

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEMİRYOLU HATLARINDA ELEKTRİFİKASYON SİSTEM
TASARIMI VE UYGULAMASI**

ÖMÜR DOĞRUEK

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİRYOLU HATLARINDA ELEKTRİFİKASYON SİSTEM
TASARIMI VE UYGULAMASI

ÖMÜR DOĞRUER

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Bekir YILDIZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DEMİRYÜREK
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 08.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada raylı sistemler gerek yük ve gerekse yolcu taşımacılığında çevre dostu, güvenilir ve ekonomik olması nedeniyle ulaşımda önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde özellikle son 20 yılda şehirlerarası demiryolu hatları ve şehir içi metro hatları yapımına hız verilmiş aynı zamanda mevcut hatlar modernize edilerek elektrifikasyonlu ve sinyalizasyonlu hale getirilmiştir. Demiryolu ulaşımında kömürlü yakıt sistemi terk edilmiş, dizel yakıt ise başta ekonomik olmaması ve çevreye verdiği zarardan dolayı tercih edilmemektedir. Modern demiryolu hatlarında elektrikli trenler kullanılmakta olup günümüz demiryolu hatları için elektrifikasyon sistemi olmazsa olmazlardandır. Bu tez çalışmasında demiryolu hatlarında elektrifikasyon sistemleri incelenmiş, 10 kilometrelik bir demiryolu hattının elektrifikasyon sistemi tasarlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi ve ortaya çıkmasında bana yol göstererek yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN'a, tez aşamasında bana her konuda yardımcı olup bilgi ve deneyimlerini aktaran TCDD ve özel sektördeki çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Son olarak desteklerini her zaman arkamda hissettiğim, beni bu günlere getiren aileme ve bu tez başta olmak üzere beni her konuda destekleyip bana güç veren sevgili eşim Ebru ALP DOĞRUER'e sonsuz minnet duygularımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran-2019

Ömür DOĞRUER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Tezin Amacı	4
1.2. Literatür Araştırması	4
2. DEMİRYOLU ELEKTRİFİKASYONU	6
2.1. Besleme Türüne Göre Elektrifikasyon	8
2.1.1. DC beslemeli sistemler.....	9
2.1.2. AC beslemeli sistemler.....	10
2.2. Akım Taşıma Şekline Göre Elektrifikasyon	11
2.2.1. 3. Ray sistemi	12
2.2.2. Havai hat ile akım toplama sistemi	13
2.2.2.1. Rijit katener sistemi.....	13
2.2.2.2. Standart katener sistemi	16
3. 25 kV AC ELEKTRİFİKASYON SABİT TESİSLERİ.....	17
3.1. Katener Tesisleri	18
3.1.1. Pantograf.....	19
3.1.2. Seyir (kontak) teli	21
3.1.3. Portör teli.....	23
3.1.4. Temas kuvveti	24
3.1.5. Dalga yayılma hızı.....	25
3.1.6. Pandül.....	25
3.1.7. Y halatı	27
3.1.8. Fider teli.....	27
3.1.9. Geri dönüş iletkeni ve topraklama sistemi	29
3.1.10. Otomatik gergi cihazı	31
3.1.11. Seksiyon izolatörü (IS).....	34
3.1.12. Ekipman bölge.....	34
3.1.13. Seksiyonman bölge.....	36
3.1.14. Nötr bölge.....	37
3.1.15. Katener direği ve donanımları	39
3.1.16. Cer postaları ve ekipmanları.....	40
3.1.17. Katener sisteminin geometrik karakteristikleri	42
3.1.17.1. Seyir teli yüksekliği.....	42
3.1.17.2. Sistem yüksekliği	44
3.1.17.3. Direk açıklıkları.....	45
3.1.17.4. Dezekzman (Eksen kaçıklığı).....	48

3.2. Trafo Merkezi.....	49
3.3. Telekomand (Uzaktan Kumanda/SCADA) Sistemleri	52
4. ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN TASARLANMASI	54
4.1. Sistem Prensiplerinin Oluşturulması	54
4.2. Besleme Planının Oluşturulması	57
4.3. Piketaj Planının Oluşturulması.....	58
4.4. Temel Karnesinin Oluşturulması	59
4.4.1. Direk moment hesabı.....	60
4.4.2. Direk temeli hesabı.....	68
4.4.3. Ankraj temeli hesabı.....	71
4.5. Derülaj Planının Oluşturulması	73
4.6. Montaj Karnesinin Oluşturulması	73
5. ALİFUATPAŞA-PAMUKOVA ARASI KONVANSİYONEL HAT ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN TASARLANMASI	75
5.1. Sistem Prensipleri.....	75
5.1.1. Projenin kapsamı	75
5.1.2. Tasarım kriterleri	75
5.1.3. Katener sistemi	76
5.2. Besleme Planı	80
5.3. Piketaj Planı.....	80
5.4. Temel Karnesi	80
5.5. Derülaj Planı.....	80
5.6. Montaj Karnesi	80
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	84
EKLER.....	87
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	175
ÖZGEÇMİŞ	176

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Elektrikli ve dizel lokomotiflerin çekiş karakteristikleri	6
Şekil 2.2.	3. Ray Sistemi	12
Şekil 2.3.	3. Ray sistemi kullanılmış hat	13
Şekil 2.4.	Marmaray hattı 25 kV AC rijit katener sistemi (tünel içi).....	14
Şekil 2.5.	Marmaray 25 kV AC rijit katener sistemi (Ayrılıkçeşmesi-Üsküdar)	15
Şekil 2.6.	Rijit katenerde kullanılan çeşitli bağlantı parçaları [12].....	15
Şekil 3.1.	25 kV 50 Hz elektrifikasyon sistemi.....	17
Şekil 3.2.	25 kV 50 Hz elektrifikasyon sistemi akım döngüsü	18
Şekil 3.3.	Katener sistemi bileşenleri.....	19
Şekil 3.4.	Pantograf bileşenleri	20
Şekil 3.5.	Hyundai Rotem tren seti pantografı.....	20
Şekil 3.6.	TS EN 50149 standardı 107 mm ² seyir teli yapısal biçimi.....	21
Şekil 3.7.	Seyir telinin grif ile pandüle bağlantısı.....	21
Şekil 3.8.	Seyir ve portör teli çekimi.....	22
Şekil 3.9.	Portör teli [13].....	23
Şekil 3.10.	Pandül ve bağlantı parçaları [22]	26
Şekil 3.11.	Fider teli	28
Şekil 3.12.	Fider teli bağlantı şekli	29
Şekil 3.13.	Otomatik gergi cihazı.....	32
Şekil 3.14.	Yaylı gergi cihazı.....	32
Şekil 3.15.	Seksiyon izolatörü (IS)	34
Şekil 3.16.	Ekipman bölge	35
Şekil 3.17.	Ekipman bölge örnekleri.....	35
Şekil 3.18.	Seksiyonman bölge	36
Şekil 3.19.	Aliğmanda ve kurplu bölgede seksiyonman bölge	37
Şekil 3.20.	Hava aralıklı nötr bölge	37
Şekil 3.21.	IS ile oluşturulmuş nötr bölge.....	38
Şekil 3.22.	Arthur Flury firmasına ait nötr bölge seksiyon izolatörü [27].....	38
Şekil 3.23.	Katener direği ve donanımları	39
Şekil 3.24.	Katener ankrajı ve yükseltilmiş katener ankrajı.....	40
Şekil 3.25.	Doğançay İstasyonu cer postası tek hat şeması	41
Şekil 3.26.	Hertz sistemi	42
Şekil 3.27.	Dezeksman.....	48
Şekil 3.28.	Dezeksman ayarı	49
Şekil 3.29.	Trafo merkezi tek hat şeması (Marmaray İbrahimağa Trafo Merkezi)	50
Şekil 4.1.	Aliğmanda radyal gerilme.....	63
Şekil 4.2.	Kurpta radyal gerilme	63
Şekil 4.3.	Katener direği temeli	69
Şekil 4.4.	Katener direği temeli ve parametreleri	69
Şekil 4.5.	Montaj karnesi örneği	74
Şekil A.1.	Katener direğine etkiyen yükler	88

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. EN 50163'ye göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri	9
Tablo 2.2. AC ve DC sistemlerin karşılaştırılması	11
Tablo 3.1. Seyir teli katalog bilgileri [16].....	22
Tablo 3.2. Sarkuysan firmasına ait katalogda bulunan bakır ve bakır alaşımlı tellerin teknik özellikleri [19].....	24
Tablo 3.3. Konvansiyonel alıĝman hatta pandül açıklık tablosu	27
Tablo 3.4. LA-280 fider teli katalog bilgileri[24]	28
Tablo 3.5. TS EN 50367 standardına göre AC hatlar [20].....	43
Tablo 3.6. TS EN 50367 standardına göre AC hatlar için seyir teli yükseklikleri [20]	44
Tablo 3.7. TS EN 50119 standardına göre maksimum eğim değişimleri[21]	44
Tablo 3.8. Konvansiyonel hatlarda kullanılan seyir ve portör teli özellikleri[16-19].....	46
Tablo 3.9. Kurp yarıçaplarına göre direk açıklıkları[6]	48
Tablo 4.1. Temel karnesinde bulunan parametreler.....	60
Tablo 4.2. EKATY'ye göre dinamik rüzgâr basıncı katsayıları	64
Tablo 4.3. EKATY'ye göre iletkenlerin dinamik rüzgâr basıncı.....	65
Tablo 4.4. MGB firmasına ait direk tipleri ve özellikleri	68
Tablo 4.5. Temel hesaplamalarında kullanılacak değişkenler	68
Tablo 4.6. Farklı toprak yapısına göre Pt değeri	70
Tablo 4.7. Zemin yapısına göre prizmatik temel tipleri.....	71
Tablo 4.8. Zemin yapısına göre portal temeli tipleri.....	71
Tablo 4.9. Ankraj hesabında kullanılan parametreler	72
Tablo 4.10.Zemin yapısına göre ankraj temelleri	72
Tablo 5.1. Kurp yarıçapına göre direk açıklıkları	77
Tablo B.1. s güvenlik faktörü katsayıları	97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	:Direk Açılışı (m)
Bz	:Bronz
C	:Dalga Yayılma Hızı (km/h)
c	:Dinamik Rüzgâr Basıncı Katsayısı
Cu	:Bakır
Cd	:Kadmiyum
d	:İletkenin Çapı (cm)
D	:Karot Çapı (m)
Hz	:Hertz
I	:Emplantasyon (m)
L	:Etap Boyu (m)
Mg	:Magnezyum
M _p	:Düşey Yüklerden Dolayı Oluşan Moment (kgm)
M _r	:Radyal Gerilmeden Dolayı Oluşan Moment (kgm)
M _t	:Direğe Gelen Momentlerin Toplamı (kgm)
M _w	:Rüzgâr Yüklerinden Dolayı Oluşan Moment (kgm)
p	:Dinamik Rüzgâr Basıncı (kg/m)
P _r	:Portör Teline Gelen Rüzgâr Kuvveti (kgm)
Pt	:Toprak Mukavemet Katsayısı
R	:Karp Yarıçapı (m)
S	:Maksimum Dezeksmen (cm)
S _r	:Seyir Teline Gelen Rüzgâr Kuvveti (kgm)
Sy	:Sistem Yüksekliği (m)
T	:Radyal Gerilme (kg)
T _p	:Portör Teli Gerilmesi (kg)
T _s	:Seyir Teli Gerilmesi (kg)
W	:İletkenlere Açıklık Boyunca Gelen Rüzgâr Yükü (kg/m)
Ω	:Ohm
Δ _L	:Teldeki Maksimum Uzama Miktarı

Kısaltmalar

AC	:Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	:Direct Current (Doğru Akım)
EKATY	:Elektrikli Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği
IEC	:The International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IS	:Seksiyon İzolatörü
OG	:Orta Gerilim
OGC	:Otomatik Gergi Cihazı
RTU	:Remote Terminal Unit (Uzak Uç Birimi)
SCADA	:Supervisory Control and Data Acquisition (Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi)

TCDD :Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEİAŞ :Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TPS :Traction Power Supply (Trafo Merkezi)
UIC :International Union of Railways (Uluslararası Demiryolu Birliği)
YHT :Yüksek Hızlı Tren



DEMİRYOLU HATLARDINDA ELEKTRİFİKASYON SİSTEM TASARIMI VE UYGULAMASI

ÖZET

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kırsal kesimlerden kentlere doğru yoğun nüfus hareketi olmuştur. Kentlerdeki nüfus artışı ise ulaşımı önemli bir sorun haline getirmiştir. Karayolu ulaşımına alternatif olarak ortaya çıkan raylı sistemler şehir içi ulaşımında trafik sorununu ortadan kaldırmaktadır. Şehirlerarası ulaşımında ise ekonomik, hızlı ve güvenli olması nedeniyle tercih sebebi olmuştur.

Günümüz modern demiryolu hatlarında hem ucuz hem de çevreye duyarlılığı nedeni ile elektrikli trenler tercih edilmektedir. Bir demiryolu hattının elektrifikasyon sistemlerinin yapım maliyeti yüksek olmasına rağmen uzun vadedeki yakıt tasarrufu göz önüne alındığında uygulanabilir bir sistem olduğu görülmektedir. Demiryollarında elektrifikasyon sistemi katener sistemi, trafo merkezi ve haberleşme sistemi olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında gerek metro hatlarında gerekse konvansiyonel ve YHT hatlarında elektrifikasyon sistemleri açıklanmıştır. TCDD'ye ait Alifuatpaşa-Pamukova istasyonları arasındaki 10 kilometrelik çift hattın katener sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Dizayn edilen hatta trafo merkezi ve haberleşme sistemi mevcuttur. Bu yüzden tez çalışmasında mevcut hattın modernizasyonu ile ortaya çıkan katener sistemi tasarlanmıştır. Alifuatpaşa-Pamukova İstasyonları arası besleme planı çıkartılmış, bu plan üzerinden piketaj ve derülaj planı hazırlanmıştır. Moment hesapları yapılarak temel karnesi oluşturulmuştur. Katener sistemi tasarımı yapılırken tren trafiği ve hattın bakım işlemleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna ek olarak optimum çözümler getirilerek yapım maliyetini en aza indirecek tasarım planlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrifikasyon Sistemi, Elektrikli Demiryolu Hatları, Katener Sistemi.

DESIGN AND APPLICATION OF ELECTRIFICATION SYSTEMS IN RAILWAY LINES

ABSTRACT

There has been intense population movement from rural to urban areas with developing technology. The population growth in cities has made transportation a major problem. As an alternative to road transport, rail systems eliminate the traffic problem in city transportation. Because of being economical, fast and safe, it has been preferred.

In today's modern railway lines, electric trains are preferred because of their cheapness and sensitivity to the environment. Although the cost of making electrification of a railway line is high, it can be seen that there is a feasible system considering long-term fuel savings. Electrification system in railways consists of three main parts which are catenary system, substation and communication system.

In this thesis, electrification systems in both subway lines and conventional and YHT lines are explained. The design of the catenary systems of the 10-kilometer double line between the Alifuatpaşa-Pamukova stations of TCDD has been designed. There is a transformer center and a communication system on the design line. Therefore, the catenary system was designed by modernization of the existing line in the thesis study. Alifuatpşa-Pamukova stations feed plan has been removed, piketaj and derülaj plan was prepared on this plan. Momentum calculations were made and a basic report card was created. While designing the catenary system, train traffic and maintenance of the line have been taken into consideration. In addition to this, optimum design is planned to minimize the cost of construction.

Keywords: Electrification System, Electric Railway Lines, Catenary System.

GİRİŞ

Hareketlilik; modern toplum ve ekonomilerde insanların yaşam kalitesini etkileyen temel dinamiklerdendir. Bunun yanında gerek insanın gerek ise insanın sahip olduğu maddi varlıkların amacına uygun bir şekilde bir yerden başka bir yere taşınması da ekonomilerin temel dinamikleri arasındadır. Büyüyen ve gelişen ekonomi sonucunda ortaya çıkan yeni hareketlilik ihtiyacının tam olarak karşılanabilmesi daha etkin bir ulaşım sektörü altyapısının oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Ulaşım sektörü karayolları, havayolları, demiryolları, denizyolları ve iletişim altyapısı ile ekonominin en temel unsurlarını barındırmaktadır. Dünyada ve ülkemizde ulaştırma alanına yapılan yatırımlar; doğrudan veya dolaylı olarak bulunduğu ülkenin ekonomik ve sosyal yapısı üzerinde çok yönlü etkiye sahiptir. Ulaşım türleri içinde demiryolu ulaşımı diğer ulaşım sistemlerine göre avantajları nedeniyle daha tercih edilebilir konumdadır. Gelişmiş ülkeler ülkelerindeki ulaşım ağını düzenlerken demiryollarına öncelik verip özel önem göstermişlerdir. Küreselleşme birlikte giderek artan ve çeşitlenen ticaret hacimleri ile kentlerde artan nüfus ile ortaya çıkan yolcu hareketliliklerinin karşılanmasında da demiryolu ulaşımı yüksek hızlı tren dönüşümü ile yine önemli bir alternatif olarak toplumsal beklentileri karşılamaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de gerek ekonomik gerekse sosyal yapı üzerinde etkileri olan demiryolu ulaşımı ve yüksek hızlı tren sistemleri kaçınılmaz bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. Bölgesel farklılıkların yoğun olduğu, kaynak dağılımında büyük etkisizliklerin söz konusu olduğu ve cari açığın enerji açığı olarak tanımlandığı ülkemizde Yüksek Hızlı Tren sistemlerinin bu sorunların azaltılmasında önemli rol oynayacağı aşikârdır. Bu noktada Yüksek Hızlı Tren geniş anlamda bakıldığında ülkedeki büyüme ve kalkınma sürecinin de bir tamamlayıcısı olarak düşünülebilir[1].

Günümüzde modern ve sürdürülebilir bir taşıma sistemi başta güvenilir ve hızlı olmakla birlikte ucuz ve konforlu olmalıdır. Dünyada karayolu ulaşımının doyum noktasına ulaşması, trafik yoğunluğu, trafik kazaları ve çevreye karşı oluşan duyarlılık demiryolu ulaşımının tercih edilme nedeni olmuştur. Demiryolu ulaşımının tüm bu üstünlüklerinin yanında tercih edilebilmesi için hızlı, konforlu ve ucuz olması da

gerekmektedir. Hız, emniyet, konfor gibi kaliteyi belirleyen faktörlerin yükseltilmesi için demiryolu hat kapasitesinin artırılması, demiryolu araçları teknolojisinin geliştirilmesi, yeni demiryolu hatlarının yapılmasıyla birlikte mevcut demiryolu ağının fiziki ve geometrik standartlarının yükseltilmesi, tren trafiğinin güvenlik ve kontrolünün sağlanması ile elektrifikasyon sistemlerinin devreye alınması gerekmektedir.



1. GENEL BİLGİLER

Ülkemizde demiryolları ilk olarak 1856 yılında İngilizler tarafından İzmir-Aydın arasında 130 km'lik hat olarak yapılmıştır. Osmanlı Devletinde demiryolu yapım işleri İngiliz, Fransız ve Almanlara kilometre başına kâr güvencesi ve 20 km'lik bir koridorda bulunan madenlerin işletilmesi hakkının verilmesi karşılığında yaptırılmıştır. Bu devletler ise hat güzergâhını ve hat yapım işini kendi siyasi ve ekonomik çıkarlara göre yapmışlardır. Cumhuriyetten sonra ise ülkemiz demiryolu yapımında atağa kalkmış ve İkinci Dünya Savaşı'na kadar büyük bir hızla sürmüştür. Ortaya çıkan savaş nedeniyle 1940 yılından sonra ise durağan hale gelmiştir. 1923-1950 yılları arasında yapılan toplamda 3.578 kilometrelik demiryolu hattının 3.208 kilometresi 1940 yılından önceki yıllarda tamamlanmıştır. 1927 yılında Kayseri, 1930 yılında Sivas, 1931 yılında Malatya, 1933 yılında Niğde, 1934 yılında Elazığ, 1935 yılında Diyarbakır, 1939 yılında Erzurum'a demiryolu hattı yapılmıştır[2].

1950 yılından sonra ise raylı sistemler alanında dünyadaki teknolojik ilerlemelere ve maddi olanaklara rağmen ülkemizdeki demiryollarının gelişmesi oldukça yavaşlamış hatta durağan hale gelmiştir. Bunun nedeni devletin ulaştırma politikasının demiryollarından karayollarına kaydırılması gerektiğine inanılması olmuştur[3]. Devlet politikasının karayollarına yönelmesi ile birlikte yatırımlar da karayollarına kaymış, demiryollarının ekonomik, konforlu ulaşım, temiz ve çevre dostu başta olmak üzere bu tür avantajları göz ardı edilmiştir.

2003 yılından itibaren demiryollarına tekrar önem verilmeye başlanmıştır. Bu yıllarda birlikte yeni hatlar yapmak ve mevcut hatları modernize etmek amacıyla demiryolu yatırımları hız kazanmıştır. Bu dönemle birlikte mevcut hatlar elektrifikasyonlu ve sinyalizasyonlu hale getirilmeye başlanmıştır. 2004 yılında Asya ile Avrupa kıtasını demiryolu ile birbirine bağlayan Boğaz Demiryolu Tüp Geçişi olan Marmaray projesi ortaya konulmuştur. 2013 yılında demiryolu tüp geçişi (Ayrılıkçeşmesi-Kazlıçeşme arası) açılarak Gebze-Halkalı arasındaki banliyö hattı sökülmüş demiryolu hattı ve istasyonlar yenilenmiştir. 2019 yılında demiryolu tüp geçişini içine alan Gebze-Halkalı arası Marmaray hizmete açılmıştır. Ülkemizde hızlı tren yapımına ilk olarak

2002 yılında başlanmıştır. Ankara-İstanbul arası YHT olarak planlanan bu proje 2 etap olup ilk etabı 2009 yılında tamamlanıp Ankara-Eskişehir arasında YHT olarak seferlere başlamıştır. Eskişehir-İstanbul arası ise 2015 yılında hizmete açılmıştır[2]. Ankara-Sivas, Ankara-İzmir, Ankara-Bursa hızlı tren projeleri başta olmak üzere birçok proje yapım ve projelendirme aşamasında devam etmektedir[4].

Türkiye’de ilk elektrifikasyon uygulaması ise 1955 tarihinde İstanbul’da bulunan Sirkeci-Halkalı banliyö hattında yapılmıştır. 25 kV AC gerilim ile uygulanan bu sistem Gebze-Halkalı Marmaray projesi açılana kadar geçerliliğini korumuştur. Bu tarihten sonra ise Gebze-Haydarpaşa, Sincan-Kayaş ve Gebze-Haydarpaşa arası elektrifikasyonlu hale getirilmiştir[5].

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında raylı sistemlerde bulunan elektrikli besleme sistemleri tanıtılmış ve farklı besleme sistemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Elektrikli besleme sistemlerinden birisi olup şehirlerarası ulaşımda tercih edilen 25 kV AC elektrifikasyon sistemleri detaylı incelenmiştir. Bu sistemin projelendirmesinin nasıl yapılacağı ve proje aşamaları ortaya konulmuştur. Son olarak da yapım maliyetini en aza indirmek amaçlanarak 10 kilometrelik bir demiryolu hattının elektrifikasyon sistemi tasarımı yapılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Elektrifikasyon sistemleri ile ilgili yapılan akademik çalışmalar genellikle şehir içi metro hatları olarak sınırlı kalmıştır. Şehirlerarası hatlarda kullanılan elektrifikasyon sistemleri alanındaki çalışmalar ise genellikle bu sistemin tanıtımına ve besleme sistemlerine yönelik olmuştur.

Şimşek E.[7], yüksek lisans tezinde elektrikli raylı ulaşım sistemlerinde kent içi raylı ulaşım sistemlerini incelemiştir. Raylı ulaşım sistemlerine kaliteli güç temini ve bunun için yapılabilecek

uygulamalar incelenmiş ve mevcutta bulunan şehir içi metro hattının yeniden tasarımını yapmıştır. Dizaynı yapılan hat metro hattı olduğu için sistem, DC besleme sistemi olarak tasarlanmıştır.

Alkaşı S., Açıkbaş S. [10], geçmişten günümüze enerji iletim sistemleri, bunların avantajları ve dezavantajlarından bahsetmiştir. Klasik katener sistemlerinden yola çıkılarak geliştirilmiş olan ve son yıllarda özellikle tünellerde ve bakım yollarında kullanımı artarak yaygınlaşmakta olan rijit katener sistemleri ve 3. Ray beslemesinin yeraltına gömülü olarak tramvay hatlarında kullanıldığı APS (Innorail) sistemleri ele alınmıştır.

Özmen İ.[6], yüksek lisans tezinde 750 V DC hat gerilimi kullanılan bir metro sisteminin cer gücü tedarik sisteminin modellemesini yapmıştır. Yapılan modellenmede 154 kV AC enerji iletim hatlarından alınan enerji indirici trafo merkezlerinde indirilerek istasyonlar arasında 34,5 kV AC orta gerilim ring sistemi oluşturulmuştur. 34,5 kV AC gerilimden ise metro hattı için ihtiyaç duyulan 750 V DC gerilimine redresör trafosu ve doğrultucu üniteleri vasıtasıyla dönüştürülmüştür.

Taşdan S.[6], yüksek lisans tezinde YHT hatlarında AC elektrik besleme sistemlerinin incelemesini yapmış, katener sisteminin projelendirilmesindeki temel esaslardan bahsetmiştir. Uygulamasında TCDD tarafından projelendirilen bir hattın katener projesini oluşturmuş. Ancak bu katener projesinde gösterilen direklerin statik yük hesapları yapılmamış katener projesi üzerinde direk noktaları belirlenmiştir.

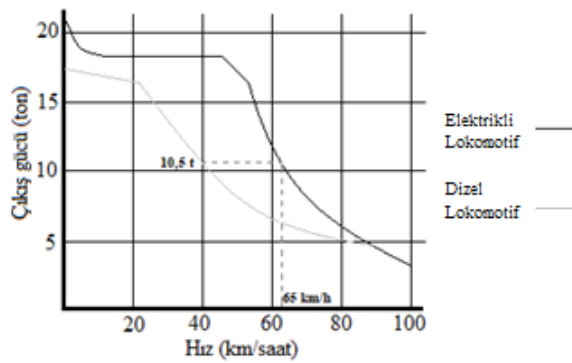
Bu tez çalışmasında ise 154 kV AC hatlardan katener sistemine 25 kV AC enerji verilecek şekilde sistem tasarımı yapılmıştır. Tezin hazırlanmasında Milli Eğitim Bakanlığına ait eğitim dokümanlarından, TCDD bünyesinde yapılan eğitim ve seminer notlarından, TCDD'ye ait teknik şartname, sözleşme ve eklerinden, katener tesisleri kitapları ile elektrifikasyon ile ilgili tez ve makalelerden yararlanılmıştır.

2. DEMİRYOLU ELEKTRİFİKASYONU

Demiryolu taşıma sistemlerinde işletmeciliğin elektrikli olarak yapılabilmesi için akım taşıma sistemleri (katener sistemi), trafo merkezleri ile kumanda ve kontrol birimlerinden (SCADA) oluşan sistemlerin bütünü elektrifikasyon olarak adlandırılmaktadır.

Elektrikli Demiryolu Hatlarının Avantajları:

- ❖ Güç üstünlüğü ve aşırı yükleme imkânı: Aynı beygir gücündeki iki lokomotif karşılaştırırsak, belirli bir yükün altında dizel lokomotif ile yapılabilecek yükün fazlası elektrikli lokomotifle yapılabilir. Şekil 2.1.'deki grafik Japonya da kullanılan elektrikli ve dizel olmak üzere yaklaşık aynı beygir gücünde olan lokomotifleri karşılaştırmaktadır. Düz çizgi 67,2 ton ağırlığında AC elektrikli lokomotif "ED75" ve kesikli çizgi ise BO-BO 1900 kW şaft aranjmanlı makinenin performans eğrisini göstermektedir. Yatay ekseninde hız, dikey ekseninde ise çekiş gücü belirtilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere örneğin: elektrikli lokomotifin çekiş gücü 40 Km/h hızla gittiği zaman dizel lokomotifin yaklaşık iki katı olmaktadır[6].



Şekil 2.1. Elektrikli ve dizel lokomotiflerin çekiş karakteristikleri

Benzer şekilde güçleri aynı olan elektrikli ve dizel lokomotive aynı miktarda yük eğimli bir yolda karşılaştırdığımızda dizel lokomotifteki güç kaybının elektrikli lokomotive göre çok daha fazla olduğunu görebiliriz.

- ❖ Demiryolu ulaşımına en uygun sistem olması: Ülkemiz petrol yönünden dışa bağımlı olduğu için demiryolu ulaşımında dizel yakıt kullanımı tercih sebebi olmamalıdır. Bunun dışında ısı enerjisini mekanik güce dönüştüren buharlı lokomotifler de artık tarihte kalmıştır. Demiryolu ulaşımının elektrikli olarak sağlanması için gerekli olan enerji ulusal elektrik santrallerinde üretilen enerjinin trafo merkezlerine aktarılmasıyla karşılanır. Burada elektrik enerjinin kullanılması ile enerji yönünden dışa bağımlılık azalır. Ayrıca dizel ve kömür gibi yakıtlarda oluşan nakliye ve depolama gibi sorunlar elektrikli işletmelerde görülmez.
- ❖ Kapasite artışı: Elektrikli lokomotiflerin dizel lokomotiflere güç üstünlüğü bulunduğundan 1 adet elektrikli lokomotifin yaptığı işi 1'den fazla dizel lokomotif yapmaktadır. Bunun sonucunda elektrikli lokomotifin dizel lokomotiften daha fazla yük taşıdığı ortaya çıkmaktadır. Demiryolu hatlarında elektrikli lokomotifin kullanımı ile mevcut hatta daha fazla tren çalıştırılacak ve hat kapasitesini artıracaktır.
- ❖ Lokomotiflerin hazırlanması ve dizilerin teşkilinde kolaylık: Dizel lokomotiflerin sefere çıkmadan en az 1 saat önce hazırlanması gerekmektedir, elektrikli lokomotifler ise her an sefere hazırdır. Elektrikli lokomotifler çift yönlü dizel lokomotifler ise tek yönlüdür. Bu nedenle elektrikli lokomotiflerde dizi teşkili daha kolaydır.
- ❖ Bakım kolaylığı: Dizel lokomotiflerde mekanik aksamlar fazla olduğu için elektrikli lokomotiflerin bakımı daha kolaydır.
- ❖ Yakıt tasarrufu: Belli bir miktarda yükü belli bir mesafeye taşımak için harcanan yakıt karşılaştırıldığında elektrikli lokomotiflerin yakıt harcaması dizel lokomotiflere daha düşüktür.
- ❖ Rejeneratif frenleme: Elektrikli trenler frenleme esnasında kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler ve bu enerjiyi hatta geri verirler. Hatta bulunan bir diğer trenin bu enerjiyi kullanması suretiyle enerji tasarrufu sağlanır. Bu da elektrikli tren için ekstra yakıt tasarrufu demektir.
- ❖ Sosyal faydalar: Elektrik, enerji kaynağı olarak temiz bir enerji olduğundan elektrikli lokomotifler dizel yakıtlar gibi çevre kirliliğine yol açmazlar. Ayrıca dizel lokomotiflere göre daha sessiz çalışırlar ve gürültü kirliliğine neden olmazlar.

Elektrikli Demiryolu Hatlarının Dezavantajları:

- ❖ Demiryolu hatlarında elektrifikasyon sistemlerinin ilk kurulumu bir maliyet gerektirir. Burada bir demiryolu hattına elektrifikasyon sistemleri kurulmasından önce yapım maliyeti ve işletmecilikte bu maliyetin hangi oranda karşılanabileceği iyi analiz edilmelidir. Mevcut hatta elektrifikasyon sistemlerinin kurulumu hattın kapatılmasına yol açabileceğinden ekstra maliyet gerektirebilir. Yine mevcut demiryolu hattına elektrifikasyon sistemi yapılacaksa hatta bulunan tünel ve köprülerin revize edilmesi gerekebilir.
- ❖ Elektrikli demiryolu hatları periyodik bakım gerektirir. Bu da ekstra personel ve donanım anlamına gelir.
- ❖ Elektrifikasyon sistemlerinde bulunan katener direkleri ve iletkenler görüntü kirliliğine yol açabilir.
- ❖ Katener hatlarında kullanılan iletkenler bakır ve alüminyum olduğundan hırsızlık olayları görülebilir.
- ❖ Elektrik hattından yüksek gerilim bulunduğundan sistemin çevreye karşı koruması çok iyi olmalıdır aksi takdirde insanlar için tehlike oluşturur.

2.1. Besleme Türüne Göre Elektrifikasyon

Demiryolu hatları elektrifikasyon sistemlerinde enerji AC veya DC olarak iki şekilde de kullanılabilir. Burada sistemin AC veya DC olmasını hattın uzunluğu ve şekli ve ulaşımın nasıl yapıldığı gibi etkenler belirler.

Raylı sistemlerde besleme sistemleri akımın tipine AC veya DC olarak göre ikiye ayrılmaktadır. Şehir içi hatlarda DC gerilim kullanılmaktadır, çünkü raylı sistemlerde kullanılan seri komütatörlü motorlar için AC gerilime göre daha uygun, hiperbolik güç/hız eğrilerine sahiptir. Dünyada çoğunlukla DC sistemler hala tercih edilmesine rağmen, düşük gerilim kullanımı mevcut sistemlerde yüksek güç talebini karşılamak adına en büyük dezavantajını oluşturmaktadır. 20. yüzyıl başlarında seri motorları, AC gerilimin dönüştürülebilme yeteneği ile birleştirme çalışmaları yapıldı. Amaç tek fazlı seri AC motoru, monofaze AC gerilimde ve şebeke frekansında sürmektir. Teknik gelişmeler beraberinde kablolarda yüksek frekans orantılı endüktif girişim ve yüksek güçlü monofaze cer gücü temininin trifaze şebekede gerilim dengesizliği gibi

problemler getirdi. Güç elektroniği alanındaki büyük gelişmelere paralel olarak 25 kV AC-50 Hz'lik güç, birçok ülkenin demiryolu elektrifikasyonunda tercih etmesine sebep oldu. Temel olarak yukarıda bahsi geçen üç tip ekseninde, kullanım amacına göre gerilim ve frekans değerleri farklı cer gücü sistemleri kullanılmaktadır. TS EN 50163 standardına göre demiryollarındaki gerilim seviyeleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir[7-8].

Tablo 2.1. EN 50163'ye göre demiryolu elektrifikasyonu gerilim seviyeleri

	U_n	U_{min2}	U_{min1}	U_{max1}	U_{max2}	U_{max3}
DC 600 V	600	-	400	720	770	1015
DC 750 V	750	-	500	900	950	1269
DC 1,5 kV	1500	-	1000	1800	1950	2538
DC 3,0 kV	3000	-	2000	3600	3900	5075
AC 15kV 16,7 Hz	15000	11000	12000	17250	18000	24311
AC 25kV 50 Hz	25000	17500	19000	27500	29000	38746

U_n : Nominal gerilim

U_{min1} : En düşük kalıcı gerilim

U_{max1} : En yüksek kalıcı gerilim

U_{min2} : En düşük geçici gerilim, maksimum 10 dakika

U_{max2} : En düşük geçici gerilim, maksimum 5 dakika

U_{max3} : Aşırı gerilim, 20ms'den uzun süreli

2.1.1. DC beslemeli sistemler

DC beslemeli sistemlerde elektrik enerjisi OG şebekelerden AC olarak alınıp tüm istasyonlara dağıtılır. İstasyonlarda iki adet cer trafosu ve iki adet servis trafosu bulunmaktadır. Burada trafoların ikişer tane olması sistemde oluşan arıza durumlarında yedekliliğin sağlanması içindir. cer trafoları raylı sistem araçlarının enerjisini, servis trafosu ise istasyonda bulunan diğer sistemlerin (aydınlatma, yürüyen merdiven, asansör, kamera vb.) enerjisini karşılar.

Cer trafolarına gelen AC enerji istenilen seviyeye düşürüldükten sonra redresör yardımı ile DC sisteme dönüştürülür. Elde edilen enerjinin katenere aktarılmasıyla cer gücü için gerekli olan DC enerji tedarik edilmiş olur.

DC sistemler daha çok şehir içi ulaşım olan metro tramvay vb. sistemlerde kullanılır. Gerilim değerleri genel olarak 750V ve 1500V olarak değişmekte olup 600 V DC ve 3000 V DC ise çok nadir kullanılmaktadır. DC sistemlerde gerilim değeri düşük akım değeri yüksektir bu nedenle yalıtım mesafesi AC sistemlere göre daha düşüktür. DC sistemlerde gerilim düşük olduğu için trafo merkezleri arasındaki uzaklık AC sistemlere göre daha kısa olup 750 V DC sistemlerde yaklaşık 1-3 km aralıklarla 1500 V DC sistemlerde ise yaklaşık 5 km aralıklarla trafo merkezi bulunur. Bu nedenlerle DC sistemler hat mesafesinin kısa istasyonların sık olduğu şehir içi toplu taşımada kullanılır.

2.1.2. AC beslemeli sistemler

DC motorun hız kontrolünün basit olması sebebiyle geçmişte kullanılan cer gücü besleme sistemlerinin hepsi tren hattını düşük DC gerilim ile beslemiştir. Takip eden yıllarda elektrik mühendisliği teknolojilerindeki gelişmeler düşük frekanslı yüksek AC gerilimli cer gücü besleme sistemlerinin kullanılmasına imkân verdi[7].

15 kV AC 16,7 Hz enerji Avrupa, 12kV AC 25 Hz enerji ise ABD’de yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Avrupa’daki şehir şebekesinin frekansı 50 Hz, ABD’nin ise 60 Hz olup o zaman raylı sistemlerde kullanılan frekans elektrik şebekesini frekansından düşüktü Avrupa ve ABD’deki bu frekanslar ülkelerim elektrik şebekelerinin frekanslarından daha düşüktü. Başlangıçta bu şekilde düşük frekans değerinin tercih edilmesinin sebebi AC cer motorların kolektörlere sahip olması ve 50Hz (veya 60Hz) frekansında karşılaşılan problemlerden dolayıydı. Bu sebeple çözüm daha düşük frekans kullanmaktı. Daha sonraki yıllarda güç elektroniği teknolojisindeki gelişmeler yüksek akım ve büyük güç değerlerinde çalışabilecek anahtarlama elemanları ve doğrultucu yapılabilmesine olanak tanıdı. Demiryolu sanayisinin gelişimi için bu teknoloji gerçek bir buluştu ve bu teknoloji sayesinde demiryolu cer gücü sistemleri büyük bir değişime uğradı. Raylı sistem taşımacılığı için 25 kV yüksek AC gerilimin 50Hz şehir şebekesi frekansı ile aynı frekansta ilk defa 1950 yılında Fransa’da kullanıldı. Bu tarihten sonra 25kV AC 50 Hz (veya 60hz) hızlı tren, ana hat (ekspres) tren, bölgesel veya banliyö trenleri gibi uzun hatlarda çalışan trenler için standart oldu ve sektör tarafından sıklıkla tercih edildi. 25kV AC 50Hz tercih edilmesinin sebebi sunduğu büyük avantajlardan dolayıydı. Gerilimin yüksek olması iki trafo merkezi

arası uzaklığın DC sisteme göre oldukça fazla olmasını sağlıyor ve akımın daha düşük olmasının bir sonucu olarak da katener ekipmanları ve iletkenler çok daha hafif olmaktadır. Fakat DC cer gücü sistemlerinin işletme masraflarının daha düşük olması sebebiyle (daha hafif araçlar) günümüzde metro gibi çok kısa ve sık duruşlu ve 30-40 km geçmeyen hatlarda 1500V DC ve rijit katener kullanan sistemler demiryolu sektör trendi olmuştur. Tablo 2.2.'de AC ve DC cer gücü sistemleri arasındaki farklılıklar detaylı olarak anlatılmaktadır[9].

Tablo 2.2. AC ve DC sistemlerin karşılaştırılması

	AC Sistem	DC Sistem
<i>Ardışık İki Cer Trafo Merkezi Arası Uzaklık</i>	15-50 km arası	2-5 km arası
<i>Akım Toplama Sistemi İletkenleri</i>	Hafif	Çok Daha Ağır
<i>Kullanılan İzolatörler</i>	Çok Daha Büyük İzolatörler	Küçük İzolatörler
<i>Kaçak Akım</i>	Metal Aksamalara Etkisi Yoktur	Korozyon vb. ciddi etkileri vardır
<i>Elektromanyetik Girişim (EMI)</i>	Haberleşme ve Sinyalizasyon ekipmanlarına ciddi etkisi vardır	Genellikle Problem Oluşturmaz

AC beslemeli sistemlerde trafo merkezi arası mesafenin uzun olması ve akım toplama sistem iletkenlerinin DC sisteme göre daha ince olması sistemin kurulum maliyetini önemli ölçüde azaltır.

Ülkemizde AC besleme olarak 25 kV 50 Hz AC Elektrifikasyon sistemleri mevcuttur. Bu sistem banliyö hatlarında ve şehirlerarası ulaşımda kullanılmaktadır. Cer gücü için gerekli olan enerji 154 kV enerji nakil hatlarından 3 faz 50 Hz olarak trafo merkezlerine ulaşır. Trafo merkezlerinde tek faz 25 kV 50 Hz AC gerilim seviyesine indirilerek katenere verilir. Burada bazı noktalarda 154 kV enerji nakil hattının bulunmadığı veya trafo merkezine uzak geçtiği noktalarda 154 kV yerine 33 kV enerji nakil hattı da kullanılabilir.

2.2. Akım Taşıma Şekline Göre Elektrifikasyon

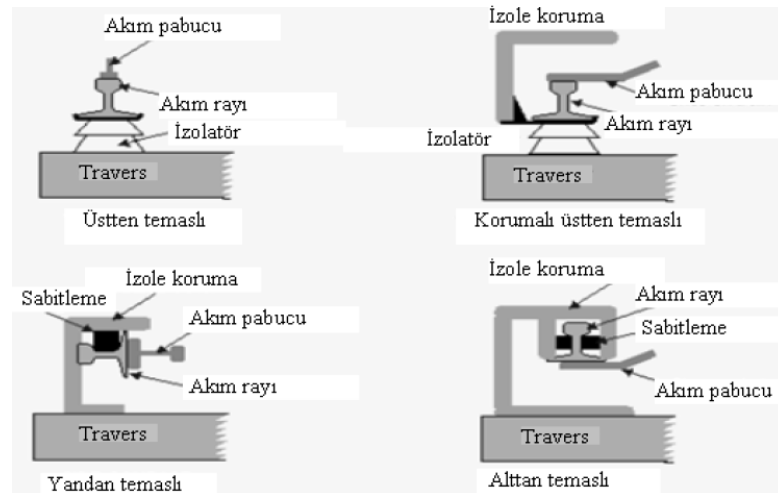
Elektrikli trenlerin ihtiyacı olan enerjiyi alabilmesi için hat üzerindeki bütün noktalarda paralel olarak uzanan iletkenler mevcuttur. Trafo merkezlerinden alınan

enerji bu teller vasıtasıyla trenlere ulaşır. Akım taşıma sisteminin de çeşitli yolları mevcuttur. Genel olarak sistemin yerde veya havada bulunması olarak ikiye ayrılır. Yerde bulunan sistemler iki adet demiryolu raylarına ek olarak enerjinin alındığı 3. ray ile yapılan akım taşıma sistemidir. Havai hatlarda ise enerji havada bulunan iletkenlerden pantograflar vasıtası ile trene aktarılmasıyla taşınır. Havai hatlarda standart katener ve rijit katener dediğimiz iki sistemle akım taşınmaktadır.

Rijit katener ve 3. Ray sistemi şehir içi ulaşımında ve metro hatlarında DC sistem olarak, standart katener sistemi ise yine şehir içi ulaşımında ve şehirlerarası tren işletmeciliğinde kullanılmaktadır. Şehirlerarası ulaşımında sadece AC standart katener sistemi kullanılmakla birlikte tünellerde ve gabarinin kurtarmadığı kısa bölgelerde rijit katener ile geçiş yapılarak çözüm üretilebilir. Ülkemizde Marmaray Banliyö hattında Ayrılıkçeşmesi-Kazlıçeşme arası tünel bölgesinde rijit katener yüzeysel hatlarda ise standart katener kullanılmaktadır. Sistemdeki enerji AC olup 25 kV 50 Hz'dir.

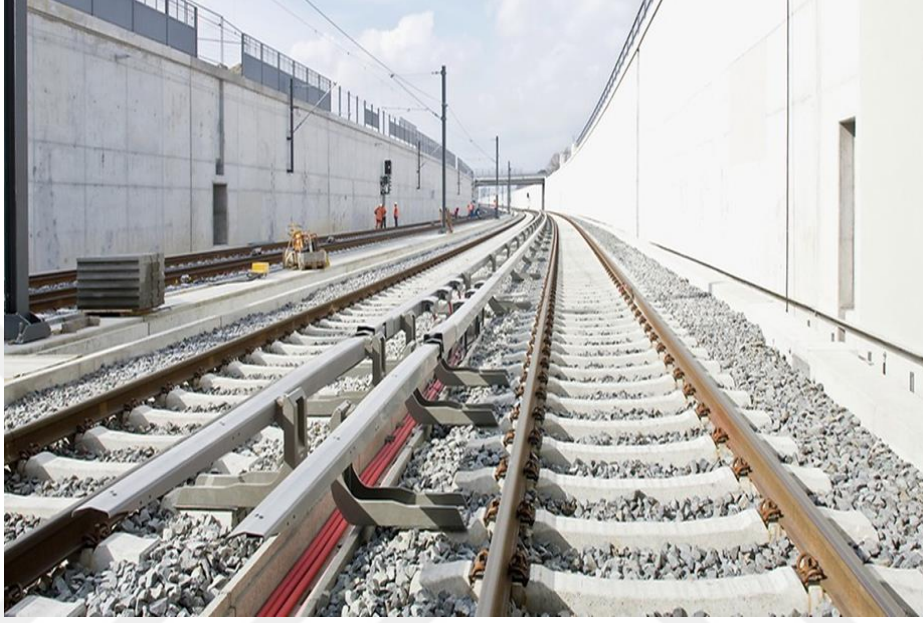
2.2.1. 3. Ray sistemi

Yerde ve ray seviyesinde olan 3. Ray sistemleri genellikle şehir içi ulaşımındaki metro hatlarında kullanılmaktadır. Üçüncü ray sisteminde elektrikli araçlar ihtiyacı olan enerjiyi ray pabucu adı verilen havai hatlardaki pantograf benzeri bir ekipman ile alır. Bu sistem, Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi pabucun temas şekline göre alttan, üstten veya yandan temaslı olmak şeklinde değişik konfigürasyonlarda olabilmektedir. Tamamen ayrılmış yola sahip bazı hafif metro sistemlerinde de kullanılmaktadır[10].



Şekil 2.2. 3. Ray Sistemi

Enerji taşıyan 3. rayın yerde olması hem çalışanların hem de yolcuların güvenliği açısından olumsuz bir durumdur. Sistem yerde olduğundan enerji kesilmeden hatta herhangi bir bakım yapılması söz konusu değildir. Bakımlar işletme bittikten sonra gece yapılmalıdır. Ayrıca işletme saatlerinde yolcuların güvenliği için ekstra önlemler alınması gerekir.



Şekil 2.3. 3. Ray sistemi kullanılmış hat

3. ray sistemlerinde pantografa gerek duyulmadığı için tünel genişliğinin daha düşük olması yapım aşamasında maliyet yönünden avantaj sağlar. Fakat yine sistem yerde olduğu için yolcu ve bakım ekiplerinin korunması ekstra maliyet gerektirebilir.

2.2.2. Havai hat ile akım toplama sistemi

Trafo merkezlerinden gelen enerjinin pantograf üzerinden çeken araçlara aktarılmak suretiyle oluşan akım toplama sistemidir. Havai hat katener sistemlerinde enerji katener direkleri ve ekipmanları ile taşınıp yol boyunca uzanan kontak teli üzerinden aktarılır. Havai hat katener sistemleri rijit katener ve standart katener olarak kullanılabilir.

2.2.2.1. Rijit katener sistemi

Rijit katener sistemi genellikle metro hatlarında ve izolasyon mesafesini kısa olduğu tünellerde kullanılan elektrikli lokomotiflere enerjiyi tedarik eden bir elektrifikasyon

sistem çeşididir. Alüminyum bara, barayı sabit tutan ve destekleyen konsol ve hoban sistemleri, alüminyum profil içinden geçirilerek pantograf birimiyle teması sağlayan bakır iletkenli kontak seyir teli, sistemi enerji aralıklarına ayıran bölüm izolatörleri, genişmelere karşı orta nokta donanımı ve alt donanımlardan oluşur[11].

Rijit kataner sistemi genelde hızın düşük yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu DC olarak çalışan kısa metro hatlarında kullanılır. Bununla beraber şehirlerarası ulaşımda gabarinin dar olup izolasyon mesafesinin kısa olduğu tünellerde kullanılır. Hem şehirlerarası hem de şehir içi ulaşımının yapıldığı Bölgesel ve banliyö trenlerinin kullandığı Marmaray hattının Ayrılıkçeşmesi-Kazlıçeşme bölümünde 25 kV 50 Hz rijit katener sistemi kullanılmaktadır. Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.'te görüldüğü üzere rijit katener konsol bağlantıları bazı noktalarda tünelin yan tarafına bazı noktalarda ise üst bölgesine sabitlenmiştir. Sistemde kontak teli olarak 150 mm² bakır tel ve bu teli saran alüminyum profil kullanılmış olup seyir teli yüksekliği ise 500 cm'dir.



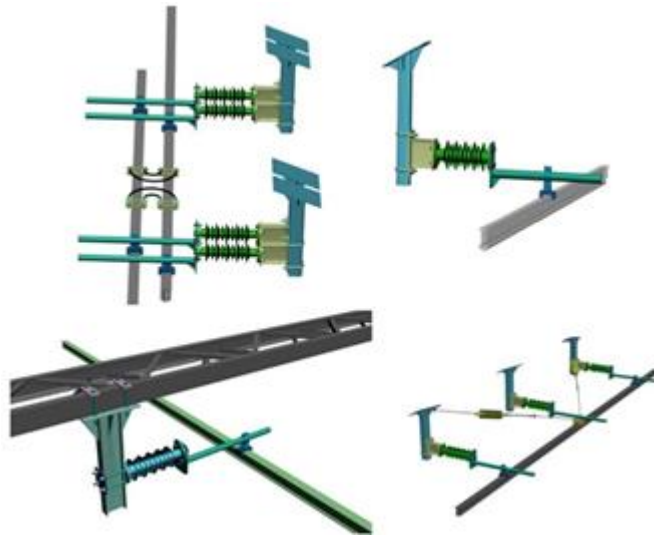
Şekil 2.4. Marmaray hattı 25 kV AC rijit katener sistemi (tünel içi)

Rijit katener sistemlerinde yapım maliyeti yüksek olmasına karşın bakımı oldukça kolaydır. Sistemde parça sayısı oldukça azdır. Standart katenerde bulunan portör teli, pandül, Y halatı, otomatik gergi cihazı gibi donanımlar rijit katener sisteminde kullanılmaz.



Şekil 2.5. Marmaray 25 kV AC rijit katener sistemi(Ayrılıkçeşmesi-Üsküdar)

Şekil 2.6.'da rijit katenerde kullanılan bazı parçaların montaj şekilleri görülmektedir. Bağlantılar ve teller statik olduğu için hatta esneme olmaz. Mevsimsel yaşanan ısı değişimlerinde esnekliğin sağlanması için ise etaplar maksimum 450 metreden oluşmuştur. Etap ortalarına ise antişöminman bölge tesis edilmiş ve sistem orta noktada sabitlenmiştir. Rijit katenerde kontak teline çekiş ve baskı kuvvetleri etki etmez bu nedenle standart katenerde sık görülen kontak telinin kopması gibi durumlar görülmez. Hatta kontak teli kopsa bile sistem emniyete alınana dek alüminyum profil üzerinden besleme devam eder.



Şekil 2.6. Rijit katenerde kullanılan çeşitli bağlantı parçaları [12]

2.2.2.2. Standart katener sistemi

Metro hatlarında, banliyö hatlarında, tramvaylarda, YHT ve bölgesel trenlerde kullanılan sistemlerdir. Sistemin kullandığı enerji seviyeleri 750 V, 1500 V DC ve 25 kV AC olarak değişmektedir.

Konvansiyonel katener sistemi, katener direği direk, seyir (kontak) teli, taşıyıcı (portör) tel, Y halatı, pandül, konsol-hoban donanımı, rapel, antibalansan, otomatik gergi cihazı ve geri dönüş iletkeni (topraklama teli) gibi bileşenlerden oluşur[13].

Standart katener sistemlerinde tasarım otomatik gergili veya sabit gergili olarak yapılabilir. Sabit gergili katener sistemi hızın düşük olduğu tramvay hatlarında, depo ve garaj yollarında kullanılır. Otomatik gergili sistem ise metro hatları ve hafif raylı sistemler ile bölgesel trenler ve YHT hatlarında kullanılır.

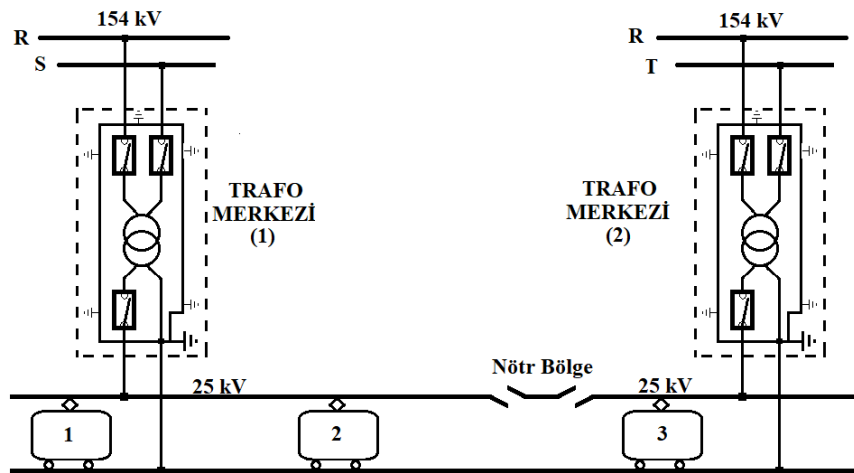
3. 25 kV AC ELEKTRİFİKASYON SABİT TESİSLERİ

25 kV AC demiryolu elektrifikasyon sistemleri 3 ana gruba ayrılabilir.

- ✓ Katener Tesisleri
- ✓ Trafo Merkezleri
- ✓ Telekomand (Uzaktan Kumanda - SCADA) ve Haberleşme Sistemleri

Enerji iletim hattından gelen üç faz 50 Hz 154 kV enerjinin tek faz 25 kV 50 Hz enerjiye dönüşüp katenerlere verildiği sistemin bütünü trafo merkezi olarak adlandırılır. Trafo merkezi ile pantograf arası enerji iletimini sağlayarak 25 kV enerjiyi pantografa ulaştıran havai hat sistemlere ise katener sistemi denir. Telekomand ve Haberleşme sistemleri ise hat üzerinde ki cer postalarında ve trafo merkezinde bulunan bütün ayırıcı ve kesicilerin iletişimini ve kontrolünü sağlayan sistemlerdir.

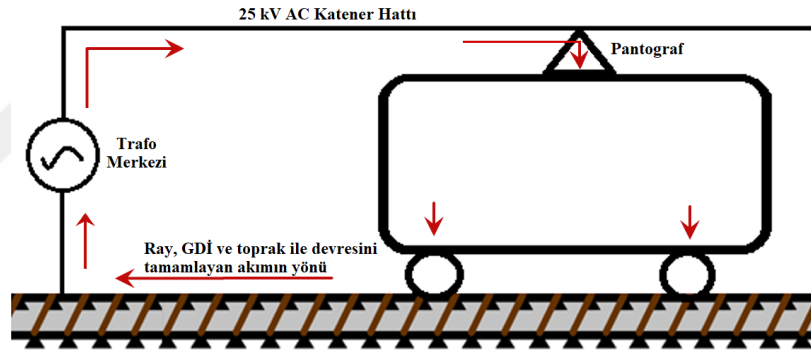
Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere TEİAŞ 154 kV enerji hattından alınan 2 faz gerilim trafo merkezlerine iletilir. Burada fazın bir tanesi 25 kV'a dönüştürülerek katener hattına verilir diğer faz ise topraklama barasına bağlanır. Farklı iki TEİAŞ 154 kV hattından alınan enerji farklı fazlarda olduğu için faz çakışmasının önlemek amacıyla iki trafo merkezinin arasına nötr bölge tesis edilir.



Şekil 3.1. 25 kV 50 Hz elektrifikasyon sistemi

Şekildeki 1 ve 2 nolu trenler Trafo Merkezi (1)'den beslenirken 3 nolu tren Trafo Merkezi (2)'den beslenmektedir. Şehirler arası 25 kV hatlarda ortalama 50-60 km aralıklarla trafo merkezi bulunmakta bunların orta noktalarında ve trafo merkezi önünde ise nötr bölge tesis edilmektedir. Trafo merkezlerinin bir tanesinde oluşacak arızada nötr bölgede bulunan ayırıcılar kapatılarak uzun beslemeye geçilir ve işletmeciliğin devamı sağlanır.

Şekil 3.2.'de 25 kV 50 Hz elektrifikasyon sisteminin işleyişinin basit bir krokisi görülmektedir. Trafo merkezinden katener hattına verilen 25 kV tek faz gerilim pantograf vasıtasıyla tren üzerinde bulunan elektronik devrelerden geçtikten sonra lokomotifin motoruna iletilir. Burada akım ray, geri dönüş iletkeni ve toprak üzerinden devresini tamamlayarak trafo merkezine ulaşır. Akımın büyük bir kısmı ray üzerinden taşınmaktadır. Geri dönüş iletkenleri de her 500 metrede bir raya bağlanır.



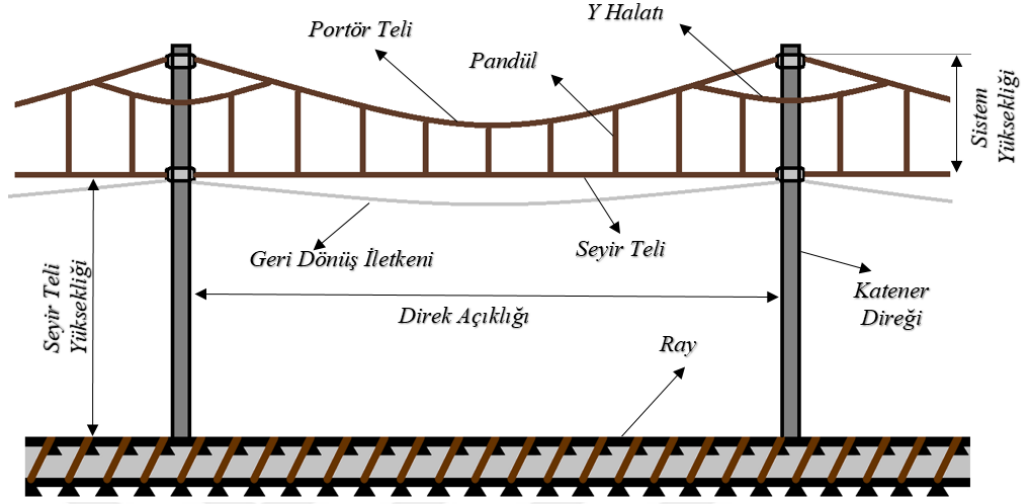
Şekil 3.2. 25 kV 50 Hz elektrifikasyon sistemi akım döngüsü

25 kV AC Katener Sistemlerinde nominal gerilim olarak 25 kV gerilim değeri seçilmesi hem izole mesafe hem de gerilim düşümü olarak en uygun değer olmasıdır. Gerilim değerinin yüksek seçilmesi yalıtım için daha büyük malzemelerin kullanılması açısından problem yaratmakta, gerilim değerinin düşük olması ise trafo merkezi sayısının artmasına neden olmaktadır.

3.1. Katener Tesisleri

Katener sistemleri 25 kV gerilimin taşındığı bir nevi enerji iletim ve dağıtım hattıdır. Şekil 3.3.'te katener sisteminin bileşenleri görülmektedir. Şekilde görülen her bir bileşen ayrı bir öneme sahiptir. Buradaki tüm ekipmanların ana amacı seyir teli yüksekliğini sabit tutarak pantografin seyir teline temasının sürekliliğini sağlamaktır.

Katener hatlarında pantograf statik bir seyir teli istemez bu yüzden portör teli ve pandüller seyir teli üzerindeki rijit hali ortadan kaldırarak pantograf basıncını karşılayacak bir salınım oluşturur.



Şekil 3.3. Katener sistemi bileşenleri

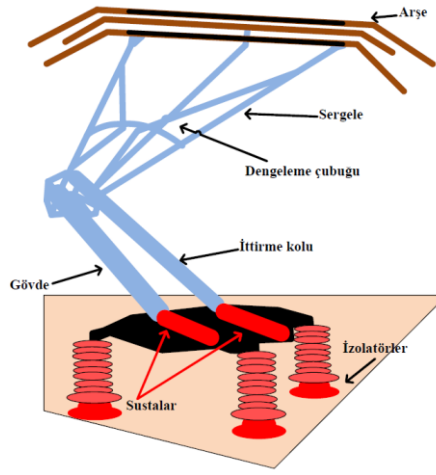
Katener sistem bileşenlerindeki ekipmanların çeşidini ve sayısını hattın hangi hıza göre dizayn edileceği belirler.

3.1.1. Pantograf

Pantograf elektrikli araçların katener sistemindeki seyir(kontak) telinden enerji aldığı ve araca aktardığı ekipmandır. Pantograf elektrikli araçların üst kısmında bulunup izolatorler vasıtasıyla trenlerden izole edilmiştir. Hattın dezeksman genişliğine göre büyük veya küçük pantograf kullanılır. İki adet karbon grafit kömür arşe üzerine monte edilmiştir. Bu iki kömürün pantografin her yüksekliğinde aynı yatay doğrultuda olması gerekir. Aksi halde kömürlerde dengesiz aşınma meydana gelir. Pantograf katener telinden alınan elektrik enerjisini mafsallı bağlantı noktalarında kamçı diye adlandırılan örgülü iletkenlerle kesiciye aktarır. Pantograf mekanik gövdesi de elektrik enerjisini aktarmada iletken olarak kullanılmıştır[14].

Bir pantografı oluşturan bileşenler, pantograf arşesi, sergele, dengeleme çubuğu, gövde, susta ve izolator gibi elemanlardır. Pantograf ve pantografı oluşturan bileşenler Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. Pantograf arşesinde, arşe kömürü ve boynuzlar bulunmaktadır. Arşe kömürü karbon grafit malzemeden ve boynuz ise izolasyonlu

malzemeden yapılmıştır. Ülkemizde 1600 ve 1950 mm olmak üzere iki çeşit pantograf tipi vardır. Büyük pantografda boynuzlar arası mesafe 1950 mm iken küçük pantografda 1600 mm'dir. Sergele, pantograf çerçevesi ile arşesi arasındaki birleşimi sağlayan elemandır. Dengeleme çubuğu, karbon grafit kömürün her zaman yatay doğrultuda olmasını sağlar. Sustalar pantografin temas teline uyguladığı basınç değerini ayarlamak için kullanılmaktadır. İzolatörlerin görevi ise hem izolasyonu hem de pantografin tren üzerinde sabitlenmesini sağlamaktır[13].



Şekil 3.4. Pantograf bileşenleri

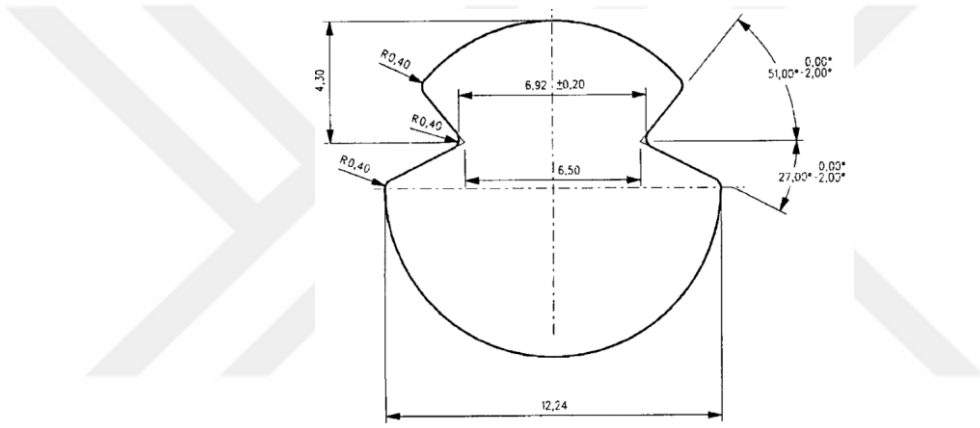
Şekil 3.5.'te ise Marmaray HYUNDAI ROTEM tren setlerinde kullanılan pantograf görülmektedir.



Şekil 3.5. Hyundai Rotem tren seti pantografı

3.1.2. Seyir (kontak) teli

Seyir teli trafo merkezinden çıkan elektrik enerjisini pantografa ulaşmasını sağlayan ve seyir esnasında pantografin temas halinde olduğu teldir. Seyir telinin kesiti ve çeşidi sistem tasarımına göre değişim göstermektedir. Konvansiyonel hatlarda 107 mm^2 , yüksek hızlı tren hatlarında 120 mm^2 seyir teli kullanılırken çok yüksek hızlı tren hatlarında ise 150 mm^2 kesitli seyir teli kullanılmaktadır. Şekil 3.6.'da TS EN 50149 "Demiryolu uygulamaları sabit tesisler elektrikli cer bakır ve bakır alaşımlı yivli kontak telleri standardı" içinde yer alan 107 mm^2 seyir teline ait yapısal biçim görülmektedir[15].



Şekil 3.6. TS EN 50149 standardı 107 mm^2 seyir teli yapısal biçimi

Seyir teli malzeme yapısı saf bakır veya gümüş ve magnezyum alaşımlı da olabilmektedir. Seyir telinin şekli yivli olup grif adı verilen bağlantı parçalarıyla Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi pandüle bağlanırlar.



Şekil 3.7. Seyir telinin grif ile pandüle bağlantısı

Ülkemizde TS EN 50149 ve UIC 870 standartlarına uygun seyir teli kullanılmaktadır. Tablo 3.1.'de Türkiye'de bulunan bakır seyir teli üreticisi Sarkuysan firmasına ait katalog bilgileri bulunmaktadır. Seyir teli yiv şekline göre AC ve BC olarak iki şekildedir.

Tablo 3.1. Seyir teli katalog bilgileri [16]

Standart	Nominal Kesit Alanı (mm ²)	Malzeme	Tip	Çap (mm)	Nom. Ağırlık (kg/m)	Nom. Kopma Kuvveti (kN)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Mukavemeti (kg/mm ²)	Uzama(%)
EN 50149 - AC	107	Cu	AC	12,30	0,952	37,4	360	36,5	3 - 7
EN 50149 BC - UIC 870	107	Cu	BC	12,24	0,952	37,4	360	36,5	3 - 7
EN 50149	120	Cu	AC	13,2	1,068	38,4	330	33,5	3 - 7
EN 50149	120	Cu	BC	12,85	1,068	38,4	330	33,5	3 - 7
EN 50149	150	Cu	AC	14,8	1,335	45,1	360	36,5	3 - 7
EN 50149	150	Cu	BC	14,5	1,335	45,1	360	36,5	3 - 7
EN 50149	107	CuAg 0,1	AC	12,3	0,952	39,6	350	35,5	3 - 10
EN 50149	107	CuAg 0,1	BC	12,24	0,952	39,6	350	35,5	3 - 10
EN 50149	120	CuAg 0,1	AC	13,2	1,068	40,7	350	35,5	3 - 10
EN 50149	120	CuAg 0,1	BC	12,85	1,068	40,7	350	35,5	3 - 10
EN 50149	150	CuAg 0,1	AC	14,8	1,335	50,9	340	35,5	3 - 10
EN 50149	150	CuAg 0,1	BC	14,5	1,335	50,9	340	35,5	3 - 10

TS EN 50149 standardına göre seyir telinin metresinin ağırlığı 107 mm²'de 952 gr. 120 mm²'de 1068 gr. ve 150 mm²'de 1335 gr. olup tolerans aralığı \pm % 3 'tür[15]. Uzama katsayıları ve kopma kuvvetleri de seyir telinin kesit alanına göre değişim gösterir.



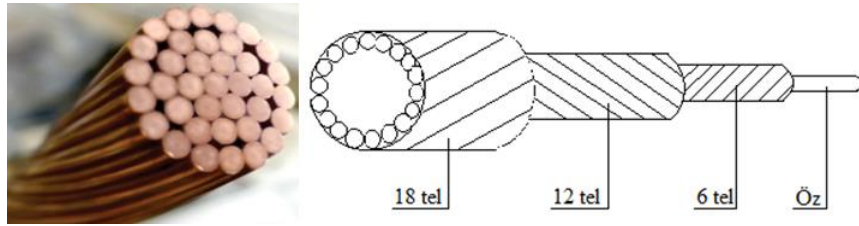
Şekil 3.8. Seyir ve portör teli çekimi

Seyir teli sert bakırdan imal edildiğinden esneme söz konusu değildir. Katener sistemlerinde seyir teline ek yapılması istenmez. Bu yüzden sistem tasarlanırken proje üzerinde ortaya çıkan etap boylarına göre özel olarak imal edilir. Seyir telleri makaralar halinde ve etap boyuna göre tek parça olarak sahaya indirilerek monte edilir. Şekil 3.8.'de seyir teli ve portör telinin montaj aşaması görülmektedir.

3.1.3. Portör teli

Portör teli; askı noktaları ve pandüller aracılığı ile seyir telini taşıyan örgülü bronzdan (bakır-kalay karışımı) oluşan iletkenlerdir. Portör teli seyir telinin yanı sıra akımı da taşımaktadır. Sadece seyir telinin kullanıldığı sistemlerde pantografin seyir teline teması sırasındaki sertlik fazla olup hız düşüktür. Portör teli, pandül ve Y halatı ile birlikte seyir telini askıda tutarak seyir telinin elastikiyetini artırıp daha yüksek hızlarda işletmecilik sağlar.

Konvansiyonel hatlarda kullanılan portör teli 65mm^2 kesitli toplamda 37 telcikten oluşmaktadır. Portör teli Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi merkezi bir telden (öz) sola doğru sarılmış 6 telli birinci tabaka, bunun üstüne aksi yönde sarılmış 12 tel ve son olarak birinci tabaka ile aynı yönde sarılmış 18 telden oluşmuştur. Şekil 3.9.'da portör telinin yapısal biçimi görülmektedir.



Şekil 3.9. Portör teli [13]

Tablo 3.2.'de Sarkuysan firmasına ait DIN 43138 ve DIN 48201[17-18] standartlarında havai hat katener sistemleri için bakır ve bakır alaşımlı iletken tellerin teknik özellikleri görülmektedir. Konvansiyonel hatlarda kullanılan 37 telcikten oluşan bir portör telinin cer kopma yükü 45,5 kN olup metresini ağırlığı 602 gr'dır.

Tablo 3.2. Sarkuysan firmasına ait katalogda bulunan bakır ve bakır alaşımlı tellerin teknik özellikleri [19]

Standart	Ebat	Malzeme	Tip	Nominal Kesit (mm ²)	Hesaplanan Kesit (mm ²)	Maks. Dış Çap (mm)	Kopma Mukavemeti (N/mm ²)	Kopma Yüklü (kN)	Maks. Ağırlık (kg/km)	Kullanım Yeri
DIN 43138	37x7x0,76	Sert Bakır	Rope	120	117,4	15,88	300	35,23	1085,8	Besleme Teli
DIN 43138	1x31/0,50+6x28/0,5+12x28/0,50	Sert Bakır	Rope	105	105,0	15,33	300	31,50	963,7	Besleme Teli
DIN 43138	37x7x0,70	Sert Bakır	Rope	95	99,6	14,63	300	30,27	922,6	Besleme Teli
DIN 48201	19x1,80	Bakır	Class2	50	48,4	9,00	401	19,38	437,0	Direk Topraklama Teli
DIN 43138	19x7x0,60	Sert Cu Mg0,4	Rope	35	37,6	9,27	589	22,14	351,5	Pandül Teli
DIN 43138	7x7x0,65	Sert Cu Mg0,4	Rope	16	16,3	6,2	589	9,6	152	Pandül Teli
DIN 43138	12x7x0,50	Sert Cu Mg0,4	Rope	16	16,5	6,21	589	9,7	152,7	Pandül Teli
DIN 43138	1*7x0,65+6*7x0,54	Sert Cu Mg0,4	Rope	12	11,9	5,21	640	7,65	110,3	Pandül Teli
DIN 43138	7x7x0,50	Sert Cu Mg0,4	Rope	10	9,6	4,5	589	5,65	89	Pandül Teli
DIN 48201	19x2,80	Sert CuMg0,4	Class2	120	116,9	14,1	589	67,57	1071,5	Portör Teli
DIN 48201	19x2,50	Sert CuMg0,4	Class2	195	93,2	12,6	589	54,76	853,9	Portör Teli
DIN 48201	37x1,50	Sert CuMg0,4	Class2	65	65,4	10,58	645	45,5	602,2	Portör Teli
DIN 48201	19x2,10	Sert CuMg0,4	Class2	65	65,8	10,61	589	38,64	602,7	Portör Teli
DIN 48201	19x2,80	Sert Bakır	Class2	120	116,9	14,1	300	35,08	1071,5	Portör Teli
DIN 48201	7x2,50	Sert CuMg0,4	Class2	35	34,3	7,56	589	20,17	315,2	Y.Halatı
DIN 48201	7x2,10	Sert CuMg0,4	Class2	25	24,2	6,3	589	14,24	218	Y.Halatı

3.1.4. Temas kuvveti

Temas kuvveti; pantografin seyir teline uyguladığı kuvvet olup doğrudan trenin hızına bağlıdır. TS EN 50367 standardına göre ortalama temas kuvveti Denklem (3.1) ile bulunur[20].

$$F_m = 970 \times 10^{-6} \times V^2 + 70(N) \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de 160 km/h hıza göre tasarlanan sistemde temas kuvvetini bulacak olursak;

$$F_m = 970 \times 10^{-6} \times 160^2 + 70(N)$$

$F_m = 94,82$ N olarak hesaplanır.

TS EN 50119 standardına göre statik temas kuvveti 70 N ile 120 N arasında olmalıdır[21].

3.1.5. Dalga yayılma hızı

Seyir halindeki bir elektrikli demiryolu aracının pantografının seyir teline uyguladığı kuvvetler, hatta bir dalgalanmaya sebep olur ve bu dalgalanmanın bir yayılma hızı vardır. Dalga yayılma hızı, YHT hatlarının işletme hızları için çok önemli bir dinamik değişkendir. TS EN 50119 standardına göre hattın işletme hızı, belirlenen dalga yayılma hızının %70'inden daha fazla olmamalıdır. Bu yüzden hedeflenen işletme hızına çıkabilmek için gerekli olan seyir teli tipi ve gerdirme kuvveti, dalga yayılma hızını sağlayacak şekilde seçilmelidir[21-22].

C :Dalga yayılma hızı (km/s)

H_{cw} : YHT hatlarında seyir teli gerdirme kuvveti 15000 N'dur.

m_{cw} :120 mm² seyir telinin 1 metresini ağırlığı (kg/m) =1,07 kg/m [16]

$$C = \sqrt{\frac{H_{cw}}{m_{cw}}} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de seyir teli ağırlığını ve gerdirme kuvvetini yerine yazarsak;

$$C = \sqrt{\frac{15000}{1,07}} = 118,4006 \text{ m/s} = 426,242 \text{ km/h}$$

Hattın maksimum işletme hızı $C \times 0,7 = 426,242 \times 0,7 = 298,3694 \text{ km/h}$ olarak bulunur.

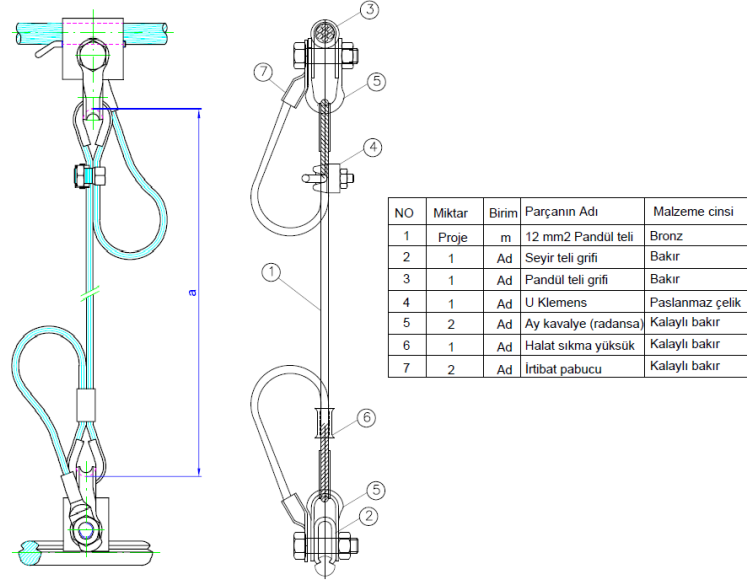
3.1.6. Pandül

Sert bakır veya örgülü bakırdan oluşan, seyir teli ile portör teli arasındaki bağlantıyı sağlayıp seyir teli ile ray arasındaki seyir teli yüksekliğini sabit tutmaya yarayan teldir. Pandüller hattın dinamik yapısı açısından çok önemlidir. Katener hatlarında kullanılan

pandüller akım taşıyan, akım taşımayan veya izole olarak 3 çeşittir. Konvansiyonel ve YHT hatlarında genellikle iletken pandüller kullanılmaktadır.

Pandül boyları sistem tasarımına göre değişmekte olup 120 km/h işletme hızı ve daha düşük hızlarda 300 mm, 120 km/h ve daha yüksek hızlarda ise 500 mm uzunluğunda pandül kullanılır.

Şekil 3.10.'da YHT ve Konvansiyonel hatlarda kullanılan pandül görülmektedir. Pandülü seyir teli ve portör teline bağlayan parçanın ismine grif adı verilir. Pandül grifleri CuNi2Si alaşım yüksek iletkenliğe sahip bakırdan imal edilmektedir. Pandül griflerini bağlayan klemensler ve diğer aparatlar da paslanmaz çelikten imal edilmektedir.



Şekil 3.10. Pandül ve bağlantı parçaları [22]

Pandüller iki direk arasında belirli açıklıklarla asılırlar. Konvansiyonel hatlarda iki pandül arası mesafe maksimum 9 metredir. Pandül tellerinin arasındaki mesafe Denklem (3.3) şeklindedir[23].

$$2 \times (2,25) + 2 \times (6,75) + (9 \times X) + b = a \quad (3.3)$$

a direk açıklığı olmak üzere Denklem (3.3)'te direk açıklıklarına göre b değerleri belirlenir ve Tablo 3.3.'deki pandül aralıkları ortaya çıkar. Örneğin; iki direk arası 54 m olan direk açıklığında 1. askı noktasından 2,25 m sonra 1. Pandül, 1. Pandülden 6,75 m sonra 2. Pandül ve 9 m arayla 3., 4., 5., 6. ve 7. pandül yerleştirildikten sonra 7.

Pandülden 6,75m (2. askı noktasından 2,25 m öncesi) sonra 8. pandül yerleştirilmiştir. Denklem (3.3) ve direk açıklıklarına göre pandüller arası mesafeyi kullanacak olursak Tablo 3.3.'ü elde ederiz.

Tablo 3.3. Konvansiyonel aliğman hatta pandül açıklık tablosu

PANDÜL AÇIKLIKLARI									
Açıklık (m)	Pandül Adedi	Konsol P1 arası(m)	P1-P2 arası(m)	P2-P3 arası(m)	P3-P4 arası(m)	P4-P5 arası(m)	P5-P6 arası(m)	P6-P7 arası(m)	P7 - Konsol arası(m)
54,00	7	2,25	6,75	9,00	9,00	9,00	9,00	6,75	2,25
49,50	7	2,25	6,75	6,75	9,00	9,00	6,75	6,75	2,25
45,00	6	2,25	6,75	9,00	9,00	9,00	6,75	2,25	
40,50	6	2,25	6,75	6,75	9,00	6,75	6,75	2,25	
36,00	5	2,25	6,75	9,00	9,00	6,75	2,25		
31,50	5	2,25	6,75	6,75	6,75	6,75	2,25		
27,00	4	2,25	6,75	9,00	6,75	2,25			

3.1.7. Y halatı

120 km/h ve daha fazla hızlarda tasarlanan katener hatlarında; her bir askı noktasında seyir teli ve portör teli arasına eklenen örgülü bakır tele Y halatı adı verilir. Artan işletme hızları, katener hattının esnekliğinin ve esneklik değişkenliğinin daha az olmasını gerektirmektedir. Bu yüzden hattın esnekliğinin azaldığı askı noktalarında, seyir teli doğrudan portör teline bağlanmamış, takılan Y halatı ile bir nevi süspansiyon görevi gördürülüp esneklik sağlamaya çalışılmıştır. Ayrıca seyir teli ve portör teli daha fazla gerdirilerek, esneklik belirli değerler arasında tutulmaya çalışılmıştır[22].

Y halatının boyu tasarım kriterlerine göre değişmekte olup hız arttıkça Y halatının boyu da artmaktadır. Katener sistemlerinde 10m, 12m, 14m ve 18m boylarında Y halatı bulunmaktadır. Konvansiyonel hatlarda 10m'lik Y halatı kullanılmaktadır. YHT hatlarında ise Y halatının boyu direk açıklığına göre değişmektedir. 55 m- 65 m arasındaki açıklıklarda 18 metrelik, 40 m-55 m arasındaki açıklıklarda ise 14 metrelik Y halatı kullanılmaktadır.

3.1.8. Fider teli

Fider iletkeni mevcut katener tesisinin iletken kesiti artırmak ya da işletme bakımından istasyon içerlerinde baypas olarak kullanılan tellere denir. Tasarlanan katener sisteminde seksiyonman bölgelerde, trafo merkezi nötr bölgesi ve istasyon

postalarındaki katener bağlantılarında enerji aktarımını sağlar. Fider iletkenleri katener direklerinin arka tarafından veya üstünden özel bir montaj yapılarak çekilir. Fider teli montajları için fider teli ile enerjili katener arası minimum 200 cm olacak şekilde direk boyu ve parçalar seçilerek bağlantı yeri tespit edilir. Tablo 3.4.'te Borsan firmasına ait TS EN 50182 standardına göre LA-280 fider iletkenine ait katalog bilgileri görülmektedir[24-25].

Tablo 3.4. LA-280 fider teli katalog bilgileri[24]

Kod	Tel Sayısı ve Tel Çapı		Çap		Kesit Alanı			Net Ağırlık (Yaklaşık)	Kopma Yükü	DA Direnci
	Number and Wire Diameter		Diameter		Cross Section					
Code	Alüminyum	Çelik	İletken	Öz	Alüminyum	Çelik	Toplam	Net Weight (Approx)	Rated Stenght	DC Resist-ance
	mm	mm	mm	mm	kg/km	kN	ohm/km			
LA-30	6/2.38	1/2.38	2.38	7.14	26.7	4.5	31.1	107.8	9.74	1.0736
LA-56	6/3.15	1/3.15	3.15	9.45	46.8	7.8	54.6	188.8	16.29	0.6129
LA-78	6/3.78	1/3.78	3.78	11.34	67.3	11.2	78.6	271.8	23.12	0.4256
LA-110	30/2.00	7/2.00	6.00	14.00	94.2	22.0	116.2	432.5	43.17	0.3067
LA-145	30/2.25	7/2.25	6.75	15.75	119.3	27.8	147.1	547.4	54.03	0.2423
LA-180	30/2.50	7/2.50	7.50	17.50	147.3	34.4	181.6	675.8	64.94	0.1963
LA-280 HAWK	26/3.44	7/2.68	8.04	21.80	241.6	39.5	281.1	976.2	84.94	0.1195
LA-380 GULL	54/2.85	7/2.85	8.46	25.40	337.3	43.7	381.0	1274.6	107.18	0.0857
LA-455 CONDUR	54/3.08	7/3.08	9.24	2.7	402.3	52.2	454.5	1520.5	123.75	0.0719
LA-545 CARDINAL	54/3.38	7/3.38	10.14	30.42	484.5	62.8	547.3	1831.1	149.04	0.0597
LA-635 FINCH	54/3.65	19/2.19	10.95	32.85	565.0	71.6	636.6	2123.0	174.14	0.0512

Baypas fideri: Tek yönlü hatlarda gerekli görülen istasyonlarda istasyon içinde bir arıza söz konusu olduğu zaman enerjinin devamlılığını sağlayan iletkendir.

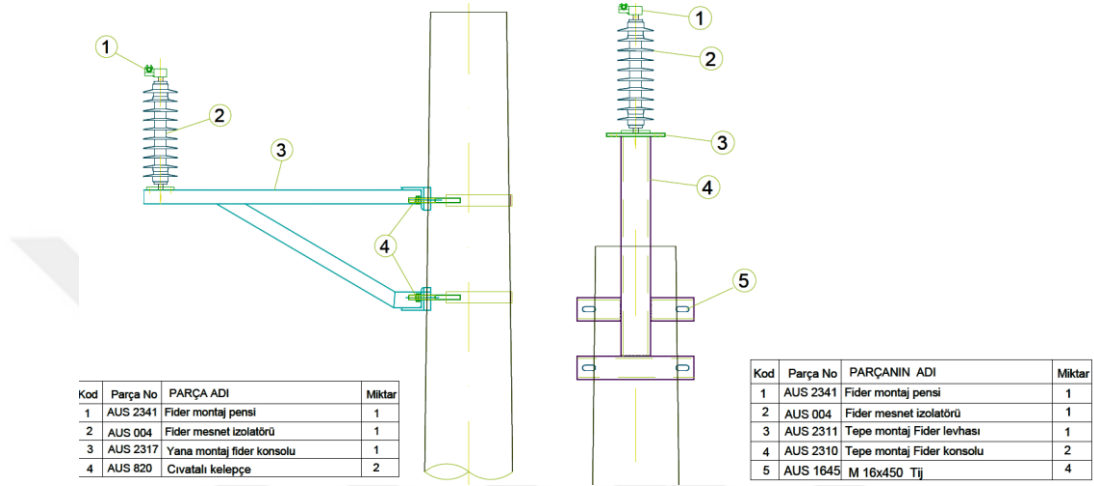
Takviye fideri (paralel fider): Trafik yoğun olduğu ve yol eğiminin fazla olduğu kesimlerde katener hattının kesitini artıran iletkendir[23].



Şekil 3.11. Fider teli

Fider teli genel olarak LA-280 alüminyum çelik iletken (HAWK) olmaktadır. 26 adet alüminyum tel ve aynı çapta 7 adet çelik öz telden meydana gelmiştir.

Şekil 3.12.'de Arifiye-Mithatpaşa katener sistemlerini yenilenmesi işi kapsamında bulunan fider teli konsol tasarımı görülmektedir. Şekil görüldüğü gibi katener direğinin tam üstüne veya üst sağ-sol kenarına fider konsolu kullanılarak monte edilir.



Şekil 3.12. Fider teli bağlantı şekli

3.1.9. Geri dönüş iletkeni ve topraklama sistemi

Katener hatlarında ray ve toprak ile birlikte akımın trafo merkezlerine taşınmasını sağlayan alüminyum iletkene geri dönüş iletkeni adı verilir.

Topraklama ve geri dönüş sistemi elektrifikasyon tesislerinin olmazsa olmaz önemli bir parçasıdır. Bu sebeple de en az katener veya trafo merkezlerinin kendisi kadar ciddi bir şekilde ele alınması, ön ölçümlerinin ve hesaplarının yapılmasından sonra da uygulamalarda karşılaşılabilecek sorunlara karşı esnek bir yapıda tasarımın gerçekleştirilmesi gerekir.

Topraklama ve geri dönüş sistemi esas olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır.

- Geri dönüş iletkeni (veya koruma teli)
- Topraklama bağlantıları
- Topraklama istasyonları

Topraklama sistem tasarımı yapılırken:

- ✓ Normal işletme koşulları altında hangi büyüklükte bir cer geri dönüş akımının söz konusu olacağı,
- ✓ Cer geri dönüş akımının ne kadarının raylardan, ne kadarının geri dönüş iletkeninden ve ne kadarının topraktan akacağı,
- ✓ Özellikle raylardan akacak cer akımı sebebiyle ray potansiyelinin hangi değerlere kadar ulaşabileceği, bunun da hangi büyüklükte yaklaşma gerilimlerine sebep olacağı,
- ✓ Arıza zamanlarında oluşabilecek kısa devre akımlarının büyüklüğü, bu akımlar sebebiyle oluşacak ray potansiyeli ve temas gerilimlerinin hangi değerler kadar ulaşabileceği,
- ✓ Yaklaşma ve temas gerilimlerinin ilgili standartların üzerinde büyüklüklere ulaşmaması için alınacak tedbirlerin neler olduğu,
- ✓ Cer dönüş akımının demiryoluna yakın noktalardaki sabit tesislerde insan hayatı için tehlike oluşturması riskine karşı alınacak tedbirlerin neler olacağı,
- ✓ Cer dönüş akımının yolu üzerinde bulunan sinyalizasyon ve telekomünikasyon kablolarına korozyon ve enterferans anlamında etkisinin azaltılması veya yok edilmesi için hangi tedbirlerin alınacağı,
- ✓ Cer dönüş akımı ve oluşturacağı ray potansiyelinin, sinyalizasyon sistemlerinin çalışması sırasında blok meşguliyeti ve tren varlığının tespiti, ray kırıklığının tespiti, makas konumunun tespiti gibi kritik algılamalara engel olmaması için gerekli uygulamaların neler olduğu,
- ✓ Çift veya daha fazla yollu bölgelerde yollar arası ve topraklama sistemleri arası potansiyel farklılıkları önlemek için enine bağlantı şeklinde yapılacak bağlantıların nasıl olacağı vb. gereklilikler dikkatli bir şekilde tespit edilmelidir.
- ✓ Ray tipi, balast tipi, travers tipine bağlı olarak çeşitli bölgelerde yol direncinin tespiti, toprak yapısının, özgül direncinin ve geçiş direncinin tespiti için gerekli ve yeterli miktarda kontrol ve ölçümler ile gerekli hesaplamaları yapılmalıdır.

Hatlarımızda katener tipleri, arazi yapıları ve bölgesel iklim koşullarına bağlı olarak hesaplamalar yapılmış ve genel olarak 1,5-2m uzunluğunda en az 3 adet galvaniz veya bakır kaplı çelik elektrotların yaklaşık 80cm derinlikten itibaren ve birbirleri arasında

kendi boyları kadar aralık olacak şekilde çakılması ile oluşturulan topraklama istasyonları kullanılmıştır.

Demiryolu boyunca ortalama 1 km aralıklarla oluşturulan her bir topraklama istasyonunun toprak geçiş direnci 10 Ω civarında, sistemin genel toprak direnci ise ortalama 1,5-2 Ω civarında olmaktadır. Toprak direnci 10 Ω 'dan büyük olan istasyonlarda ilave 1 veya 2 toprak elektrotu daha çakılmaktadır.

Tablo 3.4.'te LA-180 geri dönüş iletkenine ait katalog bilgileri görülmektedir. Geri dönüş iletkeni olarak 2,5 mm çaplı 7 adet çelik ve 30 adet alüminyum telden oluşmuş toplam 180mm² kesitli tel kullanılmaktadır. Bu geri dönüş iletkeni topraklama istasyonlarının oluşturulduğu noktalarda 2 adet 70mm² kesitli çelik tel ile topraklama istasyonlarına bağlanmaktadır. Yaklaşık her 500m de bir sinyalizasyon sistemine uygun bir şekilde rayların geri dönüş-topraklama sistemine bağlantısı yapılarak, trenlerin çektiği cer akımının geri dönüşünün raylardan geri dönüş sistemine alınması sağlanmaktadır[26].

3.1.10. Otomatik gergi cihazı

Katener hatlarında her etabın sonuna tesis edilen, seyir teli ve portör telinin farklı sıcaklıklarda aynı gerginlikte kalmasını sağlayan ve seyir esnasında pantograf için düzgün bir temas yüzeyi oluşması için seyir teli ve portör teline uygulanmakta olan mekanik gerdirme kuvvetini sağlayan cihazlara otomatik gergi cihazı adı verilir. Katener sistemlerinin tasarımına bağlı olarak otomatik gergi cihazları tekli ve çiftli olmak üzere 2 çeşittir.

Seyir teli ve portör teli tek bir otomatik gergi cihazına bağlanarak gerdiriliyorsa tekli otomatik gergi cihazı, seyir teli ve portör teli ayrı ayrı gerdiriliyorsa çiftli otomatik gergi cihazı olarak adlandırılır. Katener sistemleri tasarlanırken tasarlanacak sistemin hızına V ve etap boyuna L diyecek olursak:

$V \geq 120$ km/h olan hızlarda çiftli otomatik gergi cihazı,

$V < 120$ km/h olan hızlarda tekli otomatik gergi cihazı,

Otomatik gergi cihazları, etap boyu $L \geq 700$ m olan etapların her iki ucuna, $L < 700$ metre olan etapların bir ucuna yerleştirilmektedir.



Şekil 3.13. Otomatik gergi cihazı

Otomatik gergi cihazlarının makaraları 1/3 ve 1/5 olarak tasarlanır. Makaranın düşey ucunda her biri 25 kg olan ağırlık taşları yatay ucunda ise seyir teli ve portör teli bağlıdır ve teller bu ağırlık taşları ile gerdirilirler. Örneğin seyir telini 1200 kg'a gerdirmek için 1/3 oranında otomatik gergi cihazında toplamda 16 adet ağırlık taşı kullanılır.



Şekil 3.14. Yaylı gergi cihazı

Tünellerde ve gabarinin uygun olmadığı koşullarda ağırlık taşı ile oluşturulan otomatik gergi cihazı yerine yaylı otomatik gergi cihazı kullanılabilir. Şekil 3.14.'te Başkentray hattında bulunan yaylı otomatik gergi cihazı görülmektedir. Otomatik gergi cihazındaki ağırlıklar hava sıcaklıklarına göre düşey düzlemde aşağı yukarı hareket ederler.

Kullanılan ağırlık taşlarının dizili boyu = 2650 mm

Ağırlık taşlarının zemine yaklaştığı minimum mesafe ≥ 200 mm

Ağırlık taşlarının çıkacağı maksimum mesafenin yerden yüksekliği $\leq 6384,3$ mm olmak üzere otomatik gergi cihazının çalışma mesafesi düşey düzlemde = $6384,3 - 2650 - 200 = 3534,3$ mm'dir.

Otomatik gergi cihazlarının çalışma mesafesi etabın toplam ısı uzamasından büyük olmalıdır.

Bakır iletkenin ısı uzama katsayısı(α) = 0,000017

İletkenin çalışma sıcaklığı aralığı (ΔV) = $80 - (-30) = 110$ °C

Otomatik gergi cihazı makarasının 1/3 oranlı çalıştığını düşünürsek, izin verilecek maksimum uzama miktarı (ΔL) = $3534,3 / 3 = 1178,1$ mm olmak üzere otomatik gergi cihazının gerdirilebileceği en uzun tel boyu Denklem (3.4) ile hesaplanır[22].

$$L = \frac{\Delta L}{\alpha \times \Delta V} \quad (3.4)$$

Denklem (3.3)'te yer alan parametreleri yerine yazacak olursak;

$$L = \frac{1178,1}{0,000017 \times 110} = 630.000 \text{mm} = 630 \text{ m bulunur.}$$

Gerdirebilecek en uzun tel boyu 630 m olup, etap ortasındaki antişöminmanı düşünürsek maksimum etap boyu maksimum uzunluğun iki katı olacağından

$L_{\max} = 630 \times 2 = 1260$ m olarak belirlenir.

Otomatik gergi cihazının mekanik tasarımı maksimum etap boyunun belirlenmesi etkileyen unsurlardan bir tanesidir.

3.1.11. Seksiyon izolatörü (IS)

Katener hatlarında iki bölgeyi elektriksel olarak ayırmaya yarayan izolatörlere seksiyon izolatörü (IS) adı verilir. Seksiyon izolatörü katener hatlarında seksiyonman bölgelerde, makaslarda, nötr bölgelerde ve istasyonlarda yan yolların elektriksel olarak ayrılmasında kullanılır. Seksiyon izolatörlerinin özellikleri hattın dizayn edildiği hıza göre değişmektedir.

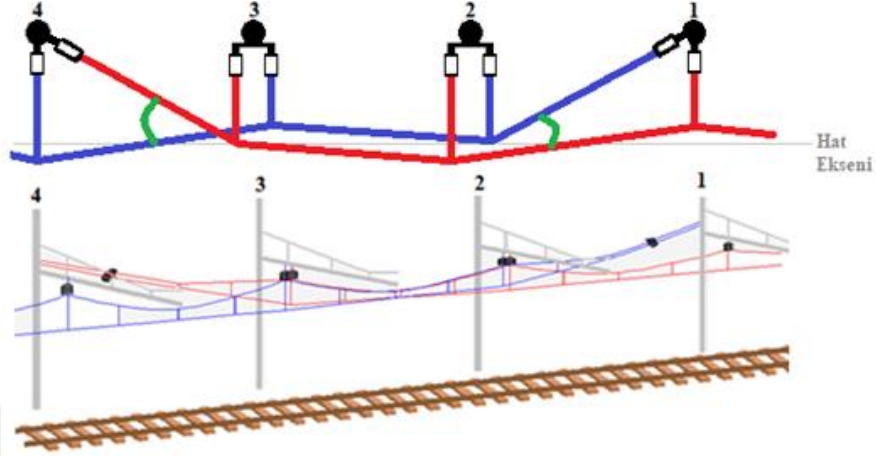


Şekil 3.15. Seksiyon izolatörü (IS)

3.1.12. Ekipman bölge

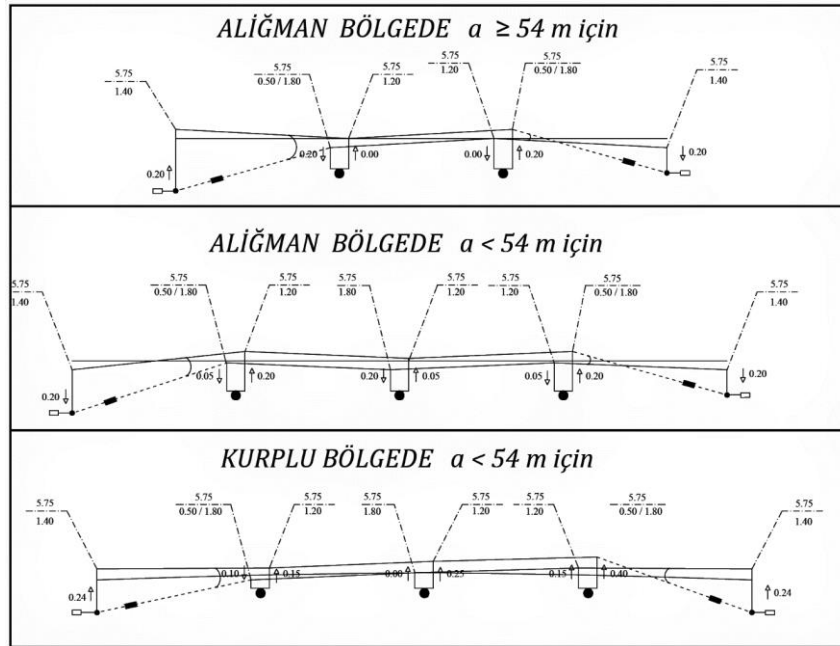
Katener hattı yol boyunca uzanan etaplardan meydana gelir. Bu etaplar hattın durumuna göre yaklaşık 1250m'ye kadar uzamakta olup her etabın bir diğer etaba bağlandığı bölgeler bulunmaktadır. Bu bölge iki etabı mekanik olarak ayırıyorsa buna ekipman bölge adı verilir. Ekipman bölgeler trenler bir etaptan diğer etaba geçerken pantografin elektriksel olarak devamlılığını sağlamaya ve mekanik olarak da herhangi bir darbe olmadan yumuşak bir geçiş sağlamaya yararlar.

Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi sol taraftan gelen ve mavi ile gösterilen teller bir etap, sağ taraftan gelen ve kırmızı ile gösterilen teller ise diğer etabı belirtmektedir. Şekildeki yeşil ile gösterilen besleme iletkenleri sayesinde etaplar sadece mekanik olarak ayrılmış olup elektriksel devamlılık sürmektedir.



Şekil 3.16. Ekipman bölge

Elektrikli trenin pantografı 1 nolu katener direğinden kırmızı tele basarak geçer, 2 nolu direğe geldiği zaman kırmızı ile gösterilen tel mevcut bulunduğu tel yüksekliğinden daha da yükselmeye başlar. 2 ve 3 numaralı direğin arasında pantograf hem kırmızı tele hem de mavi tele temas ederek seyrini sürdürür. 3 nolu direktan itibaren pantograf mavi telden enerji alır. Kırmızı tel ise yükselerek 4. direkte sonlanır.

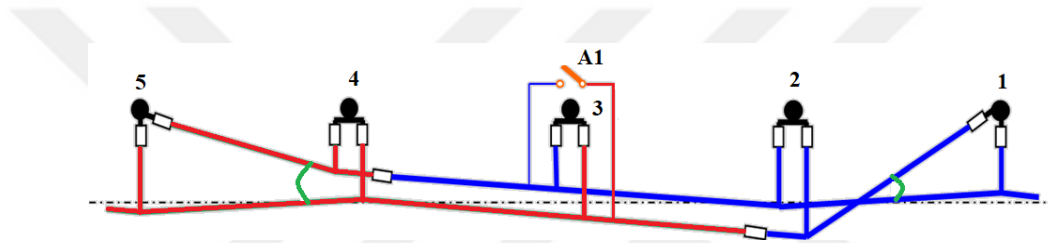


Şekil 3.17. Ekipman bölge örnekleri

Şekil 3.17.'de “Arifiye-Mithatpaşa arası katener sistemlerinin yenilenmesi işi” kapsamında kurplu ve aliğmanda oluşturulan ekipman bölge örnekleri görülmektedir.

3.1.13. Seksiyonman bölge

Seksiyonman bölge ekipman bölge gibi iki ayrı etabı birbirine bağlarlar. Seksiyonman bölgenin ekipman bölgeden farkı ise iki etabı mekanik ayırmasının yanı sıra elektriksel olarak da ayırmış olmasıdır. Bakım ve arıza gibi durumlarda enerjisiz olması istenen bölgeyi seksiyoner (ayırıcı) kullanarak enerjisiz bırakan elektrik izolasyon bölgeleridir. Genellikle istasyonların giriş ve çıkışlarına ve iki istasyon arasına konulmaktadır.

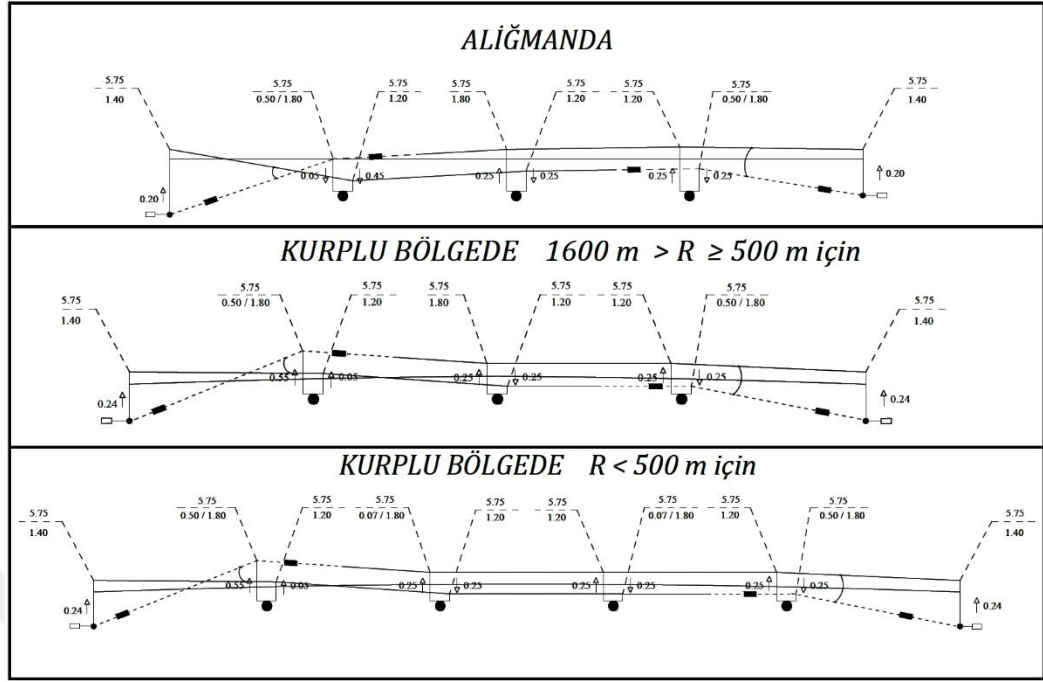


Şekil 3.18. Seksiyonman bölge

Şekil 3.18.'de 4 direk açıklığı olarak tasarlanmış seksiyonman bölge örneği görülmektedir. Burada kırmızı ve mavi seyir telleri aynı fazdan beslenmektedir. Pantografin mekanik hareketi tıpkı ekipman bölgede olduğu gibi 1-2 nolu direkler arasında mavi tele, 4-5 nolu direkler arasında kırmızı tele ve 2-4 nolu direkler arasında ise her iki tele temas etmektedir.

Sistemde bulunan A1 ayırıcısı ile hat elektriksel olarak ayrılmaktadır. Normal koşullarda A1 ayırıcısı kapalı konumdadır. Hatta arıza meydana gelmesi veya bakım sırasında bir tarafın enerjisiz bırakılması istenildiği takdirde A1 ayırıcısı açılarak iki etap elektriksel olarak ayrılır.

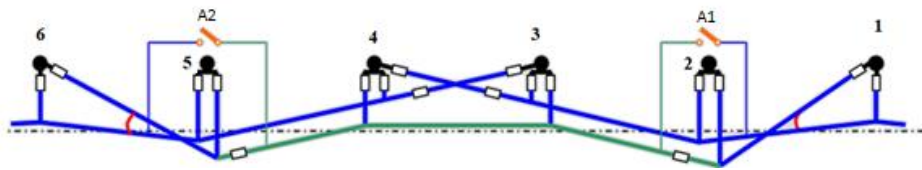
Seksiyonman bölgeler hattın kurp durumuna göre 4 direk açıklığı veya 5 direk açıklığı olacak şekilde tasarlanır. Aliğmanda 4 direk açıklığı ile tasarlanırken kurbun fazla olduğu bölgelerde 5 direk açıklığı ile oluşturulur. Şekil 3.19.'da “Arifiye-Mithatpaşa arası katener sistemlerinin yenilenmesi işi” kapsamında aliğmanda ve kurplu bölgede seksiyonman bölge örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.19. Alışmanda ve kurplu bölgede seksiyonman bölge

3.1.14. Nötr bölge

Elektrifikasyon sistemlerinde yol boyunca uzanan enerjiye ihtiyaç olduğu için sistemin enerjisi tek bir noktadan değil belirli aralıklarla (ortalama 50-60 km aralıklarla) tesis edilmiş trafo merkezlerinden sağlanır. Bu trafo merkezleri gücünü farklı enerji şebekelerinden aldığı için katenere verilen gerilimin fazları da farklı olur. Demiryolu hattı boyunca uzanan katener sistemlerinde iki trafo merkezinin birleştiği bölgeye nötr bölge adı verilmektedir. Nötr bölgeler farklı trafo merkezlerinden gelen enerjide faz çakışmasını önlemek amacıyla tesis edilirler. Bu bölgeler enerjisiz bölge olup trenler nötr bölgeden geçerken kendi hızıyla geçerler. Bu yüzden sistem tasarlanırken nötr bölgeler eğim ve kurp olmayan bölgeler arasından seçilir. Trafo merkezlerindeki güç trafoları da farklı fazlardan beslendiği için trafo merkezi önlerine de nötr bölge tesis edilir.

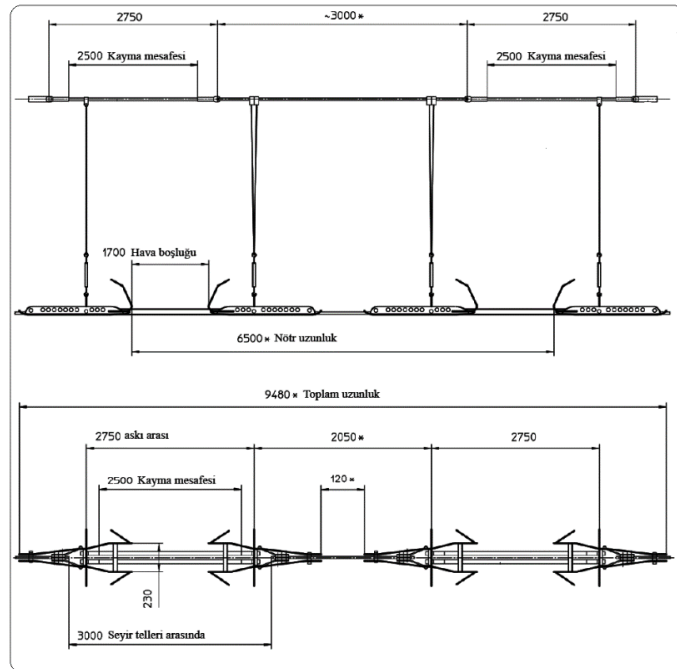


Şekil 3.20. Hava aralıklı nötr bölge

Nötr bölgeler hava aralıklı ve IS kullanarak olmak üzere 2 farklı şekilde tesis edilir. Şekil 3.20.'de hava aralıklı nötr bölge görülmektedir. Normal işletme koşullarında A1 ve A2 ayırıcısı açık konumda olup mavi renk ile gösterilen seyir teli enerjili, yeşil renk ile gösterilen seyir teli enerjisizdir. 1 nolu direkten geçen elektrikli tren 3 ve 4 nolu direkler arasında katenerden enerji almayıp kendi hızıyla geçer.



Şekil 3.21. IS ile oluşturulmuş nötr bölge

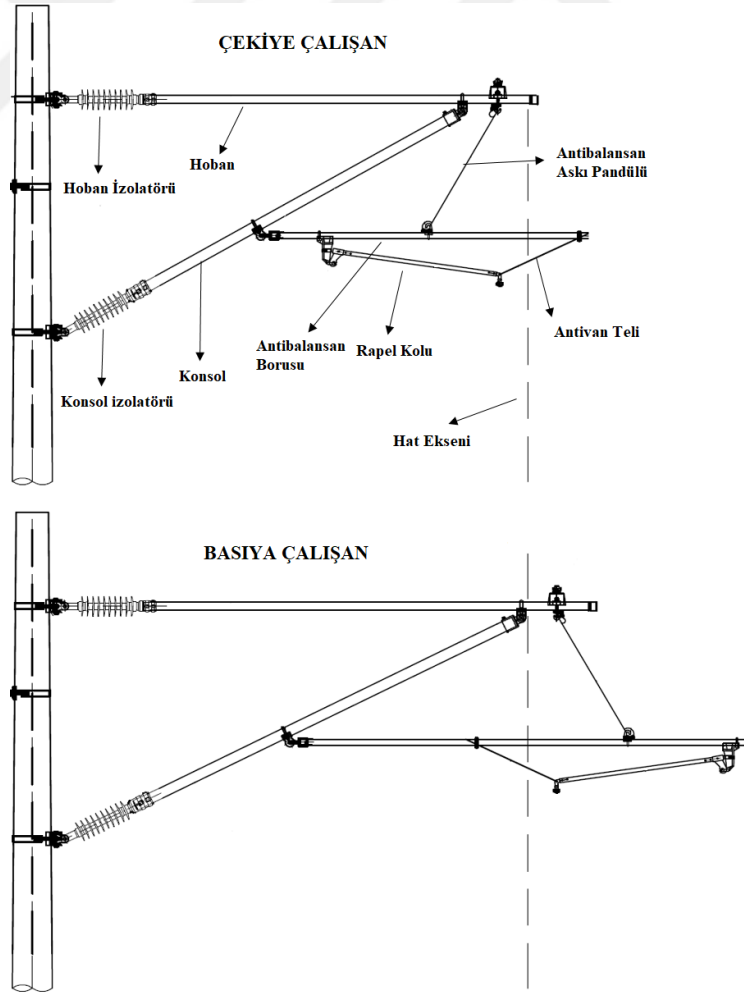


Şekil 3.22. Arthur Flury firmasına ait nötr bölge seksiyon izolatörü [27]

IS ile oluşturulan nötr bölgelerde ise elektriksel izolasyon askı noktasının iki yanına konulan iki IS yardımıyla sağlanır. Şekil 3.21.'de IS ile oluşturulmuş nötr bölge ve Şekil 3.22.'de Arthur Flury firmasının nötr bölge için tasarlanmış seksiyon izolatörleri görülmektedir.

3.1.15. Katener direği ve donanımları

Katener sisteminde teller katener direkleri vasıtasıyla taşınır. Katener direkleri normal şartlarda beton direk olmakla birlikte arazi koşullarına göre çelik direk de kullanılabilir. Direğin üzerine gelecek yüke göre direğin kalınlığı, arazi şartlarına göre ve fider taşıyıp taşımadığına göre de direğin boyu belirlenir. Katener direği üzerinde bulunan konsol-hoban donanımı seyir telini ve taşıyıcı teli tutmaya yarar. Burada konsol hoban seti basıya ve çekiye olarak iki şekilde monte edilir. Şekil 3.23.'te katener direği ve donanımları görülmektedir.



Katener sistemleri üzerindeki tellerin sonlandırıldığı noktalara ankraj adı verilmektedir. Ankrajlar tellerin yatayda oluşturmuş olduğu yükleri dengeler. Telin cinsine göre katener ankrajı, fider ankrajı ve geri dönüş ankrajı olarak isimlendirirler. Şekil 3.24.'te katener ankrajı görülmektedir.

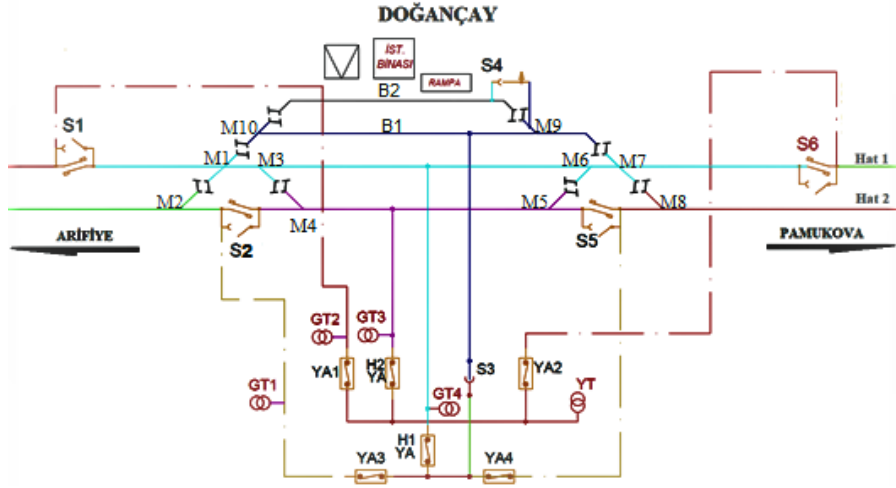


Şekil 3.24. Katener ankrajı ve yükseltilmiş katener ankrajı

3.1.16. Cer postaları ve ekipmanları

İstasyon ve nötr bölgelerde; bakım veya arıza durumunda katener hattı üzerinde bulunan elektriksel manevraların yapılabilmesi için kesici, ayırıcı, yük ayırıcısı gibi anahtarlama elemanlarını kontrolünün sağlandığı birime cer postaları adı verilir. Anahtarlama elemanlarının kontrolü cer postası üzerinden SCADA sistemine taşınır. Ancak SCADA sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir aksaklık durumunda cer postalarından manuel olarak manevra yapılabilir. Cer postalarında bulunan aküler sayesinde herhangi bir enerji kesintisinde bile 5 saate kadar elektriksel manevra yapılabilir.

Şekil 3.25.'te Alifuatpaşa-Pamukova projesi kapsamında yapılan ve TCDD'ye ait Doğançay İstasyonunda bulunan cer postasının tek hat şeması görülmektedir. İstasyonun giriş ve çıkışları seksiyonerler ile elektriksel olarak ayrılmıştır. İşletme anında olası bir kaç arızayı örneklendirecek olursak:



Şekil 3.25. Doğançay İstasyonu cer postası tek hat şeması

Pamukova yönü Hat 1'de tel kopması durumu: Hat1 katener enerjisinin tümüyle kesildiğini Hat1 Arifiye cihetinde tren kaldığını varsayalım. Sistemde Hat 1'in enerjisiz Hat 2'nin enerjili olduğunu teyit ettikten sonra normal işletme koşullarında kapalı olan S6 ayırıcısı açılır. Arifiye tarafındaki trafo merkezinden Hat 1'e enerji verildikten sonra (Burada Hat 1 ve Hat 2'nin aynı trafo merkezinden beslenmesi gerekir. Eğer farklı trafo merkezinden besleniyorsa her iki hattın enerjisi kesilip her iki hatta aynı trafo merkezinden enerji verilir. Aksi durumda fazlar farklı olduğu için elektrikli tren M3 makasından geçerken faz çakışması yaşanır) Arifiye Hat 1'den gelen tren M3 makasını kullanarak Hat 2'ye geçer ve buradan yoluna devam eder. Pamukova Hat 1'de tren kalmış ise elektrikselsel olarak hattın onarılması beklenir veya elektrikli tren dizel lokomotif ile çekilir.

Arifiye yönü Hat 2'de tel kopması durumu: Hat 2 katener enerjisinin tümüyle kesildiğini Hat 2 Pamukova cihetinde tren kaldığını varsayalım. Sistemde Hat 2'nin enerjisiz Hat 1'in enerjili olduğunu teyit ettikten sonra normal işletme koşullarında kapalı olan S2 ayırıcısı açılır. Pamukova tarafındaki trafo merkezinden Hat 1'e enerji verildikten sonra (Burada Hat 1 ve Hat 2'nin aynı trafo merkezinden beslenmesi gerekir. Eğer farklı trafo merkezinden besleniyorsa her iki hattın enerjisi kesilip her iki hatta aynı trafo merkezinden enerji verilir. Aksi durumda fazlar farklı olduğu için elektrikli tren M3 makasından geçerken faz çakışması yaşanır) Arifiye Hat 2'den gelen tren M8 makasını kullanarak Hat 1'e geçer ve buradan yoluna devam eder. Arifiye yönü Hat 2'de tren kalmış ise elektrikselsel olarak hattın onarılması beklenir veya elektrikli tren dizel lokomotif ile çekilir.

İstasyonda bakım veya yükleme boşaltma olması durumu: B1 ve B2 barınma yollarında bakım veya yükleme boşaltma yapılması durumunda enerjisiz bölgeye ihtiyaç duyulacağından enerjiyi kesmek için S3 ve S4 ayırıcıları açılarak çalışma yapılır.

Fider teli veya mevcut hattan gelen enerjinin katener sistemine aktarıldığı, üzerinde anahtarlama ekipmanlarını (ayırıcı, yük ayırıcısı) barındıran çelik konstrüksiyondan oluşan yapılara hertz sistemi adı verilir. Hertz sistemi üzerinde gerilim trafosu ve anahtarlama elemanları bulunur. Hertz sistemi üzerinde bulunan baradan ayırıcılar vasıtasıyla katener hatlarına ayrı ayrı enerji verilir.



Şekil 3.26. Hertz sistemi

Hertz sisteminde bulunan anahtarlama elemanlarının kumanda edildiği kumanda panosunu içinde barındıran teknik binalara posta binası adı verilir. Posta binası içinde kumanda panosu, akü ve redresörler bulunur. Akü ve redresörler olası bir enerji kesintisi durumunda manevranın yapılabilmesi için kullanılmaktadır.

3.1.17. Katener sisteminin geometrik karakteristikleri

3.1.17.1. Seyir teli yüksekliği

Ray mantarı ile seyir teli arasındaki mesafeye seyir teli yüksekliği adı verilir. Nominal seyir teli yüksekliği TS EN 50367 standartlarında konvansiyonel hatlarda 5,75 m YHT hatlarında ise 5,30 m'dir.

Minimum seyir teli yüksekliği, demiryolu aracını topraklı parçaları ile seyir teli arasındaki elektriksel teması önleyecek yüksekliği sağlamalı ve pantografin minimum çalışma yüksekliğinden büyük olmalıdır.

Minimum seyir teli yüksekliğinin tespitinde:

- ✓ Yolun dikey toleransları (Kırmızı kot toleransı)
- ✓ Seyir telinin aşağı doğru montaj toleransı
- ✓ Seyir telinin aşağı doğru dinamik hareketi
- ✓ İletkenlere etki edecek sıcaklık ve buz yükü faktörleri dikkate alınmalıdır.

Maksimum seyir teli yüksekliği, pantografin maksimum çalışma yüksekliğinden seyir telinin yukarı doğru maksimum hareketi düşölerek elde edilen değerden küçük olmalıdır.

Maksimum seyir teli yüksekliğinin tespitinde:

- ✓ Yolun dikey toleransları (Kırmızı kot toleransı)
- ✓ Pantograf etkisiyle oluşan seyir teli uplift değeri
- ✓ Seyir telinin dinamik hareketi ile oluşan uplift değeri
- ✓ Seyir telinin montaj toleransları
- ✓ Seyir telinin aşınma etkisiyle oluşan uplift değeri
- ✓ İletkenlere etki edecek sıcaklığın meydana getirdiği uplift değeri dikkate alınmalıdır.

Nominal seyir teli yüksekliği, tasarlanan maksimum ve minimum seyir teli yükseklikleri arasından belirlenebilir. Ancak TS EN 50367 standardı ile uluslararası işletilebilirlik için belirli değerler verilmiştir. Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'da TS EN 50367 standartlarına göre gerilim seviyeleri ve seyir teli yükseklikleri görölmektedir. [20-22]

Tablo 3.5. TS EN 50367 standardına göre AC hatlar [20]

Hat İşletme Hızı V (km/s)	$V \leq 160$	$160 < V < 220$	$220 < < < 250$	$V \geq 250$
AC Hatlar İçin Kategorisi	AC1	AC2	AC3	AC4
Hat İşletme Hızı V (km/s)	$V \leq 160$	$160 < V < 220$	$220 < \leq < 250$	
DCHatlar İçin Kategorisi	DC1	DC2	DC3	

Tablo 3.6. TS EN 50367 standardına göre AC hatlar için seyir teli yükseklikleri [20]

Kategori	AC1	AC2	AC3	AC4
Nominal Seyir Teli Yüksekliği (m)	5,0 - 5,75 arası	5,0 - 5,55 arası		5,08-5,30 arası
Minimum Seyir Teli Yüksekliği (m)	4,95	4,95		
Maksimum Seyir Teli Yüksekliği (m)	6,20	6,00		

Katener sisteminde arazi koşullarını elvermediği durumlarda seyir teli yüksekliği minimum 4,95 metreye kadar indirilebilir. 4,95 metreden daha az seyir teli yüksekliği pantografin düzgün çalışmasını engellemektedir. Özellikle eski demiryolu hatlarında katener sistemi düşünülmediğinden tünel boyu kısa tutulmuştur. Bu gibi konvansiyonel hatlar modernize edilirken seyir teli yüksekliği 4,95m'ye kadar inmektedir.

Seyir teli yüksekliği konvansiyonel hatlarda 6,20 metreye çıkmaktadır. Burada seyir telinin yükselmesindeki amaç hemzemin geçitlerde karayolu taşıtları katener hatlarından geçerken herhangi bir enerji atlamasının önüne geçmektir.

Seyir teli yüksekliği değişirken aniden yükselmez veya alçalmaz. Seyir teli değişimleri belirli bir eğim ile olmalıdır. Tablo 3.7.'de TS EN 50119 standardına göre seyir teli yüksekliği değişim eğimleri görülmektedir.

Tablo 3.7. TS EN 50119 standardına göre maksimum eğim değişimleri[21]

Hız (km/h)	Maksimum Eğim		Maksimum Eğim Değişimi	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1000	1
250	1/1000	1	1/2000	0,5
>250	0	0		0

3.1.17.2. Sistem yüksekliği

Askı noktalarında seyir teli ile portör teli arasındaki mesafeye sistem yüksekliği adı verilir. Hattın tasarım hızına göre sistem yüksekliği değişmekte olup yüksek hızlarda

daha uzun olup hız azaldıkça sistem yüksekliği azalır. Sistem yüksekliğin arttıkça pantografin tele teması daha yumuşak bir hal alır ve bu da hattın dinamik davranışını olumlu etkiler. Sistem yüksekliğinin nominal değeri konvansiyonel hatlarda 1,4 metre YHT hatlarında ise 1,8 metredir. Gabari sorununu yaşandığı köprü altlarında tünellerde sistem yüksekliği 0,30 metreye kadar düşmektedir.

3.1.17.3. Direk açıklıkları

Katener hatlarında iki askı noktası arasındaki mesafeye direk açıklığı adı verilir. Direk açıklıkları hattın geometrik durumuna göre belirlenir. Direk açıklığını etkileyen en büyük etken yolun kurp yarıçapıdır. Kurp yarıçapının düşük olduğu bölgelerde direk açıklığı azalırken, kurp yarıçapının büyük olduğu veya aliğmanda hatlarda direk açıklığı artmaktadır. Direk açıklığının fazla veya az olması kullanılan direk sayısını ve dolayısıyla direk üstü ekipmanlar ve temel sayısını arttıracğından yapım maliyetini önemli ölçüde etkiler.

Direk açıklığını etkileyen unsurlar:

- ✓ Yolun geometrik yapısı
- ✓ Seyir teli ve portör teline etkileyen rüzgar kuvveti
- ✓ Dezeksmen değeri
- ✓ Seyir teli ve portör teli gerilmesi

Katener sistemlerinde maksimum direk açıklığı Denklem (3.5) ile hesaplanır[6]:

$$a_{\max} = \sqrt{\frac{P_y 8(T_s + T_p)}{S_r + P_r}} \quad (3.5)$$

a_{\max} = Maksimum direk açıklığı

P_y = Pantografin seyir teline temas ettiği kesim

T_s = Seyir teli gerilmesi

T_p = Portör teli gerilmesi

S_r =Seyir teline gelen rüzgar kuvveti

P_r =Potör teline gelen rüzgar kuvveti

Tablo 3.8. Konvansiyonel hatlarda kullanılan seyir ve portör teli özellikleri[16-19]

	Seyir Teli	Portör Teli
Çapı	12,24	10,5
Kesiti	107 mm ²	65 mm ²
Gerilme	1000 kg	1000 kg
Rüzgar Hızı	26,6 m/s	26,6 m/s

Konvansiyonel hatlarda 1600mm pantograf ile Tablo 3.8.'deki seyir teli ve portör teli değerlerini alacak olursak EKATY'ye göre seyir teli ve portör teline gelen rüzgâr kuvveti Denklem (3.6) ve Denklem (3.7) ile hesaplanır[28].

$$S_r = C \times \frac{V^2}{16} \times d_s \quad (3.6)$$

$$P_r = C \times \frac{V^2}{16} \times d_p \quad (3.7)$$

C ifadesi dinamik rüzgâr basınç katsayısı olup EKATY'de çapı 12,5mm'ye kadar olan iletkenler için 1,2 alınır.

$$S_r = 1,2 \times \frac{26,6^2}{16} \times 0,01224 = 0,649 \text{ kg/m}$$

$$P_r = 1,2 \times \frac{26,6^2}{16} \times 0,0105 = 0,557 \text{ kg/m}$$

Pantografin seyir teline temas ettiği kesim pantografin kullanılabilir genişliğinin yarısıdır. 1600 mm Pantografin kullanılabilir genişliği 690 mm bunun yarısı ise 0,345 m'dir. Denklem (3.5) ve (3.6)'da çıkan değerler Denklem (3.4)'te yerine yazılırsa;

$$a_{\max} = \sqrt{\frac{0,345 \times 8(1000+1000)}{0,649+0,557}} = 67,65 \text{ m olarak bulunur.}$$

Kurp yarıçapına göre direk açıklığının hesaplanması:

Direk açıklığını etkileyen en önemli etken kurp yarıçapıdır. Kurp yarıçapına göre direk açıklığı Denklem (3.8)'deki gibidir[34].

$$a = \sqrt{\frac{(P_y + s) \times 8}{\frac{S_r + P_r}{T_s + T_p} + \frac{1}{R}}} \quad (3.8)$$

S=Maksimum dezeksman

R=Kurp Yarıçapı

R=1600m kurp yarıçapında olan bir hattı düşünersek, dezeksman değeri 240mm'dir.

Denklem (3.7)'ye göre direk açıklığını düşünersek;

$$a = \sqrt{\frac{(0,345+0,240) \times 8}{\frac{0,649+0,557}{1000+1000} + \frac{1}{1600}}}$$

$$a = \sqrt{\frac{(0,585) \times 8}{\frac{1,206}{2000} + \frac{1}{1600}}}$$

a=61,7 m bulunur.

Direk açıklıkları minimum 22,5 metre ile başlayıp 63 metreye kadar çıkabilir. Direk açıklıkları belirlenirken pandül aralıklarını hesaplanabilir olması için 4,5 ve katları olarak belirlenir. Konvansiyonel hatlarda kurp yarıçapına göre direk açıklıkları standart haline getirilmiş Tablo 3.9.'daki gibidir.

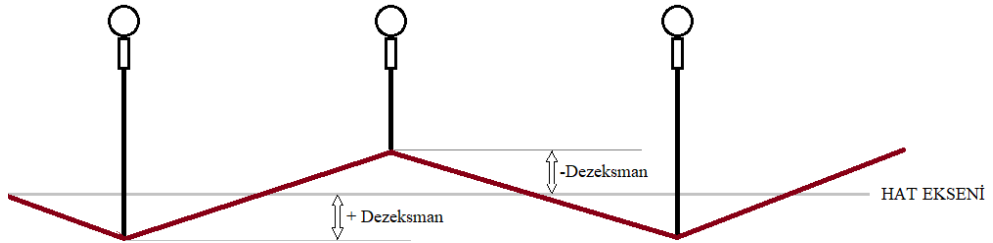
Tablo 3.9. Kurp yarıçaplarına göre direk açıklıkları[6]

Kurp Yarıçapı	α_{max}
$R \geq 1600m$	58,5 m
$1600m \geq R \geq 1300m$	54 m
$1300m \geq R \geq 1100m$	49,5 m
$1100m \geq R \geq 850m$	45 m
$850m \geq R \geq 650m$	40,5 m
$650m \geq R \geq 500m$	36 m
$500m \geq R \geq 350m$	31,5 m
$350m \geq R \geq 250m$	27 m

Katener hattının yapıldığı bölge olarak rüzgâr şiddetinin fazla olduğu noktalarda direk açıklığı 54 m üzerinde olmamalıdır. Ayrıca köprü, viyadük, tünel gibi bölgelerde trenlerin karşılıklı oluşturduğu rüzgar kuvveti de düşünülerek direk açıklığı daha da azaltılmalıdır.

3.1.17.4. Dezeksman (Eksen kaçıklığı)

Seyir teli pantograftan enerji alırken hep aynı noktadan aldığı zaman pantograf kömürünün çabuk aşınmasına ve kısa zamanda işlevini yitirmesine yol açar. Bu yüzden seyir teli pantografin her bölgesine temas ederek pantograf yüzeyinde gezinmelidir. Elektrikli tren üzerindeki pantograf sabit olup sağa sola oynama imkânı bulunmadığından bu gezinme işlemi pantograf ile yapılamaz. Bu yüzden seyir telini yatay düzlem üzerinde sağa-sola oynatarak eksen kaçıklığı saplanır. Şekil 3.27.'de dezeksman örneği görülmektedir.



Şekil 3.27. Dezeksman

Dezeksman ayarı askı noktalarında yapılır. Askı noktalarında bulunan konsol hoban donanımları ile seyir teli yatay düzlemde ayarlanır. Burada basıya ve çekiye çalışan konsol hoban donanımları ile bir direk +20 bir direk -20 olacak şekilde seyir teli

$\pm 20\text{cm}$ 'ye çekilir. Böylece seyir teli pantografin sadece bir noktasına değil bütün yüzeyine temas etmiş olur. Kurplarda dezeksman $\pm 24\text{ cm}$ olarak ayarlanmaktadır.



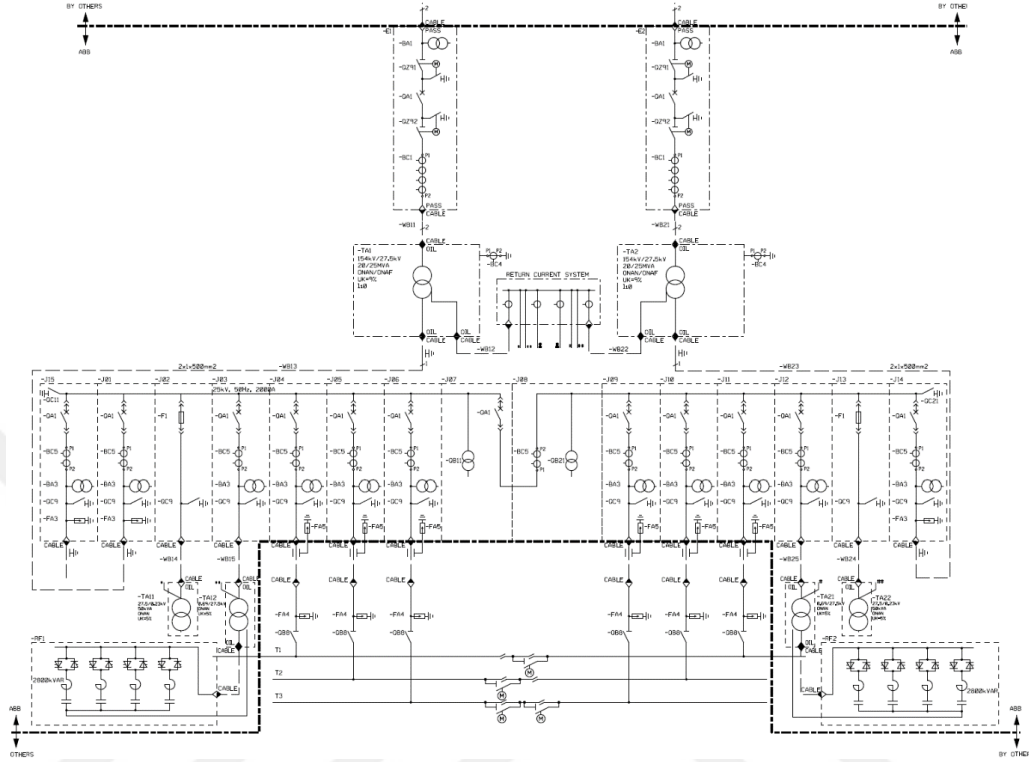
Şekil 3.28 Dezeksmen ayarı

Şekil 3.28.'de dezeksman ayarı uygulaması görülmektedir. Katener sistemi tamamlanıp hat işletmeye açıldıktan sonra da dezeksman ayarında bozulmalar olabileceğinden bakım kuşağında eksen kaçıklığı sürekli kontrol edilerek ayar yapılmaktadır. Dezeksmen ayarının bozuk olması durumunda seyir teli pantograftan çıkar, katener hattına zarar vererek etabın komple işletme dışı kalmasına neden olabilir. Bu yüzden bakım kuşağında yapılan kontroller ve müdahaleler oldukça önemlidir.

3.2. Trafo Merkezi

Trafo Merkezleri ulusal şebekeden alınan 154 kV 50 Hz gerilimin 25 kV 50 Hz'e indirilerek katener hattına verildiği bölümdür. 25 kV AC 50 Hz sistemlerde ortalama 50-60 km aralıklarla trafo merkezi bulunmaktadır. Bu mesafe mevcut hat üzerindeki tren sayısı, yolcu(yük) yoğunluğu ve hattın geometrik durumlara göre değişkenlik gösterebilir. Karşılıklı iki Trafo Merkezi farklı fazlardan beslendiği için aralarına nötr bölge (enerjisiz bölge) tesis edilmektedir. Nötr bölgede seksiyonerler mevcut olup, trafo merkezinin birinde yaşanacak olası bir arıza durumunda seksiyonerler kapatılıp enerjisiz kalan hat çalışır durumda olan trafo merkezinden beslenir. Bu yüzden trafo gücü belirlenirken bu arıza durumları göz önüne alınıp yüksek güçlü trafolar seçilir. Tipik bir 25 kV AC sistemindeki trafo merkezinde iki adet yağlı tipte 154/25 kV dönüştürme oranına sahip tek fazlı alçaltıcı tip cer gücü transformatörleri, iç ihtiyaç

transformatörleri, AC kesiciler, kesici hücreleri, kumanda ve kontrol ekipmanları bulunmaktadır[29].



Şekil 3.29. Trafo merkezi tek hat şeması (Marmaray İbrahimağa Trafo Merkezi)

Şekil 3.29.'da Marmaray İşletmesine ait İbrahimağa Trafo Merkezi görülmektedir. Trafo merkezine enerji TEİAŞ'a ait 154 kV enerji hattından gelmektedir. Her bir trafoya gelen 154 kV 2 faz gerilim 2 ayırıcı 1 adet kesicinin bulunduğu hücelere gelir. Burada kesici iki ayırıcının arasında olup yük altında ayırıcılar açma kapama yapamamaktadır. Enerji kesileceği zaman önce giriş kesicisi daha sonra giriş ayırıcıları, enerji verileceği zaman da önce ayırıcılar daha sonra kesiciler kapatılır. Aynı ayrı trafoları ait iki hücre şalt sahasını enerjisiz hale getirmek için kullanılır. Giriş hücresinden sonra akım ve gerilim trafosu bulunmaktadır.

Akım ve gerilim trafosundan sonra güç trafosuna gelen 154 kV 50 Hz 2 faz gerilim burada güç trafoları aracılığı ile 25 kV 50 Hz gerilime dönüşür. Fazın biri topraklama barasına diğeri ise 25 kV enerji barasına aktarılır. 25 kV enerji barasından ise katener hatlarına ayrı ayrı kesiciler üzerinden enerji verilir. Ayrıca 25 kV baradan trafo merkezinin iç ihtiyacını karşılamak üzere iç ihtiyaç trafosuna ve kompanzasyon sistemleri için kompanzasyon trafosuna yine kesiciler üzerinden enerji verilir.

Kompanzasyon Sistemi:

Katener hattından alınan AC enerji Cer sistemlerinde doğrultucu-inverter grupları vasıtasıyla DC enerjiye dönüşür. Bu çevrilme sebebiyle katener hattından çekilen akım büyük miktarda harmonikler içerir. Ayrıca bu tahrik sistemleri, değişen çalışma koşullarına bağlı olarak katener hattından bazen aktif güçle aynı miktarda, bazen de daha fazla olabilen reaktif akım çekerler. Bu sürekli biçimde değişen enerji ihtiyacı, hattın güç faktörünü çok düşük değerlere indirebilmektedir. Diğer yandan katener hattından çekilen akım, trenin besleme noktasına olan uzaklığına bağlı olarak katener hattı gerilimini de sürekli değiştirmektedir. Hattaki düşük güç faktörü ve harmonik akımlar, enerji kaybını arttırmakta ve ayrıca reaktif enerji tüketimine karşılık gelen paranın ödenmesini gerektirmektedir. Bu durumda reaktif güç kompanzasyonu zorunlu olmaktadır[30].

Elektrikli demiryolu hattında tren olmadığı zaman akım çekilmez ancak kontak teli başta olmak üzere hatta bulunan iletkenler kapasitif reaktans oluşturduğu için kapasitif akım meydana gelir. Tüm bu dengesizlikleri de ortadan kaldırmak amacıyla trafo merkezlerinde kompanzasyon sistemi bulunmaktadır. Bunun dışında bazı tren setleri üzerinde kompanzasyon sistemi mevcuttur. Tren seti üzeri ekipmanla kendi reaktif gücünü kendi sistemi ile dengeler. Hat üzerinde bu tip setler olduğunda trafo merkezinde kompanzasyon yapmaya gerek yoktur.

Trafo Merkezinde çekilen akım, aktif güç ve reaktif güç değerleri çok kısa sürelerde hatta bir periyot içerisinde önemli değişimler göstermektedir. Bu nedenle sistemde reaktif güç ihtiyacının algılanması ile kompanzasyon grubunun devreye alınması aynı periyot içerisinde gerçekleşmektedir. Bu kompanzasyon ihtiyacını karşılayacak sistem tristörlü kompanzasyon sistemidir[29].

Tristörlü kompanzasyon sistemleri, ani olarak devreye girip çıkan ve devrede kalma süreleri kısa olan yüklerin reaktif güç kompanzasyonu için kullanılır. Bu tip yüklerle çalışan tesislerde güç faktörünü 0,95 – 1,00 arasında tutmak çok güçleşmektedir. Klasik reaktif güç kompanzasyonu metodunda özellikle ani devreye girme ve çıkmalarda kontaktörler devreye girdiği anda kondansatörlerde ani bir başlangıç akımı oluşur. Devreye girip çıkma sıklıkla ani başlangıç akımı etkisi ile kondansatör içinde delinmeler oluşur. Bu arklar kondansatörün çabuk yıpranmasına neden olur.

İlave olarak bu arklar kondansatörler üzerinde geçici aşırı yük oluşturarak ömürlerinin kısalmasına da sebebiyet vermektedir. Tristörlü hızlı kompanzasyon sistemlerinde anahtarlama elemanı olarak klasik kompanzasyonda kullanılan kontaktör yerine kompanzasyona özel tristör modülü kullanılır. Tristör kullanılarak direkt bağlantıda kondansatörlerin 10 ms içinde devreye girmesi sağlanmakla birlikte aynı zamanda oluşan ani başlangıç akımı da engellenir. Bu şekilde gruptan sadece nominal kondansatör akımı akar. Bu yöntemle sorunsuz olarak ani değişen kısa süreli yükler de kompanze edilebilir. Ayrıca merkezi kompanzasyon ile 40- 200 ms arasında hızlı kompanzasyon yapılabilir[31].

3.3. Telekomand (Uzaktan Kumanda/SCADA) Sistemleri

Bütün sistemin bir merkezden (telekomand merkezi) kontrol ve kumandası için tesis edilmiş uzaktan kumanda tesisleridir. Kumanda bölgesindeki elektrifikasyon sistemlerinin enerji pozisyonları bu merkezden izlenir. Gerekğinde merkezden kumanda edilerek enerji kesilmesi, enerji verilmesi, enerji aktarması gibi işlemler yapılır. Yapılan tüm işlemlerin ve işle ilgili tüm konuşmaların kayıtları tutulur[32].

SCADA sistemi: Katener hattında bulunan transformatör merkezleri ve cer postalarındaki (istasyon, nötr ve makas) cihazların kontrol ve kumandasını gerçekleştiren, cihazların konum, olay ve alarm bilgilerini, akım, gerilim trafoları ve enerji analizörlerinden alan akım, gerilim, güç, enerji vs. gibi elektriksel büyüklüklerin ölçüm bilgilerini taşıyıp bilgisayar ortamında izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla oluşturulmuş sistemlerdir.

Uzaktan Kumanda Merkezi (SCADA) tüm sistemin izlenebildiği, kontrol ve kumandanın yapabilmesi için tüm verilerin toplandığı bir merkezdir. SCADA yazılımı, transformatör merkezlerindeki primer ve sekonder cihazların ve postalardaki (istasyon, nötr ve makas) cihazların gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve kumanda edilmesini sağlar ve cihazlardaki durum değişiklikleri görsel olarak izlenir.

Trafo merkezleri, nötr bölge postaları ve cer postalarında Uzak uç birimleri (Remote Terminal Unit-RTU) bulunmaktadır. RTU'lar telekomand sisteminin tamamen merkeze bağımlı pasif ortak olarak çalışan uzak uç birimidir. RTU'lar sadece merkez

SCADA sisteminin istemesiyle cihazları kumanda eder ve merkez istediğinde alarm-konum bilgisi gönderir.

SCADA sisteminden ayrı olarak trafo merkezi, nötr postaları ve cer posta binalarında anahtarlama elemanlarının kontrolünün yapıldığı lokal kumanda donanımları da bulunmaktadır. Burada sistemin SCADA ile bağlantısı gittiği zamanlarda lokal olarak anahtarlama işlemleri gerçekleştirilebilir



4. ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN TASARLANMASI

Elektrifikasyon sistemleri tasarlanmadan önce mevcut güzergâhın yol plan-profilini, istasyon yerleri, sanat yapıları, makaslar, kurp ve dever bilgileri gerekmektedir. Bu bilgiler temin edildikten sonra hattın hangi hıza göre tasarlanacağı belirlenmesinin ardından bu duruma göre sistem kriterleri oluşturulur. Daha sonra besleme planı oluşturularak sırasıyla piketaj planı, temel karnesi, derülaj planı ve montaj karnesi oluşturulur.

4.1. Sistem Prensiplerinin Oluşturulması

Tasarlanacak hattın hızı belirlendikten sonra sistemde kullanılacak tüm ekipmanların özellikleri ve sistemin ne şekilde tasarlanacağı belirlenip tek tek tanımları yapılır. Projenin kapsamı belirlenir. Burada hangi trafo merkezinin kullanılacağı, hangi telekomand merkezine bilgi aktarılacağı, hangi istasyonlara cer postası konulacağı gibi bilgiler hattın km bilgisi ile ve istasyon adıyla tek tek belirtilir. Sistemin tasarım hızı ve katener sisteminin besleme türü de ortaya konulur.

Bunların yanında sistemin tasarlanmasında aşağıda belirtilen parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır.

- ✓ Coğrafi koşulların, hat altyapısının ve konumun izin verdiği yerlerde R 160 km/h hıza, diğer bölgelerde 120 km/h hıza uygun şekilde belirlenen iletken kesitleri ve gerdirme kuvvetleri,
- ✓ İletkenler üzerinde hava koşulları etkisiyle oluşan ilave yükler,
- ✓ Kripaj ve atlama mesafeleri, (Donatıların enerjili kesimlerinin topraklı kesimlere ve sabit tesislere olan mesafeleri)
- ✓ Temel tipleri oluşturulurken gözetilecek bölgesel toprak dayanımları,
- ✓ Hat güzergâhındaki bölgesel kurplara göre oluşturulacak direk açıklıkları,
- ✓ Güzergâhtaki yatay-düşey kurplar, deverler ve sanat yapıları, Güzergâh üzerinde bulunacakları noktalar ve taşıyacakları donatılar doğrultusunda belirlenen momentlere göre seçilen direk tipleri.

Tasarım Hızı: Katener sistemlerinde genel olarak tasarım hızı 120 km/h, 160 km/h, 200 km/h, 250 km/h ve 250 km/h üzeri hız olacak şekilde belirlenmekte olup istasyon içleri, tali yollar ve depo yollarında bu hızlar 80 km/h olmaktadır.

Katener Sistemi Besleme Türü: 25 kV AC sistemlerde 50 Hz frekans ile besleme olup, izolasyon seviyesi, minimum ve maksimum gerilimler ile yalıtım mesafesi bu gerilime göre belirlenir.

Otomatik Gerdirme Sistemi: Hız değerine otomatik gerdirme sisteminin özellikleri belirlenir. Seyir teli ile portör telinin birlikte gerdirilmesi, ayrı ayrı gerdirilmesi, kaç kg'a gerdirileceği gibi unsurlar ortaya konur.

Seyir teli ve sistem yüksekliği: Normal koşullarda, tünellerde, nemli bölgelerde ve hemzemin geçitlerde sistem yüksekliği ve seyir teli yüksekliğinin minimum ve maksimum kaç metre olacağı ayrı ayrı belirlenir.

Direk açıklıkları (İki askı noktası arası mesafe): Kurp yarıçapına göre kullanılacak direk açıklıkları ifade edilir. Bölgedeki maksimum rüzgâr hızı veya sanat yapıları da göz önünde bulundurularak gerekli görülmesi halinde kurp yarıçapından elde edilen direk açıklığı değerleri daha da kısaltılabilir.

Dezeksman değeri: Elektrikli hatta kullanılacak pantografin tipine göre aliğmanda ve kurplu bölgelerde dezeksman değerinin kaç mm olacağı belirlenir.

Emplantasyon: Emplantasyon, katener direk eksenini ile hattın eksenini arasındaki mesafedir. Emplantasyonun nominal değeri 3,25 metre olup arazi koşullarına göre bu değerin maksimum ve minimum kaç metre olacağı belirlenir. Özellikle modernize edilen eski hatlarda katener direği düşünülmediğinden direk dikmek için 3,25 metrelik mesafe sağlanamaz ve işletmecinin onayı ile hat eksenini ile katener direğinin dış yüzeyi arasındaki mesafe 2,15 metreye kadar indirildiği bölgeler olur.

Etap Boyları: Etap boylarının maksimum ve standart uzunluklarının kaç metre olacağı belirtilir.

Ekipman Bölgeler: Direk açıklığına göre hangi bölgede kaç direk açıklıklı ekipman bölge tasarlanacağı belirlenir. Ekipman bölgeler 3 veya 4 direk açıklığı ile dizayn edilir.

Seksiyonman Bölgeler: Seksiyonman bölgelerin kaç açıklıkla yapılacağı ve hangi bölgelere konulması gerektiği gibi unsurlar ifade edilir. Seksiyonman bölgenin hangi durumlarda Seksiyon İzolatörü (IS) ile hangi durumlarda hava aralıklı olacağı belirlenir.

Antişöminmanlar: Hangi etap boylarını ortasına antişöminman tesis edileceği, antişöminman bölgelerin kaç açıklıkla yapılacağı belirlenir. Portör teli antişöminmanı ile seyir teli antişöminmanının hangi durumlarda tesis edileceği ifade edilir.

Nötr Bölgeler: Nötr bölgelerin kaç direk açıklığı ile olacağı, hat güzergâhında nerelere konulacağı ifade edilir. Nötr bölgenin Seksiyon İzolatörü kullanılarak (IS) veya hava aralıklı yapılması durumu belirlenir.

İstasyon ve Depo Katenerleri: Gar, istasyon ve depo yollarında kullanılacak katener tiplerinin yanı sıra sistemde kullanılacak seyir teli, portör teli ve otomatik gergi cihazlarının tipleri belirlenir.

Geri Dönüş Sistemi: Geri dönüş iletkeni, topraklama istasyonu ve geri dönüş iletkeni-ray bağlantısının kaç metre aralıklarla yapılacağı ifade edilir.

Fider teli ve besleme iletkenleri: Fider teli ile besleme iletkenlerinin kesiti ve malzeme türü belirlenir. Hangi durumlarda ve hangi istasyonlara fider hattı çekileceği ifade edilir.

Sistem Bileşenleri: Tasarlanacak elektrifikasyon sisteminde kullanılacak seyir teli, portör teli, Y halatı, pandül, otomatik gergi cihazı, geri dönüş iletkeni, fider teli, konsol-hoban donanımları, katener direkleri, seksiyon izolatörleri, ayırıcılar, kesiciler, izolatörler, akım trafoları, gerilim trafoları ve yardımcı servis trafoları gibi malzemelerin teknik özellikleri belirlenir.

Trafo Merkezi ve Güç Temini: İhtiyaç duyulan trafo merkezinin gücü özellikleri belirlenir. Eğer mevcutta bulunan trafo merkezinden enerji alınacaksa bu trafo merkezlerini yerleri ve özellikleri ifade edilir.

4.2. Besleme Planının Oluşturulması

Elektrifikasyon tesisi kurulacak bölgenin güzergâh planı elde edilerek hatlarda, istasyon ve depo yollarında elektrikleştirilecek hatlar belirlenir. Katener sistemi tesis edilecek yolun geometrik yapısı, hattın trafik ve kapasite durumu, sinyal tesisleri, tasarlanacak sistemin kullanılacak tellerin kesitleriyle birlikte trafo sayısı ve gücü belirlenir. En uygun tren işletmeciliği düşünülerek yol planları üzerinden nötr bölgeler, cer postaları ve sistemde kullanılacak kesici-ayırıcıların yerleri ve sayıları belirlenir.

Trafo Merkezini yer belirlenirken aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

- ✓ Gerilim Düşümü: Yapılan hesaplamalar göstermektedir ki katener sistemleri için optimum besleme gerilimi 25 KV dur. Bu seçimde etkili olan ekonomik nedenlerdedir. Şöyle ki daha yüksek gerilimlerde çalışıldığında, hem hatta hem de kullanılan elektrik makinelerinde meydana çıkan izolasyon problemleri nedeniyle maliyet artmaktadır. Düşük gerilimlerde çalışıldığında ise istenilen gerilim stabilizasyonu sağlamak için besleme istasyonu sayısını artırmak gerektiğinden maliyet yine artmaktadır.
- ✓ Ulusal enerji şebekesinin yer seçimine etkisi: TCDD'nin kendisine ait enerji üretim ve dağıtım sisteminin olmaması transformatör merkezlerinin yerlerinin belirlenmesinde TEİAŞ ile karşılıklı çalışmayı gerektirmektedir. Bu durumda transformatör merkezleri için yapılan ön seçimin TEİAŞ'ın dağıtım sistemine uygunluğunun incelenmesi için ekonomik ve işletme koşullarına en uygun çözümün bulunması için gereklidir.
- ✓ Trafo merkezlerinin elektrikleenecek hatta yakın olması: Transformatör merkezlerinin elektrikleenecek hatta yakın, mümkünse hemen yanında olması istenir. Bunun nedeni transformatör merkezinin gerilim düşümü olmaksızın, besleyebileceği hat parçasından maksimum faydayı sağlamak ve gerektiğinde demiryolu ile transformatör merkezine ulaşmaktır. Böylece hem beslenecek hattan maksimum fayda sağlayabilmekte, hem de arıza veya puant yükler durumunda

istasyonun güç bakımından yetersiz kalması halinde hareketli transformatör merkezleri ile demiryolu kullanılarak arızalı bölgeye ulaşılacak, besleme yapılabilecek ve sistem normal çalışmaya devam edecektir. Bu güne kadar Türkiye’de elektrikleştirilen hatları besleyen transformatör merkezleri Veliefendi Transformatör Merkezi hariç hepsi bir servis yolu ile hattı cariyeye bağlıdır. Geliştirilmesi ve inşası kendi imkânlarımızla mümkün olan bir hareketli transformatör merkezi yapılması ile bu yollardan yararlanarak arıza veya puant yük durumunda sistemi beslemek mümkündür.

- ✓ Personel ve malzemenin ulaşımı: Transformatör merkezleri gerek elektrifikasyon sırasında ve gerekse inşaat devam ederken en kısa zamanda ulaşılacak konuma sahip olmalıdır. En ideal çözüm bir transformatör merkezine hem kara hem de demiryolu ile ulaşabilmektir. Bu sağlandığında inşaat için gerekli süre kısalacak ve arıza halinde ise ulaşım kolaylıkla yapılacaktır. Yer seçimi sırasında bu konunun da göz önünde bulundurulması gereklidir.
- ✓ Güvenlik: Bilindiği gibi transformatör merkezinde bulunan cihazların imalatında kullanılan malzemelerin çoğu ya porselen gibi kırılğan malzemelerden ya da transformatör yağı gibi yanıcı malzemelerden yapılmıştır. Bütün bunlar göz önüne alınarak transformatör merkezini yanıcı veya patlayıcı malzemelerin kullanıldığı veya depo edildiği ortamlardan uzakta inşa etmek gerekir. Ayrıca arazi yapısı da gözden geçirilerek sel baskınına karşı en uygun yerler seçilmeli veya önlemlerin ekonomik olarak alınabileceği inşaat tarzları uygulanmalıdır.

Son olarak yukarıda anlatılmaya çalışılan faktörlerin işletmeye olan etkisi ve ekonomikliği değerlendirilerek transformatör merkezlerinin yeri hakkında kesin karar verilmelidir. Nihai olarak belirlenen transformatör merkezi besleme planında şematik olarak gösterilir. Tek yol, çift yol durumuna göre transformatör fider çıkışları besleme planında gösterilmelidir[33].

4.3. Picketaj Planının Oluşturulması

Picketaj planında aşağıda sıralanan unsurlar bulunur:

- ✓ Nötr bölgeler, ekipman bölgeler, seksiyonman bölgeler ve antişöminmanların kilometreleri ve yerleri,

- ✓ Makas merkezleri,
- ✓ Rampalar, tüneller, menfezler ve köprüler ile bunların kilometreleri,
- ✓ Sabit tesisler, alt ve üst geçitler ile bunların kilometreleri,
- ✓ Direkler ve direk açıklıkları,
- ✓ Kurp yarıçapları,
- ✓ Portallar,
- ✓ Ankrajlar,
- ✓ Geri dönüş iletkeni ve topraklama sistemi.

Besleme planı hazırlandıktan sonra bu plan üzerinden ekipman bölge, seksiyonman bölge, direk ve ankraj yerleri belirlenir. Piketaj planı hazırlanırken ilk etapta nötr bölgeler ve istasyon giriş-çıkışlarındaki seksiyonman bölgeler yerleştirilir. Makas merkezlerinden başlayarak ilk direk yerleri tespit edilir. Makasa konulacak direk iki yol eksenini arasındaki mesafenin 40 cm'ye denk geldiği yerdir. Buradaki amaç elektrikli tren pantografının makastan geçerken her iki yolun teline de aynı anda basması ve yumuşak bir geçiş sağlamasıdır. Tasarım şekline göre ve hattın geometrik yapısına göre ekonomik olarak en uygun olacak şekilde gerekli yerlerde portal kullanılır.

İlk direk yerleri belirlendikten sonra nötr bölge, seksiyonman bölge ve ekipman bölge dikkate alınarak direk açıklığına göre kalan direk yerleri de belirlenir.

Direk açıklığını pantograf şekline ve kurp yarıçapına göre belirlenmekte olup konvansiyonel hatlarda Tablo 3.9.'daki gibi direk açıklık değerleri seçilir. Birbirini takip eden direk açıklıkları farkı genel olarak 9 m'yi geçmemelidir. Tünel içerisinde aşağıdaki tabloda belirlenen açıklık geçerli olmayıp 10 metre ile maksimum 27 metre arasında olmalıdır. Tüm direk yerleri belirlendikten sonra geri dönüş iletkeni piketaj planı üzerinde gösterilir.

4.4. Temel Karnesinin Oluşturulması

Piketaj planında direk yerlerinin belirlenmesinden sonra her bir direk üzerine etkiyen moment miktarı hesaplanır ve bu direkler için direk tipi seçilir. Direk üzerine etkiyen momentin belirlenmesinde kurp yarıçapı, emplantasyon, direk açıklığı, seyir teli

yüksekliği, sistem yüksekliği vb. parametreler moment hesabı yapılacak her bir direk için ayrı ayrı kullanılır. Bu parametreler ışığında rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan momenti, radyal gerilmeden dolayı oluşan moment ve düşey yüklerden dolayı oluşan moment hesaplandıktan sonra bunlar toplanarak direk için toplam moment hesap edilir. Toplam moment bulunduğundan sonra bu momente göre direk tipi ve boyu seçilir. Seçilen direk tipine ve boyuna göre ise direk temeli hesabı yapılarak direğin temelinin boyutları ve ne şekilde olacağı belirlenir. Temel karnesinde Tablo 4.1.'de görülen değerler bulunur ve bunlar her direk için ayrı ayrı belirlenir.

Tablo 4.1. Temel karnesinde bulunan parametreler

	Birim	Simge	160-19 ANK	160
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1
Temel Tipi			AP 4	TP 3
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3042	6152
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	120	120
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120	120
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	160	150
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	160	150
Temelin Yüksekliği	cm	H	200	200
Direğin Temele Batması	cm	h		140
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A		220
Temelin Direk Altında Kalan Kısmı	cm	k		60
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	3,84	3,32525
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	3,84	3,6
Emplantasyon (Hat Eksen-Direk Eksen)	cm	I	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]				B3
Direk Boyu	m	l		10,5
Karot Tipi A, B, C, D				B
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d		50
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA			EA	
Lente YL: Yer Etriyesi DL: Yükseltilmiş			YL	
Ankraj TA: Tekli Ankraj CA: Çiftli Ankraj			CA	
Ankraj Lente Demiri				
Direğe Etkiyen Net Moment	kg.m	M _n		5190,98
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b		5783,98
Direğin Kontrfleşi	cm	f		6,7

4.4.1. Direk moment hesabı

Direğe etkiyen yüklerin oluşturduğu moment birçok etkene bağlı olup momentler hesaplanırken aşağıda belirtilen parametreler kullanılır.

- ✓ Hattın kurp yarıçapı
- ✓ Direk açıklığı
- ✓ Dezeksmen değeri
- ✓ Açıklıklardaki yatay fleş

- ✓ Direk üzerindeki donatının ve iletkenlerin ağırlıkları toplamı
- ✓ İletkenlerin rüzgâr yükü
- ✓ İletkenlerin montaj ve radyal gerilmesi
- ✓ İletkenlerin raydan ve temel üstünden yüksekliği
- ✓ Sistem Yüksekliği
- ✓ Ray ile Temel Üst Kotu Arasındaki Mesafe
- ✓ Emplantasyon

Direklerin temel üstünde yer alan ankastraman noktasına gelen momentlerin hesabında direğe gelen bütün yükler değerlendirilmiştir.

Katener sisteminde askı noktası olarak kullanılacak beton direklere gelen momentler, standart durumlar gözetilerek hesaplanmış ve tablolar oluşturulmuştur. Kullanılacak beton direk tipinin seçimi bu tablolar vasıtasıyla yapılmaktadır. Hesaplanmak istenen direk moment değeri direğin sahadaki konumu değerlendirilerek tablodaki değerler vasıtasıyla ayrıca hesaplanmaktadır. Bu tablolarda yer almayan özel durumlar olursa, aynı yöntemle moment hesabı yapılarak, kullanılacak direk tipi belirlenecektir. Tablolar oluşturulurken bu değerlerin hava şartları ve arazi koşullarına göre değişken olanları için, en olumsuzları kullanılarak maksimum emniyet sağlanmıştır. Maksimum emniyet ve standart için hesaplarda seyir teli kesiti olarak en büyük olan 150 mm² değeri kullanılarak hesap yapılır.

$$M_t = M_r + M_w + M_p \quad (4.1)$$

M_t : Direğe gelen momentlerin toplamı

M_r : Radyal gerilmeden dolayı oluşan moment

M_w : Rüzgar yüklerinden dolayı oluşan moment

M_p : Düşey yüklerden dolayı oluşan moment

Direğe etkiyen momentler “Moment= Kuvvet x Kuvvet Kolu” olacak şekilde hesaplanır. TS EN 50119 standardına göre moment hesaplanırken bazı emniyet katsayıları uygulanır. Bu standarda göre radyal gerilmeden ve düşey yüklerden oluşan

momentlerde emniyet katsayısı 1,5 alınır. Rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan momentlerin emniyet katsayısı ise 1,3 tür. TS EN 50119 standardına göre bu katsayılar uygulandığında toplam moment Denklem (4.2)'deki gibi olur[21].

$$M_t = [(M_r + M_p) \times 1,5] + (M_w \times 1,3) \quad (4.2)$$

4.4.1.1. Radyal gerilmeden dolayı oluşan moment (M_r)

Katener direği üzerindeki askı noktalarında iletkenlerden kaynaklı bir radyal gerilme oluşur. Bu radyal gerilme kuvveti, yolun kurbuna, iletkenin montaj gerilmesine, direk açıklığına ve açıklık hattın fleşlerine bağlıdır.

t: Radyal gerilme (kg)

T: İletkenin montaj gerilmesi (kg)

D: İletkenin bulunduğu nokta ile iletkenin olmak istediği nokta arası mesafe (m)

a: D'nin hesaplandığı taraftaki askı noktaları arası açıklık

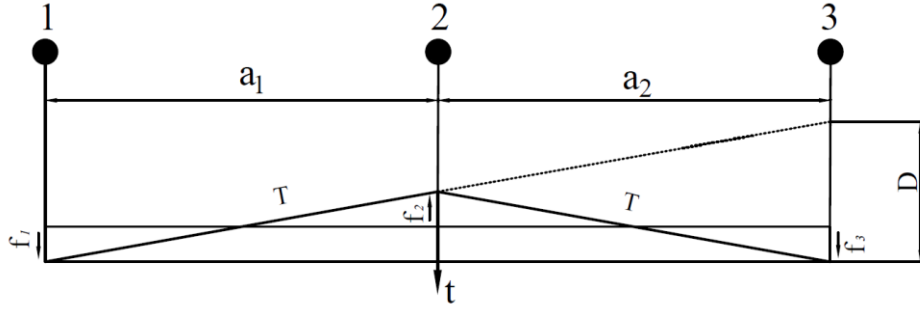
R: Kurp yarıçapı

F: Açıklığın ortasındaki yol fleşi olmak üzere radyal gerilme Denklem (4.3) ile hesaplanır[6].

$$t = \frac{T \times D}{a} \quad (4.3)$$

Aliğmanda radyal gerilme:

Aliğmanda kurp yarıçapı sonsuza yakın olacağı için ($R \approx \infty$) radyal gerilme Şekil 4.1.'deki gibi olur.



Şekil 4.1. Aliğmanda radyal gerilme

$$a_1 = a_2 = a$$

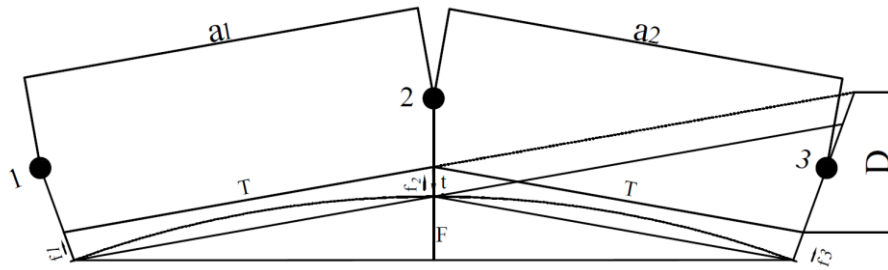
$$f_1 = f_2 = f_3 = f$$

Olması durumunda $D = 4 f$ olur.

$$t = \frac{T \times 4f}{a}$$

Kurpta radyal gerilme:

Kurplu bölgede kurp yarıçapına R dersek, radyal gerilme Şekil 4.2.'deki gibi olur.



Şekil 4.2. Kurpta radyal gerilme

$$a_1 = a_2 = a$$

$$f_1 = f_2 = f_3 = f$$

$$F = \frac{a^2}{2R}$$

(4.4)

$D=2F$ olacağından

$$D = \frac{a^2}{R}$$

$$t = \frac{T \times D}{a} = \frac{a \times T}{R}$$

İletkenlerin Montaj Gerilmesi:

Tasarlanacak konvansiyonel hatlarda maksimum hız olan $V=160$ km/h için iletkenler üzerine montaj sırasında uygulanan gerilmeler aşağıdaki gibidir.

$$T_f = 1496 \text{ kg (fider iletkenindeki maksimum gerilme)}$$

$$T_t = 1105 \text{ kg (geri dönüş iletkenindeki maksimum gerilme)}$$

$$T_p = 1200 \text{ kg (taşıyıcı iletkenindeki standart gerilme)}$$

$$T_s = 1200 \text{ kg (seyir iletkenindeki standart gerilme)}$$

4.4.1.2. Rüzgâr yükünden dolayı oluşan moment (M_w)

İletkenlere açıklık boyunca gelen rüzgâr yükü Denklem (4.5) ile hesaplanır[28].

$$W = c \times p \times d \times a \quad (4.5)$$

c : dinamik rüzgâr basıncı katsayısı Tablo 4.2.'deki EKATY'de bulunan dinamik rüzgâr basıncı katsayılarına göre belirlenir.

Tablo 4.2. EKATY'ye göre dinamik rüzgâr basıncı katsayıları

No	Rüzgârın etkisinde bulunan öğeler	c
1	Profil demirinden yapılmış tek yüzlü kafesler	1,6
2	Profil demirinden yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,8
3	Borulardan yapılmış tek yüzlü kafesler	1,2
4	Borulardan yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,1
5	Daire kesitli ağaç, çelik boru ve beton direkleri	0,7
6	Altıgen ve sekizgen kesitli çelik boru ve beton direkleri	1,0
7	Çapı 12,5 mm.'ye kadar olan iletkenler	1,2
8	Çapı 12,5 ile 15,8 mm.'ye kadar olan iletkenler	1,1
9	Çapı 15,8 mm.'den büyük olan iletkenler	1,0

p: dinamik rüzgâr basıncı (kg/m) ise Tablo 4.3.'teki Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği Standardında göre belirlenir.

Tablo 4.3. EKATY'ye göre iletkenlerin dinamik rüzgâr basıncı

Arazi üzerindeki yükseklik m	Dinamik rüzgar basıncı kg/ m2 Direkler, traversler ve izolatörler	İletkenler
0-15	55	44(*)
15-40	70	53
40-100	90	68
100-150	115	86
150-200	125	95

d: iletkenin çapı (m)

a: askı noktaları arası açıklık (m)

v: rüzgâr hızı (m/s) olmak üzere p değeri Denklem (4.6) ile hesaplanır[28].

$$p = \frac{V^2}{16} \quad (4.6)$$

V=26,5 m/s için

$$p = \frac{26,5^2}{16} = 44 \text{ kg/m}^2$$

İletkenin üzerindeki metre başına rüzgâr yükünü hesaplamak için Denklem (4.5)'teki a değerine 1 yazarsak,

$$W = c \times p \times d \times a$$

$W_i = c \times p \times d$ (kg/m) olur.

Katener hattında yer alan her bir iletkenin çapına göre EKATY'de yer alan dinamik rüzgâr basıncı katsayısını kullanılarak iletkene gelen rüzgâr yükleri ayrı ayrı hesaplanır.

Seyir teli iletkenine bir metrede gelen rüzgâr yükü:

$d_s=12,24\text{mm}=0,01224\text{m}$ »Tablo 4.2.'den $c=1,2$ bulunur.

$$W_s=c \times p \times d_s=1,2 \times 44 \times 0,01224=0,646 \text{ kg/m}$$

Portör teli iletkenine bir metrede gelen rüzgâr yükü:

$d_p=10,5\text{mm}=0,0105\text{m}$ »Tablo 4.2.'den $c=1,2$ bulunur.

$$W_p=c \times p \times d_p=1,2 \times 44 \times 0,0105=0,5544 \text{ kg/m}$$

Fider teli iletkenine bir metrede gelen rüzgâr yükü:

$d_f=21,8\text{mm}=0,0218\text{m}$ »Tablo 4.2.'den $c=1,0$ bulunur.

$$W_f=c \times p \times d_f=1 \times 44 \times 0,0218=0,9592 \text{ kg/m}$$

Geri Dönüş iletkenine bir metrede gelen rüzgâr yükü:

$d_t=17,5\text{mm}=0,0175\text{m}$ »Tablo 4.2.'den $c=1,0$ bulunur.

$$W_t=c \times p \times d_t=1 \times 44 \times 0,0175=0,77 \text{ kg/m}$$

Pandül iletkenine bir metrede gelen rüzgâr yükü:

$d_{pn}=16\text{mm}=0,016\text{m}$ »Tablo 4.2.'den $c=1,2$ bulunur.

$$W_{pn}=c \times p \times d_{pn}=1,2 \times 44 \times 0,016=0,8448 \text{ kg/m}$$

Direk üzerine gelen rüzgâr yükü EKATY'ye göre Denklem (4.7) ile hesaplanır.

$$W_D=c \times p \times 0,6 \times D \times h \text{ (kg)} \quad (4.7)$$

D: beton direğin çapı (m) olmak üzere

Direkler için p değeri EKATY'den 55 kg/m^2 bulunur.

Tablo 4.2'de dairesel kesitli beton direkler için $c=0,7$ olduğundan:

$$W_D=0,7 \times 0,55 \times 0,6 \times D \times h \text{ (kg)}$$

$$W_D=23,1 \times D \times h \text{ (kg) bulunur.}$$

4.4.1.3. Düşey yüklerden dolayı oluşan moment (M_p)

Tablo 3.1.'den seyir telinin ($150 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$) metresinin ağırlığı $q_s = 1,293 \text{ kg/m}$

Tablo 3.2.'den portör telinin ($65 \text{ mm}^2 \text{ Bz}$) metresinin ağırlığı $q_p = 0,577 \text{ kg/m}$

Tablo 3.4.'ten TS EN 51182 standardına göre fider iletkeninin ($\text{LA } 280$) metresinin ağırlığı $q_f = 0,975 \text{ kg/m}$

Tablo 3.4.'ten ve TS EN 51182 standardına göre geri dönüş iletkeninin ($\text{LA } 180$) metresinin ağırlığı $q_t = 0,676 \text{ kg/m}$

Tablo 3.2.'den pandül telinin ($12 \text{ mm}^2 \text{ Bz}$) metresinin ağırlığı $q_{pn} = 0,103 \text{ kg/m}$

Seyir teli, portör teli ve pandüllerden oluşan katenerin 1 metresinin ağırlığı Denklem (4.8)'deki gibi hesaplanır.

$$q_k = q_p + q_s + (0,25 \times q_{pn}) \quad (4.8)$$

$$q_k = 0,577 + 1,293 + (0,25 \times 0,103)$$

$q_k = 1,896 \text{ kg/m}$ olarak bulunur.

Elde edilen bu bilgiler ve Denklemler ışığında katener direğine etkiyen toplam moment hesaplanır ve her direğe etkiyen toplam moment ayrı ayrı hesaplanarak direk seçimi yapılır. Tablo 4.5.'te katener beton direği üreticisi olan MBG firmasının katener direği tipleri ve teknik özelliklerini içeren katalog bilgileri görülmektedir. Moment hesaplarından çıkacak sonuca göre Tablo 4.4.'ten direk seçimi yapılır.

EK-A'da direk moment hesabıyla ilgili bir direk için örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sonucunda direğe etkiyen toplam moment $6.160,50 \text{ kgm}$ 'dir. Elde edilen toplam momentlerle birlikte çizelgeden brüt momente göre direk seçimi yapılır. Brüt moment $6.160,50 \text{ kgm}$ olan direği Tablo 4.4.'ten B3 olarak seçebiliriz.

Tablo 4.4. MGB firmasına ait direk tipleri ve özellikleri

SIRA NO	DİREK TİPİ	BOYU M	TEPE ÇAPI CM	NET MOMENT Kgm	BRÜT MOMENT Kgm	BURULMA MOMENTİ Kgm	TEMEL İÇİ BOY cm	TAKRİBİ AĞIRLIK kg	TEPE KUVVETİ klg
1	B1-9	9	22	3500	4043	150	130	1070	455
2	B1-9,5	9,5	22	3500	4123	150	130	1155	427
3	B1-10	10	22	3500	4210	150	130	1240	402
4	B1-10,5	10,5	22	3500	4303	150	130	1330	380
5	B2-9	9	22	4500	5043	150	130	1085	584
6	B2-9,5	9,5	22	4500	5123	150	130	1170	549
7	B2-10	10	22	4500	5210	150	130	1260	517
8	B2-10,5	10,5	22	4500	5303	150	130	1350	489
9	B2-11	11	22	4500	5404	150	130	1445	464
10	B3-9	9	27	6000	6640	240	150	1380	800
11	B3-9,5	9,5	27	6000	6729	240	150	1480	750
12	B3-10	10	27	6000	6830	240	150	1585	706
13	B3-10,5	10,5	27	6000	6937	240	150	1695	667
14	B3-11	11	27	6000	7057	240	150	1805	632
15	B3-12	12	27	6000	7306	240	150	2040	571
16	B3-13	12	27	6000	7591	240	1640	2285	522
17	B4-10	10	27	10000	10830	300	150	1640	1176
18	B4-11	11	27	10000	11057	300	150	1870	1053
19	B4-12	12	27	10000	11306	300	150	2105	952
20	B4-13	13	27	10000	11391	300	150	2360	870
21	B4-14	14	27	10000	11909	300	150	2625	800
22	B4-15	15	27	10000	12260	300	150	2905	741
23	B5-12	12	32	15000	16488	300	150	2600	1429
24	B5-13	13	32	15000	16810	300	150	2900	1304
25	B5-14	14	32	15000	17167	300	150	3215	1200
26	B5-15	15	32	15000	17561	300	150	3545	1111
27	B6-13	13	32	25000	26810	300	180	3060	2232
28	B6-14	14	32	25000	27167	300	180	3395	2049
29	B6-15	15	32	25000	27561	300	180	3725	1894
30	B7-14	14	32	35000	37167	300	180	3605	2869
31	B7-15	15	32	35000	37610	300	180	3960	2652
32	B7-16	16	32	35000	38011	300	180	4225	2465
33	B7-17	17	32	35000	38441	300	180	4485	2303

4.4.2. Direk temeli hesabı

Direk tipi belirlendikten sonra direk tipine göre temel tipi seçimi yapılır. Temel tipleri arazi yapısına ve zeminin özelliklerine göre değişmektedir. Temellere gelen yüklerde aşağıda belirtilen parametreler kullanılmaktadır.

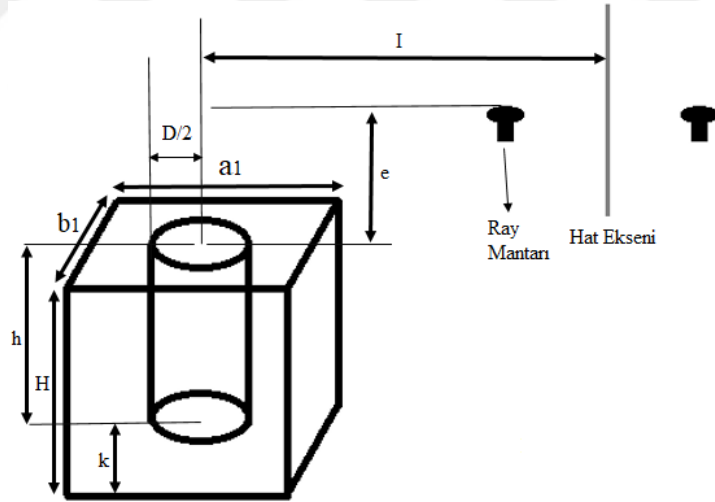
Tablo 4.5 Temel hesaplamalarında kullanılacak değişkenler

a1 (m)	Temel üstünün demiryolu hattına dik boyu
a2 (m)	Temel altının demiryolu hattına dik boyu
b1 (m)	Temel üstünün demiryolu hattına paralel boyu
b2 (m)	Temel altının demiryolu hattına paralel boyu
H (m)	Temelin yüksekliği
h (m)	Direğin temelin içinde kalan kısmı
k (m)	Direğin altı ile temelin altındaki mesafe
e (m)	Temel üstü-ray üstü mesafe
I(m)	Hat ekseni-direk ekseni arası mesafe
V(m ³)	Temel kazısı hacmi
M(kgm)	Direk temelinin dinamik denge momenti
T (kg)	Ankraj temelinin kuvveti
D (cm)	Karot çapı
L (m)	Yükün uygulama yüksekliği

Direk temeli atılırken, beton kütleinin ortası direğin girebileceği ve silindirik olacak şekilde boş bırakılır. Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi karot adı verilen silindirik metal donanım ile temelin ortasına boşluk verilerek bu boşluğa katener direği geçirilir.



Şekil 4.3. Katener direği temeli



Şekil 4.4. Katener direği temeli ve parametreleri

Toprak mukavemeti P_t olarak adlandırılır. Toprak mukavemet değeri olan P_t değeri farklı arazi türleri için toprağın sıkıştırılabilirlik katsayısı olan C_T değerine bağlıdır. C_T değeri 1 cm^2 'lik bir yüzeyin 1 cm derinliğine sokulması için gerekli olan kuvveti ifade eden 2 metre derinlikteki Kg/cm^3 cinsinden sıkıştırılabilirlik sabitidir. C_t ise 1 cm^2 'lik bir yüzeyin 1 cm derinliğe sokulması için gerekli olan kuvveti ifade eden çukur

yan duvarlarının t derinliğindeki inşaat sabitidir. C_t değeri Denklem (4.9) ile hesaplanır[22].

$$C_t = \frac{C_T}{2} \times t \quad (4.9)$$

Temelin kendi ağırlığının neden olduğu temel tabanındaki sıkışma C_b katsayısı değeri, aynı derinlikteki yanal katsayı C_t 'den biraz daha büyüktür. Bu değeri ölçmek zor olduğundan, %20 fazla kabul edilmiştir.

$$C_b = C_t \times 1,2 \quad (4.10)$$

Farklı arazi koşullarına göre C_T değerine bağlı olarak P_t değeri tablo 4.7.'de gösterilen değerleri alır[34].

Tablo 4.6. Farklı toprak yapısına göre P_t değeri

Arazinin Yapısı	C_T (kg/cm ³) Sıkıştırılabilirlik Katsayısı (2 m derinlikte)	P_t (kg/cm ²) Toprak Mukavemeti
Sulu killi zemin	$C_T \approx 2$	$P_t = 0,5$
Nemli killi zemin	$C_T \approx 4$	$P_t = 1$
Gevşek dolgu zemin	$C_T \approx 5$	$P_t = 1,5$
Sert dolgu zemin	$C_T \approx 6$	$P_t = 2$
Çok sert zemin	$C_T \approx 9$	$P_t = 2,5$
Sıkıştırılmış taşlı zemin	$C_T \approx 10$	$P_t = 3$
Sert taşlı doğal zemin	$C_T \approx 12$	$P_t = 4$

Ek B'de bir direk temeli için örnekleme yapılmıştır. Örnekleme göre direğin yatma momenti 3.718 kgm olarak bulunmuştur. EK B'deki örneklemeyi çoğaltıp farklı prizmatik temeller için bu hesap yapılmış ve Tablo 4.7. oluşturulmuştur.

Portal direği temelleri için EK C'de örnekleme yapılmıştır. Yapılan örneklemede direğin yatma momenti 12.757,11 kgm bulunmuştur. Bu değer de mukavemeti $P_t=2$ kg/cm² olan zeminde PS-6 temel tipine denk gelmektedir. EK C'deki örnekleme çoğaltıp farklı temel boyutları için bu hesaplama yapılmış ve portal temelleri için Tablo 4.8. elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Zemin yapısına göre prizmatik temel tipleri

Temel Tipi		a(m)	b (m)	H(m)	V(m3)	M (kg.m)	Temel Tipi	a(m)	b (m)	H(m)	V(m3)	M (kg.m)		
PRİZMATİK TEMELLER (TP)	Pt=0,5 kg/cm ²	TP1	1,20	1,20	2,20	3,168	3.720	Pt=2,5 kg/cm ²	TP1	1,00	1,00	1,60	1,600	3.563
		TP2	1,20	1,30	2,30	3,588	4.561		TP2	1,00	1,10	1,70	1,870	4.709
		TP3	1,20	1,40	2,50	4,200	6.271		TP3	1,10	1,20	1,80	2,376	6.436
		TP4	1,30	1,70	2,70	5,967	10.118		TP4	1,20	1,30	2,00	3,120	10.154
		TP5	1,40	2,20	2,80	8,624	15.307		TP5	1,50	1,50	2,10	4,725	15.218
		TP6	1,60	2,50	3,10	12,400	25.705		TP6	1,50	1,90	2,30	6,555	25.566
	Pt=1 kg/cm ²	TP1	1,10	1,30	1,80	2,574	3.718	Pt=3 kg/cm ²	TP1	1,00	1,00	1,60	1,600	3.867
		TP2	1,20	1,30	1,90	2,964	4.638		TP2	1,00	1,00	1,70	1,700	4.679
		TP3	1,20	1,50	2,00	3,600	6.151		TP3	1,10	1,10	1,80	2,178	6.440
		TP4	1,30	1,60	2,30	4,784	10.434		TP4	1,20	1,20	2,00	2,880	10.245
		TP5	1,40	2,00	2,40	6,720	15.466		TP5	1,40	1,40	2,10	4,116	14.923
		TP6	1,60	2,40	2,60	9,984	25.566		TP6	1,50	1,50	2,40	5,400	25.393
	Pt=1,5 kg/cm ²	TP1	1,10	1,30	1,70	2,431	3.748	Pt=4 kg/cm ²	TP1	1,00	1,00	1,50	1,500	3.652
		TP2	1,10	1,40	1,80	2,772	4.728		TP2	1,00	1,00	1,60	1,600	4.466
		TP3	1,20	1,30	2,00	3,120	6.356		TP3	1,10	1,10	1,70	2,057	6.213
		TP4	1,30	1,60	2,20	4,576	10.891		TP4	1,20	1,20	1,90	2,736	10.070
		TP5	1,40	1,70	2,40	5,712	15.742		TP5	1,40	1,40	2,00	3,920	14.782
		TP6	1,60	2,00	2,60	8,320	25.435		TP6	1,50	1,50	2,30	5,175	25.711
	Pt=2 kg/cm ²	TP1	1,10	1,10	1,70	2,057	3.653	Pt=2 kg/cm ²	TP4	1,20	1,40	2,20	3,696	10.621
		TP2	1,10	1,20	1,80	2,376	4.684		TP5	1,40	1,60	2,30	5,152	15.044
		TP3	1,10	1,20	2,00	2,640	6.465		TP6	1,70	1,90	2,50	8,075	25.622

Tablo 4.8. Zemin yapısına göre portal temeli tipleri

Temel Tipi		a(m)	b (m)	H(m)	V(m3)	M (kg.m)	Temel Tipi	a(m)	b (m)	H(m)	V(m3)	M (kg.m)			
PORTAL TEMELLERİ (PRİZMATİK TEMELLER) (PS)	Pt=0,5 kg/cm ²	PS-3	1,60	1,80	2,30	6,624	7.717	Pt=1,5 kg/cm ²	PS-3	1,20	1,50	2,10	3,780	7.930	
		PS-4	1,60	2,00	2,40	7,680	9.764		PS-4	1,20	1,60	2,20	4,224	9.918	
		PS-5	1,70	2,10	2,50	8,925	12.288		PS-5	1,40	1,60	2,30	5,152	12.637	
		PS-6	1,80	2,20	2,60	10,296	15.237		PS-6	1,40	1,60	2,40	5,376	14.481	
		PS-7	1,80	2,50	2,60	11,700	17.367		PS-7	1,50	1,90	2,50	6,750	20.468	
		PS-8	2,00	2,60	2,60	14,560	20.283		PS-8	1,60	1,90	2,50	7,600	21.295	
		PS-9	2,00	2,60	2,80	14,560	24.504		PS-9	1,60	2,00	2,60	8,320	25.330	
		PS-3	1,30	1,70	2,10	4,641	7.950		Pt=2 kg/cm ²	PS-3	1,20	1,50	2,00	3,600	7.906
		PS-4	1,30	1,80	2,20	5,148	9.765			PS-4	1,20	1,60	2,10	4,032	9.958
	PS-5	1,50	1,80	2,30	6,210	12.534	PS-5	1,40		1,60	2,20	4,928	12.757		
	PS-6	1,50	1,80	2,40	6,480	14.235	PS-6	1,40		1,60	2,30	5,152	14.711		
	PS-7	1,50	1,80	2,60	7,020	18.225	PS-7	1,50		1,70	2,40	6,120	18.668		
	PS-8	1,60	1,90	2,60	7,904	20.079	PS-8	1,60		1,80	2,40	6,912	20.560		
	PS-9	1,60	2,00	2,60	8,320	21.150	PS-9	1,60		2,00	2,50	8,000	25.970		

4.4.3. Ankraj temeli hesabı

Ankrajlar katener direğine gelen yatay yükleri karşılayan kütlelerdir. Katener sisteminde kullanılan tellerin sonlandırılmalarında ankraj kullanılır. Ankrajlar toprak zemininin yapısından bağımsız olup boyuta ve ağırlığa bağlı bir kütle olarak dengeyi sağlarlar.

Ankrajlar kullanıldığı yere bağlı olarak yer lenteli veya yükseltilmiş ankraj olarak iki çeşittir. Yer lenteli ankrajlar hat boyunca kullanılır, yükseltilmiş ankrajlar ise istasyon içlerinde kullanılır.

AP tipi prizmatik yer lentalı ankrajı düşünürsek, bu tip ankrajda beton bloğun içine tek veya çiftli profil yerleştirilir. Bu profilin minimum %75'i temel içinde kalıp diğer ucu da ankraj edilecek katener direğine bağlanır.

Ankraj temeli üzerinde oluşan gerilim tellerde oluşan maksimum montaj gerilmesine bağlıdır. Tablo 4.9.'daki parametreler kullanılarak Denklem (4.11) ile ankraj temelini kuvveti hesaplanır[34].

Tablo 4.9. Ankraj hesabında kullanılan parametreler

T(kg)	Ankraj temelini kuvveti
Tt(kg)	Ankrajlanan teldeki gerdirme kuvveti
a (m)	Temel üstünün demiryolu hattına dik boyu
b (m)	Temel üstünün demiryolu hattına paralel boyu
H (m)	Temelin yüksekliği
t (m)	Kazı derinliği
h (m)	Kazı derinliği
s	Emniyet katsayısı(Minimum 2,5)

$$T = \frac{T_t + (0,4 \times (a+b) + 0,213 \times t) + (a \times b \times h \times 2000)}{s} \quad (4.11)$$

Kazı derinliğine H(m) dersek saha uygulamalarında bu değer 10 cm düşürülerek tolerans uygulanır.

Denklem (4.11) kullanılarak EK-D'de örnekleme yapılmış AP6 tipi ankraj temelini kuvveti 3.835,44 kg olarak bulunmuştur. EK-D'deki örnekleme çoğaltılıp farklı boyuttaki ankraj temelleri hesaplanarak Tablo 4.10.'daki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 4.10. Zemin yapısına göre ankraj temelleri

Temel Tipi	a (m)	b(m)	H (m)	V (m)	T(kg)	
ANKRAJ TEMELLERİ (AP)	AP 2	1,2	1,3	1,60	2,496	2.088
	AP 4	1,2	1,6	2,00	3,840	3.042
	AP6	1,2	1,8	2,30	4,968	3.835
YÜKSELTİLMİŞ ANKRAJ TEMELLERİ (APY)	APY 2	1,2	1,6	2,20	4,224	1.989
	APY 4	1,4	2	2,40	6,720	3.020
	APY 6	1,4	2,4	2,60	8,736	3.853

4.5. Derülej Planının Oluşturulması

Besleme planı ve Picketaj planı hazırlandıktan sonra tel çekme planı olan Derülej planı hazırlanır. Katener planlarında ilk olarak besleme planı hazırlanır. Besleme planından yararlanarak Picketaj planı, Picketaj planı üzerinden ise derülej planı oluşturulur.

Derülej planında aşağıdaki belirtilen parametreler bulunur:

- ✓ Seyir teli, portör teli, geri dönüş iletkenleri ve varsa fider telleri plan üzerinde gösterilir ve başlangıç ve bitiş kilometreleri yazılır.
- ✓ Seyir teli ve sistem yükseklikleri
- ✓ Ekipman, seksiyonman ve antişöminman bölgeler ve kilometreleri
- ✓ İzolatörler, seksiyon izolatörleri (IS) ve besleme irtibatları
- ✓ Dezeksmen değerleri
- ✓ Direk açıklıkları
- ✓ Etapların başlangıç ve bitiş kilometreleri ile etap boyları
- ✓ Ayırıcılar

4.6. Montaj Karnesinin Oluşturulması

Katener projelerinde bir direğin üzerindeki tüm malzemelerin (Konsol-Hoban donanımlarının bağlantı parçaları, alüminyum irtibatları, fider teli ve geri dönüş iletkeni bağlantı parçaları, seyir teli ve portör teli bağlantıları vb.) yerlerinin belirlendiği dokümanlar montaj karneleridir. Montaj karneleri her bir direk için ayrı ayrı çizilir.

5. ALIFUATPAŞA-PAMUKOVA ARASI KONVANSİYONEL HAT ELEKTRİFİKASYON SİSTEMİNİN TASARLANMASI

Tez kapsamında yer alan ilk dört bölümdeki bilgiler ışığında TCDD'ye ait Alifuatpaşa (Km 157+107) - Pamukova (Km 167+675) İstasyonları arasında çift hattın elektrifikasyon sistemi tasarlandı. İlk kısımda sistem prensipleri belirlendi. Daha sonra besleme planı ve piketaj planı hazırlandı. Piketaj planı ile birlikte belirlenen direklerin momentleri tek tek hesaplanarak direk momentine göre temel tipi hesaplandı. İletken tellerin belirtildiği derülaj planı ve direk ekipmanlarının montaj karnesi oluşturularak Alifuatpaşa (Km 157+107) - Pamukova (Km 167+675) İstasyonları arası çift hat elektrifikasyon sistem tasarımı tamamlandı.

5.1. Sistem Prensipleri

5.1.1. Projenin kapsamı

TCDD'ye ait Alifuatpaşa-Pamukova İstasyonları arası Km 157+107 ile Km 167+675'te bulunan tek hattın çift hatta dönüştürülmesi ile birlikte yeni yapılacak demiryolu hattının katener sistemi ve eski hatta meydana gelecek katener deplaseleri projelendirilecektir. Sistem ana yollar olan aliğman bölgelerde 160 Km/h hıza göre, tali yollarda ise 80 km/h hıza göre tasarlanacaktır. Bahsi geçen bölgenin doğu ve batı cihetinde Arifiye ve Osmaneli trafo merkezleri bulunduğundan yeni bir trafo merkezine gerek duyulmayıp sistem mevcut trafo merkezlerinden beslenecektir. İki trafo merkezini arasında kalan Km 161+880 ile Km 162+090 arasına nötr bölge tesis edilecektir. Pamukova İstasyonu içine 1 cer postası tesis edilecektir.

5.1.2. Tasarım kriterleri

Oluşturulacak elektrifikasyon sistem tasarımı havai hat Katener sistem tasarımı EN 50119 standardında belirtilen bütün temel kriterlere uygun olacaktır. Tasarım yapılırken güzergâhta bulunan yatay-düşey kurplar, deverler, sanat yapıları ve livre hızları birlikte değerlendirilerek oluşturulan bölgesel hızlar kullanılacaktır.

Sistem tasarlanırken aşağıdaki parametreler göz önünde bulundurulacaktır.

- ✓ Altyapının uygun olduğu bölgelerde hız 160 km/h'e göre, diğer bölgelerde ise 120 km/h ve 80 km/h hıza uygun şekilde iletken kesitleri, gerdirme kuvvetleri,
- ✓ İletkenler üzerinde hava koşulları etkisiyle oluşan ilave yükler,
- ✓ Kripaj ve atlama mesafeleri, (Donatıların enerjili kesimlerinin topraklı kesimlere ve sabit tesislere olan mesafeleri)
- ✓ Temel tipleri oluşturulurken gözetilecek bölgesel toprak dayanımları,
- ✓ Hat güzergâhındaki bölgesel kurplara göre oluşturulacak direk açıklıkları,
- ✓ Güzergâhtaki yatay-düşey kurplar, deverler ve sanat yapıları.

5.1.3. Katener sistemi

Güzergâhtaki güç temini 25 kV AC 50 Hz havai hat katener sistemi ile sağlanacaktır. Sistemde 1 portör teli, 1 seyir teli, 1 geri dönüş teli (topraklama teli) kullanılacaktır. İstasyon postalarındaki bağlantılar için gerekli olan yerlerde fider teli de kullanılacaktır. Postalar elektriksel ekipmanlar ile donatılacaktır. İstasyon yollarındaki makas bölgelerine besleme planı doğrultusunda seksiyon izolatörler (IS) yerleştirilecektir. Bu seksiyon izolatörler uzaktan kumandaya imkan sağlayacak ayarları oluşturmak için de kullanılacaktır.

Katener hattı aşağıdaki elektriksel değerlere uygun çalışacak şekilde dizayn edilecektir.

Maksimum gerilim	: 29 kV
Nominal gerilim	:27,5 kV
Minimum gerilim	: 19 kV
Kısa Süreli En Düşük Gerilim	: 17,5 kV
Akım	: 50 Hz Tek Fazlı AC
Genel izolasyon seviyesi	: 52 kV
Elektriksel yalıtım mesafesi	: 320 mm

Otomatik gerdirme sistemi: Katener tellerinin sıcaklık değişimlerinden asgari düzeyde etkilenmesi ve seyir esnasında pantograf için düzgün bir temas yüzeyi oluşması için seyir teli ve taşıyıcı tele uygulanmakta olan mekanik gerdirme kuvveti otomatik gergi

cihazları ile sağlanacaktır. Otomatik gergi cihazları ile gerdirme, metal kasnaklar ve çevirme oranına göre ayarlanan beton karşı ağırlıklar vasıtasıyla uygulanacaktır. Seyir teli ve taşıyıcı tel için otomatik gergi cihazları aynı direk üzerine yerleştirilecektir. 120 km/h ve üzerindeki hızlarda seyir teli ve portör teli ayrı ayrı gerdirilecek, 120 km/h ve altındaki hızlarda ise seyir teli ve portör teli birlikte gerdirilecektir.

Seyir teli ve sistem yükseklikleri: Ray ile seyir teli arasındaki mesafe olan seyir teli yüksekliğinin değeri nominal değeri 575 cm'dir. Bu değer arazi koşullarına göre değişmekte olup sınır değerler:

Minimum (Normal Bölgelerde)	:500 cm
Minimum (Kirli Bölgelerde)	:505 cm
Minimum (Tünellerde)	:500 cm
Maksimum (Hemzemin Geçitlerde)	:620 cm
Depo Bölgelerinde	:590 cm olacaktır.

Seyir teli yüksekliği değişimi belirli sınırlamalar dâhilinde olup $V=120$ km/h ve üzerindeki hızlarda birbirini takip eden askı noktaları arasındaki seyir teli yüksekliği eğim farkı maksimum % 1,5 olacaktır. $120 \text{ km/h} < V < 100 \text{ km/h}$ hızlarda bu değer % 2, $V \leq 100 \text{ km/h}$ hızlarda ise % 3 olacaktır.

Seyir teli ve portör teli arasındaki mesafe olan sistem yüksekliğinin nominal değeri 140 cm olup arazi koşullarına göre bu değer 30cm'ye kadar düşürülebilecektir.

Direk açıklıkları: Maksimum direk açıklığı 63m olup kurba göre direk açıklıkları aşağıdaki tabloya göre uygulanacaktır.

Tablo 5.1. Kurp yarıçapına göre direk açıklıkları

Kurp Yarıçapı	α_{max}
$R \geq 1600\text{m}$	58,5 m
$1600\text{m} \geq R \geq 1300\text{m}$	54 m
$1300\text{m} \geq R \geq 1100\text{m}$	49,5 m
$1100\text{m} \geq R \geq 850\text{m}$	45 m
$850\text{m} \geq R \geq 650\text{m}$	40,5 m
$650\text{m} \geq R \geq 500\text{m}$	36 m
$500\text{m} \geq R \geq 350\text{m}$	31,5 m
$350\text{m} \geq R \geq 250\text{m}$	27 m

Tünel içindeki askı noktalarında bu değerler dikkate alınmayıp farklı açıklıklar kullanılabilir.

Dezeksman değeri: Dezeksman değeri aliğman bölgelerde ± 200 mm, $R < 1600$ metre olan kurplu bölgelerde ise ± 240 mm olarak uygulanacaktır. Elektriksel olarak birbirinden yalıtılmamış etapların birleşim noktası olan ekipman bölgelerde dezeksman değeri ± 200 mm, elektriksel olarak birbirinden ayrılmış noktalarda ise ≥ 500 mm olarak uygulanacaktır.

Emplantasyon: Direk ekseni ile hat ekseni arasındaki mesafe olan emplantasyon nominal olarak 3,25 metre uygulanacaktır. Bu değer peronlarda 3,70 metre sanat yapılarının sınırladığı bölgelerde ise 2,80 metre olacaktır. Arazi koşullarının elvermediği durumlarda emplantasyon uygulanacak bölgeye bakılarak özel izin ile 2,14 metreye kadar düşürülebilecektir. Emplantasyonun 3,60 metreyi aşması durumunda uzatma kullanılacak, 4 metreyi aşması durumunda ise portal imalatına geçilecektir.

Etap boyları: Etap boyları maksimum 1350 metre olacaktır. Etap boyunun nominal değeri ise 1250 metre alınıp buna göre standart oluşturulacaktır. 700 metreyi aşan etap boylarının ortalarına antişöminman uygulaması yapılacaktır.

Ekipman bölgeler: Direk açıklığı 54 metre ve daha fazla olan bölgelerde 3 açıklıklı ekipman bölge (2 ankraj direği, 2 ara direği), direk açıklığının 54 metreden az olduğu bölgelerde 4 açıklıklı ekipman bölge (2 ankraj direği, 2 ara direği, 1 eksen direği) tesis edilecektir.

Seksiyonman bölgeler: Seksiyonman bölgeler mümkün olduğunca aliğmanda bölgeye konulacak olup 4 açıklıklı (2 ankraj direği, 2 ara direği, 1 eksen direği) dizayn edilecektir.

Seyir teli: TS EN 50149 standardında 107 mm^2 kesitinde bakır (Cu) tipi yivli seyir teli kullanılacaktır. Seyir telinin minimum kopma yükü 37,56 kN, çalışma yükü 12 kN, metresinin ağırlığı ise 0,95 kg olacaktır.

Portör teli: DIN 48201 standardında 65 mm^2 Bronz (Bz) tipi taşıyıcı tel kullanılacaktır. Portör teli olarak Bakır-Kadmiyum (Cu-Cd) Bronzu kullanılabilir gibi,

mukavemeti daha yüksek olan Bakır-Magnezyum (Cu-Mg) Bronzu da kullanılabilir. Portör telinin kesiti 65,4 mm², minimum kopma yükü 42,18 kN (Cu-Cd), çalışma yükü 12 kN, metresinin ağırlığı ise 0,590 kg olacaktır.

Y halatı: 120 km/h ve üzeri hızlardaki bölgelerde Y halatı kullanılacaktır. Tasarlanan katener sisteminde UIC 799, DIN 48201 standardına uygun 7,5 mm dış çaplı tellerden imal edilmiş Bz II 35 tipi bronz iletken yapılmış Y halatı kullanılacaktır. Y halatının kopma yükü 19,78 kN, ve metresinin ağırlığı 0,31 kg olacaktır[18-35].

Pandüller: DIN 48201 standardına uygun olarak 12 mm² kesitli örgülü Bz II 12 tipi esnek bronz iletken yapılmış pandül kullanılacaktır[18]. Minimum kopma yükü 7,5 kN ve metresinin ağırlığı ise 0,103 kg olacaktır.

Besleme iletkenleri: Katener irtibatlarını sağlamak için 95 mm² örgülü bakır iletkenler kullanılacaktır. Minimum kopma yükü 86,28 kN ve metresinin ağırlığı ise 0,975 kg olacaktır.

Fider teli: TS EN 50182 standardına uygun 281 mm² kesitli LA-280 alüminyum iletken kullanılacaktır. Minimum kopma yükü 30,27 kN ve metresinin ağırlığı ise 0,935 kg olacaktır[25].

Geri dönüş iletkeni: TS EN 50182 standartlarına uygun 181,6 mm² kesitli çelik-alüminyum tel olan LA 180 kullanılacaktır. Minimum kopma yükü 62,67 kN ve metresinin ağırlığı ise 0,676 kg olacaktır[25].

İzolatörler: Tasarlanan katener sisteminde kullanılacak izolatörler TS EN 61109 ve TS EN 62217'ye uygun olarak imal edilmiş olacaktır. İzolatörler 52 kV izolman seviyesine sahip silikon-kompozit olacaktır[36-37].

Seksiyon izolatörleri (IS): Seksiyon izolatörler TS EN 61109 ve TS EN 62217'ye ve V=120 km/h hıza uygun olarak imal edilmiş, çift kızaklı ve izole çubuklu olacaktır. Seksiyon izolatör donanımlarında silikon-kompozit izolatörler kullanılacaktır[36-37].

5.2. Besleme Planı

Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arasında 1 adet nötr bölge ve 2 adet cer postasından oluşan besleme planı oluşturdu(EK-E Sayfa 101).

5.3. Piketaj Planı

Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arası ekipman ve seksiyonman bölgelerin yer aldığı piketaj planı oluşturuldu(EK-F Sayfa 104-128).

5.4. Temel Karnesi

Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arasında direk momentleri tek tek hesaplanarak direk temelleri için temel karnesi oluşturuldu(EK-G Sayfa 129-138).

5.5. Derülaj Planı

Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arası iletkenlerin bulunduğu derülaj planı oluşturuldu(EK-H Sayfa 139-164).

5.6. Montaj Karnesi

Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arasındaki direk üzeri ekipmanların gösterildiği montaj karnesi oluşturuldu(EK-I Sayfa 165-174).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TCDD İşletmesine ait olan Alifuatpaşa (km 157+107) – Pamukova (km 167+206) İstasyonları arasında mevcutta bulunan tek yol hat kapasitesini artırmak için çift yola çıkartılmıştır. Alt yapı ve üst yapı işleri ile beraber mevcutta var olan katener hattının bazı noktalarda deplase edilme zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasında yeni yapılan ve deplase olacak hat olmak üzere Alifuatpaşa (km 157+107) – Pamukova (167+206) İstasyonları arasında 10 kilometrelik bir demiryolu çift hattının elektrifikasyon sistem tasarımı yapılmıştır. Bu iki istasyon arası güzergahta 2 istasyon, 1 cer postası, 1 nötr postası, 1 aç-kapa tünel bölgesi ve 1 hemzemin geçit bulunmaktadır. Katener hattı saatte 160 km hıza göre dizayn edilmiş, Alifuatpaşa-Pamukova arası konvansiyonel hat olduğu için sistem tasarlanırken tüm değerler konvansiyonel hat ve 160 km/h hıza göre seçilmiştir.

Tasarımı yapılan 10 kilometrelik katener sisteminin besleme planı çıkartılarak projenin ana hattı belirlenmiştir. Besleme planı hazırlanırken Pamukova İstasyonuna cer postası konulmuştur. Bakım kuşağında yapılacak çalışmalar, manevralar ve yükleme boşaltma rampası düşünülerek elektriksel manevra için 4 hat ayrı ayrı kumanda edilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem Arifiye ve Osmaneli olmak üzere iki ayrı trafo merkezinden beslendiği için nötr bölgeye ihtiyaç duyulmuştur. Km 162+900'de bulunan nötr bölgenin yeri konularak aynı bölgeye yeni nötr bölge tesis edilmiştir.

Besleme planındaki ana verilerden yararlanılarak piketaj planı hazırlanmıştır. Piketaj planı oluşturulurken Pamukova İstasyonunun batı cihetine seksiyonman bölge konulmuş, doğu cihetine ise ilerde Pamukova-Mekece hattını çift hatta dönüştürülme ihtimaline karşı seksiyonman bölge için fider iletkeni çekilmesi düşünülmüştür. Km 165+721- km 165+936 arasında bulunan aç-kapa tünel bölgesi Pamukova batı seksiyonman bölgesine giden fider telini içine almaktadır. Bu nedenle aç-kapa bölgesinde fider teli de tünel bölgesinden izole olarak geçilmiştir. Etap sonlarındaki ağırlıklar 1200 kg'a gerdirilecek şekilde tasarım yapılmış ve piketaj planında

gösterilmiştir. Hattın kurp yarıçapına göre direk açıklıkları belirlenmiş, ekipman ve seksiyonman bölgelere göre direk yerleri işaretlenmiştir.

Piketaj planında yer alan ekipman bölge, seksiyonman bölge, nötr bölge ve kurp bilgileri gibi veriler kullanılarak temel karnesi oluşturulmuştur. Rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan moment, radyal gerilmeden dolayı oluşan moment ve düşey yüklerden dolayı oluşan momentler her bir direk için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan momentler toplanarak direk üzerine etkiyen toplam moment ortaya çıkarılmış ve bu momentler ile direk tipleri belirlenmiştir. Belirlenen direk tiplerine göre de temel tipleri seçilmiştir. Km 165+721- km 165+936 arasında bulunan aç-kapa tünel bölgesinde katener direği yerine konsol-hoban donanımlarının tünel cidarına sabitlenmesi düşünülmüştür. Yine aç-kapa tünele yakın yerlerde çelik direk tercih edilmiştir. Temel karnesinde direk ve temel tiplerinin yanı sıra emplantasyon ve fleş gibi değerler de belirlenmiştir. Pamukova istasyon içindeki katener hatları çelik konstrüksiyonlu 3 yollu ve 4 yollu portal yapı olarak tasarlanmıştır.

Hazırlanmış olan piketaj planı üzerine tasarlanan katener sistemindeki iletken teller işlenerek derülaj planı oluşturulmuştur. Derülaj planında her bir direk üzerindeki dezeksman ayarı, seyir teli yüksekliği ve sistem yüksekliği gibi değerler belirlenmiştir. Sistemde kullanılan iletken tellerin başlangıç ve bitiş noktaları, seksiyonman bölgelerdeki ayırıcılar ve topraklama istasyonları derülaj planında gösterilmiştir.

Tasarlanan katener sisteminin uygulaması için ise montaj karnesi oluşturulmuştur. Montaj karnesinde her bir direk için seyir teli yüksekliği, sistem yüksekliği, kurp ve dever değerlerine göre konsol-hoban donanımlarının direk üzerindeki bağlantı parçalarının montaj yerleri belirlenmiştir.

Montaj karnesinin tamamlanmasıyla birlikte Alifuatpaşa (km 157+107) – Pamukova (km 167+206) İstasyonları çift hat elektrifikasyon sistem tasarımı yapılmıştır.

Demiryolu hatlarında elektrifikasyon sisteminin yapım maliyeti oldukça yüksektir. Katener sistemlerinde kullanılan bakır iletkenler başta olmak üzere sistemde kullanılan malzemelerin büyük bölümü dövize endeksli ve yurt dışı menşelidir. Bu yüzden yapım maliyetini düşürebilmek için güvenlikten ve işletmeciliğin devamlılığından taviz vermeden ekonomik çözümler bulmak gerekir. Elektrifikasyon sistem tasarımı

yapılırken piketaj, derölaj ve temel karnesinin bir başlık altında toplanıp çalışmaların tek bir plan üzerinden sürdürülmesi daha faydalı olacaktır. Ayrıca özellikle katener tasarımında önceden belirlenmiş şablon ve tablolar üzerinden devam etmek yerine her direğe özgü farklı değerler ortaya çıkarılması, pandül ve direk açıklıkları gibi parametrelerin standart olmaktan çıkartılıp değişken olması ve imalatın da bu haliyle gerçekleştirilmesi yapım maliyetini azaltacaktır.

Bu tezde yapılan statik hesaplamalar excell formatında ayrı ayrı yapılmak yerine bir yazılım uygulaması ile yapılabilir. Bu uygulama için gerekli veriler bir ara yüzden girilerek gerekli hesaplamaların otomatik yapılması sağlanabilir. Böylece tüm formüller uygulama içerisinde olduğu için hata payı azalır, hesaplama süresi de minimuma indirebilir.

KAYNAKLAR

- [1] İnan M., Demir M., Demiryolu Ulaşımı ve Türkiye’de Hızlı Tren Yatırımlarının Etkileri: Eskişehir-Konya Örneği, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Elazığ 2017, **27**, 99-120.
- [2] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Raylı Sistemler Teknolojisi, Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006.
- [3] URL-1:<http://www.lojistikhatti.com/haber/2012/12/dunden-bugune-turkiyenin-demiryolu-seruveni> (Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2019)
- [4] URL-2:<https://www.trenhaber.com/yht/2023-e-kadar-yukse-k-hizli-trene-kavusacak-iller-h1090.html> (Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2019)
- [5] URL-3:
https://www.wikizero.com/tr/T%C3%BCrkiye_Cumhuriyeti_Devlet_Demiryollar%C4%B1 (Ziyaret Tarihi: 9 Mayıs 2019)
- [6] Taşdan S, Yüksek Hızlı Tren Uygulamalarında Elektrik Besleme Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nisan 2015, 411600.
- [7] Şimşek E., Elektrikli Raylı Sistemlerin İncelenmesi ve Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinde Enerji Kalitesi ve Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 237188.
- [8] TS EN 50163, Demiryolu Uygulamaları - Cer sistemlerinin Besleme Gerilimleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1998
- [9] Özmen İ., 750 V DC Cer Gücü Tedarik Sisteminin Bilgisayar Destekli Modellemesi, Benzetimi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2014, 363569.
- [10] Alkaşı S., Açıkbaş S., Şehiriçi Raylı Ulaşımında Gerilim Seviyeleri ve Enerji İletim Sistemleri, Uluslararası Demiryolu Sempozyumu 13-15 Eylül 2006.
- [11] Sarısakal S., Rijit Katener Sisteminin Modellenerek Yolcu Üzerindeki Elektrik ve Manyetik Alan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul 2015, 397905.
- [12] URL-4: <http://rijitkatener.com/> (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2019)
- [13] Karaköse E., Raylı Sistemlerde Pantograf-Katener Sisteminin Modellenmesi, Simülasyonu ve Arıza Teşhis Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 2014, 373819.

- [14] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı MEGEP Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Raylı Sistemler Teknolojisi, Elektrikli Sistemlerde Enerjinin Araca Alınması, Ankara,2008.
- [15] TS EN 50149, Demiryolu Uygulamaları, Sabit Tesisler, Elektrikli Cer, Bakır ve Bakır Alaşımli Yivli Kontak Teller, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2006
- [16] URL-5:<http://www.sarkuysan.com/tr-TR/seyir-telleri/231.aspx> (Ziyaret Tarihi: 21 Mart 2019)
- [17] DIN 43138, Flexible Seile für Fahrleitungsanlagen und Rückleitungen, *Deutsches Institut für Normung*, Germany, 1980.
- [18] DIN 48201, Leitungsseile - Seile aus Kupfer, *Deutsches Institut für Normung*, Germany,1981
- [19] URL-6:<http://www.sarkuysan.com/tr-TR/tasiyici-iletken-teller/232.aspx> (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2019)
- [20] TS EN 50367, Demiryolu uygulamaları, Akım toplama sistemleri, Pantograf ile havai hat arasındaki etkileşim için teknik kriter (serbest erişim elde etmek için), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012
- [21] TS EN 50119, Demiryolu uygulamaları - Sabit tesisler - Elektrikli Cer Havai Temas Hatları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013
- [22] Yeşiloğlu M., Ankara - İstanbul Demiryolu Hattı 2. Etap Hızlı Tren Projesi, Katener Tesisleri Eğitimi, Eskişehir 2015
- [23] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Raylı Sistemler, İletkenlerin Montajı, Ankara, 2013
- [24] URL-7:<https://www.borsan.com.tr/wp-content/uploads/2018/08/borsan-kablo-katalog-2018.pdf> (Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2019)
- [25] TS EN 50182, Hava hattı iletkenleri-Yuvarlak telli eşmerkez tabakalı örgülü iletkenler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003
- [26] Kocatorun Ö., Elektrikli İşletme Tesisleri, Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Eskişehir, 2017
- [27] URL-8:<https://www.aflury.ch/de/contp/pshow/produkte/detail/pid/987/> (Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2019)
- [28] Özdemirci E., Uzar M, Eser C., Ertürk S., Nazlı S., Gürsu D., Baran E., Hat Tasarımında Kullanılan Temel Yapısal Faktörlerin Diğer Ülke Sistemlerinde Kullanılan Kriterler ile Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi, *Güç Sistemleri Konferansı*, Ankara, 15-16 Kasım 2018.

- [29] Doğruer Ö., Kuşdoğan Ş., Yörükeren N., Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi, *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, 2019, **9**, 28-37.
- [30] Mumyalmaz B., Elektrikli Demiryolu Katener Hattının Kompanzasyonunda Statik VAR Kompanzatorlerinin Kullanılması, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Kütahya 1999, **1**, 65-72
- [31] URL-9:<http://www.elektrikrehberiniz.com/kompanzasyon/tristorlu-kompanzasyon-1059/> (Ziyaret Tarihi: 18 Şubat 2019)
- [32] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Raylı Sistemler Teknolojisi, Sinyalizasyon, Elektrifikasyon ve Haberleşme Tesisleri Ankara, 2011.
- [33] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Görevde Yükselme Sınavı Ders Notları, Ankara, 2014.
- [34] Sönmez M., Gebze-Köseköy Arası Konvansiyonel Hat Katener Sistemleri Projesi, İstanbul, 2019.
- [35] UIC 799, Characteristics of direct-current overhead contact systems for lines worked at speeds of over 160 km/h and up to 250 km/h, International Union of Railways, France, 2000.
- [36] TS EN 61109, İzolatörler, Havai Hatlar İçin Anma Gerilimi 1000 V'tan Büyük AC Sistemler İçin Kompozit Askı ve Gergi İzolatörleri Tarifler Deney Metotları ve Kabul Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009
- [37] TS EN 62217, İzolatörler, Polimer Esaslı Anma Gerilimi 1000 V'tan Büyük Olan Bina İçi ve Bina Dışı Kullanım İçin Genel Tarifler Deney Metotları ve Kabul Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010
- [38] Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E., *Contact Lines For Electric Railways*, Second Edition, Publicis Corporate Publishing, Germany, 2009.
- [39] Sertöz M., Raylı Sistemlerde Enerji Verimliliği, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2012,

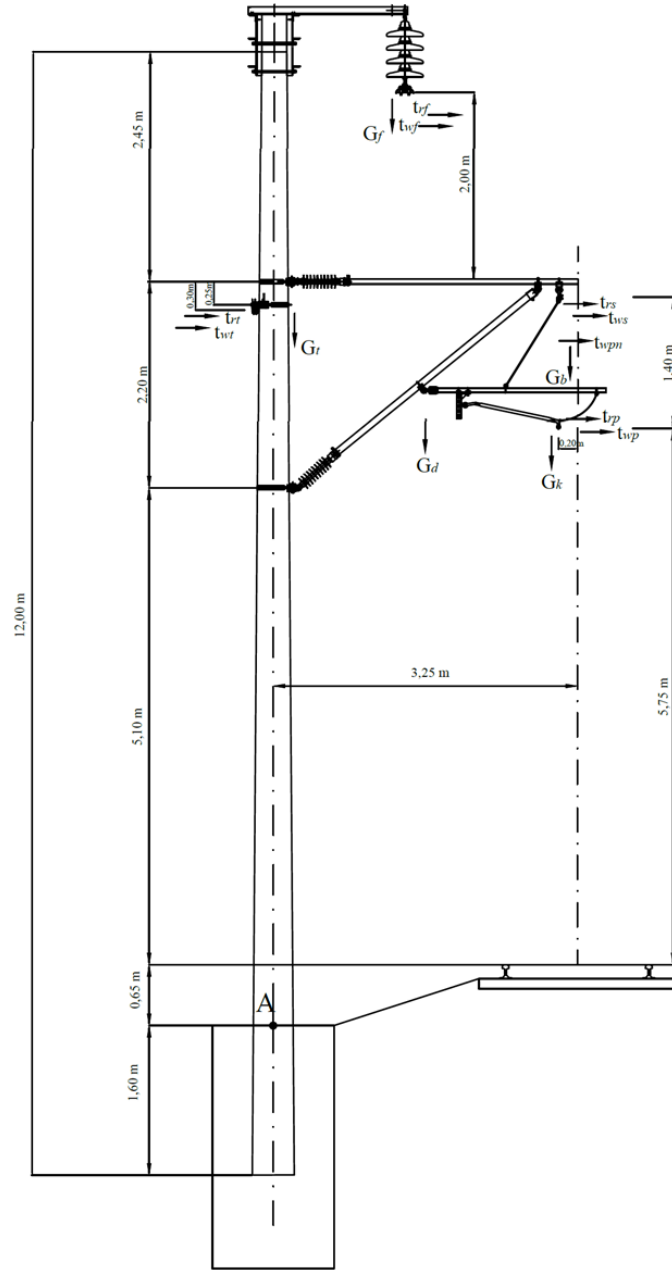


EKLER

EK-A

Örnekleme:

R:1100 m olan kurplu yolda 1 seyir teli, 1 portör teli, 1 fider teli ve 1 geri dönüş iletkeni taşıyan, çekiye çalışan 12 metre boyunda ve 1,60 m batmaya sahip, 5,75 m seyir teli yüksekliği olan ana hat direğinin ankastraman noktasına etkileyen moment hesabı:



Şekil A.1. Katener direğine etkileyen yükler

$$M_t = [(M_r + M_p) \times 1,5] + (M_w \times 1,3)$$

$$R = 1100 \text{ metre}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = a = 49,5 \text{ metre}$$

$$f_1 = f_2 = f_3 = f = 24 \text{ cm (çekiye)}$$

$$I = 3,25 \text{ m (emplantasyon)}$$

$$h_s = 6,40 \text{ m (seyir teli yüksekliği)}$$

$$s_y = 1,40 \text{ m (sistem yüksekliği)}$$

Direk kurplu bölgede olduğundan $D = 2 F$ olur.

$$F = \frac{a^2}{2R} \text{ ise } D = \frac{a^2}{R} \text{ olur.}$$

$$t = \frac{T \times D}{a} \text{ olduğundan } t = \frac{a \times t}{2} \text{ olur.}$$

$$T_f = 1496 \text{ kg (fider iletkenindeki maksimum gerilme)}$$

$$T_t = 1105 \text{ kg (geri dönüş iletkenindeki maksimum gerilme)}$$

$$T_p = 1200 \text{ kg (portör telindeki gerilme)}$$

$$T_s = 1200 \text{ kg (seyir iletkenindeki gerilme)}$$

$$t = \frac{a \times T}{R}$$

$$t_{rf} = \frac{49,5 \times 1496}{1100} = 67,32 \text{ kg (fider teli iletkenindeki radyal gerilme)}$$

$$t_{rt} = \frac{49,5 \times 1105}{1100} = 49,73 \text{ kg (geri dönüş iletkenindeki radyal gerilme)}$$

$$t_{rp} = \frac{49,5 \times 1200}{1100} = 54 \text{ kg (portör teli iletkenindeki radyal gerilme)}$$

$$t_{rs} = \frac{49,5 \times 1200}{1100} = 54 \text{ kg (seyir teli iletkenindeki radyal gerilme)}$$

Mr: Radyal gerilmeden dolayı oluşan Moment

$$Mr = (t_{rf} \times h_f) + (t_{rt} \times h_t) + (t_{rp} \times h_p) + (t_{rs} \times h_s)$$

h_f: Fider İletkeni- Direk ankastraman noktası (A) arası mesafe = 9,95 metre

h_t: Geri Dönüş İletkeni-Direk ankastraman noktası (A) arası mesafe = 7,65 metre

h_p: Portör teli-Direk ankastraman noktası (A) arası mesafe = 7,80 metre

h_s: Seyir teli İletkeni-Direk ankastraman noktası (A) arası mesafe = 6,40 metre

$$Mr = (67,32 \times 9,95) + (49,73 \times 7,65) + (54 \times 7,8) + (54 \times 6,4)$$

$$Mr = 1.817,06 \text{ kgm}$$

M_w: Rüzgâr yüklerinden dolayı oluşan moment Denklem (A.1) ile hesaplanır.

$$M_w = (t_{fw} \times h_f) + (t_{tw} \times h_t) + (t_{pw} \times h_p) + (t_{sw} \times h_s) + (p_{nw} \times h_{pn}) + \left(W_D \times \frac{h}{2} \right) + (W_{fk} \times h_f) \text{ (A.1)}$$

t_{fw}: Fider iletkeninin rüzgâr gerilmesi

t_{tw}: Geri dönüş iletkeninin rüzgâr gerilmesi

t_{pw}: Portör telinin rüzgâr gerilmesi

t_{sw}: Seyir iletkeninin rüzgâr gerilmesi

t_{pnw}: Pandül iletkeninin rüzgâr gerilmesi

h: direğin temel üstündeki boyu

h_{pn}: Pandül iletkeni-direk ankrasman noktası arası mesafe

$$h_{pn} = 7,10 \text{ m}$$

$$W_f = 0,9592 \text{ kg/m}$$

$$W_t=0,77 \text{ kg/m}$$

$$W_p=0,5544 \text{ kg/m}$$

$$W_s =0,646 \text{ kg/m}$$

$$W_{pn}=0,317 \text{ kg/m}$$

$$t_{fw}=W_f \times \left(\frac{a_1+a_2}{2} \right)$$

$$t_{fw}=0,9592 \times \left(\frac{49,5+49,5}{2} \right) =47,37 \text{ kg}$$

$$t_{tw}=W_t \times \left(\frac{a_1+a_2}{2} \right)$$

$$t_{tw}=0,77 \times \left(\frac{49,5+49,5}{2} \right) =38,02 \text{ kg}$$

$$t_{pw}=W_p \times \left(\frac{a_1+a_2}{2} \right)$$

$$t_{pw}=0,5544 \times \left(\frac{49,5+49,5}{2} \right) =27,37 \text{ kg}$$

$$t_{sw}=W_s \times \left(\frac{a_1+a_2}{2} \right)$$

$$t_{sw}=0,646 \times \left(\frac{49,5+49,5}{2} \right) =31,91 \text{ kg}$$

$$t_{pnw}=W_{pn} \times 0,25 \times \left(\frac{a_1+a_2}{2} \right)$$

$$t_{pnw}=0,317 \times 0,25 \times \left(\frac{49,5+49,5}{2} \right) =3,91 \text{ kg}$$

W_D : Direğe gelen rüzgâr yükü

D: Beton direğin çapı(B3-B4 direğinin tepe çapı ve alt çapının ortalama değeri 32 cm)

h: Direğin temel üstündeki boyu (10,40 m)

$$W_D=23,1 \times D \times h$$

$$W_D=23,1 \times 0,32 \times 10,4$$

$$W_D=76,88 \text{ kg}$$

W_{fk} : Zincir izolatörüne gelen rüzgâr yükü

D_z : Zincir izolatörünün çapı (28 cm)

h_z : Zincir izolatörünün boyu (70 cm)

$$W_{fk}=23,1 \times D_z \times h_z$$

$$W_{fk}=23,1 \times 0,28 \times 0,7$$

$$W_{fk}=4,53 \text{ kg}$$

$$M_w=(t_{fw} \times h_f)+(t_{tw} \times h_t)+(t_{pw} \times h_p)+(t_{sw} \times h_s)+(pnw \times h_{pn})+\left(W_D \times \frac{h}{2}\right)+(W_{fk} \times h_f)$$

$$M_w=(47,37 \times 9,95)+(38,02 \times 7,65)+(27,37 \times 7,8)+(31,91 \times 6,4)+(3,91 \times 7,1)+$$

$$\left(76,88 \times \frac{10,4}{2}\right)+(4,53 \times 9,95)$$

$$M_w=471,33+290,85+213,49+204,22+27,76+399,78+45,07$$

$$M_w=1.652,44 \text{ kgm}$$

M_p : Düşey yüklerden dolayı oluşan moment Denklem (A.2) ile hesaplanır.

$$M_p=[G_k \times (I-f)]+[G_d \times (I/2)]+[G_f \times I_f]+[G_t \times D]+[G_b \times I] \quad (A.2)$$

G_k : Katenerin ağırlığı

G_d : Konsol-Hoban donanımının ağırlığı (60 kg ortalama donatı ağırlığı)

G_f : Fider iletkeni, fider traversi ve izolatörün ağırlığı

G_t : Geri dönüş iletkeni ve bağlantısının ağırlığı

G_b: Personel ağırlığı ve buz yükü

I: 3,25 Emplantasyon

I_f: 1,40 m (fider traversinin uzatmasının uzunluğu)

D: 32 cm (Beton direğin ortalama çapı)

s_y: 1,40 m Sistem yüksekliği

q_k: 1,553 kg/m (Katenerin bir metresinin ağırlığı)

q_f: 0,975 kg/m (fider iletkeninin bir metresinin ağırlığı)

g_{fi}: 12 kg (fider izolatörünün ağırlığı)

g_{ft}: 20 kg (fider traversinin ağırlığı)

q_t: 0,676 kg/m (TS EN 50182 Standardına göre geri dönüş iletkeninin bir metresinin ağırlığı)

g_{tb}: 1,6 kg (Geri dönüş iletkeni katener direği bağlantı parçasının ağırlığı)

$$G_k = q_k \times \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{A.3})$$

$$G_k = 1,553 \times (49,5 + 49,5) / 2$$

$$G_k = 76,87 \text{ kg}$$

$$G_f = [q_f \times (a_1 + a_2) / 2] + g_{fi} + g_{ft} / 2 \quad (\text{A.4})$$

$$G_f = [0,975 \times (49,5 + 49,5) / 2] + 12 + 20 / 2$$

$$G_f = 70,26 \text{ kg}$$

$$G_t = [q_t \times (a_1 + a_2) / 2] + (g_{tb} / 2) \quad (\text{A.5})$$

$$G_t = [0,676 \times (49,5 + 49,5) / 2] + (1,6 / 2)$$

$$G_t=34,26 \text{ kg}$$

EKATY'ye göre göre personel ağırlığı ve buz yükü Denklem (A.6) ve Denklem (A.7) ile hesaplanır.

$$G_b=[g_{bt} \times (a_1+a_2)/2]+120 \quad (\text{A.6})$$

$$g_{bt}=0,36 \times \sqrt{d} \quad (\text{A.7})$$

$$g_{bt} = \left[0,36 \times \left(\sqrt{d_f} + \sqrt{d_t} + \sqrt{d_p} + \sqrt{d_s} \right) \right] + \left[0,25 \times 0,36 \times \sqrt{d_{pn}} \right]$$

$$g_{bt} = \left[0,36 \times \left(\sqrt{0,0218} + \sqrt{0,0175} + \sqrt{0,0105} + \sqrt{0,01224} \right) \right] + \left[0,25 \times 0,36 \times \sqrt{0,006} \right]$$

$$g_{bt} = \left[0,36 \times (0,493) \right] + \left[0,25 \times 0,36 \times 0,077 \right]$$

$$g_{bt} = 0,1844 \text{ kg (toplam iletkenlerin metre başına buz yükü)}$$

$$G_b = \left[0,1844 \times (49,5 + 49,5) / 2 \right] + 120 = 129,13 \text{ kg}$$

$$M_p = [G_k \times (I-f)] + [G_d \times (I/2)] + [G_f \times I_f] + [G_t \times D] + [G_b \times I]$$

$$M_p = [76,87 \times (3,25 - 0,24)] + [60 \times (3,25/2)] + [70,26 \times 1,4] + [34,26 \times 0,32] + [129,13 \times 3,25]$$

$$M_p = 857,86 \text{ kgm}$$

Mt: Katener direğine etkiyen bütün yüklerden dolayı oluşan moment

$$M_t = [(M_r + M_p) \times 1,5] + (M_w \times 1,3)$$

$$M_t = [(1817,03 + 857,86) \times 1,5] + (1652,44 \times 1,3)$$

$$M_t = 6.160,50 \text{ kgm}$$

Direğin brüt momenti 6.160,50 kgm olarak bulunur.

EK-B

Örnekleme:

Prizmatik temel bloklarından TP1 temel boyutlarında kullanım alanı nemli ve killi olan Pt:1 kg/cm² zemin için direğin emniyetli yatma momenti:

a: 1,10 m

b: 1,30 m

H: 1,80 m

Pt: 1 kg/cm² için C_T≈ 4 kg/cm²

TP-1 tipi temelde H=1,80 metre olduğundan t=1,75 metre olur.

$$C_t = \frac{C_T}{2} \times t$$

$$C_t = \frac{4}{2} \times 1,75 = 3,5$$

$$C_b = C_t \times 1,2 = 4,2 \text{ kg/cm}^3$$

M_S: Yüzey direnç momenti olup Denklem (B.1) ile hesaplanır.

$$M_S = \frac{b \times t^3}{72} \times C_t \times 10^4 \quad (\text{B.1})$$

$$M_S = \frac{1,3 \times 1,75^3}{72} \times 3,5 \times 10^4$$

M_S=3386,82 kgm olur.

M_b tabanın direnç momentidir ve Denklem (B.2) ile hesaplanır.

$$M_b = G \times \left(\frac{\alpha}{2} - 0,00666 \times \sqrt{\frac{G}{b \times C_b}} \right) \quad (\text{B.2})$$

G temel bloğunun, direğin ve direk üzerindeki ekipmanların toplam ağırlığıdır.

$$G = TBA + G_D + G_E$$

$$TBA = (a \times b \times H) \times 2000 - \left(3,14 \times \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times h \right) \times 2000 \quad (B.3)$$

(1 m³ donatısız C16 betonunun minimum ağırlığı 2000kg)

$$TBA = (1,1 \times 1,3 \times 1,8) \times 2000 - \left(3,14 \times \left(\frac{0,45}{2} \right)^2 \times 1,40 \right) \times 2000$$

$$TBA = (1,1 \times 1,3 \times 1,8) \times 2000 - \left(3,14 \times \left(\frac{0,45}{2} \right)^2 \times 1,40 \right) \times 2000$$

$$TBA = 4.702,905$$

$$G_D = B2-10 \text{ direği için direk ağırlığı} = 1.260 \text{ kg}$$

$G_E =$ Direk üstü ekipmanların ağırlığı = 120 kg(izolatörler, bağlantı parçaları, borular, traversler, askı malzemeler, gergi montajı gibi direk üstündeki ekipmanların ağırlıklarının toplamıdır)

$$G = TBA + G_D + G_E \quad (B.4)$$

$$G = 4.702,905 + 1.260 + 120$$

$$G = 6.082,905$$

$$M_b = 6.082,905 \times \left(\frac{1,1}{2} - 0,00666 \times \sqrt{\frac{6.082,905}{1,3 \times 4,2}} \right)$$

$$M_b = 1.993,38$$

$$M_{es} = M_S + M_b$$

$$M_{es} = 3.386,82 + 1.993,38$$

$$M_{es} = 5.380,21$$

Eğer M_s değeri M_b değerinden küçükse M_{es} değerine s güvenlik faktörü uygulanarak M'_{es} değeri bulunur.0,0125

Tablo B.1. s güvenlik faktörü katsayıları

		Ms/Mb					
Emniyet Katsayısı	1,5	0					
	1,3		0,2				
	1,2			0,4			
	1,1				0,6		
	1,05					0,8	
	1						1

$$M'_{es} = \frac{1}{s} \times M_{es}$$

Örneklenen temel tipinde M_s/M_b oranı 1'den büyük olduğu için,

$$M'_{es} = 1 \times 5.380,21 = 5.380,21 \text{ kgm bulunur}$$

M_v : Temelin yatma momenti

L: Yükün ortalama uygulama yüksekliğidir. Konvansiyonel hatlarda nominal seyir teli yüksekliği 5,75 metre olup prizmatik temel için bu değer 6,15 metre alınabilir.

$$M_v = M'_{es} \times \frac{L}{L + 0,1 + \frac{2t}{3}} \quad (B.5)$$

$$M_v = 5.380,21 \times \frac{6,15}{6,15 + 0,1 + \frac{2 \times 1,75}{3}}$$

$$M_v = 4.461,34 \text{ kgm}$$

Bulunan M_v değeri TS EN 50119 standardına göre yapısal yatma momenti olup emniyetli yatma momenti için bu değer 1,2'ye bölünür.

$$M_d = \frac{M_v}{1,2}$$

$$M_d = \frac{4.461,34}{1,2}$$

$M_d = 3.717,78$ kgm direğin emniyetli yatma momenti bulunur.



EK-C

Örnekleme:

Üç yollu ve tekli donatılar taşıyan portal donanımını iki adet B4-11 direği üzerindeki 16 metre uzunluğunda bomla taşıyan prizmatik forma sahip temel için öngörülen PS-3 temelinin boyutları:

a: 1,40 m b:1,60 m H:2,20 m

P_t:2,0 kg/cm² → C_T ≈6 kg/cm²

PS-3 tipi temelde H =2,20 metre olduğundan → t = 2,15 metre olur.

(Hesaplamalarda temel yüksekliğin 5 cm düşürülerek t = 2,15 cm alınması daha güvenli olacaktır.)

$$C_t = \frac{C_T}{2} \times t$$

$$C_t = \frac{6}{2} \times 1,95 = 5,85 \text{ kg/cm}^3$$

C_b = C_t × 1,2 = 7,02 kg/cm³ olur.

$$M_S = \frac{b \times t^3}{72} \times C_t \times 10^4 = \frac{1,5 \times 2,15^3}{72} \times 5,85 \times 10^4 = 14.245 \text{ kgm}$$

$$M_b = G \times \left(\frac{\alpha}{2} - 0,00666 \times \sqrt{\frac{G}{b \times C_b}} \right) - L \times T_r$$

G: Temel bloğunun ağırlığı, direk ve ekipmanın ağırlığı, bomun kısmi ağırlığı

T_r: Boma gelen rüzgar kuvveti

L: Yükün ortalama uygulama yüksekliği

b: Temel bloğunun güzergâha paralel yöndeki boyutu

a: Temel bloğunu üst kısmının güzergâha dik yöndeki boyutu

C_b: Temel bloğunun tabanındaki sıkışma faktörü

G= Direğin ağırlığı + Donatının kısmi ağırlığı + Temel bloğunun ağırlığı + Bomun kısmi ağırlığı

Direğin Ağırlığı: 1805 kg (B4-11 direği için)

Donatının Kısmi Ağırlığı: Direk üzerindeki silikon izolatörler, bağlantı parçaları, borular + traversler + askı malzemeleri + gergi montajı gibi çeşitli ek donanımların toplam ağırlığına 120 kg diyecek olursak 3 yollu portal için bu ağırlık 360 kg olur. Bu değer portalda yer alan toplam ağırlık olup direk başına düşen ağırlık 180 kg'dır.

Temel Bloğunun Ağırlığı:

$$TBA=(a \times b \times H) \times 2000 - \left(3,14 \times \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times h \right) \times 2000$$

$$TBA=(1,4 \times 1,6 \times 2,2) \times 2000 - \left(3,14 \times \left(\frac{0,45}{2} \right)^2 \times 1,4 \right) \times 2000 = 9.411 \text{ kg}$$

Bomun Kısmi Ağırlığı: 3 yollu portalın ağırlığı ortalama 1440 kg olup bir direk başına düşen ağırlık 720 kg'dır.

$$G=1805 \text{ kg} + 180 \text{ kg} + 9410 \text{ kg} + 720 \text{ kg} = 12115 \text{ kg'dır.}$$

L değeri yükün ortalama uygulama yüksekliğidir. TS EN 50119 standartlarına göre nominal seyir teli yüksekliği 5,75 metre olup bu değerlerde yükün ortalama yüksekliğini 6,55 metre alabiliriz. 3 yollu portalın uzunluğu ortalama 16 metre olup metre başına gelen rüzgâr kuvveti 25 kg diyecek olursak, portala gelen toplam rüzgâr kuvveti 400 kg'dır. Her bir direğe düşen rüzgâr kuvveti ise 200 kg'dır.

$$M_b = 12115 \times \left(\frac{1,4}{2} - 0,00666 \times \sqrt{\frac{12115}{1,6 \times 7,02}} \right) - 200 \times 6,55 = 4647,20 \text{ kgm}$$

$$M_{es} = M_s + M_b = 14.245 + 4647,20 = 18.892,21 \text{ kgm}$$

M_s / M_b 1'den büyük olduğu için s güvenlik faktörü katsayısı 1 alınır.

$$M'_{es} = \frac{1}{s} \times M_{es} = 18.892,21 \text{ kgm}$$

$$M_v = M'_{es} \times \frac{L}{L + 0,1 + \frac{2t}{3}} = 18.892,21 \times \frac{6,55}{6,55 + 0,1 + \frac{2 \times 2,15}{3}} = 15.308,5 \text{ kgm}$$

Bulunan yapısal yatma momenti TS EN 50119 standardına göre 1,2'ye bölünerek emniyetli yatma momenti bulunur.

$$M_d = \frac{M_v}{1,2} = \frac{15.308,5}{1,2} = 12.757,11 \text{ kgm bulunur.}$$



EK-D

Örnekleme:

Yere lenteli kullanılan AP 6 tipi temeli örnekleyecek olursak;

a= 1,2 metre

b= 1,8 metre

H= 2,3 metre

Tt=1200 kg

t = H - 0,1

$$T = \frac{T_t + (0,4 \times (a+b) + 0,213 \times t) + (a \times b \times h \times 2000)}{s}$$

$$T = \frac{1200 + (0,4 \times (1,2 + 1,8) + 0,213 \times 2,2) + (1,2 \times 1,8 \times 2,2 \times 2000)}{2,5}$$

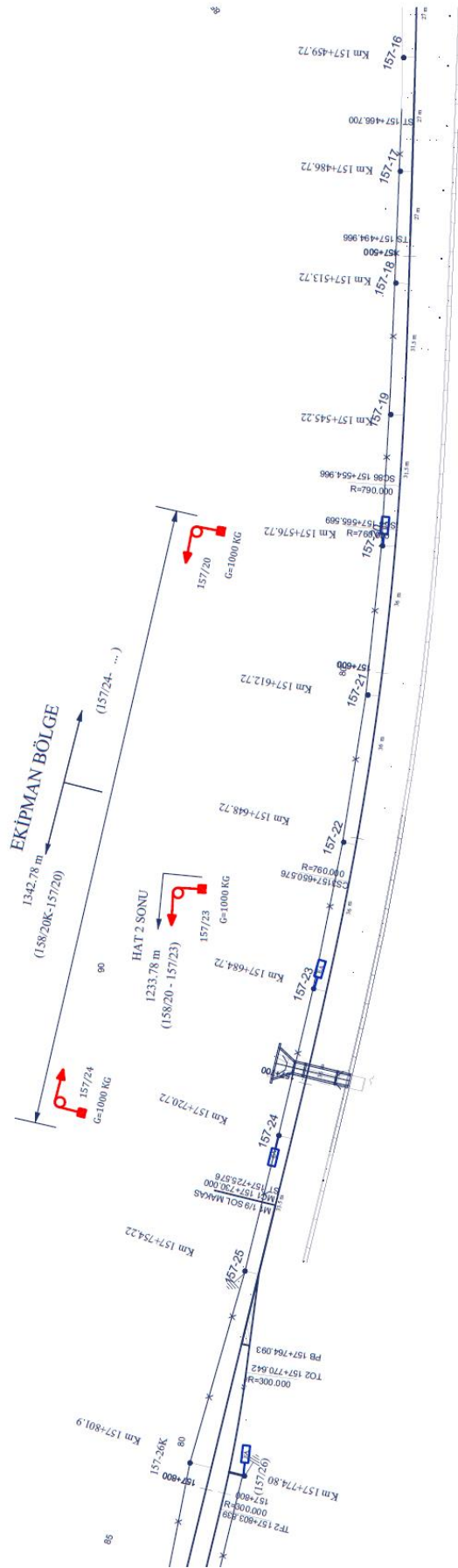
T=4.602,52 kg

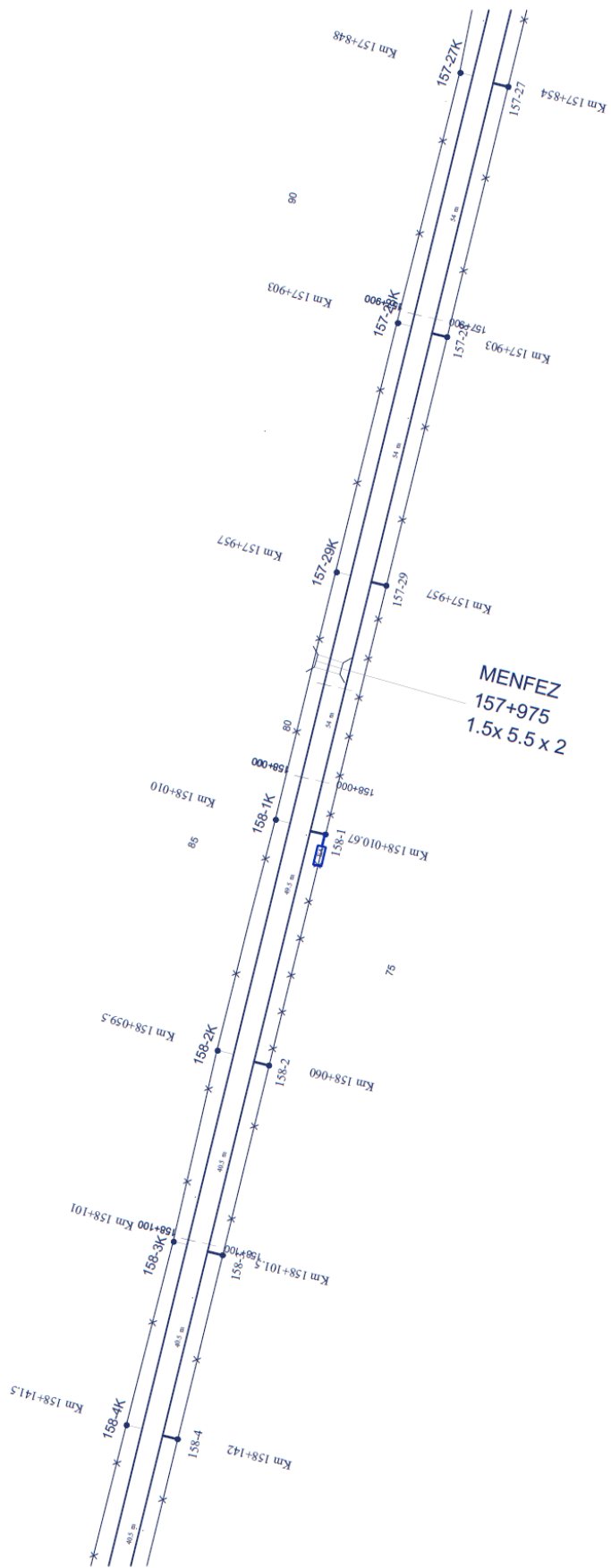
Bulunan ankraj temelinin kuvveti 1,2'ye bölünerek emniyetli germe kuvveti bulunur.

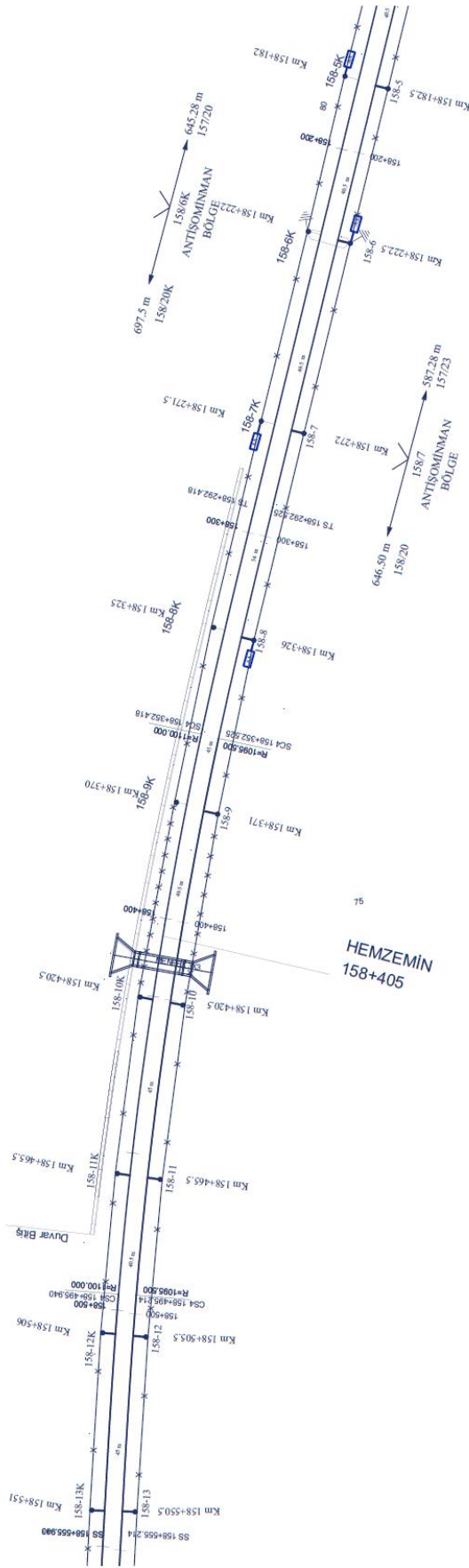
$$T_d = \frac{4.602,52}{1,2} = 3.835,44 \text{ kg olarak bulunur.}$$

Ek-F Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arası piketaj planı





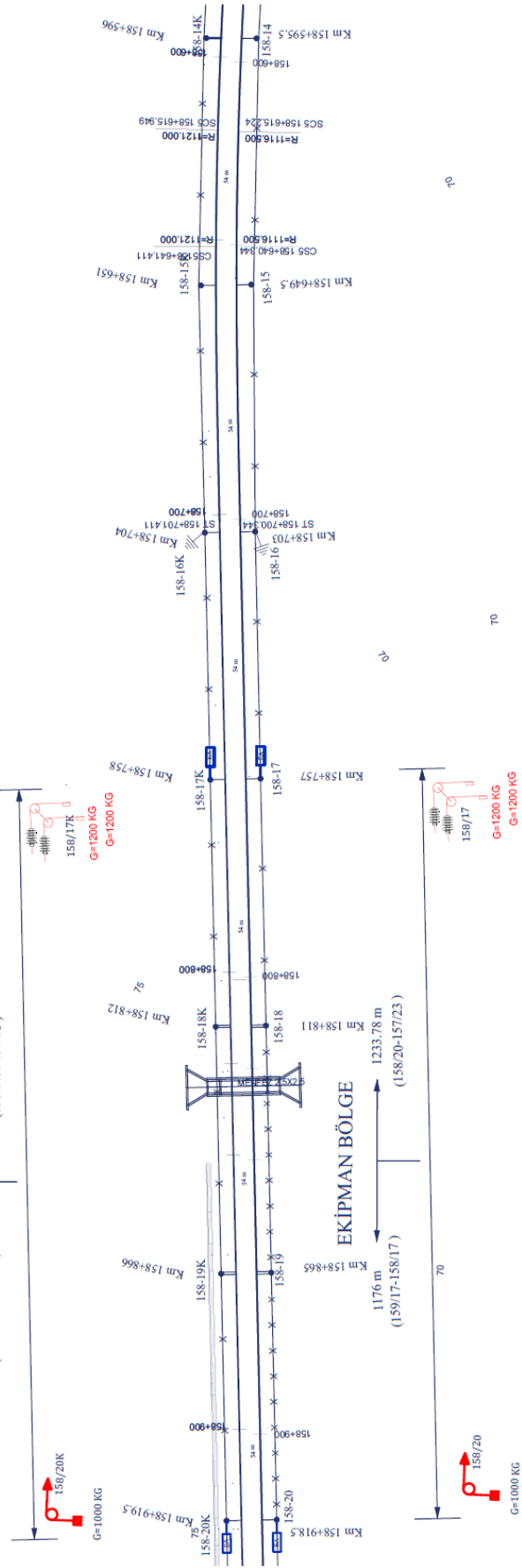


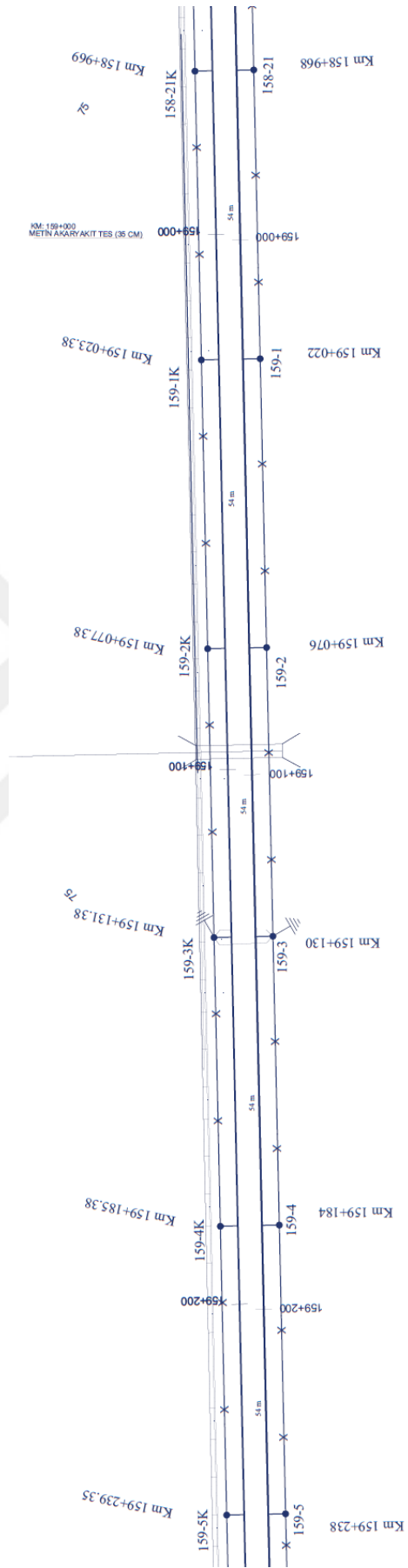


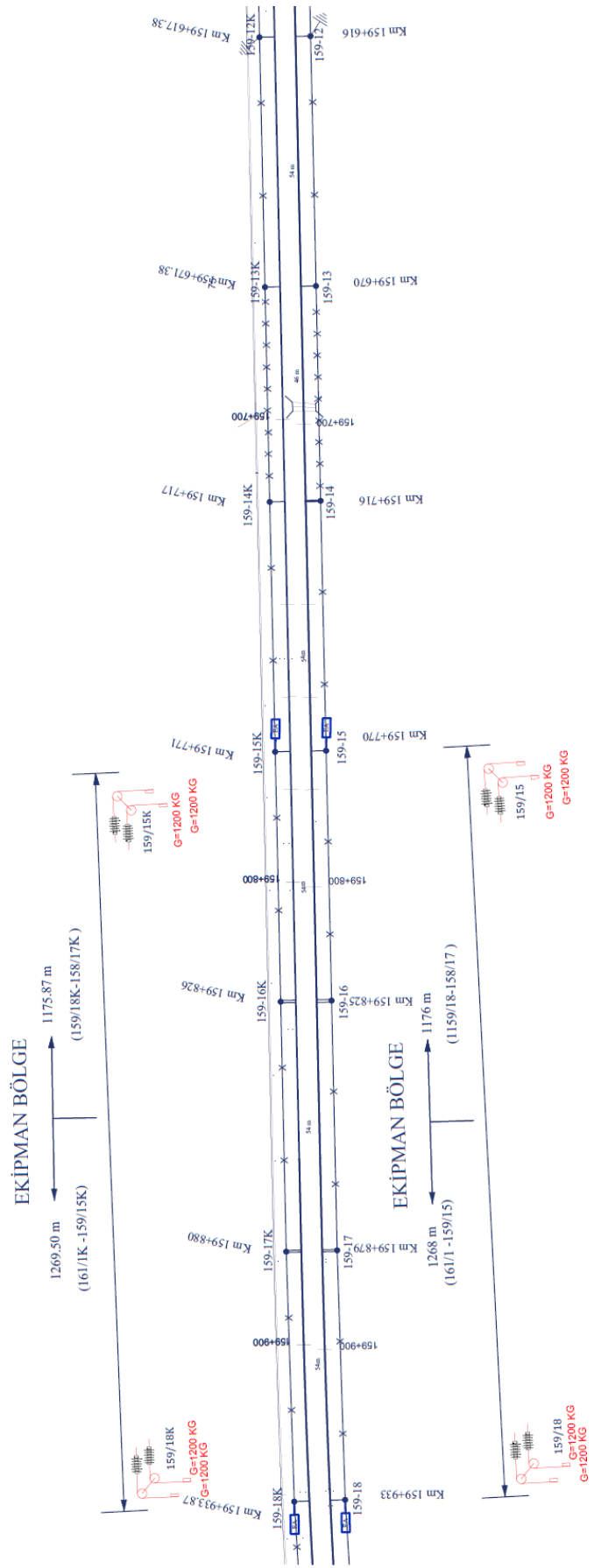
EKİPMAN BÖLGE

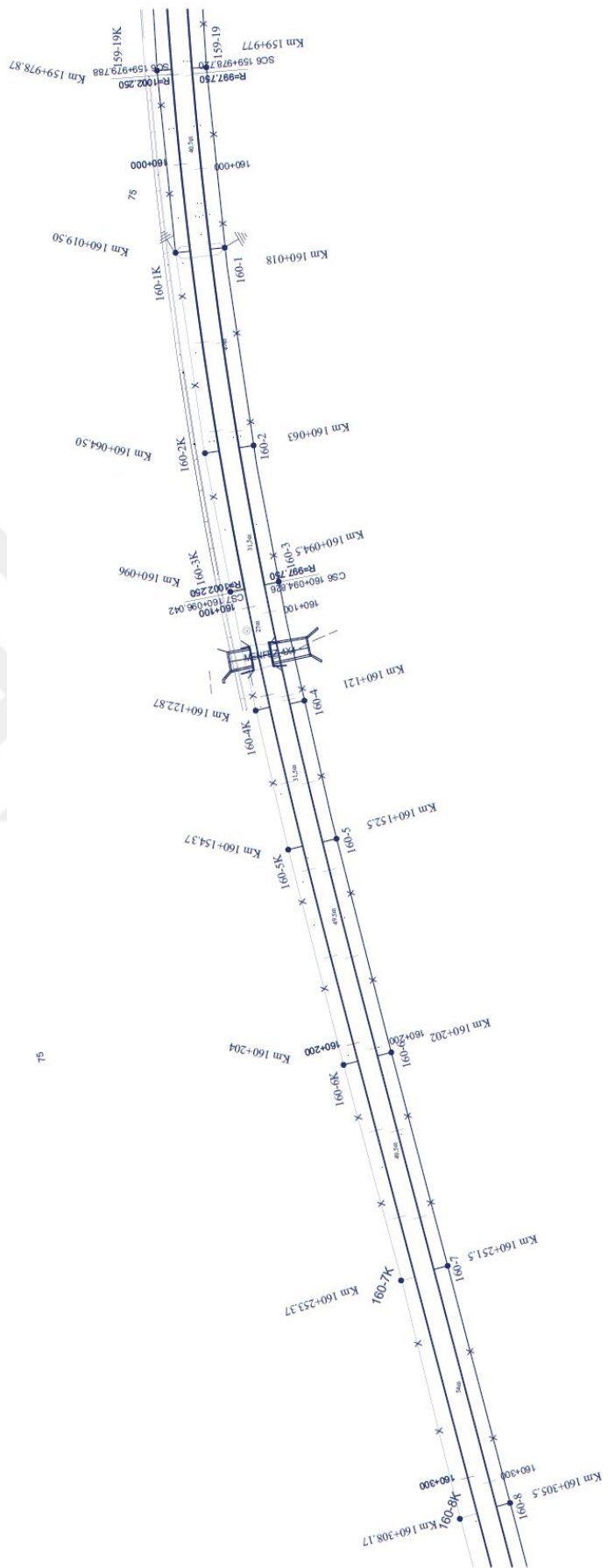
1175,87 m
(159/18K-158/17K)

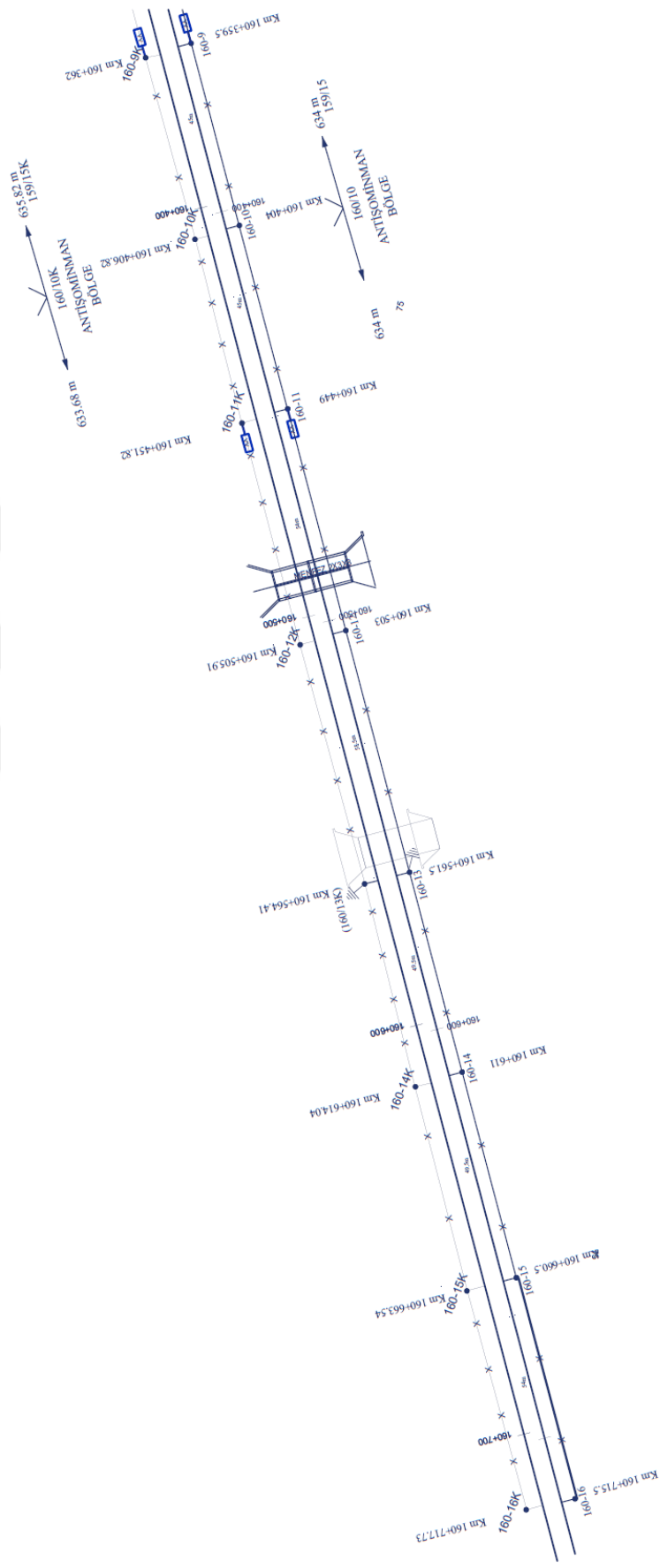
1342,78 m
(158/20K-157/20)

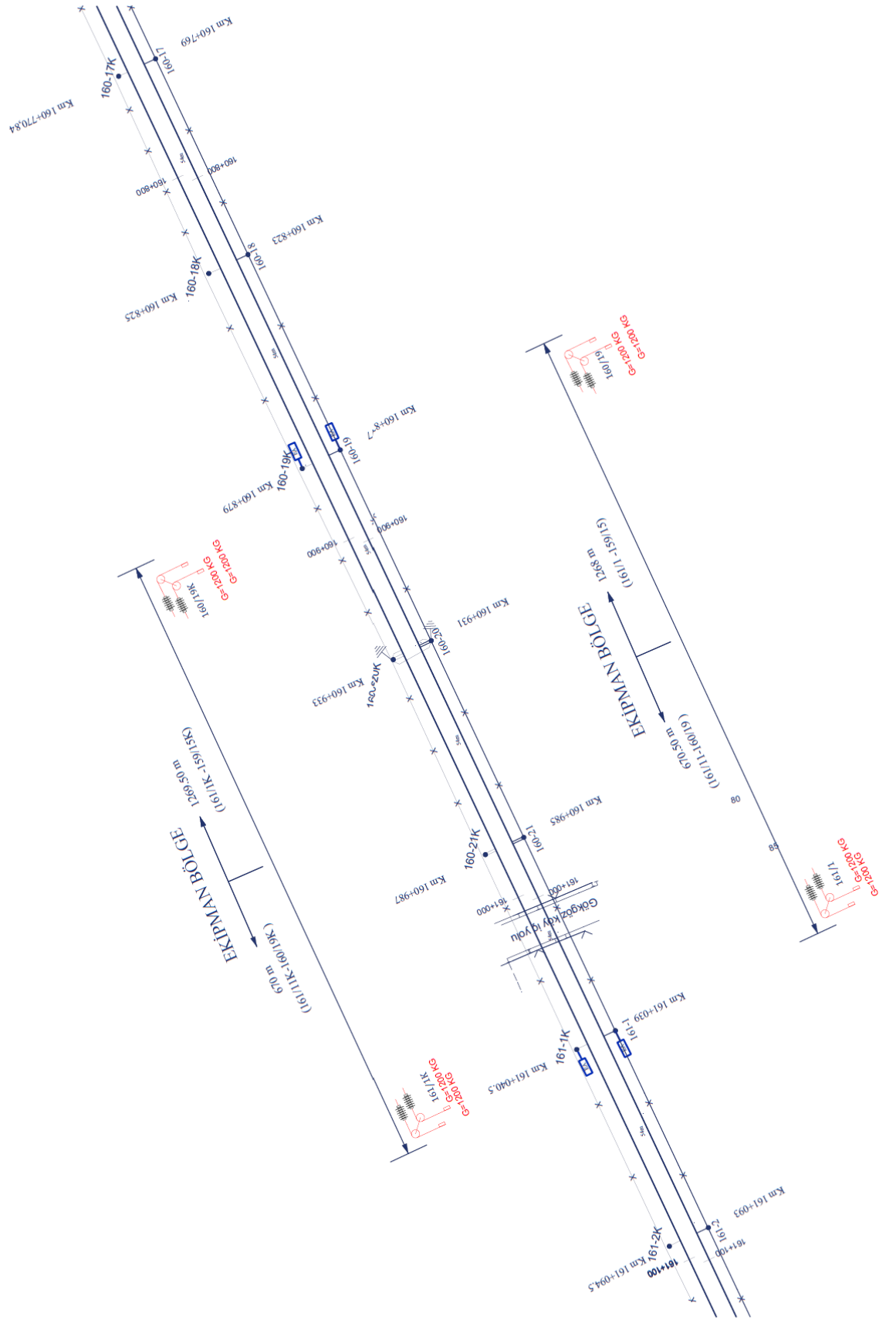


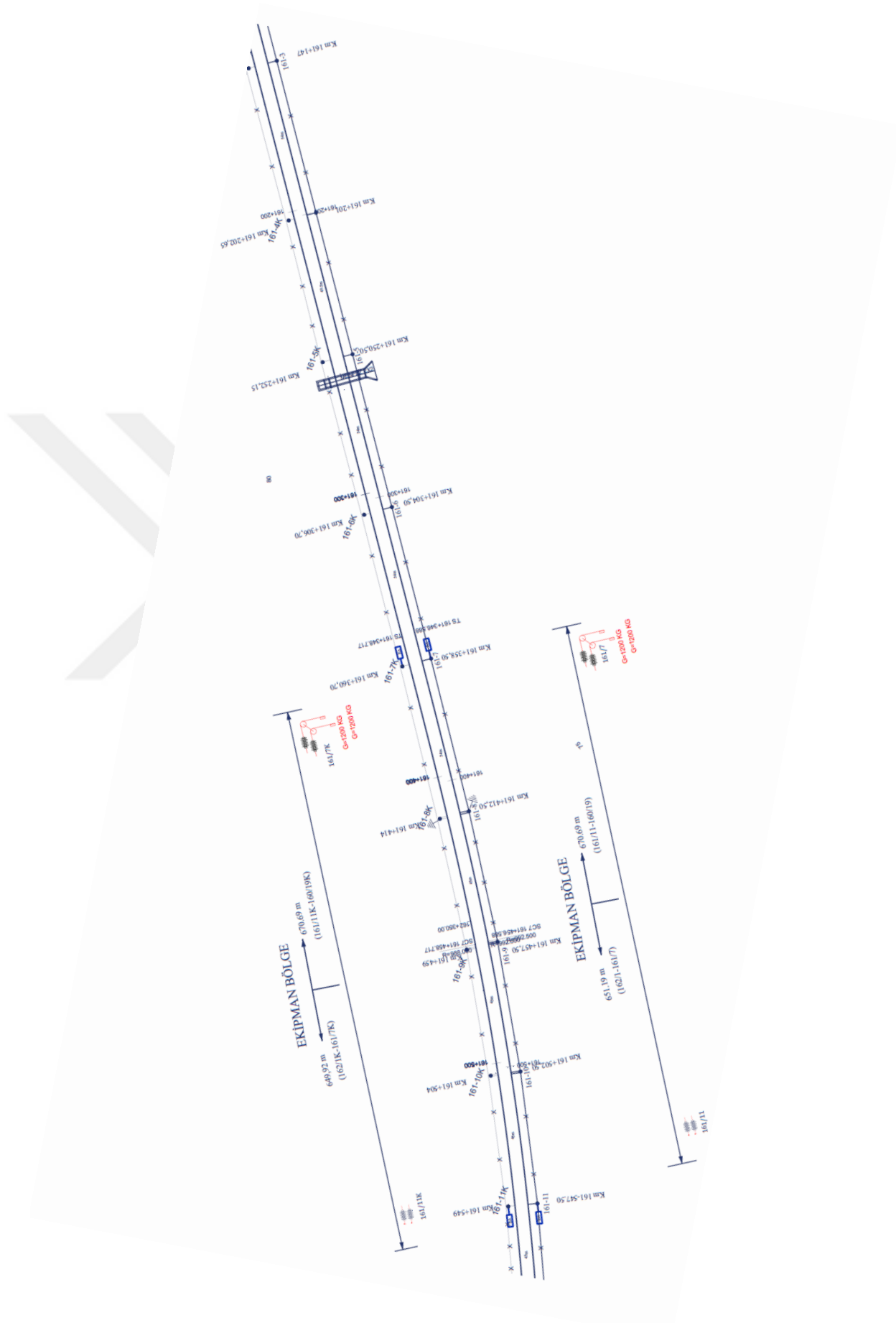












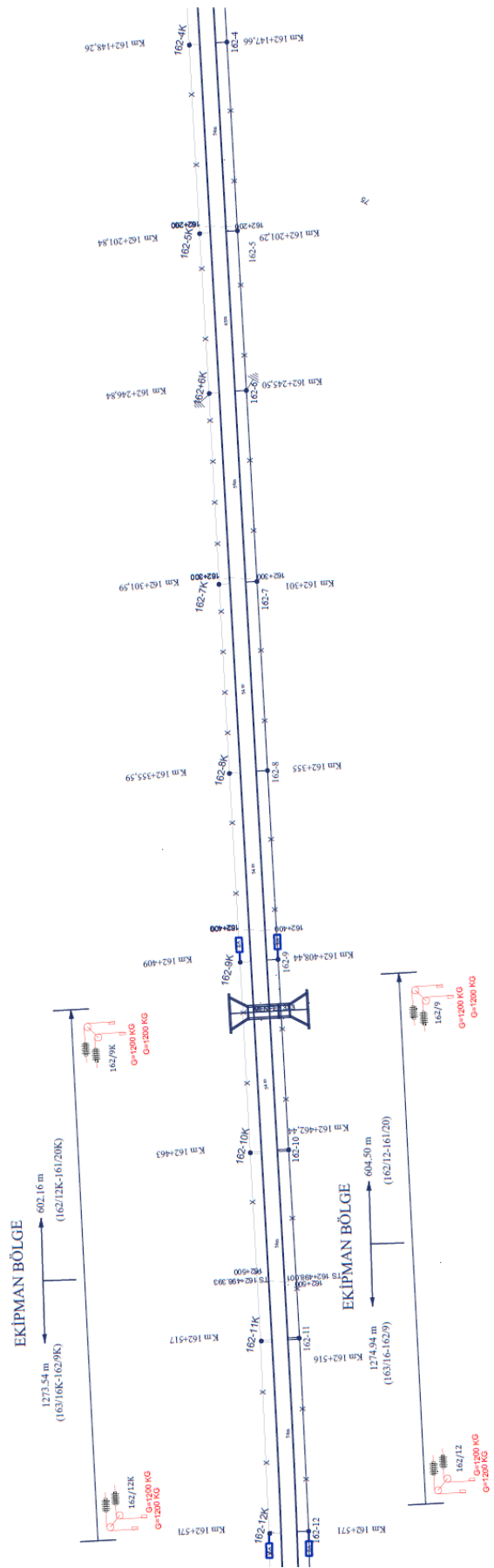
NÖTR BÖLGE

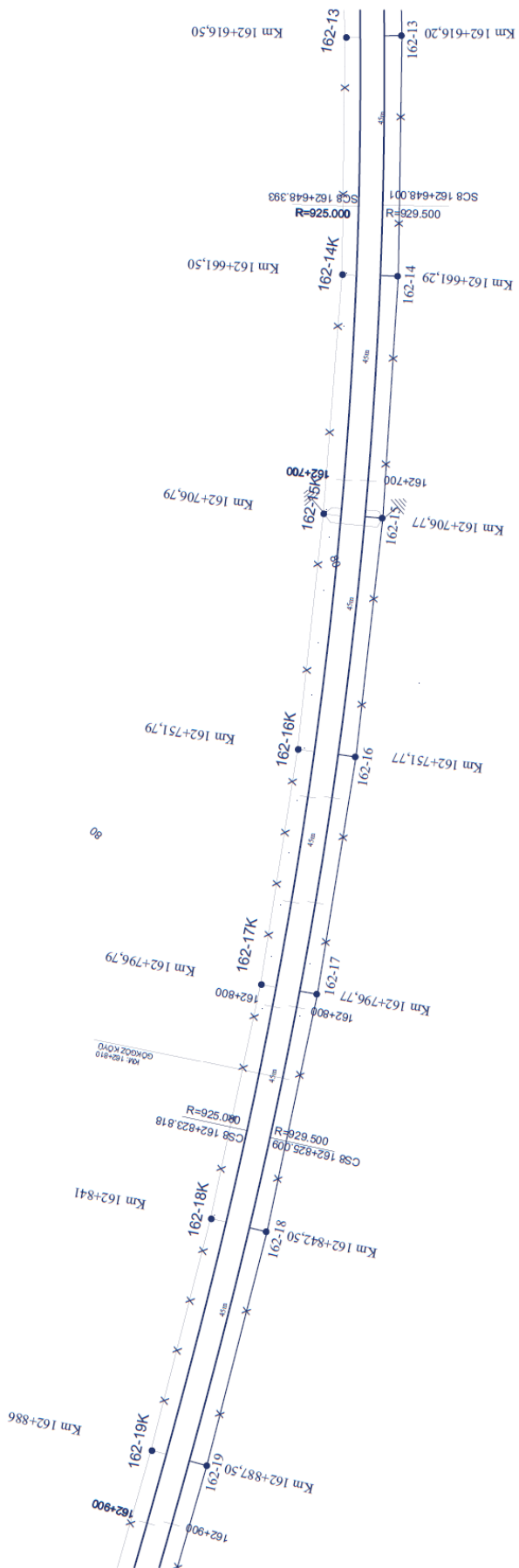
602,16 m
(162/12K-161/20K) EKİPMAN

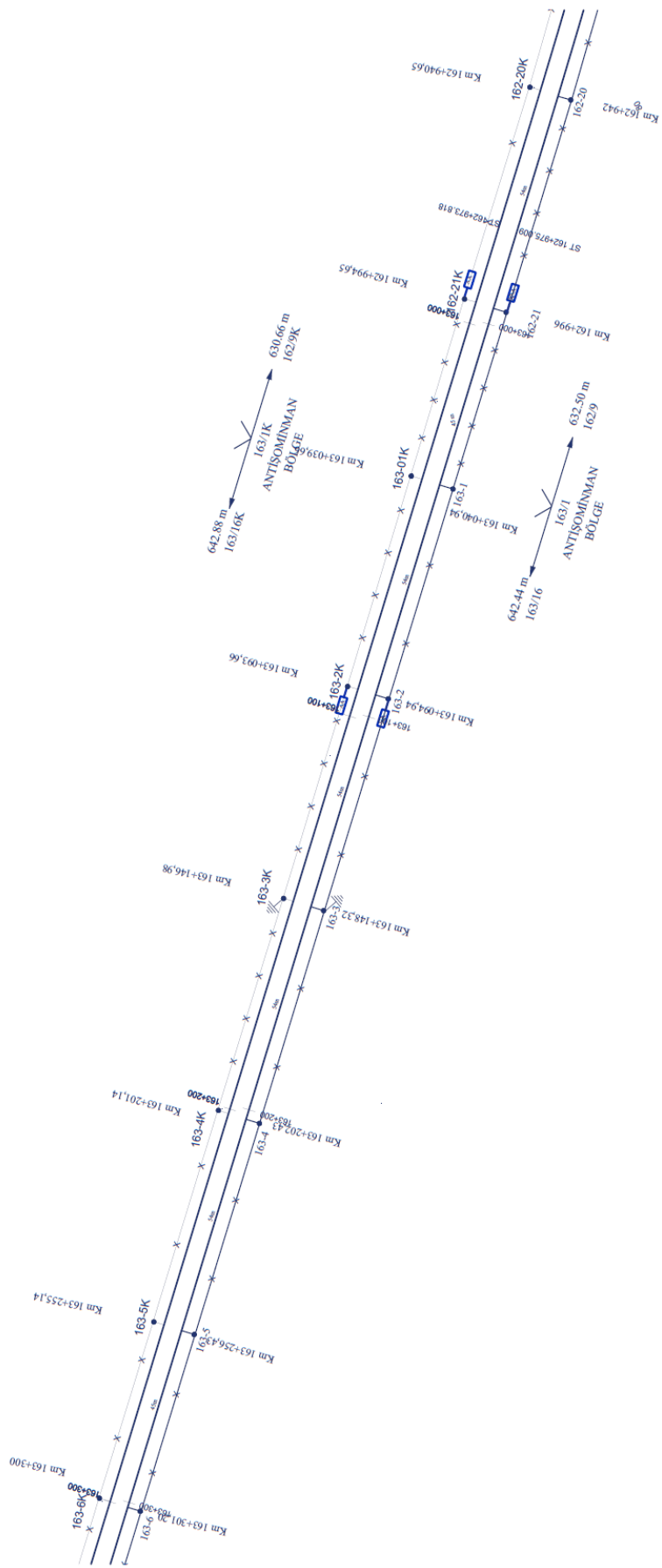
311,53 m
(162/1K-161/7K) NÖTR BÖLGE

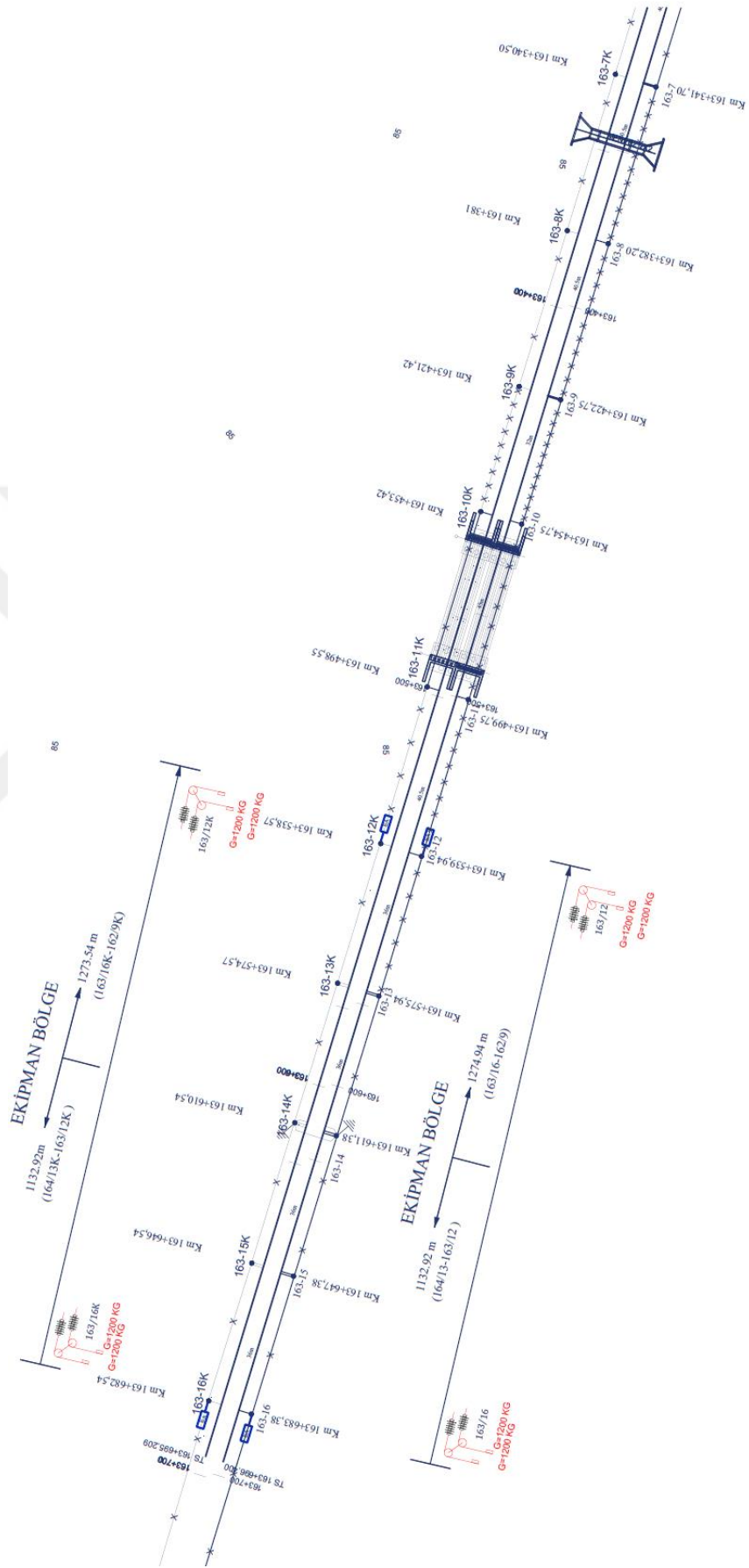


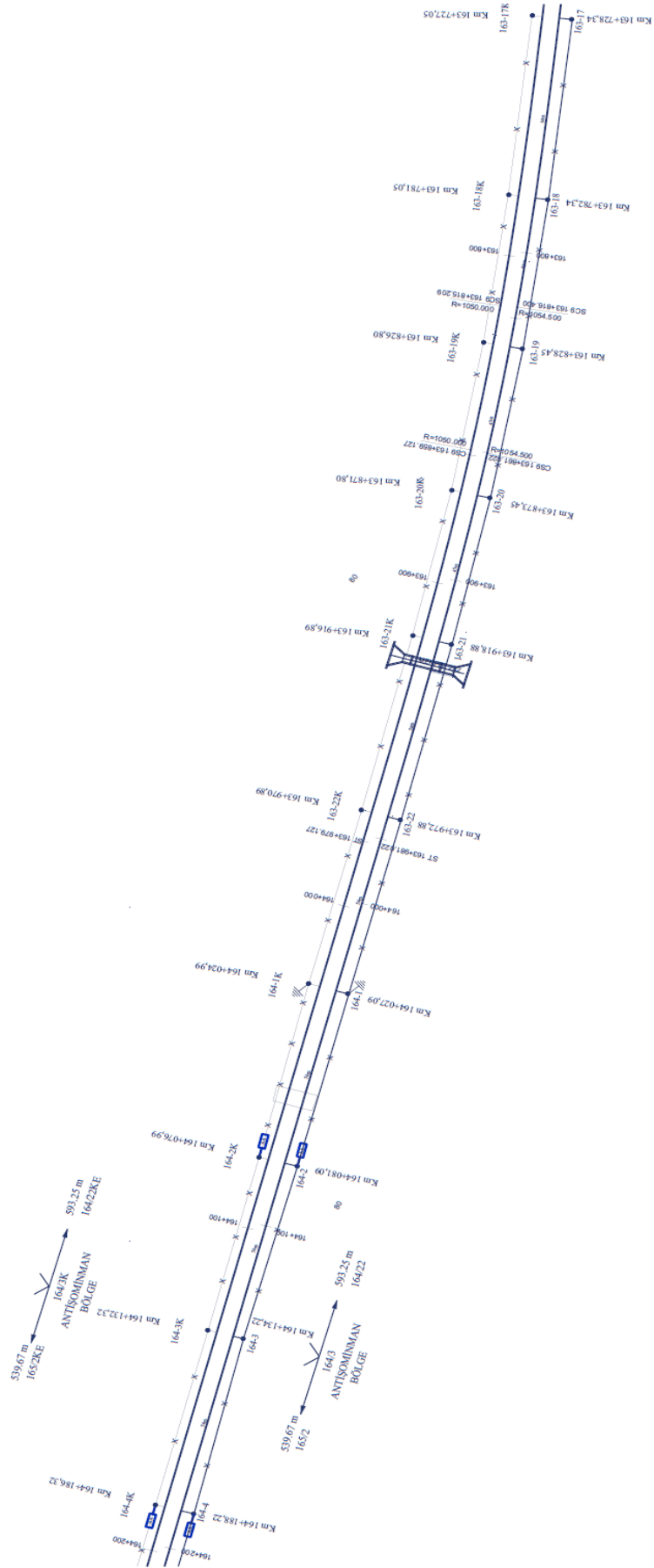
78

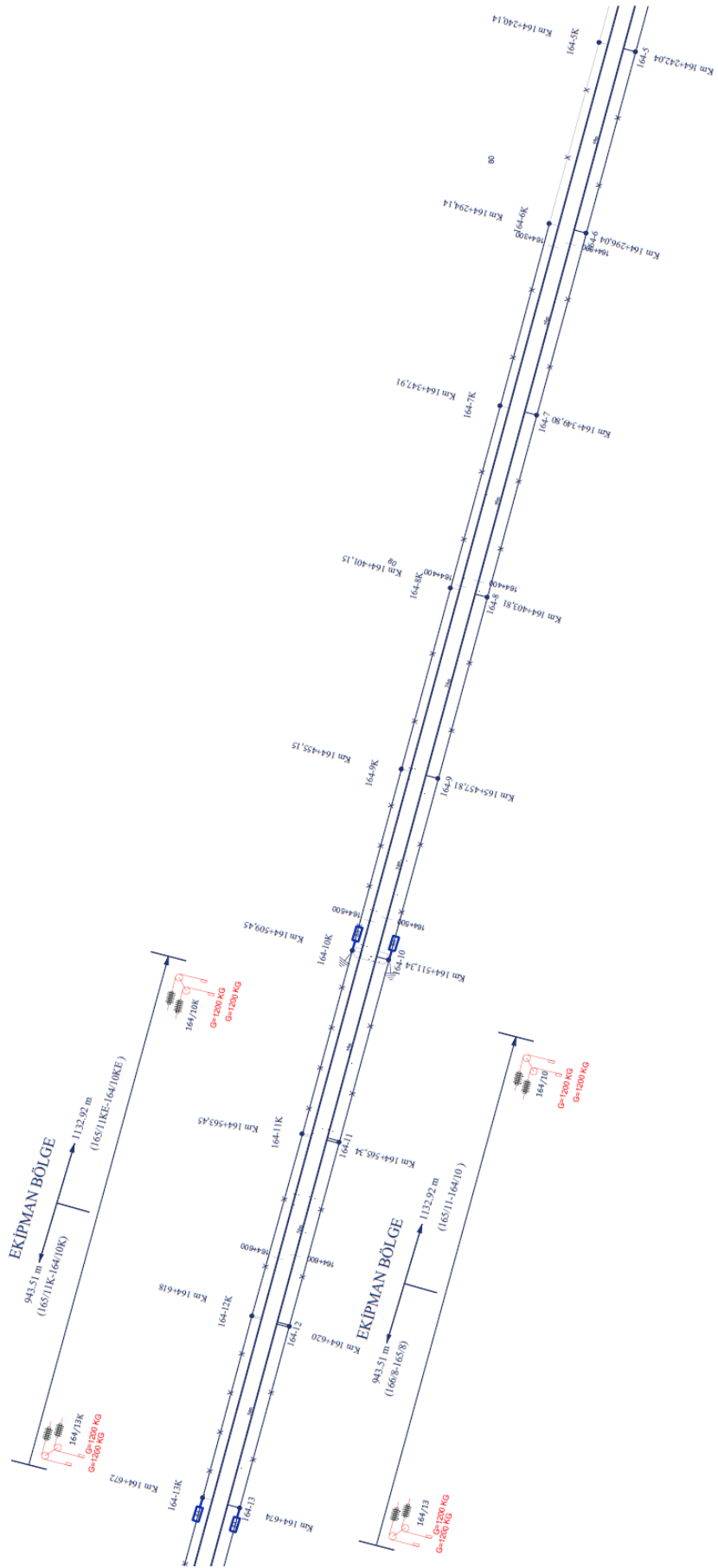


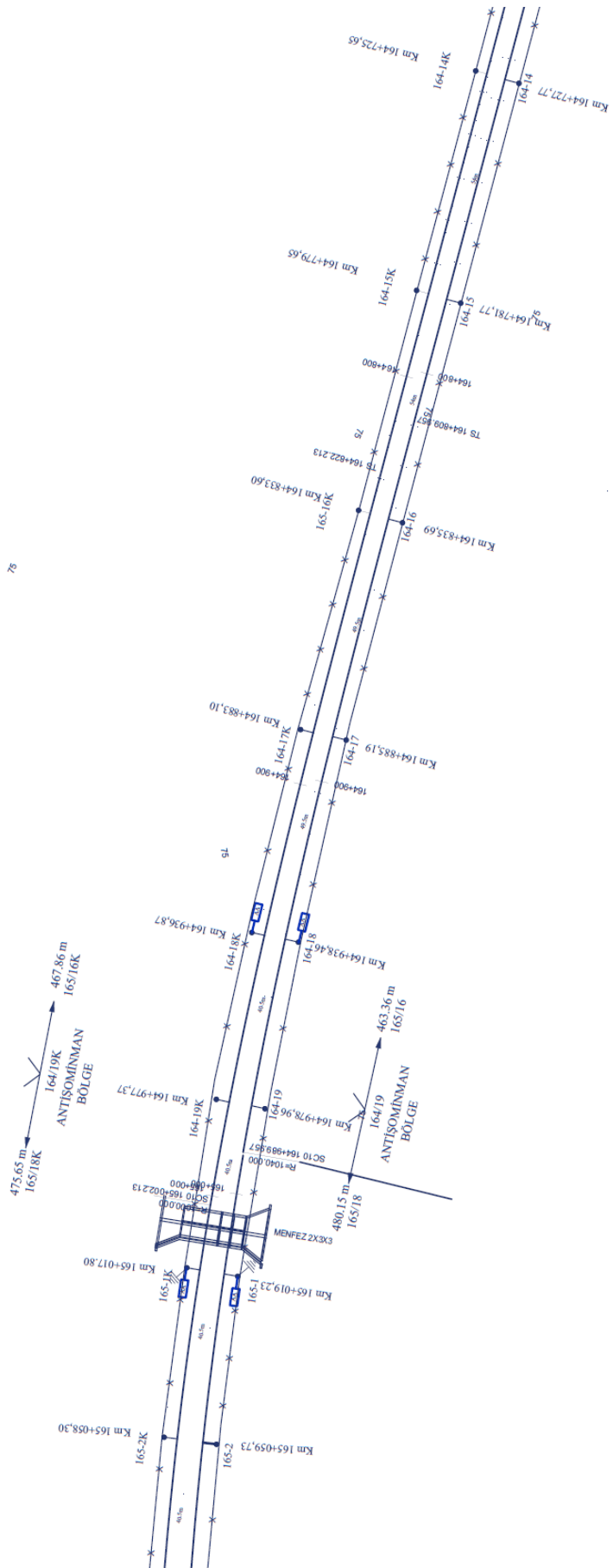




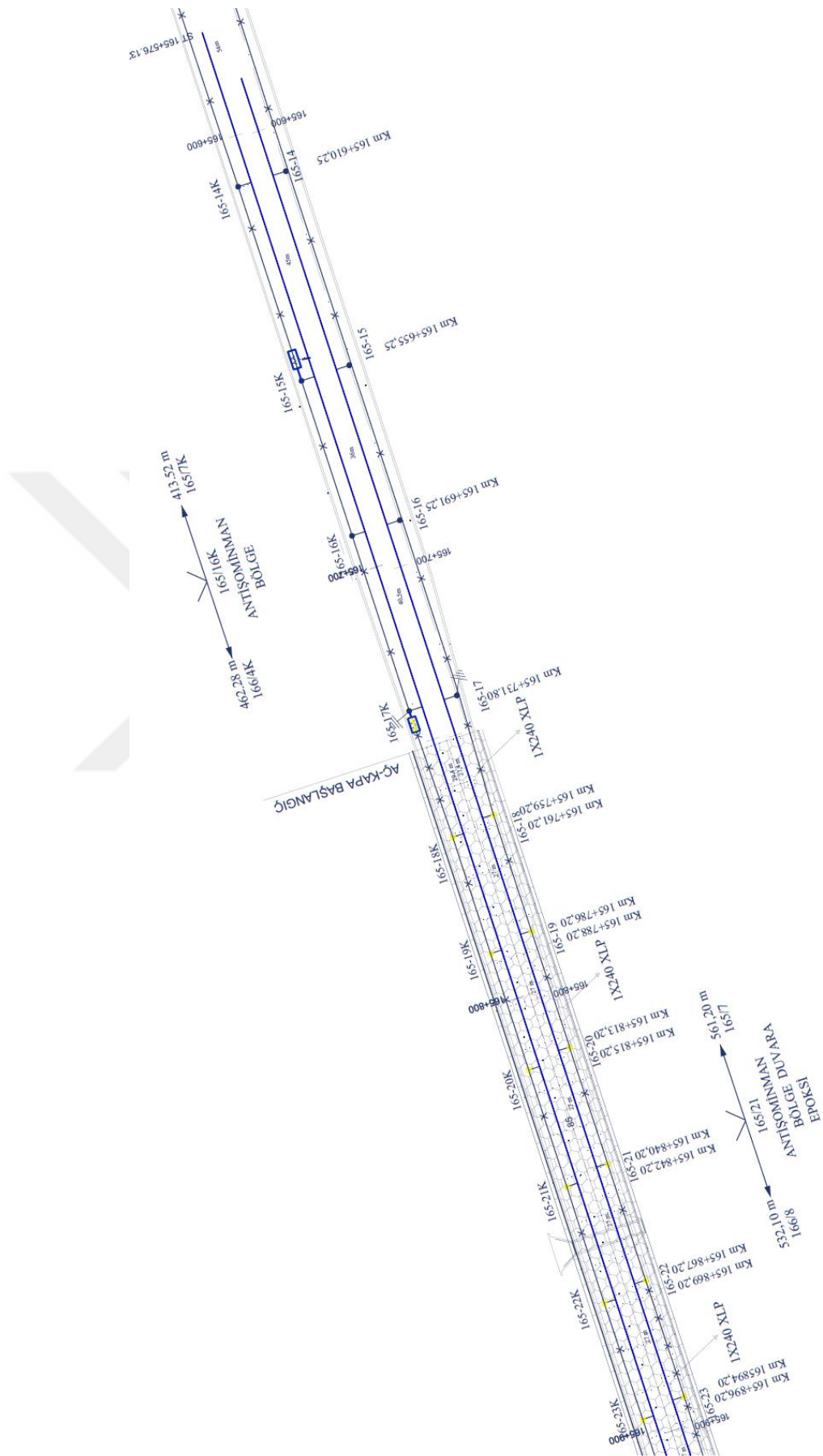


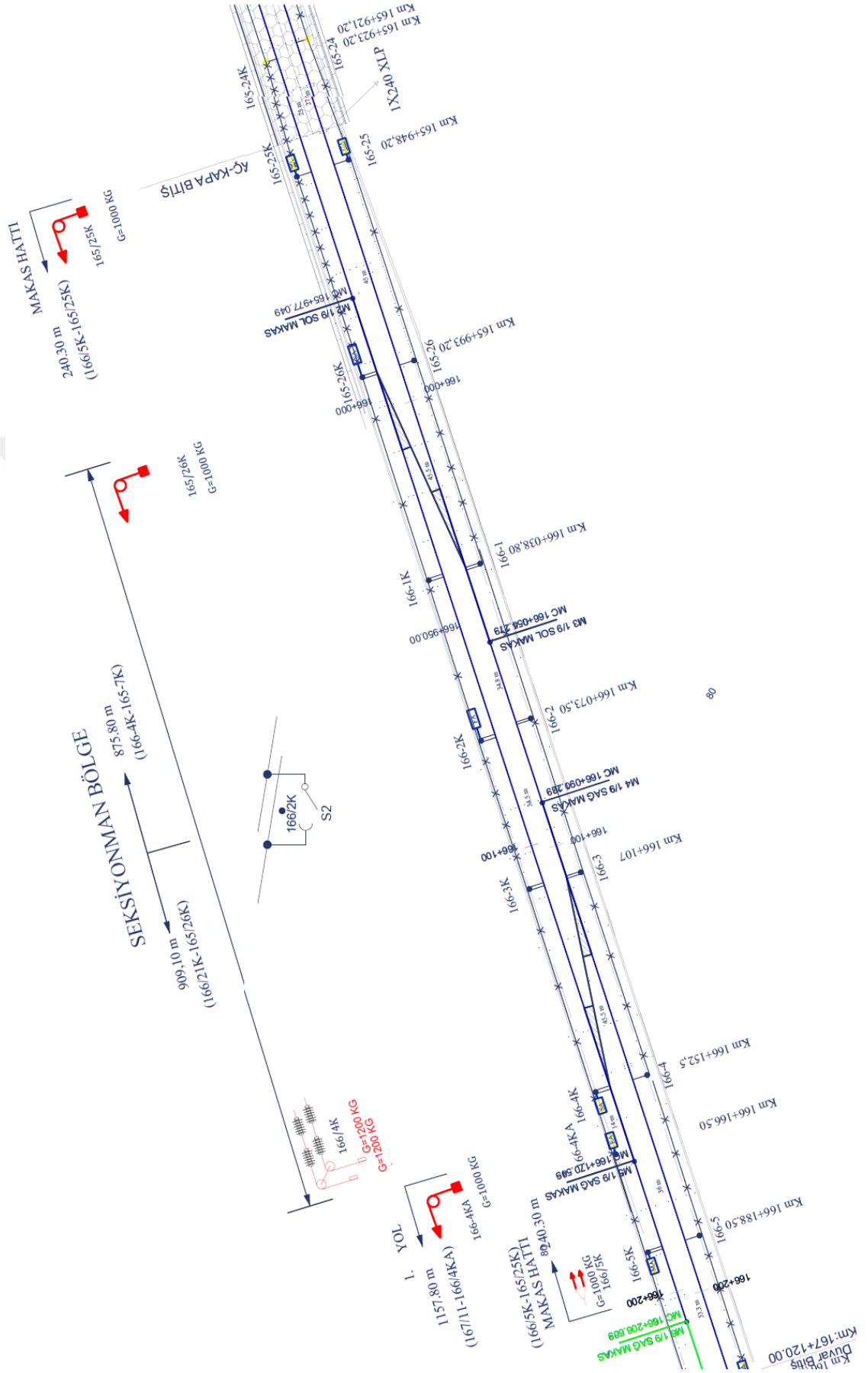


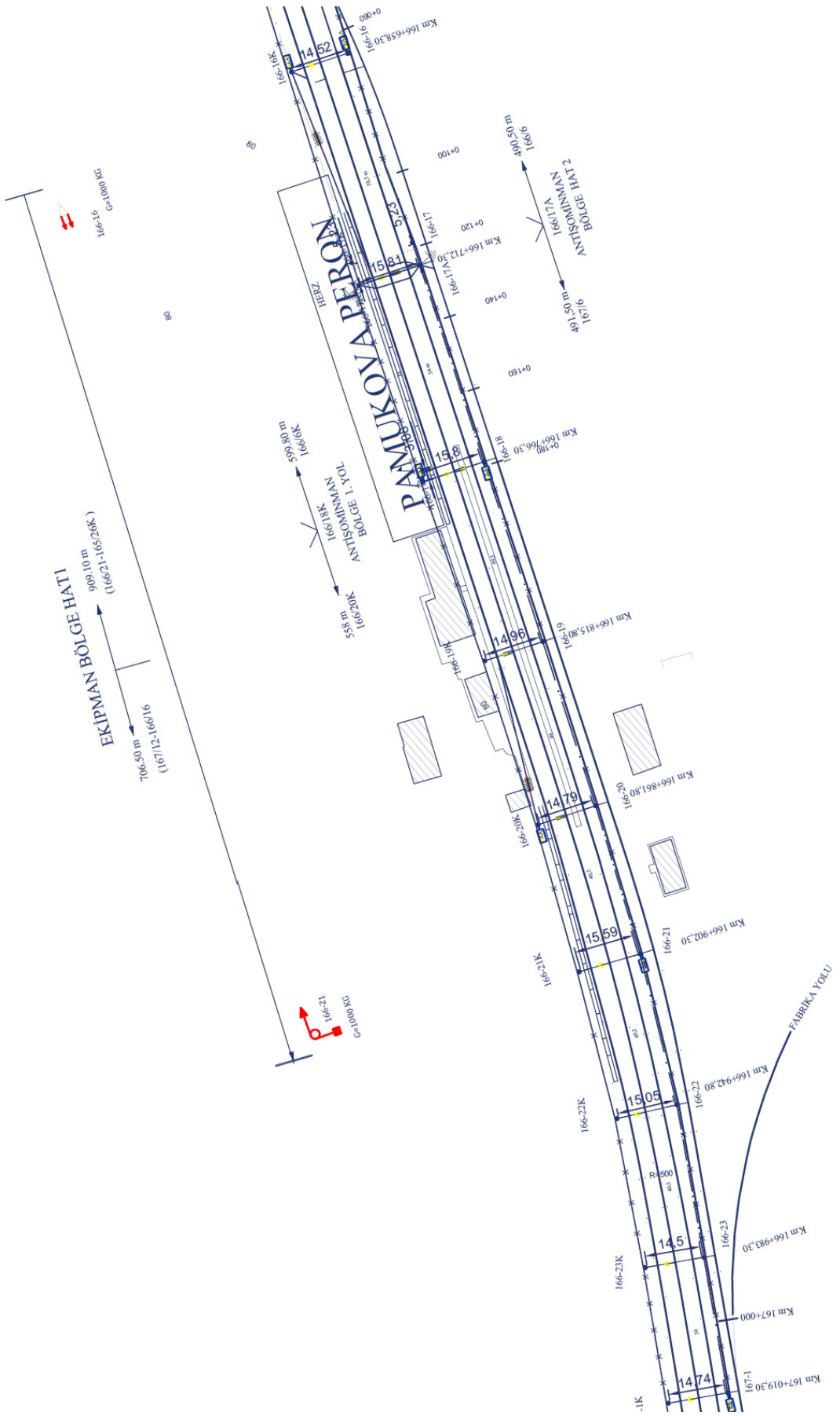




22







Direk ve Ankraj Numarası			160	160	160	160	160	160/9K - 161/17 K					161	161	161	161	161	162	162	162	162	162	162		
			4K	5K	6K	7K	8K	8K ANK	18K	19K	20K ANK	20K	1KA	1KR	1K	1K ANK	2K	3K	3K ANK						
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	MEVCUT					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Temel Tipi			TP1	TP1	TP1	TP1	TP1						AP 4	TP 4	TP 4	AP 4	TP 3	TP 5	TP 5	TP 3	AP 4	TP 3	TP 3	AP 4	
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3718	3718	3718	3718	3718						3042	10436	10436	3042	6152	15469	15469	10623	3042	6152	6152	3042	
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	110	110	110	110	110						120	130	130	120	120	140	160	120	120	120	120	120	
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	110	110	110	110	110						120	130	130	120	120	140	160	120	120	120	120	120	120
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	130						160	160	160	160	150	200	180	140	160	150	150	160	160
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	130						160	160	160	160	150	200	180	140	160	150	150	160	160
Temelin Yüksekliği	cm	H	180	180	180	180	180						200	230	230	200	200	240	230	220	200	200	200	200	200
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140	140	140						140	140			140	180	180	140			140	140	
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80						-80	-80	-80	-80	-15	-15	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220	220	220						220	220			220	195	195	220			220	220	
Temelin Direk Altında Kalan Kısmı	cm	k	40	40	40	40	40						90	90			60	60	50	80			60	60	
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V _t	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351						3,840	4,452	4,452	3,840	3,325	6,211	6,115	3,364	3,840	3,325	3,325	3,840	
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2,574	2,574	2,574	2,574	2,574						3,840	4,784	4,784	3,840	3,600	6,720	6,624	3,696	3,840	3,600	3,600	3,600	3,840
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	l	325	325	325	325	325						325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B1	B1	B1	B1	B1						B4	B4			B3	B5	B5	B4			B3	B3	
Direk Boyu	m	l	10	10	10	10	10						11,5	11,5			10	11,5	11,5	11			10	10	
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A	A	A						C	C			B	D	D	C			B	B	
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45	45	45						55	55			50	60	60	55			50	50	
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575						575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA													NA			EA					EA				NA
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş													YL			YL					YL				YL
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj													CA			CA					CA				CA
Ankraj Lente Demiri																		HERTZ	HERTZ						
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	3071	3501	2640	2685	2766						7351	6762			5290	10534	10462	5532			5532	5532	
Direğin Kontrfleşi	cm	f	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7						4,9	4,9			4,9			4,9			4,9	4,9	

Direk ve Ankraj Numarası			162/4K - 162/8K					162	162	162	162	162	162	162/13K - 163/9 K					163	163	163	163	163	163	163		
			9K ANK	9K	10K	11K	12K	12K ANK	163	163	163	163	163	163	10K	11K	12K ANK	12K	13K	14K	15K						
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	MEVCUT					1	1	1	1	1	1	MEVCUT					1	1	AP 4	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			AP 4					TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4						TP 1	TP 1	3042	TP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3042					6152	6152	6152	6152	6152	3042						3718	3718	120	6152	6152	6152	6152	6152	6152
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	120					120	120	120	120	120	120						110	110	120	130	120	120	120	120	120
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120					120	120	120	120	120	120						110	110	160	130	120	120	120	120	120
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	160					150	150	150	150	150	160						130	130	160	160	150	150	150	150	150
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	160					150	150	150	150	150	160						130	130	200	160	150	150	150	150	150
Temelin Yüksekliği	cm	H	200					200	200	200	200	200	200						200	180		230	200	200	200	200	200
Direğin Temele Batması	cm	h						140	140	140	140	140							140	140	-80	140	140	140	140	140	140
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e						-80	-80	-80	-80	-80	-80						-80	-80		-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A						220	220	220	220	220							220	220		220	220	220	220	220	220
Temelin Direk Altında Kalan Kısmı	cm	k						60	60	60	60	60							60	40		90	60	60	60	60	60
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V _t	3,840					3,325	3,325	3,325	3,325	3,325	3,840						2,637	2,351	3,840	4,452	3,325	3,325	3,325	3,325	3,325
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	3,840					3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,840						2,860	2,574	0,000	4,784	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	l	325					325	325	325	325	325	325						325	325		325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]								B3	B3	B3	B3	B3							B1	B1		B4	B3	B3	B3	B3	B3
Direk Boyu	m	l						10,5	10	10	10,5								10	10		10	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Karot Tipi A, B, C, D								B	B	B	B	B							A	A		C	B	B	B	B	B
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d						50	50	50	50	50							45	45	575	55	50	50	50	50	50
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575					575	575	575	575	575	575						575	575	SA	575	575	575	575	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA			EA										EA									DL					
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş			YL										YL									CA					
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj			CA										CA														
Ankraj Lente Demiri																											
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b						5532	5532	5532	5352								2279	2468		4684	4522	4522	4522	4522	
Direğin Kontrfleşi	cm	f						6,7	6,7	6,7	6,7								4,9	4,9		6,7	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9

Direk ve Ankraj Numarası			163	163	163/17 K - 164/9 K				164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	165	165	
			16K	16K ANK					10K ANK	10K	11K	12K	13K	13K ANK	14K	15K	16K	17K	18K ANK	18K	19K	1K	1K ANK
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	MEVCUT				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			TP 3	AP 4					AP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4	TP 1	TP 1	TP 1	TP 2	AP 2	TP 2	TP 3	TP 3	AP 2
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	6152	3042					3042	6152	6152	6152	6152	3042	3718	3718	3718	4638	2088	4638	6152	6152	2088
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	120	120					120	120	120	120	120	120	110	110	110	120	120	120	120	120	120
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120	120					120	120	120	120	120	120	110	110	110	120	120	120	120	120	120
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	150	160					160	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	150	150	130
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	150	160					160	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	150	150	130
Temelin Yüksekliği	cm	H	200	200					200	200	200	200	200	200	180	180	180	190	160	190	200	200	160
Direğin Temele Batması	cm	h	140						140	140	140	140	140		140	140	140	140		140	140	140	140
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80					-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220						220	220	220	220			220	220	220	220		220	220	220	
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	60							60	60	60	60			40	40	40	50		50	60	60
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	3,325	3,840					3,840	3,325	3,325	3,325	3,325	3,840	2,351	2,351	2,351	2,741	2,496	2,741	3,325	3,325	2,496
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	3,600	3,840					3,840	3,600	3,600	3,600	3,600	3,840	2,574	2,574	2,574	2,964	2,496	2,964	3,600	3,600	2,496
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	I	325	325					325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B3							B3	B3	B3	B3		B1	B1	B1	B2		B2	B3	B3	
Direk Boyu	m	l	10,5						10,5	10	10	10,5			10	10	10	10		10	10	10	
Karot Tipi A, B, C, D			B							B	B	B	B		A	A	A	A		A	B	B	
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	50						50	50	50	50			45	45	45	45		45	50	50	
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575					575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA				EA					EA					EA					AA				AA
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş				YL					YL					YL					YL				YL
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Giftli Ankraj				CA					CA					CA					TA				TA
Ankraj Lente Demiri																							
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	4702						5532	5532	5532	5532			2766	2752	2707	2627		3807	5859	5859	
Direğin Kontrfleşi	cm	f	6,7						6,7	6,7	6,7	6,7			4,9	4,9	4,9	9,7		6,7	9,7	6,7	

Direk ve Ankraj Numarası			165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	
			2K	3K	4K	5K	6K	7K ANK	7K	8K	9K	10K	11K	11K ANK	12K	13K	14K	15K ANK	15K	16K	17K	17K ANK	
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	AP 4	TP 4	TP 4	TP 4	TP 4	TP 4	AP 4	TP 1	TP 1	TP 3	AP 2	TP 4	ÇELİK	ÇELİK	AP 2	
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	4638	4638	4638	4638	4638	3042	10623	10623	10623	10623	10623	3042	3718	3718	6152	2088	10623			2088	
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	110	110	120	120	120			120	
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	110	110	120	120	120			120	
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	130	160	140	140	140	140	140	160	130	130	150	130	140			130	
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	130	160	140	140	140	140	140	160	130	130	150	130	140			130	
Temelin Yüksekliği	cm	H	190	190	190	190	190	200	220	220	220	220	220	200	180	180	200	160	220			160	
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140	140	140		140	140	140	140	140		140	140	140		140			-80	
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80			-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220	220	220		220	220	220	220	220		220	220	220		220				
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	50	50	50	50	50		80	80	80	80	80		40	40	60		80	0	0		
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	2,741	2,741	2,741	2,741	2,741	3,840	3,364	3,364	3,364	3,364	3,364	3,840	2,351	2,351	3,325	2,496	3,364	1,000	1,000	2,496	
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2,964	2,964	2,964	2,964	2,964	3,840	3,696	3,696	3,696	3,696	3,696	3,840	2,574	2,574	3,600	2,496	3,696	0,000	0,000	2,496	
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B2	B2	B2	B2	B2		B4	B4	B4	B4	B4		B1	B1	B3		B4				
Direk Boyu	m	l	10	10	10	10	10		11	11	11	11	11		10	10	10		11				
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A	A	A		C	C	C	C	C		A	A	B		C				
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45	45	45		55	55	55	55	55		45	45	50		55				
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	570	565		565	560	555	
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA								EA						EA				AA				AA	
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş								YL						YL				YL				YL	
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Giftli Ankraj								CA						CA				TA				TA	
Ankraj Lente Demiri																							
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	3906	3951	4201	4201	4201		8403	9583	8403	8265	7711		2669	2747	5607		7233	6607	6433		
Direğin Kontrfleşi	cm	f	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		9,7	9,7	4,9		9,7	9,7	9,7		

Direk ve Ankraj Numarası	kg/cm ²	Pt	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	166	166	166	166	166	166	166	166
			18K	19K	20K	21K	22K	23K	24K	25K ANK	25K	26K ANK	26K	1K	2KANK	2K	3K	4K	4KANK	4KA ANK
Toprak Mukavemeti			AÇ KAPA TÜNEL BÖLGESİ																	
Temel Tipi									AP 4	ÇELİK	AP 4	ÇELİK	TP 5	AP 2	TP 5	TP 5	TP 5	TP 5	APY 4	APY 4
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t							3042		3042		6152	2088	6152	6152	6152	6152	3020	3020
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁							120		120		140	120	140	140	140	140	140	140
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂							120		120		140	120	140	140	140	140	140	140
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁							160		160		200	130	200	200	200	200	200	200
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂							160		160		200	130	200	200	200	200	200	200
Temelin Yüksekliği	cm	H							200		200		240	160	240	240	240	240	240	240
Direğin Temele Batması	cm	h											140		140	140	140			
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e							-80		-80		-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A											220		220	220	220			
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k								0		0	100		100	100	100			
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁							3,840	1,000	3,840	1,000	6,388	2,496	6,388	6,388	6,388	6,388	6,720	6,720
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V							3,840	0,000	3,840	0,000	6,720	2,496	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720	6,720
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	I							325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]													B4		B4	B4	B4			
Direk Boyu	m	I											10		12	11,5	11,5			
Karot Tipi A, B, C, D													C		C	C	C			
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d											55		55	55	55			
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty								550		555	560		560	560	565			
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA									SA		SA			FA				SA	TYA	
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş									YL		YL		YL					DL	DL	
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj									TA		TA		TA					CA	TA	
Ankraj Lente Demiri																				
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b								4547		5043	6969		6026	6610	6785			
Direğin Kontrfleşi	cm	f								4,9		4,9	4,9		4,9	4,9	4,9			

Direk ve Ankraj Numarası	kg/cm ²	Pt	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
			4KA	5K	5K ANK	6K	7K	8K	9K	10K	11K ANK	11K	12K	13K	13K ANK	14K	15K	16K ANK	16K	17K
Toprak Mukavemeti			1	1		1	1	1	1	1		1	1	1		1	1		1	1
Temel Tipi			TP 5	TP 5	APY 4	TP 5	PS6	PS6	PS6	PS6	AP 2	PS6	PS6	PS6	AP 2	PS6	PS6	AP 2	PS6	PS7
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	6152	6152	3020	6152	14238	14238	14238	14238	2088	14238	14238	14238	2088	14238	14238	2088	14238	18229
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	140	140	140	140	150	150	150	150	120	150	150	150	120	150	150	120	150	150
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	140	140	140	140	150	150	150	150	120	150	150	150	120	150	150	120	150	150
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	200	200	200	200	180	180	180	180	130	180	180	180	130	180	180	130	180	180
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	200	200	200	200	180	180	180	180	130	180	180	180	130	180	180	130	180	180
Temelin Yüksekliği	cm	H	240	240	240	240	240	240	240	240	160	240	240	240	160	240	240	160	240	260
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140		160	160	160	160		160	160	160		160	160		160	160	160
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220		220	240	240	240		240	240	240		240	240		240	240	
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	100	100		80	80	80	80		80	80	80		80	80		80	100	
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	6,388	6,388	6,720	6,340	6,028	6,028	6,028	2,496	6,028	6,028	6,100	2,496	6,100	6,100	2,496	6,100	6,640	
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	6,720	6,720	6,720	6,720	6,480	6,480	6,480	2,496	6,480	6,480	6,480	2,496	6,480	6,480	2,496	6,480	7,020	
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Ekseni)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B4	B4		B4	B5	B5	B5		B5	B5	B5		B5	B5		B5	B5	
Direk Boyu	m	I	11,5	11,5		11,5	11,5	11,5	11,5		11,5	11,5	11		11	11		11	12	
Karot Tipi A, B, C, D			C	C		C	D	D	D		D	D	C		C	C		C	C	
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	55	55		55	60	60	60		60	60	55		55	55		55	55	
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	570	570	570	570	570	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA					MA					AA				AA				AA		
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş					DL					DL				DL				DL		
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj					TA					TA				TA				TA		
Ankraj Lente Demiri																				
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	6795	6153		5458	13412	13417	13417	13417		13417	13417	13417		13417	13417		13572	16084
Direğin Kontrfleşi	cm	f	4,9	4,9		4,9														

Direk ve Ankraj Numarası			166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
			17KA	18K	19K	20K	20KA	21K	22K	23K	1K	2K	2K ANK	3K ANK	3K	4K	5K	6K	7K	7KA		
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			PS7	PS6	PS6	PS6	AP 2	PS6	PS6	PS6	PS6	PS6	AP 2	AP 2	PS6	PS6	PS6	PS6	PS6	PS6	TP 3	
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	18229	14238	14238	14238	2088	14238	14238	14238	14238	14238	2088	2088	14238	14238	14238	14238	14238	14238	6152	
Temel Üstünün Yola Dik Boyu	cm	a ₁	150	150	150	150	120	150	150	150	150	150	120	120	150	150	150	150	150	150	120	
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	150	150	150	150	120	150	150	150	150	150	120	120	150	150	150	150	150	150	120	
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	180	180	180	180	130	180	180	180	180	180	130	130	180	180	180	180	180	180	150	
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	180	180	180	180	130	180	180	180	180	180	130	130	180	180	180	180	180	180	150	
Temelin Yüksekliği	cm	H	260	240	240	240	160	240	240	240	240	240	160	160	240	240	240	240	240	240	200	
Direğin Temele Batması	cm	h	160	160	160	160		160	160	160	160	160			160	160	160	160	160	160	140	
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-80	
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	240	240	240	240		240	240	240	240	240			240	240	240	240	240	240	220	
Temelin Direk Altında Kalan Kısmı	cm	k	100	80	80	80		80	80	80	80	80			80	80	80	80	80	80	60	
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	6,640	6,100	6,100	6,100	2,496	6,100	6,100	6,100	6,100	6,100	2,496	2,496	6,100	6,100	6,100	6,100	6,100	6,100	3,325	
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	7,020	6,480	6,480	6,480	2,496	6,480	6,480	6,480	6,480	6,480	2,496	2,496	6,480	6,480	6,480	6,480	6,480	6,480	3,600	
Emplantasyon (Hat Eksen-Direk Eksen)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B5	B5	B5	B5		B5	B5	B5	B5	B5			B5	B5	B5	B5	B5	B5	B3	
Direk Boyu	m	l	12	11	11	11		11	11	11	11	11			11	11	11	11	11	11	10	
Karot Tipi A, B, C, D			C	C	C	C		C	C	C	C	C			C	C	C	C	C	C	B	
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	55	55	55	55		55	55	55	55	55			55	55	55	55	55	55	50	
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA							AA							FA	FA							
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş							DL							DL	DL							
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj							TA							TA	TA							
Ankraj Lente Demiri																						
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	16084	15700	12912	12544		12264	12264	12109	12500	11880			11880	11880	12035	11593	10668	5279		
Direğin Kontrfleşi	cm	f																			6,7	

Direk ve Ankraj Numarası			159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159	160	160	160	160	160	160	160	
			8 ANK	9	10	11	12	13	14	15 ANK	15	16	17	18	18 ANK	19	1	2	3	4	5	6	7
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			AP 2	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	AP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4	TP 2	TP 2	TP 2	TP 1	TP 1	TP 2	TP 1	TP 1
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	2088	3718	3718	3718	3718	3718	3718	3042	6152	6152	6152	6152	3042	4638	4638	4638	3718	3718	4638	3718	3718
Boyu	cm	a ₁	120	110	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	120	110	110	120	110	110	
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120	110	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	120	110	110	120	110	110	
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	130	130	
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	130	130	
Temelin Yüksekliği	cm	H	160	180	180	180	180	180	200	200	200	200	200	200	190	210	210	180	180	210	180	180	
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140	140	140	140		140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220	220	220	220		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	
Temelin Direk Altında Kalan Kısmı	cm	k	40	40	40	40	40	40		60	60	60	60	60	50	70	70	40	40	70	40	40	
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	2,496	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	3,840	3,325	3,325	3,325	3,325	3,840	2,741	3,053	3,053	2,351	2,351	3,053	2,351	2,351	
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2,496	2,574	2,574	2,574	2,574	2,574	3,840	3,600	3,600	3,600	3,600	3,840	2,964	3,276	3,276	2,574	2,574	3,276	2,574	2,574	
Emplantasyon (Hat Eksen-Direk Eksen)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B1	B1	B1	B1	B1	B1		B3	B3	B3	B3		B2	B2	B2	B1	B1	B2	B1	B1	
Direk Boyu	m	l	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10	10	
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A	A	A	A		B	B	B	B		A	A	A	A	A	A	A	A	
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45	45	45	45		50	50	50	50		45	45	45	45	45	45	45	45	
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA			AA						EA					EA									
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş			YL						YL					YL									
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj			TA						CA					CA									
Ankraj Lente Demiri																							
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	2766	2766	2766	2766	2766	2766		5532	5532	5532	5532		4173	3966	4084	3283	3076	3507	2640	2685	
Direğin Kontrfleşi	cm	f	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		6,7	6,7	6,7	6,7		9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	

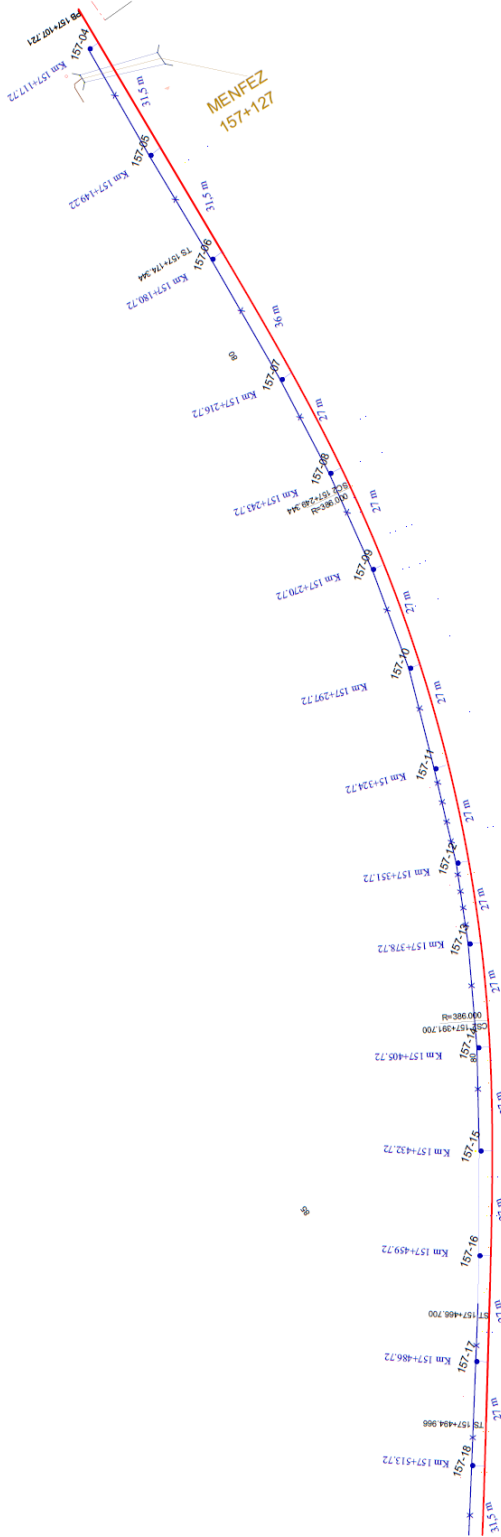
Direk ve Ankraj Numarası			160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	161	161	161	161	161	161
			8	9 ANK	9	10	11	11 ANK	12	13	14	15	16	17	18	19 ANK	19	20	21	1	1 ANK	2			
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			TP1	AP 2	TP 2	TP 2	TP 2	AP 2	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	AP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4	TP1			
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3718	2088	4638	4638	4638	2088	3718	3718	3718	3718	3718	3718	3718	3042	6152	6152	6152	6152	3042	3718			
Boyu	cm	a ₁	110	120	120	120	120	120	110	110	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	110		
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	110	120	120	120	120	120	110	110	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	110		
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130			
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130			
Temelin Yüksekliği	cm	H	180	160	190	190	190	160	180	180	180	180	180	180	180	200	200	200	200	200	200	180			
Direğin Temele Batması	cm	h	140		140	140	140		140	140	140	140	140	140	140		140	140	140	140					
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220		220	220	220		220	220	220	220	220	220	220		220	220	220	220					
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	40		50	50	50		40	40	40	40	40	40	40		60	60	60	60					
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	2.351	2.496	2.741	2.741	2.741	2.496	2.351	2.351	2.351	2.351	2.351	2.351	2.351	3.840	3.325	3.325	3.325	3.325	3.840	2.351			
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2.574	2.496	2.964	2.964	2.964	2.496	2.574	2.574	2.574	2.574	2.574	2.574	2.574	3.840	3.600	3.600	3.600	3.600	3.840	2.574			
Emplantasyon (Hat Eksen-Direk Eksen)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B1		B2	B2	B2		B1	B1	B1	B1	B1	B1	B1		B3	B3	B3	B3					B1
Direk Boyu	m	l	10		10	10	10		10	10	10	10	10	10	10		10	10	10	10					10
Karot Tipi A, B, C, D			A		A	A	A		A	A	A	A	A	A	A		B	B	B	B					A
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45		45	45	45		45	45	45	45	45	45	45		50	50	50	50					45
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA				AA				AA								EA									EA
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş				YL				YL								YL									YL
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj				TA				TA								CA									CA
Ankraj Lente Demiri																									
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	2766		4014	3770	3905		2811	2802	2640	2685	2766	2766	2766		5532	5532	5532	5532					2766
Direğin Kontrfleşi	cm	f	4,9		9,7	9,7	9,7		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		6,7	6,7	6,7	6,7					4,9

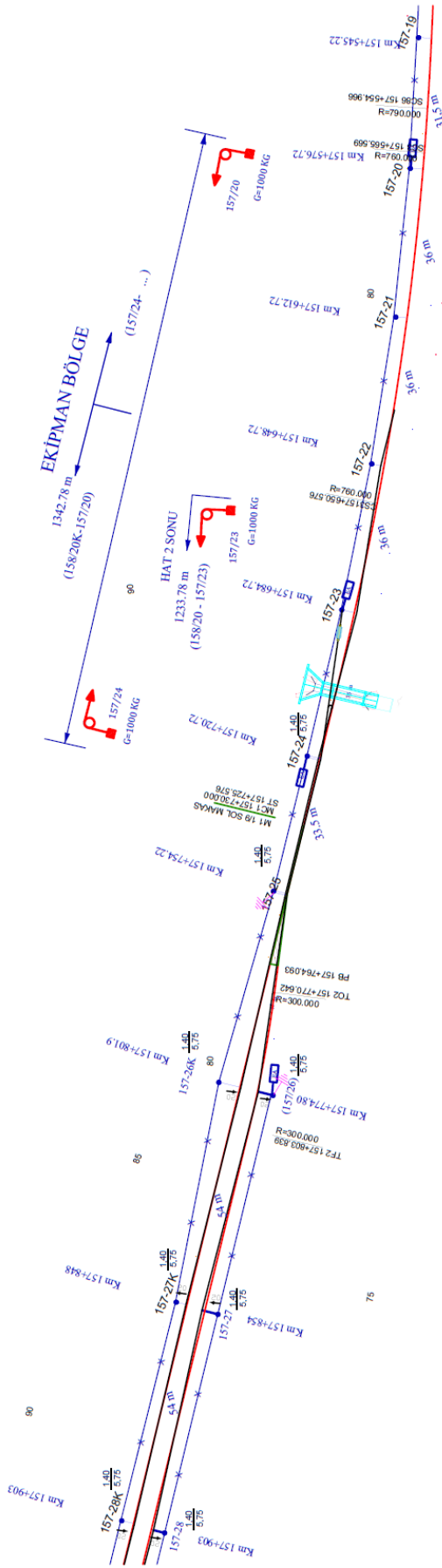
Direk ve Ankraj Numarası			161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
			3	4	5	6	7 ANK	7	8	9	10	11	11 ANK	12	13	14	15	16	17	18 ANK	18	19			
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temel Tipi			TP1	TP1	TP1	TP1	AP 4	TP 3	TP 4	TP 4	TP 4	TP 4	AP 4	TP 2	TP 2	TP 2	TP 2	TP1	TP1	AP 4	TP 4	TP 4			
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3718	3718	3718	3718	3042	6152	10.436	10.436	10.436	10.436	3042	4638	4638	4638	4638	3718	3718	3042	10436	10436			
Boyu	cm	a ₁	110	110	110	110	120	120	130	130	130	130	120	120	120	120	120	110	110	120	130	130			
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	110	110	110	110	120	120	130	130	130	130	120	120	120	120	120	110	110	120	130	130			
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	160	150	160	160	160	160	160	130	130	130	130	130	130	160	160	160			
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	160	150	160	160	160	160	160	130	130	130	130	130	130	160	160	160			
Temelin Yüksekliği	cm	H	180	180	180	180	200	200	230	230	230	230	200	190	190	190	190	180	180	200	230	230			
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140	140		140	140	140	140	140		140	140	140	140	140	140						
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220	220		220	220	220	220	220		220	220	220	220	220	220						
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	40	40	40	40		60	90	90	90	90		50	50	50	50	40	40						90
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V ₁	2.351	2.351	2.351	2.351	3.840	3.325	4.452	4.452	4.452	4.452	3.840	2.741	2.741	2.741	2.741	2.351	2.351	3.840	4.452	4.452			
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2.574	2.574	2.574	2.574	3.840	3.600	4.784	4.784	4.784	4.784	3.840	2.964	2.964	2.964	2.964	2.574	2.574	3.840	4.784	4.784			
Emplantasyon (Hat Eksen-Direk Eksen)	cm	I	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B1	B1	B1	B1		B3	B4	B4	B4	B4		B2	B2	B2	B2	B1	B1						B4
Direk Boyu	m	l	10	10	10	10		10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10						11,5
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A	A		B	C	C	C	C		A	A	A	A	A	A						C
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45	45		50	55	55	55	55		45	45	45	45	45	45						55
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA							EA						EA												NA
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş							YL						YL												YL
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj							CA						CA												CA
Ankraj Lente Demiri																									
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	2766	2721	2685	2766		5532	9464	8454	8454	8454		4227	4227	4227	4227	2759	2766						7192
Direğin Kontrfleşi	cm	f	4,9	4,9	4,9	4,9		6,7	4,9	4,9	4,9	6,7		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9						4,9

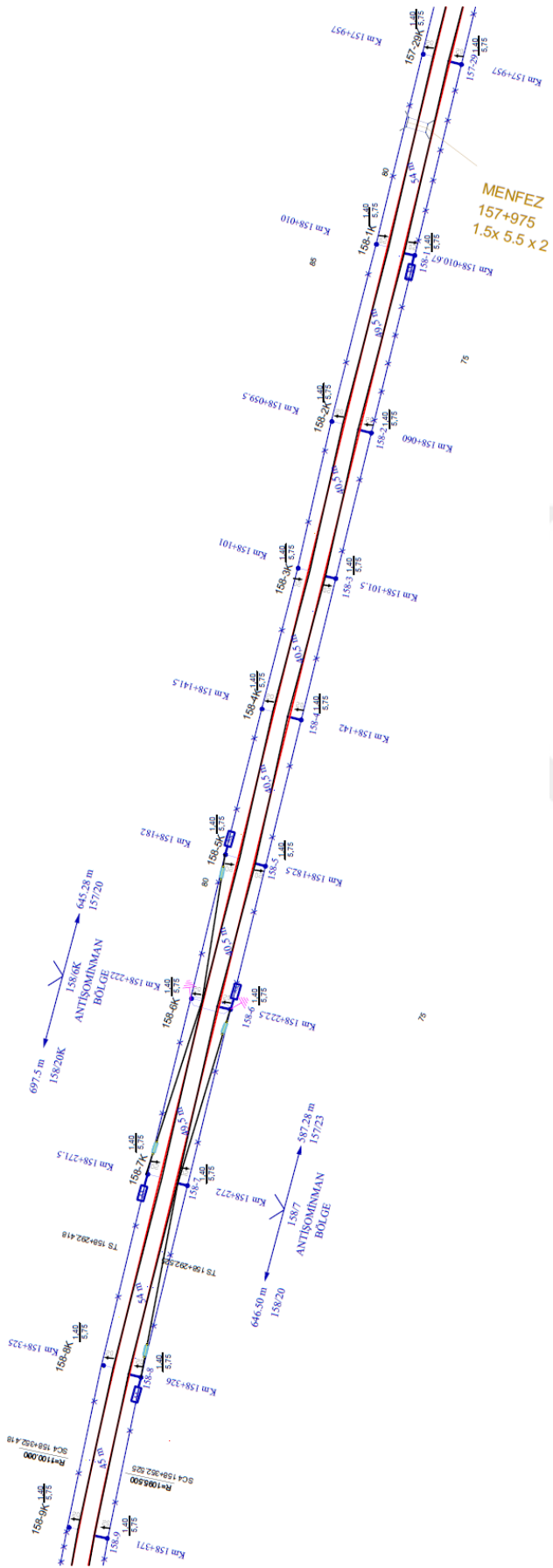
Direk ve Ankraj Numarası			163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	164	164	
	8	9	10	11	12 ANK	12	13	14	15	16	16 ANK	17	18	19	20	21	22	1	2 ANK					
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1	1																		
Temel Tipi			TP1	TP1	TP1	TP1	AP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4	TP1	TP 2	TP 2	TP 2	TP1	TP1	TP1	AP 2
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	3718	3718	3718	3718	3042	6152	6152	6152	6152	6152	3042	3718	4638	4638	4638	3718	3718	3718	2088			
Boy	cm	a ₁	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	110	120	120	120	110	110	110	120			
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	120	110	120	120	120	110	110	110	120			
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	160	150	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	130	130			
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	160	150	150	150	150	150	160	130	130	130	130	130	130	130	130			
Temelin Yüksekliği	cm	H	180	180	180	180	200	200	200	200	200	200	200	180	190	190	190	180	180	180	160			
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140	140		140	140	140	140	140		140	140	140	140	140	140	140				
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80			
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220	220		220	220	220	220	220		220	220	220	220	220	220	220				
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	40	40	40	40		60	60	60	60	60		40	50	50	50	40	40	40				
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V _t	2,351	2,351	2,351	2,351	3,840	3,325	3,325	3,325	3,325	3,325	3,840	2,351	2,741	2,741	2,741	2,351	2,351	2,351	2,496			
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2,574	2,574	2,574	2,574	3,840	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600	3,840	2,574	2,964	2,964	2,964	2,574	2,574	2,574	2,496			
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Eksen)	cm	l	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325			
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B1	B1	B1	B1		B3	B3	B3	B3	B3		B1	B2	B2	B2	B1	B1	B1				
Direk Boyu	m	l	10	10	10	10		10	10	10	10	10		10	10	10	10	10	10	10				
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A	A		B	B	B	B	B		A	A	A	A	A	A	A				
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45	45		50	50	50	50	50		45	45	45	45	45	45	45				
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575		
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA							EA						EA									AA		
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş							YL						YL									YL		
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj							CA						CA									TA		
Ankraj Lente Demiri																								
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	2387	2302	2279	2468		4684	4522	4522	4522	4702		2604	4617	4131	4131	2604	2766	2766				
Direğin Kontrfleşi	cm	f	9,7	9,7	9,7	9,7		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	4,9				

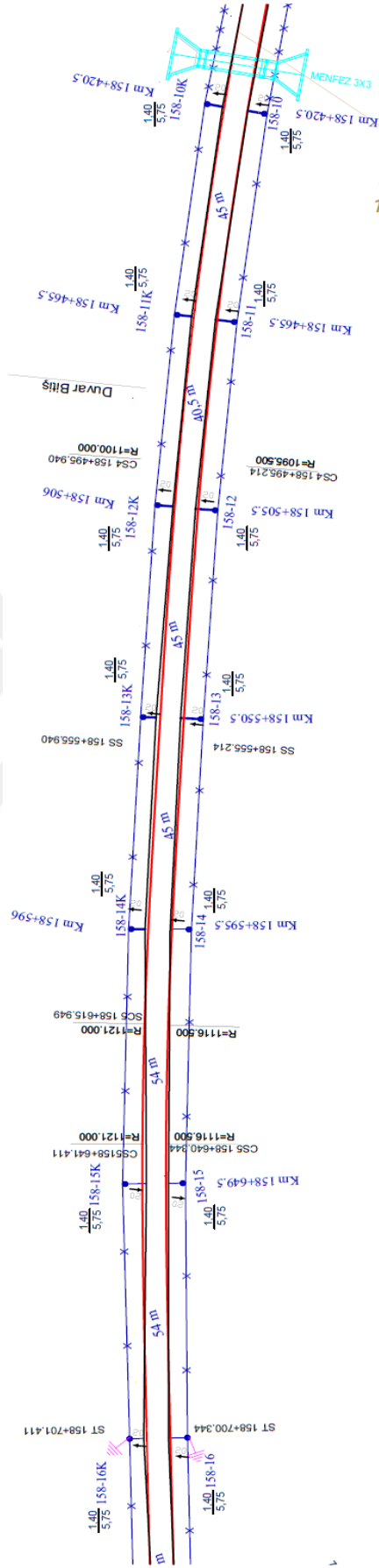
Direk ve Ankraj Numarası			164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	2	3	4	4 ANK	5	6	7	8	9	10 ANK	10	11	12	13	13 ANK	14	15	16	17					
Toprak Mukavemeti	kg/cm ²	Pt	1	1	1																			
Temel Tipi			TP 2	TP 2	TP 2	AP 2	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	TP1	AP 4	TP 3	TP 3	TP 3	TP 3	AP 4	TP1	TP1	TP1	TP1		
Temelin Mukavemet Momenti	kg.m	M _t	4638	4638	4638	2088	3718	3718	3718	3718	3718	3042	6152	6152	6152	6152	3042	3718	3718	3718	3718			
Boy	cm	a ₁	120	120	120	120	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	110	110	110	110			
Temel Altının Yola Dik Boyu	cm	a ₂	120	120	120	120	110	110	110	110	110	120	120	120	120	120	120	110	110	110	110			
Temel Üstünün Yola Paralel Boyu	cm	b ₁	130	130	130	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130	130	130	130			
Temel Altının Yola Paralel Boyu	cm	b ₂	130	130	130	130	130	130	130	130	130	160	150	150	150	150	160	130	130	130	130			
Temelin Yüksekliği	cm	H	190	190	190	160	180	180	180	180	180	200	200	200	200	200	200	180	180	180	180			
Direğin Temele Batması	cm	h	140	140	140		140	140	140	140	140		140	140	140	140		140	140	140	140			
Ray Üstü-Temel Üstü Arası	cm	e	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80			
Arasman (Ray Üstü-Direk Altı Arası)	cm	A	220	220	220		220	220	220	220	220		220	220	220	220		220	220	220	220			
Temelin Direk Altında Kalan Kısım	cm	k	50	50	50		40	40	40	40	40		60	60	60	60		40	40	40	40			
Temel Betonunun Hacmi	m ³	V _t	2,741	2,741	2,741	2,496	2,351	2,351	2,351	2,351	2,351	3,840	3,325	3,325	3,325	3,325	3,840	2,351	2,351	2,351	2,351			
Temel Kazısının Hacmi	m ³	V	2,964	2,964	2,964	2,496	2,574	2,574	2,574	2,574	2,574	3,840	3,600	3,600	3,600	3,600	3,840	2,574	2,574	2,574	2,574			
Emplantasyon (Hat Ekseni-Direk Eksen)	cm	l	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325	325			
Direk Tipi [B: Beton M: Metal]			B2	B2	B2		B1	B1	B1	B1	B1		B3	B3	B3	B3		B1	B1	B1	B1			
Direk Boyu	m	l	10	10	10		10	10	10	10	10		10	10	10	10		10	10	10	10			
Karot Tipi A, B, C, D			A	A	A		A	A	A	A	A		B	B	B	B		A	A	A	A			
Karot Çapı A:45 B:50 C:55 D:60	cm	d	45	45	45		45	45	45	45	45		50	50	50	50		45	45	45	45			
Seyir Teli Yüksekliği	cm	sty	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575	575			
Ankraj Tipi AA, EA, SA, FA, GA						AA							EA					EA						
Lente YL: Yer Etriyesi DL:Yükseltilmiş						YL							YL					YL						
Ankraj TA:Tekli Ankraj CA:Çiftli Ankraj						TA							CA					CA						
Ankraj Lente Demiri																								
Direğe Etkiyen Brüt Moment	kg.m	M _b	4149	4149	4149		2766	2766	2766	2766	2766		5532	5532	5532	5532		2766	2766	2721	2640			
Direğin Kontrfleşi	cm	f	9,7	9,7	9,7		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9		6,7	6,7	6,7	6,7		4,9	4,9	4,9	4,9			

EK-H Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arası derülaj planı







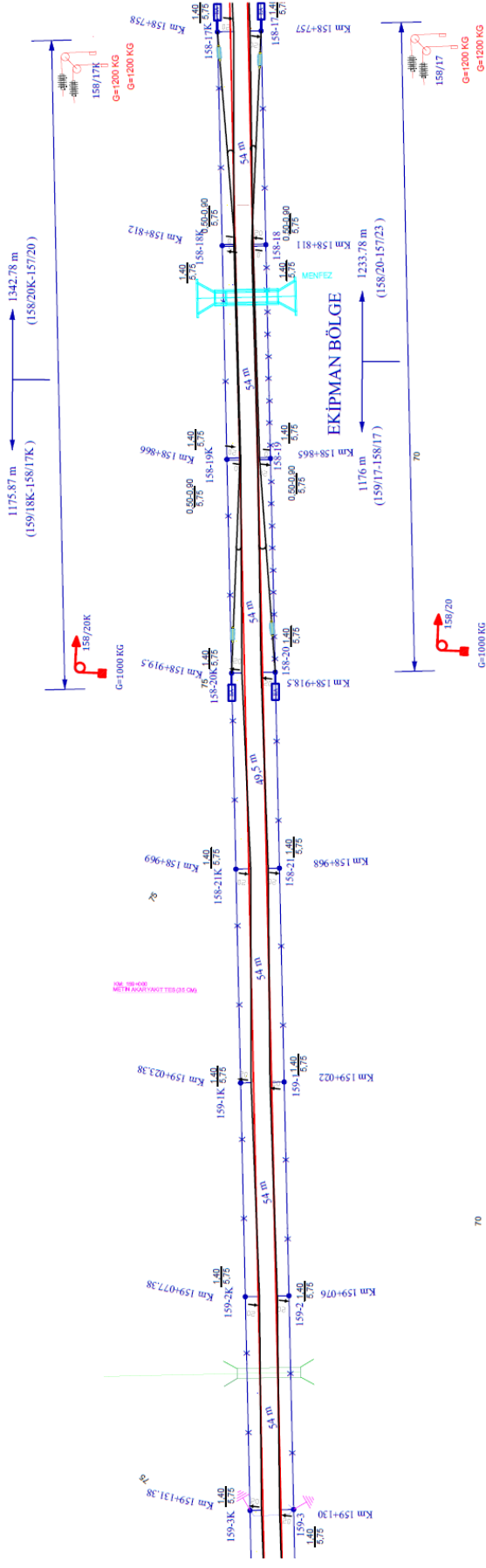


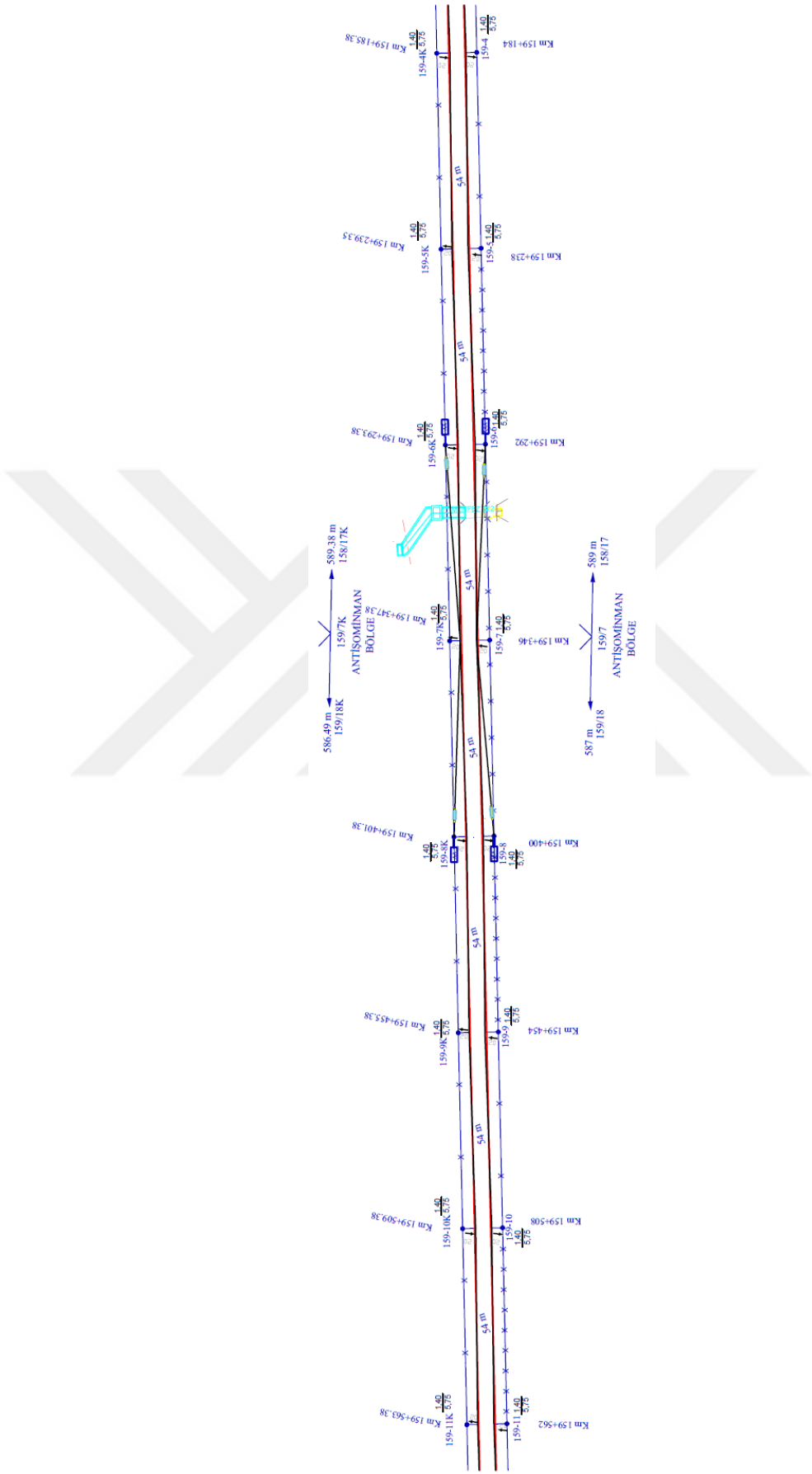
HEMZEMİN
158+405

10

10

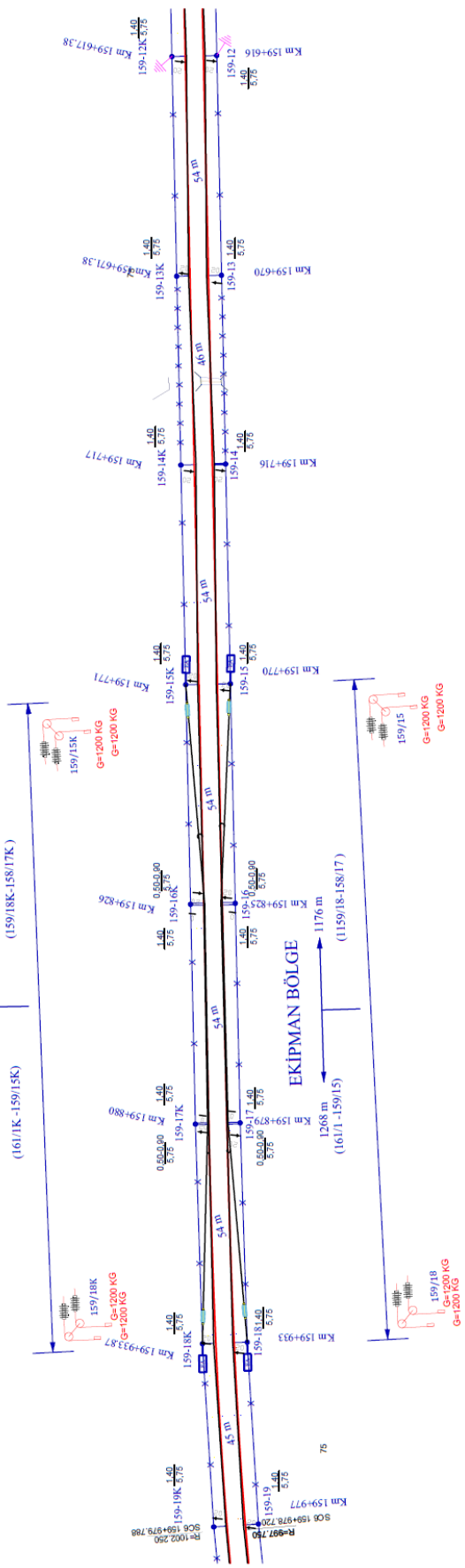
EKİPMAN BÖLGE

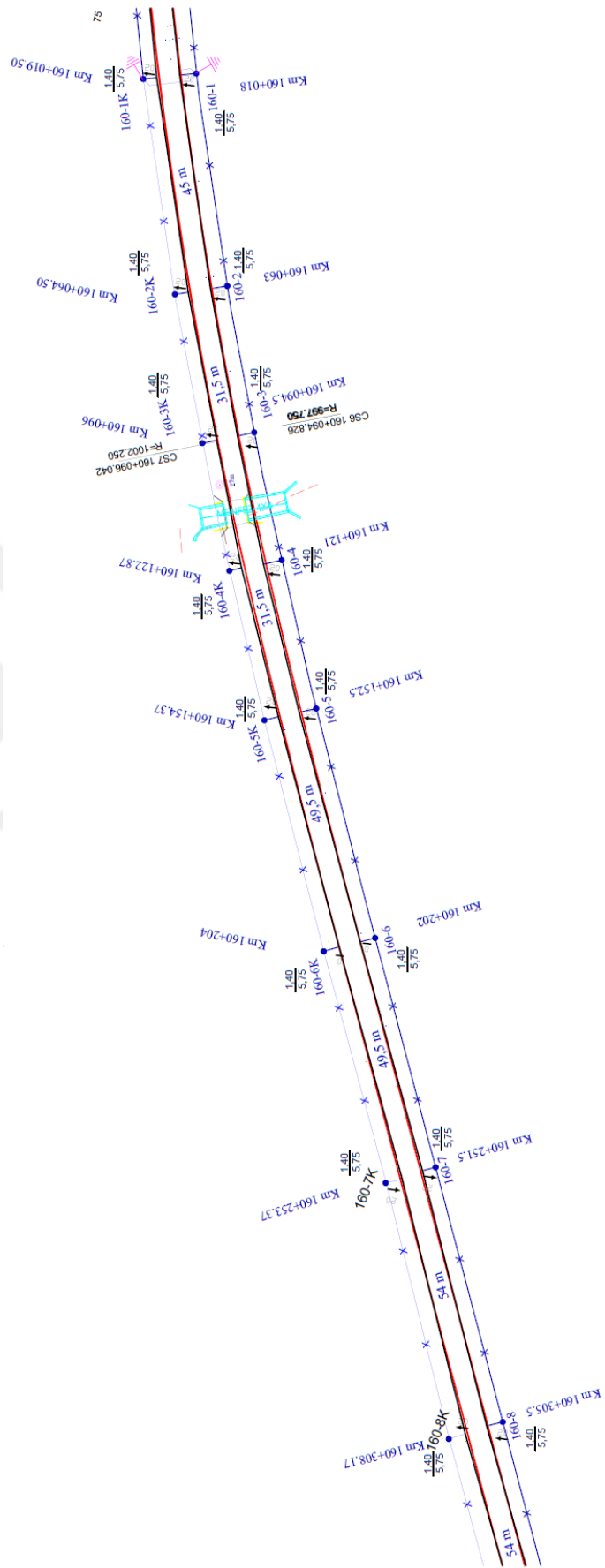


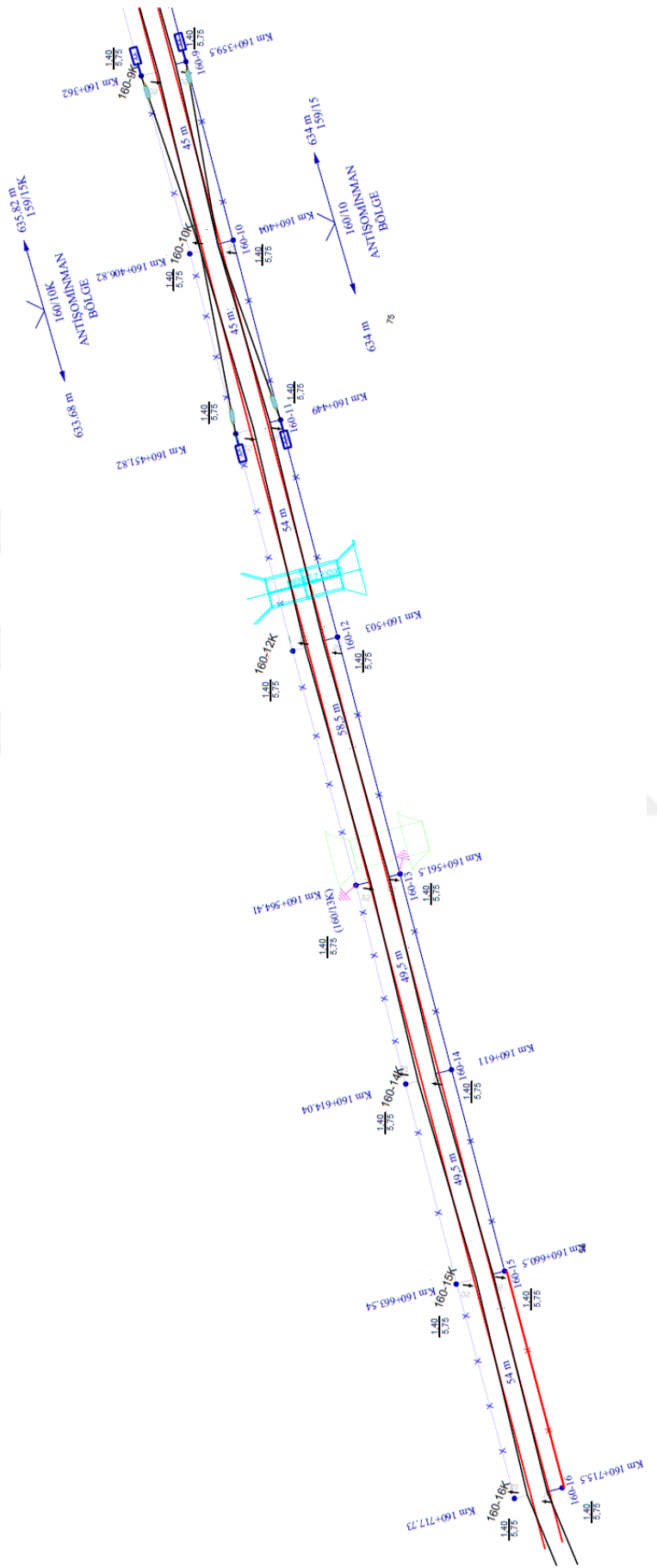


EKİPMAN BÖLGE

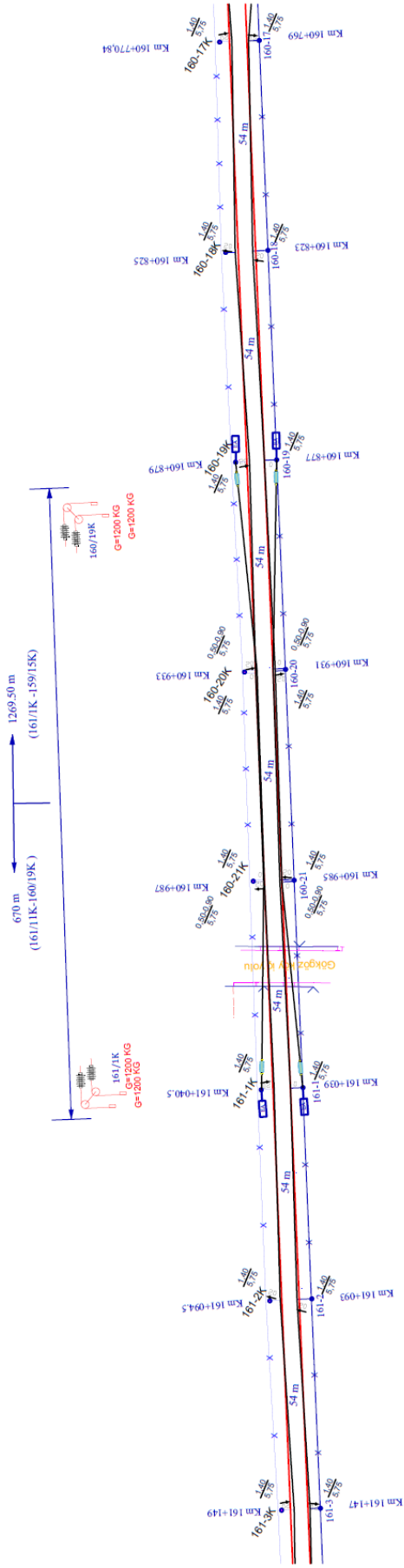
1269.50 m (161/1K - 159/15K)
1175.87 m (159/18K - 158/17K)



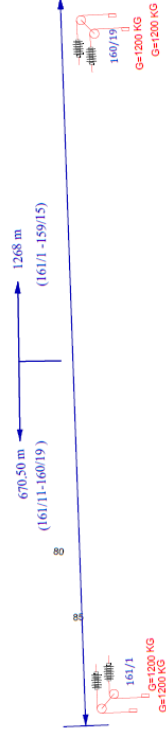




EKİPMAN BÖLGE

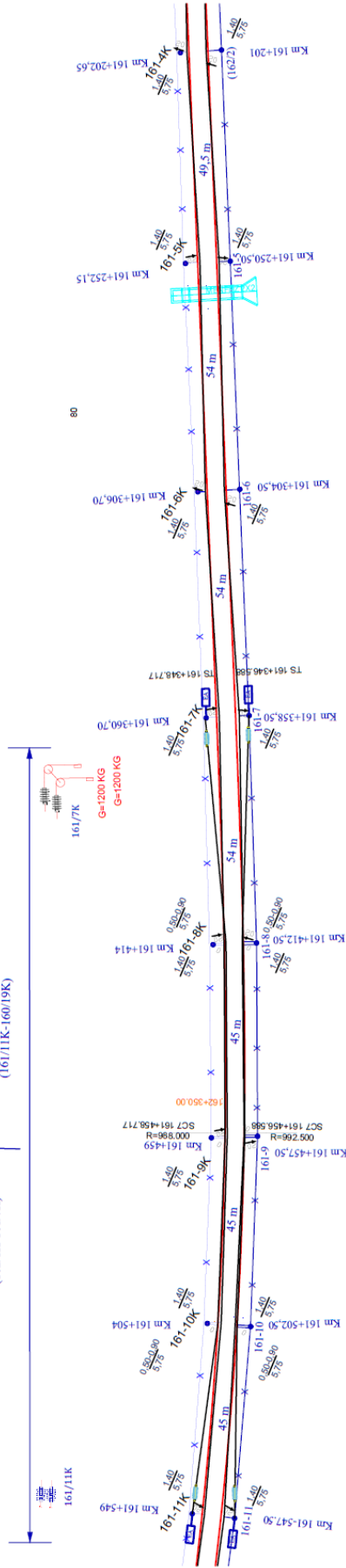


EKİPMAN BÖLGE



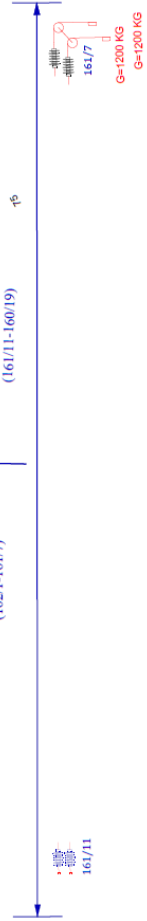
EKİPMAN BÖLGE

649,92 m
(162/11K-161/7K) → 670,69 m
(161/11K-160/19K)



EKİPMAN BÖLGE

651,19 m
(162/1-161/7) → 670,69 m
(161/11-160/19)



EKIPMAN BÖLGE

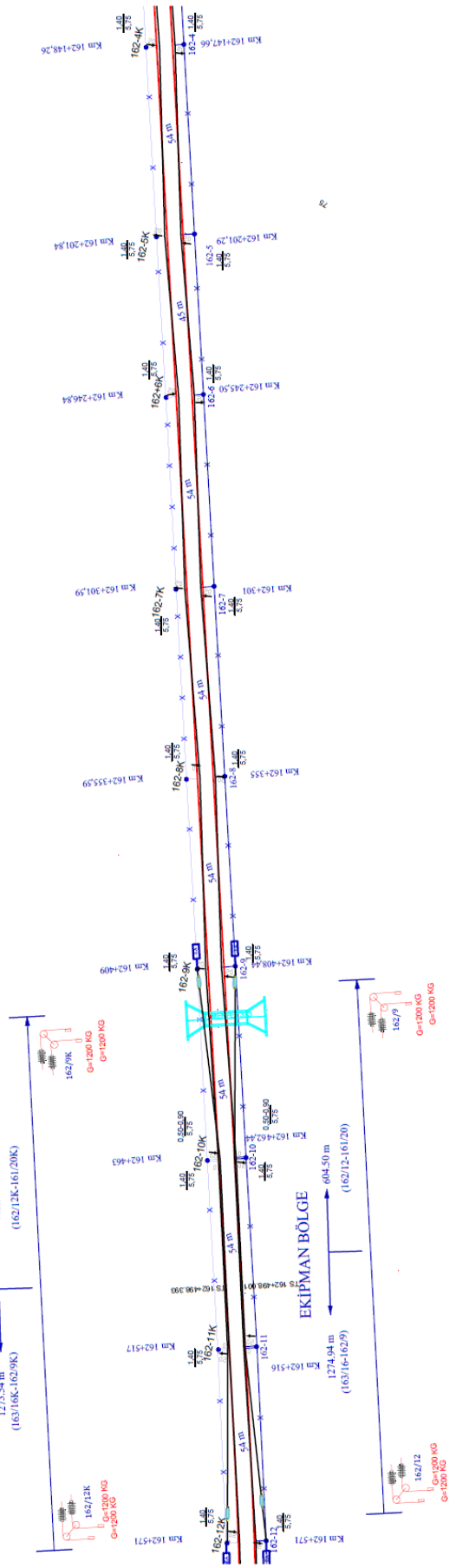
1273.54 m
(163/16K-162/9K)

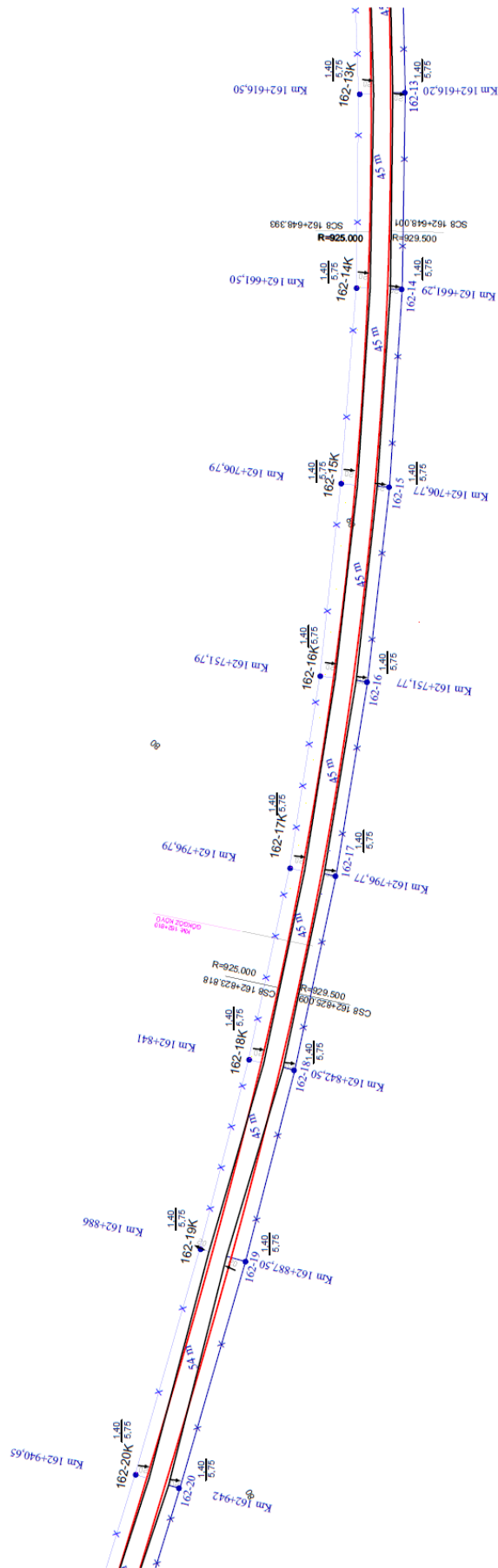
602.16 m
(162/12K-161/20K)

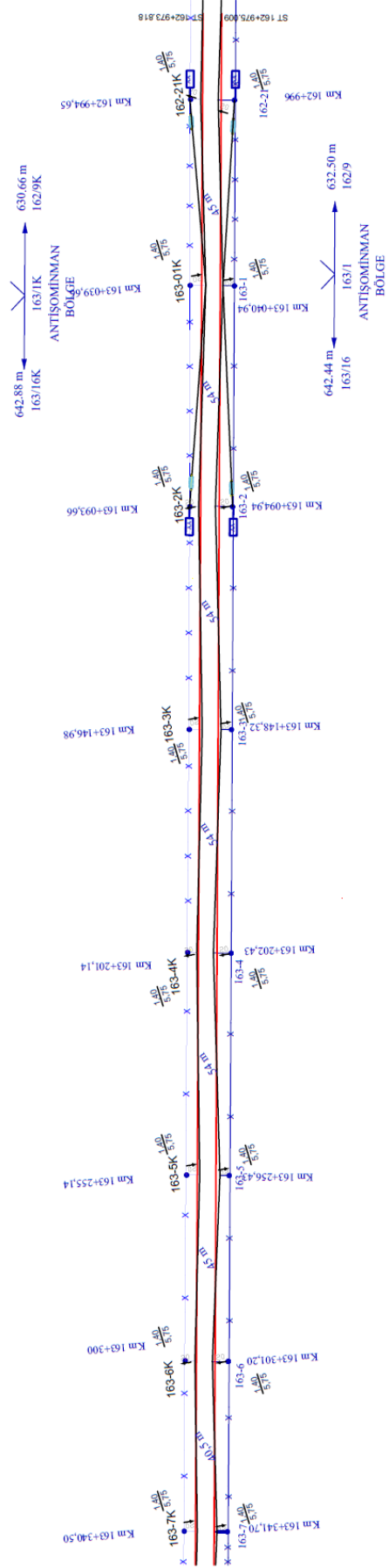
EKIPMAN BÖLGE

1274.94 m
(163/16-162/9)

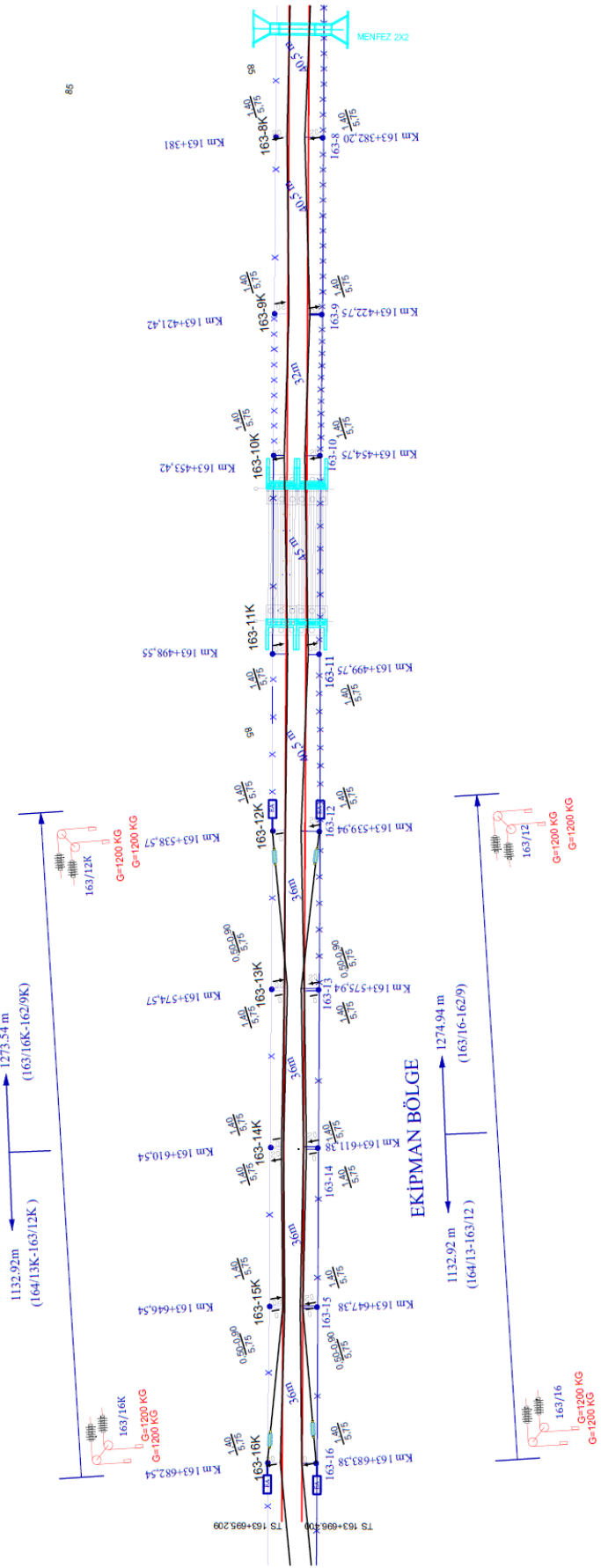
604.50 m
(162/12-161/20)







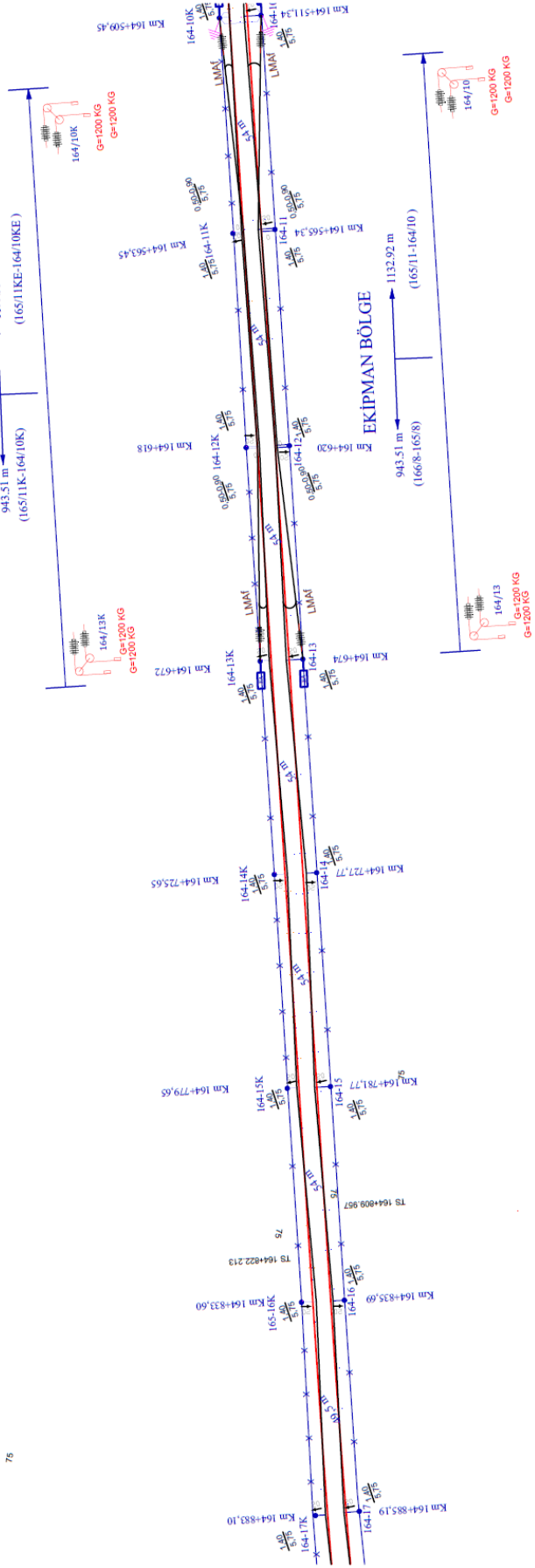
EKIPMAN BÖLGE

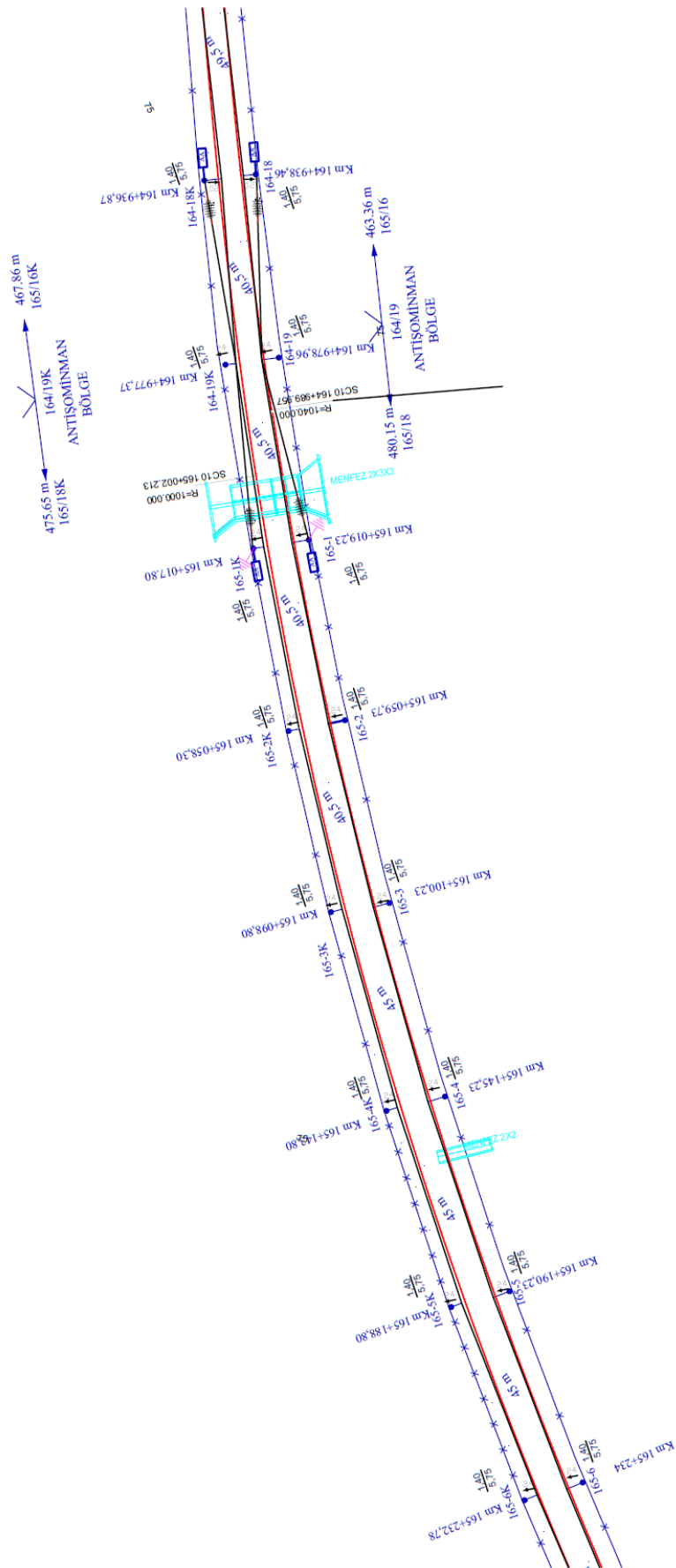


EKİPMAN BÖLGE

943.51 m
(165/11K-164/10K)

1132.92 m
(165/11KE-164/10KE)

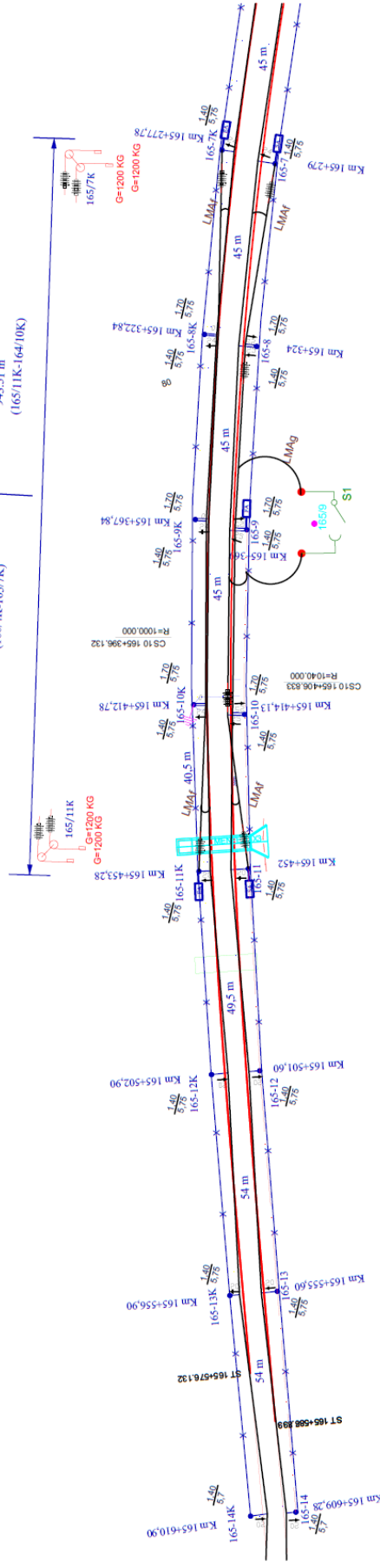






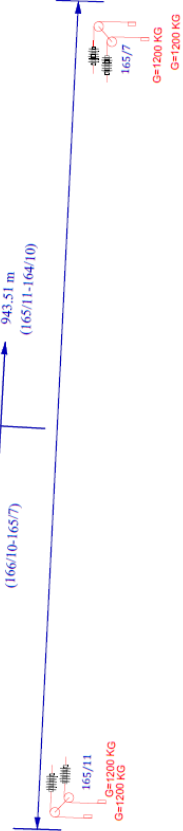
EKIPMAN BÖLGE

875,80 m
(166/4K-165/7K) → 943,51 m
(165/11K-164/10K)



SEKİYOMAN BÖLGE

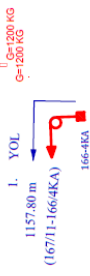
1093,30 m
(166/10-165/7) → 943,51 m
(165/11-164/10)



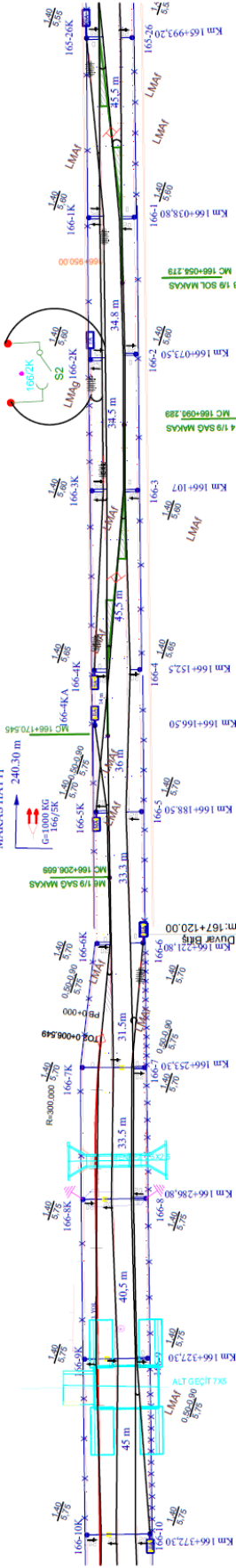


SEKİSYONMAN BÖLGE

998,10 m
(166/21K-165/26K)
875,80 m
(166-4K-165-7K)



(166/5K-165/25K)
MAKAS HATTI



EKİPMAN BÖLGE HATZ

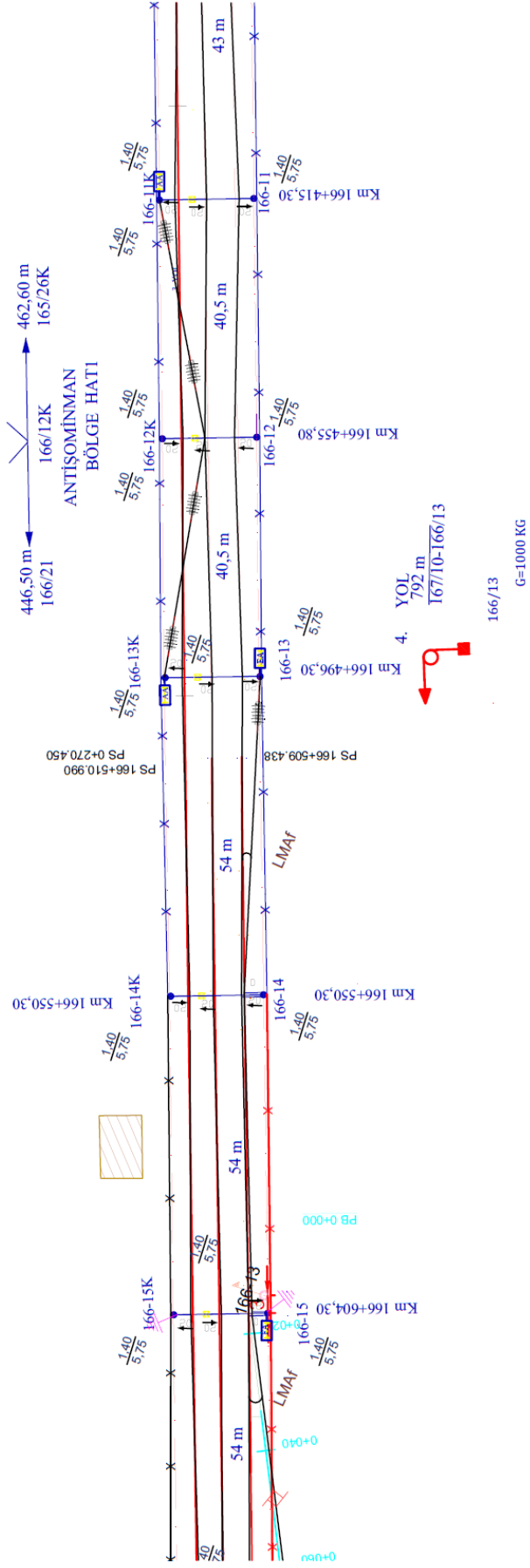
982 m
(167/6-166/6)
1093,30 m
(166/10-165/7)



166-6
G=1000 RG

166/10
G=1200 KG

8



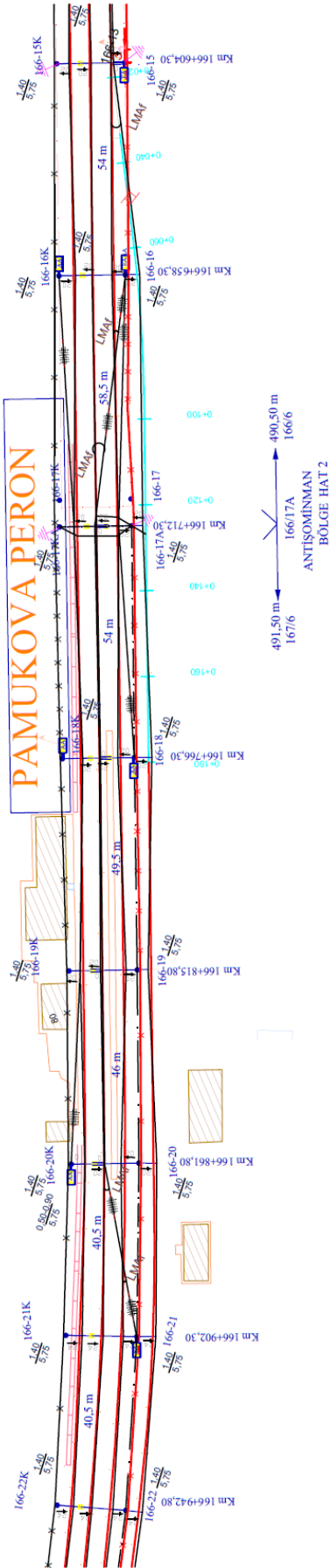
EKİPMAN BÖLGE HATI

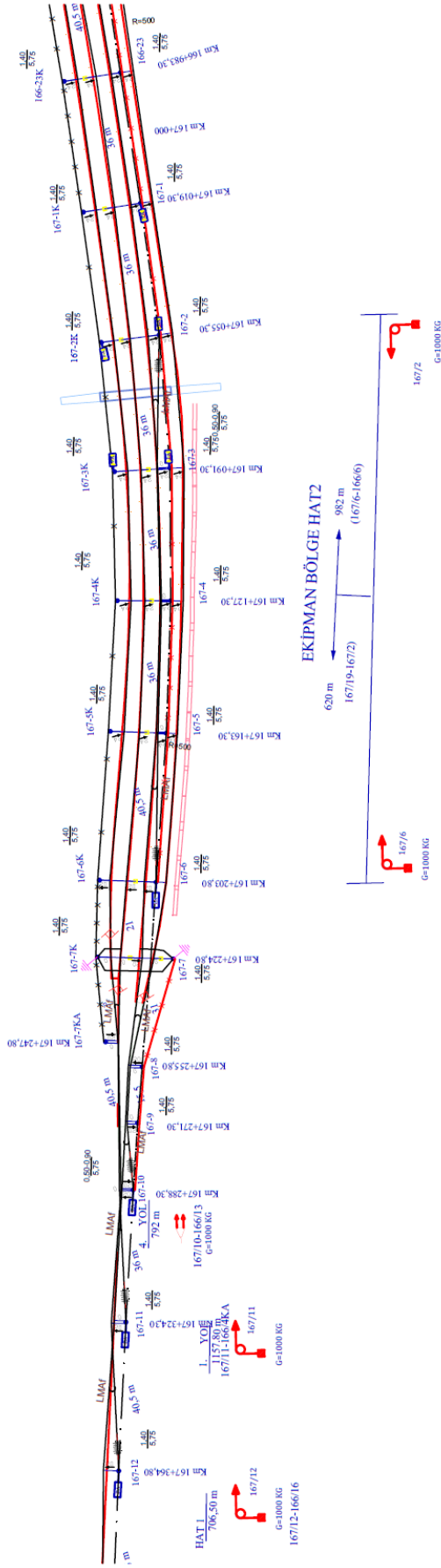
706.50 m → 909.10 m
(167/12-166/16 (166/21-165/26K))



80

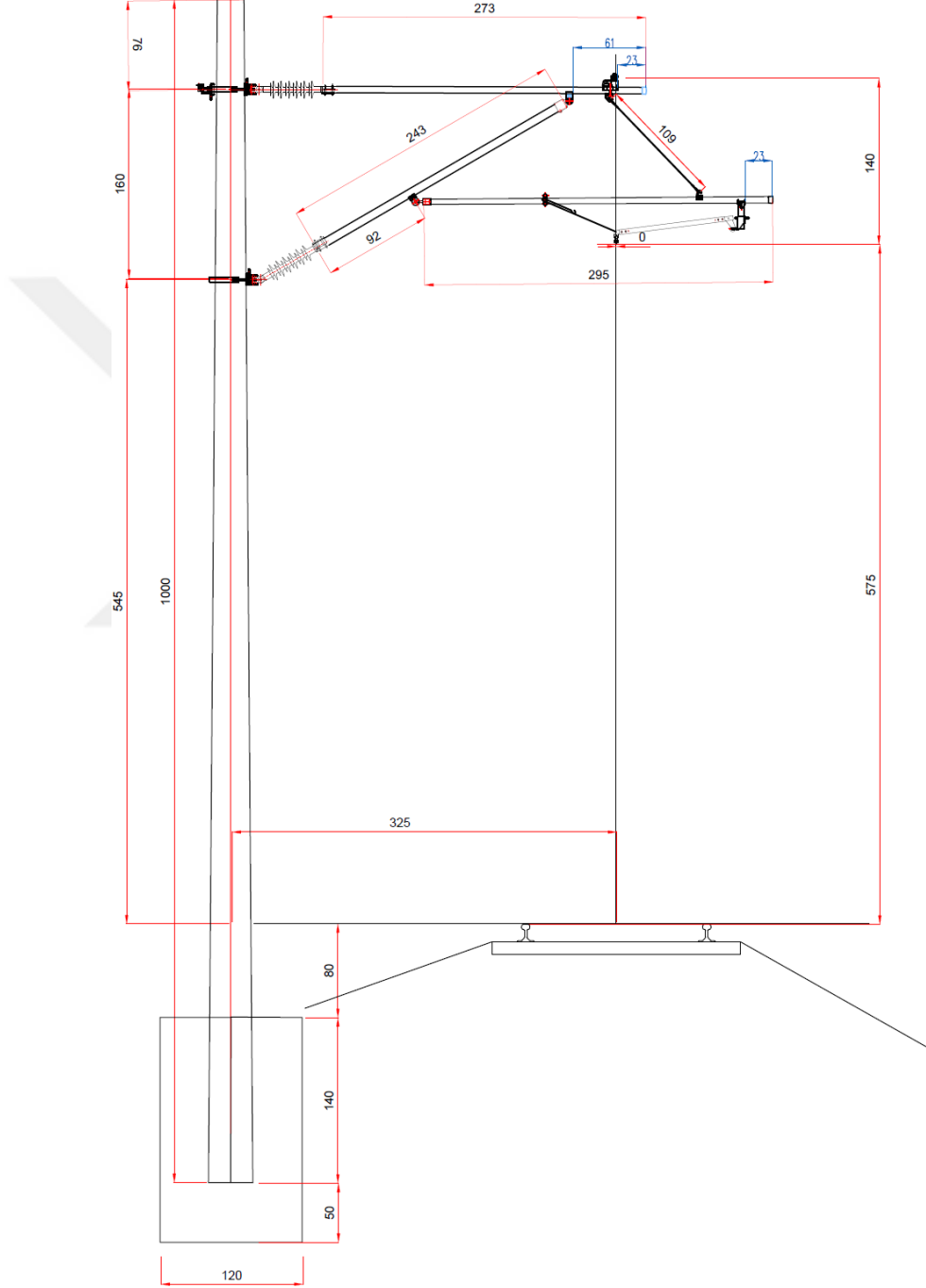
558 m → 599.80 m
166/20K 166/6K
ANTIŞONİNMAN
BÖLGE 1. YOL



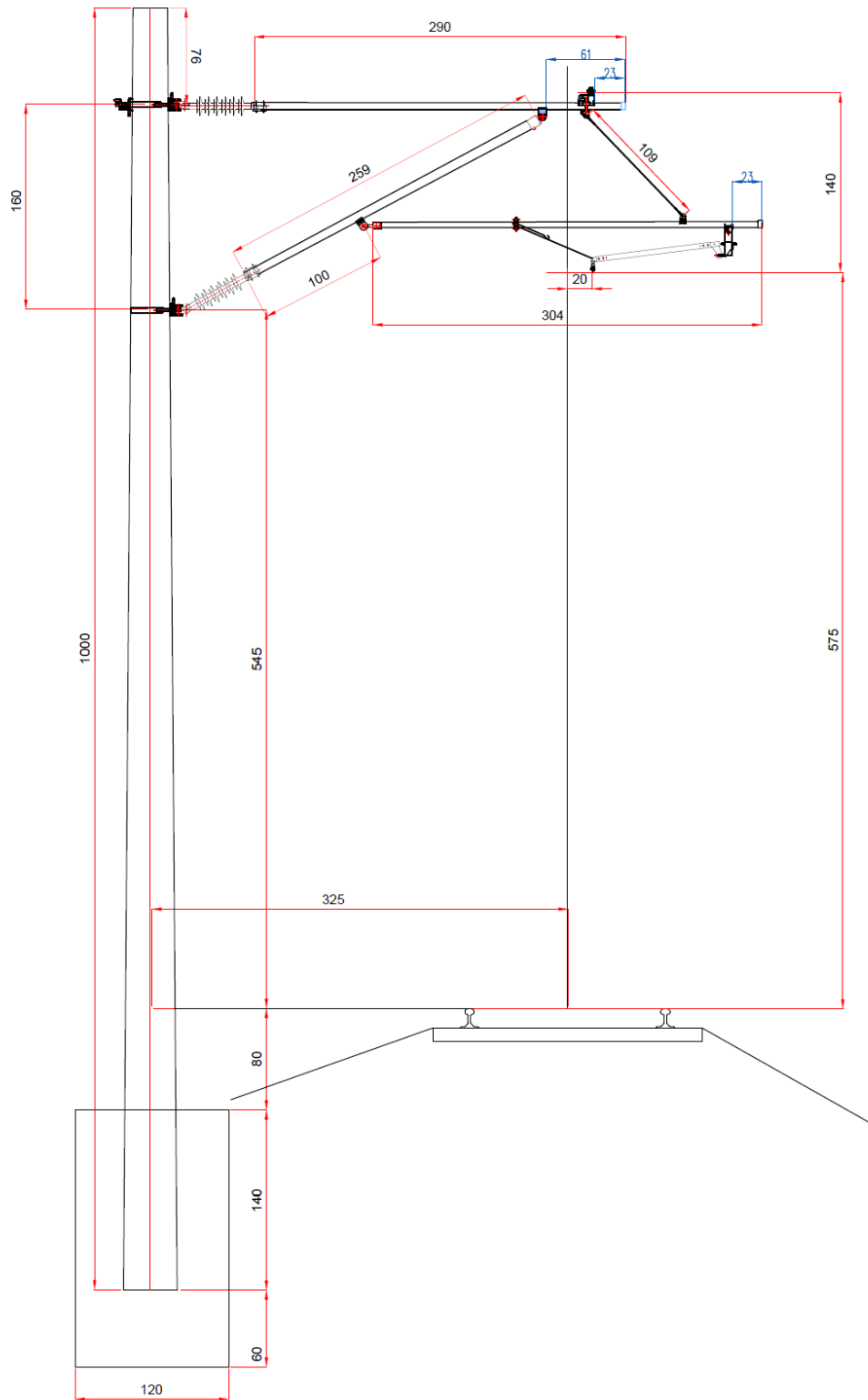


EK-I Alifuatpaşa(km 157+107)–Pamukova(km 167+206) İstasyonu arası montaj karnesi örnekleri

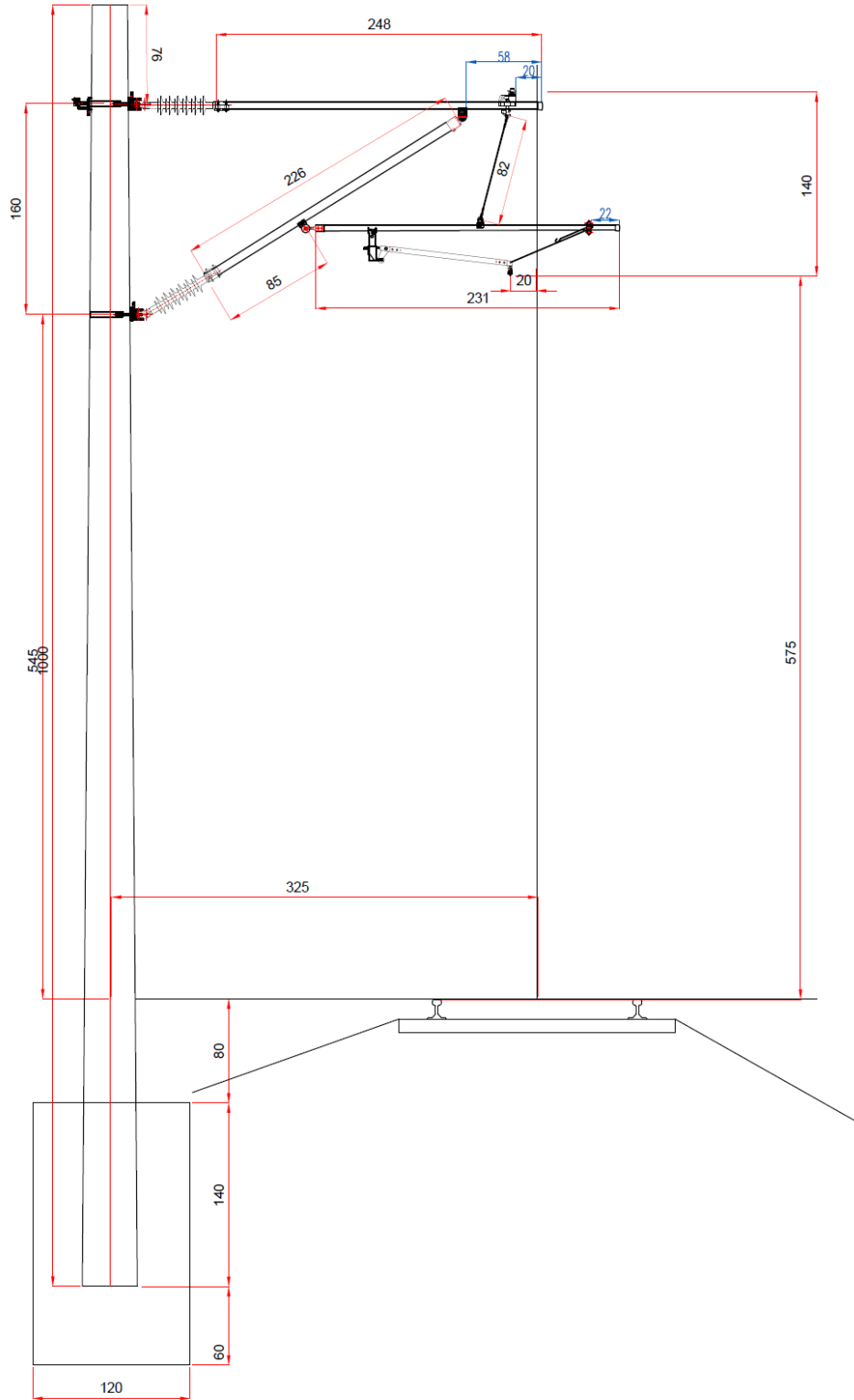
ALİĞMANDA (0)



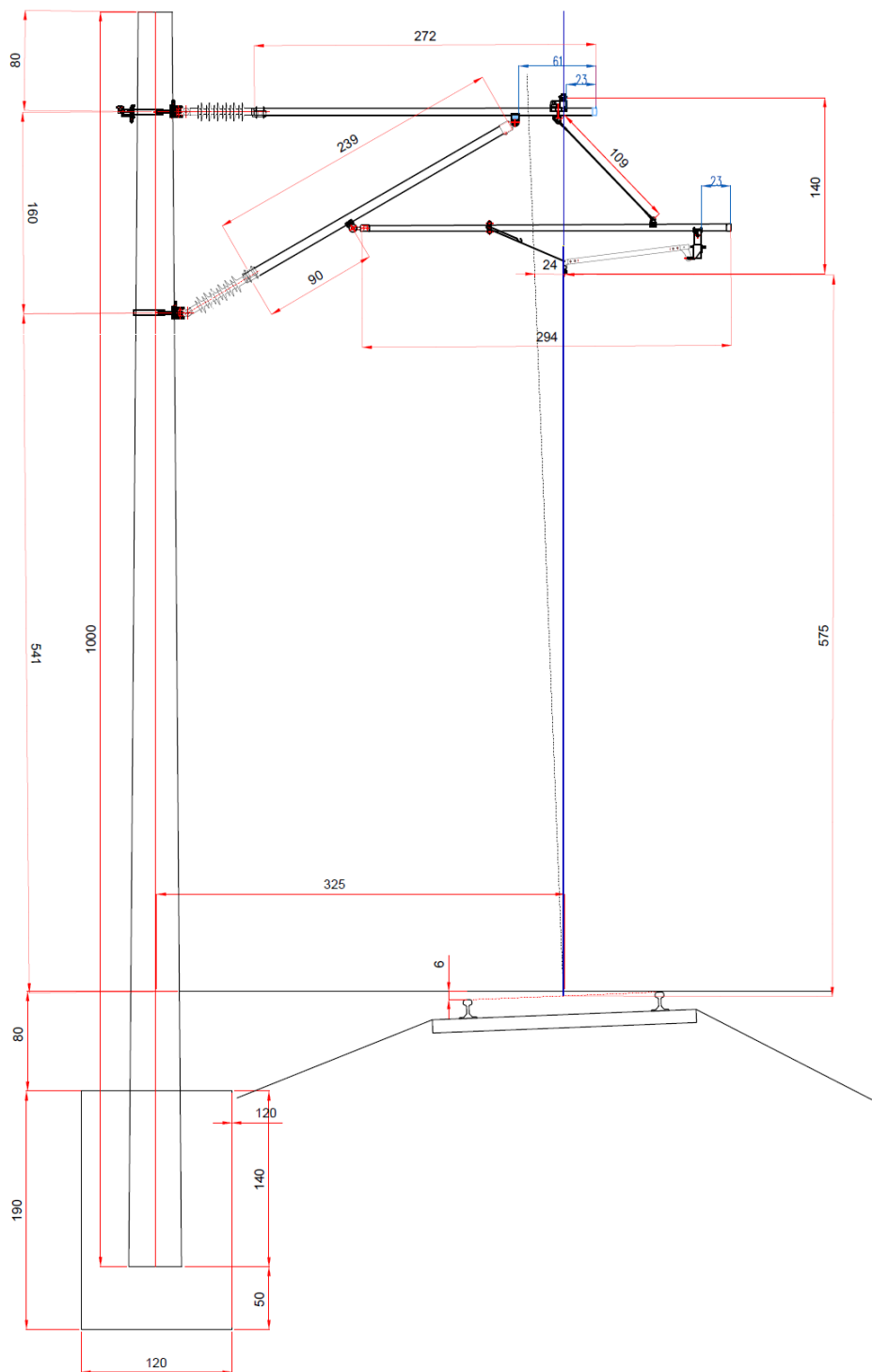
ALIĞMANDA (+20)



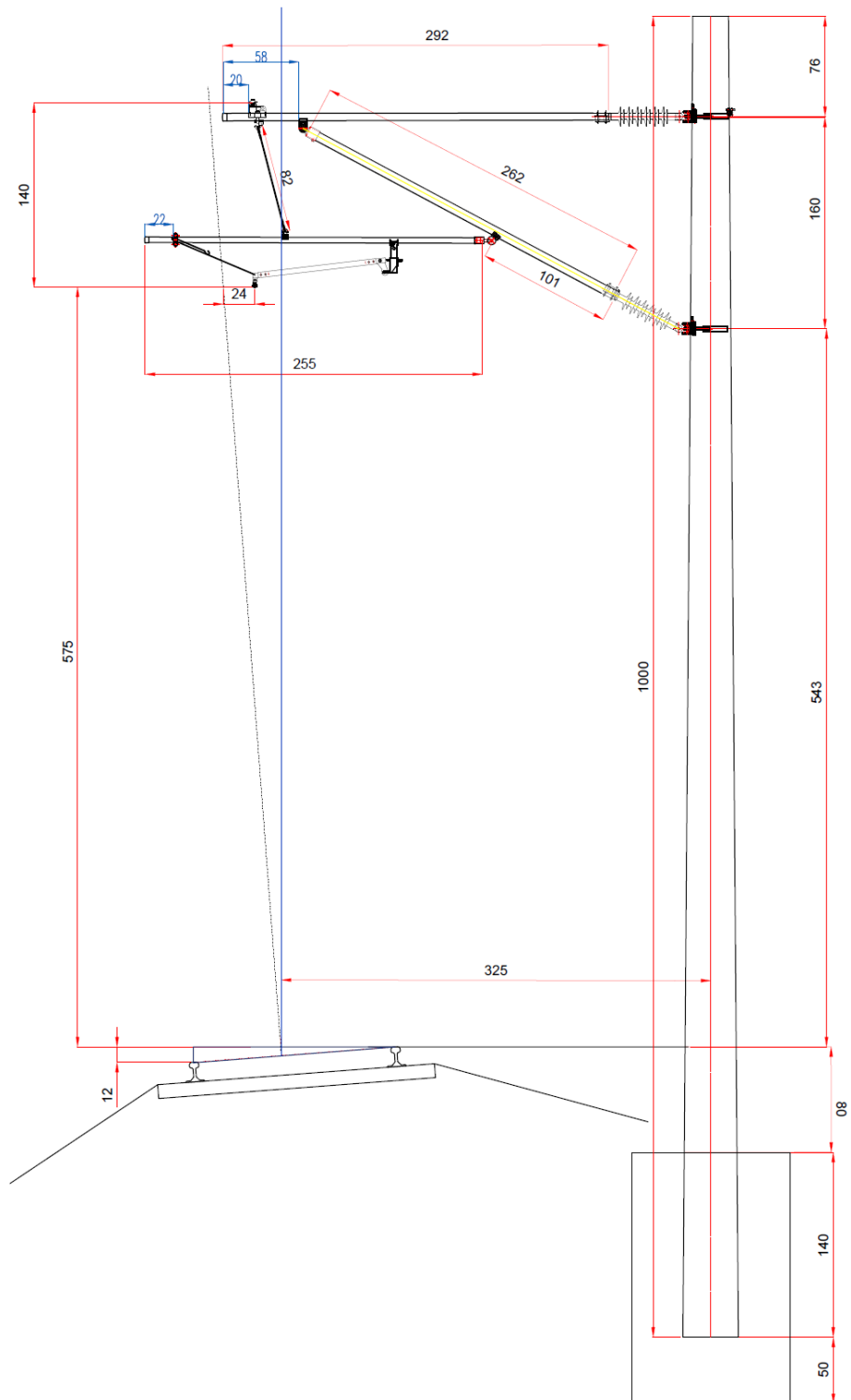
ALİĞMANDA (-20)



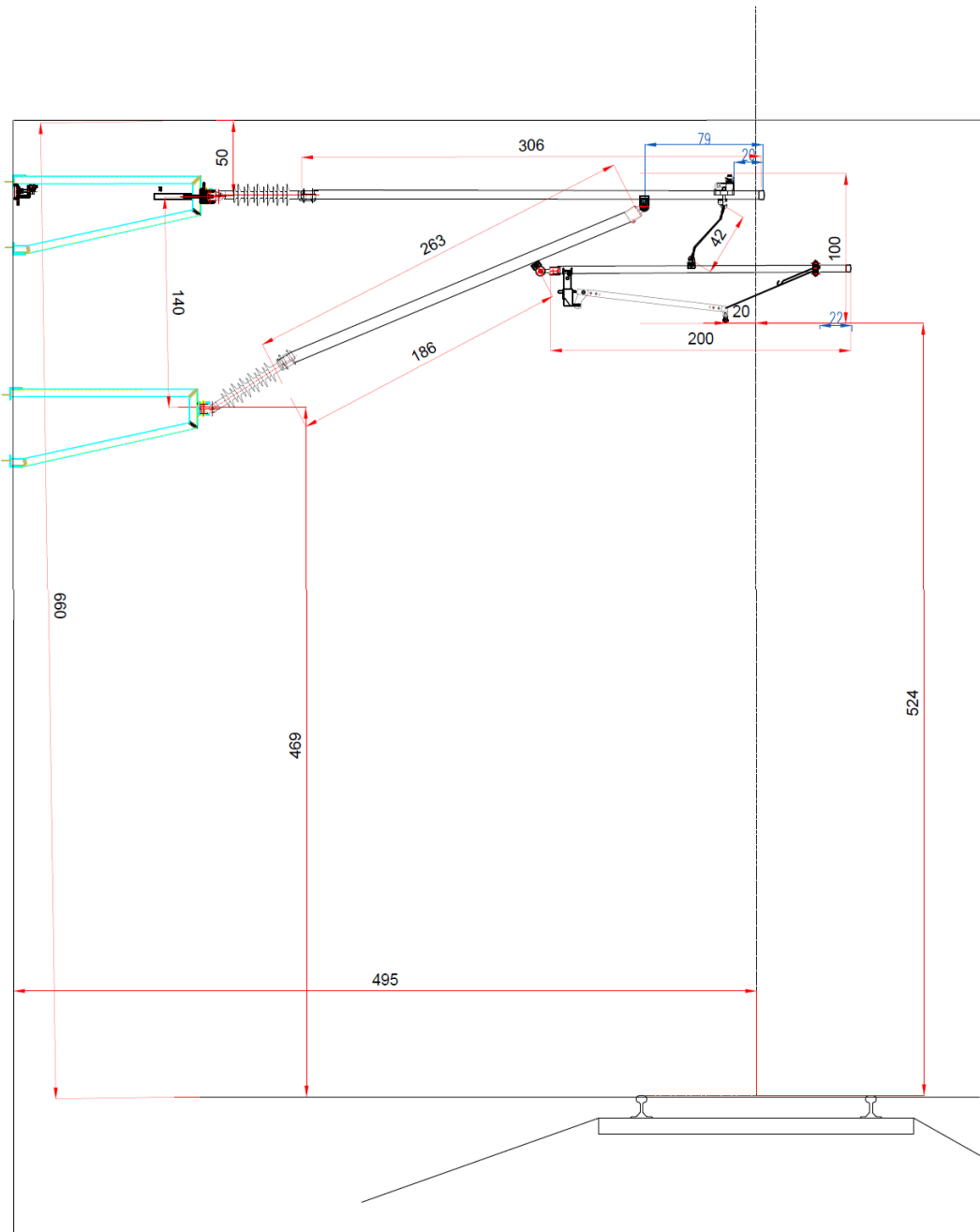
KURPTA (+24)



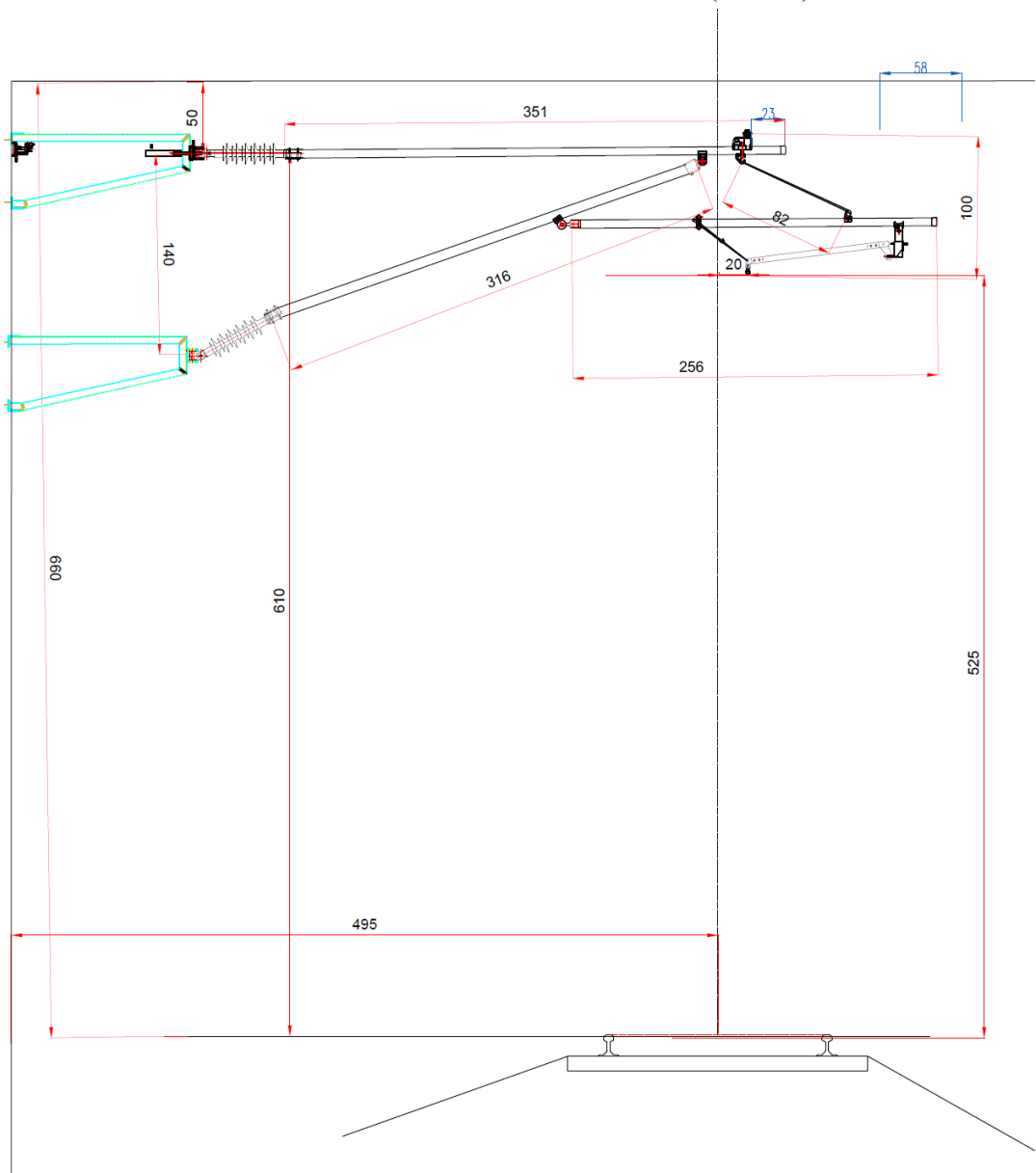
KURPTA (-24)



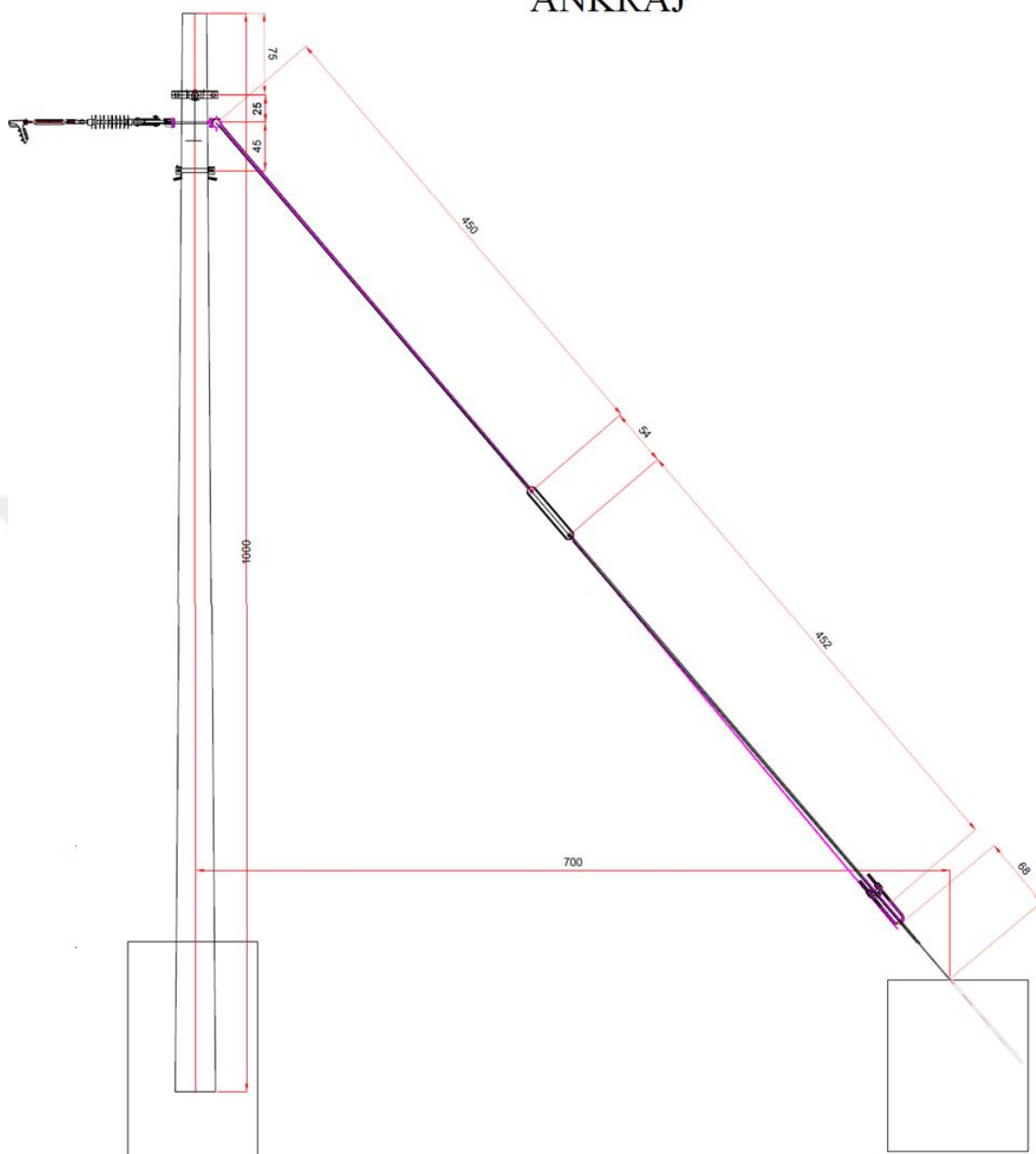
DUVARA MONTAJ(-20)



DUVARA MONTAJ(+20)



ANKRAJ



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Doğruer Ö.**, Kuşdoğan Ş., Yörükeren N., Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi, Demiryolu Mühendisliği Dergisi, 2019, **9**, 28-37.
- [2] **Doğruer Ö.**, Kuşdoğan Ş., Demiryolu Hatlarında Elektrifikasyon Sistem Tasarımı ve Uygulaması, *3. Uluslararası Mühendislik Araştırma Sempozyumu*, Düzce, Türkiye, 5-7 Eylül 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Ömür DOĞRUER 1986 yılında Kayseri’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseri’de tamamlayarak 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2008 yılında Kocaeli Üniversitesi’nden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılında TCDD’de Elektrik Mühendisi unvanı ile göreve başlamış olup halen aynı kurumda Demiryolu Modernizasyon Servis Müdürlüğü bünyesinde görevini sürdürmektedir.

