



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ALÇAK GERİLİM HAVAI ELEKTRİK
DAĞITIM HATLARINDA ÇIPLAK VE
İZOLELİ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN
TASARIMI VE İZOLELİ ALÜMİNYUM
İLETKENİN UYGULAMASI

HASAN HÜSEYİN BUĞDAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hasan Hüseyin BUĞDAY tarafından hazırlanan “Alçak Gerilim Havai Elektrik Dağıtım Hatlarında Çıplak ve İzoleli Alüminyum İletkenlerin Tasarımı ve İzoleli Alüminyum İletkenin Uygulaması” adlı tez çalışması 15/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Bahadır AKBAL
(Aksaray Üniversitesi)

Danışman

Prof.Dr. Levent SEYFİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Halil ÇİMEN
(Konya Teknik Üniversitesi)

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

HASAN HÜSEYİN BUĞDAY

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALÇAK GERİLİM HAVAI ELEKTRİK DAĞITIM HATLARINDA ÇIPLAK VE İZOLELİ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN TASARIMI VE İZOLELİ ALÜMİNYUM İLETKENİN UYGULAMASI

HASAN HÜSEYİN BUĞDAY

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Levent SEYFİ

2025, 106 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Levent SEYFİ
Prof.Dr. Bahadır AKBAL
Dr.Öğr.Üyesi Halil ÇİMEN

Bu çalışma, alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında çıplak ve izoleli alüminyum iletkenlerin tasarımı ve izoleli alüminyum iletkenin uygulamasını göstermek için yapılmıştır. Araştırma Konya ili Ahırılı ilçesi Büyüköz mahallesinde bulunan dağıtım trafosunun b kolu referans alınarak hazırlanmıştır.

Referans alınan trafo kolunun mevcut durumu gösterilmiş olup mevcut hat üzerinde çıplak ve izoleli (yalıtılmış) alüminyum iletkenlerin tasarımları yapılmıştır. Tasarımda güç yoğunluğu yöntemi kullanılmıştır. Aynı zamanda bu iletkenlerin karşılaştırmalı olarak ekonomik, teknik ve güvenlik analizleri verilmiştir.

Sonuç olarak çıplak alüminyum iletkenlerin, izoleli alüminyum iletkenlere nazaran olumsuzluklarının daha çok olduğu görülse de çıplak ve izoleli alüminyum iletkenler tüm yönleriyle değerlendirilmiştir. Bu çalışma elektrik dağıtım tesisleri için ayrılan büyük yatırım bütçelerinin doğru yönlendirilmesinde önemli bir yere sahip olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Alçak Gerilim, Alüminyum, Analiz, Elektrik, Havai Hat, İletken, Tasarım

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN OF BARE – INSULATED ALUMINUM CONDUCTORS IN LOW VOLTAGE AERIAL ELECTRICITY DISTRIBUTION LINES AND APPLICATION OF INSULATED ALUMINUM CONDUCTOR

Hasan Hüseyin BUĞDAY

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Levent SEYFİ

2025, 106 Pages

Jury

**Prof.Dr. Levent SEYFİ
Prof.Dr. Bahadır AKBAL
Asst.Prof.Dr. Halil ÇİMEN**

This study was conducted to demonstrate the design of bare and insulated aluminum conductors and the application of insulated aluminum conductors in low voltage overhead power distribution lines. The research was prepared by taking the branch b of the distribution transformer located in Büyüköz neighborhood of Ahırlı district of Konya province as reference.

The current status of the referenced transformer branch is shown and the designs of bare and insulated aluminum conductors on the existing line are made. The power density method is used in the design. At the same time, comparative economic, technical and safety analyzes of these conductors are given.

As a result, although it is seen that bare aluminum conductors have more disadvantages than insulated aluminum conductors, bare and insulated aluminum conductors have been evaluated in all their aspects. This study will have an important place in the correct direction of the large investment budgets allocated for electricity distribution facilities.

Keywords: Low Voltage, Aluminum, Analysis, Electrical, Overhead Line, Conductor, Design.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında ve hayata geçirilme sürecinde başta manevi desteklerini esirgemeyen, hoşgörüsünden, elinden gelen her türlü desteği sağlayan, beni cesaretlendiren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım değerli danışmanım; Sn. Prof. Dr. Levent SEYFİ 'ye en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca hayatım boyunca yanımda duran, beni en güzel şekilde yetiştirmeye çalışan, dualarını eksik etmeyen ve bana hep güzel örnek olan sevgili annem Ayşe BUĞDAY'a ve babam Mustafa BUĞDAY'a desteklerinden dolayı sonsuz şükranlarımı sunarım.

Son olarak her zaman yanımda duran, çalışmalarımnda desteklerini esirgemeyen ve bana olan inançlarını hiçbir zaman kaybetmeyen, anlayışlarından ve yapmış oldukları tüm fedakarlıklarından ötürü kıymetli eşim Sebiha BUĞDAY'a ve göz aydınlığım; canım kızlarım Aişe Yüstra BUĞDAY ve Amine Şura BUĞDAY'a çok teşekkür ederim. İyi ki varsınız.

Hasan Hüseyin BUĞDAY
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER.....	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÜRETİMİ, İLETİMİ VE DAĞITIMI	7
3.1. Elektrik Enerjisi Üretimi.....	7
3.2. Elektrik Enerjisi İletimi	9
3.2.1. Türkiye'deki enterkonneksiyon hatları	14
3.2.1.1 Türkiye-Bulgaristan	14
3.2.1.2 Türkiye-Yunanistan	15
3.2.1.3 Türkiye-Gürcistan	16
3.2.1.4 Türkiye-Azerbaycan (Nahçıvan)	16
3.2.1.5 Türkiye-İran	17
3.2.1.6 Türkiye-İrak	18
3.2.1.7 Türkiye-Suriye	19
3.2.1.8 Türkiye-Ermenistan	21
3.3. Elektrik Enerjisi Dağıtımı	21
3.3.1. Dallı şebekeler	23
3.3.2. Ring şebekeler.....	24
3.3.3. Ağ şebekeler	25
3.3.4. Alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan direkler	27
3.3.4.1 Ağaç direkler.....	27
3.3.4.2 Demir direkler	29
3.3.4.2.1 A-tipi demir direkler	31
3.3.4.2.2 Kafes demir direkler	33
3.3.4.2.3 AG demir direklerinin tepe kuvvetleri	35
3.3.4.3 Beton direkler	36
3.3.5. Alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan izolatörler	41
3.3.5.1 Çıplak iletkenlerde kullanılan izolatörler (pin tipi izolatör)	41
3.3.5.2 İzoleli iletkenlerde kullanılan izolatör (makara izolatörü)	43
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	47

4.1. Türkiye’de Mevcut Dağıtım Sistemi Gerilimleri.....	47
4.2. Yük Tahmini	47
4.2.1 Nüfusa göre güç yoğunluğu tayini.....	48
4.3. İletken Tasarımlarının Kesit Hesabı	48
4.4. İletkenlerin Karşılaştırmalı Analizleri	49
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	50
5.1. İletken Tasarımları	57
5.1.1. Çıplak alüminyum iletken tasarımı	58
5.1.2. İzoleli alüminyum iletken tasarımı	67
5.2. Ekonomik Analiz	75
5.2.1. Mevcut direklerin tepe kuvveti hesabı.....	78
5.2.2. Çıplak alüminyum iletkenin ekonomik analizi	84
5.2.3. İzoleli alüminyum iletkenin ekonomik analizi	84
5.3. Teknik Analiz	85
5.3.1. Çekme kuvvetleri (hat cerleri)	85
5.3.2. Akım taşıma kapasiteleri	86
5.3.3. Düşey emniyet ve küçük aralıklı hava hattı mesafeleri	87
5.3.4. Montaj süresi.....	88
5.4. Güvenlik Analizi.....	89
5.5. İzoleli Alüminyum İletkeninin Uygulaması	89
6. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	91
EKLER	93

SİMGELER

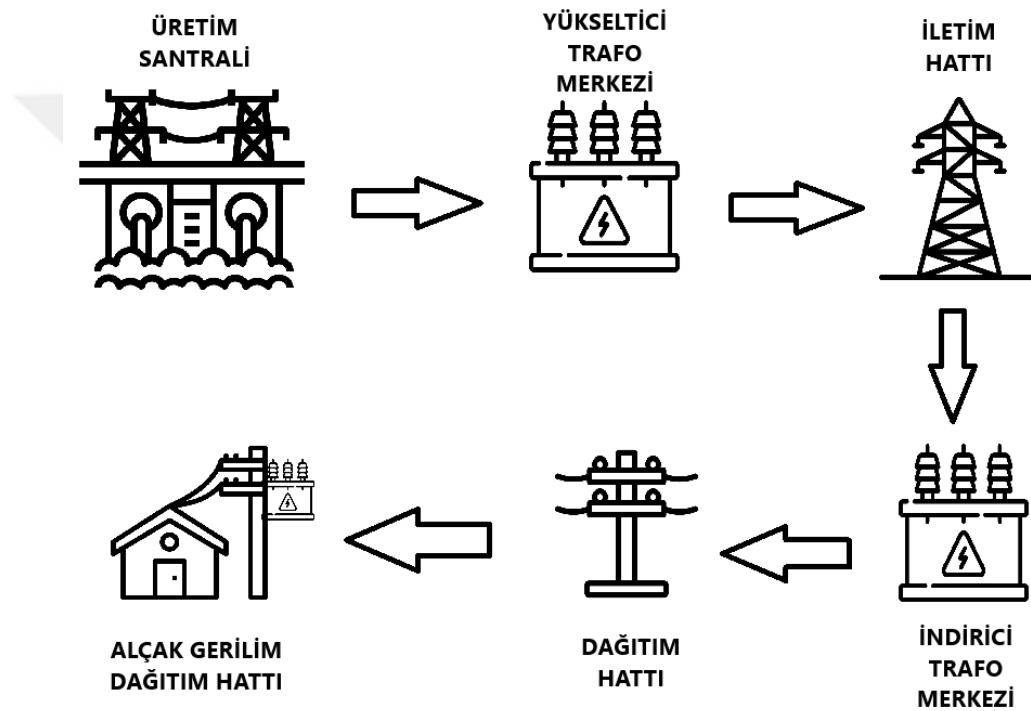
λ	: Eşdeğer Uzunluk
γ	: Öziletkenlik
ΔU	: Gerilim Düşümü (3 Fazlı)
ΔV	: Gerilim Düşümü (1 Fazlı)
l	: Uzunluk
J	: Güç Yoğunluğu
$f(\varphi)$	: Fi
A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
HP	: Beygir Gücü
M	: Moment
m	: Metre
mm^2	: Milimetrekare
MVA	: Megavoltamper
MW	: Megavat
Km	: Kilometre
Kv	: Kilovolt
kVA	: Kilovoltamper
kW	: Kilovat
V	: Volt
q	: Kesit
W/m	: Vat/Metre
W	: Vat
ε	: Yüzde gerilim düşümü.
ΔU^G	: Üç faz gerçek gerilim düşümü.
ΔU_{AB}^G	: (AB) arasındaki üç faz gerçek gerilim düşümü.

KISALTMALAR

Ad.	: Adet
AER	: Askı Telli, Demet Biçimli, Yalıtılmış Alüminyum İletkenli, Hava Hattı
AG	: Alçak Gerilim
ALPEK	: Askı Telli, Demet Biçimli, Yalıtılmış Alüminyum İletkenli, Hava Hattı
ark.	: Arkadaşları
AWG	: American Wire Gauge (Amerikan iletken ölçü birimi)
B	: Branşman, Ayırım
Br.	: Birim
D	: Durdurucu
GER.	: Gerilim
KD	: Köşede Durdurucu
Km	: Kilometre
KT	: Köşede Taşıyıcı
Malz.	: Malzeme
MCM	: AWG iletkenler daha da büyüdükçe artık MCM eki ile isimlendirilirler.
MEB	: Millî Eğitim Bakanlığı
Mont.	: Montaj
N	: Nihayet
Nf	: Nüfus
OG	: Orta gerilim
Ort.	: Ortalama
T	: Taşıyıcı
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEV	: Tevzi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
Top.	: Toplam
TR	: Trafo
TS	: Türk Standartları
vb.	: Ve Benzeri

1. GİRİŞ

Bir toplumun kalkınmışlık düzeyinin enerji üretimi ve tüketimi ile ölçüldüğü günümüzde ekonomik, kaliteli ve işlevsel enerjinin üretimi oldukça önemlidir. (Turgut ve Selçuk, 2023) Günümüz toplumlarında kişisel hayatın devamlılığı, tarım, ticaret, sanayi, teknoloji, sağlık gibi birçok sektörde elektrik enerjisi hayati önem taşır. Elektrik enerjisinin üretiminden son tüketiciye kadar ulaşmasında elektrik dağıtım sistemleri kritik bir rol oynamaktadır. Şekil 1.1’de elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreci gösterilmiştir.

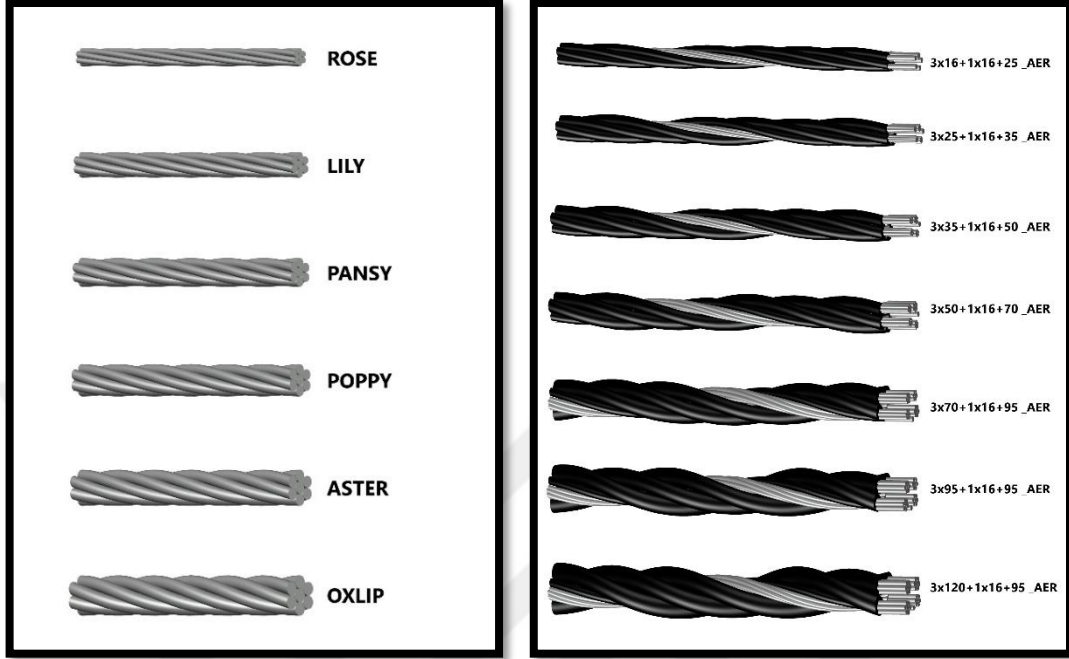


Şekil 1.1. Elektrik üretim, iletim ve dağıtım süreci.

Hızla gelişen teknolojiyle birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Mevcut elektrik dağıtım alt yapısı bu ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Her yıl mevcut hatların geliştirilmesi ve yeni alt yapı tesislerinin inşası için bütçe ayrılmaktadır. Yeni hatların uzun ömürlü olacak şekilde, teknolojik gelişmeler göz önünde bulundurularak tesis edilmesi gerekmektedir.

Elektrik iletiminde genel olarak kullanılan malzemelerden bir tanesi alüminyumdur. Alüminyum iletkenler yüksek elektrik iletkenliği, düşük maliyeti ve bunların yanında hafif olması da göz önünde bulundurulduğunda havai elektrik dağıtım hatlarında çoğunlukla tercih edilen bir materyal olup güvenle kullanılmaktadır.

Alüminyum iletkenlerin alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan çıplak ve izoleli formda iki farklı türü bulunmaktadır. Şekil 1.2’de çıplak ve izoleli alüminyum iletkenler gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Çıplak ve izoleli alüminyum iletkenler

Çıplak alüminyum iletkenler, düşük maliyetli olmaları ve yapım aşamasında hızlı kurulum olanağı sağlamaları sebebiyle genellikle açık hava hatlarında kullanılır. Her ne kadar ekonomik ve pratik olsa da çıplak alüminyum iletkenlerin çevresel faktörlerden daha fazla etkilenebilir olması güvenlik açısından zafiyet oluşturabilir. Yoğun kış şartlarına maruz kalan bölgelerde elektrik dağıtım hatlarında özellikle çıplak alüminyum iletkenler için buz yükü önemli bir sorun ve arıza kaynağıdır. Buz yükü yüksek bölgelerde çıplak iletkenler birbirlerine dolaşarak kısa devreye sebep olurlar. Sisli havalarda iletkenler buz kütlelerine dönüşüp direkler üzerinde fazla baskı yaparak direklerin yıkılmasına, kırılmasına veya koparak enerji kesintilerine neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra çıplak iletkenlerin rüzgârlı havalarda birbirlerine dolaşarak kısa devreye sebep olma ve ağaçlarla temas ederek yangın çıkarma ihtimalleri de çok yüksektir. Çıplak iletkenler her türlü canlı için çarpılmalara sebep olabilmektedir.

İzoleli alüminyum iletkenler ise özellikle güvenliğin ve estetik görünümünün daha çok önemsendiği tüketici yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde tercih edilmektedir. İzoleli alüminyum iletkenlerin çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi, ortaya çıkabilecek

zararları en aza indirerek hem bakım maliyetlerinin azalmasına hem de hattın ömrünün daha uzun olmasına olanak sağlar. Son yıllarda bu etmenler sebebiyle, daha önce sadece yol atlamalarında kullanılan izoleli alüminyum havai iletkenler şebekelerde de kullanılmaya başlanmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında çıplak ve izoleli alüminyum iletkenlerin tasarım argümanlarının teknik açıdan incelenmesi, kullanım bakımından karşılaştırmalı analizlerinin yapılması ve izoleli alüminyum iletkenlerin sahada uygulanarak sonuçlarının paylaşılmasıdır.

Yapılacak olan yatırımların uzun soluklu olması ve ülke ekonomisine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zhichun, ve ark. (2020) alçak gerilim dağıtım ağının (dağıtım istasyonu alanı) tanımını yaparak, kullanıcılara doğrudan hizmet veren dağıtım sisteminin son halkası olduğunu söylemişlerdir.

Nemati, ve ark. (2018) çalışmalarında elektrik dağıtım ağlarının; güç iletim hatları, transformatörler, elektrik direkleri vb. içerdiği, güç dağıtım sisteminin güvenilirliğinin güç kablolarının performansına bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Trpezanovski ve Markoski (2008) 1880'lerin başında bakırın, elektriği iletmek için kullanılan ilk metal olduğunu, 19. yüzyılın sonundan önce alüminyumun, iletim ve dağıtım iletkenleri için metal olarak bakırın yerini almaya başladığını dile getirmiştir.

Ayrıca, Trpezanovski ve Markoski (2008) yaptıkları çalışmada alüminyumun, bakırın iki katı iletkenlik/ağırlık oranına sahip olduğunu ve mukavemet/ağırlık oranı bakırdan %30 daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Alüminyum fiyatının bakırdan daha düşük olduğu göz önüne alındığında, 1900'lerin başlarında alüminyum iletkenlerin yaygın olarak kullanıldığı ve havai hat uygulamalarında bakırın yerini tamamen aldığı belirtilmiştir.

Thrash (2003) alüminyum iletkenlerin kullanıldığı ilk iletim hattının 1895 yılında Kaliforniya'da inşa edildiğini belirtmiştir.

Shah ve Gokhale (2017) yaptıkları çalışmada tüm iletim ve/veya dağıtım hatlarının tasarlandığı benzersiz bir sürecin olmadığı ve bununla birlikte, hat tasarımının tüm ana maliyet bileşenlerinin elektrik iletkenlerine ve mekanik parametrelere bağlı olduğunu açıklamıştır.

Slegers (2011) tüm çıplak alüminyum iletkenlerin 90-100°C çalışma sıcaklıklarıyla sınırlı olduğunu ve bu sınırın üzerinde, alüminyum iletkenlerin sertleşmeye ve gücünü kaybetmeye başlayacaklarını, genellikle bu kablolarla iletim hatları sarkmalarını sınırlandırmak için 60-75°C altında çalışacak şekilde tasarlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Rawlins (1986) çalışmasında alçak gerilim dağıtım hatlarında kullanılan çıplak iletkenler rüzgâr ve fırtınalı hava koşullarında titreşim yaptıkları, tam alüminyum iletkenlerin diğer iletkenlere göre titreşimi daha az kendi kendine sönmülediklerini söylemiştir.

Dulhunty (2013) elektrik dağıtım şirketlerinin havai hatlar için daha iyi bir titreşim sönümleme çözümü sağlamak, yıkıcı arızaları ve yangınları önlemek amacıyla çalışma yapmıştır.

Shahid ve ark. (2020) havai enerji nakil hatlarının, elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan kritik bir altyapı olduğunu belirtmişlerdir.

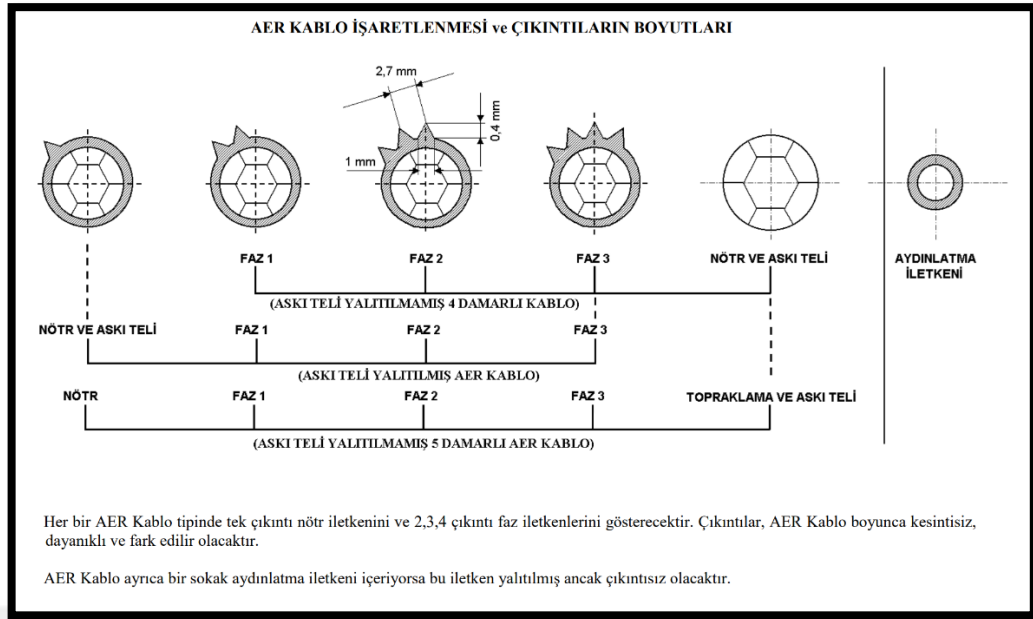
Wareing (2005) çalışmasında birçok Avrupa, Afrika, Avustralya, Kuzey ve Güney Amerika ülkelerinde yalıtılmış iletkenlerin çıplak tellere tercih edilmekte olduğunu gözlemlemiştir.

Anonim, (2004) alçak gerilim kablolarının 1kV AC nominal gerilime sahip olduğu tanımlanmıştır.

Vujičić ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada yalıtımlı havai hatların artık alçak gerilim şebekesinde yaygın olarak kullanılmakta olduğunu söylemişlerdir. Bunun nedeninin ise:

- Yalıtımsız hatlara göre ekonomik ve teknik düzenin çeşitli avantajları olduğunu,
- Daha fazla güvenlik,
- Daha düşük gerilim düşümü,
- Ağaçlık alanlarda yangın riskinin azaltılması,
- Daha düşük direk yüksekliği,
- Kentsel alanlarda direk kullanımından kaçınmak için gerekirse binaların cephe duvarlarında sabitleme noktaları kullanma imkânı,
- Daha kolay ve daha güvenli bakım gibi etmenler olduğunu vurgulamışlardır.

Williamson ve ark. (1988) tarafından yapılan çalışmada yalıtılmış iletkenlerin askı telli çelik veya alüminyum alaşımlı katener ile ve bunlar olmadan birbirine bükülmüş iki, üç veya dört, ayrı ayrı yalıtılmış (Şekil 2.1) iletkenlerden oluştuğundan bahsedilmektedir.



Şekil 2.1. Kablo işaretlenmesi ve çıkıntılarının boyutları (Anonim, 2022)

Birtwhistle ve ark. (1995) yalıtılmış iletken sistemlerinin mekanik mukavemetinin, kablo çekirdeğinin sıcaklığından etkilenen kablo yalıtımının özellikleriyle ilişkili olduğunu yaptıkları çalışmada göstermiş, kablo çekirdeklerine nem girişini ciddi bir sorun olarak tanımlamışlardır.

Salvia (2006) havai hatlarda hırsızlık önleme sistemi için teknolojik bileşenler adında bir çalışma yapmış ve bu teknolojik bileşenlerin içinde yalıtılmış iletkenleri de göstermiştir.

Morgan (1991) yalıtılmış kablolarda çapraz bağlı polietilen izolasyonun ısı iletkenliği konusunda yapmış olduğu araştırmada tek damarlı, üç damarlı ve dört damarlı alçak gerilim kablolarının ortalama sıcaklık ve rüzgâr hızı ile ısı iletkenlik değişimini gözlemlemiş ve kabloların ısı iletkenliği için 0,40 değerinin alınmasını önermiştir.

3. ELEKTRİK ENERJİSİNİN ÜRETİMİ, İLETİMİ VE DAĞITIMI

Enerji soyut bir kavramdır. Bir ortamda enerjinin var olduğu sistemdeki etkileri üzerinden anlaşılabilir. Örneğin bir miktar su ısıtıldığında suyun sıcaklığının artıyor olması veya ucundan çekilen bir yayın uzaması yani şeklinin değişmesi. Sıkıştırılmış yayın önüne bir top koyup yayı serbest bırakırsak yay, topu hareket ettirir. Yayın topu hareket ettirmesi, yayda bir enerjinin varlığını gösterir. Bu enerji, yayı sıkıştıran kuvvet etkisiyle yayda depo edilen potansiyel enerjidir. Bu örnekte enerji iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bir cismin enerjisi varsa iş yapılması söz konusu olabilecek veya bir iş yapılacaksa bunun için bir enerji ile yapılacaktır (Turgut ve Selçuk, 2023).

Tarih boyunca insanoğlu farklı enerji türlerini kullanmıştır. Elektrik enerjisi keşfedilip kullanılmaya başlanmasını müteakip en çok kullanılan enerji türü haline gelmiştir (Peşint, 1995).

3.1. Elektrik Enerjisi Üretimi

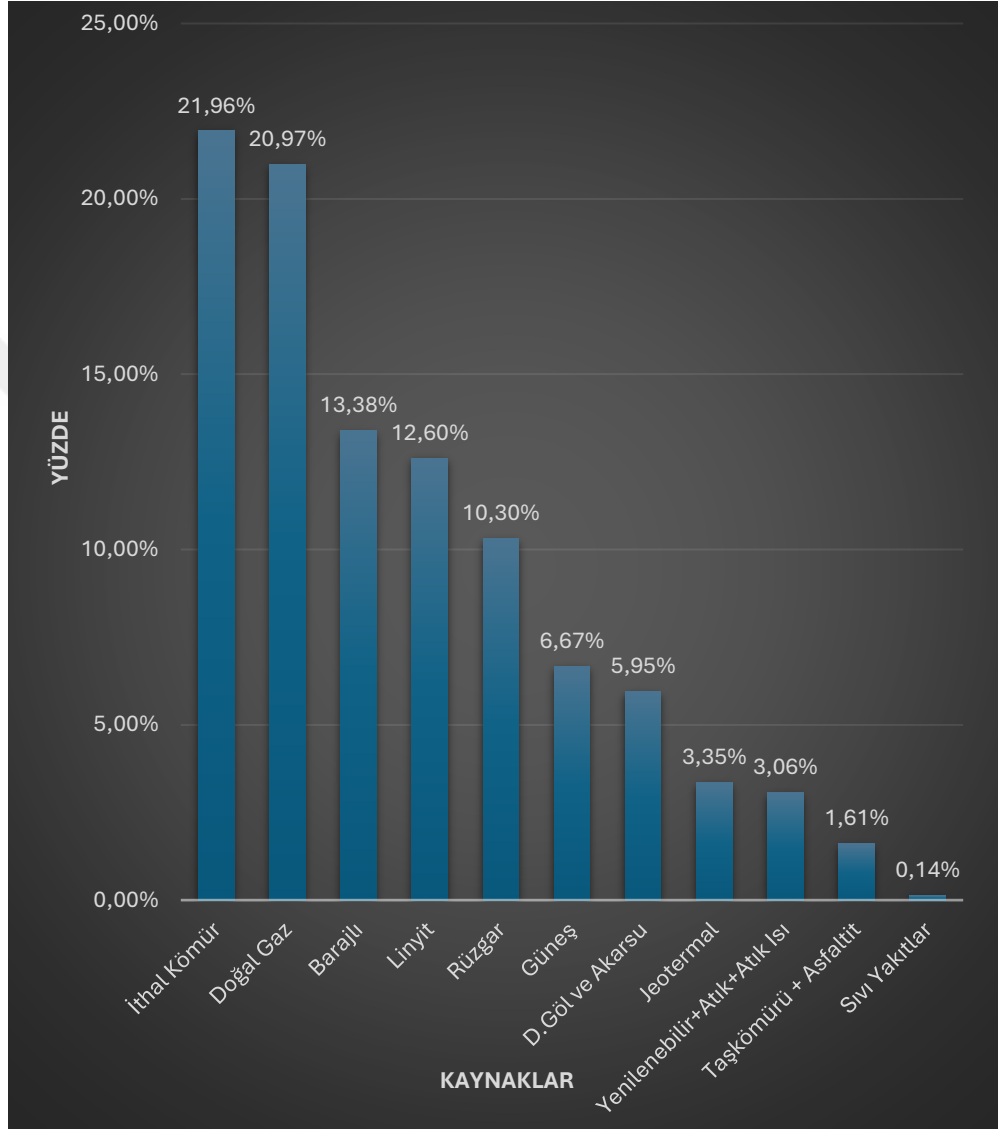
Genel olarak elektrik enerjisinin üretimi için mekanik enerjinin dönüştürülmesi söz konusu olmaktadır. Elektrik enerjisi üretim santrallerinin isimleri kullanılan kaynakların türüne göre belirlenmektedir. Bunlar:

- Hidroelektrik Santrali
- Termik Santrali
- Nükleer Santrali
- Doğalgazlı Kombi Çevrim Santrali
- Jeotermal Santrali
- Rüzgâr Santrali
- Güneş Enerji Santrali
- Gel-Git (Med-Cezir) Santrali

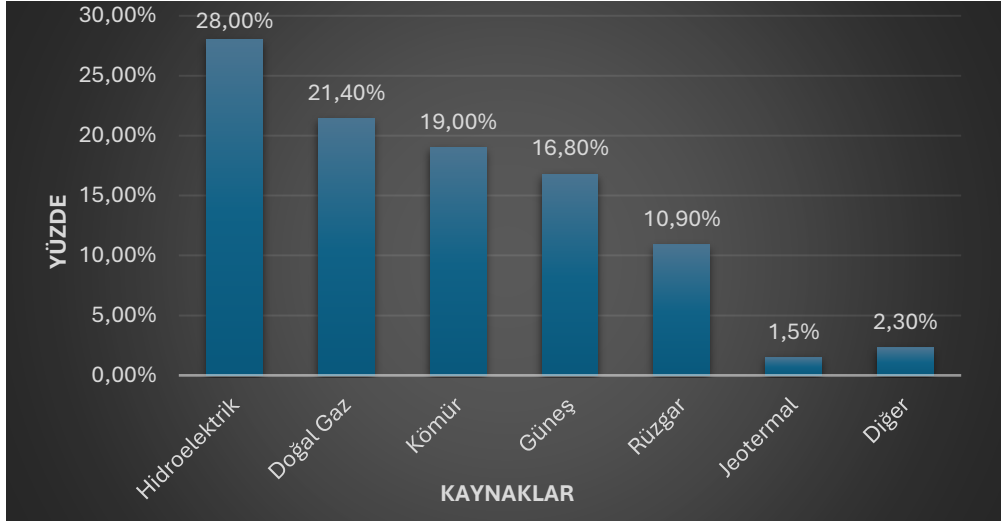
şeklinde gruplandırılabilir. (Turgut ve Selçuk, 2023)

Elektrik üretimi doğru akım veya alternatif akım olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak alternatif akımın yüksek güçlü tesislerde üretilebilmesi ve alternatif akım tesislerinin sağlam ve güvenilir oluşu nedeniyle alternatif akım üretimi yaygınlaşmıştır (Ürgüplü, 2008).

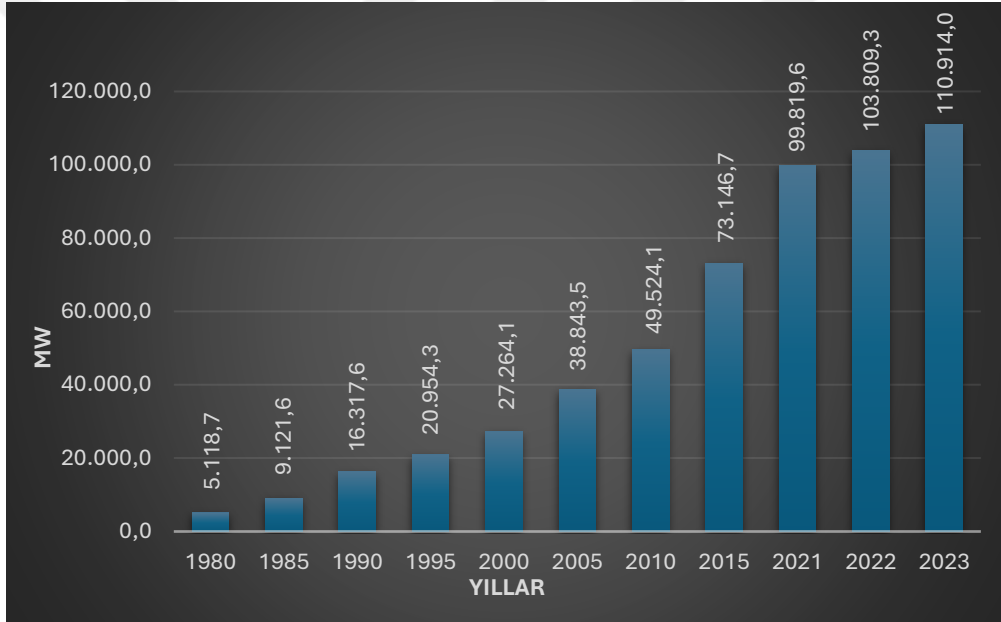
Şekil 3.1’de 2023 yılı sonu itibarıyla Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı, Şekil 3.2’de 2024 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı, Şekil 3.3’de ise Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarıyla gelişimi verilmiştir.



Şekil 3.1. 2023 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı (TEİAŞ, 2024)



Şekil 3.2. 2024 yılı Kasım ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı (ETKB, 2024)



Şekil 3.3. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarıyla gelişimi (TEİAŞ, 2024)

3.2. Elektrik Enerjisi İletimi

Elektrik enerjisinin ilk kullanıldığı zamanlarında doğru akım üretimi tercih edilmiştir. Düşük genlikte üretilen doğru akım elektrik enerjisinin üretim yerinin etrafında kullanım zorunluluğu bulunmaktaydı. Çünkü uzaklara iletilmesi söz konusu olduğunda yüksek iletim kayıpları söz konusu olacaktı (Turgut ve Selçuk, 2023).

Günümüzde kullanılan alternatif akım Elektrik enerjisi üretim santralleri tüketim yapılan bölgelerden uzaktadır. Bu nedenle elektrik enerjisinin iletimine ihtiyaç

bulunmaktadır. Artık günlük hayatımızda pek çok kullanım alanına sahip olan elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımının ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilmesi, enerji konusundaki en önemli problemlerden birisidir (Peşint, 1995).

Alternatif akımın tercihi zaman içerisinde trafoların geliştirilmesine ve elektrik enerjisinin daha ekonomik bir biçimde çok az kayıplarla taşınabilmesine imkân tanımıştır (Turgut ve Selçuk, 2023). Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında en büyük rol trafo olarak da isimlendirilen transformatörün keşfi olmuştur. Transformatör aracılığıyla elektrik enerjisinin iletiminde kolaylık sağlanmış. Böylece elektrik enerjisi daha çok kullanılabilir hale gelmiştir (Peşint, 1995). Alternatif akımın ilk iletiminin yapıldığı hatlar tek faz olmuştur ve çoğunlukla aydınlatmada kullanılmıştır. O zaman diliminde elektrik motorları henüz yeterince geliştirilmemiştir. 3 fazlı elektrik motorlarının kullanımı ile tek fazlı sistemden 3 fazlı sisteme geçiş sağlanmıştır (Turgut ve Selçuk, 2023).

19. yüzyılın sonlarına doğru Transformatör kullanılarak elektrik enerjisinin ilk iletimi Amerika’da yapılmış, üretilen elektrik enerjisi 500 volt genlikle 1600 metre mesafeye iletilmiştir. Aynı tarihlerde İtalya’da 110 kW’lık bir güç 2000 volt genlikle 27 km mesafeye iletilmiştir. 3 fazlı alternatif akım kullanılarak gerçekleştirilen ilk elektrik enerjisi iletimi ise 1891 yıllarında Almanya’da gerçekleştirilmiş, 150 kW’lık bir güç 15 kV’luk bir gerilimle 170 km mesafeye iletilmiştir (Peşint, 1995).

Türkiye’de ilk elektrik enerjisi iletimi 1902 yılında Tarsus’ta Değirmen miline bağlı bir jeneratör ile 2 kW’lık güç üretilmiş ve civar bölgeye iletilmiştir (Turgut ve Selçuk, 2023). Uzak mesafelere ilk elektrik enerjisi iletimi İstanbul’da 1914 yılında 13,4 kW gücünde Silahtarağa Termik Santrali ile gerçekleşmiştir. Tramvay ulaşımı, aydınlatma ve telefon şebekesi için kullanılan elektrik enerjisi bu santralden sağlanmıştır (TEDAŞ, 2024). Silahtarağa-Yedikule arasında 15 kV’luk elektrik enerjisi hattı kurulmuştur. Daha sonra 1929’da Trabzon’da 26 kV, 1940 yılında ise 33 kV ile İvriz-Ereğli arasında enerji iletim hatları kullanılmaya başlanmıştır. Enterkonnekte sisteme geçiş 1945 yılından itibaren gerçekleşmiştir. 1948 yılında kullanılmaya başlanan Çatalağzı Santrali’nde ilk defa yüksek gerilim iletim hattı kurulmuş ve elektrik enerjisi 66 kV olarak Ereğli-Çatalağzı arasında taşınmıştır (Turgut ve Selçuk, 2023).

Türkiye’deki iletim hatlarında çoğunlukla 154 kV ve 380 kV seviyeleri tercih edilmektedir (Çizelge 3.1). Nadiren 66 kV ve 220 kV iletim hatları da kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. 1979-2023 yılları arası Türkiye iletim hat uzunluklarının yıllık gelişimi (TEİAŞ, 2024)

YILLAR	380 kV (km)	220 kV (km)	154 kV (km)	66 kV (km)	TOPLAM
1979	2969,6	15,7	13338,3	138,6	16462,2
1980	2969,6	15,7	13794,1	138,6	16918,0
1981	2988,2	15,7	14396,5	138,6	17539,0
1982	3599,4	15,7	14975,2	138,6	18728,9
1983	3892,8	15,7	15645,8	138,6	19692,9
1984	4332,5	15,7	16923,6	138,6	21410,4
1985	4854,6	15,7	18184,3	138,6	23193,2
1986	5641,5	15,7	18683,5	138,6	24479,3
1987	6633,7	84,6	19216,9	138,6	26073,8
1988	7387,2	84,6	20435,1	138,6	28045,5
1989	7961,2	84,6	21494,6	138,6	29679,0
1990	8514,0	84,6	22440,1	138,6	31177,3
1991	9084,9	84,6	23545,6	138,6	32853,7
1992	9481,2	84,6	23882,7	138,6	33587,1
1993	10447,2	84,6	24363,3	138,6	35033,7
1994	10728,4	84,6	25124,6	138,6	36076,2
1995	11086,3	84,6	25141,5	138,6	36451,0
1996	11308,2	84,6	25266,3	138,6	36797,7
1997	11504,5	84,6	25589,2	138,6	37316,9
1998	11965,9	84,6	26587,4	138,6	38776,5
1999	12836,2	84,6	27505,3	138,6	40564,7
2000	13042,6	84,6	27936,8	138,6	41202,6
2001	13239,9	84,6	28096,8	138,6	41559,9
2002	13452,0	84,6	28554,9	138,6	42230,1
2003	13452,0	84,6	28554,9	138,6	42230,1
2004	13452,0	84,6	28554,9	138,6	42230,1
2005	13655,2	84,6	28687,3	138,6	42565,7
2006	14227,7	84,6	29114,8	138,6	43565,7
2007	14257,4	84,6	29441,0	138,6	43921,6
2008	14339,4	84,6	30147,9	138,6	44710,5
2009	14520,0	84,6	30905,6	138,6	45648,8
2010	15567,0	84,6	32258,0	138,6	48048,2
2011	16188,8	84,6	33197,5	138,6	49609,5
2012	16468,7	84,6	34108,3	138,6	50800,2
2013	17083,7	84,6	35104,2	138,6	52411,1
2014	18476,7	84,6	36684,0	138,6	55383,9
2015	19318,3	84,6	37974,2	138,6	57515,7
2016	21028,9	84,6	39014,5	138,6	60266,6
2017	22595,7	84,8	43495,0	109,7	66285,2
2018	23248,8	84,8	44760,5	109,7	68203,8
2019	23940,4	84,8	45899,4	109,5	70034,1
2020	24028,7	85,4	46874,3	109,5	71098,0
2021	24652,6	85,4	47520,5	119,5	72377,9
2022	25519,2	85,4	47910,3	119,5	73634,4
2023	25921,5	85,4	48315,2	119,5	74441,6

Çizelge 3.2’de 154 kV enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin tipleri ve kapasiteleri, Çizelge 3.3’de 380 kV enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin tipleri ve kapasiteleri, Çizelge 3.4’de 154 kV ve 380 kV enerji iletim hatlarında kullanılan direkler gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. 154 kV enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin tipleri ve kapasiteleri

TİP	Toplam İletken Alanı (mm ²)	MCM	Akım Taşıma Kapasitesi (A)***	Yazlık Kapasite (MVA)	Bahar/ Sonbahar Kapasite (MVA)	Termik Kapasite (MVA)
Hawk	281	477	496	110	180	132
Drake	468,4	795	683	153	250	182
Cardinal	547	954	765	171	280	204
2B Cardinal	2x547	2x954	2x765	342	560	408
Pheasant	726	1272	925	206	336	247

Çizelge 3.3. 380 kV enerji iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin tipleri ve kapasiteleri

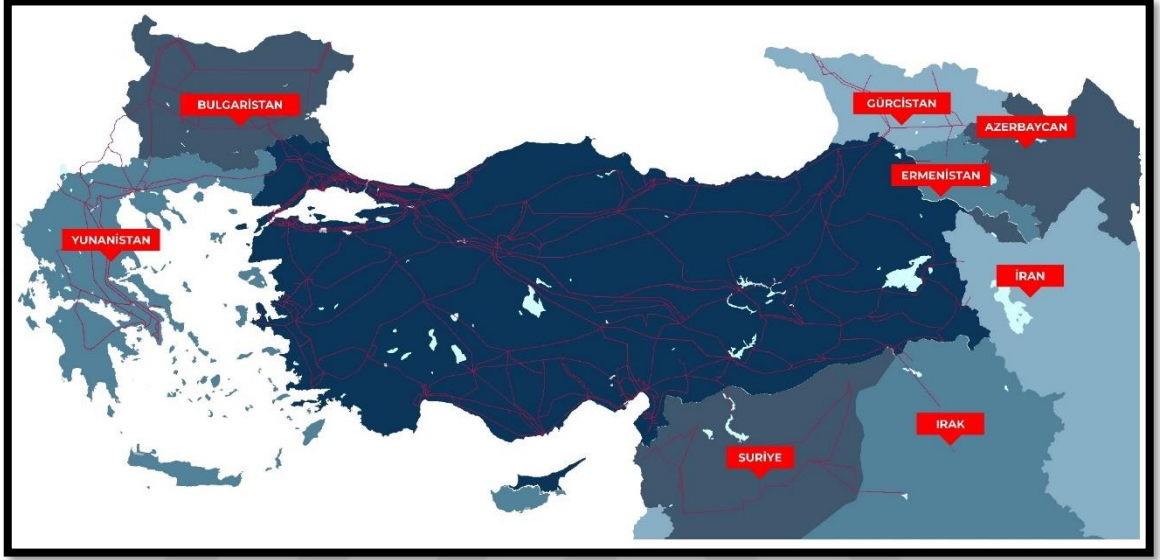
TİP	Toplam İletken Alanı (mm ²)	MCM	Akım Taşıma Kapasitesi (A)***	Yazlık Kapasite (MVA)*	Bahar/ Sonbahar Kapasite (MVA)**	Termik Kapasite (MVA)***
2B, Rail	2x517	2x954	2x755	832	1360	995
2B, Cardinal	2x547	2x954	2x765	845	1360	1005
3B, Cardinal	3x547	3x954	3x765	1268	2070	1510
3B, Pheasant	3x726	3x1272	3x925	1524	2480	1825

Çizelge 3.4. 154 kV ve 380 kV enerji iletim hatlarında kullanılan direkler

154 kV'LUK 477 MCM (HAWK) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE		ÇİFT DEVRE
A2		N1
B2		P1
C2		F1
D2		E1
154 kV'LUK 795 MCM (DRAKE) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE		ÇİFT DEVRE
AS		TA1
BS		RA1
CS		VA1
DT		ZA1
ET		
154 kV'LUK 954 MCM (CARDINAL) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE		ÇİFT DEVRE
AS		TA1
BS		RA1
CS		VA1
DT		ZA1
ET		
154 kV'LUK 1272 MCM (PHEASANT) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE		ÇİFT DEVRE
PA		2FA CP1
PB		2FB CP2
PC		2FD CP3
PD		2FN CP4
PE		
380 kV'LUK 3Bx954 MCM VE 2B x 954 MCM (CARDINAL) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE ÜÇLÜ DEMET	TEK DEVRE İKİLİ DEMET	ÇİFT DEVRE ÜÇLÜ DEMET
3A(3A1)	2A	S1
3B(3B1)	2B	S2
3C(3C1)	2C	S3
3D	D	T1
3E	E	T2
3F	F	T3
380 kV'LUK 3B x 1272 MCM (PHEASANT) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER		
TEK DEVRE		ÇİFT DEVRE ÜÇLÜ DEMET (2x3Bx954 MCM)
3PA		2PA
3PB		2PB
3PC		2PD
3PD		2PE
3PE		2PF
3PF		
380 kV'LUK 2027 mm2 AACSR (3B x 1272 MCM EŞ DEĞERİ) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN DİREKLER (TEK DEVRE 1272 MCM ÖZEL BÖLGE DİREKLERİ)		
PAH		
PCH		
PDH		
PEH		
154 kV (2x2Bx954 MCM) + 380 kV 3Bx954 MCM veya 380 kV 2x3Bx954 MCM (CARDINAL) İLETKENLİ E.İ. HATLARINDA KULLANILAN MÜŞTEREK (M TİPİ) KOMPAKT DİREKLER		
M1		
M2		
M3		

3.2.1. Türkiye’deki enterkonneksiyon hatları

Türkiye’deki enterkonneksiyon hatları Bulgaristan (2), Yunanistan, Gürcistan (2), Azerbaycan (Nahçıvan) (2), İran (2), Irak (2), Suriye (3) ve Ermenistan olmak üzere 15 adettir (TEİAŞ, 2024). Şekil 3.4’de Türkiye’deki enterkonneksiyon hatları gösterilmiştir.

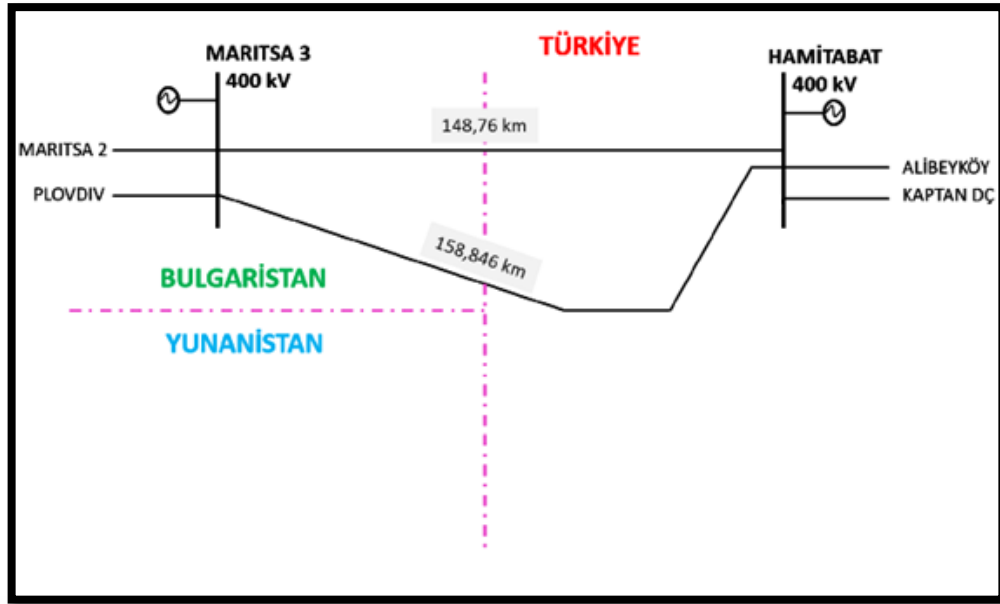


Şekil 3.4. Türkiye'deki enterkonneksiyon hatları (TEİAŞ, 2024)

3.2.1.1 Türkiye-Bulgaristan

400kV Hamitabat (Türkiye) – Maritsa East (Bulgaristan) arasında 2 adet enterkonneksiyon hattı bulunmaktadır.

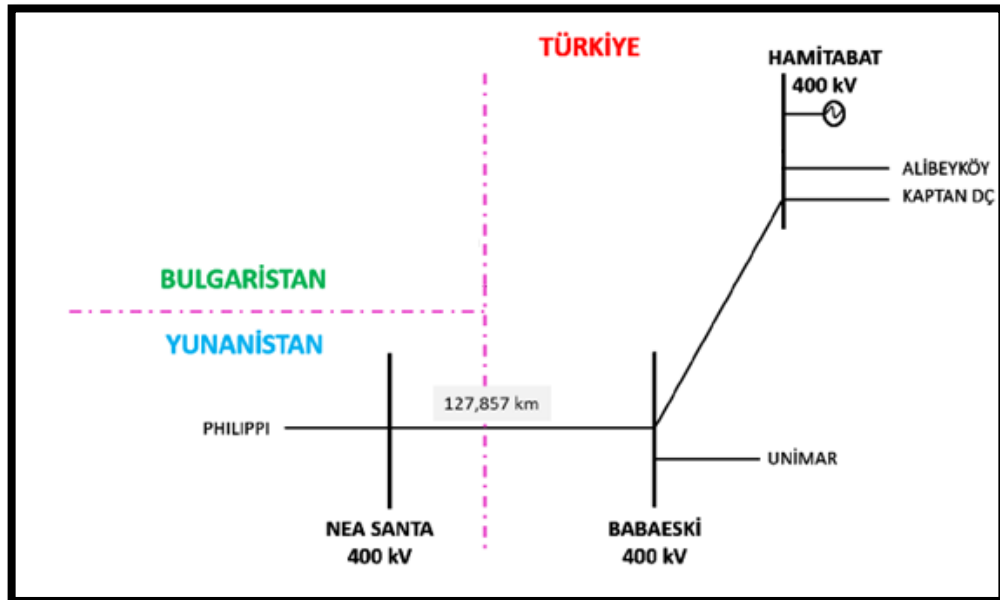
- I. Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 158,846 km, Türkiye tarafı 99,7 km, tek devre.
- II. Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 148,76 km, Türkiye tarafı 90,171 km, tek devre.



Şekil 3.5. Bulgaristan ve Yunanistan enterkonneksiyonu tek-hat şeması

3.2.1.2 Türkiye-Yunanistan

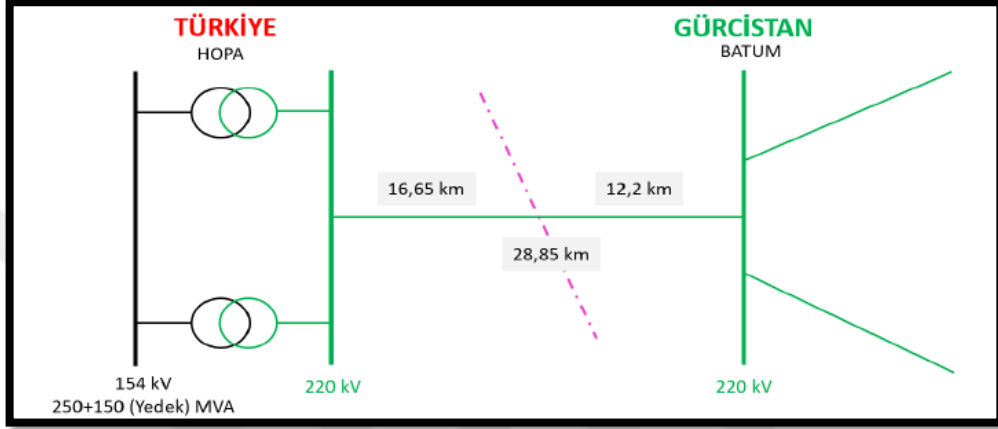
400 kV Babaeski(Türkiye) - Nea Santa(Yunanistan) arasında 1 adet enterkonneksiyon hattı bulunmaktadır. Hattın tamamı 158,846 km, Türkiye tarafı 99,7 km, tek devre.



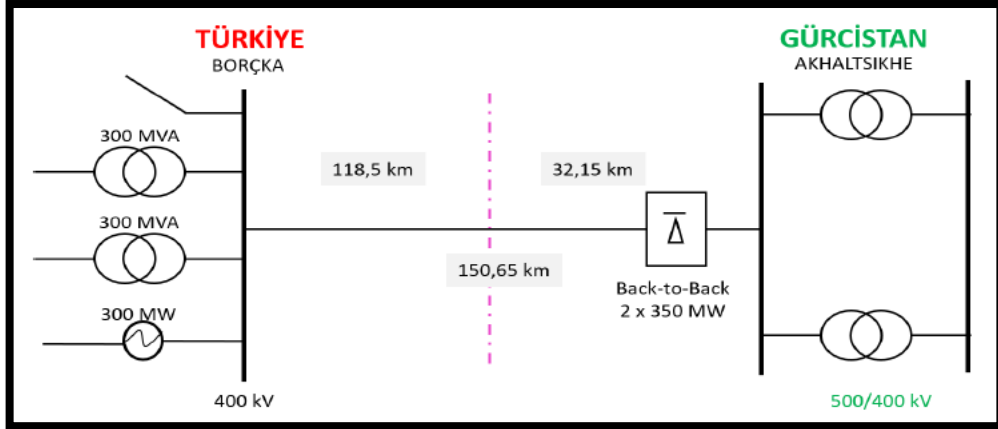
Şekil 3.6. Bulgaristan ve Yunanistan Enterkonneksiyonu Tek-Hat Şeması

3.2.1.3 Türkiye-Gürcistan

- 220 kV Hopa(Türkiye) - Batum(Gürcistan) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 28,85 km, Türkiye tarafı 16,65 km, tek devre.
- 400 kV Borçka(Türkiye) - Akhaltsikhe(Gürcistan) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 150,65 km, Türkiye tarafı 118,5 km, tek devre.



Şekil 3.7. Gürcistan enterkonneksiyonu (220 kv) tek-hat şeması

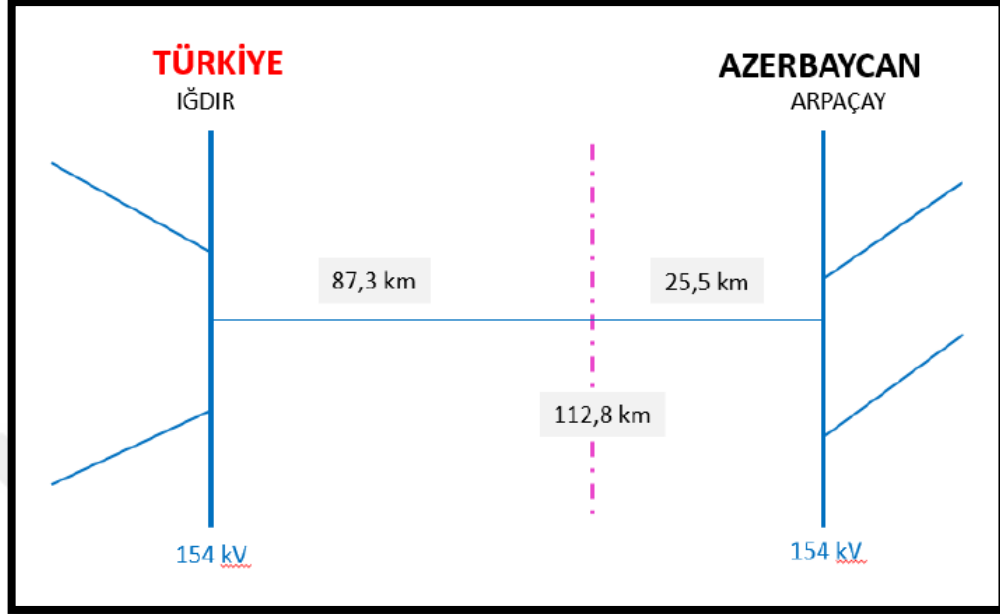


Şekil 3.8. Gürcistan enterkonneksiyonu (400 kv) tek-hat şeması

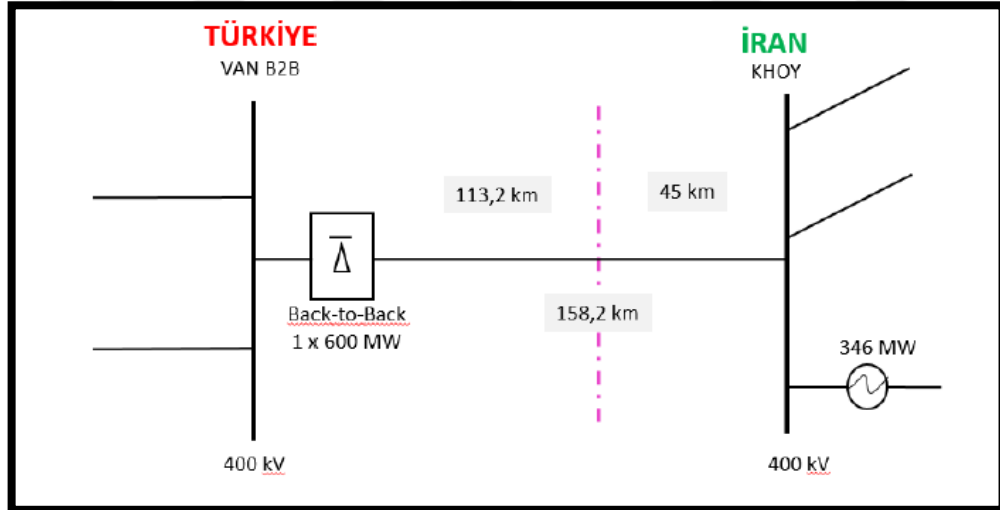
3.2.1.4 Türkiye-Azerbaycan (Nahçıvan)

- 154 kV Iğdır(Türkiye) - Arpaçay(Nahçıvan) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 112,8 km, Türkiye tarafı 87,3 km, tek devre.

- 154 kV Aralık(Türkiye) - Babek(Nahçıvan) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 109,5 km, Türkiye tarafı 36,8 km, tek devre.



Şekil 3.9. Azerbaycan (Nahçıvan-Arpaçay) enterkonneksiyonu tek-hat şeması

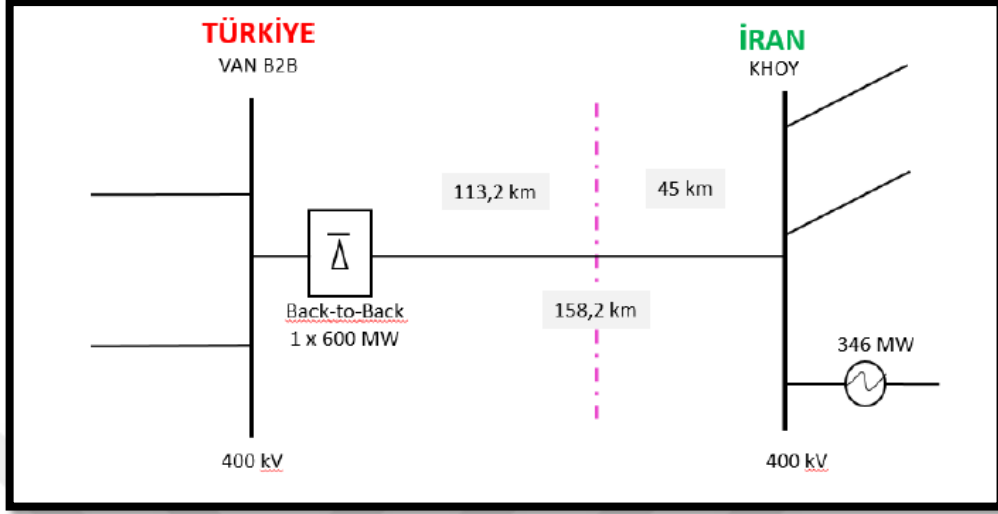


Şekil 3.10. Azerbaycan (Nahçıvan-Babek) Enterkonneksiyonu tek-hat şeması

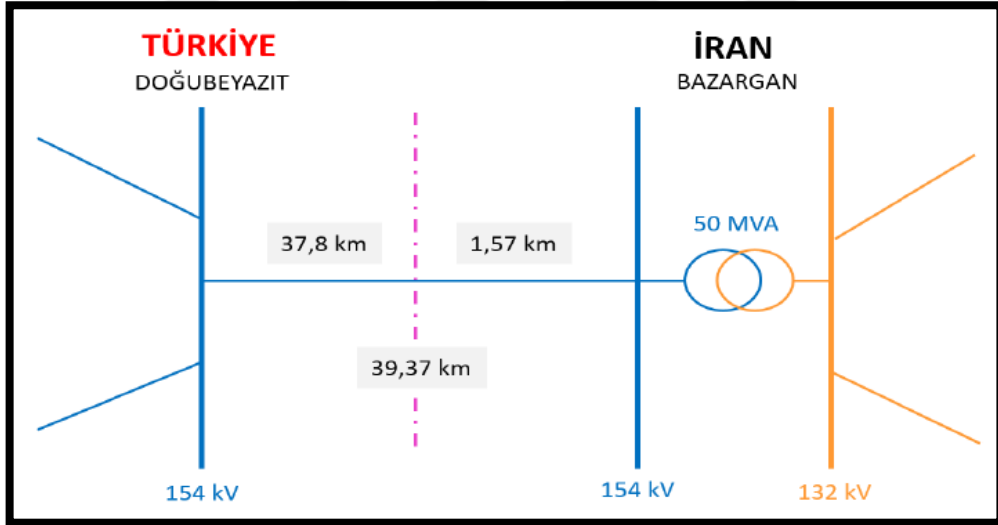
3.2.1.5 Türkiye-İran

- 400 kV Van BtB(Türkiye) – Khoy(İran) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 158,2 km, Türkiye tarafı 113,2 km, tek devre.

- 154 kV Doğubeyazıt(Türkiye) – Bazargan(İran)Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 39,37 km, Türkiye tarafı 37,8 km, tek devre.



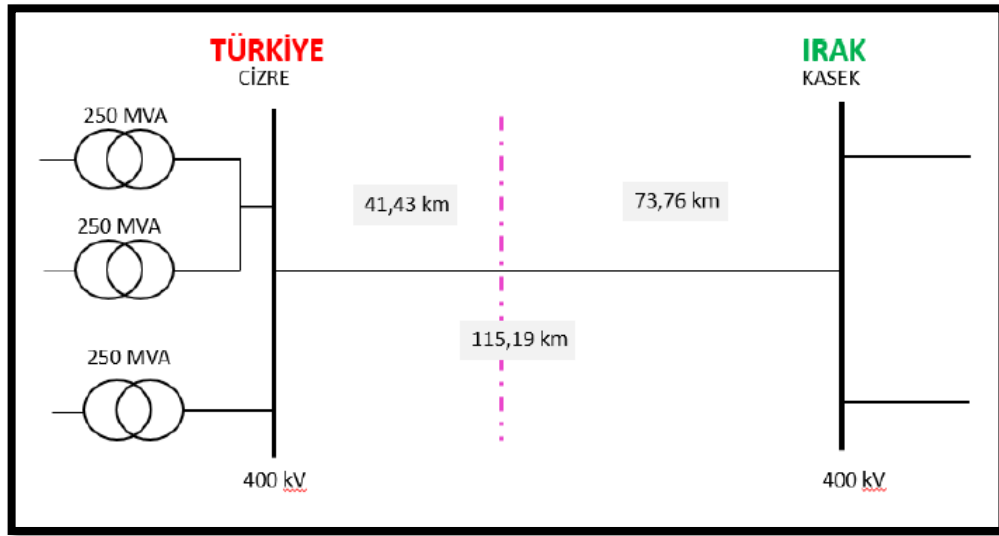
Şekil 3.11. Azerbaycan (Nahçıvan-Babek) enterkonneksiyonu tek-hat şeması



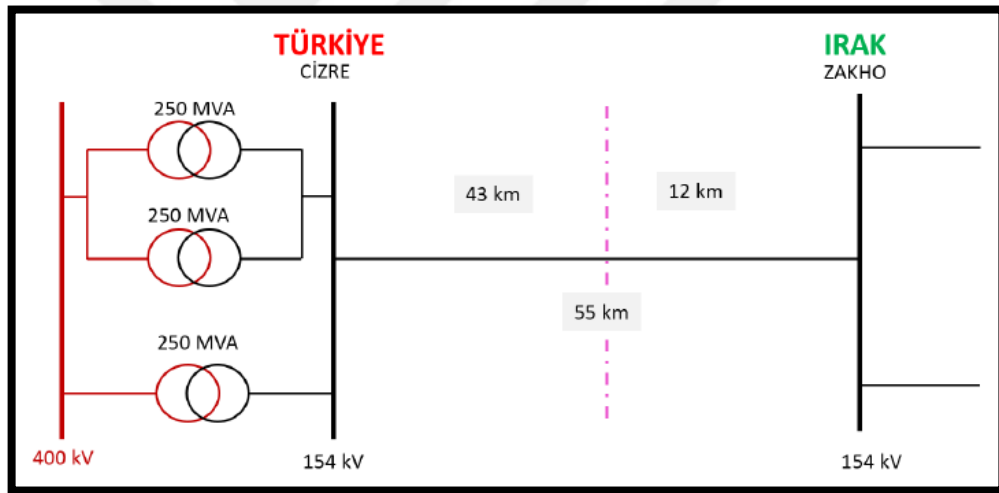
Şekil 3.12. İran enterkonneksiyonu (154 kV) tek-hat şeması

3.2.1.6 Türkiye-İrak

- 400 kV Cizre(Türkiye) – Kasek(İrak) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 115,19 km, Türkiye tarafı 41,43 km, Tek Devre
- 154 kV Cizre(Türkiye) – Zakho(İrak) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 55 km, Türkiye tarafı 43 km, tek devre.



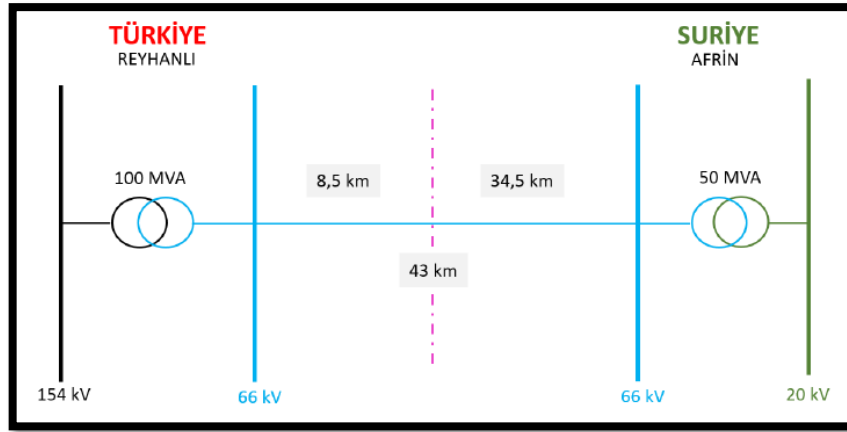
Şekil 3.13. Irak enterkonneksiyonu (400 kV) tek-hat şeması



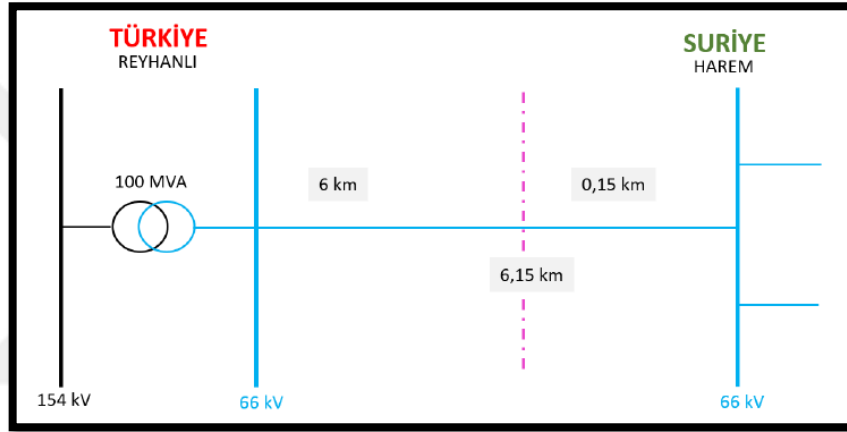
Şekil 3.14. Irak enterkonneksiyonu (154 kV) tek-hat şeması

3.2.1.7 Türkiye-Suriye

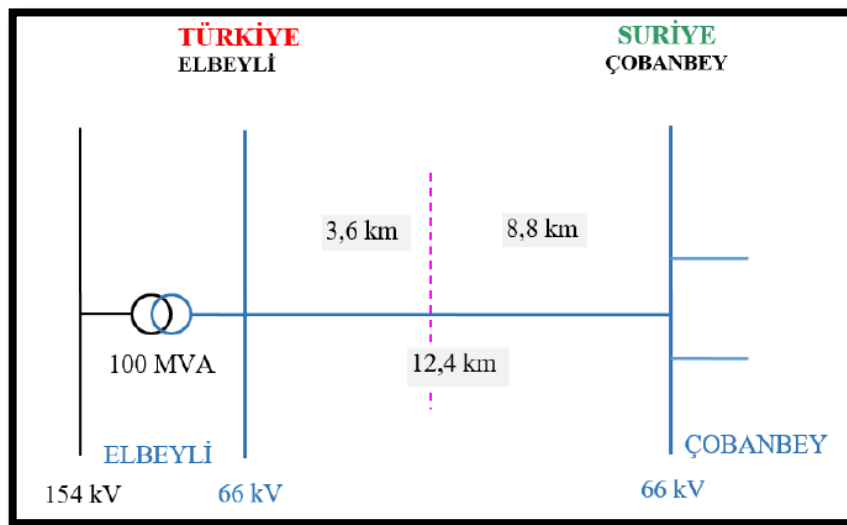
- 154 kV (66 kV enerjili) Reyhanlı (Türkiye) – Afrin (Suriye) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 43 km, Türkiye tarafı 8,5 km, tek devre.
- 154 kV (66 kV enerjili) Reyhanlı (Türkiye) – Harem (Suriye) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 6,15 km, Türkiye tarafı 6 km, tek devre.
- 154 kV (66 kV enerjili) Elbeyli (Türkiye) – Çobanbey (Suriye) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 10,8 km, Türkiye tarafı 2 km, tek devre.



Şekil 3.15. Suriye-Afrin enterkonneksiyonu (154 kV/66 kV enerjili) tek-hat şeması



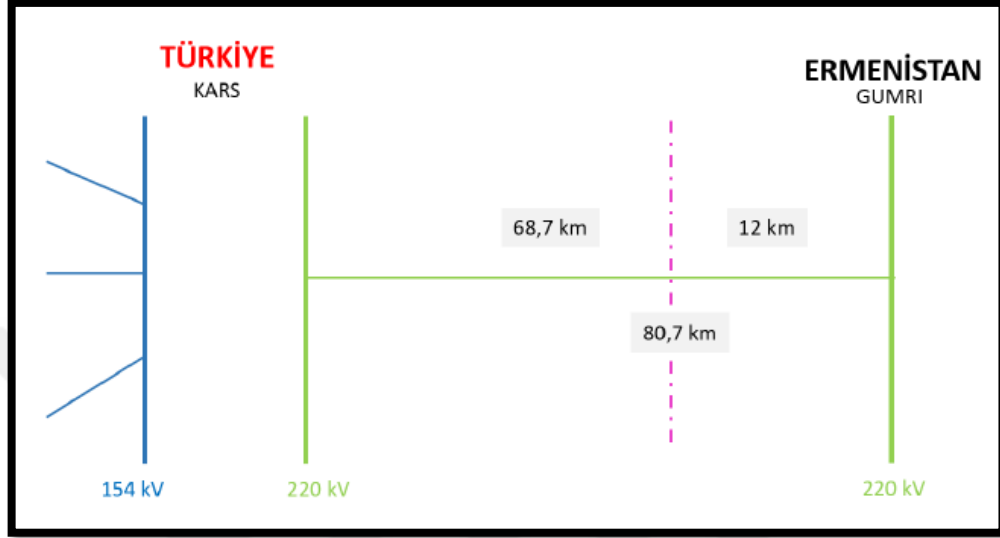
Şekil 3.16. Suriye-Harem enterkonneksiyonu (154 kV/66 kV enerjili) tek-hat şeması



Şekil 3.17. Suriye-Çobanbey enterkonneksiyonu (154 kV/66 kV enerjili) tek-hat şeması

3.2.1.8 Türkiye-Ermenistan

- 220 kV Kars (Türkiye) - Gumri (Ermenistan) Enterkonneksiyon Hattı: Hattın tamamı 80,7 km, Türkiye tarafı 68,7 km, tek devre.



Şekil 3.18. Suriye-Çobanbey enterkonneksiyonu (154 kV/66 kV enerjili) tek-hat şeması

3.3. Elektrik Enerjisi Dağıtımı

Elektrik enerjisi üretilen santrallerde jeneratörlerden alınan enerjinin büyük transformatörler aracılığıyla 154 kV veya 380 kV'a yükseltildiği yerler şalt merkezi olarak adlandırılır. Şalt merkezinden büyük direklerle iletilen elektrik enerjisinin dağıtımı yapılmadan önce indirici merkezlerde dağıtım yapılacak gerilim düzeyine düşürülür (TSE Standart Dergisi, Haziran 2011).

Sanrallar aracılığıyla üretilen elektrik enerjisinin kullanım yerlerine kadar geldiği elektrik devrelerine elektrik şebekeleri adı verilir (Peşint, 1995).

154 kV veya 380 kV gerilimle taşınan elektrik enerjisi indirici merkezlerde yaygın olarak kullanılan 34,5 kV gerilime düşürülerek dağıtım hatları aracılığıyla dağıtılır. Ardından trafo merkezleri aracılığıyla 34,5 kV'dan 400 V'a düşürülür ve bundan sonra kullanıcılara ulaştırılır. Kullanıcılara dağıtımın yapıldığı hat alçak gerilim şebekesi olarak adlandırılır (TSE Standart Dergisi, Haziran 2011). Bir tüketim bölgesi içerisinde düşürücü trafo merkezinden alınan elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için ihtiyaç duyulan sistemlere de dağıtım sistemi adı verilir (Peşint, 1995).

Elektrik enerjisinde kullanılan alçak gerilim ifadesi 1000 V'un altını, yüksek gerilim ifadesi ise 1000 V'un üstünü temsil etmektedir. İfade kolaylığı bakımından 154 kV ve 380 kV seviyelerinde yüksek gerilim, 34,5 kV seviyesinde orta gerilim ifadesi kullanılıyor (TSE Standart Dergisi, Haziran 2011).

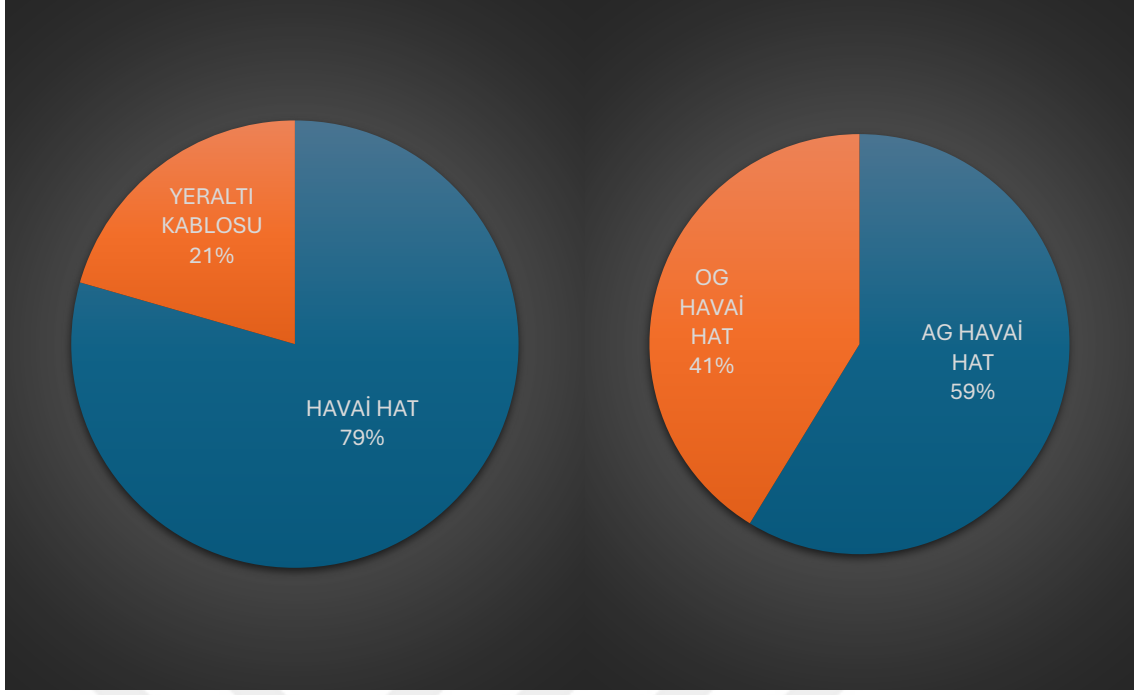
Çizelge 3.5. Türkiye’de dağıtım hat uzunlukları (2022)

GERİLİMİ	33 kV	15,8 kV	10,5 kV	6,3 kV	DİĞER	OG TOPLAMI	0,4 kV (AG)	TOPLAM
HAT KESİTİ								
477 MCM	32.224,9	286,4	67,6	6,9		32.585,7		32.585,7
266,8 MCM	2.907,6	122,3		3,6		3.033,5		3.033,5
3/0 AWG	74.462,6	1.994,8	7,1	76,1		76.540,7		76.540,7
1/0 AWG	28.756,6	1.594,7	16,9	108,4		30.476,5		30.476,5
3 AWG SWALLOW	261.610,2	11.290,3	96,1	270,7		273.267,3		273.267,3
ALÜMİNYUM	172,0	0,3		0,2		172,6	564.138,3	564.310,8
BAKIR	59,8	63,5	7,4	0,0		130,7	28.441,2	28.571,9
HAVAI HAT TOPLAMI	400.193,7	15.352,3	195,1	465,8		416.207,0	592.579,5	1.008.786,4
YERALTI KABLOSU	75.340,7	3.288,8	4.148,5	925,8	0,0	83.703,7	177.216,2	260.919,9
TOPLAM	475.534,4	18.641,1	4.343,7	1.391,6	0,0	499.910,7	769.795,7	1.269.706,4

Çizelge 3.6. Türkiye’de dağıtım trafolarının güç ve adetleri (2022)

SEKONDER GER.	PRİMER GER.	15,8 kV	10,5 kV	6,3 kV	DİĞER	OG TOPLAMI	0,4 kV (AG)	TOPLAM
33 kV	Adet	446	235	637	263	1.581	512.160	513.741
	Güç (MVA)	4.737,3	3.340,8	4.390,1	1.462,6	13.930,8	197.034,4	210.965,2
15,8 kV	Adet			16	11	27	26.881	26.908
	Güç (MVA)			70,4	80,1	150,5	7.821,3	7.971,8
10,5 kV	Adet				1	1	5.603	5.604
	Güç (MVA)				8	8	3.615,6	3.623,6
6,3 kV	Adet				6	6	2.586	2.592
	Güç (MVA)				14,3	14,3	1.654,8	1.669,1
DİĞER	Adet				14	14	105	119
	Güç (MVA)				186,7	186,7	103,5	290,1
TOPLAM	Adet	446	235	653	295	1.629	547.335	548.964
	Güç (MVA)	4.737,3	3.340,8	4.460,4	1.751,7	14.290,2	210.229,7	224.519,9

Şekil 3.19.’de gösterildiği gibi 2022 yılı itibarıyla dağıtım hatlarının yaklaşık %80’ini havai hatlar, havai hatların %60’ını ise AG havai hatları oluşturmaktadır.



Şekil 3.19. 2022 yılı Türkiye’de dağıtım hat uzunluklarının cinsine ve gerilimine göre dağılımı

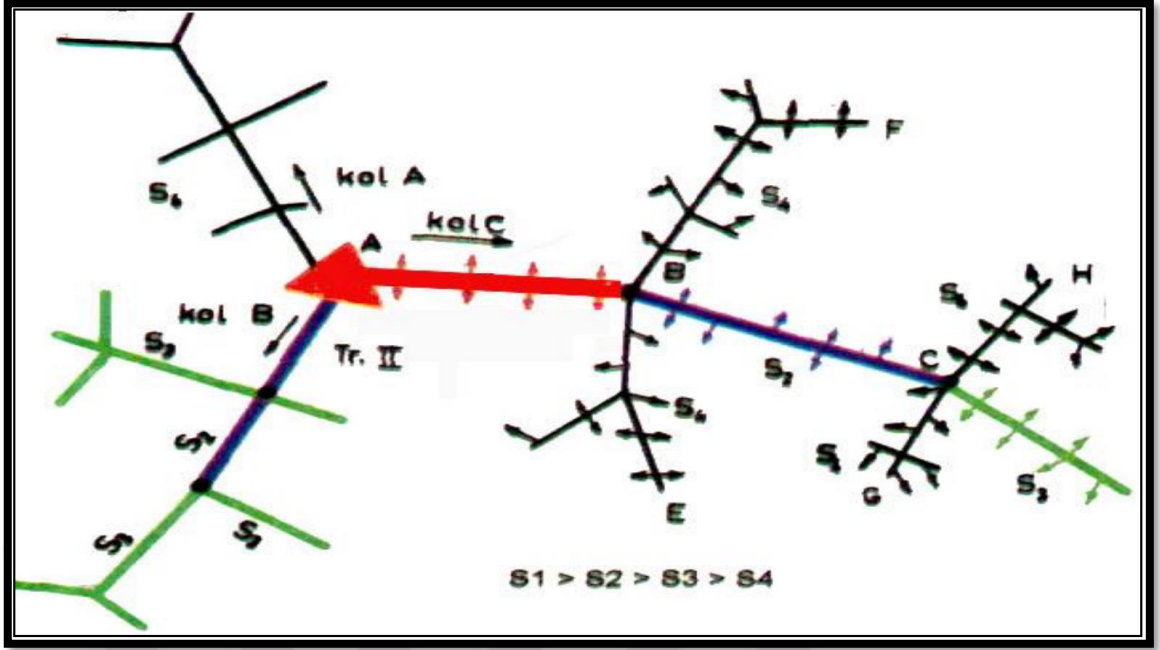
Yerleşim yerlerindeki yollar boyunca döşenmiş parça hatların birleşiminden kollar meydana gelmekte ve kolların bir araya gelmesinden de dağıtım şebekeleri meydana gelmektedir. Kullanıcıların ekonomik ve ergonomik bir biçimde elektrik şebekelerine ulaşabilmesi kurulum aşamasında ana kuraldır. Bu bakımdan farklı şebeke sistemleri geliştirilmiştir.

OG ve AG dağıtım şebekelerinde yaygın kullanılan sistemler şunlardır (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011):

- Dallı şebekeler
- Ring şebekeler
- Ağ şebekeler

3.3.1. Dallı şebekeler

Şehir, kasaba, köy veya sanayi merkezleri gibi yerleşim yerlerinde tek kaynaktan besleme yapılan ve şekil olarak ağaç dalına benzeyen şebeke türüne dallı şebeke denilmektedir. Dallı şebekede, dağıtım trafoları, elektrik enerjisinin dağıtılacağı bölgenin yük bakımından merkezine yerleştirilir. Bu şebeke türündeki dağıtım trafolarındaki elektrik enerjisi, bir ağacın dalları gibi önce kalın kollara daha sonra ince kollara ve dallara ayrılarak son kullanıcıya kadar iletilir (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).



Şekil 3.20. Dallı şebekede ana hatlar ve branşmanlar

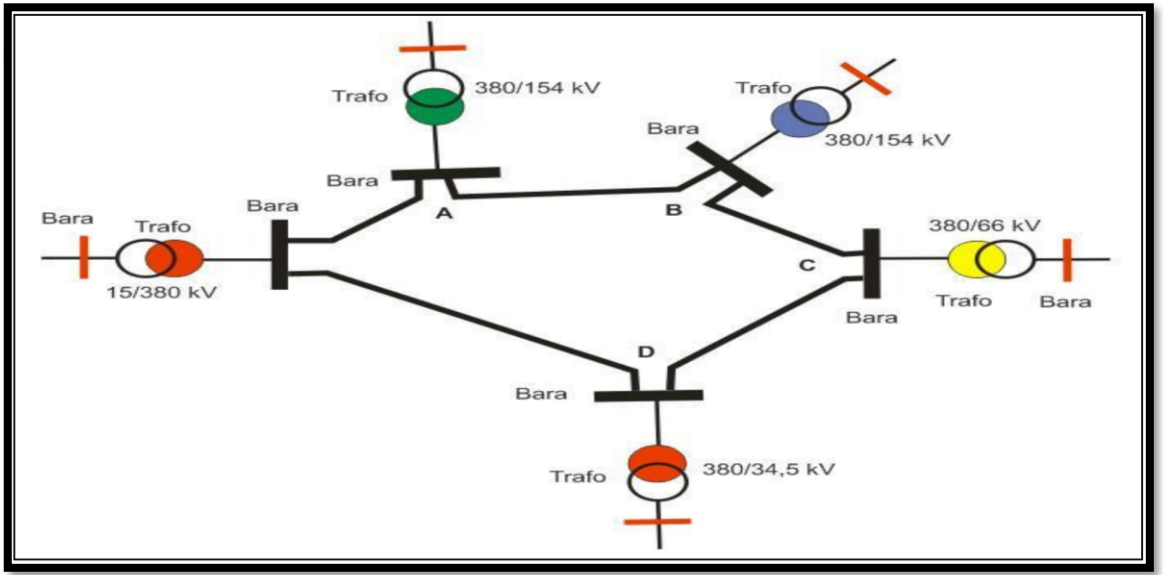
Dallı şebekede dağıtım trafosunun yakın bölgesindeki kesiti kalın hatlara ana hat denilirken trafodan uzakta ve son kullanıcıya kadar ulaşan ince kesitli hatlara da branşman hatları denir. Şekil 3.20'deki görülen A, B ve C kollarındaki kesiti kalın hatlar ana hatları, E, F, G ve H gibi kesiti ince olan hatlar ise branşman hatlarını temsil etmektedir.

Dallı şebekelerin tercih edilmesinin en önemli sebepleri kurulumunun ucuz olması, bakım ve işletme süreçlerinin kolay olması, oluşabilecek arızaların kolay tespit edilebilmesi şeklinde sıralanabilir. Bununla beraber Dallı şebekelerin zayıf yönleri de bulunmaktadır. Dallı şebekelerde arıza ile karşılaşıldığında çok sayıda kullanıcının aynı anda enerjisi kesilebilir. Ayrıca hatlardaki gerilim seviyeleri eşit değildir. Dağıtım trafosuna olan mesafe arttıkça kullanıcılara ulaşan gerilim seviyesi azalmaktadır (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).

3.3.2. Ring şebekeler

Şehir, kasaba, köy ve sanayi merkezlerinde kullanılan, enerjinin birden fazla trafo ile beslendiği ve trafoların birbirine paralel şekilde planlandığı kapalı sisteme ring şebeke denir.

Ring şebekelerde arıza olması hâlinde sadece arıza olan kısım devre dışı kalarak çok sayıda abonenin enerjisiz kalması önlenmiş olur çünkü besleme birden fazla trafo aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Elektrik hatlarının kesit büyüklüğü ring içerisinde her yerde aynı seviyededir. Bundan dolayı kurulumu masraflıdır. Fakat dallı şebekelerle kıyaslandığında daha güvenilir olduğu söylenebilir. Kurulum sonrası zamanlarda kullanıcı sayısının artışıyla hatların ihtiyaç duyulan akımı taşıyamaması durumunda hatların yenilenmesi çok pahalıya mal olacaktır. Çünkü ring şebekeler için yenilenme durumunda tüm hatların değiştirilmesi gereklidir. Buna karşın dallı şebekelerde sadece akımı fazla olan hat yenilenerek sorun giderilebilmektedir (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2011).



Şekil 3.21. Ring şebeke prensibi

3.3.3. Ağ şebekeler

Şehir, kasaba, köy ve sanayi merkezlerinde uygulanabilen elektrik enerjisi beslemesinin birden çok trafo ile yapıldığı ve kullanıcılara kadar gelen hatların bir ağ gibi örülmüş gözlerden oluştuğu şebeke çeşidine ağ şebeke denilmektedir.

Ağ şebekeler beslemenin sürekliliği ve arızadan etkilenme durumları bakımından ring şebekeler gibi üstün bir sistemdir. Bu şebeke tipinde arıza ile karşılaşıldığında arızalı bölge sigortalar veya özel koruma ekipmanları ile koruma altına alınır. Hattın arızalı olmayan bölümlerine enerji aktarımına devam edilir. Ağ şebekelerde bazen besleme sadece bir noktadan yapılır. Bir noktadan besleme durumunda da arıza durumunda arıza olmayan bölgeye kesinti olmadan enerji vermeye devam edebilir. Bununla beraber

3.3.4. Alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan direkler

3.3.4.1 Ağaç direkler

Ağaç direkler köknar, ardıç, karaçam, ladin, çam gibi ağaçlardan yapılırlar. Hava şartlarından ve böceklerden olumsuz etkilendikleri için bakır sülfat emdirme veya katranlanma işlemlerine tabi tutulurlar. Mekanik dayanıklılıkları düşüktür.

9 ve 10 m'lik direklerin kullanılması tavsiye edilir. (Ancak, çok özel durumlarda 11 ve 12 m'lik AG ağaç direkleri kullanılabilir.)

9 ve 10 m'lik AG ağaç direkleri:

Tepe çapı 12-14 cm olanlar: Hafif (H)

Tepe çapı 15-17 cm olanlar: Orta (O)

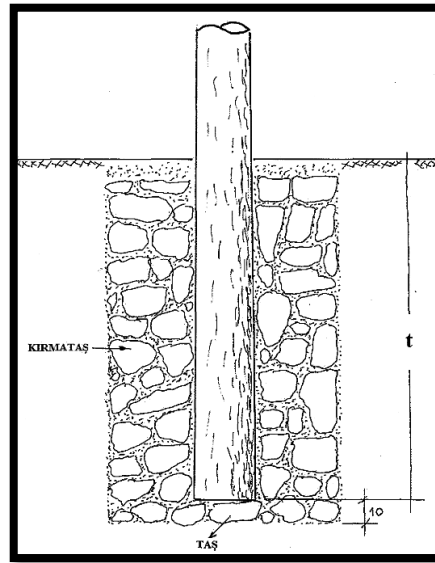
Tepe çapı 18-20 cm olanlar: Ağır (A) olarak adlandırılırlar. (Tepe çapı 12 cm'den daha küçük olan direkler kullanılmayacaktır.)

Direğin temel içinde kalan boyu:

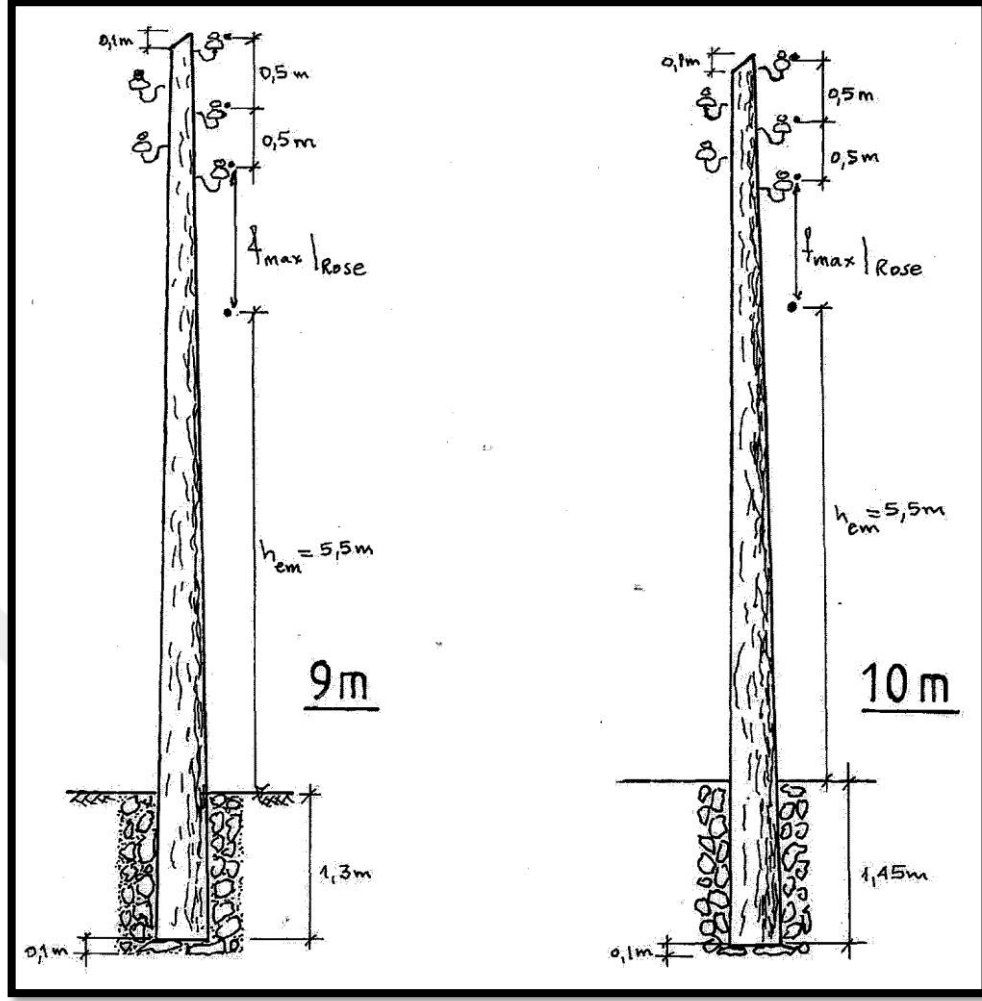
9 m'lik direklerde → 1,3 m

10 m'lik direklerde → 1,45 m olacaktır.

Direk çukuru daire şeklinde ve 60 cm çapında olacaktır. Direk temeli kırma ocak taşı ve toprak ile iyice sıkıştırılmak suretiyle tamamen doldurulacaktır (Şekil 3.24) (Yunusoğlu, 2011).



Şekil 3.24. AG ağaç direk temeli



Şekil 3.25. 9 ve 10 m'lik AG ağaç direkler

- AG ağaç direklerinin 5 iletkenli tertiplerde direk boyları hesabı:

1, 2, 3. Bölge'de:

$$a=40 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|Rose} = 1,18 \text{ m}, h=0,5+0,5+1,18+5,5+1,30=8,98 \text{ m}$$

9 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25).

$$a=50 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|Rose} = 1,84 \text{ m}, h=0,5+0,5+1,84+5,5+1,45=9,79 \text{ m}$$

10 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25).

4. Bölge'de:

$$a=40 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|Rose} = 1,70 \text{ m}, h=0,5+0,5+1,70+5,5+1,45=9,65 \text{ m}$$

10 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25).

- AG ağaç direklerinin 5 iletkenli tertiplerde direk boyları hesabı:

1, 2, 3. Bölge'de:

$$a=40 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|Rose} = 1,18 \text{ m}, h=0,5+1,18+5,5+1,30=8,48 \text{ m}$$

9 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25).

$$a=50 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|_{\text{Rose}}} = 1,84 \text{ m, } h=0,5+1,84+5,5+1,45=9,29 \text{ m}$$

10 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25).

4. Bölge'de:

$$a=40 \text{ m'de} \rightarrow f_{\max|_{\text{Rose}}} = 1,70 \text{ m, } h=0,5+1,70+5,5+1,30=9,00 \text{ m}$$

9 m'lik direk kullanılmalıdır (Şekil 3.25). (Yunusoğlu,

2011)

Çizelge 3.7. AG Ağaç Direk Boyları

	a=40m		a=50m	
	3 iletkenli	5 iletkenli	3 iletkenli	5 iletkenli
1, 2, 3. Bölge	9 m	9 m	10 m	10 m
4. Bölge	9 m	10 m	-	-

Çizelge 3.8. AG ağaç direklerin tepe kuvvetleri

	Rüzgârsız (kg)	Rüzgârlı (kg)
9-H	110	87
9-O	174	146
9-A	259	227
10-H	114	88
10-O	178	146
10-A	261	225
Rüzgârsız: KT direkler için kullanılır.		
Rüzgârlı: T direkler için kullanılır.		

3.3.4.2 Demir direkler

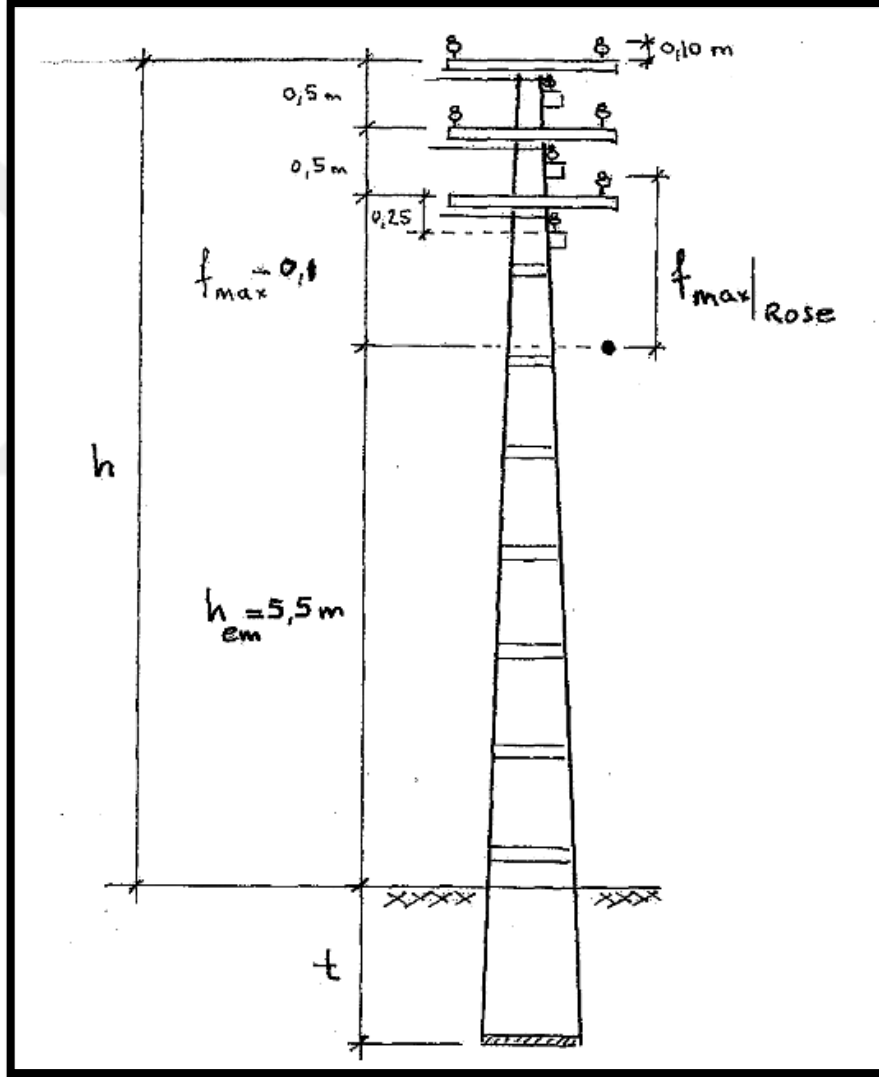
Bu konu yalnızca alüminyum iletkenler için anlatılmaktadır. Bu tip demir direklerin, TEDAŞ Proje ve Tesis Daire Başkanlığı'nın 8/7/2002 tarih ve 3682 sayılı genelgeleri ile yalnızca uzun tipleri (8I, 10I, 12I, 10U, 12U, K₁, K₂, K₃, K₄, K₅) kullanılacaktır. Geçmişte kullanılan kısa tip direklerden (8I_k, 10I_k, 12I_k, 10U_k, 12U_k, K_{1k}, K_{2k}, K_{3k}, K_{4k}, K_{5k}) 40-50m'lik bransman alınması halinde direk boyları kurtarmadığı için kullanılmayacaktır.

1. Bölge'de uzun direkler: 40 ve 50 m' de,
2. Bölge'de uzun direkler: 40 ve 50 m'de,
3. Bölge'de uzun direkler: 40 ve 50 m'de,

4. Bölge’de uzun direkler: 40 m’de kullanılacaktır.

Bu direklerin dört buz yükü bölgesindeki boyları birbirinden farklı olduğundan direk listesine mutlaka buz yükü bölgesi yazılmadır.

Alüminyum iletkenler içinde en büyük fleşi (aynı açıklıkta) Rose iletkeni verdiğiinden, diğer iletkenlerin $+5^{\circ}$ C’deki sehimleri, Rose iletkeninin sehmine eşit değer verecek şekilde cer değerleri hesaplanmıştır. Bu nedenle, direk boyu Rose iletkene göre belirlenmiştir. Aşağıda, 40-50 m açıklıkta, Rose iletkene göre uzun tip demir direklerin boy hesabını gösteren şematik resim Şekil 3.26’da verilmiştir (Yunusoğlu, 2011).



Şekil 3.26. 40-50 m açıklıkta Rose iletkene göre demir direk boy hesabı (A-tipi veya kafes direk)

t: Temel derinliği her tip demir direkte farklıdır.

h: Toprak üstü direk boyudur (Uzun demir direklerde).

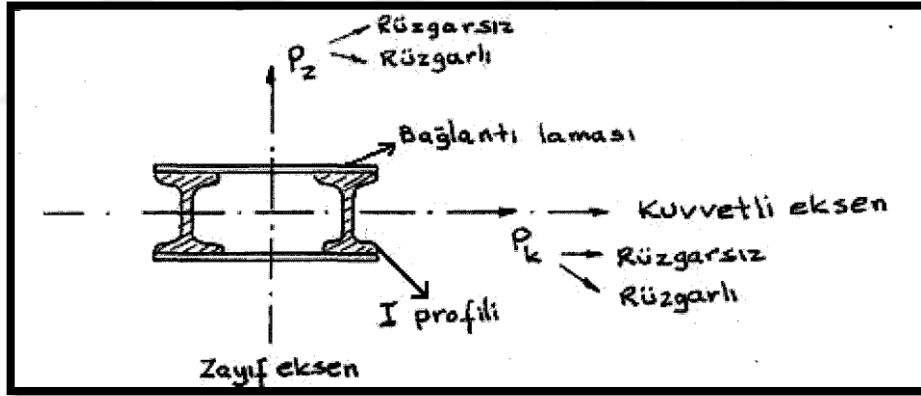
Çizelge 3.9. AG demir direk boyları

	1. Bölge (50 m)	2. Bölge (50 m)	3. Bölge (50 m)	4. Bölge (40 m)
$f_{\max}^{50m}_{Rose}$	1,59 m	1,84 m	1,75 m	-
$f_{\max}^{40m}_{Rose}$	1,02 m	1,18 m	1,12 m	1,70 m
h	7,99 m	8,24 m	8,38 m	8,33 m

Not: Bu tip uzun direklerden de 40 ve 50 m'lik branşman alındığında da $h=5,5$ m'lik emniyet mesafesi 5,5 m'nin altına düşeceğinden boyları yetersiz kalacaktır. Bu nedenle, branşman istikametinde en fazla 40 m açılmalıdır.

3.3.4.2.1 A-tipi demir direkler

Bu tip direkler dikdörtgen kesitli olduklarından çift eksenli direklerdir. Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. A-Tipi Demir Direk Kuvvet Eksenleri

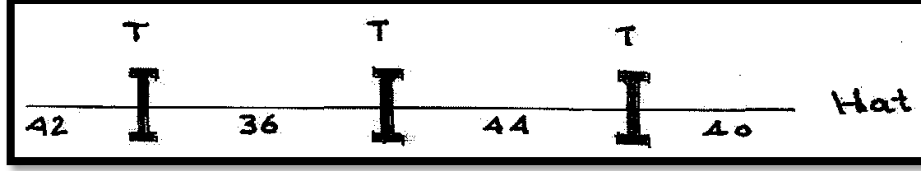
Her çeşit A-Tipi demir direğin biri kuvvetli eksen yönünde, diğeri de zayıf eksen yönünde olmak üzere dayanabileceği iki adet maksimum tepe kuvveti vardır. Bu iki adet tepe kuvveti de rüzgârlı ve rüzgârsız olmak üzere iki çeşittir.

Rüzgârsız tepe kuvvetleri: A-Tipi direklerin D, KD, B veya N direği olarak kullanılmasında dikkate alınması gereken değerlerdir. Örneğin, 8I direğinin rüzgârsız tepe kuvvetleri $P_k=300$ kg, $P_z=90$ kg'dır (Yunusoğlu, 2011).

Rüzgârlı tepe kuvvetleri: A-Tipi direklerin T ve KT olarak kullanılmasında dikkate alınması gereken değerlerdir. Bu değerler, rüzgârsız tepe kuvvetlerinden direğe

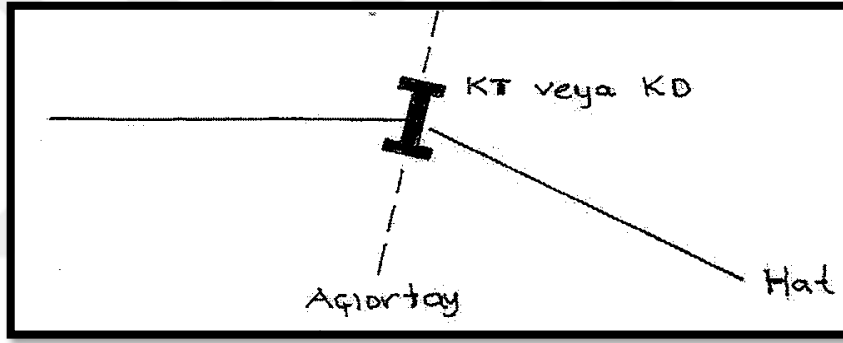
esen rüzgâr yüklerinin tepeye indirgenmiş değerlerinin düşülmesi ile elde edilmiştir. Örneğin, 8I direğinin rüzgârlı tepe kuvvetleri $P_k=231$ kg, $P_z=44$ kg'dır.

A-Tipi taşıyıcı (T) direkler, kuvvetli eksenini hatta dik olacak şekilde tesis edilir.



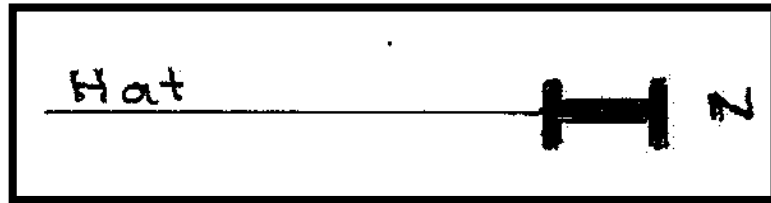
Şekil 3.28. A-Tipi Taşıyıcı Direklerin Tesis Edilmesi

A-Tipi direkler, köşede taşıyıcı (KT) ve köşede durdurucu (KD) olarak kullanılmaları halinde ise, kuvvetli eksenini açığortay üzerinde olacak şekilde tesis edilir.



Şekil 3.29. A-tipi köşede taşıyıcı ve köşede durdurucu direklerin tesis edilmesi

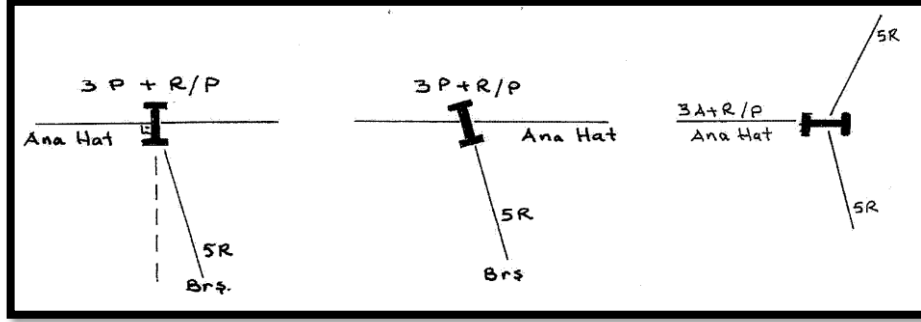
A-Tipi direklerin nihayet (N) direği olarak kullanılmaları halinde, kuvvetli eksenini hat istikametinde olacak şekilde tesis edilir (Yunusoğlu, 2011).



Şekil 3.30. A-tipi nihayet direklerin tesis edilmesi

A-Tipi direklerin branşman (B) direği olarak kullanılmaları halinde, kuvvetli eksenini ana hatta dik veya branşman istikametinde veya ana hat üzerinde olacak şekilde

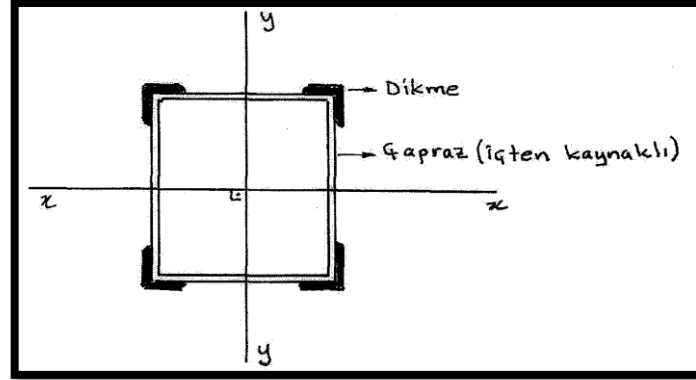
tesis edilir (Branşman direklerinin, ilerdeki kesit artışlarına cevap verebilmesi için kafes direk olarak seçilmesi uygun olacaktır.).



Şekil 3.31. A-tipi branşman direklerin tesis edilmesi

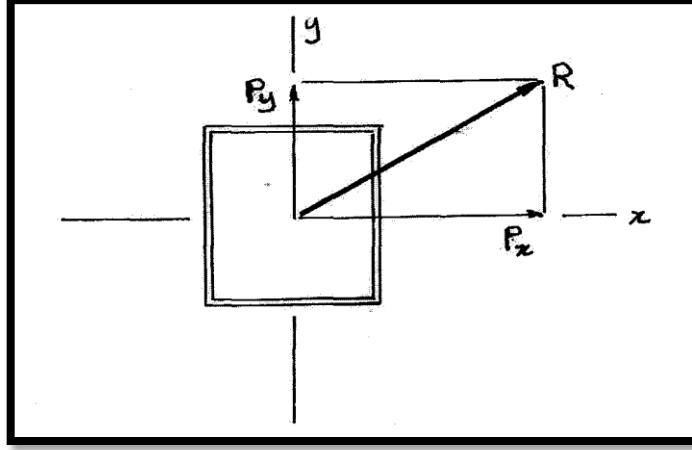
3.3.4.2.2 Kafes demir direkler

Kafes demir direkler kare kesitli olduklarından tek eksenli direklerdir. Bu nedenle, tek rüzgârsız ve tek rüzgârlı tepe kuvvetine haizdirler.



Şekil 3.32. Kafes demir direk kuvvet eksenleri

Kafes demir direkler x ve y istikametinde (yüzeylere dik eksenler) aynı kuvvete karşı aynı mukavemeti gösterirler. Örneğin, K_1 direği yalnızca x eksen istikametinde (her iki yönde de) 1000 kg' a dayanır. Aynı şekilde y eksen istikametinde (her iki yönde de) 1000 kg' a dayanır (Yunusoğlu, 2011).

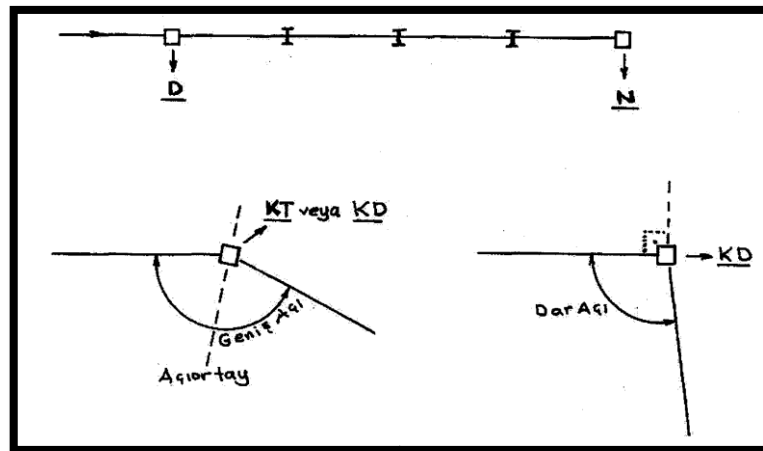


Şekil 3.33. Kafes demir direk tepe kuvvet hesabı

Eğer bu direğe uygulanan P kuvveti Şekil 3.33'teki gibi yüzeylere dik eksenlerden biri üzerinde değilse ve burada K_1 direği kullanılacaksa; $R = P_x + P_y \leq 1000$ kg değildir. Aksi halde R bileşke değerini karşılayacak tepe kuvvetine haiz kafes direk seçilmelidir.

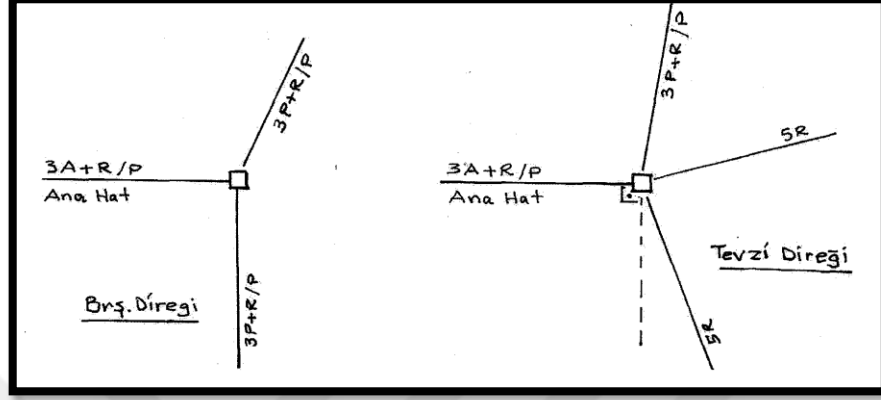
Kafes direklere ait rüzgârsız tepe kuvvetleri, bu direklerin D, KD, B, TEV veya N direği olarak kullanılmasında dikkate alınması gereken değerlerdir. Ancak bu direklerin T veya KT olarak kullanılma imkanları olmadığından, genelde rüzgârlı tepe kuvvetleri kullanılmaz.

Kafes direkler D veya N direği olarak kullanılmaları halinde bir yüzleri hatta dik, KT olarak kullanılmaları halinde bir yüzleri açıortaya dik, geniş açılı KD olarak kullanılmaları halinde yine bir yüzleri açıortaya dik, dar açılı KD olarak kullanılmaları halinde ise bir yüzleri hatta dik olarak tesis edilebilirler.



Şekil 3.34. Kafes direklerin tesis edilmesi-1

Kafes direkler B veya TEV direği olarak kullanılmaları halinde, en küçük direk tipi, en küçük AG travers boyu verecek şekilde ve aynı zamanda iletkenlerin tevzinin en kolay yapılacak şekilde ana hat veya kollardan biri istikametine dik olacak şekilde tesis edilebilirler.



Şekil 3.35. Kafes direklerin tesis edilmesi-2

3.3.4.2.3 AG demir direklerinin tepe kuvvetleri

1, 2, 3. Bölge, $a=40$ ve 50 m'de, 4. Bölge, $a=40$ m'de A-Tipi direklerin tepe kuvvetleri Çizelge 3.10'da, kafes direklerin tepe kuvvetleri Çizelge 3.11'de verilmiştir (Yunusoğlu, 2011).

Çizelge 3.10. A-tipi direklerin tepe kuvvetleri (kg)

Direk Tipi	8I	10I	12I	10U	12U
Rüzgârsız	300/90	500/160	900/230	700/170	1200/250
Rüzgârlı	231/44	443/91	786/144	597/95	1086/170

Çizelge 3.11. Kafes direklerin tepe kuvvetleri (kg)

Direk Tipi	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Rüzgârsız	1000	2000	3000	4000	5000
Rüzgârlı	871	1848	2828	3817	4806

A-Tipi direklerin ağırlıkları Çizelge 3.12'de kafes direklerin ağırlıkları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.12. A-tipi direklerin ağırlıkları (kg)

Direk Tipi	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
8I	146	150	152	150
10I	200	205	209	205
12I	248	255	258	255
10U	236	242	245	242
12U	305	312	316	310

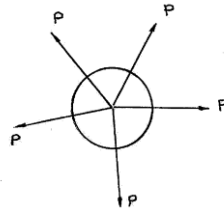
Çizelge 3.13. Kafes direklerin ağırlıkları (kg)

Direk Tipi	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
K ₁	313	322	326	322
K ₂	479	492	504	492
K ₃	554	570	578	570
K ₄	768	789	800	789
K ₅	878	902	914	902

3.3.4.3 Beton direkler

Santrifüj betonarme direklerden (SBA) AG direği olarak 9,30 ve 10 m'lik (gerektiğinde 11, 12, ... m'lik direklerde kullanılabilir) ve TEDAS Proje ve Tesis Dairesi Başkanlığı'nın 8/7/2002 tarih ve 3682 sayılı genelgelerinde belirtildiği şekilde 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25 ve 30 tipi direkler kullanılacaktır. AG beton direkleri 2 emniyetli direklerdir. Yani tepe kuvvetinin 2 katı değerinden daha az bir yükte (tip deneyinde) kırılmamalıdır.

SBA direkler dairesel kesitli olduklarında eksene dik, direk tepesine etki eden aynı değerdeki tüm kuvvetlere karşı aynı mukavemeti gösterirler. Yani sonsuz yatay eksenli direklerdir (Yunusoğlu, 2011).

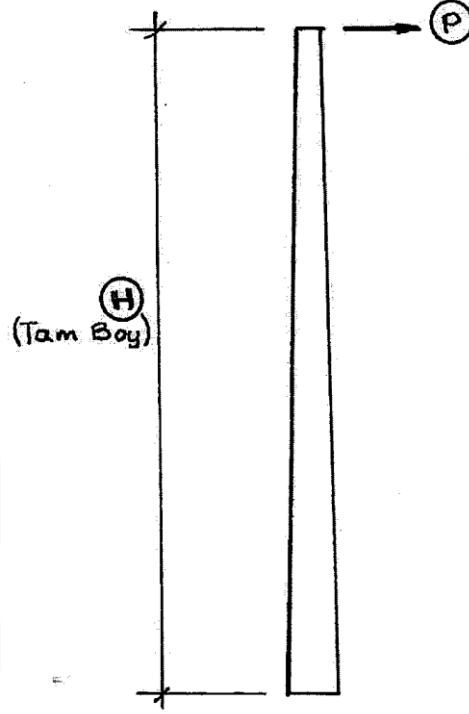


Şekil 3.36. Beton direk kuvvet eksenleri

AG projelerinde beton direkler H/P şeklinde gösterilir. Bu ifadede, H metre olarak direk tam boyunu, P ise direk tepe kuvvetinin 100'de birini göstermektedir.

P: 200 kg, 300 kg, 400 kg, 500 kg, 600 kg, ...

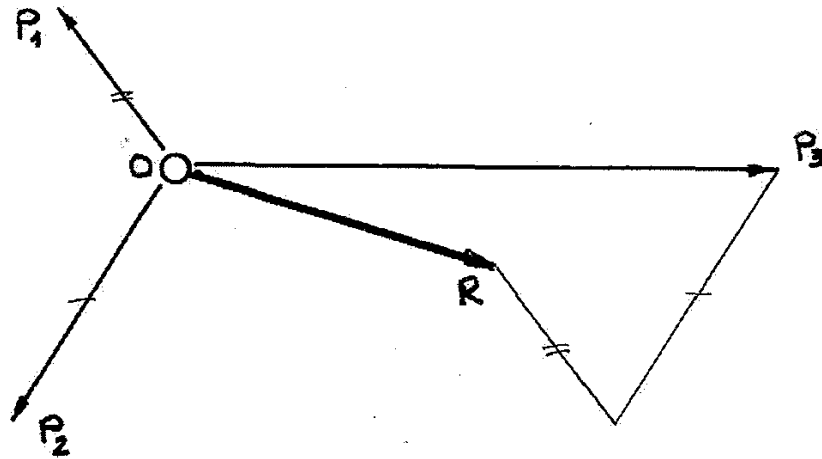
H: 9,30 m, 10m, 11m, 12m, ...



Şekil 3.37. Beton direk

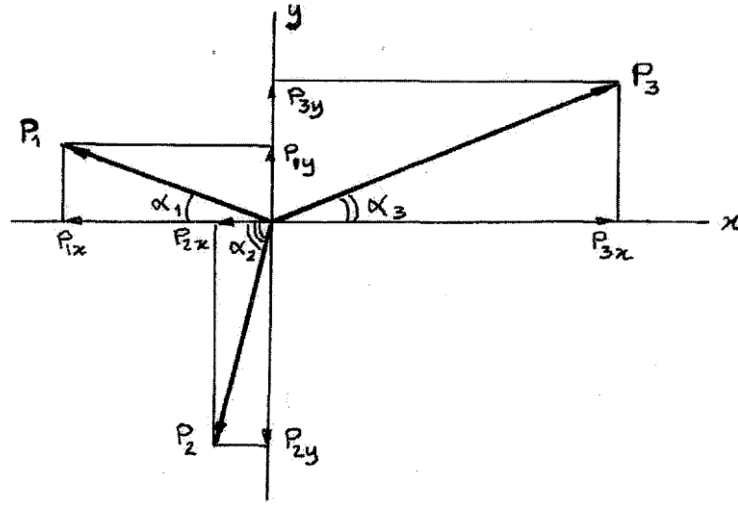
Bir beton direğin tepesine etki eden (eksene dik) birden çok kuvvet varsa; ölçekli olarak çizilen bileşke R'ye göre direk tipi seçilir.

Ölçek: 200 kg/cm $R=3,3 \text{ cm}$ $\times 200 \text{ kg/cm} = 660 \text{ kg}$ bulunur (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. Ölçekli olarak çizilen bileşke kuvvet

Bileşke hesap metodu ile de bulunabilir.

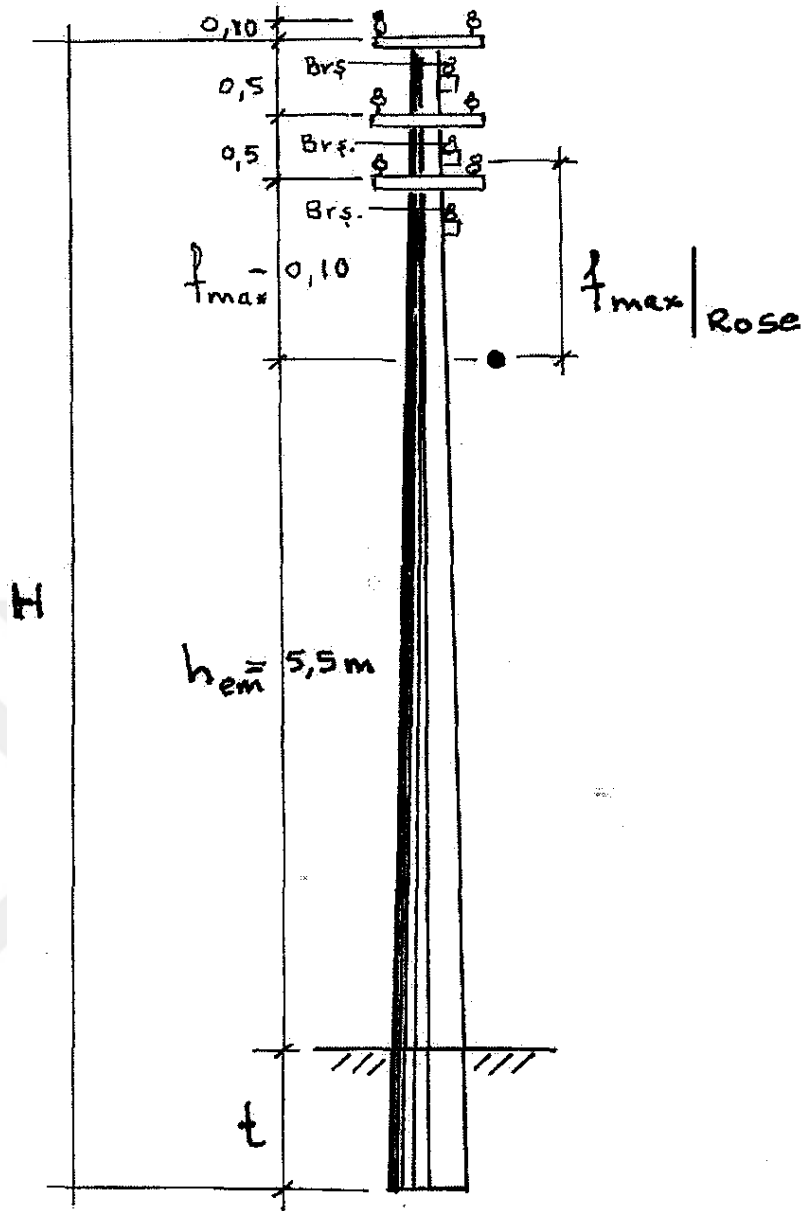


Şekil 3.39. Bileşke hesap metodu ile bulunan bileşke kuvvet

$$\Sigma P_x = P_{3x} - P_{1x} - P_{2x} = P_3 \cdot \cos \alpha_3 - P_1 \cdot \cos \alpha_1 - P_2 \cdot \cos \alpha_2$$

$$\Sigma P_y = P_{1y} + P_{3y} - P_{2y} = P_1 \cdot \sin \alpha_1 + P_3 \cdot \sin \alpha_3 - P_2 \cdot \sin \alpha_2$$

$$R = \sqrt{[(\Sigma P_x)^2 + (\Sigma P_y)^2]} \text{ ifadesinden direk tipi bulunur.}$$



Şekil 3.40. AG beton direk boylarının tespiti

(t: Temel içinde kalan kısmı sabit = 1,20 m)

Çizelge 3.14. AG beton direk boylarının tespiti

	1. Bölge (50 m)	2. Bölge (50 m)	3. Bölge (50 m)	4. Bölge (40 m)
$f_{max Rose}$	1,59m	1,68m	1,64m	1,70m
H	9,19m	9,28m	9,24m	9,30m

AG beton direklerden branşman alınması halinde direk boyunun 25cm büyük olması gerekir. Bu nedenle, branşman direklerinin boyunun 10 m olarak seçilmesi yerine, branşman istikametinde 40 m'den fazla açılmaması uygun olacaktır.

Çizelge 3.15. Beton direk tepe çapları (mm)

Tepe Kuvveti (kg)	Direk Boyu (m)																
	9,3	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
200	130	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	175	175	175	175	175	175	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	175	175	175	175	175	175	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	175	175	175	175	175	175	220	220	220	220	220	-	-	-	-	-	-
600	175	175	175	175	175	175	220	220	220	220	220	220	220	-	-	-	-
800	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	265	265	265	265	265	265
1000	220	220	220	220	220	220	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
1200	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
1400	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265	310	310	310	310	310	310
1600	265	265	265	265	265	265	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310
1800	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310
2000	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310
2500	310	310	310	310	310	310	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355
3000	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355

Çeşitli imalat firmalarının (kataloglarına göre) direk tepe çapları birbirinden farklıdır. Direk tepe çapları tepeden tabana doğru metrede 15 mm artar.

Çizelge 3.16. Beton direklerde tepeye indirgenmiş rüzgâr kuvvetleri (kg)

Tepe Kuvveti (kg)	Direk Boyu (m)																
	9,3	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
200	27	30	33	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	34	38	41	44	49	55	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	34	38	41	44	49	55	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	34	38	41	44	49	55	72	79	86	118	128	-	-	-	-	-	-
600	34	38	41	44	49	55	72	79	86	118	128	137	147	-	-	-	-
800	41	45	49	52	59	65	72	79	86	118	128	157	168	179	191	203	215
1000	41	45	49	52	59	65	83	91	99	136	146	157	168	179	191	203	215
1200	48	53	58	61	68	76	83	91	99	136	146	157	168	179	191	203	215
1400	48	53	58	61	68	76	83	91	99	136	146	177	189	201	214	227	240
1600	48	53	58	61	68	76	94	103	112	153	165	177	189	201	214	227	240
1800	55	60	66	70	78	86	94	103	112	153	165	177	189	201	214	227	240
2000	55	60	66	70	78	86	94	103	112	153	165	177	189	201	214	227	240
2500	55	60	66	70	78	86	106	115	124	171	184	197	210	223	237	251	265
3000	62	68	74	78	87	96	106	115	124	171	184	197	210	223	237	251	265

Çizelge 3.17. Beton direk ağırlıkları (kg)

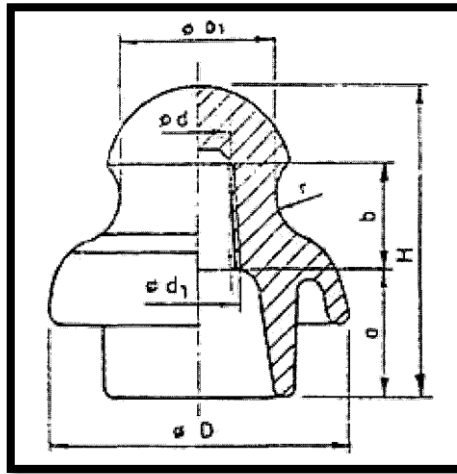
Tepe Kuvveti (kg)	Direk Boyu (m)							
	9,3	10	11	12	13	14	15	16
200	640	720	800	920	1290	1500	1800	2100
300	745	980	1070	1200	1580	1860	2240	2450
400	910	1010	1400	1590	1770	2010	2310	2490
500	1070	1300	1420	1620	1800	2040	2340	2550
600	1125	1320	1440	1640	1840	2070	2880	3160
800	1510	1660	1820	2010	2310	2570	2920	3220
1000	1540	1700	1850	2100	2360	2630	2980	3300
1200	1880	1980	2090	2140	2410	2690	3570	3940
1400	1910	2100	2280	2580	2900	3230	3630	3990
1600	1930	2130	2310	2630	2950	3280	3680	4060
1800	1960	2160	2360	2660	2990	3320	3750	4110
2000	2320	2380	2550	2700	3050	3380	3800	4190
2500	2380	2480	2620	2790	3170	3520	3950	4350
3000	2770	2850	2940	3310	3720	4100	4200	5020

3.3.5. Alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan izolatörler

3.3.5.1 Çıplak iletkenlerde kullanılan izolatörler (pin tipi izolatör)

Çıplak alüminyum iletkenlerde kullanılan izolatör ve izolatör parçaları aşağıda verilmiştir.

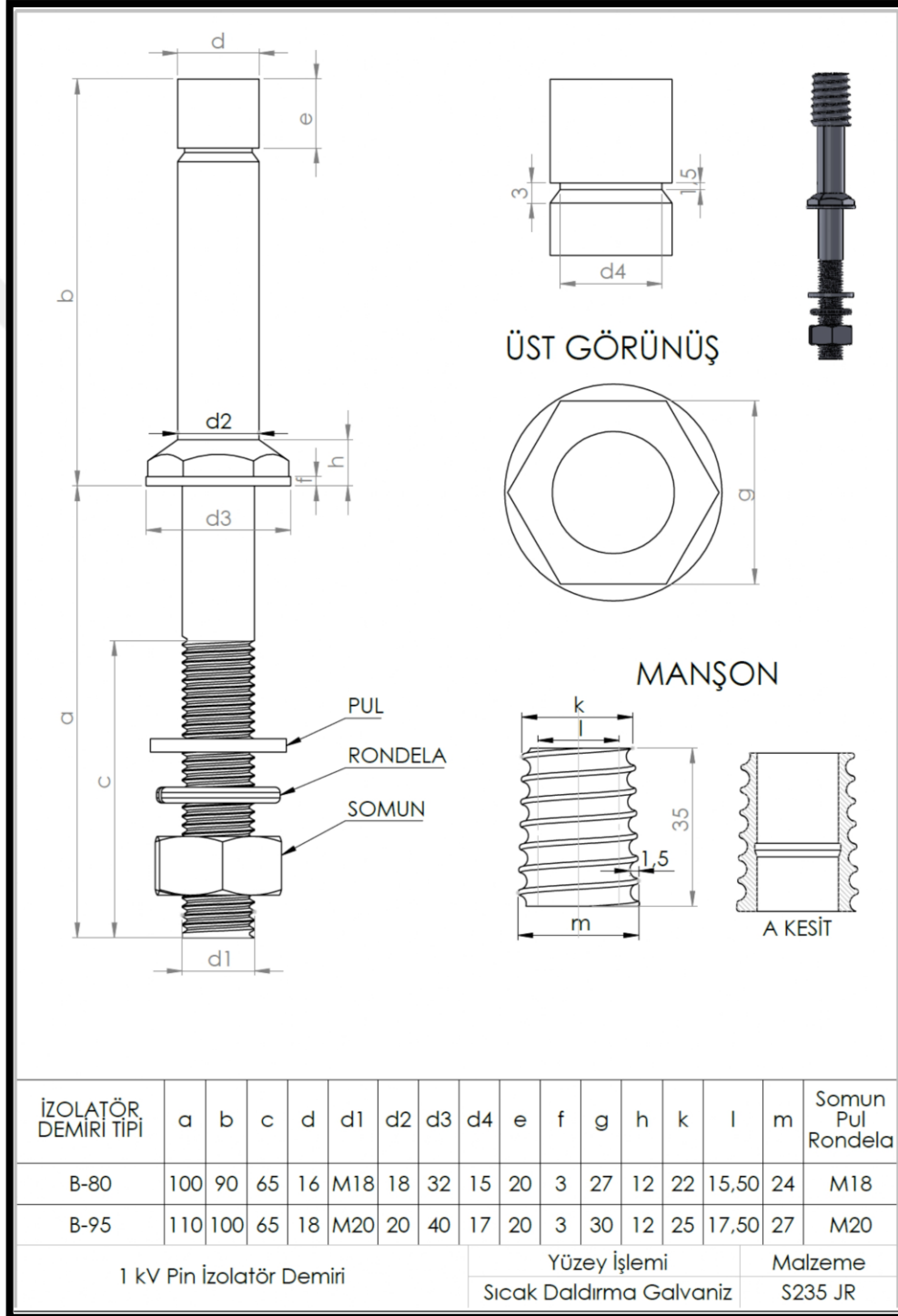
- N-80 (E-80) izolatörü (ROSE, PANSY, POPPY) (Şekil 3.41)
- N-95 (E-95) izolatörü (ASTER, PHLOX, OXLIP) (Şekil 3.41)
- B-80 izolatör demiri (Şekil 3.42)
- B-95 izolatör demiri (Şekil 3.42) (Yunusoğlu, 2011)



Şekil 3.41. Pin tipi mesnet izolatörü

Çizelge 3.18. N-tipi izolatörlerin boyutları (mm)

İzolatör Tipi	D	H	D ₁	d _{min}	d _{1 min}	a	b	r
N-95	95	97	50	22	24	41	35	14
N-80	80	87	42	19	21	38	30	9



Şekil 3.42. İzolatör demiri (Anonim, 2022)

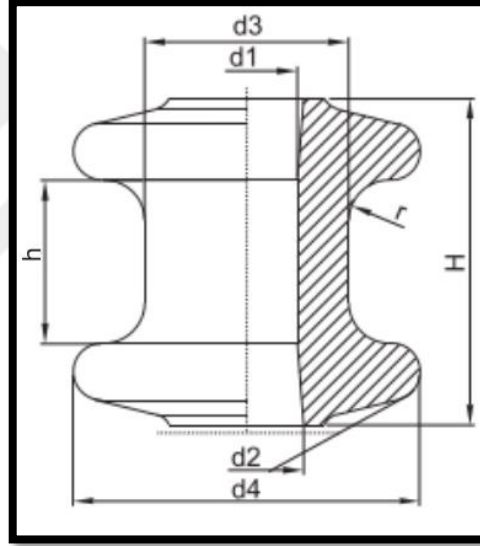
B-80 izolatör demiri: Dayanma yükü = 260 kg'dır. N-80 izolatöründe kullanılır.

B-95 izolatör demiri: Dayanma yükü = 300 kg'dır. N-95 izolatöründe kullanılır.

3.3.5.2 İzoleli iletkenlerde kullanılan izolatör (makara izolatörü)

ALPEK iletkenlerde kullanılan izolatör ve izolatör parçaları aşağıda verilmiştir.

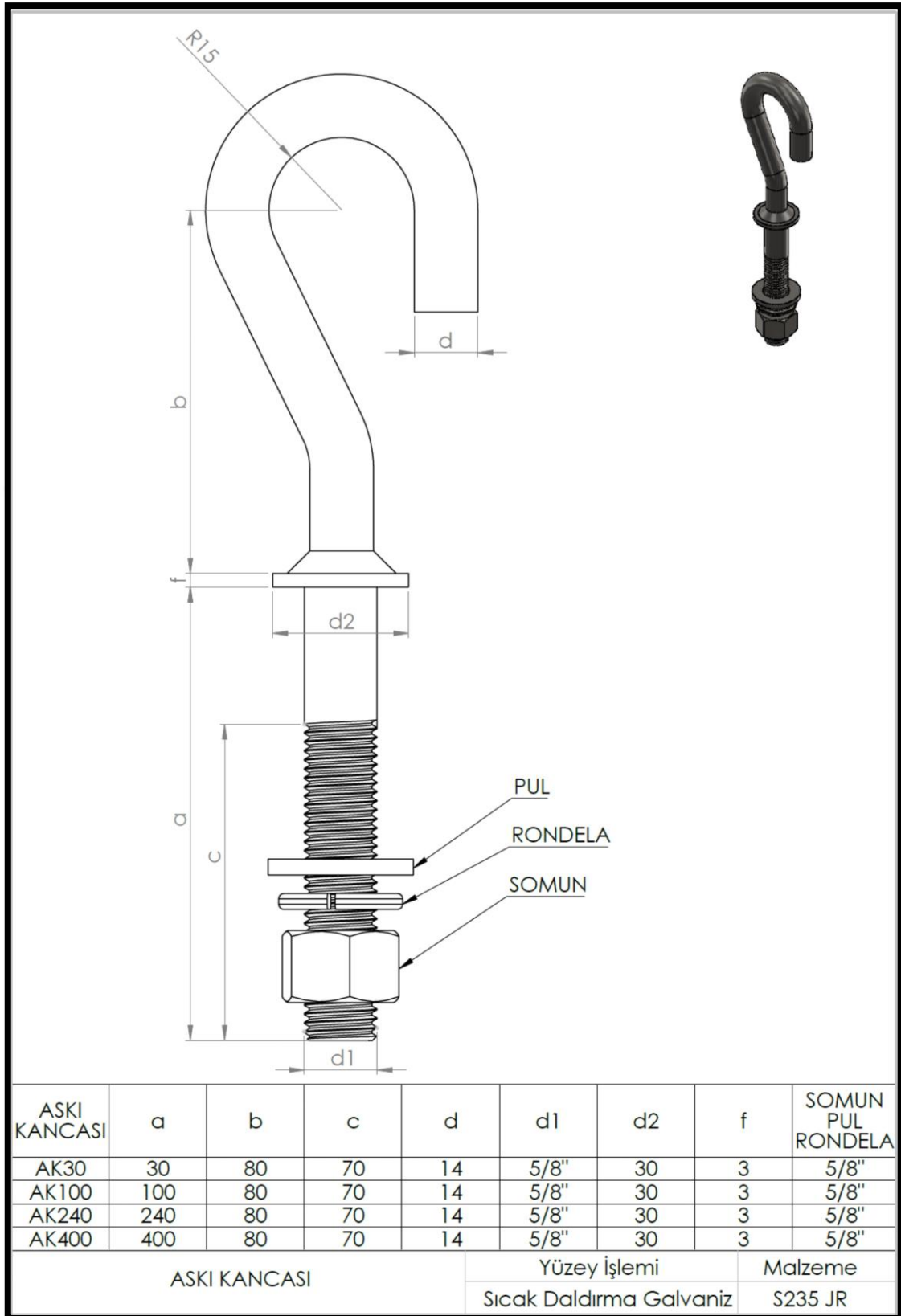
- EM 80 Makara izolatörü (Şekil 3.43)
- İzolatör mili (Şekil 3.45)
- Özengi demiri (Şekil 3.45)
- Askı kancası (demir ve beton direklerde) (Şekil 3.44)
- Halkalı saplama (ağaç direklerde) (Şekil 3.46)



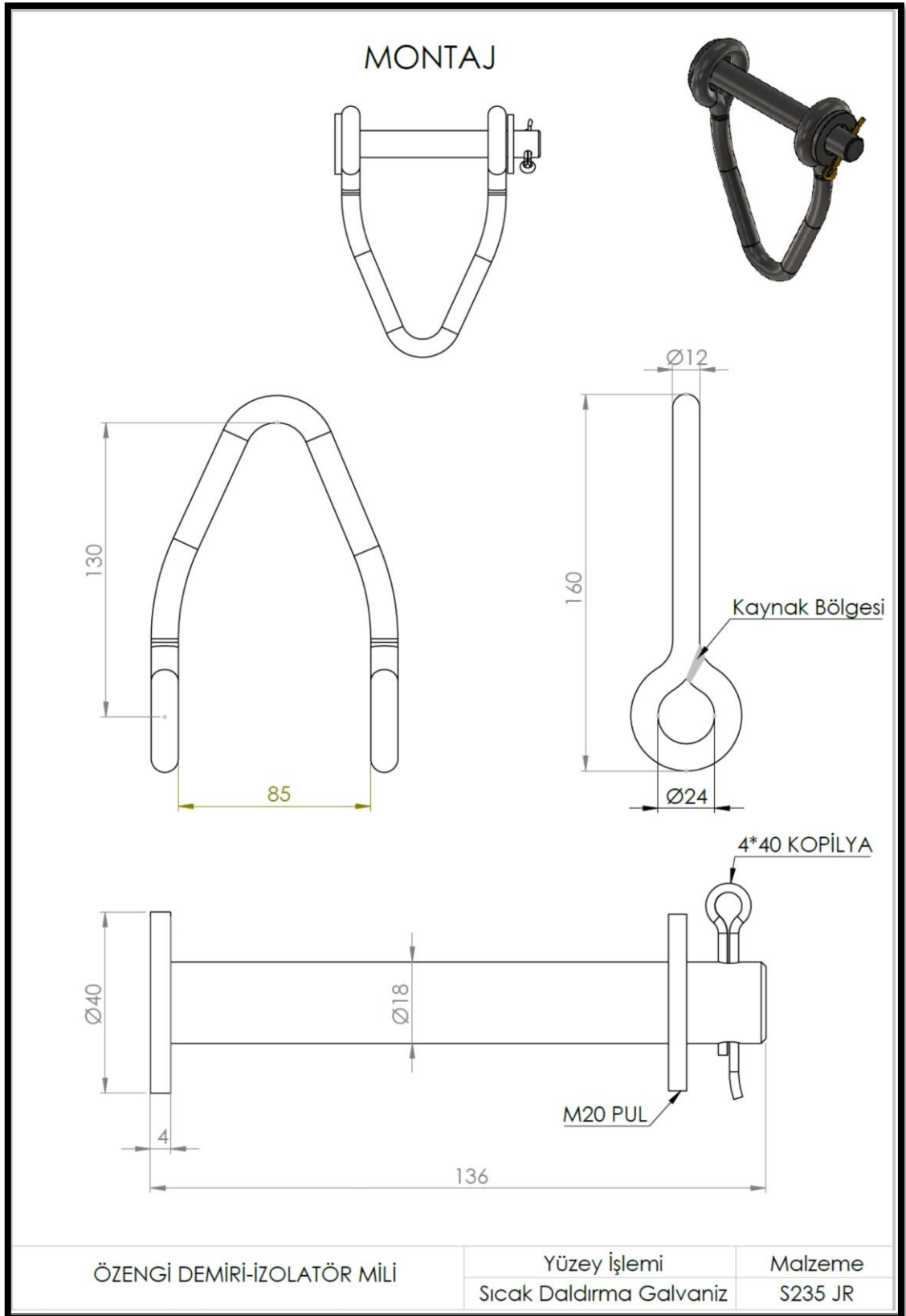
Şekil 3.43. Makara izolatörü

Çizelge 3.19. Makara izolatörü boyutları (mm)

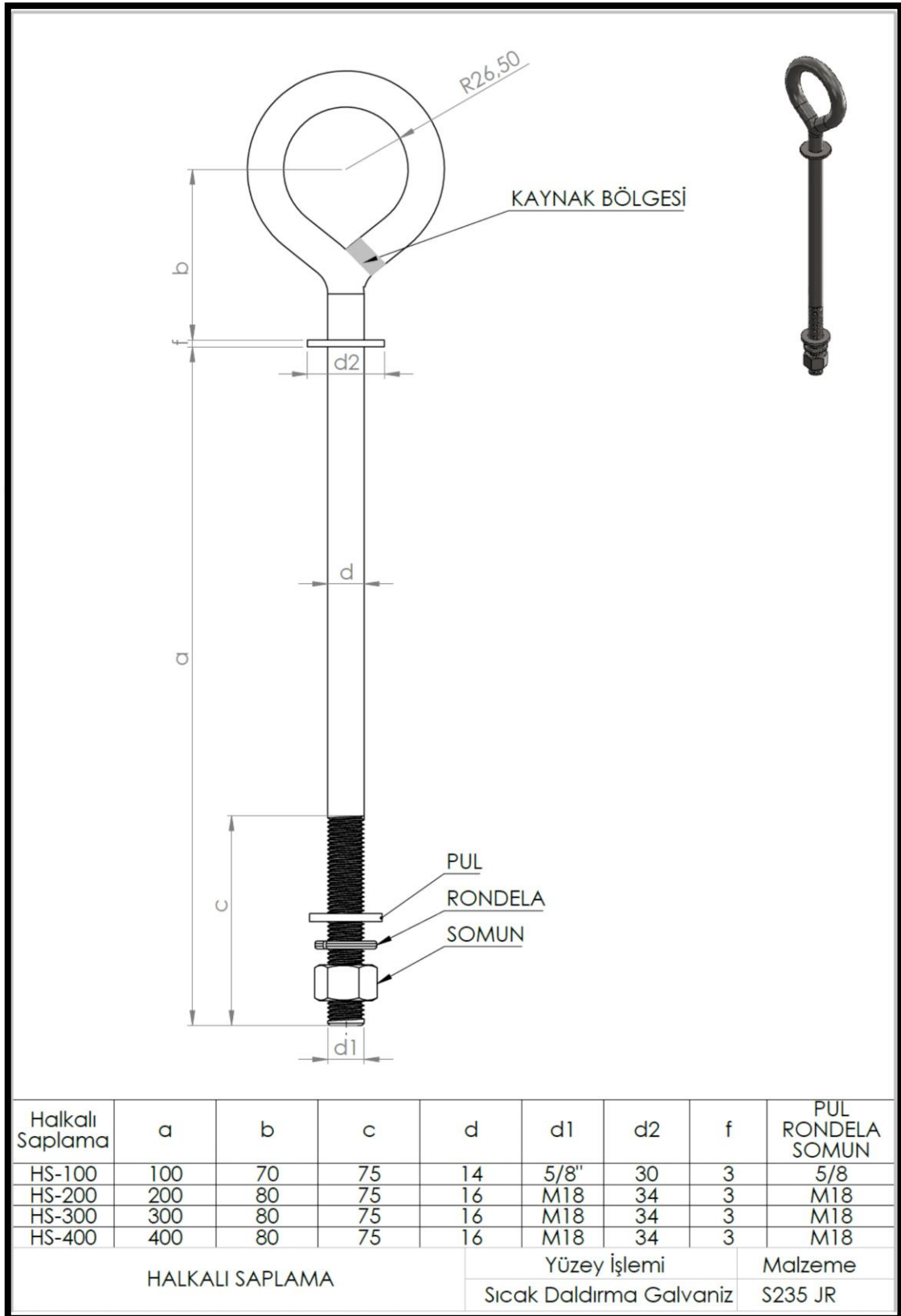
İzolatör Tipi	H	h	d1	d2	d3	d4	r
EM-80	80	40	25	28	50	85	10



Şekil 3.44. Askı kancası (Anonim, 2022)



Şekil 3.45. İzolatör mili ve özengi demiri (Anonim, 2022)



Şekil 3.46. Halkalı saplama (Anonim, 2022)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Türkiye’de Mevcut Dağıtım Sistemi Gerilimleri

Türkiye’de elektrik enerjisi dağıtım sistemi için kullanılacak standart gerilimler TS 83 numaralı Türk Standartları ile belirlenmiştir. Bu standartlara göre 100-1000 V arası gerilimler; tek fazlı elektrik şebekeleri 110 V ve 220 V, üç fazlı elektrik şebekeleri 110V/190 V ve 220 V/380 V olan şebekelerdir.

Standartta bir iletim hattındaki gerilimin değeri, anma geriliminden en fazla $\pm$ %10 kadar değişim gösterebilir. Tavsiye edilen durum ise hatlardaki gerilim değişiminin $\pm$ %5 olmasıdır. Yine TS 83 standardına göre doğru akım şebekelerinde kullanılabilecek standart gerilimler 600 V, 1200 V ve 2400 V’tur. Doğru akım şebekelerinde en yüksek gerilim, anma geriliminin en fazla %20’si kadar en düşük gerilim ise anma geriliminin en fazla %33’ü kadar değişim gösterebilir.

Ülkemizde 30-31,5-33-34,5-35-35,5 kV’luk gerilimler kullanılmaktadır. Bu durum nedeniyle şebekeler arasında malzeme değişimleri zorlaşmaktadır. Bundan dolayı seri içerisinde en uygun gerilim kademesinin seçilmesi ve yeni kurulumlarda sadece bu gerilim seçeneğinin tercih edilmesi yerinde olacaktır. Bahsi geçen bu gerilim seviyeleri arasında en çok 34,5 kV daha sonra ise 31,5 kV gerilim seviyeleri kullanılmaktadır (Turgut ve Selçuk, 2023).

4.2. Yük Tahmini

Yük tahmini dağıtım şebekelerinde en önemli konulardan biridir. Yük tahmininin başka bir ifadesi de tüketim miktarının belirlenmesi olarak söylenebilir. Tüketim miktarına bağlı olarak trafo seçimi, iletkenlerin seçimi ve bunlara ilişkin hesaplamalar yapılır. Şebeke hesaplamalarında yayılı yük ve güç yoğunluğu gibi kavramlar kullanılmaktadır.

AG elektrik şebekesinde bir metre uzunluğa düşen yayılı yük miktarına güç yoğunluğu denilir. Güç yoğunluğu J ile gösterilir ve birimi W/m’dir. AG iletken kesitlerinin belirlenmesi için gerilim düşümü hesapları yapılır. Köylerde J değeri kişi başına 75 W’tan az olmayacak şekilde planlanır. Belde ve küçük kasabalar için kişi başına en az 100 W planlanır. Şehirlerde kullanılan elektrik şebekelerinde ise, AG panolarının

çıkışlarında ve binalarda ölçümler yapıldıktan sonra imar planındaki kat adedi ve daire sayılarına göre J hesabı yapılır (Yunusoğlu, 2011).

4.2.1 Nüfusa göre güç yoğunluğu tayini

Ortalama güç yoğunluğu $J = \frac{Nf \cdot Q \cdot 1,1}{L}$ formülü ile hesaplanır.

Burada;

Nf : Nüfus

Q (birimi: W/kişi): Kişi başına güç tüketimi

L (birimi: m): AG şebeke uzunluğu

şeklinde ifade edilir.

Bu formülde $N \cdot Q$ dağıtımı yapılacak toplam güç değerini hesaplar. Yine bu formüldeki 1,1 değeri %10'luk şebeke kaybını temsil etmektedir. Eğer yerleşim bölgesinde farklı yoğunluklar söz konusu ve farklı sosyoekonomik durumlar varsa L değeri;

$$L = k_1 L_1 + k_2 L_2 + k_3 L_3 + \dots$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada k ile gösterilen tüketim kat sayısı (yoğunluk ve sosyoekonomik gelişmişlikteki farklılıklar için) projeyi geliştiren kişi tarafından belirlenir. k değeri köylerde 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; ...; 0,9; 1 olarak ilçe, belde ve şehir elektrik şebekelerinde ise $k_1 = 0,5$; $k_2 = 0,75$; $k_3 = 1$ alınır (Yunusoğlu, 2011).

4.3. İletken Tasarımlarının Kesit Hesabı

Mevcut bir trafo bölgesinde mevcut direkler üzerinde her iki iletken çeşidinin de tasarımı gerçekleştirilecek olup ardından izoleli iletken için uygulama çalışmasının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Tasarımda ve uygulamada Konya İli Ahırlı İlçesi Büyüköz Mahallesi'nde 1000610614 barkod numaralı T-25 trafo direğinin üzerinde bulunan BÜYÜKÖZ TR-1 trafosunun B kolu referans alınacaktır.

11 hane bulunan BÜYÜKÖZ TR-1 B kolunda tüketicilerin ortalama hane gücü 5 kW olarak alınacaktır. Trafo gücü 100 kVA'dır. Şebekede beton ve demir direkler kullanılacaktır. Tasarım ve uygulama 3. Buz yükü bölgesi hesapları göz önüne alınarak

yapılacaktır. Kesit değerleri, %5’lik gerilim düşümü ve güç faktörü $\cos(\varphi)=0,8$ değeri baz alınarak güç yoğunluğu yöntemi ile hesaplanacaktır.

4.4. İletkenlerin Karşılaştırmalı Analizleri

Çıplak ve izoleli alüminyum iletkenlerin karşılaştırmalı analizleri aşağıdaki başlıklarda incelenecektir.

- Ekonomik Analiz
- Teknik Analiz
- Güvenlik Analizi

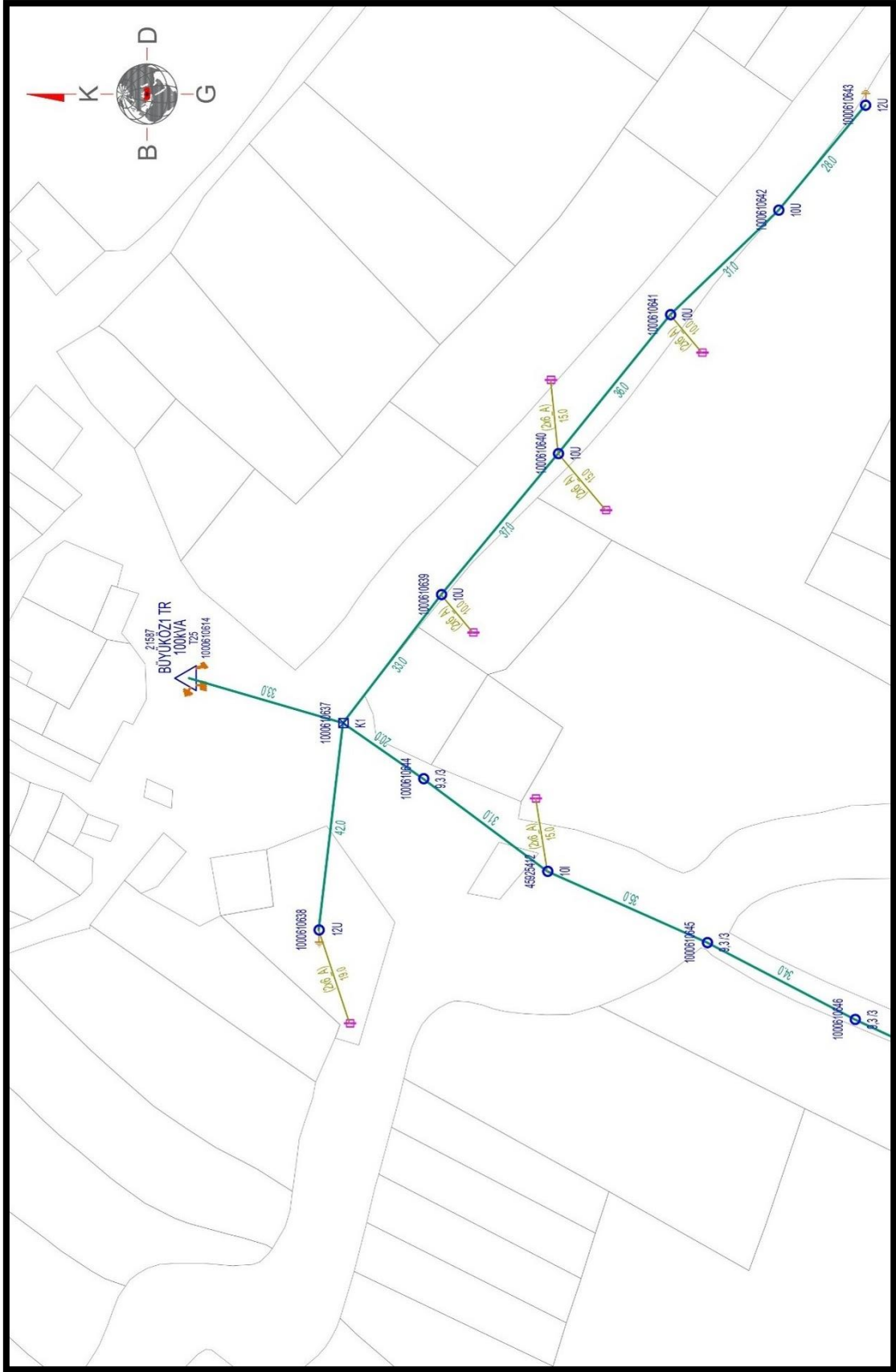


5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

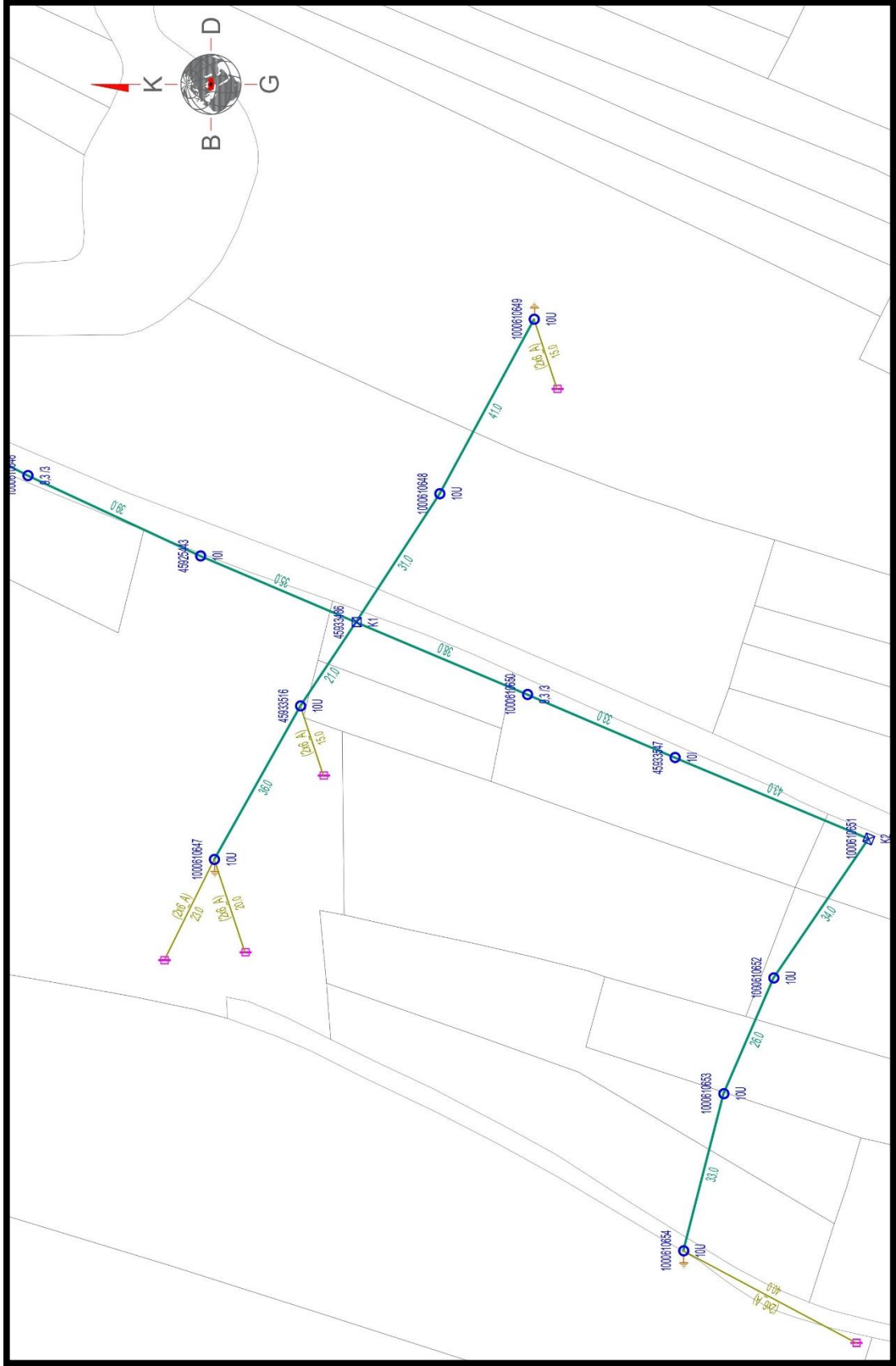
İletken tasarımı yapılacak şebekenin mevcut durumu Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İletken tasarımı yapılacak şebekenin tamamı



Şekil 5.2. İletken tasarımı yapılacak şebekenin bir kısmı



Şekil 5.3. İletken tasarımı yapılacak şebekenin bir kısmı

İletken tasarımına güç yoğunluğu değeri bulunarak başlanır.

$$J = \frac{N \cdot Q \cdot 1,1}{L}$$

Burada $N \cdot Q$ toplam dağıtılacak güç değeridir. Tasarımı yapılacak trafo kolundaki hane ve ortalama güç değeri bilindiği için dağıtılacak güç değeri ortalama hane gücü ile hane sayısı çarpımından 55 kW olarak bulunur.

Tasarımı yapılacak trafo kolunun toplam uzunluğu Şekil 5.4'te verilen uzunluklar ile hesaplandığında:

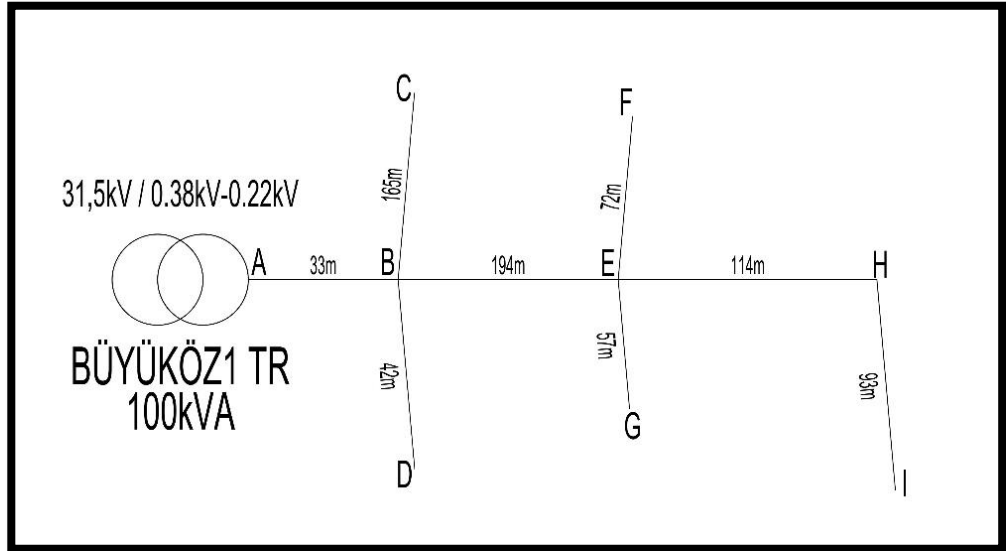
$$33 + 194 + 114 + 165 + 72 + 42 + 57 + 93 = 770\text{m olarak bulunur.}$$

Böylece güç yoğunluğu değeri

$$J = \frac{55000 \cdot 1,1}{770} = 78,57 \sim 80 \frac{W}{m}$$

olarak bulunur.

Şekil 5.4'te iletken tasarımı yapılacak şebekenin düğüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 5.4. İletken tasarımı yapılacak şebekenin düğüm noktaları gösterimi.

Ardından öncelikle yayılı yüke göre çekilen güçleri bulmak gerekir. Yayılı yüklü sistemlerde bir koldan çekilen güç o kolun ortasından çekiliyormuş gibi kabul edilir. Bu durumda sistemdeki bütün kollardan çekilen aktif güçler;

$$P_{AB} = J \cdot l_{AB} = 80 \cdot 33 = 2640 \text{ W} = 2,64 \text{ kW}$$

$$P_{BC} = J \cdot l_{BC} = 80 \cdot 165 = 13200 \text{ W} = 13,20 \text{ kW}$$

$$P_{BD} = J \cdot l_{BD} = 80 \cdot 42 = 3360 \text{ W} = 3,36 \text{ kW}$$

$$P_{BE} = J \cdot l_{BE} = 80 \cdot 194 = 15520 \text{ W} = 15,52 \text{ kW}$$

$$P_{EF} = J \cdot l_{EF} = 80 \cdot 72 = 5760 \text{ W} = 5,76 \text{ kW}$$

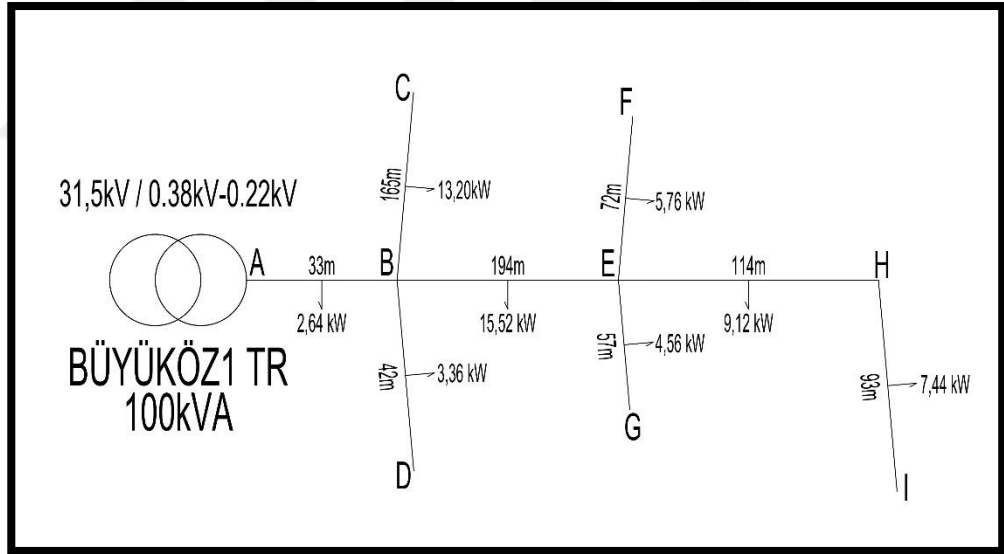
$$P_{EG} = J \cdot l_{EG} = 80 \cdot 57 = 4560 \text{ W} = 4,56 \text{ kW}$$

$$P_{EH} = J \cdot l_{EH} = 80 \cdot 114 = 9120 \text{ W} = 9,12 \text{ kW}$$

$$P_{HI} = J \cdot l_{HI} = 80 \cdot 93 = 7440 \text{ W} = 7,44 \text{ kW}$$

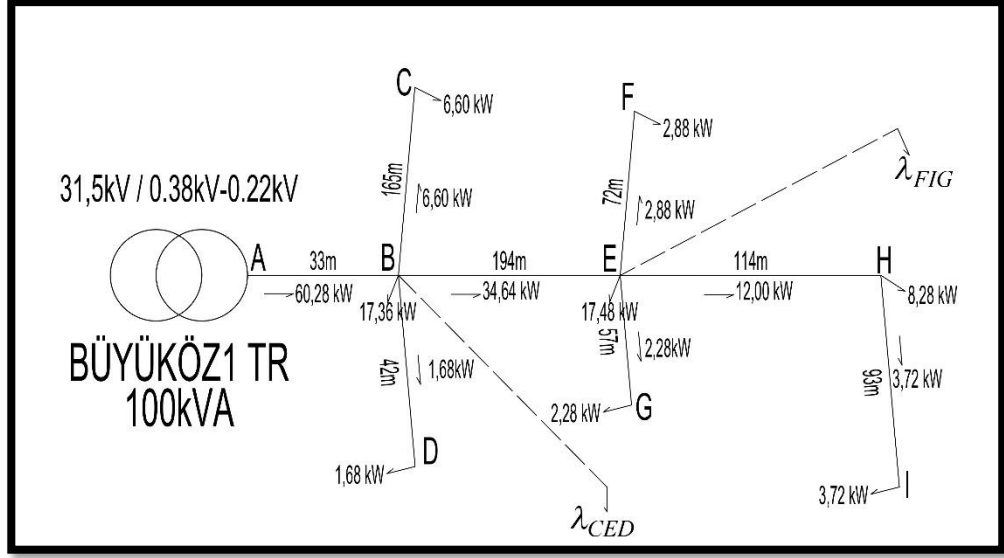
olarak bulunur.

Hesaplanan güç değerleri ile yeniden çizilen hat Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Kollar üzerinden çekilen güçlerin gösterimi.

Bütün kollardan çekilen güçler hat başı, hat sonu ve düğüm noktalarına indirgenir. Daha sonra eşdeğer uzunluklarının hesaplanacağı kollar belirlenerek kollara ait güç momentleri ve eşdeğer uzunluklar hesaplanır. (FIG) koluna ait eşdeğer uzunluk (λ_{FIG}), (CED) koluna ait eşdeğer uzunluk ise (λ_{CED})'dir. Buna göre güçlerin hat başı, hat sonu ve düğüm noktalarına indirgenmiş durumu Şekil 5.6'daki gibi olur.



Şekil 5.6. Güçlerin hat başı, hat sonu ve düğüm noktalarına indirgenmiş gösterimi

Buradan sistemdeki kolların güç momentleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{AB} = 60,28 \cdot 33 = 1989,24 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC} = 6,6 \cdot 165 = 1089 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{BD} = 1,68 \cdot 42 = 70,56 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{BE} = 34,64 \cdot 194 = 6720,16 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{EF} = 2,88 \cdot 72 = 207,36 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{EG} = 2,28 \cdot 57 = 129,96 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{EH} = 12 \cdot 114 = 1368 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{HI} = 3,72 \cdot 93 = 345,96 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

$$M_{EI} = M_{EH} + M_{HI} = 1368 + 345,96 = 1713,96 \text{ kW} \cdot \text{m}$$

Daha sonra (FIG) kollarına ait eşdeğer uzunluk (λ_{FIG}) bulunur.

$$\text{Sistemden } n \text{ adet yük çekiliyorsa: } \lambda = \sqrt{\frac{l_0 \cdot \sum_{k=1}^n M_k \cdot l_k}{M_0}} \quad (\text{Turgut ve Selçuk, 2023})$$

formülü ile hesaplanır.

$$\lambda_{FIG} = \sqrt{\frac{l_{BE} (l_{EF} M_{EF} + l_{EI} M_{EI} + l_{EG} M_{EG})}{M_{BE}}}$$

$$\lambda_{FIG} = \sqrt{\frac{194(72 \cdot 207,36 + 207 \cdot 1713,96 + 57 \cdot 129,96)}{6720,16}}$$

$$\lambda_{FIG} = 105m$$

$$l_{BEFIG} = l_{BE} + \lambda_{FIG}$$

$$l_{BEFIG} = 194 + 105$$

$$l_{BEFIG} = 299m$$

$$M_{BEFIG} = M_{BE} + M_{\lambda FIG}$$

$$M_{BEFIG} = 6720,16 + 34,64 \cdot 105$$

$$M_{BEFIG} = 10357,36 \text{ kW} \cdot m$$

Daha sonra (CED) kollarına ait eşdeğer uzunluk (λ_{CED}) bulunur.

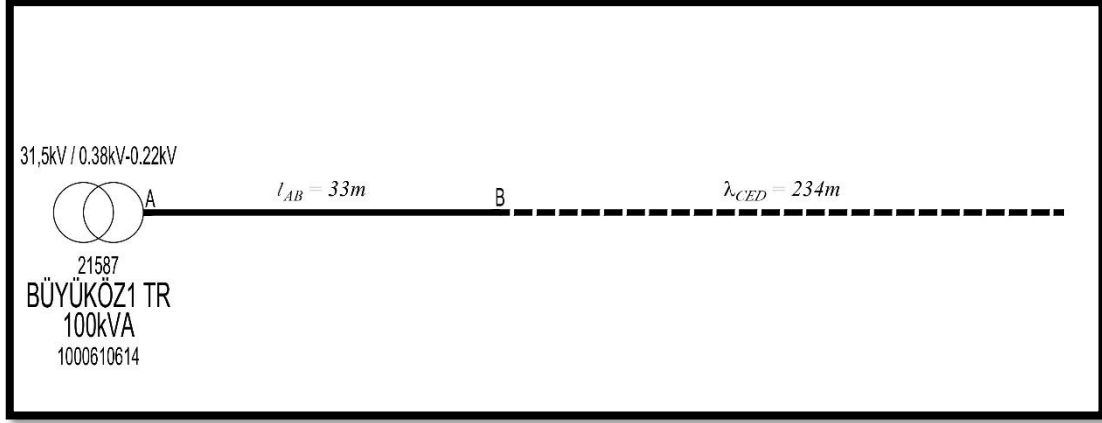
$$\lambda_{CED} = \sqrt{\frac{l_{AB} (l_{BC} M_{BC} + l_{BEFIG} M_{BEFIG} + l_{BD} M_{BD})}{M_{AB}}}$$

$$\lambda_{CED} = \sqrt{\frac{33(165 \cdot 1089 + 299 \cdot 10357,36 + 42 \cdot 70,56)}{1989,24}}$$

$$\lambda_{CED} = 234m$$

$$M_{\lambda CED} = P_{AB} \cdot \lambda_{CED} = 60,28 \cdot 234 = 14105,52 \text{ kW} \cdot m$$

Sistemin indirgenmiş şekli ise Şekil 5.7’de görüldüğü gibi olur.



Şekil 5.7. Sistemin en son indirgenmiş halinin gösterimi

5.1. İletken Tasarımları

Alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında çıplak alüminyum iletkenler belirli tertiplerde kullanılır.

Tek fazlı hatta genel olarak;

- Rose/Rose (R/R) bir faz, bir nötr,
- Rose+Rose/Rose (R+R/R) bir faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,

tertiplerinde kullanılır.

Üç fazlı hatta ise genel olarak;

- 3xRose/Rose (3xR/R) üç faz, bir nötr,
- 3xRose+Rose/Rose (3xR+R/R) üç faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xRose+2xRose/Rose (3xR+2xR/R) üç faz, iki sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xPansy+Rose/Pansy (3xP+R/P) üç faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xPansy+2xRose/Pansy (3xP+2xR/P) üç faz, iki sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xAster+Rose/Pansy (3xA+R/P) üç faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xAster+2xRose/Pansy (3xA+2xR/P) üç faz, iki sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xOxlip+Rose/Aster (3xO+R/A) üç faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr,
- 3xOxlip+2xRose/Aster (3xO+2xR/A) üç faz, iki sokak aydınlatma fazı ve bir nötr, tertiplerinde kullanılır.

İzoleli alüminyum iletkenlerde faz kesitleri genel olarak 16, 25, 35, 50, 70, 95 ve 120 mm² kesitlerinden oluşur. Sırasıyla nötr iletkeni 25, 35, 50, 70, 95, 95 ve 95 mm² kesitlerinden oluşur. Nötr iletkeni aynı zamanda askı teli olarak kullanılır. İletkeni direk

üzerinde travers ve izolatör yardımı ile askı teli tutar. Sokak aydınlatma için 16 mm² kesiti kullanılır. Sokak aydınlatma fazı gücün fazla olduğu yerlerde 2x16 mm² kullanılır.

Tek fazlı hatta örnek tertip 1x16+1x16+25_AER (bir faz, bir sokak aydınlatma fazı ve bir nötr/ askı teli) şeklinde; üç fazlı hatta örnek tertip 3x70+1x16+95_AER (üç faz, iki sokak aydınlatma fazı ve bir nötr/askı teli) şeklinde olur.

İletken tasarımlarında kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir.

$$\Delta U = \frac{l \cdot P}{\gamma \cdot q \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$q_0 = \frac{(l_0 + \lambda) P_0}{\gamma \cdot \Delta U_0 \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$f(\varphi) = 1 + \frac{x}{R} \tan(\varphi)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \text{ (Turgut ve Selçuk, 2023)}$$

5.1.1. Çıplak alüminyum iletken tasarımı

Tasarımlar %5'lik gerilim düşümü ile yapılacağı için maksimum gerilim düşümü değeri ona göre bulunur:

$$\Delta U = \frac{\varepsilon}{100} \cdot U$$

$$\Delta U = \frac{5}{100} \cdot 380 = 19 \text{ V}$$

Çıplak alüminyum iletken tasarımı yapıldığı için $f(\varphi)_{ort.}=1,444$ alınır (Turgut ve Selçuk, 2023). Buradan (AB) arasındaki hattın iletken kesiti;

$$q_{AB} = \frac{M_{AB} + M_{\lambda CED}}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{AB} = \frac{(1989,24 + 14105,52)10^3}{35 \cdot 19 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$q_{AB} = 91,97 \text{ mm}^2$ bulunur.

Çizelge 5.1' de çıplak alüminyum iletken kesitleri ve $f(\varphi)$ değerleri verilmiştir. Bulunan kesite en yakın üst kesit olan $107,3 \text{ mm}^2$ kesitli OXLIP iletkeni seçilir.

Çizelge 5.1. Çıplak alüminyum iletken kesitleri ve $f(\varphi)$ değerleri (Turgut ve Selçuk, 2023)

İletken	Toplam Kesit (mm^2)	$f(\varphi)$
ROSE	21,14	1,191
PANSY	42,37	1,32
POPPY	53,49	1,442
ASTER	67,45	1,543
PHLOX	84,99	1,669
OXLIP	107,3	1,824

Seçilen iletken kesitine göre (AB) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri

$\Delta U_{AB}^G = \frac{M_{AB}}{\gamma \cdot q_{AB} \cdot U} \cdot f(\varphi)$ formülü ile bulunur.

$$\Delta U_{AB}^G = \frac{M_{AB}}{\gamma \cdot q_{AB} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{AB}^G = \frac{1989,24 \cdot 10^3}{35 \cdot 107,3 \cdot 380} \cdot 1,824$$

$$\Delta U_{AB}^G = 2,54 \text{ V}$$

Gerilim düşümleri paralel kollarda aynı olacağı için aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BD}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EF}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EG}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EH} + \Delta U_{HI}$$

Buradan (BC) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{BC} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G$$

$$\Delta U_{BC} = 19 - 2,54 = 16,46 \text{ V}$$

$$q_{BC} = \frac{M_{BC}}{\gamma \cdot \Delta U_{BC} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{BC} = \frac{1089 \cdot 10^3}{35 \cdot 16,46 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$$q_{BC} = 7,18 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 21,14 mm² kesitli ROSE iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.1).

Daha sonra (BD) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{BD} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G$$

$$\Delta U_{BD} = 19 - 2,54 = 16,46 \text{ V}$$

$$q_{BD} = \frac{M_{BD}}{\gamma \cdot \Delta U_{BD} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{BD} = \frac{70,56 \cdot 10^3}{35 \cdot 16,46 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$$q_{BD} = 0,47 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst standart kesit olan 21,14 mm² kesitli ROSE iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.1).

(ABEH) kolu ana hat olarak tasarlandığı için (BE) ve (EH) kollarında seçilecek olan iletken (AB) kolunda seçilen iletken ile aynı olacaktır. Yani 107,3 mm² kesitli OXLIP iletkeni seçilir.

Seçilen iletken kesitine göre (BE) kolunun gerçek gerilim düşüm değeri bulunur:

$$\Delta U_{BE}^G = \frac{M_{BE}}{\gamma \cdot q_{BE} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{BE}^G = \frac{6720,16 \cdot 10^3}{35 \cdot 107,3 \cdot 380} \cdot 1,824$$

$$\Delta U_{BE}^G = 8,59 \text{ V}$$

Daha sonra (EF) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{EF} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G$$

$$\Delta U_{EF} = 19 - 2,54 - 8,59 = 7,87 \text{ V}$$

$$q_{EF} = \frac{M_{EF}}{\gamma \cdot \Delta U_{EF} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{EF} = \frac{207,36 \cdot 10^3}{35 \cdot 7,87 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$$q_{BC} = 2,86 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst standart kesit olan 21,14 mm² kesitli ROSE iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.1).

Daha sonra (EG) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{EG} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G$$

$$\Delta U_{EG} = 19 - 2,54 - 8,59 = 7,87 \text{ V}$$

$$q_{EG} = \frac{M_{EG}}{\gamma \cdot \Delta U_{EG} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{EG} = \frac{129,96 \cdot 10^3}{35,7,87 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$$q_{EG} = 1,79 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst standart kesit olan 21,14 mm² kesitli ROSE iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.1).

(EH) kolunun gerçek gerilim düşüm değeri bulunur:

$$\Delta U_{EH}^G = \frac{M_{EH}}{\gamma \cdot q_{EH} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{EH}^G = \frac{1368 \cdot 10^3}{35 \cdot 107,3 \cdot 380} \cdot 1,824$$

$$\Delta U_{EH}^G = 1,75 \text{ V}$$

Daha sonra (HI) kolunun kesit hesabı yapılır:

$$\Delta U_{HI} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G - \Delta U_{EH}^G$$

$$\Delta U_{HI} = 19 - 2,54 - 8,59 - 1,75 = 6,12 \text{ V}$$

$$q_{HI} = \frac{M_{HI}}{\gamma \cdot \Delta U_{HI} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{HI} = \frac{345,96 \cdot 10^3}{35 \cdot 6,12 \cdot 380} \cdot 1,444$$

$$q_{HI} = 6,13 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst standart kesit olan 21,14 mm² kesitli ROSE iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.1).

(HI) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri bulunur:

$$\Delta U_{HI}^G = \frac{M_{HI}}{\gamma \cdot q_{HI} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{HI}^G = \frac{345,96 \cdot 10^3}{35 \cdot 21,14 \cdot 380} \cdot 1,191$$

$$\Delta U_{HI}^G = 1,47 \text{ V}$$

En uzun hatta gerçek gerilim düşümü hesaplanır.

$$\Delta U_{ABEHI}^G = \Delta U_{AB}^G + \Delta U_{BE}^G + \Delta U_{EH}^G + \Delta U_{HI}^G$$

$$\Delta U_{ABEHI}^G = 2,54 + 8,59 + 1,75 + 1,47$$

$$\Delta U_{ABEHI}^G = 14,35 \text{ V}$$

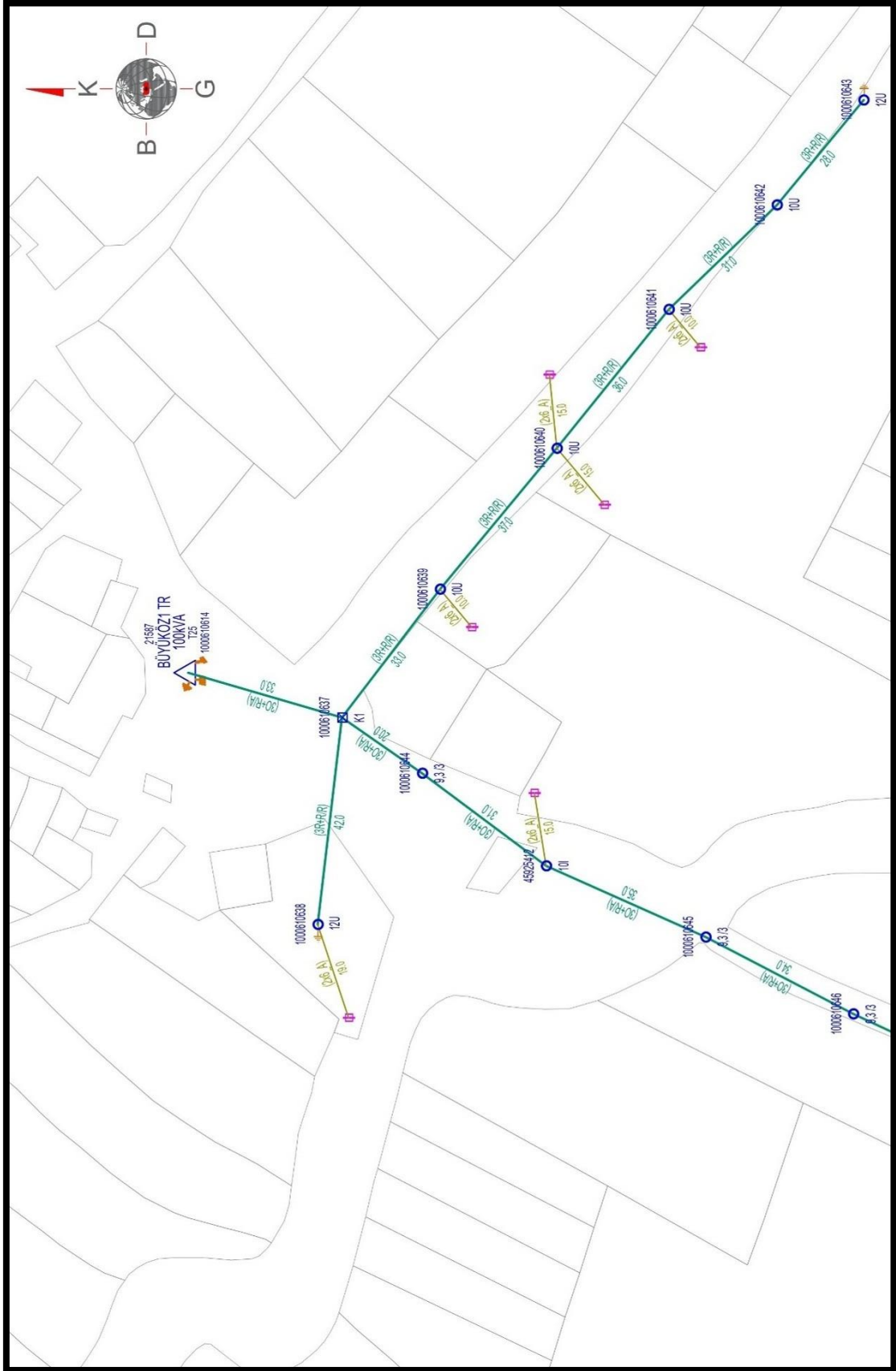
$$\% \varepsilon = \frac{\Delta U \cdot 100}{U}$$

$$\% \varepsilon = \frac{14,35 \cdot 100}{380}$$

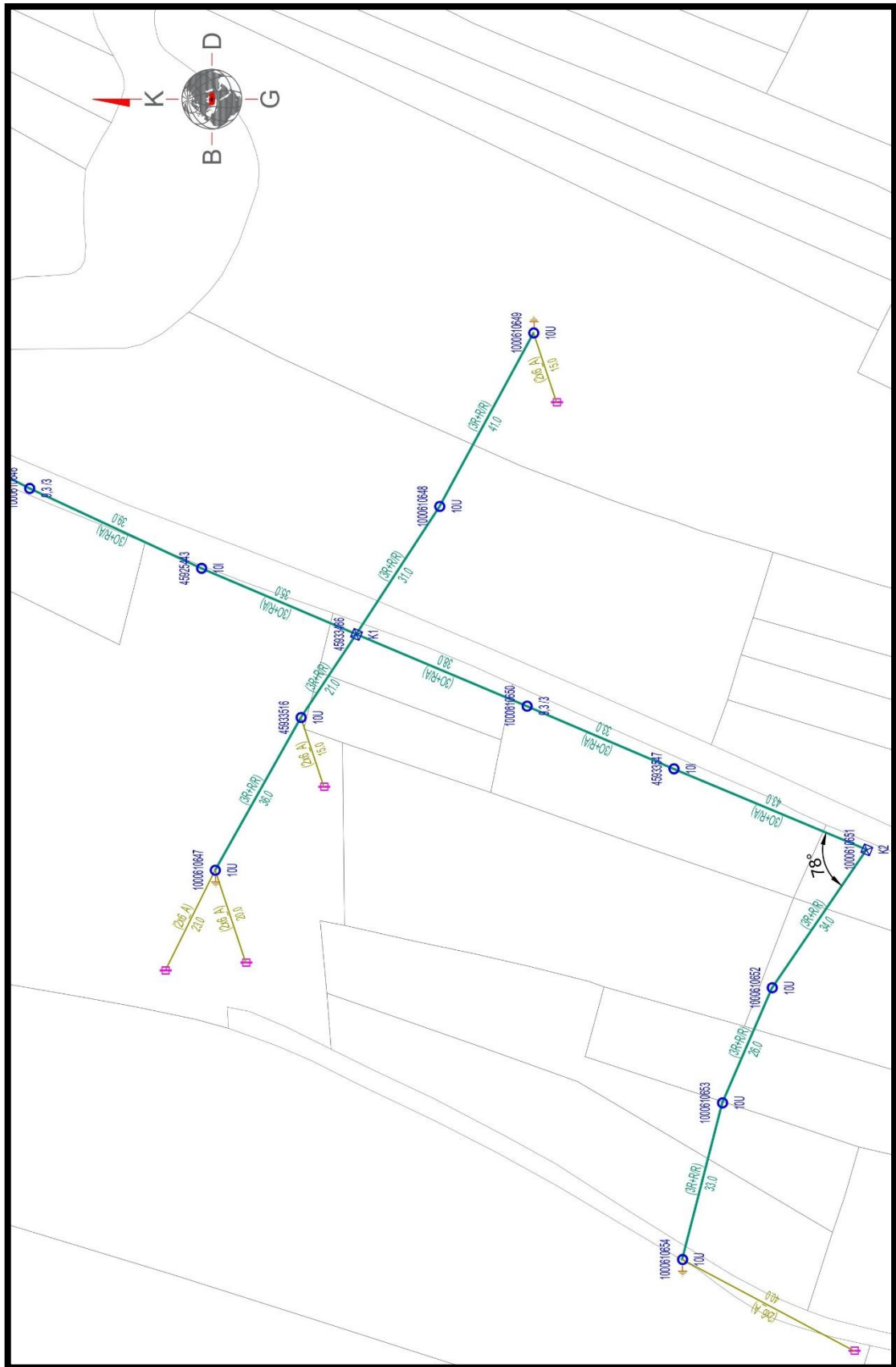
$$\% \varepsilon = 3,78$$

Çizelge 5.2. Çıplak iletken tasarımında kollara göre seçilen iletken tipleri

KOLLAR	SEÇİLEN İLETKEN
AB Kolu	OXLIP
BC Kolu	ROSE
BD Kolu	ROSE
BE Kolu	OXLIP
EF Kolu	ROSE
EG Kolu	ROSE
EH Kolu	OXLIP
HI Kolu	ROSE



Şekil 5.8. Çıplak alüminyum iletken hat tertibi-1



Şekil 5.9. Çıplak alüminyum iletken hat tertibi-2

5.1.2. İzoleli alüminyum iletken tasarımı

İzoleli alüminyum iletken tasarımı yapıldığı için $f(\varphi)_{ort.}=1,141$ alınır. Buradan (AB) arasındaki hattın iletken kesiti;

$$q_{AB} = \frac{M_{AB} + M_{\lambda CED}}{\gamma \cdot \Delta U \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{AB} = \frac{(1989,24 + 14105,52)10^3}{35 \cdot 19 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{AB} = 72,67 \text{ mm}^2$$

bulunur.

Çizelge 5.3' de izoleli alüminyum iletken kesitleri ve $f(\varphi)$ değerleri verilmiştir. Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 95 mm² kesitli 3x95+1x16+95_AER iletkeni seçilir.

Çizelge 5.3. İzoleli alüminyum iletken kesitleri ve $f(\varphi)$ değerleri.

İletken	Toplam Kesit (mm ²)	$f(\varphi)$
3x16+1x16+25 _AER	16	1,039
3x25+1x16+35 _AER	25	1,063
3x35+1x16+50 _AER	35	1,086
3x50+1x16+70 _AER	50	1,117
3x70+1x16+95 _AER	70	1,169
3x95+1x16+95 _AER	95	1,234
3x120+1x16+95 _AER	120	1,296

Seçilen iletken kesitine göre (AB) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri

$$\Delta U_{AB}^G = \frac{M_{AB}}{\gamma \cdot q_{AB} \cdot U} \cdot f(\varphi) \text{ formülü ile bulunur.}$$

$$\Delta U_{AB}^G = \frac{M_{AB}}{\gamma \cdot q_{AB} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{AB}^G = \frac{1989,24 \cdot 10^3}{35 \cdot 95 \cdot 380} \cdot 1,234$$

$$\Delta U_{AB}^G = 1,94 \text{ V}$$

Gerilim düşümleri paralel kollarda aynı olacağı için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BD}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EF}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EG}$$

$$\Delta U = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BE} + \Delta U_{EH} + \Delta U_{HI}$$

Buradan (BC) kolunun kesit hesabı yapılır:

$$\Delta U_{BC} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G$$

$$\Delta U_{BC} = 19 - 1,94 = 17,06 \text{ V}$$

$$q_{BC} = \frac{M_{BC}}{\gamma \cdot \Delta U_{BC} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{BC} = \frac{1089 \cdot 10^3}{35 \cdot 17,06 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{BC} = 5,48 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 16 mm² kesitli 3x16+1x16+25_AER iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.3).

Daha sonra (BD) kolunun kesit hesabı yapılır:

$$\Delta U_{BD} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G$$

$$\Delta U_{BD} = 19 - 1,94 = 17,06 \text{ V}$$

$$q_{BD} = \frac{M_{BD}}{\gamma \cdot \Delta U_{BD} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{BD} = \frac{70,56 \cdot 10^3}{35 \cdot 17,06 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{BD} = 0,36 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 16 mm² kesitli 3x16+1x16+25_AER iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.3).

(ABEH) kolu ana hat olarak tasarlandığı için (BE) ve (EH) kollarında seçilecek olan iletken (AB) kolunda seçilen iletken ile aynı olacaktır. Yani 95 mm² kesitli 3x95+1x16+95_AER iletkeni seçilir.

Seçilen iletken kesitine göre (BE) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri bulunur:

$$\Delta U_{BE}^G = \frac{M_{BE}}{\gamma \cdot q_{BE} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{BE}^G = \frac{6720,16 \cdot 10^3}{35 \cdot 95 \cdot 380} \cdot 1,234$$

$$\Delta U_{BE}^G = 6,56 \text{ V}$$

Daha sonra (EF) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{EF} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G$$

$$\Delta U_{EF} = 19 - 1,94 - 6,56 = 10,5 \text{ V}$$

$$q_{EF} = \frac{M_{EF}}{\gamma \cdot \Delta U_{EF} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{EF} = \frac{207,36 \cdot 10^3}{35 \cdot 10,5 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{BC} = 1,69 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 16 mm² kesitli 3x16+1x16+25_AER iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.3).

Daha sonra (EG) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{EG} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G$$

$$\Delta U_{EG} = 19 - 1,94 - 6,56 = 10,5 \text{ V}$$

$$q_{EG} = \frac{M_{EG}}{\gamma \cdot \Delta U_{EG} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{EG} = \frac{129,96 \cdot 10^3}{35 \cdot 10,5 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{EG} = 1,06 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 16 mm² kesitli 3x16+1x16+25_AER iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.3).

(EH) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri bulunur:

$$\Delta U_{EH}^G = \frac{M_{EH}}{\gamma \cdot q_{EH} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{EH}^G = \frac{1368 \cdot 10^3}{35 \cdot 95 \cdot 380} \cdot 1,234$$

$$\Delta U_{EH}^G = 1,34 \text{ V}$$

Daha sonra (HI) kolunun kesit hesabı yapılır.

$$\Delta U_{HI} = \Delta U - \Delta U_{AB}^G - \Delta U_{BE}^G - \Delta U_{EH}^G$$

$$\Delta U_{HI} = 19 - 1,94 - 6,56 - 1,34 = 9,16 \text{ V}$$

$$q_{HI} = \frac{M_{HI}}{\gamma \cdot \Delta U_{HI} \cdot U} \cdot f(\varphi)_{ort.}$$

$$q_{HI} = \frac{345,96 \cdot 10^3}{35 \cdot 9,16 \cdot 380} \cdot 1,141$$

$$q_{HI} = 3,24 \text{ mm}^2$$

Bulunan kesite en yakın üst kesit olan 16 mm² kesitli 3x16+1x16+25_AER iletkeni seçilebilir (Çizelge 5.3).

(HI) kolunun gerçek gerilim düşümü değeri bulunur:

$$\Delta U_{HI}^G = \frac{M_{HI}}{\gamma \cdot q_{HI} \cdot U} \cdot f(\varphi)$$

$$\Delta U_{HI}^G = \frac{345,96 \cdot 10^3}{35 \cdot 16 \cdot 380} \cdot 1,039$$

$$\Delta U_{HI}^G = 1,69 \text{ V}$$

En uzun hatta gerçek gerilim düşümü hesaplanır.

$$\Delta U_{ABEHI}^G = \Delta U_{AB}^G + \Delta U_{BE}^G + \Delta U_{EH}^G + \Delta U_{HI}^G$$

$$\Delta U_{ABEHI}^G = 1,94 + 6,56 + 1,34 + 1,69$$

$$\Delta U_{ABEHI}^G = 11,53 \text{ V}$$

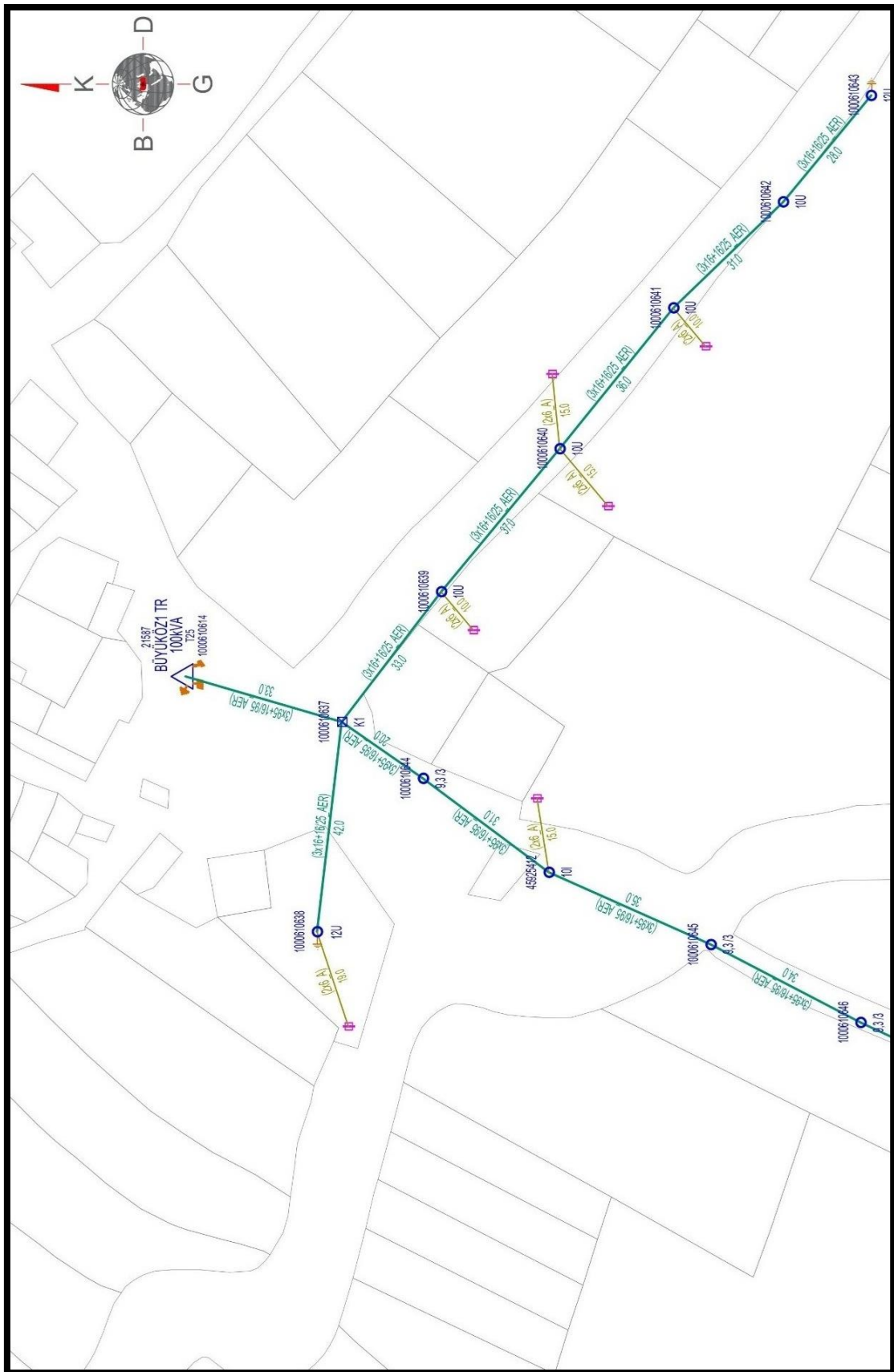
$$\% \varepsilon = \frac{\Delta U \cdot 100}{U}$$

$$\% \varepsilon = \frac{11,53 \cdot 100}{380}$$

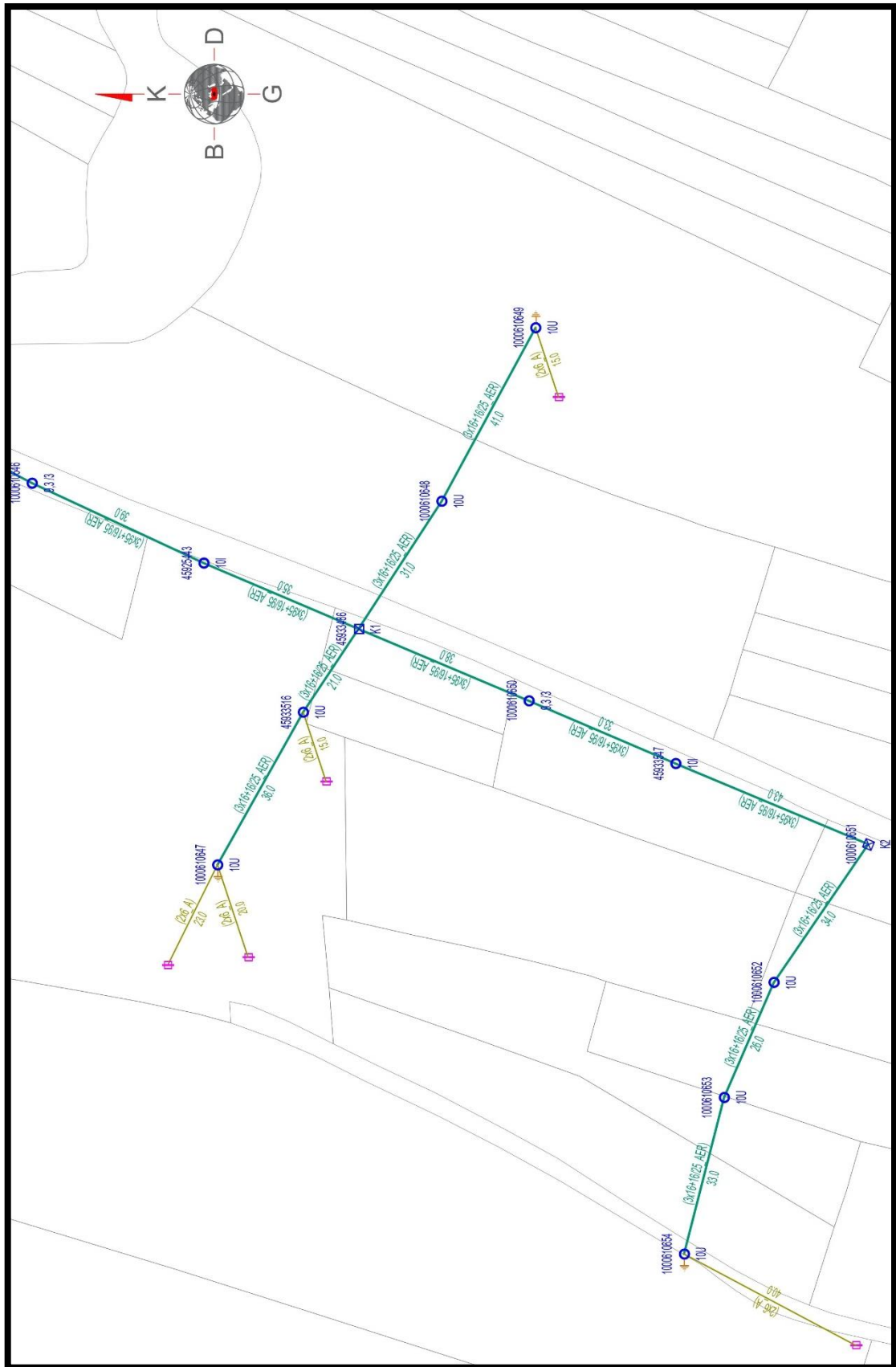
$$\% \varepsilon = 3,03$$

Çizelge 5.4. İzoleli İletken Tasarımında Kollara Göre Seçilen İletken Tipleri

KOLLAR	SEÇİLEN İLETKEN
AB Kolu	3x95+1x16+95_AER
BC Kolu	3x16+1x16+25_AER
BD Kolu	3x16+1x16+25_AER
BE Kolu	3x95+1x16+95_AER
EF Kolu	3x16+1x16+25_AER
EG Kolu	3x16+1x16+25_AER
EH Kolu	3x95+1x16+95_AER
HI Kolu	3x16+1x16+25_AER



Şekil 5.10. İzoleli alüminyum iletken hat tertibi-1.

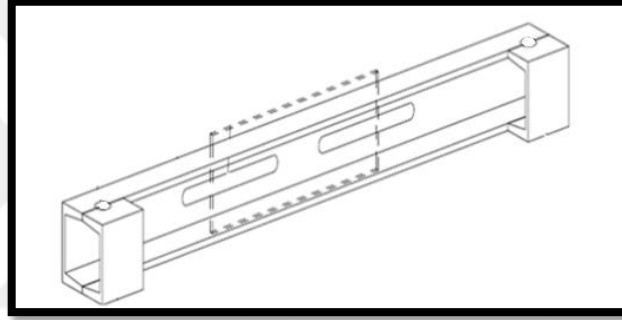


Şekil 5.11. İzoleli alüminyum iletken hat tertibi-2

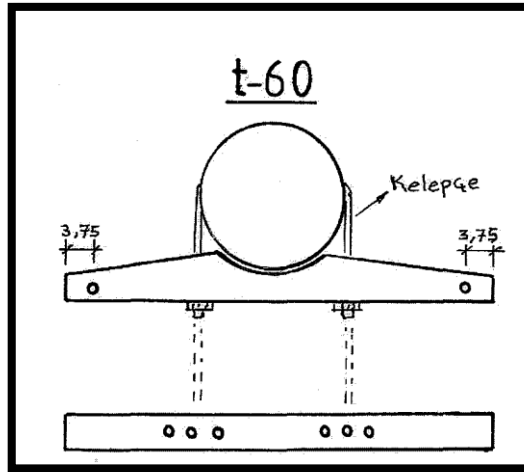
5.2. Ekonomik Analiz

Tez çalışmasında materyal ve yöntemler bölümünde açıklanan parametreler kullanılarak iletken tasarımları yapılmıştır. İletken tasarımları güç yoğunluğu hesabı yapılarak bulunmuştur. Yapılan bu tasarımların ekonomik analizi TEDAŞ 2024 birim fiyatları ile yapılacaktır.

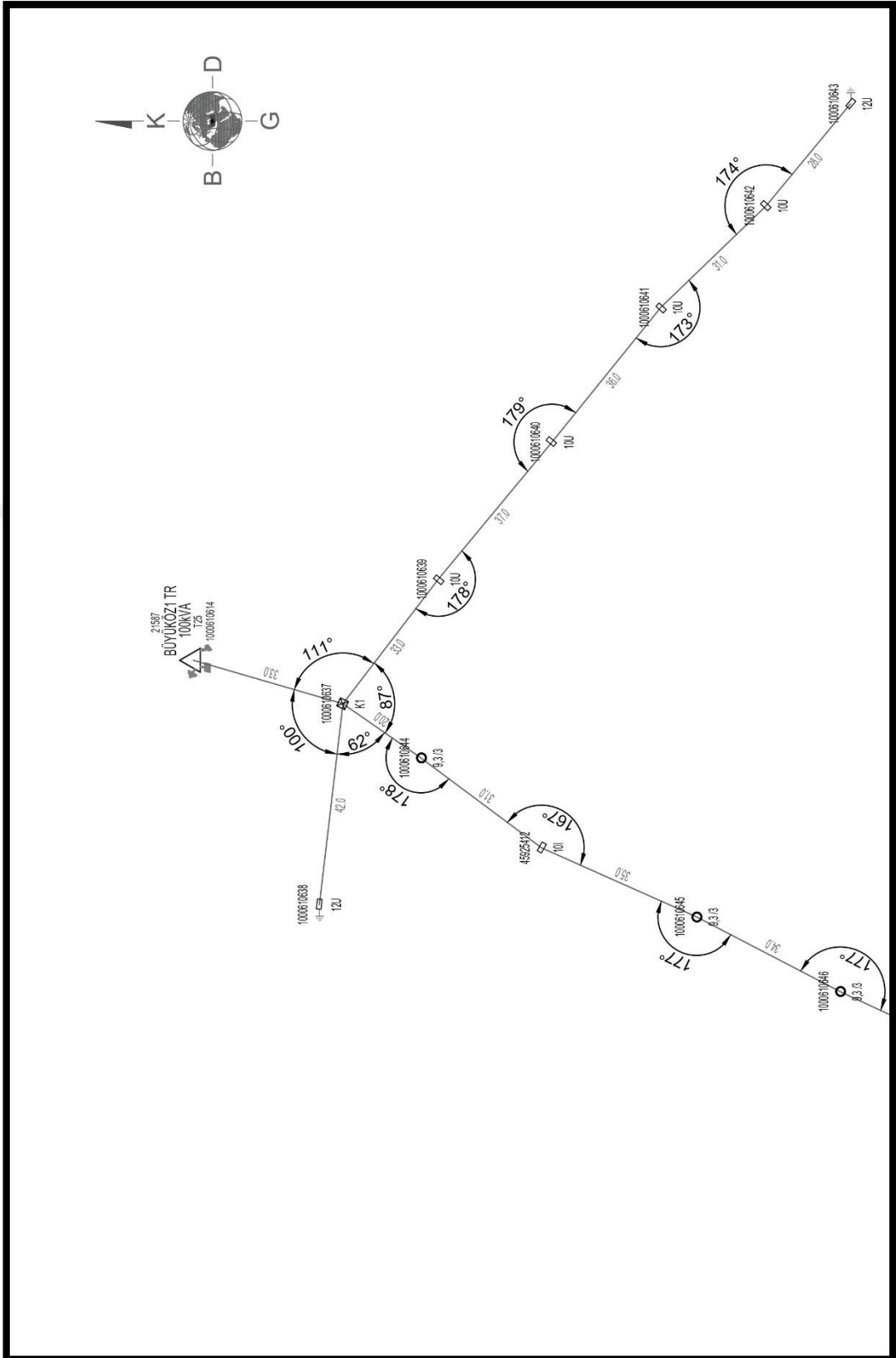
Havai elektrik hatları direkler üzerinde, travers ve izolatörler yardımı ile taşınır. Demir direklerde taşıyıcı traversler 6,5U-80(6kg) ve durdurucu traversler 6,5U-100 (7,5 kg) olarak seçilecektir (Şekil 5.12). Beton direklerde ise taşıyıcı traversler t-75 olarak seçilecektir (Şekil 5.13). Çıplak ve izoleli alüminyum iletkenler için kullanılan izolatörler farklıdır. Ekonomik analizler sadece iletken, travers ve izolatör ile yapılacaktır.



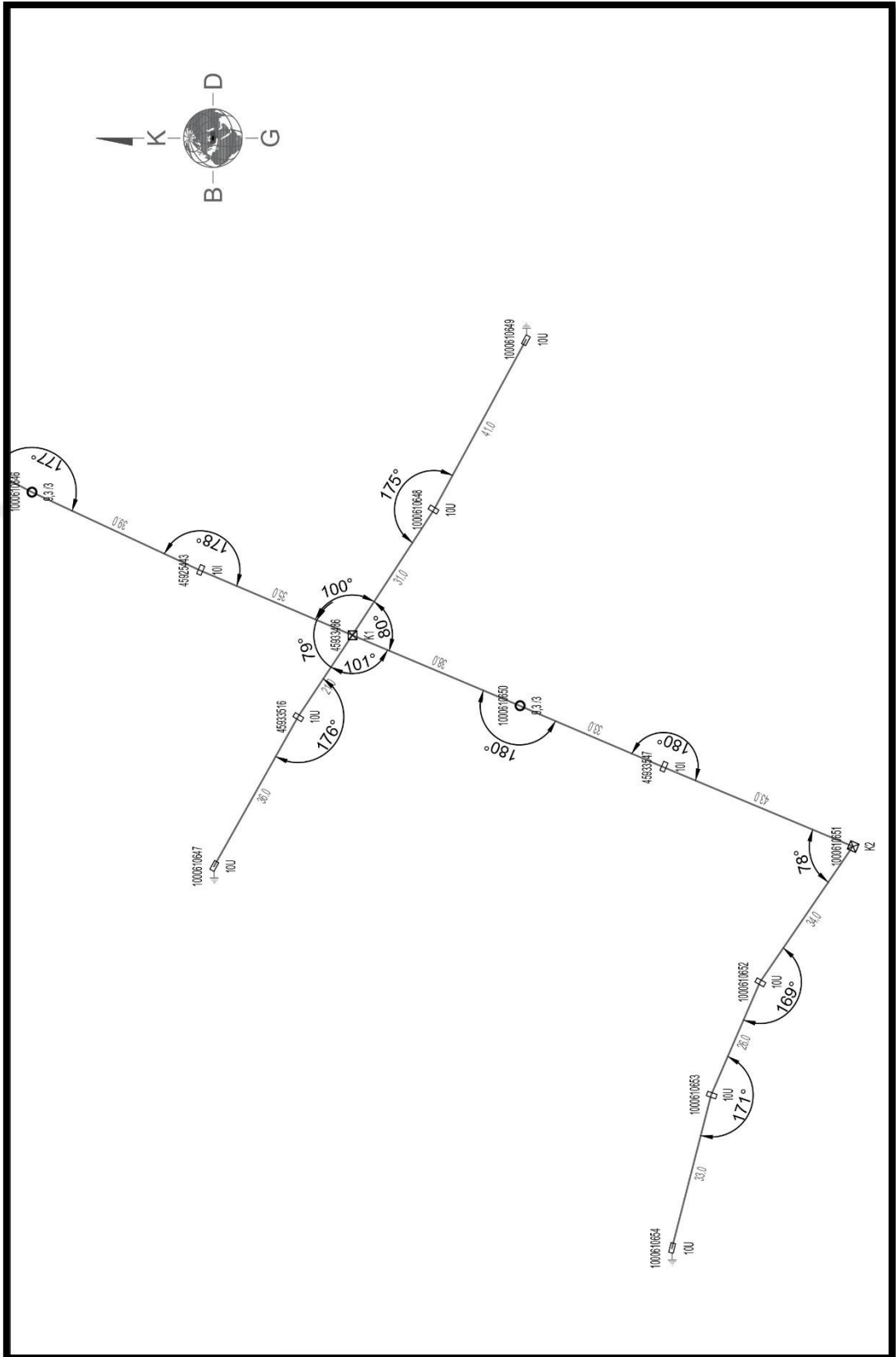
Şekil 5.12. U tipi travers



Şekil 5.13. t-60 travers



Şekil 5.14. Tasarımı yapılan hattın açıları-1



Şekil 5.15. Tasarımı yapılan hattın açıları-2

5.2.1. Mevcut direklerin tepe kuvveti hesabı

Direk tepe kuvveti hesabında çeşitli varsayımlar vardır. Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8’de yapılan tepe kuvveti hesabı, iletkenlerin maksimum çekme kuvvetleri bileşkesi ile yapılan hesap varsayımına ve durdurucu, köşede durdurucu, ayırım (branşman), tevzi direklerinde (durdurulan hat varsa) bir tarafın %100 diğer tarafın zayıflama yüzdelerine (Çizelge 5.5.) göre zayıflatılarak yapılan bileşke hesap varsayımına göre hazırlanmıştır. Tasarımda kullanılan 3O+R/A tertibi 5 iletkenli olduğu için %50 zayıflatılır. İzoleli iletkenler sarmal yapıda olduğu için tek iletken olarak kabul edilir ve tamamen kopmuş olarak hesaplanır.

Çizelge 5.5. Direk hesaplarında kullanılacak çekme kuvveti zayıflama yüzdeleri

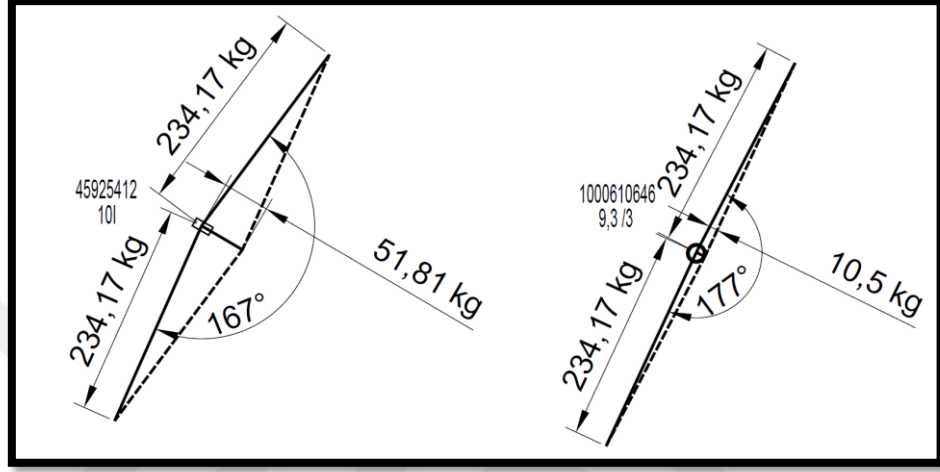
İletkenlerin toplam sayısı (toprak iletkeni hariç)	Tek yanlı zayıflama yüzdeleri %
2	100
3	75
4	60
5	50
6 ve daha çok	40

Çıplak iletken için taşıyıcı direklerin tepe kuvveti hesabı, iletkenlere gelen rüzgâr kuvveti varsayımına göre, köşede taşıyıcı direklerin tepe kuvveti hesabı ise, iletkenlerin maksimum çekme kuvvetleri bileşkesi ile yapılan hesap varsayımına ve +5 °C’deki çekme kuvvetleri bileşkesinin iletkenlere gelen rüzgâr kuvveti toplamı ile yapılan hesap varsayımına göre hazırlanır. Bütün çıplak iletken tertiplerinde taşıyıcı demir direk olarak minimum 8I direğinin ve taşıyıcı beton direk olarak minimum 9,3/2 direğinin seçilmesi iletkenlere gelen rüzgâr kuvvetini karşılamaktadır. Tasarımda taşıyıcı olarak kullanılan mevcut direkler 10I ve 9,3/3 olduğu için iletkenlere gelen rüzgâr kuvveti varsayımına göre uygundur. Direkler köşede taşıyıcı olarak 120 dereceye kadar kullanılabilirler.

3. bölgede +5 °C’deki çekme kuvvetleri:

- Rose iletkeninde 12 kg
- Aster iletkeninde 38,42 kg
- Oxlip iletkeninde 61,25 kg alınır.

Buradan 3O+R/A tertibinin +5°C derecedeki çekme kuvveti 234,17 kg olarak bulunur. Tasarımda köşede taşıyıcı olarak en dar açılı demir direk 10I ve açısı da 167 derecedir. Köşede taşıyıcı olarak en dar açılı beton direk 9,3/3 ve açısı da 177 derecedir. Bileşke hesabı yapıldığında 167 derecede 234,17 kg'ın bileşkesi 51,8 kg, 177 derecede 234,17 kg'ın bileşkesi 10,5 kg olarak bulunur (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Tasarımı yapılan hattın açıları-2

İletkenlere etki eden rüzgâr kuvvetleri:

- Rose iletkeninde 0,310 kg/m
- Aster iletkeninde 0,555 kg/m
- Oxlip iletkeninde 0,641 kg/m alınır.

Buradan 3O+R/A tertibinin rüzgâr kuvvetleri 2,788 kg/m olarak bulunur. Direğe etki eden rüzgâr kuvveti, rüzgâr menzili ile iletkenlere etki eden rüzgâr kuvvetlerinin çarpımı ile bulunur. Rüzgâr menzili direğin bir önceki ve bir sonraki direk arasında mesafelerin aritmetik ortalamasıdır. Bu değer maksimum 50 m olur. Direğe etki eden rüzgâr kuvveti ise 139,4 kg olarak bulunur.

Son olarak 3. bölgede +5 °C'deki çekme kuvveti ve direğe etki eden rüzgâr kuvveti toplanarak direk tepe kuvveti hesabı yapılmış olur. 167 derecedeki 10I direğine etki eden toplam yük 191,21 kg olur. 10I direğinin rüzgârlı tepe kuvveti 443 kg > 191,21 kg olduğu için direk uygundur. 177 derecedeki 9,3/3 direğine etki eden toplam yük 149,9 kg olur. 9,3/3 direğinin rüzgârlı tepe kuvveti, rüzgârsız tepe kuvvetinden tepeye

indirgenmiş rüzgâr kuvveti çıkarılarak bulunur. Diğer direkler için Çizelge 5.4.'te verilen hesaplar geçerlidir.

- $300 - 34 = 266$ kg olarak bulunur.

9,3/3 direğinin rüzgârlı tepe kuvveti $266 \text{ kg} > 149,9 \text{ kg}$ olduğu için direk uygundur. Tasarımdaki diğer köşede taşıyıcı direkler daha büyük açılarda olduğu için hesap yapılmasına gerek yoktur.

İzoleli iletken için de taşıyıcı direklerin tepe kuvveti hesabı, iletkenlere gelen rüzgâr kuvveti varsayımına göre hesaplanır. 3x95+1x16+95_AER kablo için %100 ek rüzgâr yükü 3. bölgede $1,936 \text{ kg/m}$ 'dir. Tasarımda taşıyıcı olan 10I ve 9,3/3 direkleri için ayrı hesaplar yapılır. 10I direği rüzgârlı tepe kuvveti ve 9,3/3 direği rüzgârlı tepe kuvveti rüzgâr yüküne bölünür. 50 metre birim açıklığın üzerindeki değerler uygun olarak kabul edilir.

- 10I için: $443 / 1,936 = 228,8 \text{ m}$ olarak bulunur. $228,8 \text{ m} > 50 \text{ m}$ olduğu için direk uygundur.
- 9,3/3 için: $266 / 1,936 = 137,4 \text{ m}$ olarak bulunur. $137,4 \text{ m} > 50 \text{ m}$ olduğu için direk uygundur.

Çıplak iletkenli direk tepe kuvveti hesabında dört adet mevcut direk ihtiyacı karşılayamazken, izoleli iletkenli direk tepe kuvveti hesabında bütün mevcut direkler ihtiyacı karşılamaktadır. İhtiyacı karşılayamayan 3 adet 10U direği 12I olarak, 1 adet K2 direği ise K3 olarak değiştirildiğinde çıplak iletkenli tasarımda ekstra maliyet oluşur (Çizelge 5.3.). Direk ağırlık farkları 3. bölgede:

- $12I - 10U = 258 - 245 = 13 \text{ kg}$,
- $K3 - K2 = 578 - 504 = 74 \text{ kg}$ olarak bulunur.

Toplam ağırlık farkı ise 113 kg olarak hesaplanır. Bu farkın maliyet keşfi Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. İhtiyacı karşılayamayan direk ağırlık farklarının maliyet keşfi

(FİYAT YILI: 2024 BÖLGESİ: 3)								
POZ NO	MALZEMENİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	MALZ BR.FİYATI (TL)	MONT BR.FİYATI (TL)	MALZ TOP.FİYATI (TL)	MONT TOP.FİYATI (TL)	TOP. FİYATI (TL)
005.5.1.0.01	DEMİR DİREK TRAVERS ve KONSOLLAR	KG.	113,00	54,67	164,26	6.177,71	18.561,38	24.739,09
					GENEL TOPLAM	6.177,71 TL	18.561,38 TL	24.739,09 TL

Çizelge 5.7. Çıplak İletkenli Tasarımda Mevcut Direklerin Tepe Kuvveti Hesabı (kg)

ÇIPLAK İLETKENLİ TASARIMDA MEVCUT DİREKLERİN TEPE KUVVETİ HESABI (kg)																	
D.No	TİPİ	DİREK TEPE KUVVETİ	R1 (baz)	R2	AÇI (R2 ile)	R3	AÇI (R3 ile)	R4	AÇI (R4 ile)	R5	AÇI (R5 ile)	R _x	R _y	A-TİPİ/ BETON $R = \sqrt{\frac{R_x + R_y}{2}}$	KAFES $R = R_x + R_y $	TEPE KUVVETİ	AÇIKLAMA
1000610637	K1	1000	0	1223	81	735	192	1223	279	735	341	359	-392	531	751	UYGUN	
1000610638	12U	1200	735									735	0	735	735	UYGUN	
1000610639	10U	700	735	735	178							0	26	26	26	UYGUN	
1000610640	10U	700	735	735	179							0	13	13	13	UYGUN	
1000610641	10U	700	735	735	173							5	90	90	95	UYGUN	
1000610642	10U	700	735	735	174							4	77	77	81	UYGUN	
1000610643	12U	700	735									735	0	735	735	UYGUN	
1000610644	9,3 /3	300	1223	1223	178							1	43	43	43	UYGUN	
45925412	10I	700	1223	1223	167							31	275	277	306	UYGUN	
1000610645	9,3 /3	300	1223	1223	177							2	64	64	66	UYGUN	
1000610646	9,3 /3	300	1223	1223	177							2	64	64	66	UYGUN	
45925443	10I	700	1223	1223	178							1	43	43	43	UYGUN	
45933486	K1	700	0	735	11	1223	90	735	190	1223	270	-2	13	13	15	UYGUN	
45933516	10U	700	735	735	176							2	51	51	53	UYGUN	
1000610647	10U	700	735									735	0	735	735	UYGUN DEĞİL	
1000610648	10U	700	735	735	175							3	64	64	67	UYGUN	
1000610647	10U	700	735									735	0	735	735	UYGUN DEĞİL	
1000610650	9,3 /3	300	1223	1223	180							0	0	0	0	UYGUN	
45933547	10I	700	1223	1223	180							0	0	0	0	UYGUN	
1000610651	K2	2000	1223	735	78							1.376	719	1.552	2.095	UYGUN DEĞİL	
			611,5	735	78							764	719	1.049	1.483	UYGUN	ZAYIFLATMA
			1223	368	78							1.299	359	1.348	1.659	UYGUN	ZAYIFLATMA
1000610652	10U	700	735	735	169							14	140	141	154	UYGUN	
1000610653	10U	700	735	735	171							9	115	115	124	UYGUN	
1000610654	10U	700	735									735	0	735	735	UYGUN DEĞİL	

Çizelge 5.8. İzoleli İletkenli Tasarımda Mevcut Direklerin Tepe Kuvveti Hesabı (kg)

İZOLELİ İLETKENLİ TASARIMDA MEVCUT DİREKLERİN TEPE KUVVETİ HESABI (kg)																	
D.No	Tipi	DİREK TEPE KUVVETİ	R1 (baz)	R2	AÇI (R2 ile)	R3	AÇI (R3 ile)	R4	AÇI (R4 ile)	R5	AÇI (R5 ile)	R _x	R _y	A-TİPİ / BETON $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$	KAFES $R = R_x + R_y $	TEPE KUVVETİ	AÇIKLAMA
1000610637	K1	1000	0	1140	81	600	192	1140	279	600	341	337	-320	465	657	UYGUN	
1000610638	12U	1200	600									600	0	600	600	UYGUN	
1000610639	10U	700	600	600	178							0	21	21	21	UYGUN	
1000610640	10U	700	600	600	179							0	10	10	11	UYGUN	
1000610641	10U	700	600	600	173							4	73	73	78	UYGUN	
1000610642	10U	700	600	600	174							3	63	63	66	UYGUN	
1000610643	12U	700	600									600	0	600	600	UYGUN	
1000610644	9,3 / 3	300	1140	1140	178							1	40	40	40	UYGUN	
45925412	10I	700	1140	1140	167							29	256	258	286	UYGUN	
1000610645	9,3 / 3	300	1140	1140	177							2	60	60	61	UYGUN	
1000610646	9,3 / 3	300	1140	1140	177							2	60	60	61	UYGUN	
45925443	10I	700	1140	1140	178							1	40	40	40	UYGUN	
45933486	K1	700	0	600	11	1140	90	600	190	1140	270	-2	10	10	12	UYGUN	
45933516	10U	700	600	600	176							1	42	42	43	UYGUN	
1000610647	10U	700	600									600	0	600	600	UYGUN	
1000610648	10U	700	600	600	175							2	52	52	55	UYGUN	
1000610647	10U	700	600									600	0	600	600	UYGUN	
1000610650	9,3 / 3	300	1140	1140	180							0	0	0	0	UYGUN	
45933547	10I	700	1140	1140	180							0	0	0	0	UYGUN	
1000610651	K2	2000	1140	600	78							1.265	587	1.394	1.852	UYGUN	ZAYIFLATMA
			0	600	78												ZAYIFLATMA
			1140	0	78							1.140	0	1.140	1.140	UYGUN	
1000610652	10U	700	600	600	169							11	114	115	126	UYGUN	
1000610653	10U	700	600	600	171							7	94	94	101	UYGUN	
1000610654	10U	700	600									600	0	600	600	UYGUN	

5.2.2. Çıplak alüminyum iletkenin ekonomik analizi

Çizelge 5.9’da çıplak alüminyum iletkenli tasarım keşif özeti çıkarılmıştır.

Çizelge 5.9. Çıplak alüminyum iletkenli tasarım keşif özeti.

BÜYÜKÖZ TR1 B KOLU								
ÇIPLAK ALÜMİNYUM İLETKENLİ TASARIM KEŞİF ÖZETİ								
(FİYAT YILI: 2024 BÖLGESİ: 3)								
POZ NO	MALZEMENİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	MALZ BR.FİYATI (TL)	MONT BR.FİYATI (TL)	MALZ TOP.FİYATI (TL)	MONT TOP.FİYATI (TL)	TOP. FİYATI (TL)
005.5.1.0.01	DEMİR DİREK TRAVERS ve KONSOLLAR	KG.	477,00	54,67	164,26	26.077,59	78.352,02	104.429,61
005.7.22.01	t-60 Tipi , PORTATİF TRAVERS	AD.	12,00	178,57	88,06	2.142,84	1.056,72	3.199,56
009.2.0.01	ROSE AWG 4 (59.15 Kg/Km)	KG.	147,05	156,77	116,88	23.053,03	17.187,20	40.240,23
009.5.0.06	ASTER AWG 2/0 (187.68 Kg/Km)	KG.	64,00	156,77	50,66	10.033,28	3.242,24	13.275,52
009.5.0.08	OXLIP AWG 4/0 (298.86 Kg/Km)	KG.	305,73	156,77	35,81	47.929,29	10.948,19	58.877,48
011.4.01	1 KV N 80	AD.	85,00	35,20	38,65	2.992,00	3.285,25	6.277,25
011.4.02	1 KV N 95	AD.	55,00	47,75	41,28	2.626,25	2.270,40	4.896,65
011.5.02	B 80	AD.	85,00	60,33	0,00	5.128,05	0,00	5.128,05
011.5.03	B 95	AD.	55,00	70,59	0,00	3.882,45	0,00	3.882,45
GENEL TOPLAM						123.864,78 TL	116.342,03 TL	240.206,81 TL

5.2.3. İzoleli alüminyum iletkenin ekonomik analizi

Çizelge 5.10’da izoleli alüminyum iletkenli tasarım keşif özeti çıkarılmıştır.

Çizelge 5.10. İzoleli alüminyum iletkenli tasarım keşif özeti.

BÜYÜKÖZ TR1 B KOLU								
İZOLELİ ALÜMİNYUM İLETKENLİ TASARIM KEŞİF ÖZETİ								
(FİYAT YILI: 2024 BÖLGESİ: 3)								
POZ NO	MALZEMENİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	MALZ BR.FİYATI (TL)	MONT BR.FİYATI (TL)	MALZ TOP.FİYATI (TL)	MONT TOP.FİYATI (TL)	TOP. FİYATI (TL)
005.5.1.0.01	DEMİR DİREK TRAVERS ve KONSOLLAR	KG.	159,00	54,67	164,26	8.692,53	26.117,34	34.809,87
005.7.22.01	t-60 Tipi , PORTATİF TRAVERS	AD.	4,00	178,57	88,06	714,28	352,24	1.066,52
009.5.0.14	3 X 16 / 16 + 25 mm ² (0.340 Kg/Mt.)	M.	429,00	53,54	41,68	22.968,66	17.880,72	40.849,38
ÖZEL	3 X 95 / 16 + 95 mm ²	M.	341,00	222,85	88,65	75.991,85	30.229,65	106.221,50
009.7.01	Makara İzolator TK MI 85	AD.	28,00	92,98	0,00	2.603,44	0,00	2.603,44
009.7.02	Makara İzolator mili TK IM 22	AD.	28,00	34,40	0,00	963,20	0,00	963,20
009.7.03	Özengi Demiri TK OD 85	AD.	28,00	36,04	0,00	1.009,12	0,00	1.009,12
009.7.19	Askı Kancası TK AK 100	AD.	28,00	84,26	0,00	2.359,28	0,00	2.359,28
GENEL TOPLAM						115.302,36 TL	74.579,95 TL	189.882,31 TL

5.3. Teknik Analiz

5.3.1. Çekme kuvvetleri (hat cerleri)

İletkenlerin direkler üzerinde çekme kuvvetleri vardır. Çıplak alüminyum iletkenlerde buz yükü bölgelerine göre farklılık gösterir. Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

İzoleli alüminyum iletkenlerde ise tüm buz yükü bölgelerinde aynıdır. Askı teli maksimum dayanımı 12 kg/mm^2 olduğu için askı teli kesiti ile çarpılarak iletken çekme kuvveti hesaplanır. Çizelge 5.12’de gösterilmiştir.

Bu çekme kuvvetlerine göre direk tipleri belirlenir.

**Çizelge 5.11. Çıplak alüminyum iletken çekme kuvvetleri
AG MAKSİMUM HAT CERLERİ**

Hat Tertibi	1. Bölge (Kg)	2. Bölge (Kg)	3. Bölge (Kg)	4. Bölge (Kg)
R/R	140	200	294	296
R+R/R	210	300	441	444
3xR/R	290	400	588	592
3xR+R/R	350	500	735	740
3xR+2xR/R	420	600	882	888
3xP+R/P	489	654	899	907
3xP+2xR/P	559	754	1046	1055
3xA+R/P	586	748	1025	1010
3xA+2xR/P	656	848	1172	1158
3xO+R/A	713	923	1223	1167
3xO+2xR/A	783	1023	1370	1315

Yapılan iletken tasarımlarında hesaplamalar sonucunda ana hatta çıplak alüminyum iletken olarak 3O+R/A iletkeni ve izoleli alüminyum iletken olarak 3x95+1x16+95_AER iletkeni bulunmuştur. Çekme kuvvetlerine göre 3O+R/A iletken için 3. buz yükü bölgesi değeri 1223 kg olarak bulunur (Çizelge 5.11). 3x95+1x16+95_AER iletken için çekme kuvveti 1140 kg bulunur (Çizelge 5.12). Bu iletkenler ile yapılan tasarımlarda durdurucu direk seçimi; çıplak iletkende minimum 1300 kg, izoleli iletkende ise minimum 1200 kg çekme kuvvetine dayanımlı olacak şekilde yapılmalıdır.

**Çizelge 5.12. İzoleli alüminyum iletken çekme kuvvetleri
AG MAKSİMUM HAT CERLERİ**

Hat Tertibi	Tüm Bölgeler (Kg)
3x16+1x16+25 _AER	300
3x25+1x16+35 _AER	420
3x35+1x16+50 _AER	600
3x50+1x16+70 _AER	840
3x70+1x16+95 _AER	1140
3x95+1x16+95 _AER	1140
3x120+1x16+95 _AER	1140

Çıplak iletken 3 faz ve bir sokak aydınlatma fazıyla yapılabilecek kesiti en küçük tertip 3R+R/R iletken tertibidir. Bu iletken tertibi 1. bölgede 350, 2. bölgede 500, 3. bölgede 735 ve 4. bölgede 740 kg çekme kuvvetine sahiptir. 3. ve 4. bölgelerde durdurucu direk seçimi minimum 800 kg çekme kuvvetine dayanımlı olacak şekilde yapılmalıdır. 800 kg çekme kuvvetine dayanımlı direk izoleli iletkenin ilk 3 hat tertibini rahatlıkla sonlandıracaktır. Özellikle 3. ve 4. bölgelerde izoleli iletkenlerde, çıplak iletkenlere karşı; daha büyük kesit-daha düşük dayanımlı direk seçimi avantajı vardır. 1. ve 2. bölgelerde ise çıplak iletkenlerde, izoleli iletkenlere karşı; daha büyük kesit-daha düşük dayanımlı direk seçimi avantajı vardır.

5.3.2. Akım taşıma kapasiteleri

İletkenlerin akım taşıma kapasiteleri vardır. Hat başı sigorta seçimleri akım taşıma kapasitesi değerlerine göre belirlenir. Çizelge 5.13'te çıplak alüminyum iletken akım taşıma kapasiteleri verilmiştir. Çizelge 5.14'te ise izoleli alüminyum iletken akım taşıma kapasiteleri verilmiştir.

**Çizelge 5.13. Çıplak alüminyum iletken akım taşıma kapasiteleri
İletken Akım Taşıma Kapasitesi (A)**

ROSE	104
PANSY	157
ASTER	207
OXLIP	273

Çizelge 5.14. İzoleli alüminyum iletken akım taşıma kapasiteleri
İletken **Akım Taşıma Kapasitesi (A)**

3x16+1x16+25 _AER	60
3x25+1x16+35 _AER	80
3x35+1x16+50 _AER	95
3x50+1x16+70 _AER	120
3x70+1x16+95 _AER	150
3x95+1x16+95 _AER	180
3x120+1x16+95 _AER	205

İzoleli iletkenler sarmal şeklinde birbirlerine temas ettikleri için akım taşıma değerleri normalden daha düşüktür. İletken içerisinden geçen akım iletken izolasyonunda ısınmaya sebep olur. Çıplak alüminyum iletkenlerde böyle bir durum söz konusu değildir. İzoleli iletkenin tesis edildiği hatlarda hat başı sigorta seçimleri önem kazanır. Yapılan tasarımda kullanılan trafo 100 kVA'dır. Standart AG çıkış sigortaları 160 A'dır. Ana hat için seçilen 3x95+1x16+95 _AER iletkeni 180A akım taşıma kapasitesine sahiptir. Kullanılan sigorta değeri, iletken akım taşıma kapasitesi değerinden düşük olduğu için uygundur. Çıplak iletken tasarımında ana hat için seçilen OXLIP iletkeni 273 A akım taşıma kapasitesine sahiptir. Kullanılan sigorta değeri, iletken akım taşıma kapasitesinden düşük olduğu için uygundur. Yüksek akım taşıma kapasitesi sanayi yüklerinin ve abonelerin fazla olduğu yerlerde çıplak iletkenin tercih edilme nedenlerindendir.

5.3.3. Düşey emniyet ve küçük aralıklı hava hattı mesafeleri

Çizelge 5.15'de hava hattı iletkenlerinin en büyük salgı durumunda üzerinden geçtikleri yerlere olan en küçük düşey uzaklıklar gösterilmiştir. Yanında * işareti bulunan mesafeler izoleli hava hattı kabloları için 0,5 m azaltılacaktır [Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (EKATY), Resmî Gazete 24246 (30 Kasım 2000), md. 44/a.].

Buradan hareketle izoleli alüminyum iletkenler çıplak alüminyum iletkenlerden daha kısa direklere tesis edilebilirler.

Ardışık iki direk arası mesafe çıplak iletkende en fazla 50 metre, izoleli iletkende en fazla 60 metre olur. Bu hatlara küçük aralıklı hatlar denir (EKATY, md. 4/a.). Branşman hatlarında ilk mesafe çıplak iletkende en fazla 40 metre, izoleli iletkende en

fazla 50 metre olur. Bu hatlara küçük aralıklı hatlar denir. İzoleli iletkenlerin 10 metre daha fazla açılabilmesi çıplak iletkenlerden daha az sayıda direk dikilmesini sağlayabilir.

Çizelge 5.15. Hava hattı iletkenlerinin en büyük salgı durumunda üzerinden geçtikleri yerlere olan en küçük düşey uzaklıklar (EKATY, md. 44/a.)

İletkenlerin Üzerinden Geçtiği Yer	0-1kV (1kV dahil) En Küçük Düşey Uzaklıklar (m)
Üzerinde trafik olmayan sular (suların en kabarık yüzeyine göre)	4,5*
Araç geçmesine elverişli çayır, tarla, otlak vb.	5*
Araç geçmesine elverişli köy ve şehir içi yolları	5,5*
Şehirlerarası karayolları	7
Ağaçlar	1,5
Üzerine herkes tarafından çıkılabilen düz damlı yapılar	2,5
Üzerine herkes tarafından çıkılmayan eğik damlı yapılar	2
Elektrik hatları	2
Petrol ve doğal gaz boru hatları	9
Üzerinde trafik olan sular ve kanallar (bu uzaklıklar suların en kabarık düzeyinden geçebilecek taşıtların en yüksek noktasından ölçülecektir.)	4,5
İletişim (haberleşme) hatları	1
Elektriksiz demiryolları (ray demirinden ölçülecektir)	7
Otoyollar	14

5.3.4. Montaj süresi

İzoleli iletkenler birbirlerine sarılı şekilde tesis edildikleri için direkler üzerinde bir travers ve bir izolatör ile taşınırlar. Çıplak iletkenler ise ayrı ayrı tesis edildikleri için hat tertibine göre en az bir travers ve iki izolatör ile taşınırlar.

Tasarımı yapılan çıplak iletken 3O+R/A tertibi için bir direk üzerinde üç adet travers ve beş adet izolatör montajı yapılır. İzoleli iletkende ise 3x95+1x16+95_AER tertibi için bir direk üzerinde bir adet travers ve bir adet izolatör montajı yapılır.

Travers montaj süresi ortalama 7 dakika, izolatör montaj süresi ise ortalama 3 dakika sürer. Bu montajlar bir direk için çıplak iletkenlerde 36 dakika sürerken, izoleli iletkenlerde 10 dakika sürer. İzoleli iletken montaj süresi çıplak iletkenlere göre yaklaşık %70 oranında zamandan tasarruf sağlar.

5.4. Güvenlik Analizi

Günümüzde çıplak iletken kullanılan hatlarda çarpılma, yangın, enerji hırsızlığı vb. gibi olaylarla çok karşılaşılmaktadır.

Yurdumuzda her yıl meydana gelen iş kazalarının büyük bir kısmı “elektrik kazalarından” oluşmaktadır. Elektrik kazaları oluşum nedenlerinin %20’si “enerji iletim hatlarıyla temas” sonucunda oluşan kazalardır.

Çıplak iletkenlerin birbirine değmesi sonucunda kısa devre oluşur. Bu kısa devre sonucu iletken teller ark yaparak kopar ve oluşan ark arazi üzerindeki otları tutuşturarak orman yangınlarına sebebiyet verebilir. Orman Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre, 2017 yılında ülkemizde elektrik hatları sebebiyle çıkan yangınlardan 2330 hektar alan zarar görmüştür.

Elektrik dağıtım şirketleri kayıp-kaçak bedelini tüm abonelere yansıtmaktadır. Çıplak iletkenler izoleli iletkenlere nazaran kaçak elektrik kullanımı için daha uygundur.

Bahsedilen tüm durumlar göz önünde bulundurulduğunda izoleli iletkenin çıplak iletkene göre daha avantajlı olduğu görülmektedir.

5.5. İzoleli Alüminyum İletkeninin Uygulaması

2019-2020 yılları kış döneminde Konya ili Ahırlı ilçesi Büyüköz mahallesinin de etkilendiği doğal afette çıplak alüminyum iletkenli hatlarda yıkılan direkler ve zarar gören iletkenlerin yenilenmesi kapsamında yapılan tasarımın sahada uygulaması 2021 yılında gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarım çalışmasında bulunan ana hat iletkeni değiştirilmeden sahada uygulaması yapılırken branşman iletkenlerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler mahallenin ileriki yıllarda sosyoekonomik gelişimi göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Tasarım çalışmasında bulunan değerlerin üst iletken kesitleri seçilmiştir. 2022-2023 yılları kış döneminde bölgenin etkilendiği benzer bir doğal afet yaşanmış olup direk ve iletkenlerde hiçbir sıkıntı görülmemiştir. Arıza konusunda da yapılan işçilik ile doğru orantılı olarak çıplak iletkene göre oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. İzoleli iletkenlerin bağlantı yerlerindeki izolasyonu titizlikle yapılmalıdır.

6. SONUÇLAR

Elektrik hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Elektrik enerjisinin taşınmasında ve dağıtımında kullanılan iletkenlerin seçiminde yapılacak olan tercihler; ekonomik, güvenlik, çevresel faktörler ve verimlilik gibi birçok etmeni ilgilendiren önemli bir konu olmuştur.

Bu çalışmada alçak gerilim havai elektrik dağıtım hatlarında kullanılan çıplak ve izoleli alüminyum iletkenlerin tasarımı ve izoleli alüminyum iletkenin uygulama çalışmasının gösterilmesi üzerine odaklanılmıştır. Araştırma boyunca yapılan literatür taraması, tasarımlar ve karşılaştırmalı analizler sonucunda her iki iletken türünün de avantaj ve dezavantajlarının olduğu gösterilmiştir.

Tasarım sonuçlarına istinaden iletkenlerin ekonomik, teknik ve güvenlik analizleri yapılmıştır. Ekonomik analizde, iletken maliyetleri özelinde çıplak alüminyum iletkenlerin izoleli alüminyum iletkenlere göre daha hesaplı olduğu görülmektedir. Ancak tasarım bir bütün olarak ele alındığında izoleli iletken ile yapılan hatların maliyet açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Maliyet farkı yaklaşık 50.000,00 TL olarak hesaplanmıştır. Bu tutar 770 metrelik havai hat için oldukça fazladır. Teknik analizde iletkenlerin çekme kuvvetleri, akım taşıma kapasiteleri, düşey emniyet ve küçük aralıklı hava hattı mesafeleri, montaj süresi konuları ele alınmıştır.

Her yıl doğal afetler sebebiyle yıkılan ya da zarar gören iletkenlerin ve direklerin yenilenmesi için ciddi yatırım maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Yenileme maliyetlerinin azaltılarak optimum seviyeye indirgenmesi, ülke ekonomisine faydası olacağı gibi yeni yatırımlara da olanak sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yapılan çalışmalarda izoleli alüminyum iletkenlerin çıplak alüminyum iletkenlere göre birçok alanda daha avantajlı olduğu görülmektedir. İzoleli alüminyum iletkenlerin özellikle kırsal kesimlerde kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. İzoleli alüminyum iletkenlerin daha geniş kapsamda kullanımı için yeni malzeme teknolojileri ve üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Çeşitli iklim ve coğrafi şartlarda işlevselliğini değerlendiren saha testlerinin yapılması önerilmektedir. Ayrıca, izoleli alüminyum iletkenlerin gelecekte daha geniş bir yelpazede kullanılacağı öngörülmektedir.

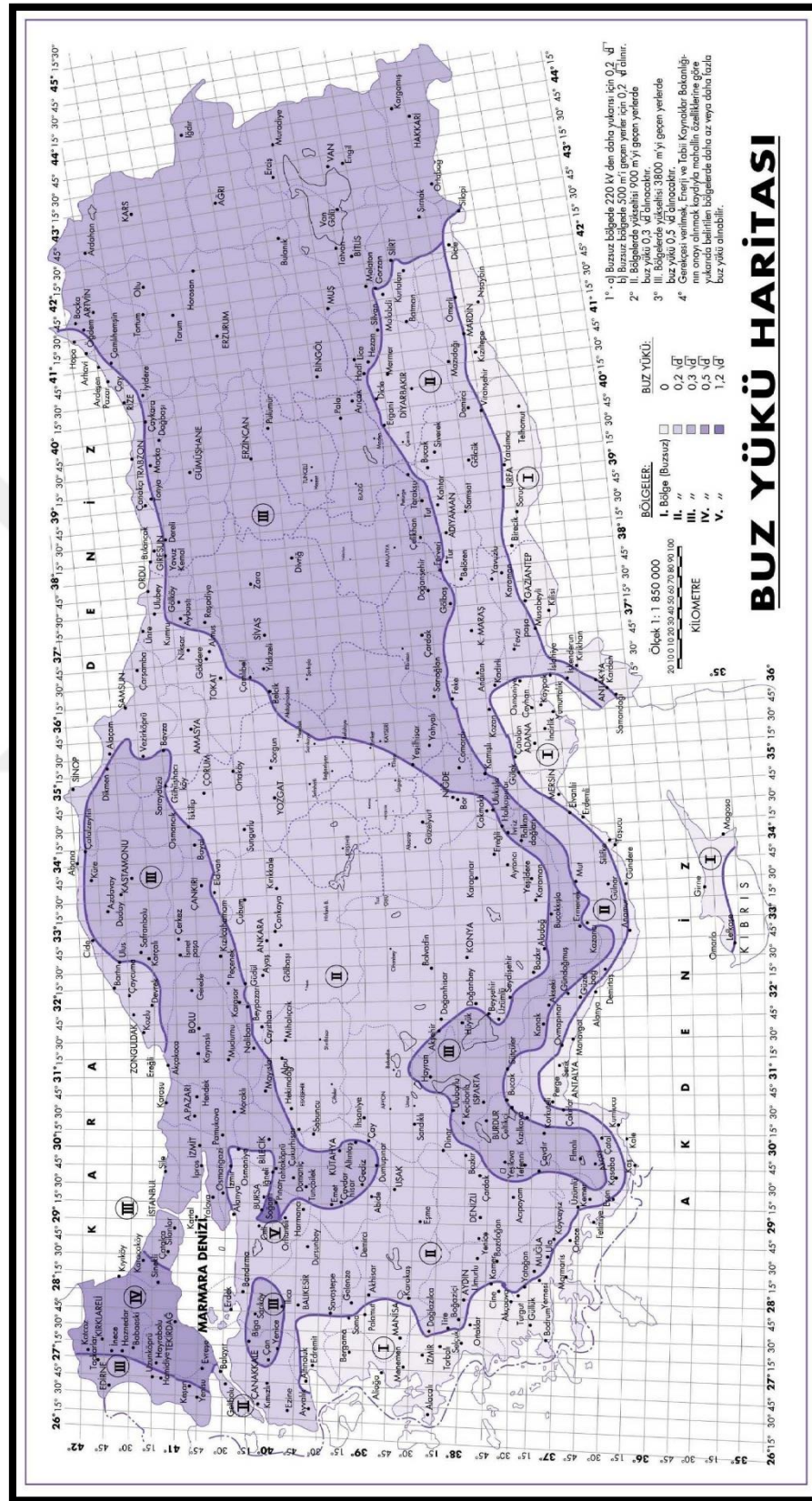
KAYNAKLAR

- Anonim, 2022, 0,6/1 Kv, Askı Telli, Demet Biçimli, Yalıtılmış Alüminyum İletkenli, Hava Hattı (Aer) Güç Kabloları Teknik Şartnamesi, TEDAŞ-MLZ/2005-051A
- Anonim, 2022, Havai Hat Mesnet İzolatörleri ve Aer Kablolar İçin Aksesuarlar Teknik Şartnamesi
- Anonim, 2004, Erection of low voltage installations- Part 5: Selection and erection of electrical equipment- Chapter 52: Wiring Systems, IEC 60364-5-52:2004-07.
- Birtwhistle D., Millers K., ve Stillman R., 1995, Factors Affecting The Reliability of Low Voltage Aerial Bundle Cable Systems, Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment, 48-51.
- Dulhunty, P., 2013, 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 Haziran.
- EKATY, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği. Resmî Gazete 24246 (30 Kasım 2000).
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=9949&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2024].
- ETKB, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2024].
- İriz, T., Aydın, A.F., 2024, Alçak Gerilim Tesislerinde Kısa Devre Hesapları, https://www.emo.org.tr/ekler/c0c64c33ed3a246_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=7 [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2024].
- Morgan, V.T., 1991, The Thermal Conductivity of Crosslinked Polyethylene Insulation in Aerial Bundled Cables, IEEE Transactions on Electrical Insulation 26(6), Aralık 1991, 1155-1157.
- Nemati, H.M., Sant'Anna, A., Nowaczyk, S., Jürgensen, J.H., Hilber, P., 2018, Reliability Evaluation of Power Cables Considering The Restoration Characteristic, Int. J. Electr. Power Energy Syst. 105 (Mayıs 2018) 622–631.
- Peşint, M.A., 1995, Elektrik Santralleri Enerji İletimi ve Dağıtımı, İstanbul, Milli Eğitim Basımevi
- Rawlins, C.B., 1986, Research on Vibration of Overhead Ground Wires, 86 T&D 509-4 IEEE Transactions on Power Delivery, 3 (2) Nisan.
- Salvia, L., 2006, 0,6/1 Kv, Technological Components for an Anti-Theft System in Overhead Networks, 2005/2006 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 8.
- Shah, M., Gokhale, G., 2017, A Study On Different Conductors For Optimisation Of Power Flow/Loadability In Long And Medium Transmission Line, <https://www.irjet.net/archives/V4/i5/IRJET-V4I5305.pdf> [Ziyaret Tarihi: 23 Aralık 2020].
- Shahid, M.A., Khan, T.M., Zafar, T., Hashmi, M.F., Imran, M., 2020, Health diagnosis scheme for in-service low voltage Aerial Bundled Cables using super-heterodyned airborne Ultrasonic testing, Politechnic University of Puerto Rico Department of Electrical Engineering, 4.
- Slegers, J., 2011, Transmission Line Loading, Sag Calculations and High-Temperature Conductor Technologies, 15.
- TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi.
<https://www.tedas.gov.tr/FileUpload/MediaFolder/25819eac-d024-4308-891a-d248db8c1e0a.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2024].

- TEİAŞ, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi.
<https://www.teias.gov.tr/enterkonneksiyonlar> , <https://www.teias.gov.tr/ilgili-dokumanlar> , <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
 [Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2024].
- Thrash, F.R., 2003, Transmission Conductors- A review of the design and selection criteria,
<https://hd-dev-ws11.mro4all.com/HagemeyerNA/media/Documents/Southwire-Transmission-Conductors.pdf> [Ziyaret Tarihi: 23 Aralık 2020].
- Trpezanovski, L.D. ve Markoski, A.P., 2008, New Bare Conductor for Transmission and Distribution Overhead Lines of the Future, Serbia, 25-27 Haziran, ICEST 2008, 295.
- Turgut, E. ve Selçuk, K., 2023, Elektrik Enerjisi Üretim İletimi ve Dağıtımı, Ankara, Detay Yayıncılık
- Ürgüplü, Z., 2008, Elektrobank, Ankara, Bizim Büro Basımevi Yay. Dağ. Tic. Ltd. Şti.
- Vujičić, I., Gospić, N. ve Rajaković, N., 2007, Structuring of Electricity Distributive Lines for Transmission of Broadband Telecommunication Signals, Serbia, Telsiks 2007, 26-28 Eylül. 343-346.
- Wareing, J., 2005, Covered conductor systems for distribution, EATL Bildiri 5925 (2005), 24-36.
- Williamson, C.E., Garner, M.P., Barber, K.W. ve Elford, R.F., 1988, Development and Introduction of Aerial Bundled Cables in Australia, IEE Conf. Publ. 197, 113-117.
- Yunusoğlu, A., 2011, Alçak Gerilim Elektrik Şebekesi Proje El Kitabı, Ankara, Korza Yayıncılık Basım San. ve Tic. Ltd. Şti.
- Zhichun, Y., Yu, S., Fan, Y., Yang, L., Lei, S. ve Fangbin, Y., 2020, Topology Identification Method of Low Voltage Distribution Network Based On Data Association Analysis, 2020 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE),
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9136335> [Ziyaret Tarihi: 23 Aralık 2020].

EKLER

EK-1 Türkiye buz yükü haritası



EK-2 Yalıtılmış iletkenlerin (faz iletkenlerinin), askı teli iletkenlerinin ve imalatı tamamlanmış AER kablonun boyut ve teknik özellikleri. (Anonim, 2022)

İletken Sayısı ve Anma Kesit Alanı	Yalıtılmış İletkenler ¹							Askı Teli				İmalatı Tamamlanmış Kablo				Yalıtılmış Askı Teli ²	
	Sayı ve Kesit Alanı	İletkenlerdeki Tellerin Sayısı	İletkenlerin Yalıtılmamış halinin Ortalama Çapı	Tolerans	20°C'deki Maksimum Direnç	Minimum Anma Yalıtım Kalınlığı	Askı Telinin Ortalama Çapı	Tolerans	Minimum Kopma Yükü	20°C'deki Maksimum Da. Direnç	Maksimum Dış Çap	Rüzgârdaki Etken Çap ³	Yaklaşık Olarak Toplam Kütlesi	Minimum Anma Yalıtım Kalınlığı	Yaklaşık Olarak Toplam Kütlesi		
mm ²	mm ²	Adet	Mm	Mm	ohm/km	mm	mm	mm	kN	ohm/km	mm	mm	kg/km	mm	kg/km		
1X16+25	1X16	1	4,4	±0,05	1,91	1,4	5,9	±0,20	7,4	1,38	15	11	140	1,4	170		
3X16+25	3X16	1	4,4	±0,05	1,91	1,4	5,9	±0,20	7,4	1,38	22	20	270	1,4	300		
3X25+35	3X25	7	5,9	±0,20	1,20	1,4	6,9	±0,20	10,3	0,986	26	23	390	1,6	430		
3X35+50	3X35	7	6,9	±0,20	0,868	1,6	8,1	±0,25	14,2	0,720	30	27	530	1,6	580		
3X50+70	3X50	7	8,1	±0,25	0,641	1,6	9,7	±0,25	20,6	0,493	35	31	700	1,8	760		
3X70+95	3X70	7	9,7	±0,25	0,443	1,8	11,4	±0,30	27,9	0,363	41	36	990	1,8	1060		
3X95+95	3X95	7	11,4	±0,30	0,320	1,8	11,4	±0,30	27,9	0,363	44	39	1280	1,8	1350		
3X95+120	3X95	7	11,4	±0,30	0,32	1,8	12,9	±0,30	35,3	0,285	46	41	1350	2,0	1440		
3X120+95	3X120	19	12,8	±0,30	0,253	2	11,4	±0,30	27,9	0,363	47	42	1510	1,8	1580		
4X16+25	4X16	1	4,4	±0,05	1,91	1,4	5,9	±0,20	7,4	1,38	22	22	330	-	-		
4X25+35	4X25	7	5,9	±0,20	1,20	1,4	6,9	±0,20	10,3	0,986	26	25	490	-	-		

1) Yalıtılmış faz iletkeni sayısından bağımsız faz iletken kesit özellikleri
2) Malzeme Listesinde belirtilmesi halinde kullanılabilecektir.
3) Rüzgâr yükünü hesaplamak gereklidir.
NOT: 1) 4X70+95 mm² kadar 5 damarlı kabloun imalatına izin verilir.
2) Yalıtılmış ilave sokak aydınlatma iletkeni talep edilmesi halinde, kullanılacak olan sokak aydınlatma iletkeninin özellikleri aynı kesitteki faz iletkeni özelliklerinde olacaktır.
Örneğin: 3x25+1x16+35'lik kabloda kullanılan 16mm²'lik sokak aydınlatma iletkeninin özellikleri 16 mm²'lik faz iletkeninin özellikleri ile aynı olacaktır.
NOT: 1) Tablodaki değerler TS 11654 standardından alınmıştır.
2) Söz konusu standartta değişiklik olması halinde, standarttaki değerler geçerli olacaktır.

EK-3 Hava hatlarına ilişkin tanımlar. (EKATY)

- 1) Hava hattı: Kuvvetli akım iletimini sağlayan mesnet noktaları, direkler ve bunların temelleri, yer üstünde çekilmiş iletkenler, iletken donanımları, izolatörler, izolatör bağlantı elemanları ve topraklamalardan oluşan tesisin tümüdür.
- 2) İletkenler: Gerilim altında olup olmamasına bağlı olmaksızın bir hava hattının mesnet noktaları arasındaki çıplak ya da yalıtılmış örgülü ya da tek tellerdir.
- 3) Yalıtılmış hava hattı kabloları: Yalıtılmış hava hattı kabloları, yalıtılmış faz iletkenleri ile yalıtılmış ya da yalıtılmamış nötr iletkeni birbirine yada taşıyıcı bir tele bükülerek sarılmış tek telli, sıkıştırılarak yuvarlatılmış çok telli ya da örgülü iletkenlerden oluşan kablolardır.
- 4) Demet iletkenler: Bir faz iletkeni yerine, iki ya da daha çok iletken kullanılan ve iletkenler arasında hat boyunca yaklaşık olarak aynı uzaklık bulunan düzendir.
- 5) Anma kesiti (Nominal kesit): İletkenlerin standartlarda belirtilen kesit değeridir.
- 6) Gerçek kesit: Örgülü iletkenlerin, yapım toleransları dikkate alınmaksızın, net kesit değerleridir.
- 7) İletken kopma kuvveti: İletkenlerin hesapla bulunan teorik kopma değerinin %95'i ya da kataloglarda "kopma yükü" olarak belirtilen değerdir.
- 8) En büyük çekme gerilmesi: -5°C 'da hesap için esas olan ek yükte ya da en küçük ortam sıcaklığında ek yüksüz yahut $+5^{\circ}\text{C}$ 'da rüzgâr yükünde oluşan iletken gerilmelerinin en büyük yatay bileşenidir.
- 9) Yıllık ortalama çekme gerilmesi (EDS: Every day stress): Yıllık ortalama sıcaklıkta (genellikle $+15^{\circ}\text{C}$ 'da) rüzgârsız durumda oluşan, iletken çekme gerilmesinin yatay bileşenidir.
- 10) Salgı (sehim): İletken ile iletkenin iki askı noktasını birleştiren doğru arasındaki en büyük düşey uzaklıktır.
- 11) İletken donanımı: İletkenle doğrudan doğruya temasta olan ve iletkenlerin bağlanması, gerilmesi ve taşınmasına yarayan parçalardır.
- 12) İzolatör bağlantı elemanları: İzolatörleri mesnet noktalarına ve iletken donanımlarına, izolatör elemanlarını birbirine bağlamaya yarayan parçalardır.
- 13) Direğin yararlı tepe kuvveti: Direğe gelen rüzgar yükü dışında, tepeye indirgenmiş öteki kuvvetlerin izin verilen yatay bileşenidir.
- 14) Direk açıklığı (menzil): İki komşu direk arasındaki yatay uzaklıktır.
- 15) Rüzgar açıklığı: Direğin iki yanındaki açıklıkların aritmetik ortalamasıdır.
- 16) Ağırlık açıklığı: Direğin iki yanındaki iletkenlerin yatay teğetli noktaları arasındaki yatay açıklıktır.
- 17) Hava hattı çeşitleri:
 - i) Küçük aralıklı hatlar: Birbirini izleyen iki direk arasındaki açıklık, çıplak iletkenler için 50 m'yi, yalıtılmış iletkenler için 60 m'yi aşmayan hatlardır.
 - Not:** Küçük aralıklı hatlarda 50 m'den büyük açıklıklar: Küçük aralıklı hatlarda en büyük açıklık olan 50 m'lik aralık ancak kaçınılmaz nedenlerle arttırılabilir. Küçük aralıklı hatlarda topografya durumu nedeniyle, 50 m'den fazla bir açıklık gerekirse, bu bölüm büyük aralıklı hatlar gibi işlem görür.
 - ii) Büyük aralıklı hatlar: Birbirini izleyen iki direk arasındaki açıklık, çıplak iletkenler için 50 m'yi, yalıtılmış iletkenler için 60 m'yi aşan hatlardır.

EK-4 Çıplak ve izoleli alüminyum iletkenlerin direnç ve reaktans değerleri (İriz ve Aydın, 2024)

	Kesit	R_{DC} 20°C (Ω /km)	X (Ω /km)
ROSE	21,44	1,3510	0,345
LILY	26,66	1,0720	0,337
IRIS	33,65	0,8498	0,330
PANSY	42,37	0,6739	0,322
POPPY	53,49	0,5341	0,315
ASTER	67,45	0,4236	0,307
PHLOX	84,99	0,3360	0,300
OXLIP	107,30	0,2664	0,293

Alüminyum iletkenlerin direnç ve reaktanslarını gösterir tablo. Alüminyum havai hatlarda Rose, Lily, Iris için $X=0,35 \Omega/\text{km} = 0,35 \text{ m}\Omega/\text{m}$, diğerleri için $X=0,3\Omega/\text{km}=0,3\text{m}\Omega/\text{m}$ alınabilir.

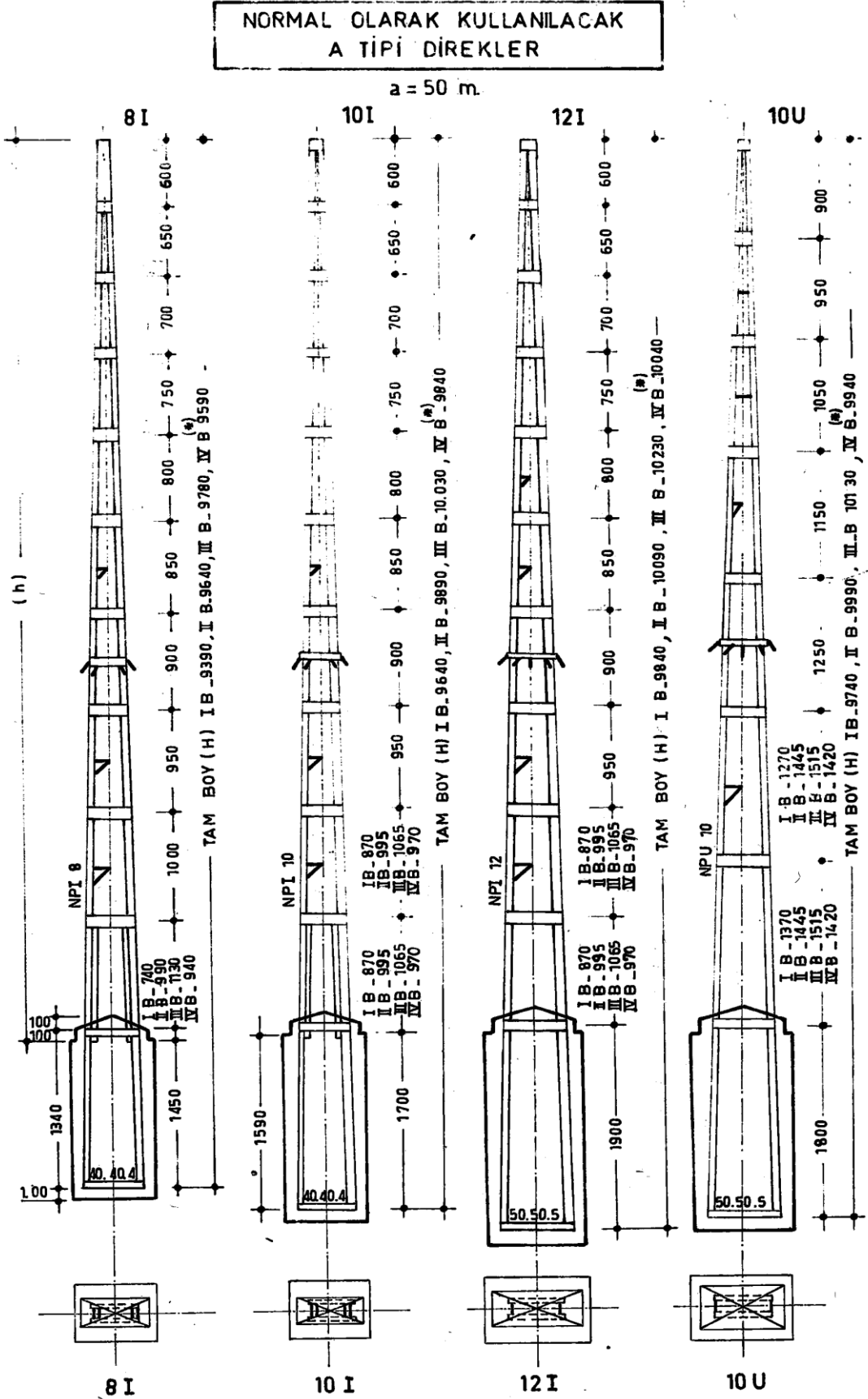
	R_{DC} 20°C (Ω /km)	X (Ω /km)
1x10+16	3,020	0,085
1x16+25	1,910	0,083
1x25+35	1,200	0,081
1x35+50	0,868	0,080
3x10+16	3,020	0,115
3x16+25	1,910	0,110
3x25+50	1,200	0,106
3x35+50	0,868	0,104
3x50+70	0,641	0,101
3x70+95	0,443	0,098
3x16+1x16+25	1,910	0,110
3x25+1x16+25	1,200	0,106
3x25+1x16+50	0,868	0,104
3x35+1x16+70	0,641	0,101
3x70+1x16+95	0,443	0,098

Askı telli alçak gerilim havai hat kablolarında direnç ve reaktanslarını gösterir tablo.

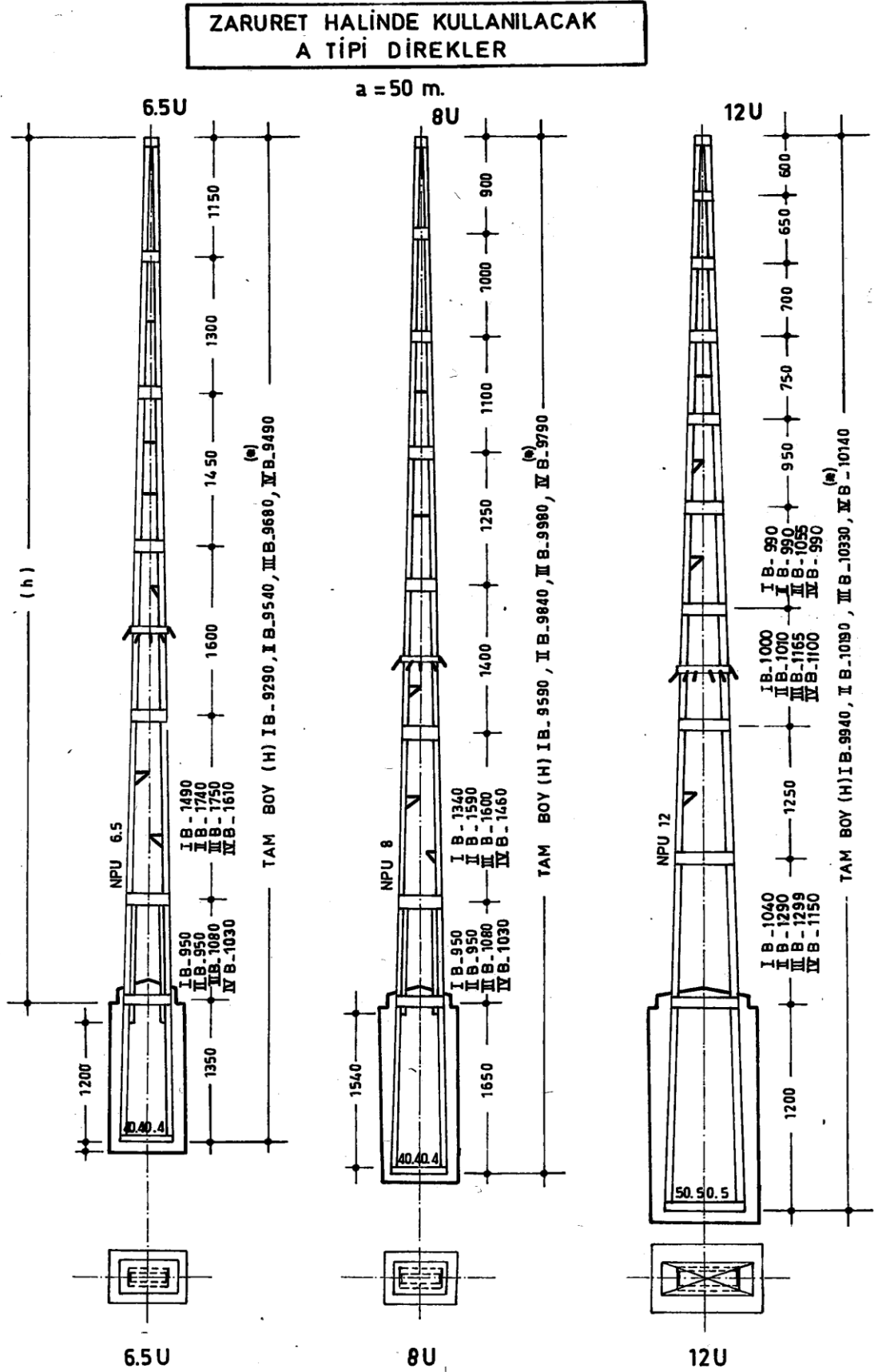
Askı telli monofaze alçak gerilim havai hat kablolarında $X=0,08 \Omega/\text{km} = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ alınabilir.

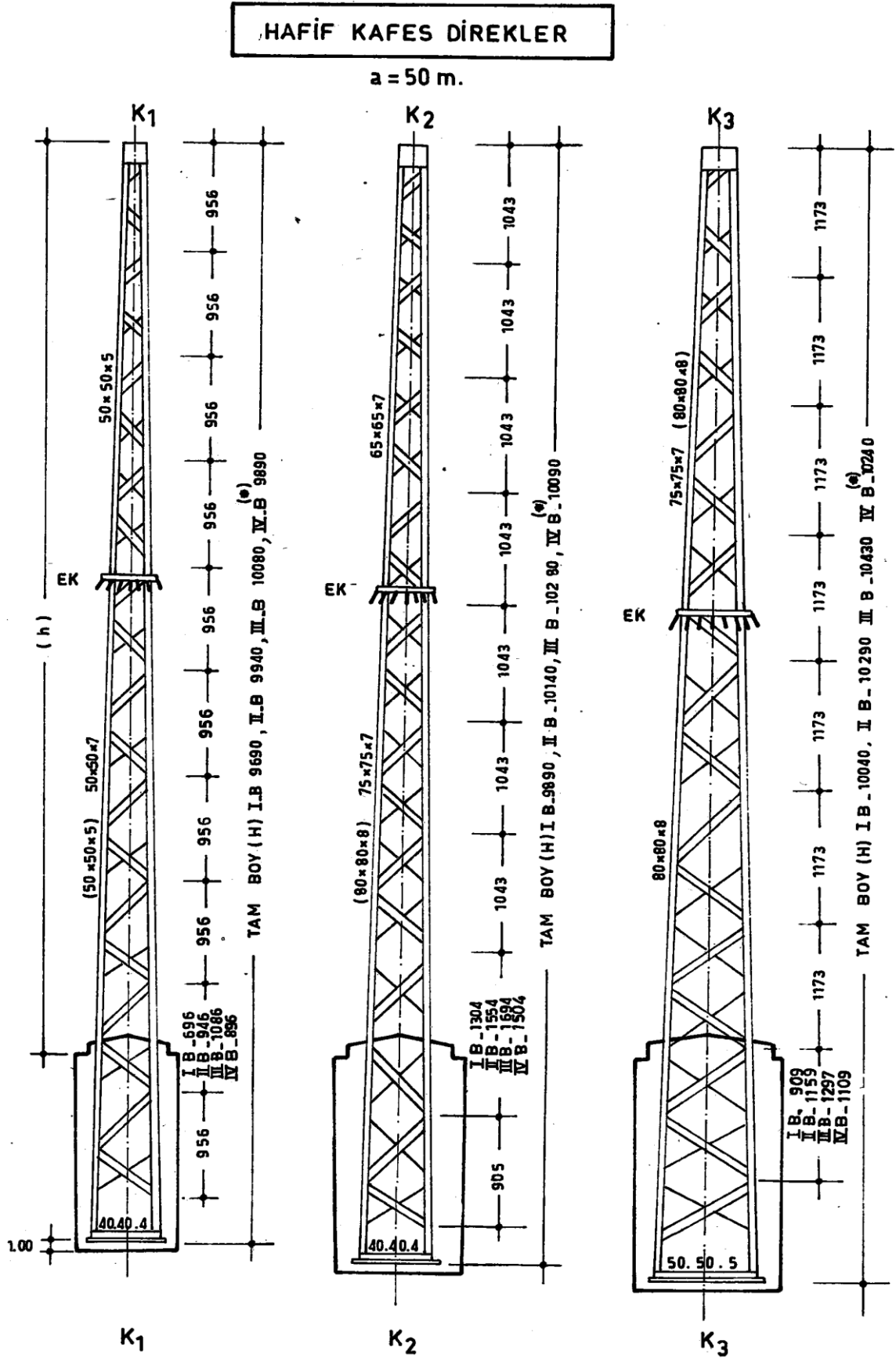
Askı telli trifaze alçak gerilim havai hat kablolarında $X=0,1 \Omega/\text{km} = 0,1 \text{ m}\Omega/\text{m}$ alınabilir.

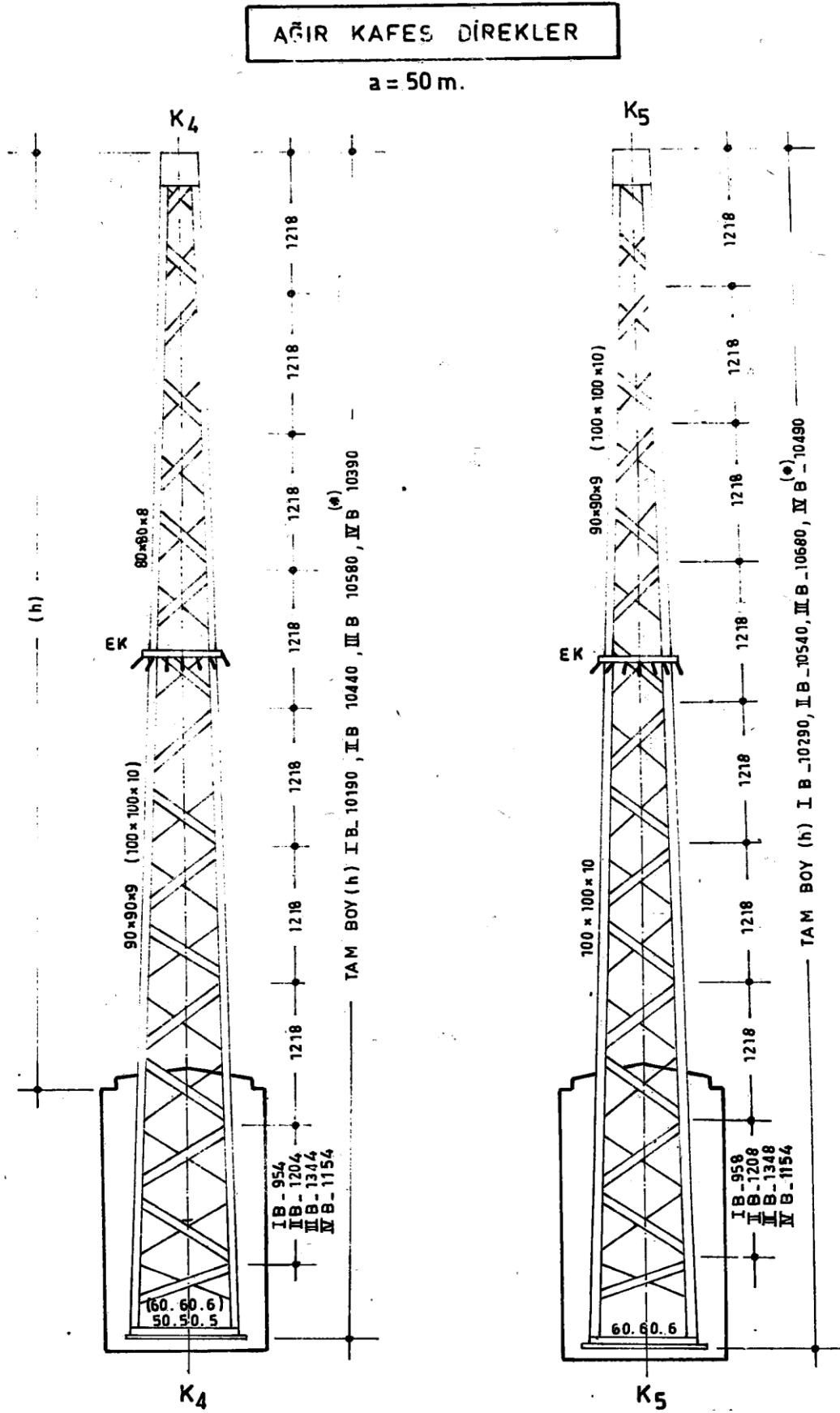
EK-5 A-tipi demir direk resimleri (8I, 10I, 12I, 10U)



EK-6 A-tipi demir direk resimleri (6.5U, 8U, 12U)



EK-7 Kafes demir direk resimleri (K₁, K₂, K₃)

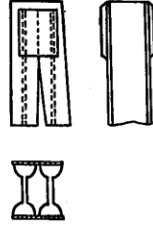
EK-8 Kafes demir direk resimleri (K₄, K₅)

EK-9 A-tipi demir direklere ait tafsilat resimleri-1

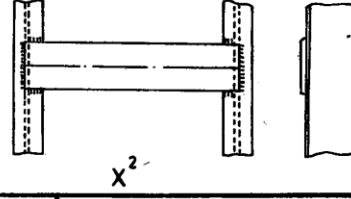
"A" TİPİ DİREKLERE AİT
TAFSİLÂT DİREKLERİ

NOT: TAFSİLÂT RESİMLERİDE 8 I VE 12 U TİP DİREKLER MİSAL ALINMIŞTIR.

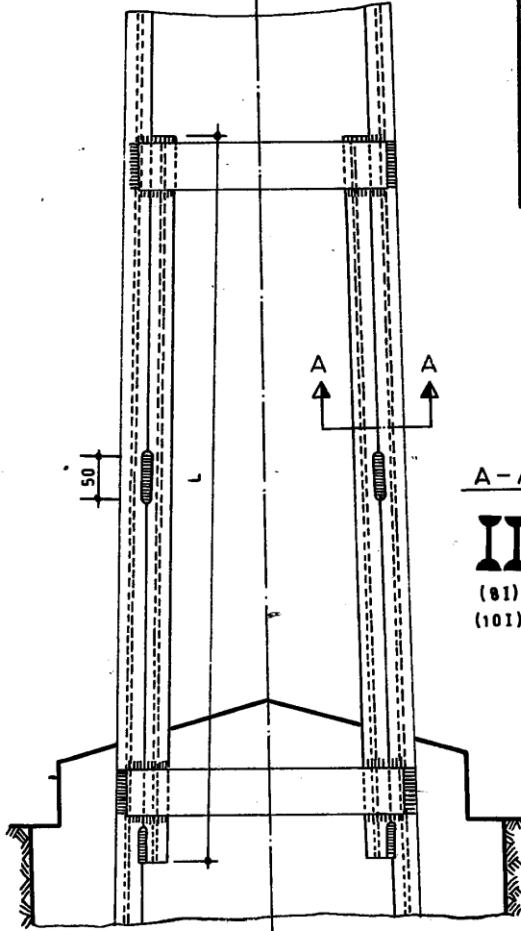
DİREK TEPESİ 1/10



BAĞLAMA LEVHALARI 1/10



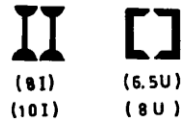
DİKME TAKVİYESİ 1/10



NO:	L (cm)						
	8 I	10 I	12 I	12 U	6.5 U	8 U	10 U
1	5.4	8.0	9.6	9.0	6.4	7.0	9.0
2	9.2	10.5	13.0	12.8	11.1	10.8	14.0
3	12.3	13.3	16.7	17.0	16.3	15.1	19.3
4	15.6	16.2	20.6	21.4	22.2	19.8	25.2
5	19.2	19.4	24.9	26.2	28.7	25.1	31.6
6	23.0	22.0	29.4	31.6	35.8	31.1	38.6
7	27.0	26.3	34.2	37.6	39.0	37.9	46.5
8	31.3	30.1	39.3	44.6		42.2	54.2
9	35.8	34.2	44.7	52.5			
10	40.6	38.4	50.3	61.5			
11	45.6	47.8	56.3				
TOPLAM	265	262	339	314.2	160.4	189	239.4

DİREK TİPİ 1/5

A-A KESİTİ



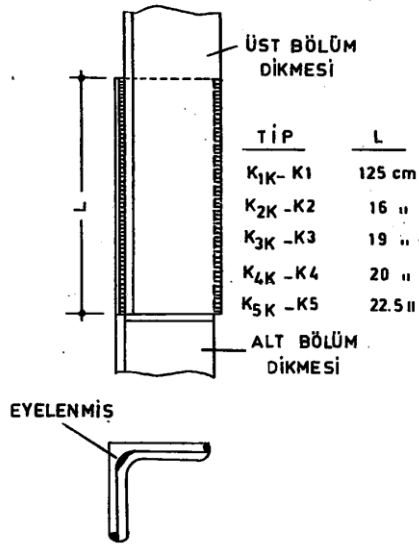
DİREK TİPİ	L (m)
8 I	1.15
10 I	1.15
6.5 U	1.10
8 U	1.10

NOT: KISA DİREKLERDE AYNI

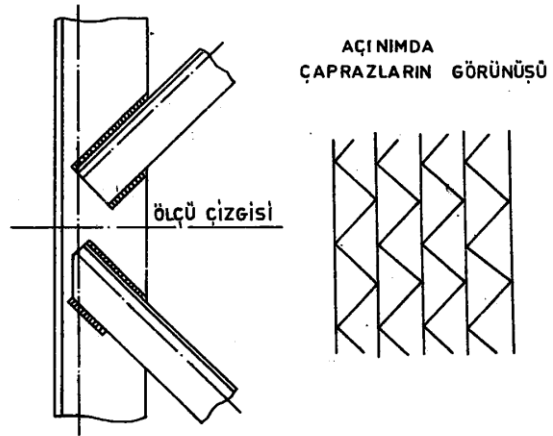
EK-11 Kafes demir direklere ait tafsilat resimleri-1

KAFES DİREKLERE AİT
TAFSİLÂT RESİMLERİNOT: TAFSİLÂT RESİMLERİDE K₃ TİP DİREK MİSAL ALINMIŞTIR.

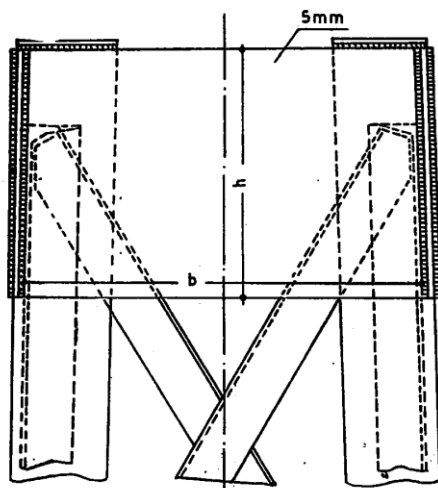
EK YERİ 1/5



ÇAPRAZLAR 1/5



DİREK TEPEŞİ 1/5

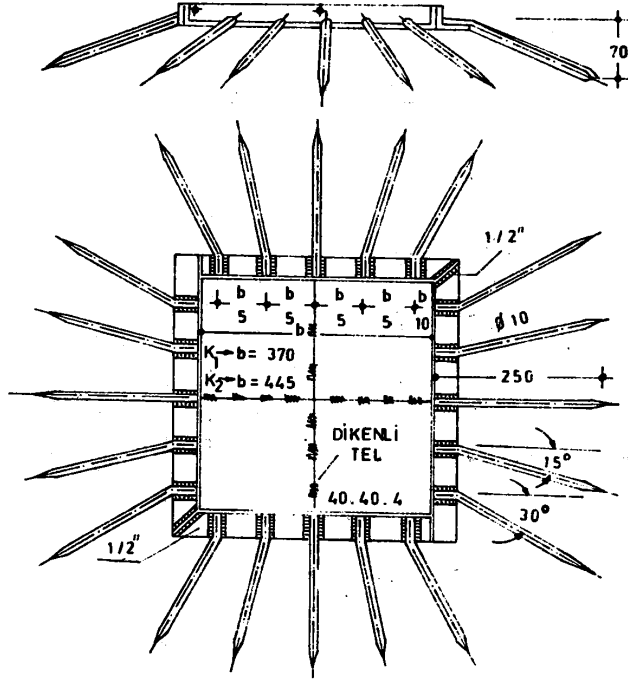


	h	a	b
K ₁	20 cm	21 cm	21.8 cm
K ₂	20 cm	25 cm	25.9 cm
K ₃	25 cm	31 cm	32.4 cm
K ₄	30 cm	32 cm	33.7 cm
K ₅	30 cm	32 cm	33.7 cm

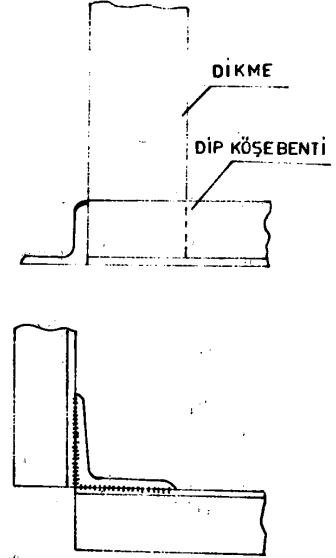
ÇAPRAZ NO:	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
1	44	49	57	55	54
2	47	53	62	61	61
3	48	54	64	63	62
4	49	55	65	65	65
5	50	57	68	67	67
6	51	58	70	70	69
7	52	60	73	72	72
8	53	61	74	76	75
9	54	63	78	78	78
10	56	64	80	81	80
11	57	66	83	84	83
12	59	68	85	87	86
13	60	69	88	89	89
14	61	71	90	93	92
15	62	73	94	95	95
16	64	75	96	99	98
17	65	77	99	101	101
18	67	79			
19	68	81			
20	69				
TOPLAM	1136	1233	1326	1336	1327

EK-12 Kafes demir direklere ait tafsilat resimleri-2

KORKULUK 1/10

K₁ ve K₂ İÇİN (3.2 Kg)

DİREK DİBİ 1/5

K₃, K₄ ve K₅ İÇİN (3.8 Kg)