

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**ENERJİ ALTINDA YÜKSEK GERİLİM ŞALT TESİSLERİNDE  
TOPRAKLAMA ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ: DENİZLİ-1 TRAFO  
MERKEZİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CUMHUR ÖZDEMİR**

**DENİZLİ, NİSAN - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**



**ENERJİ ALTINDA YÜKSEK GERİLİM ŞALT TESİSLERİNDE  
TOPRAKLAMA ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ: DENİZLİ-1 TRAFİKO  
MERKEZİ ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**CUMHUR ÖZDEMİR**

**DENİZLİ, NİSAN - 2019**

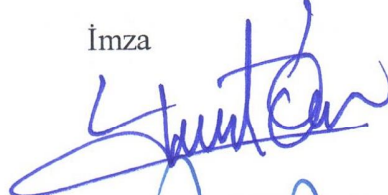
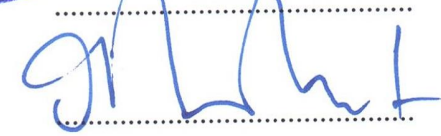
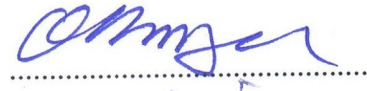
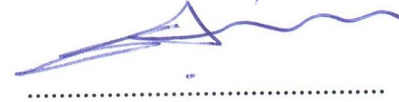
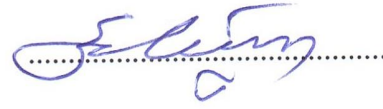
## KABUL VE ONAY SAYFASI

CUMHUR ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “ENERJİ ALTINDA YÜKSEK GERİLİM ŞALT TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ: DENİZLİ-1 TRAFİ MERKEZİ ÖRNEĞİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.04.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

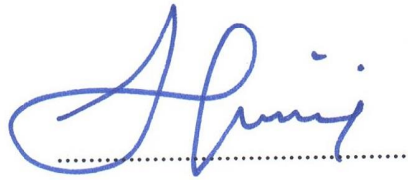
Jüri Üyeleri

Danışman  
Prof. Dr. Yusuf ÖNER  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. Bülent ORAL  
Marmara Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. Okan BİNGÖL  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Engin ÇETİN  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Selim KÖROĞLU  
Pamukkale Üniversitesi

İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....  
  
.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.05.2019 tarih ve 21.08-b sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

  
**CUMHUR ÖZDEMİR**

## ÖZET

### ENERJİ ALTINDA YÜKSEK GERİLİM ŞALT TESİSLERİNDE TOPRAKLAMA ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ: DENİZLİ-1 TRAFİ MERKEZİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
CUMHUR ÖZDEMİR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. YUSUF ÖNER)  
(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. M. HAKAN HOCAOĞLU)  
DENİZLİ, NİSAN - 2019

Bir elektrik tesisinde dışarıdan göz ile görülmeyen, toprağın ve betonun altına kalan topraklama sistemi hem can hem de teçhizat güvenliği açısından çok önemlidir. Göz önünde olmadığı için zaman içinde yapısında meydana gelen bozulmalar, tesiste anlamlandırılmayan arızalara, kesintilere ve hatta ölümlere neden olabilmektedir. Bu durum da topraklama sistemlerini bir tesisin en kritik parçası yapar.

Ülkemizde özellikle de yüksek gerilim elektrik tesislerindeki topraklama sistemlerinin periyodik kontrolleri ve ölçüm teknikleri ilgili yönetmelikler ve standartlara bağlı kalınarak belirlenmiştir. Yeni yapılan tesislerde yapım aşamasında kesinlikle yapılan topraklama ölçümleri, tesis devreye girdikten sonraki yıllarda tesisin durumuna göre, enerji kesintisi alınıp alınamayacağına ve kesinti sürelerine göre tam olarak, yönetmeliklerde belirtilen sürelerde yapılamamaktadır. Yapılan periyodik ölçümlerde de, trafo merkezine bağlı dış topraklayıcıların demontajı ve tekrar montajı için ilave iş gücü ile ilave zaman gereksinimi olmakta bu da yapılan çalışmayı hem zorlaştırmakta hem de gereksiz uzun enerji kesintilerine sebep olmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılacak olan trafo merkezinde, enerji altında, herhangi bir dış topraklayıcı sökmeden, topraklama performansı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler, enerjisiz ilk devreye alma ölçümleri, IEEE 80-2000 standardına göre yapılan hesaplamalar ve CymGrd ile yapılan topraklama analizi ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak da enerji altında yapılan ölçümlerin yöntem ve hesaplamalar açısından tatmin edici olduğu görülmüştür. Bu yöntem ile herhangi bir elektrik kesintisine ve ilave iş gücüne ihtiyaç duyulmadan bir trafo merkezinin topraklama performansı ölçülüp değerlendirilebilmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Toprak potansiyeli, adım gerilimi, dokunma gerilimi, topraklama empedansı, IEEE 80-2000, topraklama performansı, enerji altında topraklama ölçümü.

## ABSTRACT

### MEASUREMENT AND ANALYSIS OF GROUNDING SYSTEMS AT ENERGIZED HIGH VOLTAGE SWITCHGEARS : THE EXAMPLE OF DENİZLİ-1 TRANSFORMER SUBSTATION

MSC THESIS

CUMHUR ÖZDEMİR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. YUSUF ÖNER)

(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. M. HAKAN HOCAOĞLU)

DENİZLİ, APRIL 2019

In an electrical facility; the grounding system which is generally concealed under the soil and concrete, and is not visible from the outside. It is very important for both life and equipment safety. Since the deterioration over the times can not be seen and examined the root cause of failures, interruptions on even death can not be understood. This makes grounding systems one of the most critical equipment of power systems.

In TEİAŞ, periodic controls and measurement techniques of grounding systems in high voltage electrical installations are determined by adhering to the relevant regulations and standards. In the new facilities, the grounding measurements which are absolutely made during the construction and commissioning phases unfortunately the tests cannot be carried out in the periods specified in the regulations, due to the service control requirements. In the periodic measurements, additional time and work force are required for the disassembly and reassembly of the external grounders connected to the transformer center and this makes the work harder and also leads to unnecessary long power cuts.

Grounding performance measurements were made at the substation to be used in the thesis study, without removing any external earthing under power. The measurements were compared with the first non-energized measurements, the IEEE 80-2000 standard and the grounding analysis done by CymGrd.

As a result, the measurements made under the energized system were satisfactory in terms of methods and calculations. With this method, the earthing performance of a substation can be evaluated without the need for any power outages.

**KEYWORDS:** Ground potential, step voltage, touch voltage, ground impedance, IEEE 80-2000, grounding performance, grounding measurement under energized substation.

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. TEİAŞ GENEL TEKNİK VE MONTAJ ŞARTNAMESİNİN İNCELENMESİ .....	10
3.1 TEİAŞ topraklama sistemi tasarım kriterleri.....	10
3.2 Şalt teçhizatı bağlantı kriterleri .....	12
3.3 Tel fens topraklaması bağlantı kriterleri .....	13
3.4 Şalt sahası toprak kuleleri ve koruma iletkenleri .....	13
3.5 Adım ve dokunma gerilimleri .....	13
3.6 Saha testleri .....	14
3.7 Örgülü bakır iletkenin özellikleri .....	15
4. TESİS AŞAMASINDA TOPRAKLAMA TASARIM VE ÖLÇÜMLERİ.....	17
4.1 Tesis aşamasında toprak özgül direnç ölçümü .....	18
4.2 Topraklama hesapları ve tasarımı.....	19
4.3 Topraklama sisteminin tesisi sonrası sahada yapılan ölçümler.....	21
5. IEEE 80-2000'E GÖRE TOPRAKLAMA HESAPLARININ YAPILMASI 28	
5.1 IEEE 80-2000 tasarım prosedürleri .....	28
5.2 Denizli-1 trafo merkezinin topraklama hesaplamalarının IEEE 80-2000'e göre yeniden yapılması.....	33
6. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TOPRAKLAMA SİSTEM ANALİZİ.....	39
6.1 CymGrd topraklama sistemi analiz programı hakkında genel bilgi... 39	
6.2 Denizli-1 trafo merkezinin CymGrd kullanılarak adım-adım topraklama analizinin yapılması.....	41
7. ENERJİ ALTINDA DENİZLİ-1 TRAFİ MERKEZİNİN TOPRAKLAMA ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI.....	53
7.1 Enerji altında topraklama sistemi ölçümü .....	53
7.2 Enerji altında topraklama sistemi ölçüm tekniği ve kullanılan cihazlar.....	53
8. ÖLÇÜM, ANALİZ VE HESAPLAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
9. SONUÇ .....	71
10. KAYNAKLAR.....	73
11. EKLER.....	76
EK A 1 .....	76
EK A 1 (DEVAM) .....	77
12. ÖZGEÇMİŞ.....	78

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 2.1: Topraklama empedansı ölçme sistemi (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).....	4
Şekil 2.2: Sistemde mevcut olan gürültü sinyali (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).....	5
Şekil 2.3: Empedansın frekansa göre değişimi (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).....	6
Şekil 2.4: Sahada ölçülen tipik 50Hz gürültü dalga şekli .....	7
Şekil 2.5: Uzak mesafe akım elektrodu kullanılarak yapılan empedans ölçümü .....	7
Şekil 2.6: Kısa mesafe akım elektrodu kullanılarak yapılan ölçümlerin analiz sonuçları .....	8
Şekil 2.7: Merkez sahasında yapılan toprak özgül direnci ölçümleri .....	8
Şekil 4.1: Denizli-1 TM 154 kV ve 33 kV bara sistemlerini gösterir tek hat şeması .....	17
Şekil 4.2: Tesis aşamasında ölçülen özgül dirençlerin ölçüm noktaları (Girişim Elektrik 2015).....	18
Şekil 4.3: Basit gerilim düşümü metodu .....	21
Şekil 4.4: Gerilim elektrodundaki karşılıklı direnç etkisinin görsel tasviri .....	22
Şekil 4.5: Topraklama sisteminde empedans ölçümü .....	22
Şekil 4.6: Toprak potansiyel artışı .....	23
Şekil 4.7: İstenilen empedans eğrisi .....	23
Şekil 4.8: Elektrodların konumlandırılması .....	24
Şekil 4.9: Toprak empedansı ölçümü (Akman Enerji 2016).....	25
Şekil 4.10: Topraklama empedansı grafiği (Akman Enerji 2016) .....	25
Şekil 4.11: Adım gerilimi ölçümleri (Akman Enerji 2016) .....	26
Şekil 4.12: Temas gerilimi ölçümleri (Akman Enerji 2016) .....	26
Şekil 5.1: IEEE 80-2000 Topraklama sistemi tasarımı blok diyagramı.....	32
Şekil 5.2: Özgül direnç ölçüm noktaları .....	33
Şekil 5.3: Toprak özgül direnç değerlerinin elektrot açıklığına bağlı değişimi .....	34
Şekil 6.1: Toprak özgül direnç değerlerinin elektrot açıklığına bağlı değişimi .....	42
Şekil 6.2: Toprak parametrelerinin ayarlanması .....	43
Şekil 6.3: Toprak analizi butonu .....	43
Şekil 6.4: Tek tip toprak modelinin analizi – sonuç grafiği .....	44
Şekil 6.5: Analiz sonucu ekran görüntüsü.....	44
Şekil 6.6: Faz-toprak arıza parametrelerinin girilmesi.....	46
Şekil 6.7: Topraklama iletken ve kazıklarının malzeme seçimi .....	47
Şekil 6.8: CymGrd'in hesapladığı nominal iletken kesitleri .....	47
Şekil 6.9: Ağ parametrelerinin girilmesi .....	48
Şekil 6.10: Ağ analizinin yapılması .....	49
Şekil 6.11: Gerilim dağılımının renkli olarak gösterimi .....	50
Şekil 6.12: Topraklama ağı köşeden-köşeye alınan gerilim profilleri .....	51
Şekil 6.13: Topraklama ağının tamamına ait gerilim profili.....	51
Şekil 7.1: Enerji altında topraklama ölçümü akım ve gerilim güzergahları .....	55
Şekil 7.2: Red Phase akım enjeksiyon seti (4041&4042 .....	55
Şekil 7.3: Gerilim profili grafiği .....	56
Şekil 7.4: Fall of potential (Gerilim düşümü) metodu ölçüm düzeneği (Red Phase 2010).....	57



Şekil 7.5: Gerilim profili ölçümü saha çalışmaları .....	57
Şekil 7.6: Dal akımları ölçümünün şematik olarak gösterimi (Red Phase 2010)	58
Şekil 7.7: Dal akımları ölçümü saha çalışması .....	59
Şekil 7.8: Denizli-1 pylon krokisi .....	60
Şekil 7.9: Adım ve dokunma gerilimi saha ölçümleri.....	62
Şekil 7.10: Adım ve dokunma gerilimi tanımlar (TSE 2011).....	63
Şekil 8.1: Trafo merkezi iç fens alanı dokunma gerilimleri .....	69
Şekil A.1: Denizli-1 TM Topraklama Projesi .....	76

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Trafo merkezinde akım elektrodunun çeşitli mesafelerine göre dokunma gerilimi ölçümü .....	3
Tablo 2.2: Ölçülen toprak direnci değerleri (Katipoğulları ve Hocaoglu 2003). 5	
Tablo 2.3: Frekansa göre toprak empedansı değişimi.....	7
Tablo 4.1: Tesis aşaması toprak özgül direnç ölçümü.....	18
Tablo 4.2: Topraklama hesabı için baz alınan değerler. ....	19
Tablo 4.3: Topraklama hesabı için baz alınan değerler. ....	19
Tablo 4.4: Yüklenici tarafından yapılan analiz sonuçları. ....	20
Tablo 4.5: Analiz sonuçlarının karşılaştırılması. ....	20
Tablo 4.6: Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması .....	26
Tablo 5.1: Özgül direnç ölçümleri. ....	34
Tablo 5.2: Ortalama özgül direnç ölçümleri. ....	35
Tablo 5.3: Hesaplamalarda kullanılan parametreler. ....	35
Tablo 5.4: Müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri.....	36
Tablo 5.5: Topraklama sistemi ortak dirençleri. ....	36
Tablo 5.6: Maksimum adım ve dokunma gerilimleri.....	38
Tablo 5.7: IEEE 80-2000'e göre yapılan hesaplamaların karşılaştırılması.....	38
Tablo 6.1: Tek tip toprak modeline göre hesaplanan değerler.....	44
Tablo 6.2: Faz-toprak arıza parametrelerinin açıklamaları. ....	46
Tablo 6.3: Tek katmanlı toprak modeline göre CymGrd ağ analiz sonuçları... 50	
Tablo 6.4: İki katmanlı toprak modeline göre CymGrd ağ analizi sonuçları... 52	
Tablo 7.1: Gerilim profili ölçümleri.....	56
Tablo 7.2: Dal akımları ölçüm sonuçları. ....	59
Tablo 7.3: Adım gerilimi ölçümleri. ....	61
Tablo 7.4: Dokuma gerilimi ölçümleri. ....	62
Tablo 7.5: Sahada ölçümlerine göre yapılan hesaplamalar.....	63
Tablo 7.6: Trafo merkezi içerisinde yapılan ölçümlerin sadeleşmiş hali.....	64
Tablo 8.1: IEEE 80-2000 standartında yer alan Tablo 11.....	67
Tablo 8.2: Ölçüm ve hesaplamaların karşılaştırma tablosu. ....	70

## SEMBOL LİSTESİ

<b>TEİAŞ</b>	:	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
<b>TM</b>	:	Trafo Merkezi
<b>SELVAZ</b>	:	Seçilmiş Gerilim Akım Empedans
<b>Z<sub>g</sub></b>	:	Toprak Empedansı
<b>V<sub>1</sub></b>	:	SELVAZ'da enjeksiyon gerilimi
<b>V<sub>2</sub></b>	:	SELVAZ enjeksiyon gerilimi 180 derece dönmüş hali
<b>V<sub>0</sub></b>	:	SELVAZ boştaki kablo gerilimi
<b>E<sub>Adım70</sub></b>	:	Müsaade edilen adım gerilimi (70 kg)
<b>E<sub>Dokunma70</sub></b>	:	Müsaade edilen dokunma gerilimi (70 kg)
<b>R<sub>1</sub></b>	:	Topraklama Sistemi İletkenlerinin Direnci
<b>R<sub>2</sub></b>	:	Topraklama Sistemi Kazıklarının Direnci
<b>R<sub>m</sub></b>	:	Kazıkların ve Direnci Karşılıklı Etki Direnci
<b>R<sub>g</sub></b>	:	Topraklama Sisteminin Ortak Direnci
<b>I<sub>G</sub></b>	:	Topraklama Ağı ile Çevre Toprak Arası Akan Maksimum Akım
<b>GPR/EPR</b>	:	Toprak Potansiyel Yükselmesi
<b>E<sub>m</sub></b>	:	Köşe Gözün Merkezindeki Maksimum Dokunma Gerilimi
<b>E<sub>s</sub></b>	:	Topraklama Ağının Dış Köşesinin üzerindeki Bir Nokta İle Basitleştirilmiş Yöntem İçin Ağ Dışında Diyagonal 1m'lik Bir Nokta Arasındaki Adım Gerilimi.
<b>ρ</b>	:	Toprak Özgül Direnci
<b>ρ<sub>s</sub></b>	:	Yüzey Katmanının Özgül Direnci
<b>K<sub>m</sub></b>	:	Basitleştirilmiş Metod; Göz Gerilimi İçin Aralık Faktörü
<b>K<sub>i</sub></b>	:	Basitleştirilmiş Metod; Ağ Geometrisi Düzeltme Faktörü
<b>L<sub>M</sub></b>	:	Göz Gerilimi İçin L <sub>C</sub> + L <sub>R</sub> nin Efektif Uzunluğu
<b>K<sub>s</sub></b>	:	Basitleştirilmiş Metod; Adım Gerilimi İçin Aralık Faktörü
<b>L<sub>s</sub></b>	:	Adım Gerilimi İçin L <sub>C</sub> + L <sub>R</sub> nin Efektif Uzunluğu
<b>A</b>	:	Topraklama Ağı İle Kaplanana Toplam Alan
<b>d</b>	:	Topraklama İletkeninin Çapı
<b>D</b>	:	Paralel İletkenler Arası Mesafe
<b>D<sub>m</sub></b>	:	Ağ Üzerindeki Herhangi İki Nokta Arası Maksimum Mesafe
<b>h</b>	:	Topraklama İletkenlerinin Gömülme Derinliği
<b>h<sub>s</sub></b>	:	Yüzey Katmanının Kalınlığı
<b>L<sub>c</sub></b>	:	Topraklama Ağı İletkenlerinin Toplam Uzunluğu
<b>L<sub>r</sub></b>	:	Her Noktadaki Topraklama Kazığı Uzunluğu
<b>L<sub>R</sub></b>	:	Topraklama Kazıklarının Toplam Uzunluğu
<b>L<sub>x</sub></b>	:	x Eksenindeki Maksimum İletken Uzunluğu
<b>L<sub>y</sub></b>	:	y Eksenindeki Maksimum İletken Uzunluğu
<b>n<sub>R</sub></b>	:	A Alanı İçerisine Yerleştirilmiş Kazık Sayısı
<b>L<sub>p</sub></b>	:	Topraklama Alanının Çevresi
<b>L<sub>T</sub></b>	:	İletkenler ile Kazıkları Kapsayan Toplam Efektif Uzunluk
<b>t<sub>s</sub></b>	:	İzin Verilen Vücut Akımını Belirleyen Şok Zamanı
<b>t<sub>c</sub></b>	:	Toprak İletkeninin Boyutlarını Belirlemek İçin Gerekli Arıza Akımı Süresi
<b>a</b>	:	Kullanılan İletkenin Yarı Çapı
<b>b</b>	:	Kullanılan Kazığın Yarıçapı
<b>C<sub>s</sub></b>	:	Yüzey Katmanı İndirgeme Faktörü
<b>k<sub>1</sub></b>	:	Schwarz Katsayısı

<b>k<sub>2</sub></b>	:	Schwarz Katsayısı
<b>K<sub>h</sub></b>	:	Ağ Derinliğinin Etkilerini Vurgulayan Düzeltici Ağırlık Faktörü
<b>K<sub>ii</sub></b>	:	İç İletkenleri Köşe Göz Üzerindeki Etkilerini Ayarlayan Ağırlık Faktörü
<b>n</b>	:	Geometrik Faktör
<b>EİH</b>	:	Enerji İletim Hattı
<b>XLPE</b>	:	Çapraz Bağlı Polietilen
<b>I<sub>sis</sub></b>	:	Topraklama Sistemine Enjekte Edilen 60 Hz'lik Akım
<b>V<sub>EPR</sub></b>	:	Ölçülen Toprak Potansiyel Yükselmesi
<b>I<sub>dal</sub></b>	:	Dış Topraklayıcılardan Dönen Akımların Toplamı
<b>Z<sub>sis</sub></b>	:	Sistem Empedansı
<b>Z<sub>tm</sub></b>	:	Trafo Merkezinin Empedansı
<b>I<sub>kmax</sub></b>	:	Trafo Merkezinin Maksimum Faz Toprak Kısa Devre Akımı
<b>I<sub>kG</sub></b>	:	Toprak Ağına Giren Akım
<b>V<sub>d</sub></b>	:	Ölçülen Maksimum Dokunma Gerilimi
<b>V<sub>a</sub></b>	:	Ölçülen Maksimum Adım Gerilimi
<b>V<sub>d20</sub></b>	:	20 kA'e göre Ölçülen Maksimum Dokunma Gerilimi
<b>V<sub>a20</sub></b>	:	20 kA'e göre Ölçülen Maksimum Adım Gerilimi
<b>V<sub>E20</sub></b>	:	20 kA'e Göre Ölçülen Maksimum Toprak Potansiyel Yükselmesi
<b>V<sub>dIKG</sub></b>	:	I <sub>kG</sub> 'ye göre Ölçülen Maksimum Dokunma Gerilimi
<b>V<sub>aIKG</sub></b>	:	I <sub>kG</sub> 'ye göre Ölçülen Maksimum Adım Gerilimi
<b>V<sub>EIKG</sub></b>	:	I <sub>kG</sub> 'ye göre Ölçülen Maksimum Toprak Potansiyel Yükselmesi

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocalarım sayın Prof. Dr. Yusuf ÖNER ve sayın Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU'na, TEİAŞ teknik danışmanı sayın Ertuğrul PARTAL'a, TEİAŞ 21. Bölge Müdürlüğünden sayın İlker BAL ve sayın Murat İLKKAHRAMAN'a, çalışmalara emeği ile katkı veren, beni yüz üstü bırakmayan ekip arkadaşlarıma, hayatım boyunca her daim yanımda olan annem ile babama, özellikle de en zor ve sıkıntılı süreçlerde her zaman sabır göstererek, sevgisini ve desteğini benden esirgemeyen sevgili eşime ve oğluma çok teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği Ek-P’de açıkça belirtildiği üzere; Elektrik üretim iletim ve dağıtım sistemi trafo merkezlerinde topraklama performansı ölçümlerinin iki yılda bir yapılması öngörülmektedir. Ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi için mevcut sistemde, tesis ile irtibatlı bütün dış topraklayıcıların, topraklama sisteminden ayrılması gerekmektedir. Bunu yaparken emniyetli çalışma şartlarını sağlayabilmek için mutlak suretle tesisin enerjisiz bırakılması gerekmektedir. Elektrik Şebeke Yönetmeliği, Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği hükümleri dikkate alınarak bu tür çalışmalar için yapılacak kesintiler mümkün mertebe kısa tutulmakta ve tesiste yapılacak farklı çalışmalar ile birleştirilmektedir. Her iki yılda bir trafo merkezleri topraklama performansını ölçmek için enerji kesmek günümüz iletim sistemi işletmeciliği açısından uygun ve verimli değildir. Bu ölçümlerin sistem canlı ve çalışır haldeyken yapılması hem zaman hem ekonomik hem de verimli işletmecilik açısından çok önemlidir. Enerji altında topraklama sistem performansı ölçümünde işletmede bulunan sistemin herhangi bir bozucu etkileşim olmadan ölçüm yapılması amaçlanan noktadır.

Trafo merkezlerinin topraklama sistemi açısından kabulü, trafo merkezinin enerjilendirilmesinden önce, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) trafo merkezleri genel teknik ve montaj şartnamesi topraklama kısmına uygun olarak hazırlanan projelere istinaden kurulan topraklama tesisinin, projede belirtilen toprak geçiş direncine sahip olup olmadığının ölçülmesiyle gerçekleştirilmektedir. Toprak geçiş direnci ölçümü sonuçları uygun olmayan topraklama tesisleri için, yine aynı şartnamede belirtilen özel saha testi uygulanarak ölçülen adım ve dokunma gerilimlerinin, projelendirme sırasında hesaplanan adım ve dokunma gerilimlerinin altında kalması şartı aranmaktadır.

Yapılan tüm bu tasarım, hesaplama ve kabul çalışmaları, topraklama tesisinin bağımsız çalışması durumunu, başka bir deyişle trafo merkezinin enerjilendirilmesinden önceki durumunu incelemektedir. Bununla birlikte trafo merkezinin topraklama sistemi, trafo merkezinin enerjilendirilmesinden sonra, havai

hatların koruma iletkenleri ve/veya kabloların kılıfları üzerinden başka trafo merkezlerinin topraklama sistemleri ile paralel olarak çalışmaya başlamaktadır.

Trafo merkezinin devreye alınmasından sonraki süreçte topraklama tesisinin periyodik olarak kontrolü önem arz eden bir konudur. TEİAŞ'ın enerjilendirilmiş bir trafo merkezindeki topraklama tesisinin periyodik kontrolleri konusundaki uygulaması, tesisin devreye alınması sırasındaki uygulaması ile paralellik göstermekte ve trafo merkezinin tüm elektriksel bağlantılarının kesilmesi koşulunda gerçekleştirilmektedir. Bu durum birçok trafo merkezi için periyodik kontrol işlemlerini zorlaştırmakta hatta bazı durumlarda imkansız kılmaktadır.

Yurt dışındaki TEİAŞ muadili kurumlar trafo merkezlerinde herhangi bir elektriksel bağlantıyı kesmeden / enerji altında topraklama tesislerinin periyodik kontrolü konusunda uzun yıllardır çalışmakta, bu konuda ölçüm yöntemleri geliştirmekte ve standartları tanımlamaktadırlar. Enerji altında geleneksel topraklama cihazları ile yapılacak olan ölçmeler, ölçüm yapılan istasyona bağlı diğer istasyonların ve toprak bağlantılarının istasyondan görülen eş değer direncini verecektir. Bilinmektedir ki topraklama sistemleri birbirlerine empedanslar ile bağlıdır ve dolayısıyla sağlıklı bir değerlendirme için empedans ölçme sistemi kullanılması gereklidir.

Bu tez çalışmasında TEİAŞ 21. Bölge Müdürlüğü'nün sorumluluk sahasında bulunan Denizli-1 trafo merkezinde, RED PHASE firması tarafından üretilen 8 kVA lık topraklama performansı ölçüm seti kullanılarak enerji altında topraklama sistemi ölçümleri yapılarak, IEEE 80-2000' göre hem hesaplama hem de bilgisayar analizi ile sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde yapılan araştırmalar doğrultusunda tez çalışmasına kılavuzluk edebilecek çalışmaları içeren bir zet bu bölümde sunulmaktadır.

Parise tarafından gerçekleştirilen çalışmada İtalya'da Şehir içi alanlarda bulunan TM'lerde adım, temas gerilimleri ölçülmüş, bu ölçümleri yaparken uzak nokta akım elektrodu kullanmak yerine yakın mesafe akım elektrodu kullanarak ölçümler yapılmış ve bu Şekilde alınan sonuçlar uzak mesafe ölçüm sonuçları ile Tablo 2.1'de karşılaştırılmıştır (Parise 2015).

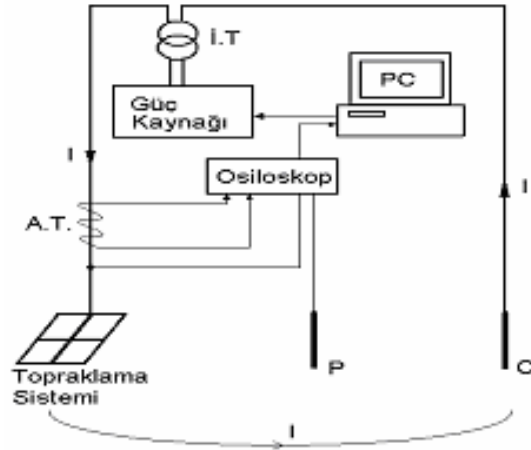
Tablo 2.1: Trafo merkezinde akım elektrodunun çeşitli mesafelerine göre dokunma gerilimi ölçümü

	lm Noktaları	Akım Elektrodu Uzak Mesafede	Akım Elektrodu Kısa Mesafede (S=20m)	Akım Elektrodu Kısa Mesafede (S=40m)
1	Pylon 1	32,40	96,56	86,66
2	Pylon 2	32,23	86,28	72,63
3	Fence North	3,26	49,03	51,38
4	Fence Corner North	7,42	1,68	1,56
5	Power Factor Correction	98,16	240,88	179,94
6	Fence est	7,33	29,23	8,83
7	Coil	42,59	67,25	67,25
8	Fence Est	9,84	44	31,41
9	Fence corner South	4,19	5,42	6,97
10	Fence South	7	9	7,91
11	Fence South	4,96	20,03	30,65
12	Fence corner South	11,15	89,72	67,26
13	Fence road	1,55	23,85	21,53
14	Gate entrance	6,03	28,79	20,63
15	Gate road	4,10	6,78	7,77
16	Pylon interior	7,28	11,38	11,50
17	Pylon interior	6,53	10,32	10,32
18	Bars	6,28	9,91	9,91
19	Stairs	0,9	29,32	5,88
20	Conductors support	3,71	5,47	7,30
21	Office	60,90	172,38	147,25
22	Pylon Base	3,91	7,91	14,08
23	Lamp on the road	3,19	10,92	4,75



Çalışmanın sonucunda ise şehir içi merkezlerin topraklama ölçümleri yapılırken akım elektrodunun uzak mesafeye götürülmesi zor ise yakın mesafe ölçümleri olarak dokunma ve adım gerilimleri ölçümleri takip edilebileceği belirtilmiştir (Parise 2015).

Topraklama sistemleri hem direnç hem de empedans olarak ayrı ayrı incelendiği bir diğer çalışmada, toprak direnci ölçme metotları özetlenerek, ölçme metotları arasındaki farklar belirlenmiş ve toprak direnci ölçme metotları gerçek bir sistemde denenip sonuçları karşılaştırılmıştır. Toprak empedansını belirleyebilmek için bir ölçme sistemi düzenlenmiş ve gerçek bir sistem üzerinde denenmiştir. Toprak empedansı ölçme sistemi oluşturulurken basit gerilim düşümü metodu esas alınmıştır (Katipoğulları ve Hocoğlu 2003).

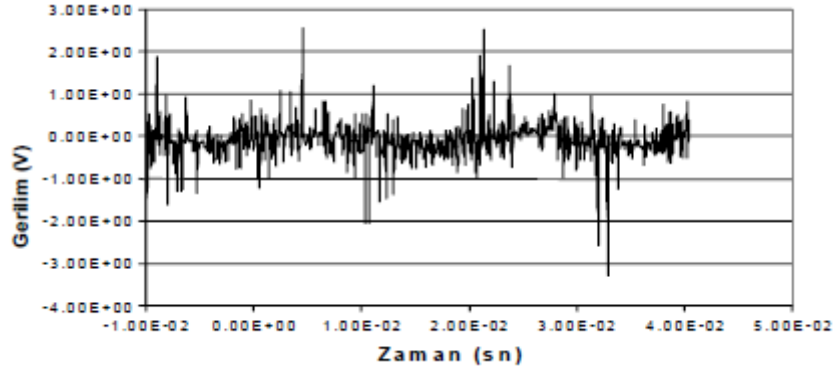


Şekil 2.1: Topraklama empedansı ölçme sistemi (Katipoğulları ve Hocoğlu 2003).

Şekil 2.1'de görülen ölçme sisteminde test edilecek sisteme, çıkışları kontrol edilebilen güç kaynağı ile akım uygulanmaktadır. Topraklama sistemine enjekte edilen akım, akım probu, gerilim ise gerilim probu tarafından okunmaktadır. Sistemden elde edilen veriler işlenmek üzere bir bilgisayara aktarılmıştır. Sisteme değişik frekanslarda aynı genlikte akım enjekte edilmiştir. Sisteme akım enjekte edilmeden önce akım probu ile test edilecek topraklama sistemi arasında gürültü sinyali Şekil 2.2'de gösterildiği gibi okunmuştur.

Gürültü sinyali önceden tespit edilmiş ve MATLAB programı yardımıyla sistemden ölçülen sinyalden gürültü sinyali arındırılmış ve frekans spektrumu incelendiğinde ağırlıklı olarak 50Hz ve katlarındaki frekanslarda gürültü olduğu tespit

edilmiştir. 34/04 kV'luk bir TM'de toprak empedansı ve direnci ölçme metodları denenmiştir.



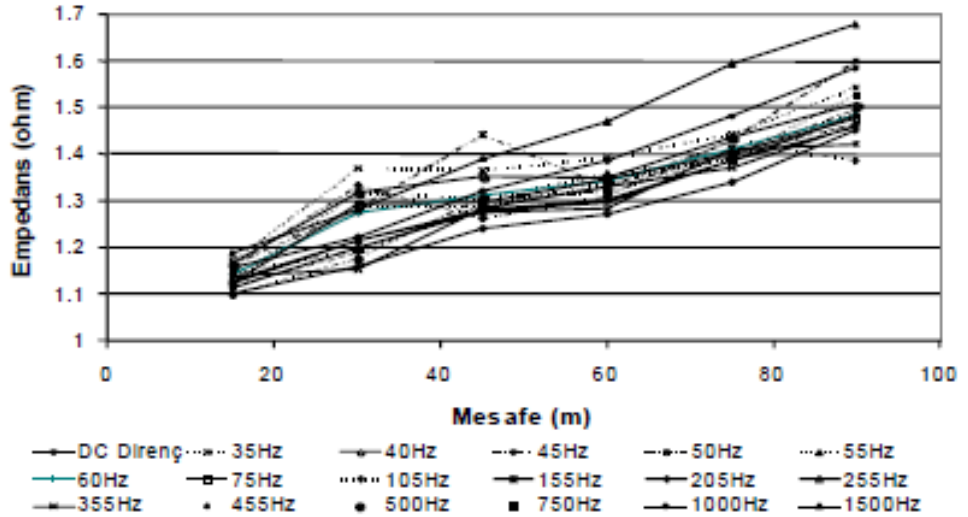
Şekil 2.2: Sistemde mevcut olan gürültü sinyali (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).

Tablo 2.2: Ölçülen toprak direnci değerleri (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).

%61,8 Metodu						
C=40m			C=60m			
P(m)	R( $\Omega$ )		P(m)	R( $\Omega$ )		
24,72	1,46		37,08	1,45		
Dört Nokta Metodu						
C=40m			C=60m			
P(m)	Rp( $\Omega$ )	R( $\Omega$ )	P(m)	Rp( $\Omega$ )	R( $\Omega$ )	
8	1,28	1,405	12	1,3	1,405	
16	1,37		24	1,38		
24	1,43		32	1,42		
32	1,61		48	1,54		
Eğim Metodu						
C=60m						
P=0,2C için R <sub>1</sub>	P=0,2C için R <sub>2</sub>	P=0,2C için R <sub>3</sub>	$\mu$	P <sub>T</sub> /C	P <sub>T</sub>	R( $\Omega$ )
1,33	1,38	1,45	1,4	0,43	28,85	1,405
C=60m						
P=0,2C için R <sub>1</sub>	P=0,2C için R <sub>2</sub>	P=0,2C için R <sub>3</sub>	$\mu$	P <sub>T</sub> /C	P <sub>T</sub>	R( $\Omega$ )
1,28	1,378	1,43	0,67	0,602	24,1	1,40

Ölçme sonucunda; B.G.D.M ve %61,8 metotlarında bulunan direnç değerinin diğer metotlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Dört nokta ve eğim metotlarıyla ölçülen değerlerin aynı olduğu Tablo 2.2’de görülmektedir.

Şekil 2.3’de gerilim probu mesafesi ile empedans değeri arasındaki eğri verilmiştir. Farklı frekans değerlerinde farklı eğriler elde edilmiş ve frekansa bağlı olarak empedansın değiştiği açıkça görülmüştür.



Şekil 2.3: Empedansın frekansa göre değişimi (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).

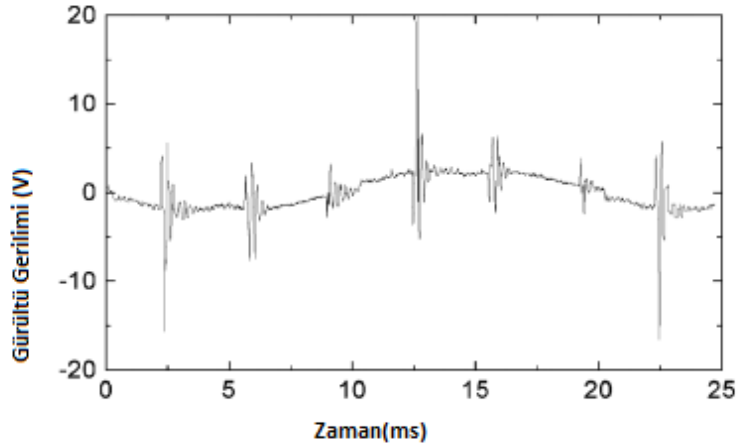
Ölçmeler sonucunda küçük bir topraklama sisteminde dahi topraklama empedansının topraklama direncinden büyük olduğu görülmüş, Bunun da emniyet değerlendirmelerinde bazı problemler yaşanmasına sebep olabileceği değerlendirilmiştir (Katipoğulları ve Hocaoğlu 2003).

Zeng ve arkadaşları tarafından Çin Halk Cumhuriyeti’nde bulunan 220 kV Haibowan Elektrik Santraline ait topraklama şebekesinin empedans ölçümleri hem klasik yüksek akımlı gerilim düşümü metodu (Uzun Mesafe akım ve gerilim kabloları kullanılarak) ile yapılmış hem de Tablo 2.3’den de görüleceği üzere 30-200 Hz arası frekanslarda akım enjeksiyonu yapabilen bir kaynak ile kısa mesafe akım ve gerilim kabloları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Kısa kablolar kullanılarak yapılan ölçümlerde sağlıklı sonuç alınabilmesi için bir bilgisayar yazılımı kullanılarak sistemden kaynaklanan gürültü sinyalleri elimine edilmiştir (Zeng ve diğ. 2006).

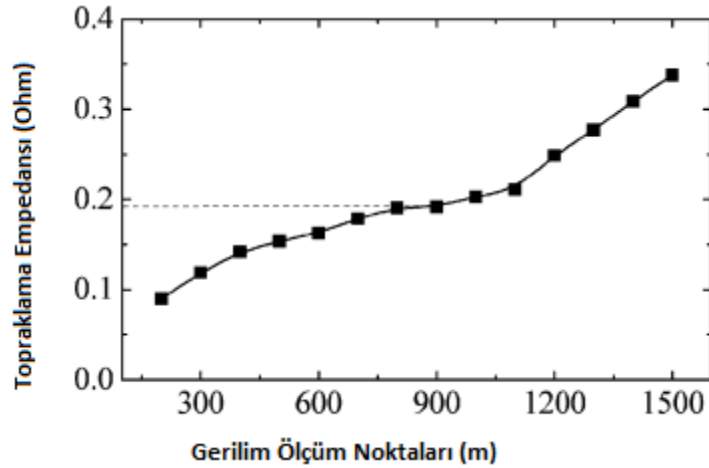
Tablo 2.3: Frekansa göre toprak empedansı değişimi

Frekans (Hz)	31.8	43.2	<b>50.3</b>	56.2	75.6	99.7
Gerilim (V)	0.015	0.017	<b>0.027</b>	0.021	0.017	0.018
Akım (A)	0.100	0.103	<b>0.103</b>	0.105	0.107	0.107
Toprak Empedansı ( $\Omega$ )	0.150	0.165	<b>0.262</b>	0.200	0.159	0.168

Çin'in İç Moğolistan çölünde bulunan Haibowan santralinde topraklama sistemi ve 100 m uzakta bulunan bir elektrot arasındaki tipik bir gürültü voltaj dalga şekli, şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Sahada ölçülen tipik 50Hz gürültü dalga şekli

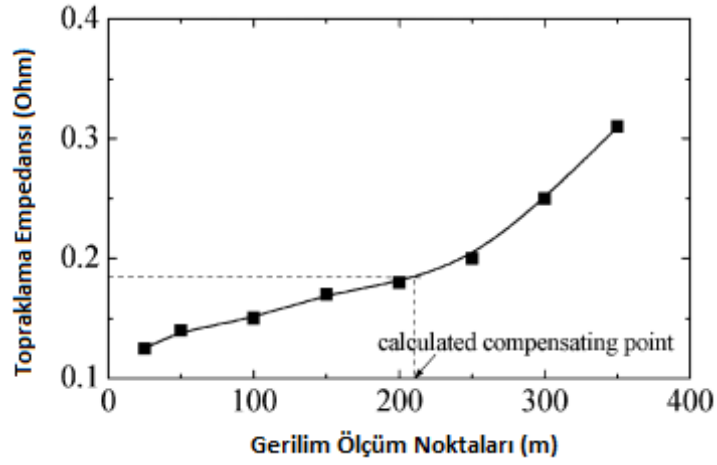


Şekil 2.5: Uzak mesafe akım elektrodu kullanılarak yapılan empedans ölçümü

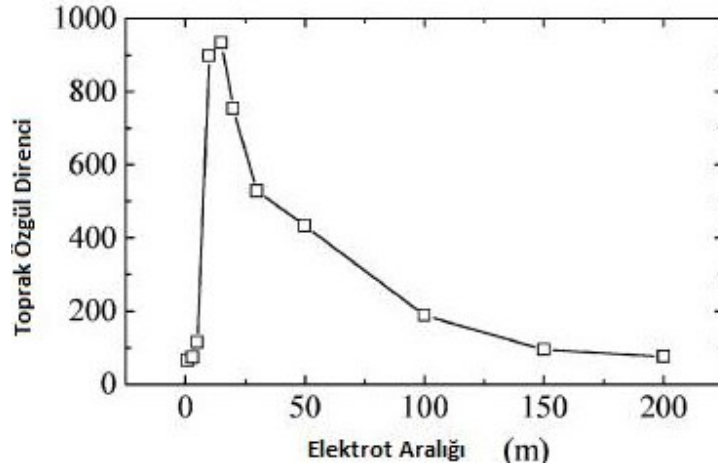
Yapılan saha ölçümü önce sistemde hali hazırda kullanılan geleneksel metot ile yapılmış ve bu ölçüm için akım probu 1620 m uzaklığa çakılmış (akım kablosu uzunluğu) ve 10 A ve 50Hz akım akıtılmış ve buna göre hesaplanan empedans

değerinden gürültü de elendikten sonra Şekil 2.5'deki eğriden 0,18  $\Omega$  empedans değerine ulaşılmıştır.

Yeni geliştirilen kısa mesafe elektrodu kullanılarak yapılan ölçümler (akım probu 400 m uzaklığa çakılmış) sonucunda oluşan eğride ise ilk etapta kesin empedans değeri elde edilememiş, doğru empedans noktasının elde edilebilmesi için sistemin toprak geçiş dirençleri ölçümleri, topraklama sistemi parametreleri, topraklamam elektrodu bilgileri analiz programına girilerek, sistem empedansı veren noktanın Şekil 2.6'da görüldüğü üzere 220 m olduğu sonucu çıkarılmış ve bu sonuca göre de empedans değeri 0,185  $\Omega$  olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.6: Kısa mesafe akım elektrodu kullanılarak yapılan ölçümlerin analiz sonuçları



Şekil 2.7: Merkez sahasında yapılan toprak özgül direnci ölçümleri

Merkez sahasında yapılan toprak özgül direnç ölçümleri Şekil 2.7'de gösterilmektedir. Çalışma sonucunda da kısa mesafe akım kabloları kullanılarak yapılan ölçümlerin zaman ve personel tasarrufu sağlayabileceği ve klasik yöntem ile

birbirine yakın değerlendirmelerin yapılabileceği değerlendirilmiştir (Zeng ve diğ. 2006).

Önerilen tez çalışmasında; TEİAŞ 21. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Denizli-1 TM'de herhangi bir enerji kesintisi ihtiyacı duymadan toprak empedansı, adım ve dokunma gerilimi ölçümleri yapılacaktır. Bu alışmaları periyodik olarak herhangi bir ilave kesinti almadan ölçüm yapmanın önü açılacaktır. Ayrıca seçilen bir TM'nin topraklama sistemi modellenmesi yapılarak, saha ölçüm sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Bu sayede mevcut topraklama şebekelerinin durumu detaylandırılarak optimum, güvenli topraklama şebekesi tasarımına doğru gidilmesi ve topraklama maliyetlerinin daha gerçeğe yakın hesaplanması sağlanacaktır.

### 3. TEİAŞ GENEL TEKNİK VE MONTAJ ŞARTNAMESİNİN İNCELENMESİ

#### 3.1 TEİAŞ topraklama sistemi tasarım kriterleri

Ülkemizin enerji iletim hatları sistem operatörü olan Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'ne ait trafo merkezlerinin ve iletim sistemine bağlanacak olan diğer kuruluşlara ve özel sektöre ait trafo merkezlerinin tesis çalışmalarında TEİAŞ'a ait genel teknik ve montaj şartnameleri kullanılmakta olup, bu şartnamelerin 10. maddesinde "Topraklama Şebekesi" tasarımı yer almaktadır. Trafo merkezlerinin topraklama sistemleri bu başlık altındaki maddeler baz alınarak tasarlanmakta ve testleri yapılmaktadır. Buna göre (TEİAŞ, 2014);

- 420 kV ve 154 kV trafo merkezleri için, topraklama sisteminin her elemanı aşağıdaki şekilde tasarlanacaktır:

Arıza akımı büyüklüğü ve süresine göre en kötü koşullar altında hiçbir ek yeri erimemeli ve bozulmamalıdır. Özellikle fiziksel hasara açık yerler mekanik olarak yüksek derecede sağlam olmalıdır.

- Kısa devre akımı 154 kV merkezler için 31,5 kA, 420 kV için ise 50 kA olarak kabul edilmelidir.

- Adım ve dokunma gerilimlerinin hesabında topraklama ağında dolaşan akım 154 kV merkezlerde 20 kA, 420 kV merkezlerde 35 kA olarak alınmalıdır.

- Topraklama sisteminin tasarım esasları IEEE 80-2000 "Trafo Merkezi Topraklamasında Güvenlik Kılavuzu" 7. Bölümünde belirtildiği gibi tasarlanacaktır. Tasarım TEİAŞ tarafından onaylanan hesaplar ile nihai biçimini alacaktır.

- Toprak özgül direncinin ölçülmesi sahanın tesviyesi tamamlandıktan sonra, Wenner 4-elektrot yöntemi kullanılarak TEİAŞ ilgili elemanlarının uygun bulacağı noktalarda yapılacaktır. Yüklenici farklı bir toprak direnci ölçme yöntemi önermişse bu önerini geçerliliği ve/veya etkinliği TEİAŞ'ın onayına sunulacaktır

- Topraklama ağının iletkenleri, anormal koşullarda maksimum yıldırım veya arıza akımlarını iletkende fazla ısınma olmadan ve tehlikeli bir gerilim artışına yol açmadan kısa süreyle güvenli olarak taşıyacak kapasitede boyutlandırılacaktır. Bu koşulla ilişkili olarak ana topraklama ağının çıplak örgülü bakır iletkenlerinin kesiti en az 95 mm<sup>2</sup> (yeni merkezlerde 120 mm<sup>2</sup>) olacaktır.

- Topraklama ağının toprak altı birleşme noktaları özel kaynakla (Thermoweld Connection) yapılabileceği gibi presli ek eleman kullanılarak da yapılabilecektir. Presle ek yapılması halinde ekler iki kademeli özel hidrolik pres kullanılarak en az 800 Bar basınçla yapılacak ve toprak altı bağlantı noktaları ziftle kaplanacaktır.

- Topraklama ağı, toprak don derinliğinin altına gömülecek olup derinlik en az 50 cm olacaktır. Yekpare kayaya rast gelen yerlerde ise toprak ağı, yeterli mekanik koruma sağlanacak derinlikte olacaktır. Ağın kontrolü için her topraklama çubuğunun bulunduğu yere 40 cm x 40 cm beton rögar konacaktır. Toprak çubuğu ve toprak ringi bağlantısı çubuklar üzerinde her iletken için ayrı ayrı yapılacaktır.

- Cihazlarıyla birlikte uzaktan koruma ve haberleşme sistemleri için, girişim sinyallerini önlemek amacıyla kumanda binasına ve metal clad binaya 30 x 3 cm<sup>2</sup> çelik şeritle ayrı bir ağ (faraday kafesi) tesisi edilecektir. Bu ağ ortak şalt sahası topraklama ağına ayrılabilir şekilde en az 8 noktadan bağlanacaktır.

- Şalt teçhizatı istasyona geniş şekilde dağılmış ise çeşitli yerlerden ayrı ayrı lokal topraklamalar tesisi edilebilir. Bu durumda lokal topraklamaları birbirine ve ana topraklama ağına bağlanması gereklidir. Ayrıca bu ara bağlantı iletkenleri kesitlerinin ana topraklama ağından daha küçük olmaması gerekir.

- Toprağın etkin direncini düşürmek için 2.2 cm (3 mm bakır kaplama dahil) ve 250 cm uzunluğunda bakır kaplı çelik topraklama çubukları yerleştirilecektir. Gerekli yerlerde daha uzun topraklama çubukları kullanılacaktır. Topraklama çubuklarının uygun uzunluğu ve aralıkları belirlenirken toprak direnç ölçümünden elde edilen veriler kullanılacaktır. Topraklama çubukları toprağa gömülecek ve ana topraklama şebekesine özel kaynakla veya klemensle bağlanacaktır.

- Topraklama çubukları, cihazlardan topraklama sistemine olan bağlantıların olabildiğince kısa ve düz şekilde yapılmasını sağlamak için özellikle



parafudurlara, güç trafolarının nötr noktalarına ve nötr direncine yakın yerleştirilmelidir.

### 3.2 Şalt teçhizatı bağlantı kriterleri

Şartnamenin bu bölümünde trafo merkezinde kullanılacak teçhizatların topraklama sistemine nasıl bağlanacağı detaylandırılmıştır.

- İletkenlerin topraklama ağına bağlantısı, termo kaynak veya pres kullanılarak toprak altında yapılacaktır. Yüksek dirençli bir ek bağlantıya sebep olacak herhangi bir nokta, emaye veya pul, iletkenlerin teçhizata bağlantısı yapılmadan önce metal yüzeye temas noktalarından kaldırılmalıdır. İletkenlerin teçhizata olan bütün bağlantıları, basınçlı tip iletken bağlantılarıyla ve cıvatalar, vidalar ve yaylı tutturma bilezikleri ile yapılacaktır.

- Trafo merkezinin yüksek, orta ve alçak gerilim şaltı, çelik konstrüksiyonu ile birlikte kontrol ve ölçü aletleri, kabinleri ve toprak baraları topraklama ağına bağlanacaktır.

- Topraktan yüzeye olan geçişlerde, bütün iletkenler, zemin düzeyinin ortalama 50 cm altında ve 30 cm üstünde sert bir çelik boru veya PVC ile korumalı ve zift veya benzeri malzeme ile kapatılacaktır.

- Yüksek gerilim akım, gerilim trafoları ile parafudurların emniyet topraklamaları alttaki çelik konstrüksiyonun topraklama şebekesine bağlanan noktasına iki iletken ile bağlanmalıdır. Ayrıca bu cihazların çelik konstrüksiyonları topraklama şebekesine toplam 4 ayrı noktadan (girdi çıktı iki irtibat sayılmalı) irtibatlandırılacaktır.

- Pano, kumanda binası metal bölümler ve hücre topraklamaları 30 x 5 mm<sup>2</sup> bakır lama ile yapılmalı, bu bakır lamaların birbirine irtibatları lamayı delmeden ya özel klemens ya da kaynakla yapılacaktır. Lamalar montaj sırasında mümkün olduğunca delinmeyecek ve her pano topraklama barasına ayrı ayrı irtibatlandırılacaktır.

- Kazayla elektriklenebilecek, metal yapılar, binaların toprağı, ekipman, su boruları vb. gibi akım taşımayan bütün metal parçaların toprak bağlantıları, 30 x 5 mm<sup>2</sup> bakır lama ile olacaktır.

- Merkezlerin topraklama ağı, toprak altı birleşme noktaları TEİAŞ tarafından görölmeden ve ölçümleri yapılmadan üzeri kapatılmayacaktır. Aksi taktirde, toprak altı birleşme noktalarının kontrolü için TEİAŞ'ca istenmesi halinde yüklenici tarafından taahhüt kapsamında birleşme noktalarının üzeri açılacaktır.

### **3.3 Tel fens topraklaması bağlantı kriterleri**

Trafo merkezini çevreleyen fensler, kendi topraklama ağına ortalama 10 metre aralıklarla ve 50 mm<sup>2</sup> bakır iletken ile bağlanacaktır. Ana topraklama ağı iletkeninden küçük olmayan kesitte bir topraklama iletkeni, fensi boyunca gömülmelidir. Bu toprak iletkeni, yeterli aralıkla yerleştirilmiş topraklama çubuklarına irtibatlandırılmalıdır. Bütün köşeler, fens direkleri, kapı direkleri ve toprak çubuklara yakın direkler, toprak iletkene etkin şekilde bağlanmalıdır.

### **3.4 Şalt sahası toprak kuleleri ve koruma iletkenleri**

154 kV ve 380 kV sistemlerdeki topraklama kuleleri sırasıyla 3,5 m ve 8 m yükseklikte olmalıdır. Koruma telleri, 96 mm<sup>2</sup> örülmüş çelik veya 266 MCM alüminyum iletken olmalıdır. Koruma telinin çekilmediğı merkezlerde 6 m koruma çubukları kullanılabilir.

### **3.5 Adım ve dokunma gerilimleri**

Topraklama sistemi, adım ve dokunma gerilimlerini kabul edilebilir limitler içinde tutacak ve böylece personelin ve çevre halkın güvenliğini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Buradaki amaç hem normal hem de anormal koşullarda, bir kişinin meşru erişimine açık ekipmanda ya da aksesuarlarda tehlikeli bir gerilimin ortaya çıkmamasını sağlamaktır.

Teçhizata olması muhtemel zarar açısından, topraklama sistemi, trafo merkezi ekipmanı ve toprağın ana gövdesi arasında ortaya çıkacak gerilimi, teçhizata izolasyon bozulması veya yanma olmayacak şekilde sınırlaması gerekir. Aynı nedenle trafo merkezindeki topraklanmış noktalar arasında gerilim artışı, yeterli bir toprak yolu sağlanarak tam olarak gerçekleştirilmelidir.

Müsaade edilen adım ve dokunma değerlerine ulaşabilmek için, aşağıdaki varsayımlar yapılmalıdır (IEEE 80-2000 standardında hesaplamalarda kullanılmak üzere belirtilen değerler TEİAŞ tarafından da baz alınmıştır.):

- Adım: 1 m
- Arıza temizleme süresi: 0.5 s
- Beden Direnci: 1000 ohm (ellerden her iki ayağa ve bir ayaktan diğerine)
- Vücut Ağırlığı: 70 kg

Trafo merkezindeki şahısların ayakları ile toprak arasındaki temas direncini arttırabilmek amacıyla, topraklama ağının üzerine toprak yüzeyine 0,15 m (6 inç) yüksekliğinde çakıl tabakası serilmesi gerekmektedir. Çakıl tabakası şalt sahasını çevreleyen fensin en az 1 m dışına kadar taşmalıdır. Çakıl tabakasının direnç değeri, en fazla 2500  $\Omega$ .m olarak alınmalıdır.

### **3.6 Saha testleri**

Test metotları TEİAŞ'ın onayına sunulacaktır. Aşağıda ifade edilen testler TEİAŞ'ın gözetiminde gerçekleştirilecek olup TEİAŞ tarafından onaylanmalıdır.

- Topraklama bağlantılarının kontrolü
- Topraklama sistemi direncinin ölçülmesi
- Adım ve dokunma gerilimlerinin ölçülmesi

Topraklama ağı tesis edildikten sonra, yüklenici sistemin toprak direncini TEİAŞ mühendisleri ile birlikte ölçecektir. Ölçülen sistem toprak direnci genelde 154 kV için 1  $\Omega$  veya altında, 380 kV için ise 0,5  $\Omega$  veya altında olmalıdır.

Ölçülen ve hesaplanan sistem toprak direnci değerleri arasında büyük bir fark varsa veya ölçülen sistem topraklama direnci 154 kV için 1  $\Omega$ 'dan büyükse, yüklenici TEİAŞ'ın istasyon sahası ve çevresinde seçeceği yerlerde 50 A civarında test akımı uygulayarak adım ve dokunma gerilimlerinin saha testi ölçümlerini gerçekleştirecektir. Böyle bir durumda topraklama sisteminin uygun olduğunu kabul edebilmek için, saha testleri ile ölçülen adım ve dokunma gerilim değerlerinin, müsaade edilen adım ve dokunma gerilim değerlerin altında olması gerekmektedir.

### **3.7 Örgülü bakır iletkenin özellikleri**

- İletkenin 20 °C'deki özgül direnci standarda uygun olacaktır.
- Telin yüzeyi düzgün, temiz, lekesiz, pürüzsüz, çiziksiz, parlak ve oksitlenmemiş olacaktır.
- Teslimatlarında her bir makarayı oluşturan tellerde ek bulunmayacaktır.
- İletkenin anma kesiti örgü bakır iletkenin yapımında esas olarak alınan, iletkeni oluşturan tellerin kesitleri toplamına eşit olacaktır.
- 120 mm<sup>2</sup>, 95 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup>, 35 mm<sup>2</sup>, 25 mm<sup>2</sup>, örgü bakır iletkenler TS EN 60228, "Kablolar-Yalıtılmış kabloların iletkenleri" standardına uygun Sınıf: 2 ve tavllanmış olarak imal edilecektir.
- 30 x 5 mm<sup>2</sup> bakır lama TS-435 standardına uygun olarak imal edilecektir.

Yukarıdaki maddeler incelendiğinde TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesini;

"IEEE Std 80-2000 AC şalt tesislerinde topraklama güvenliği rehberi", "T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (ETTY)" ve "TS EN 50522-2010 1kV A.A'yı aşan güç tesislerinin

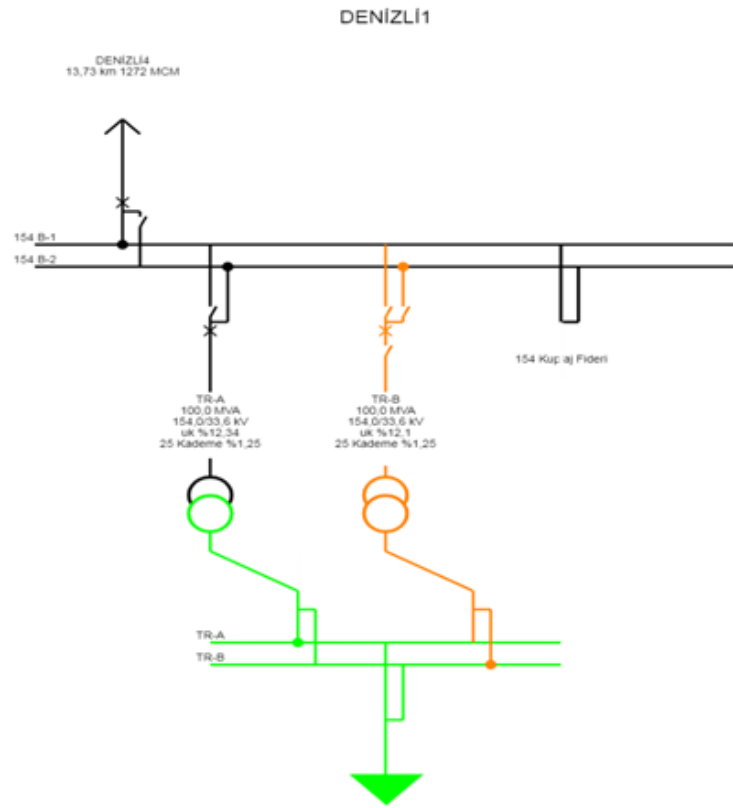
topraklaması standardı”, referans alınarak hazırlamıştır. Tasarım ile ilgili kriterlerde IEEE 80-2000 kullanılırken, ölçüm ve test ile ilgili kriterlerde IEEE 80-2000’in yanında, ETTY ve TS EN 50522’nin de kabul ettiği uygulamaların kullanıldığı görülmektedir. Fakat şartnamede TS EN 50522’in topraklama sistemi dizayn kriterlerinde geçen; topraklama sistemi etki alanı ‘Zone of Influence’ konusuna değinilmemiştir. Topraklama sisteminden kaynaklı, teçhizat ve insan güvenliği ile alakalı transfer temas gerilimi ölçümleri, tesis edilen topraklama sisteminin ne kadar bir alana etki edeceği ve olumsuz durumlarda nasıl bir yol izleneceğine dair şartnamenin geliştirilmesi hatta sadece topraklama ile ilgili detaylı bir şartname hazırlanması ileriki dönemde zaruridir.

Ayrıca müsaade edilen dokunma gerilimi yönü ile IEEE 80-2000 ile TS EN 50522 arasında hesaplamalarda farklılıklar vardır. Bu tez çalışmasında bahse konu olan bu iki standardın detaylarına girmemekle beraber, ETTY’nin de TS EN 50522 yi referans aldığı göz önünde bulundurularak, topraklama sistemi tasarım kriterlerinde yönetmelikte geçmeyen IEEE 80-2000’in kullanılmasının yerine TS EN 50522’nin tam olarak uygulanması daha doğru olacaktır.

Bu tez çalışmasında hali hazırdaki TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesi baz alınmıştır. TEİAŞ Ar Ge projelerinden bir tanesi olan TEİAŞ topraklama sistemleri projesi kapsamında topraklama şartnamesinin revizyonu bu projenin önemli çıktılardan bir tanesi olacağından ve revize edilecek şartname ETTY (2. kısım) ve TS EN 50522 standardına uyum sağlayacağından dolayı bu aşamada daha ileri gidilmemiştir.

## 4. TESİS AŞAMASINDA TOPRAKLAMA TASARIM VE ÖLÇÜMLERİ

İTM 122 referanslı sözleşme kapsamında tesisi tamamlanan 154/31,5 kV Denizli-1 trafo merkezi 2016 yılında devreye alınmış ve hali hazırda işletilmektedir. Şekil 4.1'den görüleceği üzere bu merkezde iki adet 154/31,5 kV 100 MVA gücünde Trafo ve fideri, iki adet 154 kV fider ile bir adet de kuplaj fideri bulunmaktadır. 31,5 kV kısmı metal clad bara olarak tesisi edilmiş olan merkezde yirmi adet 31,5 kV fider bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Denizli-1 TM 154 kV ve 31 kV bara sistemlerini gösterir tek hat şeması

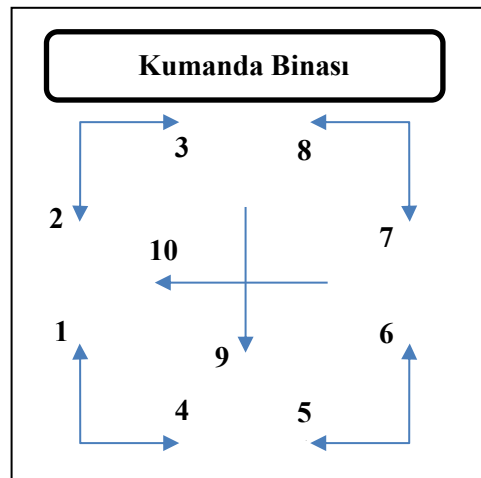
TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesine uygun olarak topraklama sistemi tasarımı yapılmış olan merkezde; ana topraklama ağı için 120 mm<sup>2</sup> örgü bakır iletken, iç fens bağlantıları için her 5 m'de bir 50 mm<sup>2</sup> örgü bakır iletken, topraklama kazığı olarak da 2,5 m ve 5 m boyunda, 3 mm Cu kaplı, 22 mm çaplı çelik çubuk kullanılmıştır.

#### 4.1 Tesis aşamasında toprak özgül direnç ölçümü

Tesis aşamasında, sahanın tesviyesi sonrası TEİAŞ gözetiminde, sahanın on noktasında, Wenner metodu ile yapılan toprak özgül direnci ölçümleri sonuçları Tablo 4.1’de verilmektedir (Girişim Elektrik 2015). Tesis aşamasındaki ölçüm noktaları Şekil 4.2’de görülmektedir. Ortalama özgül direnç 287,21  $\Omega$ m olarak bulunmuştur. Tablo 4.1 incelendiğinde 5, 6, 7, 8, 9 ve 10. noktalarda yapılan ölçümler sahaya sonradan yapılan dolgu malzeme üzerinden yapıldığı için yüksek çıkmıştır. Bu durum ölçüm raporunda, “toprak cinsi” bölümünde belirtilmiştir.

Tablo 4.1: Tesis aşaması toprak özgül direnç ölçümü.

Ölçüm Noktası	Özgül Direnç ( $\Omega$ m)
1. Nokta Ölçümü Ortalaması	35,24
2. Nokta Ölçümü Ortalaması	65,19
3. Nokta Ölçümü Ortalaması	50,79
4. Nokta Ölçümü Ortalaması	35,34
5. Nokta Ölçümü Ortalaması	613,43
6. Nokta Ölçümü Ortalaması	757,64
7. Nokta Ölçümü Ortalaması	397,77
8. Nokta Ölçümü Ortalaması	418,47
9. Nokta Ölçümü Ortalaması	263,29
10. Nokta Ölçümü Ortalaması	234,99
<b>Genel Ortalama</b>	<b>287,21</b>



Şekil 4.2: Tesis aşamasında ölçülen özgül dirençlerin ölçüm noktaları (Girişim Elektrik 2015)

## 4.2 Topraklama hesapları ve tasarımı

Özgül direnç ölçüm sonuçlarına ve trafo merkezi için yapılan topraklama projesine istinaden yüklenici tarafından dinamik iki katmanlı toprak yapısı analizi yapılmıştır. Analizler CymGrd programı kullanılarak, bilgisayar destekli olarak yapılmış ve raporlanmıştır (Bozat 2015). Bu rapora göre Denizli-1 trafo merkezinin topraklama hesabı için baz alınan değerler Tablo 4.2’de, ayrıca analiz programında kullanılan veriler Tablo 4.3’de verilmektedir.

Tablo 4.2: Topraklama hesabı için baz alınan değerler.

Faz-Toprak kısa devre akımı (kA)	20
Toprak özgül direnci ( $\Omega\text{m}$ )	287,21
Toprak ağının gömüldüğü derinlik (m)	0,65
Kaplama mıcır kalınlığı (m)	0,15
Kaplama mıcır özgül direnci ( $\Omega\text{m}$ )	2500
Topraklama iletkeninin X eksen boyu(m)	114
Topraklama iletkeninin Y eksen boyu(m)	92,5
Kısa devre süresi (s)	0,5
Sistem frekansı (Hz)	50
Topraklama iletkeni çapı (mm)	12
Topraklama kazığı çapı (mm)	22
Topraklama kazığı uzunluğu (m)	2.5

Tablo 4.3: Topraklama hesabı için baz alınan değerler.

Paralel Z değeri	Infinite Z
BusID	154 Kv
Faz-Toprak arıza akımı	20 kA
X/R	5

CYMGrd programına girilen bu veriler ile programa aktarılan topraklama projesi, IEEE 80 standardına göre analiz edilerek sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir (Bozat 2015).



Tablo 4.4: Yüklenici tarafından yapılan analiz sonuçları.

Toprak üst katman kalınlığı (m)	1.88
Toprak özgül direnci üst katman ( $\Omega\text{m}$ )	585
Toprak özgül direnci alt katman ( $\Omega\text{m}$ )	116
Doğrultma katsayısı (Cs)	0,823186
İzin verilen maksimum dokunma gerilimi (V)	907,43
İzin verilen maksimum adım gerilimi(V)	2963,63
Toprak potansiyeli artışı (V)	13278,8
Hesaplanan toprak direnci ( $\Omega$ )	0,653663
Maksimum yüzey gerilimi (V)	12564,6
Maksimum adım gerilimi (V)	879,1
Maksimum dokunma gerilimi (V)	2938,5

Tablo 4.5: Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

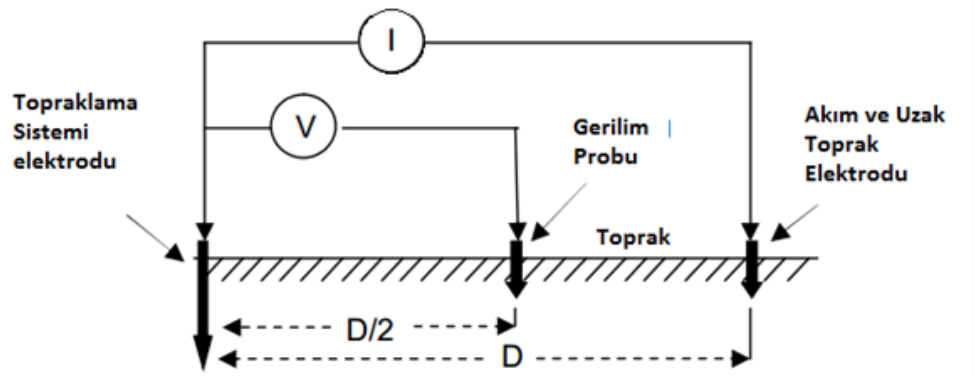
Açıklama	Ölçülen özgül direnç değerlerine göre hesaplanan (CymGrd)	Analiz sonucu (CymGrd)
Toprak potansiyel artışı	13278,8 V	12564,6 V
Adım gerilimi	2963,63 V	879,1 V
Dokunma gerilimi	907,43 V	2938,5 V
Eşdeğer direnç	1 $\Omega$	0,65362 $\Omega$

Tablo 4.5’de verilen analiz sonuçlarına göre Denizli-1 trafo merkezinin sistem eşdeğer direnci ve adım gerilimi müsaade edilen değerler içinde kalmaktadır, fakat dokunma gerilimi emniyetli değerleri sağlayamamaktadır. Bu duruma çözüm olarak da yüklenicinin raporunda; sahada yapılan dolgu çalışmasının doğal toprak özgül direncini yükselttiği ve bu sebeple ölçüm değerlerinin yüksek olduğu ölçüm eksenlerine (5-6-7-8) uygulanacak topraklama sistemi için açılan topraklama kanalları dolgusu özgül direnci düşük (25-30  $\Omega$ ) nebati toprak ile yapılarak sahanın ortalama özgül direncinin düşürülmesi ve topraklama projesinde belirtilen noktalara iki adet 2,5 m’lik topraklama kazığının birleştirilmesi ile oluşturulacak 5 metre uzunluğundaki kazıklar kullanılarak özgül direnci düşük katman tabakasına ulaşılması gerektiği belirtilmiştir (Bozat 2015). Uygulamalardan sonra sahada yapılan ölçüm sonuçlarına göre toprak geçiş direnci, adım ve dokunma gerilimi değerleri istenilen değerleri sağlaması koşulu ile şartlı olarak bu projenin uygulanmasına onay verilmiştir.

### 4.3 Topraklama sisteminin tesisi sonrası sahada yapılan ölçümler

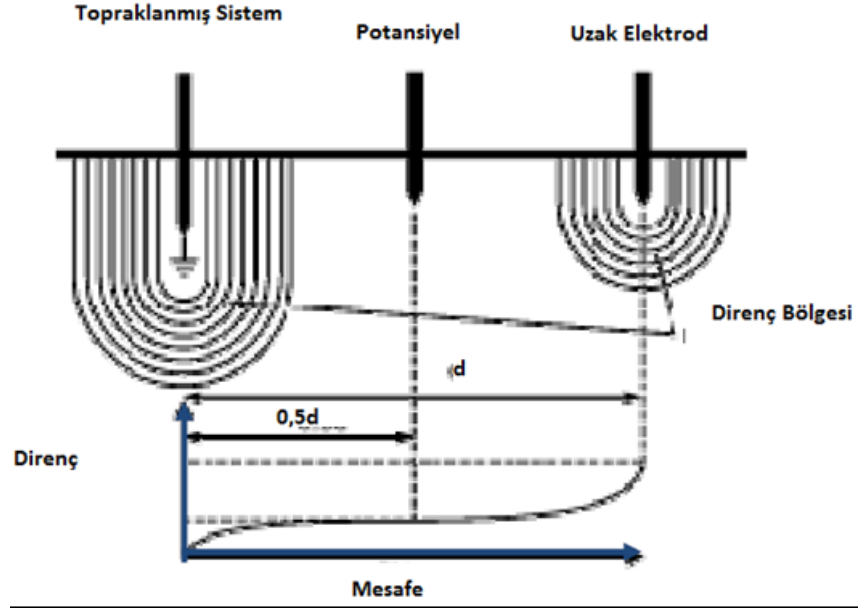
10.02.2016 tarihinde Denizli-1 trafo merkezinde tamamlanan çalışmaların kontrolü amacı ile TEİAŞ literatüründe SELVAZ (Seçilmiş gerilim, akım ve empedans) yöntemi olarak geçen IEEE 80 ve IEC 50522'ye göre "gerilim düşümü (fall of potential)" metodu olarak bilinen yöntem ile topraklama empedansı adım ve dokunma gerilimi ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Bu ölçümlerde 154 kV enerji iletim hatlarının toprak iletkenleri ile çıkış fiderlerindeki 31,5 kV XLPE kabloların şiltleri(kılıfları) trafo merkezi ağına bağlı değildir ve trafo merkezine henüz enerji alınmamıştır.

Bir sistemin topraklama direncini ölçmek için uzak bir elektrod ile, test edilmek istenen topraklama sistemi arasında bir sirkülasyon akım dolaştırılması gereklidir. Bu test için en çok kullanılan metot IEEE 81-1983'de açıklanan Gerilim Düşümü Metodu (Fall of Potential) metodudur. Bu metodun birkaç çeşit varyasyonu bulunmak ile birlikte, çoğu tipteki topraklama sistem direnci ölçümlerinde kullanılmaya uygundur. Topraklama şebekesinin genişliğine göre ölçüm tekniği değişiklik göstermektedir. Uzak elektrodan alternatif akım dolaştırılıp gerilim probu kullanılarak uzak elektrod ile topraklama sistemi elektrodu arasında gerilim okunur.



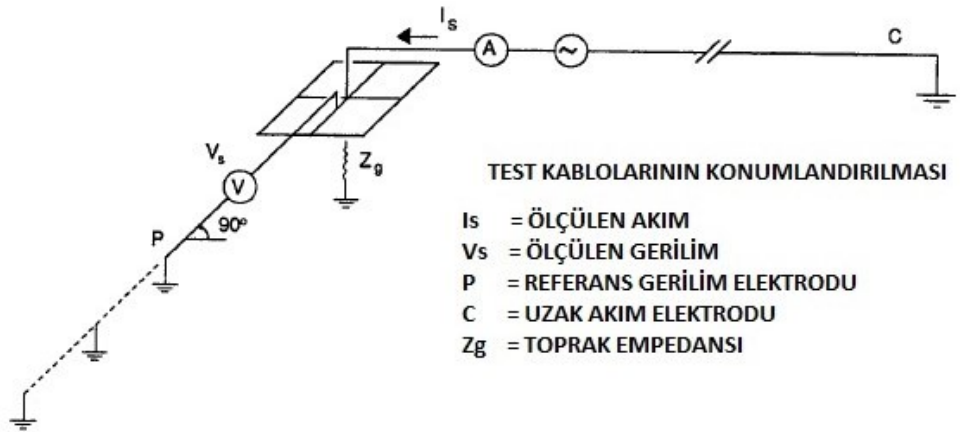
Şekil 4.3: Basit gerilim düşümü metodu

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere D mesafede bulunan gerilim probunun bir fonksiyonu olan direnç,  $V/I$  oranının grafiğini ihtiva eder. Buradaki en önemli nokta ise ölçüm sonuçları akım ve gerilim propları arası etkileşim ne kadar sıfıra yakınsa o kadar doğrudur. Bu ancak belirli bir şekilde test proplarının ayrılması ile mümkündür yani gerilim elektrodunun toprak sistemi ve uzak elektrod etki alanının dışına yerleştirilmesi gerekir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Gerilim elektrodundaki karşılıklı direnç etkisinin görsel tasviri

Farklı büyüklükteki topraklama şebekelerinin ölçümleri için farklı teknikler kullanılabilir. TEİAŞ'ın merkezlerinin yapısı genel olarak; geniş ve düşük empedanslı sistemlerdir. Geniş topraklama şebekelerini ölçmek için uzun kablolar lazım olacağı için gerilim ve akım arasında meydana gelecek indüksiyon problemi baş gösterir. Buradaki problemi çözebilmek için Şekil 4.5'de görüldüğü üzere mümkün olduğu kadar gerilim probunu, uzak akım elektrotuna 90 derece olacak şekilde ölçümlerin alınması esastır (Res Phase 2010).



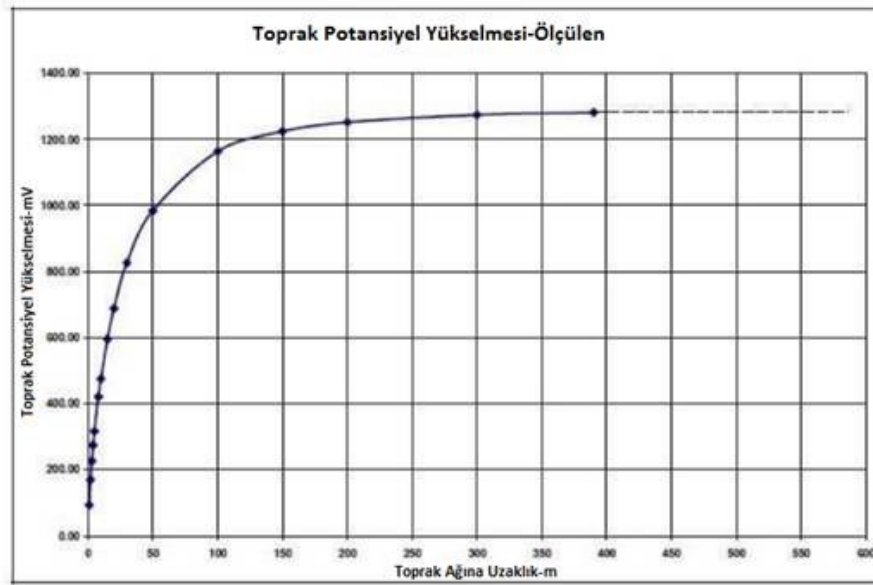
Şekil 4.5: Topraklama sisteminde empedans ölçümü

Akım elektrodlarının trafo merkezinin topraklama şebekesinin köşegen uzunluğunun 6,5 katı kadar uzağa konumlandırılması gerekmektedir. Fakat bu her zaman pratik olmayabilir daha uzak mesafeler de gerekebilir.  $6,5 \times D$  mesafede test

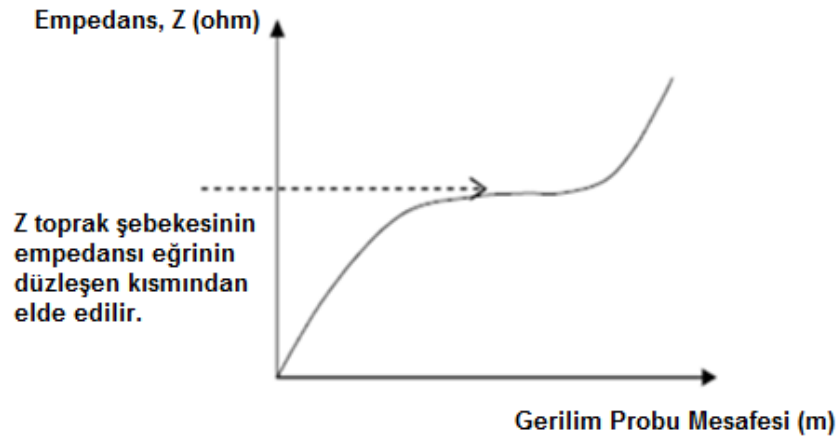
sonucu %95 doğruluktur. 50xD mesafeye kadar açılabilirse %98,5 doğruluk oranına ulaşılabilir (IEEE 81.2 1991).

Mesafeler ayarlandıktan sonra belirli aralıklar ile gerilim ölçümleri alınarak Şekil 4.6'da bir örneği görülen trafo merkezine ait gerilim profili eğrisine ulaşıp buradan merkezin empedansı (4.1)'de verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$Z_g = \frac{V_s}{I_s} \quad (4.1)$$



Şekil 4.6: Toprak potansiyel artışı



Şekil 4.7: İstenilen empedans eğrisi

Empedans ölçümleri tamamlandıktan sonra, trafo merkezinin içinde adım ve temas gerilimi ölçümleri yapılarak, tesisin uygunluğunun kontrolü yapılır.

Köşegen uzunluğu yaklaşık 105 metre olarak hesaplanan Denizli-1 trafo merkezinde, topraklama ölçümleri için 640 metre mesafeye, 8 adet 1 metrelik kazık kullanılarak, akım enjeksiyon noktası konumlandırılmıştır. Gerilim ölçümleri için de sahanın o zaman ki fiziki durumunun elverdiği ölçüde akım enjeksiyon güzergahına yakın bir güzergah seçilmiştir.



Şekil 4.8: Elektrodun konumlandırılması

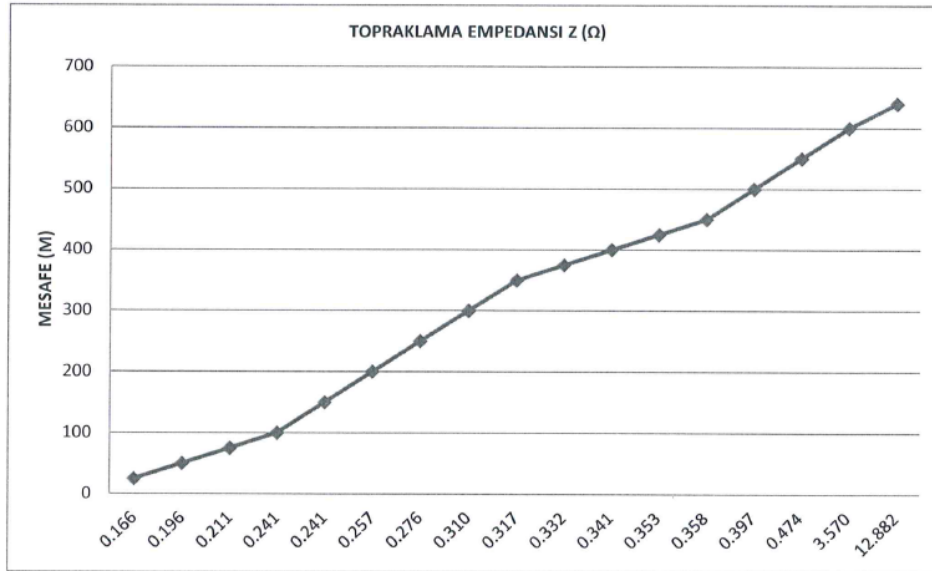
Ölçümlerde, şebeke frekansı olan 50 Hz'de yapıldığı için dış etkenlerden kaynaklı gürültü girişimlerini engellemek için polarite çevirme metodu kullanılmıştır. Bu metotta aynı ölçüm noktasında üç adet gerilim değeri okunur;  $V_1$ ,  $V_2$  (elektriksel olarak  $V_1$ 'in  $180^\circ$  derece tersi) ve  $V_0$  (akım basılmaz iken kabloda indüklenen boştaki gerilim.). Bu gerilimlerin vektörel ilişkisi kullanılarak enjeksiyon akımının ölçüm noktasında meydana getirdiği gerilim (4.2)'de verilen eşitlik yardımıyla bulunur.

$$V = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2}{2} - V_0^2} \quad (4.2)$$

Uzak akı elektrodu ile trafo merkezi topraklama ağı arasında 8,5 A akım akıtılarak yapılan ölçümler neticesinde; topraklama sisteminin empedansı Şekil 4.9'da görüldüğü üzere 0,341  $\Omega$  olarak tespit edilmiştir (Akman Enerji 2016).

TOPRAKLAMA DİRENCİ ÖLÇÜMÜ						
Sıcaklık	12°C	Nem	49%			
Mesafe (m)	Akım (A)	Vp1 (V)	Vp2 (V)	Vboşta (V)	Vg (V)	Z ( $\Omega$ )
0	8.5	1.072	1.023	0.040	1.047	0.123
25	8.5	1.327	1.499	0.111	1.411	0.166
50	8.5	1.743	1.596	0.151	1.664	0.196
75	8.5	1.706	1.905	0.196	1.798	0.211
100	8.5	2.168	1.948	0.198	2.051	0.241
150	8.5	1.932	2.186	0.246	2.048	0.241
200	8.5	2.360	2.044	0.294	2.188	0.257
250	8.5	2.179	2.544	0.302	2.349	0.276
300	8.5	2.773	2.506	0.220	2.634	0.310
350	8.5	2.700	2.697	0.160	2.694	0.317
375	8.5	2.756	2.886	0.150	2.818	0.332
400	8.5	3.000	2.800	0.184	2.896	0.341
425	8.5	2.882	3.136	0.218	3.004	0.353
450	8.5	3.190	2.900	0.177	3.043	0.358
500	8.5	3.229	3.529	0.202	3.376	0.397
550	8.5	4.080	3.990	0.200	4.030	0.474
600	8.5	30.250	30.450	0.335	30.348	3.570
640	8.5	110.000	109.000	0.330	109.501	12.882
Şalt Sahası Topraklama Empedansı ( $\Omega$ ) :		0.341				

Şekil 4.9: Toprak empedansı ölçümü (Akman Enerji 2016)



Şekil 4.10: Topraklama empedansı grafiği (Akman Enerji 2016)

Empedans ölçümleri sonrası sahada adım ve temas gerilimleri ölçülerek çalışmalar sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verildiği şekilde raporlanmıştır.

ADIM GERİLİMİ ÖLÇÜMÜ							
Sıcaklık	12°C	Nem	49%				
Mesafe (m)	Akım (A)	Vp1 (mV)	Vp2 (mV)	Vb (mV)	Vg (mV)	Adım Gerilimi (V) (20 kA'e İndirgenen)	
Ağ Dışı	0-1	8.5	3.500	3.250	1.200	3.157	7.428
	1-2	8.5	2.180	2.120	1.100	1.848	4.347
	2-3	8.5	3.650	3.200	1.250	3.197	7.522
	3-4	8.5	2.850	2.600	1.350	2.370	5.577
	4-5	8.5	3.060	2.880	1.180	2.727	6.417
Trafo 1 Fideri Bara 1 Ayırıcısı	8.5	7.680	7.400	3.110	6.870	16.165	
Trafo1 Fideri Kesicisi	8.5	4.120	3.650	2.950	2.539	5.974	
Trafo 1 Fideri B Faz Akım Trf.	8.5	15.180	20.000	4.150	17.262	40.618	
Trafo 2 Fideri A Faz Parafudr	8.5	14.200	11.150	2.350	12.548	29.525	
Bara 1 Gerilim Trafosu	8.5	3.400	3.460	1.250	3.194	7.516	
Fider 4 C Faz Gerilim Trafosu	8.5	8.230	6.850	4.180	6.313	14.854	
Fider 3 C Faz Akım Trafosu	8.5	8.120	7.300	1.400	7.593	17.866	
İzin Verilen Maksimum Adım Gerilimi: 2963.63 V							

Şekil 4.11: Adım gerilimi ölçümleri (Akman Enerji 2016)

TEMAS GERİLİMİ ÖLÇÜMÜ						
Sıcaklık	12°C	Nem	49%			
Ölçüm Noktaları	Akım (A)	Vp1 (mV)	Vp2 (mV)	Vboşta (mV)	Vg (mV)	Temas Gerilimi (V) (20 kA'e İndirgenen)
Trafo 1 Fideri Bara 1 Ayırıcısı	8.5	6.800	6.250	2.460	6.050	14.235
Trafo1 Fideri Kesicisi	8.5	7.120	6.800	2.350	6.553	15.419
Trafo 1 Fideri B Faz Akım Trafosu	8.5	1.440	1.680	1.110	1.103	2.595
Trafo 2 Fideri A Faz Parafudr	8.5	10.150	12.180	2.800	10.856	25.543
Bara 1 Gerilim Trafosu	8.5	7.900	15.000	6.410	10.130	23.835
Fider 4 C Faz Gerilim Trafosu	8.5	10.500	14.700	6.800	10.813	25.443
Fider 3 C Faz Akım Trafosu	8.5	12.000	8.000	3.500	9.579	22.538
İzin Verilen Maksimum Temas Gerilimi: 907.43 V						

Şekil 4.12: Temas gerilimi ölçümleri (Akman Enerji 2016)

Tablo 4.6: Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

	Müsaade Edilen (bkz Tablo 3.4)	Ölçülen (En yüksek)	Açıklama
Dokunma Gerilimi	907,43 V	25,543 V	$E_m < E_{Dokunma70}$ olduğu için uygundur
Adım Gerilimi	2963,63 V	40,618 V	$E_s < E_{Adım70}$ olduğu için uygundur
Toprak Direnci	1 $\Omega$	0,341 $\Omega$	TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesine göre 154 kV merkezlerin toprak empedansı 1 $\Omega$ 'un altında olmalıdır.

Yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 4.6'da incelenmiştir. Sonuçların müsaade edilen limit değerleri sağladığı görülerek topraklama sisteminin uygun olduğu ve

topraklama yönünden trafo merkezinin enerjilendirilmesinde bir problem olmadığına karar verilmiştir.



## 5. IEEE 80-2000'E GÖRE TOPRAKLAMA HESAPLARININ YAPILMASI

Her ne kadar ETTY ve TSE IEC 50522(2010) numaralı topraklama standardını baz alsada TEİAŞ kendi tesis çalışmalarında sistem tasarımı yaparken IEEE 80-2000'e göre yapılan hesaplamaları kabul etmektedir.

154/31,5 kV Denizli-1 TM'de, sahada yapılan topraklama sisteminin önceki bölümde tasarım aşaması ve tesisi tamamlandıktan sonra kontrol amaçlı yapılan topraklama ölçümü detaylandırılmıştır. Bu bölümde de onaylı topraklama projesine istinaden IEEE 80-2000'e göre topraklama hesapları yapılacaktır.

### 5.1 IEEE 80-2000 tasarım prosedürleri

IEEE 80-2000 standardının normal ve arıza şartları altında iyi bir trafo merkezi topraklama sistemi elde etmek için iki ana hedefi vardır. Bu hedefler (IEEE 80 2000);

- İşletme ve teçhizatların limitlerini aşmadan arıza akımının toprağa geçişini ve
- Topraklanmış tesisin yakınındaki bir insanın kritik elektrik şoku tehlikesine maruz kalmamasını sağlamaktır.

Bu amaçla standartta bir tasarım yöntemi sunulmuş ve 12 adımda tanımlanmıştır.

**Adım 1:** Trafo merkezi sahasının haritası ve genel yerleşim planı topraklanacak alanın belirlenmesini iyi tahmin etmemizi sağlar. Sahada yapılacak olan toprak özgül direnci ölçümü ile özgül direnç profili ve ihtiyaç duyulan toprak modelinin belirlenmesi çalışmaları yapılır.

**Adım 2:** İletken kesiti IEEE 80-2000'in 11.3. bölümünde verilen formüller ile hesaplanır (TEİAŞ yeni yapılan merkezlerde 120 mm<sup>2</sup> örgü bakır kullanmaktadır).  $3I_0$  gelecekteki değişiklikleri de içerecek, ağda kullanılan tüm iletkenlerin kaldırabileceği, beklenen maksimum arıza akımıdır.  $t_c$ 'de maksimum olası arıza temizleme süresidir

(artçı korumalar yani 154. ve 380 kV şalt sahsı için mesafe koruma rölesinin 2. kademe çalışma süresi ile kesicinin açma süresinin toplamı olarak.).

**Adım 3:** Müsaade edilebilir dokunma ve adım gerilimleri eşitlik (5.1)'de verildiği şekilde hesaplanır;

$$E_{adım70} = (1000 + 6C_s\rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (5.1)$$

70 kg bir insan için müsaade edilen adım gerilimi,

$$E_{dokunma70} = (1000 + 1,5C_s\rho_s) \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} \quad (5.2)$$

70 kg bir insan için müsaade edilen dokunama gerilimi.  $t_s$  süresi TEİAŞ tarafından 0,5 s olarak kabul edilir.

**Adım 4:** Ön tasarım, tüm topraklanmış alanı çevreleyen bir iletken halka ve ekipman toprakları vs için uygun bağlantı sağlamak amacıyla yeterli geçiş iletkenlerini içermelidir. İletken ara mesafeleri ve toprak çubuk konumlarının ilk tahminleri, mevcut  $I_G$  ve topraklanan alana dayanmalıdır.

**Adım 5:** Topraklama sisteminin direnci;

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left( \ln\left(\frac{2L_c}{\sqrt{a2h}}\right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 \right) \quad (5.3)$$

ağdaki iletkenlerin direnci,

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi\eta_R L_R} \left( \ln\left(\frac{4L_R}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 L_R}{\sqrt{A}} - \left(\sqrt{\eta_R - 1}\right)^2 \right) \quad (5.4)$$

tüm topraklama kazıklarının direnci,

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c} \left( \ln\left(\frac{2L_c}{L_r}\right) + \frac{k_1 L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right) \quad (5.5)$$

ağ ile kazıklar arası karşılıklı etki direnci,

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (5.6)$$

ya da

$$R_g = \rho \left( \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right) \quad (5.7)$$

toplam sistem direnci, (5.3)-(5.7) denklemleri kullanılarak belirlenebilir. Son tasarım için direncin daha doğru tahmini istenebilir. Bu tip durumlarda doğru toprak modelinin seçilmiş olmasına bağlı olarak bilgisayar analizleri yüksek bir doğruluk payı ile direnci hesaplayabilir.

**Adım 6:**  $I_G$  akımı IEEE 80-2000'in 15. bölümünde verilen formüller ile hesaplanır (TEİAŞ standartlarına göre 154 kV merkezlerde 20 kA olarak kabul edilir). Topraklama sisteminin aşırı ihtiyatlı olmasını önlemek için toplam arıza akımının  $3I_0$  sadece ağ üzerinden toprağa akan bileşenin ağ tasarımında kullanılması gerekir.  $I_G$  akımı en kötü arıza tipi ve yerini, azaltma katsayısını ve ileride oluşabilecek sistem genişlemesini yansıtmalıdır.

**Adım 7:** Eğer ön tasarımın toprak potansiyel yükselmesi

$$GPR = I_G R_g \quad (5.8)$$

müsaade edilen dokunma geriliminin altında ise ek analiz yapmak gerekli değildir. Sadece teçhizat bağlantıları için ek iletkenler gerekebilir.

**Adım 8:** Tasarlanan ağın göz ve adım gerilimleri hesabı homojen toprak için IEEE 80-2000'in 16.5. bölümünde anlatılan

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_m} \quad (5.9)$$

maksimum göz/dokunma gerilimi ve

$$E_s = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_s} \quad (5.10)$$

maksimum adım gerilimi yaklaşık analiz teknikleri veya standardın bölüm 16.8’inde gösterildiği gibi daha doğru bilgisayar analiz teknikleri ile hesaplanabilir.

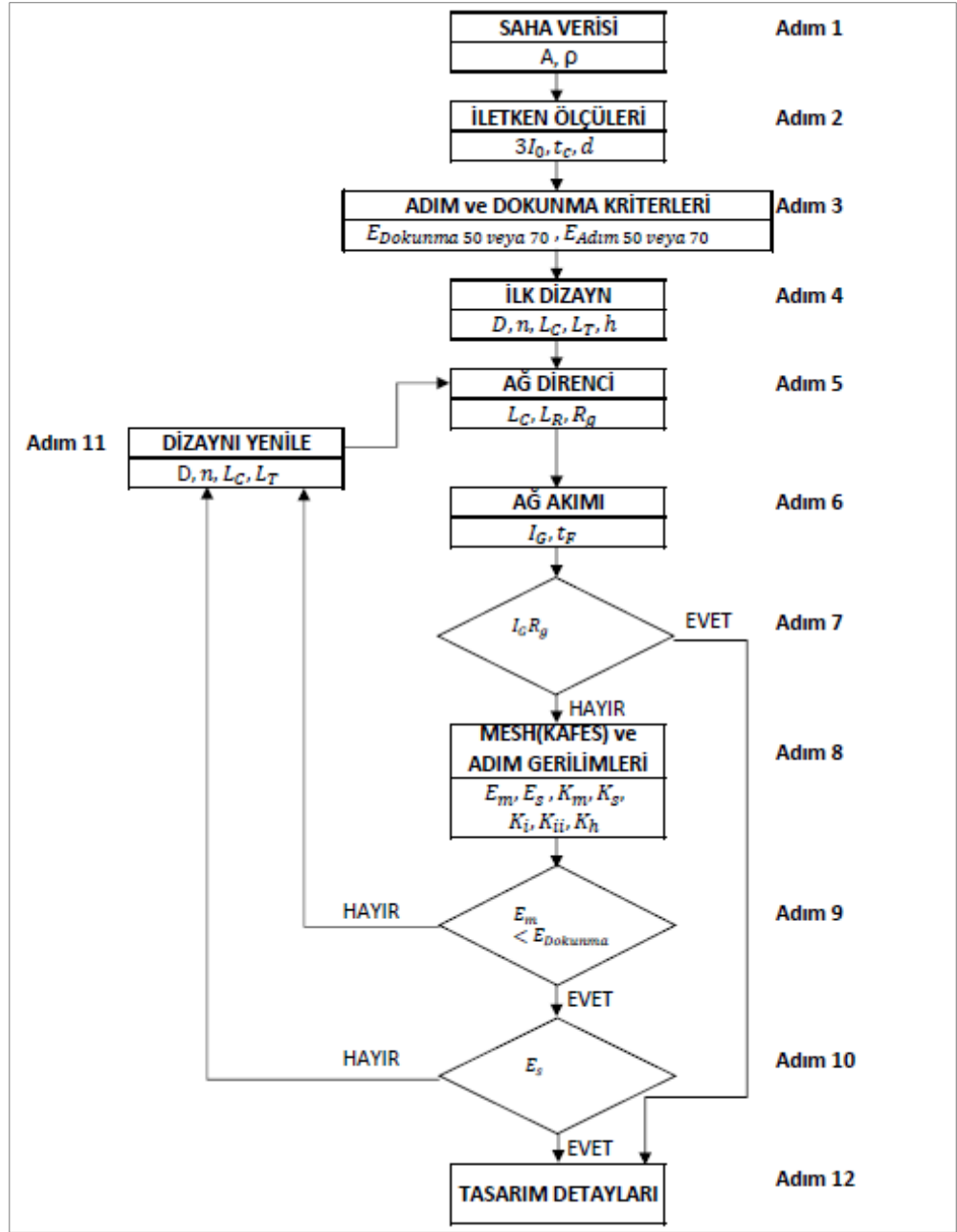
**Adım 9:** Hesaplanan göz gerilimi müsaade edilen dokunma geriliminin altında ise tasarım tamamlanmış olabilir (10. Adıma geçilmelidir.). Hesaplanan göz gerilimi müsaade edilen dokunma geriliminden daha büyükse ön tasarım revize edilmelidir (11. Adıma geçilmelidir).

**Adım 10:** Hesaplanan dokunma ve adım gerilimlerinin her ikisi de müsaade edilen değerlerin altındaysa, tasarım sadece teçhizat topraklama bağlantılarını sağlamak için gereken geliştirmelere ihtiyaç duyar. Değilse ön tasarım revize edilmelidir (11. Adıma geçilmelidir.).

**Adım 11:** Adım ya da dokunma gerilimi değerlerinden biri müsaade edilen sınırları aşmışsa ağ tasarımının revizyonu gereklidir. Bu revizyonlar daha küçük iletken aralıkları, ek topraklama çubukları vs. içerebilir. Adım ve dokunma gerilimleri limitlerinin sağlanması için ağ tasarımı revizyonları (IEEE 80 2000 Bölüm 16.6);

a) Toplam ağ direncini azaltmak: Toplam ağ direncindeki bir düşüş maksimum GPR’ı dolayısıyla maksimum transfer gerilimini azaltacaktır. Topraklama ağı direncini düşürmenin en etkili yolu ağın kapladığı alanı arttırmaktır. Kullanılabilir alan sınırlıysa ve çubuklar düşük özgül dirençli katmana ulaşabiliyorsa uzun çubuklar veya kuyular kullanılabilir. Trafo merkezi direncindeki bir düşüşün yerel gradyenleri azaltabilmesi veya azaltamaması kullanılan yöntemle bağlıdır.

b) Daha yakın ağ aralıkları: Ağ iletkenlerinin aralıklarını azaltarak daimi bir levha ortamına daha çok yaklaşılabilir. Böylece trafo merkezindeki tehlikeli gerilimler belirli bir maliyet artışı ile giderilmiş olabilir. Özellikle yüksek özgül dirençli küçük trafo merkezlerinde ağın çevresindeki sorun daha zorlayıcı olabilir. Bununla beraber genellikle topraklama ağı iletkeninin çit hattının dışına gömülmesiyle hemen ağ çevresi dışındaki aşırı gradyenlerin daha tehlikeli dokunma gerilimlerini meydana getirmemesini sağlamak mümkündür. Gradyenleri kontrol etmenin başka bir ekonomik ve etkili yolu ağ çevresindeki topraklama çubuğu yoğunluğunu arttırmaktır. Bu yoğunluk ağın merkezine doğru azaltılabilir. Çevre



Şekil 5.1: IEEE 80-2000 Topraklama sistemi tasarımı blok diyagramı

gradyenlerini ve adım gerilimlerini kontrol etmek için başka bir yaklaşım trafo merkezinden uzaklaşarak daha fazla derinlikte, ağın çevresine art arda iki veya daha fazla paralel iletken gömmektir. Başka bir yaklaşım ağın kenarlarında iletken aralığını azaltmaktır.

c) Arıza akımının büyük bir kısmını başka bir yola yönlendirmek: İletim hatlarının koruma tellerini ağa bağlayarak veya trafo merkezi çevresindeki direklerin direncini azaltarak arıza akımının bir kısmı ağdan uzaklaştırılabilir. Bununla bağlantılı olarak direk temeli yanındaki arıza gradyenlerinin etkileri araştırılmalıdır.

d) Toplam arıza akımının sınırlanması: Mükünse, toplam arıza akımını sınırlamak GPR ve tüm gradyenleri orantılı olarak azaltacaktır. Bununla beraber diğer faktörler bunu genellikle uygulanamaz kılmaktadır. Dahası daha büyük arıza temizleme süresi risklerinin üstesinden gelinse bile, tehlike azaltılmaktan ziyade artırılmış olabilir.

e) Sınırlanmış alanlara girişin engellenmesi: Uygulanabilir yerlerde belirli alanlara girişin engellenmesi çalışanların zarar görme olasılığını azaltacaktır.

**Adım 12:** Adım ve dokunma gerilim gereksinimleri karşılandıktan sonra ek ağ ve topraklama çubukları gerekebilir. Ağ tasarımında topraklanacak ekipmanların yanında iletken bulunmuyorsa ek ağ iletkenleri gerekebilir. Ek topraklama çubukları parafudr ayağı, transformatör nötründe vs. gerekli olabilir. Nihai tasarım özel alanlarla ilgili tehlikeler ve transfer gerilimlerinden dolayı oluşan tehlikeleri bertaraf etmek için gözden geçirilmelidir. (IEEE 80-2000 Bölüm 17’de özel alanlar ile ilgili detaylar verilmiştir.)

## 5.2 Denizli-1 trafo merkezinin topraklama hesaplamalarının IEEE 80-2000’e göre yeniden yapılması



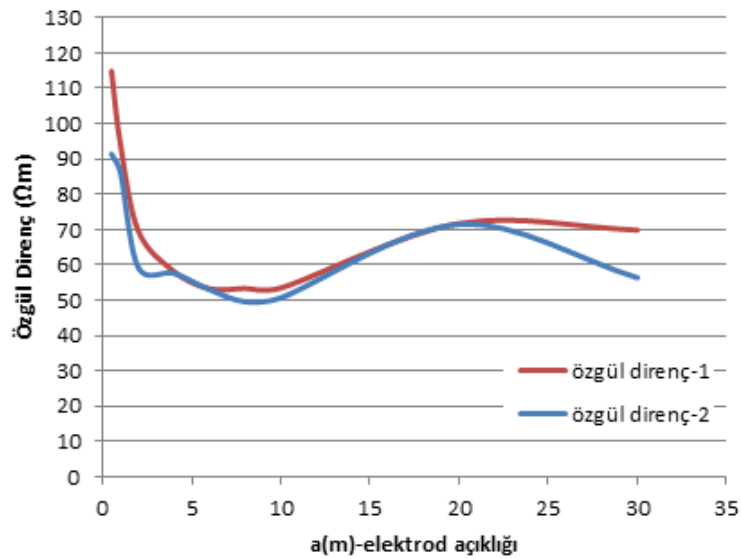
Şekil 5.2: Özgül direnç ölçüm noktaları

2016 yılında devreye alınan Denizli-1 trafo merkezinin enerji altında (trafo merkezinde herhangi bir kesintiye gerek duymadan) topraklama performansı ölçümü çalışmaları kapsamında, IEEE 80-2000'e göre de topraklama hesaplamaları yeniden yapılmıştır.

**Adım 1:** Trafo merkezi sahasının yanında bulunan boş arazide, Şekil 5.2'de gösterilmekte olan iki noktada yeniden toprak özgül direnci ölçüm çalışmaları Wenner Metodu kullanılarak yapılmıştır. Biri birini dik kesecek şekilde yapılan bu ölçümler, kablo uzunluğu yettiği ölçüde 30 metre'ye kadar açılarak Tablo 5.1'de gösterildiği şekilde yapılmıştır.

Tablo 5.1: Özgül direnç ölçümleri.

Özgül Direnç Ölçümü-1			Özgül Direnç Ölçümü-2		
a(m)	R( $\Omega$ )	$\rho(\Omega m)$	a(m)	R( $\Omega$ )	$\rho(\Omega m)$
0,5	36,5	114,668	0,5	29,1	91,4206
1	14,94	93,871	1	13,72	86,2055
2	5,53	69,4922	2	4,73	59,4391
4	2,31	58,0568	4	2,3	57,8054
6	1,41	53,1559	6	1,41	53,1559
8	1,06	53,2815	8	0,99	49,7629
10	0,85	53,4072	10	0,81	50,8939
20	0,57	71,6285	20	0,57	71,6285
30	0,37	69,7435	30	0,3	56,5488



Şekil 5.3: Toprak özgül direnç değerlerinin elektrot açıklığına bağlı değişimi

Tablo 5.2: Ortalama özgül direnç ölçümleri.

a(m)	R( $\Omega$ )	$\rho(\Omega\text{m})$
0,5	32,8	103,044
1	14,33	90,0383
2	5,13	64,4656
4	2,305	57,9311
6	1,41	53,1559
8	1,025	51,5222
10	0,83	52,1506
20	0,57	71,6285
30	0,335	63,1462
<b>Ortalama özgül direnç</b>		<b>67,4536</b>

**Adım 2:** TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesinde belirtildiği üzere Denizli-1 trafo merkezinde 120 mm<sup>2</sup>'lik bakır iletken kullanılmaktadır.

Tablo 5.3: Hesaplamalarda kullanılan parametreler.

$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Toprak özgül direnci	67,4536
$\rho_s$ ( $\Omega\text{m}$ )	Yüzey katmanı özgül direnci	2500
A (m <sup>2</sup> )	Torak ağı ile kaplanan toplam alan	8493
d (m)	Toprak iletkeninin çapı	0,012
D (m)	Paralel iletkenler arası mesafe	3
D <sub>m</sub> (m)	Ağ üzerinde herhangi iki nokta arası maksimum mesafe	136,1846
h (m)	Topraklama iletkenini gömülme derinliği	0,8
h <sub>s</sub> (m)	Yüzey katmanının kalınlığı	0,15
I <sub>G</sub> (A)	Toprak ağı ile çevre toprak arası akan maksimum akım	20000
L <sub>c</sub> (m)	Ağ iletkenleri toplam uzunluğu	5990,5
L <sub>r</sub> (m)	Her noktadaki topraklama kazığı uzunluğu	2,5
L <sub>R</sub> (m)	Topraklama kazığı toplam uzunluğu	100
L <sub>x</sub> (m)	X eksenindeki maksimum iletken uzunluğu	114
L <sub>y</sub> (m)	Y eksenindeki maksimum iletken uzunluğu	74,5
n <sub>R</sub>	A alanı içine yerleştirilmiş kazık sayısı	40
L <sub>p</sub> (m)	Topraklama alanın çevresi	402,73
t <sub>s</sub> (s)	İzin verilen vücut akımını belirleyen şok zamanı	0,5
a (m)	Kullanılan iletken yarıçapı	0,006
b (m)	Kullanılan kazık yarıçapı	0,011



**Adım 3:** Müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri hesapları Tablo 5.3'deki parametrelere göre yapılmıştır.

$$C_s = 1 - \frac{0,09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s+0,09} \quad (5.11)$$

C<sub>s</sub> yüzey katmanı indirgeme faktörü (5.11) kullanılarak hesaplandıktan sonra (5.1) ve (5.2) eşitlikleri aracılığıyla E<sub>adım70</sub> ve E<sub>dokunma70</sub> değerleri Tablo 5.4'de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 5.4: Müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri.

E <sub>dokunma70</sub>	867,656 V
E <sub>adım70</sub>	2804,531 V
C <sub>s</sub>	0,7754

**Adım 5:** (5.3), (5.4), (5.5) ve (5.6) eşitlikleri kullanılarak direnç değerleri hesaplanmıştır. Eşitliklerdeki,

$$k_1 = 1,41 - 0,04\left(\frac{L_x}{L_y}\right) \quad (5.12)$$

$$k_2 = 5,5 - 0,15\left(\frac{L_x}{L_y}\right) \quad (5.13)$$

k<sub>1</sub> ve k<sub>2</sub> parametrelerinin hesaplanmasıyla Tablo 5.5'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.5: Topraklama sistemi ortak dirençleri.

R <sub>1</sub>	0,335 Ω
R <sub>2</sub>	0,790 Ω
R <sub>m</sub>	0,327 Ω
R <sub>g</sub>	0,335 Ω

**Adım 7:** Eşitlik (5.8)'e göre toprak potansiyel yükselmesi 6698,75 V bulunmuş olup müsaade edilen dokunma gerilimi değerinden yüksek olduğu için diğer analiz adımlarına geçilmiştir.

**Adım 8:** Eşitlik (5.9) ve (5.10)'a göre trafo merkezinde meydana gelmesi ön görülen maksimum dokunma ve adım gerilimleri hesaplanmıştır. Bu eşitliklerde kullanılan

diğer parametreler (5.14)- (5.25) yardımıyla hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da verilmektedir.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \ln \left( \frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (5.15)$$

Burada  $h_0$  1m olarak alınmaktadır.

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} \quad (5.16)$$

$$\eta = \eta_a \eta_b \eta_c \eta_d \quad (5.17)$$

$$\eta_a = \frac{2L_c}{L_p} \quad (5.18)$$

$$\eta_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad (5.19)$$

$$\eta_c = \left( \frac{L_x L_y}{A} \right)^{\frac{0,7A}{L_x L_y}} \quad (5.20)$$

$$\eta_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (5.21)$$

$$K_i = 0,644 + 0,148\eta \quad (5.22)$$

$$L_m = L_c + \left[ 1,55 + 1,22 \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right] L_r \quad (5.23)$$

$$L_s = 0,75L_c + 0,85L_r \quad (5.24)$$

$$K_s = \frac{1}{\eta} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5\eta^{-2}) \right] \quad (5.25)$$

Tablo 5.6: Maksimum adım ve dokunma gerilimleri.

$E_m$	533,5052 V
$E_s$	597,0556 V
$K_m$	0,46657
$K_h$	1,341641
$K_{ii}$	0,766707
$\eta$	31,09502
$K_i$	5,246063
$K_s$	0,388813
$L_s$	4577,875 m
$L_M$	6147,74 m

**Adım 9:** Hesaplanan değerler müsaade edilen değerler ile karşılaştırılır.

Tablo 5.7: IEEE 80-2000'e göre yapılan hesaplamaların karşılaştırılması.

	Müsaade Edilen	Hesaplanan	Açıklama
Dokunma Gerilimi	867,656 V	533,5052 V	$E_m < E_{\text{dokunma70}}$ olduğu için uygundur
Adım Gerilimi	2804,531 V	597,0556 V	$E_s < E_{\text{adım70}}$ olduğu için uygundur
Toprak Direnci	1 $\Omega$	0,335 $\Omega$	TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesine göre 154 kV merkezlerin toprak empedansı 1 $\Omega$ 'un altında olmalıdır.

Hesaplanan dokunma ve adım gerilimi değerlerinin müsaade edilen dokunma ve adım gerilimi değerlerini sağladığı Tablo 5.7'de görülmüştür. Sistemin toprak direnci de TEİAŞ kriterlerini sağlamaktadır. Tablo 5.7 ile yüklenici firmanın ilk topraklama raporu arasında görülen fark trafo merkezinde yapılan özgül direnç ölçümlerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

## 6. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TOPRAKLAMA SİSTEM ANALİZİ

Denizli-1 trafo merkezi devreye alındıktan iki yıl sonra enerji altında topraklama performansı ölçü kapsamında, topraklama sistemi kontrolü yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken, TEİAŞ Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan CymGrd topraklama sistemi analiz programı ile de tesis edilmiş olan sistem toprağı, trafo merkezi dışında yeniden ölçülen özgül direnç değerlerine göre, tekrar çözümlenmiştir. Bu analiz yapılırken kullanılan model, 2015 yılında onaylı topraklama projesine göre yüklenici tarafından TEİAŞ'a verilen analiz modelinin aynısıdır. Model üzerine sahada yapılan uygulamalara göre bazı değişiklikler yapılarak ve yeni özgül direnç değerlerine göre yeniden analiz çalışmaları yapılmıştır.

### 6.1 CymGrd topraklama sistemi analiz programı hakkında genel bilgi

CymGrd, trafo merkezlerinde ve binalarda topraklama tesisleri tasarlama amacıyla yapılan mühendislik çalışmalarına yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Program, toprak özgül direnci ölçüm sonuçlarının yorumlanması, merkezdeki toprak potansiyel yükselmesinin hesaplanması ve modellenen merkezin herhangi bir alanında tehlike noktası değerlendirmesi yapmak için kullanılır (Cyme Inc. 2006).

Program, sahada yapılan ortalama ölçümleri dikkate alarak toprağın özgül direnç analizini yapar ve daha sonra potansiyel yükselmelerinin analizinde kullanılacak bir toprak modeline ulaşır. Program hem “tek katmanlı” hem de “iki katmanlı” toprak modeli analizini destekler. Kullanıcının tanımladığı; muhtemel arıza akımı büyüklüğü, ağın tesis edileceği toprağın üzerinde kullanılacak malzeme katmanının (kırılmış kaya gibi) kalınlığı ve özgül direnci, vücut ağırlığı ve tahmin edilen arızaya maruz kalma süresi parametrelerine göre **IEEE Standardı 80-2000** uyarınca müsaade edilen adım ve dokunma gerilimlerini hesaplar.

CymGrd toprak elektrotu boyutlandırma ve toprak potansiyeli artışı hesaplamaları yapabilir. İletkenler ve topraklama çubuklarından oluşan isteğe bağlı şekillerin topraklama ağı eşdeğer direncini belirlemede yardımcı olur. Bu işi yaparken

toprağa doğru olan akım dağılımlarını çözmek için matris tekniklerini kullanır. Ayrıca enerjili şebekeye bağlı olmayan, doğrudan enerjili ve/veya pasif elektrodların etkilerini belirlemek için modelleme yapılabilir.

Analiz alanındaki ilgili herhangi bir noktadaki yüzey gerilimi ve dokunma gerilimi potansiyel gradyanlarını hesaplar. Program ayrıca yüzey ve / veya dokunma potansiyelleri için eşit potansiyele sahip konturlar ve herhangi bir yönde dokunma ve adım gerilimleri gösteren potansiyel profilleri üretir. Sonuçlar isteğe bağlı olarak 2 veya 3 boyutlu grafiklere dökülebilir ve gerilim seviyeleri farklı renk kodları ile gösterilebilir, bu da topraklama ağı içindeki ve çevresindeki personelin ve ekipmanın güvenliğini değerlendirmeyi kolaylaştırır.

Yukarıda belirtilen analizler program tarafında belirli modüller kullanılarak yapılır (Cyme Inc. 2006).

Toprak analizi modülü (güvenlik değerlendirmelerini içerir): İki katmanlı, tek tip veya kullanıcı tanımlı bir toprak modelini tanımlar. CymGrd, toprak modelinin kalitesinin kolay bir şekilde doğrulanmasını sağlamak için ölçülen ve hesaplanan direnci aynı grafik üzerinde çizer. Müsaade edilen maksimum adım ve dokunma gerilimleri IEEE 80-2000'e göre hesaplanır. Sonuçlar otomatik olarak diğer modüllere iletilir.

Elektrot boyutlandırma modülü: IEEE 80-2000 standardına uygun minimum gerekli toprak elektrotu (iletken ve / veya çubuk) boyutunu belirler. Elektrot boyutunu belirlemek için, CymGrd elektrot malzemesi parametrelerini ve ortam sıcaklığı ayarını kullanır. Analiz yapılırken, CymGrd kütüphanesinden bir veya daha fazla malzeme seçebilir. Malzemelere ait bazı parametreler her çalışma değiştirilebilir ve saklanabilir.

Topraklama ağı analiz modülü: Topraklama ağındaki her iletken elemanı tarafından yayılan akımı hesaplar ve yüzeyindeki potansiyeli bu sonuçlardan belirler. Ağ tek bir iletken ya da dikdörtgen alt ağlar ile düzenlenmiş grup iletkenlerden oluşturulabilir. Topraklama çubukları da benzer şekilde tanımlanabilir. Diğer gömülü iletkenlerin (yakındaki temeller gibi) ve / veya komşu topraklama yapılarının, yüzey gerilimleri üzerindeki etkisini değerlendirebilmek için bu yapılar tanımlanabilir,

analize dahil edilebilir veya karşılaştırma amacıyla herhangi bir zamanda hariç tutulabilir.

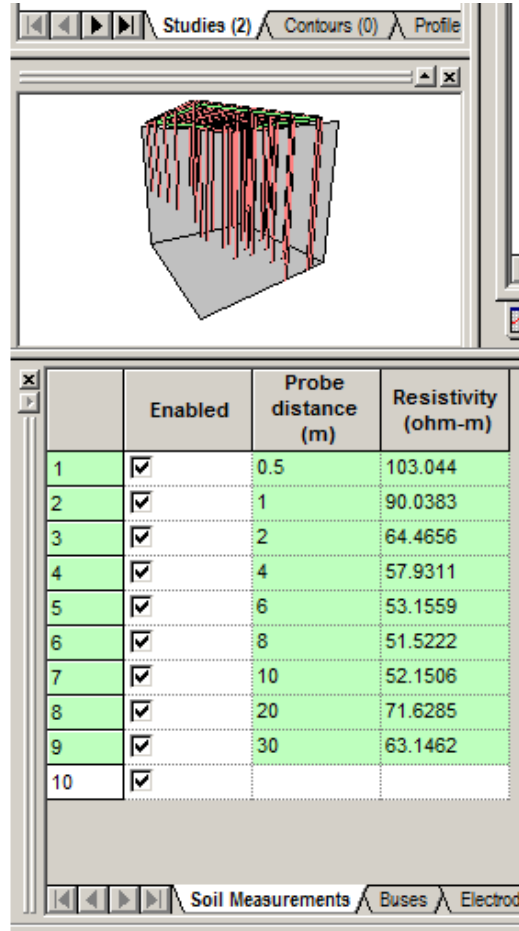
Çizim modülü: Topraklama ağı analiz sonuçlarının potansiyel kontur ve / veya potansiyel profil grafikleri üzerinde görsel olarak gösterilmesini sağlar. Potansiyel kontur grafikleri hem dokunma hem de yüzey gerilimlerini görüntülemek için kullanılabilir. Her iki gösterim de 2 veya 3 boyutta renk kodlu olabilir. Potansiyel profil çizimleri, istenen bir yönde, düz bir çizgi boyunca hem adım hem de dokunma gerilimlerini görüntülemek için kullanılabilir. İlgili maksimum müsaade edilen gerilimlerle birlikte gerilim değişimleri aynı grafik üzerinde eşzamanlı olarak gösterilebilir. Hem potansiyel kontur hem de potansiyel profil grafik tipleri, tehlikeli alanların (yani, müsaade edilen gerilimlerin aşıldığı alanlar) kolayca tanımlanmasına olanak sağlar.

## **6.2 Denizli-1 trafo merkezinin CymGrd kullanılarak adım-adım topraklama analizinin yapılması**

Denizli-1 trafo merkezinin topraklama sisteminin yüklenici tarafından 2015 yılında hazırlanan topraklama analiz modelinin üzerinde, yeniden ölçülen toprak özgül direncine ve sahadaki uygulamalara göre değişiklikler yapılarak hem iki katmanlı hem de tek tip toprak modeli kullanılarak analizler yapılmıştır. Topraklama modelinin AUTOCAD ortamında çizimi CymGrd programına aktarılmış ve üzerinde düzenlemeler yapılmıştır.

**Adım 1) Toprak modelinin belirlenmesi:** Ortam toprağı, önemli bir derinliğe kadar düzgün bir direnç içerebilir. Bununla birlikte, toprakların tabakalı olduğunu farklı dirençlere sahip katmanlardan oluştuğu bulmak daha gerçekçi bir yaklaşımdır. Genel olarak, toprak tabakalarının tam olarak belirlenmesi zor bir durumdur. Yıllar boyunca hem grafik hem de analitik olarak birçok yaklaşım önerilmiştir, ancak pratik toprak modellerine ulaşmak için bir karar verilmesi gereklidir. Bir dizi toprak direnç ölçümünü çok katmanlı bir toprak modeli olarak yorumlamak için belirli teknikler mevcut olup CymGrd "tek tip" ve "İki katmanlı" toprak modelleri arasında kullanıcıya seçenekler sunar. 'Çok katmanlı' toprak modelleri CymGrd tarafından desteklenmemektedir.

İki katmanlı model, belirli bir derinliğe sahip bir üst katman ve sonsuz bir derinliğe ve farklı bir dirence sahip bir alt katmandan oluşur. Yaklaşım pratiktir ve trafo merkezleri topraklama analiz uygulamalarında yıllardır kullanılmaktadır. Çeşitli toprak ölçüm tekniklerinden, CymGrd sadece her sonda çifti arasındaki mesafenin (a) eşit olduğu Wenner tekniğini desteklemektedir. Bu çalışmada da wenner metodu ile enerji altındaki Denizli-1 trafo merkezinin yanında bulunan boş arazide yapılan özgül direnç ölçümlerine istinaden toprak modeli belirlenecektir. Daha detaylı analizler yapılabilmesi için ölçüm aralığının genişletilmesi ve özgül direnç ölçüm noktalarının arttırılması daha uygun olacaktır. Sahada yapılan toprak özgül direnç ölçümlerine istinaden (bkz. Tablo 5.1), ortalama değerler programın veri girişi sekmesindeki “toprak ölçümleri” kısmına Şekil 6.1’de görüldüğü şekilde yazılmıştır.



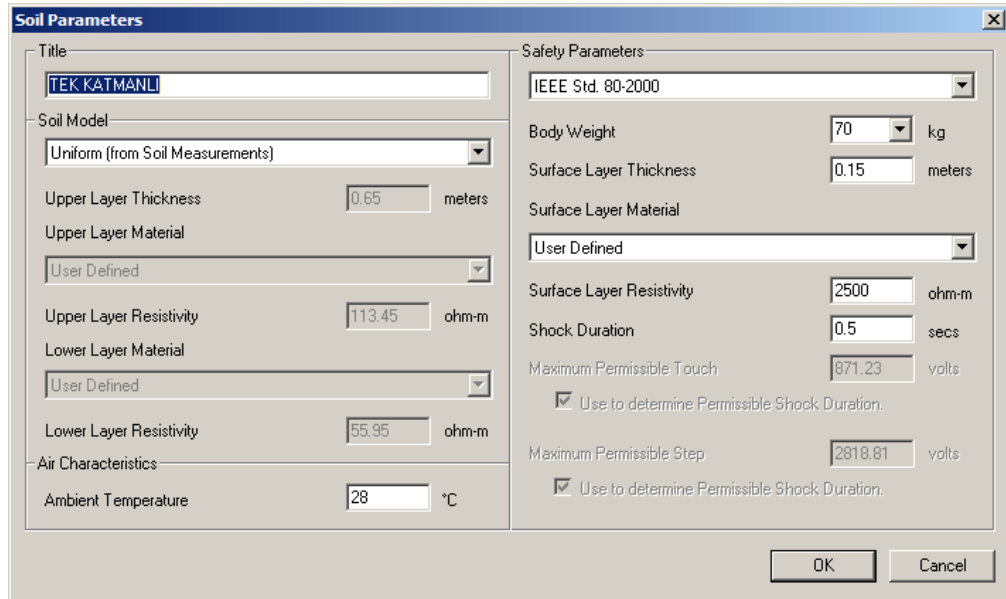
	Enabled	Probe distance (m)	Resistivity (ohm-m)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5	103.044
2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	90.0383
3	<input checked="" type="checkbox"/>	2	64.4656
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4	57.9311
5	<input checked="" type="checkbox"/>	6	53.1559
6	<input checked="" type="checkbox"/>	8	51.5222
7	<input checked="" type="checkbox"/>	10	52.1506
8	<input checked="" type="checkbox"/>	20	71.6285
9	<input checked="" type="checkbox"/>	30	63.1462
10	<input checked="" type="checkbox"/>		

Şekil 6.1: Toprak özgül direnç değerlerinin elektrot açıklığına bağlı değişimi

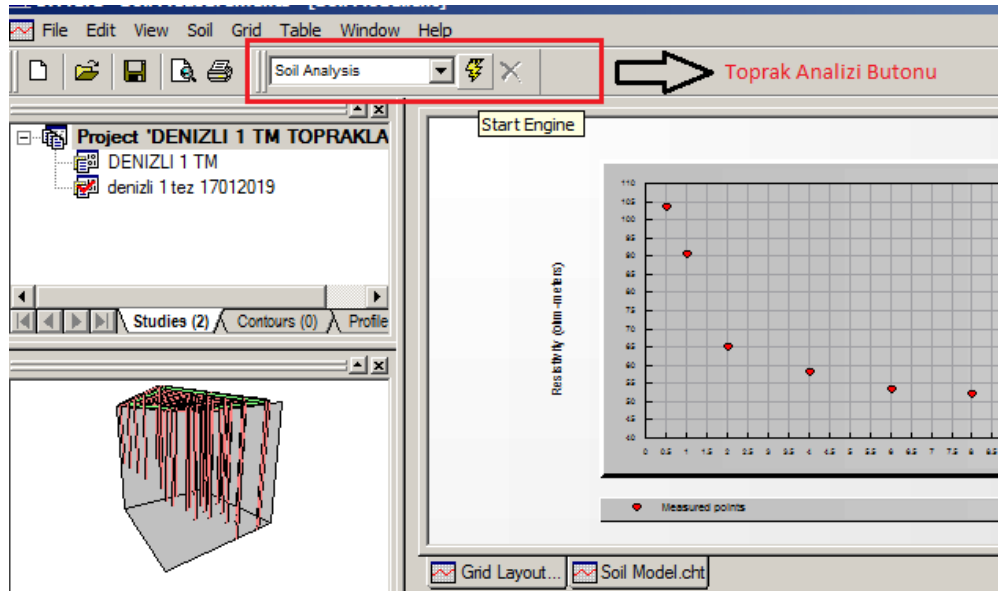
Şekil 6.2’de görüldüğü üzere programın “soil” sekmesinde bulunan “soil parameters” menüsünden hangi toprak modeli ile analiz yapılacağını, güvenlik

kriterlerinin hesaplanması için gerekli parametreleri ve trafo merkezi şalt sahası yüzeyinde kullanılacak olan malzemenin özelliklerini belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak; “Uniform” (tek tip/katmanlı) toprak modeli seçilerek, IEEE 80-2000’e göre,  $\rho_s = 2500\Omega m$  ve  $t_s = 0,5s$  olacak şekilde analiz yapılarak, müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri belirlenmiştir.



Şekil 6.2: Toprak parametrelerinin ayarlanması

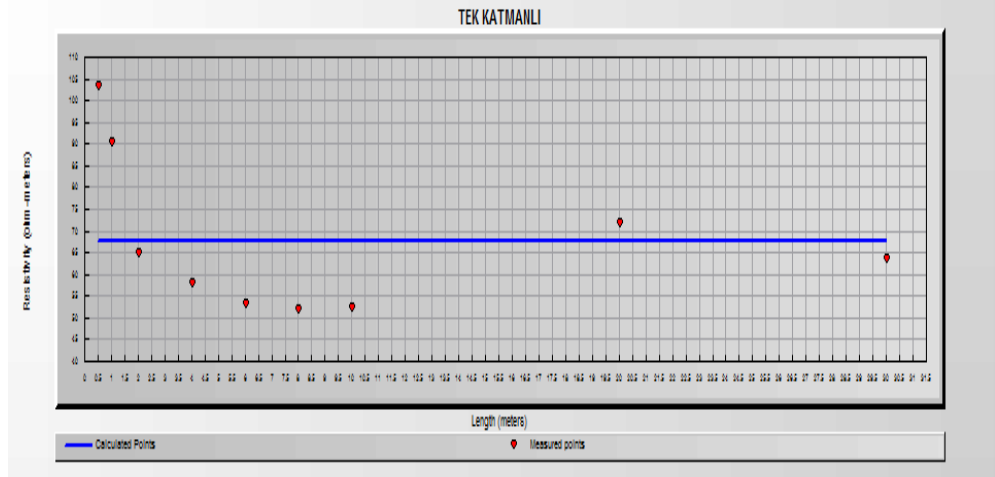


Şekil 6.3: Toprak analizi butonu

Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra “toprak analizi” butonuna basılarak analiz başlatılır (bkz. Şekil 6.3). Tek tip toprak modelinde, ölçülen bölgedeki toprağı



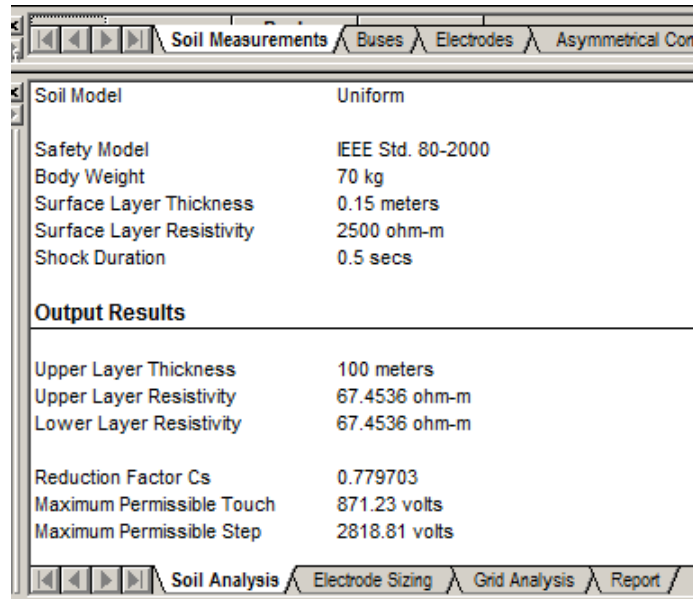
katmanlara ayırmadan, ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamasını alarak hesaplar. Girilen parametrelere göre toprak modelinin analizi yapıldığında toprak özgül direnci  $67,4536 \Omega m$  olarak grafiğe çizdirilir (Resim 6.4). Toprak modeli analizi sonucuna göre Tablo 6.1'deki sonuçlar elde edilmiştir ve analiz sonucunun ekran görüntüsü Şekil 6.'de verilmiştir.



Şekil 6.4: Tek tip toprak modelinin analizi – sonuç grafiği

Tablo 6.1: Tek tip toprak modeline göre hesaplanan değerler.

$P$	$C_s$	$E_{adım70}$	$E_{dokunma70}$
67,4536 $\Omega m$	0,779703	2818.81 V	871,23 V



Şekil 6.5: Analiz sonucu ekran görüntüsü

**Adım 2) Topraklama ağının analizinin yapılması:** Ağ analizi modülü, topraklama sisteminin direncini, toprak potansiyeli yükselmesini (GPR) ve toprak yüzeyindeki potansiyel gradyanları hesaplamak için kullanılır. Topraklama ağının tasarımının yeterliliğini ve sahada çalışan personelin güvenliğini değerlendirmek için bu sonuçlara ihtiyaç vardır.

CymGrd, “topraklama sistemleri” olarak da adlandırılan üç tip elektrotu destekler, çünkü bunlar hem iletkenlerden hem de topraklama çubuklarından oluşabilir. İlk tip topraklama akımını emen “Birincil” elektrottur. İkinci tipe “Dönüş” elektrotu denir ve elektrotları modellemek için kullanılır. Eğer Dönüş elektrotu yoksa tüm akım Birincil elektrot tarafından emilerek toprağa yayılır. Son olarak, üçüncü tür olan “Farklı” elektrot, birincil veya dönüş elektroduna bağlı değildir, ancak elektrik alanlarının etkisine maruz kalabilir. Dönüş ve farklı elektrotlar genellikle bir topraklama sisteminin bileşenleri olarak bulunmamasına rağmen, bazen bunları temsil etmek gerekir (Cyme Inc. 2006).

“Birincil” elektrot: Bu, arıza akımını emen topraklama ağıdır. İletkenler ve çubuklardan oluşabilir. Topraklama çalışmalarının büyük çoğunluğu sadece Birincil elektrot dikkate alınır.

“Dönüş” elektrotu: İki topraklama ağı birbirinin yakınıdaysa ve ilk ağdan toprağa enjekte edilen akım ikinci aracılığıyla sisteme geri dönerse, ikinci ağ bir Dönüş elektrotudur. Bir Dönüş elektrotunun varlığı, yüzey potansiyel dağılımını değiştirir.

Dönüş elektrotu, birincil elektrotla aynı şekilde modellenebilir. Tek bir çubuk bile bir dönüş elektrotu olarak işlev görebilir. Ek olarak, dönüş elektrotu tarafından emilen akımı Amper cinsinden girmeli ve bu değer negatif olmalıdır

“Farklı” elektrot: Topraklama sisteminin yakınında, ancak elektrik şebekesine bağlı olmayan (enerji verilmemiş) boru hatları ve bina temelleri gibi iletken yapılar farklı elektrotlardır. Farklı elektrotlar, Birincil elektrotla aynı şekilde modellenebilir. Tek bir çubuk veya gömülü iletken bile, farklı bir elektrot görevi görebilir.

Denizli-1 trafo merkezinin topraklama analizinin yapılabilmesi, toprak ağı modeli AutoCAD dosyası olarak programa aktarıldıktan sonra belirli parametrelerin tanımlanması gereklidir.

	Enabled	Bus ID	LG Fault Current (amps)	Fault Duration (secs)	Remote Contribution (%)	LG X/R	Rtg (ohms)	Transmission Lines	Rdg (ohms)	Distribution Feeders
1	<input checked="" type="checkbox"/>	154	20000	0.5	100	0.000758	20	2	100	20
2	<input type="checkbox"/>									

Şekil 6.6: Faz-toprak arıza parametrelerinin girilmesi

• LG (faz-toprak arızası) parametrelerinin girilmesi: TEİAŞ genel teknik ve montaj şartnamesine göre programın “Buses” sekmesine 154 kV şalt sahası için istenilen değerler girilmektedir (Şekil 6.6). Bu aşamada yer alan faz-toprak arıza parametrelerinin açıklamaları Tablo 6.2’de verilmektedir.

Tablo 6.2: Faz-toprak arıza parametrelerinin açıklamaları.

BusID	154 kV (isteğe göre girildi.)
LG fault current (A)	20000 A (TEİAŞ Genel teknik ve montaj şartnamesinde 154 kV trafo merkezileri için belirlenen topraklama ağında dolaşan akım değeridir.)
Fault duration (s)	0,5 s (Adım ve dokunma gerilimlerinin hesaplanabilmesi için arıza temizleme süresidir.)
Remote Contribution (%)	%100 (İletim hatlarının toprak arızasına yaptığı katkı)
LG X/R	5,16 (TEİAŞ 2017 yılı kısa devre etüd verilerine göre hesaplanmıştır; $(2X_I+X_0) / (2R_I+R_0)$ )
Rtg ( $\Omega$ )	20 $\Omega$ (TEİAŞ standartlarına göre maksimum iletim hatları direk topraklama direnci)
Transmission on lines	1 (Trafo merkezi 2 adet 154 kV hattın beslenmektedir. Fakat şu an 1 tanesi devrededir.)
Rdg ( $\Omega$ )	100 $\Omega$ (Trafo merkezine bağlı dağıtım fiderlerinin direk direnci, ortalama olarak bir değer girildi.)
Distribution feeders	20 (Trafo merkezinden beslenen 20 adet dağıtım fideri mevcuttur.)

Trafo merkezinin faz-toprak kısa devre arıza parametrelerini girdikten sonra, topraklama sisteminde kullanılacak olan iletken ve kazıkların malzeme seçiminin yapıldı, CymGrd’in “Electrodes” bölümünden kullanılması düşünülen iletken ve kazıkların malzeme seçimleri Şekil 6.7’de görüldüğü şekilde gerçekleştirildi. Toprak modeli çözümlemesi ile birlikte CymGrd nominal olması gereken iletken ve kazık

kesitlerini, Şekil 6.8’de görüldüğü üzere seçili malzemelere göre “electrode sizing” sekmesinde belirtti. TEİAŞ’ın genel teknik ve montaj şartnamesine göre yeni tesis edilen trafo merkezlerinde topraklama iletkeni olarak 120 mm<sup>2</sup> örgü bakır iletken ve topraklama kazığı olarak da 2,5 m uzunluğunda, 22 mm çaplı, 3 mm Cu kaplı çelik çubuk kullanılmaktadır.

	Enabled	Type	Material	Conductivity	Alpha Factor (1/C°)	Pr (µohm-m)	TCAP (J/cm3-°C)	Tm
1	<input type="checkbox"/>	Conductor	Copper anneal soft-drawn	100	0.00393	1.72	3.42	1083
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Conductor	Copper commercial hard-drawn	97	0.00381	1.78	3.42	1084
3	<input type="checkbox"/>	Conductor	Copper_clad steel wire 40%	40	0.00378	4.4	3.85	1084
4	<input type="checkbox"/>	Conductor	Copper_clad steel wire 30%	30	0.00378	5.86	3.85	1084
5	<input type="checkbox"/>	Conductor	Aluminum EC Grade	61	0.00403	2.86	2.56	657
6	<input type="checkbox"/>	Conductor	Aluminum 5005 Alloy	53.5	0.00353	3.22	2.6	652
7	<input type="checkbox"/>	Conductor	Aluminum 6201 Alloy	52.5	0.00347	3.28	2.6	654
8	<input type="checkbox"/>	Conductor	Aluminum_clad steel wire	20.3	0.0036	8.48	3.58	657
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Rod	Copper_clad steel 20%	20	0.00378	8.62	3.85	1084
10	<input type="checkbox"/>	Rod	Aluminum EC Grade	61	0.00403	2.86	2.56	657
11	<input type="checkbox"/>	Rod	Aluminum 5005 Alloy	53.5	0.00353	3.22	2.6	652
12	<input type="checkbox"/>	Rod	Aluminum 6201 Alloy	52.5	0.00347	3.28	2.6	654
13	<input type="checkbox"/>	Rod	Steel 1020	10.8	0.0016	15.9	3.28	1510
14	<input type="checkbox"/>	Rod	Stainless clad steel	9.8	0.0016	17.5	4.44	1400
15	<input type="checkbox"/>	Rod	Zinc-coated steel	8.6	0.0032	20.1	3.93	419
16	<input type="checkbox"/>	Rod	Stainless steel 304	2.4	0.0013	72	4.03	1400

Şekil 6.7: Topraklama iletken ve kazıklarının malzeme seçimi

Output Results					
Decrement Factor	1.01629				
<b>Conductor Sizing (Minimum required)</b>					
Material	Conductivity (%)	Tm (°C)	Kf	Area (mm <sup>2</sup> )	Nominal Size
Copper commercial hard-drawn	97	1084	6.97094	50.7563	2/0AWG
<b>Rod Sizing (Minimum required)</b>					
Material	Conductivity (%)	Tm (°C)	Kf	Diameter (mm)	Nominal Size
Copper_clad steel 20%	20	1084	14.429	11.5657	1/2"

Şekil 6.8: CymGrd’in hesapladığı nominal iletken kesitleri

• Analiz parametrelerinin ayarlanması: Trafo merkezi topraklama ağının geometrisi ‘Data Entry’ kısmına girilirken, kalan veriler ‘Grid’ menüsünün ‘Parameters’ sekmesi altında erişilebilen ‘Grid Parameters’ iletişim kutusundan girilebilir (Şekil 6.9).

Trafo merkezi tarafından beslenen belirli mesafedeki tek faz-toprak arıza akımı, mutlaka topraklama ağı üzerinden toprağa akmaz. Bazıları sisteme tekrar toprak telleri veya kablo kılıfları üzerinden dönebilir. Toplam arıza akımının sadece bir kısmının topraklama sistemi ile etrafındaki toprak arasında akması gerçeği hem personel güvenliği hem de ekipman gereksinimlerini etkiler.

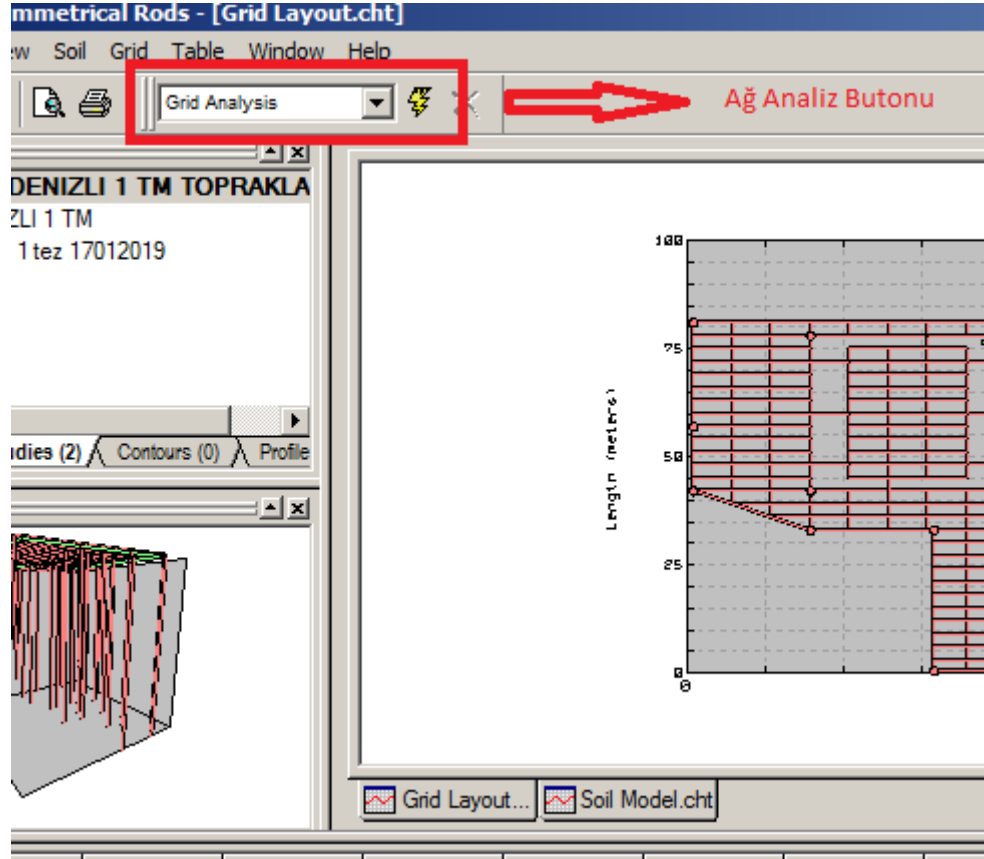
Şekil 6.9: Ağ parametrelerinin girilmesi

Arıza akımını hesaplamak için, CymGrd "Grid Parameters" iletişim kutusunda üç seçenek sunar. Bunlardan ilki olan Infinite Z, CymGrd, toplam faz-toprak arıza akımının topraklama şebekesi üzerinden toprağa akması üzerine hesap yapar. İkinci seçenek olan Current Split Factor, CymGrd, akım bölünme faktörünü ( $S_f$ ) IEEE 80-2000'e göre tahmin eder. Akım bölünme faktörü, faz-toprak arıza akımının, topraklama şebekesi üzerinden uzak kaynaklara geri dönen kısmına dayanan bir orandır. Böylece;

$$GPR = I_G R_G S_f \quad (6.1)$$

olarak hesaplanır. Son seçenek olan User Defined seçildiğinde, istenilen “Bölme Faktörü” veya “Paralel-Z” doğrudan girilebilir. Paralel-Z; trafo merkezine bağlı hatların direk dirençleri ve toprak tellerinin eşdeğer empedansdır. Faz-toprak arızası  $R_g$  ve Paralel-Z dirençlerinin ikisine bölünür.

Bu analizde 20 kA arıza akımının tamamının topraklama ağından geçtiği varsayıldığı için “Infinite-Z” kullanılmıştır.



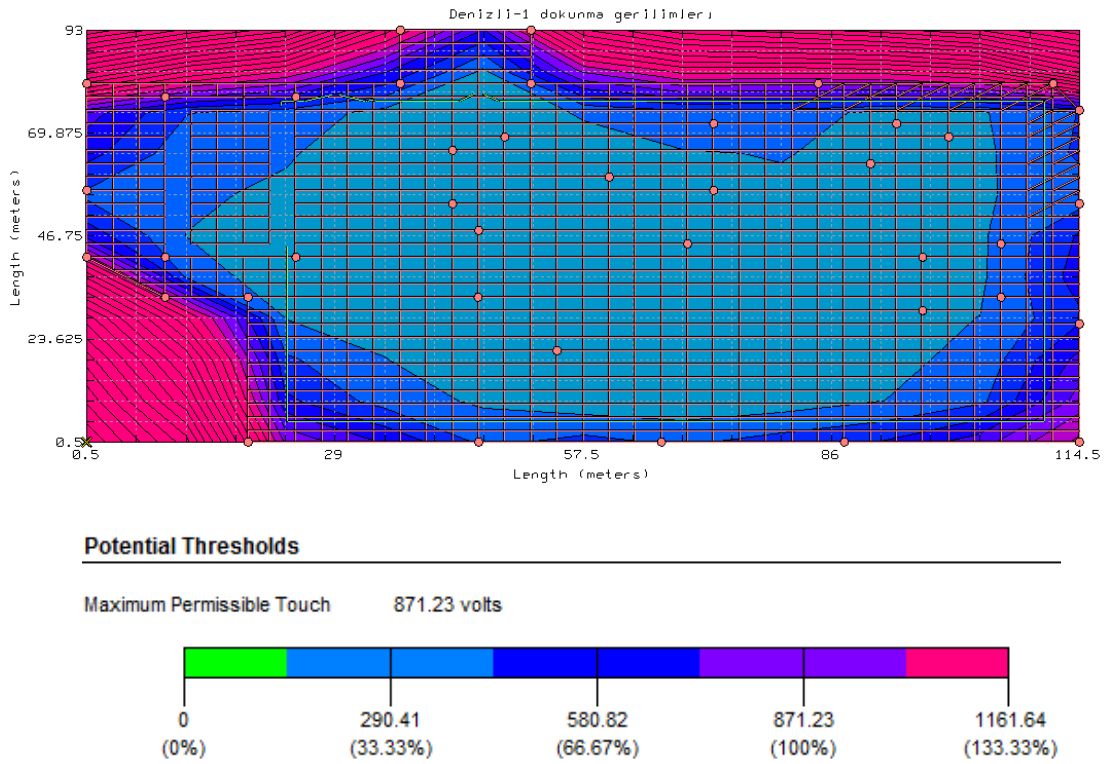
Şekil 6.10: Ağ analizinin yapılması

Parametreler ayarlandıktan sonra, trafo merkezinin toprak ağı modeline göre, iletkenlerde ve kazıklarda istenilen ayarlar yapıp (kazık ve iletken çaplarının girilmesi ve kontrol edilmesi vb.), ağ analiz butonu kullanılarak, topraklama sistemi ile ilgili analiz Şekil 6.10’da görüldüğü şekilde yapılır.

Denizli-1 TM’nin topraklama ağı analizine göre Tablo 6.3’deki sonuçlar alınmıştır. Aynı zamanda dokunma gerilim dağılımının mesafeye bağlı değişimi ise Şekil 6.11’de gösterilmektedir.

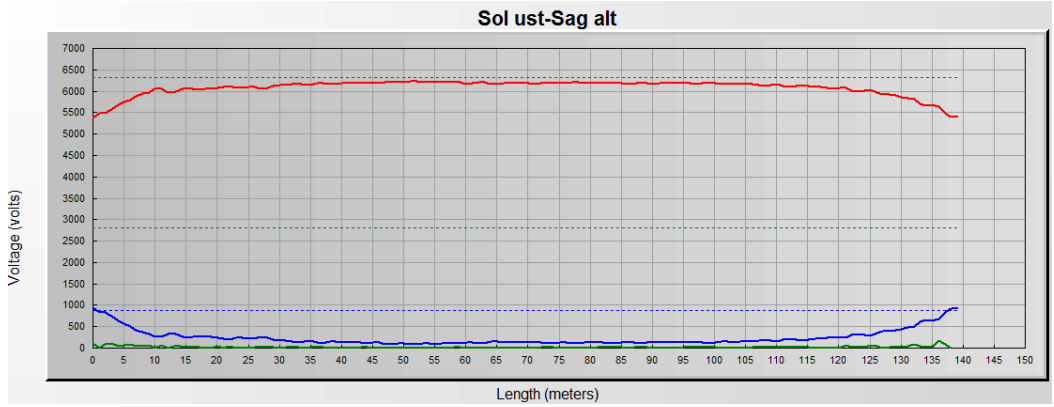
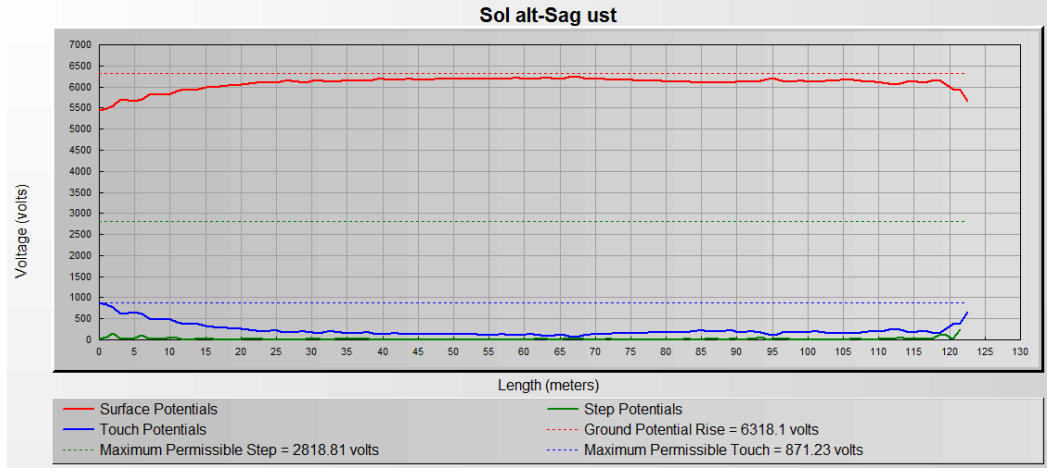
Tablo 6.3: Tek katmanlı toprak modeline göre CymGrd ağ analiz sonuçları.

GRP	6318,1 V
$R_g$	0,31085 $\Omega$
$E_m$	3136,29 V
$E_s$	249,28 V
$E_m$ sol üst-sağ alt	933,291 V
$E_s$ sol üst-sağ alt	165,98 V
$E_m$ sol alt-sağ üst	873,321 V
$E_s$ sol alt-sağ üst	251,59 V

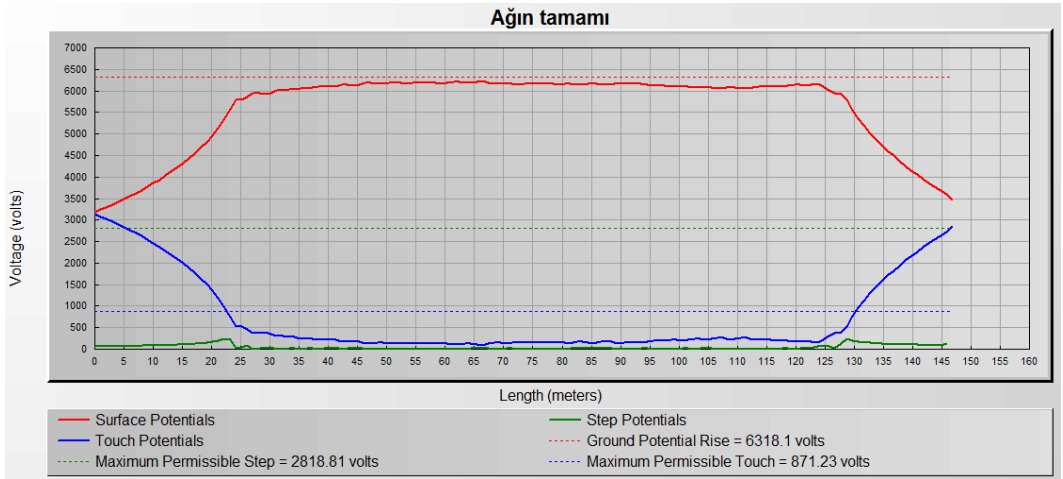


Şekil 6.11: Gerilim dağılımının renkli olarak gösterimi

Denizli-1 TM'nin topraklama ağı analizi sonucunda elde edilen gerilim profilleri Şekil 6.12 ve 6.13'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12: Topraklama ağı köşeden-köşeye alınan gerilim profilleri



Şekil 6.13: Topraklama ağının tamamına ait gerilim profili

Tek katmanlı toprak modeline göre bu analiz yapıldıktan sonra, aynı toprak özgül direnci ölçümlerine göre bir de iki katmanlı model uygulanarak analiz yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.4’de verilmiştir.



Tablo 6.4: İki katmanlı toprak modeline göre CymGrd ağ analizi sonuçları.

$\rho_{üst}$	<b>112,93 <math>\Omega</math>m</b>
$\rho_{alt}$	<b>55,94 <math>\Omega</math>m</b>
$E_{adm70}$	<b>2818,65 V</b>
$E_{dokunma70}$	<b>871,19 V</b>
$C_s$	<b>0,779655</b>
GRP	<b>5400,46 V</b>
$R_g$	<b>0,265702 <math>\Omega</math></b>
$E_m$	<b>2767,99 V</b>
$E_s$	<b>112,93 V</b>
$E_m \text{ sol üst-sağ alt}$	<b>1058,87 V</b>
$E_s \text{ sol üst-sağ alt}$	<b>99,38 V</b>
$E_m \text{ sol alt-sağ üst}$	<b>912,654 V</b>
$E_s \text{ sol alt-sağ üst}$	<b>203,29 V</b>

## **7. ENERJİ ALTINDA DENİZLİ-1 TRAFO MERKEZİNİN TOPRAKLAMA ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI**

### **7.1 Enerji altında topraklama sistemi ölçümü**

Enerji altında topraklama sistemi ölçümü ile belirtilmek istenilen; bir trafo merkezinde herhangi bir enerji kesintisi yapmadan, sisteme bağlı olan herhangi bir toprak ucunu sökmeden, sistem canlı iken topraklama performansı ölçümlerinin yapılmasıdır. Ölçüm metodolojisi olarak enerjisiz (toprak iletkenleri ve şiltler sökük) ölçümlerden bir farkı yoktur. Enerjisiz ortamda yapılan “fall of potential (gerilim düşümü)” metodu, enerji altında da aynen geçerlidir. Sadece trafo merkezinin kendi empedansı bulabilmek için, uzak akım elektrodları ile topraklama ağı arasında dönen akımın tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun içinde kablo şiltleri ve toprak iletkenlerinden dönen akımların ölçülmesi ve vektörel olarak enjeksiyon akımından çıkarılması gerekmektedir. Bunları yaparken de 50 Hz’lik şebeke frekansından etkilenmemek için, şebeke frekansından farklı frekanslarda akım enjeksiyonu yapmaya olanak sağlayacak, bir akım/gerilim kaynağı kullanılacaktır.

### **7.2 Enerji altında topraklama sistemi ölçüm tekniği ve kullanılan cihazlar**

Ölçüm yapmak için “fall of potential (gerilim düşümü)” düzeneği kurulduktan sonra, 50 Hz’lik frekansın kuplaj etkisini elimine etmek için, 60 Hz’lik akım enjeksiyonu yapılır. Enjekte edilecek olan akımın büyüklüğü ile ilgili net veriler olmasa da cihazımızın izin verdiği en yüksek değerde (genellikle sahanın durumuna göre 15-20 A) akım enjeksiyonu yapmak, ölçümlerin hassasiyeti açısından iyi bir seçim olacaktır. Ölçümler sırasında;

- IEEE 81.2 standardında belirtilen güvenlik kriterlerinin uygulanması (izole eldiven, yanmaz kıyafet ve izole ayakkabı kullanımı vb...),
- Yıldırımli ya da şarjlı havalarda kesinlikle ölçüm yapılmaması ya da düzeneğin kurulmaması,

- Akım ve gerilim kabloları arasındaki etkiyi en aza indirmek için, sahadaki fiziki şartlar elverdiği ölçüde, akım ile gerilim kabloları arasında 90° olacak şekilde ölçüm düzeneğinin hazırlanması,
- Ölçüm yapılacak olan merkezin etrafının ve güzergahların önceden araştırılması, ölçüm sonuçlarını etkileyecek çevresel faktörlerin belirlenmesi
- Ölçüm amacıyla topraklama ağına bağlanarak, trafo merkezi sahasının dışına (yaşam alanlarına) çıkarılan akım ve gerilim kablolarının ölçüm sonlandırıldığında mutlaka, sistemden ayrılarak toplanması hususlarına dikkat edilmelidir.

Enerjili trafo merkezinde topraklama ölçümü kapsamında,

- Güzergahın belirlenmesi ve akım enjeksiyon düzeneğinin hazırlanması,
- Akım enjeksiyon güzergahına 90° olacak şekilde gerilim ölçüm güzergahının belirlenmesi ve gerilim profilinin çıkartılması,
- Hiçbir toprak iletkeni ve kablo şilti sökülmediği için, bu iletken ve şiltlerden dönüş akımlarının vektörel olarak okunması (dal akımlarının hesaplanması),
- Adım, dokunma ve transfer gerilimlerinin ölçülmesi,
- Hesaplamaların yapılıp raporlanması çalışmaları yapılmaktadır.

Bu bağlamda 27-28.02.2018 ve 01.03.2018 tarihlerinde Denizli-1 trafo merkezinde yapılan çalışmalar ve kullanılan cihazlar:

- Köşegen uzunluğu 105 metre olan trafo merkezinin akım enjeksiyon noktası, merkezden 800 metre mesafede yolun kenarı olarak belirlenip (bkz. Şekil 7.1), 8 adet 1,25 metre boyundaki bakır daldırma çelik çubuk kullanılarak, oluşturulmuştur. Oluşturulan düzenek üzerinden **15 A, 60 Hz** alternatif akım enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla Şekil 7.2'e gösterilmekte olan Red Phase firması tarafından üretilen 4041&4042 akım enjeksiyon seti kullanılmıştır. Set iki parça ünitelerden oluşmaktadır. Bu ünitelerde; 4041 40-70 Hz arası ayarlanabilir frekansta, 0-320 V, 8 kVA gücünde çıkış gerilimi üretebilen yüksek güçlü gerilim kaynağıdır. Akım enjeksiyonu ile ilgili tüm ayarlamalar 4041'in dijital ekranı üzerinden yapılmaktadır. 4041'e bağlanan kuplaj transformatörü 4042 ile sahanın durumuna göz önünde bulundurularak 8

kVA'yı aşmayacak şekilde akım ve gerilim çıkışları, üzerinde bulunana 8 adet kademe çıkışı ile ( $80\Omega$  10A/800V,  $60\Omega$  11A/600V,  $40\Omega$  14A/560V,  $30\Omega$  16A/490V,  $20\Omega$  20A/400V,  $10\Omega$  28A/280V,  $5\Omega$  40A/200V,  $1\Omega$  90A/90V) ayarlanabilmektedir. Ayrıca 4041 üzerinde bulunan GPS modülü ile pozisyon ve zaman bilgisi verilerinin kullanılmasına olanak sağlar ve bu sayede dal akımları ölçümleri yapılırken ölçülen akımlarının yön tayini yapılabilmektedir.

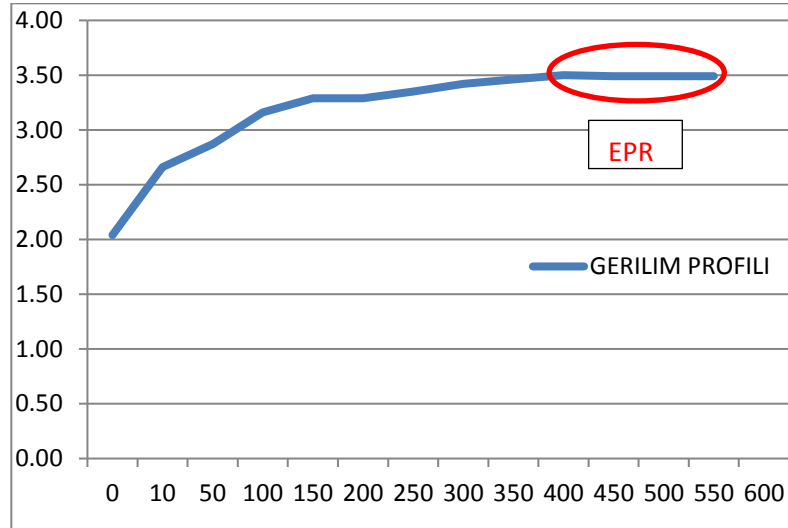


Şekil 7.1: Enerji altında topraklama ölçümü akım ve gerilim güzergahları



Şekil 7.2: Red Phase akım enjeksiyon seti (4041&4042)

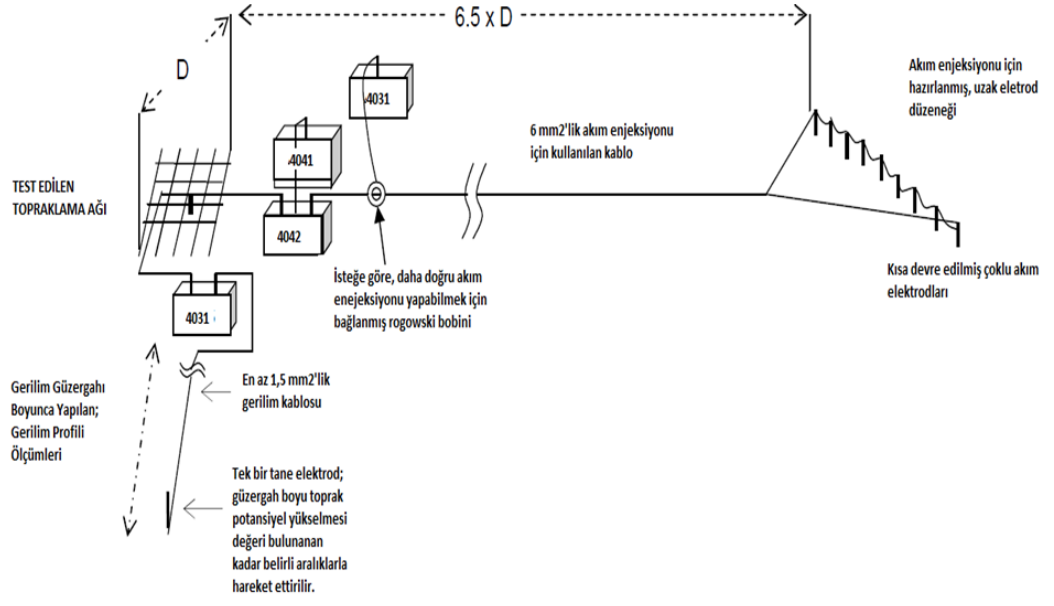
• Belirlenen gerilim güzergahında, trafo merkezinin topraklama sisteminin, enjekte edilen 15 A'e göre gerilim profili çıkarılır. Buradaki amaç toprak potansiyel yükselmesinin (EPR/GPR) elde edilmesidir. Gerilim profili ölçümleri Tablo 7.1'de, ölçümlere ait grafik ise Şekil 7.3'de verilmektedir.



Şekil 7.3: Gerilim profili grafiği

Tablo 7.1: Gerilim profili ölçümleri.

Topraklama ağına uzaklık (m)	Ölçülen gerilim (V)
0	2,04
1	2,05
5	2,54
10	2,66
20	2,79
25	2,70
30	2,84
40	2,87
50	2,87
60	2,84
70	2,72
75	2,93
100	3,16
125	3,26
150	3,29
200	3,29
250	3,35
300	3,42
350	3,46
400	3,50
<b>450</b>	<b>3,49</b>
<b>500</b>	<b>3,49</b>
<b>550</b>	<b>3,49</b>



Şekil 7.4: Fall of potential (Gerilim düşümü) metodu ölçüm düzeneği (Red Phase 2010)

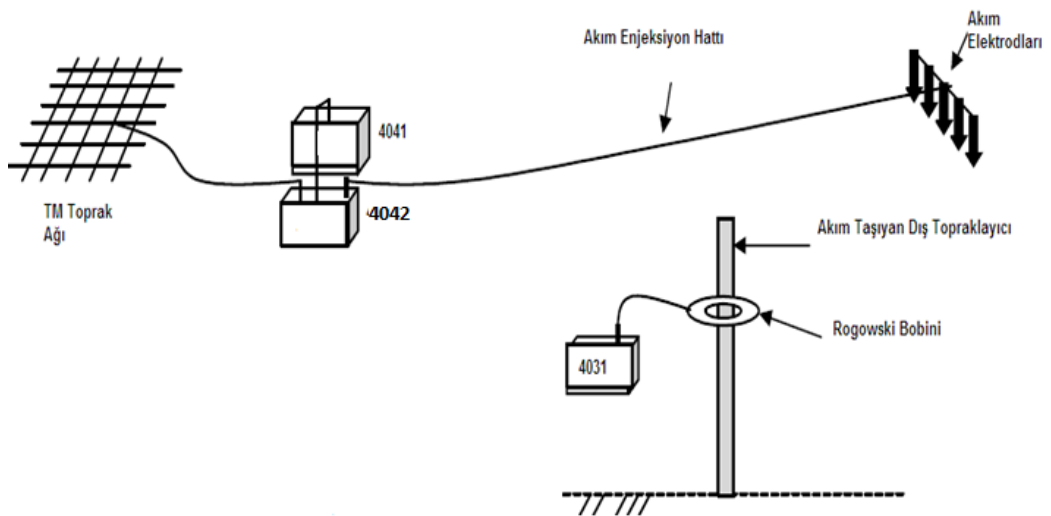


Şekil 7.5: Gerilim profili ölçümü saha çalışmaları

Bu ölçümler yapılırken Red Phase firması tarafından üretilen 4031-R frekans seçicili multimetre kullanılmıştır. 40-69 Hz arası ayarlanabilir frekans bandı sayesinde, toprağa enjekte edilen 60 Hz'lik akım ve bu akımın sonucu olan gerilim yükselmelerinin ölçülmesi sağlanmaktadır. GPS özelliği sayesinde doğru zaman ile nokta (pozisyon) kaydı tutar ve 4041 ile GPS üzerinden zaman senkronizasyonu sağlayarak ilave bir gerilim referans kablosuna ihtiyaç duymadan akım açıları'nın ölçülmesine olanak sağlar. Bu özellikleri ile adım, dokunma ve transfer gerilimi ölçümleri ile dal akımları ölçümlerinde hassasiyet sağlar. Ölçüm düzeneği ve ölçüm saha çalışmaları sırasıyla Şekil 7.4 ve 7.5'de gösterilmektedir.

- Akım enjeksiyonu devam ederken dal akımları ölçülür ve TM'ye bağlı dış topraklayıcılardan (EİH Koruma İletkenleri, XLPE Kablo Şiltleri, demir su boruları vs..) dönen akımlar, sisteme enjekte edilen toplam akımdan vektörel olarak çıkarılarak topraklama ağına giren akım elde edilir. Bunun sonucunda da **TM'nin topraklama empedansı** hesaplanır. Ölçüm noktaları Şekil 7.8'de verilmiştir.

Bu ölçümler yapılırken de Red Phase firması tarafından üretilen 4031-R frekans seçicili multimetre kullanılmıştır. Multimetre ile birlikte verilen 3m'lik rogowski bobini kullanılarak, topraklama iletkeni veya şilt ile bağlı pylon ve XLPE kablolardan topraklama ağına akan akımları, cihazın GPS senkron özelliği kullanılarak, vektörel olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 7.2'de verilmektedir. Dal akımları ölçüm düzeneği Şekil 7.6'da ve ölçüm saha çalışmaları Şekil 7.7'de gösterilmektedir.



Şekil 7.6: Dal akımları ölçümünün şematik olarak gösterimi (Red Phase 2010)



Şekil 7.7: Dal akımları ölçümü saha çalışması

Tablo 7.2: Dal akımları ölçüm sonuçları.

Ölçüm noktası	Akım (A)	Açı(Derece)	Reel Kısım	İmajiner Kısım
P1.1	0,5	-175	-0,498097349	-0,043577871
P1.2	0	-180	0	0
P2.1	0,1	-108	-0,030901699	-0,095105652
P2.2	0	-180	0	0
P3.1	0,1	-27	0,089100652	-0,04539905
P3.2	0	-180	0	0
P4.1	0,1	-9	0,098768834	-0,015643447
P4-2	0	-180	0	0
P5-1	0	-180	0	0
P5-2	0,1	-16	0,09612617	-0,027563736
P6-1	0,1	-16	0,09612617	-0,027563736
P6-2	0	-180	0	0
P7-1	0,1	-125	-0,057357644	-0,081915204
P8.1	0,1	-163	-0,095630476	-0,02923717
P9.1	0,1	-350	0,098480775	0,017364818
P10.1	0,1	-347	0,097437006	0,022495105
P11.1	0,2	-200	-0,187938524	0,068404029
P12.1	0,4	-199	-0,37820743	0,130227262
P13.1	0,6	-206	-0,539276428	0,263022688
P14.1	0,4	-200	-0,375877048	0,136808057
P15.1	0,3	-196	-0,288378509	0,082691207
P16.1	0,4	-188	-0,396107227	0,05566924
P17.1	0,4	-358	0,399756331	0,013959799
P18.1	0	-180	0	0
P19.1	0	-180	0	0
P20.1	0	-180	0	0
P21.1	0,2	-2	0,199878165	-0,006979899
P22.1	0,1	-27	0,089100652	-0,04539905
P23.1	0,1	-22	0,092718385	-0,037460659





- Akım enjeksiyonu devam ederken, trafo merkezinin güvenlik kriterlerinin belirlenmesi için, adım, dokunma gerilimleri ölçümleri yapılmıştır (bkz. Şekil 7.9 ve 7.10). Bu ölçümler trafo merkezinde daha önce belirlenen noktalarda, IEEE 80 standardında belirtildiği şekilde yapılmış ve TEİAŞ genel teknik şartnamesinde belirtilen, topraklama ağına giren akım değeri olan 20 kA' göre ırcalanmıştır. Adım ve dokunma gerilimleri ölçümleri sırasıyla Tablo 7.3 ve 7.4'de verilmiştir.

Tablo 7.3: Adım gerilimi ölçümleri.

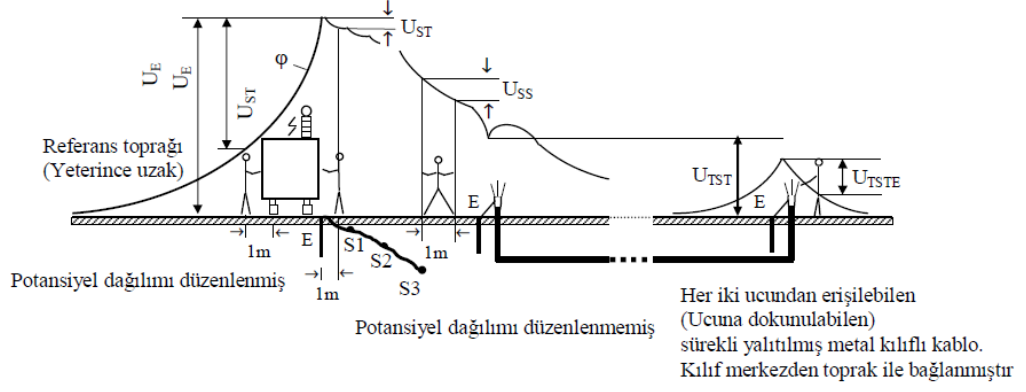
Ölçüm noktası	Ölçülen teçhizat	Ölçülen gerilim(V)
Tr-A	Akım Trafosu	0,00
Tr-A	Parafudr	0,01
Tr-A	Nötr direnç	0,01
Tr-A	Saha dağıtım kutusu	0,01
Tr-A	Bara ayırıcısı	0,009
Tr-B	Kesici	0,006
Tr-B	Akım trafosu	0,003
Tr-B	Parafudr	0,001
Kuplaj	Saha dağıtım kutusu	0,001
Kuplaj	Akım trafosu	0,001
Kuplaj	İç fens	0,002
Kuplaj	Kesici	0,002
Denizli 4-1	Kesici	0,008
Denizli 4-1	Akım trafosu	0,007
Denizli 4-1	Gerilim trafosu	0,008
<b>Denizli 4-1</b>	<b>İç fens</b>	<b>0,020</b>
Bara-1	Gerilim trafosu	0,013
Denizli 4-2	Gerilim trafosu	0,015
Denizli 4-2	Akım trafosu	0,018
Denizli 4-2	Kesici	0,009
Bara-2	Gerilim trafosu	0,005

Tablo 7.4: Dokuma gerilimi ölçümleri.

Ölçüm noktası	Ölçülen teçhizat	Ölçülen gerilim(V)
<b>Tr-A</b>	<b>Akım Trafosu A faz</b>	<b>0,1</b>
Tr-A	Parafudr B faz	0,015
Tr-A	Nötr direnç	0,015
Tr-A	Saha dağıtım kutusu	0,013
Tr-A	Bara ayırıcısı	0,016
Tr-B	Kesici	0,054
Tr-B	Akım trafosu B faz	0,025
Tr-B	Parafudr C faz	0,050
Kuplaj	Saha dağıtım kutusu	0,002
Kuplaj	Akım trafosu A faz	0,003
Kuplaj	İç fens	0,003
Kuplaj	Kesici	0,012
Denizli 4-1	Kesici	0,016
Denizli 4-1	Akım trafosu C faz	0,012
Denizli 4-1	Gerilim trafosu B faz	0,007
Denizli 4-1	İç fens	0,029
Bara-1	Gerilim trafosu	0,027
Denizli 4-2	Gerilim trafosu C faz	0,026
Denizli 4-2	Akım trafosu A faz	0,019
Denizli 4-2	Kesici	0,011
Bara-2	Gerilim trafosu	0,010



Şekil 7.9: Adım ve dokunma gerilimi saha ölçümleri



E	Topraklayıcı,
S1, S2, S3	Ana topraklayıcıya bağlanmış olan potansiyel düzenleyici topraklayıcılar,
$U_E$	Topraklama gerilimi,
$U_{SS}$	Mümkün olan adım gerilimi,
$U_{ST}$	Mümkün olan en büyük dokunma gerilimi,
$U_{TST}$	Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmamış ise,
$U_{TSTE}$	Sürüklenmiş en büyük dokunma gerilimi, eğer kılıf en uzak noktada topraklanmış ise,
$\phi$	Yeryüzü potansiyeli.

Şekil 7.10: Adım ve dokunma gerilimi tanımları (TSE 2011)

- Ölçüm sonuçlarına göre topraklama sisteminin güvenlik kriterleri Tablo 7.5’de verildiği şekilde hesaplanmıştır;

Tablo 7.5: Sahada ölçümlerine göre yapılan hesaplamalar.

	Değer	Açı (Derece)	Açıklama
Enjeksiyon akımı $I_{sis}$ (A)	15	0,6	Topraklama sistemine enjekte edilen 60 Hz’lik akım.
Enjeksiyon gerilimi (V)	513,9		Topraklama sistemine enjekte edilen 60 Hz’lik gerilim.
Ölçülen EPR (Toprak potansiyel yükselmesi) $V_{EPR}$ (V)	<b>3,49</b>	<b>10,69</b>	<b>Ölçülen toprak potansiyel yükselmesi</b>
Ölçülen dal akımlarının toplamı $I_{dal}$ (A)	3,56	-52,004	Dış topraklayıcılardan dönen akımların toplamı.
Hesaplanan toprak ağına giren akım $I_G$ (A)	13,145	13,03	$I_G = I_{sis} - I_{dal}$
Hesaplanan sistem empedansı $Z_{sis}$ ( $\Omega$ )	0,2326	10,095	$Z_{sis} = \frac{V_{EPR}}{I_{sis}}$
Trafo merkezinin empedansı $Z_{tm}$ ( $\Omega$ )	<b>0,2655</b>	<b>-2,336</b>	$Z_{tm} = \frac{V_{EPR}}{I_G}$
Trafo merkezinin maksimum faz-toprak kısa devre akımı $I_{kmax}$ (kA)	6,62	-69,79	TEİAŞ 2017 yılı kısa devre etüdü kitabından alınan verilerdir.
Toprak ağına giren akım $I_{kG}$ ( $I_{kmax}$ ’a göre hesaplanan) (kA)	5,801		$I_{kG} = \frac{(I_{kmax} \times I_G)}{I_{sis}}$

Tablo7.5 (Devam): Sahada ölçümlerine göre yapılan hesaplamalar.

Ölçülen maksimum dokunma gerilimi $V_d(V)$	0,1		
Ölçülen maksimum adım gerilimi $V_a(V)$	0,02		
Trafo merkezinde ölçülen maksimum dokunma gerilimi (20 kA' e göre hesaplanmış) $V_{d20} (V)$	<b>152,1475</b>		$V_{d20} = \frac{(20 \times 1000 \times V_d)}{I_G}$
Trafo merkezinde ölçülen maksimum adım gerilimi (20 kA' e göre hesaplanmış) $V_{a20} (V)$	<b>30,42951</b>		$V_{a20} = \frac{(20 \times 1000 \times V_a)}{I_G}$
Trafo merkezinde ölçülen maksimum EPR (20 kA' e göre hesaplanmış) $V_{E20}(V)$	<b>5303,949</b>		$V_{E20} = \frac{(20 \times 1000 \times V_E)}{I_G}$
Trafo merkezinde ölçülen maksimum dokunma gerilimi ( $I_{kG}$ ' ye göre hesaplanmış) $V_{dIkG} (V)$	44,133		$V_{dIkG} = \frac{(I_{kG} \times 1000 \times V_d)}{I_G}$
Trafo merkezinde ölçülen maksimum adım gerilimi ( $I_{kG}$ ' ye göre hesaplanmış) $V_{aIkG} (V)$	8,826		$V_{aIkG} = \frac{(I_{kG} \times 1000 \times V_a)}{I_G}$
Trafo merkezinde ölçülen maksimum EPR ( $I_{kG}$ ' ye göre hesaplanmış) $V_{EIkG} (V)$	1540,253		$V_{EIkG} = \frac{(I_{kG} \times 1000 \times V_E)}{I_G}$

Yapılan hesaplamalar sadeleştirildiğinde Tablo 7.6' da verilen sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 7.6: Trafo merkezi içerisinde yapılan ölçümlerin sadeleşmiş hali.

Ölçülen maksimum dokunma gerilimi	152,1475 V
Ölçülen maksimum adım gerilimi	30,42951 V
Ölçülen toprak potansiyel yükselmesi	5303,949 V
Topraklama empedansı	0,2655 $\Omega$

## 8. ÖLÇÜM, ANALİZ VE HESAPLAMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında 154/31,5 kV Denizli-1 trafo merkezinin topraklama sistemi hesaplamaları;

- Topraklama sisteminin tesisinden önce TEİAŞ tarafından onaylanan topraklama analizi,
- Tesis sonrası ilk kontrol ölçümleri,
- IEEE 80-2000'e göre yeniden yapılan topraklama hesapları,
- CymGrid ile yeniden yapılan tek katmanlı ve çift katmanlı topraklama analizi,
- Enerji altında yapılan topraklama ölçümleri,

olarak beş farklı açıdan ele alınmıştır. Böylece analiz ve hesapların ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması sağlanmıştır. Ayrıca ülkemizde kurumsal manada ilk defa enerjili bir trafo merkezinde, herhangi bir dış topraklayıcı (XLPE kablo şiltleri, enerji iletim hatları toprak iletkenleri, vs..) sökmeden, topraklama sistemi ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

Bkz. Tablo 8.1'de Denizli-1 trafo merkezi üzerinde yapılan bütün topraklama sistemi analiz ve ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde;

- Yüklenici tarafından yapılan ilk analizlerde toprak özgül direnci ölçümlerinin, şalt sahasının zemininin bir kısmına dolgu malzeme koyulduktan sonra yapıldığı için özgül direnç değerinde ciddi yükselme olduğu belirtilmiştir. Yüksek özgül dirence bağlı olarak da yüksek adım, dokunma gerilimi ve direnç değerleri alınmıştır. Ayrıca analiz sonucuna göre şalt sahasında gerçekleşmesi beklenen maksimum dokunma gerilimi değeri, müsaade edilen değer çok üstünde çıkmış ve bu olumsuz durumun düzeltilebilmesi için ilave tedbirler alınması gerektiği analizin sonuç kısmında belirtilmiş, buna göre dolgunun yükselttiği toprak özgül direnç değerlerinin giderilmesi ve sahanın ortalama özgül direnç değerinin düşürülmesi için, ölçüm değerlerinin yüksek olduğu ölçüm eksenlerinde uygulanacak topraklama sistemleri için açılan topraklama kanalları dolgusu özgül direnci düşük nebati toprak ile yapılarak sahanın ortalama özgül direncinin düşürülmesi tavsiye edilmiştir (Bozat 2015). Ayrıca onaylı projede belirtilen noktalarda 5 metrelik kazıklar kullanılarak özgül direnci

toprak katmanına ulaşılması planlanmış ve trafo merkezinin tesisi aşamasında bu çalışmalar tamamlanmıştır.

- Devreye alma testleri kapsamında yapılan ilk ölçüm sonuçlarına göre de trafo merkezinin topraklama sisteminde herhangi bir olumsuzluk olmadığı tespit edilmiştir. Fakat yapılan ölçümler ile ilk analiz sonuçları arasında ciddi farklılıklar vardır. Bunun da sebebinin hem analiz için kullanılan ortalama toprak özgül direnci değerlerinin yüksek olmasından hem de ölçüm esnasında yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır.

- IEEE 80-2000'e göre yapılan topraklama ağı tasarımı hesaplamalarında; 2018 yılı içerisinde Denizli 1 trafo merkezi enerjilendirildikten iki yıl sonra, trafo merkezinin çevresinde yapılan özgül direnç ölçümlerinin ortalaması kullanılmıştır (Bkz. Tablo 5.3). Yapılan hesaplamalara göre trafo merkezinin güvenlik kriterlerini sağladığı ve topraklama direncinin de TEİAŞ genel teknik-montaj şartnamesinde belirtilen 154 kV trafo merkezi için topraklama empedansı verilen  $1 \Omega$  değerinin altında kaldığı görülmektedir (Bkz. Tablo 8.1).

- CymGrid programı ile 2018 yılında yapılan toprak özgül direnci ölçümlerine istinaden (Bkz. Tablo 5.3) yeniden topraklama analizleri yapılmıştır. Hesaplamaların tam olarak karşılaştırılması için önce tek katmanlı toprak modeli daha sonra da iki katmanlı toprak modeli seçilerek analizler yapılmıştır.

Tek katmanlı toprak modeli ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, müsaade edilen adım ve dokunma gerilimleri, toprak potansiyel yükselmesi ile toprak direnci değerleri, IEEE 80-2000 ile yapılan hesaplamalar ile hemen hemen aynı bulunmuştur. CymGrid de analiz yaparken IEEE 80-2000 standardını kullandığı için bu değerlerin yakın çıkması normal olarak değerlendirilmelidir. Fakat hesaplanan maksimum adım ve dokunma gerilimi değerlerinde ciddi farklılıklar vardır. Köşelere doğru gidildikçe analizde dokunma gerilim, değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir.

Eşit aralıklı topraklama ağlarında, gözler ( $3 \times 3 \text{ m}^2$ ) boyunca ağın merkezinden köşesine göz gerilimi artacaktır (IEEE 80 2000). Bu artışın derecesi ağın boyutuna, topraklama çubuğunun yerine ve sayısına, paralel iletkenler arasındaki boşluğa, iletkenlerin derinliğine, çapına ve toprağın özgül direnç karakterine bağlıdır. Homojen toprak yapısına sahip üç tip topraklama ağında yapılan çalışmalar IEEE 80-2000'de verilmiştir. Bu ağlar eşit iletken aralıklı ve topraklama çubuksuz simetrik kare

gözlerden oluşmuştur.  $E_m$  (Göz gerilimi-IEEE 80-2000’de dokunma gerilimi olarak da kullanılır) köşedeki gözün merkezindeki değerdir. Göz geriliminin en yüksek değeri (en kötü durum) göz merkezinin köşeye doğru biraz dışında oluşur fakat gözün merkezindeki değerden sadece biraz fazladır.

Tablo 8.1: IEEE 80-2000 standartında yer alan Tablo 11.

Ağ Örneği	Göz Sayısı	$E_m$ Köşe / Merkez
1	10x10	2,71
2	20x20	5,55
3	30x30	8,85

Köşe göz gerilimi genellikle merkezdeki gözlerden çok daha fazladır (Tablo 8.1) ve ağ alanı büyüdükçe de aralarındaki fark artmaktadır. Ağın simetrisiz (L şekilli vs..) olduğu, kazıkların kenarlara veya kenara yakın yerlere yerleştirildiği veya iletkenler arası mesafelerin son derece farklı olduğu durumlarda da köşe göz gerilimi merkezdeki gözlerden yüksek olur. Bu nedenle eşitlik (5.9)’da verilen  $E_m$  göz gerilimi eşitliği sadece köşedeki gözün merkezindeki değeri için kullanıldığında tasarıma esas teşkil edebilir. Bilgisayar programlarına dayanan analizler, tasarım prosedürünün dayanak noktası olarak, yaklaşık köşe göz gerilimi, gerçek köşe göz gerilimi veya topraklanmış alanın herhangi bir yerinde bulunan en olumsuz dokunma gerilimi için kullanılabilir ve daha hassas ölçüm yapması beklenmektedir.

CymGrid programında aynı topraklama ağı üzerinde iki katmanlı toprak modeline göre yapılan analizler incelendiğinde (bkz. Tablo 8.2); ortalama toprak özgül direnci değerlerinde farklılıklar olduğu, 112,93  $\Omega$ m olan üst katmanın 0,65 m kalınlıkta olduğu ve altında 55,94  $\Omega$ m özgül dirence sahip ikinci bir katman olduğu görülmektedir. Bu verilere göre yapılan hesaplamalarda müsaade edilen adım ve dokunma gerilimi değerleri ile hesaplanan maksimum adım ve dokunma gerilimi değerlerinin tek katmanlı toprak modeline göre yapılan analiz ile birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Fakat özgül direnç değerindeki değişiklikten kaynaklı olarak topraklama direnci ve toprak potansiyel yükselmesi değerlerinin, tek katmanlı analize göre daha düşük değerde olduğu görülmektedir. Buradan da düşük özgül dirençli toprak katmanının yüksek özgül dirençli toprak katmanının altında olması toprak



potansiyel yükselmesi ve topraklama direnci değerlerini düşürdüğü sonucuna çıkarılabilir.

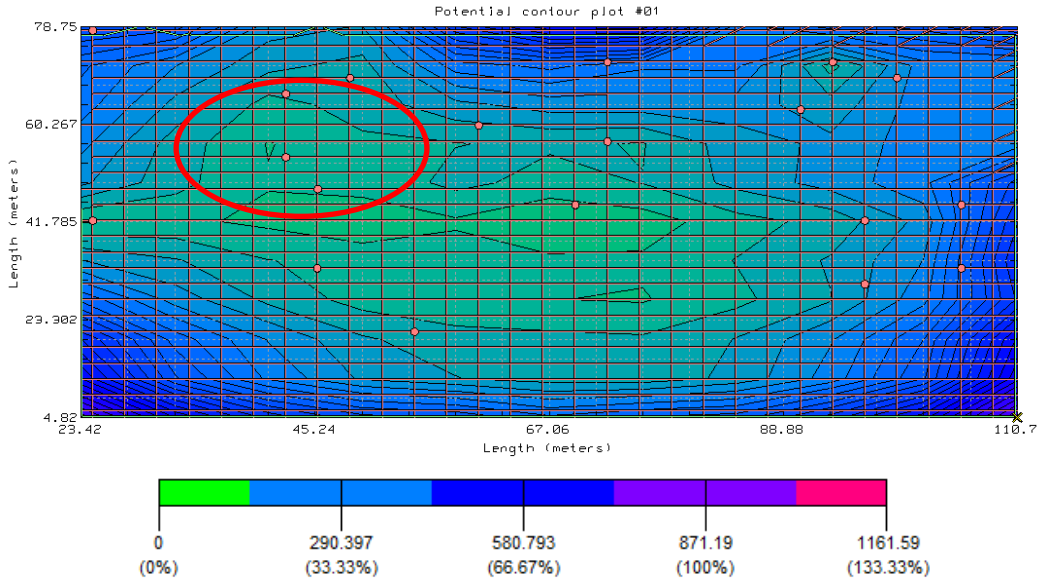
Ayrıca hem tek katmanlı hem de iki katmanlı toprak modeline göre yapılan analizlere göre Denizli-1 trafo merkezinin topraklama ağı maksimum dokunma gerilimi yönünden güvenlik kriterlerini sağlamamaktadır. Bu sebepten analiz sonuçlarının mevcut duruma uygunluğunun değerlendirilmesi için, sahada periyodik olarak topraklama ölçümlerinin yapılması önem kazanmaktadır.

- Enerjili trafo merkezinde yapılan topraklama sistemi ölçüm sonuçları incelendiğinde (burada müsaade edilen adım ve dokunma gerilimi değerleri olarak IEEE 80-2000'e göre yapılan hesaplar kullanılmıştır); şalt sahasının köşe noktalarına yakın iç fens telleri dahil yapılan ölçümlerde, dokunma gerilimi yönünden bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. Bununla birlikte CymGrid iki katmanlı toprak modeline göre yapılan analiz sonuçlarındaki topraklama direnci/empedansı ve buna bağlı olarak toprak potansiyel yükselmesi değerlerine çok yakın değerler ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

Bu ölçüm sonuçları ilk devreye alma SELVAZ ölçümleri ile karşılaştırıldığında ise topraklama direnci/empedansı yönünden %30'luk bir farklılık olsa da bu durumun iki ölçümün güzergahlarının (akım ile gerilim kabloları arası etkileşim vs..) ve enjeksiyon akımlarının farklılıklarından meydana gelebileceği düşünülmektedir. Empedanstaki meydana gelen bu farklılık da toprak potansiyel yükselmesine yansımıştır. SELVAZ cihazı ile enerji altında topraklama ölçümü cihazlarını karşılaştırmak için farklı zamanlarda sahada bazı ölçüm denemeleri yapılmış ve yaklaşık olarak aynı değerler alınmıştır. İki cihazın da aynı metodolojiyi kullandığı düşünülürse aynı değerleri almak normal ve beklenen bir durumdur.

Fakat IEEE 80-2000 standardına göre yapılan hesaplamalarda maksimum dokunma gerilimi olarak kullanılan  $E_m$  değeri sonucuna ne ölçüm sonuçlarında ne de analiz sonuçlarında karşılaşılmamıştır. IEEE 80-2000'de dokunma gerilimi "topraklanmış bir yapı ile temas eden kişinin durduğu yerdeki yüzey potansiyeli ile dokunduğu yerdeki toprak potansiyel yükselmesi arasındaki fark" olarak tanımlanmıştır.  $E_m$  (göz gerilimi) ise "topraklama ağının bir gözü içerisindeki maksimum dokunma gerilimi" dir. Buradan da anlaşılacağı üzere bu iki tanım aynı

gerilim değerlerini ifade etmemektedir. IEEE 80-2000 standardında göz gerilimi genel olarak köşedeki gözün ortasındaki ortalama dokunma gerilimi ifade etmek için kullanılmıştır. Eğer topraklama kazıkları ağın çevresine yerleştirilmiş veya çevresel gözlerin boyutları küçük ise göz gerilimi en kötü dokunma gerilimi durumunu oluşturmayabilir. Bu durumda ağın köşesindeki dokunma gerilimi köşe göz geriliminin aşabilir.



şekil 8.1: Trafo merkezi i fens alanı dokunma gerilimleri

Tablo 8.2: Ölçüm ve hesaplamaların karşılaştırma tablosu.

	1	2	3	4 (tek)	4 (çift)	5
	Yüklenici tarafından yapılan CymGrid analizi	Tesis sonrası ilk devreye alma ölçümleri (SELVAZ)	IEEE 80-2000'e göre yapılan hesaplar	CymGrid ile yeniden yapılan analizler (Tek katmanlı)	CymGrid ile yeniden yapılan analizler (İki katmanlı)	Enerji altında yapılan topraklama ölçümleri
Kullanılan ortalama toprak özgül direnci değeri ( $\Omega m$ )	287,21	-	67,4536	67,4536	112,93/55,94	-
Hesaplanan / Kullanılan müsaade edilen dokunma gerilimi (V)	907,43	907,43 (1'deki değer)	867,656	871,23	871,19	867,656 (3'deki değer)
Hesaplanan / Kullanılan müsaade edilen adım gerilimi (V)	2963,63	2963,63 (1'deki değer)	2804,531	2818,81	2818,65	2804,531 (3 deki değer)
Hesaplanan maksimum dokunma gerilimi (V)	2938,5	25,543	533,5052	933,291	1058,87	152,1475
Hesaplanan maksimum adım gerilimi (V)	879,1	40,618	597,0556	251,59	203,29	30,42951
Hesaplanan toprak potansiyel yükselmesi (V)	12564,6	6814,12	6698,75	6318,1	5400	5303,949
Topraklama direnci / empedansı ( $\Omega$ )	0,65362	0,341	0,335	0,31085	0,26570	0,265

## 9. SONUÇ

Bu çalışmada Denizli-1 trafo merkezinde enerji altında topraklama sistemi ölçümleri yapılarak, IEEE 80-2000'e göre hem hesaplanmış hem de bir yazılım programına analiz yaptırılmıştır. Çıkan sonuçlar karşılaştırıldığında analiz sonuçları ile ölçüm sonuçlarının toprak potansiyel yükselmesi ve direnç/empedans yönünden tutarlılık gösterdiği görülmüştür. CymGrd analizinden sadece iç fens içinde kalan kısımların analiz sonuçları alındığında (Şekil 8.1); saha ölçümlerinde en yüksek dokunma gerilimi değerinin hesaplandığı (Tablo 7.4) Tr-A'nın A faz akım trafosu bölgesinde ölçüm ve analiz sonuçları tutarlılık göstermektedir. Fakat trafo merkezinin diğer kısımlarında yapılan ölçümlerde analiz sonuçlarında karşılaşıldığı gibi köşelere gidildikçe dokunma gerilimi değerlerinde bir artışa rastlanmamıştır. Ölçülen dokunma gerilimi değerleri analiz sonuçlarının çok altında kalmıştır.

Sonuç olarak,

- Enerji altında Trafo merkezlerinin topraklama sistemini ölçmek şebeke frekansından etkilenmediği için daha hassas ölçüm sonuçları vermektedir.
- Enerji altında ölçüm yapılması değil bir saat bir dakika bile elektrik kesintisine tahammülün olmadığı günümüz koşullarında kesintisiz elektrik iletimi açısından çok büyük önem arz etmektedir.
- Ayrıca 50 Hz şebeke frekansında ölçüm yapılması için koruma iletkenlerinin şalt sahasından ayrılması gerekliliği sebebiyle, sök tak işlemleri gibi ilave iş kaybı ve maliyet, herhangi bir kesinti olmadığı için ortadan kalkmaktadır.
- Daha önce hiç ölçülmemiş ve kesinti alma imkanı bulunmayan kritik trafo merkezlerinde periyodik ölçümler yapılarak topraklama sisteminin takip edilmesine imkan sağlamaktadır.
- Tevsiyat ve yapım işleri kapsamında kesinti sürelerinden bağımsız olarak ölçüm yapma kabiliyeti sağlamaktadır.
- Yapılan bu ölçümlerin sonuçlarının daha detaylı analiz imkanı veren programlar ile kontrol edilmesi ve gerekirse yıldırım frekansına göre de analizlerin yapılması sağlıklı bir sistem işletmeciliği ve optimum topraklama sistemi kriterlerinin belirlenmesi için faydalı olacaktır. Ayrıca ölçülecek olan

merkezin topraklama sistemi detaylı modellenerek, analiz sonuçlarına göre de ölçüm noktaları belirlenebilecektir.

- Gelişmiş ülkelerin iletim ve dağıtım sistemi operatörleri tarafından kullanılan bu ölçüm tekniğinin ülkemizde de yaygınlaşması, topraklama analizlerinin detaylı bir şekilde yapılabilir kabiliyetin kazanılması ülkemiz ekonomisi ve elektrik şebekesinin iyileştirilmesi için zaruridir.

## 10. KAYNAKLAR

Akman Enerji Tesisleri Ltd. Şti., “Denizli 1 TM 154 kV Şalt Toprak Empedansı Raporu”, İzmir, (2016).

Bozat F., LT Mühendislik,”34,5/154 kV Denizli-1 Trafo Merkezi Topraklama Hesapları ve Dizaynı”, Ankara, (2015).

Cyme International T&D Inc., “CymGrd 6.3 For Windows User’s Guide and Reference Manuel”, Burlington, (2006).

Girişim Elektrik Taahhüt San. Ve Tic. A.Ş., “Denizli 1 TM Toprak Özgül Direnç Ölçümü”, Ankara, (2015).

IEEE-SA Standards Board., “IEEE Std 80-2000 IEEE Guide For Safety in AC Substation Grounding”, USA, (2000).

IEEE Standards Board., “IEEE Std 81.2-1991 IEEE Guide For Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems”, USA, (1991).

IEEE Standards Board., “ANSI/IEEE Std 81-1983 IEEE Guide For Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”, USA, (1983).

Katipoğulları, O., ve Hoccoğlu, M. H., “Toprak Empedans Ve Direnç Ölçme Metotlarının Karşılaştırılması”, Elektrik -Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 83-86, (2003).

Parise, G., “A practical method to test the safety of HV/MV substation Grounding Systems”, IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 502-506, (2015).

Red Phase Instruments Australia Pty Ltd.,”2 kVA Injection System User Guide”, Australia, (2010)

TEİAŞ, “ITM 122 Denizli-1 TM Yapım İşi Sözleşmesi Genel Teknik ve Montaj Şartnamesi”, Ankara, (2014).

TSE, “TS EN 50522:2010 1kV A.A’yı Aşan Güç Tesislerinin Topraklanması”, Ankara, (2011).

Zeng, R., He, J., and Guan, Z., “Novel measurement system for grounding impedance of substation”, in IEEE Transactions on Power Delivery, 21, 719-725, (2006).

EPDK, “Elektrik Şebeke Yönetmeliği”, Ankara, (2017).

EPDK, “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği”, Ankara, (2013).

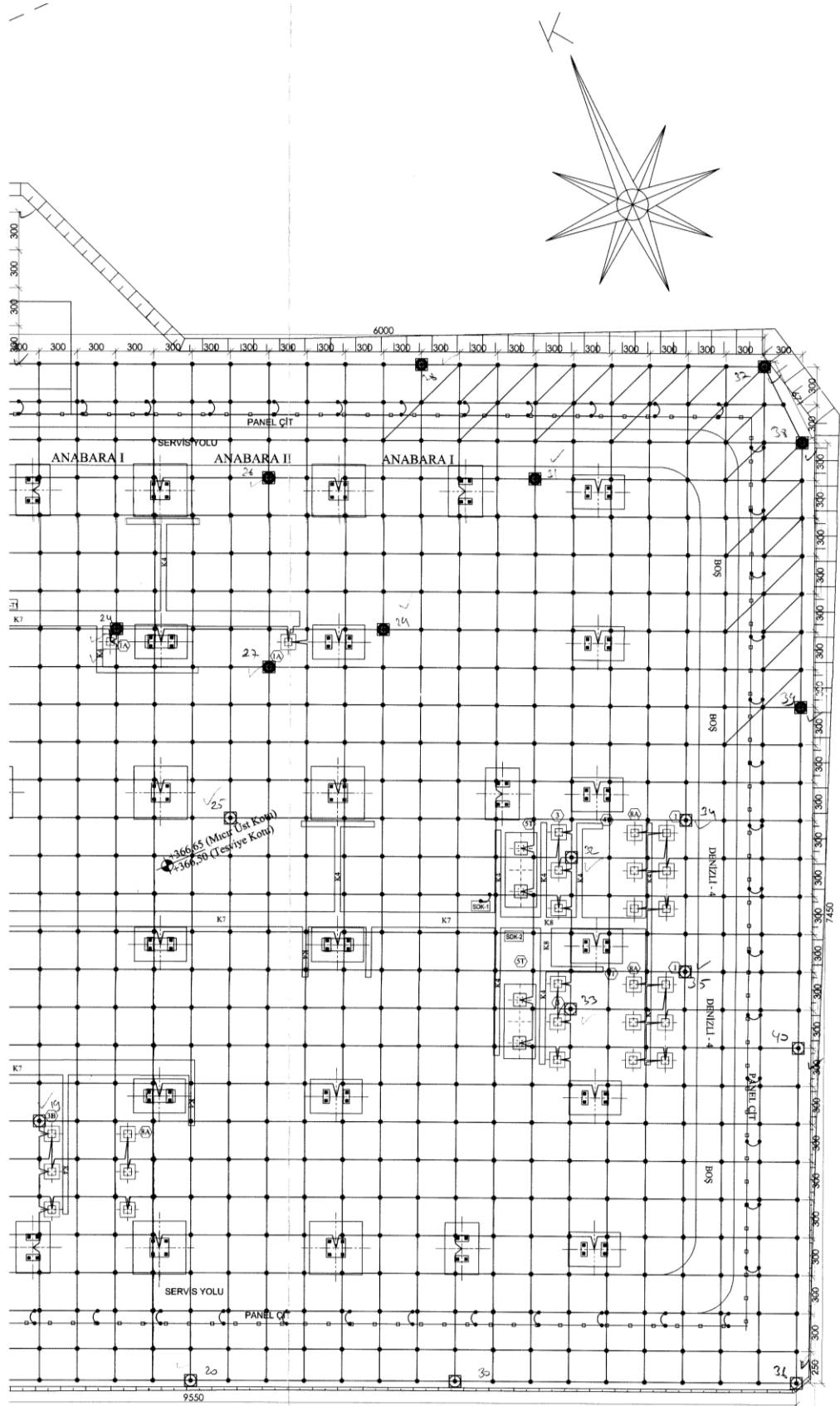
T.C. Enerđi ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği”, Ankara, (2001).

# **EKLER**





## EK A 1 (DEVAM)



Şekil A.1(Devam): Denizli-1 TM topraklama Projesi

## 12. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cumhuri ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 29.10.1982

Lisans Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektronik posta : cumhurozdemir@gmail.com

İletişim Adresi : TEİAŞ 21. Bölge Müdürlüğü Adalet Mah.  
Hasan Gönüllü Bulvarı No:19 Merkezefendi/Denizli