



İSTANBUL ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Ve Bilgisayar Mühendisliği

YÜKSEK GERİLİM DAĞITIM HATLARININ
KABLO TÜNELİ YÖNTEMİYLE TAŞINMASI

Uğur Korkmaz

Yüksek Lisans Tezi

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay Aydın

İstanbul,2018

YÜKSEK GERİLİM DAĞITIM HATLARININ
KABLO TÜNELİ YÖNTEMİYLE TAŞINMASI

UĞUR KORKMAZ

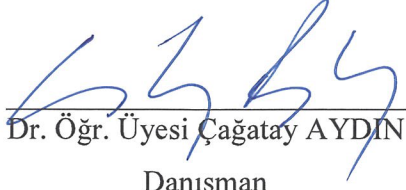
Fen Bilimleri Enstitüsü

Fen Bilimleri Enstitüsü'ne
Yüksek Lisans Derece
tezi olarak sunulmuştur.

ALTINBAŞ ÜNİVERSİTESİ

2018

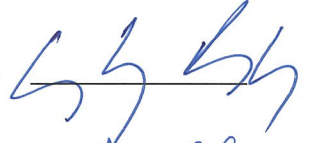
Bu çalışma tarafımızca incelenmiş olup, kapsam ve kalite açısından yüksek lisans tezi olmaya yeterli bulunmuştur.


Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN
Danışman

İnceleme Komitesi Üyeleri (İlk isim jüri başkanına, ikinci isim tez danışmanına aittir.)

Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi
Altınbaş Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Doğu Çağdaş ATILLA

Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi
Altınbaş Üniversitesi

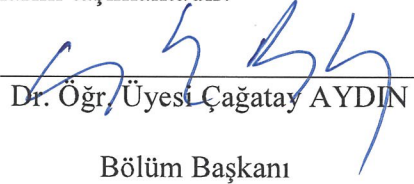


Dr. Öğr. Üyesi Aysel ERSOY YILMAZ

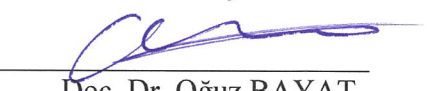
Mühendislik Fakültesi
İstanbul Üniversitesi



Bu çalışma bir yüksek lisans tezinin tüm gerekli şartlarını taşımaktadır.


Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Bölüm Başkanı


Doç. Dr. Oğuz BAYAT

Enstitü Müdürü

Fen Bilimleri Enstitüsü onayı: 26 / 06 / 2018

Bu dökümandaki tüm bilgilerin akademik kural ve etiğe bağılı kalınarak yazıldığını ve tez yazım kuralları kapsamında bu çalışmada bulunan ve özgün olmayan bütün bilgi ve materyallerin referanslandırıldığını temin ederim.



Uğur Korkmaz

İTHAF

Bu tez çalışmasını değerli fikirleri ve tecrübeleriyle yönlendiren sayın danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Çağatay Aydın'a ve yanımda yer alarak desteklerini eksik etmeyen, değerli fikirleri ve tecrübelerini benimle paylaşan meslektaşlarım Ahmet Kızılırmak, Sultan Arslan, Mustafa Gümüştaş ve Kübra Karakuş'a en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.



ÖNSÖZ

Bu çalışma şu an özlemle andığım ülkemde, birçok zengin ülkede olduğu gibi, kablo tüneli yönteminin tanınması ve kullanılması sağlama, çevre ve şehir planlamaları yapılırken, ilgili elektrik sistemlerinin planlayıcıları ve müşterileri için bir ön bilgi olma amacı güderek, kullanıma başlaması içinse küçükte olsa bir kıvılcım olma amacı güderek yazdım. Sistemi farklı dallardaki insanlara tanıtmaya ve diğer yöntemlerden üstünlüklerini ortaya koyarak yeni şehir planlama çalışmalarına dahil edilmesi istiyor ve bu çalışmanın da bu bir ışık olacağına inanıyorum. Gelecekte arıza ve bakım süre ve maliyetlerinin ciddi oranda düşeceğine, caddelerin sokakların tekrar tekrar kazılmayıp, havadan geçen hatların can ve mal güvenliğini tehdit etmediği, görsel olarak her yerde birbirinden güzel şehir planlamaları yapılırken elektrik dağıtım sistemlerinin de bu çerçevede yerini en güzel ve güvenli konumda olacağını inanıyorum.

ÖZET

YÜKSEK GERİLİM DAĞITIM HATLARININ KABLO TÜNELİ YÖNTEMİYLE TAŞINMASI

Uğur KORKMAZ,

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği, Altınbaş Üniversitesi,

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çağatay AYDIN

Tarih: Haziran,2018

Sayfa Sayısı: 111

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla, enerjiye duyulan ihtiyaçta her geçen gün artmaktadır. Bu durum enerjinin üretimini ve taşınmasının da kapasite ve boyut olarak yükselişe sebep olmuş, enerji üretime ve iletimine verilen değeri artırarak genel anlamda kayıpların minimize edilmesi hususuna dikkatleri çekmiştir. Bu nedenle verim, malzeme, bakım onarım süreleri iş güvenliği ve insan sağlığı verilen değerinde artmasını sağlamıştır. Verimin enerji üretiminde çok önemli olduğu kadar, üretilen enerjinin, üretim noktasından tüketim noktasına kadar maksimum düzeyde tutulması da önemlidir. Emekle üretilen enerji taşırken kaybedilmemelidir. Bu nedenle taşıma yöntemleri de irdelenmek gerekmektedir. Elektrik enerji iletim sistemlerinde farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı enerji iletim metotları incelenmiştir ve bu incelemeye müteakip birbirleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Dünya çapında birçok lokasyonda yapılan imalatı tamamlanan ve halen projesi devam eden sistemler üzerinden incelemeler yapılarak uygulamalı örnekler ortaya konulmaya çalışılmıştır. İnceleme ve karşılaştırma yapılırken konuyla ilgili tezler ve makalelere de atıfta bulunulmuştur. Bu tez çalışması ile kablo tünellerinin diğer enerji taşıma sistemlerine olan avantajlı olan yönleri ispatlanmıştır. Kablo tünellerinin ülkemizde ilerleyen dönemlerde kullanıma başlaması gerektiği ortaya konulmuş ve ilgili kurum, kuruluş ve yetkilerle paylaşılması hedeflenmiştir.

ABSTRACT

HIGH VOLTAGE DISTRIBUTION LINES' TRANSMISSION BY CABLE TUNNEL METHOD

Ugur KORKMAZ,

M.Sc. Electrical and Computer Engineering, Istanbul Altinbas University,

Supervisor: Asst. Prof. Cagatay AYDIN

Date: June,2018

Pages: 111

Energy necessity is increasing day by day with the development of technology and the increase in population, This has caused the production and transmission of energy to rise in capacity and size also attracting attention to minimize losses in general terms by increasing the value given to energy generation and transmission. For this reason, productivity, materials, maintenance and repair times have increased the value of work safety and human health are more important than before. It is also important that the energy produced is kept at the maximum level from the point of production to the point of consumption as much as is important in the production of energy. The energy produced by a lot of labor, after that must not be lost while it is carried. For this reason, transmission methods need to be considered. In the scope of this study, different energy transmission methods have been investigated and subsequently they have been compared with each other. Several projects from various locations of the world, some of them have already been completed while some of them are still under execution, have been examined and accordingly, practical examples are hereby presented. The investigated and comparisons of this study are referenced from numerous previous thesis and articles related to the subject. My thesis aims to present the advantages of electrical utility system. This thesis proves the advantageous aspects of cable tunnels to other energy transmission systems. It has been demonstrated that cable tunnels should be used in the future in our country and it is aimed to be shared with relevant institutions, organizations and authorities.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TABLO LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. YÜKSEK GERİLİM TAŞIMA METODLARI	3
2.1 YÜKSEK GERİLİM HATTINEDİR?	3
2.1.1 Yüksek Gerilim Nerelerde Kullanılır?.....	4
2.2 HAVAI İLETİM HATTI İLE ENERJİNİN TAŞINMASI.....	4
2.2.1 Havai İletim Hattında İletkenlik	6
2.2.2 Havai İletim Hattında Isı Dayanımı	6
2.2.3 Havai İletim Hattında Çap ve Özgül Ağırlık	7
2.2.3.1. Yapılarına göre havai hat iletkenleri.....	7
2.2.3.2. İletkenlerin özellikleri ve kullanılması	8
2.2.4 Havai İletim Hattında Korona Olayına Karşı Mukavemet	8
2.2.5 Havai İletim Hattında Sehim (Salgı).....	9
2.2.6 Havai İletim Hattında Mekanik Dayanım.....	10
2.2.7 Havai İletim Hattında İletkenler Arası Standart Mesafeler	12
2.2.8 Havai İletim Hattı ile Enerji Taşınmasının Avantaj ve Dezavantajları ...	13
2.3 YER ALTI KABLOLAMA YÖNTEMİ İLE ENERJİNİN TAŞINMASI	16
2.3.1 Yer Altı Kablolamada Akım Taşıma Kapasitesi	18
2.3.2 Yer Altı Kablolamada Isıl Eşdeğer Devresi ve Ortamın Isıl Direnci	18
2.3.3 Yer Altı Kablolamada Elektrik Koridorunun Tespit Edilmesi	20
2.3.4 Yer Altı Kablolamada Kanallar ve Kablo Serimi	22
2.3.5 Yer Altı Kablolama ile Enerji Taşınmasının Avantaj ve Dezavantajları.	25
2.4 KABLO TÜNELİ YÖNTEMİ İLE ENERJİNİN TAŞINMASI	28
3. İLETKENLERİN ENERJİ TAŞIMA METODLARINA ETKİLERİ	29
3.1 İLETKENLERİN ÇEŞİTLERE GÖRE ETKİLER.....	29

3.1.1	Bakır İletkenlerle İletim.....	29
3.1.2	Tam Alüminyum İletkenlerle İletim (AAC).....	31
3.1.3	Çelik Destekli Alüminyum İletkenlerle İletim (ACSR).....	32
3.1.4	Çapraz Bağlanmış Polietilen Kablolara İletim (XLPE).....	33
3.1.5	Bakır (Cu) ve alüminyumun (Al) karşılaştırılması.....	34
3.1.6	Yalıtkanların Çeşitleri ve Özellikleri.....	35
3.1.6.1.	Protodur.....	36
3.1.6.2.	Protothen - X.....	36
3.1.6.3.	Protolon (EPR).....	36
3.1.6.4.	Protofirm.....	36
3.1.7	İletkenlerinin Yapısal Olarak İncelenmesi.....	37
3.2	MEKANİK YÜK KAYNAKLI ETKENLER.....	38
4.	ŞEBEKE VE YÜKSEK GERİLİM İLETKENLERİNDEN KAYNAKLI ELEKTROMANYETİK RADYASYONLARIN CANLILARA VE ÇEVREYE ETKİLERİ.....	41
4.1	İNSAN VÜCUDUNDA ORTAYA ÇIKAN ELEKTRİKSEL AKIM.....	41
4.1.1	İnsan Vücuduna Etkisi.....	42
4.1.2	İnsan Sağlığına Etkileri.....	43
4.1.3	Konuyla ilgili Öne Çıkan Çalışmalar.....	44
4.2	DİĞER CANLILARA ETKİSİ.....	47
4.3	ÜLKEMİZDE VE DÜNYADA GÜVENLİK.....	48
4.3.1	İlgili Yasalar ve Üst Limit Değerleri.....	50
5.	HAVAI HATLARIN GÜNÜMÜZÜN MODERN TEKNOLOJİSİNDE YARATTIĞI SORUNLAR.....	53
6.	KABLO TÜNELİ.....	55
6.1	KABLO TÜNELİ NEDİR?.....	55
6.2	KABLO TÜNELİ NEDEN KULLANILMALIDIR?.....	55
6.2.1	Kablo Tüneli Yöntemi ile Enerji Taşınmasının Avantajları ve Dezavantajları.....	55
6.3	KABLO TÜNELİ NASIL YAPILIR?.....	58
6.4	KABLO TÜNELİNDE KABLO ÇEKİMİ VE İZOLASYON.....	61
6.5	KABLO TÜNELİNİN BÖLGE SAKİNLERİ İLE İLİŞKİSİ.....	66

6.6	ŞAFTLAR VE BAŞLIKLAR	67
6.7	RİSK FAKTÖRLERİ.....	69
6.7.1	Kapalı Alan ve Erişim Zorlukları	70
6.7.2	Isı Yolları ve Yangın.....	71
6.7.3	Gazlar ve Havalandırma	75
6.7.4	Patlamaya Karşı Sistemler	77
7.	UYGULAMALAR	78
7.1	LONDRA KABLO TÜNELİ PROJELERİ.....	78
7.2	SİNGAPUR AWARDS KABLO TÜNELİ PROJELERİ	81
7.3	KATAR / DOHA KABLO TÜNELİ PROJELERİ	84
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
	KAYNAKÇA	91

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Elektrik şebekelerinin kullandıkları gerilimlere göre sınıflandırılması.....	4
Tablo 3.1: Bakır iletkenlerin çapına ve kesitine göre özellikleri.	30
Tablo 3.2: Alüminyum iletkenlerinin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri.	32
Tablo 3.3: Bakır iletkenin 1 olarak kabul edildiği durum için eşdeğer alüminyum iletkeninin fiziksel olarak karşılaştırılması.	35
Tablo 3.4: Bir kabloyu oluşturan yapısal elemanlar ve tanımları.	37
Tablo 3.5: TS 11178 Standartlarına Göre Kablo Damar Renkleri.....	38
Tablo 4.1: YGH kaynaklı ema ile çocukluk çağı lösemileri.....	46
Tablo 4.2: Kabul elektromanyetik radyasyon maksimal değerleri.	49
Tablo 4.3: Kabul edilen elektromanyetik radyasyon maksimal değerleri.	50
Tablo 4.4: 50Hz'de limit kirlilik değerleri (UCNIRP 2010 yılı).	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Doğalgaz enerji santralinde üretilen enerjinin havai hatlar ile iletilmesi.	5
Şekil 2.2: İki havai hat direği arasında bir kabloda oluşabilecek sehim.	10
Şekil 2.3: Havai iletim hatlarında tellerde kopukluk hadisesi.	12
Şekil 2.4: Havai hatta bakım-onarım işlemlerini zorluğu.	14
Şekil 2.5: Zamanla mukavemetini yitirerek kırılan ağaç kablo direği.	14
Şekil 2.6: Kuşların vermiş olduğu zararlara maruz kalan havai hatlar.	15
Şekil 2.7: Kırılarak yola doğru devrilen havai hat direkleri.	16
Şekil 2.8: Elektrik enerjisinin iletimin ve dağıtım prensip şeması.	16
Şekil 2.9: Yer Altına Döşenen AG, OG ve Pilot Kablolar.	17
Şekil 2.10: Kablo makaralarının serim işlemine hazırlanması.	22
Şekil 2.11: Kablo kanalına iş makinesi yardımıyla bırakılan kablo.	24
Şekil 2.12: Uyarı bandı serilmiş OG yer altı kablolama.	25
Şekil 2.13: Yer altı kablolarının standart döşeme derinlik ölçüleri.	25
Şekil 2.14: Yer altı kablo arızası arama faaliyeti sıralayabiliriz.	26
Şekil 2.15: Toprak altında zamanla deformasyona uğramış bir yer altı kablosu.	27
Şekil 3.1: Bakır örgülü iletkenler.	30
Şekil 3.2: Bir Tam alüminyum iletken örneği.	31
Şekil 3.3: Alüminyum iletkeninin değişik iletken çaplarındaki kesit örnekleri.	32
Şekil 3.4: Alüminyum havai hat iletkeni örneği ve kesiti.	32
Şekil 3.5: Ham maddesi alüminyum olan ve çelik destekli bir iletken örneği.	33
Şekil 3.6: Ham maddesi alüminyum olan ve çelik destekli iletken kesitleri.	33
Şekil 3.7: 154 Kv XLPE kablo yapısı.	34
Şekil 3.8: Protothen - X ve protodur yalıtkanlı kablo.	36
Şekil 4.1: Manyetik etki altında kalan insanlar temsili gösterim.	42
Şekil 6.1: Kablodaki enerjinin zamana ve ortam sıcaklığına bağlı değişimleri.	56
Şekil 6.2: Rezerv olarak ayrılan kablo merdivenleri.	57
Şekil 6.3: Havai hatların yer altına alınmasından sonra yapılan peyzaj çalışmaları.	57
Şekil 6.4: Tünel açma makinesinin tünel bitiminden bir görüntüsü.	59
Şekil 6.5: İş güvenliği uzmanı eşliğinde kablo tüneline yapılan bir çalışma.	60
Şekil 6.6: Kablo tünelineki yüksek gerilim kablolarının çıkışı.	61

Şekil 6.7: Kablo abloların çekilmesini sağlayacak vincin geçeceği sarı renkteki ray.	62
Şekil 6.8: Kabloların sabit durmasını sağlayan kilit bağlantısı.....	62
Şekil 6.9: Kablo dönüşleri ve kilit bağlantısı.....	63
Şekil 6.10: Kablo kanallarını ve zemini boyadan korumak için yapılan hazırlıklar....	63
Şekil 6.11: Kablo tüneline boyama işlemi.....	64
Şekil 6.12: Kablolara uygulanan boyama işlemi (Uygulama esnasında).....	65
Şekil 6.13: Boyama işlemi tamamlanan YG kabloları.....	65
Şekil 6.14: Bir şeyh evinin arka tarafında yapılan çalışmadan bir kesit.....	66
Şekil 6.15: Çalışma yapılan bölgede yer üstünden bir kesit.....	67
Şekil 6.16: Kablo tüneline çıkış şaftına bağlantı.....	68
Şekil 6.17: Kablo tüneli asansör şaftı.....	69
Şekil 6.18: Kablo tüneline yangın, ısı ve haberleşme panelleri.....	72
Şekil 6.19: Tipik bir yangın alarm dedektörü.....	73
Şekil 6.20: Kablo tipinde olan lineer bir ısı dedektörü.....	73
Şekil 6.21: Yangın kontrol sistemi şeması.....	74
Şekil 6.22: Tünelere temiz hava girişini sağlamak amacıyla yapılmış başlıklar.....	76
Şekil 6.23: Alev sızdırmaz tipte acil çıkış armatürü.....	77
Şekil 7.1: Londra'da yapılan kablo tüneli proje alanı.....	79
Şekil 7.2: Londra Highbury 132kV Kablo Tüneli Projesi.....	80
Şekil 7.3: Tünel içinde kullanılan kablo çekme makinası.....	81
Şekil 7.4: Singapur Awards 35 km Kablo Tüneli Projesi alanı.....	82
Şekil 7.5: Singapur Kablo Tüneli Projesi kesit görseli.....	83
Şekil 7.6: Kablo tüneli enerji merkezi bağlantısı şematik gösterimi.....	84
Şekil 7.7: Singapur Kablo Tüneli Projesi altyapı şeması.....	84
Şekil 7.8: Katar Kablo Tüneli Projesi içerisinden bir görüntü.....	85
Şekil 7.9: Katar'da tünel delim işlemi bitiminde çekilen bir hatıra fotoğrafı.....	86
Şekil 7.10: Katar/Doha Kablo Tüneli Projesi sonunda bölgenin havai hatlardan tamamen arındırılmasıyla ortaya çıkacak görsel.....	87

KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
V	Volt
kg	Kilo
R	Direnç
C	Kapasitans
G	Kondüktans
Z	Karakteristik empedans
L	Hattın uzunluğu
y	Yürüyen dalganın yayılma hızı
q	Elektrik yükü
Imax	Maksimum akımı
Um	Aşırı gerilimin tepe değeri
f	Sehim, Direğin sağa sola olan yaylanması (m)
P	Gerilme Kuvveti (kg/cm ²)
G	İletkenin maddenin yoğunluğu (kg/dm ³)
A	Kablo Taşıyan direkler arasındaki uzaklık (m)
€	Euro Avrupa Para Birimi
\$	Dolar Amerikan Para Birimi
mm	Milimetre
cm	Santimetre
km	Kilometre
mm ²	Milimetrekare
cm ²	Santimetrekare

Kısaltmalar Açıklama

TBM	Tünel Delme Makinesi (Tunnel Boring Machine)
YGH	Yüksek Gerilim Hattı
ACSR	Çelik Özlü Alüminyum İletkenler
AAC	Tam Alüminyum İletkenler
TESLA	Man. Alan Akısının Yoğunluğu br., 1 Tesla=1 Volt.s/m ²
HDPE	High Density Polyetylene
PVC	Polyvinyl Chloride
AG	Alçak Gerilim
OG	Orta Gerilim
YG	Yüksek Gerilim
ÇYG	Çok Yüksek Gerilim
TS	Türk Standartları
IEC	Uluslar Arası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
VDE	Alman Standartları Enstitüsü
BS	İngiliz Standartları (British Standards)
EMA	Elektro Manyetik Alan
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (International Agency for Research on Cancer)
ICNIRP	Ülkemizde Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
AML	Akut Miyeloid Lösemi
ALL	Akut Lenfoblastik Lösemi
EMR	Elektronik Medikal Kayıt (Electronic Medical Record)
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
XLPE	Çapraz Bağlı Polietilen Kablolar
EPDM	Etilen-Propilen Dien Monomer Kauçuk
IEEE	Elektrik-Elektroik Mühendisleri Enstitüsü

1. GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla beraber elektrik enerjisi üretimi ve taşınması da hem boyut hem de kapasite olarak artmaya başlamıştır. Katı hal elektroniğinin gelişmesi büyük güçlü, yüksek gerilimli tristörlerin ve yüksek gerilim doğrultma sistemlerinin gelişmesine ve yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bu da demek olmaktadır ki enerjinin bir noktadan başka bir noktaya taşınması her geçen gün daha da büyük bir önem arz etmektedir.

Elektrik enerjisi iletimi yapılırken üretim merkezlerden alınan enerjinin tüketim merkezlerine en az kayıpla iletilmesi ve bu şekilde verimin yüksek tutulması gerekir. Ülkemizde en çok havai iletim hatları tercih edilmektedir. Havai hat iletkenlerinde yaygın olarak alüminyum ve bakır iletkenler kullanılır. Zamanla bakır iletkenlerin yerini alüminyum iletkenler almıştır. Havai iletim hatları açıkta oldukları için doğal tepkilere, kazalara ve bu gibi birçok etkiye maruz kalan sistemler oldukları için ciddi anlamda bakım ve yenileme maliyetlerine gerektirmektedirler.

Enerji iletim hatlarında enerji iletiminin devamlı ve güvenli olabilmesi için, devre elemanlarının, kesicilerin, koruyucu rölelerin ehemmiyeti olduğu kadar enerji taşıma yöntemlerinin de önemi büyüktür.

Elektrik sistemlerinde farklı sebeplere bağlı olarak oluşan kısa devreler, dengesizlikler, aşırı gerilimler vb. beklenmeyen durumlar oluşabilir. Bu durumların daha önceden kestirilmesi, hesaplanması, hem tesisat elemanlarının hem de aynı tesisata bağlı diğer tesisat elemanlarının ve tüketicilerinin seçimi, sistemin güvenli bir şekilde faaliyet gösterebilmesi, gerekli hesaplamalara uygun olarak tesis edilmesi mümkün kılınabilir. Hesaplamalar uygun olarak tesis edilmiş bir sistemin, ortaya çıkabilecek herhangi bir arıza durumunda, dengesizlikte ya da aşırı gerilim halinde kullanılan tesisat elemanları arızaların zararlı sonuçlarına kolaylıkla dayanabilmeli ve bu sonuçlar kısa süre içerisinde sistemden izole edilerek müdahale edilmelidir. Oluşabilecek arızaların tespiti ve bakım onarımı kısa sürede yapılmalı, işçilerin can güvenliği ve sağlığı en fazla önem derecesine sahip olmalıdır.

Unutulmamalıdır ki hiçbir şey insanların sağlığından daha kıymetli değildir. Bu

nedenlidir ki, bu tesislerin çalışma ortamı rahat olması, diğer mevcut sistemlerden etkilenmemesi, doğa veya diğer etkenlerden de izole edilmiş olması ile her hangi bir can ve mal kaybı olmaksızın ortamdaki can ve mal güvenliği olabilecek en üst düzeye çıkarılabilir.

Örneğin, yıldırım enerji kesintilerine sebep olan en büyük etkenlerden birisidir ve D.P. Nedic'in Elektrik Güç Sistemleri kitabından alınan verilere göre Amerika ve Kanada'da 14 yıllık periyot halinde yapılan araştırmalar sonucunda yıldırımın 230 kV'luk hatlarda %65 oranında kayıplara sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu analizler 386kV'luk yüksek gerilim hattı üzerinde yapılmıştır. Benzer bir çalışma İngiltere'de yapılmış ve 33 kV'luk hatlarda 50.000 hata raporu analiz edilmiştir. Enerji iletim sistemlerinde faz iletkenlerine, direklere ve toprak iletkenlerine yıldırım düşmesi sonucunda meydana gelen kısa süreli gerilim dalgası, izolatörlerin kırılmasına ve transformatör yalıtımının bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca iletim hatlarına yakın mesafelere yıldırım düştüğünde hat üzerinde bir gerilim indüklemektedir. Yıldırım aşırı gerilimlerinin hattın taşıdığı gerilimden çoğu zaman daha büyük olması nedeniyle enerji iletim sistemleri zarar görmektedir.

Bunun yanı sıra güç sistemlerinin iletilmesinde havai hatların kullanılması büyük bir görüntü kirliliğine ve çevresinde yaşayan insanların can sağlığını tehdit etmektedir. Bu can sağlığı tehdidi hem gözle görünür bir şekilde hem de Elektromanyetik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu'nda dile getirildiği gibi manyetik dalgaların maruz bırakmış olduğu etkiden ötürü gözle görülmeyecek şekilde de olabilir.

Bu kabloların yer altına alınması artık modern çağın getirmiş olduğu bir zorunluluktur. Çeşitli durumlar ve uygulama metotları irdelenerek, doğru uygulama metodu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. YÜKSEK GERİLİM TAŞIMA METODLARI

Yüksek gerilim taşıma yöntemleri elektrik enerjisi üretim santralinden kullanıcıya kadar N. Pamuk'un [5] çalışmasında da değindiği üzere havai iletim ve yer altı kablolama yöntemlerinden biri veya birden fazlası ile yapılmaktadır. Günümüzün modern taşıma metodu uygulamalarından kablo tünelleri de adını sıkça duyurmaya başlayarak, dünyanın birçok yerinde başarılı uygulamalar ile karşımıza çıkmaktadır.

2.1 YÜKSEK GERİLİM HATTI NEDİR?

Elektrik iletim hattı, elektrik santralinde kontrollü ve planlı olarak üretilmiş olan elektrik enerjisinin, üretim santrallerinden dağıtım hatlarına iletilmesini sağlayan hatlar olarak tanımlanmaktadır.

Elektrik santrallerinde üretilmekte olan elektrik voltajının daha da arttırılarak (30.000-300.000 Volt vb.), uzak yerlere iletilmektedir. Şehirlerin farklı bölgelerinde bulunan trafo merkezlerinde çoğunlukla 10.000 ile 36.000 Volt değerleri arasında bulunan yüksek gerilim, ülkemizde 400 ila 220 V arası düzeylere çekilerek konut ve ticarethanelerde kullanılabilir hale dönüştürülür. Bu sayede dönüştürülen elektrik akımı iletilmek istenen yerlere yer altı kabloları ile 50 Hz frekans civarında ve 220 voltluk alternatif elektrik enerjisi ulaştırılmaktadır.

Elektriğin iletimi sırasında, hatlarının döşenmesindeki ortaya çıkan maliyet, iletim hat güzergâhları seçilirken yaşanan zorluklar, ülkemizdeki coğrafik durum, arazi şartlarında bazı elverişsiz durumlar ve iletim hattı güvenliği gibi hususlar incelenerek taşıma metoduna karar verilmektedir fakat ülkemizde genel karar havai hatlara kullanılması yöneliktir.

Yüksek gerilim hatları, iletkenlerinde 35000 volt ile 154000 volt arasında gerilim taşıyan enerji nakil hatları olarak karşımıza çıkmaktadır ve ilgili aralıklar [4]'de belirtilmektedir. Orta ve düşük gerilim hatları genel olarak şehir içi elektrik dağıtımında kullanılır. Tablo 2.1'de ülkemizde kullanılan bu aralıklar detaylı bir şekilde ifade edilmiştir [4].

Tablo 2.1: Elektrik şebekelerinin kullandıkları gerilimlere göre sınıflandırılması.

Alçak Gerilim Şebekeleri	1-1000 Volt arası
Orta Gerilim Şebekeleri	1kV - 35k Volt arası
Yüksek Gerilim Şebekeleri	35kV - 154k Volt arası
Çok Yüksek Gerilim Şebekeleri	154k Volt ve üzeri

Gerilim hatları elektrik enerjisinin taşındığı iletkenlerdir. Bir veya birden fazla şehrin, bölgenin, fabrikanın ve yerleşimin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini taşırlar. Bu nedenle maliyetlerinin önemli olduğu kadar hattın güvenliği, bakımı ve yenilenebilir olması da çok önemlidir.

2.1.1 Yüksek Gerilim Nerelerde Kullanılır?

Yüksek gerilim hatları elektrik enerjisi üretildikten sonra bu elektrik enerjisini santralden tüketiciye ulaştırmada kullanılmaktadır. Fakat direkt tüketiciye değil öncelikle bir santrala giderek orada orta gerilim ve ya alçak gerilime dönüştürülerek bireysel veya kurumsal tüketicilere ulaştırılır.

2.2 HAVAI İLETİM HATTI İLE ENERJİNİN TAŞINMASI

Havai hat, ulaştırma aracı olarak, kuvvetli akım iletimini sağlayan veya elektrik enerjisini bir yerden başka bir yere taşımakta kullanılan direkler, bu direklerin temelleri, yerin üzerine çekilmiş olan iletkenleri, donanımları, izolatörleri, bağlantı elemanları ve topraklama sistemlerinden meydana gelen tesisin bütünü olarak [6] içeriğinde tanımlanmıştır. Şekil 3.1’de solda bacası görünmekte olan doğalgaz enerji çevrim santralinde üretilen elektrik enerjisi, Doha şehir merkezine doğru havai hatlar ile taşınmaktadır.



Şekil 2.1: Doğalgaz enerji santralinde üretilen enerjinin havai hatlar ile iletilmesi.

Enerjinin havai hatlar kullanılarak taşınması çeşitli doğa olaylarının verdiği zararların yanı sıra havanın ısınması ve soğuması yani ortamdaki sıcaklık değişimleri iletkenin taşımış olduğu volt değerinde kayıplar oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra [6]'da bahsedildiği üzere iklim değişimleri yağmurlu, sağanak yağışlı, bol rüzgârlı, hatta kar yağışlı hava olayları, kar yükleri, fırtınaların olduğu iklim dönemleri enerjinin taşınmasında kayıplara ve hatta iletkenlerinde bağlı olduğu izolatörlerde ve direklerde zarara neden olmaktadır.

Yüksek gerilim sistemlerinde, iletkenlerin verimli enerji taşınması ve malzeme maliyeti konusunda doğru materyaller tercih edilmeye çalışılırken, dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta, [7]'de bahsedildiği gibi hatların mekanik etkenlere karşı dayanımıdır. İletim hatlarının askıda kaldığı sürede ki esnekliğini sağlamak ve asılı olduğu ve gerdirildiği noktalarda oluşan titreşimleri engellemek amacıyla spiral örgülü olarak imal edilir. Spiral örgülü iletkenlerde damarların yüzeylerinde oluşan kir ve oksit kablo içerisindeki spiral şeklindeki örgünün içine doğru akmaktadır. Spiral örgülü iletkenlerde direnç ve endüktans değerleri, aynı cins ve kesitteki örgülü olmayan iletkenlere göre daha büyüktür.

Enerji hatlarının havai hatlar kullanılarak taşınması ayrıca büyük bir görüntü kirliliğine

ve insan sağlığı tehditline de neden olmaktadır. İlerleyen konularda bu olumlu ve olumsuz yönlerini detaylı bir şekilde incelenecektir.

Havai hatların kullanılmasının en büyük sebebi [8]'de değinildiği gibi maliyetinin diğer iki taşıma türü yani yer altı ve kablo tüneli yöntemlerine göre olarak daha uygun olması ve imalatının daha kolay olmasıdır.

2.2.1 Havai İletim Hattında İletkenlik

Enerji iletim hatlarında kullanılacak malzemenin iletkenliği iyi olmalıdır. İletkenlik, kullanılan malzemenin cinsine bağlı olarak değışiklik gösterir. Enerjinin taşınmasında en büyük etken olan ekonomi konusu bu noktada da önem arz etmekte ve iletken seçimini direkt olarak etkilemektedir. Enerji iletim hatlarında [9]'da değinildiği gibi daha çok bakır ve alüminyum iletkenler kullanılır. İletkenlik, iletkenin direncini etkileyeceğinden, iletim hatlarında kayıpları minimum düzeyde tutmak için iletkenliği iyi olan malzemeler seçilir.

2.2.2 Havai İletim Hattında Isı Dayanımı

Enerji iletim hatları dış faktörlerden dolayı (kar, buz, rüzgâr, yağmur, güneş) ekstra bir etkiye maruz kalır. İletkenler bu gibi olumsuz etkilere dayanabilecek şekilde imal edilmelidir. Aksi takdirde, [9]'da iddia edildiği gibi kayıplar artacak veya sistemin zarar görmesi durumunda uzun süreli kesintiler yaşanacaktır. Özellikle kış aylarında yolların karlı olduğu dönemlerde yaşanacak bir kesinti belki de koca bir şehri saatlerce veya günlerce elektriksiz bırakmaya kadar gidebilecektir. Elektrik iletim hatlarında kullanılan iletken malzemenin daha önceden değinildiği ve [10] ile desteklendiği üzere, ısıya karşı verdiği tepki ve dayanım yeterli derecede iyi olmalıdır. Hem üzerinde taşıdığı akımdan dolayı hem de dış ortamdan gelen ısıdan dolayı, ısınır ve iletkenin genleşmesine neden olur. Bu da enerji kayıplarını artırır. Havai hatlarda imalatın kalıcılığı, yukarıda bahsi geçen birçok etkenden ötürü zarar görmemesi ve bakım-kontrol periyodunun uzun aralıklarla olması, kablonun iletkenliği ve ısı dayanımı kullanıcının seçimi büyük önem arz etmektedir.

2.2.3 Havai İletim Hattında Çap ve Özgül Ağırlık

İletken çapları iletkenlik özellikleri esas alınarak tercih edilmelidir. Çapı büyük olan iletkenler [1]'de değinildiği üzere daha fazla yüklenmeye maruz kalma söz konusudur. İletkenlerin çapları büyüdüğü zaman, rüzgâr ve buz yükü etkisi artar ve iletkendeki mekanik dayanım azalır. Bunun yanı sıra iletkenin özgül ağırlığının büyük olması da iletkenin mekanik yönden bağlı olduğu direğe veya üzerine serildiği kablo tavaasına olan ağırlık etkisinin daha büyük olmasına sebep olur. Yer altı ve kablo tüneli geçişlerinde bu durum sorun arz etmese de iletkenin özgül ağırlığı havai hat iletkenlerinde küçük olmalıdır. Bu sayede kullanılan malzemede de ekonomi sağlanmış olur.

Havai hatlarda, iletkenlerin özgül ağırlıkları esas alınarak iletkenler için mekanik dayanım hesabına bakılır. Enerji iletkenleri çekilirken [1]'de değinildiği üzere özgül ağırlığın az olması tercih edilir. İletkenlerin özgül ağırlıklarının az olması direklere ulaşan çekme kuvvetini azaltır.

2.2.3.1. Yapılarına göre havai hat iletkenleri

İmal edilmiş şekillerine göre havai hat iletkenleri som, örgülü ve ya demet gibi yapılarda olabilirler.

- Som iletkenler: Bu tür iletkenler yalnız bir cins malzemeden ve içi dolu tek bir tel halinde olmak üzere 10mm² kesite kadar imal edilmektedir. Som iletkenler iç tesisatta kullanılır.
- Örgülü iletkenler: Enerji iletiminde ve dağıtımında kullanılan iletkenler, örgülü çok telli olarak yapılırlar. Bu tür iletkenler, aynı cins veya ayrı cins metallere imal edilirken birbiri üzerine örülmesi suretiyle yapılırlar. Bu iletkenlerin avantajları;
 - Deri olayının etkisini en aza düşürür.
 - Mekanik gerilme (esneklik) açısından daha uygundur.
- Demet iletkenler: Çok yüksek gerilimde her faz için iki ya da daha fazla iletken kullanılır. Bu şekilde kullanılan iletkenlere demet iletkenler denir. Korona kaybı yanında hatlarda meydana gelen diğer kayıpları azaltmak için [1]'de bahsedildiği gibi fazlara ait iletkenler ikili veya üçlü demet şeklinde

yapılır. Demet iletkenleri birbirine tutturmak için kullanılan malzemeye ara tutucu adı verilir.

2.2.3.2. İletkenlerin özellikleri ve kullanılması

- İletkenler bakır, tam alüminyum, çelik özlü alüminyum ya da sağlamlık ve kimyasal dayanıklılık bakımından bunlara eş değer olan alaşımlardan yapılmalıdır. İletkenler ilgili standartlara uygun olacaktır.
- Bir telli ya da örgülü çelik iletkenler, ancak kullanıldıkları yerde oluşabilecek korozyon etkilerine karşı sürekli olarak dayanabilecek şekilde metal örtü ile kaplandıkları takdirde kullanılabilir.
- Kesitleri ve cinsleri ne olursa olsun, [1]'de bahsedildiği üzere hava hatlarında kullanılan alüminyum iletkenler ile kesitleri 16 mm²'den (16 mm² dâhil) büyük bakır iletkenler örgülü olmalıdır.
- Bir merkezin çıkışı ile ilk mesnet noktası olan direk arasında ve direk üstündeki köprülüne ve atlamalarda bir telli iletken de kullanılabilir.
- İletkenlerin kopma kuvveti için [1]'e bakacak olursak, alçak gerilimli hatlarda en az 350 kg, yüksek gerilimli hatlarda ise en az 550 kg olmalıdır.

Hava hatlarında kullanılan iletkenler, masif tel yani içi dolu som tel ile masif örgülü bakır veya alüminyum tellerden yapılır. Masif telden yapılan iletkenler bir cins malzemedir ve içi dolu bir tek tel halinde 10 mm² kesite kadar imal edilir. Bazı özel durumlar için 16 mm²'lik olanları da yapılmaktadır. Masif örgülü iletkenler ise aynı veya aynı cins metalden imal edilir. İnce tellerin spiral şekilde örülmesiyle meydana getirilen çıplak iletkenlerdir. Örgülü iletkenler [1]'de bahsedildiği gibi büyük kesitlerde montaj kolaylığı, esnek oluşu, kangal haline getirilebilmeleri ve taşınma kolaylıkları sebebiyle tercih edilmektedirler.

2.2.4 Havai İletim Hattında Korona Olayına Karşı Mukavemet

Havai hatlarına verilen gerilim doğrultusunda bilhassa nemli ve sisli hava koşullarında iletkenlerin etrafında mor renkli ışık halkalarına rastlanır. Bu gibi duruma [11]'de geçtiği gibi korona olayı denir. Şayet iletken hattın çevresinde bir yaralanma bulunuyorsa ve iletken hattın çevresindeki bu aydınlık halkalar birbirine değecek olursa iletken hattın üzerinde bir delinme meydana gelir. Bu durum iletken

etrafının iyonize olarak yıpranmasına sebep olur. Saha uygulamalarıyla desteklenen [11] çalışmasında, havai hatlarda kullanılmak istenen iletken malzemenin korona olayına karşı direncinin dayanıklı ve iletken yüzeyinin düzgün seçilmesine dikkat etmek gerektiği belirtilmiştir.

2.2.5 Havai İletim Hattında Sehim (Salgı)

Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında direklerin arasında çekilmiş olan elektrik iletim hattının kendi ağırlığından dolayı sarkma meydana gelir. Gerili haldeki elektrik hattının bağlı olduğu izolatörler arasındaki düz çizgi ile elektrik hattının sarktığı en alt nokta arasında oluşan mesafeye sehim diyoruz. Havai hatların iletkenleri [10]'da dile getirildiği gibi durdurucu direkler arasında iletkenin cer (çektirme ve gerdirme) gücü, kütlesi, rüzgârın uyguladığı yük, buz yükü, iklim koşullarının etkisi ve direkler arasındaki mesafe dikkate alınarak hesaplanır. Sehim havai iletim direklerinin güzergâhının bulunduğu arazinin koşu ve iklimine göre ayarlanmış, alanların hallerine göz önüne alınarak düzenlenmiş olan tablo veya formüller ile hesaplanır.

$$f = \frac{G \cdot a^2}{8 \cdot p} \quad (2.1)$$

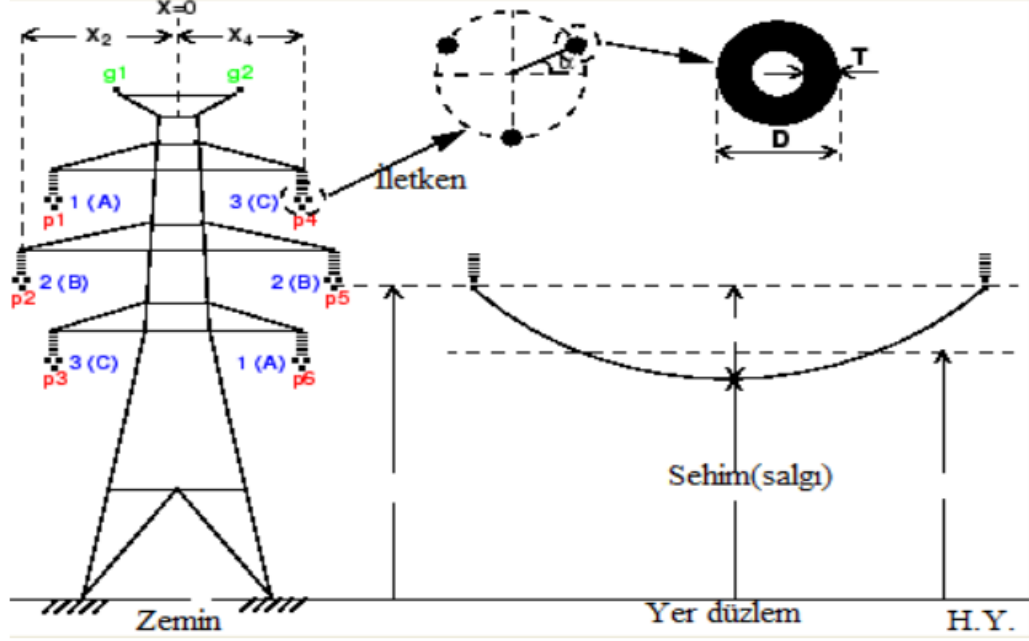
f = Havai Hat İletkeninin Sehimi (m)

P = Gerilme Kuvveti (kg /cm²)

G = Havai Hat İletkenin Yoğunluğu (kg/dm³)

a = İki Havai Hat Direği Arasındaki Uzaklık (m)

Denklem (3.1)'de iki direk arasında gerilen iletkenin sehimini veren formül olarak [12]'de belirtilmiştir. İletim hattının iki ucunda bulunan direklerin yükseklikleri aynı ise bu iki direk arasındaki sehim direklerin tam ortasında olur. Eğer iki direğin yükseklikleri farklıysa sehim noktası, direk yüksekliği aşağıda olan tarafa daha yakın olur. Seviye farklılığı olan direklerin aralarında Şekil 2.2' de oluşan sehim olayına durum oluşabilmektedir [7].



Şekil 2.2: İki havai hat direği arasında bir kabloda oluşabilecek sehim.

2.2.6 Havai İletim Hattında Mekanik Dayanım

Elektrik iletim hatlarında kullanılacak iletkenin mekanik dayanıklılığı, dış etkenlere maruz kalan iletim hatları için büyük önem arz etmektedir. Örneğin havai hat iletkenleri dış koşulların etkisine maruz kalırlar. Kullanılacak iletkenlerin tüm hava şartlarına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. İletkenin kendi ham maddesi bölge şartları için yetersiz ise ilave çözümlerle güçlendirilmiş iletkenler tercih edilmelidir. Örneğin, örgümlü alüminyum tellerde iç kısmında kullanılan galvaniz teller ile ekstra mekanik dayanım sağlanmaktadır. Mekanik dayanıklılığın az olması durumunda zorlu dış etkilerin altında kalan iletkenlerin kopması mümkündür. Şekil 2.3’de havai iletim hatlarında tellerde kopukluk hadisesi [13] yer almaktadır. Ayrıca kopan iletkenler diğer iletkenlerin üzerine düşüp hat üzerinde problem oluşmasına veya bulunduğu çevreye ve canlılara zarar verebilecek sonuçlara sebebiyet verebilirler. Tüm bu olumsuzlukların oluşmaması için [10]’da uyarıldığı üzere, mekanik kopma dayanımı yüksek iletkenler seçilmelidir. Bazı iletkenlerin mekanik dayanımlarına ait değerleri Tablo 2.2’de görülmektedir [11].

Tablo 2.2: Bazı iletkenlerin mekanik dayanımlarına ait değerler.

İletken Üretiminde Kullanılan Ürün	Sürekli Gerilme Miktarı (kg/ mm ²)	Yoğunluk (kg/cm ²)	10°C 'de Elde Edilen Tepki	Esneme Kat Sayısı (cm ² / kg)
Al	12	3x10 ⁻³	2,3x10 ⁻⁵	$\frac{1}{0,56 \cdot 10^6}$
Aldrey	24	3x10 ⁻³	1,23x10 ⁻⁵	$\frac{1}{0,60 \cdot 10^6}$
Steel I.	31	8x10 ⁻³	1,23x10 ⁻⁵	$\frac{1}{1,92 \cdot 10^6}$
Steel II.	55	8x10 ⁻³	1,1x10 ⁻⁵	$\frac{1}{1,96 \cdot 10^6}$
Steel III.	91	3x10 ⁻³	1,1x10 ⁻⁵	$\frac{1}{2,0 \cdot 10^6}$
Steel IV.	112	3x10 ³	1,1x10 ⁻⁵	$\frac{1}{2,0 \cdot 10^6}$
Steel ve Alüminyum St/A1: 1/6	21	4x10 ⁻³	1,95x10 ⁻⁵	$\frac{1}{0,75 \cdot 10^6}$
St/A1: ¼,3	24	4x10 ⁻³	1,76x10 ⁻⁵	$\frac{1}{0,79 \cdot 10^6}$
St/A1: 1/3	28	4x10 ⁻³	1,66x10 ⁻⁵	$\frac{1}{0,87 \cdot 10^6}$



Şekil 2.3: Havai iletim hatlarında tellerde kopukluk hadisesi.

2.2.7 Havai İletim Hattında İletkenler Arası Standart Mesafeler

Düşük ve yüksek gerilim direklerinin yerleri seçilirken bazı kurallara dikkat etmek gerekir. Etrafındaki diğer direklere, ağaçlara belli mesafelerde uzak olmalıdır. Enerji hatları [6]'da verilen ilgili yasalar gereği yerden en az 4 m yükseklikte ve gerilimin olduğu kısma 3 m'den fazla yaklaşmayacak şekilde bir tırmanma engeli oluşturmak gerekmektedir.

- Yükseklik değeri 50 metreden fazla olan elektrik hatlarında gündüz işaretinden koyulmalı ve 80 metreden fazla yüksek olan hatlarında gündüz ve gece işaretinden koyulması şarttır.
- Yükseklik değeri 30 metreden fazla olan hatlarda renklendirilmiş ikaz kürelerinden kullanılmalıdır.
- Yükseklik değeri 30 metreden fazla olan hatlarda direklerin üstü renkli boya ile renklendirilmelidir.

Hava hattı iletkenleri yakınında yer alan ağaçlara en küçük yatay uzaklıkları değerleri aşağıdaki Tablo 2.3'de verilmiştir [6].

Tablo 2.3: İletken ile ağaç arasındaki minimum yatay uzaklıkları değerleri.

Bir Hattın Mümkün Olan En Uzun Sürekli İşletme Gerilim Değeri	Aradaki Yatay Uzaklık Değeri
0kV ile 1kV (1kV dâhil)	1m
1kV ile 170kV arasında (170kV hariç)	2,5m
170kV değerinde	3m
170kV ile 420kV arasında (420kV dahil)	4,5m

2.2.8 Havai İletim Hattı ile Enerji Taşınmasının Avantaj ve Dezavantajları

Havai hatların tercih edilmelerini sağlayan avantajlarını ve diğer taşıma metotları karşısında dezavantajlarını irdelemek istersek [7] ve [8]'e göre genel olarak aşağıdaki maddeleri sıralayabiliriz.

- Yer altından giden kablolanmanın maliyetine ve kablo tüneli ile kablolanmaya oranla daha ucuz ve ekonomiktir.
- Ekstra hat elemanı kullanarak tesisin gücünü arttırmak mümkündür.
- Arıza oluşumunda tespit edilmesi ve tekrar onarılması zordur. Şekil 2.4'de havai hatta bakım-onarım işlemi sırasında, görevli personele, hem yüksekte çalışmanın hem de iş güvenliği ekipmanları ile enerjili bir işte hassas çalışmanın, yaşattığı zorluk görülmektedir [13].



Şekil 2.4: Havai hatta bakım-onarım işlemlerini zorluğu.

- Köprülerden, su akışı olan bölgelerin geçişleri, vadilerden, yollardan ve raylı sistemlerin bulunduğu alanların geçişi daha kolaydır. Fakat ulaşımı çeşitli etkilerinden ötürü mümkün olmaması halinde, örneğin doğa olayları gibi, arıza onarım ve bakımı kısa sürede giderilemez.
- Hem havai hat iletkenlerinin hem de onları taşıyan demir, çelik, ağaç veya betondan imal edilen direklerin ömürleri uzun değildir. Şekil 2.5’de zamanla çürümeye başlayarak kırılan ağaç kablo direği görülmektedir [13].



Şekil 2.5: Zamanla mukavemetini yitirerek kırılan ağaç kablo direği.

- Yeşil alan bölgesinden geçtiği güzergâhlarda yangınların oluşmasına neden olabilir.
- Çevre ve doğa şartlarından kolaylıkla etkilenir. Özellikle kuşlar ve diğer canlıların verebileceği zararlara açıktır. Şekil 2.6'da kuşların vermiş olduğu zararlara maruz kalan havai hatlar görülmektedir [13]. Hava şartları içinde özellikle fırtına ve yıldırımdan, yağmur suyu veya kar suyundan etkilenirler. Korozyona sebebiyet verecek temaslara maruz kalırlar. Fırtına ve yıldırım [2]'de bahsedildiği gibi havai hatlarda büyük kayıplara sebep olmaktadır.



Şekil 2.6: Kuşların vermiş olduğu zararlara maruz kalan havai hatlar.

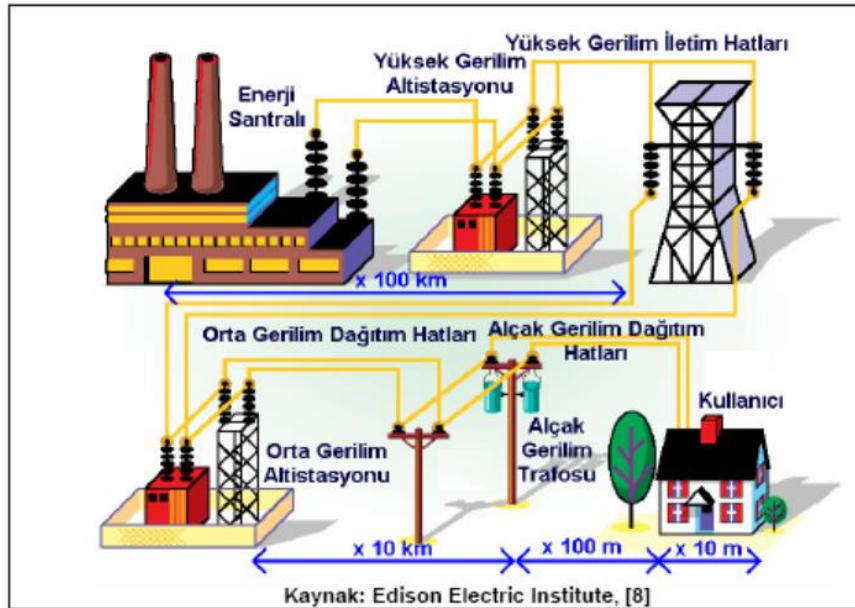
- Görüntü kirliliğine sebep olur.
- Geçtiği bölgelerde imar planlamasını ciddi anlamda etkiler.
- Y. Uyaroğlu'nun çalışması [14]'de bahsettiği üzere manyetik etkenlerden ötürü canlıların sağlığını doğrudan etkilemektedirler.
- Bir hattın kopması veya direk yapışını zarar görmesi halinde can ve mal güvenliği için tehdit oluşturabilir. Şekil 2.7'de zamanla dayanımını yitirerek kırılan beton tipi kablo direği ve bir kaza sonucu aldığı hasar ile yola doğru devrilen bir başka beton tipi elektrik direği görülmektedir [13].



Şekil 2.7: Kırılarak yola doğru devrilen havai hat direkleri.

2.3 YER ALTI KABLOLAMA YÖNTEMİ İLE ENERJİNİN TAŞINMASI

Elektrik iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin ve kabloların yer altından taşınmasına yer altı kablolama denir. Günümüzde elektrik iletim hatlarının yer altından geçirilmesi ilk tercih edilen taşıma metodu olmaya başlamıştır. Şekil 2.8’de bir enerji santralinde üretilen enerjisini iletimin ve dağıtım prensip şeması görülmektedir [15]. Bu şekilde görülen iletim tamamen havai hatlar üzerindedir. Günümüz teknolojisinde şehir içinde kalan havai iletim hatları da yer altı elektrik kablo hatlarına dönüştürülmektedir. Yer altı kablolarının [15]’de belirtildiği gibi havai hatlara nazaran fiziki emniyet problemlerinin daha az olması, can ve mal güvenliğine, insan sağlığına olumsuz etkisinin bulunmaması ve hızla artan nüfus sonucunda oluşan yer darlığına etkisinin az olması gibi sebeplerle avantajları bulunmaktadır.



Şekil 2.8: Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım prensip şeması.

Elektrik kablosu elektrik yükünü aktaran ve iki aleti birbiri ile elektrik olarak bağdaştıran, elektriğe karşı yalıtılarak bir veyahut birden fazla damardan oluşan elektrik ekipmanıdır. Kablolar alçak gerilim orta gerilim yüksek gerilim olmak üzere üç ana grupta incelenir. Elektrik kablolarının TEDAŞ'a göre yer altına döşenme standartları [15]'de verilmiştir. 1 kV gerilimi olan elektrik kablosu hatları 40 ila 50 cm, 10 kV gerilimi olan elektrik kablosu hatları 60 ila 70 cm, 20-30 kV gerilimi olan elektrik kablosu hatları ise kanal derinlikleri 80 ila 100 cm olan elektrik kanalları içerisine serilmelidir. Kabloların karayolu geğişlerinde ortalama derinlik 100 - 120 cm olması gerekmektedir. Şekil 2.9'da AG, OG ve OG pilot kablolarının yer altında kalacak şekilde zeminden belli bir kotta aşağıda ve aralarında belli ağıklarla standartlara uygun olarak serildiğini görebiliriz.



Şekil 2.9: Yer Altına Döşenen AG, OG ve Pilot Kablolar.

Güzergâhın belirlenmesi, diğer sistemlerle koordine edilmesi, kazı ve borularla kablo kanallarının oluşturulması ile kablolama yapılır. Bu aşamadan sonra yetkili mercilerden onay alındıktan sonra, [17]'de belirtildiği gibi etkilediği diğer sistemlerin

tadilatını ve gerekli peyzaj çalışmalarının yapılmasını gerektirir. Fakat kabloların yer altından taşınması demek, kesin bir çözüme ulaşmak demek değildir. Her hangi bir arıza durumunda kazı çalışması gerektirir. Yapımı öncesinde bir çok prosedür yerine getirilerek kazı ile açılan ve güzergâhları hazırlanıp çekilen kabloların yeniden ortaya çıkarılması mecburiyeti ortaya çıkar. Bu tadilat kazılarında da başka sistemlerin zarar görmemesi elde değildir. Ayrıca yer altında döşenen kabloların doğa kuralları gereği tepkimeye girmemesini sağlamak, ömürlerini uzatıp koruma altına almak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde ekstra malzeme ve işçilik maliyeti ortaya çıkarmaktadır.

2.3.1 Yer Altı Kablolamada Akım Taşıma Kapasitesi

İletkenlerde meydana gelen joule kayıpları nedeniyle kablo sistemleri ısınırlar. İletim alternatif akımla yapılıyorsa joule kayıplarına metal koruyuculardaki kayıplar ve yalıtkanlardaki dielektrik kayıplarda katılırlar. Uzun ömürlü ve güvenilir bir kablo sistemi gerçekleştirmek için [17]'de iddia edildiği gibi iletken kesiti çok iyi seçilmesi ile iletkenin sürekli hem de kısa devre olması durumunda iletkenin taşıması gereken maksimum elektrik akımı değeri yük akımı değerinden büyük olmalıdır.

Kabloların üzerinde sıcaklık yükselmesi ve bu doğrultuda akım taşımayabilme miktarı kullanılan malzeme ürünlerin karakteristiklerine ve işletme şartlarına bağlı olarak değişir. Kablo tercihi yapılırken, kablonun taşıdığı akım sıcaklıkla ters orantılı olduğu için ortamın sıcaklığı da dikkate alınır. Kabul edilemez değerdeki yüksek iletken ısıları ve ortamda oluşan aşırı sıcaklık farkları [19]'da belirtildiği gibi kabloda yıpranmaya yol açar. Bundan dolayı kablolarında akım taşıma kapasitesi hesaplarıyla birlikte ve kullanılacak kablonun kodu standartlara uygun dikkatlice tercih edilmelidir.

2.3.2 Yer Altı Kablolamada Isıl Eşdeğer Devresi ve Ortamın Isıl Direnci

Elektrik iletkeni üzerinden geçen akım iletkeni ısıtır ve istemeyeceğimiz kayıplara sebep olur. Isı kablonun etrafına kondüksiyon halinde yayılır ve eğer ki kablo açık havadaysa kondüksiyon ve radyasyon üzerinden iletilir. Sürekli rejimde kablodan dış ortama iletilen ısı, kablocu üretilen tüm kayıpların toplamına eşit olduğu L. Heinhold'un [20] çalışmasında verilmiştir.

Ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte ortamın direnç değerini değiştirir, buda havai hat ve yer altı kablolarının iletkenleri etkilenmektedir. Fazla ufak çaplı iletken kablolarda havanın ısı direnç değerinin etkisi toprağın ısı direnç değerinden çok daha fazla olduğu [19]'da belirtilmiş ve bunun sonucu olarak da havada bulunan küçük çaplı kabloların akım taşıma kapasiteleri küçük çaplı yer altı kablolarının akım taşıma kapasitelerinden daha düşük olmaktadır. Kablo çapının artmasıyla havanın ısı direncindeki azalma toprağinkinden daha hızlıdır. Dolayısıyla büyük çaplı kablolarda havanın ısı direnç değeri toprak ısı direncinden daha ufak hale gelir, bunun sonucunda hava hatlarında kabloların akım taşıma kapasiteleri yer altı kablolarının akım taşıma kapasitelerinden daha yüksek değerlere ulaşırlar.

Isıl direnci etkileyebilen önemli büyüklük, toprağın kendi öz ısı direnç değeridir. Bu direnç değeri toprak cinsi (kil, kum gibi) ve ne kadar nemli olduğuna bağlıdır. Derinlere doğru inildikçe [21]'de de bahsedildiği gibi toprağın nem miktarı artacağından toprağın özgül ısı direnci azalacaktır. Dolayısıyla akım taşıma kapasitesini topraktaki nem miktarı etkilemektedir. Yer altından enerji iletiminde toprağın ısı direnci, kablo çapına, kablonun zeminden olan yüksekliğine ve toprağın özgül ısı direncine bağlıdır. Isıl direnç derinlik ve toprağın özgül ısı direncinin artmasıyla artmakta, kablo çapının artmasıyla azalmaktadır. Burada derinlik etkisi küçüktür. Nedenlerinden biri toprak seviyesinin derinliğime inildikçe nem oranında artma meydana geldiğinden ortam sıcaklığı ve buna paralel özgül direnç de azalır.

Düşük ve orta kuvvet kablolarında derinlik 70 ila 120 cm aralığında olduğu ortam sıcaklık değeri 20°C, özgül ısı direnç değeri ise 1°C m 1 W olduğu anlarda akım taşıma kapasitesi için düzeltme faktörlerine gerek duyulmadığı [18]'da belirtilmiştir. Bu nedenle bu aralık uygun değer aralığıdır.

Toprağın sürekli yükten dolayı kurumması veya toprak tipinin verimsiz olması kablo etrafında yeşillik olması su miktarını azaltacağından toprağın kurummasına sebep olur. Bu etkenler toprağın ısı direncinde artışa sebebiyet verir ve yük akımının sabit kalması durumunda akım taşıma kapasitesi %75'lere kadar inecektir. Bununla beraber zem asphalt, kaldırım taşıyla kaplı olması ülkemizde özellikle yaz zamanı fazla su kaybına engel olduğundan faydalıdır. Boru veya büz içine döşenen kablolarda [22]'de

verilen uyarılara göre boru veya büz içine havanın girmesi, toprağın iyi sıkıştırılmaması da ilave ısıl dirence ve dolayısıyla da akım taşıma kapasitesinde azalmaya neden olacaktır.

2.3.3 Yer Altı Kablolamada Elektrik Koridorunun Tespit Edilmesi

Yer altı elektrik hattında kullanılan kablolar, yalıtkan ve bazı noktalarda zırh gibi ekstra özelliklere sahip olması gerektiğinden ötürü maliyetli bir ekipmandır. Havai iletim hatları gibi sadece bir kaç maddeden imal edilmeyip kendi iç ayrımları, izoleleri, burguları tekrar izole ve çelik tellerler mukavemetini artırma işlemlerinden geçmektedir. Bu nedenle de [17]'deki uyarılar dikkate alınarak, kullanırken en kısa ve uygun güzergâh tercih edilmeli ve kablolama yapılacak kanaldaki kazı, işçilik, borulama ve peyzaj çalışmalarını da hesaba katmak gerekmektedir.

Bu çalışma yapılırken alternatif koridorları ince eleyip sık dokumak gerekmektedir. Lakin bu şekilde tesisi kurmakta işçilik ve malzeme tasarrufu yapılabilir. Planlanmış bir tesisin hem bakımı kolay hem de ömrü daha uzundur. Rotalar belirlenirken, kablo döşenecek yerin koordinat alımları yapılır. Daha önce [18] ile de bahsedildiği üzere elektrik kablosunun geçiş güzergâhında imkânların el vermesi durumunda düz şekilde çekilmesi istenir ve böylelikle maliyeti düşürmüş oluruz. Bu kablolama sırasında genleşme ve büzüşme payları eklenilmesi unutulmamalıdır. Yüksek gerilim elektrik hattında, uzak mesafe kablo döşemelerinde arazi koşullarına ait tüm bilgi (bataklık, kumluk, kayalık veya nehir, yol, üst geçit, dere ve varsa başka çevre engelleri veya zemindeki binalar) incelenmek kaydıyla planlanarak taşıma metodu tercihleri yapılır.

Kablonun boyunun uzun olması kabloya ait ek kutusunun ve T ek noktalarının artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle de maliyet ve arıza olaylarının artmasına neden olacaktır. Plan yapılmış ise ek lokasyonlar ve kablo geçiş yerleri uygun olarak seçilip plana işlenmiş olur. Böylelikle ileride olası onarım ve değişiklikler kolaylıkla yapılabilir. Kablo istikameti şehir dışı ve içinde olmak üzere iki şekilde gösterilir. Kablo güzergâhı belirlenirken Millî Eğitim Bakanlığı'nın eğitim kaynağı [15]'de sıralandığı gibi aşağıdaki maddelere dikkat etmek lazımdır.

- Kablonun yönü sahadaki yollar ile daha kolay ulaşılabilir olmalı ayrıca arazi şartları en kestirme yollardan gitmeli ve kablo güzergâhı ulaşım yollarından uzak olmamalıdır.
- Elektrik kabloları engebeli bölgelerden örneğin sulak, orman, kavşak ve maden ocakları, taşlık ve kumluk gibi arazi koşullarında çekilmemelidir. Bu tip yerler kablo çekimi için uygun görülmemektedir.
- Elektrik kabloları, su birikintisinin olduğu yerlerde bulunmamalı, tren rayı, köprü, araç yollarını sürekli kesmemelidir. Bu tür yerde kesinlikle ek noktası yapılmamalıdır.
- Elektrik kablo güzergâhını kısaltmak için güzergâhı tarla içinden geçirmemek gerekmektedir. Ayrıca ek noktalarına tarla veya benzeri alanların içine konulmamalıdır. Olası arıza durumunda tespiti zor olasına sebebiyet verir.
- Elektrik kabloları, rutubetin fazla olduğu ayrıca kimyasal maddenin olduğu alanlardan uzak tutulmalıdır.
- Elektrik kabloları, cadde, sokak ve yolların yanından döşenmelidir. Bölgedeki yetkili kamu kurumların koordinasyonu ile oluşturulan elektrik koridorları dışına çıkılmamalıdır. Ek noktaları güzergâhlar boyunca belirgin lokasyonlara yerleştirilmelidir. Bu noktalar işaret levhası veya uyarı taşları ile işaretlenmelidir. Böylelikle tadilat zamanı bizlere kolaylık sağlayacaktır.
- Elektrik kablosunu eğim olan bölgeden dar geçitlerden veya kayalık alanlardan götürüyorsak, seçeceğimiz kablo çelik bandajlı özel tip bir kablo olmalıdır. Ayrıca kablo başına ve sonuna fazladan pay bırakarak bu bölgedeki olası bir tadilatta, mevcut kablonun payının kullanılmasını sağlanmalıdır.
- Elektrik kablosu bataklık bir araziden döşenmek isteniyorsa, kablo boru içerisinde beton veya ağaç kazıklar üzerinden çekilir. Böylelikle kabloyu hem korumuş hem de güzergâhı sabitlemiş oluruz.
- Kablolar, mutlaka yola paralel olarak döşenmeli, elektrik koridorları altında kalmalıdır. Güzergâhların kısa olması tercih edilmelidir.
- Kablo güzergâhı oluşturulurken telekomünikasyon, kanalizasyon, su ve doğal gaz boruları gibi diğer sistemlerle karşılaştırılarak karar verilmelidir.
- Kablolar, kimyevi suların aktığı atölye ya da fabrika civarına döşenmemelidir. Mecburiyet durumu varsa da kablo çok derine döşenmelidir ve demir boru içinden çekilmelidir. Böylece kablo tahrip edici sıvılarla oluşacak temastan korunmuş olur.

2.3.4 Yer Altı Kablolamada Kanallar ve Kablo Serimi

Elektrik kabloların seçilerek kazılmış olan kazı alanı içerisine döşenmesi sırasında yapılan tüm işlemler, işletme sırasında oluşabilecek arızalara sebebiyet verme ihtimali oldukça fazladır. Kablo çekimi sırasında yapılan en ufak sapma, kabloyu yere yanlış bırakma, serme, yalıtıma zarar verip kabloyu yaralama ve benzeri hatalar işletme sırasında olası arızalara neden olması kaçınılmazdır. Şekil 2.10'da standartlara uygun bir şekilde kaldırılarak serim işlemine hazırlanan makaraları görebiliriz [15].







Şekil 2.10: Kablo makaralarının serim işlemine hazırlanması.

Kablo ana hat güzergâhının yüksek kesitli olmasına karşılık, buna bağlanan tali bağlantıların kesitleri daha düşük kesitli hatlardan meydana gelir. Seçilen güzergâh genelde bu yol cadde ve sokakların kaldırımlarının altından geçecek şekilde olmaktadır. Mecbur kalınmadığı sürece A.T. Ergüzel'in [18]'de yer verdiği gibi yola inilmemesi gerekmektedir. Katar'da kabloların mecbur kalınması halinde boru imalatı ile asfalt altına alımı yapılabilmektedir.

Doğalgaz hattı, telekomünikasyon kabloları, kanalizasyon hatları, yangın ve su boruları gibi zemin altı kablolarını çekeceğimiz bölgede bu tür alt yapılara dikkat etmemiz gerekmektedir. Eğer bu sistemlere yakın bir güzergâhın kullanılması gerekiyorsa, daha önce [17] ile verilen mesafelere benzer bir şekilde en az 50 cm olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu gerekliliğe ek olarak, bir bina duvarı yakınından geçen orta gerilim kablolarının bu duvara uzaklığı en az 70 cm olmalıdır. Şekil 2.13'de Yer altı kablolarının standart döşeme derinlik ölçülerine dair bir uygulama şeması verilmiştir [18].

Yer altı kablolarının döşenmesi şekillerinde kabloların sadece kablo ya da boru içinden geçirilmesi durumundaki akım taşıma faktörleri girilmekte, kabloların etrafının tamamen çevrenmesi durumunda özellikle HDPE borularla kapatılarak akım taşıma kapasitesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Konu ile ilgili [18]'de yer verildiği üzere Tablo 2.4'de görülen kabloların yer altında bulunma durumlarına göre belli faktör değeri alırlar ve bu faktör değeri azaldıkça verim artmaktadır [18].

Tablo 2.4: Yer altı kabloların döşenme tipine göre faktör oranı.

	Yatak ve dolgu malzemesi baskılanmamıştır. Koruma kapağı beton veya tuğladan olan plakadır.	Faktör 1.0
	Yatak ve dolgu malzemesi ve gevşek kum veya elenmiş topraktır. Kabloların üzeri yarım büz ile kapatılmıştır.	Faktör 0.90
	Kablonun üzeri tamamen kapatılmıştır veya kablo bir boru içerisinden çekilmiş bir vaziyettedir. (PVC) kablo ise boru arası hava ile doludur.	Faktör 0.85
	Kablo yüksek yoğunluklu ve kalın etli bir polietilen boru içerisindedir. (HDPE) Boşluk hava ile doludur.	Faktör 0.80

Kablo döşenmesi esnasında kablo zeminin düzeni, kuşlanması önem arz etmektedir. [18]'de belirtildiği üzere zeminin yeni doldurulmuş olması ya da yumuşak zemin olması durumunda kablolar dalgalı biçimde döşenmelidir. Şekil 2.11'de hazırlanmış zemine iş makinesi yardımıyla bırakılan kabloyu görebiliriz [15].

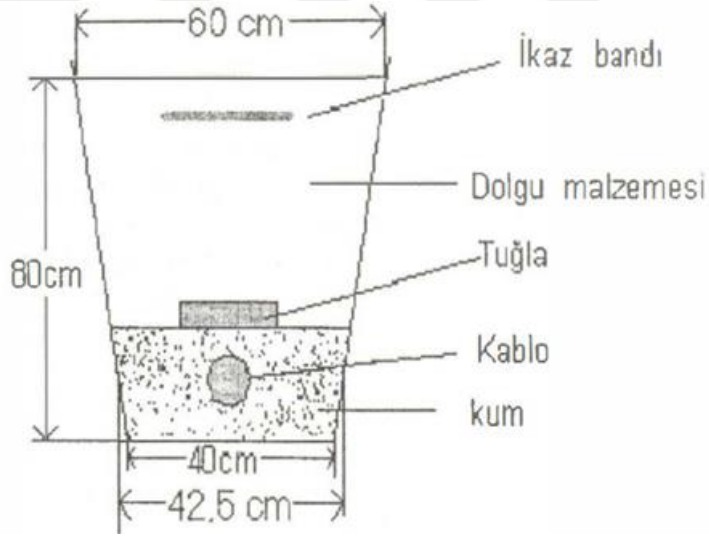


Şekil 2.11: Kablo kanalına iş makinesi yardımıyla bırakılan kablo.

Bu şekilde döşenmediği durumda yumuşak zeminden dolayı toprakta her hangi bir çökme olursa, kablonun üstünde yer alan toprağın yükü, gerilip kopmasına ve patlamasına sebebiyet verecektir. Kablolar döşenme sırasında mümkün olduğunca ek kullanılmamalıdır. Çünkü [18]'de iddia edildiği üzere her ek yeri yeni kayıplara sebep olacaktır. Döşenme yapıldıktan sonra kapatma işlemi yapılırken Şekil 2.12'de görüldüğü gibi kablo üzerine yüksek gerilim hatları için beton uyarı levhaları, orta gerilim için uyarı levhaları, alçak gerilim içinse uyarı şeridi çekilerek en üst kısma kazı kapatılmalıdır [23]. Bu uygulamalar o bölgede daha sonra çalışacak olan başka tesislerin çalışanlarına o bölgede ileri dönemde çalışanlara [17] ve [18]'e göre de yeraltı kablosunun olduğu bilgisini verecektir.



Şekil 2.12: Uyarı bandı serilmiş OG yer altı kablolama.



Şekil 2.13: Yer altı kablolarının standart döşeme derinlik ölçüleri.

2.3.5 Yer Altı Kablolama ile Enerji Taşınmasının Avantaj ve Dezavantajları

Yer altı kablolama sistemlerinin tercih edilmelerini sağlayan avantajlarını ve diğer taşıma metotları karşısında dezavantajlarını irdelemek istersek genel olarak [1] ve [17] – [18]'e göre aşağıdaki maddeleri sıralayabiliriz.

- Yol, cadde ve meydanların estetiği bozulmadan enerji iletimi yapılabilir.
- İletim ve dağıtımda yeraltı kullanıldığı için direklere ve bunun gerektirdiği donanımına ihtiyaç olmaz.
- Hava şartları içinde özellikle fırtına ve yıldırımdan etkilenmez.
- İşletme ve can güvenliği sağlanmaktadır.
- Kablo güzergâhı yol, cadde gibi üstyapıdan etkilenmediğinden dolayı kablo çekilirken düz ya da kavis yapılması mümkündür. Dolayısıyla güzergâh saha şartlarına göre değiştirilebilir.
- Arıza yerinin tespiti ve onarımı zordur. Ulaşımı çeşitli etkenlerden ötürü mümkün olmaması halinde, örneğin doğa olayları gibi, arıza onarım ve bakımı hemen yapılamaz. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi kablo akustik kablo tarama cihazı ile arıza meydana gelen nokta aranmaktadır [24]. Benzeri durumu bisiklet yolları, yaya kaldırımları ve peyzaj çalışmaları bitmiş bir alanda da meydana gelebilmektedir.



Şekil 2.14: Yer altı kablo arızası arama faaliyeti.

- Diğer tüm yer altı ve yer üstü sistemlerle koordine edilmelidir.
- Ömürleri uzun değildir. Uygun derinliklere serilmeyen ve uygun borular içerisinde muhafaza edilmeyen kablolar kısa sürede deformasyona uğrarlar.

Şekil 2.15’de toprak altında zamanla deformasyona uğramış bir yer altı kablosu görülmektedir.

- İlave elemanları kullanarak tesisin kapasitesini artırmak mümkün değildir.
- Çevre ve doğa şartlarından etkilenir. Yağmur ve kar sularından etkilenme ihtimali vardır. Kalitesi düşük tutulan her imalat kısa süre sonra arıza durumuna geçer.
- Geçtiği bölgelerde imar planlamasını ve diğer sistemlerin imalatlarını etkiler. Maddi olarak kayba yol açar.
- Bakım onarım durumunda yapılacak herhangi bir kazı, görüntü kirliliğine sebep olur.
- Arıza durumun da müdahale, kazı yapılmadan imkânsızdır. Üst yapılara ve imalatı tamamlanmış sistemlere zarar verilmesine neden olur. Maddi kayba yol açar.
- Kazı izin ve onay süreçleri çok uzundur.
- Kazı kotları üzerinden geçen araçların yüküne göre daima ayarlanmalı bu nedenle sürekli hesap gerektiren bir işleyişte olmalıdır.



Şekil 2.15: Toprak altında zamanla deformasyona uğramış bir yer altı kablosu.

2.4 KABLO TÜNELİ YÖNTEMİ İLE ENERJİNİN TAŞINMASI

Kablo tünelleri, içinden kuvvetli ve zayıf akım kablolarının geçirildiği, modern şehirlerin iletişim ve güç dağıtım altyapısının sağlandığı alt yapılardır. Yeraltında bulunan bu tüneller, uzun mesafeler için ticari, endüstriyel ve konut gereksinimlerine hizmet eden, hayati iletişim ve enerji döngüsünün bir parçasıdır. Günümüz modern teknolojisinde altyapısal olarak yüz yıllarca hizmet edebilecek, ilave işler açısından kullanımı kolay, arıza ve bakım zamanlarında müdahalesi rahat, iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından da en ideal sistemdir. Kablo tüneli metodunun artı ve eksileri irdelenerek çeşitli uygulamalar üzerinden de örnekler sunularak ileriki konu başlıklarında anlatılması hedeflenmiştir. Kablo tüneline dair detaylı incelemeler de kablo tüneli başlığı altında yapılmıştır.

3. İLETKENLERİN ENERJİ TAŞIMA METODLARINA ETKİLERİ

Yüksek gerilim iletkenlerinin, enerji taşıma kapasitesi bakımından ve mekanik yönden uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. İletkeni seçerken [1] ve [8]'de değinildiği üzere dikkat edilmesi gereken başlıca kalemler; enerji kaybı, gerilim düşümü, en uygun maliyet, ısınmadan dolayı genleşme durumu ve korona kayıpları olarak sayabiliriz. Ek olarak havai iletim hatları için iletim hatlarının bulunduğu bölgelerdeki ve güzergâhlarına göre buz yükleri de hesaplara katılmalıdır. Elektrik enerjisinin taşınmasında iletkenin tipi tespit edilirken elektriksel hesaplamaların önemli olduğu gibi iletkenin mekanik yıpranmalara ve etkilere karşı yapısı da önem arz etmektedir.

3.1 İLETKENLERİN ÇEŞİTLERE GÖRE ETKİLER

İletim metotlarında havai hatlarda ağırlıklı olarak alüminyum destekli iletkenler tercih edilmekte iken yer altı ve kablo tüneli ile yapılacak kablolarlarda ise ağırlıklı olarak bakır ham maddesinden üretilmiş kablolar tercih edilmektedir.

3.1.1 Bakır İletkenlerle İletim

Elektriğin bulunmasından günümüze kadar geçen zamanda enerji iletim ve dağıtım hatlarında en çok kullanılan iletken [1]'de iddia edildiği üzere bakır olarak üretilmiş ve kullanılmıştır. Bunun başlıca sebebi bakırın iletkenliğinin yüksek olmasının yanında bir de gerilme kuvvetine karşı dayanıklı olmasıdır. Ayrıca doğada çok fazla bulunması sebebiyle ekonomik olmasından dolayı tercih edilme sebeplerindedir. Bakır doğadan kükürtle karışık bir cevher olarak çıkartılır. Cevher içerisindeki bu elementlerin arıtma tesislerinde temizlenerek neredeyse tamamen saf bakır haline getirilebilmesi mümkündür. Diğer elementlerden arındırılan bakır cevheri elektroliz yolu ile temizlendikten sonra standart bakır ya da tavlı bakır olarak adlandırılır ve bu işlemten sonra oluşan standart bakırın iletkenliği %100'e kadar çıkmaktadır. Bu işlemler yapılmadan alüminyumun iletkenlik değeri yüzde altmışlar seviyesindedir. Standart bakırın yumuşak olması enerji kablolarının yapımında ve elektrik tesisat malzemelerinin kontaklarının yapımındaki temel malzemeler arasında yer alır.

10 milimetre kare üzerinde ki kesitlerde bakır iletkenler örgülü olarak üretilir. Örgü bakırı oluşturan damar sayısı $m = 3n^2 + 3n + 1$ formülü ile bulabiliriz. n bir örgüde ki kat sayısıdır. Örgülü bakır iletkenler alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilimdeki kablolama işlerinde kullanıldığı gibi havai hatlarda da kullanılmaktadır. Tablo 3.1’de bakır iletkenlerinin çapına ve kesitine göre özelliklerini görebiliriz [1]. Şekil 3.1’de ise örgülü bir tipik bakır iletken örneği verilmiştir [1]. [1] – [8]’de dile getirildiği üzere bakır iletkenler mekanik mukavemetin ve elektriksel iletkenliğin yüksek oluşundan dolayı tercih edilir. Soğuk haddeleme işleminden dolayı kopma ihtimaline karşında dayanıklı olur. Soğuk haddeleme işlemi bu yüzden gereklidir. Alüminyumun bakıra göre ucuz ve özgül ağırlığının hafif olmasından dolayı havai hatlarda alüminyum iletkenler tercih edilmekteyken, yer altı ve kablo tüneli yöntemlerinde ağırlıklı olarak bakır ham maddeli kablolar kullanılmaktadır.

Tablo 3.1: Bakır iletkenlerin çapına ve kesitine göre özellikleri.

Bakır İletkenin Kesiti	Bakır İletkenin Çap Değeri	Bakır İletkenin Ağırlığı	Bakır İletkenin Çekebileceği Maksimum Akım Değeri
10mm ²	4,05mm	0,09kg/km	94A
16mm ²	5,1mm	0,14kg/km	115A
25mm ²	6,5mm	0,22kg/km	150A
35mm ²	7,7mm	0,31kg/km	175A
50mm ²	9,5mm	0,48kg/km	310A
70mm ²	11mm	0,64kg/km	360A



Şekil 3.1: Bakır örgülü iletkenler.

3.1.2 Tam Alüminyum İletkenlerle İletim (AAC)

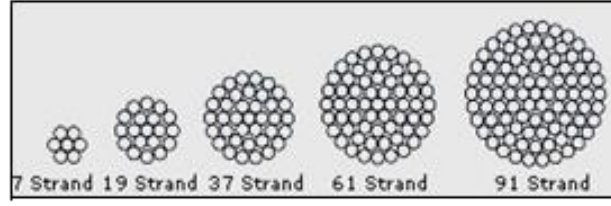
Yeryüzünde en fazla bulunan elementlerden oksijen ve silisyumdan sonra alüminyum gelmektedir. Havai enerji nakil hatlarında [1]'de iddia edildiği üzere günümüzde ekonomik ve özgül ağırlıklarının hafif olmasından dolayı alüminyumdan yapılmaktadır. Çoğu ülkede, enerji iletim dağıtım sistemlerinde ki tüm elektrik elemanlarında alüminyum ana iletken olarak bakırın yerine kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedeni alüminyumun bakıra göre özgül ağırlığı hafiftir. [25]'de yapılan kıyaslamaya göre alüminyumun yoğunluğu bakırın %30'u civarındadır.

Havai hatlarda hafiflik direk yapılarından dolayı çok önemlidir. İletken ne kadar ağır olursa ona göre ağır direk yapı gereksinimi olacaktır. Malzemenin işlenmesi ve montajı bakır iletkenlerine göre daha kolaydır. Daha önce [1]'de verilen alüminyumun avantajlarının yanı sıra alüminyum iletkeninin nakliye edilmesi de daha kolaydır, havai iletim hatlarında tam alüminyum iletkenler birçok farklı sebepten ötürü daha avantajlı bir yere sahiptir. Şekil 3.2'de bir tam alüminyum iletken örneği görülmektedir [1].

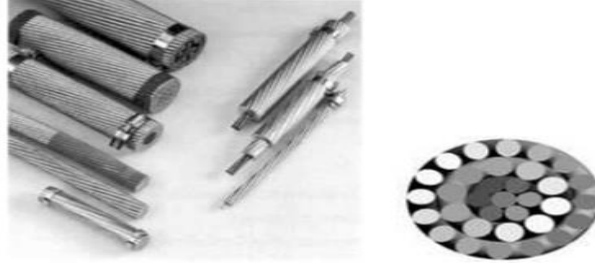


Şekil 3.2: Bir Tam alüminyum iletken örneği.

Alçak gerilim dağıtım hatlarında diğer iletkenlere göre daha çok tercih edilen tam alüminyum iletkenler, [1]'de yer alan üretim standartlarına göre 15 mm^2 'den 500 mm^2 kesitleri aralığında imal edilmektedir. Başka standartlara uygun üretimlerde yapılabilmektedir. Genellikle iletkenler standart ağaç ya da metal makaralara sarılı olarak sahalara teslim edilir. Tablo 3.2'de tam alüminyum iletkenlerinin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri verilmiştir [1]. Şekil 3.3'de tam alüminyum iletkeninin değişik iletken çaplarındaki kesit örnekleri ve Şekil 3.4'de ise farklı tiplerdeki alüminyum hat iletkeni örnekleri kesiti ile birlikte verilmiştir [1].



Şekil 3.3: Alüminyum iletkeninin değişik iletken çaplarındaki kesit örnekleri.



Şekil 3.4: Alüminyum havai hat iletkeni örneği ve kesiti.

Tablo 3.2: Alüminyum iletkenlerinin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri.

	Birim	1	2	3	4	5	6
Rüzgâr Hızı	m/sn	0	0.61	0.6	0.6	0.6	0.6
Ortam Sıcaklığı	°C	40	25	20	45	35	25
Maksimum İletken Sıcaklığı	°C	80	75	80	80	80	80
Frekans	Hz	50	60	50	50	50	50
İletken Yüzeyi		-	mat				
Güneş Isısı	kW/m ²	-	-	1	1.2	1.2	1.2

3.1.3 Çelik Destekli Alüminyum İletkenlerle İletim (ACSR)

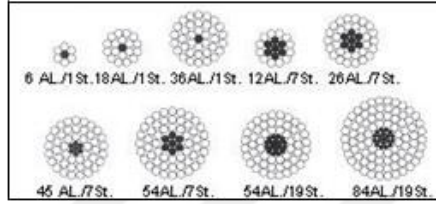
Gerilmeye dayanımını artırmak için alüminyum iletkenin ortasına damarı çelik olan teller yerleştirilir. Bu işlemin amacı iletkenlik olarak alüminyumdan, mukavemet için de çelikten faydalanmaktır. [8]'de verilen Kanada standardına göre hesap edilerek üretilen bu iletkenler OG ve YG gerilim kademelerinde kullanılabilir.

Çıplak çelik özlü olan bu alüminyum iletkenler OG ve YG hatlarında kullanılır ve standartlara göre 15-750 milimetre kare kesit aralığında üretilir. Talepçinin isteği doğrultusunda yabancı ülkelerin standartlarına göre özel olarak üretimi de yapılabilen bu iletkenler çoğunlukla standardı önceden belirlenmiş ağaç makaralar üzerine sarılarak teslim edilir. Şekil 3.5'de çelik özlü alüminyum iletkenlerin genel ve Şekil

3.6’da ise değişik çaplardaki kesitlerini görülmektedir [1].



Şekil 3.5: Ham maddesi alüminyum olan ve elik destekli bir iletken rneği.



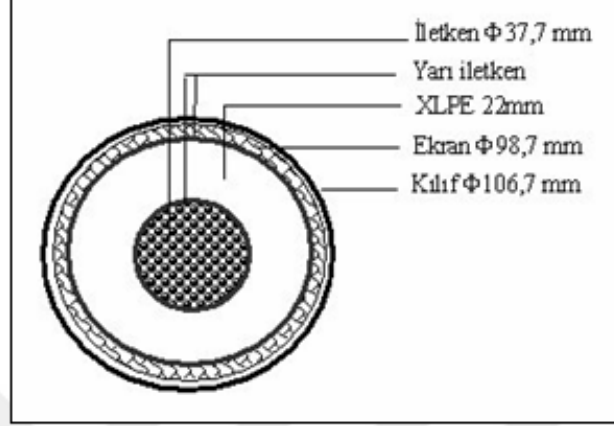
Şekil 3.6: Ham maddesi alüminyum olan ve elik destekli iletken kesitleri.

3.1.4 Çapraz Bağlanmış Polietilen Kablolarla İletim (XLPE)

Yüksek gerilim enerji dağıtımında en çok kullanılan kablo tiplerinden biri XLPE’dir. Dielektrik özelliktedirler, buna ek olarak yüksek işletme sıcaklıklarına elveriŐli olmaları tercih edilmelerinde en önemli etkendir ve yer altı ve kablo tünelinde kullanılırlar. Yapısında polietilen (termoplastik) bulunan XLPE ile ilgili [1]’de yer alan bilgilere göre, erime noktası üzerine çıktığında elastomer malzeme özelliklerini gösterir. Bundan dolayı kararlılığı ve dayanımı ısı altında optimize edilmiştir. XLPE kabloları yerleşimin yoğun olduğu yerlerde, sanayi sitelerinde, yer altında ve kablo kanalları içerisinde yük deęiŐimlerinin sıklıkla gerçekleŐtięi tesislerde kullanılır. En yüksek çalışma sıcaklıkları 90 C, en yüksek kısa devre sıcaklıkları 250C’dir. Dielektrik özelliğinin çok iyi olmasına rağmen XLPE de aynı polietilen gibi iyonizasyon boŐalmalarından hızla etkilenir.

XLPE, permitivitesi düşük olduğu için kablo üzerinde oluşabilecek kapasitif akımları sınırlar. Ancak tanjant deltası çok düşük olduğu için elektriksel kayıplar ciddi oranda azalır. Dielektrik özelliği yüksek olduğu için yaŐlanmaya direnci fazladır. İmalat süreci basit olup ayrıca mekanik özelliği geliŐtirilmiŐ olduğu için çok yüksek ısılarda dahi uzun işletme ömrü vardır. Çapraz bağlantılı polietilen yapı içeriğindeki kristalize özellikten dolayı çok yüksek işletme sıcaklıklarında (105 derecede) dahi erimez

XLPE kabloların daha önce de [1] ile değinildiği üzere, termal dayanımları da fazladır ve yapısı polietilen yalıtkanla kaplı kabloları nazaran neme karşı direnci daha yüksektir. Şekil 3.7’de tipik bir XLPE kablonun yapısı bir kesit üzerinde gösterilmiştir [1].



Şekil 3.7: 154 Kv XLPE kablo yapısı.

3.1.5 Bakır (Cu) ve alüminyumun (Al) karşılaştırılması

Bakır ve alüminyum bazı hususlarda teknik olarak değerlendirmesini yapmak için [1]’de bir karşılaştırma yapılmıştır ve aşağıdaki tabloda bazı değerler verilmiştir. Bu değerlendirmeden anlaşılacağı üzere aynı şartlar altında eşit uzunlukta ve kesitteki alüminyum bir iletkenin ağırlığı bakır bir iletkenin ağırlığının yarısı kadarına denk gelmektedir. Tablo 3.3’de bakır iletkenin kesit değerini bir birim olarak kabul ettiğimiz durum için eşdeğer alüminyum çıplak yuvarlak iletkenin fiziksel karşılaştırılması yapılmıştır [1].

Tablo 3.3: Bakır iletkeninde değerlerin 1 olarak kabul edildiği durum için eşdeğer alüminyum iletkeninin fiziksel olarak karşılaştırılması.

Karşılaştırma Yapılan Husus	Cu	Al
Eşit Kesit	1	1
Ağırlık	1	0,3
İletkenlik	1	0,62
Akım Taşıma Kapasitesi	1	0,8
Eşit İletkenlik	1	1
Kesit Alanı	1	1,6
Çap	1	1,3
Ağırlık	1	0,49
Eşit Sıcaklık Artışı	1	1
Kesit Alanı	1	1,4
Çap	1	1,17
Ağırlık	1	0,42

3.1.6 Yalıtkanların Çeşitleri ve Özellikleri

Çağımızda uygulamada sıklıkla üzerinde termoplastik yalıtkan bulunan kablolar kullanılır. Bu yalıtkanlar PVC ve polietilendir. İşlenmemiş PVC esnemez ve sert yapıda ve kırılıgandır ayrıca ısıya karşı kararsızdır. Dolayısıyla özellikle soğuk havalarda alınacak darbelere dayanımı azdır. PVC yapısının içerisine sertleşmeyi engelleyen yağlar, dengeleyiciler ve dolgu maddeleri eklenerek yalıtkanlık sağlanır ve kullanıma uygun hale gelir. Bu işlem sonucunda kablo esneklik kazanır ve kırılıganlığı büyük oranda azaltılmış olur dolayısıyla kablo soğuk ortamlarda kullanıma uygun hale getirilmiş olur. PVC'nin işlenebilmesinin sebebi içeriğindeki Kalsi ve Kaolin'dir. Bu malzemeler ısıya karşı direnç sağlar. Parafin sınıfında olan polietilen içeriğinde karbon ve hidrojen bulundurur. İstenilen özelliğe uygun polietilen elde etmek için değişik teknikler kullanılabilir.

Alçak yoğunluk polietileni yüksek basınç tekniğiyle, yüksek yoğunluk polietileni ise alçak basınç tekniği ile elde edilir ve yoğun molekül dokuları nedeniyle suyu geçirmeyip dayanımları da yüksek olur. Dolayısıyla Yüksek gerilim kablolarında kullanıma uygun hale gelir. Çeşitli metotlarla birbirlerine bağlanan polietilen molekül zincirleri bu işlem sonucunda XLPE yalıtkanını oluşturur. Yeni bir polietilen tipi olan lineer düşük yoğunluklu polietilen son zamanlarda geliştirilmiştir. Kullanım alanları genel olarak haberleşme ve yüksek gerilim sistemleridir.

3.1.6.1. Protodur

Protodur malzemesi içeriğinde polivinil-klorid bulunan AG ve OG kablolarında kullanılan özel bir termoplastik yalıtkan malzemedir. Bu yalıtkanlar [26]'da değinildiği gibi soğutma işlemi ile sertleşir, ısıtılınca yumuşamaz ve yumuşatıldığında ise herhangi bir dış etki olmadan şekil değiştirmeyen bir malzemedir, yalıtkanlığını dış etkilere karşı muhafaza ederler.

3.1.6.2. Protothen - X

Polietilen yüksek gerilim özelliğine sahip olmasıyla bilinen bir malzemedir ve bu malzemeye özel yöntemler uygulandığında çapraz olarak bağlanması sağlanır. Bu işlem sonucunda malzemenin mekanik özellikleri gelişir ve malzeme Protothen-X adını alır. Kaynaklardan [15], Termoset yalıtkan bir malzeme olan Protothen-X'in sıcaklık çok yüksek seviyelere çıktığında stabilitesini koruyarak, eriyip deforme olmadığını belirtmiştir. Şekil 3.8'de ile Protothen - x ve Protodur yalıtkanlı kabloların görselleri verilmiştir [15].



Şekil 3.8: Protothen - X ve protodur yalıtkanlı kablo.

3.1.6.3. Protolon (EPR)

Protolon malzemesi [26]'da belirtildiği gibi sıcaklık çok düşük seviyelere indiğinde esnekliğini korumaya devam eder bir diğer deyişle sıcaklığa bağlı olarak şeklinde bir değişiklik olmayan yüksek yalıtkan özellikli bir malzemedir. AG ve OG sistemlerinde kullanılan bu malzeme içeriğindeki malzemelerin yapısından dolayı ozondan, oksijenden, koronadan veya havadan etkilenmez.

3.1.6.4. Protofirm

Elastomer bir yalıtkan olan protofirm kloropren bazlıdır. Mekaniksel ve elektriksel değerleri yüksektir ve kabloların dış kılıfı olarak sıklıkla kullanılır. Daha önce [26] ile protolon malzemesine değinildiği gibi protofirm malzemesi ozona karşı, kimyasal ve

mekaniksel etmenlere karşı dayanıklı olup yağdan veya alevden etkilenmez.

3.1.7 İletkenlerinin Yapısal Olarak İncelenmesi

Kablo yapısını birçok farklı parçadan meydana gelmektedir. Bir kablo yapısında yer alan birçok farklı parça belirli uluslararası standartlara göre hesaplanarak imal edilmektedir. Tablo 3.4’de yapıyı oluşturan bu elemanları aşağıdaki tablo üzerinden tanımlanmış ve incelenmiştir [27].

Tablo 3.4: Bir kabloyu oluşturan yapısal elemanlar ve tanımları.

Kablo Damarı	Diğer bölümlerle arasında yalıtkanlığı olan ve İletkenliği sağlayan temel parçasıdır.
Kablo İletkeni	Elektrik enerjisi iletken kısımdır. Tek parça telden veya çok adetteki tel demetinden oluşur.
Kablo Yalıtkan Kılıfı	İletkenin diğer ortamlardan yalıtkanlığını sağlayan kısımdır.
Kablo İçerisinde Yer Alan Ayırıcı Kılıf	İletkenleri diğer iletkenlerden izole eden kılıftır.
Kablo Dış Kılıfı	Kablonun iletkenliğini ve mukavemetini sağlayan kısımları dış etkilere karşı koruyan ve bir arada kalmasını sağlayan en dışta yer alan kısımdır.
Kablo Zırhı	Kabloyu darbelere ve gerilmelere karşı koruyan yassı veya yuvarlak teller yaratımıyla oluşturulmuş örgüdür.
Kablo Ortak Kılıfı	Birden fazla damara sahip kablolardaki damarları grupsal damar demetleri içine alan ve bu gruba istenen biçimi vermeye yarayan kablo kılıfıdır.

Standartlara göre kablolar tek telli, çok telli, ince çok telli, çok telli sıkıştırılmış dairesel ve çok telli sıkıştırılmış olarak üretilir. Bakır iletkenler ise kendi içerisinde som elektrolitik bakır tel ve tavlanmış elektrolitik bakır teller, [28]’de standartlarla desteklendiği gibi kesit aralıkları 0,15 ile 400 mm² ve 0,5 ile 630 mm² olarak standartlara uygun olarak üretilmektedir. Kablo damar renkleriye TS 11178 standartlarına göre Tablo 3.5’de verildiği gibi üretilmektedir [28].

Tablo 3.5: TS 11178 Standartlarına Göre Kablo Damar Renkleri.

Kablodaki Damar (Tel) Sayısı	Kablodaki Damar (Tel) Renkleri	
1	Tek damarlı kablo kullanılacağı sisteme göre herhangi bir renkte olabilir.	
2	Açık mavi ve siyah renkler genel kullanımdır.	
3	Sarı ve Yeşil topraklama genel kullanımıdır. Mavi renklerde tercih edilir.. Kahverengi genel kullanımda faz rengidir.	
4	Sarı ve Yeşil topraklama genel kullanımıdır. Mavi renklerde tercih edilir. Siyah renk genel kullanımda faz rengidir. Buradaki ikinci siyah renk kablodaki ikinci fazı işaret eder.	
5	Sarı ve Yeşil topraklama genel kullanımıdır. Mavi renklerde tercih edilir.. Siyah renk genel kullanımda faz rengidir. Buradaki üç siyah renk kablodaki diğer fazları işaret eder.	
6 ve daha çok	Tüm damarlar siyah renklidir genel kullanımda sinyalizasyon kablolarında yer alır ve bu kablolar üzerindeki numaralandırma ile birbirinden ayrılır. Diğer kablo tipi yeşil ve sarı ve diğer tüm damarlar farklı renklerinden oluşur.	
Kablo dışında yer alan kılıfın rengi	Y tipi=0.6/1kV kablolarda dış kılıf rengi siyah Y tipi>3.5/6kV kablolarda dış kılıf rengi kırmızı	
Tüm OG ve YG kabloların damarlarının birbirinden ayrılabilmesi için kabloların uç ve ara kısımlarında renkli bantlarla kabloların birbirinden ayrılmasını sağlayacak etiketlemeler yapılmalıdır.		

3.2 MEKANİK YÜK KAYNAKLI ETKENLER

İletim hatlarının tasarımında; tasarımcı kullanılması gereken direk, iletken, travers ve izolatör gibi gerekli birçok veriyi ve bunların özelliklerini kesine yakın bir şekilde doğru olarak bilmesine rağmen; iki önemli veriyi doğru olarak tam bilemez: Bunlar hattın geçeceği güzergâhta ki rüzgâr ve buz yükleridir. Buz ve rüzgâr yükleri; direklerin, iletkenin, traverslerin boyutlandırılmasında çok etkin olup göz ardı edilmeleri [10] ve [29] dikkate alındığında olanaklı değildir. Bu iki değer de hattın doğru olarak planlanıp projelendirilmesinde önemli olmakla beraber, planlayıcı tarafından yapılan arazi çalışmasında bunlara ait bilgi toplanamaz.

Ülkemizin su kaynaklarının yoğunlukla Doğu ve Güneydoğu Bölgeleri'nde olması; buna karşın yoğun sanayiye barındırması nedeniyle, elektrik enerjisi talebinin daha çok olduğu Batı Bölgeleri'ne bu enerjinin iletilmesi gerekliliği açıktır. Bu iletimde

Doğu Anadolu'nun iklim koşullarının batıya nazaran daha soğuk ve kışların daha şiddetli ve uzun olduğu dikkate alınır; özellikle hatların planlanmasında buz yükünün önemi çok daha açık olarak görülebilir. Bu nedenle buzlanmanın hava iletkenleri üzerindeki olumsuz etkilerini göz önüne alırsak (kabloların kopması, direklerin devrilmesi, elektrik hattı üzerindeki tahribatlar vb.) havai hatlarının pratikteki kullanışsızlığını, kısa ömürlü olmasını, hava şartlarından olumsuz etkilenmesini bu sebeplerden dolayı havai hatlara harcanan giderlerin ekonomimizi olumsuz etkilediğini görmekteyiz. A. K. Değirmencioğlu'nun çalışması [29]'da bu iddiayı örneklerle destekler niteliktedir. Bu sebepten dolayı iletkenleri yerin altına alarak bu faktörlerden etkilenme oranlarını azaltabiliriz. Bu uygulama ile direklerin devrilmesi, olumsuz hava şartları gibi sorunlardan kurtularak yeni sorunların meydana gelmesine sebep olabiliriz. Kabloları yer altından taşımak kabloları erişimi büyük ölçüde zorlaştırmakta ve bu kabloların üzerinde yapılacak olası yol çalışmalarında kabloları hasar verme riski taşımaktadır. Bu nedenle kabloları ikinci uygulama şekli olan kablo tüneli şeklinde yerin altına almalıyız. Kabloları kablo tünelinin içerisinden taşımak çok daha güvenlidir. Ayrıca kabloların bakımı tünel içerisinde yer altı kablolarına kıyasla çok daha etkili ve hızlı bir şekilde yapılabilir. Kabloların onarımı ve bakımı tünel içerisinde kolaylıkla yapılabilirdiği için havai hatlarda olduğu gibi arıza durumlarında kaynakların yeniden kullanılması gibi bir sorunu da doğurmayacaktır. Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'de kar ve buzu yüzüne maruz kalan havai elektrik hatlarına güçlüklerle yapılan müdahale görünmektedir [29].



Şekil 3.9: İletkenlerde buz yükü örneği.



Şekil 3.10: Buzlanmış ağaç ve tellerin kopma tehlikesine dair bir örnek.

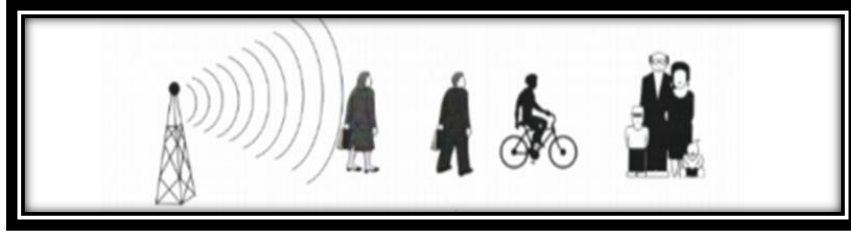
4. ŞEBEKE VE YÜKSEK GERİLİM İLETKENLERİNDEN KAYNAKLI ELEKTROMANYETİK RADYASYONLARIN CANLILARA VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Çevremizde çeşitli yerlerde bulunan enerji iletim hatları (baz istasyonları, transformatörler, YGH'ler) yaydığı radyasyon sebebiyle elektromanyetik alanlar oluşturur. Transformatörlerden çıkarak konutlara, iş yerlerine ulaştırılan elektrik enerjisi [30] ve [31]'de değinildiği üzere elektromanyetik alan oluşturur, insan vücudunun yapısında mevcut olan elektrik yükleriyle etkileşime girerek elektrik akımları meydana getirirler.

4.1 İNSAN VÜCUDUNDA ORTAYA ÇIKAN ELEKTRİKSEL AKIM

İnsan vücudunun dış yüzeyinde bulunan elektrik yükleri çeşitli yerlerden yayılan elektrik enerjisinden insan vücudunu korumaktadır. Böylece transformatör ve yer altı kablolarının oluşturduğu elektrik alanının, şiddetini azaltarak vücut içlerine ulaşan enerjinin etkisinin asgari düzeye indirilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak transformatörlerin oluşturduğu elektrik alanlarının insan vücuduna olan etkisi oldukça azdır. Fakat [32]'de iddia edildiği gibi manyetik alanlar için söz konusu durum bu şekilde değildir. Vücudumuzun dış yüzeyi elektrik alanında olduğu gibi manyetik alanda etkiyi azaltacak bir donanıma sahip değildir. Oluşan manyetik alan fazla zayıflatılmayarak insan vücudunun iç yüzeylerine kadar etkisini gösterir ve vücutta var olan elektrik yüklü parçacıkları etkiler ve elektrik akımı oluşturur. Oluşan elektrik akımı tekrardan manyetik alan oluşturacak bir döngü içerisine girer.

Transformatör kablosundan geçen elektriğin akım şiddetinin farklı zamanlarda düşük veya yüksek düzeyde geçmesine orantılı olarak, manyetik alanın akı yoğunluğu farklılık göstermektedir. Kısaca konuyu özetleyecek olursak insan vücudunda mevcut olan elektrik yüklü parçacıkların elektromanyetik alanlarla etkileşime geçmesi insan sağlığını farklı boyutlarda ve farklı düzeylerde etkilemektedir. Enerji iletim hatlarına (transformatörler, yer altı kabloları ve yüksek gerilim hatları) yakın yaşam ile insan sağlığı arasında anlamlı bir ilişki vardır. Şekil 4.1'de manyetik etki altında kalan insanlar gösterilmiştir [33].



Şekil 4.1: Manyetik etki altında kalan insanlar temsili gösterim.

Elektromanyetik alanlar dokular içerisine etki ederler bunun şiddetine bağlı olarak dokuların hareketini arttırmaları. Hareketin şiddeti ile doğru orantıda ısı enerjisi meydana getirir. Böylece doku içinde sıcaklık yükselir. Normal sıcaklığından 0.5°C 'lik bir sıcaklık artışı olduğunda bile insan vücudu içindeki dokuların bu sıcaklığa uyum sağlayamadığı bilinmektedir. Kabul edilen sınır derece insan vücudunun bütününe ortalama özgül soğurma düzeyi genel geçer bir değer olarak alınmıştır. Elektrik iletimi yapan kablolarının insanların mesken alanlarına mesafeleri çok yakın ise etkisi de buna bağlı olarak artmaktadır. Bu mesafe arttıkça kabloların yaydığı enerjinin insan vücuduna etkisi azalmaktadır. Milletlerarası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi'nin araştırmalarıyla belirlediği ve [32]'de görüldüğü gibi limit değerini aşmaması halinde elektrik iletim hatlarından yayılan elektrik akımının insan sağlığına olan tehdidinin çok düşük olacağı ilgili komiteye yapılan bilimsel çalışma bulunmaktadır.

Şehir planlamaları ve imar çalışmaları yapılırken enerji iletim hatlarının insanların yaşam alanlarına olan uzaklıkları doğru hesaplanmalıdır. Kurulan enerji iletim hatlarının yaydığı manyetik etkiyi azaltmak için de trafoların dış duvarlarında ve yer altı kablolarının yakınlarında bilinen değerlerin altında olmasına dikkat edilerek trafo kulübeleri inşa edilmelidir. Trafo kulübelerinin manyetik akı yoğunluğu uzaklığa bağlı olarak etkisi kaybetmektedir. Kalabalık nüfusun getirisi olan çarpık kentleşmenin elvermediği uzaklık nedeniyle trafolar yaşam alanlarının merkezinde kalmıştır. Buna çözüm olarak enerji iletiminde manyetik akı yoğunluğunun yayılmasını engellediği için kablo tüneli yöntemi kullanılmalıdır.

4.1.1 İnsan Vücuduna Etkisi

Yapılmış olan çalışmaların bazılarında, enerji iletim ve dağıtım hatları yakınlarında; çocukların bulunduğu alanların, parkların, kreşlerin olduğu görülmüştür. Çoğu iletim

hatları ülkemizde okulların çok yakınındadır. Elektromanyetik radyasyon yayan iletim hatlarının çevresine insanların gündelik yaşamlarında çok uğradıkları kullanım alanlarının yapıldığı görülmektedir. Bu durum ile alakalı olarak önlem alınmadığı bilinmektedir. Konu ile ilgili 2010 yılında çıkan ilgili yönetmelikte kararlaştırılan elektromanyetik alan limit seviye [33]'de belirtildiği üzere Avrupa ülkelerindeki en yüksek limit seviye olmakla birlikte ihtiyat ilkesini barındırmamaktadır. Yüksek gerilim hatlarında kabul edilebilir elektromanyetik radyasyon en yüksek değeri 1µ T'dir [33]. Bu çalışma ile vatandaşlarımızı elektromanyetik etkinin insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda bilinçlendirmek ve alanda yetkili kişilerin elektromanyetik etkiden uzak bir kent oluşumuna önem vermeleri amaçlanmıştır.

4.1.2 İnsan Sağlığına Etkileri

Radyasyonun insan vücuduna olumsuz etkilerine yönelik çok sayıda çalışma bulunuyor ve günümüze yaklaştıkça bu etkilerin arttığını görmekteyiz. Elektromanyetik alanların [33]'de bahsedildiği gibi bilinen en tehlikeli yönü, lösemi dâhil birçok kanserin oluşma riskini artırabilmesidir. Özellikle çocuk yaş grubunda elde edilen veriler, oldukça korkutucudur.

[33]'de değinildiği gibi EMA'ların çok sayıdaki kanser türü ile ilişkisini araştıran çalışma vardır. Ancak EMA ile ekilenimin en belirgin olduğu kan hücrelerinin özellikle de lökositlerin normalin üzerinde çoğalması ile kendini gösteren bir kanser türü olan çocukluk çağı lösemileri arasındaki ilişkiyi saptamak üzere yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir.

Çalışmalar, özellikle 14 yaş altı çocukların yüksek gerilim akımlardan olabildiğince uzak bölgede yaşamasının zorunlu olması gerektiğini gösteriyor. Türkkkan'ın [33]'de bahsettiği gibi, Uluslararası Kanser Araştırma Merkezi (IARC) yüksek gerilim hatlarını kanserojen sınıflandırmasında 2B grubunda değerlendiriyor. Bu grup; o etkenin hayvan deneylerinde kanser yaptığına dair yeterli verilerin var olduğunu, insan deneylerinde ise kısıtlı verilerin o etkenin kanser yaptığını gösteriyor.

Türkkkan, konutun eski bir yapı olması, konutun yüksek gerilim hattına yakınlığı, konutta kullanılan elektrikli cihazların tipi ve sayısı gibi faktörlerin maruziyet

derecesini etkileyen önemli belirleyiciler olduğunu [33]'de belirtmiştir.

4.1.3 Konuyla ilgili Öne Çıkan Çalışmalar

D. Elhasoğlu'nun Gaziantep ilinde bir anket çalışması ile yaptığı araştırma bu konu ile ilgilidir. Bu çalışma 2006 yılında yapılmıştır. Çalışma için 93 ailenin oluşturduğu 265 kişi ile birlikte çalışılmıştır. [34]'de yer alan çalışmada yaş grupları temel alınarak analizler yapılmış, farklı türden 7 hastalık incelenmiş olup bunlardan eklem ağrıları, üst solunum yolu enfeksiyonları ve sinirsel rahatsızlıklar ile yüksek gerilim hatlarının 30 metre mesafeye kadar yakın yaşamının arasında anlamlı bir ilişkinin var olduğu sonucu elde edilmiştir.

S. Özçelik tarafından yapılan çalışma 1999 yılında, 74 aileden 279 katılımcı ile gerçekleştirilen bir anket çalışmasıdır. [35]'de bahsedilen çalışma ile yaş gruplarına göre incelemeler yapıp farklı türden 6 hastalık araştırılmıştır. Bu hastalıklar; baş ağrısı, romatizma, sinir bozukluğu, kalp rahatsızlığı, üst solunum yolu enfeksiyonu, tansiyon rahatsızlığıdır. İncelemelerin sonunda, elektromanyetik alanların bu hastalıklardan sadece, sinirsel rahatsızlıklar, tansiyon bozukluğu, romatizma ve baş ağrısı ile yüksek gerilim hatlarının 30 metre yakınına kadar yaşamının birbiriyle ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

2000 yılında yine bu konu ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. [36]'da bahsedilen çalışma 0,4 μ T maruziyet seviyesi ile çocukluk çağı lösemileri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Çalışmanın sonucunda 0,4 μ T'nin altında olan maruziyet seviyesi ile çocukluk çağı lösemileri arasındaki ilişkiyi destekleyecek yeteri kadar veri bulunamamıştır. Bunun yanı sıra 0,4 μ T ve üstündeki maruziyet seviyelerinin çocukluk çağı lösemileri olasılığını mevcut durumun iki katına çıkardığı sonucuna varılmıştır.

Çoğu çalışma çocukların elektromanyetik etkiden etkilenme seviyelerini ortaya çıkarmak üzere evlerin yatak odalarında elektromanyetik alan etkisini ölçmek için yapılmıştır. [37]'de ölçümlerin yapıldığı yerlerde manyetik etki düzeyi 0.4 μ T veya bu seviyeden fazla olanlar önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırılıp incelemeler yapılmıştır. Sonuç olarak çocukluk çağı lösemilerinden Akut Miyeloid Lösemi ve Akut Lenfoblastik Lösemi için risk faktörünün 2.6 olduğu saptanmıştır. Yalnızca Akut Lenfoblastik Lösemi için ise risk faktörlerini 4.7 kat arttırdığı görülmüştür.

[38]'de yapılan çalışma ise Almanya'da yürütülmüştür. Bu çalışma olgu-kontrol yöntemi ile yürütülmüştür. 0-14 yaş aralığındaki çocuklardan oluşan 514 olgu ve 1301 kontrol grubu üzerinden yürütülmüş bir araştırmadır. Bu çalışmada çocukların gece boyunca maruz kaldıkları 0,2 μT maruziyet seviyesi ölçülmüştür. Sonuç olarak bu maruziyet seviyesi ve üstündeki maruziyet seviyesi akut lösemi risk faktörünü 3,2 katına kadar arttırdığı görülmüştür.

Bu çalışmaların yanı sıra [39]'da belirtildiği gibi 2000 yılında İngiltere'de yapılan çalışmada diğer çalışmaların aksine enerji iletim hatlarının yakınında bulunan yaşam alanlarındaki çocuklar ile çocukluk çağı lösemileri arasında herhangi bir ilişkiye rastlanmamıştır

Diğer bir araştırma İngiltere ve Galler'de yapılmıştır. Çalışma yine çocuklar üzerinde yürütülmüştür. Çalışma 0-14 yaş aralığındaki 9700'ü lösemi olan 29081 kanserli olgu grubu ve sayıca aynı kontrol grubundan oluşan çocuklar ile yapılmıştır. Katılımcıların çocuklardan oluştuğu bu çalışma, doğdukları ev adresleri YHG'ye uzaklıkları 200 metreden az olan çocukların 600 metreden çok olan çocuklara kıyasla 1,69 kat daha riskli olduğu göstermektedir. [40]'da yapılan çalışmada YHG'ye uzaklıkları 200-600 arasında olan çocuklarda ise bu riskin 1.23 kat olduğu bildiriliyor.

Diğer bir çalışma da İran'da yapılmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde yaşayan çocuklar gelişmiş ülkelerdeki çocuklara kıyasla enerji iletim hatlarına daha yakın yaşamaktadırlar. Gelişmiş diğer ülkelerde olduğu gibi İran'da da çocuklar çok yüksek voltajlı hatlara yakın yaşamakta ve böylece elektromanyetik etkiye daha fazla maruz kalmaktadırlar. [41]'de yapılan çalışma ile YGH'ye 500 metreden daha yakın ve manyetik alanın 0.45 μT civarında olduğu mesafede yaşam sürdüren çocuklarda akut lösemi riskinin belli oranlarda arttığı görülmüştür. Bu çalışmada YHG'ye olan mesafenin 500 metreden yakın olduğu durumlarda riskin 8,8 kat arttığı ve 0,45 μT 'dan fazla olduğu durumlarda akut lösemi riskinin 3,6 kat arttığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu araştırmalar, yüksek gerilim hatlarının açıkta bulunması ya da gömülü olarak yerin altına alınmasının elektro manyetik etkiyi azaltmadığı gibi arttırdığını ve

bu uygulamaların insan sağlığını birçok yönden olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir. Ayrıca enerji dağıtım hatlarının yakınında yaşayan insanlarda oluşan çeşitli hastalık ve kanser riskinin, bunlar arasında belki de en önemlisi olan çocukluk ağı lösemi riskinin arttığı görülmektedir. Tablo 4.1’de yüksek gerilim hattı kaynaklı ema ile çocukluk ağı lösemileri için yıllara göre değerler verilmiştir. Bu sebeplerden trr zellikle şehir planlamalarında geleceğimizi düşünerek insan sağlığını öncelik olarak ele alıp plan yapmalı ve elektromanyetik etkiyi azaltma yoluna gidilmelidir [33].

Tablo 4.1: YGH kaynaklı ema ile çocukluk ağı lösemileri.

Yıl (Ref)	alışma Tipi	Yaş grubu	Olgu Sayı	Kontrol sayı	Değer (μ T)	Uzaklık (metre)	OR (%95 GA)
2006 (Schüz ve diğ., 2001)495	Olgu/ Kontrol	0-15	251	495	>0.4	-	4,67(1,1-19,0)
2007 (Foliart ve diğ.,2006)	Olgu/ Kontrol	0-94	854	854		<300	3,23(1,3-8,3)
2007 (Feizi ve Arabi, 2007)	Olgu/ Kontrol	0-14	60	59	>0.45	<500	3,6(1,1-12,4) 8,8(1,7-58,4)
2007 (Schuz ve diğ., 2007)	Meta analiz	0-16	1842	3099	\geq 0.4	-	1,9(1,1-3,3)
1999 (Green ve diğ.,1999)	Olgu/ Kontrol	0-14	29	33	\geq 0.14	-	4,5(1,3-15,9)
2000 (Greenland ve diğ., 2000)	Meta analiz	0-14	2656	7084	>0.3	-	1,7(1,2-2,3)
2000 (Ahlbom ve diğ., 2000)	Meta analiz	0-14	3247	10400	\geq 0,4	-	2,0*(1,2-3,1)

4.2 DİĞER CANLILARA ETKİSİ

EMA veya EM radyasyon denildiğinde etrafımıza dağılmış olan elektrik ve manyetik alandan söz edilmektedir. Dağılmış olan bu alanlar insan vücudu ile bir şekilde sürekli etkileşim yapmaktadır. Güneş sistemi bütün gezegenlerde farklı etki yaratacak doğal bir elektromanyetik etki yayar. Dünya'nın yerküre merkezindeki yarı sıvı olan ferro manyetik çekirdek sürekli olarak statik jeomanyetik alanı çevreye yaymaktadır. 40 μ T değerinde EMA yayan bir mıknatıs üzerinde insanlar ve diğer canlılar yaşam sürmektedir. Havaların bulutlu olduğu zamanlarda yıldırımın olduğu kısa süre içerisinde elektrik alan 40kV/m ye kadar yükselerek çevremize doğal elektromanyetik etki yayabilmektedir. Dünyamıza güneş ışınlarıyla çarpan EM radyasyon her bir saniyede yeryüzünde metrekareye 1400 Joule enerji verebilmektedir. Doğal kaynaklardan yayılan elektromanyetik radyasyonun yanı sıra çevremizde bulunan günlük işlerimizde kullanarak elektromanyetik etki yaydığımız saç kurutma cihazları, çamaşır ve bulaşık makineleri, mikrodalga fırın vb. diğer bütün elektrik ile çalışan cihazlar da vardır. Gün içerisinde rutin işlerimizi yaparken çoğu zaman elektrik ile çalışan cihazları kullanırız. Bunun yanı sıra evlerimizin, okullarımızın, iş yerlerimizin, gezi ve eğlence mekânlarının hatta çocuk parklarının çok yakınında yüksek gerilim hatları bulunmaktadır. Yakıncı'nın [31]'de değindiği gibi bizler bu hatların yaydığı elektromanyetik etkiye günlük yaşamımızda çoğu kez maruz kalmaktayız

EMA'lar, aynı ortam içerisinde bulunan elektrik yükleri ya da iyonlara etki ederek kuvvet uygularlar bu şekilde birbirlerini karşılıklı olarak etkilerler. Canlı vücudunda da iyon ve biyokimyasal ortam bulunur bu sebeple günlük yaşamda kullanılan elektrikli cihazlar, cep telefonları, elektriğin iletilmesi ve dağıtılması için kullanılan kanallar, baz istasyonları, kablosuz iletişim cihazlarının yaymış olduğu EMA'lar canlı organizmalara etki etmektedir. Buna örnek olarak aşağıda [30]'da yer alan yüksek gerilim hattının altında bulunan Sarı Üçdil Otu bitkisinin uçucu bileşenlerinde oluşan değişimlerin belirlendiği çalışma kanıt olarak gösterilebilir.

Elektromanyetik etki yayan YGH'ler bitkiler üzerinde olumsuz durum yaratarak sorunlara sebep olabilmektedir. Ortaya çıkan olumsuz durumlar sonucunda bitkilerin uçucu bileşenlerinin miktarları da değişebilir. Bunun için bu çalışmada doğal olarak

bulunduğu habitatta *Parentucellia latifolia* subsp *flaviflora* (sarı üçdil otu) bitkisindeki uçucu bileşenlerin üzerine yüksek gerilim hattının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada yüksek gerilim hattının geçtiği aynı rakım ve toprak özelliğine sahip bölgede hattın tam altından ve 10 metre uzağındaki *Parentucellia latifolia* subsp. *flaviflora* (sarı üçdil otu) bitki türünün kurutulmuş toprağın üzerindeki yerlerinin uçucu yağ kompozisyonu HS-SPME/GC-MS yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmada sonuç olarak, yüksek gerilim hattı altındaki ve 10 m uzaklıktaki sarı üçdil otu bitkisinde total yağ miktarları sırasıyla 91.48% ve 95.04 % olarak belirlenmiştir. Her iki grup bitkide de ana bileşikler β -pinene, caryophyllene oxide, limonene oxide, β -ocimene ve trans-anethol olarak belirlenmiştir. Yüksek gerilim hattının tam altındaki bitkilerde β -pinene (5.57 %), caryophyllene oxide (9.76 %), limonene oxide (13.07 %), β -ocimene (23.70 %) ve trans-anethol (15.15 %) olarak belirlenirken bu oranlar 10 m uzaklıktaki bitkilerde ise sırasıyla 27.15 %, 32.55 %, 12.86 %, 2.73 % ve 4.12 % olarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda hem yüksek gerilim hattı altından hem de 10 m uzaklıktan alınan örneklerle gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlara göre gerilim hattının tam altında yayılan elektromanyetik alanın, bitkilerde sekonder metabolit olarak adlandırılan ve savunma süreçleriyle ilişkili olan bazı bileşiklerin seviyesinde değişimler olmuştur. Özellikle β -pinene ve caryophyllene oxide bileşiklerinin yüksek gerilim hattının olumsuz etkisinin gidermede etkili olabileceği düşünülmektedir. [30]'da yapılan çalışma ile bitkiler dâhil tüm canlı grupları için yüksek gerilim hatlarının neden olduğu elektromanyetik alanın etkisinin azaltılması gerektiği belirtilmiştir.

4.3 ÜLKEMİZDE VE DÜNYADA GÜVENLİK

Modern çağın getirisi olan teknoloji artık her an yanımızda ve kullanma zorunluluğumuz bulunmaktadır. En basitinden insanlarla iletişime girmek için cep telefonu kullanıyoruz. Günlük işlerimizi yapabilmek için elektrikli cihazları kullanmaktayız. Bu cihazların kullanılması için elektriğe ihtiyaç vardır. Bu elektriği konutlarımıza enerji iletim hatları getirmektedir. Kullanılan bireysel cihazların yaydığı manyetik radyasyon kişiye özgü kalıp verdiği etki sınırlı kalmaktadır. Ancak [33]'de belirtildiği üzere yüksek gerilim hatları, trafolar, baz istasyonları gibi yüksek voltajlı enerji iletim hatlarının yaydığı manyetik radyasyon etkisi çok fazla olmaktadır. Kişiler bireysel olarak radyasyon yayan cihazları istedikleri ölçüde

kullanabilmektedir fakat yakınlarında bulunan bu hatların manyetik alanından kaçamamaktadırlar.

[33]'de bahsedildiği gibi, ülkeler çeşitli inceleme ve araştırmalar yaparak yüksek gerilim hatları, trafolar ve baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik radyasyonun etkileri üzerine kendi limit değerlerini belirleyerek elektromanyetik radyasyonun etkisini azaltmaya çalışmıştır. WHO ve ICNIRP tarafından belirlenen değerler AB ülkeleri ve ABD'nin de içinde bulunduğu dünyadaki çoğu ülke tarafından ortak limit değer olarak kabul edilmiştir. Bu değerler tüm gün boyunca vatandaşların elektromanyetik radyasyon etkisi altında kaldığı baz alınarak belirlenmiştir. Tablo 4.2'de ülkemizde kabul elektromanyetik radyasyon maksimal değerleri gösterilmiştir [33]. Limit değerler ortaya çıkan EMR'nin frekansına göre artıp azalmaktadır ve bu duruma göre farklılaşır.

[33]'de değinildiği üzere Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu'nun belirlediği sınır değerlerin en yüksek olduğu değer ülkemizde limit değer olarak Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından 21.04.2011 Tarih ve 27312 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yönetmelik ile belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe Resmi Gazetenin veri tabanından ulaşılabilir. İsviçre'de bazı baz istasyonu frekansı için kullanılan limit değerler Tablo 4.3'de verilmiştir [33].

Tablo 4.2: Kabul elektromanyetik radyasyon maksimal değerleri.

GSM Operatör Firmaları	Kullandıkları Frekans Bantları	Elektrik Alan Şiddetleri (V/m)		Manyetik Alan Şiddetleri (A/m)	
		Kullanılan Bir Adet Cihaz	Ortam Toplam Değeri	Kullanılan Bir Adet Cihaz	Ortam Toplam Değeri
Firma 1	900 MHz	10,3	41,3	0,027	0,12
Firma 2	900 MHz	10,3	41,3	0,027	0,12
Firma 3	1800MHz	14,5	58,4	0,038	0,16
3G'de Her Üç Operatör İçin	2100 MHz	14	60	0,05	0,15

Tablo 4.3: Kabul edilen elektromanyetik radyasyon maksimal değerleri.

Elektromanyetik Radyasyon Kaynakları	Sınır Değerler
Yüksek Gerilim Hatlarında	1µT
Radyo Tv Vericilerinde	3 Volt /metre
900 Mhz İle GSM Haberleşmesi İçin	4 Volt /metre
1800 Mhz İle GSM Haberleşmesi İçin	6 Volt /metre
2100 Mhz İle GSM Haberleşmesi İçin (3G)	6 Volt /metre
Üç Farklı Jenerasyonda GSM Haberleşmesi Olan Nokta İçin	5 Volt /metre

4.3.1 İlgili Yasalar ve Üst Limit Değerleri

Çocukluk çağı lösemilerinin manyetik etkilerden ötürü arttığı dünyaya Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2004 tarihinde gerçekleştirdiğı “Sensitivity of Children to Electro Magnetic Fields - Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti” toplantısında duyurulmuştur. Bu toplantı sonucunda enerji iletim hatlarında yayılan elektromanyetik alanın insan sağlığına olan tehdidi ile ilgili yapılan ve yapılacak olan çalışmaların önemine dikkat çekilmiştir. Bu konuda ülkeler çeşitli inceleme ve araştırmalar yaparak enerji iletim hatlarının yaydığı elektromanyetik etki üzerine çeşitli sınır değer belirleyerek elektromanyetik radyasyonun etkisini azaltmaya çalışmıştır. [33]’de değinildiğı üzere WHO ve ICNIRP tarafından belirlenen değerler AB ülkeleri ve ABD’nin de içinde bulunduğı dünyadaki çoğu ülke tarafından ortak limit değer olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.4’de ICNIRP tarafından vatandaşlar için insan sağlığına zararlı olacak değerler belirlenen frekansta gösterilmiştir [33].

Tablo 4.4: 50Hz’de limit kirlilik değerleri (UCNIRP 2010 yılı).

Elektromanyetik Kirliliğe Neden Olan Kaynak	Elektrik Alan Şiddeti (Volt /metre)	Manyetik Akı Yoğunluğu (µT)
Yüksek gerilim hatları Güç üniteleri	Trafo 5000	2000

Ülkemizde uzun yıllar boyunca enerji iletim hatları ve transformatörlerden salınan elektromanyetik radyasyona karşı önlem oluşturacak mevzuatlarda, konu ile ilgili yönetmeliğin yer almadığı [33]’de belirtilmiştir. 2010 yılına gelindiğinde ise ilgili yönetmelik Çevre ve Orman Bakanlığı’nca 24.07.2010 tarihindeki resmi gazetede

yayınlanmıştır.

Enerji iletim hatları ve trafolar 30.11.2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yönetmelik elektromanyetik radyasyon etkisini içermemektedir. Bu yönetmelik [33]'de bahsedildiği üzere yüksek gerilim hatlarının yapılara uzaklıkları ve enerji salınımı ile ilgili olmakla kalmıştır.

10 yıl sonra Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan yönetmelikte elektromanyetik radyasyon limit değerleri konusu ele alınarak eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Fakat yeni çıkarılan yönetmelikte de insan sağlığını elektromanyetik alanların yaydığı zararlarından korumaya yönelik yeterli düzeyde önlem alınmadığı [33]'de belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda çocukluk çağı lösemi riskinin $0,4\mu\text{T}$ 'nin üzerindeki elektromanyetik alanlarda arttığı bilinmesine rağmen, ülkemizde yayınlanan yönetmelikçe limit değer 200 mikrottesla olarak belirlenmiştir. Çoğu Avrupa ülkelerinde $0,4\mu\text{T}$ limit değeri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Ülkemizde de bu limit değerlere uygun değerler belirlenmesi oldukça elzemdir. Konu ile ilgili yeni düzenlemeler yapılmalı özellikle binalar, okullar, işyerleri, eğlence merkezleri, kreş ve oyun parkları gibi çocukların fazlaca bulunduğu yerlerde elektromanyetik etkiyi azaltacak önlemler alınmalı ve yönetmeliklerde özellikle belirterek konuya dikkat çekilmelidir.

Aşırı düşük frekanslı EMA'ların etkisini düşürmek için daha çok kullanılmakta olan iki yöntem vardır. İlk olarak yüksek gerilim hatları inşa edilirken altına ve çevresine ROW dediğimiz güvenlik koridoru oluşturularak konutları bu alanların dışına yerleştirmektir. İkinci yöntem ise yüksek voltajlı elektrik iletim hatlarını yer altına almaktır. Bu yöntemde hatları yer altına alma işlemi gömülü olarak yapılmaktadır. Yani havai hatlar kullanarak yayılan elektromanyetik etkiyi azaltmayı yerin altından geçirerek yaymaktadır. Yer altı kablolama yöntemi görselliği bozan elektrik direk ve kablolarını yerin altına alarak oluşan bozukluğu düzeltmektedir. Bunun yanı sıra oluşan manyetik alanı insan sağlığını tehdit etmeyecek düzeyde azaltmamakta ve yer üstünden geçerken yaptığı ışınlamayı yerin altından yaparak radyasyon yaymaktadır. [33]'de belirtildiği gibi manyetik alanı engelleyici önlemler alınmadan yüksek gerilim

hatları yer altına alınmaktadır.

Bu sebeple hatların yer altına alınması uygulamasının da sağlığımıza pek yarar sağladığı görülüyor. Maliyet açısından da önemli bir bütçe oluşturmaktadır. Bu uygulamanın yerine hatların yerin altına kablo tüneli şeklinde alınması gerekli görülmektedir. Kablo tüneli yöntemi açıkta bulunan kabloları güvenli bir şekilde tünel içine alınarak manyetik etki halkın olduğu alanlardan uzaklaştırılmış olur. Oluşabilecek arıza durumlarına çabuk müdahale ederek, kabloların ve ekipmanların zarar görmesi veya arızası halinde elektrik engelleyerek vb. etkenleri azaltarak hem insan sağlığı açısından zararlı durumları azaltmaktadır. Günümüz koşullarında birçok ülke kablo tüneli yöntemini kullanmaktadır. Ülkemizde de bu yönteme geçerek başta halk sağlığı olmak üzere birçok yönden bu yöntemin faydalarından yararlanmalıyız. Aksi halde insanların sık uğradıkları yerlerde yayılan elektromanyetik etkiyi azaltmayan yer altı kablolama ve havai hatlar insan sağlığını her geçen gün daha da tehdit etmektedir. Bu enerji iletim yöntemleri için ülkemizde 2010 yılında resmi gazetede yayınlanan yönetmelikte manyetik alan değeri 200 mikrottesla olarak belirlenmiştir. Bu değerın çok büyük olduğu [33]'de belirtilmiş olup ve yine [33]'de dikkat çekildiği üzere oluşacak maruziyetler için bir önlem oluşturmamaktadır.

5. HAVAİ HATLARIN GÜNÜMÜZÜN MODERN TEKNOLOJİSİNDE YARATTIĞI SORUNLAR

Kentlerde alt yapı sistemlerinin oluşturulması, sanayi alanlarının şehrin dışına konumlandırılmasına, enerji iletimlerinin güvenli ve sürekli yapılabilmesi, barınma alanlarının oluşturulması, konutlara suyun dağıtımı ve atık suların arıtılmasına gibi konuların sorunsuz gerçekleşebilmesi için iyi bir şehir planlamaları yapılmalıdır. Şehirleşmede yaşanan birçok önemli sorunun temelinde yanlış şehir planlamaları, kurumlar arasındaki yetersiz iş birliği, yetersiz kontrol, bilgi eksikliği, teknolojik sistemlerin donanımlarının yeterince kullanılamaması vardır. Bunları önlemek için yapılan geçici çözüm yolları kısa vadeli olur ve sadece vakit kaybıdır. Uzun vadeli çözümler için köklü değişikliklere gidilmelidir.

YGH'ler yaydıkları elektromanyetik etki sebebiyle güvenli uzaklığın aşılması durumunda canlı organizmalara zarar vererek can ve mal güvenliklerini risk altına almaktadır. Bunu engellemek için yüksek voltajlı enerji iletim hatlarının konumlandırılması, konut ve iş yerlerine olan uzaklıkları araştırmalar sonucunda elde edilen limit değerler aşılmadan yapılmalıdır. Bu sebeple [42]'de görüldüğü üzere enerji iletim hatlarının kurulacağı alanlar şehir bölge planlayıcıları ve yöneticilerimizin işbirliğinde güvenli bölgelerden geçirilerek planlanır.

Yüksek gerilim hatlarının çok yakınında bulunan yerleşim yerlerinde elektrik akıma yakalanma riski çok yüksek olup buna bağlı çok sayıda can kaybı gerçekleşebilmektedir. Çeşitli hava olayları durumunda iletim hatlarının çok yakınındaki yaşam alanlarına hava olaylarına bağlı olarak yüksek voltajlı kablolardan sıçrama olabilmektedir. Bu da büyük ölçekli yangın ve patlama gibi olaylara sebebiyet verebilir. Can ve mal kaybının olmadığı durumlarda bile enerji iletim hatlarının zarar görmesiyle elektrik iletiminin aksaması ve evlerdeki elektrikli cihazların kullanılmaz hale gelmesi [42]'de belirtildiği gibi kaçınılmaz bir sonudur.

Modern çağın getirisi olan yaşam koşullarına bağlı olarak yüksek gerilim hatlarının insan sağlığını tehdit etmesinin yanı sıra estetik açıdan hoş olmayan bir görsellik oluşturarak görüntü kirliliğine sebep olduğuna [42]'de yer verilmiştir. Ayrıca yer altında kolayca müdahale edilebilir, güvenli, kullanışlı, tekrar tekrar kazı

yapılmaksızın kullanılabilen modern çağın teknolojisi yer altı tünellerine gerekli ilgi de gösterilmektedir.

Elektrik, günümüz teknoloji çağının olmazsa olmazıdır. Günümüzde modern teknolojinin yaygınlaştığı yerlerde elektrik çeşitli yollarla dağıtılıyor ve baktığımızda ülkemizde elektrik havai hatlar ile dağıtılıyor. Havai hatları incelediğimizde modern çağın gerisinde ve çağa uygunsuz kaldığını görüyoruz. Eskiden yaşam alanlarımızda çokça rastladığımız elektrik direkleri ile caddeleri boydan boya kaplayan elektrik iletim kabloları çağın getirisi sebebiyle çoğu yerde yerin altından geçirilmesine karşın bazı yerlerde hala kullanılmaktadır. Elektriğin iletilmesinde kullanılan direkler [42]'de bahsedildiği gibi caddelerin büyük bir kısmını oluşturan kaldırımlara konumlandırılmış vaziyettedir. Yaşam alanlarında zaten hoş olmayan görüntüye sebep olan bu direkler kaldırımlarda bulunarak park halindeki araçlar ve çeşitli tabelalar ile beraber yayaların kullandıkları alanları oldukça azaltmaktadır. Ayrıca bu direkler sadece yaya kullanım alanını azaltmakla kalmayıp engelli vatandaşlarımızın kaldırım kullanmasını bir hayli zorlaştırmaktadır.

Direklerin yollara devrilmesi ile ulaşımı aksatması, hava olaylarının çok şiddetli olduğu zamanlarda köy gibi ulaşım yerlerine giden kabloların hasar görmesi ve hemen onarımının gerçekleştirilememesi sebebiyle iletimin aksaması ve gündelik hayatı olumsuz etkilemesi gibi bir sürü durum yaşam kalitesini oldukça kötü etkilemektedir. Havai hat iletkenlerinin yarattığı bu sorunlar [42]'de yer alan vatandaşlar ve konuyla ilgili uzmanlar tarafından da desteklenmektedir.

6. KABLO TÜNELİ

6.1 KABLO TÜNELİ NEDİR?

Modern şehirlerin iletişimi, güç dağıtım ağı ve ulaşım altyapısı kablo tünellerinin bütünlüğüne bağlıdır. Yeraltında bulunan kablo tünelleri, uzun mesafeler için ticari, endüstriyel ve konut gereksinimlerine hizmet eden hayati bilgi ve enerji altyapısının temel bir parçasıdır.

6.2 KABLO TÜNELİ NEDEN KULLANILMALIDIR?

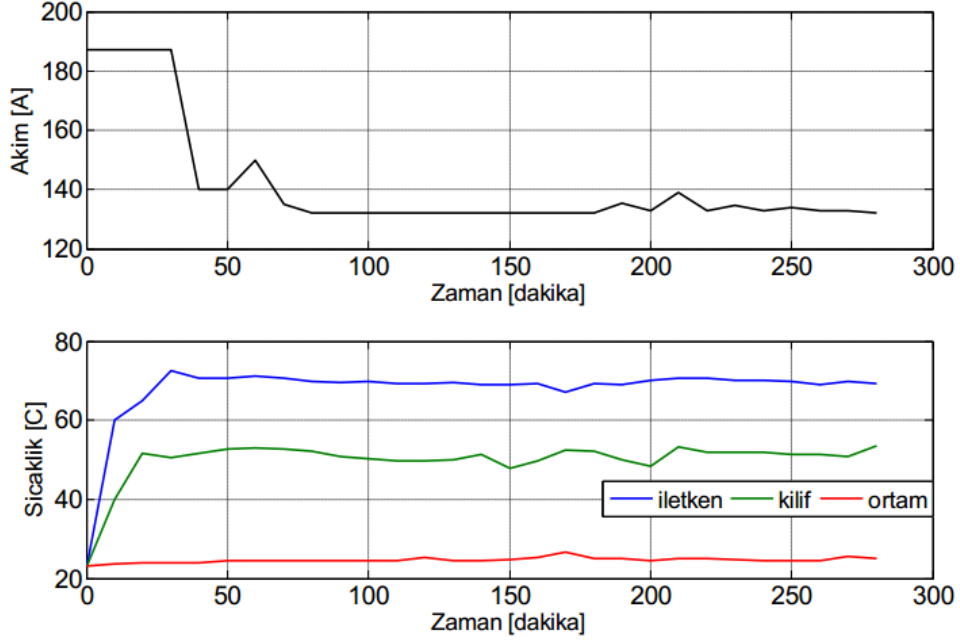
Enerji dağıtım ağının erişim kolaylığı ve kullanışlı olmasından ötürü bu yüksek gerilim kabloları gömülerek yer altından veya asılarak havai hatlar le değil de kablo tüneli içerisinde hazırlanmış tavalar içerisinde geçirilerek götürülebilir. Diğer metotlar erişimi büyük ölçüde zordur. Kablolar gelebilecek tehlikelere açıktır örneğin bu kabloların yakınında yapılacak olası çalışmalarda kablolar hasar görme riski bulunmaktadır. Bu nedenle kabloları kablo tünelinin içerisinde taşımak çok daha güvenlidir. Ayrıca tünel içerisinde kabloların bakımı yer altı kablolarına ve havai hatlara kıyasla çok daha etkili ve hızlı bir şekilde [43]'de verilen standartlara göre yapılabilmektedir. Bunun sebebi çalışmaya uygun rahat alanların kolaylıkla sağlanabilmesi de bulunmaktadır. Toprak altına gömülen kablolarda yapılacak olan onarım çalışmalarında bölgedeki yollar bir süre kapanma riski taşıyacaktır ancak kablo tüneli teknolojisinde böyle bir durum söz konusu olmadan, tünel içerisinde kolaylıkla onarım çalışması yapılabilir. Ancak kablo tünellerinde kendilerine özgü bir takım dezavantajları da bulunmaktadır.

6.2.1 Kablo Tüneli Yöntemi ile Enerji Taşınmasının Avantajları ve Dezavantajları

Tercih ediliş sebepleri genel olarak şunlardır:

- Kabloların taşıdığı enerji kapasitesi sıcaklıktan etkilenmektedir. Kablo tünellerinde ortam koşulları bir kablonun verimli enerji iletimi için uygundur. Şekil 6.1' deki grafikte ortamdaki sıcaklık artışının zamanla kılıf ve iletken üzerindeki etkisi [44]'de yapılan bir sıcaklık deneyi ile gösterilmiştir. Sıcaklık artışı kablonun kılıfını ve içerisinde yer alan iletkeni doğrudan etkilemektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi iletkenin taşıdığı enerji miktarında düşüş tespit

edilmiştir. 35/16 mm² kesitli, 3 faz, 1nötr, galvanizli yassı çelik tel zırha sahip, çapraz tutucu çelik bantlarla çevrelenmiş, PVC yalıtkan özellikte, iç ve dış kılıfı olan bir alçak gerilim güç kablosudur.



Şekil 6.1: Kablodaki enerjinin zamana ve ortam sıcaklığına bağlı değişimleri.

- Gelecekte doğabilecek ilave kablo veya sisteme ihtiyacı rahatlıkla yeni kablo çekilerek veya ekipman eklenerek çözüme kavuşturulabilir.
- Arıza yerinin tespiti diğer yöntemlere göre pratiktir. Diğer yöntemlerde arıza tespiti için yöntemlerin tek tek anlatıldığı [45]'de bahsedildiği gibi birden fazla metot kullanılmakta özellikler yer altında kalan kablolarla doğrudan temas yapılamadığı için süre uzamaktadır. Günümüzde kullanılan teknolojik arıza tespit cihazlarının dahi hata tespit oranı yüksektir. Tünel içerisine girilerek iş güvenliği yüksek çalışma ortamında gerekli arızaya gerekli müdahalenin yapılması kolaydır.
- Tesisin kapasitesini artırmak mümkündür. Bunun sağlanabilmesi için tünel içerisinde yedek kablo tavaları, shaft çıkışlarında ise yedek kablo merdivenleri bırakılmalıdır. Çıkış noktaları için rezervasyon delikleri bırakılıp bu noktalar ileride açılarak kullanmaya uygun olmalıdır. Şekil 6.2'de Katar / Doha Kablo Tüneli Projesi'nde CT12 bölümünde rezerve olarak ayrılan kablo merdivenleri görülmektedir. İletim ve dağıtımda yeraltı kullanıldığı için direklere ve bunun gerektirdiği donanımlara da ihtiyaç duyulmamaktadır.



Şekil 6.2: Rezerv olarak ayrılan kablo merdivenleri.

- Yol, cadde ve meydanların estetiği bozulmadan enerji iletimi yapılabilir. Herhangi bir görüntü kirliliğine neden olmaz. Şekil 6.3’de havai hatların yer altına alınmasından sonra yapılan peyzaj çalışmaları ile yaya ve bisiklet yolları görülmektedir.



Şekil 6.3: Havai hatların yer altına alınmasından sonra yapılan peyzaj çalışmaları.

- Hava şartları içinde özellikle fırtına ve yıldırımdan, yağmur suyu veya kar suyundan etkilenmez. Korozyona sebebiyet verecek temaslara maruz kalmaz. Fırtına ve yıldırım [2]'de bahsedildiği gibi yer üstündeki hatlarda büyük kayıplara sebep olmaktadır
- Kullanım ömürleri çok uzundur. Herhangi bir ilave veya değişiklik tünel içinden yapılacak müdahaleyle tamamlanabilir.
- İnşaat süreci diğer yöntemlere göre daha uzun solukludur.
- İmarı doğrudan etkilemez.
- Diğer yöntemlere göre maliyeti daha fazladır.

6.3 KABLO TÜNELİ NASIL YAPILIR?

Kablo tüneli projeleri inşaat işleri olarak genel hatlarıyla ve metro projelerine benzetmektedirler. İmalat aşamasında olduğu kadar projelendirme açısından da büyük bir benzerlikleri vardır. Kabloların güzergahı olan tünel yolcuların kullandığı metro tüneli gibi, kabloların çıkış yaparak bağlandığı trafo merkezleri ise metro durakları gibidir. Enerji ve insanlar buradan gitmeleri gereken yerlere dağılırlar. Günümüzün teknolojisinde modern şehirleşmeler de metro nasıl en hızlı toplu taşıma metodu ise kablo tünelleri de enerjinin taşınması açısından en hızlı taşıma metodudur.

Tünel açma makinesiyle yapılan bir kablo tüneline öncelikli olarak, çapı yaklaşık 15m olan bir shaft açılır. Alan temizlenir ve zemin düz bir hale getirilir. Daha sonra tünel açma makinesi (TBM) shafttan aşağı indirilir ve önceden belirlenmiş bir rota boyunca ilerlemeye başlar. Sert kayalardan kumlara kadar her türlü makinaya her türlü sert zeminde sondaj vurabilen TBM iki ana faaliyet yürütmektedir. İleriye doğru ilerleyip kazı işlemini yaparken aynı zamanda geride bıraktığı alanın planlanan imalatı da tamamlanmış olur. Tünel açma işleminin maliyetini ve süresini önemli ölçüde düşüren TBM'ler aynı zamanda dinamitle patlatarak tünel açma işlemine göre de son derece güvenlidir. TBM tünelin en sonuna gelindiğinde tekrar çıkarılır ve işlem tamamlanır. Şekil 6.4'de tünel açma makinesinin tünel çıkışına varış anı yer almaktadır [46].



Şekil 6.4: Tünel açma makinesinin tünel bitiminden bir görüntüsü.

Bu TBM arkasında bulunan destek üniteleri [47]'de sıralandığı aşağıdaki yer almıştır;

- Şaftlar ve Başlıklar,
- Makine yağlı hidrolik güç ünitesi,
- Makineleri besleyen enerji sistemleri,
- Ortam havalandırmasını sağlayan fanlar,
- Çıkan molozları taşımaya sağlayan sistemler

Burada kullanılan havalandırma, şaftlar ve başlıklar kilit noktalarda gereklidir. Tünelin güzergâhı boyunca Tünel delme makinesini bağlayacak bu noktalar rota boyunca ilerler. Bu yapılar aşağıdaki nedenlerle gereklidir:

Bir projede TBM'ler tercih edilirken aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurulur.

- Açılacak tünelin çapı ve tünelin uzunluğu.
- Tünel yapılacak bölgenin basınç dayanımı.
- Projenin bitiş süresi ve gün içerisindeki mesai saatleri.
- Patlayıcı madde kullanımının bu bölgede yarattığı tehlike faktörüne bağlıdır.

TBM kullanılarak tünel amanın genel olarak avantajları Şu Şekilde sıralanabilir;

- Kazı hızının çok yüksek olması,
- alıŐan iÇi sayısının ve buna bağlı olarak maliyeti düŐürmesi,
- Tünel içerisinde oluşan toz yoğunluğu önemli derecede azalttığı için iÇi sağlığı açısından daha iyi bir ortamın elde edilmesi,
- Patlatma yöntemi kullanılarak yapılan tünel açma iŐlemlerinde oluşan sarsıntı miktarı TBM kullanımında söz konusu olmayacağından TBM'nin ŐehirleŐmenin yaygın olduğu kaya ortamlarında kolaylıkla kullanılabilmesine olarak sıralanır.

İnşaat sırasında iŐgücünün güvenliğini sağlamak adına erişim noktalarına sahip olmak çok önemlidir. Şaftlar, tünele eriŐmek için de kullanılır. Bunun en büyük avantajı ise tünel iŐletmeye alındıktan sonra bakımının kolaylıkla yapılabilmesidir. Şekil 6.5'de iş güvenliği uzmanı eşliğinde kablo tünelinde ekipmanların tünel içine indirilmesi işlemi görülmektedir.



Şekil 6.5: İŞ güvenliği uzmanı eşliğinde kablo tünelinde yapılan bir alıŐma.

6.4 KABLO TÜNELİNDE KABLO ÇEKİMİ VE İZOLASYON

Tünel inşaatı tamamlandığında enerji sistemleri otoriteleri tarafından verilecek onay ile tünel içerisindeki kablolama işlemleri başlatılır. Yüksek gerilim kabloları, kablo tünelinin malzeme şaftından tünel içerisine alınır ve tavaya serilmeye başlar. Şekil 6.6'da tünel içerisinden tünel dışına giden bir kablo bağlantısı görülmektedir. Bu işlem bazı kablo tünellerinde tünelin sonundaki bir trafoya giderek bağlanmaktadır. Özellikle yerleşim yerlerinin yoğun olduğu bölgelerde kablo tüneline çıkan kablolar doğrudan trafo merkezine bağlanması için iyi bir projelendirmeye ihtiyaç vardır. Bu tasarım şekli tamamen maliyete ve yerleşim yeri durumuna göre şekillenir. Çekme işlemine tabi tutulan yüksek gerilim iletkeni XLPE tipi kabloların ağırlığının ortalama değeri 15-30 kg/m'dir. Bu nedenle [49]'deki değerler ile çekme işlemi insan gücüyle yapılamayacağı anlaşılabilmektedir. Tünel içerisine sabitlenen kablo çekme makinası ile kablolar etaplar halinde çekilir. Şekil 6.7'de kablo tüneline kabloların çekilmesini sağlayacak vincin geçeceği sarı renkteki ray görülmektedir. Tavaya oturtulan bu kablolar daha sonra bir sertifikalı personeller tarafından bir araya getirilerek düzenlenir [48].



Şekil 6.6: Kablo tünelineki yüksek gerilim kablolarının çıkışı.



Şekil 6.7: Kablo abloların çekilmesini sağlayacak vincin geçeceği sarı renkteki ray.

Şekil 6.8’de kablo çekildikten sonra kabloların sabit durmasını sağlayan kilit bağlantısı ve Şekil 6.9’da kablo dönüşleri ve kilit bağlantısı görünmektedir. Bu bağlantılar kabloları düzenlendikten sonra sabit bir şekilde kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.8: Kabloların sabit durmasını sağlayan kilit bağlantısı.



Şekil 6.9: Kablo dönüşleri ve kilit bağlantısı.

Kablo tüneli içerisinde kabloların serim işlemi tamamlandıktan sonra [43]'de değinildiği gibi kabloları aleve dayanıklı boya imalatı yapılır ve yangına karşı izolasyonun artırılması sağlanır. Bu işlem spreyleme metoduyla özel eğitimli ekipler tarafından gerçekleştirilir. [50]'de Kabloları boyama işleminin kablo tüneli içerisinde çıkabilecek olası bir yangında kabloları ve dolayısıyla şebekeyi korumak için son derece önemli olduğuna vurgu yapılmıştır.



Şekil 6.10: Kablo kanallarını ve zemini boyadan korumak için yapılan hazırlıklar.

Şekil 6.10’da olduğu gibi koruma işlemleri tamamlandıktan sonra spreyle boyama işlemine geçilir. Çalışanlardan kablo tavasının üzerine çıkarak 30cm’den daha uzak olmayacak şekilde spreyleme işlemine başlar.



Şekil 6.11: Kablo tüneline boyama işlemi.

- Şekil 6.11’de görüldüğü gibi boyama işleminde kullanılan ekipman [43]’de değinildiği üzere boyayı dağıtmadan nokta şeklinde tek bir noktaya odaklanarak gönderilmelidir ve bu sayede hem boya dağılmamış hem de başarılı bir şekilde istenilen bölgeye uygulanmış olmaktadır. Kullanılan boya standart olup rengi beyazdır.



Şekil 6.12: Kablolarına uygulanan boyama işlemi (Uygulama esnasında).



Şekil 6.13: Boyama işlemi tamamlanan YG kabloları.

Şekil 6.13’de boyama işlemi başladığı andan bir görüntü yer almaktadır. Şekil 6.13’deki görüldüğü gibi bir boyama işlemi bittikten sonra boya iki gün kurumaya bırakılır, bu esnada kablo tüneli içerideki sıcaklık 22°C dereceyi geçmeyecek şekilde ayarlanır.

6.5 KABLO TÜNELİNİN BÖLGE SAKİNLERİ İLE İLİŞKİSİ

Herhangi bir planlama yapılmadan önce tünel güzergâhı ayrıntılı olarak incelenmelidir. Özellikle [51]’de bahsedilen aşağıdaki maddeler tünel kazısı yapılacak bölgenin belirlenmesinde, şehir merkezine yakınlık, şehri besleyen enerji hatları ve alt yapı güzergâhları, askeri bölgelere yakınlık yer altı su kaynakları dağılımı incelenmelidir. Bu maddelere ilaveten aşağıda açıklaması yapılan özel durumlar da kablo tüneline açarken dikkat edilmesi gereken bir etmendir.

Katar şehir merkezinde aşağıdaki resimde bulunan bir şeyhin evinin yaklaşık 15 metre yanında açılan kablo tüneli projesinde, hem kablo tüneli yapım aşamasında hem de kablo tüneline içerisine yüksek gerilim hattı iletkenlerinin ve servis malzemelerinin montaj işleri yapılırken çeşitli problemler yaşanmıştır. Şekil 6.14’de çalışma yapılan alandan bir görüntü yer almaktadır.



Şekil 6.14: Bir şeyh evinin arka tarafında yapılan çalışmadan bir kesit.

Öncelikle tünel açma makinasıyla kablo tüneline açılırken bölgenin çevresi kısmen erişime kapatılmıştır ve bölge şehir merkezinde olduğu için buna bağlı olarak ulaşımında kullanılan yollar geçici olarak değiştirilmektedir. Bu şehir sakinleri için ve

özellikle şeyh için büyük bir problem oluşturmuş ve bu durumun uzun süre devam etmesi insanların huzurunu bozmuştur. Ayrıca tünel yerin altından açıldığı için bu işlemde önce yer altında bulunan alt yapı sistemleri güvenli bölgelere kaydırılmalıdır. Bu çalışmalar sırasında geçmiş dönemlere ait ve projelerde tanımlanmamış alt yapılarla karşılaşmak muhtemeldir. Çalışma yapılırken örneğin bir enerjili bir kabloya ya da basınçlı bir su hattına zarar verilebilmekte ve bu da bölge sakinlerini susuz ve enerjisiz bırakabilmektedir. Buna ilaveten ortaya çıkan toz ve moloz yığını da şehir merkezindeki insanları rahatsız ettiği için inşaata olan tahammül her geçen gün azalmakta ve bu durum çalışanları stres altına sokmaktadır. Bu nedenle iş planına önem verilmeli süreç kısa tutulmalıdır.

Genel olarak şehir merkezinde yapılacak bir kablo tüneli projesinde var olan altyapı imatları, bölgenin ulaşımı ve şehrin enerji talebi de dikkate alınarak çok kapsamlı bir etüt yapıp işe daha sonra başlanılmalıdır. Şekil 6.15’de çalışma yapılan bölgenin yer üstünden bir kesit görülmektedir.



Şekil 6.15: Çalışma yapılan bölgede yer üstünden bir kesit.

6.6 ŞAFTLAR VE BAŞLIKLAR

Yapılarda elektrik ve mekanik tesisatın yani sıhhi tesisat, kanalizasyon ve havalandırma gibi sistemlerin yer aldığı boşluğa shaft denir. Bu shaftlar yapılar da

büyükliklerine ve kullanıldıkları alanlara göre ana damar ve kılcal damarlar gibidirler. İnşaat şaftının en büyük örnekleri, metro inşaatlarında görülür. Yüksek binalarda asansör boşluğu, baca boşluğu gibi boşluklara şaft denir. [50]'de değinildiği gibi kablo tünellerinde yer altından yer üstüne doğru açılan giriş çıkış, havalandırma, asansör şaftları ve kabloların yer yüzündeki elektrik merkezlerine ulaşmasını sağlayan kablo merdivenlerinin veya tavalalarının bulunduğu kabloların asılarak tünelden yukarı çıkmasına ve tünel içine girerek enerji merkezine veya diğer bir elektrik merkezine ulaşmasını sağlayan açıklıklar olarak görülmektedir. Şekil 6.16'da kablo tüneli çıkış şaftı ve Şekil 6.17'de ise kablo tüneli asansör şaftı görülmektedir.



Şekil 6.16: Kablo tüneline çıkış şaftına bağlantı.



Şekil 6.17: Kablo tüneli asansör şaftı.

6.7 RİSK FAKTÖRLERİ

Bu tür sistemlerde elektrik kablolarının arızası, veri iletişimde kesintiye neden olabilecek bir yangın riski oluşturur. Kablo tüneline yaşanan yangın olayı, trafik ağlarında, işyerlerinde ve semt sakinlerinin evlerinde büyük bir elektrik kesintisi yaşanmasına sebep olabilir. Bu nedenle kablo tünelleri güvenli ve efektif olduğu kadar birçok tehlike de barındırmakta olup alınması gereken teknik önlemler [43]'de yer almıştır.

Kablo tünellerindeki yangınlar, normal bir yangına göre çok daha yüksek bir risk barındırmaktadır. Bunun en önemli sebebi tünelin içerisinde yüksek derecede yanıcı ekipmanların bulunması ve alanın havalandırmasının yangın durumunda yetersiz kalabilmesi ihtimalidir. Bu nedenle kablo tünellerinde yangın çıkmadan önce her türlü güvenlik önlemini almak çok önemlidir. Bu sistemlerde en büyük risk olası bir elektrik kaynaklı bir yangındır. Tünel içerisinde yaşanacak elektrik kaynaklı bir yangın hadisesi çok ciddi hasarlara yol açabilir. Çünkü sistem bir bütün olarak çalışmakta ve buradaki kablolardan çıkacak bir yangın tünel içerisindeki mevcut diğer orta ve alçak gerilim kablolarına var ise temas ederek büyümesine sebep verecektir. Kabloların patlaması ve yanması tünelin beslediği koca şehrin enerjisinin bir anda gitmesine neden olabilecek kadar büyük bir risk taşımakla beraber, o an tünel

içerisinde olan teknik personellerinde can güvenliğini büyük bir hayati tehlike içerisine atacaktır. Dolayısıyla kablo tünellerinde yangını ortaya çıkmadan önlemek ve çıkan yangıları kısa sürede bastırmak çok önemlidir. Bu nedenle [50]'de belirtildiği gibi yapılacak kablo tünellerinde özel yangın önleme ve takip etme sistemlerinin kullanılması mecburi olmalıdır.

6.7.1 Kapalı Alan ve Erişim Zorlukları

Bazen dar ve hazırlıksız girişler veya yerleşim yerlerine olan uzaklık, yangınla mücadele personelinin bölgeye ulaşmasını zorlaştırır. Aynı zamanda kablo tüneli kapalı bir alan olduğu için buraya girecek çalışanların mutlaka kapalı alan eğitimi (Confined Space Training) alması gerekmektedir. Ancak bu eğitimi alan insanlar kablo tüneline girebilir ve içerde çalışabilirler. Dolayısıyla acil durumlarda içeriye erişim yetkisine sahip insanlar da her zaman bulunamayabilir. Bu nedenle kablo tüneline çalışılırken [43]'de değinildiği üzere tüm ihtimaller göz önüne alınarak uzman bir ekip eşliğinde işlem yapılmalıdır

Kapalı alan eğitimi 5 ayrı aşamadan oluşmakta olup bu eğitimler aşağıdaki gibidir;

- Kapalı Alan Uzmanı
- Kapalı Alan Kurtarma Görevlisi
- Kapalı Alan Giriş Kontrolörü
- Kapalı Alan Gaz Test Elemanı
- Kapalı Alan Girişi

Kapalı alan uzmanı içeride çalışacak grubun en yetkili kişisi olup grubun koordinasyonunu ve çalışmak metodunu belirleyip sorumluluk alacak ve imza yetkisine sahip kişidir.

Kapalı alan girişi eğitimi kapalı alan içerisinde çalışacak işçilere verilen bir eğitim olup kapalı alanda çalışma hakkında işçileri ayrıntılı bilgilendirmek amacıyla yapılır. Olası tüm kötü senaryolar, bunlardan korunma yöntemleri ve acil durum yönetimi anlatılır.

Kapalı alan kurtarma görevlisi acil durumlarda kablo tüneli içerisine girip içerideki çalışanları sağlıklı bir şekilde dışarı çıkarmakla görevlidir ve buna uygun eğitim alır ve gerekli ekipmanlar sağlanır. Kablo tünelleri giriş çıkış şaftları aynı zamanda acil çıkış olarak kullanılmaktadır. Acil çıkış sonlarında içten açılır yangın kapıları bulunmaktadır. Aydınlatma acil durum aydınlatması ile bataryalı armatürler ile sağlanır.

Kapalı alan giriş kontrolörü kablo tüneli içerisindeki çalışmanın başlangıcından sonuna kadar durmaksızın kablo tünelinin başında durmakla yükümlü kişidir. Kablo tüneli içerisine izinsiz giriş ve çıkışı engeller, tehlike anında denetçi ve kurtarma görevlisini bilgilendirir ve tünel içerisi ile dışarısındaki iletişimi sağlar.

Kapalı alan gaz test elemanı tünel içerisinde çalışma yapılmadan önce içeri girer tünel içindeki gazı özel ekipmanları ile kontrol eder ve insan sağlığına zararlı herhangi bir gaz yoksa çalışılmasına müsaade eder. Çalışma esnasında belli periyodlar halinde içeriye girerek gaz kontrolü yapmaya devam eder.

Kapalı alanda çalışmaya başlayacak ekibin yukarıdaki eğitimleri almış kişilerden oluşması gerekir, eğer bu eğitimlerden bir tanesi bile eksik ise çalışmaya izin verilmemelidir.

6.7.2 Isı Yolları ve Yangın

Yangın kapalı bir alanda gerçekleşir. Dolayısıyla yangın nedeniyle oluşan Karbon monoksit gazının bir an önce dışarıya atılması önemlidir. Bu nedenle kablo tünellerinde havayı hızlı bir şekilde dışarıya çıkaran özel bir havalandırma sistemi bulunmaktadır. Bu sistem sürekli olarak çalışmakta olup kablo tünelinin tüm alanlarına uzanan havalandırma borularıyla bölgelerin CO miktarlarını devamlı olarak ölçer ve bu gazın herhangi bir artışında merkezde bulunan alarm sistemine haber verilir ve zehirli gazlar hızlı bir şekilde dışarıya çıkarılır, bu sayede hava dolaşımını sağlanmış olur.

Kullanılan malzemelerin yangına dayanıklılığının geliştirilmesinde çok ilerleme kaydedilmiş olsa da, hala yanıcı malzemelerle kaplanmış kablolar, yağlarla

soğutulmuş veya büyük miktarda yanıcı madde kablo tünelinin içerisinde bulunmakta ve bu durum tehlike oluşturmaktadır. Yangın çıktığında ise özellikle ortaya çıkan dumanlardan dolayı içeride görüş mesafesi düşmekte ve itfaiyecilerin görüş açısını zorlaşmaktadır. Bu nedenle yangın başladığında hemen algılanıp müdahale edilmesi gerekir, bunun için de yangın algılama dedektörleri kullanılır. Yangın algılama sisteminde kullanılacak kablolar [43]'e göre LSOH yani düşük duman çıkaran sıfır halojen tipinde seçilmelidir. Şekil 6.18'de kablo tünelinin yangın, ısı ve haberleşme panelleri görülmektedir. Yangın santralleri alarm durumunda ikinci seviyeye geçmesi halinde otomatik operatör aracılığıyla sivil defansa haber vermektedir.



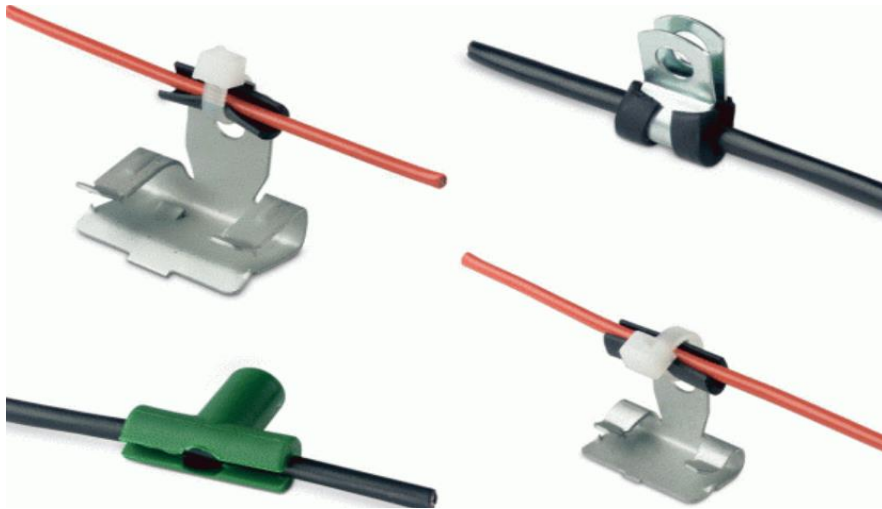
Şekil 6.18: Kablo tünelinin yangın, ısı ve haberleşme panelleri.

[50]'de belirtildiği gibi kablo tünellerinin genelinde kullanılan bu yangın algılama sisteminin en büyük özelliklerinden biri de ortamlardaki seri basınç artış ve azalışlarına güçlü hava değişimine ve görüş mesafesindeki kısıtlılıklara karşı daha başarılı olmasıdır. Kurulumu kolaydır. Kablo tüneli içerisinde yer alan ana koridora boylu boyunca montajı yapılır. Ana koridorun merkezinde yer aldığı için alanın kontrolüne hâkimiyeti de maksimum düzeydedir.



Şekil 6.19: Tipik bir yangın alarm dedektörü.

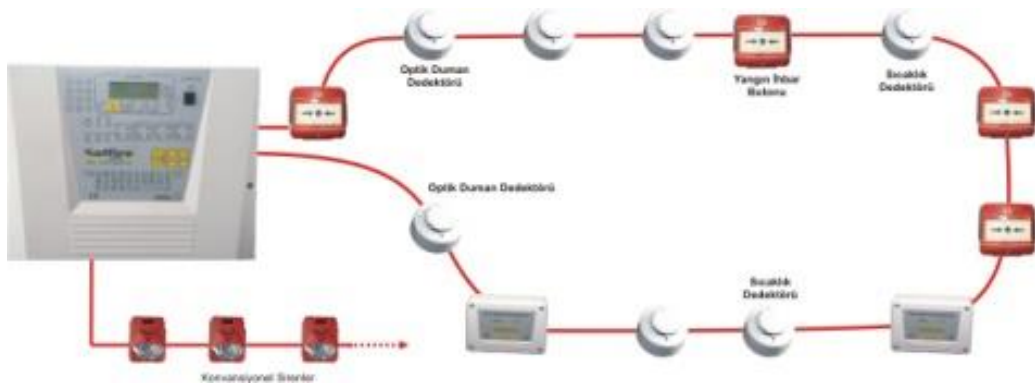
Bu sistemin uygulanması için çok farklı tipte ekipman kullanılsa dahi, aslında sistem dedektör ve yangın alarm panelinden oluşmaktadır. Şekil 6.19’da tipik bir yangın alarm dedektörü görülmektedir [52]. Kablo tipi lineer ısı dedektörleri için kullanılan kablo tipi, bu tipteki yangın ihbar sisteminin en önemli parçalarından biridir. Yangın alarm sisteminin kontrol panosundan çıkan kablo, ilgili ısı dedektörünün kablosunun bitiminde yer alan yüksek değerdeki bir dirençle birbirinden ayrılmaktadır. Bu lineer ısı kablo dedektörü ortamdaki ısı değerinin değişimine duyarlı bir katı yalıtkan termistör malzeme vardır. Şekil 6.20’de yer alan dedektör kablo tipinde olan lineer bir ısı detektörüdür [52].



Şekil 6.20: Kablo tipinde olan lineer bir ısı dedektörü.

Dedektörde yer alan termistör aslında Kablo tipi lineer ısı dedektörünün hangi tipte olduğunu belirleyen parçasıdır. Bunun sebebi kullanılacak ortamdaki sıcaklık ortlaması dedektörün cinsini belirlemektedir. Bu dedektörlerin, dış kılıfı yüksek ısı geçirgenliğine, ortamın nemine karşı korumaya ve kimyasal etkilere karşı dayanıma sahiptir. Lineer ısı dedektörü her tipteki alanda yani açık veya kapalı alan olmaksızın çalışabilirler ve ağır sanayi tipi kullanıma göre uygun tipleri de bulunmaktadır. Kablo tünelleri için de kullanımı elverişlidir. Bu tipteki dedektörler herhangi bir kurulu konvansiyonel veya akıllı adresli yangın kontrol sistemine kolaylıkla dahil edilebilme özelliğine sahiptir.

Kablo tipi lineer ısı dedektörleri her tipteki yangın ihbar sistemi panosuna kolaylıkla entegre edilebilirler. Bu yangın algılama dedektörleri için bazı firmalar özel yangın algılama sistemi paneli de üretmişlerdir. Genele baktığımızda yangın algılama sistemi panelleri iki ayrı başlık altında toplanırlar. Bunlar analog ve dijital yangın algılama sistemleridir. Analog sistemde kablo tipi lineer ısı dedektörleri bir telle diğer telin temas etmesi halinde direkt olarak devreye girerler ve yangın panelinde ise noktasal bir yer gösterilemez ve dedektörünün hitap ettiği alanın tümünden sinyal geldiği gözükür. Dijital yangın panellerinde ise genel alan olarak değil de gelen alarmın noktasal olarak yeri işaret edilebilir. Merkezi ekranlarda sinyal gelen noktalar görülüp daha doğru yangın önleme sistemleri devreye sokulup yangın müdahale ekipleri daha doğru yönlendirilebilir ve daha hızlı müdahale etme fırsatı bulunabilir. Şekil 6.21’de dijital bir yangın kontrol sistemi şeması görünmektedir [52].



Şekil 6.21: Yangın kontrol sistemi şeması.

Çalışma prensibi, içerisinde yer alan iki adet tel arasındaki açık konumda bulunan devrenin kapanması ile kontak alan bir devre mantığına dayanmaktadır. Kablo Tipi Linear Isı Dedektörleri [53]'de bahsedildiği üzere ısının temas ettiği kısımlardır ve ısı etkisine girdiklerinde erimeye başlayan polimer kaplı malzemelerden yapılmışlardır. Bu yalıtkan malzeme maruz kaldığı sıcaklığın etkisiyle erimeye başlar ve devre kapalı konuma geçer. Bağlı bulunduğu yangın paneline, yangın ihbarı olduğunu değerlendirmesi için bir kontak yollar. Bu alarm sistemi eğer dijital bir yangın paneliyle çalışıyorsa gelen sinyalin üzerinden geçen gerilim büyüklüğüne göre ortamdaki ısı artışı kontrol edilir ve yangının büyüklüğünü tespit edebilir. Bu yangın sistemlerinde kullanılan dedektörler genel olarak tek kullanımlıdır. Eğer bir kez yangın ihbarı almışsa içerisinde yer alan polimer kaplı tel eridiği için yenilenmesi gerekmektedir.

Bu tipteki yangın dedektörleri toz parçacıkları konusunda dezavantajlıdır. Örneğin yoğun olarak toz olan alanlarda dedektörlerinin üzerinde bulunan kabloların yüzeyinin toz parçacıkları ile kaplanması ısı transferine karşı savunma gibi bir tepki vererek kablo tipi linear ısı dedektörünün, ortamdaki bir ısı artışında yangını algılamamasına veya yangını algılasa bile bu sürenin artmasına sebebiyet verebilir ve buna ek olarak ortamdaki hava sirkülasyonunun çok olması durumunda, ısının yangınla birlikte ortaya çıkan duman veya ortamdaki ısı artışının dedektöre geç ulaşmasını bununda yangının tespiti geciktirmesine sebebiyet verebilir. Unutulmamalıdır ki yangına karşı mücadele de zaman çok önemlidir.

Kablo tipi linear ısı detektörüyle yapılan yangın ihbar sistemi, yangın sistemi üzerinde çok fazla sayıda adres kullanımına neden olmadığı için ve alan tek bir parça halinde olduğundan ötürü uygulaması kolay ve kullanışlıdır. Maliyet konusundaysa diğer sistemlere göre daha uygundur. Bu nedenle kablo tünellerinde kullanılan yangın algılama sistemlerinin başında yer almaktadır.

6.7.3 Gazlar ve Havalandırma

Normal şartlar altında soluduğumuz atmosferik havanın hacminin yaklaşık %79'u Azottan, %21'i Oksijenden ve kalan yaklaşık %0,5'lik kısmı ise Karbondioksitten meydana gelmektedir. Yeraltında ise hava gazların, tozların ve buharların bir

karışımdır ki atmosferik havanın yanı sıra bazı zehirli ve patlama özellikteki olan aktif gazları ve artık gazları bünyesinde bulundurur. Tünel havasındaki bu zararlı gazların miktarı çalışılan metotla, havalandırma, çıkarılan madenin çeşidiyle, mekanizasyonla ve diğer birçok nedenle doğrudan ilgilidir. Tüneller gibi kapalı ortamlarda oksijen haricindeki gazların artmasıyla birlikte ortamdaki oksijen yüzdesi azalabilir. Özellikle bu ortamlarda herhangi bir havalandırma sistemi yoksa veya mevcut havalandırma sistemi yeterli değilse ortamlarda insan sağlığını etkileyecek gazların yoğunluğu artacaktır. Şekil 6.22’de görüldüğü gibi belirli aralıklarla havalandırma bacaları yapılarak temiz havanın havalandırma kanalları ile tünele bağlanması sağlanır. Eğer bu ortamlarda gerekli önlemler alınmazsa çalışanlar ölüm riski ile karşı karşıya kalabilirler.

Yeraltı tünellerde uygulamasında ve işletmesinde ortamın gaz testine ve kapalı alanda çalışılabilmesi adına gerekli eğitim ve sertifikaları alınmış personellerin çalışması gerekmektedir. İlgili şartlar [54]’de geçen iş güvenliği için gerekli çalışma koşullarıyla belirtilmiştir.



Şekil 6.22: Tünelere temiz hava girişini sağlamak amacıyla yapılmış başlıklar.

Havalandırma sistemiyle ilgili olarak alınması gereken güvenlik önlemlerinin başında yedek bir yapının da hazırda bekletilmesi olmalıdır. Bunun içinde uygulanacak en kolay ürün sıvı yakıtla çalışan vantilatörler olabilir. Elektrik enerjisinin kesilmesi veya arıza durumunda bir kontak olarak kablo tüneli içerisinde hava dolaşımını sağlayarak hızla azalan oksijen miktarını artıracaktır.

6.7.4 Patlamaya Karşı Sistemler

Patlama ihtimali olan ortamlarda kullanılan elektrik aletlerinin çıkardığı kıvılcım ve ark gibi hadiseler patlama ihtimalini tetiklemesi açısından risk oluşturmaktadırlar. Bu nedenle bu gibi ortamlarda patlayıcı ortamlar ve patlayıcı ortamlarda kullanılan elektrikli aletlerin ex-proof yani alev sızdırmaz olan, yalıtkan ve koruma sınıfları yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Patlama riski taşıyan tesislerde ex-proof malzemelerin kullanımı zorunlu hale getirilmiş ve 30.12.2006 tarihli ve 26392 sayılı resmi gazetede yayınlanarak Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından kabul edilmiştir. Şekil 6.23’de acil çıkışa yönlendirme amacıyla kullanılacak olan alev sızdırmaz bir acil çıkış armatürü verilmiştir [55].



Şekil 6.23: Alev sızdırmaz tipte acil çıkış armatürü.

Bu nedenle kablo tüneli uygulamalarında kullanılacak aydınlatma ve aydınlatma anahtarlama sistemleri ve vinç gibi elektrik bağlantısı barındıran üzerinde ark veya kıvılcım benzeri hadiselerin oluşma ihtimali olan donanımlarda alev sızdırmaz ürünler tercih edilmesi şartlandırılmalıdır.

7. UYGULAMALAR

Dünya genelinde birçok lokasyonda kablo tüneli projeleri yapılmıştır. Bunlar üzerinden giderek kablo tüneli projelerinin daha yakından tanıyabiliriz. Hem teslim edilmiş hem de şuan devam etmekte olan tünel projeler mevcuttur. Genel olarak da anlaşılabilceği gibi projeler dünyanın gelişmiş veya alt yapı sistemlerine önem veren ülkelerde bulunmaktadır.

6.8 LONDRA KABLO TÜNELİ PROJELERİ

Londra, İngiltere'nin elektrik talebinin % 20'sini oluşturuyor ve bu da yılda% 3-5 oranında büyümeye devam ediyor. Londra'daki gelecekteki enerji talebini desteklemek için yeterli iletim altyapısının mevcut olmasını sağlamak için ulusal yatırım sorumluluğunda ve şehir yatırım programının bir parçası olarak 400kV yeni yüksek voltaj kabloları barındıracak dört adet derin kablo tüneli inşa etme planları bulunmaktadır. Şekil 7.1'de Londra'da yapılan kablo tüneli proje alanı şeması vardır [56]. Bu yüksek voltajlı kablo tünelleri şu andaki trafo merkezlerini bağlayacaktır:

- Hackney Enerji Merkezi
- St. Johns Wood Enerji Merkezi
- Willesden Enerji Merkezi
- Wimbledon Enerji Merkezi
- Hurst Enerji Merkezi
- Eltham Enerji Merkezi



Şekil 7.1: Londra'da yapılan kablo tüneli proje alanı.

Londra'da elektrik birçok noktada yeraltı kablolarıyla iletiliyor. Geleneksel olarak yol yüzeyinin hemen altında bulunurlar ve bu kabloların bakımını sağlamak için çalışırlar. Yol yüzeyinin altında tünellerdeki yeni elektrik kablolarını barındırarak geleneksel yöntemlere kıyasla bir dizi avantaj elde edilir:

- Kabloları döşemek için sokakların kazılmasına gerek duyulmadığı için, Londra boyunca yol ağındaki büyük aksamadan kaçınılır.
- Yapımların büyük çoğunluğu zeminin altında gerçekleştiğinden, inşaat sırasında Londralılar ve yol kullanıcılarının durumdan rahatsızlığı önemli ölçüde azalmaktadır.
- Gelecekteki onarım ve bakım çalışmaları trafiği, işletmeleri ve sakinleri rahatsız etmeden yapılabilir.
- Tünellerde gelecekteki akımları karşılamak için ek kablolar kurulabilir.

Şubat 2011' de Ulusal Yatırım, [56]'da bahsedildiği üzere derin yeraltı tünelleri üzerinden yeni kablolar kurarak Londra'daki yüksek gerilim şebekesini güçlendirmek için yedi yıl sürecek 1 milyar £'luk bir projeye başlamıştır. Başkent derinliklerinde bulunan 32 km'lik yeni elektrik otoyolu, Londralıların güvenli ve güvenilir elektrik kaynaklarına bağlı kalmasına yardımcı olacaktır. Proje 2018'de tam olarak faaliyet gösterecektir. Şekil 7.2'de Londra Highbury 132kV Kablo Tüneli Projesinden bir

görüntü yer almaktadır [56]. Şekil 7.3’de ise bu tünelde iş makinesiyle yapılan kablo çekim işleminden bir görüntü yer almaktadır [56]. Londra Güç Tüneli ağı Hackney'den St Johns Wood'a, Willesden'den St Johns Wood'a ve Wimbledon'dan Kensal Green'e kadar uzanmaktadır [56].

- Dört tünelin toplam uzunluğu yaklaşık 40km'dir.
- Tünellerin ortalama derinliği 12m ile 60m arasındadır.
- Tünel ve şaftlar zeminin altındadır ve planlama onayı gerektirmez.
- Özel arazi üzerine inşa edilen merkezler planlama onayı gerektirir.
- Planlama uygulamaları 2009 yılı başından itibaren sunulacaktır.
- Toplam yatırım 600 milyon sterlin, civarında olacaktır.



Şekil 7.2: Londra Highbury 132kV Kablo Tüneli Projesi.



Şekil 7.3: Tünel içinde kullanılan kablo çekme makinası.

6.9 SİNGAPUR AWARDS KABLO TÜNELİ PROJELERİ

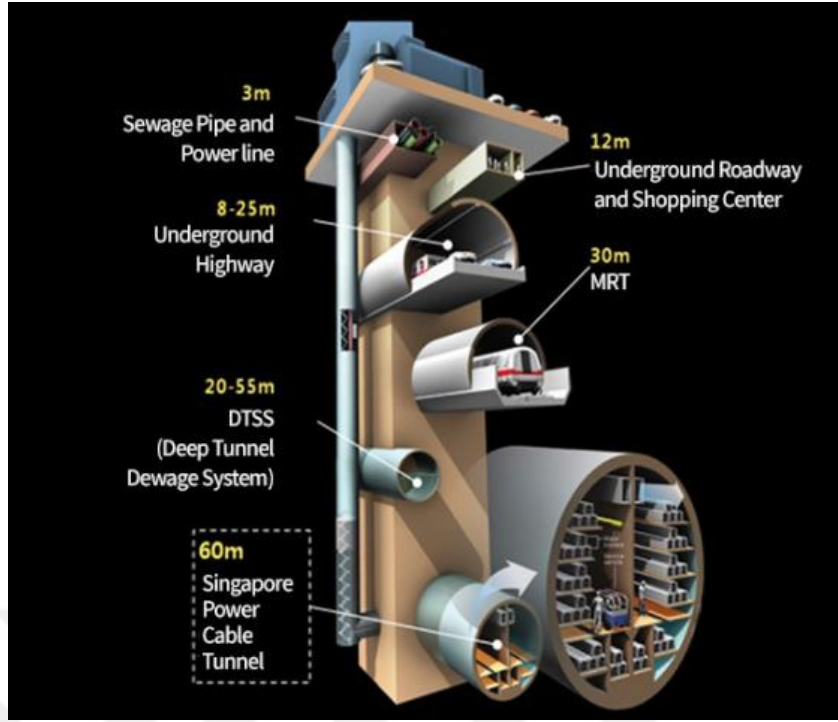
Singapur'da 35 km derinlikteki yüksek gerilim güç iletim kablo tünellerinin teslimatı için toplam 1,25 milyar ABD Doları tutarında sözleşme imzalanmıştır.

Bu bölgede kazılan tüneller [57]'de bahsedildiği üzere 6 m genişlikte olacak şekilde, 16.5 km boyunca ada devleti boyunca doğu-batı yönünde, 18,5 km boyunca kuzey-güney yönündedir ve May Yolu'nda Şekil 8.4'de görüldüğü gibi kesişmektedir [57]. Özel arazi mülkiyeti ile ilgili proje gecikmelerinden kaçınmak için, her iki bölgenin hizalanması da, kamu yollarının altındaki alanlar dikkate alınarak yapılmıştır. Çünkü özel mülkiyet altında yapılan çalışmalarda alınması gereken izinler büyük bir zaman ve dolayısıyla büyük bir maliyet kaybına neden olmaktadır.



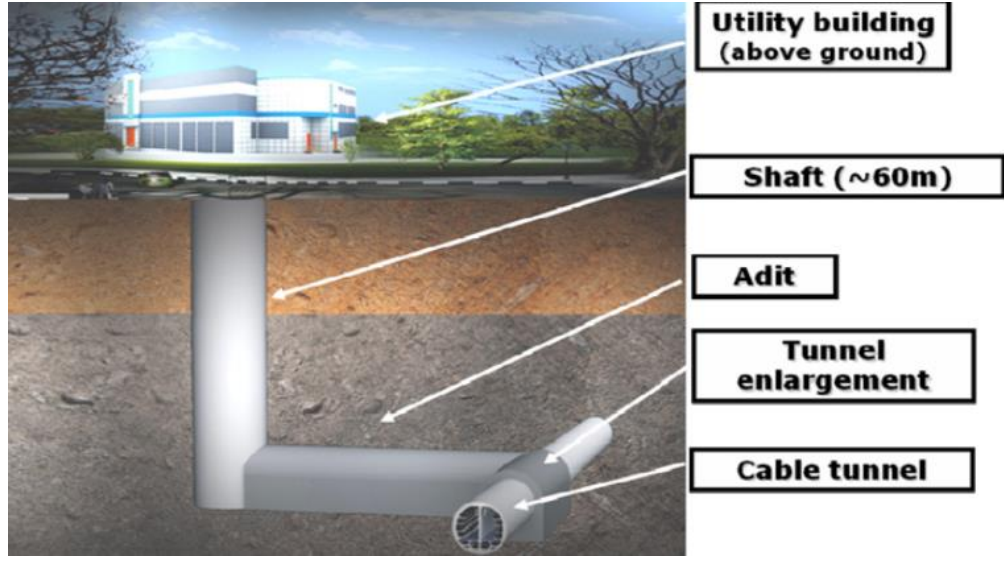
Şekil 7.4: Singapur Awards 35 km Kablo Tüneli Projesi alanı.

Bu projedeki bir bölge olarak tanımlanan Jurong Formasyonu, iç içe geçmiş kum taşı, silt taşından oluşan değişken bir kaya olarak tanımlanmıştır. Tünel açılacak bu bölgede ani kayaçların büyük olasılıkla değişmesine rağmen, ana kayanın tünel açma için makul derecede iyi olması beklenildiği için bu bölge seçilmiştir. Singapur kablo tüneli bölümleri aşağıdaki Şekil 7.5’de verilmiştir [57].

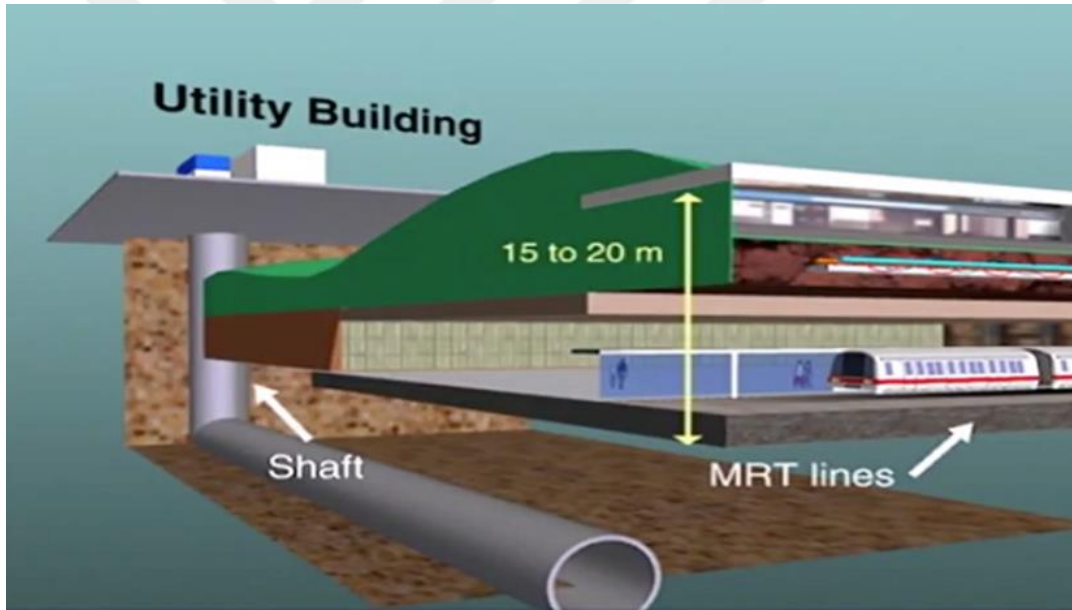


Şekil 7.5: Singapur Kablo Tüneli Projesi kesit görseli.

Tahrik ünitelerinin aşırı sert granitten geçmesi bekleniyordu, ancak beklenen zorlu zemin koşulları, yüksek su girişleri ve ilk tahrikin ilk 200m'sinin ilerlemesini engelleyen akan zemin ile beklenenden daha da fazla oldu. Koşullar iyileşmiştir ve değişiklikler ile JV, Ocak 2005'te her iki tüneli de başarıyla tamamlamıştır. Senoko-Gambas kablo tüneli, Gambas'ın en son kuzey-güney tüneli ile birleşerek, Senoko enerji istasyonundan adanın güneyine, doğusuna ve batısına yüksek voltajlı elektrik iletimini tamamladı. Şekil 7.6'de kablo tüneli enerji merkezi bağlantısı şematik gösterimi verilmiştir [57]. Şekil 7.7'de ise Singapur Kablo Tüneli Projesi altyapı şeması yer almaktadır [57].



Şekil 7.6: Kablo tüneli enerji merkezi bağlantısı şematik gösterimi.



Şekil 7.7: Singapur Kablo Tüneli Projesi altyapı şeması.

6.10 KATAR / DOHA KABLO TÜNELİ PROJELERİ

Katar'da yol inşaatı ve geliştirme projesinde iletim hatları yenilenirken bir takım teknolojik düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelerden birisi de iletim hatlarının kablo tünellerinden geçerek enerji merkezlerine bağlanmasıdır. Projede bulunan 21 adet kablo tüneli, bu noktadaki kabloların uzun yıllar güvenli bir şekilde çalışmasına olanak sağlaması hedeflenmiştir. Burada kablo tünelinin kullanılmasının en büyük faydalarından birisi de bölgenin şehrin merkezinde olmasıdır. Herhangi bir arıza

durumunda müdahale tünel içerisinde güvenli, etkili ve en önemlisi de çok hızlı bir Şekilde yapılarak arıza giderilecek ve Şehir enerjisiz kalmayacaktır. Şekil 7.8’de Katar/Doha Kablo Tüneli Projesindeki bir tünel içerisinden görüntü yer almaktadır.



Şekil 7.8: Katar Kablo Tüneli Projesi içerisinden bir görüntü.

Projenin en önemli zorluklarından birisi tünel yapılacak alanın altındaki su hacminin çok fazla olması ve bu nedenle zeminin de aşırı yumuşak olmasıdır. Katar bir yarımada olduğu için çok derin kazılar yapılmasa bile bu problem ortaya çıkmaktadır. Bu problem güçlü pompalarla suların çekilip alanın beton ile sertleŐtirilmesiyle çözülmüŐtür. Şekil 7.9’da Katar’da tünel delim işlemi bitiminde çekilen bir hatıra fotoğrafi verilmiştir.



Şekil 7.9: Katar’da tünel delim işlemini bitiminde çekilen bir hatıra fotoğrafı.

Bir diğer zorluk ise projenin bulunduğu alanın şehrin ana yollarının kesişim noktasında bulunması ve çalışma yapılmadan önce bakanlıktan her zaman izin alınması zorunluluğudur. Bölge Katarlı şeyhlerinin özel arazilerinin çok yakınında olduğu için özellikle var olan elektrik ve mekanik hatlara dikkat edilerek çalışılması gerekmektedir. Çünkü bu hatlar zedelendiğinde şeyhlerin evleri susuz veya elektriksiz kalmakta ve bu da işlerin ilerlemesini sağlayan bakanlık izinlerinin sekteye uğratmaktadır. Projenin en büyük zorlukları temel olarak bunlardır. Var olan hatlara zarar verilmeden dikkatli bir şekilde çalışılması hiç şüphesiz bu tarz tünel projelerinin ilerlemesini hızlandıracaktır. Şekil 7.10’da görüldüğü gibi havai hatların tamamı yer altındaki tünellere alınmıştır, sol kısımda bisiklet yolu yanında kablo tüneli havalandırma bacası görülmektedir.



Şekil 7.10: Katar/Doha Kablo Tüneli Projesi sonunda bölgenin havai hatlardan tamamen arındırılmasıyla ortaya çıkacak görsel.



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla, enerjiye duyulan ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır. Bu durum enerjinin üretiminin ve taşınmasının da kapasite ve boyut olarak yükselişine sebep olmuş, verime verilen değeri artırarak kayıpların minimize edilmesi hususuna dikkatleri çekmiştir. Verim, enerjinin üretiminde çok önemli olduğu gibi, üretilen enerjinin üretim noktasından tüketim noktasına kadar maksimum düzeyde tutulması da önemlidir. Emekle üretilen enerji taşırken kaybedilmemelidir. Bu nedenle taşıma yöntemlerini de irdelemek gerekmektedir.

Geçmişten günümüze, enerji iletiminde yaygın olarak havai hatlar kullanılmaktadır fakat havai hatların dezavantajları oldukça fazladır. Bu gibi nedenlerden ötürü zamanla yer altı kablolarına olan talep artmış, dünya genelinde havai hatların yer altına alınması için ciddi çalışmalar başlatılmıştır. Dünyanın birçok yerinde yeni nesil şehir planlamalarında enerji ve iletişim ağlarının bağlanması için modern bir teknik olan kablo tünelleri kullanılmaya başlamıştır.

Günümüz teknolojisinin gerekliliklerinden olan kablo tünelleri, uzun mesafeler için ticari, endüstriyel ve konut gereksinimlerine hizmet eden, hayati bilgi ve enerji altyapısının temel bir parçasıdır. İçinden kabloların geçirildiği, modern şehirlerin iletişim ve güç sistemlerinin dağıtılmasında yüz yıllarca hizmet edebilecek altyapının sağlandığı yapılardır. Bakım ve arızalanma periyodu ilgili şartnamelere uyulduğunda daha az olacak, uzun vadede kablo tünelinin daha ekonomik olduğu görülebilecektir. Arıza yerinin tespiti ve onarımı diğer yöntemlere göre pratiktir. İlave elemanları kullanarak tesisin kapasitesini arttırmak her zaman mümkündür. Çalışma alanları görevli personeller açısından çok rahattır. İşletmesinde, iş ve işçi güvenliğini sağlaması, imarı etkilememesi, iletim ve dağıtımda yer altı kullanıldığı için direklere ve bunun gerektirdiği donanım ihtiyacı duyulmaması nedeniyle imalatı daha güvenli ve uzun ömürlüdür. Hava şartları içinde özellikle fırtına, buz yükü ve yıldırımdan, yağmur suyu ve kar suyundan etkilenmemesi nedeniyle problemsizdir. Yol cadde ve meydanların estetiği bozulmadan enerji iletiminin yapılması, herhangi bir görüntü kirliliğine sebep olmaması gibi özelliklere sahiptir. Sürekli yenilemeye gidilmez. Herhangi bir ilave veya değişiklik tünel içinden müdahale ile tamamlanabilir.

Diğer enerji iletim yöntemlerinin havai hatların, kablo tüneli yöntemine göre ve açıklandığı gibi birçok olumsuz yönü bulunduğu anlaşılabilir. Havai hatlar uzun ömürlü olmayan, bakımları zor ve masrafları ilave işleri güçlüklerle yapılabilen enerji iletim araçlarıdır. Manyetik etkenlerden ötürü insan sağlığını etkilemesi, lösemi dâhil birçok kanserin oluşma riskini arttırması, ormanlarda yangınlara sebebiyet verip, çevre ve doğa şartlarından etkilenebilir. Görüntü kirliliğine sebep olması, geçtiği bölgelerde imar planlamasını etkilemesi ve hattın kopması veya zarar görmesi halinde can ve mal güvenliği açısından tehdit oluşturması gibi dezavantajlara sahiptir.

Yer altı kablolama yönteminin de kablo tüneli yöntemine göre birçok dezavantajı vardır. Yapılabilmesi mevcut düzeni bozmadan mümkün değildir. Ömürlerinin kısa olması, kapasite arttırmak için ilave elemanların yapılamaması, yağmur ve kar sularından etkilenmesi, kalitesi düşük tutulan imalatların kısa süre sonra arıza durumuna geçmesi ve onarımının çok zor olması, onarımı sırasında sürekli bozulan yolların ve kaldırımların maliyeti arttırması ve maddi kayba yol açması gibi faktörlerle karşılaşmaktayız.

Kablo tüneli taşıma yapılabilmesi, diğer enerji taşıma yöntemleri ile kıyaslandığında anlaşılacağı üzere ilk etapta daha uzun ve daha maliyetli olmaktadır. Ancak uzun vadeli düşünüldüğünde, kullanım ömürleri daha uzun olması, arızaların azalması, bakım onarım ve ek iş masrafları düşmesi sebebiyle ekonomik olarak daha karlı olduğu anlaşılacaktır. Enerji iletimi yatırımları yapılmadan önce gelecek düşünülmeli ilk etaptaki maliyeti ve zamanı bir numaralı etken olarak kabul etmeyip projelerimizde kablo tünellerine yer vermeliyiz. Elektrik enerjisi hem günümüzün hem de geleceğimizin gündelik hayatta en çok kullanılan temel enerji kaynağı olduğu ve her geçen gün ihtiyacı daha da artmakta olduğu unutulmamalıdır. Bu tüneller bizlere yüz yıllar boyunca hizmet verecektir. Hem bize ve çocuklarımıza hem de yeni nesillere sağlıklı bir çevre tesis edecektir.

Bu tez çalışması ile kablo tünellerinin diğer enerji taşıma sistemlerine olan avantajlı olan yönleri gösterilerek kablo tünellerinin ülkemizde ilerleyen dönemlerde kullanıma başlaması gerektiği ortaya konulmuş ve ilgili kurum, kuruluş ve yetkilerle paylaşılması hedeflenerek hazırlanmıştır. Kablo tünelleri insan sağlığını hem çalışma şartları açısından hem de diğer sistemlerde olduğu gibi çevresindeki insanları

manyetik etki altında bırakmamasından ötürü kullanılması gereklidir. Diğer sistemlerdeki arıza ve bakım masrafları kablo tüneline göre fazladır. Kablo tünelleri bu malzeme ve zaman masrafları minimize ederek uzun vadede ekonomik olarak daha olumlu bir hal alacaktır. Kablo tünelleri aynı zamanda ülkemizin güçlülüğünün bir simgesi olacak, iletim kaynaklı arızalar azalacak, bakım süreleri minimize olacaktır. Enerji hatlarına yapılabilecek tüm sabotaj ve saldırıları yer altında olmaları sebebiyle daha iyi bir savunma sağlayacaktır. Bu tez çalışması ile diğer sistemlerden üstünlükleri ortaya konulmuştur ve kısa sürede teknik şartnameleri ortaya konularak enerji dağıtımının yeni yapıldığı veya kentsel dönüşüm gibi çalışmaların yapıldığı alanlarda kablo tüneli sisteminin kullanılması hedeflenmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] N. Orozalieva, “Yüksek Gerilim İletim Hatlarında Aşırı Gerilimler”, Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2009.
- [2] D.P. Nedic, I. Dobson, D.S. Kirschen, B.C. Carreras, V.E. Lynch, “Criticality İn A Cascading Failure Blackout Model”, Elsevier Electrical Power And Energy Systems, V: 28, 2006, 627-633.
- [3] Ç. Güler, S. Daşdağ, S. Şeker, T. Çakar, “Elektromanyetik Alanların Çevre Ve Halk Sağlığına Etkileri”, Elektromanyetik Alanlar Ve Etkileri Sempozyumu, İstanbul, 7 – 8 Ekim 2011.
- [4] N. Özay, N. Güven, “Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Orta Gerilim Seviyesinin Belirlenmesi”, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1993.
- [5] N. Pamuk, “2XS(FL)2Y 87/150(170) kV Yüksek Gerilim Güç Kablosu Yalıtım Arızasının İncelenmesi ve Elektriksel Ölçüm Testleri”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Düzce, 2014, 284–294.
- [6] Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (30.11.2000),T.C. Resmi Gazete, 24246.
- [7] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Elektrik Elektronik Teknolojisi Havai Enerji Hatları”, [Online].http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Havai%20Enerji%20Hatlar%C4%B1.pdf. (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2018).
- [8] M. Üstünel, “II. Sınıf Elektrik Tesisatçılığı”, MEGEP Elektrik Tesisat Bilgisi, Ankara, 2012, 147-148.

- [9] M. Üstünel, “I. Sınıf Elektrik Tesisatçılığı”, MEGEP Enerji Üretimi İletimi Ve Dağıtımı, Ankara, 2012, 273-274.
- [10] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Elektrik Elektronik Teknolojisi Havai Enerji Hatları”, MEGEP, Ankara, 2007, 15-17.
- [11] M. İlkahraman, C. Özdemir, M. Yıldız, Ö. Ünlü, “Yüksek Gerilim Şalt Teçhizatları Üzerinde Meydana Gelen Kısmi Deşarjların Ultrasonik/Tev Yöntemi İle Tespiti Ve Saha Uygulamaları”, Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Iğdır, 2015.
- [12] M. Aydın ve H. Turhan, “Orta Gerilim Enerji Nakil Hattı Proje Çizimlerinin Bilgisayar Programı İle Gerçekleştirilmesi”, Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
- [13] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Yüksek Gerilim Tesislerinde İletim Hatları Bakımı”, Elektrik Elektronik Teknolojisi, Ankara, 2011.
- [14] Y. Uyaroğlu, “Elektrik Enerjisi İletimi Ve Dağıtımı”, Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2013, 41-43.
- [15] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Elektrik Elektronik Teknolojisi Yer Altı Enerji Hatları”, [Online]. http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Havai%20Enerji%20Hatlar%C4%B1.pdf. (Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2018).
- [16] M. Çınar, “Yeraltı Kabloları”, TEDAŞ Soma Elektrik Teknolojileri Geliştirme ve Eğitim Merkezi, İstanbul, 1993.

- [17] TEDAŞ, “Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj Uygulama Usul ve Esasları”, Ankara, 2017.
- [18] A.T. Ergüzel, “Orta Gerilim Yer Altı Kablolarında Derinliğin Akım ve Gerilim Taşıma Kapasitesine Etkisi”, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2.Sayı, Sakarya, 2002.
- [19] H. Dağlar, “Orta Gerilim Yer Altı Kablolarında Derinliğin Akım ve Gerilim Taşıma Kapasitesine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [20] L. Heinhold, “Power Cables And Their Application”, Siemens, 1979.
- [21] L. Heinhold, “Power Cables And Their Application”, Part I, Third Edition, Siemens, 1990.
- [22] B.M. Weedy, “Prediction Of Ret Currents And Losses in Underwater Single-Core Armoured Ac Cables With Large Spacings”, Electric Power Systems Research, Vol.10, No.1, Ocak, 1986.
- [23] 11kV Cable Protection For Underground Mv-Hv Cable Trench. Tapetile Cable Covers. Thorne Derrick International Company. Newcastle, England. [Online].<https://www.powerandcables.com/product/cable-protection/tapetile-cable-covers>, (Ziyaret Tarihi: 9 Mayıs 2018).
- [24] Detection And Locating, Measuring Equipment Water Leak Detector, Cable And Pipe Locators. Tecnoac Location and Detection Company,

Russia.[Online]. <https://www.technoac.com/cable-fault-location-equipment>,
(Ziyaret Tarihi: 18 Mayıs 2018).

[25] İ. Gümüş, “Elektrik Enerjisi İletiminde Alüminyum”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayın Organı, Ankara, 1985, 84-91.

[26] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Yeraltı Kablolarının Tesisi, Başlıklarının Ve Eklerinin Yapılışı”, Ankara, 2017.

[27] MEB Hayat Boyu Öğrenme Programı, “Elektrik Tesisatlarının Muayenesi Ve Şebekeye Bağlanması”, 3. Sınıf Elektrik Tesisatçılığı Elektrik Tesisat Bilgisi, Ankara, 2017.

[28] Kablo Damar Ve Dış Kılıf Renkleri, EMO Ekler. [Online]. www.emo.org.tr/ekler/c8fdb29501a6289_ek.doc?tipi=34, (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2018).

[29] K. Değirmencioğlu, “Elektrik Enerjisi Hava İletim Hatlarında Buz Ve Rüzgar Yüklerinin İncelenmesi”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Haber Bülteni, Sayı:3, Ankara, 2009.

[30] TMMOB, “Elektromanyetik Alanların Etkileri”, Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 2010.

[31] Z. D. Yakıncı, “Elektromanyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 2. Sayı, Malatya, 2016.

[32] Y. Atakan, “Trafo Ve Yüksek Gerilim Hatlarının Yayıdığı Elektromanyetik Dalgaların Sağlığa Etkisi Nedir?”, Cumhuriyet Bilim Ve Teknoloji Dergisi, Ankara, 2011.

- [33] A. Türkkan, “Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri”, F. Özsan Matbaacılık, Bursa, 2012, 11-21.
- [34] D. Elhasoğlu, K. Kıymaç, “Elektromanyetik Kirliliğin Zararlı Etkileri”, Fizik Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüleri, Adana, 2006.
- [35] S. Düzgün, “Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığı Üzerindeki Zararlı Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
- [36] Ahlbom, N. Day, M. Feychting, E. Roman, J. Skinner, J. Dockerty, M. Linet, M. Mcbride, J. Michaelis, J.H. Olsen, T. Tynes, P.K. Verkasalo, “A Pooled Analysis Of Magnetic Fields And Childhood Leukaemia”, British Journal Of Cancer Institution, London, 2000, 83(5), 692–698.
- [37] M. Kabuto H. Nitta, S. Yamamoto, N. Yamaguchi, S. Akiba, Y. Honda, J. Hagihara, K. Isaka, T. Saito, “Magnetic Fields İn Japan: A Case-Control Study Of Childhood Leukemia And Residential Power-Frequency Magnetic Fields İn Japan”, International Journal of Cancer, Germany, 2006, 119(3), 643-50.
- [38] J. Schüz, J.P. Grigat, K. Brinkmann, J. Michaelis, “Residential Magnetic Fields As A Risk Factor For Childhood Acute Leukaemia: Results From A German Population-Based Case-Control Study”, International Journal of Cancer, Germany, 2001, 91(5), 728-735.
- [39] M.D. Sivadasan, J. Joshy, “Childhood Cancer And Residential Proximity To Power Lines”, British Journal Of Cancer Institution, London, 2000, 83(11), 1573-1580.

- [40] G. Draper, T. Vincent, M.E. Kroll, J. Swanson, "Childhood Cancer In Relation To Distance From High Voltage Power Lines In England And Wales: A Case-Control Study", The BMJ Academic Journal, USA, 2005, 330:1290-1295.
- [41] A.A. Feizi, M.A. Arabi, "Acute Childhood Leukemias And Exposure To Magnetic Fields Generated By High Voltage Overhead Power Lines-A Risk Factor In Iran", Asian Pac J Cancer Prev, İran, 2007, 8(1):69-72.
- [42] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni, "Yerleşim Bölgelerinden Geçen Yüksek Gerilim Hatlarının Etkileri," İstanbul, Şubat 2016, 35-36.
- [43] Asghal Public Works Authority, "Technical Briefing Note Cable Management For Underpasses & Tunnels". [Online]. <http://www.ashghal.gov.qa/en/Services/Lists/ServicesLibrary/Technical%20Briefing%20Memo%20Cable%20Management%20for%20Underpasses%20and%20Tunnels.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2018).
- [44] M. Karahan, H. Selçuk Varol, Ö. Kalenderli, "Hava ve Su Ortamında Yer Alan Alçak Gerilim Güç Kablolarında Akım-Sıcaklık İlişisinin İncelenmesi", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2010.
- [45] Ş. Tosun, "Kuvvetli Akım Yeraltı Kablolarında Arıza Veri Tespiti", TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayın Organı, UDK : 621.311.1: 621, İstanbul, 1967.
- [46] Breakthrough For World's First Variable Density Tunnel Boring Machine, The Star Online Internet Gazetesi. Kuala Lumpur. [Online].

<https://www.thestar.com.my/news/nation/2014/01/09/tbmbreakthrough/#ixy mesmugftytwz3.99>, (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2018).

[47] M. Çınar, C. Feridunoğlu, “Tünel Açma Makineleri (TBM)”, TMMOB - Türkiye Maden Mühendisleri Odası, [Online]. http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/41dd99a69df0404_ek.pdf, (Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2018).

[48] M. Spancer, “Tünel Delme Makinesi Kullanıcı Rehberi”, Londra, 2012.

[49] Hes Kablo, Kablo Kataloğu, 1.Baskı, Sayfa 56-94, Kayseri, 2018.

[50] S. Mockford, M. Dunk, “Cable Tunnel Design Manual”, EDS 02-0041 Version:4.1.[Online].https://library.ukpowernetworks.co.uk/library/en/g81/Design_and_Planning/Cables/EDS+020041+Cable+Tunnel+Design+Manual.pdf.(Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2018).

[51] J. Zhao. Srmeg, “Tunnel Boring Machines”, SRMEG-NCUS Seminar, Rock Mechanics & Tunnelling, Singapur, 2012.

[52] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, “Yangın Algılama Ve İhbar Sistemlerinin Bağlantıları ve Montajı,” Ankara, 2012.

[53] Yangın Algılama Çözümleri, AE Bina Teknolojileri. Honeywell, Ankara. [Online].<http://www.ae.com.tr/file/Honeywell%20Intelligent%20Fire%20detection%20and%20life%20safety%20Management.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 8 Mayıs 2018).

[54] A. R. Ergun, “Yeraltı Maden İşletmelerinde Gaz Ve Toz Patlamaları Ve Önlemler”, T.C. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 2007.

- [55] EGE Proses Endüstriyel Otomasyon Sistemleri, İstanbul, [Online].
<http://egeprosesend.com.tr/urun/ejb08-serisi-ex-proof-acil-durum-ve-sinyal-armaturleri>, (Ziyaret Tarihi: 3 Mayıs 2018).
- [56] “London Cable Tunnels”, The National Grid, London.[Online].
<https://www.nationalgrid.com/uk/investment-and-innovation/new-essential-infrastructure/london-power-tunnels>, (Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2018).
- [57] L. Chia, “Singapore's Deepest Cable Tunnel System To Transmit Electricity From End 2018”, Channel New Asia Newspaper, Singapur.[Online].
<https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/singapore-s-deepest-cable-tunnel-system-to-transmit-electricity-9510330>