 | 0,391 | 0,03 | 0,303 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,049 | 0,506 | 0,048 | 0,5 |

### 7.1.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.4'de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir. Hesaplamalarda pigeon iletkenle işlem

yapılmış olup iletkenin direnci 0,337 Ω/km'dir. 50 km'de 3 iletkendeki eşdeğer direnç hesabı kullanılmıştır. Eşdeğer direnç, 50×0,112=2,6Ω olarak hesaplanmıştır. Çizelge 7.3'te beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.

Beton direk 1 metre direnci 300 kohm'dur. Beton direğin gövdesinde demir bulunduğu için temas edilen demir yüzey ile toprak arası mesafe 5 cm olarak hesaplanmış olup beton direğin direnci 15 kohm olarak alınmıştır. Beton direğin topraklama iletkeninin var olduğu ve traversin topraklandığı varsayılmıştır. Çalışan personel traverse temas ettiği durumda hesaplar demir direkteki hesaplarla aynı olmaktadır.




**Şekil 7.4.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

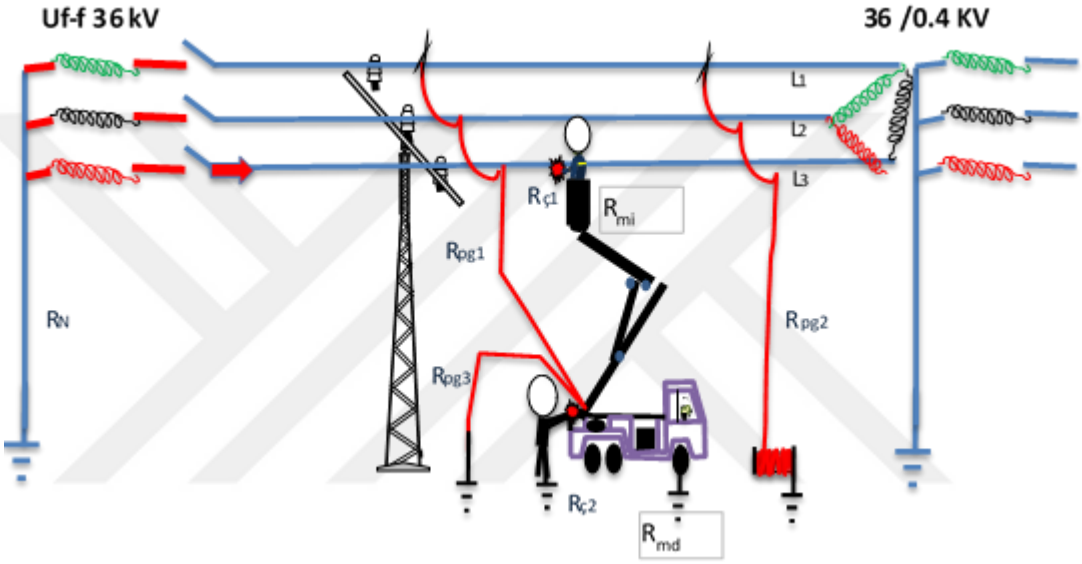
**Çizelge 7.3.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 1,25 | 0,0004 | 1,25 | 0,0004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,749 | 0,0002 | 0,674 | 0,0002 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,049 | 0,212 | 0,041 | 0,173 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,048 | 0,24 | 0,04 | 0,198 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,535 | 0,0002 | 0,461 | 0,0001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,026 | 0,193 | 0,021 | 0,157 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,245 | 0,02 | 0,201 |
| | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,25 | 0,00008 | 0,25 | 0,00008 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,22 | 0,00007 | 0,189 | 0,00006 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,027 | 0,115 | 0,017 | 0,071 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,125 | 0,016 | 0,08 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,197 | 0,00006 | 0,152 | 0,00005 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,015 | 0,114 | 0,009 | 0,068 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,013 | 0,132 | 0,008 | 0,083 |

### 7.1.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.5'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli gösterilmiştir. Bu çalışma şekline göre yapılan hesaplamaların sonuç çizelgesi Çizelge 7.4'te gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde 1. ve 2. çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 7.5.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

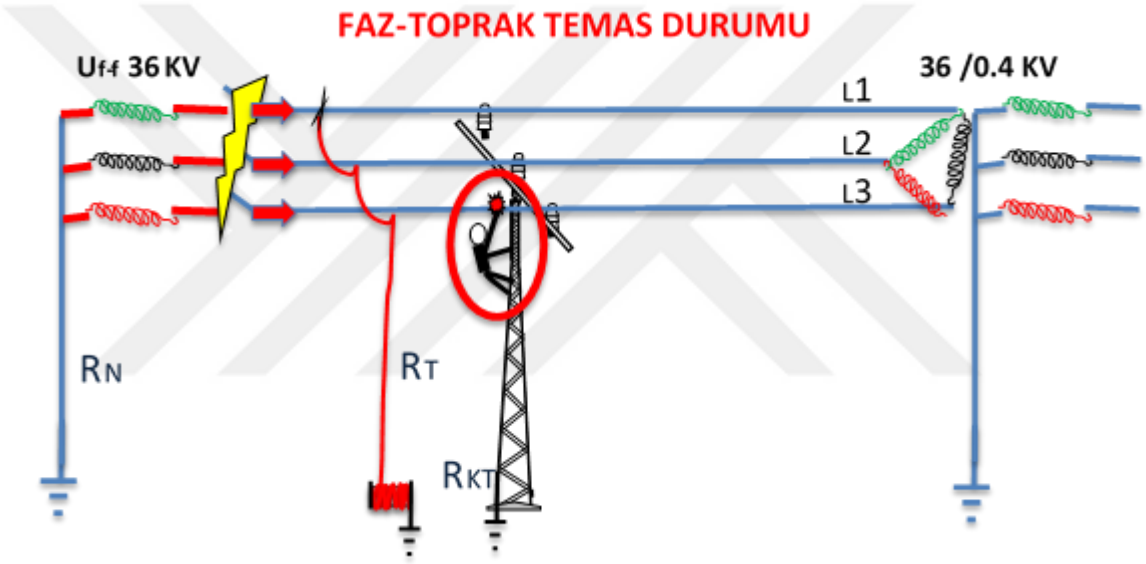
**Çizelge 7.4.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personel ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi.

| EHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

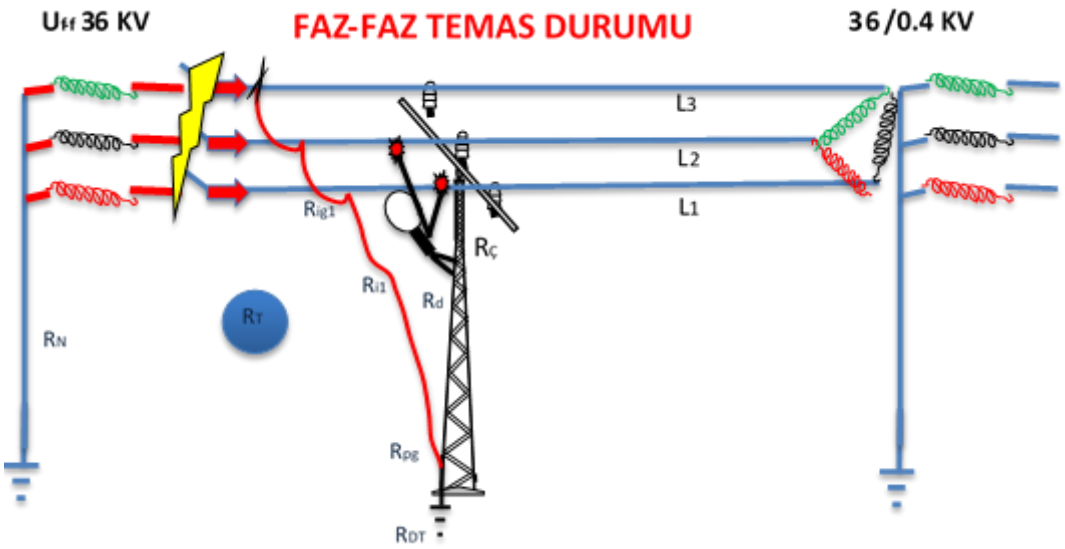
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK, AĞAÇ DİREK, BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,04 | 0,004 | | 0,04 | 0,004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,024 | 0,002 | | 0,022 | 0,002 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,001 | 10,36 | | 0,001 | 9,18 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,0004 | 16,25 | | 0,0004 | 15,47 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,017 | 0,002 | | 0,015 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,0001 | 7,72 | | 0,0001 | 6,61 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,00002 | 16,32 | | 0,00002 | 15,54 |
| | | | | | | | | |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,008 | 0,001 | | 0,008 | 0,001 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,007 | 0,001 | | 0,006 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,001 | 3,27 | | 0,001 | 2,72 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,0001 | 3,79 | | 0,0001 | 3,58 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,006 | 0,001 | | 0,005 | 0,001 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,0001 | 2,96 | | 0,0001 | 2,24 |
| | | | ARAÇTAN PRİZ TOPRAKLI | 0,00001 | 3,81 | | 0,00001 | 3,6 |

### 7.1.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu

Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 faz hatalı beslenen ve faz-toprak ile faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekilleri gösterilmiştir. Çizelge 6.8'de ise demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz ile faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren senaryoların hesaplama çizelgesi gösterilmiştir. Bu çizelgede farklı koruma topraklama şekilleri neticesinde çalışan üzerinden akacak akım miktarları görülmektedir.




**Şekil 7.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.




**Şekil 7.7.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumunu gösteren örnek çalışma şekli.

**Çizelge 7.5.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz ve faz-toprak arasına temas eden personelin ve koruma topraklamalarının durumlarını gösteren senaryoların hesaplama tabloları.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TIRMANARAK ÇALIŞMA | 3 FAZ HATALI BESLEME DURUMU | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK DURUMU | PERSONEL POZİSYONU | Dengesiz yük durumunda Nötr akımı (Amper) | Personel üzerinden geçen akım (Amper) |
| | | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | Faz-Toprak arasında çalışan personel | YOK | 20 |
| | | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | | 31 |
| | | | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA VAR | Faz-Toprak arasında çalışan personel | 1 | 0,00019996 |
| | | | | | 100 | 0,019996001 |
| | | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | 0 | 0,549890022 |
| | | | | | 1000 | 0,549890022 |

## 7.2. Öneriler 2

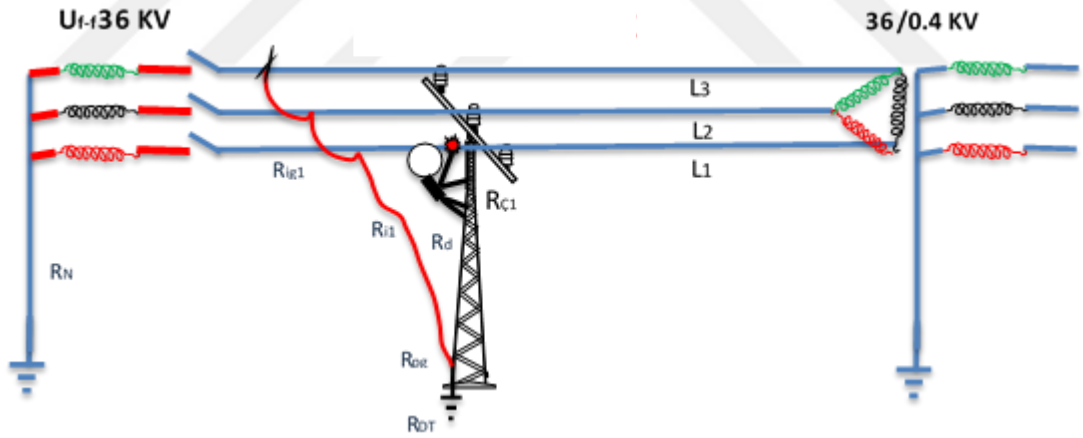
### 7.2.1. Demir Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.8 ‘de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir. Bu topraklama şekli, tek taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır. Şekil 7.9 ‘da demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir. Bu topraklama şekli, tek taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır.

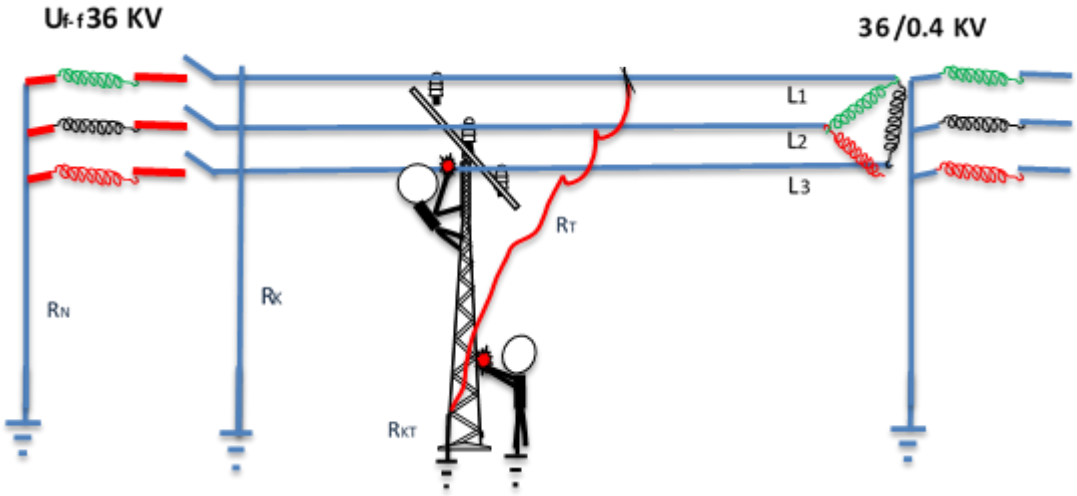
Bu topraklama şekillerinin uygulama zorlukları ve kendi içinde özel riskleri ayrıca değerlendirmeye alınmalıdır. Bu özel riskler içerisinde enerjisi kesilmiş olan

iletkenlerin, personel koruma topraklama mandallarıyla temas ettiği yerlerde bir hata akımı durumunda ark patlaması ve şiddetli salınım meydana gelebilme ihtimali de bulunmaktadır. Bundan dolayı personel koruma topraklamaları, direk üzerinde çalışanın bu ark patlaması ve salınımdan zarar görmeyeceği mümkün olan en uzak noktadan yapılmalıdır. Bununla beraber bu mesafe çalışma zorluklarını optimum seviyede tutabilmek için personelin tırmanarak çalışacağı direk üzerinden uzanarak yapabileceği en uzak mesafe olmalıdır. Bunun kararını verebilmek için çalışma yapılacak olan sahanın ve göze alınabilecek risklerin yöneticiler tarafından doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. İletken kopuğu gibi açık devre olma durumlarında çift taraftan, ayrı ve eşpotansiyel topraklı olarak topraklama yapılmalıdır.

Aşağıda bulunan personel prizden topraklanmış direğe temastan kaçınmalı, temas etmek zorunda ise yalıtılmış halı/sehpa ve yalıtkan eldiven kullanarak direnci artırılmalıdır. Ancak bu şekilde korunma sağlanabilir.




**Şekil 7.8.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).




**Şekil 7.9.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Çizelge 7.6'da demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

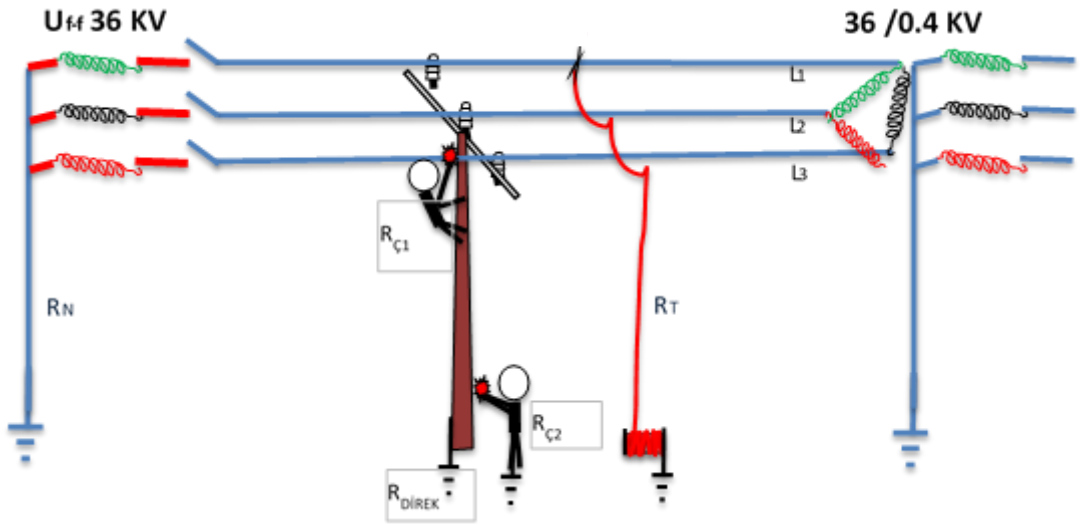
**Çizelge 7.6.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | PRİZ TOPRAKLI | 0,37 | 3,91 | | 0,3 | 3,21 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,318 | 3,05 | | 0,267 | 2,79 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,186 | 3,95 | | 0,152 | 3,23 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,358 | 1,86 | | 0,22 | 1,15 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,199 | 2,11 | | 0,125 | 1,32 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,19 | 1,82 | | 0,11 | 1,19 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,09 | 2,17 | | 0,056 | 1,35 |

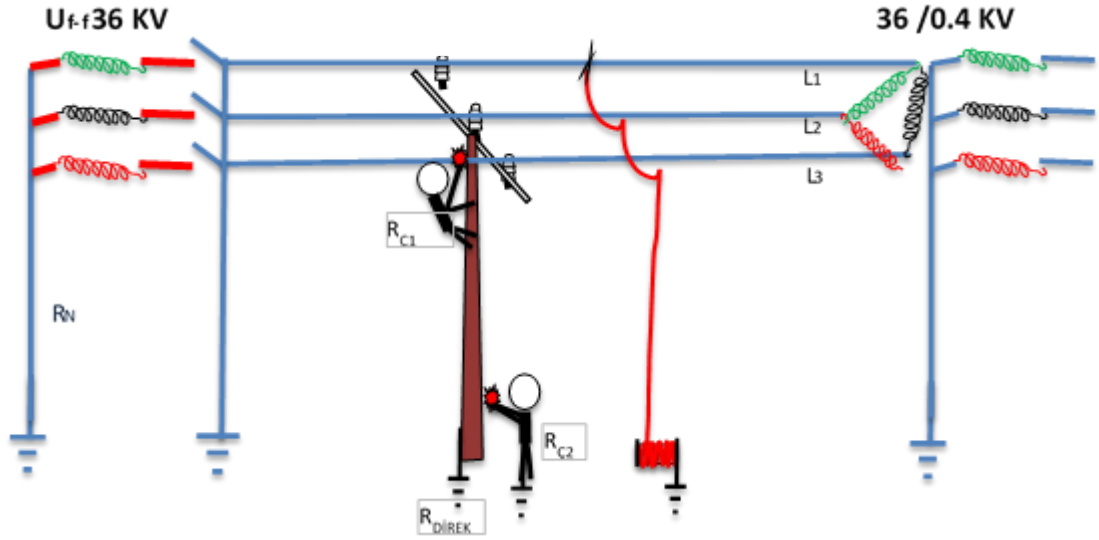
### 7.2.2. Ağaç Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.10'da ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.10.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 7.11'de ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.11.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Çizelge 7.7’de ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

Ağaç direklerde tırmanarak yapılan çalışmalarda dağıtım merkezi koruma toprağı bulunsun veya bulunmasın, çalışan üzerinden geçen akım miktarları zararsız gözükmektedir. Koruma rölelerini aktif duruma geçirmek için 3 faz- toprak kısa devre oluşturmak için tek taraftan personel koruma toprak, ayrı toprak yapılmalıdır.

Ağaç direklerde koruma topraklamasının bulunmadığı varsayılmıştır. Ağaç direklerde koruma topraklaması varsa, travers ve gövde topraklı ise sistem demir direk gibi davranacaktır. Bu durumda "Demir Direkte Tırmanarak Yapılacak Çalışmalarda" alınacak önlemler uygulanmalıdır.

İletken kopuğu gibi açık devre olma durumlarında çift taraftan, ayrı topraklı olarak topraklama yapılmalıdır.

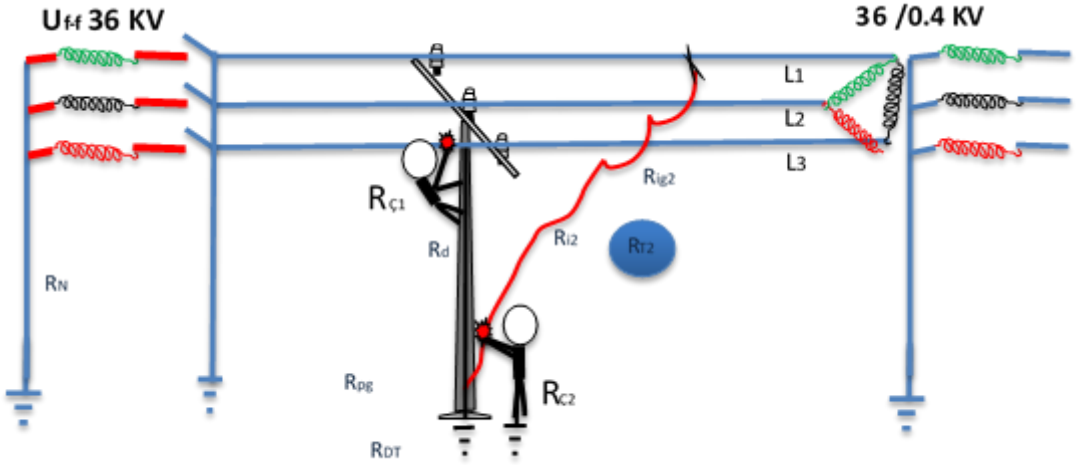
**Çizelge 7.7.** Ağaç direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| AĞAÇ DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,297 | 0,245 | | 0,297 | 0,245 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,179 | 0,147 | | 0,161 | 0,132 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,128 | 0,105 | | 0,11 | 0,091 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,06 | 0,049 | | 0,06 | 0,05 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,053 | 0,043 | | 0,045 | 0,037 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,043 | 0,435 | | 0,037 | 0,373 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,047 | 0,037 | | 0,036 | 0,03 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,039 | 0,391 | | 0,03 | 0,303 |

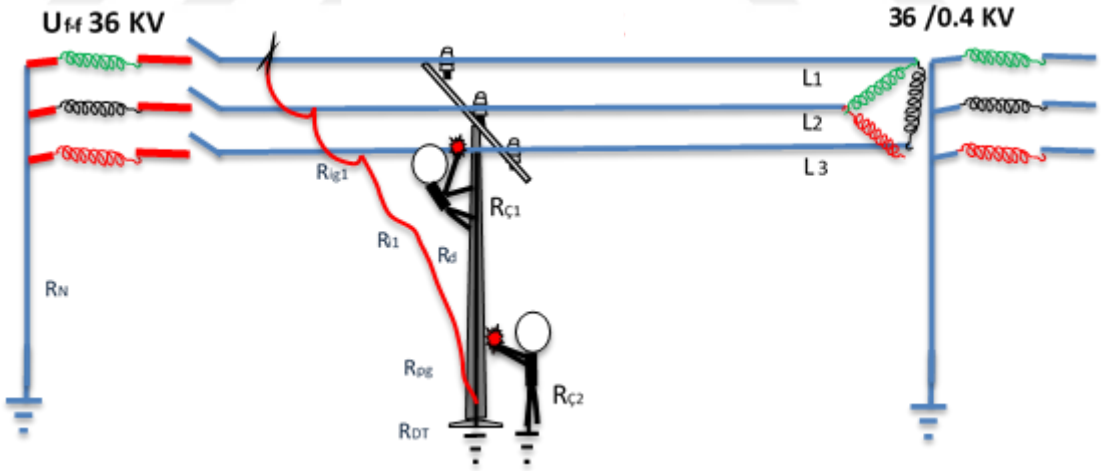
### 7.2.3. Beton Direkler Üzerinde Tırmanarak Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.12'de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.12.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 7.13'te beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.13.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Çizelge 7.8’de beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

Beton direklerde tırmanarak yapılan çalışmalarda en az bir topraklamanın yeterli olduğu görülmektedir. Fakat beton direklerde koruma topraklaması bulunmaktadır. Çalışan personelin travers ve koruma topraklama iletkenine temas durumu vardır. Bu durumda sistem demir direk dibi davranacağı için "Demir Direkte Tırmanarak Yapılacak Çalışmalarda Alınacak Önlemler” uygulanmalıdır. Yani çalışan personel üzerinden geçen akımı zararsız sınırlarda tutmak için tek taraftan topraklı ve priz topraklı olmalıdır.

Aşağıda bulunan 2 numaralı personel, prizden topraklanmış direğin topraklama iletkenine temastan kaçınmalı, temas etmek zorunda ise yalıtımlı halı/sehpa ve yalıtkan eldiven kullanarak direnci artırılmalıdır.

İletken kopuğu gibi açık devre olma durumlarında çift taraftan, ayrı ve eşpotansiyel topraklı olarak topraklama yapılmalıdır.

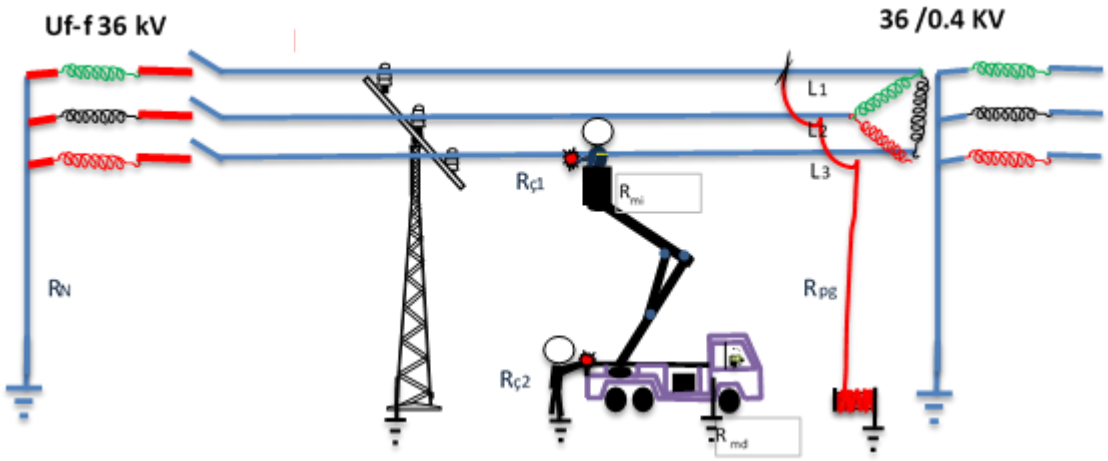
**Çizelge 7.8.** Beton direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI(A) | | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,049 | 0,212 | | 0,041 | 0,173 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,048 | 0,24 | | 0,04 | 0,198 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRKLI | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,026 | 0,193 | | 0,021 | 0,157 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,245 | | 0,02 | 0,201 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,25 | 0,00008 | | 0,25 | 0,00008 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,22 | 0,00007 | | 0,189 | 0,00006 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,027 | 0,115 | | 0,017 | 0,071 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,025 | 0,125 | | 0,016 | 0,08 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,197 | 0,00006 | | 0,152 | 0,00005 |
| | | | AYRI VE EŞPOTANSİYEL TOPRAKLI | 0,015 | 0,114 | | 0,009 | 0,068 |
| | | | PRİZ TOPRAKLI | 0,013 | 0,132 | | 0,008 | 0,083 |

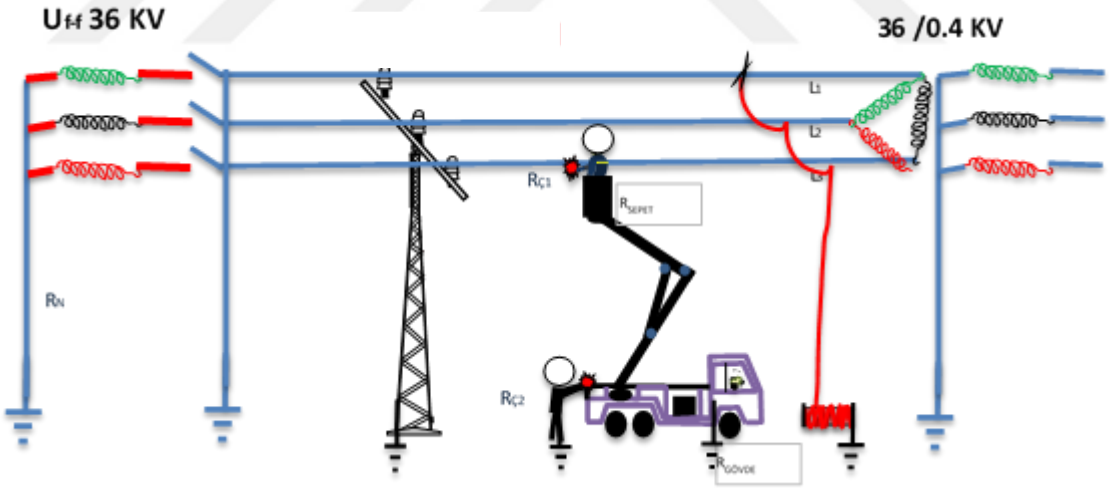
### 7.2.4. Yalıtkan Sepetli Araçlarla Demir, Beton Ve Ağaç Direklerde Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.14'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olmadığı durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.14.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraksız olduğu durum için).

Şekil 7.15'te yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda şebekenin dağıtım merkezinden topraklı olduğu durumda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamaları gösterilmiştir.




**Şekil 7.15.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil (Dağıtım merkezinden topraklı olduğu durum için).

Çizelge 7.9'da yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi gösterilmiştir.

Sepetli araç ile yapılan çalışmalarda;

1- Personel, sepetli araç içerisinde çalışma yaptığı durumda, direğe temas edecek kadar yakın çalışma yapıyorsa, o cins (demir direk, beton direk, ağaç direk) direkte yapılan çalışma için gerekli topraklama faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.

2- Personelin iletkenlerde çalışma yaptığı ve direklere temasının bulunmadığı çalışmalarda, Sepetli araçta sepetin yalıtım seviyesinin 500 kohm olduğu varsayılmıştır. Bu durumda personel hiçbir topraklama yapılmamış hatta dahi zarar görmeyecektir. Fakat hata durumunda röle sistemlerinin devreye girebilmesi için en az bir topraklamanın bulunması gerekmektedir.

Personelin zarar görmemesi için sepetin yalıtım seviyesi minimum 200 kohm seviyesinden yukarıda olması gerekmektedir. Net direnç değerleri bilinmediği için bu personelin üzerinden geçen akım miktarları faraza kalmaktadır. Gerçek değerler için sepetli aracın sepet direnç değerleri ölçülmelidir.

**Çizelge 7.9.** Yalıtkan sepetli araçlarla demir, beton ve ağaç direklerde yapılan çalışmalarda personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| | | | | KAYNAĞA 5 METRE UZAKLIKTA | | KAYNAĞA 50 KİLOMETRE UZAKLIKTA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DİREK CİNSİ | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK SAYISI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA ŞEKLİ | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 1. ÇALIŞAN AKIMI (A) | 2. ÇALIŞAN AKIMI (A) |
| DEMİR DİREK, AĞAÇ DİREK, BETON DİREK | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,04 | 0,004 | 0,04 | 0,004 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,024 | 0,002 | 0,022 | 0,002 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,017 | 0,002 | 0,015 | 0,001 |
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKLI | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | TOPRAKLAMASIZ | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,001 |
| | | TEK TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,007 | 0,001 | 0,006 | 0,001 |
| | | ÇİFT TARAFTAN TOPRAKLI | AYRI TOPRAKLI | 0,006 | 0,001 | 0,005 | 0,001 |

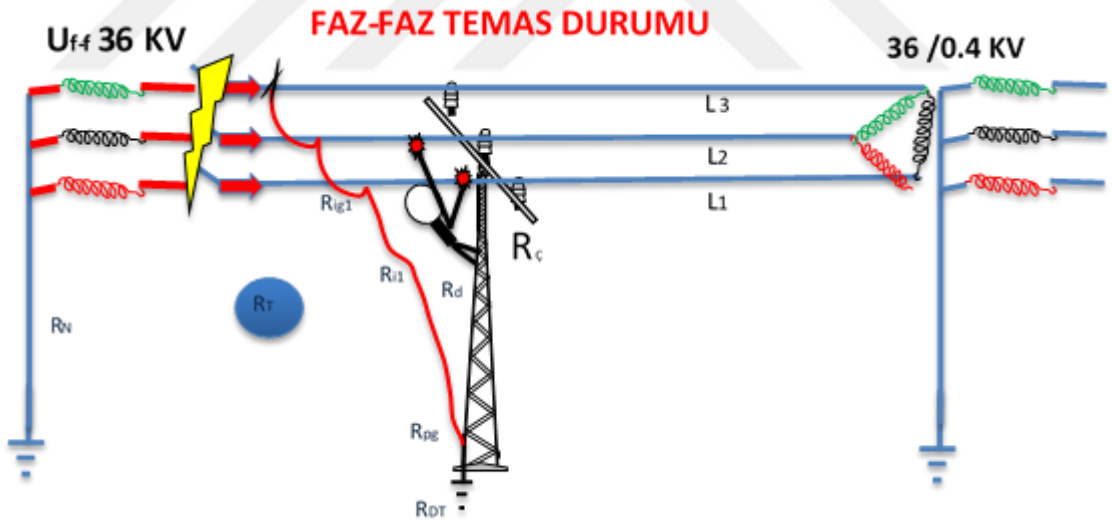
### 7.2.5. Tırmanarak Yapılan Çalışmalarda 3 Faz Hatalı Besleme Durumu

Şekil 7.16'da demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir.




**Şekil 7.16.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.

Şekil 7.17'de demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumu gösterilmiştir.




**Şekil 7.17.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen ve faz-faz arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının durumunu gösteren şekil.

Daha önce yapılan değerlendirmeler tek fazdan hatalı besleme durumu için yapılmıştı. Çizelge 7.10'da ise 3 faz beslenen bir hat üzerinde personel koruma

topraklama ile 3 faz kısa devre edildiği durumda dengeli bir yük durumu olup her fazdan eşit miktarda akım akacaktır. Teorik olarak akımların birbirlerine yakın/eşit olduğu durumda nötrden akan akım miktarı 0 veya sıfıra yakın değerler olacaktır.

3 faz kısa devre edildiği durumda faz-toprak arasında çalışan personel üzerinden akan akım miktarı nötrden geçen akan akım ile ilgilidir. Nötr iletkeninden akım geçmediği durumda personel üzerinden de akım geçmez. Dengesiz yük durumunda nötr iletkeninden geçen akım miktarının yaklaşık yüzde 3'ü personelden geçer. Bu değerlerde kabul edilebilir seviyelerde olmaktadır.

3 faz kısa devre edildiği durumda faz-faz arasında çalışan personel için, nötrden akan akım miktarı 0 (sıfır) amper olmasına rağmen personel üzerinden akan akım miktarı 550 mA'dir. Bu akımı etkileyen etkenler ise faz-faz kısa devre akımı ve mandallar ile iletken arasındaki geçiş direncidir. Bu geçiş direnci 0,2 ohm civarında alınmış olup bu direnç ölçülerek daha net sonuçlar alınabilir.

Personel ancak aynı anda iki faz iletkenine temastan kaçınmak suretiyle güvende çalışma yapabilir.

**Çizelge 7.10.** Demir direk üzerinde tırmanarak yapılan çalışmalarda, 3 Faz hatalı beslenen, faz-faz veya faz-toprak arasına temas eden personelin zarar görmemesi için yapılması önerilen koruma topraklamalarının hesaplama çizelgesi.

| TEHLİKESİZ | KALP DURMASI/ KAS KASILMASI | İÇ YANIKLAR |
|---|---|---|
| x<500mA | 500mA<x<3A | 3A<x |

| 3FAZ HATALI BESLENME DURUMU | DAĞITIM MERKEZİ TOPRAK DURUMU | PERSONEL KORUMA TOPRAK DURUMU | PERSONEL POZİSYONU | Dengesiz yük durumunda Nötr akımı (Amper) | Personel üzerinden geçen akım (Amper) |
|---|---|---|---|---|---|
| | DAĞITIM MERKEZİNDEN TOPRAKSIZ | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA YOK | Faz-Toprak arasında çalışan personel | YOK | 20 |
| | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | | 31 |
| | | PERSONEL KORUMA TOPRAKLAMA VAR | Faz-Toprak arasında çalışan personel | 1 | 0,00019996 |
| | | | | 100 | 0,019996001 |
| | | | Faz-Faz arasında çalışan personel | 0 | 0,549890022 |
| | | | | 1000 | 0,549890022 |

Topraklama ile ilgili yapılan analiz sonucunda;

Bu çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar teorik hesaplama olmakla beraber ulaşılan sonuçlar, pratikte yapılacak olan deney sonuçları ile karşılaştırılmalıdır. Bunun sonucu olarak ihmal edilen etkenlerin hesaplamalara yansıyan hata miktarları giderilerek daha kesin sonuçlar çıkarılması uygun olacaktır.

Yalıtımsız YG Havai hatlarda birçok çalışma şekli düşünülerek senaryolara göre hesaplamalar yapılarak sonuçlar değerlendirildi. Bu değerlendirmeler sonucunda, yapılacak olan personel koruma topraklamasının yön, sayı ve şekillerinin farklı varyasyonlarında hatta/direk gövdesine temas eden çalışan üzerinden akan akım miktarları önemli ölçüde değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Personel koruma topraklamasını etkileyen bir çok etken bulunmaktadır. Bu etkenler arasında arıza akımları, hata akımlarının büyüklüğü, hata akımlarının süresi, DC kayma ve mekanik kuvvet, indüksiyon, manyetik etki, yıldırım ve personel koruma topraklama teçhizatının teknik özellikleri yer almaktadır. Yapılan hesaplamalara bu etkenlerden bazılarının etkisi katılmıştır. Senaryolardan çıkan sonuçlara göre uygun personel koruma topraklama seçilirken bu etkenlerin tamamı göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygun personel koruma topraklama seçilirken iki ana çalışma yöntemi üzerinde sonuçlar değerlendirilmelidir. Bunlar;

1- yalıtkan sepetli araçlarla yapılan çalışmalar
2- tırmanarak çıkılan direkte yapılan çalışmalar

1- TS EN 61057 standardı gereği yalıtkan sepet gövdesi için yapılan test parametreleri gereği, 50 KV'luk gerilim için sepet gövdesinden müsaade edilen kaçak akım miktarı 5 mA'den az olmalıdır. Bu durumda sepet gövdesi yalıtım direnci en az 10 Megaohm olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalarda dış etkenler (yağmur, nem, deformasyon, test hataları vb.) düşünülerek sepet gövdesi yalıtım direnci 500 kohm olarak alınmıştır. Bu direnç değerleri bize, yalıtkan sepet içerisinden topraklama bulunmayan enerjilenmiş hatta temas eden çalışanın üzerinden zarar görmeyeceği miktarda akım geçeceği sonucunu vermektedir. Fakat tez içerisinde de değinildiği üzere hatta temas eden çalışan üzerinden akacak olan akımı etkileyen diğer faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla beraber hesaplamalara katılan yalıtkan sepetin direnç miktarı her yalıtkan sepet gövdesi için bu değerleri sağlamayabilir.

Bununla beraber topraklamasız bir hatta çalışma yapmak ulusal mevzuat ve standartlara aykırı bir durum oluşturmaktadır.

Sepet içerisinde çalışanın, arızaya müdahale ederken iletkenlerle beraber direk gövdesine veya diğer şebeke elemanlarına temas durumu bulunmaktadır. Bu durumda sepet yalıtkanlığının çalışanı korumasından bahsedilemez. Çünkü çalışan üzerinden geçen akım yolu üzerinde yalıtkan sepet gövdesi bulunmayacaktır. Bu durumda muhtemelen çalışan üzerinden akacak akım yolu el-el arasında olacaktır. Bu tarz bir çalışma senaryosunda yapılmış olacak topraklama, şebekede bulunan koruma sistemlerinin devreye girerek hata akım süresini minimize edecektir. Ancak topraklama yapılmış bir hat, çalışanı koruyacak veya daha az zarar görmesini sağlayacaktır.

Sepetli araç ile yapılan çalışma şekillerindeki bu ihtimaller göz önünde tutulduğunda, sadece sepetin yalıtkan olması yeterli güvenlik önlemi olmayacaktır. Çalışma alanında bulunan etkenler ve çalışma şartları göz önünde bulundurularak risk analizi yapılmalıdır. Risk analizi sonucunda kabul edilebilir risk seviyesi belirlenerek optimum personel koruma topraklama yöntemi belirlenmelidir.

2- Direklere tırmanarak yapılan çalışma senaryolarında demir direk, beton direk ve ağaç direk olmak üzere üç cins direk için hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. Bu hesaplama sonucunda en riskli görünen çalışma senaryolarının demir direk üzerinde yapılan çalışmalar olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple seçilecek olan tek bir uygulamanın tüm cins direklerde koruma sağlaması isteniyorsa en riskli olan demir direk üzerinde yapılacak çalışmalar için alınacak önlemler uygulanmalıdır.

Beton ve ağaç direk üzerinde yapılan çalışmalarda, demir direkten farklı olarak bu direklere özgü risklerinde bulunduğu göz ardı edilmemelidir. Standart ve yönetmelikler, YG Havai hatları taşıyan direklerin cinsi farketmeksizin tamamında koruma topraklamasının olması gerektiği belirtilmiştir. Fakat sahada bu koşulların tam sağlanmadığı görülmekle beraber çalışanın korunmasında koruma topraklaması önemli bir etkendir.

Her ne kadar ağaç direklerinin elektriğe karşı dirençleri yüksek olan bir malzeme olarak görülse de YG hatlarının gövdeye temas durumunda toprağa akan hata akımı hem çalışana hem şebekeye zarar verebilecek miktarlarda olmaktadır. Yapılan hesaplamalarda hata akım miktarları görülmekle beraber farklı hava koşullarında bu miktarlar değişiklik

göstermektedir. Ağaç direk üzerinde personel koruma topraklaması olmadan çalışma yapmanın çok tehlikeli bir faaliyet olduğu unutulmamalıdır. Ağaç direk üzerinde çalışma yapılacak ise risk değerlendirmesi yapılarak uygun personel koruma topraklaması yapılmalıdır. Hesaplamalarda görüldüğü kadarıyla demir direkte yapılması gerekli olan personel koruma topraklama faaliyetleri ağaç direk için de yapılması yeterli olacaktır.

Beton direkler gövdelerinde demir bulundurmaktadırlar. Beton direk üzerinde çalışma yapıldığı durumda, çalışanın temas ettiği beton yüzey ile demir iletkeni arasında birkaç cm'lik beton tabakası bulunmaktadır. Yapılan hesaplamalarda bu beton tabakası hesaba katılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Beton direğin toprak ile izolasyonu sağlaması açısından çalışanın zarar görmesini engelleyecek kadar yalıtkanlığı bulunmamaktadır. Zaten beton direk üzerinde bulunan traverslerin topraklı olması gerekmektedir. Bu durumda traverse temas eden çalışan aynı zamanda hatta da temas ederse demir direkte yapılan çalışma senaryoları ile benzer sonuçlar çıkacaktır. Hesaplamalarda görüldüğü kadarıyla demir direkte yapılması gerekli olan personel koruma topraklama faaliyetleri beton direk için de yapılması yeterli olacaktır.

Çalışma yapılan demir direk üzerindeki hattın öncesinden ve sonrasından üç faz kısadevre ve ayrı topraklama kazıkları ile yapılmış olan personel koruma topraklamasının çalışan için güvenli bir çalışma alanı sağlamadığı yapılan hesaplamalarla görülmektedir. Demir direk üzerindeki hatta temas eden çalışanın bir hata durumunda üzerinden akacak akım miktarı çalışana zarar vermeyecek miktarlarda olmalıdır. Çalışma senaryoları değerlendirildiğinde bu durumu sağlayacak olan birkaç personel koruma topraklama şekli olduğunu görebiliriz. Bu topraklama şekillerinden çalışma alanına en uygun olanı seçilmelidir. Seçilecek bu topraklama şekilleri diğer direklerde yapılan çalışmalar için de uygulanmalı. Bu şekilde bir seçim, tek bir uygulama ile tüm çalışma koşullarında yeterli topraklama faaliyetleri için yeterli olacaktır.

Senaryolarda bir hata akımı olduğu durumda yerde direk gövdesine temas eden çalışan üzerinden geçen akım miktarları da görülmektedir. Bu akımlar, yerde direk gövdesine temas eden çalışana zarar verebilecek miktarlardadır. Bunun için de ilave güvenlik önlemleri alınmalıdır. Bu önlemlerden topraklama hattına/ direk gövdesine temas edilmesini önlemek en uygunu olacaktır. Direk gövdesine/topraklama iletkenine temas edilmesi zorunlu olduğu durumda ise yalıtkan paspas, yalıtkan eldiven, yalıtkan

ayakkabı vb. koruyucu donanım ve ekipman kullanılması çalışanın zarar görme potansiyelini azaltacaktır.

# KAYNAKLAR


Bonner, J. T., Erga, B., Gibbs, W. W., & Gregorius, V. M. (1989). Test results of personal protective grounding on distribution line wood pole construction. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4(1), 810-817

Cole, W. H. & McDermott, T. E. (1984). A computer study and model demonstration of safety ground locations during high voltage line maintenance. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 103(3), 455-462

Dvorak, L. L. (1997). Evaluation of grounding methods used from maintenance of transmission lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(3), 1379-1384

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (30.11.2000). 10 Ocak 2021 tarihinde https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=9949&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 adresinden ulaşıldı.

Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (21.08.2001). 10 Ocak 2021 tarihinde https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10392&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 adresinden ulaşıldı.

ESMOL Subcommittee of T&D (1995). Methods for protecting workers and the public adjacent to electric utility vehicles. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(2), 950-960

Fleckenstein J. E. (2013). Calculating Currents in Balanced and Unbalanced Three Phase Circuits. 10 Ocak 2021 tarihinde https://pdhonline.com/courses/e336/e336content.pdf adresinden erişildi.

IEEE Std 1048 (2003). IEEE Guide for Protective Grounding of Power Lines.

IEEE Std 516 (2003). IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines.

IEEE Std 80 (2000). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

Lee, C. H., & Hsu, T. C. (2005). Evaluation of Grounding Schemes Used for Maintenance of Overhead Distribution Lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(3), 2211-2218

Malmedal, K., Sen, P. K., & Nelson, J. P. (2008). Electrical Safety Practices in Utilities and Personal Protective Grounding. *Copyright Material IEEE*, ESW2008-30

Mousa, A. M., & Srivastava, K. D. (1986). Safety against lightning for lineman working on de-energized power lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 6(1), 58

Mousa, A. M. (1982). New grounding procedures forwork on deenergized lines eliminate the need for ground switches. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101(8), 2668–2681

NFPA 70B (2006). Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance.

Safety and Regulations Working Group, IEEE Engineering in the Safety, Maintenance and Operation I of Lines Subcommittee Report (1995). Factors in sizing protective grounds. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(3), 1549-1569

Taylor, T. M., McIver, J. C., Weiler, D. C., Murray, W. A., & Bronfeld, J. D. (1995). Software development for the parametric analysis of personal protective grounding. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 10(1), 383-392

Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., Şimşek, B., & Çınar, E. (2018). Kendiliğinden Yerleşen Harçların Elektriksel Özdirenci Üzerine Mineral Katkıların Etkisi. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22(2), 986-992

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Denver, Colorado (2005). Personal Protective Grounding for Electric Power Facilities and Power Lines. *Facilities Instructions, Standards, and Techniques*. 10 Ocak 2021 tarihinde https://www.usbr.gov/power/data/fist/fist5_1/vol5_1a.pdf adresinden ulaşıldı.

Wahlberg, M., & Rönnberg S. (2017). Case study on electrical conductivity in wood poles. *Lulea, University of Technology Department of Engineering Sciences and Mathematics Division of Energy Science*. 10 Ocak 2021 tarihinde https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1076982/FULLTEXT02.pdf adresinden ulaşıldı.

# ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Asim LAÇIN

İlk ve orta öğrenimini Büyük Halkalı İlkokulu'nda, liseyi Halkalı Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde başladığı lisans öğrenimini 2006 yılında tamamladı. 2007 yılında vatani görevini tamamladıktan sonra başladığı mesleki tecrübesine, 2018 yılında yurtdışı tecrübesini de kattı. Trakya Üniversitesi Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Programı'nda yüksek lisans öğrenimine 2018 yılında başladı. 2014 yılından beridir TREDAŞ firmasında çalışmaktadır.