

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA EMPEDANSI VE TOPRAKLAMA
EMPEDANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Hasan Vural SİĞİRCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA
Kasım 2008

Tezin Başlığı: Elektrik Tesislerinde Topraklama Empedansı ve Topraklama
Empedansını Etkileyen Faktörler

Tezi Hazırlayan: Hasan Vural SİĞİRCİ

Sınav Tarihi: 23 Ekim 2008

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değeriendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri (ilk isim jüri başkanı, ikinci isim tez danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. Ö.Faruk ÖZGÜVEN (İnönü Üniversitesi)

Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ (İnönü Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Müslüm ARKAN (İnönü Üniversitesi)

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. İsmail ÖZDEMİR
Enstitü Müdürü

Onur Sözü

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Elektrik tesislerinde topraklama empedansı ve topraklama empedansını etkileyen faktörler” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Hasan Vural SİĞİRCİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA EMPEDANSI VE TOPRAKLAMA EMPEDANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Hasan Vural SİĞİRCİ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

57+VII sayfa

2008

Danışman: Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ

Elektrik tesislerinde topraklama, sistemin korunması ve güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. Elektrik tesislerinde topraklama genellikle geçmişten süre gelen alışılmış teknikler ile yapılmaktadır. Diğer taraftan, yapılan topraklamaların ne oranda güvenli olduğu konusunda da yeterli çalışma bulunmamaktadır. Halbuki topraklama empedansını etkileyen bir çok faktör (toprağın cinsi, nem oranı, topraklayıcının derinliği, boyutları gibi) vardır ve bunların topraklama empedansını ne oranda etkilediği yapılan topraklamanın kalitesi konusunda önem teşkil etmektedir.

Bu tezin ilk aşamasında topraklama ile ilgili teorik bilgiler araştırılmış ve topraklama çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Uygulama olarak çeşitli topraklama yöntemleri göz önüne alınarak deneysel çalışma yapılmış ve topraklama yapılan bölgedeki toprağın cinsi, nem oranı, topraklayıcının boyutları ve biçimi gibi faktörlerin topraklama empedansı üzerinde etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve çeşitli elektrik tesisatları için en uygun topraklama biçimleri belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Topraklama, topraklama empedansı, topraklayıcı.

ABSTRACT

Graduation Thesis

GROUNDING FOR ELECTRICAL SYSTEMS AND FACTORS INFLUENCING THE GROUND IMPEDANCE

Hasan Vural SIĞIRCI

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric and Electronics Engineering

57+VII pages

2008

Supervisor: Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ

In electrical systems, grounding is vitally important for system protection and safety requirements. In practice, grounding is usually done using traditional methods. On the other hand, there is no adequate study on the quality of grounding. There are several factors affecting the ground impedance (such as the type of soil, humidity, the type and dimensions of earthing electrode etc.) and the degree of quality of grounding depends on these factors.

In the first part of this thesis the theory of grounding is given and the types of grounding systems are described. Considering the different types of grounding systems, experimental studies has been carried out and the effects of soil type, humidity and the type and dimensions of earthing electrode on the quality of grounding has been investigated. The results obtained are discussed and some remarks on grounding for electrical systems are described.

Keywords: Grounding, grounding impedance, earthing electrode.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, tavsiye ve desteğini aldığım beni yönlendiren; bilgi ve birikimlerini bana aktaran ve değerli zamanını ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Salih MAMİŞ'e ;

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığında görev yapan öğretim üyelerine;

Tez çalışmam sırasında ölçümler yapmamı ve bütün kolaylığı sağlayan askeri kuruluşlardaki bütün yetkililere ve özel bölgelerdeki çalışanlara;

Ölçümler sırasında her türlü teknik bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ağabeyim Hamit KARAOĞLAN ve değerli babam Varol SIĞIRCI'ya;

Ayrıca tüm hayatım boyunca ilgi ve desteklerini benden esirgemeyen değerli aileme, tüm sevdiklerime ve özellikle sevgili eşim Serpil SIĞIRCI'ya;

Bu çalışmanın tamamlanması için 2007/45 numaralı proje kapsamında destek sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Merkezi Proje Yönetim birimine;

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ VE TOPRAKLAMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1. Elektrik Çarpması Sonuçları ve Elektrik Akımının Vücuttaki Etkiler.....	4
2.2. Topraklama Tesisinin Görevi	6
2.3. Topraklama İle İlgili Temel Kavramlar.....	7
2.4. Topraklama Sistemleri.....	14
2.4.1. Topraklama çubuğu.....	15
2.4.2. Topraklama levhası.....	16
2.4.3. Topraklama şeridi.....	17
2.4.4. Doğal topraklayıcı.....	20
2.4.5. Özel topraklayıcı.....	20
2.4.6. Birleşik topraklayıcı.....	20
2.4.7. Paralel topraklayıcı.....	20
2.4.8. Karma topraklayıcı.....	21
3. TESİSLERDE KULLANILAN TOPRAKLAMA ÇEŞİTLERİ.....	22
3.1. Koruma Topraklaması.....	22
3.2. İşletme Topraklaması.....	23
3.3. Yıldırım Topraklaması.....	24
3.4. Statik Topraklama.....	30
3.5. Topraklamaların Birleştirilmesi.....	30
4. YENİ TESİS EDİLECEK VEYA MEVCUT TOPRAKLAMA TESİSLERİNDE YAPILACAK ÖLÇMELER.....	32
4.1. Toprak Öz direncinin Ölçülmesi.....	32
4.2. Toprak Yayılma Dirençlerinin ve Topraklama Empedanslarının Ölçülmesi.....	32
4.3. Uygun Ölçme Yöntemleri ve Ölçü Cihazlarının Tipleri İçin Örnekler...	32
4.3.1. Topraklama ölçme cihazı	32
4.3.2. Yüksek frekanslı topraklama ölçme cihazı	34
4.3.3. Oldukça büyük akımların kullanıldığı akım-gerilim yöntemi	34
4.3.4. Tekil dirençlerden hesaplama yöntemi	36
4.4. Topraklama Geriliminin Tespiti	36
4.5. Topraklama Ölçmelerinde Yabancı ve Bozucu Gerilimin Yok Edilmesi	37
4.5.1. Salınım yöntemi.....	38
4.5.2. Kutup değiştirme yöntemi.....	38
4.5.3. Vektör ölçme yöntemi.....	38
4.5.4. Doğru akımların bloke edilmesi.....	39
4.6. Arıza çevrim (halka) empedansının ölçülmesi.....	39
5. UYGULAMALAR	41
5.1. Uygulama-1: İki Topraklayıcı Arasındaki Mesafenin Etkisi.....	41
5.2. Uygulama-2: Topraklamada Derinliğin Etkisi.....	45
5.3. Uygulama-3: Paratoner Topraklaması.....	48

5.4.	Uygulama–4: Malatya’da Çeşitli Yerlerde Yapılan Doğalgaz Topraklama Sistemi Ölçümleri.....	49
5.5.	Uygulama–5: Çeşitli Kimyasalların Etkisi.....	50
5.6.	Uygulama–6: Toprak Çeşitlerinin Eklenmesinin Etkisi.....	50
5.7.	Uygulama–7: Topraklama İletkeni Kesitinin Etkisi.....	51
	SONUÇ	53
	KAYNAKLAR	54
	EKLER	56
	ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Ventriküler fibrilasyon etkisi ile bozuk ritim ile çalışan kalp eğrisi.....	5
Şekil 2.2.	Referans toprağa göre topraklayıcının yer yüzeyinde meydana getirdiği potansiyel dağılımı.....	9
Şekil 2.3.	Bir yüksek gerilim tesisinde bir toprak teması olması durumunda temas gerilimi.....	11
Şekil 2.4.	Bir toprak kısa devresinde meydana gelen potansiyel dağılımı ve bu alanda bulunan bir insanın maruz kaldığı adım gerilimi.....	12
Şekil 2.5.	Ağ iletkenlerine akım yoğunluğu faktörünün değişimi.....	14
Şekil 2.6.	Çubuk topraklayıcı	15
Şekil 2.7.	Emdirmeli topraklayıcı	16
Şekil 2.8.	Levha topraklayıcı	17
Şekil 2.9.	Şerit topraklayıcıların çeşitleri	18
Şekil 2.10.	Gözlü topraklayıcı	19
Şekil 2.11.	Paralel topraklayıcı	21
Şekil 3.1.	Franklin çubuk paratonerle koruma	27
Şekil 3.2.	Faraday paratonerle koruma	28
Şekil 4.1.	Topraklama ölçmede kullanılan test cihazı.....	33
Şekil 4.2.	Oldukça büyük akımların kullanıldığı akım-gerilim yöntemiyle topraklama empedansının belirlenmesine örnek.....	34
Şekil 4.3.	Arıza çevrim (halka) empedansının gerilim düşümü yardımı ile ölçülmesi deneyi.....	40
Şekil 4.4.	Arıza çevrim (halka) empedansının ayrı bir besleme yardımı ile ölçülmesi deneyi.....	40
Şekil 5.1.	Uygulama-1 için sisteme belli aralıklarda yeni topraklayıcı eklenmesi.....	42
Şekil 5.2.	Şekil 5.2. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (deneysel).....	44
Şekil 5.3.	Şekil 5.3. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (teorik).....	44
Şekil 5.4.	Topraklayıcı ile toprak yüzeyi arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (deneysel).....	46
Şekil 5.5.	Topraklayıcı ile toprak yüzeyi arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (teorik).....	47
Şekil 5.6.	İletken kesitinin etkisi.....	52

TABLÖLER LİSTESİ		Sayfa
Tablo 2.1.	50 Hz'lik alternatif akımın insan vücudundan geçtiğinde yaptığı tesirler.....	5
Tablo 5.1.	Uygulama-1 için yapılan ölçümler.....	41
Tablo 5.2.	İki topraklayıcı arasındaki mesafenin artırılması ile yapılan ölçümler.....	43
Tablo 5.3.	Topraklayıcının derinliğinin değiştirilmesi ile ölçülen değerler.....	46
Tablo 5.4.	Yeni eklenen topraklayıcı ile yapılan ölçüm sonuçları.....	48
Tablo 5.5.	Paratoner topraklaması ölçümleri.....	48
Tablo 5.6.	Malatya'nın çeşitli yerlerinde yapılan doğalgaz topraklama sistemi ölçümleri.....	49
Tablo 5.7.	Çeşitli kimyasallar eklenerek yapılan ölçümler.....	50
Tablo 5.8.	Toprak çeşitleri eklenerek yapılan ölçümler.....	51
Tablo 5.9.	Topraklama iletkeni kesitinin etkisi.....	51
Tablo 5.10.	Topraklama iletkeninin uzunluğunun etkisi.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Akım Değeri (Amper)
Hz	: Frekans Değeri (Hertz)
kV	: Gerilim Değeri (1000 Volt)
mA	: Akım Değeri (10^{-3} Amper)
V	: Gerilim Değeri (Volt)
Ω	: Empedans veya Direnç Değeri (Ohm)

1. GİRİŞ

Topraklama tesisleri normal işletme esnasında varlığını hemen hemen hiç hissettirmedeği halde bir arıza halinde etkisini gösterir ve görevini yapar. Bu sebeple topraklama her an işletmede olmayan bir tür gizli tesistir ve elektrik tesislerinde topraklamaya gerektiği önemi vermek gerekir.

Topraklama başta insanlar olmak üzere diğer canlıların ve elektrikle iş gören donanımların tehlikeli gerilime maruz kalmasını önlemek ve koruduğu tesisin işletme geriliminde sürekliliğini güvenle sürdürebilmesi için ihtiyaç duyulan toprak potansiyelini sağlayacak elektrik tesisidir. Temelde topraklama tesisi, topraklanacak aksamın toprak ile bağlantısını sağlayan iletkenler ve toprak içine gömülen topraklayıcı adındaki iletkenlerin bütününe verilen isimdir. Topraklama tesisi, arıza durumunda meydana gelebilecek akımların tehlikeli gerilimine dönüşmeden toprağa akıtılmasını sağlayarak görevini yerine getirmelidir.

Elektrik makinelerinde, elektrik cihazlarında ve elektrik tesislerinde meydana gelen bir izolasyon hatası, makinelerin, cihazların ve tesislerin, işletme ile doğrudan doğruya ilgisi olmayan madeni ve iletken gövdelerinin, muhafazalarının veya tespit kısımlarının gerilim altında kalmasına sebep olur. Temas gerilimi veya adım gerilimi adı verilen bu gibi tehlikeli gerilimler, gerek işletme personeli için ve gerekse bahis konusu elektrik tesisleri ile herhangi bir şekilde temas halinde bulunabilecek olan şahıslar için hayat tehlikesine yol açarlar. İşletme personeli ve elektrik tesisleri ile temas edebilecek olan şahısları temas ve adım gerilimlerine karşı korumak için kuvvetli akım tesislerinde topraklama yapılır.

Bundan başka şebeke geriliminin toprağa karşı değerini belirli bir duruma getirmek için, bir işletme zorunluluğu olarak gerek şebekenin ve gerekse işletme araçlarının belirli noktaları da topraklanır.

Topraklama, esasen alçak gerilim tesislerinde insanları ve genel olarak canlıları tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı korumak için kullanılan çeşitli koruma metotlarından biri olarak bilinir. Fakat bugün alçak gerilim tesislerinde hata akımından ve hata geriliminden yararlanarak çalışan ve topraklama metodundan daha emin ve tesirli koruma metotları vardır. Buna karşılık yüksek gerilim tesislerinde hata gerilimlerine karşı tek koruma metodu topraklamadır.

Gerek alçak gerilim tesislerinde ve gerekse yüksek gerilim tesislerinde topraklamanın tesirli ve yararlı olabilmesi, bunun iyi yapılmış olmasına ve gerektiği anda öngörüldüğü şekilde çalışabilmesine bağlıdır. Enerji üretim, iletim, dağıtım ve tüketim tesislerinin projelendirilmesi, bu tesislerin yapılması ve işletilmesi esnasında topraklama tesislerine

gerekli önemi vermemek çok hatalı bir tutum olur. Maalesef bazı yanlış düşünceli teknik personel, diğer tesisler yanında topraklama tesislerini daha az önemli görerek ve bu tesislerin yönetmelik şartlarına uygun bir şekilde yapılması için masraf yapmaktan kaçınarak tasarruf yaptıklarını zannederler ve en azından topraklama tesislerini ilginç bulmazlarsa da sonunda bu hatalarını işletme personelinin veya tesisi kullanan şahısların sıhhati veya hayatı ile öderler.

Bir enerji sistemine ait topraklama tesisleri icabında yıllarca hiçbir fonksiyon icra etmeden, atıl bir durumda kalabilir ve ancak günün birinde bir izolasyon hatası baş gösterdiğinde bunun koruyucu tesiri, bu tesisler için yapılan masrafları ve yatırımları da bir anda haklı gösterebilir. Onun için enerji tesislerinin projesini hazırlayan ve tesisi kuran mühendislerin ve teknik personelin en önemli görevlerinden biri de, topraklama tesislerinin projelerini itinalı bir şekilde hazırlamak, tesisin kurulması esnasında bunun yönetmelik esaslarına uygun bir şekilde yapılmasını sağlamak, işletme esnasında kontrol etmek ve bunu bakım ve tamirini de yapmaktır.

Geçmişte topraklama, topraklama empedansı ve topraklama empedansını etkileyen faktörler ile ilgili yapılan çalışmalarda bilgisayar metotları, teknik ölçümler ve matematiksel formüllerden yararlanılmıştır. Donald A. Blank [1] tarafından 1991 yılında yapılan çalışmada topraklayıcıların şekline ve boyutlarına göre topraklama empedansının nasıl etkilendiği incelenmiştir. Güney Carolina üniversitesinde 1993 yılında G. J. Cokkinides [2] tarafından yapılan çalışmada ise bilgisayar modeli yardımı topraklama sisteminin gelişimi incelenmiştir. Arshad Mansoor vd. François Martzloff [3] tarafından yapılan çalışmada ise yıldırımın alçak gerilim tesisatına yayılması ve yaptığı etkiler incelenmiştir. C.-H. Lee vd. S.-D. Lin [5] ise alternatif akım topraklamasının doğru akım sistemleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. J.A.Sullivan [6] yaptığı çalışmada topraklayıcılarla ilgili farklı hesaplama metotları geliştirmiştir. Rene Castenschiold vd. Garden S.Johnson [7] tarafından yapılan çalışmada ise trafo gibi elektrik güç sistemleri için uygun topraklama sistemi incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİ VE TOPRAKLAMA İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

Enerji tekniğinde 1 kV'a kadar olan gerilimlere alçak gerilim ve 1 kV dahil olmak üzere daha yüksek gerilimlere yüksek gerilim denir. Evlerde ve bütün sanayi tesislerinde kullanılan küçük ve orta güçlü tüketiciler alçak gerilimli dağıtım şebekesi tarafından beslenirler; ancak çok büyük güçlü tüketiciler yüksek gerilim ile beslenirler. Alçak gerilimli dağıtım şebekeleri ise yüksek gerilim şebekelerine bağlıdır. Her nevi elektrik tesisinin, makinelerin ve cihazların projelendirilmesi, kurulması ve işletilmesi, her yerde geçerli olan standartlar ve yönetmelik hükümlerine göre yapılır. Yönetmelikler, temas ve hata gerilimlerini meydana gelmesine yol açan izolasyon hatalarının, birinci mertebede işletme araçlarının ve tesislerin en iyi kaliteli izolasyon malzemesi kullanılarak ve en bilgili ve yetişmiş elemanlar tarafından, itinalı bir şekilde yapılması ile önlenmelerini emreder. Buna ilave olarak ayrıca koruma tedbirlerinin alınması da öngörülmüştür.

Topraklamaların ve topraklama tesislerin birinci gayesi, bir izolasyon hatasının baş göstermesi halinde meydana gelecek olan temas adım geriliminin insan hayatının tehlikeye sokacak mertebede olmasını önlemek veya bu gibi tehlikeli gerilimleri tamamen ortadan kaldırmaktır. Böylece bir taraftan insan hayatının emniyeti sağlandığı gibi, diğer taraftan da işletme emniyeti şartları yerine getirilmiş olur.

Alçak gerilim tesislerinde insan hayatını tehlikeli gerilimlere karşı korumak için topraklamadan başka, belki daha da tesirli metotlar olduğu halde yüksek gerilim tesislerinde tehlikeli hata gerilimlerine karşı korumak için tek çare topraklamadır. Onun için topraklamanın özellikle yüksek gerilim tesislerinde önemi çok büyüktür. Şu halde topraklamanın yapılışında birinci derecede, bir izolasyon hatası sonucunda insan vücudu tarafından köprülenen gerilimlerinin tehlikeli değerlere yükselmemesine dikkat edilmelidir. İkinci derecede de atmosferik deşarjların düşük dirençli topraklamalar üzerinden toprağa sevk edilmeleri halinde birçok işletme arızaları önlenabilmektedir.; onun için son yıllarda havai hat şebekelerinde büyük masraflar yaparak düşük dirençli topraklamaların yapılması sağlanmıştır.

Çeşitli ülkelerde nerelerde ve nasıl uygulanacağı ve ne şekilde tesis edilip işletileceği hakkında yönetmelikler esas itibariyle birbirine çok benzerler. Onun için ülkemizde yürürlükte olan yönetmelikler yanında,

Alçak gerilim tesisleri için VDE 0100 sayılı "Nominal gerilimi 1000 V'a kadar olan kuvvetli akım tesislerinin kurulması için esaslar" isimli Alman yönetmeliği ile yüksek gerilim tesisleri için VDE 141 sayılı "Nominal gerilimi 1 kV'un üstünde olan alternatif akım tesislerinde topraklamalar için esaslar" isimli Alman yönetmeliği kullanılmaktadır [11].

2.1. Elektrik arpması Sonuçları ve Elektrik Akımının Vücuttaki Etkileri

Elektrik arpması ile meydana gelen kazalar, etki bakımından üç grupta toplanabilir.

- Elektrik akımının sinirler, adaleler ve kalp çarpması üzerindeki etkileri.
- Elektrik akımından doğan ısınmanın ve arkların yaptığı zararlar, yangınlar.
- Korku sebebi ile düşme, çarpma gibi mekanik zararlar.

İnsanlar ve hayvanlar üzerinde elektrik çarpması olayı aynı şekilde oluşur.

Vücudun iki noktası arasında farklı elektrik potansiyeli varsa, bu potansiyel farkına(gerilime) ve vücudun direncine bağlı olarak canlı üzerinden bir akım geçer. Akımın büyüklüğüne ve uygulama süresine göre çeşitli fizyolojik etkiler doğar. Vücut direnci bir taraftan uygulanan gerilimin değerine, frekansına bağlı iken diğer taraftan kişinin özelliklerine ve gerilimin uygulama noktalarına bağlıdır.

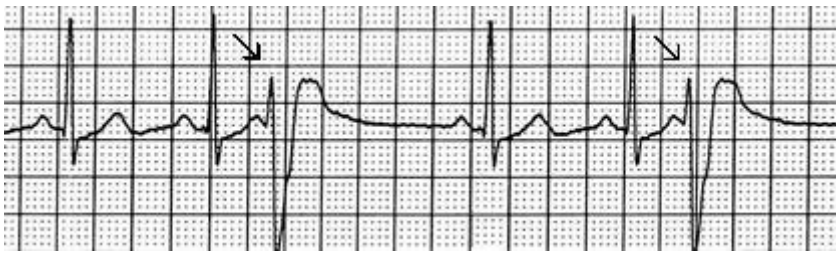
Tehlikeli temas veya adım gerilimlerine karşı koruma maksadı ile tesis edilen topraklamanın yapılışı, řu halde insan vücudundan geçen akımın insan sağlığı üzerine olan tesirine bağlıdır. 50 Hz'lik alternatif akımla insanlar üzerinde yapılan deneylere göre elde olunan sonuçlar Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Bu deneylerde temas gerilimine iki el ile veya bir el ve bir ayak ile temas edilmiştir.

Tablo 2.1. 50 Hz'lik alternatif akımın insan vücudundan geçtiğinde yaptığı tesirler

	50 Hz'lik akım şiddeti	İnsan vücudundaki tesirler
1	1 mA	Hissedilebilir.
2	2-4 mA	Parmaklarda sinirler titreşir.
3	5-7 mA	Kolda hafif kramp his edilir.
4	10-15 mA	Tutulan cisim henüz bırakılabilir.
5	19-22 mA	Çok acı duyulur, tutulan cisim bırakılmaz.
6	30 mA	Şiddetli acılar duyulur, eller çalışamaz olurlar.
7	50-100 mA	Ölümle sonuçlanır.
8	1-10 A	Yanmalar baş gösterir.

Buradan anlaşıldığına göre, insan vücudundan en fazla 10-15 mA mertebesinde akım geçmesine müsaade edilebilir. İnsan hayatı için tehlikeli akım sınırı 30-50 mA olup eğer insan vücudundan 50-100 mA kadar bir akım geçecek olursa, olay mutlaka ölümle sonuçlanır. Zira bu mertebedeki bir akımın kalp üzerinden geçmesi, kalpte anormal titreşimlere yol açarak kalbin normal çalışmasını önler ve nefes alma organlarının felç olmasına sebep olur. Böylece en fazla 4 dakika gibi bir süre beyin kanla beslenmezse, hayati merkezler harap olarak ölüm baş gösterir [11].

Bilindiği gibi kalbin normal çalışması, birçok adalenin ritmik bir şekilde hareket etmesi ile meydana gelen kuvvet tesirine bağlıdır ve kalbin pompa gibi çalışması neticesinde vücutta kan dolaşımı sağlanır. Kalbin üzerinden elektrik akımının geçmesi ile kalbin bu şekilde normal çalışması sona erer ve kalp adaleleri anormal bir titreşim yapmaya başlar. Böylece kan dolaşımı durur. Vücuttan geçen akım kaslarda kasılmalara yol açar. Kalp adalesinin çalışma ritmini bozar. Bu olaya ventriküler fibrilasyon denir. Kalbin bozuk ritmi beynin kanla beslenmesini engellediği için beyin ölümü meydana gelir. Şekil 2.1'de üzerinden elektrik akımı geçen bir kalbin eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ventriküler fibrilasyon etkisi ile bozuk ritim ile çalışan kalp eğrisi

Alçak gerilim için izin verilen dokunma gerilimi $U_L=50\text{ V}$ 'u aşmayacaktır. Şantiyeler, tarım alanları gibi yerlerde bu değer 25 V olarak sınırlandırılmıştır. 230/400 V alçak gerilim şebekelerinde hatalı devre genel olarak:

5 s ve TN sistemde el aletleri ve pozitif cihazlar için 0,4 s içinde kesilmelidir [11].

Alçak gerilim tesislerinde dolaylı dokunmaya karşı koruma yöntemleri:

- Beslemenin otomatik olarak ayrılması ile koruma,
- Koruma sınıfı II olan donanım veya eşdeğeri yalıtım ile koruma,
- İletken olmayan mahallerde koruma,
- Topraklamasız tamamlayıcı yerel eş potansiyel kuşaklama ile koruma
- Elektriksel ayırma ile koruma,
- Küçük gerilim,

olarak adlandırılan yöntemler ihtiyaca uygun olarak değişik yerlerde uygulanır.

2.2. Topraklama Tesisinin Görevi

Yüksek gerilim tesislerinde genellikle işletme personeli, alçak gerilim tesislerinde ise hem işletme personeli hem de çeşitli alçak gerilimli makineleri ve cihazları kullanan şahıslar, bir izolasyon hatası halinde daima tehlikeli temas veya adım gerilimine maruz kalabilirler ve her an hayatları tehlikeye düşebilir. Enerji tesislerinde yapılan topraklama tesislerinin görevi ise, böyle bir izolasyon hatası meydana geldiğinde, arızalı fazdan geçen hata akımının yardımı ile hata akım devresini kesmek veya bu akımların insan hayatını tehlikeye sokacak bir yoldan geçmelerini önlemek yahut da hata gerilimlerinin tehlikeli sınır değerlerin altında kalmasını sağlamaktır. Tesisin yıldız noktasının direkt topraklanmış olduğu ve şebekeye bağlı olan cihazın da topraklandığı kabul edilsin. Bahis konusu cihazda bir izolasyon hatası sonucunda bir gövde teması baş gösterirse, devreden büyük bir akım geçer. Bu akımın tesiri ile alçak gerilim tesislerinde sigorta veya manyetik açıcı, yüksek gerilim tesislerinde sigorta veya güç anahtarı kısa zamanda devreyi keserek tehlikeli hata gerilimini ortadan kaldırırlar; bu esnada bahis konusu cihaz temas eden insanın hayatı da kurtulmuş olur.

Şu halde yapılan topraklamalar sayesinde hata akımı şiddetlendirilir ve kısa devre akımı mertebesinde çıkan bu hata akımlarının tesiri ile, devrenin aşırı akıma karşı koruma cihazları yardımı ile kesilmesi sağlanır.

Eğer tesisin yıldız noktası topraklanmamışsa ve koruması bahis konusu olan cihaz da bir topraklama tesisi ile temas etmesi halinde, alçak gerilim tesislerinde pratik olarak bir akım geçmez; buna karşılık yüksek gerilim tesislerinde küçük bir kapasitif akım geçer. Eğer böyle bir tesiste bir eli ile cihaza dokunan kişi ayakları ile de çıplak zemin üzerinde durursa, topraklama tesisi bu şahıs tarafından köprülenir ve insanın gövde direnci topraklama tesisine paralel bağlanmış olur. Bu durumda insan hayatının tehlikeye düşmemesi için hata akımı insan üzerinden değil topraklama tesisinden geçmelidir; başka bir deyişle, insan tarafından köprülenen kısımda meydana gelen gerilim düşümü tehlikeli temas gerilimi sınırının altında kalmalıdır. Bu da topraklama direncinin çok küçük olması ile mümkündür.

Yukarıda verilen bilgiler, aşağıdaki örnekle daha iyi açıklanabilir:

Bir geçiş izolatörü çatlamış ve böylece toprak teması meydana gelmiş olsun. İzolatörün yerleştirildiği duvarın dış yüzü rutubetli olup beher metresi başına 10 ohm'luk bir direnç olsun. Duvar üzerinden toprağa 25 A'lık bir akım geçerse, duvar üzerinde birbirinden 1 metre aralığı olan iki noktaya iki eli ile temas eden bir şahıs $U_t = 25 \cdot 10 = 250$ volt değerinde bir gerilimin tesiri altında kalır ve böylece bu şahsın hayatı tehlikeye düşer. Eğer geçit izolatörünün tespit edildiği yer, yeteri derecede kalın bir hatla topraklanırsa, bu takdirde toprak akımı toprak hattından, ancak çok az bir kısım akım duvardan geçer. Bu sebeple duvara dokunan şahıs tehlikeye maruz kalmaz.

Buraya kadar yapılan açıklamada bahis konusu olan topraklama, canlıların hayatını elektrik hayatını elektrik akımına karşı koruma ile ilgilidir; ilerde de açıklayacağımız gibi bu tür topraklamaya koruma topraklaması denilmektedir.

Elektrik tesislerinde koruma topraklamasından başka topraklamalar da vardır. Mesela şebeke geriliminin toprağa karşı değerini tespit etmek için şebekenin ve işletme araçlarının belirli noktaları sırf işletme maksadı ile topraklanır ki. Bu tür topraklamaya işletme topraklaması denir. Koruma topraklamasının tesir tarzı işletme topraklaması ile de ilgilidir.

2.3. Topraklama İle İlgili Temel Kavramlar

Burada elektrik sistemlerinde adı geçen ve yeri geldikçe bahsedilecek bazı temel kavramlar üzerinde durulacaktır.

i) Toprak

Dünyanın doğal yapısını oluşturan madde olup, nemle karışık, killi, kumlu, humuslu toprak veya nemle birlikte toprak, kum, çakıl, taş veya bunların karışımıdır.

ii) Topraklama

Topraklanacak olan iletken kısımların bir topraklama tesisi üzerinden toprağa bağlanmasıdır.

iii) Topraklayıcı

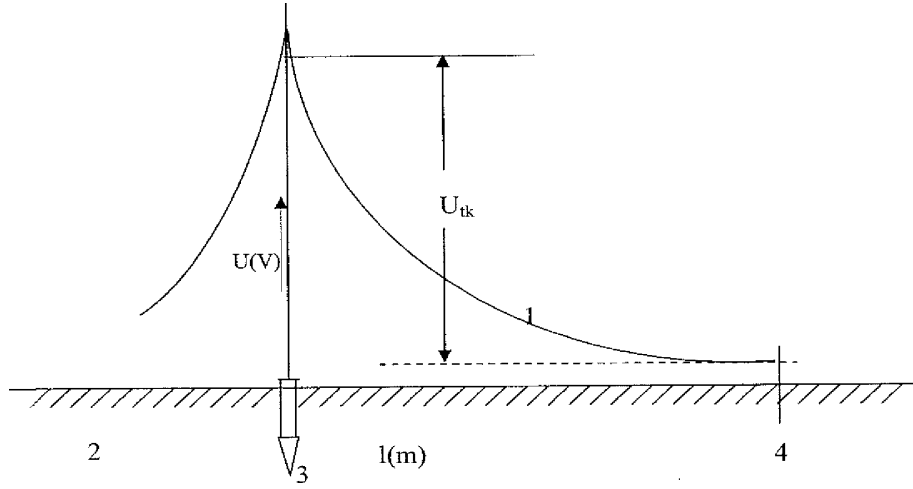
Yeraltında toprağa gömülen ve bununla iletken bağlantıda bulunan bir iletkenidir. Topraklayıcı çeşidi olarak; şerit, çubuk, levha ve şerit topraklayıcılarının bir çeşidi olan topraklama ağırları veya bunların birlikte kullanımı bulunmaktadır.

iv) Topraklama iletkeni

Topraklanacak olan cihaz veya tesis kısmı ile topraklayıcı arasındaki ve toprağın üstünde bulunan veya toprak altında yalıtılmış olarak gömülen iletken bağlantıdır.

v) Potansiyel dağılımı

Topraklanmış bir işletme aracında, bir hata sonucu olarak, bir gövde kısa devresi olduğunda, referans toprağından itibaren ölçülmek üzere bahsi geçen işletme aracına doğru yer yüzeyindeki potansiyelin dağılımıdır. Başka bir ifadeyle yüksek gerilim trafo merkezlerindeki herhangi bir faz-toprak kısa devresi veya bir yıldırım darbesinin isabet etmesi sonucu toprağın “h” kadar altına gömülü topraklama ağının referans toprağına göre yer yüzeyinde meydana getirdiğı potansiyel dağılımıdır. Bu durum Şekil 2.2’de gösterilmiştir [9,11].



Şekil 2.2. Referans toprağa göre topraklayıcının yer yüzeyinde meydana getirdiği potansiyel dağılımı

$U(V)$:Gerilim eksen

$l(m)$:Uzaklık eksen

U_{tk} :Topraklayıcı gerilimi

1-Potansiyel değişimi

2-Toprak

3-Topraklayıcı

4-Referans toprağı

vi) Referans toprağı

Bir topraklayıcıdan yeter derecede uzakta bulunan (yaklaşık 20 m) ve topraklayıcı ile her hangi bir nokta arasında belirgin bir gerilim meydana gelmeyen ve özellikle yer yüzeyinin özellikle bir bölgesidir.

vii) Toprak özgül Direnci

Dünyanın doğal yapısını oluşturan maddenin yani toprağın özgül elektriksel direnci olup birimi genellikle ohm.m cinsinden verilir. Bu değer bir kenarının uzunluğu 1 m. olan toprak bir küpün karşılıklı iki yüzeyi arasındaki direnç değeridir. Toprağın kimyasal yapısı değiştikçe özgül direncide değişir.

viii) Topraklayıcı yayılma direnci

Bir topraklayıcı veya topraklama tesisi ile referans toprağı arasındaki dirençtir.

ix) Darbe yayılma direnci

Akım darbelerinin geçmesi esnasında etkili olan yayılma direncidir. Bu değer; topraklayıcının şekline, toprağın cinsine ve akım darbesinin zamana göre değişimine bağlıdır.

x) Topraklama direnci

Topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama iletkeninin direncinin toplamına eşittir.

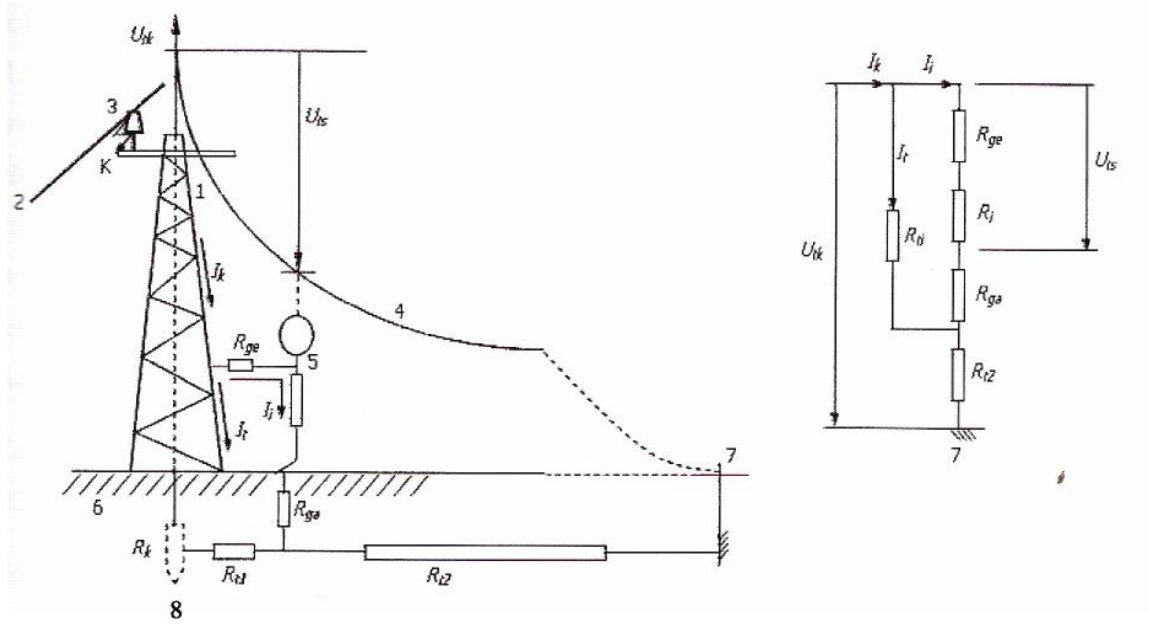
xi) Göz potansiyeli

Bir topraklama ağında, gözün orta noktasında ölçülen, topraklama ağı ile toprak yüzeyi arasındaki potansiyel farkı olarak veya referans toprağa göre ağın iletkenlerindeki potansiyel artışının yüzde olarak ifade edilmesidir.

xii) Temas gerilimi

İşletmedeki bir ekipmanı besleyen fazlardan birinin hata sonucu ekipmanın topraklanmış kısmına temas etmesi ve topraklanmış kısma bir insanın temasıyla insan vücudu ile toprak arasında bir potansiyel fark oluşur. Buna temas gerilim denir.

Bir yüksek gerilim hava hattına ait bir direk üzerindeki bir izolatörde bir atlama olması sonucunda bir faz hattının direğin topraklanmış olan madeni gövdesine temas ettiği ve hata yerinden I_k gibi bir hata akımının geçtiği kabul edildiğinde hatalı kısmın etrafında meydana gelen potansiyel dağılımı Şekil 2.3’de gösterilmektedir [2,5].



Şekil 2.3. Bir yüksek gerilim tesisinde bir toprak teması olması durumunda temas gerilimi

a-Tesisin şeması

b-Eşdeğer şema

1-Madeni yüksek gerilim direği

2-Hava hattı

3-İzolatör

4-Potansiyel dağılımı

5-Yüksek gerilim direğine dokunan insan

6-Toprak

7-Referans toprağı

8-Topraklayıcı

K-Toprak teması

R_{ga} -Ayaktan geçiş direnci

R_k -Koruma topraklaması

R_i -İnsan vücudunun direnci

R_{ge} -Elden geçiş direnci

R_t -Ayaktan geçiş direnci

U_{tk} -Topraklayıcı gerilimi

U_{ts} -İnsan teması esnasındaki temas gerilimi

I_k -Bir faz toprak kısa devre akımı

I_i -İnsan vücudundan geçen akım

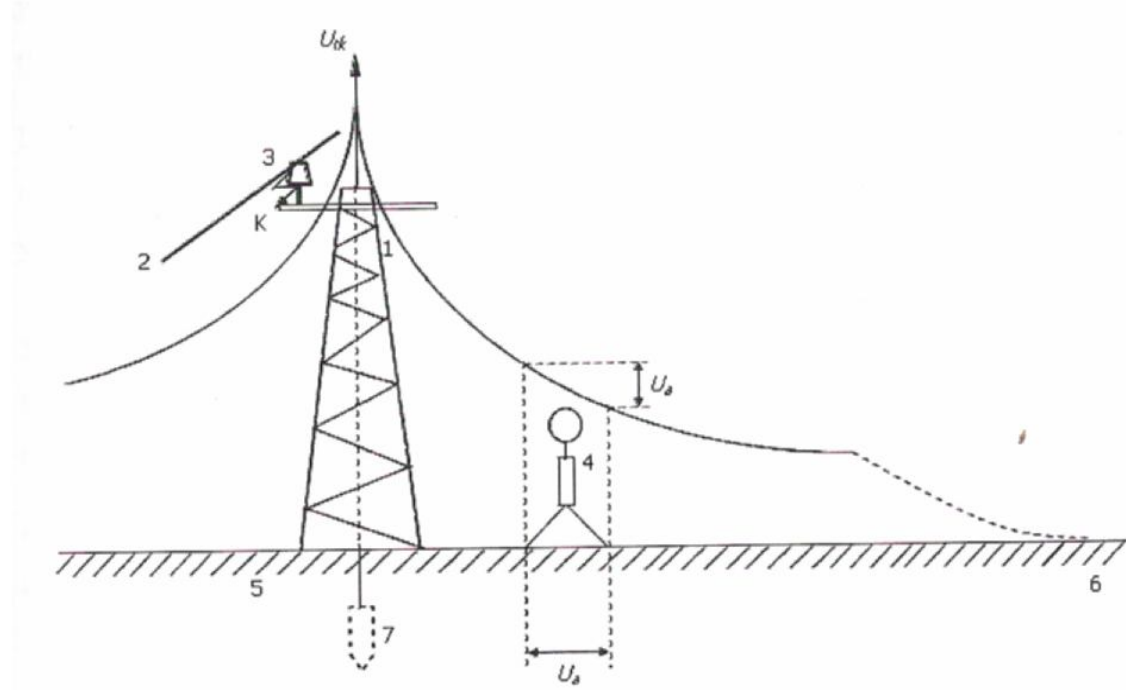
I_t -Toprak akımı

xiii) Adım gerilimi

Açık gerilim tesislerinde önemli olmadığı halde, yüksek gerilim tesislerinde insan ve hayvan hayatı bakımından önemli bir tehlike kaynağı olabilir. Örneğin bir Açık hava tesisinde bir yalıtım hatası yüzünden toprağı bir hata akımı geçerse ve topraklayıcı ile referans toprağı

arasında meydana gelen potansiyel alanına bir insan veya bir hayvan girerse bir adım gerilimine maruz kalır ve vücudundan bir akım geçer.

Şekil 2.4'te bir toprak kısa devresi durumunda oluşan potansiyel dağılımı ile bu alanın içinde bulunan bir insanın maruz kaldığı adım gerilimi gösterilmiştir [5,9].



Şekil 2.4. Bir toprak kısa devresinde meydana gelen potansiyel dağılımı ve bu alanda bulunan bir insanın maruz kaldığı adım gerilimi

- 1.Madeni direk
 - 2.Hava izolatörü
 - 3.İzolator
 - 4.Potansiyel alandaki insan
 - 5.Toprak
 - 6.Referans toprağı
 - 7.Topraklayıcı
- U_{tk} : Topraklayıcı gerilimi
 U_a : Adım gerilimi

Bu durumda adım gerilimi, üzerinden akım geçen topraklayıcıya ait potansiyel alanı içinde her bir ayağı karşı düşen potansiyellerin farkına eşittir. İnsanın ve hayvanın es potansiyel çizgilere dik yürümesi durumunda iki ayağı arasındaki potansiyel farkı yani adım gerilimi en büyük değerdedir. Yine es potansiyel çizgilere paralel yürüyen bir insanda iki ayağı arasındaki potansiyel farkı sıfırdır. Diğer yönlerdeki adım gerilimleri sıfır ile maksimum değer arasında değişir. Ayrıca adım gerilimi adım uzunluğuna bağlıdır.

Topraklayıcı yakınında potansiyel değişimi en büyük değeri aldığından, topraklayıcıya yakın olan yerlerde adım gerilimi daha büyük değerler alır ve topraklayıcıdan uzaklaştıkça adım geriliminin değeri düşer. Bu nedenle adım gerilimi, temas gerilimine göre daha küçük değerler alır. Adım gerilimi yüzünden bir tehlike, yalnız topraklayıcı veya topraklama tesisi üzerinden bir hata akımı geçtiğinde bas göstermez. Aynı zamanda topraklayıcının direnci büyük akımlarla ölçüldüğü zaman da meydana gelir. Bu sebeple, bu gibi durumlarda önlem alınması gerekir. Bir insanın adım uzunluğunun yaklaşık 1 metre olduğu ve akımında bir ayaktan ötekine doğru geçtiği kabul edilir. Ayaktan ayağa akım geçtiğinde kalp üzerinden geçen akım şiddetinin aynı koşullar altında elen ele geçerken kalp üzerinden geçen akımın 1/10'ine eşittir. Bu nedenle izin verilen temas gerilimine göre daha büyük bir adım gerilimine izin verilir ($U_t = 65 \text{ V}$, $U_a = 90 \text{ V}$).

xiv) Göz gerilimi

Topraklama ağlarında, referans toprağa göre topraklama ağı potansiyelinin yükselmesine göre, ağın gözlerinin ortasında volt olarak ifade edilen yer yüzeyindeki potansiyel değeridir.

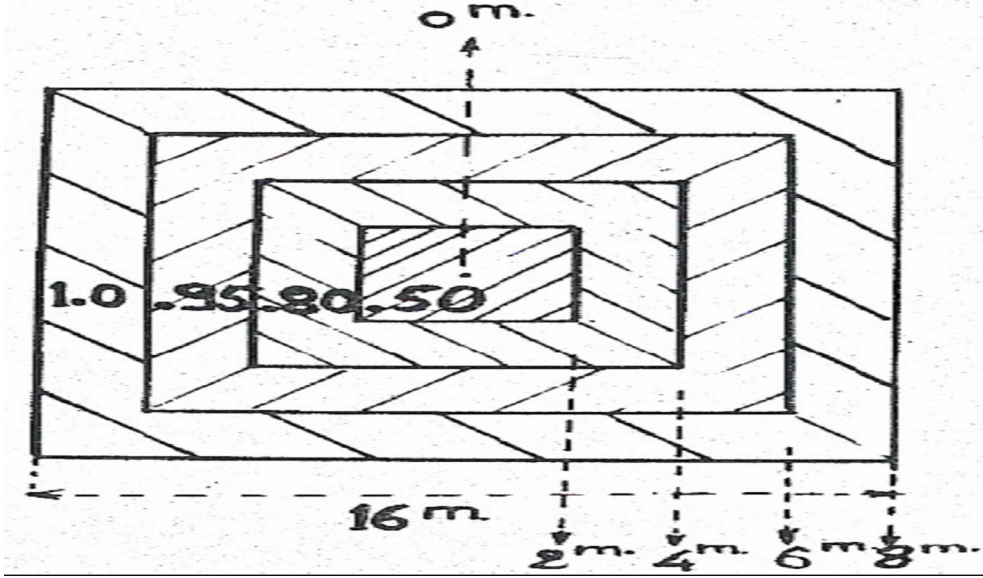
xv) Akım yoğunluğu

Bir iletkenden birim zamanda geçen akım miktarına denir ve birimi A/m^2 'dir. Teorik çalışmalarda akım yoğunluğu için üç farklı kabul yapılmaktadır.

Bunlar;

Ağ iletkenlerindeki akım yoğunluğu homojen ve sabittir.

Ağ iletkenlerinde akım yoğunluğu homojen değildir. Homojen olmayan akım yoğunluğu faktörü J , Şekil 2.5.'e göre seçilir.



Şekil 2.5. Ağ iletkenlerine akım yoğunluğu faktörünün değişimi

Ağ iletkenlerindeki akım yoğunluğu homojen değildir ve akım yoğunluk faktörü δ ; ağın merkezinde sıfır olmak üzere ağın diğer kısmındaki maksimum değere kadar lineer biçimde değişir. Matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$\delta = a \cdot d_{cj} \quad (2.1)$$

Burada,

a: İletkenden dışa doğru sızan toplam akıma uygun olarak seçilen bir sabit

d_{cj} : Ağın kapladığı alanın merkezi ile iletken üzerindeki herhangi bir nokta arasındaki uzaklığın metre cinsinden değeridir.

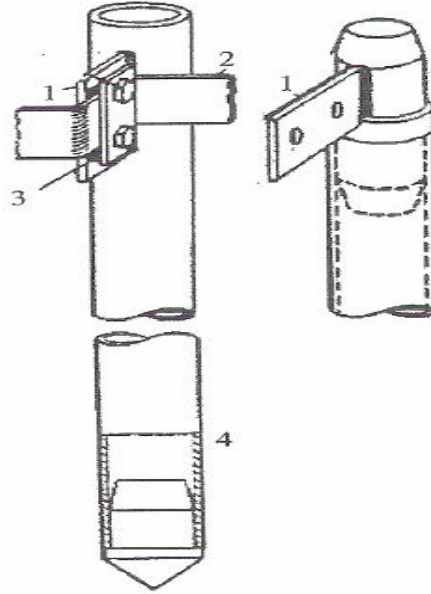
Bu çalışmada ağ iletkenlerinden akan akım yoğunluğunun sabit ve homojen olduğu kabul edilecektir [9].

2.4. Topraklama Sistemleri

Bu bölümde günümüzde yaygın olarak kullanılan topraklayıcılar ele alınacaktır. Topraklayıcıların, toprağın durumuna ve topraklayıcı olarak kullanılan malzemenin cinsine, geometrik şekillerine ve toprağa gömülme derinliğine göre birçok çeşitleri vardır. Topraklayıcı tipinin seçiminde ve düzenlenmesinde yerel koşullar, zeminin yapısı ve izin verilen yayılma direnci göz önüne alınır. Buna göre yaygın kullanıma sahip topraklayıcılar aşağıda verilmektedir.

2.4.1. Topraklama çubuğu

Genellikle 25 mm çapında çelik borudan veya buna eşdeğer çelik profilden yapılırlar ve genellikle zemine dik olarak çakılırlar. Uzunlukları 1,5-3 m kadardır ve üst ucu 50 cm kadar toprak altında kalır. Çubuk topraklayıcılar oldukça derine gömüldüklerinden, yazın zemin kurusa bile topraklayıcı daima nemli zeminde bulur ve çok iyi bir topraklama sağlar. Bu nedenle buna derin topraklayıcı denir [4,9].



Şekil 2.6. Çubuk topraklayıcı

- 1.Bağlama Ucu
- 2.Topraklama iletkeni
- 3.Kurşun tabaka
- 4.Boru topraklayıcının ucu

Şekil 2.6'da bir çubuk topraklayıcının yapısı gösterilmiştir. Çubuk topraklayıcının çapı, yayılma direnci üzerine çok az etki eder, onun için boru çapı veya profil kesiti mekanik dayanma ve korozyon olaylarına göre belirlenebilir. Yayılma direnci, çubuk uzunluğuna, çıkılacak zemine yerleştirilmesine bağlı olarak değeri küçük olur. Çubuk topraklayıcının topraklama direnci formülü aşağıda verilmiştir.

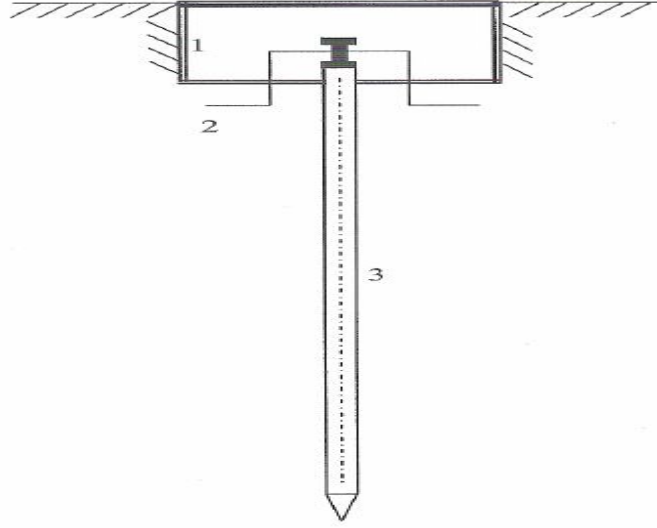
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \quad (2.2)$$

L: Topraklama çubuğunun boyu (cm)

a: Topraklama çubuğunun çapı (cm)

ρ : Toprak özgül direnci (ohm-cm)

İstenilen yayılma direnci elde edilemeyen zemin yapılarında, üzerlerinde delikler bulunan ve içine bir iletken sıvının döküldüğü bir cins boru topraklayıcıdan meydana gelen “emdirmeli topraklayıcı” kullanılır. Şekil 2.7’de bir emdirmeli topraklayıcının uygulama yöntemi gösterilmiştir [9,11].



Şekil 2.7. Emdirmeli topraklayıcı
1-Topraklama bağlama başlığı kutusu
2-Topraklama iletkeni
3-Topraklayıcı çubuğu

2.4.2. Topraklama levhası

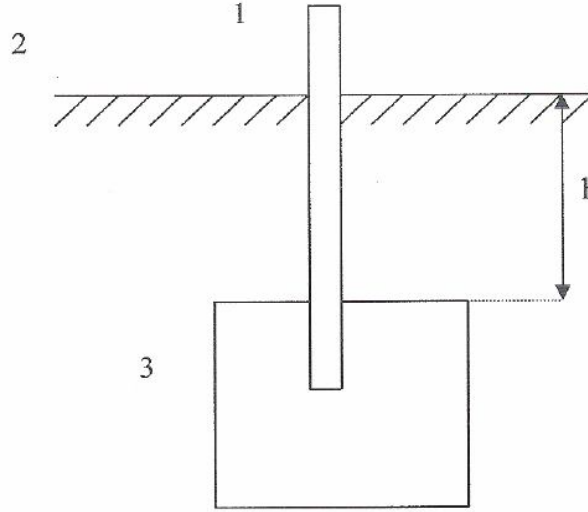
Geçmiş yıllarda çok kullanılan ancak günümüzde önemini yitirmiş bir topraklayıcı cinsidir. Levha topraklayıcıda belirli bir yayılma direnci elde etmek için başka cins topraklayıcılara göre daha fazla malzemeye ihtiyaç vardır. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir, topraklayıcı levhanın şeritlere ayrıldığı kabul edilirse bunlar karşılıklı olarak akımın toprağa geçmesine engel olurlar. Bunun için topraklama levhasına örneğin tarak şekli vermekle aynı yayılma direnci sağladığı durumda daha az malzeme kullanılmış olur. Levha topraklayıcının topraklama direnci aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$R = \frac{\rho}{400} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (2.3)$$

A: Topraklama levhasının alanı (m²)

ρ : Toprak özgül direnci (ohm-cm)

Levha zemine dik olarak yerleştirilir. Eğer levha zemine paralel olarak yerleştirilecek olursa bunun ancak üst yüzeyi etkili olur. Çünkü toprağın çökmesiyle levhanın altı boşlukta kalabilir. Şekil 2.8’de levha topraklayıcı şematik olarak gösterilmektedir [9,11].



Şekil 2.8. Levha topraklayıcı

1-Topraklama iletkeni

2-Zemin, toprak

3-Levha topraklayıcı

Uygulamalara bağlı olarak, levhanın alanı büyük seçilebilmektedir. Şekil ise daha çok fiziksel sınırlamalara uyum sağlayabilmesi bakımından kare ve çoğunlukla dikdörtgen biçiminde seçilir.

2.4.3. Topraklama şeridi

En az 3 mm kalınlığında ve 100 mm^2 kesitinde galvanizli demir şeritten yapılırlar. Bundan başka yuvarlak iletkenler veya örgülü tellerde bu maksatla kullanılabilirler. Çok derine gömülmediklerinden dolayı bunlara “yüzeysel topraklayıcılar” adı verilir. İklim koşulları göz önüne alınarak sürekli olarak nemli kalacak ve donma olmayacak şekilde bir gömülme derinliği seçilir ki bu derinlik 0.5-1 m kadardır.

En basit şerit topraklayıcı boylu boyuna döşenen bir şeritten oluşur. Bunun yayılma direnci öncelikle şeridin uzunluğuna bağlıdır. Bunun için yalnız yassı şerit kullanılır.

Yassı şeritler toprağa, yüksek kenarı yukarıya gelecek şekilde döşenir. Böylece toprak ile şerit arasında boşlukların kalmaması ve akımın toprağa daha iyi geçmesi sağlanır. Şerit

topraklayıcıda yayılma direnci kesitten çok uzunluğa bağlıdır. Şerit topraklayıcı için topraklama direnci hesabı aşağıda verilmiştir.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{wt} \quad (2.4)$$

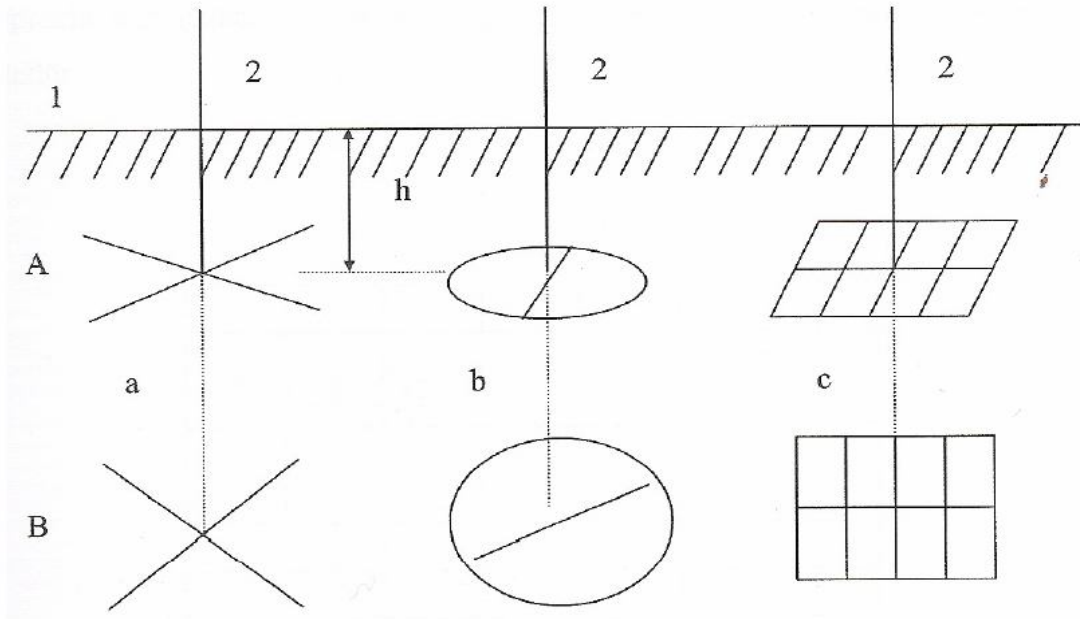
w: Topraklama şeridinin boyu

t: Topraklama şeridinin eni

L: Topraklama şeridinin uzunluğu

ρ : Toprak özgül direnci (ohm-cm)

Şerit topraklayıcılar en çok yıldız, halka, gözlü veya bunların kombinasyonu şeklinde yapılır. Şekil 2.9'da en çok kullanılan şerit topraklayıcıların yapıları gösterilmektedir. Bu topraklayıcılar da yaklaşık olarak 0.5-1 m derinlikte, yeryüzüne paralel olarak gömülürler [9,11].



Şekil 2.9. Şerit topraklayıcıların çeşitleri

A-Perspektif görünüş

B-Üstten görünüş

a-Dört kollu yıldız topraklayıcı

b-Halka topraklayıcı

c-Ağ topraklayıcı

1-Zemin, toprak

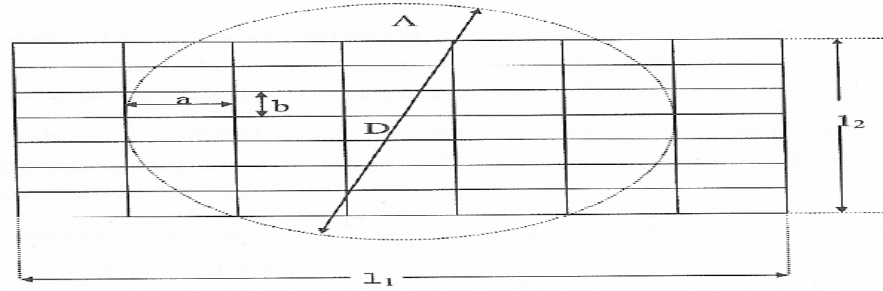
2-Topraklama iletkeni

h-Gömülme derinliği

Yıldız topraklayıcılar daha çok direk topraklamasında kullanılırlar. Buna karşılık, örneğin bir yüksek gerilim açık hava bağlama tesisinde olduğu gibi, büyük bir alana yayılmış

çok sayıda topraklamanın yapılması söz konusu olan yerlerde, yeraltına uygun derinlikte paralel şeritlerden oluşan bir topraklayıcının kullanılması çok uygun olur. Kullanılacak paralel şeritlerin sayısının belirlenmesinde mümkün olduğu kadar az malzeme kullanarak ve karşılıklı etkinin az olmasını sağlayarak düşük bir yayılma direncinin sağlanması düşünülmez. Bu gibi durumlarda daha çok direkt topraklanmış şebekelerde, temas ve adım gerilimlerinin izin verilen sınırları aşmayacak şekilde alan şiddetinin küçük yani yeryüzündeki gerilim dağılımının yatık olması önemlidir. Onun için paralel şeritlerden yapılmış bu gibi topraklamalar aynı zamanda potansiyel düzenleyici olarak da iş görürler. Malzemeden yararlanma bakımından şerit topraklayıcının halka şeklinde veya gözlü olarak yani hasır şeklinde döşenmesi de mümkündür.

Şekil 2.10'da da gösterildiği gibi gözlü topraklayıcılar paralel şeritlerden meydana gelir. Ayrıca hem iyi bir akım dağılımı sağlamak ve hem de topraklanacak başka makine, cihaz veya tesisleri bağlayabilmek için enine bağlamalar da yapılır. Bu enine bağlamalar, köşelerde meydana gelen karşılıklı etki nedeniyle yayılma direncinin düşmesine daha az yardımcı olurlar. Buna karşılık direkt topraklanmış şebekelerde temas ve adım gerilimlerinin izin verilen sınırlar içinde kalması için alan şiddetinin küçük olmasını sağlarlar. Gerek paralel şeritlerden yapılmış topraklayıcılarda ve gerekse hasır şeklinde gözlü topraklayıcılarda karakteristik büyüklük, bu topraklayıcıların kapladıkları alanın çevresi ve alanıdır [1,5].



Şekil 2.10. Gözlü topraklayıcı
 l_1 -Boyuna iletkenin uzunluğu
 l_2 -Enine iletkenin uzunluğu
 $a \times b$ -Göz boyutları
 A -Topraklayıcı alanı
 D - A alanına eşdeğer daire çapı

2.4.4. Doğal topraklayıcı

Şerit, çubuk ve levha topraklayıcılar yapay topraklayıcılar olup bunlardan başka doğal topraklayıcılar da vardır. Doğal topraklayıcının birinci ve en önemli tipi madeni borular ile

yapılmış su borusu şebekesidir. Su borusunun topraklayıcı olarak özellikle alçak gerilim tesisleri için önemi büyüktür.

Su borusu şebekesinde yayılma direnci çok büyük ise ek topraklayıcıların örneğin kabloların madeni kılıfların bağlanması ile bu direnç küçültülür.

İkinci olarak, kabloların madeni kılıfları üçüncü olarak da yüksek gerilimli hava hatlarındaki koruma iletkenleri, doğal topraklayıcı olarak kullanılabilirler.

2.4.5. Özel topraklayıcı

Düzenleyici topraklayıcı bu tip topraklayıcılara örnek olarak verilebilir. Bu tür topraklayıcıların kullanılma amacı, topraklayıcı civarında potansiyeli yatıklaştırarak temas ve adım gerilimlerinin küçülmesini sağlamaktır.

2.4.6. Birleşik topraklayıcı

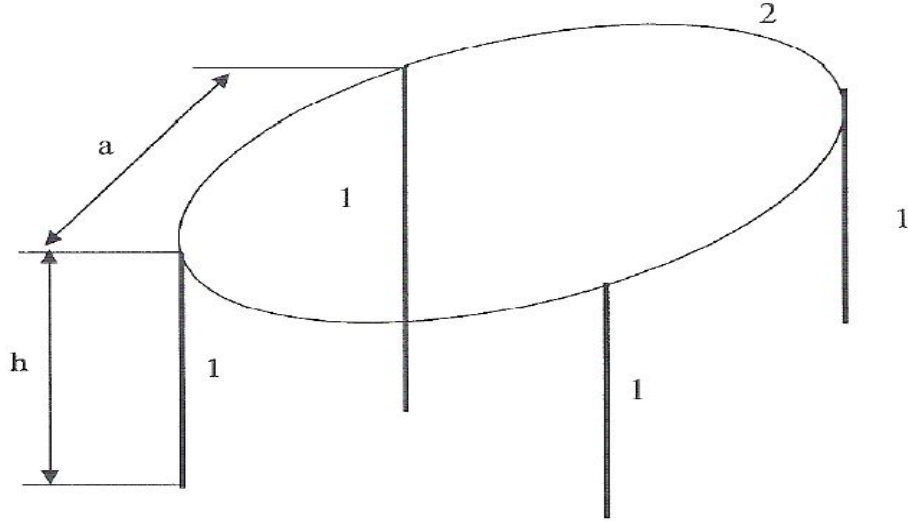
İstenildiği kadar küçük bir yayılma direnci elde etmek için bazen çeşitli tip topraklayıcıların birlikte paralel bağlanması gerekir.

2.4.7. Paralel topraklayıcı

Aynı geometrik yapıda olan topraklayıcılar paralel bağlanarak paralel topraklayıcı elde edilir. Şekil 2.11’de de görüldüğü gibi bunların arasında yeteri kadar uzaklık olması durumunda bunların birbirine karşı etkisi söz konusu olamaz. Paralel bağlı topraklayıcıların boyutları farklı olabilir. Her bir topraklayıcının yayılma direnci $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ise, toplam yayılma direnci şu ifade ile hesaplanır [9,11].

$$R_{top} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \left(\frac{1}{R_3}\right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n}\right)} \quad (2.5)$$

Çubuk topraklayıcılarda topraklayıcılar arasındaki a uzaklığı; h çubuk uzunluğunun 2-3 katı ise, bu durumda topraklayıcıların karşılıklı etkisi söz konusu olamaz. Eğer kuraklık veya don sebebi ile çubuğun bütün uzunluğu etkili olmazsa a aralığı etkili olan çubuk uzunluğunun iki katı olarak alınır. Levha topraklayıcılarda $a=3$ m normaldir.



Şekil 2.11. Paralel topraklayıcı
1-Birey topraklayıcılar
2-Paralel bağlama
h-Topraklayıcının uzunluğu
a-Topraklayıcılar arasındaki uzaklık

2.4.8. Karma topraklayıcı

Geometrik bakımdan farklı yapıdaki topraklayıcıların paralel bağlanması ile meydana gelen topraklayıcılara karma topraklayıcı adı verilir. Örneğin yüksek gerilimli açık hava bağlama tesislerinde bir normal gözlü topraklayıcı bulunduğu gibi, buraya giren ve çıkan hava hatlarına ait toprak iletkenleri, kablolara ait kuşun kılıf ve çelik zırh, demiryolu rayları, madeni su boruları vb. gibi doğal topraklayıcılar hep birlikte paralel bağlanırlar.

3. TESİSLERDE KULLANILAN TOPRAKLAMA ÇEŞİTLERİ

Aşağıda açıklanacağı gibi, tesislerde kullanılan en önemli topraklamalar.

- Koruma topraklaması
- İşletme topraklaması
- Yıldırım topraklaması

3.1. Koruma Topraklaması

Yüksek gerilim tesislerinde insanları yüksek temas gerilimine karşı korumak için bir koruma topraklaması yapılır. Bunun için işletme akım devresine ait olmayan, fakat bir hata halinde gerilim altında kalabilen ve insanların temas edebilecekleri bütün cihazların ve tesis elemanlarının madeni kısımları, topraklama iletkeni üzerinden bir topraklayıcıya bağlanırlar [11].

Alçak gerilim tesislerinde temas gerilimine karşı koruma sağlamak için uygulanan çeşitli metotlar arasında koruma topraklaması da vardır fakat bunun çok iyi bir metot olmadığı ve çeşitli sakıncalarının olduğu açıklanmıştır. Buna karşılık yüksek gerilim tesislerinde tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı koruma sağlamak için yegane koruma metodu koruma topraklamasıdır. Koruma topraklaması tesisin boyutlandırılması bakımından ana kriter ” temas gerilimi” olduğundan Alman VDE yönetmeliklerine göre topraklama tesisleri o şekilde yapılmış olmalıdır ki,

1-) Yıldız noktası yatılmış veya kompanzasyon bobini üzerinden topraklanmış şebekelerde temel gerilimi 65 V’un üstüne çıkmamalıdır.

2-) Yıldız noktası sürekli veya geçici olarak küçük değerli bir direnç üzerinden topraklanan şebekelerde temas gerilimi şekilde verilen eğrideki değerlerin üzerine çıkmamalıdır.

Bu eğrinin her noktası için elektrik miktarının $Q = 70 \text{ mAs}$ değerini aşmaması şartı yerine getirilmiştir. Zira, yapılan araştırmalara göre, ölümle sonuçlanan elektrik kazalarında bu elektrik miktarı tespit edilmediğinden, bu değer bir kriter olarak geçerlidir. Burada vücut direnci için en düşük değer olarak 1000 ohm kabul edilmiştir [11].

3.2. İşletme Topraklaması

Elektrik tesislerinde işletme akım devresine ait bir noktanın topraklanmasına işletme topraklaması denir. Cihazların ve tesislerin normal işletmeleri için bu topraklama gerekir. İşletme topraklaması iki cinstir.

a) Direkt topraklama

Bu durumda topraklama üzerinde topraklama empedansından başka hiç bir direnç bulunmaz. Mesela şebekenin yıldız noktasının direkt topraklanması, bu cins topraklamadır.

b) Endirekt topraklama

Bu durumda topraklama, ilave bir ohmik , endüktif ve kapasitif direnç üzerinden yapılır İşletme topraklaması, işletme akım devresinin toprağa karşı potansiyelinin belirli bir değerde bulundurulmasını sağlar.

Koruma topraklaması üzerinden yalnız bir hata halinde bir akım geçtiği halde, işletme topraklaması üzerinden arızasız durumda dahi bir akım geçebilir. Hem alçak gerilim ve hem de yüksek gerilim tesislerinde yıldız noktasının topraklaması, bir işletme topraklanmasıdır. İşletme topraklaması, fonksiyon bakımından koruma topraklaması ile yakından ilgilidir. Mesela bir fazlı toprak temasında hata akımı, devresini işletme topraklaması üzerinden tamamlayarak arıza, bir fazlı kısa devreye dönüşmektedir. Alçak gerilim tesislerini besleyen akım kaynaklarının yıldız noktaları genellikle bir İşletme topraklaması üzerinden topraklanır. Bunun toplam direncinin R_0 küçük veya $\approx 2\Omega$ olması arzu edilir. Zira bir faz toprak kısa devresinde R_0 direnci üzerinden koruma hattının ve buna bağlı cisimlerin toprağa karşı gerilimi yükselir. Topraklama ve yıldırımdan korunmak için alınan önlemler genel olarak TV verici ve aktarıcı istasyonlarının tesisi sırasında ikinci derece de önemsenen hususlar içinde yer alır. Ancak, istasyonların bulunduğu coğrafik koşullar ve enerji şartları nedeniyle topraklama hatasından ve yıldırımdan meydana gelen etkiler milyarlarca değerindeki tesis ve cihazlara büyük zararlar verir. Yaptığı tahribatın büyüklüğü ile doğru orantılı uzun süreli yayın kesintilerine maruz kalınır [11].

3.3. Yıldırım Topraklaması

Elektrik tesislerinde yıldırıma karşı korumak için, parafudurların topraklama uçları ile açık hava tesislerinde yıldırımın düşmesi ihtimali olan bütün madeni kısımlar, mesela hava hatlarının koruma iletkenleri, madeni veya beton direkler özel bir topraklayıcı üzerinden topraklanır buna yıldırım topraklaması adı verilir. Yıldırım topraklaması da bir nevi koruma topraklamasıdır ve onun için iki topraklama biri birine bağlanır. Yıldırım topraklamasının amacı, her elektrik tesislerine düşen bir yıldırım düşmesinin sebep olduğu aşırı gerilim dalgasının işletme araçlarına zarar vermeden toprağa iletilmesi ve hem de binalara düşen yıldırımın, insan hayatına zarar vermeden ve bir yangına sebep olmadan toprağa atılarak zararsız hale getirilmesidir.

Tarih boyunca yıldırımdan anlaşıldığı kadarıyla, yıldırımdan korunma sistemleri de o oranda gelişmiştir. Yıldırım üzerine ilk teoriler 17. Yüzyılda tespit edilmeye başlanmıştır. Descartes adındaki bilim adamı bulutların çarpışmasından sıkışan havanın ışık ve ısı etkisi meydana getirdiğini ve ısının gürültüye neden olduğunu söyleyerek yıldırımla ilgili ilk teoriyi ortaya atmıştır. 18. Yüzyılın ortalarında Rahip Nollet Denel fizik dersleri adlı kitabında elektrikle yıldırımın ilgisini anlatmıştır. Bu tarihten sonra fizikçi Jallbert, yıldırım olayı ile sivri uçların ilgisini dile getirmiştir. Yine aynı yıllarda Romans, yıldırım olayının bir elektriksel olay olduğunu söyleyerek yıldırım olayında elektrikten bahsediyordu. Franklin 1725 yılında balon deneyi yaparak bulutların elektrik yüklü olduğunu ispatlamıştır. Daha sonra yıldırım konusundaki gelişmeler 1929 yılında İngiliz doktor Simson ve Fransız Mathias tarafından yapılan açıklamalarla devam etmiştir. Yıldırımın meydana gelişimi yapılan gözlemler ve incelemeler sonunda dört şekilde olduğunu ortaya koymaktadır [3,11].

(-)inişli

(-)çıkışlı

(+)inişli

(+)çıkışlı

Bunlardan en fazla görüleni (-) inişli olanıdır.

Yıldırım, bulut ile yer arasındaki elektrik yüklerinin hızlı deşarj olma olayıdır. Havada asılı bulunan elektrik yüklü bulutlarda hava iyi bir iletken olmadığı için yaklaşık 10 milyon voltluk gerilim oluşturur. Bu bulutların şarj olması anında fırtına bulutunun tabanı

yere yakın olan kısmı negatif yükle yüklenir. Bu arada yer pozitif yükle yüklenir. Bazı durumlarda bunun terside mümkündür. Sonuç olarak yüklenme işlemi bulut boyutunda yerde de oluşur.

Fırtınanın artmasıyla bulutlardaki negatif ve yerdeki pozitif yük ayrışması devam eder. Fırtına şiddetlendikçe bulutla yer arasında bulunan yalıtkan hava iletken hale geçmeye başlar ve bulutla yer arasındaki potansiyel farkı da arttıkça havayı delmesi kolaylaşır. Havanın delinmesiyle buluttaki yüksek voltaj toprağa deşarj olur. Bu deşarjlarda 2000 ile 200 000 amper arası akım akmaktadır. Atmosferik olaylarda bulutla bulut arasında voltaj boşalmasına şimşek, bulutla yer arasındaki voltaj boşalmasına yıldırım denilir.

Yıldırımın oluşması, bir bulutun alt kısmındaki enerjinin yeterli seviyeye geldiği zaman (10kv/cm²) toprağa doğru bir elektron demeti olarak harekete geçmesidir. Birinci demet 10 ile 50 metrelik mesafeyi 60 – 50 000 km/sn arasındaki hızla kat eder. 30 ile 100 mikron saniye süren bir aradan sonra ikinci bir deşarj birinci deşarjın yolunu izler ve birinciden 30 ile 50 metre arası daha ileri gider. Daha sonra üçüncü deşarj ardından dördüncü deşarj meydana gelir. Her bir deşarj öncekinden 30 ile 50 metre ileri giderek şimşeğin ucunun yeryüzüne yaklaşmasını sağlar. Bu arada yeryüzü ile bulut arasındaki potansiyel farkı gittikçe artar ve havanın delinmesi sonunda yeryüzünde bulunana sivri bir uç, bina, ağaç veya kule gibi bir noktaya pozitif yüklü bir demet deşarj olur ve bunun boyu 150 metreyi geçebilir. Bu deşarj esnasında 200 000 Ampere kadar çıkan akım 100 milyon voltluk bir gerilim ile toprağa akar. Bu akıma deşarj akımı denilir. Bu akım saniyenin milyonda biri mertebesinde aralıklarla art arda gerçekleşmesiyle tamamlanır [3,11].

Elektrostatik yük; Elektrik yüklü bulutun altında kalan yeryüzünün üstündeki tüm teçhizatlar elektrostatik alana maruz kalırlar. Bu elektrostatik alan yer küreden yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Örneğin topraktan 10 m yükseklikte bulunan EN Hattı fırtına sırasında toprağa göre 100 ile 300 KV arası fazla gerilime sahip olur. Deşarj esnasında bu yükün toprağa akması gerekmektedir [3,11].

Toprak akımı; Yıldırımın hemen ardından yıldırım akımı sonucu toprak akımları oluşur. Bulutun kapsadığı toprak alanından yıldırımın düştüğü noktaya doğru akım akamaya başlar. Bu bölgede bulunan herhangi bir iletken bu akım için topraktan daha kolay iletim sağladığından akım bu iletkendен geçmeye başlar ve bu akıma toprak akımı denilir. Bu boşalma işlemi çok hızlı olduğundan (20 mikro saniye) bu metaller üzerinde indüklenen gerilimler çok yüksek olmaktadır.

Yıldırımdan korunma dört ayrı şekilde yapılmaktadır.

a) Franklin çubuk paratoneri ile korunma

Bu tür korunma sisteminde aşağıdaki malzemeler kullanılmaktadır.

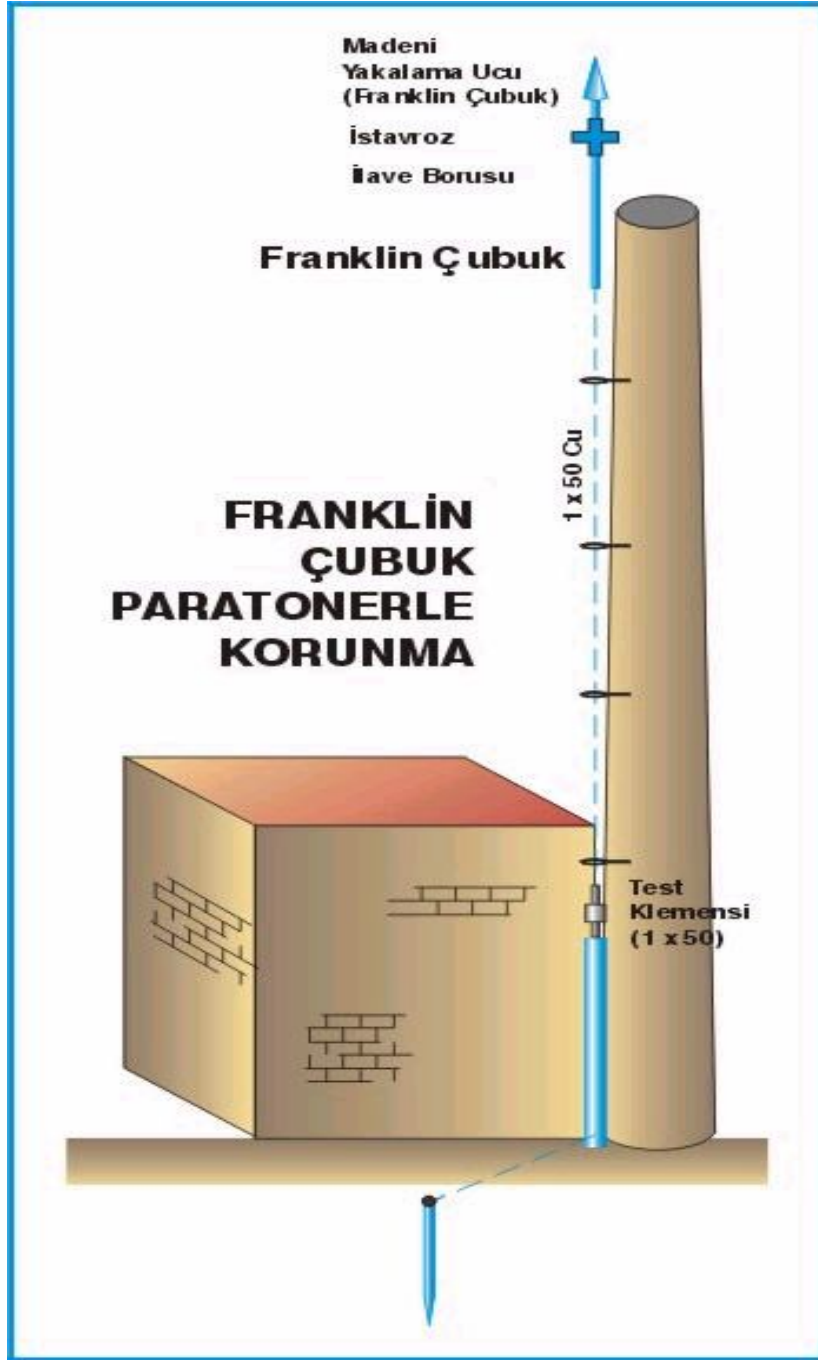
- Yakalama çubuğu,
- İniş iletkeni,
- Topraklama tesisatı,

Bu tür korumada sivri ucun oluşturduğu yakalama metodu kullanılır. Sivri uç, iniş iletkeni ile topraklama levhasına en kısa ve düz olarak indirilerek irtibatlandırılır.

Franklin yakalama ucu; Çelik uçlu krom nikel kaplı ve pirinç üstü krom nikel kaplı olarak üretilmektedir. Zamanla havadaki atmosferik olaylardan etkilenmemesi için bunlardan pirinç olanı tercih edilmelidir. Franklin çubukları 20, 40, 50, 60 cm lik boylarda üretilmektedirler.

İniş iletkeni; Radyoaktif paratoner ve Franklin çubuklu paratonerlerde iniş iletkenleri aynıdır. Yıldırımın oluşturduğu yüksek amperli (200 000 A)akımın akması halinde iletken teline herhangi bir zarara uğramaması gerekmektedir. İniş iletkeni ile paratonerle topraklama arasını en kısa yoldan birbirine irtibatlandırmak gerekmektedir. İniş iletkenleri 50 mm² som bakır ve döşeneceği zeminden 5 cm açıktaki olacak şekilde olmalıdır. Bakır iletkeninde ek yapmak gerekirse ekleri gümüş veya termo kaynağı ile yapmak gerekmektedir. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi iniş iletkeni mümkün olduğu kadar en kısa yoldan ve 90 dereceden büyük kavislerin olmamasına dikkat edilerek çekilmektedir. Ayrıca bir metre mesafe içinde iki veya daha fazla köşelerin olmamasına dikkat edilmelidir.

Topraklama tesisatı; Franklin çubuklu paratoner. Faraday kafesli koruma ve radyoaktif paratoner de topraklama tesisatı aynı kullanılmaktadır. Topraklama tesisatı çubuk veya düz levha bakırdan yapılmaktadır. Topraklama direnci maksimum 5 ohm olmalıdır. Topraklama direnci 5 ohm’dan büyük olursa sisteme topraklama çubuğu veya levhası eklenerek direncin limitler içinde olması sağlanır. Topraklama çubukları veya levhalarının gömüleceği toprağın dünyanın toprağı ile bağlantısı olması gerekmektedir. İniş iletkeni topraklama çubuklarına gümüş kaynağı ile yapılmalıdır. Ayrıca çubuk sayısı birden fazla ise çubuklar arasındaki mesafelerin 5 m den daha az olmamasına ve aradaki bağlantı iletkeninin 50 mm² saf bakırdan olmasına dikkat edilmelidir.



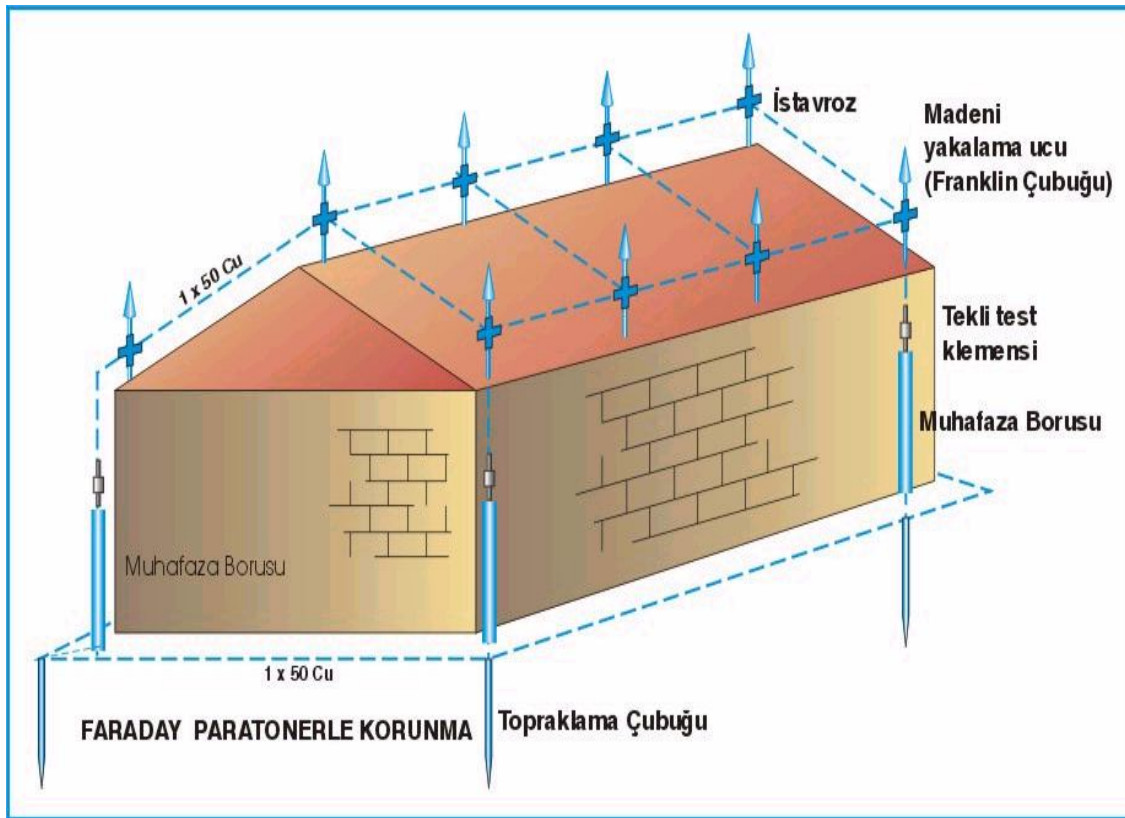
Şekil 3.1. Franklin çubuk paratonerle koruma

b) Faraday kafesi ile koruma

Bu koruma tipi radyoaktif paratonerlerden önce kullanılmakta ise de yüksek yerlerdeki istasyon veya yerleşim yerlerinde radyoaktif paratonerle birlikte kullanılmaktadır. Faraday kafesli korumda istasyon binasının çatısının üzerine ve istasyonun kulesine muhtelif aralıklarla franklin çubukları cerleştirilerek iniş iletkenleri ile topraklama çubuklarına bağlanır. Şekil 3.2 de görüldüğü gibi.

Yakalama uçları; Yakalama uçları olarak franklin çubukları kullanılmaktadır. Binanın çatısına bu çubuklar dik olarak çatıyı kaplayacak şekilde aralıklarla dik olarak yerleştirilir ve topraklama iletkenleri ile birbirlerine bağlanırlar.

İniş tesisatı; Dik olarak binanın çatısına yerleştirilen franklin çubukları 50 mm² lik saf bakırla ve tüm binayı kafes gibi saracak şekilde üstten, yanlardan ve toprak altından saracak şekilde tesis edilmelidir. Bakır iletkenler kroşelerle döşenmeli ve hiçbir noktadan binaya değmemelidir.



Şekil 3.2. Faraday paratonerle koruma

c) Radyoaktif paratoner ile koruma

- Radyoaktif paratoner ünitesi,
- Radyoaktif paratoner iniş iletkeni,
- Radyoaktif paratoner topraklama tesisatı, sistemleri kullanılmaktadır.

Radyoaktif paratoner ile korunma franklin çubuklu korunmaya benzemektedir. Aradaki tek farkı yakalama ucu olarak radyoaktif malzemeden yapılmış paratoner ünitesi kullanılmaktadır. Bununda yıldırımın yakalama yeteneği daha fazladır.

Radyoaktif paratoner ünitesi; Radyoaktif paratonerdeki amaç fırtınalı havalarda bulutlarda biriken elektrik yüklerinin insanlara, tesislere ve yapılara zarar vermeden olabilecek yüksek gerilimleri oluşturulan iyonize kanallarla toprağa vermektir.

Radyoaktif paratonerler sivri bir ucun yaydığı iyonlara ek olarak radyoaktif maddenin oluşturduğu yüksek iyonlar sayesinde iyonize kanallar oluşturmaktadır. Yakalama ucunun toz ve yabancı maddeleri üzerinde bulundurmaması ve paratonerin alt kısımlarına iyon yaymaması istenmektedir.

Radyoaktif paratoner koruma yapacağı alanın en yüksek ve orta yerine konmalıdır. Ayrıca en yüksek noktadan 1.5 m yükseğe tesis edilmelidir. Topraklama kazıklarının birbirine olan mesafeleri boylarının 1.5 katından daha küçük olmamalıdır çünkü çubuklar boyları kadar küresel bir alanda toprağa deşarj yapmaktadırlar [3].

d) Yıldırım düşmesini engellemek

Geleneksel yıldırımdan korunma metotlarının yeterli olmadığı TV ve radyo verici tesislerinde daha kompleks bir koruma gerekmektedir. Özellikle yüksek yapıların ve kulelerin yıldırımını daha çok çektiği düşünüldüğünde, bu tür bina ve kuleler normalde düşmeyecek olan yıldırımları tetikleyerek düşmesine neden olurlar. Dağlık bölgelerdeki kuleler ve binalar yıldırımını daha fazla çekerler. Yıldırım bulutlardaki yüksek potansiyelin toprağa boşalması işlemidir. Bu işlemin yavaş, yavaş ve sürekli olarak yapılması halinde bulutlardaki potansiyel azalacağından o bölgeye yıldırımın düşmesi engellenmiş olacaktır.

3.4. Statik Topraklama

Ülkemizde fazla önemsenmeyen statik topraklama aslında elektronik cihazlar ve insan hayatı için önemlidir. Bina ve istasyonlardaki elektrik tesisatındaki arızalar nedeniyle binaya veya cihazlara kaçan elektriğin insanlara zarar vermeden toprağa boşalması için zorunlu olarak kullanılmalıdır.

Ayrıca bilgisayar ve vericiler gibi elektronik cihazların üzerinde biriken manyetik alanları toprağa boşaltmak için kullanılması zorunludur. TV verici istasyonlarında istasyonun bir köşesine topraklama barası yapılır istasyonda bulunan tüm cihazlar bu baraya bağlanır.

3.5. Topraklamaların Birleştirilmesi

Bir tesiste koruma, işletme ve yıldırım topraklamaları bulunabilirler. Koruma ve işletme topraklamalarının bir kısmı alçak gerilim ve bir kısmı yüksek gerilim tesislerine ait olabilirler. Bir tesiste bulunan bu çeşitli cins topraklamaların birbiri ile birleştirilmesi bazı faydalar sağladığı halde bazı Zararlarda yol açabilirler. Topraklamaların birleştirilmesinin sağladığı en önemli yarar, toplam topraklama direncinin düşmesidir. Böylece topraklamaların daha ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olur Ayrıca farklı topraklamaların birleştirilmesi ile, bu topraklamalara bağlı kısımlar arasında tehlikeli gerilim farklarının meydana gelmesi önlenmiş olur. Topraklamaların birleştirilmelerinden doğan sakıncaların başında tehlikeli potansiyel sürüklenmeleri gelir. Onun için 65 V'dan daha büyük topraklayıcı gerilimlerinin baş göstermesi halinde sıfır hatları, kablo mahfazaları, su boruları, demir yolu rayları veya çitler üzerinden topraklayıcı geriliminin müsaade edilmeyen büyük bir kısmının civara sürüklenip sürüklenmediğini ve çok büyük temas ve adım gerilimlerinin meydana gelip gelmediklerini kontrol etmek gerekir [11].

Aşağıda birbirine bağlanabilecek olan topraklamaların en önemlileri özet olarak verilmiştir.

a) Santrallerin, bağlama ve transformatör istasyonlarının iç ihtiyaç tesisleri: Yüksek gerilim topraklama tesislerinin içinde bulunan ve yüksek gerilim tesisleri tarafından beslenen alçak gerilim tesislerinde bütün koruma ve işletme topraklamalarının birleştirilmeleri gerekir.

b) Bir yüksek gerilim topraklama tesisinin dışında bulunan alçak gerilim tesisleri: Böyle bir tesiste koruma ve işletme topraklamalarının birbirine bağlanabilmeleri için aşağıdaki şartların gerçekleşmesi gerekir.

·Müşterek bir topraklayıcı tesisinde topraklayıcı gerilimi 65 V' u aşmamalıdır.

·Yüksek gerilim istasyonu sanayi tesislerinin içinde veya kapalı bir binada bulunmalıdır.

c) Yıldırım topraklaması, alçak gerilim tesislerinde hava hattına ait koruma iletkeni, transformatör istasyonlarının ve bağlama tesislerinin topraklama tesisleri ile bağlanırlar. Ayrıca bina yıldırımılık tesislerinin koruma işletme topraklamaları ile bağlanmasına müsaade edilir.

4. YENİ TESİS EDİLECEK VEYA MEVCUT TOPRAKLAMA TESİSLERİNDE YAPILACAK ÖLÇMELER

Bu bölümde adı geçen deney yöntemleri referans yöntemlerdir. Doğrulukları daha az olmamak kaydıyla, başka yöntemler de kullanılabilir.

4.1. Toprak Öz direncinin Ölçülmesi

Toprak yayılma direncini veya topraklama empedansını önceden belirlemek amacıyla toprak öz direncinin ölçülmesi, bu direncin çeşitli derinlikler için tespit edilmesini sağlayan “Dört Sonda Yöntemi” (örneğin, Wenner Yöntemi) ile yapılmalıdır [10].

4.2. Toprak Yayılma Dirençlerinin ve Topraklama Empedanslarının Ölçülmesi

Bu dirençler ve empedanslar farklı şekillerde belirlenebilir. Hangi ölçme yönteminin amaca uygun olduğu, topraklama sisteminin büyüklüğüne ve etkilenmenin derecesine bağlıdır.

Not : Topraklanmış kısımlarda veya bunların arasında (örneğin, direk ile yukarı kaldırılmış toprak teli arasında), bu ölçmeler ve yapılan hazırlıklar sırasında, enerjinin kesik olduğu durumda da tehlikeli dokunma gerilimlerinin ortaya çıkabileceğine dikkat edilmelidir [10].

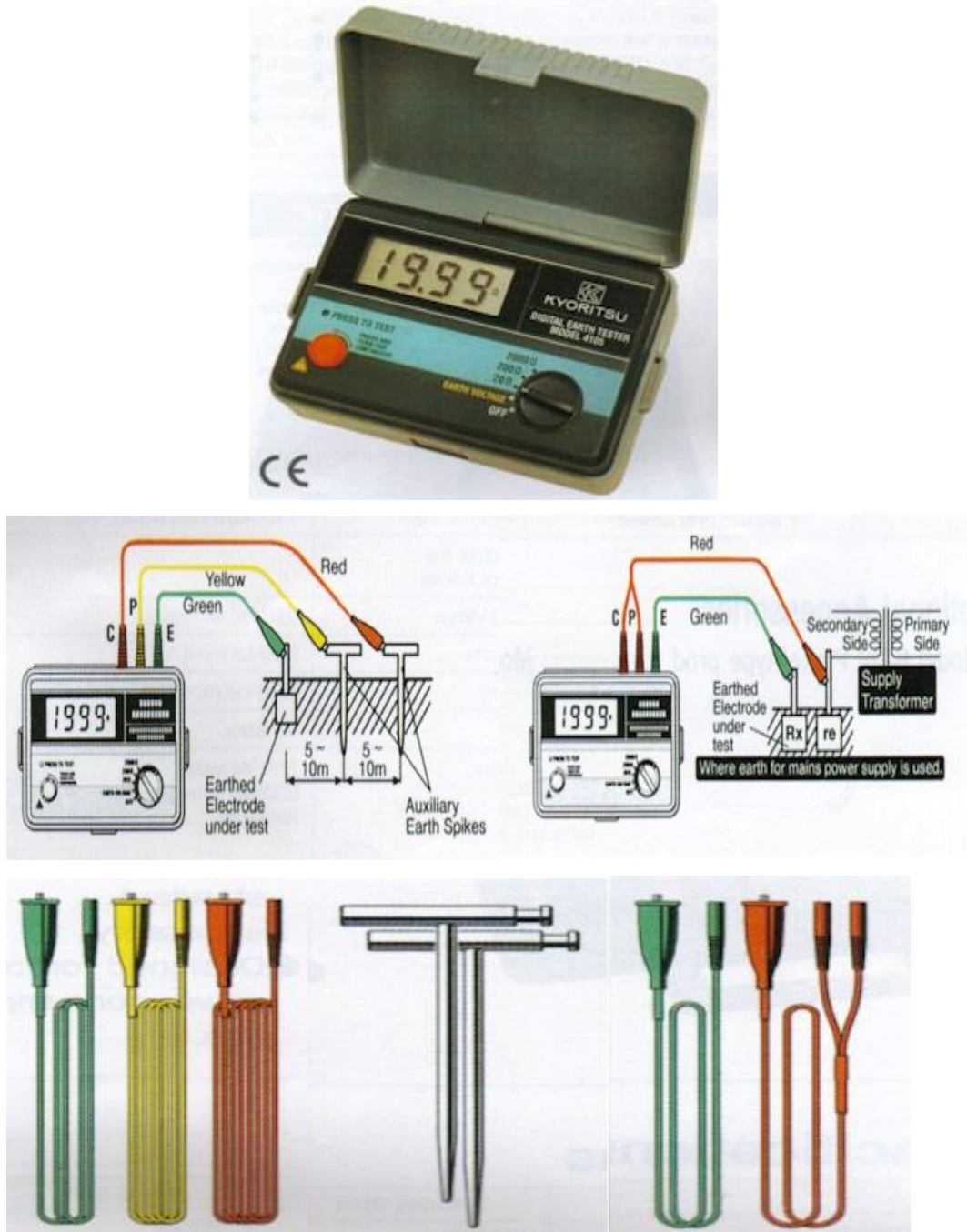
4.3. Uygun Ölçme Yöntemleri ve Ölçü Cihazlarının Tipleri İçin Örnekler

4.3.1. Topraklama ölçme cihazı

Bu cihaz, topraklayıcılar veya küçük veya orta büyüklükteki topraklama sistemlerinde, örneğin tek bir derin topraklayıcı, şerit topraklayıcı, toprak teli havaya kaldırılmış (direkle irtibatı ayrılmış) veya kaldırılmamış durumdaki hava hattı direklerinin topraklayıcıları, AG topraklama tesisinden ayrılmış orta gerilim şebekesindeki topraklama tesisleri için kullanılır. Kullanılan alternatif gerilimin frekansı 150 Hz’i aşmamalıdır.

Ölçme yapılacak topraklayıcı, sonda ve yardımcı topraklayıcılar, mümkün olduğu kadar birbirinden uzakta olmak üzere mümkün mertebe bir doğru üzerinde bulunmalıdır. Sondanın ölçme yapılacak topraklayıcıyla arasındaki mesafe, 20 m’den az olmamak kaydıyla, en büyük

topraklayıcı uzunluğunun en az 2,5 katı (ölçme yönüne doğru), yardımcı topraklayıcının mesafesi ise, 40 m'den az olmamak kaydı ile en az 4 katı olmalıdır [10].



Şekil 4.1. Topraklama ölçmede kullanılan test cihazı

Şekil.4.1’de uygulamalarda kullandığımız topraklama empedansı test cihazı görülmektedir. Yukarıda da görüldüğü gibi normal empedans ölçümünde topraklama kazıkları kullanılmaktadır. Trafo topraklaması ölçümünde ise direk proplardan faydalanılır.

Topraklama tesisiyle uzaktaki bir topraklayıcı arasına yaklaşık şebeke frekanslı bir alternatif gerilim uygulayarak topraklama tesisine, bu tesiste ölçülebilir bir potansiyel yükselmesi ortaya çıkarabilecek bir I_M test akımı akıtılır [6,10].

Bu sırada işletme sırasında tesise bağlı bulunan toprak telleri ve topraklayıcı etkisi olan kablo kılıfları ayrılmamalıdır.

Topraklama empedansının mutlak değeri aşağıdaki formülle bulunur

$$Z_E = \frac{U_{EM}}{I_M \cdot r} \quad (4.1)$$

Burada :

U_{EM} :Topraklama tesisiyle, referans toprak bölgesindeki sonda arasında ölçülen gerilim (V),

I_M :Ölçülen deney akımı (A),

R :Hattın uzaktaki topraklayıcıya göre azalma katsayısı. Azalma katsayısı hesap ile veya ölçme yoluyla tespit edilebilir. Toprak teli olmayan hava hatları ve ekran ve zırhlı bulunmayan kablolar için $r = 1$ 'dir.

Hatların, ayrı konsolda döşeli, test edilen hatta paralel giden, topraklayıcı ve uzaktaki topraklayıcı arasındaki toprak telleri, eğer test edilen topraklayıcıya ve uzaktaki topraklayıcıya bağlı iseler, dikkate alınırlar. Test hattı olarak iyi iletken metal bir kılıfı bulunan ve her iki taraftan topraklanmış bir kablo kullanılıyorsa, test akımının oldukça büyük bir kısmı kılıf üzerinden geri akacaktır. Bu kılıfın üzerinde yalıtkan bir dış kılıf bulunuyorsa, bu nedenle, kılıfın topraklamalarının kaldırılması gerekebilir.

Ancak topraklayıcı etkisi bulunan kablolarda metal dış kılıfların topraklamaları ayrılamaz.

Topraklayıcı ve uzaktaki topraklayıcı arasındaki mesafe, mümkün olduğunca 5 km'den az olmamalıdır. Test akımı, mümkün olduğunca en az, ölçülecek gerilimler (test akımına bağlı topraklama ve dokunma gerilimleri) mevcut olabilecek yabancı ve bozucu gerilimlerden daha büyük olacak şekilde seçilmelidir.

Genel olarak bu durum 50 A'in üzerindeki test akımlarıyla sağlanır. Voltmetrenin iç direnci, sondanın yayılma direncinin en az 10 katı olmalıdır.

Not : Küçük topraklama tesisleri için daha küçük uzaklıklar yeterli olabilir. Gerektiği takdirde yabancı ve bozucu gerilimler yok edilmelidir [8,10].

4.3.4. Tekil dirençlerden hesaplama yöntemi

Topraklama tesisi birbirini pratik olarak etkilemeyen, ama örneğin topraklama hatları veya hava hattı toprak telleri gibi bağlantı hatlarıyla birbirlerine bağlanmış tekil topraklayıcılardan meydana geliyorsa, topraklama empedansı Z_E aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

Her bir topraklayıcının yayılma direnci bağlantı hatları açılarak topraklama ölçme cihazıyla tespit edilir, bağlantı hatlarının empedansları hesaplanır ve topraklama empedansı, yayılma dirençleriyle bağlantı hatlarının empedanslarının oluşturduğu eşdeğer devreden bulunur [10].

4.4. Topraklama Geriliminin Tespiti

$\underline{U}_E$ Topraklama gerilimi,

$$\underline{U}_E = \underline{Z}_E \cdot \underline{I}_E \quad (4.2)$$

ile tanımlanır (Şekil.4.2'ye bakınız):

Burada :

$\underline{Z}_E$:Topraklama empedansı,

$\underline{I}_E$:Topraklama akımı.

Ölçme sırasında kullanılan $\underline{I}_{EM}$ topraklama akımı,

$$\underline{I}_{EM} = r \cdot \underline{I}_M \quad (4.3)$$

bağıntısıyla verilir.

$\underline{Z}_E$ topraklama empedansı,

$$\underline{Z}_E = \frac{\underline{U}_{EM}}{\underline{I}_{EM}} \quad (4.4)$$

bağıntısıyla verilir.

Hata durumundaki $\underline{U}_E$ topraklama gerilimi,

$$\underline{U}_E = \underline{I}_E \cdot \underline{Z}_E = \frac{\underline{U}_{EM} \cdot \underline{I}_E}{r \cdot \underline{I}_M} \quad (4.5)$$

bağıntısıyla verilir.

3 fazlı bir alternatif akım şebekesindeki toprak hatası inceleniyorsa ve transformatör merkezinden çıkan bütün hava hatlarının toprak teli azalma katsayısı yaklaşık olarak aynıysa, topraklama akımı için,

$$\underline{I_E} = r \cdot \sum 3 \cdot \underline{I_0} \quad (4.6)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada :

R :Toprak teli azalma katsayısı

$\sum 3 \underline{I_0}$:Bu şebekenin bütün faz iletkenlerinden tesise doğru akan akımların vektörel toplamı

Transformatör merkezinde, ortaya çıkan bir hata durumunda $\sum 3 \underline{I_0}$, toprak kısa devre akımı ile transformatör yıldız noktası (nötr) akımı arasındaki farktır.

Transformatör merkezinden çıkan A, B, C ... hatlarının toprak teli azalma katsayıları birbirinden farklıysa,

$$\underline{I_E} = r_A \cdot 3\underline{I_{0A}} + r_B \cdot 3\underline{I_{0B}} + r_C \cdot 3\underline{I_{0C}} + \dots \quad (4.7)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada:

$\underline{I_{0A}}$:A hattının bir faz iletkenin (örneğin L1 fazının) sıfır akım bileşeni, $\underline{I_{0B}}$ aynı şekilde B hattı için v.s.

r_A :A hattının toprak teli azalma katsayısı, r_B aynı şekilde B hattının v.s.

ransfor matör merkezine gelen hatlardan biri kablo ise, bu durumda bu hat için, $\underline{I_E}$ 'nin hesaplanması için verilen yukarıdaki formülde topraklama teli azalma katsayısı yerine kablo kılıfı azalma katsayısı yerleştirilir [5,10].

4.5. Topraklama Ölçmelerinde Yabancı ve Bozucu Gerilimin Yok Edilmesi

Topraklama geriliminin tespit edilmesi sırasında her çeşit yabancı ve bozucu gerilim ile (örneğin, işletmede bulunan komşu sistemler tarafından deney akım devresinin endüktif olarak etkilenmesi) ölçme hataları ortaya çıkabilir.

Bu tip bozucu etkilerin yok edilmesi için kullanılan yöntemlere örnekler :

4.5.1. Salınım yöntemi

Bu yöntemde, frekansı şebekeninkinden onda birler mertebesinde farklı olan bir gerilim kaynağı (örneğin acil ihtiyaç generatörü) kullanılır. Deney akımı tarafından oluşturulan gerilimler, bir ölçme çevriminin süresinin yeteri kadar kısa olması durumunda mutlak değeri ve faz açısı sabit olarak kabul edilebilecek diğer bozucu gerilimlerin U'_d üzerine vektörel olarak toplanır. Asenkron süperpozisyon nedeniyle voltmetrenin ibresi veya göstergesi bir maksimum U_1 ve minimum U_2 değeri arasında salınır. Test akımı tarafından oluşturulan gerilim için bu durumda;

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad 2 \times U'_d < U_1 \quad \text{için} \quad (4.8)$$

$$U = \frac{U_1 - U_2}{2} \quad 2 \times U'_d > U_1 \quad \text{için} \quad (4.9)$$

$$U = \frac{U_1}{2} \quad 2 \times U'_d = U_1 \quad \text{için} \quad (4.10)$$

bağıntıları geçerlidir [10].

4.5.2. Kutup değiştirme yöntemi

Bu yöntemde, geriliminin faz açısı akımsız bir bekleme süresi sonunda elektriksel olarak 180° döndürülen şebeke ile senkron bir gerilim kaynağı (transformatör) kullanılır. Kutup değiştirmesi yapılmadan önce test akımı akarken ortaya çıkan gerilim U_a , kutup değiştirildikten sonra U_b ve test akımının kesildiği sıradaki bozucu gerilim U_d ölçülür. Vektörel bağıntılar nedeniyle test akımı tarafından ortaya çıkarılan gerilim için,

$$U = \sqrt{\frac{U_a^2 + U_b^2}{2} - U_d^2} \quad (4.11)$$

bağıntısı geçerlidir [2,10].

4.5.3. Vektör ölçme yöntemi

Uzun ölçü iletkenleri, test hattıyla mümkün olduğunca dik açı yapacak şekilde döşenmelidir. Yer nedeniyle bu mümkün değilse, test akımı tarafından ölçme iletkeninde endüklenen gerilim kısmı, vektör ölçü aletiyle kısmen elimine edilir.

4.5.4. Doğru akımların bloke edilmesi

Bozucu gerilimlerin içinde yüksek değerli doğru gerilim bileşenleri mevcutsa, doğru gerilimi bloke eden bir voltmetrenin kullanılması gerekebilir.

4.6. Arıza çevrim (halka) empedansının ölçülmesi

Örnek olarak, aşağıdaki metotlar, arıza çevrim (halka) empedansının ölçülmesi sırasında TN sistemlerine uygulanabilir.

Not 1: Burada önerilen metotlar, gerilimin vektörel yapısını yani gerçek bir toprak arızasındaki koşulları dikkate almadığından arıza çevrim (halka) empedansının sadece yaklaşık değerini verir. Bununla birlikte, yaklaşım derecesi, söz konusu devrenin reaktansı ihmal edilebiliyorsa kabul edilebilir.

Not 2: Arıza çevrim (halka) empedansı ölçülmesi deneyi uygulanmadan önce, nötr noktası ile açıktaki metal bölümler arasında bir süreklilik deneyi yapılması istenir.

Metot 1: Arıza çevrim (halka) empedansının gerilim düşümü yardımı ile ölçülmesi:

Not : Bu metodun uygulamada güçlükler gösterdiğine dikkat edilmelidir.

Doğrulanacak devrenin gerilimi, bir değişken yük direnci bağlı iken ve bağlı değilken ölçülür ve arıza halka empedansı

$$Z = \frac{U_1 - U_2}{I_R} \quad (4.12)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada;

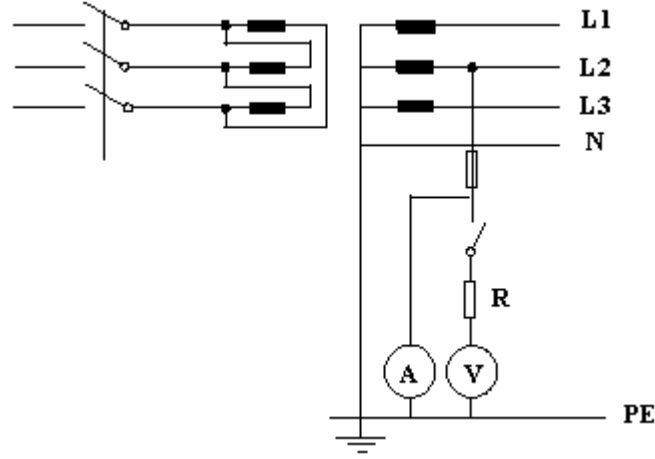
Z : Arıza çevrim (halka) empedansı,

U_1 :Yük direnci bağlı değilken ölçülen gerilim,

U_2 :Yük direnci bağlı iken ölçülen gerilim,

I_R :Yük direncinden geçen akımdır,

Not : U_1 ile U_2 arasındaki fark, belirgin olmalıdır.



Şekil 4.3. Arıza çevrim (halka) empedansının gerilim düşümü yardımı ile ölçülmesi deneyi

Metot 2: Arıza çevrim (halka) empedansının ayrı bir besleme yardımı ile ölçülmesi: Ölçme, normal besleme hattı kesilmiş ve transformatörün primeri kısa devre bağlanmış iken yapılır[7,10]. Bu metotta ayrı bir besleme kaynağı kullanılır (Şekil.4.3) ve arıza çevrim (halka) empedansı

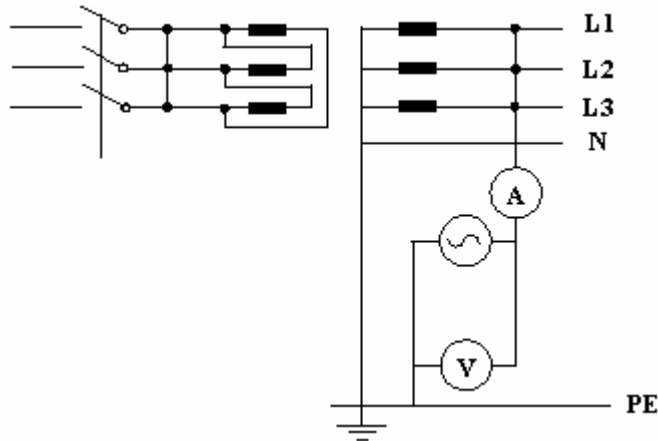
$$Z = \frac{U}{I} \quad (4.13)$$

formülü ile hesaplanır.Burada;

Z Arıza çevrim (halka) empedansı,

U Ölçülen deney gerilimi,

I Ölçülen deney akımıdır.



Şekil 4.4. Arıza çevrim (halka) empedansının ayrı bir besleme yardımı ile ölçülmesi deneyi

5. UYGULAMALAR

Bu bölümde çeşitli tesis ve bölgeler de topraklama ile ilgili yapılan ölçümler incelenmiştir. Yapılacak uygulamalarda topraklama sistemlerine aşağıdaki ifadelerin etkileri incelenmiştir.

- Topraklayıcıların yerleri,
- Topraklayıcıların çeşitleri,
- Topraklayıcıların boyutları,
- Topraklama için kullanılan malzemeler,
- Gömülme derinlikleri,
- Topraklayıcıların düzenlenme biçimleri,
- Topraklama iletkenlerinin cinsi,
- Topraklama iletkenlerinin bağlantılarına ilişkin detaylar,
- Başka topraklayıcılar ile bağlantı yerleri,
- Topraklamalara ilişkin direnç değerleri.
- Topraklamanın yapıldığı tarih,

Bu etkiler incelendikten sonra mevcut topraklama sistemi yetersizse gerekli eklemeler ve düzeltmeler yapılarak sistem iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu ölçümler yapılırken toprağın yapısı da önemli olduğundan ve hesaplamalarda toprak özgül direnci ifadesi geçtiğinden Ek.1'deki değerler incelenmelidir.

5.1. Uygulama–1: İki Topraklayıcı Arasındaki Mesafenin Etkisi

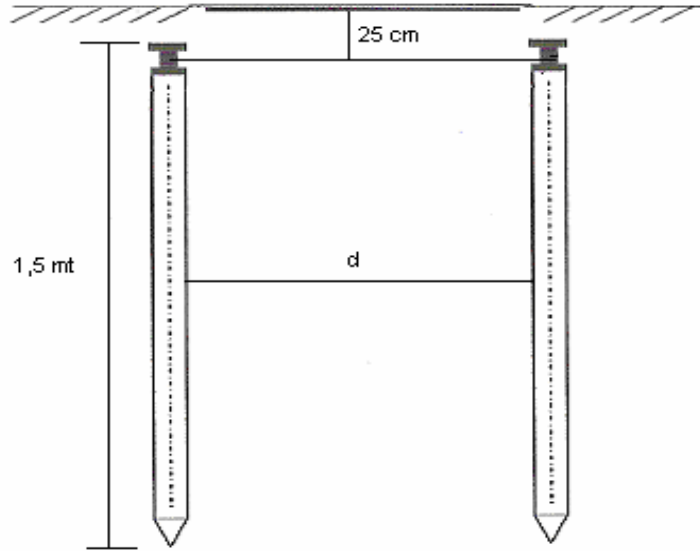
Bu uygulamada sanayi bölgesinde bulunan bir hazır beton imalat yerinin topraklama değerleri ölçülmüştür. Mevcut sistemin değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Uygulama-1 için yapılan ölçümler

Topraklayıcıların yerleri	Tesisten 10 metre uzakta
Topraklayıcıların çeşitleri	Bakır çubuk
Topraklayıcıların boyutları	Q18 mm 1,5 metre
Gömülme derinlikleri	Toprak yüzeyinden 25 cm
Topraklama iletkenlerinin cinsi	1x10 mm ² NYA kablo
Topraklama iletkeni bağlantı detayı	16 mm ² kablo pabucu ve galvaniz cıvata
Topraklama direnci	6,75 Ω
Toprağın tipi	Metamorfik ve klivajlı şist

Tablodan da görüldüğü gibi mevcut sistem ihtiyaca cevap vermemektedir. Bunun sebebi yapılacak ilave sistemlerle bulunmaya çalışılacaktır.

Öncelikle sisteme aynı topraklayıcıdan çeşitli mesafelerde yerleştirilerek ölçümler tekrarlanıp sistem gözlenmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama-1 için sisteme belli aralıklarda yeni topraklayıcı eklenmesi

Burada ilk olarak iki topraklayıcı arasındaki mesafe $d=20$ cm seçilmiştir. Ardından bu mesafe periyodik olarak arttırılarak ölçümler yapılmış ve bu değerler Tablo 5.2’de verilmiştir. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin arttırılması ile topraklama direnci hesabı formülü aşağıda verilmiştir.

$$\frac{R_y}{R} = \frac{1+x}{2} \quad (5.1)$$

$$x = \left(\frac{\frac{L}{4L}}{\ln \frac{4L}{(a-1)}} \right) \div d \quad (5.2)$$

R_y : Yeni topraklama direnci (ohm)

R : Bir topraklama çubuğunun direnci (ohm)

L : Gömülü iletkenin boyu (cm)

a : Gömülü iletkenin çapı (cm)

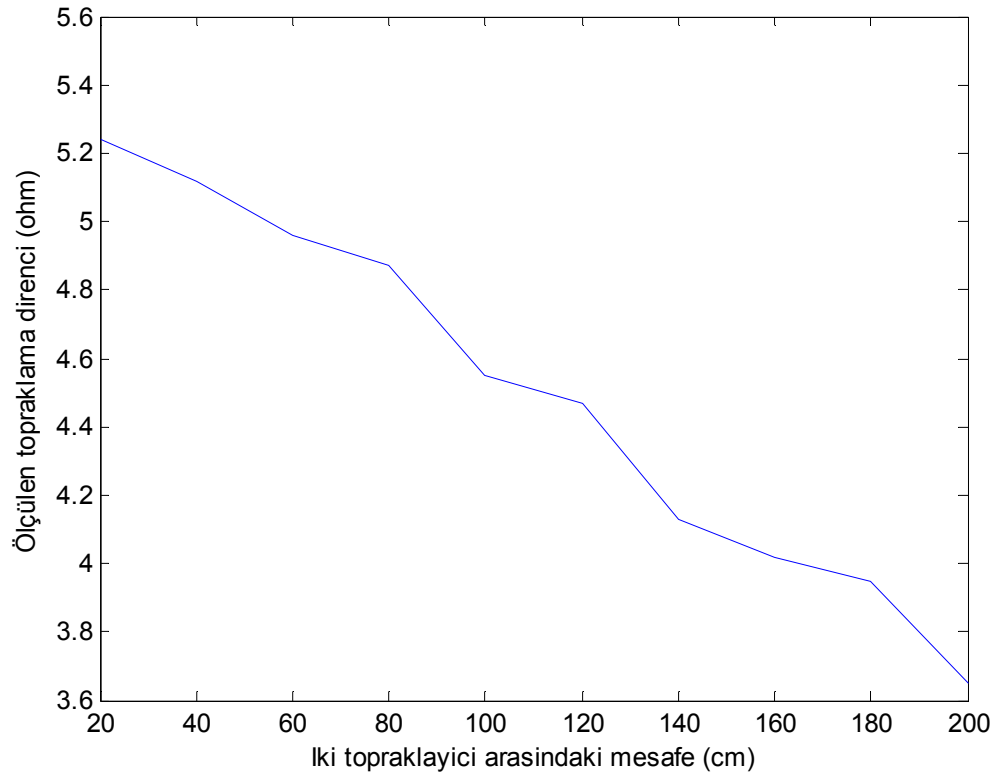
d : İki iletken arasındaki mesafe (cm)

Burada R ’nin hesaplanmasında denklem (2.2)’den faydalanılmıştır. Ayrıca toprağın yapısından dolayı $\rho=1000$ ohm-m seçilmiştir.

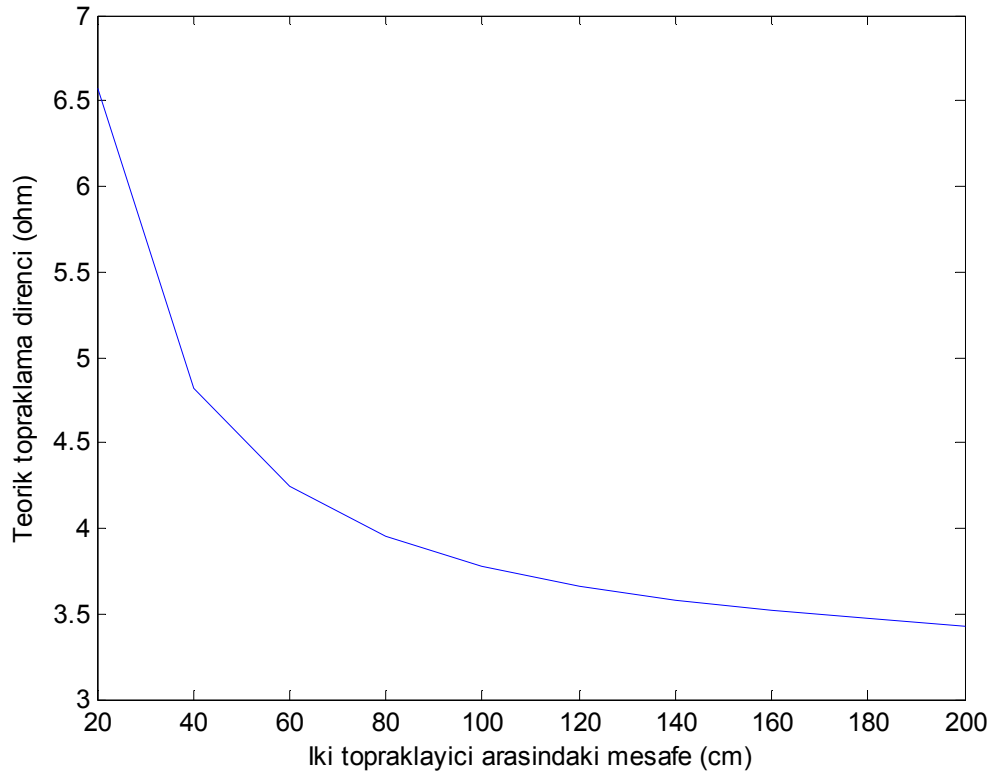
Tablo 5.2. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin arttırılması ile yapılan ölçümler

İki Topraklayıcı Arasındaki Mesafe	Ölçülen Topraklama Direnci	Teorik Topraklama Direnci
20 cm	5,24 Ω	6,57 Ω
40 cm	5,12 Ω	4,82 Ω
60 cm	4,96 Ω	4,24 Ω
80 cm	4,87 Ω	3,95 Ω
100 cm	4,55 Ω	3,78 Ω
120 cm	4,47 Ω	3,66 Ω
140 cm	4,13 Ω	3,58 Ω
160 cm	4,02 Ω	3,52 Ω
180 cm	3,95 Ω	3,47 Ω
200 cm	3,65 Ω	3,43 Ω

Tablo incelendiğinde genel olarak iki topraklayıcı arasındaki mesafe arttıkça topraklama direnci de düşmektedir. Hesaplanan topraklama direnci değerleri ile ölçülen topraklama direnci değerlerinin farklı olması tesisin bulunduğu yerin toprak yapısının homojen olmaması ve yapılan ölçümler esnasında bazı toprak bölgelerinin nemli olması olarak düşünülebilir. Sonuç olarak herhangi bir topraklama tesisine mevcut topraklayıcı ile aynı özellikte topraklayıcı eklendiğinde iki topraklayıcı arasındaki mesafe arttıkça topraklama direnci düşmektedir. Yani bir sisteme birden fazla topraklayıcı eklendiğinde iki topraklayıcı arasındaki mesafe yeteri kadar arttırılmalıdır. Ancak bu mesafenin çok büyük olması demek topraklama iletkeninin uzunluğunun artması demektir. Bu da maliyeti arttıracaktır. Bu nedenle iki topraklayıcı arasındaki mesafe en uygun değer yakalanana kadar arttırılmalıdır. Ayrıca iki topraklayıcı arasındaki mesafe en az bir topraklayıcının boyunun iki katı olmalıdır. Şekil 5.2’de yapılan ölçümlerin eğrisi Şekil 5.3’de ise hesaplanan değerlerin eğrisi gösterilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi iki topraklayıcı arasındaki mesafe ile ölçülen topraklama direnci ters orantılıdır. Ancak bu orantı yapılan ölçümlerde düzgün değildir. Sebebi ise toprağın yapısının homojen olmaması olarak düşünülebilir.



Şekil 5.2. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (deneysel)



Şekil 5.3. İki topraklayıcı arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (teorik)

5.2. Uygulama–2: Topraklamada Derinliğin Etkisi

Bu uygulamada ise önceki örnekteki sistemde bulunan topraklayıcının derinliği değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Mevcut sistemin derinliği yeterli olmadığı için yeterli topraklama direnci sağlanmadığı düşünülebilir. Öncelikle topraklayıcı yüzeye sıfır mesafede olduğu durum incelenmiştir ve daha sonra derinlik 20 cm periyodik olarak arttırılarak ölçümler yapılmıştır. Ancak toprağın yapısından dolayı en fazla 120 cm derine inilebilmiştir. Aşağıda öncelikle derinliğe bağlı derin bir topraklayıcının topraklama direnci hesabının formülü verilmiştir.

$$R_t = 0,3672 \left(\frac{\rho}{L} \right) \log \left(\frac{2L^2}{Hd} \right) \quad (5.3)$$

ρ : Toprak özgül direnci (ohm-m)

L : Gömülü iletkenin boyu (m)

d : Gömülü iletkenin çapı (m)

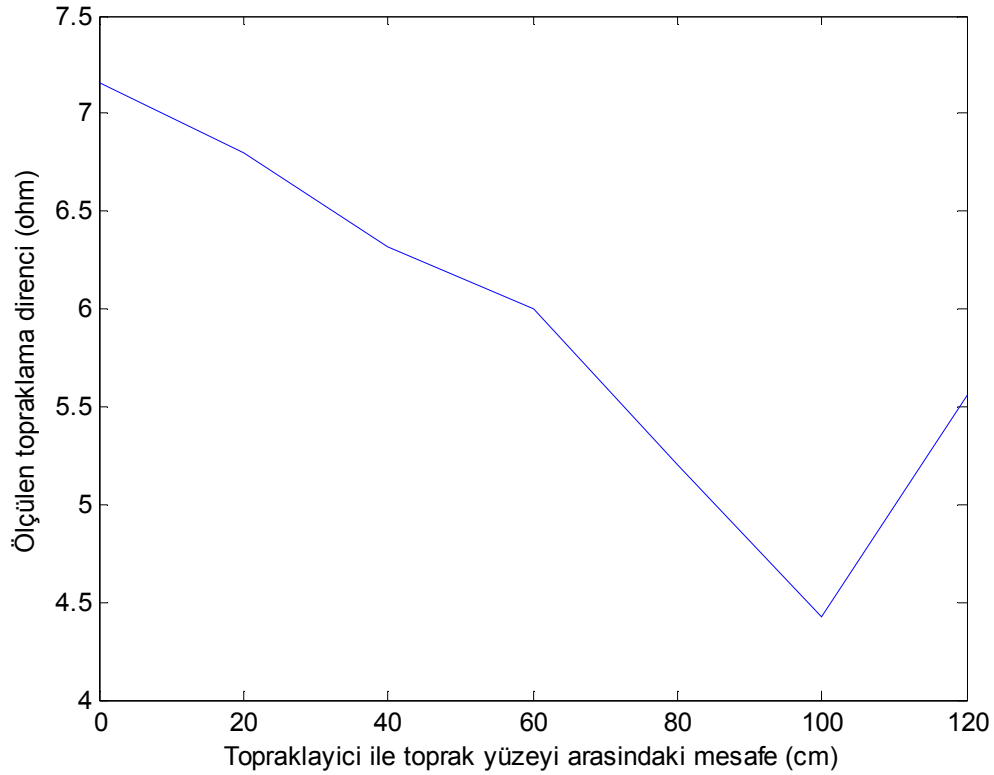
H : İletkenin gömülme derinliği (m)

Topraklayıcı ve toprak yüzeyi arasındaki mesafeye bağlı olarak ölçülen ve hesaplanan topraklama direnç değerleri Tablo 5.3’de görüldüğü gibi topraklayıcı ne kadar derine gömülürse o kadar topraklama direnci düşük olmaktadır. Ancak 120 cm derine gömüldüğü zaman topraklama direnci yükselmiştir. Bunun nedenin topraklayıcının sivri ucunun derinde kaya ile temas etmesinin olduğu düşünülmektedir. Topraklayıcı toprağın yapısı uygunsa mümkün olduğu kadar derine gömülmelidir. Ancak toprağın yapısı uygun değilse korozyon ve toprak kayması gibi etkiler de göz önüne alınarak en az 50 cm derine gömülmelidir. Ayrıca korozyonun etkisi ve toprak kayması levha topraklayıcıların gömülmesinde de dikkat edilmesi gereken hususlardır. Levha topraklayıcı olan bir topraklama sisteminde levha toprağa dik olarak gömülmelidir. Sebebi ise toprağa yatay olarak gömülen bir levhanın toprağın kayması ile toprakla irtibatı kesildiği ve toprakla yeteri kadar temas etmediği için iletim hatası verdiği düşünülebilir

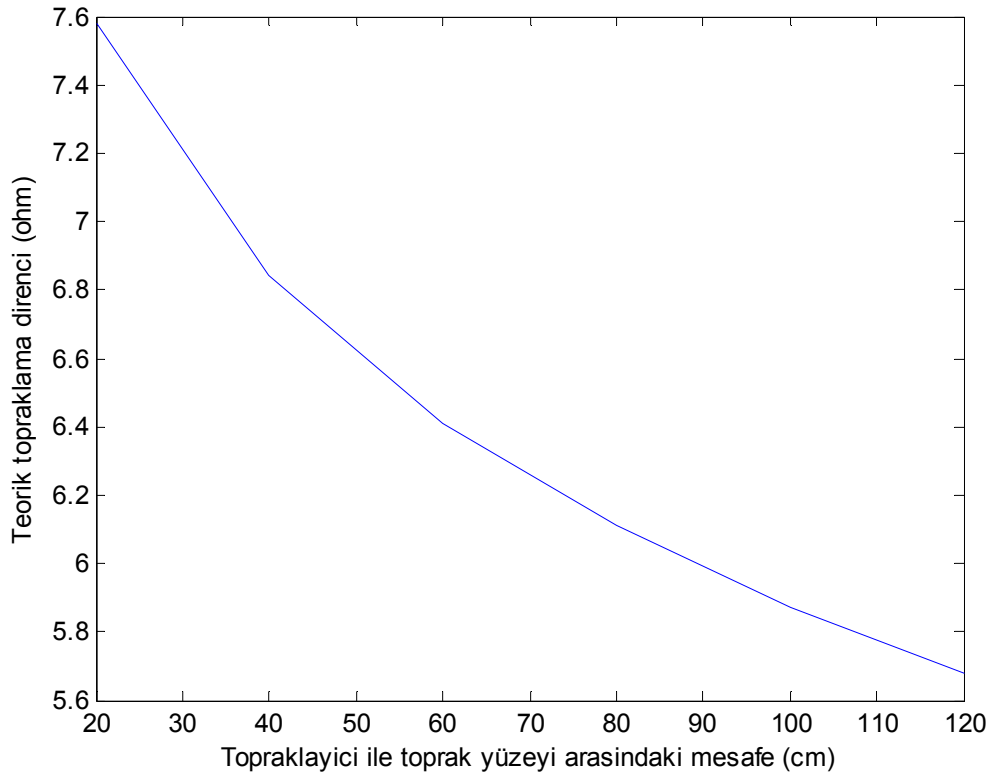
Tablo 5.3. Topraklayıcının derinliğinin değiştirilmesi ile ölçülen değerler

Topraklayıcı ve Toprak Yüzeyi Arasındaki Mesafe	Ölçülen Topraklama Direnci	Teorik Topraklama Direnci
0 cm	7,16 Ω	E
20 cm	6,80 Ω	7,58 Ω
40 cm	6,32 Ω	6,84 Ω
60 cm	6,00 Ω	6,41 Ω
80 cm	5,20 Ω	6,11 Ω
100 cm	4,42 Ω	5,87 Ω
120 cm	5,56 Ω	5,68 Ω

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’deki deneysel ve teorik değerlerin eğrilerinde de görüldüğü gibi derinlik ve topraklama direnci ters orantılıdır.



Şekil 5.4. Topraklayıcı ile toprak yüzeyi arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (deneysel)



Şekil 5.5. Topraklayıcı ile toprak yüzeyi arasındaki mesafenin değişiminin etkisi (teorik)

Bu uygulamada ise yine aynı sistemde topraklama iletkeninin üzerindeki izole kaldırılarak tekrar ölçüm yapılmıştır. Yeni yapılan ölçümde topraklama direnci $6,42 \Omega$ çıkmıştır. Sonuç olarak topraklama iletkenleri izolesiz kullanılabilir. Ancak bu işlem yapılırken canlıların temas edeceği yerdeki iletkenler izoleli olmalıdır. Bunun nedeni ise herhangi bir arıza durumunda iletken üzerinden geçip toprağa iletilecek kaçak akım canlının iletkene dokunması ile canlı üzerinden geçebilir.

Mevcut sistemin topraklama iletkeninin kesiti yeterli değildir. Tesise enerji veren ana besleme kablosu $3 \times 50 + 25 \text{ mm}^2$ NYY kablodur. Bu nedenle tesisin topraklaması en az $1 \times 50 \text{ mm}^2$ NYY(veya NYA) kablo ile yapılmalıdır. Burada sisteme 1×50 NYY kablo bağlanarak topraklama direnci tekrar ölçülmüştür ve $3,15 \Omega$ bulunmuştur. Burada da görüldüğü gibi bir tesise bağlanacak topraklama iletkeni en az tesise çekilen ana besleme kablosunun bir damarının kesiti ile aynı kesitte olmalıdır. Bu uygulamanın daha detaylı şeklini ilerleyen bölümlerde inceleyeceğiz.

Bu uygulamada ise tesise farklı bir topraklayıcı eklenerek birleşik topraklayıcı sistemi incelenmiştir. Sisteme sırasıyla galvaniz şerit, galvaniz kazık, galvaniz levha, bakır levha eklenmiştir. Tablo 5.4’de bu eklemeler sonucunda ölçülen değerler verilmiştir. Tabloda

yapılan ölçümlerde de görüldüğü gibi aynı tip topraklayıcılar dışındaki topraklayıcıları birbirine paralel bağladığımızda topraklama direnci çok büyük bir değişim göstermemektedir.

Tablo 5.4. Yeni eklenen topraklayıcı ile yapılan ölçüm sonuçları

Yeni Eklenen Topraklayıcı	Ölçülen Topraklama Direnci
Galvaniz şerit	6,66 Ω
Galvaniz kazık	6,35 Ω
Galvaniz levha	5,92 Ω
Bakır levha	2,87 Ω

5.3. Uygulama–3: Paratoner Topraklaması

Burada bir askeri kuruluşa ait mühimmat depoları çevresindeki çeşitli paratonerlerin topraklaması ölçülmüştür. Paratonerler yaklaşık 10 sene kadar önce kurulmuş olup radyoaktif başlık kullanılmıştır. Paratoner topraklama dirençleri 10 ohm'dan küçük olmalıdır. Tablo 5.5'de paratoner topraklaması için yapılan ölçümler verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde 3. ve 4. paratonerler teorik değerlerin üzerine çıkmıştır. Bu paratonerlere iyileştirme çalışması yapılması gerekmektedir. Bu da mevcut sisteme topraklama çubuğu takviyesiyle veya GEM direnç düşürücü malzeme eklenmesi ile olabilir. Ancak tavsiye edilen topraklama çubuğu takviyesidir. Sebebi ise bu tesis askeri bir yer olduğu için ve yıldırımdan korunan yer tehlike arz ettiği için kalıcı ve kesin çözümler üretilmesi en uygun olanıdır.

Tablo 5.5. Paratoner topraklaması ölçümleri

	Ölçülen Değer	Teorik Değer
1.paratoner	9,75 Ω	< 10 Ω
2.paratoner	8,80 Ω	< 10 Ω
3.paratoner	10.55 Ω	< 10 Ω
4.paratoner	12,45 Ω	< 10 Ω

5.4. Uygulama–4: Malatya’da Çeşitli Yerlerde Yapılan Doğalgaz Topraklama Sistemi Ölçümleri

Bu uygulamada doğalgaz sistemlerine yapılan topraklamalar ölçülmüştür. Doğalgaz sistemlerinde topraklama direncinin 20 ohm’un altında olması gereklidir. Malatya’nın çeşitli yerlerinde yapılan doğalgaz sistemlerine bağlı olan topraklama değerleri Tablo 5.6’da verilmiştir. Tabloda ölçülen değerlerde de görüldüğü gibi Paşaköşkü bölgesi dışında değerler istenilen aralıktadır. Paşaköşkü bölgesinde yapılan ölçümün yüksek çıkmasının nedeni kullanılan çubuğun som bakır çubuk olmaması ve yeterli derinliğe gömülmemesi olarak düşünülebilir. Ayrıca toprak yapısının da etkisi olduğu düşünülebilir. Bunun yanında diğer bölgelerde de som bakır çubuk kullanılmamasına rağmen istenilen değerler yakalanmıştır. Ancak bu durumda tehlike söz konusu olabilmektedir. Sebebi ise zamanla som bakır olmayan çubuk hava şartları, toprağın yapısı ve korozyonun etkisi ile üzerindeki bakır kaplamanın yok olması ile iletkenlik özelliğini büyük oranda kaybedecek olmasıdır. Bu durumda mevcut sistem büyük bir tehlike ile karşı karşıya kalabilir ve hatta sonucunda büyük maddi zararlar ve ölüm tehlikesi ile sonuçlanabilecek kazalar meydana gelebilir. Burada yapılacak tek şey kontrol mühendisi tarafından topraklama ölçümünün bizzat yapılması ver her ne olursa olsun istenilen topraklama direnci sağlanamadığı takdirde gaz açımına izin verilmemesidir.

Tablo 5.6. Malatya’nın çeşitli yerlerinde yapılan doğalgaz topraklama sistemi ölçümleri

	Ölçülen Değer	Toprağın Yapısı
Vali Konağı Bölgesi	7,85 Ω	Marnlar
Çöşnük Bölgesi	18,00 Ω	Metamorfik ve klivajlı şist
Paşaköşkü Bölgesi	27,00 Ω	Metamorfik kaya kuvars mermer v.b
Karakavak Bölgesi	16,45 Ω	Metamorfik ve klivajlı şist
Çevreyolu Bölgesi	4,50 Ω	Marnlar

5.5. Uygulama–5: Çeşitli Kimyasalların Etkisi

Bu uygulamada ise sanayi bölgesinde bulunan bir tekstil fabrikasının topraklaması incelenmiştir. Mevcut sistem incelendikten sonra GEM direnç düşürücü madde ve diğer kimyasallar eklenerek topraklama direnci tekrar ölçülmüştür. Tablo 5.7’de mevcut değer ve yeni ölçülen topraklama direnci değerleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde sonradan eklenen kimyasallar toprak direnç değerini düşürmektedir. Ancak yukarıda GEM dışındaki malzemeler yani tuz ve kömür tozu zamanla topraklayıcı ile kimyasal reaksiyona girerek topraklayıcıya zarar verebileceği düşüncesi ile fazla tercih edilmemelidir.

Tablo 5.7. Çeşitli kimyasallar eklenerek yapılan ölçümler

Mevcut Değer	3,36 Ω
Kömür Eklendikten Sonraki Değer	1,77 Ω
Tuz Eklendikten Sonraki Değer	2,16 Ω
2 kg GEM Eklendikten Sonraki Değer	1,82 Ω
5 kg GEM Eklendikten Sonraki Değer	1,80 Ω
7 kg GEM Eklendikten Sonraki Değer	1,95 Ω

5.6. Uygulama–6: Toprak Çeşitlerinin Eklenmesinin Etkisi

Bu uygulamada ise bir topraklama tesisinin hava şartları ve toprağın yapısından nasıl etkilendiğini incelenmiştir. Bu uygulama için sanayi bölgesinde bulunan bir plastik enjeksiyon atölyesi seçilmiştir. Mevcut sistemin topraklama empedansı 5.82 Ω olarak ölçülmüştür. Bu değer olması gereken değer çok üstündedir. Çünkü sistemde kullanılan çubuk som bakır çubuk değildir ve zamanla zarar görmüştür. Burada Tablo 5.8’de de görüldüğü gibi topraklamanın iyileştirilmesi için sisteme öncelikle som bakır çubuk eklenmiş ve topraklama direnci ölçülmüştür. Daha sonra farklı yapıdaki toprak çeşitleri topraklayıcının etrafını saracak şekilde yerleştirilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Son olarak hava durumunun etkisini görmek için yağış olduğu düşünülerek toprağa belirli miktarda su verilerek mevcut sistemde tekrar ölçüm yapılmıştır. Humuslu toprakla yapılan topraklama sulandıktan sonra en iyi değeri sağlamaktadır.

Tablo 5.8. Toprak çeşitleri eklenerek yapılan ölçümler

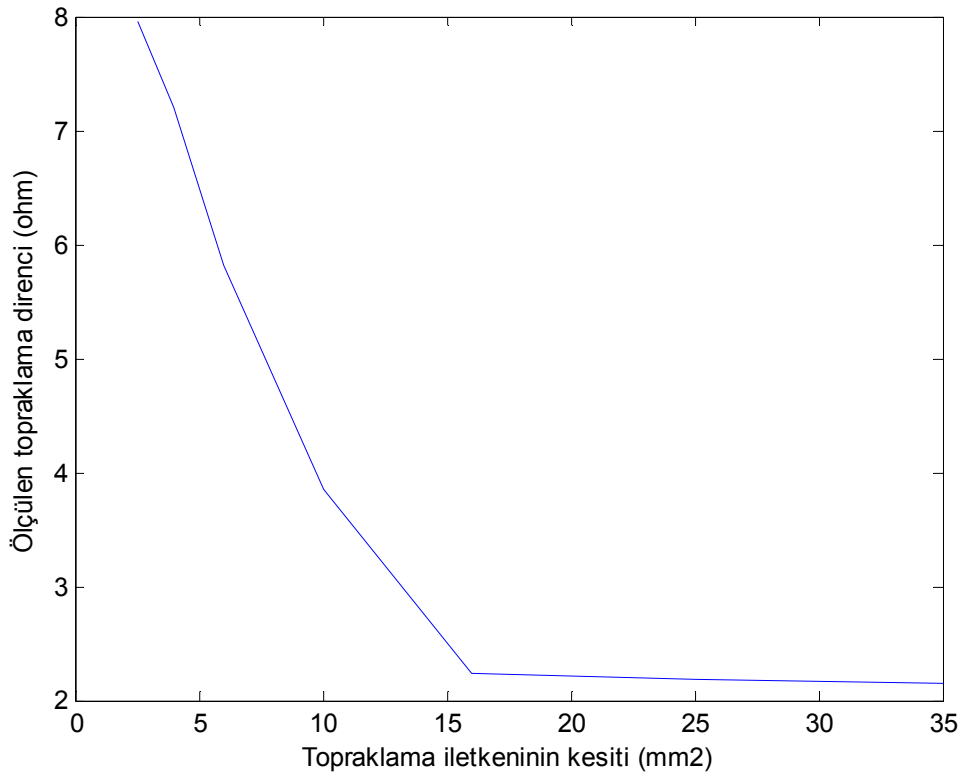
Mevcut Değer	5,82 Ω
Som Bakır Çubuk Eklendikten Sonraki Değer	2,66 Ω
Taş Parçaları Eklendikten Sonraki Değer	7,94 Ω
Çakıl Eklendikten Sonraki Değer	5,61 Ω
Kum Eklendikten Sonraki Değer	4,77 Ω
Taşlı Toprak Eklendikten Sonraki Değer	3,34 Ω
Saf (Humuslu) Toprak Eklendikten Sonraki Değer	2,24 Ω
Sulandıktan Sonraki Değer	1,71 Ω

5.7. Uygulama-7: Topraklama İletkeni Kesitinin Etkisi

Bu uygulamada topraklayıcının tesisten uzak olması durumu ve topraklama iletkeninin kesitinin topraklama sistemine etkisi incelenmiştir. Yine Uygulama-6'daki plastik enjeksiyon atölyesinde ölçümler yapılmıştır. Mevcut sistemde direkt gelen ana besleme kablosu 4X16 mm² NYY kablodur. Ancak topraklama için kullanılan topraklama iletkeni 1X6 mm² NYA kablo olarak seçilmiştir. Burada kullanılması gereken kablonun 1X16 mm² NYY (veya NYA) kablo olması gerekmektedir. Tesise sırasıyla 1X2,5-4-6-10-16-25-35 mm² NYA kablolar eklenmiştir ve ölçülen değerler Tablo 5.9'da verilmiştir. Topraklama iletkeninin kesitinin topraklama empedansı üzerindeki etkisinin büyük olduğu tablodaki değerlerden anlaşılabilmektedir.

Tablo 5.9. Topraklama iletkeni kesitinin etkisi

Topraklama İletkenin Kesiti	Ölçülen Topraklama Direnci
1X2,5 mm ² NYA	7,96 Ω
1X4 mm ² NYA	7,21 Ω
1X6 mm ² NYA	5,82 Ω
1X10 mm ² NYA	3,85 Ω
1X16 mm ² NYA	2,23 Ω
1X25 mm ² NYA	2,18 Ω
1X35 mm ² NYA	2,15 Ω



Şekil 5.6. İletken kesitinin etkisi

Şekil 5.6'da da görüldüğü gibi topraklama iletkeninin kesitinin çok fazla olmasına gerek yoktur. Kesitin artması demek maliyeti de arttıracığı için tesise yeterli kesitte topraklama iletkeni bağlanmalıdır.

Bu uygulamada ise topraklama iletkeninin uzunluğuna bağlı olarak topraklama empedansının değişimi incelenmiştir. Tablo 5.10 incelendiğinde topraklama iletkeninin uzunluğunun değişimi topraklama empedansına etki etmemektedir.

Tablo 5.10. Topraklama iletkeninin uzunluğunun etkisi

Topraklama İletkenin Uzunluğu	Ölçülen Topraklama Direnci
1,00 mt	5,80 Ω
2,00 mt	5,85 Ω
3,00 mt	5,81 Ω
4,00 mt	5,65 Ω
5,00 mt	5,75 Ω
6,00 mt	5,90 Ω
7,00 mt	5,75 Ω
8,00 mt	5,60 Ω

SONUÇ

Bu çalışmada topraklamaya ilişkin teorik bilgilerle birlikte, topraklamanın farklı özelliklerini göstermek için değişik deneysel uygulamalara yer verilmiştir. Bu kapsamda, iki topraklayıcı arasındaki mesafe ile topraklayıcının derinliğinin etkisi, paratoner topraklaması, doğalgaz topraklama sistemleri, çeşitli kimyasalların etkisi, toprak çeşitlerinin etkisi, topraklama iletkeninin kesitinin etkisi ve topraklama iletkeninin uzunluğunun etkisi incelenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda topraklama sistemlerinde hava şartları ve toprağın yapısının önemli olduğu görülmüştür. Eğer tesisin bulunduğu toprak yapısı organik maddelerce zengin veya taş, çakıl ve kaya bakımından fakir ise tesisin topraklama empedansının değerlerinin daha iyi çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, topraklama empedansı ölçümünün kış aylarında, yağışlı havalarda veya toprak nemli iken yapılması durumunda daha değişik değerlerin ölçülebildiği görülmüştür. Bu da nemli toprağın iletiminin kuru toprağa göre daha iyi olmasından ileri gelmektedir. Topraklama sistemlerinde topraklama iletkeninin kesitinin de topraklama empedansı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Topraklama iletkeninin kesiti tesise çekilen ana besleme kablosunun tek bir damarı ile aynı kesitte olması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlardan topraklayıcılar içinde en etkili olanın som bakırdan üretilen topraklayıcı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, bir tesise tek topraklayıcı yeterli gelmediğinde ikinci topraklayıcının eklenebileceği tespit edilmiştir. Ancak, aynı tip topraklayıcının eklenmesi gerekmektedir. Ayrıca iki topraklayıcı arasındaki mesafe yeterli seviyede olursa bu durumda etkili sonuçlar alınabilmektedir. Bunun yanında, iki topraklayıcı arasındaki ve topraklayıcıya tesisten gelen topraklama iletkenin toprakla direk temas etmesi durumunda yani iletkenin izolesiz kullanılması durumunda küçükte olsa topraklama sistemine fayda sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca, topraklama sistemlerinde toprağın yapısına göre çeşitli kimyasallar eklenerek topraklama sistemi güçlendirilebilir. GEM maddesi bunun için en uygun kimyasal maddedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Thapar B, *Evaluation of ground resistance of a grounding grid of any shape*
IEEE Transaction on Power Delivery 6:640 1991
- [2] Meliopoulos APS, *An advanced computer-model for grounding system-analysis*
IEEE Transactions Power Delivery 8:13 1993
- [3] Mansoor A and Martzloof F, *The effect of neutral earthing practices on lightning current dispersion in a low-voltage installation*
IEEE Transaction on Power Delivery 13(3):783-792 JUL 1998
- [4] Zipse DW, *Earthing or grounding*
IEEE Industry Applications Magazine 9(6):57-69 NOV-DEC 2003
- [5] Lee CH and Lin SD, *Safety assessment of ac earthing system in a dc traction-supply substation*
IEE Proceings-Electric Power Application 152(4):885-893 JUL 2005
- [6] J.A.Sullivan, *Alternative earthing calculation for grids and rods*
IEEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol.145. No.3 MAY 1998
- [7] René Castenschiold and Gordon S.Johnson, *Proper grounding of on-site electrical power systems*
IEEE Industry Applications Magazine MARCH/APRIL 2001
- [8] Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği
- [9] A.Darman, "Sonlu farklar yöntemi ile topraklama ağlarındaki potansiyel dağılımın hesaplanması" Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Türkiye, 2006
- [10] E.Şentürk "Geçici rejimlerde topraklama sistemlerinin performans analizi" Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2004
- [11] M.Bayram, *Elektrik tesislerinde topraklama* İstanbul, 2000
- [12] M.Çelikyay "Enerji sistemlerinde topraklama ağlarının bilgisayar destekli analizi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Türkiye, 1995
- [13] F.Dawalibi and Mudhedkar, *Optimum design of substation grounding in a two layer earth structure*
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.Pas-94 No.2:262-266 1975
- [14] F.Dawalibi and Mudhedkar, *Influence of ground rods on grounding grids*
IEEE Transactions Paper F79 245-2 1979
- [15] <http://www.ieee.org/portal/site>
- [16] <http://www.erico.com/>
- [17] <http://www.grounding.com/>

- [18] <http://www.amper.com.tr/>
- [19] <http://www.meslekidenetim.com/topraklama/TNveTTsistemler.doc>
- [20] <http://www.radsan.com/>
- [21] B.R.Gupta and B.Thapar, *Impluce impedance of grounding grids*
IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.Pas-99,No.6:2357-2362 1980
- [22] B.R.Gupta and V.K.Singh, *Inductance of rectangular grids*
IEEE Transactions on Power Delivery Vol.7,No.3:1218-1222 1992
- [23] B.R.Gupta and V.K.Singh, *Inductance of rectangular grids*
IEEE Transactions on Power Delivery Vol.7,No.3:214-218 1992

EKLER

EK.1. TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİ DEĞİŞİMİ TABLOSU

TOPRAK ÖZGÜL DİRENÇ DEĞİŞİMİ TABLOSU "TSE 622"				
TOPRAĞIN TİPİ	İKLİM ŞARTLARI			
	Olabilecek değerler	Normal ve kuvvetli yağmur (yılda 51 cm den fazla)	Zayıf yağmur çöl şartları (yılda 25 cm den az)	Yer altı suyu(tuzlu)
	Değer aralığı Ohm-m	Değer aralığı Ohm-m	Değer aralığı Ohm-m	Değer aralığı Ohm-m
Allüviyon ve hafif killer	5	*	*	1-5
Killer (allüviyon dışında)	10	5-20	10-100	3-10
Marnlar	20	10-30	50-300	3-10
Gözenekli kireç taşı	50	30-100	50-300	10-30
Gözenekli kum taşı	100	30-300	≥ 1000	10-30
Metamorfik kaya kuvars mermer v.b	300	100-1000	≥ 1000	30-100
Metamorfik ve klivajlı şist	1000	300-3000	≥ 1000	30-100
Granit	1000	----	≥ 1000	30-100
Şistli vesom kayalar,çatlak şistler	2000	≥ 1000	≥ 1000	30-100

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Vural Sığircı,

13.08.1981 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da bitirdi. Daha sonra 2000 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünde öğrenime başlayıp 2005 yılında öğrenimini tamamladı. 2005 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2000 yılında üniversite eğitimini bitirdikten halen çalışmakta olduğu özel bir şirkette çalışmaya başladı.