İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZALTI GÜÇ KABLOLARI VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Levent TANIRCAN

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği
Programı : Elektrik Mühendisliği

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZALTI GÜÇ KABLOLARI VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Levent TANIRCAN
(504031021)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Haziran 2006

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof. Dr. Kevork MARDİKYAN (İ.T.Ü.)**
Yrd. Doç. Dr. Önder GÜLER (İ.T.Ü.)

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, yardımlarını ve değerli görüşlerini esirgemeyen tez yöneticisi hocam Sn. Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kabloları ile ilgili bana vermiş oldukları bilgiler ve kablo numunesi desteğinden dolayı AYEDAŞ çalışanlarına, başta Sn. Sinan ÇAVUŞOĞLU ve Sn. Rıdvan HAZNECİ'nin şahsında teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca vermiş olduğu destekten dolayı Sn. Behçet YÜCEL'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda gördüğüm AİLEME ve tüm dostlarıma da bu vesile ile teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2006 Levent TANIRCAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **xi**
TABLO LİSTESİ **xii**
ŞEKİL LİSTESİ **xiii**
SEMBOL LİSTESİ **xv**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xviii**

1. GİRİŞ **1**
1.1 Denizaltı Güç Kabloları 1
1.2 Yüksek Gerilimle Yapılan İletimin Yararları 2
1.3 Yüksek Doğru Gerilim Denizaltı Kabloları 3
1.4 Denizaltı Kablolarının Kurulumu 3
1.5 Denizaltı Kablolarının Korunumu 4
1.6 DA ve AA ile İletimin Karşılaştırılması 5

2. KABLOLAR **7**
2.1 Kabloların Sınıflandırılması 7
2.1.1 F-Kablolar 7
2.1.2 N-Kablolar 7
2.1.3 Y-Kablolar 7
2.2 Kablonun Anma Gerilimi 8
2.3 Kablo İletkeni 9
2.3.1 Damar iletkeni 9
2.3.1.1 Bir telli iletken 9
2.3.1.2 Çok telli iletken 9
2.3.1.3 Daire kesitli iletken 10
2.3.1.4 Kesme kesitli iletken 10
2.3.2 İletken kesit 10
2.3.2.1 Anma kesiti 10
2.3.2.2 Geometrik kesit 10
2.3.2.3 Yararlı kesit 10
2.3.2.4 Eşdeğer kesit 10
2.4 Kablo Yalıtkanları 10
2.4.1 Termoplastikler (plastomerler) 12
2.4.1.1 Polivinil klorür (PVC) 12
2.4.1.2 Polietilen (PE) 12
2.4.1.3 Çapraz bağlı polietilen (XLPE) 13
2.4.2 Elastomerler 14
2.4.2.1 Termoplastik elastomerler (TPE) 14
2.4.2.2 Yarı iletken kauçuk 14
2.4.2.3 Doğal kauçuk (NR) 14

2.4.2.4 Sitren butadien kauçuk (SBR) 15
2.4.2.5 Nitril butadien kauçuk (NBR) 15
2.4.2.6 Butil kauçuk (IIR) 15
2.4.2.7 Etilen - Propilen kauçuk (EPR) 15
2.4.2.8 Silikon kauçuk (SiR) 16
2.4.2.9 Etilen vinil asetat (EVA) 16
2.4.3 Termoset polimerler (Duromerler) 16
2.5 Yalıtıcı Kılıflar 16
2.5.1 Yalıtkan kılıf 17
2.5.2 Ortak dolgu ve ortak kılıf 17
2.5.3 İç kılıf 17
2.5.4 Ayraç kılıf 18
2.5.5 Dış kılıf 18
2.6 Metal Kılıflar 18
2.6.1 Kurşun kılıf 18
2.6.2 Alüminyum kılıf 18
2.7 Elektrostatik Siperler 19
2.7.1 Yarı iletken siper 19
2.7.2 Metal siper 19
2.8 Çelik Zırh 20

3. UYGULAMALAR 21
3.1 Filipinlerde Layte - Bohol Arasındaki 138 kV'luk Yağ Soğumalı Denizaltı Kablosu Projesi 21
3.1.1 Giriş 21
3.1.2 Yol Araştırması 22
3.1.3 Kablo ve Aksesuarları 22
3.1.4 Kurulum 24
3.1.4.1 Kıyıda çukur açma ve koruma 24
3.1.4.2 Kablo Döşeme 25
3.1.5 Sonuç 27
3.2 Anadolu Yakası - Adalar Arasındaki Denizaltı Kabloları 27

4. İSTANBUL ANADOLU YAKASI - ADALAR ARASINDAKİ 5.8/10 kV'LUK DENİZALTI KABLOSUNUN ISIL VE ELEKTROSTATİK ANALİZİ 35

5. DENİZALTI GÜÇ KABLO SİSTEMLERİNİN PLANLANMASI, TASARIMI, KURULUMU VE ONARIMI İÇİN IEEE REHBERİ 44
5.1 Özet 44
5.1.1 Konu 44
5.1.2 Amaç 44
5.1.3 Önsöz 44
5.2 Kablo Yolunun Seçimi 45
5.2.1 Doğal deniz koşulları 45
5.2.1.1 Deniz derinliği 45
5.2.1.2 Kaya ve yükseltiler 45
5.2.1.3 Gelgit, akıntı ve deniz kıyısındaki dalga hareketleri 46
5.2.1.4 Deniz tabanındaki değişimler 46
5.2.1.5 Toprağın yapısal kararlılığı 46

5.2.1.6 Deniz eğiminin kararlılığı 46
5.2.1.7 Buz dağları ve buz kütleleri 46
5.2.1.8 Toprağın ısıl özellikleri 46
5.2.1.9 Kimyasal etkinlik (korozyon) 47
5.2.1.10 Deniz tabanı altındaki maddeler 47
5.2.1.11 Çok yumuşak toprak tabakaları 47
5.2.1.12 Delici deniz canlıları 47
5.2.1.13 Fırtına hareketleri 47
5.2.2 İnsan kaynaklı engeller 47
5.2.3 Tehlikeli insan faaliyetleri 48
5.2.4 Deniz erişimi 49
5.2.5 Kıyı koşulları 49
5.2.5.1 Eğim ve kararlılık 49
5.2.5.2 Kıyı birleşimi 49
5.2.5.3 Karadan erişim 50
5.2.6 Bitim yerleri 50
5.2.6.1 Bitim istasyonları arasındaki yükselti farkları 50
5.2.7 Kurulum düşünceleri 51
5.2.7.1 Kurulum tekniği ve çevresel etkiler 51
5.2.7.2 Halka ait erişim 51
5.2.7.3 Denizcilik 51
5.2.7.4 Tarihi/Arkeolojik önem 51
5.2.8 Sistem bütünlüğü 51
5.2.9 Uzunluk 51
5.2.10 Genişlik 52
5.2.11 İşletme hakları ve izinler 52
5.2.12 Kontrol ve çevresel duyarlılık 52
5.3 İzinler ve Çevresel Etkiler 52
5.3.1 Deniz bitkileri 52
5.3.2 Deniz hayvanlarının yaşamı 53
5.3.3 Alüvyon ve bulanıklık 53
5.3.4 Kazılan malzemelerin depolanması ve boşaltılması 53
5.3.5 Tanecik boyut dağılımı 53
5.3.6 Kıyı kararlılığı 53
5.3.7 Topografya 54
5.3.8 Yüksek arazi bitkileri ve ıslak araziler 54
5.3.9 Petrol, yağ ve PH 54
5.3.10 Kirlilik 54
5.3.11 Gürültü 54
5.4 Bilgi Toplama ve Araştırma 55
5.4.1 Mevcut haritalar 55
5.4.2 Fotoğrafçılık ve video 55
5.4.3 İklim verileri 56
5.4.4 Deniz incelemeleri 56
5.4.4.1 Deniz tabanının yapısı 56
5.4.4.2 Kıyı tarayıcı sonar ile inceleme 57
5.4.4.3 Deniz tabanı altının durumu 58
5.4.4.4 Denizaltından toprak numunesi alma 58
5.4.4.5 Denizaltındaki manyetik engellerin saptanması 59
5.4.4.6 Uzaktan kumandalı araç (ROV) ile inceleme 59

5.4.4.7 Dalgıçlarla inceleme 60
5.4.4.8 Denizaltı gemileri ile inceleme 60
5.4.4.9 Denizaltı kablo ve boru hatlarının yerleri 60
5.4.4.10 Akıntı hızı ve yönü 60
5.4.4.11 Dalga ve gelgit yüksekliği 61
5.4.4.12 Deniz habitatı (canlı toplulukları) 61
5.4.4.13 Gemi trafiği 61
5.4.4.14 Balıkçılık ve deniz bitkileri ile kabuklu deniz hayvanlarının toplanması 61
5.4.4.15 Sismik araştırma 61
5.4.5 Kara araştırmaları 62
5.4.5.1 Toprak numunesi alma 62
5.4.5.2 Sıcaklık profili 62
5.4.5.3 Diğer araştırmalar 62
5.4.6 Araştırma kontrol 62
5.4.7 Kurulum sonrası araştırmalar 63
5.4.8 Sistem çalışmaları 63
5.5 Kablo Sistemleri 63
5.5.1 Güvenilirlik 63
5.5.1.1 Arıza nedenleri 63
5.5.1.2 Uzun süreli servis kesintileri 64
5.5.1.3 Kablo ve devre sayıları 64
5.5.1.4 Aralık bırakma 64
5.5.1.5 Tek iletken ile üç iletkenin karşılaştırılması 64
5.5.1.6 Koruma 65
5.5.1.7 Onarılabilirlik 65
5.5.1.8 Onarımlar için hazırlık 65
5.5.2 Akım taşıma kapasitesi 65
5.5.2.1 Ortam sıcaklıkları 66
5.5.2.2 Toprağın ısıl özellikleri 66
5.5.2.3 Kablo gömülme derinliği 66
5.5.2.4 Kablo dizilimi 66
5.5.2.5 Kıyı bitimleri 66
5.5.2.6 Bağlama 67
5.5.3 Hidrolik sınırlamalar 67
5.5.3.1 Arıza durumlarında hidrolik sınırlamalar 67
5.5.4 Kablo parçaları 67
5.5.4.1 İletken 67
5.5.4.2 Yalıtkan sistem 67
5.5.4.3 Kılıf 68
5.5.4.4 Kılıfın kuvvetlendirilmesi 68
5.5.4.5 Geri dönüş iletkenleri 68
5.5.4.6 Dış kılıf 68
5.5.4.7 Deniz delicilerine karşı bant 68
5.5.4.8 Gömme 69
5.5.4.9 Zırh 69
5.5.4.9.1 Amaç 69
5.5.4.9.2 Kurulum 69
5.5.4.9.3 Malzeme 70
5.5.4.9.4 Aşınma 70

5.5.4.9.5 Örtülü zırh telleri 70
5.5.4.10 Dış örtü ve sonlandırma 70
5.5.4.11 Asfalt 70
5.5.4.12 Kireç taşı 71
5.5.5 Kablo ağırlığı 71
5.5.6 Zırh gerilimleri ve bağlantı 71
5.5.6.1 Hafifletme 71
5.5.6.1.1 Dayanım 71
5.5.6.1.2 Topraklama 72
5.5.6.1.3 Yarı iletken malzeme 72
5.5.6.1.4 Üç iletkenli kablo 72
5.5.7 DA sistemler 73
5.5.8 Ekler 73
5.5.8.1 Yapım 73
5.5.8.2 Esnek ekler 73
5.5.8.3 Esnek olmayan ekler 74
5.5.8.4 Eklerin istenilirlik düzeyi 74
5.5.9 Zırh tespit noktaları 74
5.5.10 Optik lif 74
5.5.11 Onarılabilirlik 74
5.6 Bağlantı Uç Yerleri 75
5.6.1 Sonlandırmalar 75
5.6.1.1 Tesis tasarımı 75
5.6.1.1.1 Sismik tasarım 75
5.6.1.1.2 Kablo bükülme yarıçapı 75
5.6.1.1.3 Kablo genleşmesi ve kelepçelemesi 75
5.6.1.2 Hasardan koruma 75
5.6.1.3 İzolatör kaçak mesafesi 75
5.6.2 Tesis topraklaması 76
5.6.3 Gevşek kablo 76
5.6.4 Yedek kablo muhafazası 76
5.6.5 Sıvı dağıtımı 77
5.6.6 Yedek sıvı deposu 77
5.6.7 Sıvı ihtiva eden sistem 77
5.6.8 Gaz alıcısı 77
5.6.9 Aletler ve ölçme 77
5.6.9.1 Arıza tespiti 77
5.6.9.2 Sıcaklık algılama 78
5.6.9.3 Hidrolik 78
5.6.9.4 Alarmlar 78
5.6.10 Sistem koruma donanımı 79
5.6.11 Haberleşme 79
5.6.12 Yedek üretim ve basınç pompaları 79
5.6.13 Döşeme alanı 79
5.6.14 İlerdeki genişlemeler 79
5.7 Kurulum Teknikleri 80
5.7.1 Program ve zamanlama 80
5.7.1.1 Gelgit hızı 80
5.7.1.2 Gelgit yüksekliği 80
5.7.1.3 Rüzgar hızı 80

5.7.1.4 Dalga hareketi 80
5.7.1.5 Sis 81
5.7.1.6 Yağış/Kar/Buz 81
5.7.1.7 Deniz trafiği 81
5.7.1.8 Balıkçılık mevsimleri 81
5.7.1.9 Çevresel kısıtlamalar 81
5.7.2 Engellerin ortadan kaldırılması 81
5.7.2.1 Tanımlama 82
5.7.2.2 Yer kaydı 82
5.7.2.3 Engellerin ortadan kaldırılması 82
5.7.3 Taşımacılık 83
5.7.4 Makaranın taşınması 83
5.7.5 Döşeme donanımı 83
5.7.5.1 Gemi 83
5.7.5.2 Denizcilik/haberleşmeler 84
5.7.5.3 Minimum bükülme yarıçapı 84
5.7.6 Kablonun korunması 85
5.7.6.1 Kablo aralığı 85
5.7.6.2 Kablonun gömülmesi 85
5.7.6.3 Gömülme derinliği 85
5.7.6.4 Gömme teknikleri 86
5.7.6.4.1 Kablonun gömülmesi 86
5.7.6.4.2 İzler 86
5.7.6.5 Çukur kazma 86
5.7.6.6 Kablo borusu 87
5.7.6.7 Kablo koruyucular 87
5.7.6.8 Kablo olukları 87
5.7.6.9 Beton kiremitler 87
5.7.6.10 Kablo yatakları, örtüler ve aşındırma önleyici altlıklar 87
5.7.6.11 Kaya yığma 88
5.7.6.12 Yatay yönlü sondaj 88
5.7.6.13 Köprüler ve serbest aralıklar 88
5.7.6.14 Kablo geçidi uyarı işaretleri 88
5.7.6.15 Denizcilik haritaları 89
5.7.7 Gelgitlerin oluşturduğu en düşük ve en yüksek seviyeler arasındaki bölgede kurulum 89
5.7.7.1 Kepçeyle çukur kazma 89
5.7.7.2 Deniz tabanının taranması 89
5.7.7.3 Toprağın elle kaldırılması 89
5.7.7.4 Gömme makineleri 89
5.7.7.5 Yatay yönde sondaj 89
5.7.8 Kanal ortasından geçen kurulum 90
5.7.8.1 Yüzer 90
5.7.8.2 Vinçli mavna 90
5.7.8.3 Serbest mavna veya serbest bot 90
5.7.8.4 Kablo gerginliği 90
5.7.8.5 Sarma kablo ve döner levhalar 91
5.7.9 Karada kablo kurulumu 91
5.7.9.1 Yöntemler 91
5.7.9.2 Engeller 91

5.7.10 Kablo ile ilgili işlemler ve depolama 92
5.8 Kalite Garantisi ve Test Etme 92
5.8.1 Tesis denetimi/Satıcı seçimi 92
5.8.2 Nitelik deneyi 92
5.8.2.1 Mekanik 92
5.8.2.2 Elektrik 93
5.8.3 Üretim deneyi 93
5.8.4 Kurulum öncesi deneyler 93
5.8.5 Tanıklık 93
5.8.6 Onay & Teslimat ve bakım testleri 93
5.8.6.1 Teftiş 93
5.8.6.2 Yüksek gerilim deneyi 94
5.8.6.3 Hidrolik 94
5.8.6.4 Aletler takımının ayarlanması 95
5.8.6.5 Zaman alanı reflektometresi (TDR) 95
5.9 Yedek Malzeme 95
5.9.1 Yedek kablo 95
5.9.1.1 Kablo ucundaki pay 95
5.9.1.2 Depolanmış kablo 95
5.9.1.3 Uzunluk 95
5.9.2 Sıvı 96
5.9.3 Kablo ekleri ve başlıkları 96
5.9.4 Aletler ve donanım 96
5.9.5 Gaz alıcı 96
5.10 Belgelendirme ve Çalıştırma 97
5.10.1 Belgelendirme 97
5.10.2 Çalıştırma kılavuzu 97
5.10.3 Sistem parçaları ile ilgili açıklama 97
5.10.4 Çalışma sınırları 98
5.10.4.1 Elektriksel büyüklükler 98
5.10.4.2 Hidrolik sınırlamalar 98
5.10.4.3 Diğer tasarım ölçütleri 98
5.10.5 Rutin çalışma, denetim ve bakım prosedürleri 99
5.10.5.1 Dış kılıfların denenmesi 99
5.10.6 Yeniden inceleme 100
5.10.7 Onarım stratejisi 100
5.10.8 Acil durum bakım prosedürleri 100
5.10.9 Yedek parçaların montajı 100
5.10.10 Güvenlik ve tehlikeler 101
5.10.10.1 Sızıntı testi 101
5.10.10.2 Kimyasallar 101
5.10.11 Yetkililere yapılacak bildirimler 101
5.11 Onarım 101
5.11.1 Arızaların yerini bulma 101
5.11.1.1 Kanıt arama 102
5.11.1.2 Elektronik yer bulma teknikleri 102
5.11.2 SCFF kablosundaki yalıtkan sıvı sızıntılarının yerini bulma 102
5.11.3 Kanıt 103
5.11.4 Bir kablodan gelen dielektrik sıvıyı tutma 103
5.11.5 Düzeltme 103

5.11.6 Kablo onarım ek yerleri 104

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR 105

KAYNAKLAR 107

EKLER 109

ÖZGEÇMİŞ 114

KISALTMALAR

AA : Alternatif Akım
DA : Doğru Akım
HVDC : High Voltage Direct Current
ROV : Remoted Operated Vehicle
GPS : Global Positioning System
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
IEC : International Electrotechnical Commission
VDE : Verband Der Electrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
BS : British Standards
PVC : Poly Vinyl Chloride
PE : Poly Ethylene
XLPE : Cross Linked Poly Ethylene
TPE : Thermo Plastic Elastomers
NR : Natural Rubber
SBR : Sitren Butadien Rubber
NBR : Nytril Butadien Rubber
IIR : Isobutylene - Isoprene Rubber
EPR : Ethylene Propylene Rubber
SiR : Silicon Rubber
EVA : Etylene Vinyl Asetat
DP : Dynamic Positioning
AG : Alçak Gerilim
OG : Orta Gerilim
NOAA : National Oceanic&Atmospheric Administration
TDR : Time Domain Reflectometer
BIL : Basic Insulation Level

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1	Denizaltı kablosunun tabakaları ve boyutları ……..	23
Tablo 3.2	İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kablo uzunlukları ……...	29
Tablo 4.1	İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki 5.8/10 kV'luk kablonun içeriden dışarıya doğru tabaka ve malzemeleri……...	35
Tablo 4.2	Analizi yapılacak denizaltı kablosu için teknik veriler……	36
Tablo 4.3	Deniz suyunun sıcaklık - ısıl iletkenlik ilişkisi……	38
Tablo 4.4	Deniz suyunun sıcaklık - elektriksel iletkenlik ilişkisi ……	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : 5.8/10 kV'luk bir Y kablosu ... 7
Şekil 2.2 : 5.8/10 kV'luk bir Y kablosunun kısımları ... 8
Şekil 2.3 : Polimerlerin sınıflandırılması ... 11
Şekil 3.1 : Proje yeri ... 21
Şekil 3.2 : 138 kV 1x300 mm^2 yağ soğumalı denizaltı kablosu ... 22
Şekil 3.3 : Kepçe kazıcı ... 24
Şekil 3.4 : Kablo kanalın kayalıklı bölgedeki görünümü ... 25
Şekil 3.5 : Döşeme gemisi ... 25
Şekil 3.6 : Kablonun kargo gemisinden döşeme gemisine aktarımı ... 26
Şekil 3.7 : Çekerek bağlama ... 26
Şekil 3.8 : Kabloyu karaya çıkarma işlemi ... 27
Şekil 3.9 : İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kablo bağlantıları ... 28
Şekil 3.10 : Kablo ekinin deniz üzerine çıkarılması ... 30
Şekil 3.11 : Uygun donanım ve işçiler yardımıyla denizaltı kablosunun gemi güvertesine çekilmesi ... 30
Şekil 3.12 : Gemi güvertesine çekilmiş kablo ekinin son durumu ... 31
Şekil 3.13 : Kablo iletkenlerinin ek yeri çıkarıldıktan sonraki durumu ... 31
Şekil 3.14 : Gerekli sıkıştırılma işlemleri sonrası kablonun durumu ... 32
Şekil 3.15 : Protolin malzemesinin PVC boru içine dökülmesi ... 32
Şekil 3.16 : Paslanmaz çelik borunun ziftle doldurulması ... 33
Şekil 3.17 : Ziftin donması için gemi güvertesinde bekletilen kablo eki ... 33
Şekil 3.18 : Kablo ekinin arıza onarımından sonra denize indirilmesi ... 34
Şekil 4.1 : İncelenen 5,8/10 kV'luk denizaltı kablosunun enine kesiti ve kısımları ... 36
Şekil 4.2 : Denizaltı kablosunun sonlu elemanlar yöntemi çözüm ağı ... 38
Şekil 4.3 : Deniz suyunun elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi ... 40
Şekil 4.4 : Kablonun 15^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı ... 40
Şekil 4.5 : Kablo ekseninden dışına sıcaklık dağılımının grafik gösterimi ... 41
Şekil 4.6 : 5,8/10 kV'luk denizaltı kablosunda potansiyel dağılımı ... 42
Şekil 4.7 : 5.8/10 kV gerilim uygulanan denizaltı kablosunun eş potansiyel çizgileri ... 43
Şekil 5.1 : Araştırma gemisinin doğrultusunda tek bir hat üzerindeki batimetri verilerini toplayan tek huzmeli yankı alıcısı ... 56
Şekil 5.2 : Araştırma gemisinin geniş bir kablo koridorunda ve yüksek çözünürlükte batimetri verilerini toplayan çok huzmeli yankı alıcısı. 57
Şekil 5.3 : Kıyı tarayıcı sonar ... 57
Şekil 5.4 : Çok huzmeli sonarla New York limanının dip yüzey derinliklerinin grafik olarak gösterimi ... 58

Şekil 5.5 **:** Uzaktan kumandalı araç (ROV) 60
Şekil 5.6 **:** Bir denizaltı kablosunun karadan taşınması 83
Şekil A.1 **:** Kablonun 0^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı 110
Şekil A.2 **:** Kablonun 0 ^{o}C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi 110
Şekil B.1 **:** Kablonun 5^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı..... 111
Şekil B.2 **:** Kablonun 5^{o}C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi 111
Şekil C.1 **:** Kablonun 10^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı 112
Şekil C.2 **:** Kablonun 10^{o}C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi 112
Şekil D.1 **:** Kablonun 20^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı 113
Şekil D.2 **:** Kablonun 20^{o}C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi 113

SEMBOL LİSTESİ

P	**:** Kablonun güç kaybı
I	**:** Kablodan akan akım
R	**:** İletken direnci
$\mathbf{R_{AA}}$	**:** Kablonun alternatif akım direnci
$\mathbf{R_{DA}}$	**:** Kablonun doğru akım direnci
$\mathbf{k_s}$	**:** Deri etkisi katsayısı
$\mathbf{k_p}$	**:** Yakınlık etkisi katsayısı
U	**:** Fazlar arası gerilim
Uo	**:** Faz toprak arası gerilim
Z	**:** Hat empedansı
$\mathbf{R_T}$	**:** İletken direnci
$\mathbf{X_C}$	**:** Kapasitif reaktans
$\mathbf{X_L}$	**:** Endüktif reaktans

DENİZALTI GÜÇ KABLOLARI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Denizaltı kabloları, elektriksel gücün deniz içine döşenmiş kablolarla en güvenilir ve en ekonomik yollarla taşınmasını amaçlayan sistemlerdir. Giriş bölümünde denizaltı kablolarının dünyadaki uygulamalarına ve gelişimine yer verilmiştir. Ayrıca güç kablolarında kullanılan iletken ve yalıtkan malzemelerle ilgili temel bilgilere değinilmiştir.

Bu çalışmada 2000 senesinde Filipinlerde Leyte ve Bohol adaları arasında fabrika ekleri hariç kesintisiz 18 km uzunluğunda, 138 kV'luk dört iletkenli denizaltı güç kablosu, bir tane fiber optik ve 15 kV'luk XLPE (çapraz bağlı polietlien) yalıtkanlı denizaltı kablosu ile 138 kV ve 69 kV'luk hava hatları ve trafo sistemlerinden oluşan yağ soğumalı denizaltı güç kablosu projesine yer verilmiştir. Bu projede optimum kablo yolunun tespiti ve kurulum aşamasında pek çok yöntemden yararlanılmıştır. Kablo yolunun son durumunu oluşturmak için deniz tabanını da içine alan detaylı bir yol araştırması yapılmıştır. Bunun için de daha geniş alan taraması için tek huzmeli yankı alıcılar yerine çok huzmeli yankı alıcılar kullanılmıştır. Deniz tabanı ile ilgili araştırmaların ardından optimum kablo yolu tespit edilmiştir. Kablo, balıkçılık faaliyetleri ve mekanik etkilerin görüldüğü 10 m'ye kadar olan derinliklerde deniz tabanına gömülmüş, 10 m ile 20 m arasındaki derinliklerde ise dökme demir borular tarafından korunmuştur. Amaçlanan kablo koridorunda kablonun döşenmesinde sert kaya yataklarını parçalamak için dev kırıcı ve parçalayıcılar kullanılmıştır. Kablo döşeme gemisi, yol bilgilerine sahip olan DP (dynamic positioning) sistemini kullanarak planlanan yol boyunca ilerlemiş ve döşeme işlemi amaçlanan kablo koridorunda gerçekleştirilmiştir.

İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kabloları ile ilgili elektriksel bilgiler verilerek Ağustos 2005'te meydana gelen arıza üzerinde durulmuştur. Ayrıca Anadolu yakası - Adalar arasında kullanılan 3 damarlı ve XLPE ana yalıtkanlı 5.8/10 kV'luk OG (orta gerilim) kablo numunesi alınmış ve kullanılan malzemeler ve boyutları göz önünde bulundurularak kablonun ısıl ve elektrostatik analizi yapılmıştır. Denizaltı kablosunun 10 cm kalınlığında deniz suyu ile çepeçevre kuşatıldığı düşünülmüştür ve sınır bölgedeki deniz suyunun 0 - 20^{o}C sıcaklıkları arasındaki her bir 5^{o}C için ısıl iletkenliklerinin kablo iletkeninde ve yalıtkanında oluşturduğu ısınma tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan bu yalıtkanın herhangi bir aşırı ısıl zorlanmayla karşılaşmayacağı saptanmıştır.

Bundan başka IEEE tarafından 31 Mart 2005 tarihinde çıkartılan ve denizaltı kablo sistemlerinin planlama, tasarım, kurulum ve onarımı ile ilgili detaylı bilgiler sunan rehbere yer verilmiştir. Denizaltı kabloları ve uygulamalarının incelendiği bu tez çalışmasından gerek Türkiye'deki gerekse yurt dışındaki denizaltı kabloları projelerinde bu rehberde belirtilen hususlara uyulması önerilmektedir.

SUBMARINE POWER CABLES AND THEIR APPLICATONS

SUMMARY

Submarine cables purpose the transmission of electrical power with the cables which are laid in water or on or under the seabed in a reliable and economic way. In introduction chapter, it is mentioned about the development of the submarine power cables all over the world and also given the features of the materials which are used in submarine power cables.

In this study, it is discussed about the submarine power cable project for the delivery of electrical power from Leyte Island to Bohol Island in the Philippines in 1999. The Project required four 138 kV submarine power cables to be manufactured in continuous lenghts of 18 km each without factory joints, one optical fiber submarine cable, one 15 kV XLPE submarine cable, 138 kV and 69 kV overhead lines and substations. After careful investigation and through careful planning based on route survey results, the cables were installed along the optimum cable route. A detailed route survey was done to set the final cable route. Since there are rocky ares along the cable route, the seabed survey had to cover a wide area. Therefore a multi-beam echo sounder was used insterad of a single-beam echo sounder in order to cover a wide area in short time. To avoid from fishing activities, the submarine cables were buried 1,5 m under the seabed at water depths up to 10 m and protected by cast iron pipes at water depths of from 10 to 20 m. The laying vessel proceeded along the planned cable route by using its DP (dynamic positioning) system, which had the route data.

On the other hand, it is given the electrical properties of the submarine cable between Asia part of Istanbul and Princess Island in Marmara Sea and the fault pictures that happened in August 2005. Furthermore, 3 phases, XLPE insulated medium voltage 5.8/10 kV this submarine cable is taken as a sample and its thermal and electrostatic analysis are carried out by taking into account its dimensions and the material types by finite element method. It is thought that the submarine cable is into the sea water with the radius of 10 cm and the thermal anaysis is performed with the boundary temperature of the sea water from 0^{o}C to 20^{o}C. Acccording to the results, it is determined that there is no thermal stress on XLPE insulator.

It is also mentioned about a guide published by IEEE in 31st March of 2005 for the planning, design, installations and repair of submarine power cables. It is

recommended to be agreed with these subjects of the submarine cable projects carried out either in Turkey or in foreign countries.

1. GİRİŞ

1.1 Denizaltı Güç Kabloları

Denizaltı güç kabloları, elektriksel gücün deniz içine döşenmiş kablolarla taşınmasına olanak sağlayan kablolardır.

Dünya genelinde kurulmakta olan denizaltı kablolarının sayısı, daha ekonomik ve yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlanabilmesi düşüncesiyle hızlı bir artış göstermektedir. Denizaltı kablo teknolojisindeki ilerlemeler, güç istasyonu yapımıyla karşılaştırıldığında yatırımdaki hızlı geri dönüş oranı ve gücün hidroelektrik ve rüzgar üretim sistemlerinden taşınabilme olanağı, denizaltı kablo bağlantılarını daha çekici bir duruma getirmiştir.

Denizaltı kablo sistemleri, kesintisiz 100 km'ye varan uzunluklarda ve iletim sistemleri arasındaki büyük miktarda güç transferini sağlamak amacıyla tek ve üç fazlı olarak üretilirler. Bu kabloların mekanik ve elektriksel güvenilirlikleri, ek noktalarındaki süreksizliklerin ortadan kaldırılmasıyla büyük uzunluklarda üretilebilmelerine imkan tanımıştır. Uzun kabloların idaresi karmaşıktır ve kablonun yalıtımı, kılıflandırılması, zırhlandırılması, sarılması ve depolanması için üretim tesislerine ihtiyaç duyulur. 100 km uzunluğunda kesintisiz ve zırhlı bir kablonun ağırlığı yaklaşık 8000 tonu bulmaktadır.

Denizaltı kablolarının kurulumu, makine ve deniz mühendislikleri alanlarındaki pek çok bilgiyi gerektirmektedir. Kablo, kurulumu esnasında oluşan ve kendi ağırlığı ile gelgit akıntılarının hareketleri sonucu oluşan önemli mekanik zorlanmalara karşı koyabilmelidir. Kurulu kablo sistemi ise çapalar ve balıkçılık faaliyetleri, gemilerin etkisi ve kablonun veya deniz tabanının hareketleri sonucu risk altındadır. Kabloyu döşemek veya çalışır durumda iken korumak için, denizaltı kablolarında bir veya iki tabakadan oluşan metal tellerden oluşan zırh uygulanır. Buna rağmen kablonun

ayrıca korunması istenirse basınçlı su, toprağı sürme ve çukur açma teknikleri kullanılarak kablo deniz tabanına gömülebilir [1].

Denizaltından büyük miktarda güç iletimi için doğru akım (DA) denizaltı kabloları tercih edilir. Çünkü DA kabloları, denizaltı alternatif akım (AA) kablolarındaki gibi reaktif güç çekmezler. Ayrıca üç fazlı AA kablolarında 3 iletken gerekliyken DA kablolarında sadece 1 veya 2 iletken yeterlidir.

DA ile iletim yapılan bir sistem, akımın dönüş yolu olarak toprağı veya deniz suyunu kullanabilir. Yine de bu durum, kablonun geçtiği hat boyunca gemilerdeki mevcut sistemlerin manyetik sınırda oluşturacağı bozulmalardan dolayı her zaman uygulanmaz. Bundan başka elektrotlardaki elektro kimyasal tepkimelerin ekolojik etkileri de her zaman uygulanmadığının bir göstergesidir.

Aşağıda, Dünyadaki AA denizaltı kablolarının kullanıldığı yerlere bazı örnekler verilmiştir:

- İsveç - Bornholm (110 kV),
- İspanya - Fas (380kV),
- Öresund (380 kV),
- Messina Boğazı (380 kV).

Denizaltı kablolarında DA bağlantısı 2 bakımdan daha üstündür:

- İki eş zamanlı sisteme ihtiyaç yoktur,
- Teorik olarak kablo hattının uzunluğuyla ilgili bir sınırlama yoktur (DA gerilim düşümünün hat boyunca olduğunu göz önüne alınmazsa) [2].

1.2 Yüksek Gerilimle Yapılan İletimin Yararları

Yüksek gerilimle iletimde gücün iletiminde kayıplar daha azdır. Ayrıca güç iletiminde oluşacak iletim kayıpları da daha az olur. İletken maliyeti iletkenin taşıdığı akımla orantılıdır. İletkende meydana gelen kayıp da üzerinden geçen akımın

karesiyle doğru orantılıdır. Bundan dolayı daha yüksek gerilim değeriyle yapılan iletimde verim daha yüksek bir değer alır.

Düşük gerilimin ise lamba, motor gibi küçük yük değerlerinin olduğu yerlerde kullanılması daha uygundur. AA'nın en büyük avantajı, kullanılan güç değeri için gerilimin değiştirilmesine olanak sağlayan transformatörlerin kullanılabilmesidir. DA'da ise transformatörün eşdeğeri mevcut değildir. Bundan dolayı doğru geriliminin kontrolü daha karmaşık bir hale gelir [2].

1.3 Yüksek Doğru Gerilim Denizaltı Kabloları

Dünyada ilk yüksek doğru gerilim (HVDC) denizaltı kablo bağlantısı 1954 yılında, İsveç ile Gotland adası arasında gerçekleştirilmiştir. Bu kablo uzun mesafeler için uygun olan basınçsız yağ emdirilmiş kağıt yalıtkanlı olarak tasarlanmıştır. O tarihten bu yana ilke olarak benzer kablo tasarımı uygulamalarıyla önemli ölçüde deneyim kazanılmıştır. Bu kablo çeşidi, büyük miktardaki güçlerin, uzun denizaltı kablolarıyla iletiminde hala uygulanabilen tek çözümdür. 1954 yılında her bir kablo için işletme gerilimi ve yüklenme kapasitesi 100 kV ve 20 MW değerlerinde iken sürekli bir gelişimin ardından 1994 yılında İsveç ile Almanya arasında gerçekleştirilen Baltık Denizi kablo projesiyle 450 kV ve 600 MW değerlerine kadar ulaşmıştır. Bu gelişim, geniş ölçüde yapılan araştırma ve pek çok kablo üreticileri tarafından gerçekleştirilen geliştirme çalışmaları ile döşeme teknolojisi, koruma, hizmet ve onarım gibi HVDC denizaltı bağlantılarının bütün durumlarını kapsayan bir süreci içine alır. İsveç ile Finlandiya arasında gerçekleştirilen ve bu alanda bir kilometre taşı kabul edilen Fenno Skan projesi 400 kV'luk işletme gerilimi ve her bir kablo için 500 MW'lık iletim kapasitesinin başarıldığı ilk projedir [1].

1.4 Denizaltı Kablolarının Kurulumu

Denizaltı teknolojisi açık denizlerdeki özellikle kuzey denizindeki sondaj çalışmaları ve üretim çalışmalarının bir sonucu olarak son 10 yıl içerisinde büyük gelişim göstermiştir. Denizaltındaki elektronik denizcilik sistemleri, uzaktan kumandalı araçlar (ROV'lar) ve döşeme gemisinde yer alan bilgisayar kontrollü dinamik konumlandırma sistemleri ile kablo döşenmesinde uygulanabilir kavramlar ortaya

çıkmıştır. Kabloların deniz tabanındaki engellerden uzakta hassas bir şekilde döşenmesi, denizaltındaki bir başka yapıdan (örneğin bir boru hattı) belirli bir uzaklıktaki kurulum çalışmaları, bir boru hattı üzerinden bir köprü kullanılarak geçişi gibi durumlar deneyimli personel ve gelişmiş döşeme gemisi ile günümüzde sorun oluşturmamaktadır.

Döşeme gemisinin seyri, uydu bazlı yer konumlandırma sistemi (GPS), geminin doğru kaynaklı prosedürlerle ilişkili dinamik konumlandırma sistemi ve denizaltındaki ROV'larla kontrol edilen denizcilikle ilgili sistemler aracılığıyla gerçekleştirilir. Kabloların döşenme sürecindeki kontrolleri, ayrı bir yol araştırmasının gerekli olacağı deniz tabanının koşullarına bağlı olacaktır.

Kabloda meydana gelebilecek bir arıza durumunda, onarımın gerçekleştirilebilmesi için bir takım yöntemler ve donanımlar mevcuttur. 100 metrenin altındaki derinliklerde, çalışmanın karmaşıklığına bağlı olarak özel gemilerin kullanımı gerekebilir. Derin denizlerdeki arıza oluşabilme riski istatistiklere göre daha düşüktür. Gelişmeler modern döşeme teknolojisinin 2000 metreden daha büyük derinliklerdeki çalışmaları mümkün kılmaktadır [1].

1.5 Denizaltı Kablolarının Korunumu

Denizaltı kablolarında meydana gelen arıza istatistiklerine bakıldığında en sık görülen arızaların nedeni, çapalar ve balıkçılıkla ilgili ağır donanımların neden olabileceği dışardan gelen hasarlardır. İç kaynaklı arızalara pek rastlanmaz. Örneğin, 1976/1977 yıllarında döşenen çapraz bağlı çift zırh tabakasına sahip Skagerrak kablolarında meydana gelen tek arıza, ağır donanımların (trol faaliyetleri, çapalar ve römorkör ile mavna arasındaki halat ağırlığı) neden olduğu dış mekanik etkilerdir. Kablonun gömülü olduğu kısımlarda herhangi bir arıza gerçekleşmemiştir. Bu örnek, uluslararası istatistiklere bağlı olarak diğer projeler içinde sıklıkla görülen bir durumdur.

Sonuç olarak, denizaltı kabloları mekanik riskin yüksek olduğu bölgelerde koruma altına alınmalıdır. Kablonun denizaltına gömülmesi, etkin bir yöntemdir [1].

1.6 DA ve AA ile İletimin Karşılaştırılması

İçinden I akımı geçen bir kablo iletkeninde meydana gelen güç kaybı:

$$P = I^2 \times R \qquad \textbf{(1.1)}$$

AA kablolarda iletken direnci:

$$R_{AA} = R_{DA}(1 + k_S + k_P) \qquad \textbf{(1.2)}$$

Bu bağıntıda;

R_{AA} = Alternatif akım direnci,

R_{DA} = Doğru akım direnci,

k_S = Deri etkisi katsayısı,

k_P = Yakınlık etkisi katsayısıdır.

Birden fazla kablonun varlığında yakınlık etkisi göz önüne alınır. Yakınında başka bir kablo veya damar bulunmayan tek damarlı kablo veya bir kablo için $k_P = 0$ olduğundan dolayı alternatif akım direnci şu şekilde ifade edilir:

$$R_{AA} = R_{DA}(1 + k_S) \qquad \textbf{(1.3)}$$

Bu denklemlerden yola çıkılarak alternatif akım direncinin doğru akım direncinden daha büyük olduğunu görülür. Büyüyen bu direnç, AA ile iletimde DA ile iletimden daha büyük güç kayıplarına neden olur.

Ayrıca, uzun denizaltı kabloları yüksek kapasite değerine sahiptir. Bu kapasite, DA ile iletimde küçük bir etki yaratırken, AA kablolarında kablo kapasitesinin dolması ve boşalması için gerekli olan akım, ek bir I^2R'lik bir güç kaybına yol açacaktır.

Bir AA kablosundan geçen akım:

$$I = \frac{U}{|Z|} = \frac{U}{R_T + jX_C + jX_L} \quad \textbf{(1.4)}$$

Bu bağıntıda;

I = Hat akımı,

U = Hat gerilimi,

Z = Hat empedansı,

R_T = İletken direnci,

X_C = Kapasitif reaktans,

X_L = Endüktif reaktans

DA ile iletimde kayıplara sadece iletken direnci (R_T) etki ederken, AA ile iletimde sisteme eklenen kapasitif (X_C) ve endüktif reaktans (X_L), DA ile iletime kıyasla kabloda ek güç kayıplarının olmasına neden olur [3].

2. KABLOLAR

2.1 Kabloların Sınıflandırılması

Kablolar, elektrik gücü ileten, bu amaçla elektrik aygıtlarını elektriksel bağlamaya yarayan önemli ve vazgeçilmez malzemelerdir. Kablolar işletme koşullarına, kullanım amacına ve kullanım yerine göre üç sınıfa ayrılır.

2.1.1 F-Kablolar

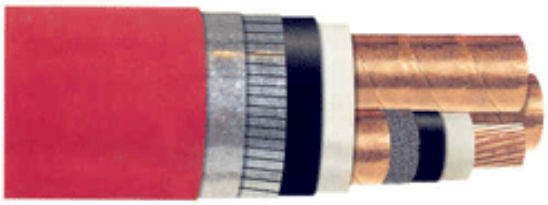
F-kablolar normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, devinen ve taşınan elektrik aygıtlarında kullanılan, serbest olarak salınan bükülgen kablolar veya kordonlardır.

2.1.2 N-Kablolar

N-kablolar normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, boru içinde sıva altına veya borusuz olarak duvara sabit döşenen iç döşem (tesisat) kablolarıdır.

2.1.3 Y-Kablolar

Y-kablolar yeraltı, maden ocağı gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca bulunduğu yerlerde kullanılan, ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit döşenen güç kablolarıdır. Bu kablolara yeraltı kablosu da denir [4]. Aşağıda 5.8/10 kV'luk bir Y kablosu gösterilmektedir [5].



Şekil 2.1: 5.8/10 kV'luk bir Y kablosu

Bu 5.8/10 kV'luk Y kablosunun kısımları ise aşağıda gösterilmiştir [5].



Şekil 2.2: 5.8/10 kV'luk bir Y kablosunun kısımları

2.2 Kablonun Anma Gerilimi

Kablo ve iletkenlerin anma gerilimleri U_0/U şeklinde belirtilmektedir.

U_0; faz iletkeni ile toprak veya eş eksenli iletkenler, ekran, zırh ya da metal kılıf gibi topraklama elemanları arasındaki gerilimdir.

U; İki faz iletkeni arasındaki gerilimdir.

Kablo ve iletkenlerin anma gerilimleri TSE-IEC-VDE-BS ve benzeri uluslararası standart ve norm kurumlarınca:

U_0/U = 0.6/1, 3.5/6, 5.8/10, 8.7/15, 12/20, 20.3/35 kV ve daha yukarı değerlerde standartlaştırılmışlardır.

Üç fazlı dalgalı akım sistemlerinde U_0 gerilimi ile U gerilimi arasındaki oran:

$$U_0 = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \textbf{(2.1)}$$

İletkenlerinden hiç birisi topraklanmamış olan bir fazlı dalgalı akım veya doğru akım sistemlerinde U_0 gerilimi ile U gerilimi arasındaki oran:

$$U_0 = \frac{U}{2} \quad \textbf{(2.2)}$$

İletkenlerinden bir tanesi topraklanmış olan bir fazlı dalgalı akım veya doğru akım sistemlerinde ise U_0 gerilimi ile U gerilimi arasındaki oran:

$$U_0 = U \quad \textbf{(2.3)}$$

şeklindedir [6].

2.3 Kablo İletkeni

F ve N-kablolarda daima bakır, Y-kablolarda ise genellikle bakır olmak üzere alüminyum iletkenler de kullanılır. Bakır iletkeni oluşturan teller TS 18'e göre tavlanmış som elektrolitik bakırdır. Teller yalın veya metal (öncelikle kalay) kaplıdır.

2.3.1 Damar iletkeni

Damar iletkeni sayısına göre bir veya çok telli, şekline göre ise daire veya kesme kesitli olur.

2.3.1.1 Bir telli iletken

Bir telli (som = içi dolu) iletken, dairesel veya biçimlendirilmiş bir tek telden oluşan som iletkendir.

2.3.1.2 Çok telli iletken

Çok telli iletken, tümü veya bir bölümü sarmal sarılmış olan birden çok telden oluşan iletkendir. Çok telli iletkenlerde teller arasındaki boşlukları azaltarak iletkenin çapını

küçültmek için teller biçimlendirilerek bir araya getirilir. Bu iletkenlere sıkıştırılmış iletken denir.

2.3.1.3 Daire kesitli iletken

Daire kesitli iletken, kesiti daire biçiminde olan iletkendir.

2.3.1.4 Kesme kesitli iletken

Kesme kesitli (sektör) iletken, kesiti daire kesmesi biçiminde olan iletkendir.

2.3.2 İletken kesit

2.3.2.1 Anma kesiti

Geometrik kesitin yuvarlatılmış değeridir.

2.3.2.2 Geometrik kesit

Damar iletkenini oluşturan tellerin çap veya kalınlık x genişlik ölçülerek hesaplanan kesitinin tel sayısı kadar toplanmasıyla bulunan kesittir.

2.3.2.3 Yararlı kesit

İletkenin ölçülen direncinden yararlanılarak hesaplanan kesitidir.

2.3.2.4 Eşdeğer kesit

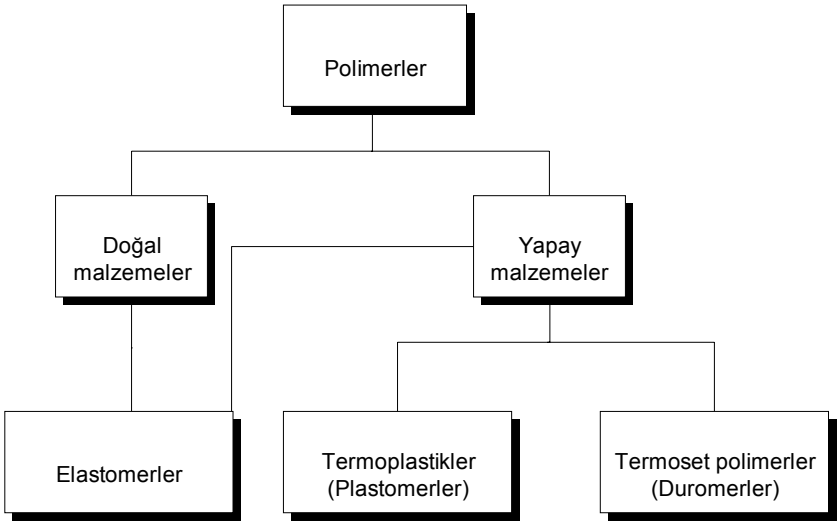
Bakırdan başka metalden veya alaşımdan yapılmış iletkenin direncine eşit olan aynı uzunluktaki bakır iletkenin kesitidir [4].

2.4 Kablo Yalıtkanları

Yalıtkanlar, kabloların yapısında yer alan ve işlevi gerilime dayanma olan yalıtıcı malzemelerdir. Yalıtıcı kılıflarda kullanılan malzemeler ve özellikleri TS 35 ve 36'da verilmiştir. F ve N-kablolarda yalıtkan olarak yapay malzemeler ve doğal kauçuk, Y-kablolarda ise öncelikle emdirilmiş kağıt ve polimerler kullanılmaktadır.

Bugün, çok yüksek gerilimli kablolarda emdirilmiş kağıdın vazgeçilmez olarak kullanılmasına karşın, gerilimi 35 (içinde) kV'a kadar olan Y-kablolarda emdirilmiş kağıt son on yılda yerini hemen hemen polimerlere bırakmıştır.

Teknik önemi bulunan polimerler, fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılırlar.



Şekil 2.3: Polimerlerin sınıflandırılması

Elastomerlere çapraz bağlama sonucunda esneklik (vulkanizasyon) özellikleri geliştirilmiştir. Örneğin çok küçük çekme kuvvetinde büyük uzama gösterirler.

Plastomerler yüksek sıcaklıklarda plastik olarak şekillendirilebilen, soğutulduğunda sertleşen, fakat yeniden ısıtıldığında plastik özelliği kazanan makro moleküler malzemelerdir.

Duromerler kritik sıcaklığın üzerinde ısıtıldıklarında sertleşen ve geri dönüşlü plastik özelliğe sahip olmayan polimerlerdir.

Bu sınıfa girmeyen yalıtkan malzemeler de kablo yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar kritik ergime noktasının üzerinde elastomerler gibi davranan çapraz bağlı poliolefinler (örneğin, çapraz bağlı polietilen) içerir. Keza bu sınıfta, işlem sıcaklığında termoplastik ve işletme sıcaklığında elastomer özelliği gösteren termoplastik elastomerler de vardır.

2.4.1 Termoplastikler (plastomerler)

Termoplastikler, elastomerlerin ve termoset polimerlerin aksine belirli sıcaklık aralığında tekrarlanabilir olarak soğumayla sertleşen, ısınmayla yumuşayan, yumuşadığında kalıplama ve püskürtmeyle biçimlendirilen plastik özelliğe sahiptir. Termoplastikler üzerindeki bilgilerden, kullanma koşullarına uygun plastikler yapılabilmektedir. Standart termoplastik olan PVC'ye ve PE'e ek olarak, kopolimer olabilen monomerlerle etilenin doğrudan polarizasyonu ile elde edilen termoplastikler ve elastomerler de kablo yapımında önemli yer tutmaktadır [4].

2.4.1.1 Polivinil klorür (PVC)

İç döşem kabloları ve bükülgen kablolarda yalıtkan malzeme olarak polivinil klorür (PVC) özel öneme sahiptir. Başlama maddesi olan vinil klorür bugün genellikle etilenin klorlanmasıyla elde edilir [4].

PVC, 1000 V ve altındaki kablolar için standart yalıtımdır. PVC, iyi elektriksel özelliklere sahip olup, yanmaya, neme ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Ayrıca petrol ve benzine karşı dayanıklı hale getirilebilir. 60^{o}C'den 105^{o}C'ye kadar sıcaklık anma değerine sahiptir.

PVC'nin dezavantajı yüksek dielektrik sabiti ve kayıp faktörüne sahip olmasıdır. Ayrıca plastik kayıpları, sertleşme ve çatlamalara neden olabilir. PVC bileşenleri, sıcaklık düştükçe sertleşme gösterir. Her ne kadar bazı özel bileşimleri -40^{o}C'ye kadar esnekliğini koruyabilse bile -10^{o}C'den altındaki sıcaklıklarda kullanılmaması önerilir [7].

2.4.1.2 Polietilen (PE)

Polietilen (PE), uzun zincirli hidrokarbondur ve etilen gazının basınç altında polimerizasyonu sonucu üretilir. PE, ucuzluğu, kolay işlenebilirliği, kimyasal etkilere ve neme dayanıklılığı, iyi elektriksel özellikleri ve düşük sıcaklıktaki esnekliği ile oldukça popüler bir yalıtkandır. PE, düşük, doğrusal düşük, orta ve yüksek yoğunluklarda üretilir. Yoğunluk arttıkça, sertliği, esnekliğe karşı mukavemeti, sağlamlığı, ısıl ve kimyasal etkilere dayanıklılığı artar.

PE kablolarının Güneş ışığına dayanıklı olması istendiğinde, karbon siyahı veya diğer ultraviyole (UV) önleyiciler eklenir. UV önleyicisiz PE'li kablolar, UV önleyiciye sahip PE'li kablolardan daha düşük fiziksel ve elektriksel özelliklere sahiptir. PE kabloların ateşe dayanıklı olması istendiğinde kablonun ateşe dayanıklı bir takım malzemeler ile kaplanması mümkündür.

PE, çok iyi elektriksel özelliklere sahiptir. PE yüksek gerilimlerde korona boşalmalarından kaynaklanan kayıplara ve yüksek elektriksel baskılarda oluşabilecek ağaçlanmalara karşı duyarlıdır. Korona boşalmaları ve ağaçlanma zamanından önce oluşabilecek kablo arızalarına öncülük edebilir. Geçmişte yüksek gerilim kablolarında kullanılmayan PE, günümüzde 5 kV'luk gerilimin üzerindeki kablolarda kullanılmamaktadır [7].

2.4.1.3 Çapraz bağlı polietilen (XLPE)

Çapraz bağlı polietilen (XLPE) bir termosettir. XLPE yalıtkanlı kablolar, 90^{o}C'lik iletken sıcaklıklarında kullanılırlar. Acil durumlarda bu sıcaklık değeri 130^{o}C'ye çıkabilir. XLPE, çok iyi düşük sıcaklık özelliklerine, termoplastik polietilenle karşılaştırıldığında koronaya karşı artan bir dayanıma ve yüksek çarpma, aşınma ve çevresel etkilere karşı yüksek bir dirence sahiptir. Ayrıca çapraz bağlı polietilen, termoplastik polietilenden daha yüksek sıcaklık ve gerilim değerlerinde işletilebilir [7].

Çapraz bağlı polietilen (XLPE) kabloları, kara uygulamalarında olduğu gibi denizaltı uygulamalarında da büyük bir sıklıkta tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedenleri şöyledir:

- Polimer yalıtkanlı kurulumların hem yüksek hem de orta gerilimli kablo sistemlerinde hatasızlık ve olumlu bir geçmişe sahip olması,
- Çevreyle mükemmel uyumluluk. Özellikle hiçbir deniz kirliliğine neden olmaması,
- Isınmaya karşı olağanüstü dayanıklılık [8],

2.4.2 Elastomerler

Elastomerlerin molekül zincirleri termoplastiklerin aksine geniş gözlü ağ şeklindedir. Çapraz bağ veya vulkanizasyon ile malzeme esneklik özelliği kazanır. Örneğin, çok küçük çekme kuvvetinde geniş sınırlar içinde geri dönüşlü uzama gösterir. Bu özelliği nedeniyle bu malzemeler yalıtıcı kılıf olarak genellikle bükülgen kablolarda kullanılmaktadır.

Bugün elastomerlerin büyük bölümünden kablo yapımında yararlanılmaktadır. Bunlar özellikli bileşiklerin, örneğin aşınmaya, yağa, hava koşullarına, ısıya ve aleve dayanıklı bileşiklerin yapımını sağlar, bu bileşiklere iyi elektrik ve mekanik özellikler kazandırır.

Son yıllarda, alışılmış elastomer malzeme olan doğal kauçuğun kullanımında önemli düşüş görülmektedir. Bunun yerine etilenin ve propilenin kopolimerizasyonu ile elde edilen yapay elastomerler yeni kullanım alanları bulmaktadır [4].

2.4.2.1 Termoplastik elastomerler (TPE)

Termoplastik elastomerler kristalit ergime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda termoplastik özelliklere sahip olup, kristalit ergime noktasının altında elastomerler gibi davranırlar. Bu nedenle, bu tür polimerlere termoplastik elastomerler (TPE) denir [4].

2.4.2.2 Yarı iletken kauçuk

Doğal kauçuğa ve yapay elastomer bileşiklerine yarı iletken dolguların (Örneğin, karbon siyahı) katılmasıyla özdirenci birkaç Ω·cm'ye kadar olan bileşikler elde edilebilir. Yarı iletken kauçuk bileşikleri genellikle maden ocağı kablolarında kontrol ve uyarı amacıyla iç yarı iletken katmanlarda, keza yapay elastomer yalıtkanlı YG kablolarında alan sınırlayıcı olarak kullanılır [4].

2.4.2.3 Doğal kauçuk (NR)

Doğal kauçuk, ekvator kuşağındaki ülkelerde yetişen kauçuk ağacının kabuğunun altındaki doku hücrelerinden alınan sütün kimyasal işlemlerle, elektro koyulaştırma veya başka yöntemlerle koyulaştırılmasıyla elde edilir. Kauçuğa vulkanizasyon

sağlayıcı ve yaşlanmayı önleyici katkıların, özel seçilen dolguların ve yapay elastomerlere uygun karışımların eklenmesiyle hazırlanan yalıtkan bileşikler kablolarda kullanılır [4].

2.4.2.4 Sitren butadien kauçuk (SBR)

SBR, üretim yöntemine göre soğuk veya sıcak polimerlere ayıtılan sitren ve butadienin kopolimeridir. Soğuk polimerler, yüksek çekme ve yırtılma kuvveti ile çok iyi işletme özelliklerine sahip olan sıcak kauçuk türlerine benzerlik gösterirler. Bu nedenle, bunlar SBR-NR bileşiklerinin elde edilmesinde katkı olarak yeğlenirler. SBR ve SBR-NR karışımları izin verilen işletme sıcaklığı 60^{o}C olan AG iş döşem kabloları ile bükülgen kablolar için uygundur [4].

2.4.2.5 Nitril butadien kauçuk (NBR)

Butadien ile akril nitrilin kopolimerizasyonu sonucunda elde edilen elastomerler SBR türlerine benzer olarak yağa ve hava koşullarına çok iyi dayanıklılık gösterirler. Bu nedenle bunlar dış kılıf malzemesi olarak yeğlenirler [4].

2.4.2.6 Butil kauçuk (IIR)

Çift bağların bağıl olarak küçük sayısı butil kauçuğun oksijen ve ozon etkilerine karşı duyarlılığını çok azaltır. Esas üstünlüğü su emmesinin ve gaz dielektrik sabitinin çok düşük olmasıdır. Özel etkin dolguların eklenmesiyle mekanik özellikleri, örneğin düşük sıcaklıkta esneklik özellikleri geliştirilebilir. Butil kauçuk yalnız özel nedenlerle yeğlenir [4].

2.4.2.7 Etilen - Propilen kauçuk (EPR)

Etilen-propilen kauçuk (EPR), etilen ve propilenden yapılmış bir termosettir. EPR, 5 kV ile 35 kV arasındaki kablolarda ve alçak gerilim kablolarında kullanılır. EPR, 90^{o}C işletme sıcaklığıyla acil durum koşullarında oluşabilecek 130^{o}C'lik sıcaklıklarda kullanılabilir. Bu elastomerlerin belirgin özelliği, iyi esneme özellikleri, oksijene, ozona, iyonizasyona ve hava koşullarına dayanıklılık ve düşük sıcaklıklarda iyi bükülgenlik ve hafifliktir. EPR, orta gerilim uygulamaları için uygundur [7].

2.4.2.8 Silikon kauçuk (SiR)

Silikon kauçuk çok iyi yalıtkanlık özelliği ve -50 - +180^{o}C sıcaklıklarda pratik olarak değişmeyen bükülgenlik gösterdiğinden, 180^{o}C izin verilen işletme sıcaklığında AG iç döşem kablolarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Silikon kauçuk nem geçirmez ve hava koşullarına dayanıklı olduğundan, kablo başlıklarının yapımında da yeğlenmektedir [4].

2.4.2.9 Etilen vinil asetat (EVA)

Çapraz bağlı EVA elastomerleri iyi ısı dayanıklılığı gösterirler ve 120^{o}C izin verilen işletme sıcaklığında kullanılabilir. Keza, sıcak havada ve aşırı sıcak buharda çok iyi yaşlanma dayanıklılığı göstermesinden başka, özellikle yüksek sıcaklıklarda yeterli ısı-basınç özelliğine sahiptir. Ayrıca EVA bileşikleri ozona, oksijene, hava koşullarına karşı dayanım ve renk kararlılığı gösterir. Dinamik donma noktası -20 - -30^{o}C sınırları içindedir. EVA'ın yalıtkan malzeme olarak uygulanması, elektrik özellikleriyle sınırlı olduğundan, ancak AG kablolarında kullanma alanı bulunmaktadır. EVA bileşikleri ısıya dayanıklı dış kılıfsız kablolarda ve ısıtıcı kordonlarda kullanılır [4].

2.4.3 Termoset polimerler (Duromerler)

Termoset polimerler elastomerlerden farklı olarak çapraz bağlanırlar. Çoğu kez termoplastiklerden ve elastomerlerden çok daha iyi eskime dayanımına ve boyutsal kararlılığa sahiptirler.

Termoset polimerlerin yalıtkan malzeme olarak uygulanmasında, epoksi ve poliüretan reçinelerin kablo başlıklarında ve ekliklerinde dolgu olarak kullanılması sınırlıdır. Epoksiler bazındaki dolgu reçineleri özellikle ısıl işlemle termoset durumuna dönüştürülür [4].

2.5 Yalıtıcı Kılıflar

Yalıtıcı kılıf, iletkeni elektriksel bakımdan yalıtmak, mekanik ve hafif kimyasal etkilerden korumak amacıyla kullanılan, iletkeni ve damarları saran gömlektir.

Yalıtıcı kılıflar ya çekme işlemiyle boru biçiminde ya da şerit sargısının sarılmasıyla sargı biçiminde olur. Yalıtıcı ve koruyu kılıflar:

2.5.1 Yalıtkan kılıf

Yalıtkan kılıf, her bir damar iletkenini saran ve iletkeni ilk yalıtan çekme yalıtıcı kılıftır. Y kablolarda yalıtkan kılıfın üzerine ayrıca şerit sarılmış olabilir. Yalıtkan kılıfın üzerinde yarı iletken siper varsa, şerit sargı da yarı iletken maddeden yapılır. Kablolar yalıtkan kılıfın yapımında kullanılan malzemeye göre isimlendirilir. Örneğin, lastik kablo, PVC kablo, XLPE kablo, vb.

2.5.2 Ortak dolgu ve ortak kılıf

Ortak dolgu, çok damarlı kablolarda damarlar arasındaki boşlukları doldurmak ve damarlar demetine istenen çevre biçimini vermek amacıyla kullanılır. Dolgu olarak pamuk veya yapay yün iplikler, lastik veya termoplastik maddeler kullanılır. Dolgu maddesinin TS 35'e uygun olması gerekmez. Fakat bu madde, kablonun en yüksek işletme sıcaklığına uygun olmalı, kablonun komşu kılıflarını olumsuz etkilememeli, nem çekici olmamalı ve yalıtkan kılıfın zedelenmesine yol açmadan damarların birbirinden kolaylıkla ayrılmasını sağlamalıdır. Ortak dolgu, damar demetini dolgulamak amacıyla kullanıldığından koruyucu kılıf özelliklerini taşımaz. Bu yüzden ortak dolgu F ve N-kablolar için tanımlanır.

Ağır mekanik zorlanmalara dayanıklı bükülgen kablolarda ve ağır işletme koşullarına dayanıklı kablolar olan Y-kablolarda ortak dolgu yerine ortak kılıf kullanılır. Ortak kılıf, ortak dolgu yerine güçlendirilmiş olarak uygulanan yalıtıcı ve koruyucu kılıftır.

2.5.3 İç kılıf

İç kılıf, zırhlı kablolarda ortak kılıftan ayrı olarak zırhın altında yer alan ve zırha yastıklık yapan koruyucu kılıftır. İç kılıf maddesi 20,3/35 kV Y-kabloların dışındaki kablolarda kV1 termoplastik, 20,3/35 kV Y-kablolarda dış kılıf malzemelerinden birisi olmalıdır. İç kılıf maddesi kablonun en yüksek işletme sıcaklığına uygun olmalı, nem çekici olmamalı, kablonun komşu kılıflarını olumsuz etkilememelidir. Ortak kılıfın üzerine iç kılıf özelliklerini taşıyan malzemeden sargı kılıf eklenerek güçlendirilmesiyle de iç kılıf oluşturulabilir.

2.5.4 Ayraç kılıf

Ayraç kılıf, kablonun farklı kılıflarının zararlı etkileşimini önlemek amacıyla bu kılıflar arasında yer alan ince bir çekme koruyucu kılıftır.

2.5.5 Dış kılıf

Dış kılıf kabloyu dış etkilerden koruyan ve kablonun en dışında bulunan çekilmiş koruyucu kılıftır. Dış kılıf, yalıtkan kılıf özelliği taşımaz. Kağıt yalıtkanlı kablolarda dış kılıf çekme olmayan lifli maddeden (jüt = hint keneviri) sarılarak yapılmışsa koruyucu kılıf ismini alır. Dış kılıf düzgün, sert ve kablonun en büyük işletme sıcaklığına uygun olmalı, yapısında kabarıklıklar, yumuklar ve benzer yapım kusurları bulunmamalı, kabloyu iyice sarmalı, fakat altındaki kılıfa yapışmamalıdır [4].

2.6 Metal Kılıflar

2.6.1 Kurşun kılıf

Kurşun kılıf, yalıtıcı ve koruyucu kılıflar nem çekici ise (örneğin, yağ emdirilmiş kağıt) kabloyu nemden, aynı zamanda mekanik ve hafif kimyasal etkilerden korumak amacıyla ortak kılıf üzerine uygulanır.

2.6.2 Alüminyum kılıf

Alüminyum kılıf kurşun kılıftan daha hafif olup, kabloyu mekanik ve hafif kimyasal etkilerden korur.

Alüminyum hafif kimyasal etkilere karşı güvenilirdir. Alüminyum, iletkenliği iyi olduğundan nötrlü topraklı üç fazlı dört iletkenli AA'da nötr iletkeni olarak kullanılabilir. Bunun için alüminyum kılıfın kesiti gerekli nötr iletkeninin kesitine eşit veya daha büyük olmalıdır. Alüminyumun iletkenliğinin iyi olması siper görevi yapmasını da sağlar. Alüminyum mekanik etkilere karşı dayanıklı olduğundan, alüminyum kılıflı kablolarda ayrıca zırh bulunması gerekmez. Alüminyum titreşime karşı da dayanıklı olduğundan, alüminyum kılıflı kablolar köprülerde ve demiryolu geçeklerinde güvenlikle kullanılabilir [4].

Metal kılıfların bakır tabakasıyla kaplanması da mümkündür. Bu durum ile kabloya bir takım özellikler kazandırılır. Bunlar:

- Nem girişinin engellenmesi,
- Toprak ve kısa devre akımlarına karşı iletken bir ekran görevi görmesi,
- 6-8 barlık hidrolik basınçlara karşı dayanabilecek olağan üstü bir zırh olması,
- Kablonun esnekliğini devam ettirebilmesi,
- Kablonun yapısına zarar vermeden yalıtkan genleşmesine izin vermesi şeklinde sıralanabilir [8].

2.7 Elektrostatik Siperler

Siper, işlevi kablo yalıtkanının içindeki elektrik alanını düzgünleştirmek ve sınırlamak olan, her bir damar veya ortak kılıf üzerine uygulanan metal (öncelikle bakır) veya metal olmayan (yarı iletken) malzemeden çekme veya sargı kılıftır. Sipere, her bir damar üzerindeyse bireysel siper, ortak kılıf üzerindeyse ortak siper denir.

2.7.1 Yarı iletken siper

İletken yüzeyinin düzgün olmaması, çıkıntılı noktalarda alan şiddetinin büyümesine ve yalıtkan kılıfın aşırı zorlanmasına yol açar.

Elektrik alanını sınırlamak için yüzey düzgünleştirici olarak, anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda her bir faz iletkeninin (iç) ve ayrıca yalıtkan kılıfın (dış) üzerinde yarı iletken maddeden birer yarı iletken siper bulunur. İç ve dış yarı iletken siper, yarı iletken sargı veya çekme kılıftır.

2.7.2 Metal siper

Metal siper olarak genellikle bakır şerit, yuvarlak ve yassı bakır teller kullanılır. Metal siper, bir damarlı kablolarla bireysel metal siperli kablolarda bakır olmalıdır. Ortak metal siperli çok damarlı kablolarda metal siper galvaniz çelik telden yapılmış

zırh biçiminde de olabilir. Galvanizli çelik telden yapılmış olan metal siper ortak kılıfın üzerine uygulanır.

Anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda metal siper bulunur.

Anma gerilimi 3,5/6 kV olan ve yarı iletken siper bulunmayan kablolarda bakır siper, kablo bir damarlıysa yalıtkan kılıfın, çok damarlıysa ortak kılıfın üzerinde bulunur.

Anma gerilimi 5,5/10 kV'tan daha büyük olan kablolarda, bakır siper her bir damarın ve doğrudan yarı iletken siperin üzerinde bulunur [4].

2.8 Çelik Zırh

Zırh, kabloyu mekanik etkilerden koruyan ortak kılıfın üzerine ve genellikle dış kılıfın altına uygulanan, şerit veya yuvarlak yahut yassı tellerden sarmal sargıdır. Zırh, zırhın altındaki saymal çapı 15 mm ve daha küçük olan kablolarda kesinlikle yuvarlak tellerden yapılmış olmalıdır. Ortak kılıf sargı kılıf değilse, ortak kılıfla zırh arasına iç kılıf uygulanması önerilir.

Zırh sarmal bakır iletkenin veya metal siperin üzerine uygulanmışsa zırhın altında iç kılıf bulunur.

Yassı çelik tel zırh, anma gerilimi 0,6/1 kV'tan büyük olan çok damarlı kablolarda bakır siper yoksa, siper görevi de yapar.

Şeritler galvaniz çelik, alüminyum veya alüminyum alaşımlardan, yuvarlak ve yassı teller ise galvaniz çelik, kurşun kaplı çelik, alüminyum veya alüminyum alaşımlardan yapılır.

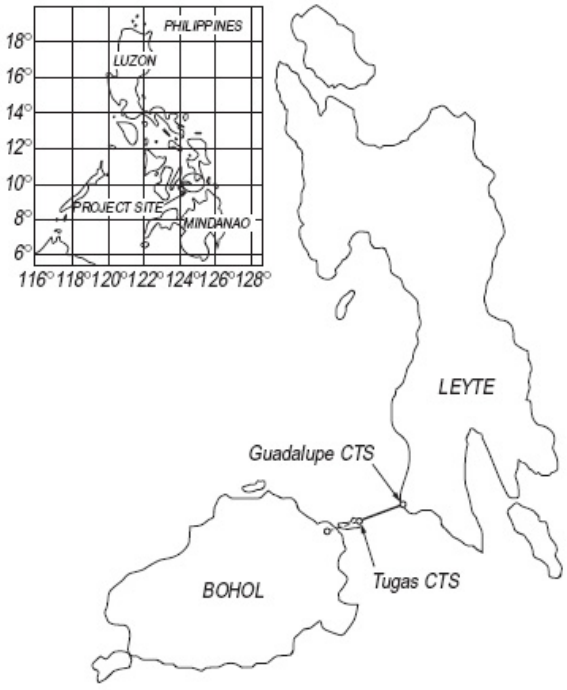
Zırh, özellikle siper görevini de yapıyorsa, kimyasal olarak etkilenmemesi için boşluksuz olmalı ve kuruyup çatlamayan koruyucu bir madde ile kaplanmalıdır [4].

3. UYGULAMALAR

3.1 Filipinlerde Layte - Bohol Arasındaki 138 kV'luk Yağ Soğumalı Denizaltı Kablosu Projesi

3.1.1 Giriş

2000 yılında Filipinlerde Leyte - Bohol projesinin bir parçası olarak Bohol adası yakınlarında, Leyte Lapinig adaları arasında ve Canigao kanalı boyunca 4 iletkenli ve 138 kV'luk yağ soğutmalı kablo sistemi kurulmuştur. Bu proje 18 km'lik fiber optik denizaltı kablosu, 1,2 km'lik 15 kV XLPE denizaltı kablosu, 138 kV ve 69 kV'luk havai hatlar ve trafo sistemlerinden oluşmaktadır. Şekil 3.1, kablo yolunu göstermektedir. Bu projede, Leyte adasında bulunan jeotermal güç santrali tarafından üretilen elektrik gücünün, elektrik güç talebi hızlı bir şekilde yükselen Bohol adasına iletimi amaçlanmaktadır [9].



Şekil 3.1: Proje yeri [9]

Kablolar, titiz bir inceleme ve yol (güzergah) araştırmasının ardından dinamik konumlandırma gemisi kullanılarak ve kıyı tarafında oluşturulan kablo koruması ile optimum kablo yolunda kurulmuşlardır.

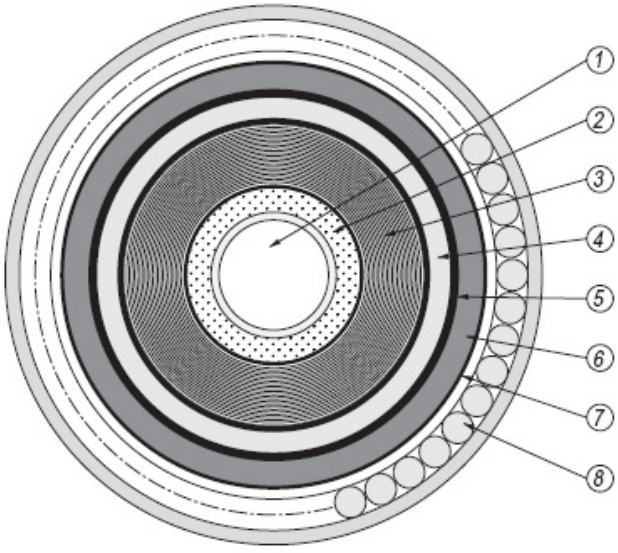
3.1.2 Yol Araştırması

Kablo yolunu belirlemek için deniz tabanını da içine alan detaylı bir yol araştırması yapılmıştır. Bunun için kısa zamanda daha geniş bir alan taraması için, tek huzmeli yankı alıcı yerine çok huzmeli yankı alıcı tercih edilmiştir. Bu yankı alıcı deniz derinliğinin 2 katına kadar varabilen bir deniz tabanı alanının incelemesi yapılabilir. Deniz tabanına ait özelliklerin belirlenmesinin ardından kayalıklı araziler ve mangro ağaçlarından mümkün olduğunca uzak kalınarak izin verilen kablo koridoru için optimum kablo yolları belirlenmiştir.

Maksimum deniz derinliği yaklaşık 60 metredir ve gelgit akıntı hızı ise en fazla 2 nattır. Kablo yolu üzerindeki mevcut fiber optik denizaltı kablosunu tespit etmek için gemiye asılı bir şekilde duran denizaltı kamera sistemi kullanılmıştır [9].

3.1.3 Kablo ve Aksesuarları

Şekil 3.2'de görülen 138 kV'luk yağ soğumalı denizaltı kablosu aşağıdaki sistem parametrelerini sağlamak için tasarlanmıştır:



Şekil 3.2: 138 kV 1x300 mm^2 yağ soğumalı denizaltı kablosu [9]

Bu denizaltı kablosunun kısımları ve boyutları Tablo 3.1'de gösterilmiştir:

Tablo 3.1. Denizaltı kablosunun tabakaları ve boyutları

1 Yağ kanalı	iç çap	21 mm
2 İletken	Boyut	Bir iletken 300 mm^2
	Şekil	Örgülü, içi boş
3 Yalıtkan	Malzeme	Yalıtkan kağıt bant
	Kalınlık	Yaklaşık 12.83 mm
4 Metal kılıf	Malzeme	Bakır tellür kurşun alaşım
	Kalınlık	Yaklaşık 3.5 mm
5 Kuvvetlendirme	Malzeme	Paslanmaz çelik bant
	Kalınlık	Ortalama 0.15 x 2
6 Korozyon önleyici kılıf	Malzeme	Preslenmiş polietilen
	Kalınlık	Ortalama 5.0 mm
7 Gemi kurdu önleyici koruma	Malzeme	Pirinç bant
	Kalınlık	Ortalama 0.1 mm x 2
8 Çelik zırh	6.05 mm x 1 tabaka	
Kablo dış çapı	Yaklaşık 104 mm	
Kablo ağırlığı	Yaklaşık 28 kg/m	

(1) Anma gerilimi 138 kV

(2) Darbe dayanım gerilimi 650 kV

(3) İletim kapasitesi %80 güç faktöründe 85 MW

(4) Kısa devre akımı 3 s. için maksimum 21 kA

Denizaltı kabloları, Hitachi kablo Ltd'nin Minato çalışmalarında fabrika ekleri olmaksızın kesintisiz yaklaşık 18 km'lik bir uzunlukta üretilmiştir. Deney

aşamalarından sonra tamamlanmış kablolar özel bir limanda kiralanan bir taşıma gemisine yüklenmişlerdir.

Isıl genleşme sonucunda yağ hacminde meydana gelen büyük değişimleri önlemek için, körük tipi yağ basınç tankları tercih edilmiştir. Kurulum esnasında uygun erişim yollarının bulunmadığı durumlarda var olan büyük aksesuar parçalarının (yağ basınç tankları ve porselen izolatörler gibi) dağıtımı için, kablonun indirilme işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla kıyıya yakın yerlerden açık denizlere kadar bir indirme gemisi kullanılmıştır [9].

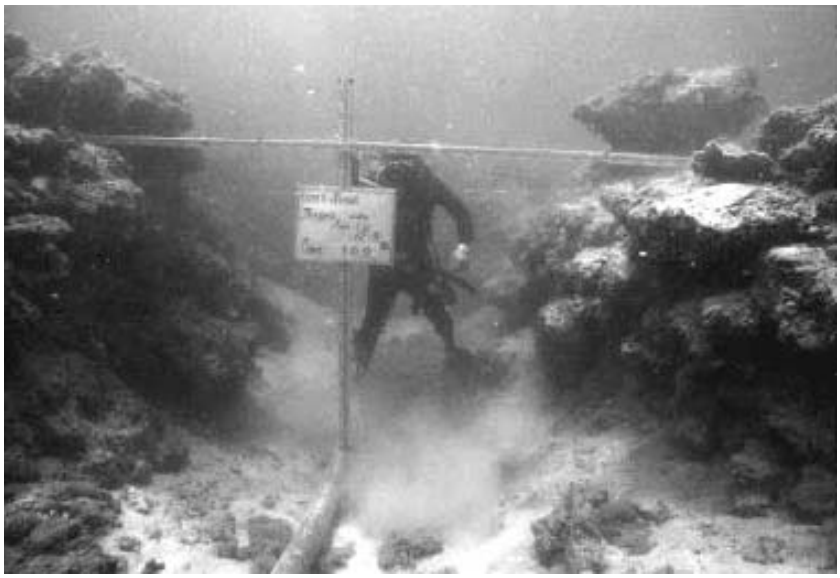
3.1.4 Kurulum

3.1.4.1 Kıyıda çukur açma ve koruma

Denizaltı kabloları, balıkçılık faaliyetlerinden etkilenmemesi için derinliğin 10 metreye kadar olduğu yerlerde deniz tabanının 1,5 m altına gömülmüştür ve 10 m ile 20 m arasındaki derinliklerde dökme demir borular tarafından korunmuşlardır. Şekil 3.3'de gösterilen kepçe, derinliğin 10 metreye kadar olduğu yerlerde çukur açmak ve şekil 3.4'te gösterilen kablo yolu üzerindeki kaya yataklarını parçalamak amacıyla kullanılmıştır. Kıyıya yakın yerlerde kepçe yardımıyla yapılan çukur kazma işlemi ancak 5 metrelik bir derinliğe kadar gerçekleştirilebildiğinden dolayı taraklı bir kepçe, vinçli bir taşıma gemisi yardımıyla Japonya'da yüklenerek Filipinlere getirilmiştir. Ayrıca sert kaya yataklarını parçalamak için dev bir kırıcı ve parçalayıcı, bu taraklı kepçenin ilave koluna tutturulmuştur [9].



Şekil 3.3: Kepçe kazıcı [9]



Şekil 3.4: Kablo kanalın kayalıklı bölgedeki görünümü [9]

3.1.4.2 Kablo Döşeme

Kablo döşeme işleminin, en sakin deniz ve hava koşullarının beklendiği mart, nisan ve mayıs aylarında yapılması programlanmıştır.

Şekil 3.5'de görülen "Miss Marie" adında dinamik konumlandırıcıya sahip bir gemi kiralanmıştır. Singapur'da kablo döşemek için gerekli aletlerle (kablo kulesi, kablo merdiveni, kablo kesici aleti, vinçler, kontrol odası vs.) donatılan bu gemi yerini, demir atmadan ve planlanan yol boyunca ilerleyerek koruyabilir.



Şekil 3.5: Döşeme gemisi [9]

Dört tane 138 kV'luk yağ soğumalı denizaltı kablosu ve birer tane fiber optik ve 15 kV'luk XLPE denizaltı kablosu bir kargo gemisi ve döner bir makara sistemi yardımıyla kablo döşeme gemisinin bulunduğu yere getirilmiştir (şekil 3.6).



Şekil 3.6: Kablonun kargo gemisinden döşeme gemisine aktarımı [9]

Denemelerin ardından kablo döşeme işlemine uzun ve sığ bir kıyıya sahip olan Leyte tarafından başlanmıştır. Döşeme gemisi yaklaşık 8 metrelik derinlikte durmuştur ve henüz güvertede olan denizaltı kablosu dubaların tutturulmasının ardından denize salıverilmiştir. Kablonun karaya çıkış noktasındaki sığ bir bölgede bir kıvrım oluşturulmuştur (mangro bölgesini korumak için). Bundan dolayı, kablonun baş taraftan çekilmesi dışında, yüzen denizaltı kablosu yol boyunca bir vinç yardımıyla tel iplerle tutturulmuş ve ucundan bağlanarak çekilmiştir (şekil 3.7).



Şekil 3.7: Çekerek bağlama [9]

Karaya çıkma işleminin ardından, yol bilgilerine sahip olan döşeme gemisi DP sistemini kullanarak planlanan kablo yolu boyunca ilerlemiştir. Kablo döşeme işlemi esnasında, geminin konumu, hızı, kablo döşeme açısı ve kablo uzunluğu gibi bilgiler kontrol odasında tespit edilmiştir ve özellikle gelişmiş yazılım kullanılarak gerçek zamanda dijital olarak kaydedilmiştir.

Döşeme gemisi Bohol tarafına geçtikten sonra denizaltı kablosu uygun uzunlukta kesilmiş ve henüz gemi güvertesi üzerindeyken yüzen şamandıralarla tutturulmuş ve sonrasında denize bırakılmıştır. Kablo bitimi vinç yardımıyla karaya çekilmiş ve döşeme işlemi başarıyla sonlandırılmıştır (şekil 3.8).



Şekil 3.8: Kabloyu karaya çıkarma işlemi [9]

3.1.5 Sonuç

Dört adet 138 kV'luk yağ soğumalı denizaltı güç kablosu üretilmiş ve Leyte ve Bohol adaları arasındaki planlanan yol boyunca kurulmuştur [9].

3.2 Anadolu Yakası - Adalar Arasındaki Denizaltı Kabloları

İstanbul Anadolu yakası ve Adalar arasındaki denizaltı kabloları şu noktalar arasında gerçekleştirilmektedir:

Bostancı – Kınalıada,

Küçükyalı – Burgazada,

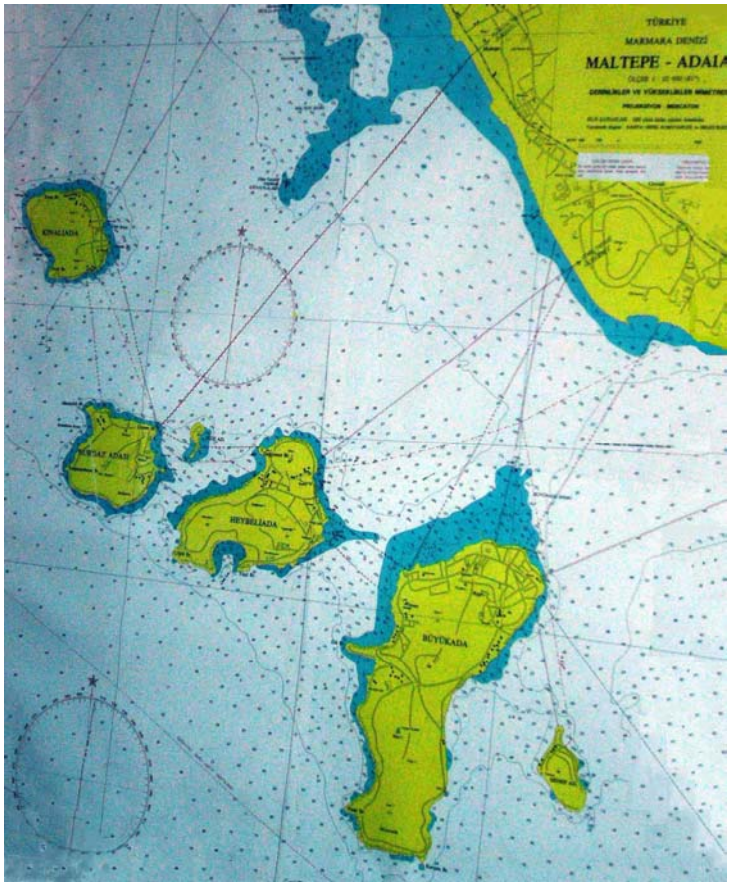
Dragos – Heybeliada,

Dragos – Büyükada,

Kartal – Büyükada.

Ayrıca her bir ada da kendi arasında ring bağlantı sistemi ile birbirine bağlıdır. Bundan dolayı, oluşabilecek elektrik arızalarında elektrik kesintisi meydana gelmemekte ve ihtiyaç duyulan elektrik başka adalar yoluyla temin edilebilmektedir.

Anadolu yakası - Adalar denizaltı kablolarının iletken kesiti 3x120 mm^2 olup, iletken malzemesi olarak Cu (bakır) ve yalıtkan malzemesi olarak ta XLPE (çapraz bağlı polietilen) kullanılmıştır. Bu denizaltı kabloları 10,5 kV anma gerilimine sahiptir ve ilettiği güç 6 MVA'dır. Ayrıca bu kablolar 300 A'lik akım taşıma kapasitesine sahiptir [10]. Şekil 3.9'daki haritada kırmızı çizgiler, İstanbul Anadolu yakası - Adalar arası denizaltı kablo bağlantılarını göstermektedir [11].



Şekil 3.9: İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kablo bağlantıları [11]

Her bir denizaltı kablosunun uzunluğu Tablo 3.2'de verilmiştir [12].

Tablo 3.2. İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kablo uzunlukları

Bostancı – Kınalıada	5908 m
Küçükyalı – Burgazada	7000 m
Dragos – Heybeliada	4667 m
Dragos – Büyükada	4446 m
Kartal – Büyükada	3987 m

Anadolu yakası - Adalar denizaltı kablolarında arıza tespit ve onarım süreci ihale usulüyle yapılmaktadır. İhaleyi kazanan firma kablo döşeme gemisi, uygun donanım ve çalışan personeliyle arızalı kabloyu onarmaktadır. Arıza yeri bulmada hat başından veya sonundan darbe gerilimi uygulanır. Darbe gerilimi açık devreden genliği iki katına çıkmış olarak, kısa devreden de akım genliği 2 katına çıkmış olarak döner. Bu iki durum arasında bir işaret geri dönerse dirençli bir arıza var demektir. Uzun mesafelerde kablo ekleri kullanıldığından herhangi bir arıza durumunda öncelikle bu ek yerlerinde bir arıza olup olmadığına bakılır [12].

İstanbul Anadolu yakası - Adalar denizaltı kablo uzunlukları dikkate alındığında bu bağlantıların tek bir kabloyla gerçekleştirilmesi düşünülemez. Bundan dolayı bu kablolar, belirli aralıklarla sıralanan kablo ekleriyle birbirlerine bağlanmışlardır. Anadolu yakası - Adalar denizaltı kablolarında meydana gelen arızaların çok önemli bir kısmı kablo eklerinde meydana gelmektedir. Kablo eklerine su girişi, iletkenle temas ederek denizle kısa devrenin oluşmasına neden olmaktadır [10]. Şekil 3.10'da Anadolu yakası - Adalar arasında Ağustos 2005'te meydana gelen bir arıza sonrasında zarar görmüş bir ek yerinin su üzerine çıkarılması görülmektedir [13].



Şekil 3.10: Kablo ekinin deniz üzerine çıkarılması

Bu hasar görmüş ek yeri yavaşça ve uygun donanım ve işçiler yardımıyla gemi güvertesine çekilmektedir. Şekil 3.11'de bununla ilgili bir resim gösterilmiştir [13].



Şekil 3.11: Uygun donanım ve işçiler yardımıyla denizaltı kablosunun gemi güvertesine çekilmesi

Gemiye çekilen kablo eki aldığı hasar sonucunda Şekil 3.12'deki duruma gelmiştir. Kablo eki zaman içerisinde aşınmış ve kablo ekinden sızan su, iletkenle temas ederek kablonun hasar görmesine neden olmuştur [13].



Şekil 3.12: Gemi güvertesine çekilmiş kablo ekinin son durumu

Kablo deniz üzerine çıkarılırken ek kısmı kablonun her iki tarafından da kesilir. Şekil 3.13'te ek yerinden kurtarılmış ve uçları açılmış kablo parçaları görülmektedir [13].



Şekil 3.13: Kablo iletkenlerinin ek yeri çıkarıldıktan sonraki durumu

Daha sonra bu hazırlanan kısımlar yeniden karşılıklı olarak birbirlerine bağlanır. Şekil 3.14'te görülen gerekli sıkıştırma işlemlerinin ardından kablo parçaları yeni bir ekle birleştirilmek için hazır duruma gelmiştir [13].



Şekil 3.14: Gerekli sıkıştırılma işlemleri sonrası kablonun durumu

Bu işlemin ardından bu ek kısmı bir PVC boru içerisine alınır ve bu boru protolin isimli yalıtkan bir dolgu maddesiyle doldurulur. Bu madde yardımıyla PVC boru içerisinde istenen yalıtım ve su sızdırmazlık durumu sağlanmış olur. Şekil 3.15'te protolin maddesinin PVC boru içine dökülme aşaması görülmektedir [13].



Şekil 3.15: Protolin malzemesinin PVC boru içine dökülmesi

Bu aşamadan sonra ise PVC boru, paslanmaz çelik bir borunun içine alınmaktadır. Ardından mevcut korumayı daha da arttırabilmek için çelik borunun içine eritilmiş halde zift doldurulmaktadır. Şekil 3.16'da ise paslanmaz çelik borunun zift ile doldurulması gösterilmektedir [13].



Şekil 3.16: Paslanmaz çelik borunun ziftle doldurulması

Zift doldurma işlemi tamamlandıktan sonra onarılan kablo hemen denize indirilmez ve ziftin donması beklenir. Şekil 3.17'de bu aşamadaki kablo eki gösterilmiştir [13].



Şekil 3.17: Ziftin donması için gemi güvertesinde bekletilen kablo eki

Ziftin donmasının ardından da kablo hemen denize indirilmez. Kablo henüz gemi güvertesindeyken kabloya enerji uygulanır ve kabloda herhangi bir sorun olup olmadığı kontrol edilir ve bütün bu işlemlerin arkasından kablo bir gün deniz üzerinde kaldıktan sonra tekrar denize indirilir. Şekil 3.18'de bu aşamayla ilgili resme yer verilmiştir [13].



Şekil 3.18: Kablo ekinin arıza onarımından sonra denize indirilmesi

İstanbul Anadolu yakası - Adalar denizaltı kablolarında meydana gelen insan kaynaklı bir başka arıza çeşidi de sürüklenen gemi çapaları ve balıkçılık faaliyetleri sonucunda oluşan arızalardır. Bu tür arızalar genellikle lodoslu havalarda mevcut uyarı levhalarına rağmen koylara sığınarak demirleyen gemilerden kaynaklanmaktadır. Kablolara uygulanan bu mekanik darbeler her zaman kabloyu koparmaya veya arıza durumu meydana getirmeye yetmez. Ancak zaman içerisinde oluşan aşınmalar sonucunda koruyucu kılıf ve yalıtım malzemesi delinir ve iletken suyla temas ederek patlamalara neden olur ve arıza durumu ortaya çıkar [12].

4. İSTANBUL ANADOLU YAKASI - ADALAR ARASINDAKİ 5.8/10 kV'LUK DENİZALTI KABLOSUNUN ISIL VE ELEKTROSTATİK ANALİZİ

Isıl ve elektrostatik analizi yapılacak olan kablo, İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasında döşenmiş olan 5.8/10 kV anma gerilime sahip, 3 damarlı, 300 A akım taşıma kapasitesine sahip ve çapraz bağlı polietilen (XLPE) yalıtkanlı bir OG denizaltı kablosudur. Analizi yapılacak olan kablonun tabakaları ve kullanılan malzemeler içerden dışarıya doğru Tablo 4.1'de gösterilmiştir:

Tablo 4.1: İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki 5.8/10 kV'luk kablonun içeriden dışarıya doğru tabaka ve malzemeleri

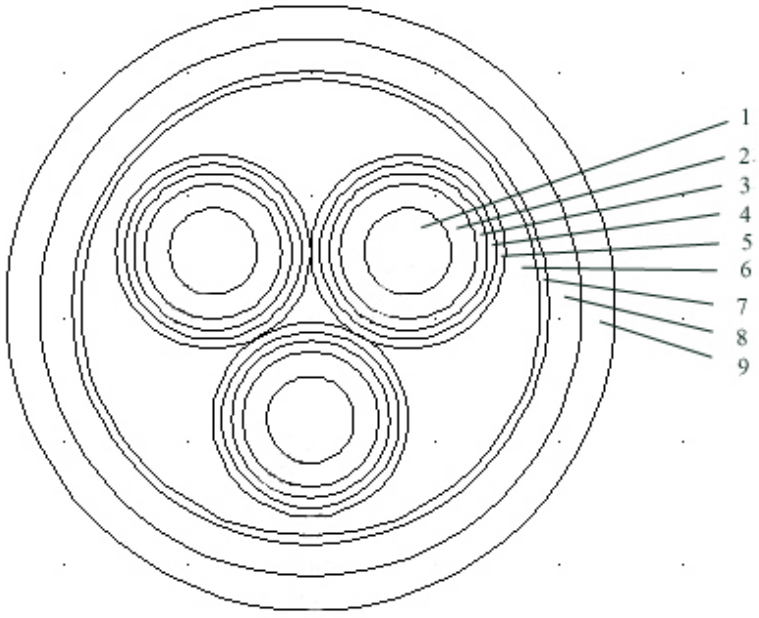
Kablo tabakaları	Kablo malzemeleri
1 İletken	Bakır
2 Ana yalıtkan	Çapraz bağlı polietilen (XLPE)
3 Siper	Bakır
4 Ekran	Bakır
5 Damar dış kılıfı	PVC
6 Dolgu	PVC
7 İç kılıf	PVC
8 Ortak zırh	Çelik
9 Dış kılıf	PVC

Bu denizaltı kablosu ile ilgili teknik veriler ise Tablo 4.2'de verilmiştir:

Tablo 4.2: Analizi yapılacak denizaltı kablosu için teknik veriler

Akım taşıma kapasitesi [A]	300
Damar sayısı	3
İletken çapı [mm]	14
İletkenler arası açıklık [mm]	31.5
Ana yalıtkan çapı [mm]	22
Siper çapı [mm]	26
Ekran çapı [mm]	28.5
Damar dış kılıf çapı [mm]	31.5
Dolgu çapı [mm]	74.2
İç kılıf çapı [mm]	77
Ortak zırh çapı [mm]	87.5
Dış kılıf çapı [mm]	98.3

Yukarıda belirtilen tabaka ve malzemelerden oluşan denizaltı kablosunun enine kesit şekli ve Tablo 4.1'de kullanılan numaraların karşılıkları olan yerler Şekil 4.1'de gösterilmiştir:



Şekil 4.1: İncelenen 5,8/10 kV'luk denizaltı kablosunun enine kesiti ve kısımları

Denizaltı kablolarının ısıl analizi, diğer kablolarda olduğu gibi oluşabilecek ısıl zorlanmanın dağılımı ve büyüklüğü hakkında, elektrostatik analiz ise kablodaki elektriksel zorlanmalar, alan ve potansiyel dağılımı ve bunların maksimum ve minimum değerleri hakkında bilgiler verir. Ancak ikisi de tek başına yeterli değildir. Örnek olarak elektriksel direnç sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Dirençteki artışla birlikte akımda azalma gözlenir. Akımın azalması sıcaklığın azalmasına neden olur. Sıcaklıktaki bu düşüşle birlikte direnç azalır ve dolayısıyla akım artar. Elektrostatik ve ısıl analiz tek başlarına yapıldığında bu değişimler hesaba katılmazlar.

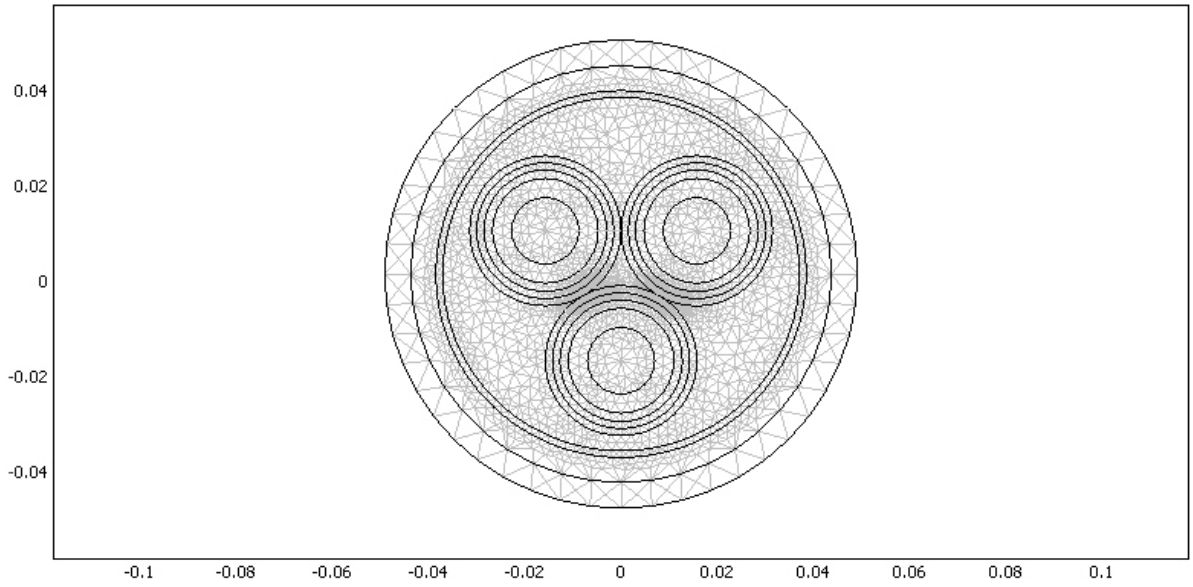
Bunun yanında kablonun ısınmasına neden olan kayıplar da sıcaklıkla değişir. Örnek olarak dielektrik kayıp ifadesindeki kapasite, kayıp açısı ve dielektrik katsayısı sıcaklıkla değişim gösterir. Sadece ısıl analiz yapıldığında, kayıpların her sıcaklık değeri için aynı olduğu kabul edilmiş olur.

Sonuç olarak, bütün bu değişimler hesaba katıldığından dolayı yapılacak çoklu fiziksel analiz ile kablo üzerindeki ısıl ve elektrostatik zorlanmalar hakkında daha doğru bilgi sahibi oluruz.

5.8/10 kV'luk denizaltı kablosunun ısıl ve elektrostatik analizinin gerçekleştirilebilmesi için çoklu fiziksel analizi yapılacaktır. Öncelikle elimizde bulunan kablo bilgileriyle denizaltı kablosunun ısıl analizini gerçekleştirmek için sonlu elemanlar yönteminden yararlanılacaktır.

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Elektrik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi, elektrik veya manyetik alanı incelenecek bölge içindeki enerjinin en küçük değere indirgenmesi (minimumlaştırılması) ilkesine dayanır. Sonlu elemanlar yönteminde de diğer sayısal yöntemlerde olduğu gibi bir sistemin sonlu sayıdaki bilinmeyen büyüklüğünün sistemin bilinen büyüklükleri cinsinden bulunması yolu izlenir [14].

Şekil 4.2'de İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki 5.8/10 kV gerilim uygulanan denizaltı kablosunun sonlu elemanlar yöntemi çözüm ağı görülmektedir:



Şekil 4.2: Denizaltı kablosunun sonlu elemanlar yöntemi çözüm ağı

Denizaltı kablosunun içinde bulunduğu deniz suyu, sıcaklığı bağlı olarak farklı ısıl iletkenlikler gösterir. Tablo 4.3'de 0^oC'den başlanarak 5'er derecelik artımlarla 20^oC'ye kadarki sıcaklıklar için deniz suyunun ısıl iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu tabloya göre deniz suyunun 0^oC sıcaklığındaki ısıl direnci 0.563 $Wm^{-1}K^{-1}$ iken 20^oC'de bu değer 0.596 $Wm^{-1}K^{-1}$'e ulaşmaktadır. Buradan görüldüğü gibi deniz suyunun sıcaklığı arttıkça ısıl iletkenliği de artmaktadır.

Tablo 4.3: Deniz suyunun sıcaklık - ısıl iletkenlik ilişkisi

Deniz suyunun sıcaklığı (^oC)	Deniz suyunun ısıl iletkenliği ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)
0	0.563
5	0.571
10	0.58
15	0.589
20	0.596

Ayrıca İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki kablo koridorundan deniz suyu numunesi alınarak bu numunenin 8.2^{o}C'den başlanarak 23^{o}C'ye kadarki sıcaklıklarda periyodik olarak elektriksel iletkenlikleri ölçülmüştür. Bu ölçümde modeli Cdm 2d olan ve 1.5 µS - 500 mS (miliSiemens) arasında ölçme kapasitesine sahip ve ölçümlerin 50 mS kademesinde yapıldığı elektriksel iletkenlik ölçü aleti kullanılmıştır.

Bu ölçümden elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Deniz suyunun sıcaklık - elektriksel iletkenlik ilişkisi

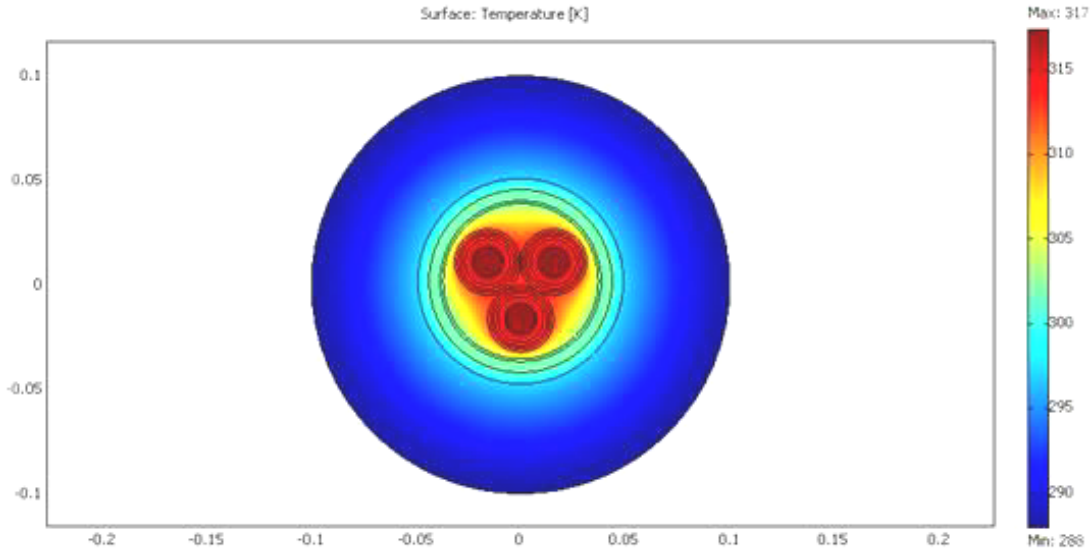
Deniz suyu sıcaklığı (^{o}C)	Deniz suyunun elektriksel iletkenliği (mS/m^{-1})
8.2	20
9	20.5
10	21
11	21.5
12	22
13	22.8
14	23.5
15	24.2
16	25
17	25.8
18	26.5
19	27.2
20	27.7
21	28.2
22	28.7
23	29.2

Tablo 4.4'deki değerlerden anlaşılacağı gibi deniz suyunun sıcaklığı arttıkça elektriksel iletkenliği de artmaktadır. Şekil 4.3'de bu ölçümün yapılması sırasında çekilen bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 4.3: Deniz suyunun elektriksel iletkenliğinin ölçülmesi

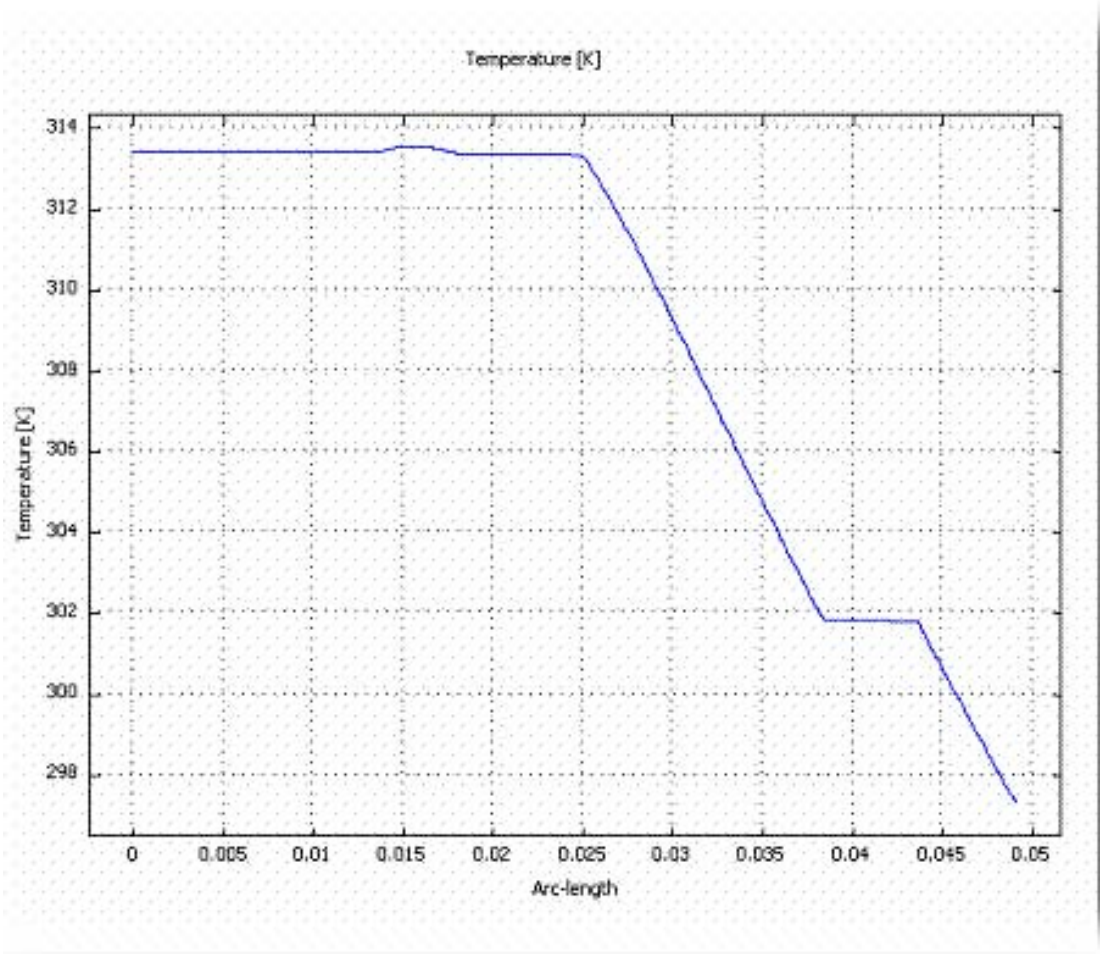
Deniz suyunun elimizde bulunan 0 - 20^{o}C'deki ısıl iletkenlik değerleri ile bilinen kablo malzemeleri ve boyutları sonucunda bu denizaltı kablosunun ısıl analizi, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla yapılmıştır. Şekil 4.3'de kablonun 15^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki ısıl analizi görülmektedir:



Şekil 4.4: Kablonun 15^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı

Bu analizde denizaltı kablosunun, kendisini çepeçevre kuşatan 10 cm kalınlığında bir su kütlesinin içindeki ısıl analizi gerçekleştirilmiştir. Kablo dışında seçilen 10 cm deniz suyu kalınlığı sıcaklığın değişmemesi bakımından yeterli bulunmuştur. Isıl analizin yapılmasında deniz suyunun 10 cm'lik sınır bölgesindeki sıcaklığının 15^{o}C olduğu kabul edilmiştir. Anadolu yakası - Adalar arasında döşenmiş olan bu denizaltı kablonun akım taşıma kapasitesi 300 A'dir. Mevcut deniz sıcaklığı ve taşınan akım kapasitesi değeriyle kablonun en sıcak yerini oluşturan iletkenin sıcaklığı 317^{o}K veya 44^{o}C ve iletkenin dışında yer alan XLPE (çapraz bağlı polietilen) ana yalıtkan tabakasının sıcaklığı ise 302 - 317^{o}K veya 29 - 44^{o}C olarak saptanmıştır. İletkenin bu sıcaklık değeri XLPE maddesi için bir tehlike oluşturmamaktadır.

Kablonun ekseninden en dış tabakasına kadar olan kısmının sıcaklık dağılımı Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

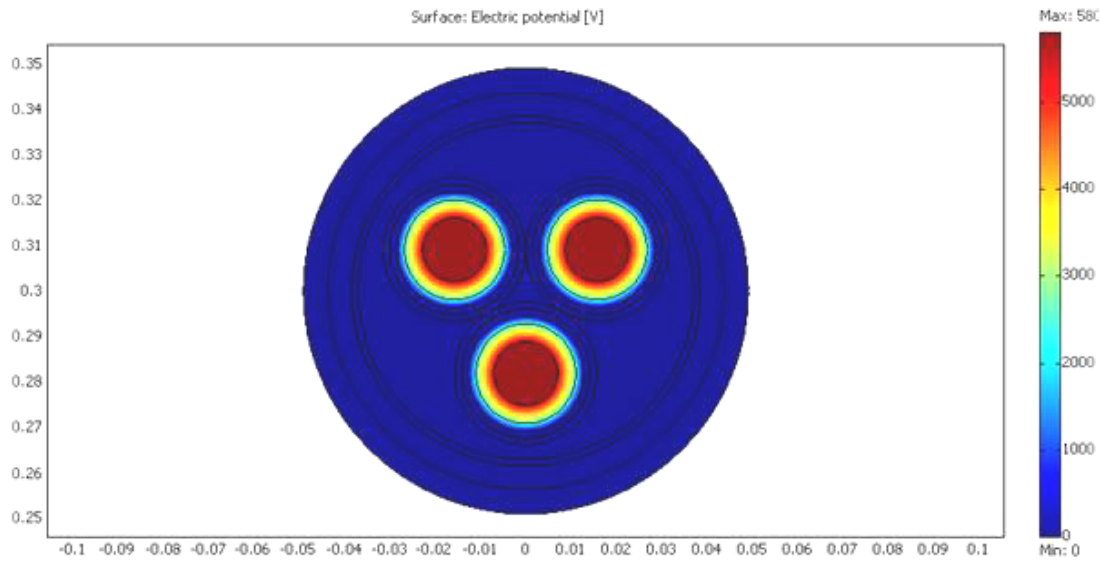


Şekil 4.5: Kablo ekseninden dışına sıcaklık dağılımının grafik gösterimi

Şekil 4.4'den görüldüğü gibi sıcaklık kablonun ekseninden en dış tabakaya kadar olan sıcaklık ilerleyişi yaklaşık 313^{o}K seviyesinden başlamıştır. Sıcaklık iletken yakınına geldiğinde bir dalgalanma göstermektedir.

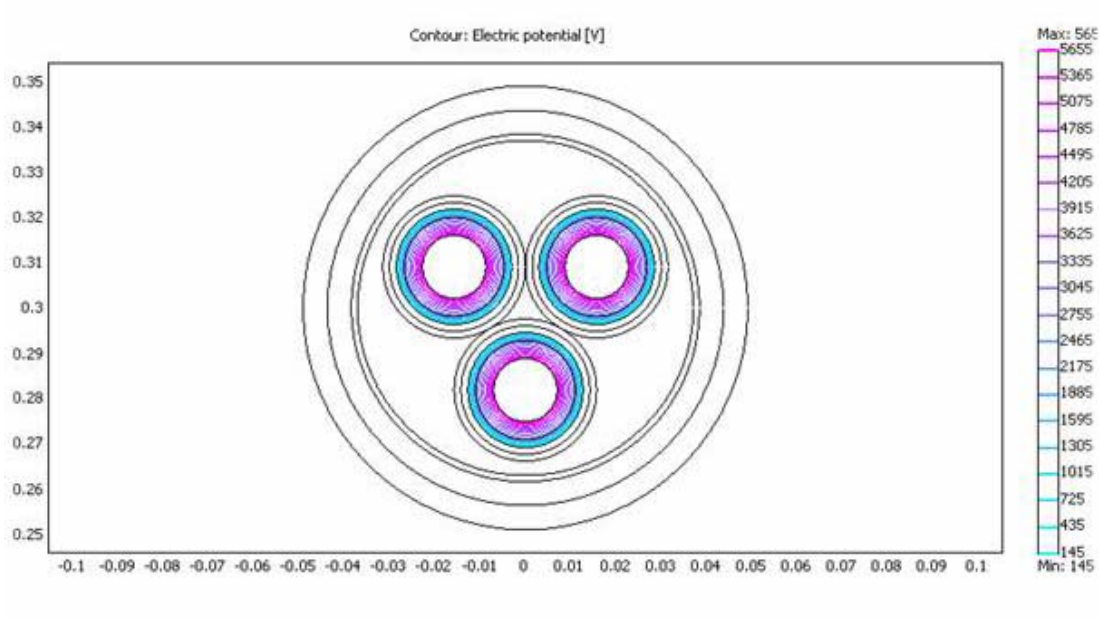
Elde edilen sonuçlar çerçevesinde Anadolu yakası - Adalar arasındaki kurulu denizaltı kablo sisteminde uygun yalıtkan malzemeler kullanılmıştır.

Ayrıca kablo iletkenini 5800 V ve bakır siperi de 0 V kabul ederek, arasında kalan bölge için bir elektrostatik analiz yapılmıştır. Analiz sonucu bulunan potansiyel dağılımı Şekil 4.5'de gösterilmektedir:



Şekil 4.6: 5,8/10 kV'luk denizaltı kablosunda potansiyel dağılımı

5.8/10 kV gerilim uygulanan denizaltı kablosunun eş potansiyel çizgileri ise Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir:



Şekil 4.7: 5.8/10 kV gerilim uygulanan denizaltı kablosunun eş potansiyel çizgileri

5. DENİZALTI GÜÇ KABLO SİSTEMLERİNİN PLANLANMASI, TASARIMI, KURULUMU VE ONARIMI İÇİN IEEE REHBERİ

5.1 Özet

5.1.1 Konu

Bu rehber, denizaltı güç kabloları sistemlerinin planlanması, tasarımı, izni, kurulumu ve hizmete sokulması ile ilgili bilgiler vermektedir. Ayrıca hem güç hem de haberleşme kablolarıyla ilgili ortak uygulamalarda, denizlerden, göllerden ve nehirlerden geçen güç kabloları üzerinde odaklanılmaktadır.

5.1.2 Amaç

Bu rehberin başlıca amacı, gelişen bilgi düzeyi çerçevesinde mühendislere yardımcı olmak ve denizaltı kablo sistemleriyle çalışılırken bir takım önemli konuların gözden kaçırılmamasını sağlamaktır.

5.1.3 Önsöz

Denizaltı kabloları sıra dışı ortamlarda özel kurulum teknikleri kullanılarak döşenirler. Nadiren karşılaşılabilecek bir takım durumlar şöyle sıralanabilir:

- Deniz ve kara geçişini de içine alan çevre koşullarındaki çeşitlilik,
- Jeofizik bilgileri toplamadaki zorluklar,
- Kablonun döşenmesindeki ve sökülmesindeki zorluklar,
- Döşeme ve onarım sürecinde durumu zorlaştırıcı deniz koşulları,
- Normal koşullarda kara kablolarını tehdit etmeyen insan faaliyetleri.

Denizaltı kabloları, bütün bu sınırlayıcı durumlara rağmen 1890'lı yıllardan beri endüstriye hizmet etmektedir. Onlar bu hizmetlerini, bazen enerji ve haberleşmeyi kesintisiz bir yol üzerinden dağıtmak suretiyle daha güvenli ve üstün nitelikli sistem kazançları sağlayarak, bazen de diğer seçeneklerden daha düşük maliyetler sunarak gerçekleştirmektedir.

Bu rehber, bir denizaltı projesindeki önemli olayları içeren bir takım maddelere ayrılmıştır. Bu önemli olaylar genellikle sıralı değildir. Örneğin kablo yolunun belirlenmesinde öncelikle bununla ilgili bilgiler toplanmalıdır. Ancak bir araştırma yapılmadan önce olası kablo yollarının ön görülmüş olması gerekir.

5.2 Kablo Yolunun Seçimi

Olası kablo yolları belirlenirken bir takım etkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu etkenlerin çoğu, kurulmak istenen kablo sisteminin maliyetini, kurulabilirliğini, güvenilirliğini ve onarılabilirliğini etkiler. Bu etkenler, güç sistemine elektriksel yararları göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

5.2.1 Doğal deniz koşulları

Aşağıda olası kablo yolunun belirlenmesini etkileyebilecek doğal deniz koşulları listelenmiştir. Bu koşulların bir kısmı kablo yolu boyunca önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Öyle ki bir nokta için yapılan araştırma bütün bir hat boyunca geçerli olmayabilir.

5.2.1.1 Deniz derinliği

Deniz derinliği arttıkça kablo döşemede oluşacak mekanik gerilmeler de artacaktır. Bu da kablonun tasarım ve kurulum yöntemlerini etkileyebilir. Yol araştırmaları daha bile zor olabilir.

5.2.1.2 Kaya ve yükseltiler

Bir kablonun sivri bir nesnenin üzerine döşenmesi kablonun hasar görmesine neden olabilir. Kablo, deniz tabanında iki nokta arasında asılı kaldığı yerde meydana gelen girdap hareketleri nedeniyle de yorulabilir. Kablonun deniz tabanına temas ettiği yer,

özellikle sert bir zemin yapısına sahipse zaman içerisinde kablonun aşınması da söz konusu olur.

5.2.1.3 Gelgit, akıntı ve deniz kıyısındaki dalga hareketleri

Akıntılar kablonun aşınmasına neden olabilecek çamur veya çakıl taşlarını sürükleyebilir. Güçlü gelgit akıntıları ise deniz tabanında ileri geri yönde güç uygulayarak kabloya zarar verebilir.

5.2.1.4 Deniz tabanındaki değişimler

Deniz kablosunun altında yer alan toprak tabakası zaman içerisinde sürüklenerek kablonun asılı halde kalmasına neden olabilir. Bu da kabloyu yüksek bir mekanik gerilmeye maruz bırakabilir. Diğer taraftan kablo deniz tabanının çok derinine de gömülebilir. Ancak bu yöntem, kablonun akım taşıma kapasitesini azaltacak ve herhangi bir arıza anında onarım işlemini zorlaştıracak bir durum oluşturur.

5.2.1.5 Toprağın yapısal kararlılığı

Toprağın birleşimi ve yoğunluğu, kablo çukurunun biçimsel kararlılığını etkileyen bir faktördür. Ayrıca iri kaya parçaları, kaya çıkıntıları ve kayalıkların varlığı, çukur kazma, yol açma ve basınçla toprağın hareket ettirilmesi işlemlerini engelleyebilir.

5.2.1.6 Deniz eğiminin kararlılığı

Denizaltında meydana gelen toprak kaymaları denizaltı kablosuna zarar verebilir.

5.2.1.7 Buz dağları ve buz kütleleri

Rüzgar, nehir akıntıları veya gelgitler sonucu hareket eden buz dağları toprağı aşındırarak sürükleyebilir. Bu da kablonun hasar görmesine yol açar. Ayrıca gelgit alanı içinde kıyıya doğru hareket eden buz dağları kabloları ezerek hasar görmelerine neden olurlar.

5.2.1.8 Toprağın ısıl özellikleri

Deniz tabanı ile ilgili ısıl özellikler kablo tasarımını, iletken boyutu ve işletme sıcaklığı bakımından etkiler. Volkanik küller veya petrol kirlenmesi gibi yüksek

miktarda organik madde içeren çöküntüler yüksek ısıl özdirence sahiptir. Kablolar yumuşak çamura basınçlı su ile yol açılarak gömülürse, çöküntünün birleşimi ısıl özellikleri değiştirilebilir.

5.2.1.9 Kimyasal etkinlik (korozyon)

Bazı toprak tabakalarının aşındırıcı özellikleri veya gaz yayılımları kabloyu etkileyebilir.

5.2.1.10 Deniz tabanı altındaki maddeler

Deniz tabanının altındaki yapı deniz tabanından bütünüyle farklı olabilir. Deniz tabanının hemen altında yer alan ve dışarıdan görülmeyen kaya çıkıntıları kablo için tehlike oluşturabilir.

5.2.1.11 Çok yumuşak toprak tabakaları

Şayet deniz tabanı çok yumuşak ise kablolar döşendikten sonra tabanın içine doğru batmaya başlarlar. Bu da onların gömülmesiyle oluşan mekanik gerilim nedeniyle aşırı yüklenmelerine neden olur. Kablonun aşırı gömülmesi aynı zamanda dış sıcaklık direncini ve dolayısıyla da iletkenin işletme sıcaklığını arttırır.

5.2.1.12 Delici deniz canlıları

Denizlerde yaşayan bazı canlılar, kablo yüzeyinde oyuklar açarak kabloya zarar verebilir.

5.2.1.13 Fırtına hareketleri

Fırtınaların oluşturduğu dalga hareketleri, kıyıdan toprağın çekilmesine (erozyon) veya kıyıya toprağın dolmasına neden olabilir.

5.2.2 İnsan kaynaklı engeller

Kullanılması düşünülen bir denizaltı kablosu koridorunda aşağıda belirtilen insan kaynaklı engellerle karşılaşılabilir:

- Diğer güç, haberleşme, denizaltı kabloları ve petrol boru hatları. Aynı kablo içerisinde ek tesisat projeleri veya ilave güç ve haberleşmeler tehlikeleri azaltabilir,
- Atık su, temiz su ve gaz hatlarını içine alan boru hatları,
- Fabrika ve benzeri yerlerden çıkan atıkların denize döküldüğü yerler,
- Özellikle liman ve köprülere yakın yerlerdeki batık gemiler ve enkazlar,
- İskeleler, doklar, gemi kızakları, yollar, tesisler ve binalar. Bunlar artık kullanılmıyor olabilir ve su yüzeyinden görülemeyebilirler,
- Atık maddelerin ve çöpün birikmesi nedeniyle kullanılmayan bölgeler,
- Sınırlandırılmış bölgeler (örneğin denizcilik eğitimleri ve deniz tatbikatlarının yapıldığı alanlar),
- Gelecekteki yapılar.

5.2.3 Tehlikeli insan faaliyetleri

En çok rastlanan kablo arızaları insan faaliyetlerinin neden olduğu mekanik hasarlardır. Bu hasarlar aşağıdaki nedenlerden kaynaklanabilir:

- Sürüklenen çapalar ve römorkör gemi halatları,
- Kıyıdaki denizcilik donanımları,
- Liman ve köprü onarımları,
- Deniz tabanını tarama işlemi,
- Boşaltılan enkazlar,
- Balıkçılık faaliyetleri,
- Kabuklu deniz hayvanlarının toplanması,
- Deniz çiftlikleri,

- İskele kazıkları,
- Yatay yönde delme faaliyetleri,
- Diğer kablo ve boru döşeme işlemleri,
- Komşu kablo veya boru hatlarındaki onarım çalışmaları,
- Deniz tabanının kimyasallar, toksin ve ağır metallerle kirlenmesi.

5.2.4 Deniz erişimi

Aşağıdaki etmenler kablo döşenmesinde birtakım yolları daha cazip hale getirilebilir:

- Deniz derinliği sahilden itibaren uzun bir mesafe için sığ olarak devam ediyorsa, bazı gemiler ve kurulum teknikleri bu yol üzerinde kullanılamayabilir,
- Deniz araştırma gemilerinin gideceği uzaklıklar,
- Kablo döşeme tekneleri, rıhtımdan, kablolu besleme iskelesinden ve destek limanlarından yola çıkmalıdır,
- Gemilerin olumsuz hava koşullarında güvenli limanlara olan uzaklıkları,
- Denizaltı kablosunun boyutu, uzunluğu ve kablo yolunun genişliği.

5.2.5 Kıyı koşulları

5.2.5.1 Eğim ve kararlılık

Dik eğimler kablo yolunun kara kısmının yapılmasını zor ve dengesiz bir duruma sokabilir.

5.2.5.2 Kıyı birleşimi

Kıyıda kazma koşullarının elverişsiz oluşu kablonun döşenmesini güçleştirebilir. Beton kablo kanalları, dökme demir kablo tavaları ve diğer koruma önlemleri gerekli olabilir.

5.2.5.3 Karadan erişim

Kıyılara, deniz kıyısı donanımı ile erişim faydalıdır. Kablonun korunması, trafik ve donanımın eş zamanlı geçişine izin verilmesi, deniz ile bitimi arasındaki kablo yolu için arzu edilen bir durumdur.

5.2.6 Bitim yerleri

Bitim yeri, terminal kutbu veya bir kara kablosuna bağlantı yeri kadar basit olabileceği gibi; sistem koruması, ölçülendirme, dönüşüm ve şönt reaktör içeren bir kablo bitim istasyonu şeklinde karmaşık bir yapıda da olabilir. Aşağıda değerlendirilmek üzere ele alınacak etmenlerin özet bir listesi verilmiştir.

Bitim istasyonu tasarımı ile ilgili hususlar için 5.5.6. numaralı bölüme bakılmalıdır.

- Kablonun karaya erişimi,
- Bitim yerine donanım ve deniz yolu erişimi,
- Karadaki güç hatlarına yakınlığı ve istasyon işletme gücüne erişimi,
- Haberleşme hatlarına ve mikrodalga kulesi mevkilerine yakınlığı,
- Yer hazırlığının kapsamı,
- Döşeme bölgesi için saha, yer ofisi ve geçici güç,
- Estetik, koruma, çevre düzenlemesi,
- Kara kullanımının bölgelere ayrılması,
- Toprak ve istimlak bedeli,
- Gelecekteki gelişmeler.

5.2.6.1 Bitim istasyonları arasındaki yükselti farkları

Yağ soğumalı bir kablo sisteminde basınçlanan sıvı sadece bir uçtan verilmiyorsa, iki uç istasyon arasındaki yükseltinin yaklaşık aynı düzeyde olması istenen bir durumdur.

5.2.7 Kurulum düşünceleri

5.2.7.1 Kurulum tekniği ve çevresel etkiler

Alternatif yollar çeşitli doğal çevrelerden geçerek ilerleyebilir ve her bir çevre için farklı kurulum teknikleri gerekebilir. Daha fazla bilgi için madde 5.5.3 ve 5.5.7'ye bakınız.

5.2.7.2 Halka ait erişim

Sahillere, deniz yollarına ve gemi kızaklarına erişimler kurulum çalışmalarından etkilenebilir.

5.2.7.3 Denizcilik

Kablo döşeme gemisi deniz trafiğinin serbest geçişine geçici olarak mani olabilir. Bu durumda, yerel gemi trafik kontrol, sahil güvenlik ve deniz kuvvetlerini de içine alan denizcilik otoriteleri ile koordinasyon içinde bulunulması gerekebilir.

5.2.7.4 Tarihi/Arkeolojik önem

Tarihi ve arkeolojik yerlerin korunması ve arkeolojik buluntuları teşhis etmek için kazı yapılan malzeme üzerinde araştırma - inceleme yapılması gerekebilir.

5.2.8 Sistem bütünlüğü

Denizaltı kablosu denizin her iki yanında bulunan mevcut sistemlerle birleştirilebilir. Bazı yollar diğerlerinde daha büyük çapta sistem kazancı sağlayabilir.

5.2.9 Uzunluk

Genelde daha uzun kablo yollarının maliyeti, daha kısa olanlardan daha yüksektir. Fakat iki yol alternatifi farklı tip kablo yapısı ve kurulum tekniğine sahipse bir istisna meydana gelebilir.

5.2.10 Genişlik

Kablo koridor genişliği alternatif kablo sistem tasarımlarıyla değiştirilebilir. Örneğin bir tek ve bir üç iletkenli kablo, dört tek kablodan (bir kablo yedek) daha az kablo genişliğine sahiptir. Daha fazla bilgi için madde 5.5.5'e bakınız.

5.2.11 İşletme hakları ve izinler

Başkasının arazisinden yararlanma ve kira kontratlarını içine alan işletme haklarının elde edilmesi bazı yollar için daha kolay veya daha düşük maliyetli olabilir.

5.2.12 Kontrol ve çevresel duyarlılık

Bazı yollar çevresel olarak hassas bölgelerden geçebilir. Öyle ki, kablo kurulumundan önce ve sonra gerekli kontroller yapılmalı ve oluşacak her bir hasar onarılmalıdır.

5.3 İzinler ve Çevresel Etkiler

Yol, kurulum yöntemi, bitim istasyonu yerleştirme ve kurulumun zamanlaması mevcut çevresel etkilerden etkilenebilir. Her bir yol kendine özgü çevresel etkileri barındırır. İzin veren kuruluşlar, her bir hasar için kontrol veya tazminat talep edebilir. Pek çok ülkede izin veren kuruluşlar, devlet, iller ve yerel kademelerde yer alır. Yerli guruplar da yetki sahibidir. Bazı düşünceler aşağıdaki paragraflarda ana hatlarıyla gösterilmiştir.

5.3.1 Deniz bitkileri

Deniz yosunları, varekler ve diğer makro algler gibi deniz bitkilerinin pek çok türün yaşamı için önemli oldukları düşünülmektedir. Bunlar, bazı türlere besin, diğerlerine genişleyen bir deniz yüzeyi ve göç halindeki larvalar için de bir sığınak sağlamaktadır.

5.3.2 Deniz hayvanlarının yaşamı

Kabuklu deniz hayvanları ve diğer hayvanların yaşamları bazı kurulum yöntemlerinin hem doğrudan hem de kazınan malzemelerle kaplanması sonucu oluşan etkisinden zarar görebilir.

5.3.3 Alüvyon ve bulanıklık

Toprak tabakasının karıştırılması, çökeltilerin yükselmesine ve bulanıklığa neden olarak deniz organizmalarına ve göç eden balıklara zarar verebilir. Çökeltinin miktarına bağlı olarak bir takım balık, kabuklu deniz hayvanları türleri ile bitki yaşamının hava almasına engel olabilir. Çalışmaların mevsimsel zamanlaması bazı göç halindeki balıklar için engel teşkil edebilir. Bazen bulanıklığın kurulum esnasında kontrol edilmesi gerekebilir.

5.3.4 Kazılan malzemelerin depolanması ve boşaltılması

Gelgit bölgeleri arasındaki çukurlar öncelikli olarak gelgit suları ile geri doldurulabilir. Kazılan malzemenin geçici olarak saklandığı yer sınırlandırılarak erozyonu engellemek için örtülebilir. Boşaltımın yapıldığı alanlar sınırlandırılabilir.

5.3.5 Tanecik boyut dağılımı

Kum yılan balığı ve osmerus gibi belirli balık türleri yumurtlamak için özel bir kıyı malzemesi birleşimine ihtiyaç duyarlar. Kabloyu döşeyenlerin kıyının en üst tabakasını döşeme öncesindeki hale getirmeleri gerekebilir.

5.3.6 Kıyı kararlılığı

Kıyı malzemelerinin erozyonu ve birikimi yapım faaliyetlerinden etkilenebilir. Kıyının kendini yenileyebilme gücü toprağın birleşimine ve dalga enerjisine bağlıdır. Düşük dalga enerjisinin görüldüğü yerlerde çukurların kendilerini doldurması ve yığınların eski orijinal durumunu alması daha uzun zaman alacaktır. Dalga hareketi ve geniş bir gelgit alanı kıyının kısa zamanda doğal morfolojisine dönmesine yardımcı olacaktır.

5.3.7 Topografya

Kurulumu yapanın, kıyıyı kurulum öncesindeki topografyasına geri getirmesi istenilebilir. Topografya değişimleri, başlangıçta ağır ekipmanın doğrudan etkisi veya sonradan da erozyon yoluyla meydana gelebilir (örneğin, sahil taşlarının koruyucu etkisi bozulursa).

5.3.8 Yüksek arazi bitkileri ve ıslak araziler

Arazi üzerindeki ağır ekipman bazı bitkilere veya çevreye zarar verebilir. Tropik bölgelerde mangro ağaçları sahil şeridinde erozyonu önlediği gibi deniz canlıları için de barınak oluşturur.

5.3.9 Petrol, yağ ve PH

Bazı kimyasallar zehirli olabilir ve bir takım organizmaların hava almasına engel olabilir. Özellikle betondan veya akışkan ısıl dolgu malzemesinden sızan su kontrol altında tutulmalıdır. Makineler iyi çalışır durumda ve bütün contaları sıvı kaçırmayacak şekilde olmalıdır. İzin veren kuruluşlar tarafından sızdırmazlık ve temizlik istenebilir. Balıkların zarar görmesi ve ölmesi durumunda çalışmalar durdurulabilir.

5.3.10 Kirlilik

Bazı yerler boşaltılan döküntü, zehirli kimyasallar veya önceki sahiplerinden dolayı kirletilmiş olabilir. Ayrıca üst akıntı hareketleri de bu kirlenmeye yol açabilir.

5.3.11 Gürültü

Bazı çalışmalar yüksek gürültülere neden olarak vahşi yaşamı, özellikle de üreme mevsiminde yırtıcı kuşları, sahil ve su kuşlarını olumsuz olarak etkileyebilir. İnsanlar da bu gürültülerden rahatsız olabilirler. Bazı bölgelerde maksimum gürültü seviyeleri yasal olarak sınırlandırılmıştır.

5.4 Bilgi Toplama ve Araştırma

Başarılı bir kurulumun en önemli noktalarından biri çevreyi ve kurulum sürecini bütünüyle kavrayabilmektir. Genel olarak daha fazla belirsizliğin konuşulması, başarılı bir kurulum ve uzun ömürlü bir kablo sisteminin şansını arttırır. Bu maddenin ana hatları, bazı kaynaklar ve bilgi toplama yöntemleridir.

5.4.1 Mevcut haritalar

Devlet kuruluşları (Ulusal Okyanus ve Atmosferik İşbirliği, A.B.D. Jeolojik Araştırma, Ulusal Okyanus Hizmeti, vs.). Aşağıdaki bilgiler ışığında haritalar temin edilebilir.

- İzin veren kuruluşlar,
- Yol konumları,
- Topografya ve batimetri,
- Kamu hizmet şirketlerinin haritaları (güç, haberleşme, atık su, gaz, telefon, TV, su, vs.).

5.4.2 Fotoğrafçılık ve video

Fotoğraflar ve videolar, her bir yapım alanının resimleme ve belgelendirilmesinde ölçüm, yol seçimi, izin verme ve tesis müteahhitleri için yararlı olabilir. Fotoğrafların hem karadan hem de havadan çekilmesi faydalı olabilir. Çoğunlukla kullanılan balıkçılık donanım resimleri, bir kablonun ihtiyaç duyacağı koruma alanı üzerine tasarım mühendislik bilgileri sağlayabilir.

- Gelgitlerin oluşturduğu en düşük ve en yüksek seviyeler arasındaki bölge,
- Kara üzerindeki kablo yolu,
- Donanım ve malzemelerin saklama alanları,
- Yerel gemi kızakları,

- Yakın limanlar,
- İskeleler.

5.4.3 İklim verileri

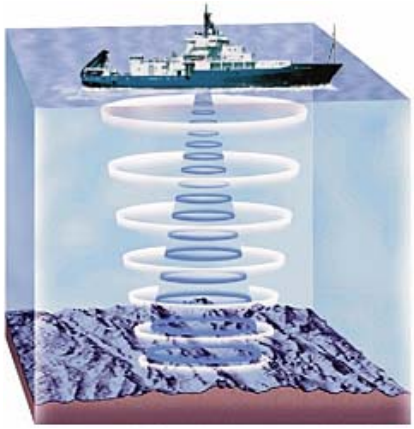
Bir kablonun içinde bulunduğu çevresel koşullar, en uygun kablo tasarımı ve kurulumun belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

- Atmosferik veri (yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, rüzgar, yağış),
- Su sıcaklık verisi. Su sıcaklığı deniz yolu boyunca geniş ölçüde bir değişim gösterebilir. Örneğin su, sığ bir yer boyunca güneşin ısıttığı akıntı yüzeyinde oldukça sıcak olabilir. Bu da kablonun akım taşıma kapasitesini etkileyebilir,
- Maksimum rüzgar hızı ve yönü,
- İklim verileri mevsimler boyunca geniş ölçüde değişime uğrayabilir.

5.4.4 Deniz incelemeleri

5.4.4.1 Deniz tabanının yapısı

Tek ve çok huzmeli yankı alıcılar kullanılabilir. Çok yönlü taramadan elde edilen yeryüzüne ait bilgilerin toplanması, amaçlanan kablo koridorunda ayrıntılı bir batimetri haritasının oluşmasına yardımcı olur [16]. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de tek ve çok huzmeli yankı alıcılar gösterilmiştir [17].



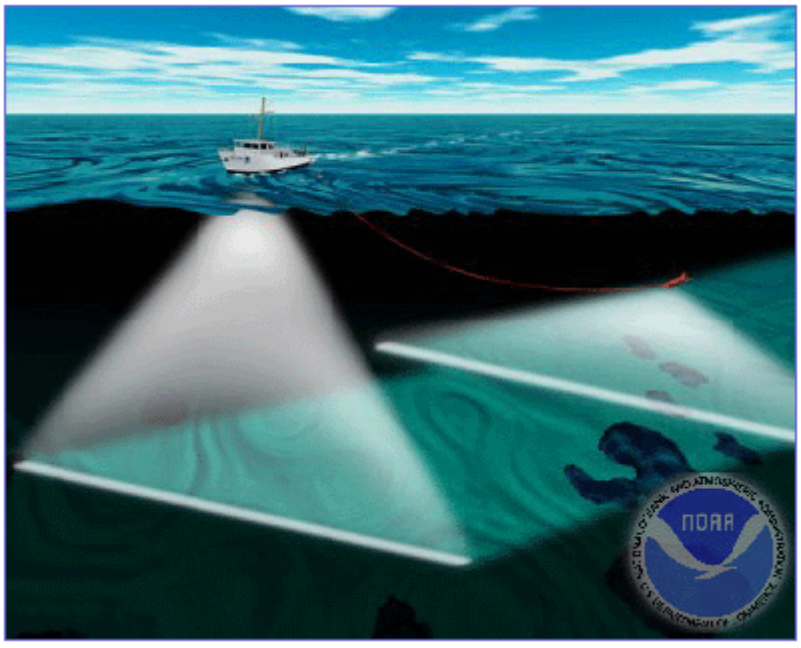
Şekil 5.1: Araştırma gemisinin doğrultusunda tek bir hat üzerindeki batimetri verilerini toplayan tek huzmeli yankı alıcısı [17]



Şekil 5.2: Araştırma gemisinin geniş bir kablo koridorunda ve yüksek çözünürlükte batimetri verilerini toplayan çok huzmeli yankı alıcısı [17]

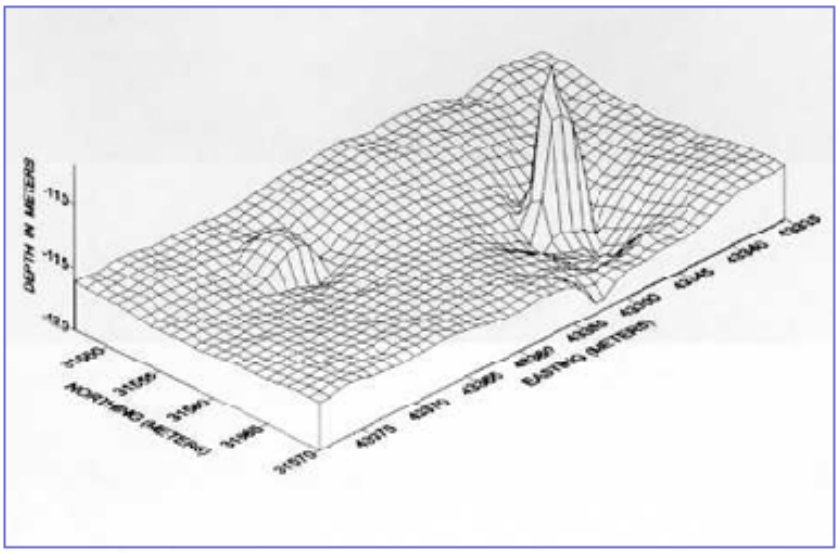
5.4.4.2 Kıyı tarayıcı sonar ile inceleme

Bu yöntemle geniş bir deniz tabanı şeridi incelemesi yapılır. Sonar, dipteki yüzeye çıkmış kaya çıkıntıları, enkazlar, çapa izleri gibi tehlike oluşturabilecek durumları tespit etmek ve deniz tabanının yapısını tanımlamak amacıyla kullanılır. Şekil 5.3'te kıyı tarayıcı sonara ait bir resim yer almaktadır [18]. Sonar sol tarafta gemi omurgasına monte edilmiş olup, sağ tarafta ise su yüzeyinin alt tarafında yer alarak deniz tabanı incelemesi yapmaktadır.



Şekil 5.3: Kıyı tarayıcı sonar [18]

Şekil 5.4'de ise New York limanın kıyı tarayıcı sonar yardımıyla elde edilmiş dip profili yer almaktadır [18].



Şekil 5.4: Çok huzmeli sonarla New York limanının dip yüzey derinliklerinin grafik olarak gösterimi [18]

5.4.4.3 Deniz tabanı altının durumu

Bu yöntemle deniz tabanına yüksek enerjili ses dalgaları gönderilir ve sonra bu dalgalar, deniz tabanının malzeme katmanlarından yansır. Bu sonuç kazı ve kablo gömülmesi için elverişliliği belirlemeye yardım ederek her bir malzeme tabakasının profilini sunar.

5.4.4.4 Denizaltından toprak numunesi alma

Amaçlanan yol boyunca alınan toprak numuneleri, kablo döşeme bilgileri sağladığı gibi kablo tasarım ve performansını etkileyen toprak parametrelerini verir. Bu ayrıca deniz tabanının altındaki profil sonuçlarını yorumlamada yardımcıdır. Bu faaliyet deniz tabanının profillenmesi, kıyının taranması ve deniz tabanının altındaki araştırmalar gibi diğer incelemelere de öncülük eder. Öyle ki numune alınan noktalar ve derinlikler stratejik olarak planlanabilir. Toprak numunesi alma ve analiz etmede bir takım teknikler mevcuttur. Bunlar çukur açma, deniz dibindeki birikimlerin titreşimli bir araç yardımıyla toplanması, çökelti numunesi alma, çapa düşürme deneyi, toprak tabakasının içine koni biçiminde çelik bir aletle girilmesi deneyi ve platformlardan veya dubalardan sondajlama olarak sıralanabilir.

Numune alma yöntemi, karşılaşılan toprak ve deniz koşullarına, mevcut donanım ve gereken analiz türüne bağlı olarak saptanır.

Ölçülecek özellikler şunları içerebilir:

- Isıl özellikler,
- Kimyasal özellikler,
- Yapısal özellikler.

Toprak numunesi almaya ek olarak yol boyunca toprak sıcaklığının ve ısıl özdirencin yerinde ölçümleri yapılabilir.

5.4.4.5 Denizaltındaki manyetik engellerin saptanması

Manyetik malzemeleri tespit etmek için bir manyetometre kullanılabilir. Bu manyetik malzemeler, kablolar, kullanılmayan çekme halatları, gemi enkazları, araba gövdeleri ve maden yatakları olabilir.

5.4.4.6 Uzaktan kumandalı araç (ROV) ile inceleme

Bu araçlar insansızdır ve bir gemi yüzeyine bağlanmıştır. Onlar, kablo yerini saptayan donanımın da içinde bulunduğu çeşitli aletleri taşıyabilirler. Bu araçlar, deniz tabanı profilleri ve kıyı tarama araştırmaları sonucu belirlenen nesneleri fotoğraflama ve video bandına çekmede kullanılır. Normalde denizaltı konumlandırma donanımı taşırlar. Böylece onların yerleri, yüzey gemisi ve diğer araştırma teknikleri ile saptanan ilgi çekici nesnelerin yer ve ilgili konumlarına bağlı olarak hesaplanabilir. Şekil 5.5'te ROV ile ilgili resme yer verilmiştir [19].



Şekil 5.5: Uzaktan kumandalı araç (ROV) [19]

5.4.4.7 Dalgıçlarla inceleme

Dalgıçlar, sığ sularda koşulları araştırmak ve belgelemek için görevlendirilirler.

5.4.4.8 Denizaltı gemileri ile inceleme

İlk elden bilgileri toplamak için insanlı denizatlılardan yararlanılır. Onlar, önlem almada ROV'lardan daha fazla esneklik sağlar. Ancak başkalarının izlemesi için yüzeye gerçek zamanlı video gönderemezler.

5.4.4.9 Denizaltı kablo ve boru hatlarının yerleri

Kablo veya borunun iletken parçası üzerinden bir ses gönderilerek mevcut kablo ve boru hatlarının yerleri tespit edilebilir. Yer tespit donanımı eklenmiş bir alıcı kablo veya boru hattının konumunun haritasını çıkarabilmek için bunların üzerinden çoklu geçişler sağlarlar. Kabloların yerini tespit etmek için enerji verilen kablolardan elektromanyetik alanı algılayabilen sensörler kullanılabilir. Bunların üzerinden bir ses göndermek için enerjilerinin kesilmesine gerek yoktur. Denizaltı metal dedektörleri de etkili olabilir.

5.4.4.10 Akıntı hızı ve yönü

Bu bilgi, yerleştirilmiş göstergeler veya Doppler profilleyici donanım kullanılarak farklı derinlikler için yeniden elde edilebilir.

Bu bilgi aşağıdaki hususları belirlemede kullanılabilir:

- Kullanılan kablo döşeme gemisinin boyutu ve çeşidi,
- Deniz tabanına güvenli olarak döşenebilecek kablo için gerekli minimum kablo ağırlığı,
- Zırhlandırma miktarı ve çeşidi,
- Kabloların deniz tabanının üzerinde asılı kaldığı yerde girdap oluşturan titreşimlere duyarlılığı.

5.4.4.11 Dalga ve gelgit yüksekliği

Sel sularının aşırı yüksek seviyelerde kabarması önemli olabilir. Bu yüzden tesisler, sel tehlikesi arz eden bölgelere yerleştirilmezler.

5.4.4.12 Deniz habitatı (canlı toplulukları)

İzin veren kuruluşlar deniz habitatı araştırmalarından bilgi talep edebilirler. Bitki ve hayvan yoğunluğu sayımlarının hem gelgitin en düşük ve en yüksek seviyeleri arasındaki bölgede hem de alt gelgit bölgesinde yapılması istenebilir.

5.4.4.13 Gemi trafiği

Bir bölge içerisinde işletilen gemilerin özellikleri, kablo koruma çeşidini ve miktarını etkileyebilir. Örneğin bir kablo sisteminin onu boydan boya sürükleyebilecek çok büyük çapalardan, ağır çekme halatlarından veya taraklı balık ağlarından kaynaklanacak hasarlardan korunması arzu edilebilir.

5.4.4.14 Balıkçılık ve deniz bitkileri ile kabuklu deniz hayvanlarının toplanması

Bu faaliyetler, trol ile balık tutma, iskele kurma, demir atma ve kabuklu deniz hayvanları toplanması sürecinde bir kabloya zarar verebilir.

5.4.4.15 Sismik araştırma

Bölgedeki sismik aktivite istatistikleri toplanabilir.

5.4.5 Kara araştırmaları

5.4.5.1 Toprak numunesi alma

Denizyolundaki özellikler için yapılan araştırmalar karayolu için de yapılabilir. Toprak numunesi alma işlemi, yol boyunca seçilen noktalarda yerinde ısıl özdirenç ölçümleri ile birleştirilebilir. Kablonun altındaki toprağın özelliklerini belirlemek için numune alma ve test işlemi, kablo gömülme derinliğinin altına kadar devam ettirilebilir.

5.4.5.2 Sıcaklık profili

Farklı mevsimlerde ve çeşitli derinliklerde yapılan sıcaklık profili, kablonun akım taşıma kapasitesini belirlemede yararlı olabilir. Her bir kritik noktaya bir ısıl çift algılayıcı ve veri günlükçüsü kurularak toprak sıcaklığındaki mevsimsel değişimler kontrol edilerek kaydedilebilir.

5.4.5.3 Diğer araştırmalar

Diğer araştırmalar aşağıdaki hususları kapsayabilir:

- Topografya,
- Habitat,
- Sulak yerlerin tasviri,
- Arkeolojik ve tarihi yerler.

5.4.6 Araştırma kontrol

Devlete ait deniz ve kara planları normalde aynı yer referanslı koordinat sistemine bağlı değildir. Karasal ve deniz verileri arasındaki uygun dikey ve yatay dönüşüm denklemlerini belirlemek önemlidir.

Deniz araştırmalarını ayrımsal GPS konumlandırıcı donanım yerleştirilmiş kara araştırma kontrol noktalarına bağlamak alışılagelmiştir.

5.4.7 Kurulum sonrası araştırmalar

Bir uygulama projesi kablonun döşendikten sonraki konumunu doğrulamak ve belgelemek için yapılır. Ayrıca kablo arazisinin ve çalışmanın kara bölümünün son durumunu belgelemek için bir takım çevresel araştırmalar yapmak gerekebilir.

5.4.8 Sistem çalışmaları

Güç akışı çalışmaları ve yük artım planlamaları tasarlanacak kablonun taşıması gereken güç miktarını belirlemede kullanılır. Kablo sistemini tasarlamak için, hem yükün büyüklüğü hem de yükün mevsimsel ve günlük durum bilgileri gerekebilir. Buna ek olarak uzun denizaltı kabloları yüksek miktarda kapasitif yükleme akımına sahip olabilir. Bu da yeterli kompanzasyon sağlanmadığından aktif güç akışını sınırlayabilir. Ayrıca ek kapasite, bütünüyle araştırılması gereken gerilim ve geçici kararsızlık problemleri oluşturabilir.

5.5 Kablo Sistemleri

5.5.1 Güvenilirlik

5.5.1.1 Arıza nedenleri

Denizaltı kabloları normal koşullarda oldukça güvenilirdir. Ancak aşağıdaki nedenlerden dolayı arızalar oluşabilir:

- İnsan faaliyetleri sonucu oluşan fiziksel hasarlar,
- Sismik faaliyetler gibi doğanın güçleri,
- Elektriksel yalıtım arızaları,
- Su ile ilgili arızalar (yağ soğumalı kablolar için).

5.5.1.2 Uzun süreli servis kesintileri

Bir denizaltı kablo arızasının onarımı, eşdeğer bir kara kablosunun onarımından çok daha uzun zaman alır. Bazı mevsimlerde onarımların yapılabilmesi için olumsuz hava koşullarının geçmesini beklemek gerekebilir.

5.5.1.3 Kablo ve devre sayıları

Bir veya daha fazla kablonun ihtiyaç fazlası olduğu birçok kablonun korunması güvenilirliği arttırabilir. Bazen alternatif akım kablo sistemlerinde bir tanesi yedek olmak üzere dört tane tek iletkenli kablo kurulabilir. Kablo sayısı iki tane daha eklenerek altıya çıkarıldığında kablo sistemi bir çift devre olarak çalışır. Bu normal aktarım kapasitesini iki katına çıkarabilir ve yedeksiz tek bir devre üzerindeki güvenilirliği arttırabilir. Mevcut devre ile yeni devrenin paralel bağlanması planlanıyorsa bir takım durumları göz önünde tutmak gerekir. Şayet yeni kabloların tasarımı mevcut kablolarla ters düşerse kablo sistem empedansındaki farklılık devreler arasındaki dengesiz yükle sonuçlanabilir.

5.5.1.4 Aralık bırakma

Birçok kablonun kurulu olduğu durumlarda birbirleri arasındaki uzaklık ne kadar fazla olursa, birden fazla kablonun dışardan gelen bir etkiyle zarar görme olasılığı o denli az olur. Sürüklenen bir çapa veya römorkör halatı bir seferde birkaç kabloya zarar verebilir.

Kablolar çoğunlukla zarar gören kablo kısmının kesilmesine izin verecek yeterli uzaklıklarda ayrı olarak dizilirler. Yeni kısmın eklenmesi ve sonra da deniz tabanına indirilmesi esnasında kablonun diğer hiçbir kablonun üzerine serilmemesi gerekir. Bu genellikle suyun derinliğinin bir fonksiyonudur. Derinlik arttıkça kablolar birbirlerinden daha uzak aralıklarla döşenmelidir.

5.5.1.5 Tek iletken ile üç iletkenin karşılaştırılması

Üç iletkenli bir kablo, tek iletkenli bir kablodan daha ağır, daha sert ve normal koşullarda daha ağır zırh tellerine sahip olacaktır. Bu durum, üç iletkenli bir kabloyu zarar görmede daha az hassas yapar. Fakat kabloyu döşemek ve geri çıkarmak için daha büyük bir donanıma ihtiyaç vardır. Kullanıcı mevcut bölgesel gemilerin onarım

yapıp yapmayacağını düşünebilir. Üç fazlı bir kablonun tek fazında meydana gelen bir arıza, arıza olmayan diğer bir ya da iki faza da zarar verebilir ve üç fazlı bir kabloyu birbirine bağlamak tek fazlı bir kabloyu birbirine bağlamaktan daha karmaşıktır.

Genelde üç iletkenli bir kablo, çok sayıda tek iletkenli kablodan daha düşük kayıplara sahip olacaktır ve tek bir üç iletkenli kabloyu kurmak çok sayıda tek iletkenli kabloyu kurmaktan daha az maliyetlidir (şayet fazlar arasında aralık bırakılacaksa daha geniş bir kablo koridoruna ihtiyaç duyulacaktır).

Topraklama durumu için madde 5.5.6'ya bakınız.

5.5.1.6 Koruma

Kabloların fiziksel koruması ana hatlarıyla madde 5.7.6'da belirtildiği gibi bir takım yollarla sağlanır.

5.5.1.7 Onarılabilirlik

Hasar görmüş bir denizaltı kablosunun onarımında zorlu derecesi pek çok etmene bağlıdır. Bunların içerisinde suyun derinliği, kablonun deniz tabanı altındaki gömülme derinliği, geçit uzunluğu, kablo tasarımı, deniz koşulları, fiziksel korumanın ölçüsü ve çeşidi yer alır.

5.5.1.8 Onarımlar için hazırlık

Yedek parçaların varlığı, denizcilik gemileri, aletler, deneyimli işçiler ve belgeleme bir kablo sisteminin ne kadar hızlı onarılabileceğini belirler.

5.5.2 Akım taşıma kapasitesi

Bir denizaltı kablosunun akım taşıma kapasitesi, yolun hem kara hem de deniz altında bulunan kısımlarındaki bir takım etmenlerle birlikte kontrol edilir. Şayet denizaltı kabloları sert bir deniz tabanına döşenmiyorsa kabloların akım taşıma kapasitesi davranışı, deniz tabanı altındaki derinliğin kara kablosunun gömülme derinliğinin yerine kullanıldığı durum haricinde, gömülü kablolarınkiyle benzerlik gösterir.

Aynı zamanda su sıcaklığı, ortam hava sıcaklığının yerine kullanılır.

5.5.2.1 Ortam sıcaklıkları

Kabloları, aksesuarları ve yardımcı donanımı sınıflandırmada aşağıdaki ortam sıcaklıkları kullanılır.

- Denizde; deniz suyu ve deniz tabanı sıcaklıkları,
- Karada; hava ve toprak sıcaklıkları.

5.5.2.2 Toprağın ısıl özellikleri

Bir denizaltı kablosunun akım taşıma kapasitesini belirlerken, toprağın hem deniz hem de kara kısmındaki ısıl özdirenci göz önünde tutulmalıdır. Kablonun önemli miktarda ısı yaydığı durumlarda, deniz tabanına gömülen kabloyu çevreleyen toprak tabakası tamamen kuruyabilir. Bundan dolayı toprağın ısıl kararlılığı da göz önünde tutulmalıdır. Toprak özellikleri yol boyunca değişimler gösterebilir.

5.5.2.3 Kablo gömülme derinliği

Kablolar ne kadar derine gömülürse, daha yüksek toprak ısıl direnci ile karşılaşılacaktır. Toprak sıcaklığı, derinlik ve mevsimlerle de değişim gösterebilir. Deniz kısmındaki kablo gömülme derinliği, kablonun batması, kıyı akıntıları, çökme ve çukur kazma faaliyetleri nedeniyle değişebilir.

5.5.2.4 Kablo dizilimi

Çoklu bir kablo sisteminin karadaki dizilimi, karşılıklı ısınma ve sirkülasyon akımlarını etkiler. Deniz altındaki kablolar çoğunlukla birbirlerinden uzak aralıklarla dizilirler. Bu geniş aralıklı dizilim karşılıklı ısınmayı önemsiz kıldığı halde sirkülasyon akımını arttırır.

5.5.2.5 Kıyı bitimleri

Bir denizaltı kablosunun kıyı bitimleri, yakın iletken dizilimi ve daha yüksek toprak ısıl direnci nedeniyle çoğu zaman aktarılan güç miktarını sınırlar. Bu sıkıntıları ortadan kaldırmak için bazen kıyı bitimlerine daha büyük iletkenler eklenir.

5.5.2.6 Bağlama

Kablo damarının dışında yer alan metal parçaları birbirine bağlama yöntemi, kablo sisteminin akım taşıma kapasitesini etkileyecektir. Daha fazla bilgi için madde 5.5.6'ya bakınız.

5.5.3 Hidrolik sınırlamalar

Bazen kabul edilebilir yük değişim oranı, kablonun sıvı kanalındaki aşırı akışkan basıncıyla sınırlanabilir. En yüksek basınç sıklıkla kablonun enerjisi kesildiğinde olur ve sonradan tam yük uygulanır. Tersine sıvıda pozitif basıncın olması istenen bir durumdur. En kötü durum koşulu, kablo maksimum sıcaklıkta çalışıyorken gerçekleşir ve sonra kablonun enerjisi kesilir.

5.5.3.1 Arıza durumlarında hidrolik sınırlamalar

Yağ soğumalı bir kablonun elektriksel ve mekanik hasarlardan dolayı hidrolik olarak arızalanması durumunda akışkan basınç kaybedilebilir. Bu durumda su kabloya girerek kablonun önemli bir bölümünü onarılamaz hale getirebilir. Hidrolik sistemler çoğunlukla kablo koptuktan sonra bir süre için bütün kabloya pozitif basınç uygulamak üzere tasarlanmıştır. Bu işlem, depolama sistemleri, pompalama tesisleri veya bir kombinasyonuyla gerçekleştirilebilir.

5.5.4 Kablo parçaları

5.5.4.1 İletken

Basınçla çekilmiş yalıtkanlı kablolarda örgülü iletkenler, hasar durumunda suyun iletken boyunca yayılmasını engeller.

5.5.4.2 Yalıtkan sistem

Denizaltı kablolarında kullanılan yalıtkanlar kara kablolarınkiyle aynıdır. Denizaltı kabloları çoğunlukla yeterli uzunluklarda yapılırlar. Öyle ki alan bağlantılarına ihtiyaç duyulmaz. Ancak taşıma için özel düzenlemeler gerekebilir.

Düşük dielektrik sabiti ve kayıp faktörüne sahip bir yalıtım malzemesi, uzun kablolarda kapasiteyi ve yükleme akımını düşürdüğü için avantajlı olabilir.

5.5.4.3 Kılıf

Yüksek gerilim kablolarında kurşun kılıf kullanılır ve bu durum esneklik, iletkenlik ve suya dayanıklılık için bir engel oluşturur. Kurşun aynı zamanda kablonun ağırlığını arttırarak deniz tabanındaki güçlü su akıntılarına karşı tutunmasına yardım eder. Ancak derin sularda önemli bir faktör oluşturan döşeme gerilmelerini arttırır.

5.5.4.4 Kılıfın kuvvetlendirilmesi

Yağ soğumalı bir kablo üzerindeki dielektrik sıvı basıncının yeterince yüksek olduğu durumlarda kılıfın kuvvetlendirilmesine ihtiyaç duyulabilir. Deniz derinliği nedeniyle oluşan iç basınç, her ne kadar yağ soğumalı kabloların yalıtkan sıvı basıncıyla bir parça dengeleniyor da olsa denizaltı kabloları üzerindeki basınç, uzun boyları ve büyük derinlikleri sebebiyle oldukça yüksek olabilmektedir. Metal bantlar da çoğunlukla kılıf kuvvetlendirmede kullanılırlar.

5.5.4.5 Geri dönüş iletkenleri

Genel olarak tek iletkenli kablolar, sirkülasyon akımını, yükleme akımını, dengesiz akımı ve geri dönen arıza akımını taşımak için bir geri dönüş iletkenine sahiptir. Genelde bu iletken, metal ekranların, zırh ve kurşun kılıfın paralel bağlantısıdır.

5.5.4.6 Dış kılıf

Denizaltı kabloları genellikle hem yalıtkan hem de yarı iletken plastik dış kılıfları içerir. Şayet kablo çok iletkenliyse, dış kılıf nötr bir iletken ve/veya bir fiber optik bir kablo veya her bir iletken demeti üzerinden yerleştirilir. Sonraki aşamada uygulanabilecek su basıncı nedeni ile sıkıştırmanın yapılmasına dikkat edilmelidir.

5.5.4.7 Deniz delicilerine karşı bant

Bazı deniz canlıları kablolarda oyuklar açabilir. Bunu engellemek için bazen kablo damarı üzerine bakır veya bronz bir bant yerleştirilir.

5.5.4.8 Gömme

Zırh tellerinin altına yerleştirilen gömme tabakası, zırh telleri ile kablo damarı arasında tampon görevi görür.

5.5.4.9 Zırh

5.5.4.9.1 Amaç

Zırhlandırma aşağıda sıralanan pek çok amaca hizmet eder.

- Geri dönüş akımı için kısmi bir yol ihtiyacını karşılamak,
- Döşeme ve geri çıkarma esnasında kabloda oluşan gerilmeyi taşımak,
- Sürüklenen çapa veya balıkçılık donanımları gibi etkilere karşı fiziksel korumayı sağlamak,
- Kablonun keskin bir nesnenin çevresine döşenmesi durumunda bükülme yarıçapını kontrol ederek kablonun dolaşmasını engellemek,
- Aşınmaya karşı direnç oluşturmak,
- Kablonun ağırlığını arttırarak deniz tabanında ileri geri yönde hareketi sonucu oluşabilecek aşınma olasılığını en aza düşürmek,
- Sirkülasyon ve arıza akımını taşıyacak bir geri dönüş iletkeni olmak.

Bazı denizaltı kabloları, doğa ve insanoğlunun neden olduğu tehlikeler ve çevresel koşullara bağlı olarak zırhlandırılmaya ihtiyaç duymayabilirler.

5.5.4.9.2 Kurulum

Genellikle tek tabakalı zırh kullanılır. Ancak önemli miktarda aşınmanın görüldüğü veya kablonun üzerine düşebilecek kaya ve enkazların bulunduğu yerlerde çift tabakalı zırh kullanılabilir. Eğer çift tabakalı zırh kullanılıyorsa, tabakalar kablonun istenilen sarım özelliklerine bağlı olarak aynı veya zıt yönlerde yerleştirilebilir. Zırh tellerinin sargı adımı, kablonun istenilen bükülme, sağlamlık ve sarım özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Yuvarlak, düz veya şerit zırhlandırma kullanılabilir.

Zıt yönlerdeki çift zırh "çapraz bağlı çift zırh" olarak da adlandırılır ve derin deniz projeleri için önerilir. Çünkü yüksek mekanik gerilme altındaki uzamayı minimum seviyeye getiren "moment dengeli" kablo kurulumuna imkan tanır.

5.5.4.9.3 Malzeme

Zırh telleri, aralarında alüminyum, bronz, bakır ve galvanize çeliğin bulunduğu çeşitli metallerden yapılır. Manyetik zırh malzemeleri daha büyük kayıplar oluşturacaktır.

5.5.4.9.4 Aşınma

Bazı zırh malzemeleri aşınmaya karşı diğerlerinden daha dayanıklıdır. Hem galvanik hem de AA aşınma, kablonun zırh ömrüne etki edebilir. Zırh ömrünü uzatmak için, zamanla malzemesini kaybeden anot (kurban anot) ve/veya aktif katodik koruma sistemleri kullanılabilir. Katodik koruma genellikle kıyı bitimlerinde kullanılır ve uzun geçitlerin ortasında kullanılmazlar.

5.5.4.9.5 Örtülü zırh telleri

Bazen aşınmanın önlenmesi amacıyla her bir zırh teli plastik malzemeyle örtülür. Tek fazlı kablonun uzun olduğu durumlarda, bu yöntem aşırı yüksek endüklenmiş gerilim nedeniyle pratik olmayabilir.

5.5.4.10 Dış örtü ve sonlandırma

Polipropilen, plastik veya jüt, zırh tellerinin aşınmasını azaltmak ve kablonun makaraya sarılması ve çözülmesi sırasında zırh tellerini kontrol altında tutmak için çoğunlukla kullanılan dış örtü malzemeleri arasında yer alır.

5.5.4.11 Asfalt

Zırhın ve dış örtünün üzerine çoğunlukla bir asfalt bileşimi sürülür. Bu durum, zırh telleri arasında birleşme sağlayarak zırhta meydana gelen aşınmanın azalmasına yardımcı olur.

5.5.4.12 Kireç taşı

Kabloların depolanması ve taşınması sırasında birbirlerine yapışmasını önlemek için dış örtü yüzeyleri kireç taşı ile kaplanabilir.

5.5.5 Kablo ağırlığı

Kablonun deniz akıntılarına maruz kalacağı durumlarda, önemli ölçüde zıt yönde (negatif) kaldırma kuvvetine sahip olması gerekir.

5.5.6 Zırh gerilimleri ve bağlantı

Tek iletkenli bir AA denizaltı kablosundaki faz akımı, kabloda kesintisiz olarak topraklanmamış diğer bütün metal parçalar üzerinde bir gerilim endükleyecektir. Güçlendirici şeritler, metal bir kılıf (çoğunlukla kurşun bir kılıf) veya zırh telleri (kılıflanmışsa) bu topraklanmamış metal parçalar arasında yer alır. Bu endüklenen gerilim kablo uzunluğuyla doğrusal olarak birikecektir. Bu gerilim değeri, kablonun yeterince uzun olduğu durumlarda kabloda polietilen kılıf gibi iletken olmayan bir tabakanın delinmesi için yeterli olabilir. Bu durum, deniz suyunun kabloya girmesine yol açarak, büyük olasılıkla başta faz-toprak arızasının geldiği ve korozyonla sonuçlanan çok ciddi arızaların oluşmasına neden olabilir. Normal yük akımı metal parçalar üzerinde sürekli bir AA gerilimi, arıza akımı da geçici bir gerilim (arıza devreleri kara kısmında olsa bile) endükleyecektir. Yıldırım ve anahtarlama darbeleri de geçici yüksek gerilimlere neden olur. Bazı tek iletkenli denizaltı kablolarında faz akımının %100'e yakını, zırh ve eş merkezli ekran/kılıf birleşimi üzerinden geri döner.

5.5.6.1 Hafifletme

Kablodaki metal parçalar üzerinde biriken yüksek gerilimleri hafifletmenin bir takım yolları vardır.

5.5.6.1.1 Dayanım

Yalıtkan tabakalar, sürekli alternatif akım ve geçici aşırı gerilimlere dayanmak üzere tasarlanmıştır. Tasarımda arıza, yıldırım ve anahtarlama darbeleri sonucu oluşan dik cepheli elektrik dalgaları göz önünde tutulmalıdır.

5.5.6.1.2 Topraklama

Çok kısa denizaltı kablolarında sirkülasyon akımını engellemek ve kablonun akım taşıma anma değerini artırmak için zırh sadece bir noktada topraklanabilir (tek noktadan topraklama). Bu, yalıtkan tabakaların oluşan maksimum gerilime dayanacak şekilde tasarlandığı durumlarda uygulanabilir.

Orta uzunluktaki kablolarda genellikle metal parçalar her iki uç istasyonunda birbirlerine bağlanır. Daha uzun kablolarda ise metal parçalar kablo yolu boyunca birbirlerine birkaç yerde bağlanabilir. Kablo yolunun ortasındaki bağlantılar tasarlanırken ve kurulurken su girişini ve korozyonu önlemek için ek önlemler alınmalıdır.

Ara sıra uygulanan planlardan bir tanesi de bağlantı kutularını alçak deniz hattında kurmak ve sonra da kara üzerinde yoluna devam eden kabloları tek bir noktada topraklamaktır. Bu durum, bağlantı kutusundan kablo sonuna kadarki metal kılıf üzerindeki sirkülasyon akımını bertaraf eder. Böylece kara üzerindeki kablonun akım taşıma kapasitesini artırmada toprağın ısıl özellikleri deniz altının özellikleri yanında ikinci derecede kalır. Sirkülasyon akımını azaltmak için çapraz bağlama uygulaması elverişsizdir.

5.5.6.1.3 Yarı iletken malzeme

Yarı iletken malzemelerin boydan boya yarı iletken bir kılıf olarak kullanılmasıyla akım için geri dönüş yolunun metal parçalarla düzenli bir şekilde bağlanması ve topraklanması ihtiyacı ortadan kalkar.

5.5.6.1.4 Üç iletkenli kablo

Üç fazlı kablolarda fazların birbirlerine olan tam bir yakınlığı ile endüklenen gerilimin önüne geçilmiş olur ve böylece bu tür kablolarda gerilim yükselmesi daha az sorun oluşturur. Gerilim yükselmeleri aşağıdaki nedenlerle meydana gelebilir. Şayet;

- Üç fazında metal parçaları birbirinden yalıtılmışsa. Bu durum genellikle kılıflı kablolar üçlendiği zaman ve bu üç iletkenli kabloya şekil vermek için zırh geçirildiğinde ortaya çıkar,

- Arıza ve dengesiz akımın geri dönüş yolu yalıtılmış bir iletkenin üzerindeyse.

5.5.7 DA sistemler

DA sistemleri, tek ya da çift kutuplu olarak yapılandırılır. Tek kutuplu sistem, dönüş iletkeni olarak ya ayrı bir alçak gerilim kablosu kullanan ya da denize gömülü elektrotlarla denizi kullanan yüksek gerilim kablosundan oluşur.

İki kutuplu sistem biri artı diğeri de eksi olmak üzere iki yüksek gerilim kablosundan oluşur. Çoğunlukla metal veya denizden dönüşlü bir yola ihtiyaç duyan iki kutuplu sistemler tercih edilir. DA sistemlerinin kullanıldığı yerler;

- Yükleme akımının çok yüksek değerlerde olarak güç iletim kapasitesini önemli ölçüde sınırlayabileceği AA sistemleri yerine,
- Farklı frekanslarda çalışan iki enterkonnekte sistem veya kararsız AA sistemleri arasında,
- İletilen gücün ve yönünün yakından kontrol edilmesi gereken yerlerde,

Deniz dönüşlü sistemlerin işletimi, denizcilikle ilgili kavramların, çevresel, korozyon ve pusula temelli etkilerini ortaya koyabilir.

5.5.8 Ekler

5.5.8.1 Yapım

Ekler, kontrollü koşullar altında iletim tesislerinde yapılır. Onlar, kabloları bir araya getirirler ve zırhtan önce yapılırlar.

5.5.8.2 Esnek ekler

Bu ekler iş sahasında yapılırlar. Onlar, bütün mekanik özelliklerini de içine alacak şekilde kabloyu yeniden kurmaya çalışırlar.

5.5.8.3 Esnek olmayan ekler

Bu ekler iş sahasında yapılır ve çoğunlukla sert silindir şeklinde bir muhafaza ile kapatılır. Onlar, çoğunlukla kablo fabrika eki ve esnek eklerde olduğu gibi bir makaraya sarılamazlar.

5.5.8.4 Eklerin istenilirlik düzeyi

Bazı üreticiler için bir kabloyu ekleriyle yapmak her ne kadar daha az maliyetli de olsa ek yerlerin kabloların zayıf noktaları olduğu düşünülür ve eğer mümkünse kullanmaktan kaçınılır.

5.5.9 Zırh tespit noktaları

Zırh tespit noktaları, bazen denizaltı kablosunun zırhsız bir kara kablosuna ek yapıldığı yeri sağlamlaştırmak veya bazen de sürüklenen bir çapanın kabloya takılarak kablo bağlantı ucuna zarar vermesini önlemek için kurulurlar. Denizaltı kablosunun aşırı eğimli bir profile döşendiği durumlarda bu bağlantı mekanizmalarının direncine özel bir dikkat gösterilmelidir.

5.5.10 Optik lif

Optik lifler zırhı da içine alacak şekilde çok iletkenli kablo aralıklarına yerleştirilebildiği gibi bir kablonun dış kısmına sıkıca sarılabilir. Lifler aşağıdaki nedenler için kullanılır:

- Isı algılama,
- Hasar tespit,
- Sistem koruma (pilot tel),
- Genel ve ticari haberleşmeler.

5.5.11 Onarılabilirlik

Kullanıcı bir kablo tasarımını belirlerken onarımın ne kadar kolay yapılabileceğini göz önünde tutmalıdır.

5.6 Bağlantı Uç Yerleri

Pek çok denizaltı kablosu basitçe cihaz kutuplarında, diğerleri ise çitle korunmuş yerlerde sonlandırılır. Aşağıda bir birimde sonlandırılan kabloyu ele alan bir takım etmenler ortaya konmuştur. Normal trafo ve anahtarlama merkezleri ile ilişkili pek çok önemli nokta aynıdır. Böylece aşağıdaki paragraflarda sadece kablo bağlantı uç merkezlerine özgü parçalara değinilmiştir.

5.6.1 Sonlandırmalar

5.6.1.1 Tesis tasarımı

5.6.1.1.1 Sismik tasarım

Kablo bağlantısı ve bağlantı yeri, oluşabilecek bir sismik aktiviteye dayanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

5.6.1.1.2 Kablo bükülme yarıçapı

Denizaltı kablosu uzun bir bükülme yarıçapına sahip olabilir. Öyle ki bağlantı yerinin birleştiği nokta bundan zarar görmemelidir.

5.6.1.1.3 Kablo genleşmesi ve kelepçelemesi

Isı değişiklikleri sonucunda kablo kanalının genişleyip daralması göz önünde bulundurulmalıdır.

5.6.1.2 Hasardan koruma

Afet neticesinde komşu bağlantı uç ve donanım birimlerinin çalışamayacak hale gelmesi durumunda, bağlantı uçlarının oluşabilecek tahrip ve ek hasarlara karşı korunması için engeller tesis edilir.

5.6.1.3 İzolatör kaçak mesafesi

Bağlantı uçlarının tuzlu su kenarına kurulması halinde ek kaçak mesafesine ihtiyaç duyulabilir.

5.6.2 Tesis topraklaması

Tek iletkenli kablonun oluşturduğu sirkülasyon akımlarının büyüklüğü neredeyse faz akımının büyüklüğü kadardır. Kablonun zırh tellerini, kılıflarını ve bağlantı iletkenlerini de içine alan tesis topraklama sistemi, hem sürekli hal hem de arıza akımını kontrol altına almak için uygun bir şekilde birbirine bağlanır.

Zırh telleri ve metal kılıf topraklamaları çoğunlukla ortak ve dayanıklı topraklama levhası veya çubuğu haline getirilir. Şayet topraklama bağlantısı kesilirse tehlike oluşturabilecek bir sürekli gerilim oluşacaktır. Bu levha aynı zamanda her bir dönüş yolunda akan akımın büyüklüğünün ölçülebildiği ve kablonun yalıtkan tabakalarının sağlamlık kontrolünün yapıldığı bir nokta sağlar.

5.6.3 Gevşek kablo

S veya at nalı şeklindeki modeli ile yeni bir kablo eklenmeden bağlantı ucunun değiştirilmesine imkan tanıyan gevşek kablo, tesis içerisine veya yakınına döşenir.

5.6.4 Yedek kablo muhafazası

Yedek kablolar bazen büyük ağırlıkları ve boyutları dolayısıyla kara yolu üzerinden taşınamayabilir. Bundan dolayı deniz erişiminin mevcut olduğu yerlerde muhafaza edilmelidirler.

Yedek kablo bazı durumlarda bağlantı uç merkezinde yer alan bir makara, döner tabla veya basit bir sargı şeklinde konulur. Çünkü yıllar boyunca yedek kabloya ihtiyaç duyulmayabilir. Çok nadir durumlarda ihtiyaç duyulabilen muhafaza donanımı, yıllar boyunca çürüme ve aşınmaya karşı dayanacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Kablonun uzun yıllar boyunca ve uygunsuz bir şekilde saklanması veya depoda zarar görmesi durumunda, bazı elektriksel özelliklerinin azalabileceğine dikkat edilmelidir. Uzun zaman dönemleri için muhafaza edilen elektriksel deneme kablosuna önem verilerek elektriksel bütünlük kablonun kurulumundan önce onaylanmış olur.

5.6.5 Sıvı dağıtımı

Yağ soğumalı kablolarda, sıvı basıncına ve sıvı genleşmesi için boş bir yere ihtiyaç duyulur. Bu gereksinimler, basınçlı hidrolik yağ sistemi, bir pompalama tesisi veya bunların her ikisinin birleşimi ile temin edilebilir. Bu sistemler kablo uçlarından birine veya ikisine yerleştirilebilir. Hidrolik yağ sistemleri, hem sıkıştırılmış gazla basınçlı hale getirilmiş, hem de hidrolik yağ tankı yükseltilmiştir.

Sıvı sistemler çoğunlukla kılıf yarıklarından kablo içerisine suyun girmesini önlemek için yeterli miktar ve basıncı sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kapasitesi ise sıvı miktarı tükenmeden önceki durumuna gelmesi için gerekebilecek acil durum hareketini izin verecek şekilde tasarlanabilir. Kablonun arıza oluştuğunda yüksek bir işletme sıcaklığında olabileceği varsayımı ile, bazı sıvı sistemlerinde başlangıçta yüksek miktarda sıvı bulunur. Sonra kablo soğudukça debisi düşürülür ve sıvı daha düşük bir akış hızıyla akar.

5.6.6 Yedek sıvı deposu

Yedek sıvı, kablo uç merkezinde veya dışında depolanabilir.

5.6.7 Sıvı ihtiva eden sistem

Sıvı içeren bir sistemin, kablo sıvı dağıtım sistemleri ile sıvı depolama alanı çevresinde olması gerekebilir.

5.6.8 Gaz alıcısı

Bir kablo sıvısı gaz alıcısı, bir merkezde kurulabildiği gibi yer değiştiriyor da olabilir.

5.6.9 Aletler ve ölçme

5.6.9.1 Arıza tespiti

Denizaltı kabloları havai hatlara kıyasla çok düşük bir empedans değerine sahiptir. Bundan dolayı bazen denizaltı kablosuna ait bir hat parçası üzerindeki hata yerini

tespit etmek zordur. Sonuçta, kesicileri de içine alan şebeke koruyucu sistemleri bazen kablo uç merkezlerine kurulurlar.

- Akım transformatörleri,
- Gerilim transformatörü,
- Ters akım rölesi,
- Uzaklık rölesi,
- Pilot tel röle sistemi.

5.6.9.2 Sıcaklık algılama

Bir kablonun sıcaklığı, dışına yerleştirilen ısıl çiftlerle ölçülebilir. Bu durumda kablo, fiber optik tellerle yapılandırılmalı veya güç kablosunun çok yakınına bir fiber optik kablo döşenmelidir. Aynı zamanda motor rulmanlarının, yalıtkan sıvının, havanın ve toprağın sıcaklıkları da ölçülebilir.

5.6.9.3 Hidrolik

Dielektrik sıvı basıncı, akış hızı ve miktarı ölçülebilir. Hidrolik yağ miktarları veya sıvı akış hızları arasındaki farklarda meydana gelen değişimleri hesaplamak, çoklu bir kablo sisteminde yer alan bir kablo ile ilgili oluşabilecek bir problem için erken uyarı niteliği taşır.

5.6.9.4 Alarmlar

Bir sorunun kısa bir zamanda fark edilmesiyle, büyük bir arızaya dönüşebilecek küçük bir sorun teşhis edilir ve bu soruna çözüm getirilerek zaman kazanılmış olur.

Aşağıda yer alan bir takım parametreler ölçülebilir ve alarmları başlatmada kullanılabilir:

- Vakum kaybı,
- Sıvı basıncı,

- Sıvı miktarı,
- Sıvı akış hızları,
- Kablo sıcaklığı (fiber optik veya ısıl çift),
- Kablo hasarı (fiber optik).

5.6.10 Sistem koruma donanımı

Kablo sistemleri çoğu zaman yüksek seviyelerde yükleme akımı barındırır ve ara sıra kablo kapasitesi nedeniyle normalden daha yüksek gerilime maruz kalabilir. Anahtarları da içine alan trafo merkezi donanımı, bu akım ve gerilimleri kontrol etmede kullanılmalıdır.

5.6.11 Haberleşme

Bir denizaltı kablosuyla kurulan bir haberleşme sistemi, hata tespiti, sistem koruması, şirket içi haberleşmeler ve ticari kullanım için kullanılabilir.

5.6.12 Yedek üretim ve basınç pompaları

Yedek üretim, bir istasyon servisinde hizmetin kesilmesi durumunda sıvı dağıtım sistemlerini çalıştırmak için arzu edilir. Bazı durumlarda yedek pompaları çalıştırmak için sıkıştırılmış azot pompaları kullanılır.

5.6.13 Döşeme alanı

Donanım ve malzemelerin muhafazası ve bir inşaat barakası için ayrılmış bir yere ihtiyaç duyulabilir.

5.6.14 İlerdeki genişlemeler

Gelecekte istasyona yapılacak eklentiler, orijinal tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır.

5.7 Kurulum Teknikleri

Bir kablonun tasarımını, yolunu ve uç tesislerini belirledikten sonra, kurulum yöntemlerini ve zamanlamasını etkileyebilecek bir takım sınırlamalar ortaya çıkar.

5.7.1 Program ve zamanlama

Aşağıdaki etmenler hangi donanımın kullanılacağını ve bir kablonun ne zaman kurulacağını etkileyebilir.

5.7.1.1 Gelgit hızı

Gemiler ve gömme donanımı, güçlü akıntılar nedeniyle zor çalışma koşulları içerisinde bulunabilirler.

5.7.1.2 Gelgit yüksekliği

- Gelgitlerin oluşturduğu en düşük ve en yüksek seviyeler arasındaki bölgede çukur açma işlemi, gündüz saatlerinde yükselen su seviyesi nedeniyle sınırlanmış olabilir,
- Kazı işlemi, alçak su seviyesi nedeniyle sınırlanmış olabilir,
- Eklerin, bağlantı kutularının veya zırh tespit noktalarının kurulum zamanı sınırlanmış olabilir.

5.7.1.3 Rüzgar hızı

- Gemiler yüksek dalgalarda düzenli bir rota izleyemeyebilir,
- Çapalar sürüklenebilir.

5.7.1.4 Dalga hareketi

Dalgalar sonucunda yükselip alçalan bir gemi, döşeme işlemi veya demirleme esnasında kablo üzerinde aşırı gerilmelere neden olabilir.

5.7.1.5 Sis

Kısıtlı görüş alanı, kablo döşeme işlemini aksatabilir.

5.7.1.6 Yağış/Kar/Buz

- Çalışma koşulları tehlikeli olabilir,
- Erişim yolları geçit vermeyebilir,
- Toprak erozyonu, yılın bazı zamanlarında çok yüksek seviyelere ulaşabilir.

5.7.1.7 Deniz trafiği

Ticari ve silahlı kuvvetler trafiği, belirli yollarda öncelik teşkil edebilir.

5.7.1.8 Balıkçılık mevsimleri

Ticari balıkçılık faaliyetleri, kablo döşeme işlemiyle anlaşmazlığa düşebilir.

5.7.1.9 Çevresel kısıtlamalar

Kurulumu yapanın belirli balık göçleri veya yumurtlama mevsimlerinden kaçınması gerekli olabilir.

5.7.2 Engellerin ortadan kaldırılması

Kablo kurulumundan önce kaldırılması gereken doğal ve insan yapımı döküntüler, seçilen yolu dağınık hale getirebilir. Şayet kablonun gömülmesi söz konusuysa, deniz tabanı altındaki engellerinde ortadan kaldırılması gerekebilir.

Bazen gömülü ağaç kütükleri, kullanılmayan tel halatlar ve tesis kabloları gibi engeller, kablo kurulumuna kadar tespit edilemeyebilir. Genelde, kablo gömme makinesi zarar görmeden önce bu engellerle mücadele etmek çok daha düşük maliyetlidir.

5.7.2.1 Tanımlama

5.5.4. maddede ana hatlarıyla belirtildiği gibi bu engelleri ortaya çıkarmak için birtakım yöntemler kullanılır. Şayet kablo gömülecekse, yolu daha dayanıklı hale getirmek için kablo yolu boyunca bir kanca, bıçak veya gömme donanımıyla (kablo yokken) bir geçit oluşturulabilir. Eksiksiz araştırmalar, yol seçiminin bir parçası olarak yapılır. Bazı durumlarda başlangıç yol araştırmalarına kadar herhangi yeni engellerin ortaya çıkmamasını garanti altına almak için kurulumdan hemen önce bir kıyı taraması veya çok huzmeli hassas bir batimetri araştırması yürütülür.

5.7.2.2 Yer kaydı

Bir engelin tespit edilmesi durumunda yerinin kaydedilmesi gerekir. Bu işlem, diğerlerinden daha doğru sonuç veren bir takım aletlerle yapılabilir.

- Küresel yer bildirim sistemi (GPS),
- Mikrodalga yer bildirim sistemi,
- Lazerli uzaklık ölçüm aleti,
- Nirengi (üçgenlere bölme) araştırması,
- Uzaktan kumandalı araç üzerinde akustik (yankılanımlı) yer bildirimi.

5.7.2.3 Engellerin ortadan kaldırılması

Engellerin ortadan kaldırılması, normal koşullarda döküntülerin toplandıktan sonra bir atık gemisine yüklenmesiyle gerçekleştirilir. Gömülü haldeki ağaç kütükleri üzerinde oyuklar oluşturulur. Mevcut kablo veya borular üzerinde köprüler kurulabilir. Bazı durumlarda kablo yolunu engelin çevresinden geçirmek daha kolaydır [16].

Şekil 5.6'da kablo makarasına sarılmış bir denizaltı kablosunun karadan taşınması görülmektedir [20].



Şekil 5.6: Bir denizaltı kablosunun karadan taşınması [20]

5.7.3 Taşımacılık

Küçük ve kısa kablolar karayolu, daha büyük kablolar demiryolu, daha da büyük olanları ise ancak deniz yolu üzerinden taşınabilir. Kullanıcı, taşıma yöntemine bağlı olarak kabloyu almak için özel anlaşmalar yapmaya gereksinim duyabilir. Kablolar bir liman civarındaki iskele yerine ya da doğrudan iş sahasına getirilebilir.

5.7.4 Makaranın taşınması

Kablonun makara üzerinde taşındığı durumlarda, makara büyük ve ağır bir hale gelebilir. Kullanıcının normal makara taşıma donanımı bunu indirmede yetersiz kalabilir. Çoğunlukla geniş boyunduruğa sahip bir veya iki vinç (kablo makarasının her bir ucundan biri tutacak şekilde) gerekebilir.

Dağıtılan bu makaralardan kabloyu çözmek için motorlu bir kablo sarım standına ihtiyaç duyulabilir.

5.7.5 Döşeme donanımı

5.7.5.1 Gemi

Aşağıdaki maddeler bir kablo gemisini değerlendirirken göz önüne alınması gereken hususlardır:

- Demirleme donanımı,
- Kurulum ve onarım için müsait olması,

- Kablo sarım olanakları (büyük veya ters sarımlı ve çift tabakalı zırha sahip kablolar için döner levha),
- Kablo germe makineleri (doğrusal motor veya yeterli frenleme kapasitesine sahip bocurgat),
- Çekiş,
- GPS ara birimli dinamik yer bildirimi,
- Gemi yer bildirim sistemine bağlı döşeme kontrol donanımı (gergi dinamometreleri, döşeme açısı araçları, vs),
- Yeterli çapta döşeme makara veya makaraları,
- İleriye sürme (araç üstünde veya römorkörler),
- Dalga ve rüzgar harekelerinden etkilenmesi,
- Ağırlık limitleri.

5.7.5.2 Denizcilik/haberleşmeler

- Bir rotayı belirli toleranslar içerisinde takip edebilme,
- Mevcut haberleşme frekansları,
- Haberleşme sistemi,
- Gerekli deniz tabanı konumunun doğruluğu,
- Araştırma kontrol sistemi.

5.7.5.3 Minimum bükülme yarıçapı

Bütün donanım ve kurulum yöntemlerinde kablonun minimum bükülme yarıçapının ihlal edilmemesine dikkat edilmelidir.

Bu durum aşağıdaki hususları içerir:

- Makaralar ve sargılar,
- Çıkrıklar, rulmanlar ve yan pervane,
- Germe donanımı,
- Döner tablalar.

5.7.6 Kablonun korunması

Kablonun bir denizaltı projesinde korunması oldukça önemlidir. Bundan dolayı koruma özellikleri, (gömülme derinliği, dayanması gereken fiziksel etki çeşidi, vs) projenin yürütülmesinde olabildiğince önceden göz önünde bulundurulmalıdır. Bu madde, bir kablonun fiziksel hasarlardan korunma yollarından bir kaçını vurgular.

5.7.6.1 Kablo aralığı

Kablolar çoklu kablo kurulumunda, içlerinden birinin zarar görebileceği düşüncesiyle aralıklı olarak dizilirler ve diğer kablolar yedek durumda kalır. Ayrıca kabloların yan yana gittiği durumlarda aralarında uygun bir açıklık bırakılmalıdır. Böylece kablolar bitişik bir kablo üzerinden geçmeden onarılarak yeniden döşenirler.

5.7.6.2 Kablonun gömülmesi

Bir kablonun çok büyük mekanik etkilerden korunması için izlediği yol boyunca gömülmesi gerekebilir.

5.7.6.3 Gömülme derinliği

Gömülme derinliği, kablonun ne tür bir etkiye karşı korunduğuna bağlıdır. Örneğin bir kablo, tahmin edilen en derin çukur kazma faaliyetiyle, deniz tabanına bırakılan bir çapanın gidebileceği noktadan daha derine gömülmelidir. Ayrıca gömülme işlemi, sürüklenen bir çapa tırnağından uzak ve yüksek gelgit akıntıları veya kıyıya vuran büyük dalga aşınmalarından etkilenmeyeceği yeterli derinliklerde yapılmalıdır. Kablolar 6 metrelik derinliklere kadar gömülebilir.

5.7.6.4 Gömme teknikleri

Gömmek için bir takım teknikler kullanılır. Bunlar, hem kablo döşenirken hem de döşendikten sonra kabloyu deniz tabanının içine iten gömme makineleridir. Bazı makineler kayaları parçalayabilir. Pek çoğu, bir gemiye bağlı halatlarla deniz tabanı boyunca çekilir.

5.7.6.4.1 Kablonun gömülmesi

Aşağıdaki makineler eş zamanlı olarak bir çukur kazarak kabloyu gömebilir:

- Su jeti pulluğu,
- Titreşimli pulluk,
- Yüksek güçlü pulluk.

5.7.6.4.2 İzler

Gömme makineleri aşağıda belirtilen ve farklı çevresel etkilere neden olabilecek çeşitli izlere sahiptir:

- Kızak patinajları,
- Tekerlek izleri,
- Lastik tekerlekler.

5.7.6.5 Çukur kazma

Kablonun döşeneceği yerde çukur kazmak için aşağıdaki teknikler kullanılır:

- Elle toprağın kaldırılması,
- Çift çeneli kepçe,
- Emme veya hava itmeli dip tarama araçları,
- Kesici başlı ve kovalı tarayıcılar,

- Zincirli hendek kazar,
- Frezlenmiş silindirik testere,
- Mavna üzerine takılmış kepçe,
- Patlayıcılar.

5.7.6.6 Kablo borusu

Kablo, kurulum öncesinde kıyı bitimlerinde kablo borusu içerisine yerleştirilir. Alternatif olarak, kurulu kablonun çevresine ayrılabilir kablo borusu takılabilir.

5.7.6.7 Kablo koruyucular

Ayrılabilir kabloların birbirine bağlı ve boğumlu kısımlarının sığ sularda ve kıyıda fiziksel hasarlarına engel olmak için birbirlerine civatalanabilir veya kablonun çevresi bantla sarılabilir.

Ayrılabilir kablo, dökme demir veya plastikten yapılabilir.

5.7.6.8 Kablo olukları

Kablo olukları karada ve suda kurulabilir. Bunlar hem korumayı hem de kabloya gelecekteki erişimi mümkün kılar. Kablolar kurulduktan sonra oluklar çoğunlukla seçilmiş veya akışkan dolgu malzemesiyle doldurulur ve ek bir koruma için üzerlerine bir kapak geçirilir. Döküm işlemi ya yerinde ya da öncesinde yapılır.

5.7.6.9 Beton kiremitler

Kabloyu delinmelerden korumak için dolgu işlemi yapılmadan önce kıyı kenarına veya karaya betondan yarım kiremitler döşenir.

5.7.6.10 Kablo yatakları, örtüler ve aşındırma önleyici altlıklar

Özel olarak yapılmış kablo yatakları kablo boyunca yerleştirilerek çakıl veya beton ile doldurulur. Örtüler ve aşındırma önleyici altlıklar, birbirlerine bağlı lastik veya dökme beton bloklardan yapılmış olup kablonun üzerine serilir. Ağır kablo yatakları veya örtülerinin kullanıldığı durumlarda toprağın çökme olmadan kablo yatağını

destekleyecek sağlamlıkta olması gerekir ve kabloların kablo yatakları tarafından sıkıştırılmamasına dikkat edilmelidir.

Bir başka yöntem ise toprak dengeleyici örtüler ve altlıklardır. Bunlar suyun akış hızını yavaşlatarak çökeltilerin yakalanmasını sağlarlar ve böylece bu katı parçacıklar deniz tabanına çökerek kablo yüzeyini kaplarlar.

5.7.6.11 Kaya yığma

Kablonun bir mavna tarafından yerleştirilen kayalarla dikkatlice örtülmesi, kablonun gömülemeyeceği durumlarda mekanik bir koruma sağlar.

5.7.6.12 Yatay yönlü sondaj

Yatay yönlü sondaj, deniz yolunun bir kısmının veya tamamının altına bir kablo borusu yerleştirmek için kullanılabilir. Genellikle bu yöntem bir kablonun kurulumunda kablo borusunun kıyı bitimlerine yerleştirilmesinde kullanılır. Yönlü sondaj, geniş bir kurulum alanı gerektirebilir.

5.7.6.13 Köprüler ve serbest aralıklar

Kablo yatakları veya kum ve beton çuvallar, kablonun asılı kalacağı engebeli araziler üzerinde bir köprü oluşturarak kabloya destek olabilir. Köprünün üzerindeki boylamasına çukur, kabloyu sıkıca tutarak çapaların onu yakalamasına imkan tanımaz.

Bazı durumlarda, aktif tesis kabloları veya borular diğer denizaltı kablolarıyla kesişmek zorunda kalabilir. Genel olarak diğer kabloların altında oluşabilecek bir sıkışma istenmeyen bir durumdur. Çünkü onarım ve erişim imkanları kısıtlanır. Başka hizmet birimleriyle karşılaşılması durumunda ise bir köprü kurularak daha önemli olan kablo kaldırılmadan sıkışan kablonun yer değişimine imkan tanınır.

5.7.6.14 Kablo geçidi uyarı işaretleri

Kıyılara yerleştirilen büyük ve çok iyi görülebilen işaretler, çoğunlukla denizcilere bir kablo geçidinin varlığını haber verir. Bu işaretler, gemilerin kablo koridoruna demir atmamalarını resmeden grafikler içerebilirler (kabloya hasar veren bir çapa

gibi). Bunlar, yüksek derecede yansıtıcı harflerle yazılabilir ve geceleyin daha net bir görüş için ışıklandırılabilir.

5.7.6.15 Denizcilik haritaları

Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) gibi denizcilik haritaları, kablo koridorunun yerini göstermek için güncellenebilir.

5.7.7 Gelgitlerin oluşturduğu en düşük ve en yüksek seviyeler arasındaki bölgede kurulum

Kıyı bitimlerinde kablonun yerleştirilmesi için uygulanan kurulum yöntemleri, kablo kanalının ortasındaki geçitlerde uygulanan yöntemlerden farklı olabilir. Bazen bu yöntemlerin birleşimi uygulanır.

5.7.7.1 Kepçeyle çukur kazma

Kepçeyle çukur kazma işlemi, çukurun ne kadar derine kazılacağı ve çok yumuşak toprak tabakalarına bağlı olarak sınırlanabilir.

5.7.7.2 Deniz tabanının taranması

Deniz aracılığıyla erişilen kablo yolu, çift çeneli kepçe ve hava itmeli veya emmeli tarama araçlarıyla deniz tabanının taranmasına sınırlandırma getirmiştir.

5.7.7.3 Toprağın elle kaldırılması

Toprağın elle kaldırılması işlemi, çukur kazılmasında uygulanabilir. Bu, sadece denizaltında yapılabilir.

5.7.7.4 Gömme makineleri

Bazı gömme makineleri kuru alanda çalıştırılabilir ve deniz içinde çalışmaya devam edebilir.

5.7.7.5 Yatay yönde sondaj

Kıyı bölgesi altındaki sondaj çukurlaşmayı önleyecektir.

5.7.8 Kanal ortasından geçen kurulum

5.7.8.1 Yüzer

Korunan denizlerde ve kısa geçitlerde, kablo şamandıra ile desteklenebilir ve deniz yolunun karşısına vinç ile kaldırılabilir. Karşıya geçirildiğinde şamandıralar kaldırılır.

Erişim sadece bir kıyı ile sınırlı ise, uzak kıyıya bir döner blok yerleştirmek ve kablo römorku ile vinci yakın kıyıya yan yana ayarlamak suretiyle, bir "çamaşır ipi" yaklaşımı kullanılabilir.

5.7.8.2 Vinçli mavna

Kablo, deniz yolunun karşısına çekilmiş bir mavna ile atlatılabilir. Tipik olarak, bir yüzer gemi çapaları eş zamanlı sırada yerleştirir. Bu arada mavna üzerindeki vinçler mavnanın konumunu kontrol eder.

5.7.8.3 Serbest mavna veya serbest bot

Kablo, konumu römorkör veya gemi üzerindeki iticilerle (düzenleyici roket) kontrol edilen bir gemi ile atlatılabilir. Bazı gemiler kablo döşemek için özel olarak yapılmıştır. Genelde bunlar uzun geçitlerde veya büyük kabloların döşenmesinde kullanılır.

5.7.8.4 Kablo gerginliği

Döşeme gemisi ve karina arasında oluşan zincir eğrisinden kaynaklanan gerginliğe ve ayrıca döşeme gemisinin kaldırma ile ilgili dinamik kuvvetlere dayanabilmesi için, kablo bu durumlara uygun olarak tasarlanmalıdır.

Azami kablo gerginliği döşeme gemisinde oluşacaktır. Bu noktada, gerginlik zırhın düzleşmesine yol açacaktır (şayet kablo tek tabakalı zırhtan oluşuyorsa). Deniz tabanı civarında kablo gerginliği daha az olacak ve böylece zırh gevşemeye (açılmaya) başlayacaktır. Deniz tabanı üzerindeki kablo gerginliği yetersiz ise, kablo kendi içinde bir ilmik oluşturacaktır. Bu kolaylıkla bir kıvrıma dönüşebilir.

Ayrıca kablonun deniz tabanına minimum gerginlikle döşenmesi istenebilir. Böylece kablo deniz tabanına uyum sağlayacak ve asılı halde kalmayacaktır.

Doğrusal gerginlik makineleri veya bocurgatları, döşeme sırasında kablolarda gerginliği muhafaza etmek için sıkça kullanılır. Daha küçük kablo döşeme işlemlerinde daha güçlü bir makara kullanılabilir.

5.7.8.5 Sarma kablo ve döner levhalar

Bir gemi güvertesi üzerine bazı kabloları sarmak istenebilir. Çünkü her devir kablonun 360 derece dönmesini gerektirir ki bu durum kablonun (özellikle onun zırhının) dayanması için tasarlanmamıştır. Bu dönmeyi ortadan kaldırmak için bazı kablolar, gemi üzerinde sarılmaktan ziyade makara veya döner levhalar ile sarılır. 360 derecelik dönmeyi hafifletmek için kablo kısa kesitleri "sekiz şeklinde" sarılabilir.

5.7.9 Karada kablo kurulumu

5.7.9.1 Yöntemler

- Kabloyu karada çekmek için vinçler kullanılabilir,
- Çekmede oluşabilecek gerginliği azaltmak ve kablonun aşınmasını önlemek için makaralar kullanılabilir. Kıvrılan kablo kenarlarına düşey şekilde yerleştirilmiş makaralar, kablonun kolayca çekilmesine yardımcı olur.
- Güvenli ve sıkı bir şekilde bağlı büyük makaralar veya sektörler köşeleri dönmek için kullanılabilir,
- Çekmede oluşan gerilmeyi azaltmak için uzun mesafelerde yol ortasına motorlu makara veya doğrusal makineler yerleştirilebilir,
- Kablo, yön sondajı ile kurulmuş veya bir çukura yerleştirilmiş bir kablo boru sistemi ile çekilebilir.

5.7.9.2 Engeller

- Yan duvar (cephe) basıncı,

- Çekme gerginliği,
- Gelgit akımları, rüzgar, geminin manevra kabiliyeti ve demirleme kısıtlamaları, kablo kurulumunun alıcı ucundaki döşeme gemisinin kabloyu makaradan çözme, kesme ve gevşek kabloyu yüzdürme kabiliyetini sınırlayabilir.

5.7.10 Kablo ile ilgili işlemler ve depolama

Özellikle kağıt bantlı büyük çaplı kablolarda kablonun fabrikasında ve döşeme gemisindeki idaresi ve depolanması ile kullanıcının arazisinde depolanması önemlidir. Bazı kablolar dolanmaması için döner levhalara sarılabilir.

Alıcı ve üretici, kablonun depolama, sevkıyat ve taşınması sırasında idaresi ile ilgili anlaşma yapabilir.

5.8 Kalite Garantisi ve Test Etme

5.8.1 Tesis denetimi/Satıcı seçimi

Üretim tesislerinin ve kurulum şirketlerinin daha önceki kurulumlarının da göz önünde bulundurularak denetlenmesi, onların niteliklerini kavrayarak kaliteli bir kurulum konusunda bir fikir edinmeyi sağlayabilir.

5.8.2 Nitelik deneyi

Bazı kablo tasarımları, üretimden sonra kullanıma uygun olduklarını göstermek için mekanik veya elektronik olarak denenirler. Bu deneyler bazen "prototip deneyler" olarak adlandırılır.

5.8.2.1 Mekanik

Electra'nın Nisan 1997 tarihli 71. baskısı, "Denizaltı kablolarında mekanik deneyler için öneriler" başlıklı bir kısım içermektedir. Bu belge sarma, bükme ve iç basınca dayanma konusunda denizaltı kablolarının denenmesini açıklamaktadır. Ayrıca, bir deniz-prova deneyini de açıklamaktadır.

5.8.2.2 Elektrik

Nitelik deneyi sırasında gerçekleştirilmesi gereken bazı elektriksel deneyler mevcuttur.

5.8.3 Üretim deneyi

Kablolar, elektrik ve mekanik anlamında kullanıma uygun olduklarını göstermek için üretimden sonra denenebilir. Bir önceki maddede sözü edilen aynı kuruluşlar deney protokolü temin etmektedir. Bu deneyler bazen "fabrika deneyleri" olarak adlandırılmaktadır.

5.8.4 Kurulum öncesi deneyler

Elektriksel deneyler, normalde taşıma esnasında kablonun zarar görmediğinden emin olmak için kurulumdan önce gerçekleştirilir.

5.8.5 Tanıklık

Bir denizaltı kablo alıcısı, aşağıdakilerden bir veya birkaçını yerine getirmek üzere tercih edebilir:

- Nitelik deneyi,
- Üretim işlemi,
- Üretim deneyi,
- Onay ve teslimat testleri.

5.8.6 Onay&Teslimat ve bakım testleri

5.8.6.1 Teftiş

Kablonun deniz tabanına uygun bir şekilde döşendiğinden ve/veya gömüldüğünden emin olmak için kurulum sonrasında bir inceleme gerçekleştirilebilir. Kablonun onarılması, çıkarılması, diğer bir kablonun onun yanına veya üzerine döşenmesi veya

çevresinde bir yapım çalışmasının olduğu durumlarda, hazır bir test faydalı olabilir. Kabloyu yerleştirmek veya incelemek için aşağıdaki teknikler kullanılabilir:

- Kablo yerleştirme (renklendirme [tonlama], elektromanyetik alanın tespit edilmesi, metal detektör),
- Kıyı tarama,
- Çok huzmeli hassas bir batimetri incelemesi,
- Dalgıç veya ROV yardımıyla video veya durağan fotoğrafçılık.

5.8.6.2 Yüksek gerilim deneyi

Kablonun kurulumunda zarar görmediğinden emin olmak için yapılabilecek bir takım elektriksel deney mevcuttur:

- AA Deneyi (AA deneyleri aşırı yükleme akımı nedeniyle bazı uzun kablolarda her zaman pratik değildir),
- DA Deneyi,
- Dış kılıf bütünlük deneyi, kablo dış kılıfına zarar veren önemli bir mekanik etkinin olup olmadığını işaret eder. Eğer dış kılıf yarı iletkense bu deneyin yapılması mümkün değildir,
- Kayıp faktörünün ölçümü,
- Kılıf ve zırh akımı ölçümleri.

5.8.6.3 Hidrolik

Sistemin düzgün bir şekilde çalıştığından emin olmak için birtakım hidrolik sistem deneyleri gerçekleştirilebilir:

- Kablo sisteminin sızıntı basınç deneyi,
- Çözülmemiş gaz analizi,
- Boru/pompa sızıntı deneyi,

- Yalıtımın yağ emme deneyi,
- Sıvı akış deneyi.

5.8.6.4 Aletler takımının ayarlanması

Aletler takımının ayarlanması, doğru ve güvenilir bilgiler elde etmek için önemlidir. Bir alarm olması ve alet takımının düzgün bir şekilde ayarlanmaması halinde, yanlış bilgilendirmeden dolayı sistem cevabı yanlış olabilir.

5.8.6.5 Zaman alanı reflektometresi (TDR)

Özellikle çok ekli kablolarda, TDR donanımı ile birlikte çekilmiş olan bir kablo "resmi", gelecekte olabilecek hataları tespit etme konusunda faydalı olabilir. Bu aynı zamanda kablo uzunluğunu ve darbe yayılım hızını doğrulamada yardımcı olur.

5.9 Yedek Malzeme

5.9.1 Yedek kablo

5.9.1.1 Kablo ucundaki pay

Her bir kablo uç yapısının alt kısmının yanına yedek bir kablo payı gömülebilir. Kablo ucunun yakınlarında kablo ucundan veya kablodan kaynaklan bir arıza olması durumunda bu kablo payı kazılabilir ve hasar gören kabloyu ya da yedek kablo ucunun hazırlık uzunluğunu telafi etmek için kullanılabilir.

5.9.1.2 Depolanmış kablo

Madde 5.6.4'e bakınız.

5.9.1.3 Uzunluk

Bir kabloyu onarmak için deniz derinliğinden minimum iki kat daha büyük bir yedek kabloya ihtiyaç duyulur. Çoklu kablo sisteminin veya kablonun bir bölümünün veya bir kablonun pek çok kez hasar görmesi durumuna karşı, ek bir yedek kablonun bulundurulması gerekebilir.

Kara kablosunun denizaltı kablosuna eklenmesi durumunda, kablo artıklarını da içine alacak şekilde kablo çukurları veya ek yerleri arasındaki en uzun mesafeye eşit bir kara kablosu yedek kısmı bulundurulabilir.

5.9.2 Sıvı

Yedek sıvı veya yağ soğumalı kablo sistemleri, gerekli hacim miktarına bağlı olarak varillerde veya depolama tankında depolanabilir. Variller paslanmayacakları bir yerde saklanmalıdır.

5.9.3 Kablo ekleri ve başlıkları

Yedek kablo ekleri ve başlıkları uzun süreli depolama için ambalajlanmalı ve çevre etkilerinden korunan bir yerde saklanmalıdır. Projede sabit, esnek veya bunların her iki türünden ek yerleri bulunabilir. Bazı parçaların raf ömrü sınırlı olduğundan dolayı bu parçaların periyodik olarak değiştirilmesi gereklidir.

Bir mal sahibinin elinde bulunan yedek parça sayısı aşağıdaki faktörlerden etkilenebilir:

- Arıza veya hasar görme olasılığı,
- Yedek parça edinme süresi,
- Talep edilen devre güvenilirliği.

5.9.4 Aletler ve donanım

Bazı parçaların onarımını yapmak veya belirli bakım işlerini gerçekleştirmek için özel alet veya donanımlara ihtiyaç duyulabilir. Bu parçalar piyasada hazır durumda bulunmayabilir. Kullanıcı bu öğeleri satın alabilir veya kullanıcı onarım ve bakım işlerini kuruluş içindeki işçilerle yapmayı isteyebilir.

5.9.5 Gaz alıcı

Yağ soğumalı kablo sistemleri için yedek bir gaz alıcı veya gaz alıcı için önemli parçalar satın alınabilir.

5.10 Belgelendirme ve Çalıştırma

Denizaltı kabloları genelde herhangi bir bakım yapmaksızın yıllarca çalışırlar. Bir parçanın onarılması, değiştirilmesi veya ayarlanması gerektiğinde, sistemin çalışması hakkında bilgiye sahip işçiler hazır durumda olmayabilir. Bu nedenle, kablo sisteminin her ayrıntısı ile belgelendirilmesi önemlidir.

5.10.1 Belgelendirme

Belgeler içinde bulunması gereken bilgiler aşağıda belirtilmiştir:

- Araştırma kontrol noktaları ve işaretler dahil olmak üzere, denizde ve karada kablonun nereye döşendiğinin planı ve profili,
- Engellerin yerleri,
- Kablo eklerinin yerleri,
- Bitim istasyonun bütün çizimleri,
- Fotoğraflar.

5.10.2 Çalıştırma kılavuzu

Özellikle yağ soğumalı kablo sistemlerinde, bütün sistemi açıklayan bir çalıştırma kılavuzu çok gereklidir. Kılavuz aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:

- Sistem ve sistemin nasıl çalıştığı ile ilgili açıklama,
- Normal ve acil durumlarda sistemin nasıl çalıştırılacağı ile ilgili talimatlar,
- Alarm ve acil durumlara nasıl cevap verileceği ile ilgili talimatlar.

5.10.3 Sistem parçaları ile ilgili açıklama

Alıcı bir parçanın değiştirilmesi gerektiğinde, hem yedek veya ona benzer bir parçayı sipariş etmek, hem de hazır bir parçayı elinde bulundurmada yeterli bilgiye sahip olmalıdır.

- Her parçanın açıklaması,
- Çizim,
- Boyutlar,
- Performans özellikleri,
- Üretici adı ve katalog sayısı,
- Sistemin nasıl çalıştığı ile ilgili açıklama.

5.10.4 Çalışma sınırları

5.10.4.1 Elektriksel büyüklükler

- Sürekli hal yük akımı,
- Acil durum yük akımı,
- Geçici veya kısa süreli akım,
- Arıza akımı,
- Fazlar arası gerilim oranı,
- Temel yalıtım düzeyi (BIL),
- Anahtarlama darbe gerilimi.

5.10.4.2 Hidrolik sınırlamalar

- Basınç,
- Akış oranları,
- Basınç-hacim eğrileri.

5.10.4.3 Diğer tasarım ölçütleri

- Toprağın ısıl özellikleri,

- Sismik bilgiler,
- Çalışma sıcaklıkları.

5.10.5 Rutin çalışma, denetim ve bakım prosedürleri

- Program
- Prosedür,
- Ayarlama talimatları,
- Sıvı testi,
- Kabul edilen ve edilmeyen bulgular,
- Kablo başlıklarının temizlenmesi,
- Yedek parça, özel donanım ve aletlerin yeri ve durumu,
- Yedek parçaların raf ömrü,
- Yedek kablonun kontrolü,
- Tedarikçi listesi.

5.10.5.1 Dış kılıfların denenmesi

Bir kablonun yüksek gerilim altında olmayan yalıtkan tabakalarının bütünlüğü önemlidir. Örneğin, bir dış kılıfın arızalanması durumunda kabloya su girebilir ve içteki metal parçalar korozyona uğrayabilir. Böylece bir elektrik arızası meydana gelir. Bakım testi, orta noktada topraklama yapılmayan kablolarının yalıtım tabakalarında oluşabilecek bir arızanın tespit edilmesi için iyi bir yoldur. Bir denizaltı kablosunun yalıtım tabakasında ufak bir deliğin tespit edilmesi ve onarımı, beklenmeyen bir faz-toprak arızasını önleyebilir.

5.10.6 Yeniden inceleme

Deniz tabanındaki koşullar, deprem, kasırga ve sel baskınları gibi önemli bir hava olayı veya doğal afetten sonra önemli ölçüde değişebilir ve bu durum kablonun asılı kalmasına, derine gömülmesine veya aşırı gerilmesine yol açabilir. Bu tür olaylardan sonra yapılacak olan bir deniz tabanı incelemesi bu koşulların değişip değişmediğini gösterebilir.

5.10.7 Onarım stratejisi

Kablonun üreticiden, döşeme/onarım teknelerinden ve eğitimli işçilerden uzak olduğu durumlarda onarımı pahalı ve çok zaman alıcı olabilir. Bu tür durumlarda, bir bakım stratejisi geliştirilebilir ve belgelendirmeye dahil edilebilir. Daha fazla bilgi için madde 5.11e bakınız.

5.10.8 Acil durum bakım prosedürleri

Bu konu, problemlerin nasıl ayrılacağı ve belirleneceği de dahil olmak üzere aşağıdaki durumlar ile ilgili yolları açıklayabilir. Geçici bakım yöntemleri ve zararın azaltılması ile ilgili bir açıklamayı da içerebilir.

- Her bir alarma karşılık plan,
- Sıvı sızıntısının tespiti ve yeri,
- Elektrik arızasının yeri ve hasar kontrolü,
- Yedek parça, özel donanım ve aletlerin yeri,
- Acil bir durumda yardımcı olabilecek yüklenici ve üreticilerin listesi.

5.10.9 Yedek parçaların montajı

- Çizimler,
- Talimatlar,
- Malzeme listesi,

- Aletler,
- Donanım,
- Yedek parçalar, özel donanım ve aletlerin yeri.

5.10.10 Güvenlik ve tehlikeler

Denizaltı kablo sisteminde veya çevresinde bir takım tehlikeler olabilir. Çalışma kılavuzu, söz konusu tehlikeler ile ilgili bir açıklama ve bu tehlikeleri minimuma indirmek için alınabilecek önlemleri içerebilir ve tehlikeli bir durumda uygulanması gereken prosedürleri açıklar. Bazı tehlikelere örnek olarak yangın, elektrik arızaları ve elektrik şoku verilebilir.

5.10.10.1 Sızıntı testi

Genelde, yalıtkan sıvı içeren her istasyonun içinde talimat ve çizimler ile birlikte bir sıvı sızıntısına müdahale seti bulunmaktadır. Bu çizimler boşaltma sistemleri ve sıvı tutma sistemleri gibi durumları göstermektedir.

5.10.10.2 Kimyasallar

Tehlikeli kimyasallar için Malzeme Güvenlik Bilgisi Kağıtlarına başvurulmalıdır.

5.10.11 Yetkililere yapılacak bildirimler

Denizde veya kıyı çizgisinde çalışmayı gerektiren bir kaza durumunda temas kurulması gereken yetkili ve/veya kuruluşların bir listesi bulundurulabilir.

5.11 Onarım

5.11.1 Arızaların yerini bulma

Kabloda oluşabilecek arızalar, elektrik veya hidrolik (kablo yağ soğumalı ise) arızaları olabilir. Bir arıza durumunda dikkate alınması gereken bazı teknikleri aşağıdadır:

5.11.1.1 Kanıt arama

- Demir atmış gemiler, balıkçı tekneleri, tarama makineleri, kazık çakma, kazıcılar gibi,
- Denizdeki dielektrik sıvı,
- Video kameralı dalgıç veya ROV,
- Alt taraftan geçen kablonun gemi güvertesinden geçiyormuş gibi düşünülerek incelenmesi.

5.11.1.2 Elektronik yer bulma teknikleri

- Zaman Alanı Reflektrometrisi,
- Murray düğümü,
- Kıyı tarama veya hassas bir batimetri incelemesi aşağıdaki durumlarda yararlı olabilir:
    - Çapanın kabloyu sürüklediği yerde bir "V"'nin oluşmasından ötürü çapanın kabloya zarar verdiğinden şüphelenildiği durumlarda,
    - Kablonun üzerine döşendiği çıkıntıları veya kablonun asıldığı yerleri tespit etmede,
- Arızanın yeri tespit edildiğinde, GPS ile veya kıyıdan yapılacak araştırma nirengisi ile hatanın yerini kaydediniz.

5.11.2 SCFF kablosundaki yalıtkan sıvı sızıntılarının yerini bulma

- Arızalar ve ayarlama için ölçümü kontrol ediniz,
- Her bir kablonun basınç azalma testi,
- Hava gözetlemesi: denizde bir yağ parıltısı olup olmadığına bakma,
- Video kameralı dalgıç veya ROV.

5.11.3 Kanıt

Sorunun nedeni ile ilgili analiz için kanıt sağlamak ve sıkıntı veren bir taraf aleyhine zararlar ile ilgili hak talep etme konusunda kablonun video ile kayda alınması ve fotoğrafının çekilerek kanıtların kaydedilmesi zararın büyüklüğünü tespit etmede yararlıdır.

5.11.4 Bir kablodan gelen dielektrik sıvıyı tutma

Kaçan sıvıyı tutmak için sızıntı yapan kablonun üzerine açık tabanlı bir metal kapama yerleştirilebilir. Tavanın üst kısmındaki bir baca yoluyla, yalıtkan sıvı dışarı pompalanabilir.

Kabloda sızıntıyı durdurmak için bir çatlak üzerine özel kelepçeler takılabilir.

Kablo kesilebilir, yüzeye çıkartılabilir ve kaplanabilir.

Sıvı akış oranını düşürmek için sıvı basıncı düşürülebilir. Dikkat: Arıza durumunda sıvı basıncının deniz basıncının altına inmesi durumunda kabloya su girmeye başlayacaktır.

5.11.5 Düzeltme

Arızalanmış bir kabloyu geri almak ve onarmak için birçok yöntem ve seçenek bulunmaktadır. Hangi yöntemin kullanılacağı, arızalanan kablonun kıyıdan uzaklığı, denizin derinliği, kablonun türü, yaşı ve durumu gibi birçok faktöre bağlıdır.

Bu yöntemlerden biri kabloyu yakalamak, kesmek, bir ucunu yüzeye çıkarmak, kablonun hasar gören kısmını keserek yeni kablo parçasıyla birleştirmek, yeni kabloyu ve ek yerini kısmen indirmek, eski kablonun diğer ucunu yeni kablonun kalan ucuyla birleştirmek ve ek yerini denize indirmektir (kabloda herhangi bir bükülme oluşturmadan ve çevredeki kabloları sıkıştırmadan).

Diğer bir yöntem ise, kabloyu her iki kıyı tarafında kesmek ve döşeme gemisi üzerinde makaraya sarmaktır. Kablonun onarımı makaradan çözüldükten sonra bir limanda yapılır. Daha sonra kablo bir kıyıdan bağlanarak diğer kıyıya kadar yeniden döşenir ve diğer kıyıdaki uçla birleştirilir.

Sığ denizlerde kabloyu kesmeden bir onarım mavnası üzerine kaldırmak ve onarımını yapmak için kabloda yeterince gevşeklik bırakılabilir.

Deniz yeterince sığ ve kabloda yeterli uzunluk payı var ise, kablo kıyıda kaldırılarak mavna kenarındaki çıkrıklara yerleştirilebilir. Daha sonra kablo arızadan uzaklaşarak mavna üzerine çekilir. Arızalı kısım kesilir ve yedek kablo uzunluğu eklenir. Daha sonra mavna kabloyu kıyıda sığ bir yerde çıkardığı yerde denize indirir.

Kıyıya yakın yerlerdeki arıza yerleri için, kablo kıyının kenarında kesilebilir ve arıza yerinden uzaklaşarak mavna üzerinde sarılabilir. Yedek kablo parçası eklendikten sonra kablo kıyı tarafında doğru bir ek yerinin yapıldığı kıyıya geri döşenir ve onarım işlemi tamamlanır.

5.11.6 Kablo onarım ek yerleri

Kablo onarım tekniğine bağlı olarak onarımı gerçekleştirmek için bir esnek ek yeri veya katı bir ek yeri kullanır [16].

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Denizaltı kablolarıyla DA iletimi, AA ile iletime kıyasla daha düşük kayıplara sahiptir. Bu nedenle yüksek gerilimli DA iletimin (HVDC) tercih edilmesi avantajlı bir duruma gelmektedir.

Denizaltındaki elektronik denizcilik sistemleri, uzaktan kumandalı çalışan araçlar (ROV'lar) ve döşeme gemisinde yer alan bilgisayar kontrollü dinamik konumlandırma sistemleri ile kablo döşenmesi için optimum yollar saptanarak döşeme işlemi en güvenilir ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Kablonun döşeme işleminden sonra korunması da oldukça önemlidir. Bundan dolayı kablo, mekanik etkilerin görülme ihtimalinin fazla olduğu yerlerde gömülebilir veya beton oluklara yerleştirilebilir. Gömülme işleminin elverişli olmadığı durumlarda ise köprüler, kablo yatakları, örtüler ve aşındırma önleyici altlıklar ile desteklenebilir. Anadolu yakası - Adalar arasındaki denizaltı kablolarının mekanik etkiye en çok maruz kaldığı kıyıya yakın yerlerde kabloya gömme işlemi uygulanabilir veya beton oluklar kullanılabilir. Bundan başka kablo içine yerleştirilen optik lifler kablonun sıcaklığını algılama ve hasarın tespit edilmesinde etkin bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasına döşenmiş olan 5.8/10 kV anma gerilimli, 3 fazlı ve 300 A akım taşıma kapasitesine sahip denizaltı kablosu için ısıl ve elektrostatik analizler yapılmıştır. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde deniz suyunun 0-20^{o}C sıcaklıklar arasında her bir 5^{o}C için ısıl iletkenlik değerlerinden yararlanılmıştır. Yapılan analizde her bir sıcaklık değeri için başta bakır iletken ve XLPE (çapraz bağlı polietilen) yalıtkan olmak üzere kablo tabakalarının sıcaklıkları tespit edilmiştir. 0-20^{o}C arasındaki deniz suyu sıcaklıkları için tespit edilen 31,3-48^{o}C'lik iletken sıcaklıkları, 90^{o}C sıcaklık değerlerinde kullanılabilen iletken için aşırı ısınmaya neden olmamaktadır. Acil durumlarda 130^{o}C, normal şartlarda 90^{o}C'lik iletken sıcaklıklarında kullanılan XLPE yalıtkan malzemesi bu sıcaklık değerlerine rahatlıkla dayanabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, Anadolu yakası -

Adalar arasındaki kurulu denizaltı kablo sisteminde uygun yalıtkan malzemelerin kullanıldığını gösterir.

XLPE yalıtımlı kablolar, ısıya dayanımı, çevreye duyarlılığı ve olumlu bir geçmişe sahip olması sebebiyle denizaltı kablolarında sıklıkla tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Attwood, J. R.,** September 2000. Cable Design for Subsea Power Links, *IEEE Power Engineering Review*, **20**, Number 9, 13-21.

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_power_cable, Wikipedia.

[3] **Kalenderli, Ö.,** 2004. Yüksek Gerilim Yeraltı Kabloları Ders Notları, İTÜ, İstanbul.

[4] **Saner, Y.**, 1998. Güç (Enerji) Dağıtımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[5] http://www.hes.com.tr/tr/index.asp, Hes Hacılar Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş.

[6] **Türk Pirelli Kablo ve Sistemleri A.Ş.,** *İletkenler ve Enerji Kabloları*, 8-9.

[7] **Powers, W. F. (Buddy),** May/June 1994. The Basics of Power Cable, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **30**, Number 3, 506-509 .

[8] **Zbinden K., Barragan E., Pederson R.**, March/April 1988. 150 kV and 110 kV XLPE Submarine Cable Installations Between Morocote and Brusino, Switzerland, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, **4**, Number 2, 11-14.

[9] **Matsunaga, O., Harada, K., Maki, Y., Suda, E., Sakamaki, M.,** 2001. Leyte-Bohol Interconnection, 138 kV Oil-Filled Submarine Cable Project in the Philippines, *Hitachi Cable Rewiew*, **20**, 69-72.

[10] **Çavuşoğlu, S.,** 2005. Kişisel notlar.

[11] **AYEDAŞ**, 1992. *İstanbul Adalar-AnadoluYakası Arasındaki Denizaltı Kablo Bağlantıları Haritası,* Ölçek 1:20,000, 1 yaprak, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, İstanbul.

[12] **Hazneci, R.,** 2005. Kişisel notlar.

[13] **AYEDAŞ**, Ağustos 2005. *İstanbul Anadolu Yakası - Adalar Arasındaki Denizaltı Kablo Arızası ile İlgili Resimler*, İstanbul.

[14] **Kalenderli Ö.**, Elektrik Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi Ders Notları, İTÜ, İstanbul.

[15] http://www.chrismanual.com/Intro/prop.htm, Chemical Hazards Response Information Systems (CHRIS).

[16] **IEEE Std 1120-2004,** 31 March 2005. *IEEE Guide for the Planning, Design, Installation, and Repair of Submarine Power Cable Systems*, IEEE Power Engineering Society, New York, USA.

[17] http://fermat.nap.edu/books/0309091764/html/24.html, The National Academies Press.

[18] http://chartmaker.ncd.noaa.gov/HSD/wrecks.html, Office of Coast Survey Side Scan and Multibeam Sonar.

[19] http://www.ropos.com, Canadian Scientific Submersible Facility.

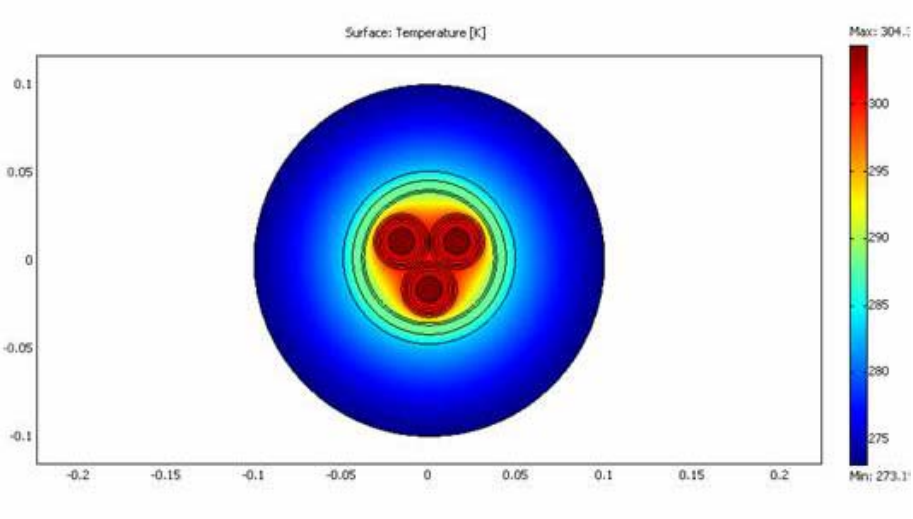
[20] **Heinhold, L**. 1970. Power Cables and Their Applications, Berlin and Münich.

EKLER

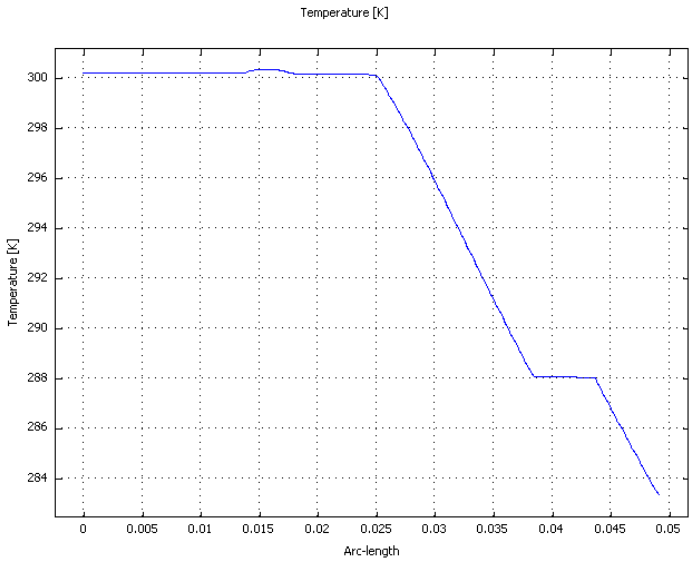
Bu ekte, İstanbul Anadolu yakası - Adalar arasındaki 5.8/10 kV'luk, 3 fazlı ve 300 A'lik akım taşıma kapasitesine sahip denizaltı kablosunun 0, 5, 10 ve 20^{o}C'deki ısıl analizlerine yer verilmiştir.

Ek A:

0^{o}C'de:



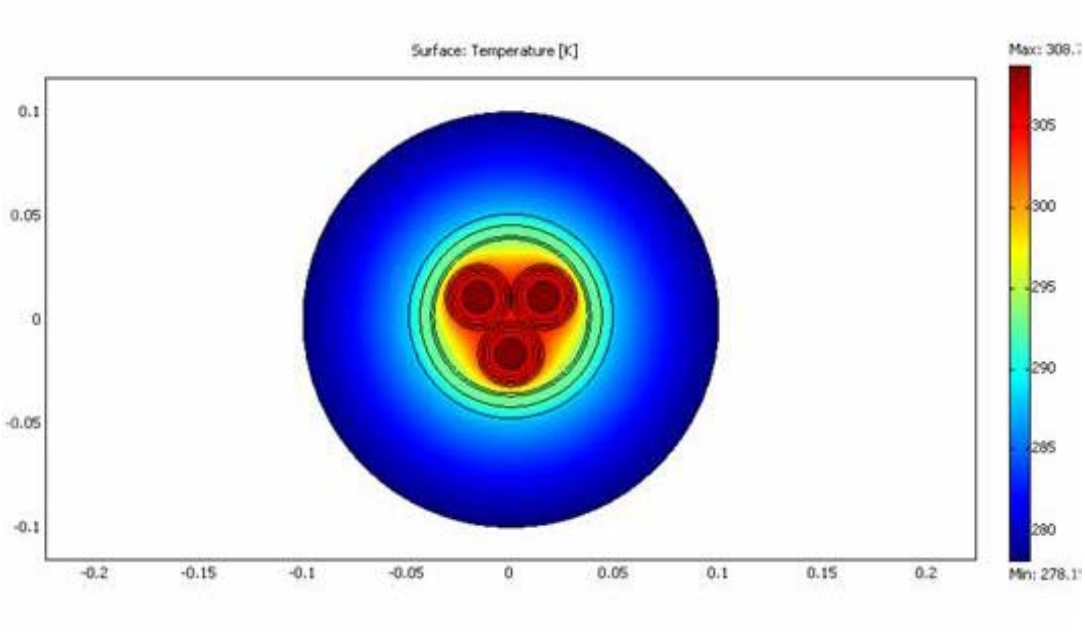
Şekil A.1: Kablonun 0^{o}C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı



Şekil A.2: Kablonun 0 ^{o}C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi

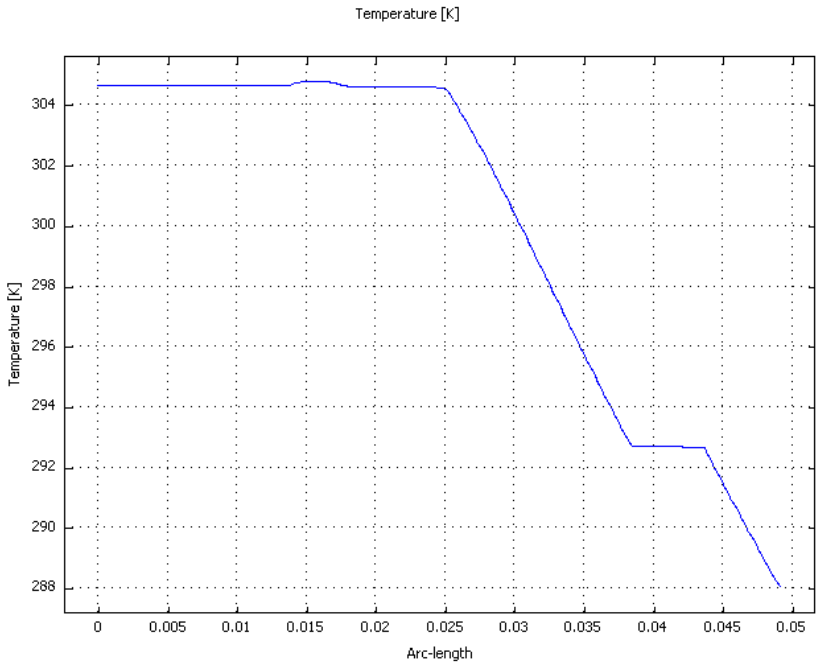
Ek B:

5°C'de:



Şekil B.1: Kablonun 5°C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı

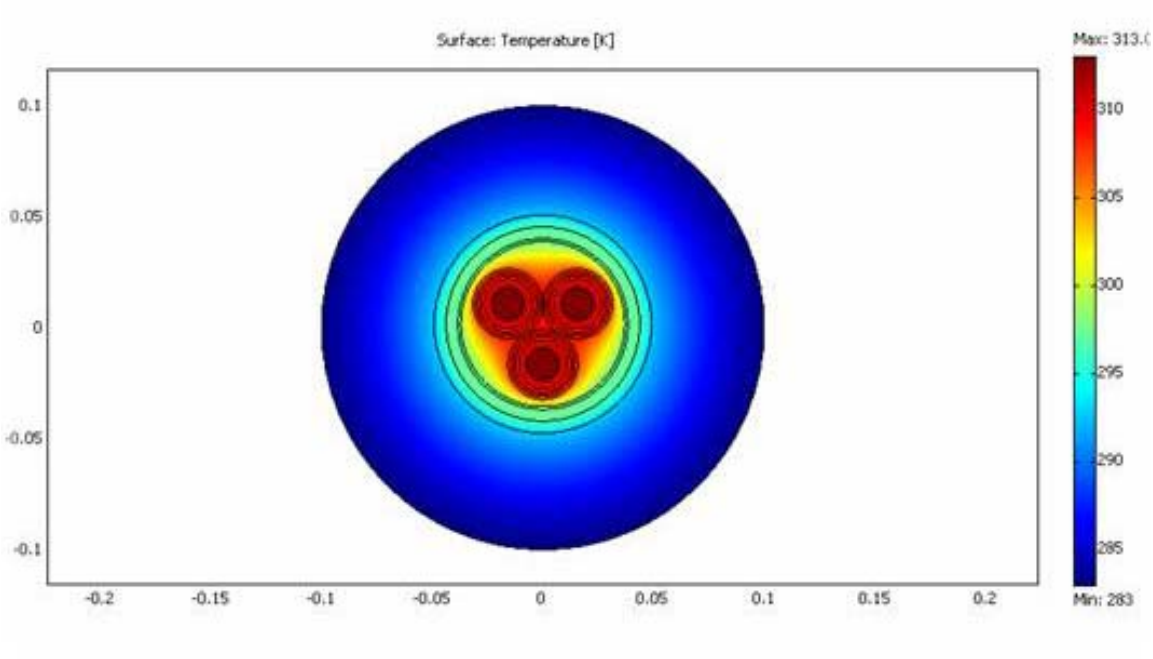
.



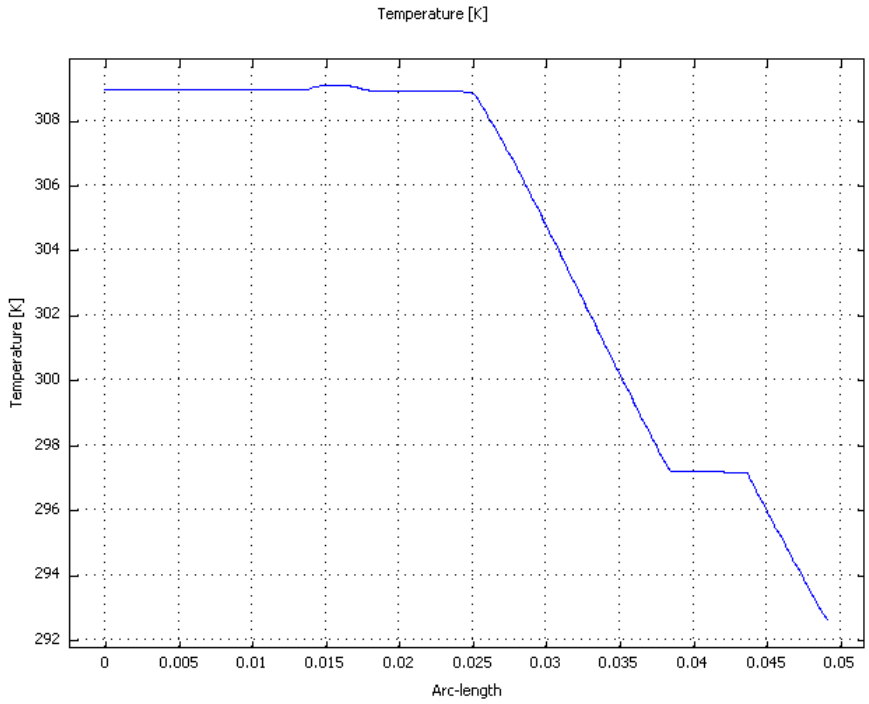
Şekil B.2: Kablonun 5°C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi

Ek C:

10°C'de:



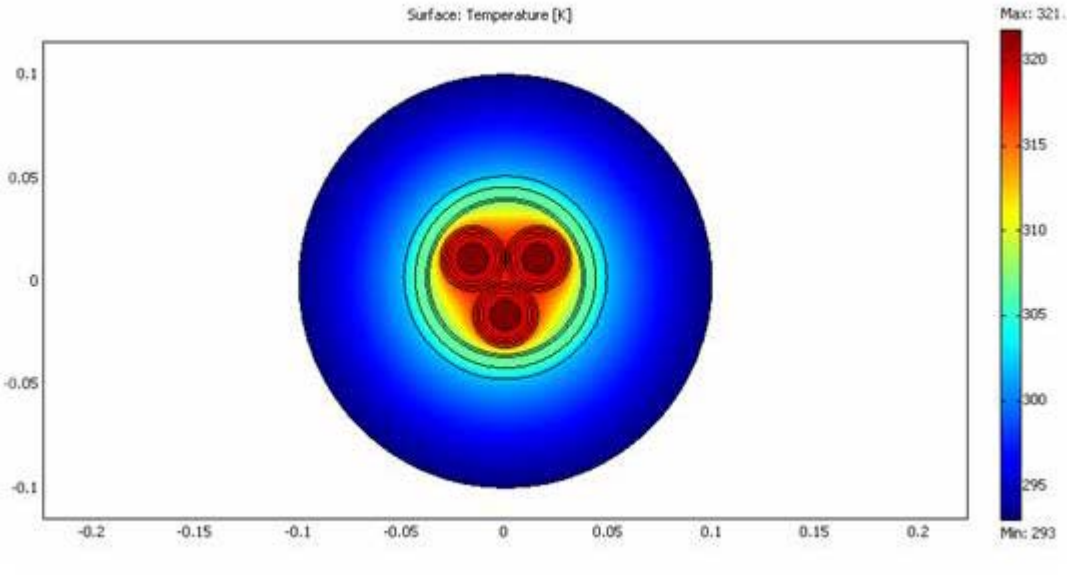
Şekil C.1: Kablonun 10°C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı



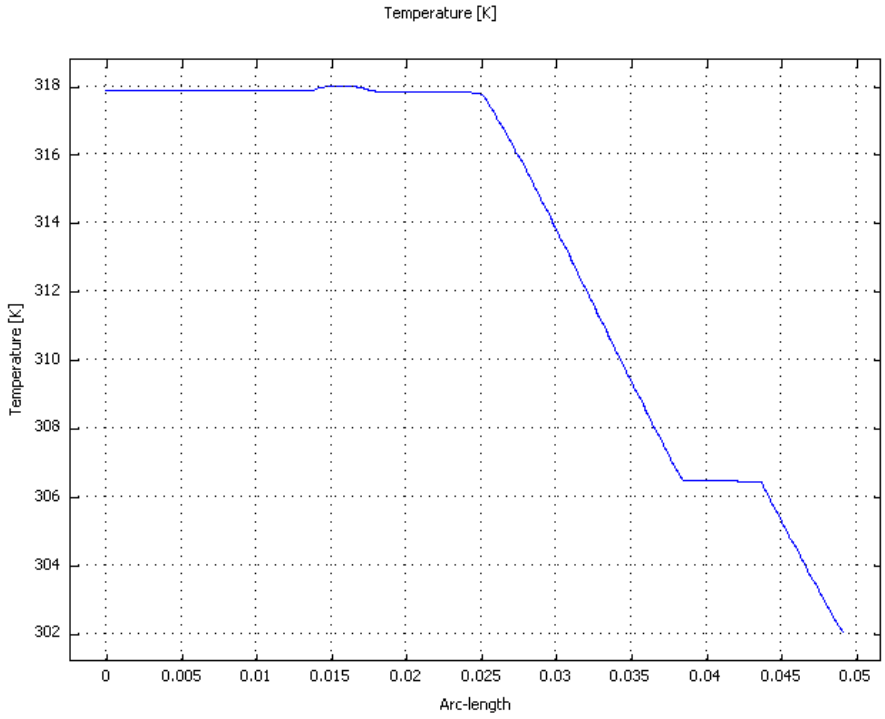
Şekil C.2: Kablonun 10°C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi

Ek D:

20°C'de:



Şekil D.1: Kablonun 20°C'deki deniz suyu içerisindeki sıcaklık dağılımı



Şekil D.2: Kablonun 20°C'deki deniz suyu içindeyken ekseninden dışına doğru sıcaklık dağılımının grafik gösterimi

ÖZGEÇMİŞ

Levent TANIRCAN, 1980 yılında İzmir'de doğdu. 1998 yılında orta öğretimini Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Y.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi'nden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. Ertesi yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Elektrik Mühendisliği Programı'ndaki yüksek lisans öğrenciliği devam etmektedir. İngilizce bilmektedir.