

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**PREFABRİK DÖŞEMELİ VE YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ  
BALASTSIZ ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**ÖMER FARUK ÖZTÜRK**

**İSTANBUL, 2012**



**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**PREFABRİK DÖŞEMELİ VE YERİNDE DÖKÜM KIRIŞLI  
BALASTSIZ ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**ÖMER FARUK ÖZTÜRK**

**Tez Danışmanı: DR. VEYSEL ARLI**

**İSTANBUL, 2012**

**T.C.**  
**BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

Tezin Adı: Prefabrik Döşemeli Ve Yerinde Döküm Kirişli Balastsız Üstyapıların  
Karşılaştırılması  
Öğrencinin Adı Soyadı: Ömer Faruk ÖZTÜRK  
Tez Savunma Tarihi: 07.09.2012

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç.Dr. Faik Tunç BOZBURA  
Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Mustafa ILICALI  
Program Koordinatörü

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı  
Dr. Veysel ARLI

.....

Üye  
Yrd.Doç.Dr. Nilgün CAMKESEN

.....

Üye  
Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

.....

## ÖNSÖZ

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Yüksek Lisans Programı Koordinatörü Sayın Prof. Dr. Mustafa ILICALI ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Nilgün CAMKESEN Hocalarıma; tez çalışmam sırasında bana yol gösteren ve her türlü yardımı sağlayan çok sevdiğim değerli Hocam Sayın Dr. Veysel ARLI 'ya, kaynak temini konusunda yardımlarını esirgemeyen, başta Proje Müdürü Sadri YAZGAN, Proje Müdür Yardımcısı Gökhan ERKUŞ, Yer Üstü İşleri Şefi Yunus ARACI, Proje Koordinatörü Deniz BÜYÜKGÖKMEN olmak üzere Gülermak-Doğuş çalışanlarına, Emay Mühendislik çalışanı Mehmet Ali UĞRAŞ Bey'e, Astaldi-Gülermak Ortaklığı Proje Müdür Yardımcısı Alper UZMAN Bey'e, mesai arkadaşım Yüksek Harita Mühendisi H. Mehmet TOPALOĞLU'na, bilgisi ve tecrübesinden faydalandığım Demiryolu Uzmanı Mehmet YILDIRIM ağabeyime ve Muhammed Nesih DEMİRDAĞ Bey'e, boş vakitlerimde beni çalışmam için sürekli motive eden Sevgili Annem ve Babama, yabancı dil tercüme işlerimi büyük bir özveriyle halleden Sevgili kardeşim Samet Yasin ÖZTÜRK' e, tez çalışması boyunca bana sabır gösteren sevgili eşim Demet ÖZTÜRK'e ve biricik kızım Nâime' ye teşekkürü borç bilirim.

Ömer Faruk ÖZTÜRK

İstanbul, 2012

## ÖZET

### PREFABRİK DÖŞEMELİ VE YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ BALASTSIZ ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Ömer Faruk Öztürk

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Dr. Veysel Arlı

Eylül 2012, 97 sayfa

Demiryolu üzerine dünyada yaşanan teknolojik gelişmelere ülkemizde hızla ayak uydurmaktadır. Her alanda gelişmekte olan ülkemizde son yıllarda büyük ulaştırma yatırımları yapılmıştır ve halen de yapılmaya devam edilmektedir. Şöyle ki, ulusal demiryolu ağıma her geçen gün yeni ana ve tali hatlar eklenmekte, yüksek hızlı demiryolu hatları inşa edilmekte, yeni kent içi raylı sistem hatları İstanbul, Ankara, İzmir gibi metropollerde insanımızın hizmetine sunulmakta, modern ve konforlu ulaşım sayesinde büyükşehirde yaşam zorluğu ve stres azalmakta, trafikte geçen zamandan dolayı maddi ve manevi kayıplar en aza indirilmektedir. Ayrıca Anadolu'muzun Eskişehir, Bursa, Samsun, Kayseri, Adana gibi ciddi bir potansiyele sahip büyükşehirleri de raylı sistem ağına sahip olan şehirler arasına isimlerini yazdırmaktadırlar. Yakın gelecekte bunları başkaca şehirlerimizin ve büyükşehirlerimizin izleyeceği muhakkaktır.

Bütün bu gelişmeler paralelinde, ülkemizde dünyadaki demiryolu yapım metodolojisi de değişimden nasibini almış bulunmaktadır. Bu değişim demiryolu üstyapısında en belirgin bir biçimde kendini göstermektedir. Özellikle şehir içi raylı sistemlerinde ve metrolarda balastlı hatlar yerini tamamen balastsız hatlara terk etmiş bulunmaktadır. Balastlı hatların ilk yapım maliyetlerinin balastsız hatlara göre az olduğu, ancak uzun vadede bakım ve onarım masrafları ile değerlendirildiğinde balastsız hatların daha ekonomik oldukları günümüzde iyi bilinmektedir.

Bu çalışmamızda balastsız hatların kendi içinde bir sınıflandırma yapılarak, yerinde dökme ray altı betonlu bir hat ile prekastlı sistem bir hattın kıyaslamasına gidilmiştir. İki sistem teknik yönden ve mali yönden incelenmiş olup sonuçları ilgili bölümlerde açıklanmıştır. Yurt dışında yıllardır kullanılan prekast panel sistemin, Türkiye'deki ilk uygulaması avantaj ve dezavantajları ile kıyaslanmaktadır. Maliyeti yüksek olan bu sistemin, montaj süresinin kısa, imalat kalitesinin çok yüksek olması daha sonra yapılacak olan metro hatlarında kullanılması açısından önemli bir kilometre taşı olduğunu düşünmekteyiz. Temennimiz odur ki, Ülkemizde uygulanan bu Prekastlı Demiryolu Üstyapı Sistemi, daha başka projelerde de uygulanarak demiryolu literatüründe yerini alır.

Bu çalışmanın, demiryolu ile ilgilenen herkese faydalı olmasını dilerim.

**Anahtar Kelimeler:** Demiryolu Üstyapısı, Balastlı Hat, Balastsız Hat, Prekast Panel

## ABSTRACT

### THE COMPARISON OF PREFABRICATE AND UNDER RAIL PLINTH CONCRETE BALLASTLESS SUPERSTRUCTURES

Ömer Faruk Öztürk

Urban Systems and Transportation Management

Thesis Supervisor: Dr. Veysel Arlı

September 2012, 97 pages

Our country rapidly keeps up with global technological advancements in railway systems. Turkey keeps developing in every field and huge transportation investments have been made in recent years, which still take place around the country. That is, each day new main lines and secondary lines are added to our national railway network, high speed rail lines are constructed, and new urban rail transit lines are put into service in metropolitan cities like Istanbul, Ankara, and Izmir. By this means, modern and comfortable transportation ways are offered to people and this has reduced difficulties and stress in metropolitan cities, time wasting in traffic jam, and financial and intangible damages. Furthermore, high-potential metropolitan cities in Anatolia like Eskisehir, Bursa, Samsun, Kayseri, and Adana are also started to have railway lines. It is so sure that other metropolitan cities will be added to the list very soon.

In line with these advancements, our country has been affected by the changes in railway construction methodology in the world. These changes became very noticeable in railway superstructure. Ballasted tracks replaced with ballastless tracks especially in urban rail transit lines and undergrounds. It is very well known today that even though construction cost of ballasted tracks is lower than ballastless tracks, ballastless lines are more economical when maintenance and repair expenses are taken into consideration in a long term.

In this study, ballastless tracks were classified in it and plinth concrete and precast system railway line were compared. Two systems were analyzed technically and financially, and then the results were explained in related chapters.

The first application of precast panel system, which was being used in abroad for many years, in Turkey was compared according to its advantages and disadvantages. It is thought that precast panel system, which costs high but can be assembled in a short time and has a high quality of production, will be a milestone for railway lines. It is expected that precast concrete railway track system, which was applied in Turkey, will be used in other projects and take its place in railway literature.

I hope everyone interested in railway will take advantage from this study.

**Keywords:** Railway slab track, ballasted track, ballastless track, precast panel

## İÇİNDEKİLER

<b>TABLolar</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OTOGAR-BAĞCILAR-BAŞAKŞEHİR-OLİMPİYAT KÖYÜ METRO HATTI</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 RAYLI SİSTEM TASARIM KRİTERLERİ</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2.1 İşletme Şartları</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1.1 Kapasite</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1.2 Trenler Arasındaki Zaman</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1.3 Günlük İşletim Süresi</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1.4 İşletme Esnekliği</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.2 Çevre Özellikleri</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.3 Güzergah Tasarım Kriterleri</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.4 Hattın İşletme Bilgileri</b> .....	<b>19</b>
<b>3. DEMİRYOLU ÜST YAPISI</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 GİRİŞ</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 KLASİK DEMİRYOLU ÜST YAPISI</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.1 Üst Yapı Elemanları</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.1.1 Raylar</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2.1.2 Traversler</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.1.3 Balast</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.1.4 Bağlantı Malzemeleri</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3 BETONA TESPİTLİ BALASTSIZ DEMİRYOLU ÜST YAPISI</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3.1 Beton Döşeme Demiryolu Sistemleri</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.1.1 Mesnetli Döşemeli Demiryolu Sistemleri</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3.1.2 Sürekli Gömülü Raylı Üst Yapı Sistemi</b> .....	<b>42</b>



<b>4. OTOGAR-BAĞCILAR BAŞAKŞEHİR METRO HATTINDA KULLANILAN BALASTSIZ ÜSTYAPILAR .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 GİRİŞ .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ BALASTSIZ ÜSTYAPI .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Temin Edilecek Malzemeler .....	44
4.2.2 Ray Altı Kirişi Betonunun Özellikleri.....	44
4.2.3 Ray Altı Kirişi (Plinth Betonu) Hesapları.....	45
4.2.3.1 Ray Altı Kirişi (Plinth Betonu) Etriye Hesapları .....	47
4.2.3.2 Ray Altı Kirişi (Plinth Betonu) Boyuna Donatı Hesabı .....	51
4.2.4 Yerinde Dökme Ray Altı Kiriş Yapım Metodu .....	54
4.2.4.1 Montaj Ve Aplikasyon İşleri .....	54
4.2.4.2 Üst Yapı Malzemesinin Montaj Mahalline Taşınması.....	56
4.2.4.3 Betona Doğrudan Tespitli Hat Yapılması.....	57
<b>4.3 PREFABRİK DÖŞEMELİ BALASTSIZ ÜST YAPI.....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Prefabrik Demiryolu Üst Yapı Hesapları .....	62
4.3.1.1 Birinci Model Yükleri.....	66
4.3.1.2 İkincil Model Yükleri.....	67
4.3.1.3 Yük Kombinasyonları.....	70
4.3.1.4 Prekast Ray altı Döşemelerinin Donatılandırılması .....	71
4.3.2 Prekast Balastsız Üst Yapı Yapım Metodu.....	78
<b>4.4 PREKAST VE YERİNDE DÖKÜM ÜST YAPININ KARŞILAŞTIRILMASI ..</b>	<b>85</b>
4.4.1 Teknik Açından Karşılaştırma .....	85
4.4.2 Maliyet Açısından Karşılaştırma.....	88
4.4.2.1 Yerinde Döküm Doğrudan Tespitli Hattın Maliyeti .....	88
4.4.2.2 Prekast Demiryolu Üst Yapısının Maliyeti .....	90
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>92</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>

## TABLULAR

Tablo 2.1: Proje Genel Bilgileri Tablosu .....	5
Tablo 2.2: Metro ve LRT Hat Uzunlukları .....	5
Tablo 2.3: İstasyon Yapılarına Ait Alan Bilgileri .....	13
Tablo 2.4: Yolculuk Süreleri .....	15
Tablo 2.5: Çevre Özellikleri .....	17
Tablo 2.6: Güzergah Tasarım Kriterleri .....	18
Tablo 2.7: Hattın İşletme Bilgileri .....	20
Tablo 4.1: Genel Yükler ve Tanımlar .....	46
Tablo 4.2: Prekast Alt Eğilme Donatısı Hesap Tablosu .....	74
Tablo 4.3: Prekast Üst Eğilme Donatısı Hesap Tablosu .....	75
Tablo 4.4: Bir Adet Prekast Panelin Donatı Metrajı .....	78
Tablo 4.5: İki Sistemin Fiziksel Büyüklükler Açısından Karşılaştırma Tablosu.....	85
Tablo 4.6: Prekast ve Kirişli Sistem İmalat Sürelerinin Karşılaştırılması .....	85
Tablo 4.7: Prekast ve Yerinde Döküm Üstyapı Karşılaştırma Tablosu-1.....	86
Tablo 4.8: Prekast ve Yerinde Döküm Üstyapı Karşılaştırma Tablosu-2.....	87
Tablo 4.9: Doğrudan Tespitli Yol Yapım Pozu Analizi (Amerikan Doları).....	89
Tablo 4.10: Prekastlı Demiryolu Üst Yapısı Maliyet Tablosu (Amerikan Doları).....	91

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı Güzergahı.....	3
Şekil 2.2: Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı İstasyonları.....	4
Şekil 2.3: Otogar-Bağcılar-Kirazlı (LRTS) Hattı.....	6
Şekil 2.4: Kirazlı-İkitelli-Başakşehir Metro Hattı.....	7
Şekil 2.5: İkitelli-Olimpiyat Köyü Metro Hattı .....	7
Şekil 2.6: Olimpiyat İstasyonu .....	8
Şekil 2.7: Depo ve Atölye Sahası.....	8
Şekil 2.8: Depo ve Atölye Sahasındaki Yol ve Makaslar .....	8
Şekil 2.9: TBM Kesici Kafanın Görünüşü .....	9
Şekil 2.10: TBM Boy Kesit Görünümü .....	10
Şekil 2.11: Segment Donatılarının Özel Kalıba Konulup Betonunun Dökülmesi.....	10
Şekil 2.12: Kalıba Alınan Segmentlere Buhar Kürü Uygulanması.....	11
Şekil 2.13: TBM ' in İstasyon Yapısına girişi.....	11
Şekil 2.14: Olimpiyat Köyü Viyadüğü.....	12
Şekil 2.15: Gelecekte Projeye Entegre Olması Planlanan Metro Hatları.....	14
Şekil 3.1: Klasik Demiryolu Üst Yapısı.....	22
Şekil 3.2: Rayın Kısımları.....	23
Şekil 3.3: Rayın Üretimi .....	23
Şekil 3.4: En Sık Kullanılan Ray Tipleri .....	25
Şekil 3.5: Travers Yerleşimleri .....	26
Şekil 3.6: Ahşap, Betonarme Ve Çelik Travers .....	27
Şekil 3.7: U31 İkiz Bloklü Donatılı Beton Traversler ve Monoblok Beton Traversler ( B55 Tipi).....	28
Şekil 3.8: Balastlı Yol Enkesiti .....	30
Şekil 3.9: Otogar-Bağcılar Hattı Depo Sahasında Balastlı Yollar .....	31
Şekil 3.10: Cıvata Tipli Elastik Bağlantı .....	33

Şekil 3.11: Cıvata Tipli Elastik Bağlantı Çeşitleri .....	34
Şekil 3.12: Yay Tipi Elastik Bağlantı .....	34
Şekil 3.13: Yay Tipli Elastik Bağlantı Çeşitleri.....	35
Şekil 3.14: Shinkansen Prefabrik Levha Döşeme Sistemi .....	38
Şekil 3.15: Bögl Prekast Döşemeli Demiryolu Sistemi .....	39
Şekil 3.16: Stedef Demiryolu Sistemi .....	40
Şekil 3.17: Rheda Üst Yapı Sisteminin Döşenmesi.....	41
Şekil 3.18: Rheda Üst Yapı Sistemi.....	41
Şekil 3.19: Edilon Sürekli Gömülü Üst Yapı Sistemi.....	42
Şekil 4.1: Ray Üzerine Etki Eden Kuvvet Bileşenleri .....	48
Şekil 4.2: Tipik Ray Altı Kiriş Anosu.....	52
Şekil 4.3: Plinth Beton Donatı Yerleşim Projesi.....	54
Şekil 4.4: Montaj Sonrası Aplikasyon Çalışmaları .....	55
Şekil 4.5: Rayların Stok Sahasından Montaj Sahasına Nakledilmesi .....	56
Şekil 4.6: Ray Altı Kiriş Filizlerinin Bükülmesi.....	57
Şekil 4.7: Rayların Ray Maşası İle Tutularak Aderans Filizleri Üzerine Konulması.....	58
Şekil 4.8: Rayların Kalıp Aşamasından Önceki Son Montajı.....	58
Şekil 4.9: Kalıba Alınmış Ray Altı Kirişleri.....	59
Şekil 4.10: Beton Dökümüne Hazır Hale Getirilmiş Ray Altı Kirişleri .....	59
Şekil 4.11: Kalıba Alınan Ray Altı Kirişleri (Çizim) .....	60
Şekil 4.12: Rayların ve Bağlantı Malzemelerinin Koruyucu Malzeme İle Sarılması.....	60
Şekil 4.13: Ray Altı Kiriş Betonunun Dökülmesi.....	61
Şekil 4.14: Tespit Beton Dökülüp Kalıbı Alınmış Ray Altı Kirişleri .....	61
Şekil 4.15: Prefabrik Ray Altı Döşemeleri .....	64
Şekil 4.16: Prefabrik Ray Altı Döşemeleri Kesit Görünümü ve Donatı Planı.....	76
Şekil 4.17: Prefabrik Ray Altı Döşemesi Donatı Planı .....	76

Şekil 4.18: Prefabrik Ray Altı Döşemesi A-A Kesiti Görünümü ve Donatı Planı .....	77
Şekil 4.19: Prefabrik Ray Altı Döşemesi B-B Kesiti Görünümü ve Donatı Planı.....	77
Şekil 4.20: Prefabrik Ray Altı Panellerinin Askı Aparatı İle Taşınması .....	79
Şekil 4.21: Prekast Ray Altı Döşemelerinin Kamalarla Sabitlenmesi .....	79
Şekil 4.22: Rayların Nihai Kotuna Getirilmesi .....	80
Şekil 4.23: Topuk Betonları Dökülmüş Olan Prekast Paneller.....	80
Şekil 4.24: Dolgu Betonu İle Topuk Betonunun Farkı Görülmektedir.....	81
Şekil 4.25: Prefabrik Ray Altı Döşemeleri Akışkan Dolgu Betonunun Dökülmesi .....	82
Şekil 4.26: Dolgu Betonunun Karılarak Yerleştirilmesi .....	82
Şekil 4.27: Tünel Dışından Pompalanan Betonun Tünel İçi Borularla Getirilmesi.....	83
Şekil 4.28: Beton Dökümü Sırasında Ray ve Bağlantı Elemanları Folyo İle Sarılır .....	83
Şekil 4.29: Dolgu Betonu Prizini Almış Prekastlar .....	84
Şekil 4.30: Montajı Tamamlanmış Bir Prekast Ray Altı Panelinin Görünümü.....	84
Şekil 4.31: Prekastlar Arasında Görünen Boşluklar .....	88

## KISALTMALAR

L+I	: TREN AKS YÜKÜ VE HAREKETLİ YÜKLER
CF	: MERKEZKAÇ KUVVETİ
HF	: LASE KUVVETİ
RF	: YUVARLANMA KUVVETİ
EQ	: DEPREM YÜKLERİ
CWR	: RÖTRE, SÜNME ETKİLERİ
T	: SICAKLIK
LE	: ACİL DURUM FREN KUVVETİ
SIV	: BUZ YÜKÜ
SIG	: KAR YÜKÜ

# 1. GİRİŞ

Asya ve Avrupa arasında bir köprü vazifesi gören, önemli bir ticaret ve liman kenti olan İstanbul, tarih boyunca hiç önemini yitirmemiş ve hep ilgi odağı olmuştur. 21. Yüzyıl Türkiye'sinde hiç şüphesiz İstanbul, gerek on beş milyona yaklaşan nüfusuyla gerek taşıdığı tarihi kültür mirasıyla, gerekse ticari potansiyeliyle Türkiye'nin göz bebeği konumundadır. İstanbul, sadece Türkiye için değil, dünya ve özellikle Avrupa için de önemini hiçbir zaman yitirmeyecek olan bir dünya başkentidir. Maalesef İstanbul, son 30-35 yılda, yılların biriktirdiği bakımsızlık ve ilgisizliğin yanında yoğun göç sonucu orantısız artan nüfusuyla, kronikleşen sorunlarıyla gündeme gelmiş, İstanbul halkı için bu şehir her geçen gün daha zor bir yer haline gelmiştir. İstanbul'un en önemli problemleri arasında su ve çevre kirliliği, çarpık yapılaşma, alt yapı sorunları, ulaşım gibi konular en başta gelmektedir.

İstanbul'un ulaşım sorunu yıllardan beri çözülememektedir. Her geçen gün artan nüfus, ve buna paralel olarak artan otomobil sahipliği oranı karayolu trafiğini çıkmaza sokmaktadır. Özellikle son 10-15 yılda yapılan onlarca katlı kavşak ve bağlantı yollarına rağmen kent içi trafik şehrin bir çok noktasında, çevre yollarında ve köprülerde özellikle pik saatlerde keşmekeşe dönmektedir. Her yeni yapılan karayolunun yeni bir trafik yükü getirmekte olduğu günümüzde daha iyi anlaşılmalı ve kent içi ulaşımında raylı sisteme olan ilgi artmıştır.

İstanbul, Tünel adıyla bilinen Karaköy-Galata Fünikülerinin ardından, 2000'li yılların başında ilk defa metroyla tanışmıştır. 24 Ekim 2000 tarihinde işletmeye açılan Taksim-4.Levent Metrosu, İstanbul'un en önemli Prestij Hizmet alanında, bulunduğu bölgedeki yoğun trafiği önemli ölçüde rahatlatan, hafta içi günde ortalama 170.000 kişinin taşıdığı, İstanbul Metrosunun omurgasını oluşturan önemli bir hattır.

O zamandan bu güne gelindiğinde, Taksim-4.Levent Metro hattına ilave yeni hatlar yapıp bir bölümü işletmeye açılmış bulunmaktadır. Bir bölümü inşa halinde olup, imalat çalışmaları yer altında ve yer üstünde devam etmektedir. İstanbul ulaşım ana planı çerçevesinde 2023 yılına kadar İstanbul'a yaklaşık 550-600 km uzunluğunda metro hattı yapılarak ulaşım yükünün karayolundan kent içi raylı sistem taşımacılığına

aktarılması planlanmaktadır. Böylece, İstanbul halkının ulaşım konforu, geniş metro ağına sahip Londra, Paris, Tokyo, New York gibi şehirlerle yarışır hale gelmesi hedeflenmektedir.

İstanbul'un ulaşım yükünü azaltacak metro hatlarından biri de Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattıdır. 21,7 km 'lik güzergah boyunca toplam 16 istasyonla hizmet verecek olan hattın bir bölümü metro, bir bölümü hafif raylı sistem olarak tasarlanmıştır. Bu metro hattını demiryolu literatürü açısından önemli kılan özelliklerden biri de, ülkemizde ilk defa bu metro hattında demiryolu üst yapısı olarak prefabrik ray altı döşemelerin kullanılmasıdır. Geleneksel yerinde dökme ray altı kirişlere alternatif olarak kullanılan prekast üst yapı sistemi hattın yüzde 46'sında uygulanmış, geri kalan kısmı geleneksel ray altı kirişler ( konvansiyonel plinth sistemi) olarak yapılmıştır.

Bu çalışmada Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı ile ilgili bilgiler verilmiş, sistemin demiryolu tasarım kriterlerine değinilmiş, demiryolu üst yapı elemanlarından bahsedilmiş, yerinde döküm ray altı kirişler ve prekast üst yapının hesap yöntemi ve yapım metotları irdelenmiş, karşılıklı olarak avantaj ve dezavantajları araştırılmış ve bunlara göre bir kıyaslama yapılmak suretiyle daha sonra yapılacak olan kent içi raylı sistem ve ulusal demiryolu projelerinde kullanılabilirliği ile alakalı sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.



## 2. OTOGAR-BAĞCILAR-BAŞAKŞEHİR-OLİMPİYAT KÖYÜ

### METRO HATTI

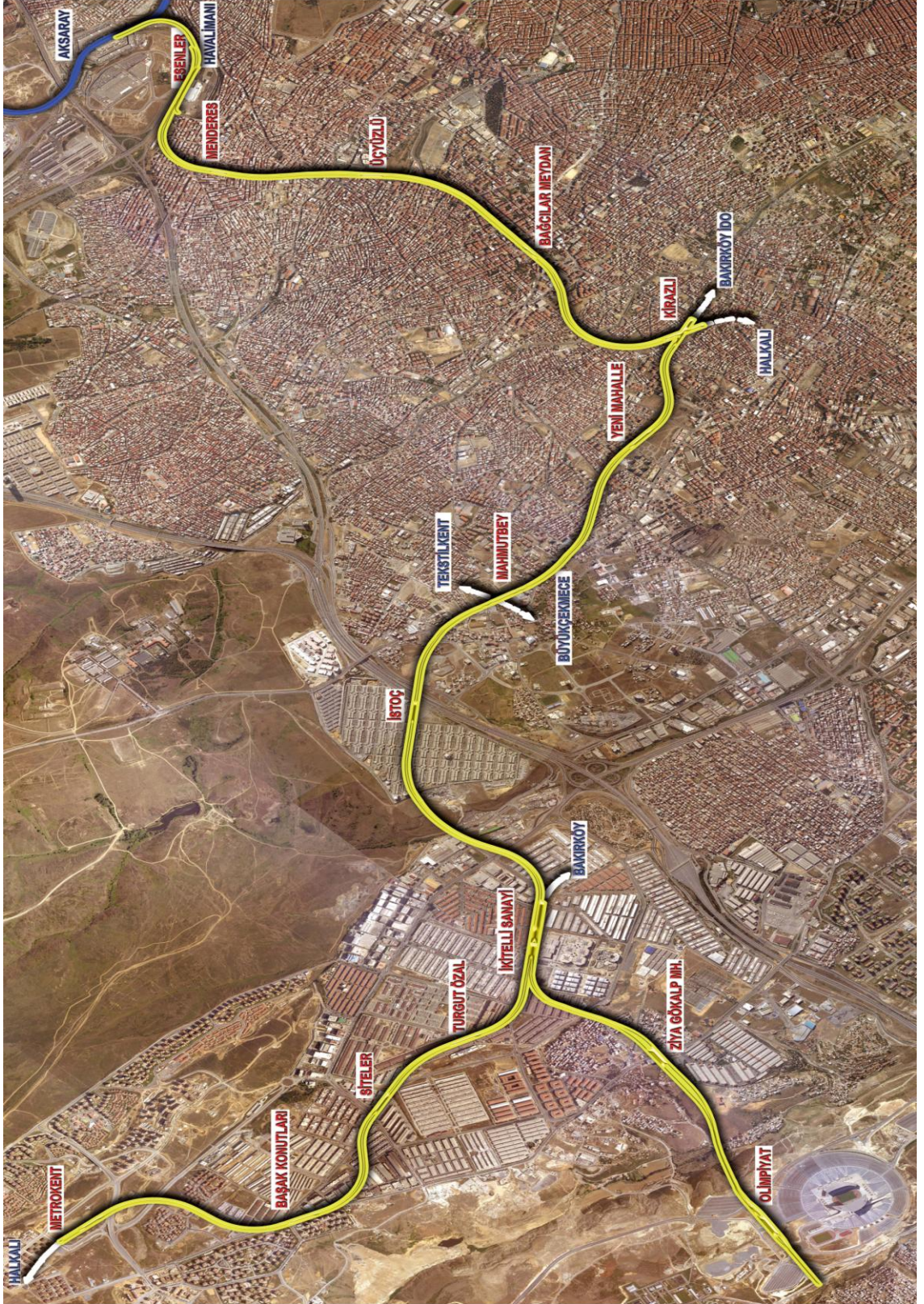
#### 2.1 GENEL BİLGİLER

Türkiye'nin ve İstanbul'un en uzun şehir içi raylı sistem hatlarından biri olacak olan, Otogar – Bağcılar – Başakşehir – Olimpiyat Köyü Metro hattı, İstanbul'un Avrupa yakasının batı ve kuzeybatı bölgelerini, mevcut raylı toplu taşıma sistemlerine bağlayacak olup, birbirlerine Kirazlı ve İkitelli Sanayi noktalarında entegre istasyonlarla bağlı Otogar-Bağcılar-Kirazlı, Kirazlı-İkitelli- Metrokent ve İkitelli Sanayi-Olimpiyat Köyü raylı sistem hatlarından oluşmaktadır. (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2)

**Şekil 2.1: Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı Güzergahı**



Şekil 2.2: Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı İstasyonları



Bir bölümü hafif metro bir bölümü metro olarak planlanan bu şehir içi raylı sistem hattı 21.6 km' lik çift hat tünel inşaatı, 16 istasyon yapısı, 2 viyadük inşaatı, araç temini, araç depo ve bakım sahasıyla tüm bunların elektromekanik sistemlerinden oluşmaktadır. Projeye ilişkin bazı teknik veriler şu şekildedir;

**Tablo 2.1: Proje Genel Bilgileri Tablosu**

<b>Yüklenici</b>	Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı
<b>Güzergah Uzunluğu</b>	21,7 km
<b>İstasyon Sayısı</b>	16
<b>İstasyonlar</b>	Esenler, Menderes Mahallesi, Üçyüzlü, Bağcılar Meydan, Kirazlı, Yeni Mahalle, Mahmutbey, İstoç, Siteler, Turgut Özal, Başak Konutları, Metrokent, Ziya Gökalp Mahallesi, Olimpiyat, İkitelli Sanayi, Araç Depo sahası
<b>İhale Tarihi</b>	02.07.2003
<b>Keşif Artışı Dahil Toplam İhale Bedeli</b>	1.355.277.095,13 USD+KDV
<b>Sözleşme Tarihi</b>	01.02.2005
<b>İşe Başlama Tarihi</b>	14.10.2005
<b>2012 Nisan İtibariyle Yapılan İş Miktarı (Parasal )</b>	1.227.486.120 USD+KDV
<b>Sözleşmeye Göre İşin Süresi</b>	24 Ay İnşaat+6 Ay Deneme+ 24 Ay Garanti
<b>İş Bitim Tarihi</b>	31.03.2013 (Bağcılar İstasyonu dahil)
<b>Tüneller ve İstasyon Fiziki Gerçekleşme Yüzdesi</b>	% 87

Kaynak: <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/raylisistemler/Pages/otogar-bagcilar-rayli.aspx>

**Tablo 2.2: Metro ve LRT Hat Uzunlukları**

<b>AÇIKLAMALAR</b>	<b>TOPLAM HAT UZUNLUĞU</b>	<b>LRT/METRO KISMI HAT UZUNLUKLARI</b>
OTOGAR-KİRAZLI LRT HATTI	5,8 km	5,8 km
KİRAZLI-İKİTELLİ-METROKENT METRO HATTI	11,8 km	15,9 km
İKİTELLİ SANAYİ-OLİMPİYAT KÖYÜ METRO HATTI	4,1 km	
<b>TOPLAM</b>	<b>21,7 km</b>	<b>21,7 km</b>

Otogar-Bağcılar-Kirazlı Hafif Metro Sisteminde 5.8 km lik çift hat demiryolu üzerinde yer alan 5 istasyon sırasıyla Esenler, Menderes Mahallesi, Üçyüzlü, Bağcılar Meydan ve Kirazlı İstasyonları olup, sistem saatte tek yönde 35.000 yolcuya hizmet sağlayacak kapasitededir. (Şekil 2.3)

Bu hat, Aksaray ile Havaalanı arasındaki mevcut hafif metronun, şehrin batısına doğru uzantısını oluşturmuş bulunmaktadır. Böylece nüfus yoğunluğu her geçen gün artan Bağcılar ve Kirazlı semtlerinin şehirlerarası ve uluslar arası ulaşım terminallerine kolay, konforlu ve hızlı bağlantısı gerçekleşmektedir.

**Şekil 2.3: Otogar-Bağcılar-Kirazlı (LRTS) Hattı**



Kirazlı – İkitelli – Başak konutları - Olimpiyat Köyü Metro Sistemi, 15.8 km'lik çift hat üzerinde yer alan 11 istasyondan oluşmaktadır. (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5) Saatte tek yön olarak 75.000 yolcu taşıma kapasiteli bu metro sistemi üzerindeki istasyonlarsa sırasıyla Kirazlı , Yeni Mahalle, Mahmutbey, İstoç, İkitelli Sanayi, Turgut Özal, Siteler, Başak Konutları, Metrokent, Ziya Gökalp Mahallesi ve Olimpiyat İstasyonlarıdır.

**Şekil 2.4: Kirazlı-İkitelli-Başakşehir Metro Hattı**



**Şekil 2.5: İkitelli-Olimpiyat Köyü Metro Hattı**



Bu hat, son 5 yıllık dönemde yüz binin üzerinde konut yapılan ve halen inşaatları süratle devam eden Başakşehir ve yoğun trafiği olan İkitelli Organize Sanayi Bölgelerinin toplu taşıma talebini karşılamak üzere planlanmıştır.

İkitelli Sanayi - Olimpiyat Köyü Metro Sistemi yakın gelecekte İkitelli Sanayiden Yenibosna yönünde ve Kirazlı' dan Bakırköy Deniz Otobüsü İskelesi yönünde metro hatlarının yapılmasıyla Olimpiyat Köyü yönüne ulaşım alternatiflerini artıracaktır.

**Şekil 2.6: Olimpiyat İstasyonu**

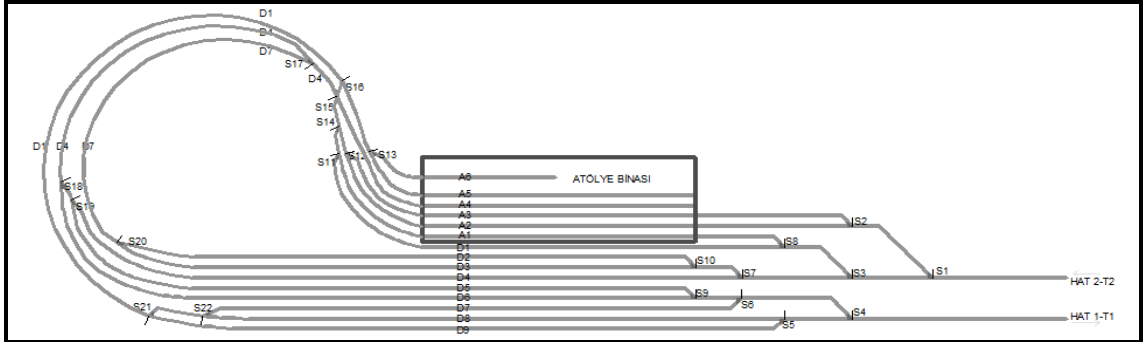


Spor etkinliklerinin olduğu saatte artan yolcu talebini karşılamak üzere sık aralıklarla tren kaldırmak suretiyle saatte 100.000 yolcu taşınması hedeflenmektedir. Olimpiyat Parkı İstasyonundan sonra metro hattında işletilecek araçlar için gelecekteki ihtiyaçlar da dikkate alınarak 200 araçlık araç depo ve bakım sahası inşa edilmektedir.

**Şekil 2.7: Depo ve Atölye Sahası**



**Şekil 2.8: Depo ve Atölye Sahasındaki Yol ve Makaslar**



Proje kapsamındaki çalışmaların toplam büyüklükleri ise şu şekilde özetlenebilir :

- i. 53600 m. Tek Hat Demiryolu
- ii. 25561 m. Delme Tünel ( TBM ile )
- iii. 3755 m. NATM Tünel
- iv. 1000 m. Viyadük
- v. 5637 m. Aç-Kapa Yapısı
- vi. 5560 m. uzunluğunda 16 İstasyon Yapısı
- vii. 6.780.466 m<sup>3</sup> Toplam Kazı Hacmi, Yada 678.046 Kamyon
- viii. 1.496.377 m<sup>3</sup> Toplam Beton Miktarı, Yada 213.768 Mikser
- ix. 190.000 Ton Toplam Demir Miktarı

Yüklenici firma, projenin gerçekleşmesi için biri merkez şantiye, biri prekast beton üretim tesisi olmak üzere 16 ayrı şantiyede, 4 adet tünel açma makinesi ( TBM ) ve 10 ayrı yönde klasik tünel açma yöntemiyle ( NATM ) faaliyetlerini yürütmüşlerdir.

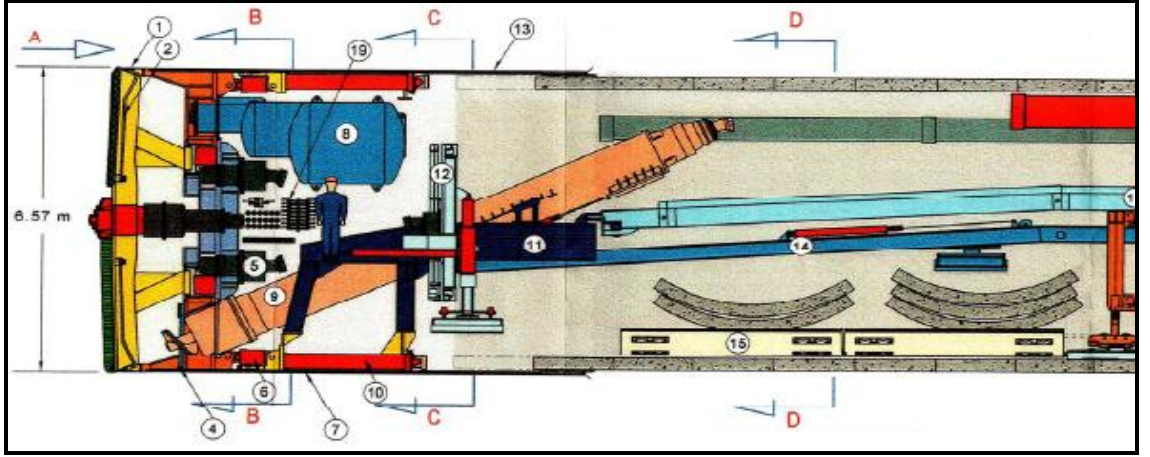
Projenin Esenler-Metrokent arası tünel inşaatı TBM olarak bilinen 4 adet tünel açma makinesi ile yapılmıştır. Tünel açma makineleri; kazı hızları oldukça yüksek olan delme, kazı toprağının (pasa) dışarı atılması, tünel iç kaplamasının ( segment ) montajı, enjeksiyon ve yönlendirme gibi tünel yapım işlemleri için gerekli bütün donanımları içeren ileri teknolojiye sahip makinelerdir.

**Şekil 2.9: TBM Kesici Kafanın Görünüşü**



Bu makine bloğu, eş zamanda bir çok işi beraberce yapabilme yeteneğine sahiptir. TBM' ler bir dizi hidrolik piston yardımıyla kazı yüzeyine itilen kesici kafanın döndürülmesiyle kazıya başlar. Kazılan malzeme konveyör bant veya vagonlarla tünelden uzaklaştırılır. Kazı ilerlerken vagonlar yardımıyla TBM' in kesici kafasının arkasına getirilen segment denilen prekast beton kaplamalar bir ring (halka) oluşturacak biçimde kazı yüzeylerine monte edilir.

**Şekil 2.10: TBM Boy Kesit Görünümü**



Altı adet prekast beton plakadan (segment) oluşan tünel betonarme halkasıyla kazılan zemin arasına çimento şerbeti enjeksiyonu yapılarak kalıcı tünel yapımı eşzamanlı olarak gerçekleştirilmiş olur.

**Şekil 2.11: Segment Donatılarının Özel Kalıba Konulup Betonunun Dökülmesi**



Tünellere döşenen prekast beton kaplamalar Hadımköy' deki segment fabrikasında



üretmiştir. Segment Fabrikasında ayda ortalama 1500 m. tünel kapatacak prekast tünel kaplaması üretilmiştir. Prekast beton kaplamalar özenle hazırlanan demir donatılarla çelik kalıplarda yüksek dozajlı beton dükümü sağlanarak hazırlanmıştır.

**Şekil 2.12: Kalıba Alınan Segmentlere Buhar Kürü Uygulanması**



Yeraltında köstebek gibi ilerleyen TBM Makineleri, toprağın jeolojik yapısına göre günde ortalama 10-20 m. arasında ilerleyebilirler. Eski yöntemlere göre daha pürüzsüz tünel kazabilirler ve hızlıdır. Çünkü sert kayaları patlatmak yerine un gibi öğütürler. Bu da önemli bir zaman kaybını önler.

**Şekil 2.13: TBM 'in İstasyon Yapısına girişi**



Projede kullanılan ve kazı dış çapı 6.5 m. olan 4 adet tünel açma makinesinin 2 tanesi Esenler' den 2 tanesi Metrokent İstasyonundan tünel açmaya başlamış ve kazı

faaliyetlerini aralıksız sürdürmüşlerdir. Esenler' den kazıya başlayan tünel açma makineleri sırasıyla Menderes Mahallesi, Üçyüzlü ve Bağcılar Meydan İstasyonlarını geçip Kirazlı İstasyonuna ulaşmışlardır. Bu istasyondan çıkarılan TBM' ler yine aynı istasyonda bulunan metro hattına taşınıp sırasıyla Yeni Mahalle ve diğer TBM' lerle bulunduğu Mahmutbey İstasyonuna ulaşarak tünel açma faaliyetlerini bitirmiştir.

Metrokent İstasyonundan başlayan TBM' ler, sırasıyla Başak Konutları, Siteler, Turgut Özal, İkitelli Sanayi, İstoç ve son olarak Mahmutbey İstasyonuna ulaşarak tünel açma faaliyetlerini bitirmiştir.

İkitelli Sanayi-Olimpiyat Parkı arası tünel inşaatı NATM olarak bilinen, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu yöntemi ile inşa edilmiştir. Hat üzerinde açılan 2 adet shaft ve tünel portalından 10 ayrı yönde toplam 3755 m. olacak şekilde kazı ve beton kaplaması yapılarak tünel inşaatı tamamlanmıştır.

Projede 2 adet viyadük bulunmaktadır. Bunlardan ilki mevcut Aksaray Hattını bu proje ile entegre edecek olan Esenler Viyadüğü, diğeri ise Olimpiyat İstasyonundan NATM tünellerine bağlantı sağlayan 466 m. uzunluğundaki Olimpiyat Viyadüğüdür.

**Şekil 2.14: Olimpiyat Köyü Viyadüğü**



Proje kapsamında 5 tanesi hafif metro, 11 tanesi metro kısmında olmak üzere toplam 16 istasyon bulunmaktadır. Hafif metro istasyon uzunluğu 125 m , metro hattı istasyon uzunluğu ise 180 m. dir. Farklı yapım teknikleri kullanılarak toplam uzunluğu 5560 m. toplam inşaat alanı 533.213 m<sup>2</sup> olan bu istasyonlardan 15 tanesi yer altı, 1 tanesi de yerüstü istasyonu olacak şekilde inşa edilmiştir.

**Tablo 2.3: İstasyon Yapılarına Ait Alan Bilgileri**

	İSTASYON SAYISI	TOPLAM ÇARŞI ALANI (m <sup>2</sup> )	TOPLAM İSTASYON ALANI (m <sup>2</sup> )	TOPLAM YAPI ALANI (m <sup>2</sup> )
<b>HAFİF METRO HATTI</b>	5	17.386	57.863	75.249
<b>METRO HATTI</b>	11	63.277	288.666	351.943
<b>TOPLAM</b>	16	80.664	346.529	427.192

Menderes Mahallesi, Üçyüzlü, Yeni Mahalle ve Mahmutbey istasyonları çevresel etkileşimi en alt seviyeye indiren, kısıtlı çalışma alanlarında ve kısıtlı inşaat sürelerinde hızla işin tamamlanmasını sağladığı için tercih edilen bir yöntem olan ‘‘Yukarıdan Aşağıya İnşaat Yöntemi’’ ile inşa edilmiştir. Klasik yöntemin aksine yukarıdan aşağıya inşaat yönteminde kazıyla birlikte alt döşeme betonları üst döşeme betonlarından sonra dökülerek inşaat yukarıdan aşağıya doğru devam etmektedir. Bu yöntemle kazının tamamlanması beklenmeden aşağıya ve gerektiğinde yukarıya doğru iki yönde de inşaatın ilerlemesi sağlanabildiğinden inşaat süreleri klasik yöntemlere göre kısa olmaktadır.

Yukarıdan aşağıya inşaat yönteminde istasyonları taşıyıcı kolon ve dış duvar sistemleri diyafram duvar yapımıyla gerçekleştirilmektedir. Taşıyıcı kolon ve dış duvarlar, diyafram duvar kazısı yapabilen makinelerle panel halinde derinlemesine kazılmakta ve özel yöntemlerle hazırlanan taşıyıcı donatı kafesi vinçlerle yerleştirildikten sonra kalıcı betonu dökülmektedir.

İstasyonun diyafram duvar işlerinin tamamlanmasının ardından kazı platformundaki hazır bulunan ilk katın döşeme kalıp, donatı yerleştirme ve beton döküm işleri yapılmaktadır. İlk katın döşeme betonarme işleri tamamlandıktan sonra bir yandan aşağı

doğru bir alt katın kazısı yapılmakta ve döşeme betonarme işleri tamamlanmaktadır. Diğer taraftan, betonarme işleri tamamlanan katın üstünde tasarım gereği bulunan katlar ve işler altyapıdan bağımsız olarak yapılmaktadır. Böylece zamandan ciddi tasarruf sağlanarak aynı anda hem aşağıya hem yukarıya doğru imalatlar yapılabilmektedir.

İkitelli Sanayi İstasyonu hem Başakşehir bölgesine hem de Olimpiyat Stadına devam eden hatların kesişim noktasındadır. Yakın gelecekte Bakırköy'den Basın Ekspres Yolu güzergahında inşa edilmesi planlanan yeni metro hattına entegre olacak şekilde inşa edilmiş olup gelecekte yapılması planlanan bu hattın bağlanacağı istasyon ve makas bölgeleri daha ekonomik ve kısa sürede yapılabilecektir.

İkitelli Sanayi İstasyonu makas bölgesiyle birlikte toplam 747 m. uzunluğu ve 109.856 m2 inşaat alanıyla yer altında inşa edilen en büyük istasyondur. Hafif metro ve metro hattının kesişim noktası olan ve entegrasyon için kilit önem taşıyan Kirazlı İstasyonu aktarma istasyonu olup, alt katında hafif metro, üst katında metro hattı yer almaktadır.

Gelecekte Yenikapı Transfer Merkezi ile bağlanacak olan proje, gerek Marmaray Projesiyle, gerekse Sarıyer ve Taksim'den gelen metro hattıyla entegre edilecektir. Ayrıca Kirazlı' dan Bakırköy Deniz Otobüsleri iskelesine ve Halkalı' ya, diğer taraftan İkitelli' den Bakırköy'e ve Havalimanına bağlantılar yeni projeler kapsamında yapılacaktır. Yakın gelecekte yapılması planlanan Beşiktaş-Tekstilkent-Mahmutbey ve Mahmutbey-Büyükçekmece hatları, Mahmutbey istasyonunda projemizle kesişeceğinden entegrasyon için gerekli kısımlar bu aşamada inşa edilmiştir.

**Şekil 2.15: Gelecekte Projeye Entegre Olması Planlanan Metro Hatları**



Şekil 2.15’de numaralandırılmış olarak görülen ve gelecekte projeye entegre edilmesi düşünülen metro hatları şunlardır;

- (1) Bakırköy İDO - Kirazlı Hattı
- (2) Kirazlı - Halkalı Hattı
- (3) İkitelli - Bakırköy Hattı
- (4) Kabataş – Beşiktaş – Tekstilkent – Mahmutbey Hattı
- (5) Mahmutbey – Büyükçekmece Hattı

Raylı Sistemlerdeki bu entegrasyonlar tamamlandığında İstanbul’da seyahat süreleri aşağıdaki gibi olacaktır:

**Tablo 2.4: Yolculuk Süreleri**

<u><i>Metrokent İstasyonundan ;</i></u>	<u><i>Olimpiyat Stadından ;</i></u>
• Otogar: 24 dakika	• Otogar: 23 dakika
• Havalimanı: 37 dakika	• Havalimanı: 36 dakika
• Taksim: 51 dakika	• Taksim: 50 dakika
• Üsküdar: 56 dakika	• Üsküdar: 55 dakika
• Kadıköy: 61 dakika	• Kadıköy: 60 dakika
• Kartal: 90 dakika	• Kartal: 89 dakika

## 2.2 RAYLI SİSTEM TASARIM KRİTERLERİ

Bu bölümde, Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattı, raylı sistem tasarım kriterleri incelenmiştir. İşletme şartları, kapasite, trenler arasındaki zaman, günlük işletim süresi, işletme esnekliği, çevre özellikleri vb. tasarıma esas olacak parametreler Teknik Şartname Bölüm 5’te açıklanmıştır.

### **2.2.1 İşletme Şartları**

Esenler ve Başakşehir arasındaki Raylı Sistem Hattı aşağıdaki işletme şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.

#### **2.2.1.1 Kapasite**

İlk önce pik saatlerde 5 vagon dan oluşan mevcut filo içerisindeki trenlerden servis sağlanacaktır. Normal saatlerde minimum iki vagon olmak kaydıyla vagon sayısı düşürülerek kapasitenin talebi dengelemesi sağlanacaktır.

Pik saatlerdeki 32000-33000 yolcu/saat/yön kapasite 5 vagon dan oluşan ve 120 sn 'lik tren sıklığında işletilen servis içindir.

#### **2.2.1.2 Trenler Arasındaki Zaman**

Normal pik saat tren sıklığı 120 sn ' dir. Servis tanımına göre normal saatlerde tren sıklığı 240 sn ile 600 sn arasında değişecektir.

#### **2.2.1.3 Günlük İşletim Süresi**

Saat 05.30 dan başlayarak hafta içi günler için 20 saatlik bir günlük işletim süresi göz önüne alınacaktır. Hafta sonu servis süresi talep seviyesine göre değişecektir.

#### **2.2.1.4 İşletme Esnekliği**

- i. Yüksek yolculuk talebi içeren her kesimin sonunda minimum tren aralığı ile geri dönüş operasyonu
- ii. Her yolda demiryolu inşasının imkan vereceği projedeki her türlü hat konfigürasyonuna bağlı olarak çift yönlü işletme yapılabilmesi
- iii. Araç performansı ile ilgili stratejiler uygulanarak küçük gecikmelerin bertaraf edilmesi
- iv. İşletme kontrol elemanlarına kolaylıklar sağlayan sistemler kullanılarak, tarifeli serviste hasıl olan değişiklikler veya arıza giderme operasyonlarının gerekli kıldığı işletme değişikliklerinin kolay ve güvenli şekilde yapılması

### 2.2.2 Çevre Özellikleri

Sözleşme için sağlanan bütün sabit tertibat ve sistemler İstanbul'un çevre koşullarına uygun olarak işleyecek yada çalışacak ve Aksaray-Otogar-Yenibosna Hafif Metroyu ile uyumlu olacak şekilde tasarlanacak, üretilecek ve inşa veya tesis edilecektir. Projenin çevre özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

**Tablo 2.5: Çevre Özellikleri**

	<b>Çevre</b>	<b>Yer altı İstasyonları</b>	<b>Tünel</b>
<b>Yazın Ortalama Yüksek Sıcaklık</b>	29 °C	32 °C	32 °C
<b>Yazın Maksimum Sıcaklık</b>	40 °C	43 °C	43 °C
<b>Ortalama Nem</b>	% 70	% 73	% 70
<b>Kışın Ortalama Düşük Sıcaklık</b>	2 °C	15 °C	
<b>Kışın Minimum Sıcaklık</b>	-10 °C	0 °C	0 °C
*Çevre sıcaklık derecesi sınırları : -10°C den + 40°C			
*Nem: Ortalama % 70, Maksimum % 100			
*Kar, sis ve yoğun yağış olacaktır.			
*Kuru havada tozlu koşullar olağan olacaktır.			
*Rüzgar koşulları 120 km/saat' lik rüzgara göre tasarlamayı gerektirir.			

### 2.2.3 Güzergah Tasarım Kriterleri

Esenler (Otogar) – Bağcılar arasındaki yaklaşık 4.4 km lik hattın avan projelerinde Anahtar Plan, Tip Kesitler ve Detaylar, Plan-Profil, İstasyon Projeleri, Yapı Projeleri bulunmaktadır.

**Tablo 2.6: Güzergah Tasarım Kriterleri**

<b>GÜZERGAH TASARIM KRİTERLERİ</b>			
<b>Tasarım Elemanları</b>	<b>Birim</b>	<b>Tercih</b>	<b>Mutlak</b>
Yatay Güzergah			
Asgari Yarıçap			
i) Cari Yolda	m	360	250
ii) İstasyonlarda	m	Tangent	800
Asgari geçiş eğrisi boyu	m	8 EV *	20
Geçiş eğrileri arasındaki düz mesafe	m	50	25
Makas sonrası asgari düz mesafe	m	40	20
Düşey güzergah			
Azami Eğim			
i) Cari Yolda	%	3.0	4.0
ii) İstasyonlarda	%	0.3	0.5
Cari yol tünelden geçerken asgari meyil	%		0.3
Düşey karp asgari yarıçapı	m	3000	1500
Asgari düşey karp boyu	m	100	60
Azami düşey karp boyu	m		200
Kurplar arası sabit eğimin asgari uzunluğu	m	100	50
Düşey karp ile makas noktası yada makas göbeği arkası arasındaki asgari mesafe	m	10	5
Dever			
Taşıyıcı cari yolda azami dever	mm	100	130
Azami dever eksikliği			
i) Cari Yolda	mm	90	110
ii) Makaslarda	mm		90
Azami dever değişim oranı	mm/s	35	50
Geçiş eğrilerinde dever eksikliğinin azami değişme oranı	mm/s	35	55
* E : Gerçek dever (m) V : Proje Hızı (km/saat)			



Tablo 2.6 ‘ da genel olarak güzergah tasarım kriterleri özetlenmiştir. Bu tablo mutlak minimum standartları göstermektedir. Daha yüksek standartlar yakalanabildiği takdirde uygulanabilecektir.

Tercih edilen güzergah tasarımının gelişiminde aşağıdaki faktörler göz önüne alınacaktır;

- i. Yolcu rahatlığı ve giriş kolaylığı
- ii. İmalat ve işletme maliyeti
- iii. Yüksek hız ve düşük sefer sayısı
- iv. En düşük seviyede ses ve titreşim
- v. İstasyon yerleri ve istasyonlar arası mesafe
- vi. Yapıların inşaat metodu (tünel, aç-kapa tünel veya viyadükler)
- vii. Topografya ve zemin bilgileri
- viii. İstimlak ve çevre binalar
- ix. Hattın tasarımı, montaj ve bakımı
- x. Drenaj yapıları ve mevcut alt yapı tesisleri

#### **2.2.4 Hattın İşletme Bilgileri**

Otogar – Bağcılar – Başakşehir – Olimpiyat Metro Hattı, ilk ihale edildiğinde yalnızca 4.4 km lik Otogar – Bağcılar kısmı olarak ihale edilmiştir. Daha sonra Raylı Sistem etüt çalışmaları ve bölgenin (Kirazlı, Mahmutbey, İkitelli, Başakşehir, Olimpiyat Köyü) ulaşım ihtiyaçları dikkate alınarak, aynı iş kapsamında iş artışı verilerek hat, 21.7 km ‘ lik son halini almıştır. Ancak, işin kapsamı artmış olmasına rağmen, Teknik Şartname mevcut Otogar – Bağcılar Hattını kapsamaktadır. Dolayısıyla, bölüm 2.2.1 ‘ deki işletme şartları değişmektedir. Buna göre yeni hattın işletme bilgileri aşağıdaki tabloda özet halinde verilmiştir.

**Tablo 2.7: Hattın İşletme Bilgileri**

	<b>Araç Sıklığı</b>	<b>Araç Kapasitesi</b>	<b>Yolcu Kapasitesi (Tek Yön/Saat)</b>	<b>Mevcut Araç Sayısı</b>
<b>Otogar-Bağcılar (Kirazlı) LRT Hattı</b>	120 saniye	1285 Yolcu (5'li dizi)	36.000 yolcu/saat	50 Vagon
<b>Bağcılar (Kirazlı)- Olimpiyat Köyü- Metrokent Metro Hattı</b>	90 saniye	1872 Yolcu (8'li dizi)	75.000 yolcu/saat	80 Vagon

Buna göre yolculuk sürelerinin ise;

Otogar - Bağcılar (Kirazlı) : 7 dakika

Bağcılar (Kirazlı) – Olimpiyat Köyü : 16 dakika

Bağcılar (Kirazlı) – Metrokent : 17 dakika

olması planlanmaktadır.

### **3. DEMİRYOLU ÜST YAPISI**

#### **3.1 GİRİŞ**

Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan ve altyapı üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elamanlarının tümüne üstyapı denir. Yada bir başka deyişle, araç tekerleğiyle yuvarlanma yüzeyi sağlayan, bu yuvarlanma yüzeyleri arasında aktarılan düşey ve yatay yüklerin tümünü ( dingil yükleri, merkezkaç yükleri, ray-tekerlek temas yükleri, dinamik ve statik yükler vs.) zemine veya alt yapıya güvenli bir biçimde aktaran sistemin tümüne demiryolu üst yapısı denir.

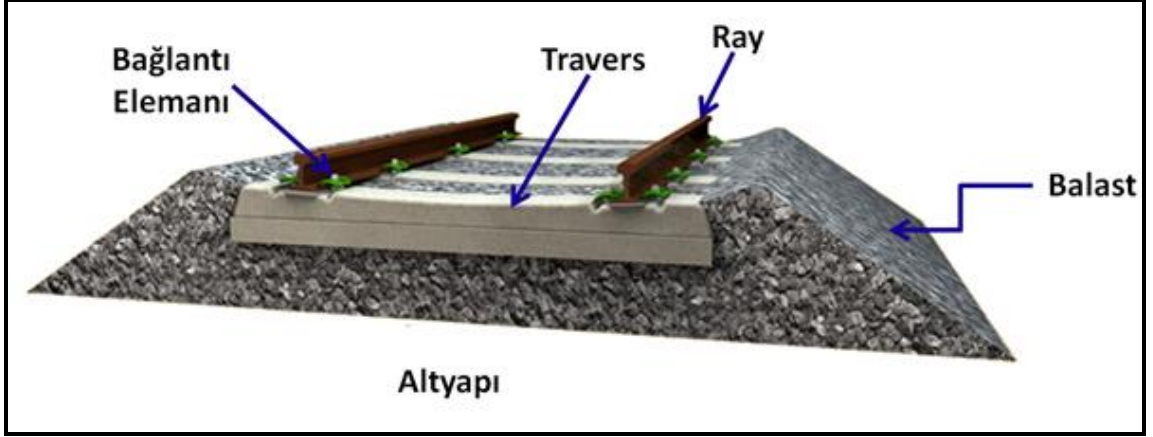
Üst yapının taşıyıcı ve yol olarak görevleri:

1. Yol boyunca demiryolu vasıtalarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak.
2. Demiryolu taşıtlarından gelen statik ve dinamik yükleri güvenle ve kalıcı şekil değiştirmelere uğramadan karşılamak ve kısmen azaltarak bu kuvvetleri altyapıya iletmek.
3. Yeterli elastikliğe sahip olmak
4. Şekil bozukluğuna uğradığında, kolayca eski durumuna getirilebilir özellikte olmak.
5. Yüzey sularını bünyesinden kolaylıkla ulaştırılabilir özellikte olmak.
6. Uzun ömürlü ve ekonomik olmak (Arlı 2002)

#### **3.2 KLASİK DEMİRYOLU ÜST YAPISI**

Klasik Demiryolu üstyapısı basit olarak ray ve traversler tarafından çerçeveslendirilmiş ve balast tarafından desteklenmiş bir yapıyı ifade etmektedir. Tanımlanan bu durum Şekil 3.1'de görülmektedir.

**Şekil 3.1: Klasik Demiryolu Üst Yapısı**



*Kaynak: Ortaç (2011)*

Balastlı üst yapı olarak da bilinen klasik demiryolu üst yapısı şu aşağıdaki kısımları içerir;

- i. Raylar: Tren tekerleklerini klavuzlar ve tekerlekle temas yüzeyi sağlar.
- ii. Bağlantı elemanları ile beraber traversler, raylara gelen yükleri yayar ve ekartmanı ( Yol açıklığı) korurlar.
- iii. Balast genellikle kırma taştandır, çok ender durumlarda çakıldan olur. Tren vibrasyonlarının önemli bir kısmını sönmülemeli, yeteri kadar yükü yaymalı ve yağmur sularını çabuk drene edebilmelidir.
- iv. Alt balast tabakası (Sub Ballast) çakıl, kum, doğal agrega karışımıdır. Alt balast tabakası, balastın alt yapıya gömülmesini önler, drenaja yardım eder ve ayrıca daha fazla yük dağılımını sağlar. (Arlı ve Öztürk 2009)

### **3.2.1 Üst Yapı Elemanları**

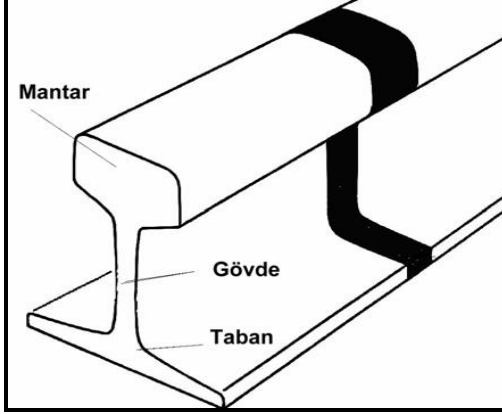
Balastlı Klasik Demiryolu üst yapısını oluşturan elemanlar şunlardır;

- a) Ray
- b) Travers
- c) Balast
- d) Bağlantı elemanları

### 3.2.1.1 Raylar

Demiryolu taşıtlarının tekerlekleri ile yuvarlanma yüzeyi oluşturarak hareketi sağlayan, gerçek manada demiryoluna yol olan, aşınmaya dayanıklı, yüksek mukavemetli çelikten özel bir profile üretilmiş üst yapı elemanına ray denir.

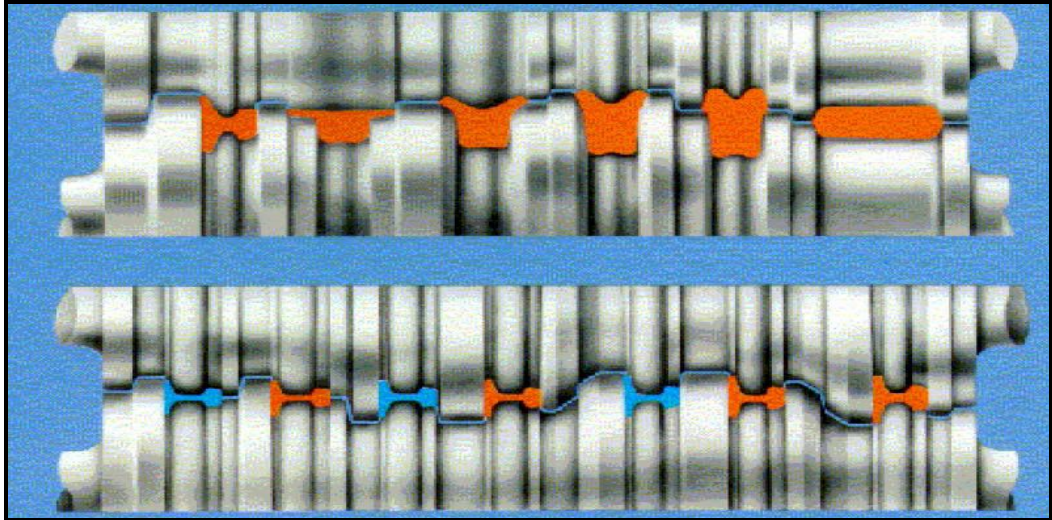
**Şekil 3.2: Rayın Kısımları**



*Kaynak: Polat (2011)*

Ray; Mantar, gövde ve taban olmak üzere başlıca üç bölümden oluşmaktadır. Mantar, demiryolu taşıt tekerleğinin üzerinde yuvarlandığı kısımdır; gövde mantar ile tabanı birleştirir, taban ise rayın bağlantı elemanları marifetiyle traverse bağlanma yeridir.

**Şekil 3.3: Rayın Üretimi**



*Kaynak: Esveld (2003)*

Ray, 5-7 ton ağırlığındaki çelik bloklara 1250 °C sıcaklıkta haddeleme yöntemi ile Şekil 3.3'deki gibi enkesit tipi verilerek elde edilir. Bir bloktan yaklaşık 100 m uzunluğunda ray elde edilir ve bu ray 18, 24 ya da 36 m'lik boylarda kesildikten sonra sıcak

yataklarda yavaşça soğutulur. Gövde ve taban kısımları daha kalın olan ray mantarından önce soğuduğundan büzülmeye uğrar ve rayda bir eğrilme oluşur. Eğri raylar rulmanlar arasından geçirilerek doğrultulurlar; ancak bu işlem rayda 100 N/mm<sup>2</sup> değerlerine çıkabilen arzu edilmeyen içsel gerilmelerin oluşmasına yol açar. (Erel 2005)

Başlangıçtan günümüze kadar raylarda şekil ve malzeme karakteristikleri bakımından önemli gelişmeler olmuştur. Şekil bakımından başlıca üç ray tipi kullanılmıştır.

1. Oluklu raylar
2. Çift mantarlı raylar
3. Tek mantarlı raylar (Vinyol tipi)

**1. Oluklu raylar:** Oluklu raylar daha çok tramvay hatlarından kullanılırlar. Ayrıca demiryolu ve karayolunun kesiştiği yerlerde (hemzemin ve özellikle rıhtım hatlarında) kullanılırlar.

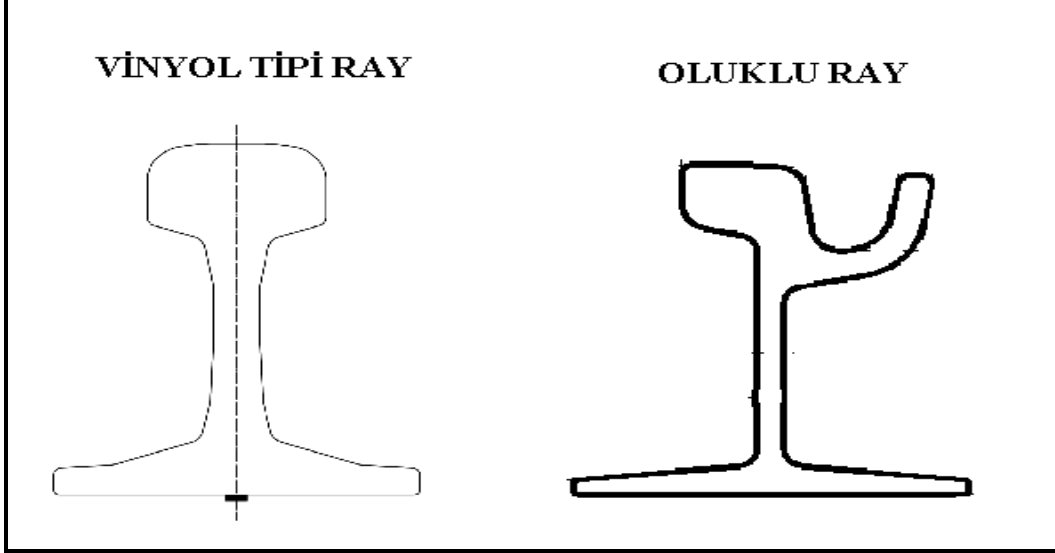
**2. Çift mantarlı raylar :** Bu raylar simetrik bir şekil gösterip bir alt bir de üst mantardan meydana gelirler. Bu rayın ortaya atılışındaki fikir üst mantarın aşınmasından sonra rayın çevrilmesiyle bu defa yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılması idi. Fakat üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyon nedeniyle aşınmasından dolayı bu hususun imkansızlığı anlaşıldı. Bu tipte raylar traverslere tespit edilmiş özel kusunete ahşap takozlarla sıkıştırılmak suretiyle tespit edilerek kullanılmıştır.

En son olarak bu rayı kullanan İngilizler de 1938 yılında bundan vazgeçtiler. Şimdi ancak Fransa'nın bazı bölgelerinde ikinci dereceden hatlarda kullanılmaktadır.

**3. Tek mantarlı raylar (Vinyol tipi):** Bu tip raylar ilk defa 1832 yılında Amerika'lı Stevens tarafından yapılmış, ancak yapanın değil geniş anlamda kullanımını sağlayan

İngiliz mühendis Vinyol'un ismi verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada kullanılan ray tipidir. (Arlı 2002)

**Şekil 3.4: En Sık Kullanılan Ray Tipleri**



*Kaynak: Özalp (2008)*

Demiryolu için ray, hem seyir yüzeyi, hem taşıyıcı, hem de yönlendirici elemandır. Hem statik hem de dinamik kuvvetlere aynı ölçüde maruz kalır. Ağır yüklü trafiklerde dingil yükleri 35 ton mertebesine varmaktadır. Yüksek hızlı trafikte ise bugün artık düzenli tren ulaşımında bile saatte 350 km' ye varan süratlere ulaşılmaktadır. İnşaat sahasının topoğrafisi gerektirdiğinde, raylar yarıçapı 300 m altında kurplarda döşenmekte ve dolayısıyla dıştaki rayın ekartman kenarına sürtünen tekerlek yüksek yanal zorlanmaya maruz kalmaktadır. Rayların, bu çok çeşitli ve yüksek derecedeki zorlanmalara karşı koyabilmeleri için aşağıdaki beklentileri karşılamaları gerekir;

- i. Aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık
- ii. Ezilmelere karşı yüksek direnç
- iii. Malzeme yorulmasına karşı yüksek dayanım
- iv. Yüksek akma sınırı, çekme dayanıklılığı ve sertlik
- v. Yüksek gevreklik kırılması dayanıklılığı
- vi. Kaynağa karşı uygunluk
- vii. Yüksek bir saflık derecesi

- viii. İyi yüzey özellikleri
- ix. Düzgünlük ve profilde istikrar
- x. Üretimden gelen düşük iç gerilmeler (Lichtberger 2011)

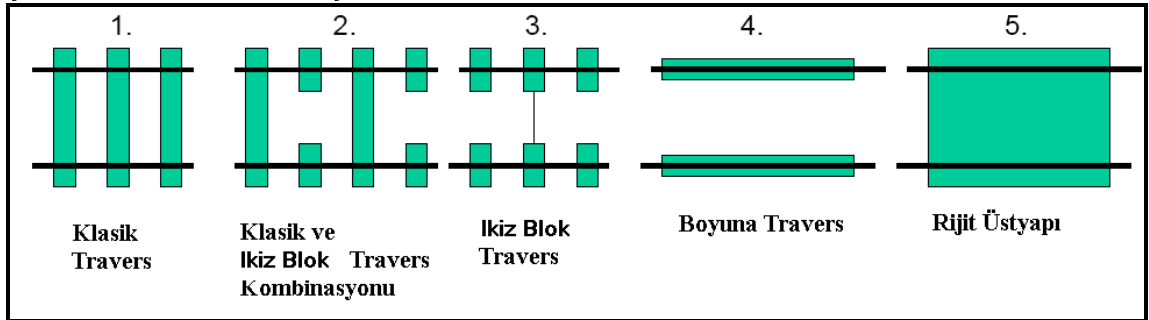
### 3.2.1.2 Traversler

Traversler, yol eksenine dik ve belli aralıklarla veya paralel olarak döşenen enine ve boyuna kirişler olup, ray ve balast arasında bulunarak, raylar için bir mesnet görevi gören demiryolu üst yapı elemanlarıdır.

Traverslerin aşağıdaki görevleri yapması beklenir:

- i. Raydan balasta uygun yük iletimini ve dağılımını sağlamak
- ii. Ekartmanı korumak
- iii. Rayların traverslere 1/20 veya 1/40 eğimle montesini sağlamak. Araçların budenleri konik olup belli bir eğimi vardır. Bu haldeki bandajların ray üzerine oturabilmesi için raylara da içeri doğru aynı eğimi vermek gerekir. Bu da ray altına yerleştirilen seletlere hat içine doğru eğim verilerek sağlanır.
- iv. Yatay ve düşey yönlerde yeterli mekanik dayanıma sahip olmak. (Arlı ve Öztürk 2009)

**Şekil 3.5: Travers Yerleşimleri**



Kaynak: Ludvig (2004)

Traverslerde aranan özellikler şunlardır:

- 1) Aşınmaya karşı mukavemet yani ahşap traverslerin yeteri kadar sert olması
- 2) Elastikiyet



- 3) Kırılmaya ve ezilmeye karşı mukavemet
- 4) Rayların tespitine elverişli olması
- 5) Dış etkilere karşı mukavemet
- 6) Üstyapının stabilizesi bakımından çok hafif olmaması, ve bakım açısından çok fazla işçi gücü gerektirecek kadar da ağır olmaması
- 7) Maliyetin uygun olması (Arlı 2002)

Traver cinsleri olarak;

1. Ahşap Traversler
2. Çelik Traversler
3. Betonarme Traversler kullanılmıştır.

### Şekil 3.6: Ahşap, Betonarme Ve Çelik Travers



Kaynak: Özalp (2008)

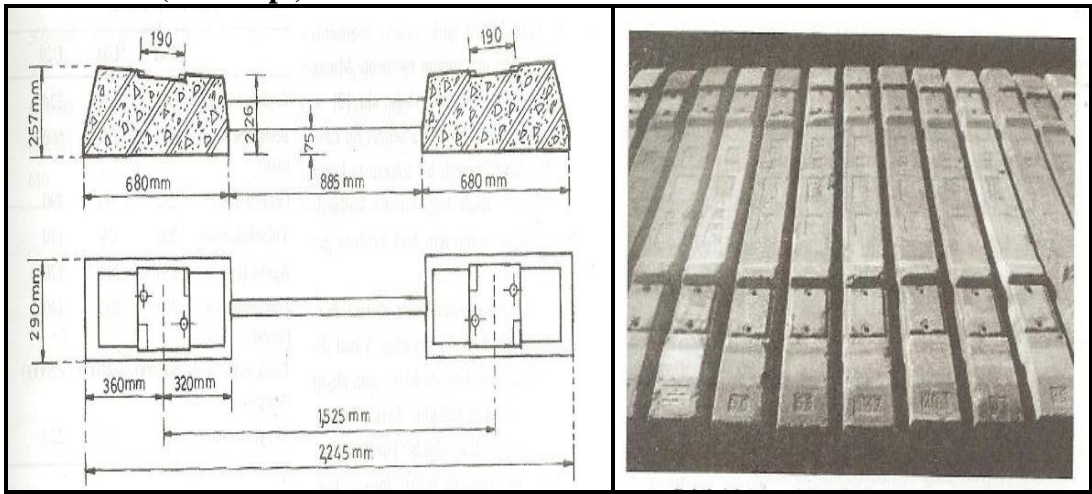
Demiryolu tekniğinin ilk safhalarında travers malzemesi olarak tercihen ahşap kullanıldı. Hatta, ilk demiryolu hattının inşasından 50 yıl sonra bile travers olarak tercih edilen malzeme ahşaptı. Ahşap, hava şartlarından ve diğer dış şartlardan çok etkilenen bir malzemedir. Hem bu nedenle hem de 19. Yüzyılın son çeyreğindeki yoğun çelik üretimi nedeniyle çelik traverslerin kullanımına başlandı. Çelik traversler 50 yıl boyunca dünyanın bir çok yerinde ve Avrupa'da da kullanıldı. Dingil ağırlıklarının ve tren süratlerinin artmasıyla daha ağır traverslere ihtiyaç duyulmaya başlandı. Bu çerçevede özellikle iki temel türde beton traversler geliştirildi:

\_\_ Çift bloklı beton traversler. Bunlarda, iki ön gerdirmeli beton blok bir çelik çubuk veya çelik taşıyıcı ile ekartmana göre bağlanır.

\_\_ Monoblok beton traversler. Bunlar bir adet ön gerdirmeli beton bloktan meydana gelir.

Ağır ön gerdirmeli beton traverslerin kullanıma girmesi, kesintisiz kaynaklı hattın gelişmesinde ağırlıkla etkili oldu. (Lichtberger 2011)

### Şekil 3.7: U31 İkiz Bloklı Donatılı Beton Traversler ve Monoblok Beton Traversler ( B55 Tipi)



Kaynak: Arlı ve Öztürk (2009)

**Ahşap Traversler:** Demiryollarının doğuşundan günümüze kadar ahşap en çok kullanılan malzeme türü olmuştur.

Avantajları: Beton traverslere göre daha hafif olduklarından değiştirilmesi daha kolaydır. Kolayca delinir, sabote edilir, açılan delikler tıkanabilir. Ray ve seletlerin traverslere tespiti kolayca yapılır. Elastikiyeti çok olması nedeniyle yolcu konforunu artırır. Diğer traversli yollara göre daha az gürültüye neden olur. Elektrik akımı için iyi bir yalıtıcıdır.

Dezavantajları: Ömürleri azdır, birinci sınıf yollarda kreozot enjekte edilmiş traversler 20-25 yıl kullanılabilirler. Topraktan etkilenirler ve çürürler, kolayca yanarlar, işletme tesiri altında özelliğini kaybederler. Ahşap traversin üretimi çok zaman gerektirir. Ahşabın kullanım alanı çok genişlediğinden fiyatı da hayli yüksektir. Bütün dünyada ahşaptan tasarrufa gidilmektedir.

**Demir Traversler:** Demiryollarının ilk yapılışı sırasında hızlı bir gelişim gösterdiği aşamada yeterli ahşap travers bulunmaması nedeniyle demir traversler kullanılmıştır. Genellikle yumuşak demirden yapılmış olan bu traversler hafif olmaları, bakım güçlükleri ve izolasyon sorunları nedeniyle günümüzde kullanılmamaktadır. Demir traverslerin ömürlerinde iklim önemli bir rol oynar. Rutubetli iklimlerde oksitlenerek çürüdüklerinden ömürleri çok azdır. Ancak iklimi rutubetli olmayan, balastı iyi olan ve trafiği az olan yollarda 50 yıl dayanmaktadır.

Demir traversler ilk yapıldıkları sıralarda çok çeşitli profillerde yapılmış olup, ancak ülkemizde de kullanılan tekne tipi demir traversler daha kullanışlıdır. Bu tip traverslerin uçları aşağıya doğru bükülmüş olduğundan, içlerine aldıkları balast ile alta kalan balast arasındaki sürtünme kuvveti ile yanal (dresaj) ve ileri-geri (şöminman) hareketi önler. Ancak demir traverslerde bakım (buraj vs.) çok güçtür.

Genellikle yumuşak demirden yapıldıkları için ray altında ezilmeler ve delik kenarlarında çatlamlar ve yırtılmalar olmaktadır.

**Betonarme Traversler:** İlk zamanlar betonarme traversler ekonomik ve teknik yönden tereddüt yaratmış, ama daha sonra ahşap fiyatlarının yükselmesi, betonarmede büyük ilerlemelerin sağlanması, rayla bağlantı sisteminin geliştirilmesi ile betonarme traverslere ilgi artmıştır. Günümüzde demiryollarında çok büyük oranda beton traversler kullanılmaktadır.

Ağır olmaları nedeniyle raylarda sıcaklık artışı ile beraber basınç gerilmelerinden dolayı oluşan yol bozulmasına karşı mukavemeti fazladır. Tabii ki ağır olması bakım güçlüğüne de neden olur. Hat açıklığını korur, dış etkilere karşı dayanıklı, ve elektrik akımına karşı yalıtkanlığı fazladır. Daha önceleri makaslarda ahşap traversler tercih edilirken, günümüzde artık beton traversler de kullanılmaktadır. (Arlı 2002)

Beton traverslerin ahşap traverslere üstünlükleri vardır:

- i. Daha uzun ömürlüdürler.
- ii. Sert ağaç traverslere göre daha ucuzdurlar.
- iii. Bağlantı elemanlarının düşük bakım ihtiyacı

- iv. Daha ağır oldukları için, yüksek çapraz itme direnci

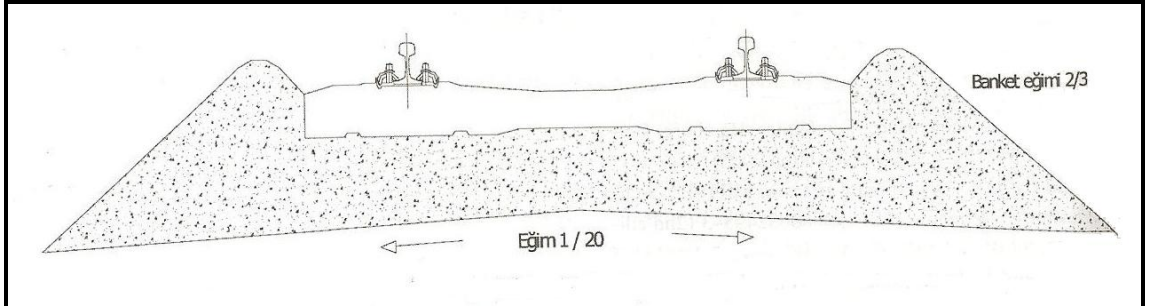
Bunun yanında beton traverslerin zayıf yönleri de vardır. Bunlar:

- i. Şok ve darbelere karşı hassasiyet gösterirler.
- ii. Yüksek ağırlıktan dolayı zahmetli montaj.
- iii. Beton traversler yüksek olduğundan dolayı atalet momentleri yüksek, düşey elastikiyetleri azdır. Balast tabakasının yüksek olmasını gerektirir. (Lichtberger 2011)

### 3.2.1.3 Balast

Boyutları en küçük 30mm lik halkadan geçmeyecek ve 60mm lik halkadan geçecek şekilde olan bazalt, granit, diyorit, dolomit, andezit gibi sert kayalardan konkasörle kırılması ile elde edilen kırmataşa balast denilir.

#### Şekil 3.8: Balastlı Yol Enkesiti



Kaynak: Arlı ve Öztürk (2009)

Balastın görevleri çok çeşitli ve önemlidir. Bu yüzden iyi bir balastın aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- i. Temiz ve topraksız olmalıdır.
- ii. Bünyesinde su tutmamalı, tabiat şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır.
- iii. Basınca karşı dayanıklı olmalıdır.
- iv. Elle ve makineli yapılan burajlarda darbelere karşı dayanıklı olmalıdır.
- v. Traverslerin yanal ve boyuna kaymasını engelleyecek yapıda keskin kenarlı,

keskin köşeli ve kübik şekilli olmalıdır.

vi. Yolda yeterli miktarda bulunmalıdır.

Balast yatağının görevleri şunlardır:

- i. Platformu dondan korumak
- ii. Üstyapıya elastikiyet sağlamak
- iii. Traverslerden gelen basıncı yayarak ve azaltarak platforma iletmek
- iv. Yağmur ve kar sularını süzerek platformun kuru kalmasını sağlamak
- v. Traverslerin topraklanmasını önlemek, kuru kalmasını sağlayarak çürümesini önlemek
- vi. Yolda meydana gelen düşüklüklerin düzeltilmesinde dolgu malzemesi görevini üstlenmek
- vii. Yolun dresajına ve şöminmanına engel olmak, yolun stabilitesini sağlamak
- viii. Yolda ot bitmesini önlemek (Arlı 2002)

Balast tabaka kalınlığı 200 km/sa kadar hızlar için 30 cm ve daha yüksek hızlar için 35-40 cm olmalıdır. Balast banketi 200 km/sa kadar hızlar için genişliği 40 cm ve daha yüksek hızlar için 45-50 cm olmalıdır. Banket eğimi 2/3 dür. (Arlı ve Öztürk 2009)

### **Şekil 3.9: Otogar-Bağcılar Hattı Depo Sahasında Balastlı Yollar**



### 3.2.1.4 Bağlantı Malzemeleri

Rayları birbiri ile ve rayları traverslere bağlayan malzemelere yol bağlantı malzemeleri denir. Demiryolunun insan yaşantısına girdiği günden bugüne kadar modernizasyon artarak devam etmiş ve seyrüsefer emniyeti açısından en önemli kısmı oluşturan ray-travers bağlantı malzemelerinde de sürekli yenilikler olmuştur. (Arlı ve Öztürk 2009)

Ray bağlantısının görevi, bir yandan ekartmanı sabit tutmak, diğer yandan da hem ray üzerine etki eden, hem de ray içinde oluşan kuvvetleri alttaki travers sistemine aktarmaktır.

Bağlantı sisteminin, dikey yönde hem yukarıya hem aşağıya doğru harekette yumuşatılmış olması gerektiğinden bağlantı malzemesinin özelliklerinin, rayın trafik ağırlığı altında yükselen bir dalga oluşturma halini absorbe etmesi gerekir. Bu durum özellikle beton traverslerde önemlidir. Çünkü beton traverslerde hat çerçevesi ağırlığı ahşap traversli hatlardakine göre 2-3 kat fazladır. Bağlantı sistemi için düşey yönde yeterli bir direncin mevcut olması önemlidir. Bağlantı elemanlarının her bir çifti, beton traversin ve ona ait ray bölümünün ağırlığını, bağlantı sisteminde önemli bir deformasyona maruz kalmadan taşıyabilmelidir.

Beton traverslerde bağlantı sisteminin önemli görevlerinden biri de, rayı elektrik akımı açısından hat çerçevesine karşı izole etmektir. Bu, rayın kötü taban izolasyonu nedeniyle hat akım devresinde meydana gelebilecek sinyal kayıplarını asgariye indirebilmek için gereklidir. (Lichtberger 2011)

Bağlantı elemanlarında olması gereken özellikler şunlardır:

- i. Ekartmanı ve traversteeki yanal ray eğimini sürekli korumak
- ii. Raydan traverse gelen yükleri iletmek
- iii. Tren titreşimlerini azaltmak ve sönmölemek
- iv. Montajı ve bakımı kolay olmalı
- v. Elektrik yalıtımı olmalı
- vi. Esnek olmalı ve yeterli deplasmanı sağlamalı,
- vii. Elemanlar arasında aşınma ve gerilme birikmesi olmamalı

- viii. Yeterli korozyon direncine sahip olmalı
- ix. Maliyeti uygun ve traversle aynı ömre sahip olmalı
- x. Tahribata dayanıklı olmalı (Arlı ve Öztürk 2009)

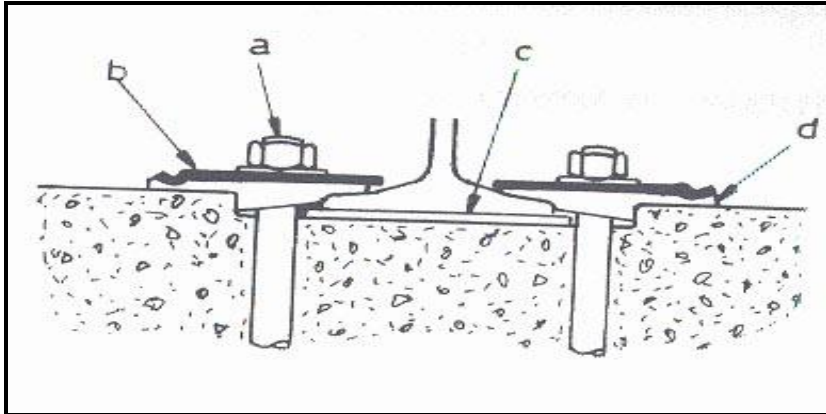
Bağlantılar rijit ve elastik olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit bağlantılar sadece ahşap ve demir traverslerde kullanılır. Rijit bağlantılar traverse bulon veya çivi ile bağlanır. Tren geçişlerinde ray traverse basar ve yaylanmanın bir kısmı plastiktir. Yani yük geçtikten sonra deformasyon oluşur. Bundan dolayı rayla çivi başı arasında bir boşluk oluşur. Sürekli olan araç geçişlerinde bu boşluk artar ve bağlantının laçkalaşmasına neden olur, bu durum güvenliği etkiler ve draymana neden olabilir. Plastik deformasyonun yanında yüksek frekanslı vibrasyonlar boşluğun genişlemesine ve bağlantının gevşemesine sebep olur.

Rijit bağlantılar seletle veya seletsiz olarak traverse bağlanır, seletli olması tercih edilir. Seletsiz bağlantıda raylar traverslere kranpon çivisi veya tirfonlarla doğrudan bağlanır. Seletli bağlantıda ray ve travers arasına döküm demirden imal edilen seletler konur ve raylar selet ve traverslere kranpon çivileri veya tirfonla traverse bağlanır.

Beton traverslerde elastik bağlantıların kullanılması gerekir ve ayrıca ahşap ve demir traverslerde kullanılabilir. İki tip elastik bağlantı vardır:

- 1) **Cıvatalı Tip Elastik Bağlantı:** Bu bağlantıların avantajı bakımları ve yer değiştirmeleri kolaydır, germe güçleri de yüksektir. Fakat düzgün bir montaj, çevre şartlarına bağlıdır. Bu tip bağlantılar RN, Nabla, Vossloh ve diğerleridir.

**Şekil 3.10: Cıvata Tipli Elastik Bağlantı**



Kaynak: Arlı ve Öztürk (2009)

Bu bağlantıların ortak elemanları şunlardır:

- i. Somunlu bir eleman (a) yay elemanlara bir kuvvet uygular ve bu eleman traversten çıkarılabilir.
- ii. Çelik yay elemanı (b) çubuk veya plaka şeklinde olabilir.
- iii. Ray ve travers arasında vibrasyonları ve darbeleri absorbe eden bir plastik ped (c), ray ile travers arasında elastik bir tabaka sağlar ve elektrik yalıtımı sağlar.
- iv. İzole elemanı (d) raydan bir metal aracılığıyla traverse elektrik akımının ulaşmasını önler.

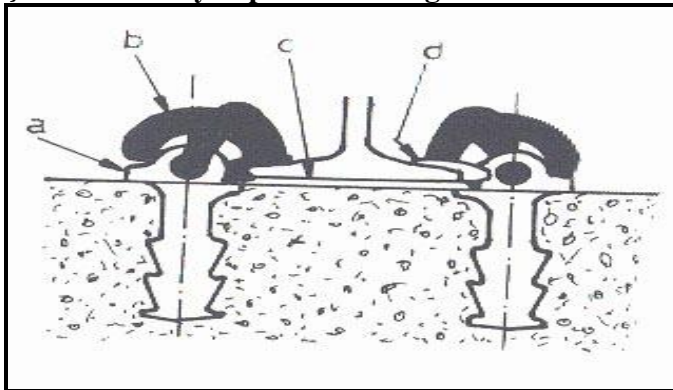
**Şekil 3.11: Cıvata Tipli Elastik Bağlantı Çeşitleri**



Kaynak: Polat (2011)

- 2) Yay Tipi Elastik Bağlantılar:** Cıvatalı tipe göre daha az yaygındırlar, montaj şartlarından daha az etkilenirler ve kusurları gözle kolaylıkla fark edilebilir. Bu tip bağlantılar; Pandrol, Lineloc, Hambo vb. dir.

**Şekil 3.12: Yay Tipi Elastik Bağlantı**



Kaynak: Arlı ve Öztürk (2009)



Bu bağlantıların ortak elemanları ve işlevleri şunlardır:

- i. Traverse yapılan ankraj elemanları (a), ray tabanına germe gücü uygular.
- ii. Çelik yay eleman (b), ray tabanına germe gücü uygular.
- iii. Ray ve travers arasında vibrasyonları ve darbeleri absorbe eden bir elastik ped (c), ray ile travers arasında elastik bir tabaka ve elektrik yalıtımı sağlar.
- iv. İzolatör veya izole tabakası (d), raydan bir metal aracılığıyla, mesela a ve b elemanları ile traverse elektrik ulaşmasını önler. (Arlı ve Öztürk 2009)

### Şekil 3.13: Yay Tipli Elastik Bağlantı Çeşitleri



Kaynak: Polat (2011)

### 3.3 BETONA TESPİTLİ BALASTSIZ DEMİRYOLU ÜST YAPISI

Balast yatağı demiryolu üst yapısının en zayıf elemanı durumundadır ve en yüksek bakım harcamalarını gerektirmektedir. Yüksek hızlı hatlardaki deneyimler, balastlı hatların bakım ihtiyacının daha fazla olduğunu göstermiştir. Özellikle, yüksek hızlarda balastın yerden fırlayıp araca veya raya çarpma riski vardır. Bu nedenle yüksek hız hatları yapımı ve planlamasında balast yatağı yerine, yol inşaatında uygulandığı gibi kalın asfalt veya beton tabakaları gibi bir taşıyıcı konstrüksiyon kullanmak yönünde düşünceler geliştirilmiştir. (Arlı 2002)

Demiryolu hatlarının dizaynlarında ömür boyu maliyeti(life cycle cost), inşaat süresi, elverişlilik ve durabilite gibi faktörlerin önemi oldukça artmaktadır. Bu bağlamda beton

döşemeli hatların çok üstün avantajları vardır. Viyadük ve köprülerde, balasttan gelen yükün azalmasıyla, daha ekonomik, daha ince, daha zarif bir görünüşe sahip yapılar elde edilmektedir. Beton demiryolunun önemli avantajları aşağıda özetlenmiştir:

- i. Tünellerde yapı yüksekliğinin azalması
- ii. Daha az bakım ihtiyacı ve bundan dolayı daha fazla elverişlilik
- iii. Artan servis ömrü
- iv. Trenlerde tilting (araçların kurlarda dever gerekmeksizin yana yatması) teknolojisi ile birlikte hız artışlarına imkan veren yüksek yanal hat direnci
- v. Yüksek hızlarda balast fırlaması sorununun olmaması

Şu andaki demiryollarının çoğu klasik balastlı üstyapı tipi şeklindedir, ama son zamanlarda balast yerine betonun kullanıldığı demiryolu uygulamaları daha fazla gerçekleştirilmektedir. Beton döşemeli üstyapıya özellikle tünel, köprü ve viyadüklerde gereksinim duyulmakta, ancak toprak gövde üzerinde bulunan kentler arası yüksek hızlı demiryollarında fazla bakım gerektirmeyen iyi bir seyir yolu sağlayabilmek için beton döşemeli üstyapı kullanımı da söz konusudur. Mesela Japonya'da yeni hatların %96'sı beton döşemeli olarak yapılmaktadır. Beton döşemeli üstyapı, balast yerine ondan daha az şekil değiştiren beton, betonarme ya da asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapısıdır.

Beton döşemeli üstyapılar döşeme şekline göre mesnetli döşeme ve sürekli döşeme olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

Mesnetli döşeme, ray tabanının sabit aralıklı mesnetlere 2 parçalı olan ve yaylı elemanları ile ayarlanabilen bağlantılar yardımıyla, alttaki taşıma tabakası üzerine bağlanmasından oluşur. Sürekli döşeme tipinde raylar sürekli olarak beton taşıma tabakası üzerinde yol eksenine doğrultusunda paralel iki kirişin içlerinde oluşturulan oluklarda, doğal ya da yapay kauçuk yataklar içine döşenmektedir.

Bir hattın deformasyon oranı ilk yapım kalitesine, özellikle hat geometrisine, altyapının homojenliğine ve taşıma dayanımına bağlıdır. Beton döşemeli üstyapının düşük bakım özelliklerinden faydalanabilmek için altyapı tabakalarının homojen ve yükleri taşıdığından emin olmak gerekir. Altyapı çökmelerini önlemek için, taban zeminin

özelliklerine, iklim ve çevre koşullarına, trafik yüklerine ve kullanılacak beton döşemeli üstyapı tipine bağlı olarak taşıma tabakası altında hidrolik ya da bitümle bağlı koruma tabakası gerekir. Hidrolik koruma tabakasının elastisite modülü 100.000 kg/cm<sup>2</sup> ve basınç gerilmesi 50-60 kg/cm<sup>2</sup> arasında olmalıdır. Dona karşı hassas zeminlerde don kabarması ile hat doğrultusu bozulmaktadır. Bunun için hidrolik koruma tabakasının altına ısı yalıtımı sağlayacak bir tabaka eklenir. (Makaleler Kitabı 2008)

### **3.3.1 Beton Döşeme Demiryolu Sistemleri**

Beton döşemeli üstyapılar döşeme şekline göre mesnetli döşeme ve sürekli döşeme olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir.

#### **3.3.1.1 Mesnetli Döşemeli Demiryolu Sistemleri**

Mesnetli döşeme, ray tabanının 0,50m ile 0,80m arasında (en çok 0,65m) değişen sabit aralıklı mesnetlere 2 parçalı olan ve yaylı elemanları ile ayarlanabilen bağlantılar yardımıyla, alttaki taşıma tabakası üzerine bağlanmasından oluşur. Mesnetli döşeme için, dünya çapında üç prensip geliştirilmiştir:

- i. Kiriş betonlu demiryolu sistemi
- ii. Prefabrik beton plakalı demiryolu sistemi
- iii. Beton traversli demiryolu sistemi

Sürekli döşeme tipinde raylar sürekli olarak beton taşıma tabakası üzerinde yol eksenine doğrultusunda ve beton ya da istisnai durumlarda çelik malzemeden yapılmış paralel iki kirişin içlerinde oluşturulan oluklarda, doğal ya da yapay kauçuk yataklar içine döşenmektedir.

##### **3.3.1.1.1 Kiriş Betonlu Demiryolu Sistemi**

Yüksek hassasiyette dökülen beton kirişlerin üzerine seletlerle tekil dayanak noktaları yapılır. Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro hattında yerinde dökme ray altı kirişleri buna örnek teşkil etmektedir.

##### **3.3.1.1.2 Prefabrik Beton Plakalı Demiryolu Sistemi**

Bu prensip, özellikle 1972'den beri Japonya'da Shinkansen hatlarında standart üstyapı olarak kullanılmaktadır. Burada 5 m uzunlukta, 2.3 m eninde ve 16 cm kalınlıkta gevşek

takviyeli prefabrik levhalar kullanılmaktadır. Levhalar, boyuna ve enine yönde yuvarlak beton kütüklerle (Ø 40cm ) tutulur, bunlar da taşıyıcı plakanın konstrüksiyon betonuyla sıkı sıkıya bağlanmışlardır. Levhaların altına 4 cm kalınlığında çimento-asfalt harcı doldurulur. Son zamanlarda Shinkansen hatlarında levha kalınlığı 19 cm ye çıkarılmış enine ve boyuna yönde daha az bir ön gerilim verilmiştir. Ayrıca, son zamanlarda yerleşim bölgelerinde beton plakanın altına 25 mm kalınlıkta bir lastik paspas döşenir, bu da zaten prefabrik işletmesinde önceden plakanın altına yapıştırılmaktadır.

### Şekil 3.14: Shinkansen Prefabrik Levha Döşeme Sistemi



Kaynak: Makaleler Kitabı (2008)

Max Bögl, FF Bögl ismini verdiği yüksek hızlı hatlar için prekast döşeme üstyapısını geliştirmiştir. Birbirine kenetlenen prekast beton panellerle yerinde dökülen betona göre hat işletmeye daha hızlı bir şekilde açılabilme ve döşemeler kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Alman inşaat mühendisliği firması olan Max Bögl, diğer iki Rheda ve Züblin sistemlerinde yerinde beton döküm gerekirken, kendi getirdiği çözümde prekast elemanlar kullanarak yeni bir sistem geliştirmiştir. FF Bögl sisteminin deneme sonuçlarından sonra, Alman Demiryolları 300 km/sa hıza kadar olan hatlarında bu sistemin kullanılmasını benimsemiştir.

Max Bögl'in prekast döşeme sisteminin ilk denemesi 1977 yılında Karlsfeld yakınlarında 160km/sa hızı olan 430m.lik bir hat kısmında yapılmıştır. Ön gerdirmeli 4.76m boyundaki prekast paneller boyuna doğrultuda birbirine kenetlenmektedir.

FF Bögl panelleri 200mm yüksekliğinde ve 6.45m uzunluğunda ön gerdirmeli prekast elemanlardır. (Şekil 3.15) Üretim aşamasında özel hat doğrultusundaki değişiklikler

dikkate alınır ve ray bağlantıları monte edilebilir. Döşemelere monte edilen ayar aletleri ile hattın yanal ve düşey konumu ayarlanabilir.

Max Bögl bu sistemde bir günde 650m yol yapmanın mümkün olduğunu hesaplamıştır. Hat düzgün bir şekilde ayarlandıktan 2 saat sonra işletmeye açılabilir. (Makaleler Kitabı 2008)

### Şekil 3.15: Bögl Prekast Döşemeli Demiryolu Sistemi



Kaynak: Makaleler Kitabı (2008)

#### 3.3.1.1.3 Beton Traversli Demiryolu Sistemi

Bu çözümde genellikle, prefabrik traversler ya elastiki ya da sıkı bir şekilde beton taşıyıcıya plakaya bağlanırlar. Beton döşemeli üstyapının çeşitli inşa tipleri arasında kullanılan traverslerin taşıyıcı tabaka üstüne serbest yerleştirilmeleri ya da gömülmeleri, hat çerçevesinin kolayca monte edilmesi imkanını sağlar. Travers kullanımının avantajı, ekartman (iki ray dizisi arasındaki açıklık) ve ray eğiminin travers fabrikasında büyük hassasiyetle imal edilebilmesidir. Karayolu ve havaalanı inşaatlarında edinilen tecrübelerle dayanarak, çabuk priz alan beton kullanıldığı takdirde, taşıyıcı plakanın montajından 3-4 saat sonra yolun ulaşımına açılması mümkün olmaktadır.

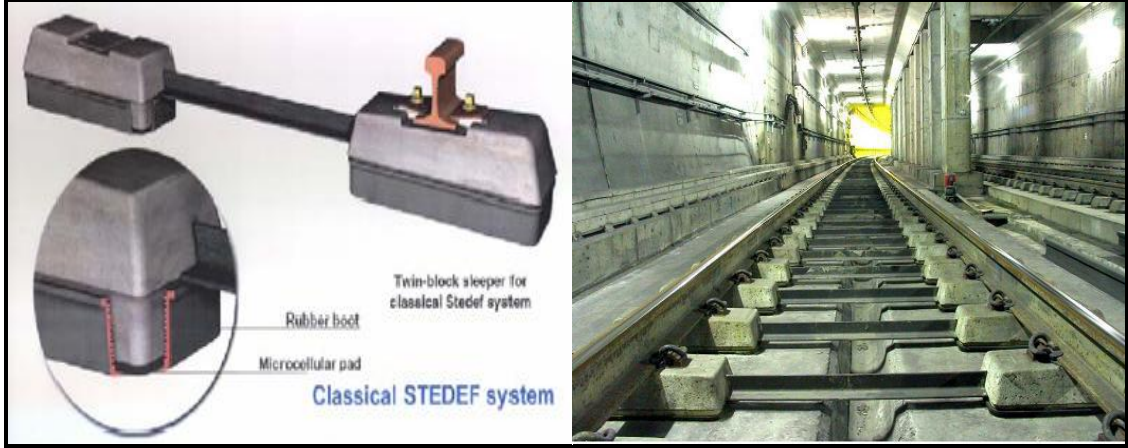
##### a) Stedef Sistemi

Bu sistem ülkemizde İstanbul Taksim-4.Levent arası metro hattında kullanılan Stedef V.S.B (Voie Sans Ballast) beton döşemeli üstyapı tipidir. Fransa'da ve İsviçre'de tünellerde Stedef sistemi kullanılmaktadır.

Traverslerin ve rayların, birinci olarak dökülmüş beton tabakası üzerine döşenmelerinde, rölevaj (kot durumu), dresaj (eksen durumu) ve yol açıklığı (iki ray

dizisi arası) hususunda yapım kolaylıkları bulunmaktadır. Hazırlanmış tünel temel veya 1.ci tabaka beton taban üzerine, beton traversler verilen aks noktalarına göre yerleştirilir. Beton travers bloklarını kavrayan ve içlerinde elastomer yastık bulunan lastik torbaların, taban üzerindeki beton blok altında kaymaması için, her bir torba, beton travers bloğuna iki tarafından iki lastik şeritle çemberlenmiştir.

**Şekil 3.16: Stedef Demiryolu Sistemi**



Kaynak: Polat (2011)

### **b) Rheda Sistemi**

Alman Demiryollarında, esnek ray bağlantılı bir germe beton traversinin kullanıldığı çözüm özellikle geçerlilik kazanmıştır. Bu yapı tarzı ilk kez 1972 yılında Rheda istasyonundaki 850 m uzunluktaki deneme hattında gerçekleştirilmiştir. Münih Teknik Üniversitesi Ulaşım Yolları Yapımı Test Dairesi tarafından geliştirilen Rheda üstyapısı (Şekil 3.17) bugüne kadar ray taşlaması dışında hiç bir bakım ihtiyacı duymamıştır. Yürütülen ölçümler, 250 km/saat'e kadar çıkan hızlarda deformasyon davranışının bugüne kadar değişmediğini göstermiştir.

Sonradan 2.800 m uzunluğunda çift hatlı Sengeberg tüneline kullanılan bu sistemde, sağlam zemin üzerinde hazırlanan betonarme teçhizata kısmen gömülü, gerdirimli beton traversler yerleştirilmekte ve yol hep birlikte beton dökümüne tabi tutulmaktadır. Yerinde dökülecek 26.5 cm lik taşıyıcı betonarme teçhizatlı plak üzerine döşenen gerdirimli beton traverslerin altında en az 14 cm lik bir et kalınlığı bırakılmaktadır. Bu tabakada alt kısımda boyuna direnci sağlayacak demir teçhizat bulunmaktadır. Hat ızgarası ile taşıyıcı sistem arasındaki kuvvet bağlantısı, beş uzunlamasına delik içinden beton traversten geçirilen ve germe civataları üzerinden beton taşıyıcı plakaya

tutturulan boyuna demir çubuklarla sağlanmıştır. Yol döşenmesi tamamlandıktan sonra, traverslerin aks ve kot, yani ufki ve şakuli düzeltmeleri traverslerin sonlarında bulunan deliklerden geçebilen ve ayar edilebilen özel miller vasıtasıyla yapılmaktadır.

**Şekil 3.17: Rheda Üst Yapı Sisteminin Döşenmesi**



*Kaynak: Makaleler Kitabı (2008)*

**Şekil 3.18: Rheda Üst Yapı Sistemi**



*Kaynak: Makaleler Kitabı (2008)*

Rheda 2000 sisteminde 10 saat içinde 200m.lik bir hattı monte etmek mümkündür. Buna karşın, yerinde dökülen betonun son dayanımını alması için 28 günün geçmesi gerekir.

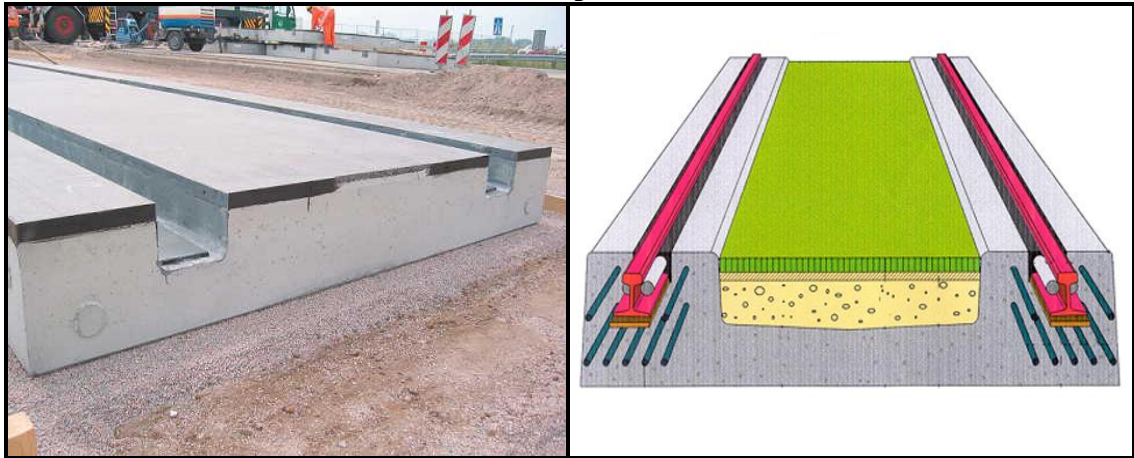
Rheda sistemlerinin ortalama ömrü yaklaşık 50-60 yıl arasındadır ve günümüzde bu sistemlerde UIC 60 rayı ve Vossloh 300 bağlantı sistemi kullanılmaktadır. Bu servis ömrünü sağlamak için, yeterince kusursuz ölçüm yapmak ve kullanılan inşaat malzemesine uygun bir konstrüksiyon uygulamak, sıkı bir zemin üstüne dona karşı güvenceli bir temel ile gerçekten işleyen bir su drenajı gerekmektedir. (Makaleler Kitabı 2008)

### 3.3.1.2 Sürekli Gömülü Raylı Üst Yapı Sistemi

Bu tipte, içine simetrik ve derzsiz dikdörtgen kesitli iki çukur açılan, yaklaşık 0,40 m kalınlığında donatılı beton taşıma tabakası kullanılmaktadır. Raylar bu çukurlar içine bir mantar taban levhası üzerine, PVC boruları ile birlikte yerleştirilir. Bu borular olası yanal deplasmanlarını önleyici ve azaltıcı görev yapmaktadırlar. Geriye kalan boş kısımlar dayanıklı elastik malzeme ile doldurulur. Her tarafından sönümleyici karakterde olan bu yapı, özellikle gürültü ve titreşime duyarlı çevre koşulları için uygundur.

Bu yol tipi ilk kez Hollanda'da EDİLON adı ile 1973'de geliştirilmiş, tünel ve köprülerde başarıyla kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen yeni modelin adı INFUNDO olup, tramvay yollarında ve kentler arası demiryollarında başarılı olmuştur. Hollanda'da 10 km yüksek hızlı hat, hafif raylı sistemler ve Madrid metrosu (100 km) önemli uygulama sahalarıdır. Almanya'da denenen beton döşemeli üstyapı tipleri arasında en iyi sistem olarak seçilmiştir. (Makaleler Kitabı 2008)

### Şekil 3.19: Edilon Sürekli Gömülü Üst Yapı Sistemi



Kaynak: Makaleler Kitabı (2008)



## **4. OTOGAR-BAĞCILAR BAŞAKŞEHİR METRO HATTINDA**

### **KULLANILAN BALASTSIZ ÜSTYAPILAR**

#### **4.1 GİRİŞ**

Otogar-Bağcılar-Başakşehir metro projesi teknik şartnamesi Madde 18.2 de Demiryolu İşlerine İlişkin Tanımlar bölümünde demiryolu terimleri kısaca açıklanmıştır. Rayların doğrudan tespit edileceği betonarme tabliye ve üzerindeki kiriş şeklinde ifade edilen ‘‘Doğrudan Tespitli Yol’’ kavramı, rayların bağlantı elemanları vasıtasıyla bağlanacakları demiryolu üst yapısını ifade etmektedir.

Teknik şartname Madde 18.4’ de Doğrudan Tespitli Yol Yapılması başlığı altında, balastsız üst yapının yapımı ve kullanılacak malzemeler tariflenmiş olup prekast üstyapıya hiç değinilmemiştir. Yalnızca yerinde döküm ray altı kirişleri tariflenmiştir. Ancak daha sonraları, fabrika ortamında kaliteli üretim standartlarında, yüksek mukavemetli betonlardan prefabrik bir demiryolu üst yapısının üretilerek uygulanması fikri benimsenmiştir.

Hesap ve projeleri yapıldıktan sonra üretime geçilmiş ve TBM Segment Üretim Fabrikasında Prekast Demiryolu Üst yapısının imalatına başlanmıştır. Projedeki demiryolu hattının yüzde 46’ sı prekast üst yapıdan teşkil edilmiştir. Daha sonra segment imalatının bitmesinin de etkisiyle prekast üstyapı üretimine son verilerek yeni yapılacak olan demiryolu üst yapısında yerinde döküm ray altı kirişler kullanılmaya devam edilerek demiryolu imatları sona ermiştir.

#### **4.2 YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ BALASTSIZ ÜSTYAPI**

Kirişli üst yapı olarak da tariflenen yerinde döküm balastlı üst yapı, yeni metro hatlarının demiryolu üst yapısı imalatında sıkça kullanılan bir demiryolu üst yapı sistemidir.

#### **4.2.1 Temin Edilecek Malzemeler**

Teknik Şartname Madde 18.4.1' e göre Doğrudan Tespitli (Yerinde Döküm-Kirişli) Yol yapılması için gerekli malzemeler şunlardır;

- 1) S49 Raylar, ray ek kaynağı malzemesi, conta bağlantı malzemeleri, izole cebireler.
- 2) Doğrudan tespitli ray bağlantı malzemesi
- 3) Doğrudan tespit betonarme kiriş
  - a) BS 30 Betonarme Betonu
  - b) Ø10, 14 ve 16' lık nervürlü demir
  - c) Brüt beton kalıp malzemesi
- 4) Beton altı tabakası malzemesi
- 5) Drenaj malzemesi
- 6) Makaslar
- 7) Kontray malzemesi
  - a) S49 Ray
  - b) Cebireler
  - c) Ankraj bulonu, rondela ve somunlar
- 8) Doğrudan tespitli yol yapılmasını tamamlamak için diğer malzeme ve yol yapımı elemanları

#### **4.2.2 Ray Altı Kirişi Betonunun Özellikleri**

Teknik Şartname Madde 18.4.4' e göre Doğrudan Tespitli Yol betonunda ve donatısında aranan birtakım özellikler mevcuttur.

- a) Raylara mesnet teşkil edecek yastık kirişi betonu BS 30 betonarme betonu olacaktır ve bu kirişlere 3 m. de bir derz verilecektir.
- b) Kullanılacak inşaat demiri mutlaka nervürlü olacaktır beton dökülmeden önce tüm donatıların pasları temizlenecek ve beton dökülürken vibratör kullanılacaktır.
- c) Aç kapa yapılarda, istasyon temel betonuna konulacak aderans filizleri ile irtibatlandırılacaktır.
- d) Tünellerde tünel tabanı üzerindeki tesviye betonuna dökülecek, taşıyıcı kirişler bu betona aderans filizleri ile irtibatlandırılacaktır.

- e) Hemzeminlerde en az 20 cm kalınlığındaki sıkıştırılmış beton altı tabakası üzerine en az 20 cm kalınlığında donatılı BS 25 yük yayma betonu dökülecek, taşıyıcı kirişler bu betona konulacak aderans filizleri ile irtibatlandırılacaktır. Hemzeminlerde gerekli derzler bırakılacaktır.
- f) Beton dökülürken üst yapı malzemesinin zarar görmesini önleyici tedbirler alınacaktır. Ayrıca ray bağlantı malzemesinin altında beton döküldükten sonra kalabilecek yüzeysel boşluklar tekrar grout yada epoksi ile doldurulacaktır.

#### **4.2.3 Ray Altı Kirişi (Plinth Beton) Hesapları**

Metro ve hafif metro kısımlarında, hat boyunca tren yükünü raylardan alıp altyapıya aktaracak olan ray altı kirişi, diğer adı ile plinth betonu basit bir kiriş gibi çalıştığından iki ayrı tip donatı için hesap yapılmıştır. Bunlardan biri etriye, diğeri boyuna donatıdır. Etriyeler, bütün kesitlerde, aç-kapa radyelerinde ve tünel tabanında direk bağlı ray altı kirişi olarak çalışan plinth betonlarında kullanılacaktır. Boyuna donatılar ise sadece tünel içi ray altı kirişleri gibi süreklilik arz etmeyen anolar halinde dökülecek olan plinth betonlarda kullanılacaktır. Diğeri yapı elemanlarında boyuna donatılar, ray altı kirişlerinin aç-kapa radyesi yada viyadük gibi döşemelere direkt olarak bağlandığı yerlerde, döşeme donatıları olarak boyutlandırılacaktır.

İleriki bölümlerde detayları açıklanan yüklerden, ilgili taşıyıcı tipe etki edenler kullanılarak uygun kombinasyonlar altında plinth betonu analiz edilecek ve en kritik duruma göre boyutlandırma ve donatılandırma yapılacaktır.

##### **i. Kullanılan Dokümanlar**

Hesap raporunda, kullanılan yüklerle ilgili olarak Alstom Firması tarafından imal edilmiş araçlara ait teknik dokümanlar incelenmiştir. Ayrıca metro araçlarının 2 bogili olduğu ve aks yükü olarak 18.6 ton kullanılacağı teknik şartnamede belirtilmektedir.

##### **ii. Kullanılan Malzeme**

Ray altı kirişi ve yastığında C30 betonu kullanılacaktır.

Demir donatı olarak ise S420 çeliğinden mamul nervürlü inşaat demiri kullanılacaktır.

### iii. Yükler ve Tanımlamalar

Genel Yükler aşağıda tablo halinde gösterilmiŐtir.

**Tablo 4.1: Genel Yükler ve Tanımlar**

Ray Ara ls (Ekartman)	1435 mm
Tren Aks Yükü	18.6 ton
Dinamik Yük arpanı	1.30
Tasarım Maksimum Hızı	80 km/saat
Tren Aks Sayısı	4

Genel olarak ilgili kısımlarda alınacak yükler;

- L+I=12.09 ton/aks/tekerlek
- CF=2.38 ton/aks
- HF=0.25 L=4.65 ton/aks/tekerlek
- RF=+/- 1.86 ton

Plinth betonu 2.9 m. lik anolar halinde dkleceğinden ve yaklaşık 60 cm de bir ray bağlantı elemanı ile tutturulacağından EQ, CWR, T kuvvetlerinin önemli etkileri bulunmayacaktır. Ayrıca araç üstü buzlanma da ihmal edilecektir.

Aynı Şekilde fren yükü boyuna yönde olduğundan, bu yükten kaynaklanan kesme kuvvetinin çok sayıda bağlantı elemanı vasıtasıyla taŐınacađından dolayı fren yükünden gelen ek moment ve kesme yükleri göz önüne alınmamıŐtır. Acil fren yükü (LE- Emergency Braking), Teknik Şartnameye göre toplam hareketli yükün % 30'u olarak belirlenmiştir. Kabaca bir hesapla bir vagona acil fren yükü;

$$LE=0.3 \times 18.6 \times 4 = 22.32 \text{ ton}$$

değerinde bir kuvveti tekerleklerden bağlantı elemanlarına aktarmaktadır. Bu durumda

da yaklaşık olarak 22.5 m araç uzunluğunda, 20 cm de bir yerleştirilecek olan donatılara yaklaşık 100 kg kesme kuvveti gelecektir, ki bu da ihmal edilebilir mertebededir.

#### iv. Yük Kombinasyonları

Teknik Şartnamede belirlenen yük kombinasyonlarından, plinth betonları ile ilgili olanlar aşağıda listelenmiştir;

$$U1: 1.3(D+1.54(L+I)+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF+RF+LE)$$

$$U2: 1.3(D+(CF \text{ veya } HF)+RF+LE+W1+SIG+Ep+B+SF)+1.5(L+I+SIV)$$

$$U3: 1.3(D+L+I+LE+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF+W1+RF)+R+S+T+(LR2 \text{ veya } RT2 \text{ veya } BR)$$

$$U4: 1.3(D+Ep+B+SF+W2)+R+S+T+(LR2 \text{ veya } RT2 \text{ veya } BR)$$

$$U5: 1.3(D+L+I+LE+W1+(COL Fh \text{ veya } COL Fv)+Ep+B+SF)+$$

$$U6: 1.3(D+Ep+B+SF+EQ+L+I+LE)$$

$$U7: 1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+RF+LE+ST+Ep+B+SF)$$

$$U8: 1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF)$$

$$U9: 1.3(D+Ep+B+SF+W2)$$

$$U10: 1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF+W1+RF+LE)$$

$$U11: 1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF)+R+S+T$$

$$U12: 1.67W1 \text{ veya } 1.67W2$$

Burada ilgisiz yükler elendikten sonra tek kritik kombinasyon ortaya çıkmaktadır.

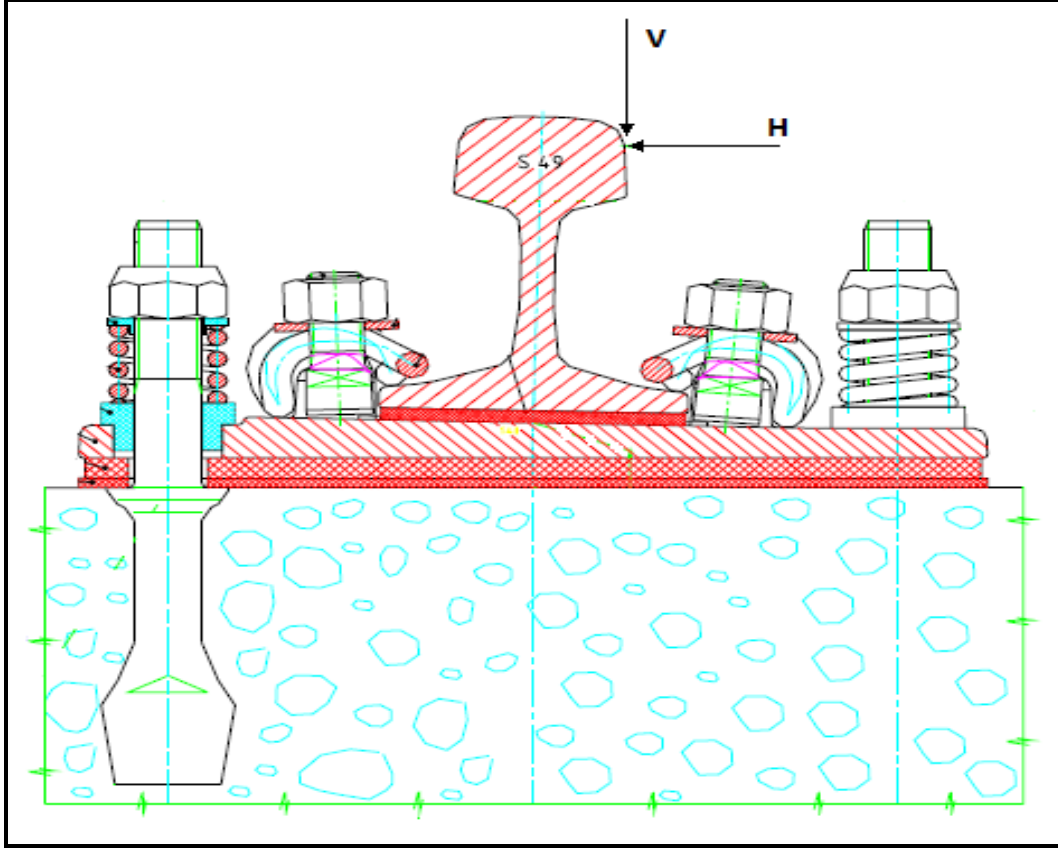
$$U1: 1.3(D+1.54(L+I)+(HF \text{ veya } CF)+RF)$$

Diğer bütün yüklemeler bu kombinasyona oranla daha az kritiktirler.

#### 4.2.3.1 Ray Altı Kirişi (Plinth Beton) Etriye Hesapları

Plinth üzerine gelen tasarım yükleri hesaplanacaktır. Etkiyen kuvvetlerden gelen yükler düşey ve yatay kuvvetlere ayrılacaklar, bulunan yük kombinasyonunda en kritik sonucu veren kuvvete göre kesit kontrolü ve donatılendirme yapılacaktır.

**Şekil 4.1: Ray Üzerine Etki Eden Kuvvet Bileşenleri**



*Kaynak: Plinth Beton Hesap Raporu (Yüklenici Sunumu)*

**a) L+I, Aks Yükünden Gelen H ve V Kuvvetleri**

Maksimum Aks Yükü =  $18.6 \times 1.3 = 24.18$  ton

$V_{\text{Tekerlek}} = 12.09$  ton

Kabul Edilen Değme Açısı =  $30^0$

Yatay Bileşen,  $H = 12.09 \times \tan 30^0 = 6.98$  ton/tekerlek

Dinamik faktörle tekerlek başına,

$V = 12.09$  ton/tekerlek

$H = 6.98$  ton/tekerlek

**b) CF, Merkezkaç Yükünden Gelen H ve V Kuvvetleri**

Merkezkaç yükü, 2.38 ton/aks olup, Teknik Şartnamede belirtildiği üzere ray üst kotundan 2m. yukarıda etki ettiği kabul edilir.

$$T = 2.38 \times 2 / 1.435 = 3.32 \text{ ton/tekerlek, +/- etki yapacaktır.}$$

$$V = 3.32 \text{ ton/tekerlek}$$

$$H = 2.38 / 2 = 1.20 \text{ ton/tekerlek}$$

**c) HF, Lase Kuvvetinden Gelen H ve V Kuvvetleri**

Lase Kuvveti düşey yük vermemektedir.

$$H = 4.65 \text{ ton/tekerlek (Her aksta tek teker, Lase Kuvvetini raya aktarmaktadır.)}$$

**d) Yuvarlanma Yükünden Gelen H ve V Kuvvetleri**

Yuvarlanma Yükü, +/- 1.86 ton

$$V = 1.86 \text{ ton}$$

$$H = 1.35 \times \tan 30^0 = 1.07 \text{ ton}$$

Tasarım yükleri,

**Kombinasyon 1a;** CF ile,  $2.0(L+I)+1.3CF+1.3RF$

$$V = 2.0 \times 12.09 + 1.3 \times 3.32 + 1.3 \times 1.86 = 30.914 \text{ ton/tekerlek}$$

$$H = 2.0 \times 6.98 + 1.3 \times 1.2 + 1.3 \times 1.07 = 16.911 \text{ ton/tekerlek}$$

**Kombinasyon 1b;** HF ile,  $2.0(L+I)+1.3HF+1.3RF$

$$V = 2.0 \times 12.09 + 1.3 \times 0.0 + 1.3 \times 1.86 = 26.598 \text{ ton/tekerlek}$$

$$H = 2.0 \times 6.98 + 1.3 \times 4.65 + 1.3 \times 1.07 = 21.396 \text{ ton/tekerlek}$$

Ray tabanı merkezine göre moment alınır ve kritik plinth yüksekliği 30 cm olarak kabul edilirse;

Kombinasyon 1a,

$$M_U = 16.911 \times (0.3 + 0.173) - 30.914 \times 0.037 = 6.855 \text{ tm}$$

$$H_U = 16.911 \text{ ton}$$

Kombinasyon 1b,

$$M_U = 21.396 \times (0.3 + 0.173) - 26.598 \times 0.037 = 9.136 \text{ tm}$$

$$H_U = 21.396 \text{ ton}$$

Kombinasyon 1b en kritik sonuçları vermiştir. Tünelde düz kısımda lase kuvveti dahil olan kombinasyon, merkezkaçlı kombinasyona göre daha kritiktir.

Teknik Şartnameye göre, tekerlek yükü 3 adet bağlantı elemanı iz düşümü ve betonarme elemanın derinliği boyunca taşınmaktadır. Fakat ano kenarına yük gelmesi durumu dikkate alınarak ve güvenli tarafta kalmak amacı ile 75 cm genişlik kiriş kesit genişliği olarak kullanılacaktır.

Tasarım Değerleri;

$$N = 26.6 \text{ ton, basınç}$$

$$M = 9.14 \text{ tm, moment}$$

$$H = 21.4 \text{ ton, kesme kuvveti}$$

$$h = 60 \text{ cm} \quad d = 55 \text{ cm} \quad b = 75 \text{ cm} \quad d'' = 50 \text{ cm} \quad d'' / h = 0.83$$

C30, S 420

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$m = f_{yd} / f_{ck} = 365 / 20 = 18.25$$

$$N / b \times h \times f_{cd} = 26600 \text{ kg} / (75 \times 60 \times 200) = 0.03$$



$$M / b \times h^2 \times f_{cd} = 0.016$$

Uğur Ersoy, R/C, ODTU, 1991 deki diyagramlar kullanılarak minimum donatı oranı yeterli olduğu görülür.

Minimum Plinth Donatısı, ( BS 8110 % 0.13 ) yeterlidir.

$A_s = 0.0013 \times 75 \times 60 = 5.85 \text{ cm}^2$  , güvenli tarafta kalmak amacıyla Ø16/20 kullanılacaktır.

#### **4.2.3.2 Ray Altı Kirişi (Plinth Betonu) Boyuna Donatı Hesabı**

Plinth betonu boyuna donatıları tünel içi gibi döşemeye bağlanmayan, arası dolgu betonu ile doldurulmuş ray altı kirişlerinde kullanılmaktadır. Diğer kesitlerde, alt donatılar döşeme donatıları olarak hesaplanmaktadır. Üst donatılar ise konstrüktif olarak kullanılmaktadır.

Etkiyen kuvvetlerden gelen yükler, düşey ve yatay kuvvetlere ayrılacaklar, bölüm 4.2.3.5 deki yük kombinasyonunda en kritik sonucu veren kuvvete göre kesit kontrolü ve donatılendirme yapılacaktır. Yatay yükler en kritik duruma göre bir önceki bölümde incelenmiş ve bu yüklerle göre donatılendirme yapılmıştır. Burada boyuna donatılar için sadece düşey yükler kullanılacaktır.

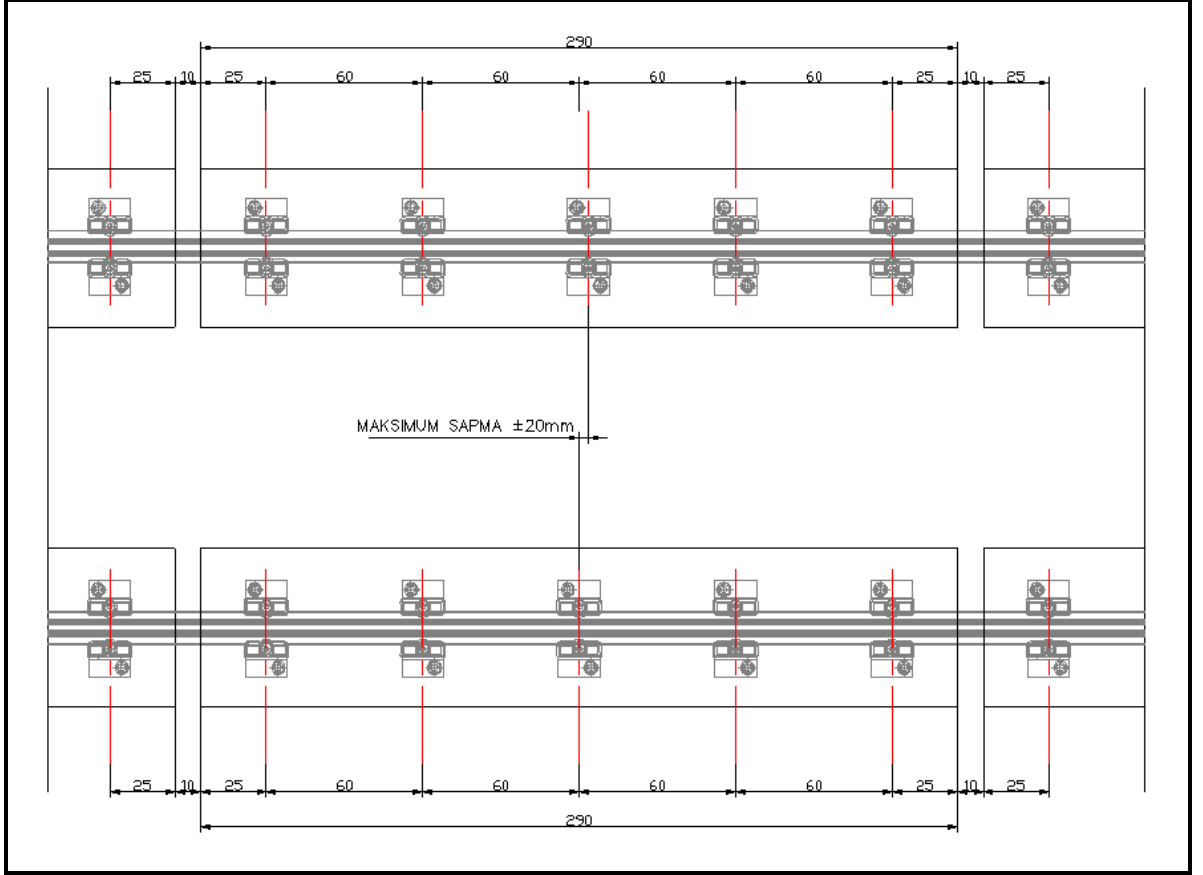
Ray altı kirişleri ray bağlantı malzemesinin boyutlarından dolayı olması gerekenden daha geniş seçilmiştir. Bu nedenle analiz sonucunda kullanılması gereken ve 60 cm kiriş genişliği için gerekli minimum donatı miktarı kullanılmıştır.

Modelde zemin/segman katmanının taşınması yatak katsayıları tanımlanarak aktarılmıştır. 10.000 t / m<sup>3</sup> lük yatak katsayısı düğüm noktalarına alanları oranında dağıtılacaktır.

Trenlerin bogi aksları arası mesafe 1.8 metre dir.

3 ayrı yükleme durumu tek bir kiriş için kontrol edilecektir,

**Şekil 4.2: Tipik Ray Altı Kiriş Anosu**



*Kaynak:* Plinth Beton Projesi (Yüklenici Sunumu)

Birinci yükleme durumunda bir teker tam kiriş orta noktasındadır. İkinci teker bu anoya basmamaktadır. Yükleme 1 durumu.

İkinci yüklemede bir teker tam ano girişinde ilk bağlantı elemanı üzerindedir. Dolayısıyla diğer dingil de 4. Sıra bağlantı elemanı üzerinde olmaktadır. Yükleme 2 durumu.

Üçüncü yükleme durumunda ise trenin aksları kirişi tam ortalamıştır. Yani ilk teker 1 ve 2 no.lu bağlantı elemanları arasında, ikinci teker ise 4 ve 5 no.lu bağlantı elemanları arasındadır. Yükleme 3 durumu.

**i. L+I, Aks Yükünden Gelen V Kuvveti**

Maksimum Aks Yüğü = 24.18 ton / aks

$$V_{\text{Tekerlek}} = 12.09 \text{ ton}$$

**ii. CF, Merkezkaç Yükünden Gelen V Kuvveti**

$$V = 3.32 \text{ ton / tekerlek}$$

### iii. Yuvarlanma Yükünden Gelen V Kuvveti

Yuvarlanma Yükü, +/- 1.86 ton,

$$V = 1.86 \text{ ton}$$

Tasarım Yükleri;

Kritik Kombinasyon, CF ile,  $2.0 (L+I) + 1.3 CF + 1.3 RF$

$$V = 2.0 \times 12.09 + 1.3 \times 3.32 + 1.3 \times 1.86 = 30.91 \text{ ton/tekerlek}$$

Verilen yükleme durumlarına göre SAP Modeli oluşturularak bilgisayar destekli analiz yardımıyla bulunan maksimum momentler şöyledir;

$$\text{Yükleme 1 : } M_{\max} = 11.21 \text{ tm}$$

$$\text{Yükleme 2 : } M_1 = -7.02 \text{ tm} \quad M_2 = 3.99 \text{ tm}$$

$$\text{Yükleme 3 : } M_1 = -5.46 \text{ tm} \quad M_2 = 4.41 \text{ tm}$$

Tasarım Değerleri;

$$M = 11.21 \text{ tm} , \text{ Moment}$$

BS 30, St III için kirişlerde,

$$\rho_{\min} = 0.8 f_{ctd} / f_{yd} = 0.8 \times 12.5 / 3650 = 0.0027$$

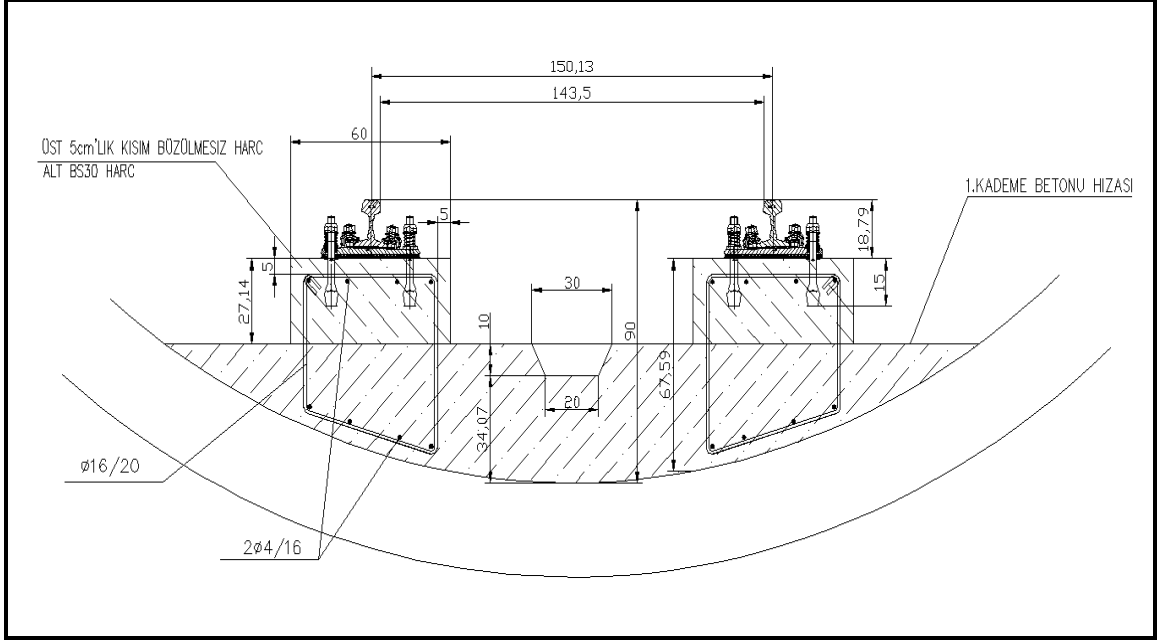
$$A_{s_{\min}} = 0.0027 \times 60 \times 55 = 8.9 \text{ cm}^2$$

4 Ø 16 kullanımını yeterlidir.

$$M_{\min} = 13.7 \text{ ton} > 11.21 \text{ ton}$$

Kirişlerde minimum boyuna donatı kullanımını yeterlidir. Sonuç olarak Ray altı kirişlerinde (Plinth Betonları) etriye olarak Ø16 / 20 , boyuna donatı olarak ise 4 Ø 16 St III sınıfı nervürlü donatı kullanılacaktır. Bu sonuçlarına göre projelendirme şekil 4.3 deki gibi olmaktadır.

**Şekil 4.3: Plinth Beton Donatı Yerleşim Projesi**



Kaynak: Plinth Beton Projesi (Yüklenici Sunumu)

#### 4.2.4 Yerinde Dökme Ray Altı Kiriş Yapım Metodu

İstanbul Metrosu, Otogar-Kirazlı-İkitelli ve Kirazlı-Olimpiyat Stadı arası yerinde döküm demiryolu üstyapısının, betona doğrudan tespitli olarak montajının yapılması genel bir program ve disiplin dahilinde gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca,

Hat ve makas montajı işlerinin;

- Teknik şartnamede belirtilen esaslara uygun,
- Yol üst yapı malzemesine zarar vermeden,
- Planlanan sürede,

yapılması, ayrıca betona doğrudan tespitli olarak montajı yapılan hat ve makasların geçici kabule hazır hale getirilmesi amaçlanmıştır.

##### 4.2.4.1 Montaj Ve Aplikasyon İşleri

Montaja başlamadan önce, onaylı proje tünel içerisine applike edilir. Bu aplikasyon sırasında tünel içerisinde 100 m. aralıklarla tespit edilen Nirengi ve Röper noktaları esas

alınır. Aplikasyon sonucunda demiryolu hat değerlerinde sapmalar olduğu tespit edilirse durum rapor edilerek geriye dönük olarak düzeltme işlemine gidilir.

Bu aplikasyon işlemi sırasında,

Yatayda;

-Yatay kurpların To ve Tf noktaları,

-Klotoit boyları, başlangıç ve bitiş noktaları,

-Özel hat donanımı olan makasların ve kruvazmanların hat kesişme noktaları (nazari mihverleri) ile başlangıç ve bitiş noktaları,

-Hattın 2,5 m. ara ile eksen ve kot değerleri

Düşeyde;

-Eğimlerin kesişme noktaları,

-Uygulanan düşey kurbun To ve Tf noktaları, montaj sahasına işaretlenerek röperlenir. İşaretlenen noktalar ve röperler montaj ekibine verilir. Montaj ekibi montaj sırasında bu noktaları esas alır. Herhangi bir nedenle noktalarda bozulma algılanırsa aplikasyon ekibince derhal düzeltilir ve montaj ekibi bilgilendirilir.

#### **Şekil 4.4: Montaj Sonrası Aplikasyon Çalışmaları**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

#### 4.2.4.2 Üst Yapı Malzemesinin Montaj Mahalline Taşınması

##### a) Rayların taşınması

- i. Stok sahasındaki raylar, tırlara yüklenerek en uygun giriş noktalarından (Şaftlardan), tünel girişlerine ve istasyonlardaki erişim noktalarına getirilir.
- ii. Raylar bir vinç ve özel ray yükleme aparatı ile, rayın kafa ( mantar ) tarafından, en az iki noktasından dengeli tutularak yüklenir ve indirilir. Vinç kullanılmayacak yerlerde uygun kaldırma sistemi kullanılır.
- iii. İndirilen raylar montajı yapılacak bölgenin her iki yanına tabanları üzerine konularak uç uca gelecek şekilde dizilir .
- iv. Raylar dizilirken yeteri kadar işçi ve ray maşası (ray kıskacı) kullanılır.
- v. Rayların kaydırılması gerektiğinde ray kaydırma ruloları kullanılır.

#### Şekil 4.5: Rayların Stok Sahasından Montaj Sahasına Nakledilmesi



Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)

##### b) Yol bağlantı malzemesinin taşınması

- i. Hattın montajında kullanılacak bağlantı malzemeleri şantiyeden forkliftlerle kamyonlara yüklenerek, erişim noktasından içeri alınır ve montaj sahasındaki yürüme yolları üzerine indirilir.
- ii. Küçük yol bağlantı malzemesinin zayıflığını önlemek için malzemeler ambalajlı olarak depodan, montaj mahalline taşınır.

- iii. Elastomer ve plastik seletler uygun bir yapıştırıcı kullanılarak çelik seletlere şantiyede yapıştırılır. Paetlere yüklenerek montaj mahalline getirilir.

#### 4.2.4.3 Betona Doğrudan Tespitli Hat Yapılması

##### a) Demir İşleri

- i. İstasyon temel betonu yada Tünel invert betonu içerisinde bırakılmış olan, taşıyıcı kiriş aderans filizleri projesine uygun şekilde bükülür.

#### Şekil 4.6: Ray Altı Kiriş Filizlerinin Bükülmesi



Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)

- ii. Taşıyıcı kiriş boyuna demir donatıları yerlerine konulur, aderans filizlerine bağlanır.
- iii. Filizler kontrol edilir, noksan olanların yerine ilave filiz ekilir.

##### b) Rayların Montajı

- i. Günlük iş programına göre belli miktarda, önceden dizilmiş raylar özel kaldırma ekipmanı ile kaldırılır filizler üzerine konur.

#### Şekil 4.7: Rayların Ray Maşası İle Tutularak Aderans Filizleri Üzerine Konulması



Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)

- ii. Raylara askı tertibatı bağlanır
- iii. Askı tertibatı üzerindeki raylar cebire ve kör cebire mengenesi kullanılarak birbiri ile bağlanır.
- iv. Askı tertibatı ile birbirine bağlanmış raylara, projesindeki ekartman (yol açıklığı), dever, kot ve eksen değerleri verilir.
- v. Bağlantı malzemeleri raylara projesinde verilen aralıklara göre bağlanır.
- vi. Hat, yol açıklığı, dever, eksen ve kot bakımından, Topografik ölçü aleti ile son kez ölçülerek kontrol edilir. Askı tertibatı sabitlenir.

#### Şekil 4.8: Rayların Kalıp Aşamasından Önceki Son Montajı



Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)



### c) Kalıp İşleri

- i. Taşıyıcı kiriş kalıbı projesine uygun olarak yapılır.
- ii. Yapılan kalıplar sabitlenerek beton dökümüne hazır hale getirilir.

**Şekil 4.9: Kalıba Alınmış Ray Altı Kirişleri**



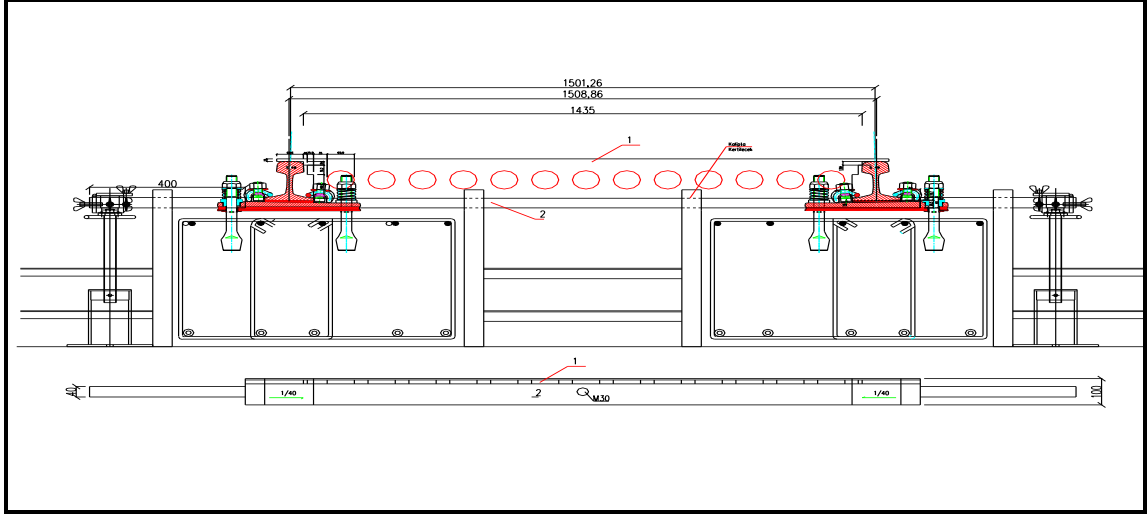
*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.10: Beton Dökümüne Hazır Hale Getirilmiş Ray Altı Kirişleri**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.11: Kalıba Alınan Ray Altı Kirişleri (Çizim)**



*Kaynak: Demiryolu İşleri Yapım Yöntemi Kitapçığı (Yüklenici)*

#### **d) Tespit Betonunun Dökülmesi**

- i. Raylar ve bağlantı malzemeleri kirlenmemesi için koruyucu, şeffaf plastik malzeme ile sarılır.
- ii. Beton dökülecek sahadaki malzeme ve ekipman montaj sahası dışına alınır.
- iii. Beton dökülecek saha her türlü kirden ve atık malzemedan temizlenir.
- iv. Dikkatli bir biçimde tespit betonu dökülür. Beton dökülürken vibrasyonla sıkıştırılır.

**Şekil 4.12: Rayların ve Bağlantı Malzemelerinin Koruyucu Malzeme İle Sarılması**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.13: Ray Altı Kiriş Betonunun Dökülmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**e) Askı Tertibatı Ve Kalıpların Sökülmesi**

- i. Askı tertibatları sökülür.
- ii. Askı tertibatlarının beton içinde kalan ayakları çıkartılır.
- iii. Sökülen askı tertibatı temizlenerek bir sonraki etapdaki montaj yerlerine taşınır.
- iv. Kalıplar usulüne uygun şekilde sökülür.
- v. Bir sonraki etapdaki montaj mahalline taşınır.
- vi. Varsa beton atıkları vs. döküntüler temizlenir.

**Şekil 4.14: Tespit Betonu Dökülüp Kalıbı Alınmış Ray Altı Kirişleri**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

### **4.3 PREFABRİK DÖŞEMELİ BALASTSIZ ÜST YAPI**

Prefabrik ray altı panelleri olarak da ifade edilen prefabrik üst yapı, Bölüm 3'te açıklanan Balastsız Üst yapı tiplerine bir örnek teşkil etmek üzere ülkemizde ilk kez Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattında uygulanan bir sistemdir.

Prefabrik doğrudan tespitli üst yapı; özel olarak üretilen bir kalıba, hesap sonucu belirlenmiş olan demir donatının yerleştirilip, BS 30 sınıfı beton dökülüp en ideal kür ve bakım şartlarında yüksek mukavemet kazandırılarak, fabrika şartlarında seri üretim yapılarak gerçekleştirilmiş şeklidir. Projede üretim ve imalatı gerçekleştirilmiş olan prefabrik üst yapı 277x222x32 (cm) ebatlarında, yaklaşık 5 ton ağırlığında, üst yüzeyi pürüzsüz, alt yüzeyi dolgu betonu ile aderans sağlanması için ızgara şeklinde donatı kafesi ile çevrili, bu projeye özgü spesifik bir yapı elemanıdır.

Yüklenici firmanın, TBM segmentlerini üretmek için Hadımköy' de kurduğu fabrikada bu üretim gerçekleştirilmiş ve segment üretimi bitene kadar, prekast doğrudan tespitli üst yapı burada imal edilmeye devam edilmiştir. İşin Teknik Şartnamesinde yalnızca yerinde döküm ray altı kirişler tariflenmiş ve bunlara ait teknik bilgiler, malzeme kalitesi ve aranan özellikler verilmiştir. Teknik Şartnamede prefabrik demiryolu üst yapısına ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

#### **4.3.1 Prefabrik Demiryolu Üst Yapı Hesapları**

İstanbul Metrosu Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattında TBM ve NATM tünellerin içinde kullanılması planlanan ve hat boyunca tren yükünü raylardan alıp alt yapıya aktaracak olan prefabrik ray altı döşeme sistemi hesaplarını yapmak amaçlanmaktadır.

İki ayrı model incelenecektir. Her modelde iki ayrı analiz yapılacaktır. Plaka altı boş olduğu durumda sadece bağlantı altına gelen yerlerde altta takoz olduğu var sayılacaktır. Yanal destekler ile de ufki hareket engellenecektir.

Yapım aşamasında prefabrik döşemeler yerleştirilecek, takozlar vasıtası ile kotunda ve uygun pozisyonunda konumlandırılacaktır. Bu aşamada döşeme üstünde sadece

betoniyer çalışacaktır. Daha önce tasarım için yapılan çalışmalarda bu aşamada gerilmelerin kritik olmadığı ortaya çıkmıştır. Fakat donatı optimizasyonu nedeni ile bu durum da modellenmiş ve incelenmiştir. Takoz bölgelerinde düşeyde ve kenarlarda ufki hareket engellenmiş halde prefabrik döşeme sistemi incelenecektir.

Nihai durumda ise, alt beton prizini almış olacaktır. Bu durum incelenirken basit mesnetli kiriş durumu ortadan kalkacaktır bu nedenle bütün döşeme altına yaylar tanımlanacaktır. En altta segment ve hesaba katılmamış dolgu betonu olduğu için sert bir yay tanımlanacaktır. Bu hesaplarda  $2500 \text{ t/m}^3$  kabul edilmiştir. Plaka alanları oldukça küçük olduğundan alanları oranında eşit dağıtma detayına girilmemiştir, tüm iç düğüm noktalarına ortalama  $100 \text{ t/m}^3$ , dış düğüm noktalarına ise  $50 \text{ t/m}^3$  (kenar),  $25 \text{ t/m}^3$  (köşe) yaylar tanımlanmıştır. Farklı yay sabitleri ile kontroller yapılmış, önemli değişikliğe rastlanmamıştır. Ufki hareketleri karşılamak için tüm kenarlarda düşük değerlerde bir yay sabiti tanımlanmıştır.

İkinci modelde maksimum deyer  $15 \text{ cm}$  kabul edilmiştir. Eğim buna göre yaklaşık  $6$  derece olacaktır. Tam merkezden itibaren yaklaşık  $6$  derece eğim verilmiştir.

Sistemde temel prensip, prefabrik olarak dökülecek olan kısmın mümkün olduğunca ince imal edilmesi, altta bırakılan donatı sayesinde, döküm sonrası çalışan tam kalınlığa ulaşılmasıdır. Nihai kalınlığa ulaşma esnasında diğer çözümlerde donatısız kullanılan dolgu betonunun da çalışması sağlanarak önemli ekonomi sağlamaktır. Bu sayede yerinde demir ve beton işçiliği azalacak, aşamalı imalat süresi minimize edilecektir. Fabrika şartlarında üretilecek olan prefabrik döşemelerde önemli estetik artılar sağlanacaktır. Konvansiyonel (üzerinde uzlaşmış, kabul gören manasında kullanılmıştır) plinth (ray altı kirişleri) sisteminde donatısız olan dolgu betonunda olası çatlaklar oluşabilecekken prefabrik ray altı panel sistemi sayesinde bu dezavantaj bertaraf edilecektir.

#### Şekil 4.15: Prefabrik Ray Altı Döşemeleri



Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)

##### a) Birinci Model

Birinci Analiz: Radye düz, plaka altı boştur. Üstte betoniye vs taşıyan araç bulunmaktadır. Hız 10 km/h, merkezkaç etkisi sıfır (dever olmadığından aligmanda analiz kontrolü yapılmıştır). Burada plaka kalınlığı 30 cm dir. Üst paspayı 5 cm dir. Alt donatı açıktadır. Alt donatının merkezinin plaka üstüne mesafesi yaklaşık 47.2 cm'dir. Merkezde drenaj kanalı derinliği 9.60 cm dir.

İkinci Analiz: Radye düz, plaka altı dolu, maksimum tren yükü ve diğer hat yükleri etki etmektedir. Plaka kalınlığı 50 cm dir. (aslında beton döküm pozisyonu sonrası daha fazladır ama burada güvenli tarafta kalınmıştır).

##### b) İkinci Model

Birinci Analiz: Radye maksimum deve göre eğimli, plaka altı boş, üstte betoniye vs taşıyan araç bulunmaktadır. Hız 10 km/h, merkezkaç etkisi maksimum. Plaka kalınlığı 30 cm dir. Üst paspayı 5 cm dir. Alt donatı açıktadır. Alt donatının merkezinin plaka üstüne mesafesi yaklaşık 47 cm'dir. Merkezde drenaj kanalı derinliği 9.60 cm dir.

İkinci Analiz: Radye maksimum devere göre eğimli, plaka altı dolu, maksimum tren yükü ve merkezkaç dahil diğer tüm tren yükleri etki etmektedir. Plaka kalınlığı 50 cm dir.

İleriki bölümlerde detaylı açıklanan yüklerden, ilgili taşıyıcı tipe etki edenler kullanılarak, uygun kombinasyonlar altında plaka betonu analiz edilecek ve en kritik duruma göre boyutlandırma ve donatılandırma yapılacaktır.

### **i. Kullanılan Dokümanlar**

Hesap raporunda, kullanılan yüklerle ilgili olarak Alstom Firması tarafından imal edilmiş araçlara ait teknik dökümanlar incelenmiştir. Ayrıca metro araçlarının 2 bogili olduğu ve aks yükü olarak 18.6 ton kullanılacağı teknik şartnamede belirtilmektedir.

### **ii. Kullanılan Malzeme**

- a. Ray altı prefabrik plakasında C30 betonu kullanılacaktır.
- b. Alt dolgu betonu olarak C30 betonu kullanılacaktır.
- c. Demir donatı olarak S420 kullanılmıştır.

### **iii. Yükler Ve Tanımlamalar**

#### Genel:

- a. Ray ara ölçüsü: 1435 mm
- b. Tren aks yükü: 18.6 ton
- c. Betoniyer araç aks yükü: 10 ton
- d. Dinamik yük çarpanı, tren katarında kullanılacaktır 1.30
- e. Tasarım maksimum hızı 80 km/saat

Rötre, sünme, ısı değişimi etkileri, SIV, SIG, rüzgar yükleri kullanılmayacaktır. Plakalar arasında doğal derz olduğu için bu yükleri gözönüne almak gerekmemektedir. Tren ve betoniyer bogi aralıkları 1.80 metredir. Tren yüklemesi iki ayrı pozisyonda kontrol edilmiştir.

#### 4.3.1.1 Birinci Model Yükleri

##### Birinci Aşama:

Plaka düzdür, altı boştur. Üstünde betoniye bulunmaktadır. Aligmanda olduğu için merkezkaç kuvveti yoktur.

a) Teker Kuvveti: 5 ton

L+I: 6.5 ton

b) Lase Kuvveti, HF: Hat yolunun teğetsel uzunluğu boyunca bir raya üst kısmından enine olarak uygulanır. Kurplarda bu kuvvet ile merkezkaç kuvveti karşılaştırılır ve büyük olanı uygulanır. Bu kuvvet raya bir boginin bir tarafındaki iki tekerlek üzerinde etkir.

$$HF = 0.25L$$

$$HF = 0.25 \times 5 = 1.25 \text{ ton/aks/teker}$$

Moment kolu 2 metre'dir. Hatta meydana getirdiği moment etkisi 2.5 ton/aks/teker dir.

Bu moment düşey kuvvet kolu olarak ayrılmaz, ray kotuna direk olarak etki ettirilir.

c) Fren Yüğü: Normal fren yüğü alınmıştır.

Fren ve demerajdan doğan etkiler statik katar yükünün %15 i dir. Bu değer Teknik Şartname Madde 6.2.3.2.9 da tanımlanmıştır.

$$H = P \times 0.15 = 0.75 \text{ ton} \quad (P: \text{Maksimum katar yüğü})$$

Etkime noktası ray üst kotundan 2 metre yukarıdır. Teker başına 1.5 ton m moment oluşturur.

##### İkinci Aşama:

Plaka düzdür, altı doludur. Üstünde tren katarı bulunmaktadır. Aligmanda olduğu için merkezkaç kuvveti yoktur.

a) Teker Kuvveti: 9.3 ton

L+I: 12.09 ton

b) Lase Kuvveti, HF: Bu kuvvet raya bir boginin bir tarafındaki iki tekerlek üzerinde etkir.



$$HF = 0.25L$$

$$HF = 0.25 \times 18.6 = 4.65 \text{ ton/aks/teker, meydana getirdiği moment } 9.3 \text{ tm}$$

c) Fren Yüğü: Acil durum fren yüğü alınmıştır.

Fren ve demerajdan doğan etkiler statik katar yükünün %30 u dur. Bu değer Teknik Şartname Madde 6.2.3.2.9 da tanımlanmıştır.

$$H = P \times 0.30 = 2.79 \text{ ton ( P: Maksimum katar yüğü)}$$

Etkime noktası ray üst kotundan 2 metre yukarıdır. Teker başına 5.58 ton m moment oluşturur.

#### 4.3.1.2 İkincil Model Yüğüleri

##### Birinci Aşama:

Plaka devededir, altı boştur. Üstünde betoniyer bulunmaktadır. Merkezkaç dahil her türlü tren kuvveti mevcuttur.

a) Teker Kuvveti: 5 ton

$$L+I: 6.5 \text{ ton}$$

b) Merkezkaç Kuvveti: Kurplarda merkezkaç kuvvetlerinin etkisine bağlı olarak enine bir yatay kuvvet aracın ağırlık merkezine etki ettirilecektir. Bu hesaplamada, yani birinci aşamada aşırı merkezkaç kuvveti göz önüne alınmayacaktır. Betoniyer hızı 10km/saat , 2.77 m/s ' dir.

Normal merkezkaç kuvveti, CF1;

$$CF1 = ( V^2 / (R \times g)) \times L1 \%$$

$$V = 2.77 \text{ m/s, } g = 9.81 \text{ m/s}^2, R = 300 \text{ m (mevcut projelerde)}$$

$$CF1 = 0.0026 \times 5 = 0.013 \text{ ton/aks, ihmal edilecektir.}$$

c) Yuvarlanma Kuvveti, RF: Bu kuvvet tekerleklerin farklı yarıçaplarda gitmesinden oluşur. Aks yüküne +/- %10 ek kuvvet uygulanması önerilmektedir. Bu yükler raylardan birine düşey doğrultuda yukarı doğru, diğerine aşağı doğru uygulanmaktadır.

$$RF = 0.1 \times L \text{ (nominal araç ağırlığı)}$$

$$RF = 0.5 \text{ ton}$$

- d)** Lase Kuvveti, HF : Hat yolunun teğetsel uzunluğu boyunca bir raya üst kısmından enine olarak uygulanır. Kurplarda bu kuvvet ile merkezkaç kuvveti karşılaştırılır ve büyük olanı uygulanır. Bu kuvvet raya bir bujinin bir tarafındaki iki tekerlek üzerinde etkir.

$$HF = 0.25 L$$

HF= 0.25x5 = 1.25 ton/aks, burada merkezkaç ihmal edildiğinden HF yükü kullanılacaktır. Ayrıca 2.5 ton m /teker/aks değeri uygulanacaktır.

- e)** Fren yükü: Normal fren yükü alınmıştır.

Fren ve demerajdan doğan etkiler statik katar yükünün %15 idir. Bu değer Teknik Şartname madde 6.2.3.2.9 da tanımlanmıştır.

$$H = P \times 0.15 \text{ (P: maksimum katar yükü)} = 0.75 \text{ ton}$$

Etkime noktası ray üst kotundan 2 metre yukarıdır. Teker başına 1.5 ton m moment oluşturur.

### İkinci Aşama:

Plaka deverdedir, altı doludur. Üstünde tren katarı bulunmaktadır. Merkezkaç dahil her türlü tren kuvveti mevcuttur.

- a)** Teker Kuvveti: 5 ton

$$L+I: 6.5 \text{ ton}$$

- b)** Merkezkaç Kuvveti: Kurplarda merkezkaç kuvvetlerinin etkisine bağlı olarak enine bir yatay kuvvet aracın ağırlık merkezine etki ettirilecektir.

- i.** Normal merkezkaç kuvveti, CF1; işletimde maksimum tasarım hızı alınacaktır.

$$CF1 = (V^2 / (R \times g)) \times L1 \%$$

$$V = 80 \text{ km/h, } 22.22 \text{ m/s}$$

$$R = 300 \text{ m}$$

$$CF1 = 0.17 \times 18.6 = 3.162 \text{ ton/aks}$$

- ii. Aşırı merkezkaç kuvveti, CF2; Araç operatörü hız limitlerini aşabilir., fakat zaten maksimum hıza göre CF1 hesaplanmıştır.
- Dolu bir taşıt için aracın yapacağı maksimum hız (80 km/h)
  - Boş bir taşıtın devrilmesine neden olacak hız

Aşırı merkezkaç kuvveti bu iki durumdan daha az olanını olarak alınacaktır.

$$CF2 = (V^2 / (R \times g)) \times L2 \%$$

CF1 hesabında maksimum araç hızı alındığından daha kritiktir. Hfden az olmasına karşın lokal basınç ve çekme oluşturduğundan dikkate alınacaktır.

$$T = 3.162 \times 2 / 1.435 = 4.4 \text{ ton/teker basınç ve çekme, } 3.16/2 = 1.58 \text{ ton kesme/teker}$$

- Yuvarlanma Kuvveti RF: İç teker hizasına 1.86 ton basınç, dış teker hizasına 1.86 ton çekme uygulanması öngörülmektedir.
- Lase Kuvveti, HF : Bu kuvvet raya bir boginin bir tarafındaki iki tekerlek üzerinde etkir.  
 $HF = 0.25 L$   
 $HF = 0.25 \times 18.6 = 4.65 \text{ ton/aks, } 9.3 \text{ tm moment.}$

Prefabrik döşeme betonu yaklaşık 2.80 metrelik anolar halinde dökülecektir. Alt dolgu ile beraber uzayacak kısalacaktır. Bu neden ile EQ, R, S, CWR, T kuvvetlerinin önemli etkileri bulunmayacaktır. Ayrıca araç üstü buzlanma da ihmal edilecektir.

#### 4.3.1.3 Yük Kombinasyonları

Teknik Şartnamede belirlenen yük kombinasyonlarından, plinth betonları ile ilgili olanlar aşağıda listelenmiştir;

- U1:  $1.3(D+1.54(L+I)+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF+RF+LE)$
- U2:  $1.3(D+(CF \text{ veya } HF)+RF+LE+W1+SIG+Ep+B+SF)+1.5(L+I+SIV)$
- U3:  $1.3(D+L+I+LE+(HF \text{ veya } CF) +Ep+B+SF+W1+RF)+R+S+T+(LR2 \text{ veya } RT2 \text{ veya } BR)$
- U4:  $1.3(D+Ep+B+SF+W2)+R+S+T+(LR2 \text{ veya } RT2 \text{ veya } BR)$
- U5:  $1.3(D+L+I+LE+W1+(COL \text{ FH veya } COL \text{ Fv}) +Ep+B+SF)$
- U6:  $1.3(D+Ep+B+SF+EQ+L+I+LE)$
- U7:  $1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF) + RF+LE+ST+Ep+B+SF)$
- U8:  $1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF) + Ep + B + SF)$
- U9:  $1.3(D+Ep+B+SF+W2)$
- U10:  $1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF+W1+RF+LE)$
- U11:  $1.3(D+L+I+(HF \text{ veya } CF)+Ep+B+SF)+R+S+T$
- U12:  $1.67W1 \text{ veya } 1.67W2$

Burada ilgisiz yükler elendikten sonra şu kombinasyonlar ortaya çıkmaktadır;

- U1a :**  $1.3(D+1.54(L+I)+HF +RF)$
- U1b :**  $1.3(D+1.54(L+I)+CF +RF)$
- U2a :**  $1.3(D+ HF+RF+LE)+1.5(L+I)$
- U2b :**  $1.3(D+ CF+RF+LE)+1.5(L+I)$
- U3 :**  $1.3(D+(L+I)+LE)$

Teker basış durumlarına göre iki alternatifli olarak kombinasyonlar oluşturulmuştur.

Birinci yüklemde 1.80 m lik bogi, plakanın tam ortasına gelmektedir. Yan, plaka merkezi ile bogi merkezi aynıdır, yük simetriktir. İki ray altı betonarme kaideye yükler uzaklıkları oranında dağıtılmıştır.

İki mesnet arası 70 cm dir. Yük bir mesnede 15 cm diğerine 55 cm uzaklıktadır. Birim yük etkidiği var sayılır ise, yakın olan mesnet 0.79P, uzak olan 0.21P yük almaktadır. Tüm yükler bu oranda dağıtılmıştır. Örneğin 6.5tonluk yük 5.315 ve 1.185 ton olarak dağıtılmıştır.

İkinci yüklemde ise bir teker plakaya yeni girdiğinde (yükün bir kısmı diğer komşu plakadadır) diğer tekerin geldiği yer olarak düşünülmüştür. Fakat burada tekerin bir tanesinin yükünün bir kısmı diğer plakaya girecektir, bu da en kritik alternatif durumu oluşturmayacaktır. En kritik alternatif durum olarak bir tekerin tam olarak ilk mesnet üstüne geldiği durum belirlenmiştir. Araya gelen yük 1/3 ve 2/3 olarak komşu mesnetlere dağıtılmıştır.

#### **4.3.1.4 Prekast Ray altı Döşemelerinin Donatılandırılması**

Beton dökümü öncesi oluşan alt momentler alt donatı ile taşınmaktadırlar. Bu nedenle alt donatıların bulunduğu bölgede beton dökümü öncesi betonun çekme dayanımının sıfır alınması genel betonarme teorisine ters değildir. Alt donatı hesapları beton dökümü yapılmış olsa da betonun çekme bölgesinde sıfır olacağı kabul edildiğinden önemli değildir. Beton basınç bölgesi kontrolü yapılacaktır. Basınç bölgesinin prefabrik döşeme kalınlığı olan 32 cm den fazla olması durumunda teori geçersiz olacaktır.

Betonarme hesaplar sadeleştirilerek tablo haline getirilmiştir. Hesapların yapılmasında izlenen yol şu şekildedir ;

- i. Eğilme donatısı hesabı Amerikan Standardı AASHTO' ya göre SAP 2000 programında yapılmıştır.
- ii. Prekast panel x ve y yönlerinde belli genişliklerdeki kirişlere ayrılarak çözüm yapılmıştır.
- iii. İlk olarak kiriş ve döşeme geometrik özellikleri verilmiştir.
- iv. Daha sonra malzeme özellikleri verilmiştir.
- v. Analiz sonucu bulunan tasarım moment değeri verilmiştir.

vi. Ön hesapla bulunan donatı alanı verilerek hesaba devam edilmiştir.

Betonarme hesaplarda kullanılan formül ve işlem adımları sırasıyla şu şekilde yapılmıştır :

i. AASHTO 8.16.1.2.2 ' ye göre verilen 'a' değeri hesaplanır.

a : Eşdeğer Basınç Bloğu Derinliği (cm)

$$a = \frac{A_s * f_y}{0,85 * f_c' * b} \quad \text{formülü ile hesaplanır.}$$

ii. AASHTO 8.16.1.2.2 ' ye göre dayanım azaltma faktör alınır. Eğilme hesabında 0,90 olarak sabittir.

$$\Phi = 0,90 \quad \text{olarak alınır.}$$

iii. Güvenli Moment Kapasitesi, dayanım azaltma faktörü ile çarpılarak aşağıdaki formüle göre bulunur.

$$\Phi M_n = \Phi (A_s * f_y (d - \frac{a}{2}))$$

iv.  $\Phi M_n$  değerinin tasarım momenti  $M_u$  ' dan büyük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer büyük değilse seçilen donatı düzeltilerek hesaplara yeniden başlanır.

v. AASHTO 8.17.1.1 ' e göre  $M_{cr}$  ( Kritik moment) bulunur.

$$M_{cr} = f_r * \frac{I_g}{y_t} \quad \text{formülünden hesaplanır.}$$

$f_r$ : Beton Çatlak Modülü

$I_g$ : Brüt Beton Kesitinin Tarafsız Eksene Göre Atalet Momenti

$y_t$ : Brüt Beton En Dış Kesitinin Tarafsız Eksene Uzaklığını ifade eder.

$$f_r = 0,62 \sqrt{f_c'} \quad I_g = \frac{bd^3}{12} \quad y_t = \frac{d}{2}$$

- vi. M<sub>cr</sub> değerinin 1,2 katı ile tasarım momenti Mu' nun 1,33 katı hesaplanır. ΦM<sub>n</sub> değerinin, bu iki değerden küçük olandan daha büyük olup olmadığı kontrol edilir.

ΦM<sub>n</sub> > Min ( 1,2 M<sub>cr</sub> ve 1,33 Mu ) şartı sağlanmalıdır.

- vii. Kesitteki donatı oranının dengeli donatı oranının 0,75 katından küçük olması gerekmektedir. Bunun kontrolü yapılır.

ρ : Kesitteki Donatı Oranı

ρ<sub>b</sub> : Dengeli Donatı Oranı

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} \quad \rho_b = \frac{0,85 * \beta_1 * f_c'}{f_y} * \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

ρ < 0,75 ρ<sub>b</sub> şartı sağlanmalıdır. Burada β<sub>1</sub>, AASHTO 8.16.2.7 ' ye göre betonarme hesaplarda 0,85 alınan bir katsayıdır.

Bu hesaplar sonucunda bütün şartlar sağlanıyor ise seçilen donatı uygundur. Bu işlem sırasını takip eden hesaplar tablo haline getirilerek sadeleştirilmiştir.

a) Ray Mesnetleri Altında- Alt Donatı:

**Tablo 4.2: Prekast Alt Eğilme Donatısı Hesap Tablosu**

	<b>Sembol</b>	X Yönü Alt Beton Sonrası	Y Yönü Alt Beton Sonrası
Döşeme Genişliği	b	25,00 cm	30,00 cm
Döşeme Yüksekliği	h	50,00 cm	50,00 cm
Paspayı	c	3,00 cm	4,60 cm
Döşeme Faydalı Yüksekliği	d	47,00 cm	45,40 cm
Temel Beton Sınıfı		BS 30	BS 30
Beton Karakteristik Dayanımı	fc'	300 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
Donatı Çeliği		St III	St III
Çelik Akma Dayanımı	fy	4200 kg/cm <sup>2</sup>	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Tasarım Momenti	Mu	9,00 tm	11,40 tm
Seçilen Donatı Kesit Alanı	As	6,03 cm <sup>2</sup>	8,04 cm <sup>2</sup>
Eşdeğer Basınç Bloğu Derinliği	a	3,97 cm	4,41 cm
Dayanım Azaltma Faktörü	Φ	0,90	0,90
Güvenli Moment Kapasitesi	ΦMn	10,26 tm	13,12 tm
ΦMn > Mu Olması Şartı		√	√
Kritik (Çatlama) Moment	Mcr	3,61 tm	4,33 tm
ΦMn > Min(1,2 Mcr ve 1,33 Mu) Şartı		√	√
Dengeli Donatı Oranı	ρb	0,03035	0,03035
0,75 ρb > ρ Olması Şartı		√	√
<b><i>Kabul Edilen Donatı</i></b>		<b>3Ø16</b>	<b>4Ø16</b>



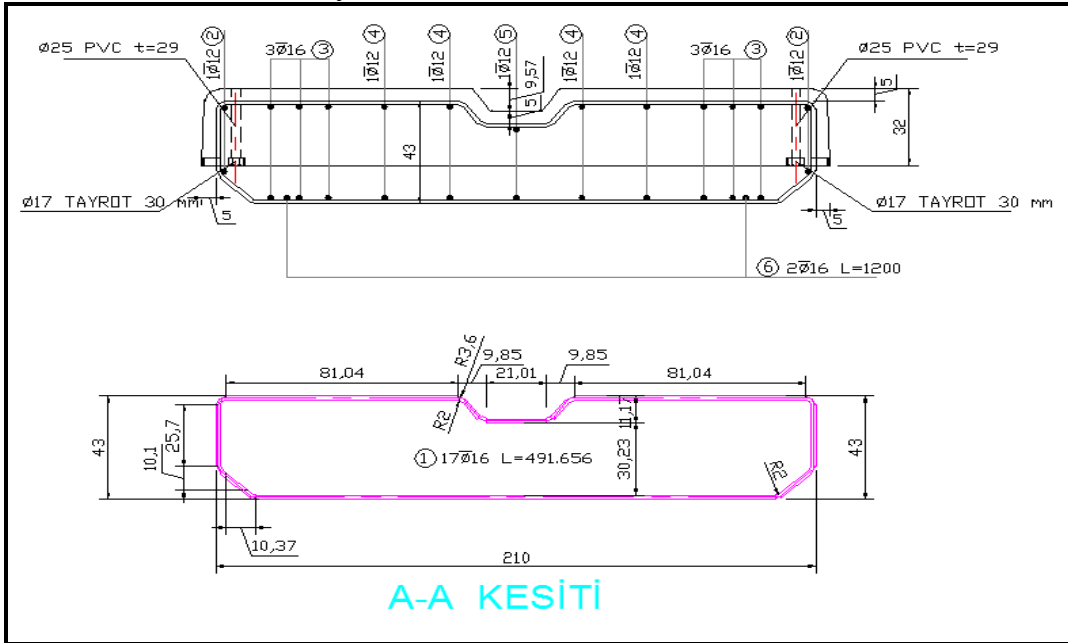
b) Ray Mesnetleri Altında- Üst Donatı:

**Tablo 4.3: Prekast Üst Eğilme Donatısı Hesap Tablosu**

	Sembol	X Yönü	X Yönü	Y Yönü	Y Yönü
		Üst Beton Öncesi	Üst Beton Sonrası	Üst Beton Öncesi	Üst Beton Sonrası
Döşeme Genişliği	b	25,00 cm	25,00 cm	30,00 cm	30,00 cm
Döşeme Yüksekliği	h	32,00 cm	50,00 cm	32,00 cm	50,00 cm
Paspayı	c	5,00 cm	5,00 cm	6,60 cm	6,60 cm
Döşeme Faydalı Yüksekliği	d	27,00 cm	45,00 cm	25,40 cm	43,40 cm
Temel Beton Sınıfı		BS 30	BS 30	BS 30	BS 30
Beton Karakteristik Dayanımı	$f_c$	300 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
Donatı Çeliği		St III	St III	St III	St III
Çelik Akma Dayanımı	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>	4200 kg/cm <sup>2</sup>	4200 kg/cm <sup>2</sup>	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Tasarım Momenti	$M_u$	2,30 tm	7,75 tm	2,53 tm	10,00 tm
Seçilen Donatı Kesit Alanı	$A_s$	6,03 cm <sup>2</sup>	6,03 cm <sup>2</sup>	6,03 cm <sup>2</sup>	6,03 cm <sup>2</sup>
Eşdeğer Basınç Bloğu Derinliği	a	3,97 cm	3,97 cm	3,31 cm	3,31 cm
Dayanım Azaltma Faktörü	$\Phi$	0,90	0,90	0,90	0,90
Güvenli Moment Kapasitesi	$\Phi M_n$	5,7 tm	9,8 tm	5,41 tm	10,15 tm
$\Phi M_n > M_u$ Olması Şartı		✓	✓	✓	✓
Kritik (Çatlama) Moment	$M_{cr}$	1,48 tm	3,61 tm	1,78 tm	4,33 tm
$\Phi M_n > \text{Min}(1,2 M_{cr} \text{ ve } 1,33 M_u)$ Şartı		✓	✓	✓	✓
Dengeli Donatı Oranı	$\rho_b$	0,03035	0,03035	0,03035	0,03035
$0,75 \rho_b > \rho$ Olması Şartı		✓	✓	✓	✓
<b><u>Kabul Edilen Donatı</u></b>		<b>3Ø16</b>	<b>3Ø16</b>	<b>3Ø16</b>	<b>3Ø16</b>

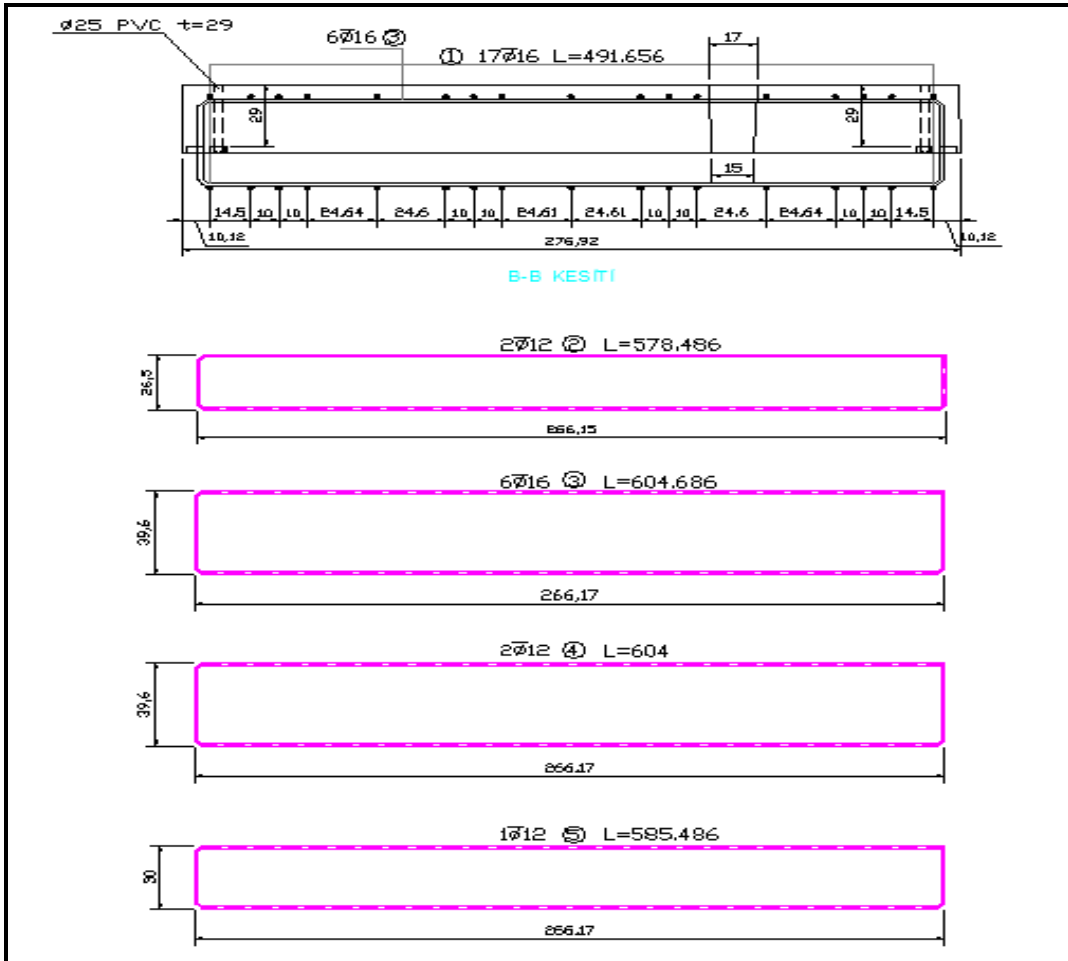


**Şekil 4.18: Prefabrik Ray Altı Döşemesi A-A Kesiti Görünümü ve Donatı Planı**



Kaynak: Prefabrik Ray Altı Döşeme Kalıp Ve Donatı Detayları Projesi

**Şekil 4.19: Prefabrik Ray Altı Döşemesi B-B Kesiti Görünümü ve Donatı Planı**



Kaynak: Prefabrik Ray Altı Döşeme Kalıp Ve Donatı Detayları Projesi

**Tablo 4.4: Bir Adet Prekast Panelin Donatı Metraji**

POZ	ÇAP	BOY ( cm )	ADET	TOPLAM BOY ( m )		
				Ø 10	Ø 12	Ø 16
1	Ø 16	491,656	17			83,582
2	Ø 12	578,486	2		11,57	
3	Ø 16	604,686	6			36,28
4	Ø 12	604	2		12,08	
5	Ø 12	585,486	1		5,855	
6	Ø 16	1200	2			24,00
TOPLAM BOY ( m )					29,505	143,86
BİRİM AĞIRLIK ( Kg/m )				0,617	0,888	1,580
AĞIRLIK ( Kg )					26,20	227,30
TOPLAM AĞIRLIK ( Kg )				253,50 Kg		

*Kaynak: Prefabrik Ray Altı Döşeme Kalıp Ve Donatı Detayları Projesi*

#### **4.3.2 Prekast Balastsız Üst Yapı Yapım Metodu**

Ray altı prekast paneller fabrikada üretildikten sonra Olimpiyat İstasyonundaki stok sahasına getirilir. Buradan döşenecek olduğu güzergaha tırlar ile nakledilir. Forkliftler vasıtasıyla hat boyunca dağıtılır. Bundan sonra şu adımlar izlenerek Ray Altı Prekast paneller döşenir;

- i.** Tünel içerisinde, demir tekerlekleri üzerinde hareket edebilen özel askı aparatları vasıtasıyla prekastlar kaldırılarak hareket ettirilir. Günlük iş programına göre kaç tane döşenecekse hat boyunca serilir.

**Şekil 4.20: Prefabrik Ray Altı Panellerinin Askı Aparatı İle Taşınması**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- ii. Prekastın her iki tarafına ayar için sabitleme kamaları yerleştirilir. Ayrıca prekast panel altına kenar noktalarına gelecek şekilde beton parçalar konulur. Bu sayede prekast panel yatay konuma getirilmiş ve geçici olarak sabitlenmiş olur.

**Şekil 4.21: Prekast Ray Altı Döşemelerinin Kamalarla Sabitlenmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- iii. Panel üzerine raylar konulur, bağlantı elemanlarının ön montajı yapılır, topografik ölçüm yapılarak raylar nihai kotuna getirilir ve bağlantı elemanları sabitlenir. Prekast köşelerindeki ayar tijleri sıkılıp gevşetilerek prekast panel mm mertebesinde indirilip kaldırılmak suretiyle hassas ayar yapılarak, panel nihai kotuna getirilir.

**Şekil 4.22: Rayların Nihai Kotuna Getirilmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- iv. Nihai kotuna getirilen Prekast Ray Altı Döşemeleri her iki tarafından topuk betonu dökülerek sabitlenir. İki prekastın birleşim köşesine gelecek şekilde, öbek halinde yaklaşık 1 el arabası kadar ham beton dökülmek suretiyle prekast kotunda sabitlenmiş olur. Beton prizini aldıktan sonra üzerinde yürünebilecek hale gelir.

**Şekil 4.23: Topuk Betonları Dökülmüş Olan Prekast Paneller**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- v. Topuk betonları mukavemet yönünden zayıf oldukları ve panelin altını tam dolduracak şekilde dökülmediği için istenildiği takdirde kırılması kolaydır. Eğer ray kotunda daha sonra bir bozukluk fark edilirse topuk betonu kırılıp ayar tijleri sıkıştırılmak suretiyle yeniden prekastı ve dolayısıyla rayı, kotuna getirmeye imkan tanır. Ancak dolgu betonu döküldükten sonra bir bozukluk kalmışsa bunu düzeltmek çok zordur. Prekast paneli ve altındaki dolgu betonunu kırmak gerekecektir ki, bu gerçekten çok zor ve çok zahmetli bir işlemdir.

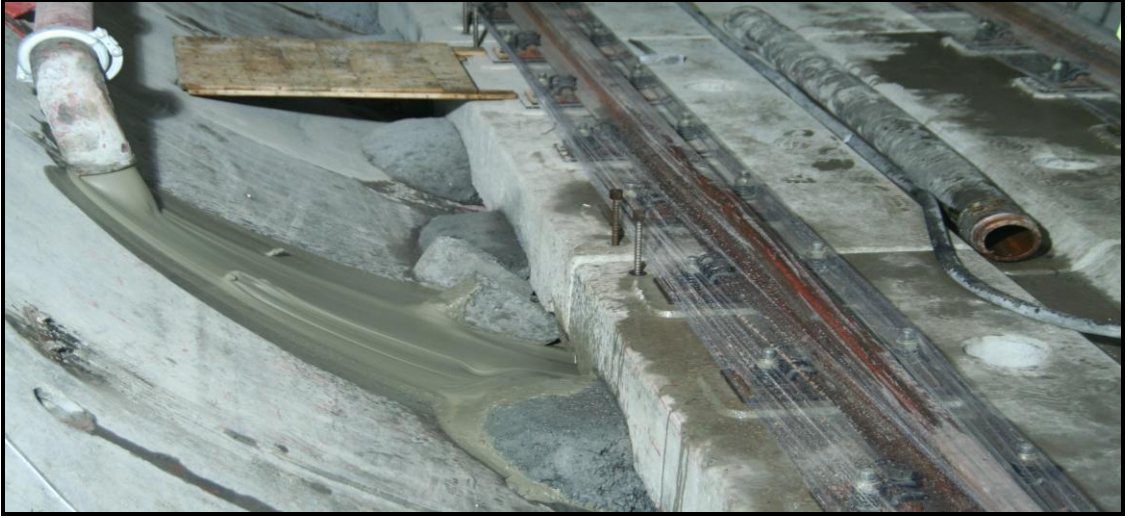
**Şekil 4.24: Dolgu Betonu İle Topuk Betonunun Farkı Görülmektedir**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- vi. Planlanan iş programına göre belli bir uzunluktaki prekastların dolgu betonunun dökülmesi aşamasına gelinir. Halihazırda topuk betonları prizini almış bulunmaktadır. Son defa ray kotları kontrol edilir, hata varsa topuk betonu kırılır, geriye dönük olarak aynı işlemler tekrarlanır. Ray kotlarında problem yoksa, betonun dışarı akmaması için yalnızca en sondaki prekast panele alın kalıbı çakılır ve kamalarla desteklenir. Ardından C 30 sınıfı akışkan dolgu betonları dökülerek ray altı prekast panel montajı tamamlanmış olunur. Dolgu betonu dökülüp prizini aldıktan sonra ayar tijleri kesilerek atılır.

**Şekil 4.25: Prefabrik Ray Altı Döşemeleri Akışkan Dolgu Betonunun Dökülmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.26: Dolgu Betonunun Karılarak Yerleştirilmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- vii.** Tünel dışından şaft ağızlarındaki beton pompalarına dökülen dolgu betonu, buradan tünel içi borulara aktarılarak tünelin istenilen her noktasında beton dökümü yapmaya olanak tanır. Dolgu betonu kendiliğinden yerleşen beton özelliğinde olup, prekast panelin altında boşluk bırakmayacak şekilde yerleşir.



**Şekil 4.27: Tünel Dışından Pompalanan Betonun Tünel İçi Borularla Getirilmesi**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

- viii.** Dolgu betonu, prekast üzerindeki 2 adet 25 cm çapındaki deliklerden taşmaya başlayınca panel altının tamamen betonla dolduğu anlaşılır ve beton hortumu diğer panellere doğru kaydırılır. Prekast üzerindeki bu deliklerin temel görevi budur, bir diğer görevi de askı aparatları vasıtasıyla kaldırılmayı sağlamaktır.

**Şekil 4.28: Beton Dökümü Sırasında Ray ve Bağlantı Elemanları Folyo İle Sarılır**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.29: Dolgu Betonu Prizini Almış Prekastlar**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

**Şekil 4.30: Montajı Tamamlanmış Bir Prekast Ray Altı Panelinin Görünümü**



*Kaynak: İş İlerleme Arşivi (Yüklenici)*

#### 4.4 PREKAST VE YERİNDE DÖKÜM ÜST YAPININ KARŞILAŞTIRILMASI

##### 4.4.1 Teknik Açından Karşılaştırma

###### a) İki Sistemin Fiziki Büyüklükleri Açısından Karşılaştırılması

**Tablo 4.5: İki Sistemin Fiziksel Büyüklükler Açısından Karşılaştırma Tablosu**

	<b>Prekast Panel Sistem</b>	<b>Yerinde Dökme Ray Altı Kiriş Sistemi</b>
<b>Beton Sınıfı</b>	C 30	C 30
<b>Donatı Sınıfı</b>	S 420	S 420
<b>Bir Ano Ebatları</b>	277x222x32 (cm)	290x60x27,14 (cm)
<b>Bir Anoya Ait Beton Miktarı</b>	1,8736 m <sup>3</sup>	0,944 m <sup>3</sup>
<b>Ray Veya Prekast Altı Dolgu Miktarı</b>	2,2175 m <sup>3</sup>	2,6935 m <sup>3</sup>
<b>Bir Anoya Ait Donatı Miktarı</b>	253,5 kg	141,8 kg
<b>Ray Açıklığı (Ekartman)</b>	1435 mm	1435 mm

###### b) İki Sistemin Montaj Kolaylığı Ve İmalat süresi Açısından Karşılaştırılması

**Tablo 4.6: Prekast ve Kirişli Sistem İmalat Sürelerinin Karşılaştırılması**

	<b>PREKAST PANEL</b>			<b>YERİNDE DÖKME KİRİŞ</b>	
	Panel Montajı	Dolgu Beton	Ray Montajı	Kiriş Beton ve Ray Montajı	Dolgu Beton
<b>Günlük Miktar</b>	35 adet (100 m)	100 m	200 m	20 m <sup>3</sup> Beton 55 m Ray	200 m
<b>Ekip Sayısı</b>	6 kişi	8 kişi	8 kişi	18 kişi	8 kişi

## i. Prekastlı Sistemin Avantajları

**Tablo 4.7: Prekast ve Yerinde Döküm Üstyapı Karşılaştırma Tablosu-1**

	<b>PREKAST DÖŞEMELİ ÜSTYAPI</b>	<b>YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ ÜSTYAPI</b>
<b>Kalıp İşçiliği</b>	Kalıp ve donatı işçiliği gerektirmez.	Kalıp ve donatı işçiliği gerekir.
<b>Beton İşçiliği</b>	Prekast altı dolgu betonu kendiliğinden yerleşen ve akışkan bir betondur. Dolayısıyla beton işçiliği zahmetsizdir.	Ray altı kirişi betonunun yerinde dökümü prekastlı sisteme göre daha zahmetlidir. Ayrıca yerleştirme ve sıkılama için betona vibratör tutulur.
<b>Malzeme Kalitesi</b>	Fabrika şartlarında üretildiği için beton kalitesi, işçiliği ve mukavemeti çok fazladır.	Saha şartlarında yerinde üretildiği için beton kalitesi daha düşük.
<b>Üretim Kalitesi ve İmalat Kolaylığı</b>	Fabrika üretimi olması işi disipline etmiştir, uygulamadaki bir çok zorluğun önüne geçmiştir. Bağlantı elemanları ve rayın prekast üzerindeki yerleri milimetrik olarak hazır olduğu için, normal yöntemle göre çok zahmetli olan işlem burada zahmetsizdir.	İki ray altına kalıp kurulup, donatı bağlanıp, bu kalıplara beton dökülmesinden dolayı, ekartman açıklığının milimetrik olarak yerinde ayarlanması prekastlı sisteme göre çok daha zordur.
<b>Estetik Görünüm</b>	Prekast panelin üst yapı kısmı çok düzgün bir yüzeye sahip olduğu için estetik görünüm açısından çok iyidir.	Estetik görünümü prekast panel kadar iyi değil.
<b>Üstyapı Yüzey Drenajı</b>	Prekast yüzeyi pürüzsüz olduğu için drenaj kanalında akış çok iyidir.	Yerinde döküm kirişler arasındaki drenaj kanalı daha pürüzlü bir yüzeye sahiptir.
<b>Numune Alımı</b>	Yerinde beton dökülmediği için numune almakla uğraşılmaz.	Beton dökümü esnasında numune almak gereklidir.
<b>İmalat Aşamalarının Kontrolü</b>	Her bir prekast ray altı paneli için düzenlenmiş kontrol föyleri mevcuttur. Her bir prekastın fabrikada imalatının tamamlanması için kalıbın hazırlanması, donatının bağlanması, betonun dökülmesi, betonun buhar kürü uygulanması gibi aşamaların her biri için ayrı kontrol formları hazırlanır ve onaylanmadan diğer aşamanın imalatına geçilmez.	Yerinde döküm kirişler için böyle bir durum söz konusu değildir.
<b>Üretim Kayıtlarının Tutulması</b>	Her bir prekastın numarası var ve fabrikadan çıkış tarihi üzerinde yazmaktadır. Betonunun nereden alındığı, beton kırım sonuçları vs. bellidir. İlerde bir prekastta sorun olursa (Oturma, çatlama vb ) geriye dönük olarak o prekastın bilgilerine ulaşılabilir.	Yerinde döküm kirişler için böyle bir durum söz konusu değildir.
<b>Kalifiye İşçilik Gereksinimi</b>	Prekastlı sistemin üretimi konvansiyonel plinth sistemine göre daha iyi işçilik getirdiğinden, prekastlı sistemin montajında daha az kalifiye ekipler yeterli olabilmektedir. Bu da maliyeti dolaylı olarak etkilemektedir.	Yerinde döküm kirişli üst yapı imalatı kalifiye işçilik gerektirir.
<b>Bağlantı Elemanlarının Temizliği</b>	Prekast sistemde böyle bir durum söz konusu değildir.	Ray altı betonu dökülüp kalıp açıldığında bazı bağlantı elemanlarının etrafına beton dolabilmektedir. Bu betonlar betonlar temizlenmezse kaçak akım problemleri ve sinyal kayıpları doğmaktadır.

## ii. Prekastlı Sistemin Dezavantajları

**Tablo 4.8: Prekast ve Yerinde Döküm Üstyapı Karşılaştırma Tablosu-2**

	<b>PREKAST DÖŞEMELİ ÜSTYAPI</b>	<b>YERİNDE DÖKÜM KİRİŞLİ ÜSTYAPI</b>
<b>Maliyet</b>	Prekast beton üretimi pahalı bir uygulamadır. Prekastlı sistemin ilk yatırım maliyeti ve üretim maliyeti yüksektir.	Yerinde döküm kirişli üstyapı imalatı prekastlı sisteme göre daha ucuzdur.
<b>Taşınma Kolaylığı</b>	Prekastlar 277x222x32 cm ebadında yaklaşık 5 tonluk çok ağır elemanlardır. Bu nedenle fabrikada üretilip stok sahasına buradan da montajının yapılacağı tünellere nakledilmeleri özel çözümler ve farklı ekipmanlar gerektirmektedir. Prekastların taşınmaları zahmetli ve maliyetli olmaktadır.	İmalat, yerinde yapıldığı için kalıp ve donatı gibi malzemelerin tünel içine taşınması, prekastın taşınmasına göre çok daha kolaydır.
<b>Dolgu Betonunun Üstyapı ile Arasında Boşluk Olması Durumu</b>	Prekast dolgu betonu akışkan ve kendiliğinden yerleşen betondur. Az da olsa, prekast tabanı ile dolgu betonu arasında boşluk kalma ihtimali vardır. Dolgu betonu prizini aldıktan sonra georadar uygulamasıyla boşluk kontrolü yapılır. Bu da, az da olsa ilave bir maliyet gerektirir ve zaman alır.	Yerinde döküm kirişli üst yapı imalatında böyle bir durum söz konusu değildir.
<b>Üstyapının Drenaja Elverişliliği</b>	İki prekastın temas yüzeyleri arasında 2-3 cm genişliğinde boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklardan dolayı prekast üzerindeki drenaj kanalı tam olarak vazife görmemektedir. Bu boşlukların kendiliğinden yerleşen tamir harçları yada değişik özellikte izolasyon malzemeleri ile kapatılması gerekmektedir.	Yerinde döküm kirişli üstyapıda böyle bir durum söz konusu değildir. Kirişler anolar halinde döküldüğünden anolar arasında boşluk vardır ancak, ortadaki drenaj kanalı üzerinde boşluk yoktur.
<b>Montaj Kolaylığı</b>	Prekast panel sistemin dört köşesinde bulunan ayar tijleri 30 mm çapındadır. Montaj sırasında paneller askıdan indirilip tijleri üzerinde bırakıldığında, tijler, tünel yüzeyinin oval olmasından ve prekast ağırlığından dolayı eğilmişlerdir. Eğik tijler üzerinde ayar yapılmıştır. Üretimden sorumlu yetkililerle görüşüldüğünde, tij kalınlıklarının en az 36-40 mm mertebesinde olması gerektiği ifade edilmiştir.	Yerinde döküm kirişli üst yapı imalatında böyle bir durum söz konusu değildir.

#### Şekil 4.31: Prekastlar Arasında Görünen Boşluklar



*Kaynak: Ö.F.ÖZTÜRK Fotoğraf Arşivi*

#### 4.4.2 Maliyet Açısından Karşılaştırma

Bir demiryolu hattının yapım maliyeti, proje yıllık trafik yüküne, dingil yüküne ve bunlara bağlı olarak projelendirmede seçilen ray tipine, bağlantı tipine, travers tipine, travers aralığına, ray uzunluğuna, kaynak tipine ve balast miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada hat bakım maliyetleri hesaba katılmaksızın, yalnızca prekastlı ve yerinde döküm balastsız üst yapının birim metre maliyetleri dikkate alınmıştır.

##### 4.4.2.1 Yerinde Döküm Doğrudan Tespitli Hattın Maliyeti

İhale teklif birim fiyatları içerisindeki, D.2 birim fiyat ve C6.1.2 numaralı ‘‘Doğrudan Tespitli Yol Yapımı’’ pozu metre cinsinden yerinde döküm doğrudan tespitli hattın maliyetini vermektedir.

**Tablo 4.9: Doğrudan Tespitli Yol Yapım Pozu Analizi (Amerikan Doları)**

<b>Birim Fiyat No</b>	<b>Analiz Adı</b>						<b>Ölçü Birimi</b>
D.2 C6.1.2	Doğrudan Tespitli Yol Yapımı						mt.
<b>Gereç No</b>	<b>Cinsi</b>	<b>Katsayı</b>	<b>Ölçü Birimi</b>	<b>Miktarı</b>	<b>Birim Fiyatı</b>	<b>Tutarı</b>	<b>Bölüm Toplamı</b>
	<b>Malzeme ( İthal )</b>						
	Ray Bağlantı Elemanları 2 boltlu	1,07	adet	2,81	34,87	104,84	
	Ray Bağlantı Elemanları 4 boltlu	1,07	adet	0,49	47,27	24,78	
	2 boltlu : 29,80 EURO * 1,17 = 34,87 \$						
	4 boltlu : 40,40 EURO * 1,17 = 47,27 \$						
	Vossloh Proforma VRS. 1205						<b>129,62</b>
	<b>Malzeme ( Yerli )</b>						
04.031	Su	1,25	m3	0,40	1,11	0,56	
04.045	BS 30 Beton Harcı	1,25	m3	0,75	30,32	28,43	
04.109	Mazot ( Motorin )	1,30	kg	3,00	0,64	2,50	
04.152	Çam Kerestesi ( II.Sınıf )	1,30	m3	0,025	208,22	6,77	
04.270	Çiviler	1,02	kg	5,00	0,31	1,58	
04.253	Beton Çelik Çubuğu, nervürlü (BÇ IIIa)	1,02	kg	5,00	0,19	0,97	
04.254	Beton Çelik Çubuğu, nervürlü (BÇ IIIa)	1,02	kg	30,00	0,19	5,81	<b>46,62</b>
	<b>Makine</b>						
03.5271	Vibratör (0,000273xA)	1,30	ka	1,00	0,10	0,13	<b>0,13</b>
	<b>İşçilik</b>						
01.501	Düz İşçi	1,25	sa	15,00	0,75	14,06	
01.018	Sıcak Demirci Ustası	1,25	sa	15,00	1,15	21,56	
01.409	Formen	1,25	sa	10,00	1,65	20,63	<b>56,25</b>
	<b>Nakliye</b>						
SNBF-21	Her çeşit nervürlü çelik nakliyesi	1,30	ton	0,035	30,26	1,38	<b>1,38</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>							<b>234,00</b>
<b>Birim Fiyat</b>		İkiyüzotuzdört					<b>USD</b>

Kaynak: İhale Teklif Birim Fiyatları

Tablo 4.9 da görülen analize göre 1m yerinde döküm ray altı kirişi yapılması için, İdare yükleniciye 234,00 USD ödeme yapmıştır. Bu fiyata S49 ray temini ve yerine konulması dahil değildir.

Sözleşme dosyası eki, birim fiyat tarifleri ve listeleri kitabında Doğrudan Tespitli Yol Yapımı birim fiyat tarifi şu şekilde yapılmaktadır:

*UIC Standartlarına uygun temin edilmiş S49-49,43 kg/m lik rayların montajında kullanılacak doğrudan tespitli yol malzemesinin temini, yurtdışı ve yurt içi nakliyelerinin yapılması, İdare'ce uygun görülecek bir sahada veya depoda stoklanması, stok sahasından montaj mahalline taşınması, projesinde belirtilen aralıklarla montajı, tüm aplikasyon işleri, BS30 Ray Kirişi Betonu, her türlü kiriş beton ve aderans donatıları, yağmursuyu eğim betonu ve dökülmesi, bunların montajı için gerekli her türlü malzeme, işçilik, makine ve ekipman, yükleme ve boşaltma dahil tüm nakliyeler, yatay ve düşey taşımalar, sigorta ve gümrük bedelleri, genel giderler ve müteahhit karı dahil 1 metre doğrudan tespitli tek yol yapımı fiyatıdır.*

#### **4.4.2.2 Prekast Demiryolu Üst Yapısının Maliyeti**

Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metrosu hat işlerinde, demiryolu üst yapısının %46 sı prekast panel, %54 ü yerinde döküm ray altı kirişi ( Konvansiyonel Plinth Sistemi ) şeklinde imal edilmiştir. İhale teklif birim fiyatları çerisinde yalnızca yerinde döküm ray altı kirişlerini tarif eden, Doğrudan Tespitli Yol Yapımı pozu bulunmaktadır. Prekast paneller için yeni bir fiyat yapılmamış olup bütün imalatlar söz konusu fiyattan ödenmiştir. Bu tez çalışmasında fiyat bazında bir karşılaştırma yapmak gerektiğinden, Yüklenici firma yetkilileriyle görüşülerek prekastlı demiryolu üst yapı sisteminin maliyet çalışması yaptırılmıştır. Prekast sistemin fiyatı aşağıdaki tabloda görülmektedir:



**Tablo 4.10: Prekastlı Demiryolu Üst Yapısı Maliyet Tablosu (Amerikan Doları)**

<b>TANIM</b>	<b>MALİYET (\$/m)</b>	<b>FİYAT AÇIKLAMASI</b>
Ray Altı Prekast Panel Üretimi	217	Hadımköy fabrikasında üretim
Demiryolu Taşeron Bedeli	161	Nakliye, tünel içi nakliye, prekast montaj, bağlantı elemanı montaj, ayar, taşlama
Bağlantı Elemanı Temini	136	Yurt dışı alım ( Vossloh )
<b>TOPLAM</b>		<b>514 \$/m</b>

Buna göre, Prekastlı sistemin 1 metresinin maliyeti 514 USD olmaktadır. Yerinde dökme ray altı kirişlerinin birim metre maliyeti 234,00 USD olduğuna göre, bir metre demiryolu hattı yapılması için, Yerinde dökme kirişlere göre prekastlı sistem % 119,66 daha pahalıdır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de ilk olma özelliğini taşıyan prekast demiryolu üst yapısı, üretim ve uygulanabilirlik düşüncesi açısından ciddi bir tecrübe oluşturmuştur. Otogar-Bağcılar-Başakşehir Metro Hattında kullanılmış olan bu prekast üst yapı panelleri projeye büyük bir özgünlük katmıştır. Demiryolu literatüründe, prefabrik levhalarla yapım yöntemi sınıflandırmasında, bu projede kullanılan sistemin de kendine yer bulacağı kanaatini taşımaktayız.

Genel olarak demiryolu üst yapısına vurgu yapılmaya çalışılan bu yüksek lisans tezinde, ilk bölümde İstanbul’un en uzun kent içi raylı sistemlerinden biri olacak olan Otogar-Bağcılar-Başakşehir Metro Hattının tanıtımı yapılmış ve genel bilgiler verilmiş olup, hattın ileride entegre olacak yeni metro güzergahları ile ilişkisine değinilmiştir. Sonraki bölümde klasik demiryolu üst yapısı ve üst yapı elemanları hakkında bilgi verilmiş, bu kavram teker teker ele alınarak açıklanmıştır. Yine aynı bölümde, balastlı klasik demiryolu üst yapısına alternatif olarak, balastsız üst yapı sistemlerine değinilmiş ve dünyadaki balastsız hatların yapım metotlarıyla alakadar bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde Otogar-Bağcılar-Başakşehir-Olimpiyat Köyü Metro Hattında yapımı tamamlanan yerinde dökme ray altı kirişleri ve prekast panel uygulamalarının, önce hesap yöntemi açıklanarak hesap adımları incelenmiştir. Daha sonra sistemin imalatı ve yapım metodu resimli olarak ayrıntılı biçimde ifade edilmiştir. Ardından iki farklı sistemin karşılaştırılmasına geçilmiş, teknik açıdan ikisinin de avantaj ve dezavantajları maddeler halinde tespit edilmeye çalışılmıştır. İki sistemin maddi yönden de mukayese edilmiş ve prekastlı sistemin yerinde döküm kirişli ray betonlarına göre, % 119,66 daha pahalı olduğu görülmüştür. Ancak, teknik yönden karşılaştırma bahsinde belirtildiği gibi, prekastlı sistem pahalıdır ancak, imalatı disipline eder, süre olarak çok daha hızlıdır ve estetik olarak iyi bir görünüme sahiptir.

Prekastlı demiryolu üst yapı sisteminin Türkiye’de bu proje kapsamında uygulanması ilk olma özelliği taşımaktadır. Bu teknik ve parasal açıdan incelenen mukayese, bundan

sonra yapılacak olan bir çok metro ve demiryolu projesi için bir veri teşkil edeceği düşünülmektedir.

Prekastlı sistemin uygulanması iyi bir tecrübe olmuştur. Eksik olan yönleri geliştirilerek yeni projelerde uygulanması halinde, sistem tasarımı optimize edilerek daha kısa sürede monte edilebilen, teknik ihtiyaçlara daha fazla cevap verebilen, daha düşük maliyetle üretilen bir sistem geliştirilmesi mümkün görünmektedir.

Prekastlı sistemin, tünelleri TBM ile açılacak olan kent içi raylı sistemler için daha elverişli olduğu düşünülmektedir. Zira, TBM segment üretimi için kurulacak bir fabrika olması halinde, fabrika giderleri iki kaleme bölüneceğinden maddi yönden bir avantaj sağlanmaktadır.

Döşenecek prekast panel uzunluğu (yani hat uzunluğu) ile prekastlı sistemin uygulanabilirliği açısından rakamsal bir ilişki kurulması elimizdeki verilerle mümkün gözükmemektedir. Ancak bu sistemin, TBM segment üretimi yapılacak yerde kullanılmasını düşündüğümüzde, ortaya çıkan sonuç; hattın tünellerinin TBM ile açılması ve segment üretimi için özel bir tesis kurulması halinde, demiryolu üst yapısının prekastlı seçilmesinin tesisin sabit giderlerini azaltacağı söylenebilir.

Demiryolu üst yapısı ile ilgili iki farklı sistemin teknik ve maddi yönden mukayese edildiği bu yüksek lisans çalışmasının, yeni projelerde prekastlı sistemin kullanılabilirliği açısından bir veri oluşturmasını ve demiryolu üst yapısı ile ilgilenenler için bir kaynak oluşturmasını ve faydalı olmasını temenni ederim.

## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

Öztürk, Z., Arlı, V., 2009, *Demiryolu Mühendisliği*, İstanbul, İstanbul Ulaşım A.Ş. Yayınları,

Lichtberger, B., 2011 , *Demiryolu Cep Kitabı*, Hamburg, Eurail press

İstanbul Ulaşım A.Ş. , 2008, *Makaleler Kitabı*, 2008, İstanbul

Arlı, V. ,2011, İstanbul, İstanbul Ulaşım A.Ş. Yayınları

### ***Sürelî Yayınlar***

Erel, A., 2005, İstanbul, *Demiryolu Üstyapısı*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notu,

Esveld, C., 2003, Netherlands, CT4870 08 Conventional Track Structures, TU Delft Course Notes,

Ludvigh,E., 2004, Hungary, Structures of Permanent Way, Department of Highway and Railway Engineering, Budapest University of Technology and Economics,

### ***Diğer Yayınlar***

Arlı, V., (2002), Balastlı ve Balastsız Üst Yapıların Ekonomik Yönden

Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., *Yüksek Lisans Tezi*

Özalp, O., (2008), Kentiçi Raylı Sistemlerin Üst Yapısı ve Dinamik Analizi, Yıldız

Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., *Yüksek Lisans Tezi*

Polat, M., (2011), Kent İçi Raylı Sistemlerde Balastlı Ve Balastsız (Betona Tespitli)

Üstyapılı Hatların Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., *Yüksek Lisans Tezi*

Ortaç, T.H., (2011), Kentiçi Raylı Sistem Hatlarında Üstyapı Bakımı Ve Maliyetleri:

Aksaray – Havalimanı Hattı Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., *Yüksek Lisans Tezi*

İstanbul Hafif Metro Sistemi Otogar-Bağcılar Arası Hafif Metro İnşaat Ve Elektro-

Mekanik İşleri Teknik Şartnamesi ( Teknik Şartname )

Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı Plinth Beton Hesap Raporu

Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı Ray Altı Prefabrik Döşeme Hesap Raporu

Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı Fotoğraflı İş İlerleme Arşivi



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Ömer Faruk ÖZTÜRK

**İkameti** : İstanbul/Bağcılar

**Doğum Yeri ve Yılı** : Ankara-1983

**Yabancı Dili** : İngilizce

**İlköğretim** : Şükrüpaşa İlkokulu (Edirne)

**Ortaöğretim** : Sincan İmam-Hatip Lisesi, Etimesgut Lisesi (Ankara)

**Lisans** : Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü (Trabzon)

**Çalışma Hayatı** :

- i.** Bağcılar Belediyesi / İmar Ve Planlama Müdürlüğü  
*Görevi: İmar Durum Bürosu ve Statik Proje Kontrol Mühendisi*  
( 2005 Ağustos-2006 Ağustos )
- ii.** Askerlik Hizmeti (311.Dönem Yedek Subay) / Görev Yeri : Elazığ  
*Görevi: Jandarma Asteğmen*  
( 2006 Ekim-2007 Temmuz )
- iii.** İstanbul Büyükşehir Belediyesi / Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü  
*Görevi: Kontrol Mühendisi*  
( 2007 Eylül- Halen )