İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER VE ÜSTYAPI HESAPLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Ragıp SEVİM

Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı: ULAŞTIRMA

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

Ocak 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DA KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER VE ÜSTYAPI HESAPLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisi Ragıp SEVİM
(501031418)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Zübeyde ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Tülay AKSU ÖZKUL (İ.T.Ü.)

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Dünya'nın ve Türkiye'nin en büyük metropollerinden biri olan İstanbul'un nüfusu gittikçe artmaktadır. Bu nüfus artışı birçok problemi getirdiği gibi, özellikle İstanbul'un ulaşım sisteminde büyük yığılmalara neden olmuştur.

Kent içi ulaşımda, nüfus artışı ve yoğunluğuna bağlı olarak, toplu taşımacılık sistemlerine ağırlık verilmesi gerekmektedir. Nüfusu 12 milyonu aşan İstanbul'da ise gelişmiş dünya ülkelerindeki kadar toplu taşımacılık sistemleri geniş bir ulaşım ağına sahip değildir.

Osmanlı İmparatorluğu son zamanlarında Karaköy'den Taksim'e bir funikuler sistem yaptırmıştır. O zamana göre bir yeraltı metrosu sayılan bu sistem dünyanın en eski metrolarından biridir. 1900'lerden bu yana metro sistemleri dünyada çok gelişmiş ve irili ufaklı bir çok kentte uygulanmıştır. Ulaşımda ağırlığın lastik tekerli taşıtlara verildiği şehrimizde ise ancak 1980'lerde böyle bir sistem yapma gerekliliği anlaşılmış ve mevcut sistemler yapılmıştır.

Ulaşımda amacın aracı değil yolcuyu taşımak olduğu ve toplu taşımacılıkta geleceğin raylı sistemlerde olduğu anlaşılmış, bir çok güzergahta raylı sistemlerin projeleri hazırlanmakta ve yapımına başlanmaktadır. Yakın bir zaman diliminde şehrimiz yeterli bir raylı sistem ağına sahip olacaktır.

Yaptığımız bu çalışma da ülkemizdeki raylı sistemlerin daha da gelişmesine katkı sağlayacağı düşünülerek hazırlanmıştır. Bu çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkıları nedeniyle Sayın Hocam Doç. Dr. Zübeyde Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın başından itibaren karşılaştığım sorunlarda bana yardımcı olan başta rahmetli annem olmak üzere aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi bir borç biliyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ii
TABLO LİSTESİ iv
ŞEKİL LİSTESİ v
ÖZET vi
SUMMARY vii

1. GİRİŞ 1

2. DEMİRYOLU ÜSTYAPISI 3
2.1. Raylar 3
2.1.1. Ray Çeliğinin Kimyasal Yapısı 5
2.1.2. Rayın Kısımları 6
2.2. Traversler 7
2.2.1. Ahşap Traversler 8
2.2.2. Demir Traversler 9
2.2.3. Betonarme Traversler 10
2.3. Balast 10
2.4. Küçük Bağlantı Malzemeleri 11
2.4.1. Rayların Birbirine Bağlantısı 11
2.4.2. Ray-Travers Bağlantısı 12
2.4.3. Yeni Ray-Travers Bağlantı Sistemleri 13

3. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER 19
3.1. Mevcut Kent İçi Raylı Sistemler 20
3.1.1. Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı 20
3.1.2. Tramvay 24
3.1.3. İstanbul Metrosu 27
3.2. İnşaatı Devam Eden ve Proje Aşamasındaki Raylı Sistemler 33
3.2.1. Metro 33
3.2.2. Hafif Metro 34
3.2.3. Tramvay 35
3.2.4. Marmaray Projesi 36
3.2.5. Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi 37
3.2.6. Üsküdar-Ümraniye- Dudullu Raylı Toplu Taşıma Sistemi 38

4. DEMİRYOLU ÜSTYAPI HESABI VE MEVCUT SİSTEMLERİN TAHKİKİ **40**
4.1. Demiryolu Üstyapı Hesabı 40
4.2. Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı Üstyapı Hesabı 46
4.3. Tramvay Hattı Üstyapı Hesabı 48
4.4. İstanbul Metrosu Üstyapı Hesabı 50

3. SONUÇ **53**

KAYNAKLAR **55**

ÖZGEÇMİŞ **56**

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1.	Hafif Metro Hattı Hizmete Giriş Tarihleri	20
Tablo 3.2.	Cadde TramvayıHizmete Giriş Tarihleri	25
Tablo 3.3.	İstanbul Metrosu Hizmete Giriş Tarihleri	29
Tablo 4.1.	Zimmermann Hesap Tablosu(μ)	42
Tablo 4.2.	Zimmermann Hesap Tablosu(η)	43
Tablo 4.3.	Emniyet faktörü (t) ve hat kalite faktörü(s) değerleri	44

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.	Oluklu Ray	4
Şekil 2.2.	Patenli Raylar	5
Şekil 2.3.	Rayın Kısımları	6
Şekil 2.4	Ahşap Travers	8
Şekil 2.5	Demir Travers	9
Şekil 2.6	İkiz Bloklu Beton Travers	10
Şekil 2.7.	K Tipi Bağlantı Sistemi	14
Şekil 2.8.	HM Tipi Bağlantı Sistemi	16
Şekil 3.1.	İstanbul'da Mevcut Kent İçi Raylı Sistemler	19
Şekil 3.2.	Aksaray-Havalimanı Hafif MetroHattı	21
Şekil 3.3.	Hafif Metro Hattındaki Kullanılan Araçlar	21
Şekil 3.4.	Hafif Metro hattında ahşap traversli üstyapı kesiti	23
Şekil 3.5.	Hafif Metro hattında beton traversli üstyapı kesiti	23
Şekil 3.6.	Hafif Metro hattında betona tespitli üstyapı kesiti	24
Şekil 3.7.	Tramvay Hattı Klasik Üstyapı Kesiti	27
Şekil 3.8.	Tramvay Hattı Üstyapı Kesiti(Ray Altı Mesnet Taşlı)	27
Şekil 3.9.	İstanbul Metrosu Üstyapı Resimleri	28
Şekil 3.10.	Üstyapı Kesiti	31
Şekil 3.11.	Stedef V.S.B Sistem - Beton Travers Üzerindeki Ray Montajı	32
Şekil 3.12.	İnşaatı devam raylı sistemler	33
Şekil 3.13.	Vezneciler-Sultançiftliği Cadde Tramvayı	36
Şekil 4.1.	Demiryolu Çerçevesi	40
Şekil 4.2.	Traverse Gelen Yük Dağılımı	45
Şekil 4.3.	Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı Dingil Yükleri	46
Şekil 4.4.	Tramvay Hattı Dingil Yükleri	48
Şekil 4.5.	İstanbul Metrosu Dingil Yükleri	50

İSTANBUL'DA KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER VE ÜSTYAPI HESAPLARI

ÖZET

Kent içi raylı sistemlerinin yatırım maliyetlerinin optimuma indirgenmesi için üstyapı kesitlerinin hesaplanması ve tahkiki önem arz etmektedir. İşletme ve bakım açısından da üstyapı hesabı raylı sistemlerin ömrünü arttırmaktadır.

Bu çalışmada ilk bölümde demiryolu üstyapısı ve üstyapıyı oluşturan elemanlar incelenmiştir. Ray, travers, balast ve bağlantı malzemeleri ve demiryolu üstyapısı içindeki işlevleri anlatılmıştır. Geçmişten günümüze üstyapı elemanlarının kısaca gelişimine değinilmiş, günümüzde kullanılan yeni tipleri tanıtılmıştır.

İkinci bölümde İstanbul'da kent içi raylı sistemler incelenmiş ve mevcut, yapım aşamasında ve proje safhasında olan hatlar tanıtılmıştır. Üstyapıları bilinen mevcut hatlar, Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı, Kabataş-Zeytinburnu Cadde Tramvayı, Taksim-4.Levent İstanbul Metrosu tanıtılmış, üstyapıları incelenmiştir. Üstyapı tipleri kesinleşmemiş yapım ve proje aşamasında hatların üstyapılarına değinilmemiş, genel olarak tanıtımları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde demiryolu üstyapı hesapları anlatılmış ve mevcut raylı sistemlerin üstyapı hesabı yapılmıştır. Bu hesaplarda Winkler'in elastik ortama oturan kiriş hipotezi baz alınmıştır. Bu hipotezi demiryolu üstyapısı hesabında kullanırken Zimmerman yöntemi takip edilmiştir. Üstyapı hesabında statik yükler için bulunan sonuçlara dinamik etkilerin katılmasında Eisenmann'ın geliştirdiği Münih Teknik Üniversitesi Karayolları ve Demiryolları İnşaatı Enstitüsü'nün verdiği üstyapı biçimine ve hıza bağlı formulasyonlar kullanılmıştır., Bulunan dinamik değerler neticesinde mevcut üstyapıların yeterli oldukları tahkikler sonucunda bulunmuştur.

URBAN RAIL SYSTEMS IN ISTANBUL AND SUPERSTRUCTURE CALCULATIONS

SUMMARY

Calculation and investigation of the section of superstructure is of utmost importance in order to reduce the investment costs of urban railway systems to optimum value. Superstructure calculation also prolongs the operation life of the railway systems in the sense of management and maintenance.

In the first section of this work, railway superstructure and the superstructure components constituting the superstructure are examined. Rail, travers (sleeper), ballast and connection materials and their functions in railway superstructure are explained. The development of these superstructure components through the history is briefly mentioned and the new types which are used today are introduced.

In the second section, local railway systems of Istanbul are examined and the current tracks, the tracks under construction and the ones in the phase of planning are introduced. The current tracks with known superstructure, Aksaray – Airport [Hafif Metro] Line, Kabataş – Zeytinburnu Tram, Taksim - 4. Levent İstanbul Subway are introduced and their superstructures are examined. The superstructure features of the tracks with indefinite superstructure types which are under construction or in the phase of planning are not mentioned, only general presentations of them are annexed.

In the third section, superstructure calculations of railway systems are explained and the superstructure calculations of current railway systems are computed. In these calculations, Winkler's hypothesis about the joist fitting upon an elastic ground is taken as the main basis. When applying this hypothesis to the calculation of railway systems superstructure, Zimmermann method is followed. For consolidating the dynamic factors with the results about the static loads in the calculation, the formulations which depend on the type of the superstructure and speed and which are developed by Eisenmann and given by Munich Technical University Highways and Railways Construction Institute are used. The current

superstructures are investigated in the light of the calculated dynamic values and are proven to qualified.

1. GİRİŞ

Nüfusu artan şehirlerimizin en temel sorunlarından birini oluşturan trafik yoğunluğu her geçen gün artmaktadır. Çözümün toplu taşımacılıkta olduğu konunun uzmanları tarafından genel kabul görmekte ve toplu taşımacılıkta da kent içi raylı sistemlerin önemli bir yere sahip olduğu belirtilmektedir.

Ülkemizde 1950'li yıllardan itibaren ihmal edilen demiryolu sektörü canlanmaya başlamış, başta Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi olmak üzere birçok gelişmeler yaşanmaktadır. Kent içi raylı sistemlerin trafik problemlerinin en köklü çözümü olduğu kabul edilmiş, başta İstanbul olmak üzere Ankara, İzmir, Bursa, Konya, Kayseri, Adana, Antalya gibi birçok şehrimizde raylı sistemlere ağırlık verilmeye başlanmış, bunun neticesinde birçok hat işletmeye açılmış, bir kısmı da yapım ve proje aşamasında devam etmektedir.

Çalışmada konu edilen İstanbul'da mevcut kent içi raylı sistemler incelendiğinde, geçmişte yapım maliyetleri gözönüne alınarak inşaa edildiği ortaya çıkmaktadır. Dünyadaki uygulamalar ve işletme altında kazanılan tecrübeler göstermektedir ki; yapılan yatırımlarda yapım maliyetinden daha çok toplam servis ömrü (life cycle cost) dikkate alınmalıdır. İşletme ve bakım maliyetleri tasarlanan hatlar için hesaba katılmalı, İstanbul gibi trafik problemi yoğun olan şehirlerde daha az bakım gerektiren üstyapı tasarlanmalıdır.

İstanbul'da raylı sistemler şu an 05:30-00:30 saatleri arasında hizmet vermektedir. İlerleyen yıllarda artan nufüsla birlikte işletme saatlerinin daha da artırılması gerekecektir. Bu durumda hatların işletmeye kapalı bakım süreleri daha da azalacaktır. Bu nedenle bakım miktarını minimize edecek, üstyapı tasarımları yapılmalıdır.

İstanbul'da kent içi raylı sistemlerin üstyapı tiplerinin yeni yapılan hatlarda daha az bakım gerektiren servis ömürleri fazla seçildiği ortaya çıkmıştır. Eminönü–Zeytinburnu Cadde Tramvayı gibi daha önceki yıllarda yapılan hatlarda artan bakım maliyetleri ve yolcu konforunu olumsuz etkileyen faktörler gözönüne alınarak

rehabilitasyon projeleri hazırlanmış, üstyapı tipi daha konforlu yolculuk sağlayacak ve daha az bakım gerektirecek şekilde değiştirilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada demiryolu üstyapısı anlatılmış, üstyapının demiryollarının gelişim sürecindeki değişimleri gözönünde tutularak üstyapı elemanları anlatılmıştır. Üstyapıyı oluşturan elemanlar günümüzde modern teknolojinin sağladığı imkanlarla birleştirilerek tasarlanmakta, test edilmekte ve uygulanmaktadır.

İlerlerleyen yıllarda demiryolu mühendisliğinde ülkemizin daha ileriye gidebilmesi için bu alandaki çalışmalar artıtırılmalı, dışa bağımlı olmadan demiryolu teknolojisini kendimizin üretmesi için yapılan çalışmalara önem verilmelidir.

2. DEMİRYOLU ÜSTYAPISI

Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan ve altyapı üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elamanlarının tümüne üstyapı denir. Demiryolu üstyapısı basit olarak ray ve traversler tarafından çerçevelendirilmiş ve balast tarafından desteklenmiştir. Çerçeveler hattın en küçük birimi olup ardarda gelmeleri ile hat güzergahı oluştururlar.

Üstyapının taşıyıcı ve yol olarak görevleri:

1. Yol boyunca demiryolu araçlarına 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 olmaktır.

Üstyapıyı oluşturan elemanlar şunlardır:

a-)Raylar

b-)Traversler

c-)Balast

d-)Küçük yol bağlantı malzemeleri

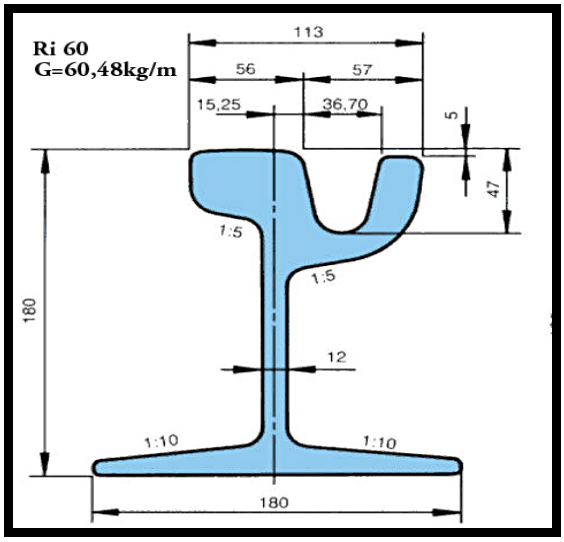
2.1 Raylar

Demiryolu araçları ile direk temasta bulunan tekerleklere yuvarlanma yüzeyi sağlayan, aşınmaya dayanıklı ve yüksek mukavemetli çelikten özel profilden imal edilmiş üstyapı elemanına ray denilmektedir.

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

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

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



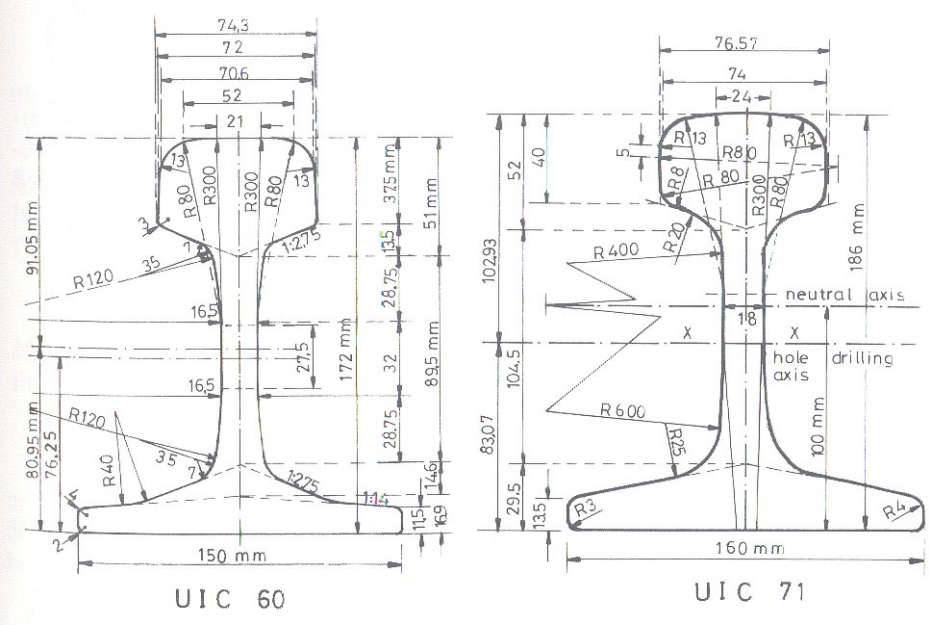
Şekil 2.1 : Oluklu Ray

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 yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılması idi. Fakat üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyon nedeniyle aşınmasından dolayı bu kullanım uygun bulunmadı. Bu tipte raylar traverslere ahşap takozlarla sıkıştırılmak suretiyle tespit edilerek kullanılmıştır.

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

3. Patenli raylar (Vinyol tipi): Bu tip raylar ilk defa 1832 yılında Amerika'lı Stevens tarafından yapılmış, ancak geniş anlamda kullanımını sağlayan İngiliz mühendis Vinyol'un ismi verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada kullanılan ray tipidir.

İlk raylar 25 kg/m den daha küçük ağırlıklarda idi. Sonraları dingil yükleri ve hızların artması ile beraber bakım masraflarını azaltacak şekilde rayın birim ağırlığı 40, 50, 60 ve hatta 70 kg/m ye kadar çıktı.



Şekil 2.2. Patenli Raylar

İlk zamanlar rayların uzunluğu 12 m olarak uygulanmıştır. Ancak iki dingilli araçların dingilleri arasında da 12 m'ye yakın aralık bulunduğu için contalara ön ve arka dingillerin çarpmaları aynı zamanda meydana geldiğinden sakıncalı bulunmuştur. Günümüzde raylar kaynaklanmak suretiyle "uzun boylu raylar" elde edilmekte ve bunlar kullanılmaktadır. En çok üretilen ray boyları 18, 24, 30, 36 m uzunluktadır. Fakat Almanya'da 60 m ve Avusturya'da 108 m uzunlukta raylar da üretilmektedir.

2.1.1 Ray Çeliğinin Kimyasal Yapısı

Raylar bandajla devamlı temas halinde bulunduklarından dolayı birbirlerini aşındırırlar. Rayın yüksek mukavemetli olması bandajın raydan fazla aşınmasına, bandajın yüksek mukavemetli olması rayın fazla aşınmasına sebep olur. Asıl amaç, raydaki ve bandajdaki aşınmasının en düşük düzeyde olmasını sağlamaktır.

Rayın mukavemetinin yükselmesi çeliğin kimyasal tertibini değiştirmekle, karbon miktarını çoğaltıp, ayrıca manganez karıştırmakla temin edilir, bu ise rayda uzamanın azalmasına yani kırılganlığın artmasına neden olur. Rayda aşınma

mukavemetinin yüksek olması istendiği gibi kopma uzamasının da %10'dan az olması istenmez.

Ray çeliğinin birleşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belli bir miktarda bulunması, rayı daha mukavemetli yapması için gereklidir. Fosfor ve kükürt ise çeliğin bünyesinden tamamen çıkarılamayan zararlı maddelerdir.

Karbon, mukavemeti artırır ama kırılganlığa da neden olur, bundan dolayı ray içindeki oranı on binde 37-60 arasındadır.

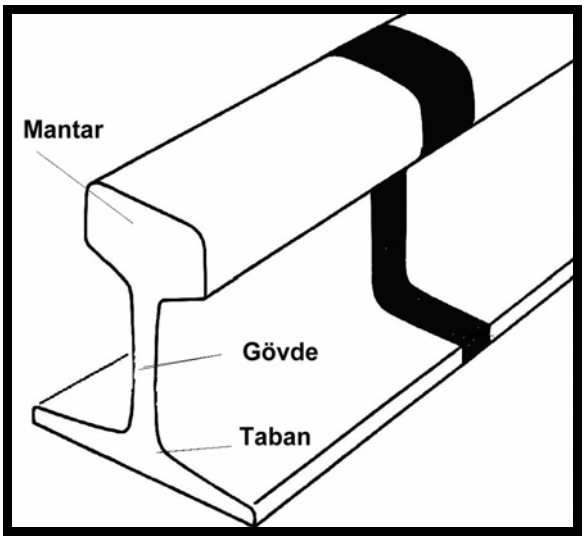
Silis, çeliğin oksitlenmesini zorlaştıran bir element olup, ayrıca malzemenin daha akıcı, yoğun ve ince zerreli, homojen olmasını sağlar. Rayın cinsine göre silis miktarı on binde 30-50'dir.

Manganez karbonun 2-3 katı kadar konulur, yani on binde 70-210 kadardır.

2.1.2 Rayın Kısımları

Rayın üç kısmı vardır:

1. Mantar
2. Gövde
3. Taban



Şekil 2.3. Rayın Kısımları

1.Mantar:Tekerleklere yuvarlanma yüzeyi sağlayan kısımdır. Uygun bir ray-tekerlek temasını sağlamak için mantarın üst kısmında R:200-500 mm yarıçaplı bombelik

mevcuttur. Mantar üst köşeleri buden içi eğriliğine iyi intibak etmesi için R:13-14 mm yarıçaplı kurblarla çevrilmiştir.

Raylardan uzun müddet yararlanmak amacı ile mantar yüksekliği ile aşınma limiti arasında yeterli farklar konulmuştur. Edinilen tecrübelere göre genel olarak mantar yüksekliğinin 35-50 mm ve mantar genişliğinin ise 60-70 mm olması uygun bulunmuştur.

2. Gövde:Mantar ile taban arasında, rayları birbirine cebire ile bağlanmasına imkan veren kısımdır. Kesme kuvvetlerine maruz bulunan gövdede özellikle cebire bulonu delikleri civarında yüksek gerilimler meydana gelir.

Gövde kalınlığı zamanla meydana gelebilecek korozyon tesiriyle zayıflamalara rağmen kesitin bu gerilmeleri karşılayabilecek tarzda ve cebire delikleri civarında çatlamalar meydana gelmeyecek şekilde ve kalınlıkta imal edilir. Bu kalınlık tecrübeler sonucu 15 mm den aşağı olmayacak şekilde tespit edilmiştir.

3. Taban(paten): Rayların traverslere basmasını ve tespitini sağlayan kısımdır. Ray tabanının geniş olması rayın selete sağlamca oturmasını ve devrilmemesini sağlar.Geniş tabandan traverse gelen gerilmeler azalacağından travers daha az yorulur.

2.2 Traversler

Demiryollarında yol eksenine dik yönde ve rayların altına mesnet olarak belirli aralıklarla yerleştirilmiş üstyapı elemanına travers denir.

Traversin görevleri:

1. Yol açıklığını sağlamak ve korumak,
2. Raylardan gelen yükleri düzgün bir şekilde balast tabakasına iletmek,
3. Raylara içe doğru (1/20 veya 1/40) eğiklik vermek. 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.

Traverslerde aranan özellikler şunlardır:

1. Aşınmaya karşı mukavemet,

2. Elastikiyet,
3. Kırılmaya ve ezilmeye karşı mukavemet
4. Rayların tespitine elverişli olması,
5. Dış etkilere karşı mukavemet,
6. Üstyapının stabilitesi bakımından çok hafif olmaması ve çok da ağır olmaması,
7. Maliyetin uygun olmasıdır.

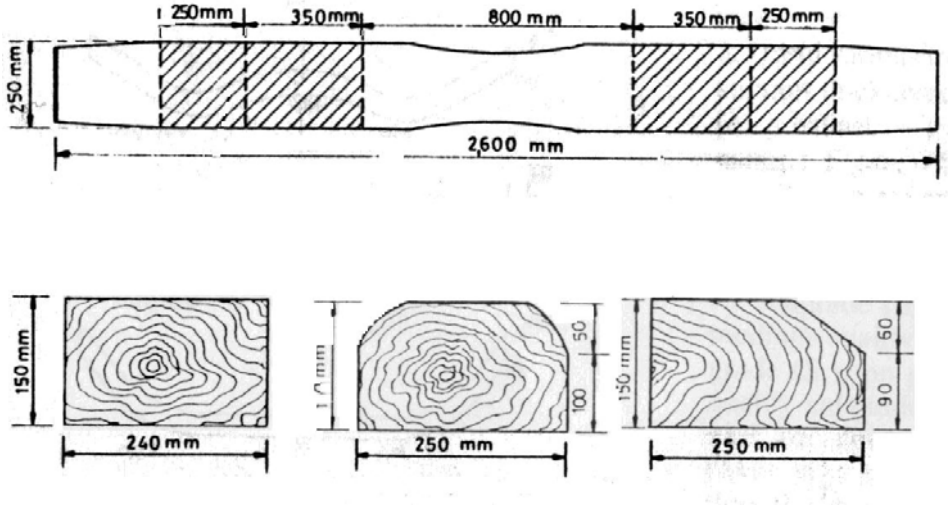
Travers cinsleri olarak:

1. Ahşap traversler
2. Demir Traversler
3. Betonarme Traversler

kullanılmaktadır.

2.2.1 Ahşap Traversler

Demiryollarının doğuşundan günümüze kadar ahşap en çok kullanılan malzeme türü olmuştur.



Şekil 2.4. Ahşap Travers

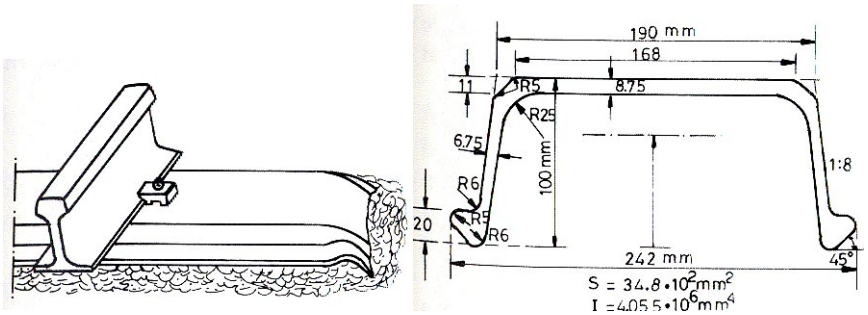
Avantajları: Beton traverslere göre daha hafif olduklarından değiştirilmesi daha kolaydır. Kolayca delinir, açılan delikler tıkanabilir. Ray ve seletlerin traverslere tespiti kolayca yapılır. Elastikiyeti çok olması nedeniyle yolcu konforunu arttırır.

Diğer traversli yollara göre daha az gürültüye neden olur. Elektrik akımı için iyi bir yalıtkandır. Yükü iyi dağıtır.

Dezavantajları: Ömürleri azdır, birinci sınıf yollarda kreozot enjekte edilmiş traversler 20-25 yıl kullanılabilirler. Kolayca yanarlar, işletme yükleri altında betonarme traversten daha çabuk özelliğini kaybederler. Ahşap traversin üretimi çok zaman gerektirir. Ahşabın kullanım alanı çok genişlediğinden fiyatı da hayli yüksektir. Bütün dünyada ahşaptan tasarrufa gidilmektedir.

2.2.2 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 ve gürültü 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.

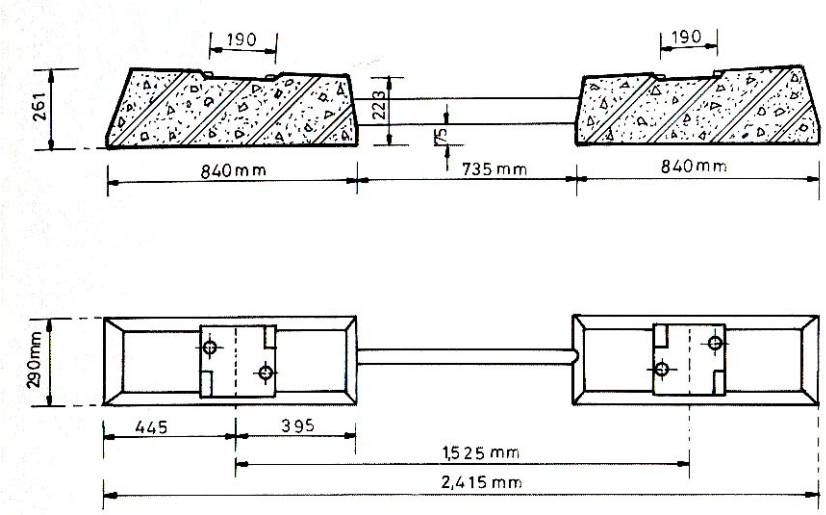


Şekil 2.5 : Demir Travers

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 ve ileri-geri deplasmanları önler. Ancak demir traverslerde balast bakımı (buraj vs.) çok güçtür. Genellikle yumuşak demirden yapıldıkları için ray altında ezilmeler ve delik kenarlarında çatlamalar ve yırtılmalar olmaktadır.

2.2.3 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.Monoblok, ikiz blok, öngerdirmeli gibi çeşitli tipleri mevcuttur.



Şekil 2.6 : İkiz bloklu beton travers

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.

2.3 Balast

Boyutları en küçük 30 mm'lik elekten geçmeyecek ve 60 mm'lik elekten geçecek şekilde olan bazalt, granit, diyorit, dolomit, andezit gibi sert kayalardan konkasörle kırılması ile elde edilen kırmataşa balast denilir. Balastın görevleri çok çeşitli ve önemlidir. Bu yüzden iyi bir balastın aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Temiz ve topraksız olmalıdır,
- Bünyesinde su tutmamalı, tabiat şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır,
- Basınca karşı dayanıklı olmalıdır,
- Elle ve makineli yapılan burajlarda darbelere karşı dayanıklı olmalıdır,

- Traverslerin yanal ve boyuna kaymasını engelleyecek yapıda keskin kenarlı, keskin köşeli ve kübik şekilli olmalıdır,
- Yolda yeterli miktarda bulunmalıdır.

Balast tabaka kalınlığı günümüzde birçok ülkede 50 cm'yi bulmuştur, ülkemizde ise 30-40 cm arasındadır.

Balast yatağının görevleri şunlardır:

- Platformu dondan korumak,
- Üstyapıya elastikiyet sağlamak,
- Traverslerden gelen basıncı yayarak ve azaltarak platforma iletmek,
- Yağmur ve kar sularını süzerek platformun kuru kalmasını sağlamak,
- Traverslerin topraklanmasını önlemek, kuru kalmasını sağlayarak çürümesini önlemek,
- Yolda meydana gelen çökmelerin düzeltilmesinde dolgu malzemesi görevini üstlenmek,
- Yolun deplasmanına engel olmak, yolun stabilitesini sağlamak
- Yolda bitki yetişmesini önlemek

2.4 Küçük Bağlantı Malzemeleri

Rayları birbiri ile ve rayları traverslere bağlayan malzemelere küçük 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.

2.4.1 Rayların Birbirine Bağlantısı

Rayların birbirine bağlandıkları ek yerlerine conta denir. Bağlantı yerlerinde rayın her iki yanına cebire adı verilen iki ek levha konur.

Cebireler

Rayların uçlarının birbiri ile bağlanmasını sağlayan demir çubuklara cebire denir. Cebireler, ray tiplerine ve kullanım durumlarına göre yumuşak çelikten özel profillerde imal edilirler. Ray uçlarındaki delik sayısına göre 4 veya 6 delikli olurlar. Bağlantı sırasında rayın gövdesine oturmazlar, 5-6 mm boşluk kalacak şekilde bağlanırlar. Cebire bulonlarına rağmen ray uçlarının genleşebilmesi için bulon delikleri ile ray delikleri farklı çapta delinir. Cebireler 2-3 yılda bir sökülerek yanakları tel fırça ile fırçalanarak temizlenmeli, iyi cins bir yağla yağlanarak yerlerine takılmalıdır.

Cebirelerde iki ray arasına, sıcaklık değişiminden kaynaklanan uzunluk değişimlerini mümkün kılmak için dilatasyon payı bırakılır. Daha önce cebireli bağlantı yaygın kullanılmasına rağmen günümüzde yaygın kullanılmamaktadır.

Cebire Bulonları

Cebire bulonları baş, gövde, ve somundan oluşmaktadır. Yola takılırken bulonun somun kısmı yol içerisine gelecek şekilde bağlanır. Bu durum yol kontrolünde kolaylıkla görülebilmesini sağlar. Cebire bulonları fazla sıkılmamalı ve laçkalaşmasına izin verilmemelidir.

Cebire bağlantıları yolcu konforunu düşürür, tekerlek ve rayın aşınmasına ve yorulmasına neden olur. Ayrıca cebire yerlerinde sürekli kot düşmesi olduğu için bakım masrafları uzun kaynaklı raylara göre yüksektir. Almanya Demiryolları (DB AG)'na göre uzun kaynaklı raylar cebireli hatta göre yıllık ortalama 520.5 $/km maliyet tasarrufu sağlar. Uzun kaynaklı raylarda ise işletme hızı daha yüksek, yolcu konforu daha fazla, ve hat kalitesi daha yüksektir. Kaynaklı uzun boylu rayların genleşme veya kısalmasına, rayla traversi bağlayan elemanlarla traversle balast arasındaki sürtünmeye ile tamamen karşı konulur.

2.4.2 Ray-Travers Bağlantısı

Klasik ray travers bağlantı malzemeleri şunlardır:

1. Seletler
2. Kranpon
3. Krapolar
4. Krapo bulonları

5. Tirfonlar
6. Ergolar
7. Rondelalar

Ahşap Traverslere Bağlantı

Kranpon çivisinden önce, rayları traverslere tutturmak için çeşitli kama ve takozlar kullanılmış, ardından kranpon çivisine geçilmiş ve uzun yıllar bu uygulamaya devam edilmiştir. Kranpon çivisi; üst kısmında ray tabanına basan bir tırnağı, gereğinde sökülme kolaylığı sağlaması için iki yanında çıkıntısı olan, uç kısmı çakılma kolaylığı sağlaması için kama şekline getirilmiş çelik bir elemandır. Üzerinde diş bulunmadığından ahşap traverste uzun süre bağlantıyı sağlayamadığı ve ray travers bağlantısını tehlikeye soktuğu için tirfon sistemler geliştirilmiştir. Tirfon, ray travers bağlantısında seletsiz ve seletli olmak üzere çok değişik sistemlerde kullanılmıştır.

Demir Traverslere Bağlantı

Ahşap traverslere olduğu gibi demir traverslere bağlantı da bir çok şekillerde yapılmaktadır. Bunların içinde en çok kullanılan sistem "ergo-krapo-bulon" sistemidir. Bağlantıda ergo, krapo, rondela ve bulon olmak üzere dört parça kullanılmıştır. Ergo rayın yanal hareketini, krapo rayın düşey hareketini engeller ve tek katlı rondela da bulon somunun gevşemesini önler.

Beton Traverslere Bağlantı

Rayların betonarme traverslere bağlantısı genellikle traversin yapılması sırasında traversin içine konulmuş ortasında bir delik olan sert ağaçtan takozlar ya da bu takozların yerine ortasında dişli deliği olan metalik gömlekler aracılığıyla sağlanır. Ray selet üzerine tirfonlu bulon ve krapo ile bağlanır. Krapo üstüne çift katlı rondela ve somun takılır. Yeterli faydayı sağlamak için yaylar arasında 1-1.5 mm arasında bir aralık bırakılmalıdır.

2.4.3 Yeni Ray-Travers Bağlantı Sistemleri

Bir ray bağlantısında olması gereken özellikler şunlardır:

1. Sürekli etki eden ulaşım zorlanmalarına dayanabilmeyi sağlamak için ray ile travers esnek ve kesintisiz şekilde birleştirilmelidir,

2. Uzun kaynaklı rayda ray kırılmasına ve tehlikeli bir kırılma boşluğu oluşmasına karşı yüksek dirence sahip olmalıdır,
3. Gittikçe artan ulaşım yoğunluğu nedeniyle bakım gerektirmez olmalıdır,
4. Mümkün olduğu kadar az sayıda parçadan oluşmalı, montajı ve demontajı gerek elle gerekse makine ile kolay yapılmalıdır,
5. Yazın rayların yoğun ısınmasıyla bir hat eğrilmesi olasılığına karşı uzun kaynaklı rayda yeteri kadar yüksek burulma direnci sağlamalıdır.

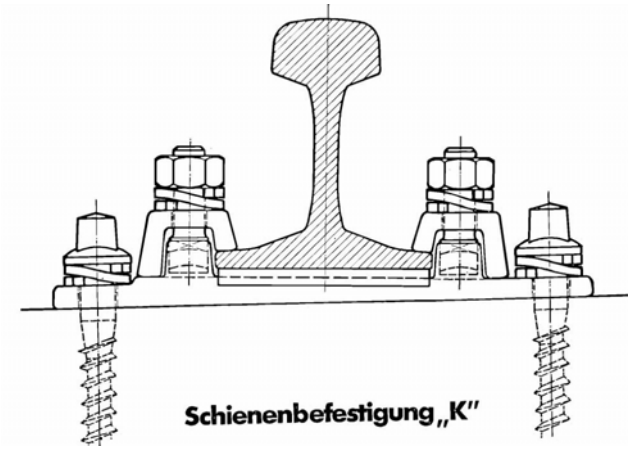
Ülkemizde kullanılan bağlantı sistemleri şunlardır:

1.Yarı elastik bağlantı sistemi (K tipi bağlantı)

2.Elastik bağlantı sistemi (HM tipi bağlantı)

K Tipi Bağlantı Sistemi

Demiryollarımızda en yaygın olarak K tipi bağlantı sistemi kullanılmıştır(Şekil 2.1). Ahşap traverslerde 4 tirfonla ve beton traverslerde 2 tirfonla selete bağlanır. Ahşap traverslerde selette eğim varken, beton traverslerde eğim traverse üretim aşamasında verilir. Raylara bağlantı krapo, krapo bulonu ve çift katlı rondela ile sağlanmaktadır.



Şekil 2.7 : K Tipi Bağlantı Sistemi

Ancak, K tipi bağlantı sistemi her ne kadar yarı elastik bir sistem olarak anılmakta ise de gerçekte rijit bir sistemdir. Bu sistemin trafik altında meydana gelen vibrasyondan dolayı bağlantı malzemelerinde oluşan, gevşemeler nedeniyle yol tamiratını bozduğu; seletlerin eğilmesine, kırılmasına, rayların aşınmasına, eğilmesine, ondülasyon oluşmasına neden olduğu, yollarda küçük malzeme bakımına titizlik gösterilmediği takdirde dereyman olayına neden olmaktadır.

Elastik Bağlantı Sistemi

Klasik bağlantı sistemlerinin hepsi zamanla laçkalaşmakta ve önemli bakım ve onarım sorunlarını çıkarmaktadır. Bunun başlıca nedeni, üstyapının elastikiyeti dolayısıyla her dingil geçişte düşey deplasmanlar yapması, buna karşılık bağlantılarının, rijit olmaları yüzünden bu deplasmanlara uyamamasıdır.

1920 yıllarında geliştirilen K tipi bağlantı yukarıda bahsedilen beklentilere iyi cevap verebiliyordu, zira nervürlü seletin büyütülmesi ve çift katlı rondelanın (Fe 6) kullanıma sokulmasıyla, gittikçe artan ulaşım yoğunluğu ve zorlamalarına uyum sağlamıştı. Ancak bu üstyapıda, tirfonların düzenli olarak kontrol edilmesi ve sonradan sıkıştırılması gibi bir dezavantaj bulunuyordu.

K tipi bağlantıda kanca bulonun yaklaşık 30kN kadar gerdirilmesi halinde, rondelanın germe yolu yaklaşık 7mm kadar olmaktadır. Ara selette kalıcı bir ezilme olması nedeniyle rondelanın yaylanma yolunda 1 mm kadar kayıp olması germe gücünde %66 civarında kayba neden olmaktadır.[3] Daha büyük ve kalıcı deformasyonlarda ise rayın gerdirilmesi bütünüyle kaybolur. Bunun sonuçları şunlardır:

-Yetersiz ray yürüme direnci,

-Tirfonların gevşemesi,

-Yoğun eğilme etkisi,

-Yanal güçler artık rayla nervürlü selet arasındaki ya da nervürlü seletle travers arasındaki sürtünme üzerinden değil de, tirfonun eğrilmesi üzerinden aktarıldıklarından dolayı tirfonun kopmasına neden olabilir, tirfon üzerine yoğun eğilme zorlaması biner.

Kalıcı deformasyonlarda güç kaybını asgaride tutmak için, germe gücü-yaylanma yolu diyagramının mümkün olduğunca düz bir gidişi olmalıdır. Vossloh gergi kıskaçlarında 1mm kadar bir yaylanma yolu kaybı, ray ayağının aşağı bastırma gücünde başlangıçtaki germe gücünün sadece maksimum 0,9 kN kadar azalması demektir, yani germe gücünün %7 kadar azalmasına neden olur(Şekil 2.2).

Demiryollarında ileri ülkeler rijit bağlantı sistemlerin yarattığı sakıncaları ortadan kaldırmak için bir çok projeler geliştirmişlerdir. Bunların günümüzde en güvenilir olanı, Almanya Münih Teknik Üniversitesi Demiryolu Enstitüsü'nün geliştirdiği HM

bağlantı sistemidir.(Şekil 2.3) Bu sisteme bu adın verilmesinin nedeni; Enstitü Kürsü Başkanı Prof.Herman MEIER'in, isim ve soy isminin baş harflerinden oluşmasıdır. Üniversitenin yapmış olduğu bilimsel çalışmaların uygulaması ise yine Almanya'nın Wedohl şehrinde, 100 yılı aşkın süreden beri ray travers bağlantısı üzerine deneyimli olan Vossloh firmasında yapılmıştır.1960'lı yılların sonlarında elde edilen sonuç o yıla kadar yapılan uygulamaların en mükemmeli olmuştur. Travers türlerine göre HM bağlantı sistemi değişik tiplerde olup, değişik numaralarla tanımlanmaktadır.



Şekil 2.8 : HM Tipi Bağlantı Sistemi

TCDD'de elastik bağlantı sistemine geçilmesi fikir olarak 1982 yılında doğmuş ise de bu sisteme ancak 1997 yılında fiilen geçilmiştir. TCDD şebekesinde şu an 816 km HM bağlantılı yol vardır, toplam demiryolu ağı içinde %9,4 lük bir payı vardır.

TCDD HM bağlantı sistemi olarak ön gerdirmeli beton traverslerde Vossloh Skl14 (W14) gergi kıskaçlarını kullanmaktadır. Son zamanlarda poz çalışmalarında K tipi bağlantı yerine HM elastik bağlantı sistemine geçmektedir.

Ülkemizde HM bağlantı sistemi olarak bilinen beton traverslerde kullanılan W14 ray bağlantı sistemi nervürlü seleti olmayan doğrudan bir ray bağlantı sistemidir.

Sistemin avantajları:

1. Sistemin tamamı ön montaj olarak fabrikada yapıldığından poz çalışmalarında bir ekipte 8 işçi tasarrufu sağlamaktadır. Şantiyede tekil parçaların dağıtımı yapılmaz ve böylece küçük demir eleman parçalarının kaybolma olasılığı ortadan kalkmış olur.
2. Bir W biçimindeki Skl 14 gergi kıskacı, rayı 2 serbest bağımsız işlev gören yüksek esneklikteki yaylanma kollarıyla tutturur, bu arada uzun kurdela biçimindeki orta kavisi, örneğin buraj ve dresaj gibi hat çalışmalarında olduğu gibi, rayın kalkmasını ya da devrilmesini engeller.
3. K tipinde bir traverste 4 tirfon, 4 krapo bulonu sıkma işlemi varken, bu sistemde sadece 4 tirfon mevcuttur.
4. Gerilimin dengelenmesi çok basittir. Tirfonların gevşetilmei ve hemen akabinde yeniden sıkıştırılması yeterlidir, yani bağlantının komple sökülmesi gerekmez bu da ulaşımın düşük hızda sürdürülebilmesini sağlar.
5. Selet ve selet altı plastik selet kullanılmamaktadır. Bağlantı malzemesi bir ray kanalı oluşturan açı kılavuz plakasına oturur.
6. Her kıskaç 13 mm. yaylanma yoluna sahip olmakla birlikte ray tabanına 10 kN bir germe gücü uygulamaktadır. Bu da ray-travers temasının hiçbir zaman ortadan kalkmasına müsaade etmemekte ve vuruntuyu önlemektedir. Kesintisiz kaynaklanmış rayda ray kırılması olmuşsa, tehlikeli bir kopma boşluğu aralığı oluşmasını engeller.
7. K tipi sisteme göre çok hassas bir travers üretimi gerektiğinden, traversin yola yansıttığı kusurları minimize etmektedir.
8. Trenlerden gelen dinamik yüklerin yarattığı düşey ve yanal kuvvetler hiçbir zaman tirfonu etkilememekte, bu yükler gergi kıskacının omuzları ve açı kılavuzu aracılığı ile doğrudan traverse iletilmekte, tirfon, tespit edildiği noktada hiçbir şekilde gevşeme ve eğilmeye uğramamaktadır. Tirfon sadece çekme şeklinde zorlanır.
9. Yaylanma kollarının çok yüksek olan sürekli dayanıklılığı çok önemlidir, bu özellikle yumuşak ara selet kullanıldığında raya 2mm kadar dinamik bir hareket sağlamaktadır.

10. Sistem su ve çamur içerisinde bırakılmamak şartıyla sınırsız bir ömre sahiptir. 30 milyon titreşim yaptırılan gergi kıskacının hiçbir deformasyona uğramaması bunun belirgin ispatıdır.
11. TCDD, küçük malzeme bakımından travers başına yılda 1 ABD Doları tasarruf sağlayabilir, yani bir kmlik bir hatta yılda 1600 $ tasarruf sağlayabilir.

Vossloh bağlantılarının Avrupa'da ki pazar payı %80 civarındadır. Ülkemizde de TCDD'nin dışında hafif raylı sistemlerde bu bağlantı tipleri kullanılmaktadır.

Günümüzde dünyada en yaygın olarak Vossloh, Pandrol ve Nabla esnek bağlantı tipleri kullanılmaktadır.

Balastlı ve balastsız hatlarda kullanılan Pandrol PR ve e seri klipsleri vardır. Ülkemizde Ankara metrosunda e tipi klipsler kullanılmıştır. En son bağlantı tipi olarak fastclip dünyada kullanılmaya başlamıştır. Fastclipin germe gücü 10kN ve yaylanma yolu 10mm dir. Pandrol bağlantılarının bakım sırasında değiştirilmesi çok güçtür. Bağlantının traverse ön montajı özel aletlerle mümkündür.

Ülkemizde Taksim-4.Levent metro hattında Nabla RN bağlantı malzemesi kullanılmıştır. Bağlantının traverse ön montaj imkanı yoktur ve ayrıca bakım çalışmaları sırasında rayın boşa çıkarılması için tirfonun tamamen çıkartılması gerekir. Ama rayın boşa çıkarılması için vossloh bağlantılarında tirfonun 4-5 diş gevşetilmesi yeterlidir. Nabla bağlantının germe gücü 10-13 kN arasında ve yaylanma yolu da 5 mm civarındadır.

3. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

İstanbul'da kent içi raylı sistemler İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve TCDD işletmesindeki hatlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

TCDD'nin işletmesindeki banliyö hatlarının Sirkeci-Halkalı kesimi 27,6 km, Haydarpaşa-Gebze kesimi ise 44,2 km uzunluktadır. Sirkeci-Halkalı banliyö hattında 18 istasyon , diğerinde ise 25 istasyon bulunmaktadır.Her iki hat elektrikli olup sinyalizasyon sistemine sahiptir.Sirkeci-Halkalı arasında günde 149 tren , diğer hatta 110 tren çalıştırılmakta olup doruk saatlerdeki hizmet aralıkları 10 dakikadır.Sirkeci-Halkalı hattında 4 vagondan oluşan bir ünitenin normal koşullardaki yolcu kapasitesi 740 yolcu olup doruk saatlerde 2 ünitelik diziler çalıştırılmaktadır.Haydarpaşa-Gebze hattında 3 vagondan oluşan bir ünitenin normal koşullardaki yolcu kapasitesi 570 yolcu olup doruk saatlerde 3 ünitelik diziler çalıştırılmaktadır. Banliyö hatlarında taşınan yolcu sayıları, kapasite yetersizliği ve hizmet niteliklerinin düşüklüğü nedeniyle sürekli azalmaktadır.



Şekil 3.1: İstanbul'daki Mevcut Kent İçi Raylı Sistemler

İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesindeki hatları İ.E.T.T ve İstanbul Ulaşım A.Ş işletmektedir. Karaköy'deki Tünel ve İstiklal Caddesindeki Nostaljik tramvayı

İ.E.T.T, Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı, Kabataş-Zeytinburnu Cadde Tramvayı, Taksim-4.Levent İstanbul Metrosu, Kadıköy-Moda Nostaljik Tramvayı, Eyüp-Piyerloti Teleferiği ve Taşkışla-Maçka Teleferiği hatlarını İstanbul Ulaşım A.Ş işletmekte ve bakımını yürütmektedir.

Bu çalışmada İstanbul Ulaşım A.Ş işletmesindeki Aksaray-Havalimanı Hafif Metrosu, Kabataş-Zeytinburnu Cadde Tramvayı ve Taksim-4.Levent İstanbul Metrosuna detaylı olarak değinilecektir.

3.1 Mevcut Kent İçi Raylı Sistemler

3.1.1 Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı

İSTANBUL ULAŞIM A.Ş.'nin işletmesini yaptığı hatlardan biri olan Hafif Metro; Aksaray-Esenler-Yenibosna–Havaalanı arası 1989 yılında kısmen açılmış, zaman içinde yapılan yatırımlarla yeni güzergahlar sisteme dahil edilmiş, son olarak 13 Aralık 2002 tarihinde Dünya Ticaret Merkezi ve Havaalanı istasyonlarının açılmasıyla da bugünkü halini almıştır.

Tablo 3.1 : Hafif Metro Hattı Hizmete Giriş Tarihleri

Aksaray-Kartaltepe	11.03.1989
Kartaltepe-Esenler	24.12.1989
Otogar-Zeytinburnu	31.01.1994
Zeytinburnu-Bakırköy	07.03.1994
Bakırköy-Ataköy	26.07.1995
Ataköy-Yenibosna	25.08.1995
Bahçelievler	15.01.1999
Yenibosna-H.Alanı	13.12.2002



Şekil 3.2: Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı

Hafif Metro hattının uzunluğu 20 km'dir. Aksaray, Emniyet, Ulubatlı, Bayrampaşa, Sağmalcılar, Kartaltepe, Otogar, Esenler, Terazidere, Davutpaşa, Merter, Zeytinburnu, Bakırköy, Bahçelievler, Ataköy, Y.bosna, DTM CNR-EXPO ve Havaalanı olmak üzere toplam 18 istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonların 6 tanesi tünel (Aksaray, Emniyet, Ulubatlı, Bakırköy, Bahçelievler, Havaalanı), 3 tanesi viyadük (Davutpaşa, Merter, DTM-CNR EXPO), 9 tanesi de (Bayrampaşa,Sağmalcılar, Kartaltepe, Otogar, Esenler, Terazidere, Zeytinburnu, Bahçelievler, Ataköy, Yenibosna) hemzemin şeklindedir.



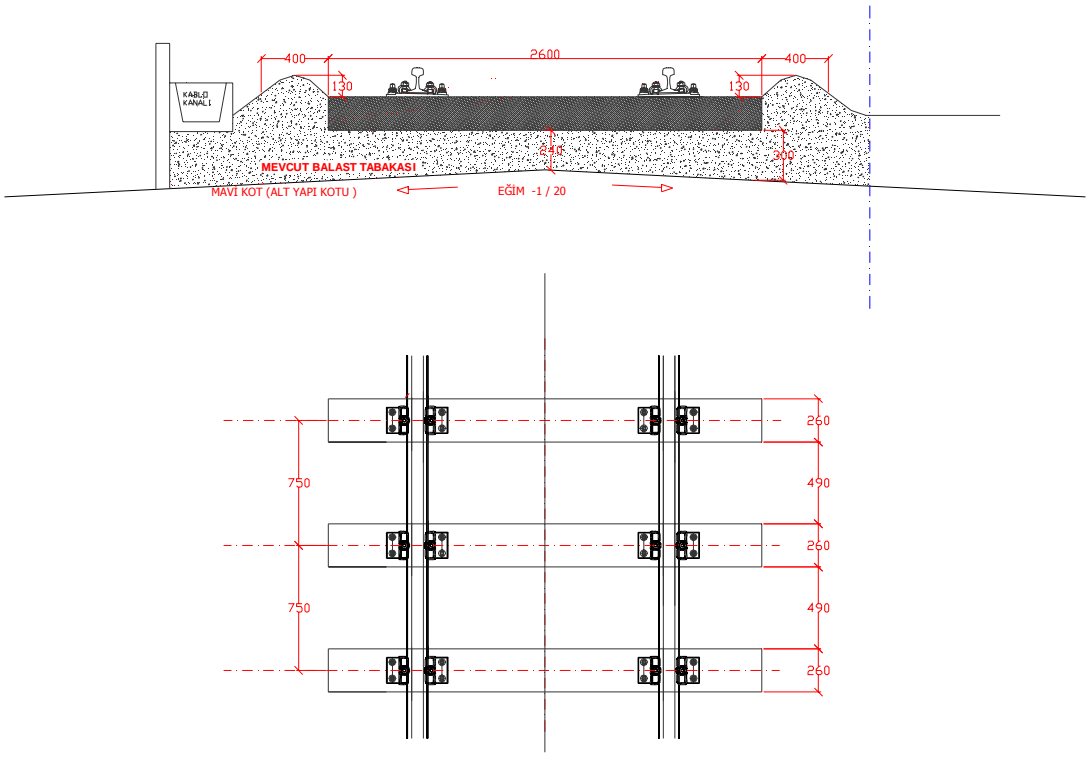
Şekil 3.3 : Hafif Metro Hattındaki Kullanılan Araçlar

Hatta kullanılan araç tipi ABB marka olup, işletmeyi yapan şirket olan İstanbul Ulaşım AŞ bünyesinde toplam 105 adet mevcuttur. 2'li, 3'lü ve 4'lü diziler halinde çalıştırılan araçlar, manuel sürüş sistemine sahiptir. Elektrikli ve pnömatik frenleme sistemlerine sahip ABB araçlarında disk ve ray freni mevcuttur. 75 kW motor gücüne sahip araçlarda serbest uyartımlı DC motor mevcuttur. Bogi motorları seri bağlı olup aracın gücü 300 kW'dır. Hattın tahrik sistemi katener olup 750 VDC besleme voltajı mevcuttur.Hafif Metro araçlarının sevk ve idaresi Esenler depo alanındaki Kumanda merkezinden yapılmaktadır. Ayrıca bu araçların bakım ve tamiri de Esenler'de ki depo alanı içinde bakım atölyesinde yapılmaktadır.

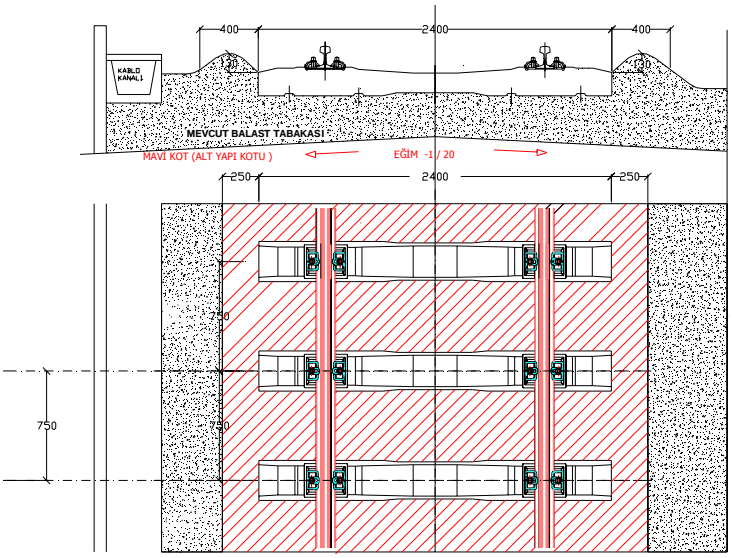
Hafif Metro Hattının Üstyapısı

Hafif Metro hattı 2 aşama olarak inşa edilmiştir.1.Aşama olarak Aksaray-Esenler arası hat tamamen balastlı bir üstyapı seçilerek inşa edilmiştir. 2.Aşama olan Otogar-Havalimanı arası ise Yenibosna'ya kadar balastlı, devamındaki Yenibosna–Havalimanı arası ise betona tespitli bir şekilde inşa edilmiştir.

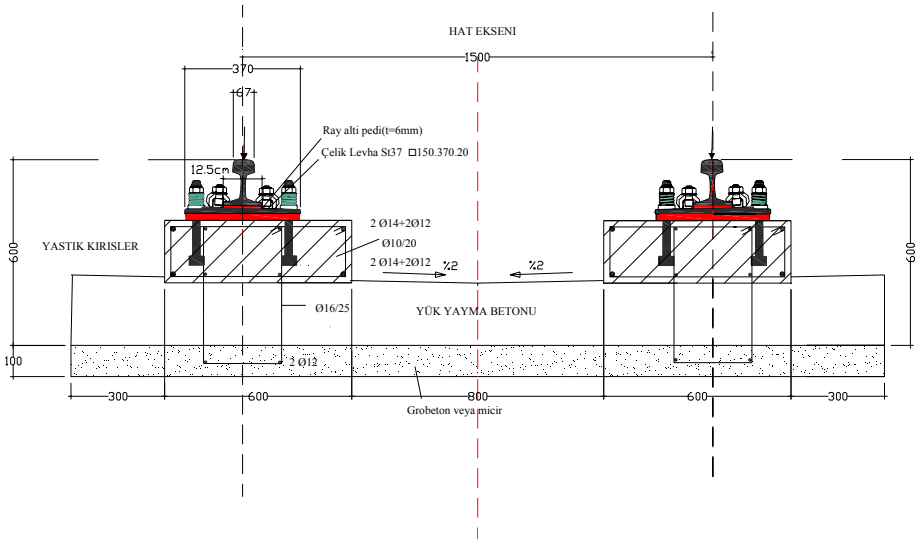
Balastlı üstyapıda kullanılan S49 rayı B55 beton travers üzerine Vossloh bağlantı sistemi ile monte edilmiştir. Balastlı olan kısımda minimum 40 cm, maksimum 60 cm kalınlığında sert kalker olan balast kullanılmıştır. Peronlarda, viyadüklerde ve makas bölgelerinde ise ahşap travers kullanılmıştır. Ahşap traverslerde K tipi bağlantı malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 3.4 : Hafif Metro hattında ahşap traversli üstyapı kesiti



Şekil 3.5 : Hafif Metro Hattında Beton Traversli Üstyapı Kesiti



Şekil 3.6 : Hafif Metro Hattında Betona Tespitli Üstyapı Kesiti

3.1.2 Tramvay

İstanbul Ulaşım AŞ.'nin işletmesini yaptığı hatlardan biri de Cadde Tramvayıdır. Tramvay İşletmesi ,Tarihi Yarımadanın ulaşım misyonunu üstlenmede önemli bir fonksiyona sahiptir.Günün her saati yoğun bir yolculuk talebiyle karşı karşıya olup bunu sağlamak için işletmeciliğin tüm argümanlarını ve yöntemlerini teknik, idari, güvenlik ve yolcu memnuniyeti açısından en üst düzeyde uygulayacak şekilde organize olunmuştur.

05:30'dan 24:30'a kadar non-stop çalışma esasına göre çalışan ,geri kalan saatlerde de bakım ,arıza ve hasılat toplama ile sürekli faaliyet içinde olan bir işletmede kontrol , iyileştirme , bakım ve modifikasyon süreklilik gerektirmektedir. Bir anlamda İstanbul'un nabzı tramvay güzergahında atmaktadır.

Tablo 3.2 : Cadde Tramvayı Hizmete Giriş Tarihleri

Aksaray – Beyazıt	13/06/1992
Sirkeci - Beyazıt	10/07/1992
Aksaray – Topkapı	29/10/1992
Topkapı – Zeytinburnu	10/03/1994
Eminönü – Sirkeci	20/04/1996
Fındıklı-Eminönü	2002

İşletme Verileri

İstasyon sayısı : 20 adet

Vagon Sayısı : 49 adet

Yolcu taşıma kapasitesi :12.000 yolcu/saat(tek yönde)

Min. Sefer aralığı : 2 dak 30 sn

İşletme Hızı : 21 km/h

Günlük Yolcu Sayısı (h. içi): 140.000

Sefer Saatleri :05.30 - 24.00

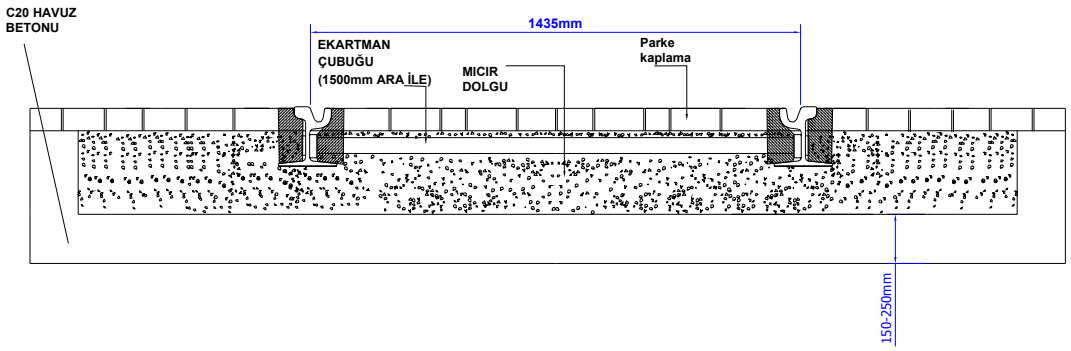
İstasyonlar:

(Zeytinburnu, Mithatpaşa, Akşemsettin,Seyitnizam, Merkezefendi, Atatürk Ö.Yurdu, Cevizlibağ, Pazartekke, Çapa, Fındıkzade, Haseki, Yusufpaşa, Laleli, Üniversite, Beyazıt, Çemberlitaş, Sultanahmet, Gülhane, Sirkeci, Eminönü, Karaköy, Tophane, Fındıklı, Kabataş)

Sinyalizasyon Sistemi : Yaya ve kara yolu kavşaklarına , tramvaya öncelik sağlayan talepli sinyal sistemi getirilmiştir. Tramvay araçlarının şu an için bir depo sahası olamayıp, Pazartekke'de geçiçi bir bakım atölyesi vardır. Ağır bakıma getirilecek araçlar Esenler'deki merkeze gitmektedir.

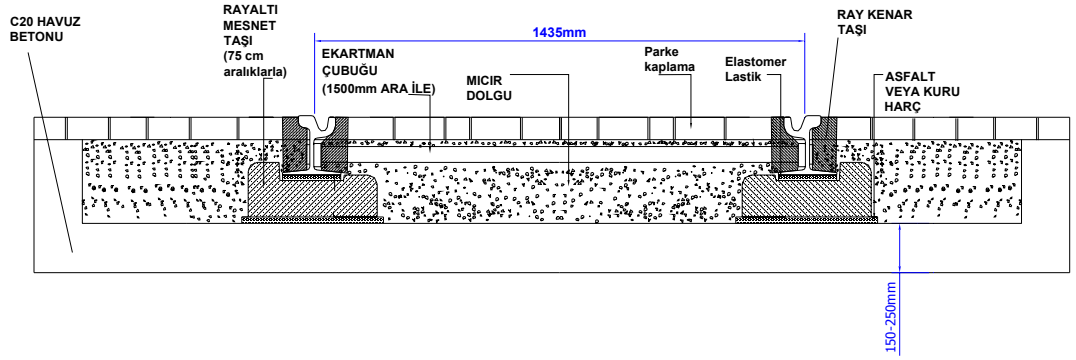
Tramvay Hattı Üstyapısı

Tramvay Hattı inşa edilirken aşama aşama inşa edilmiş ve işletmeye açılmıştır. İnşa sürecinde tramvay hattı için ayrılan güzergahta hızlı bir inşaa sürecini girilmiş; fakat uluslararası standartlara uymayan bir üstyapı tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu üstyapı tipi, mevcut şartlara cevap veremeyince çeşitli zamanlarda yapılan rehabilitasyon projeleri ile üstyapının kalitesi artırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.7 : Tramvay Hattı Klasik Üstyapı Kesiti

Yukarıda görülen enkesitteki üstyapı, demiryolu üstyapısına gelen yükleri karşılamamış ve mevcut üstyapı rayların altına 1,5 m aralıklarla mesnet taşı konularak daha stabil hale getirilmiştir.



Şekil 3.8 : Tramvay Hattı Üstyapı Kesiti(Ray Altı Mesnet Taşlı)

İşletme altında hatta yapılan bu üstyapı değişikliği, hem maliyet hem de işçilik açısından birçok zorluğu beraberinde getirmiştir. Yapılan bu değişiklikle hatta meydana gelen problemler azalsa da, üstyapı bakımları gün geçtikçe artmaya devam etmiştir. Bu nedenle tramvay hattında yeni rehabilitasyon projeleri hazırlanmış ve betona tespitli demiryolu üstyapısı mevcut üstyapı ile değiştirilmeye başlanmıştır. İlk başlarda karayolu araçları ile kesişen kavşaklarda kauçuk kavşak imalatına girilmiştir. Üstyapısı daha sıklıkla bozulan, daha sık bakım gerektiren bölgeler tespit

edilerek çim parkeli betona tespitli yeni bir üstyapı tipi tasarlanmıştır. Bu üstyapı tipinin uygulandığı rehabilitasyon projesi devam etmektedir. Bu proje sona erdiğinde şehrin işlek yerlerinden geçen tramvay hattı yeşil çevre dostu bir görünüme sahip olacaktır.

3.1.3 İstanbul Metrosu

Yapımına 1992 yılında başlanan ve Taksim –Levent arasında hizmet veren metro, 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete girmiştir. İstanbul ve İstanbulluya yakışacak şekilde bir konfora sahip olan Gayrettepe ve Levent istasyonlarında alışveriş merkezleri bulunmaktadır. Ayrıca,Taksim istasyonunda yolcuların uzun tünelleri yorulmadan katedebileceği yürüyen bantlar bulunmaktadır. İstanbul Metrosu hem inşaat tekniği olarak hem de güzergah alanı olarak deprem esnasında en güvenilir mekanlardan birisidir. 9 şiddetindeki bir deprem dayanıklı olarak inşa edilen Metro, aynı zamanda İstanbul'un en sağlam zeminli bölgesine kurulmuştur.



Şekil 3.9 : İstanbul Metrosu Üstyapı Resimleri

Tablo 3.3 : İstanbul Metrosu Hizmete Giriş Tarihleri

19 Ağustos 1992	Temel atıldı
12 Haziran 1994	Taksim - Şişli tünelleri birleştirildi.
8 Temmuz1994	Şişli - 4.Levent tünelleri birleştirildi.
30 Nisan 1995	Taksim - Şişli ve 4.Levent tünelleri birleştirildi.
03 Mayıs 1995	Halaskargazi caddesi trafiğe açıldı.
01 Temmuz 1996	Tünel kazı işlemleri tamamlandı.
11 Ocak 1999	Araçlar tünele indirildi.
25 Mart 1999	İlk deneme seferleri başlatıldı.
16 Eylül 2000	Taksim - 4.Levent Metro hattı hizmete açıldı

İşletme Verileri :

Hat Uzunluğu : 8.6 km

İstasyon sayısı : 6 adet

(Taksim, Osmanbey, Şişli, Gayrettepe, Levent, 4.Levent)

Araç Sayısı : 8 adet dizi = 32 vagon

Yolcu Taşıma Kapasitesi: 22.500 yolcu/saat (tek yön)

Min. Sefer Aralığı : 90 sn

İşletme Hızı : 40 km/h

Seyir Süresi : 12 dak.

Günlük Yolcu Sayısı : 140.000 (h.içi ortalama)

Sefer Saatleri : 06:15 – 24:30

Araçların tüm periyodik bakımları ve arızaları 4.Levent istasyonun 2. peronuna yapılan geçiçi atölyede giderilmektedir.

Metro İşletmesi:

Kumanda Merkezi ile Trenler arasında karşılıklı bilgi iletişim ortamı mevcut olup bu sayede trenlerin hızı, yeri, hızlanma ve durma ivmeleri, aralarındaki mesafe emniyetinin sağlanması, mesaj ve ses iletimi, kumanda merkezinden ve araç kabininden yolcu bölümüne anons imkanı, telsiz kanalıyla iletişim, araç takip ve kumanda sistemi, istasyonlardaki ve manevra sırasındaki gecikmelerin hattın içinde tolere edilebilmesi, uzaktan kumanda ile yol tanzimi, önceden hazırlanan tarifelerle anında yeni sefer düzenine girilmesi otomatik olarak sağlanmakta, sistem geniş bir işletme perspektifi sunmaktadır.

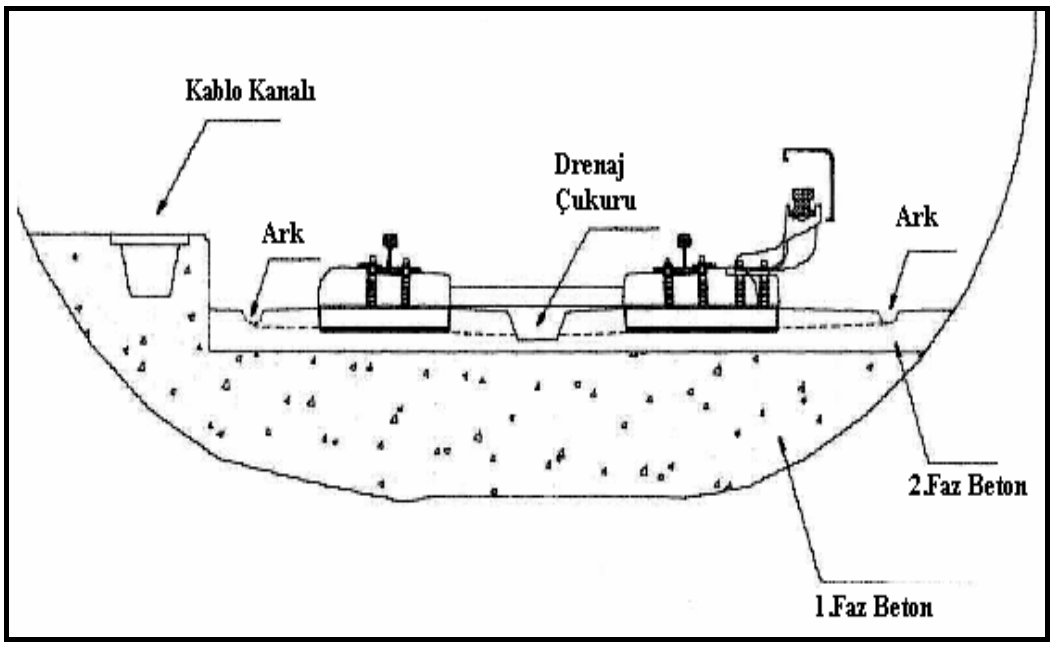
Tüm sistem her aşamada ve sahada bilgisayar ortamında kumanda, kayıt, görüntüleme sistemleri ile donatılmıştır. Sistemde yangın, sabotaj, bomba, vb. insan hayatını ilgilendiren acil durumlara karşı uyarı, önlem, kontrol ve tahliye ekipmanları, senaryoları mevcut olup bu tür olaylara karşı önceden hazırlıklı olunması amacıyla tüm işletme ve teknik birimler eğitimli ve bilinçlidir. Tüm teknolojik donanımlara rağmen sistem hiçbir zaman insandan bağımsız düşünülmemekte ve yolcu güvenliği açısından insan psikolojisi de hesaba katılarak insan insiyatifinde olarak birçok ekipmanla takip, kayıt ve kontrol mekanizması devrede tutulmaktadır.

Tren hareketleri dışında teknolojinin sunduğu ekipmanlar ile yolcuya konfor ve güvenli bir ortam sunulmuştur. İşletme bu anlamda sorumluluklarının bilincinde olarak bakım, arıza, eğitim ve uygulama prosedürlerini aktif düzeyde tutmaktadır. Bu konuda yolculara düşen görev ve sorumluluklar anonslarla sık sık tekrarlanmaktadır. Herhangi bir olumsuzluk durumunda yolcuların emniyet, uyarı ve bilgi alma amacıyla kullanacakları ekipmanlarda, sistem içinde çeşitli noktalarda mevcuttur. Ayrıca yolcuların metroda geçirdikleri kısa zamanın bile görsel ve estetik açıdan olabildiğince canlı ve huzurlu geçmesi için sergi, animasyon, konferans vb. sanatsal ve teknolojik etkinlikler de sergilenmektedir.

Üstyapısı:

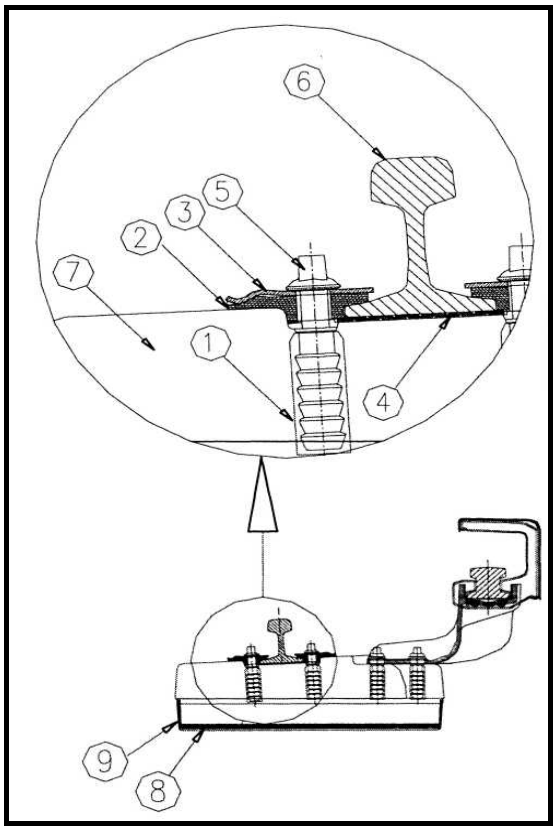
Üstyapı sistemi makaslar dışındaki tüm hat için ikiz blok beton traversler, makaslar için ahşap traversler ve traverslerle ilişkili olan elastik travers çizmeleri ve travers altı mikroselüler yastıklar ve elastik ray bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Traversin alt kısmını kaplayan elastik travers çizmesi, beton plaka ve travers arasındaki teması engelleyerek, traversin kolay bir şekilde yeniden çıkarılmasını

ağladığı gibi traversin direkt olarak betonla temasına engel olarak kaçak akım oluşmasını engeller. Traversin alt kısmı ve elastik travers çizmesi arasına yerleştirilen mikroselüler elastik ped, trenin seyri sırasında zeminden kaynaklanan gürültüyü azaltma işlevi görür. İstanbul Metrosunda kullanılan bu sisteme STEDEF V.S.B. (Stedef Balastsız Üstyapı) denir. Sistemin en önemli avantajı; bakım masraflarının az olması ve 30-250 hz arasında oluşan, özellikle çevredeki yapılara rahatsızlık veren titreşimleri ray altı pedi ve mikroselüler ped olan travers altı pedleri vasıtasıyla sönümlendirebilmesidir.



Şekil 3.10 : Üstyapı Kesiti

Ray hattı yatağının bir bölümünü oluşturan drenaj sistemi, ray tespitleme bölgesinde biriken suların tahliye edilmesini sağlayan çukur ve kanallar içerir ve böylece sızıntı ve derz bölgelerinden gelen su birikintilerini önler.



No	Adet	Adı
1	4	Plastırail Dübel
2	4	Nabla Obal
3	4	Nabla Bıçağı
4	2	Oluklu Ray Altı Pedi
5	4	Plastırail Vida
6	2	Ray
7	1	Travers
8	2	Elastomer Ped
9	2	Travers Çizmesi

Not: Şekil 3.ray monte edilmiş uzun traverstir. Miktarlar normal travers üzerindeki parçaların adetidir.

Şekil 3.11: Stedef V.S.B Sistem - Beton Travers Üzerindeki Ray Montajı

3.2 İnşaatı Devam Eden ve Proje Aşamasındaki Raylı Sistemler



Şekil 3.12 : İnşaatı devam raylı sistemler

3.2.1 Metro

İstanbul Metrosunun halen yapımı devam eden Taksim – Yenikapı arasındaki kısmının uzunluğu 5,2 km.dir.Bu projenin inşaat kısımı bitmek üzere olup, Haliç Köprü geçişinde Anıtlar kurulu ile problemler bulunmaktadır.Bu projenin elektromekanik kısmı da ihale edilmiş olup, Haliç probleminin çözümü beklenmektedir.Bu projenin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Toplam Uzunluk :5,206 Km

Haliç Metro Köprü Uzunluğu :892m,

Tünel Derinliği :Min:5,42m, Max: 43.84m

Güzergah : İşletmeye açılacak olan 4.Levent – Taksim hattının devamıdır.Mevcut Taksim İstasyonundan başlar Şişhane mevkiinden geçerek Unkapanı köprüsü yanından yeni yapılacak köprü ile Unkapanı'na ulaşarak Yenikapı'ya varır.

Uzunluğu: 4,178 km (Derin Tünel:4,108km, Aç-Kapa:70m, Haliç üstünde Köprü:892m)

İstasyon: 4 adet (Şişhane, Unkapanı, Şehzadebaşı, Yenikapı İstasyonu)

Depo Alanı: 4.Levent Geçici Depo Alanı kullanılacaktır.

Kapasitesi: 70,000 yolcu/saat

Max Hız: 80 km/saat

İşletme Hızı: 40 km/saat

Araç Sayısı: 92 adet

Enerji Temini: 3. Ray

Trafo Merkezi: 3 adet.

Sinyalizasyon: Otomatik Tren Kontrolü

3.2.2 Hafif Metro

İstanbul'da şu an yapımı devam eden (beklemede olan) iki hafif metro hattı vardır. Biri Aksaray–Yenikapı Hafif Metrosudur. Mevcut Hafif Raylı Sistemin 550 m.'lik Aksaray-Yenikapı bağlantısı da kazıda tarihi eser çıkması nedeniyle Anıtlar kurulundan onay beklemektedir.

Diğeri de Otogar-Bağcılar-Mahmutbey hattıdır. Bu hattın önce yapımına başlanmıştır. Bu hat iki aşamalı olarak inşaa edilmesi düşünülmektedir. 1.Aşama Otogar'dan Mahmutbey'e kadar olan kısım, 2. Aşamada ise Mahmutbey'den İkitelli başak konutları ve Olimipiyat köyüne kadar olan kısmın inşaatı yapılacaktır.

Bu projenin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Otogar-Bağcılar-Mahmutbey Raylı Sistem Projesi (1.Kısım):

Güzergah : Mevcut LRT hattı üzerindeki Otogar İst.'dan başlar. Esenler-Bağcılar, Kirazlı ve D.80 otoyolu yakınındaki, Mahmutbey'e ulaşır.

Uzunluğu : 7,780km. (Hemzemin:310m, Kazıklı Duvar:163m, Duvarlı Dolgu: 509m, Yarma:117m, Yarmada Duvar:370m, İstinat Duvarlı:147m, Viyadük:960m, Delme Tünel :3871m, Aç-KapaTünel:1084m, Köprü:63m, Üst Geçit::10m ve Sol hatta Toprakarme Duvar:126m, Ankrajlı Kazıklı Duvar:23m)

İstasyon : 7 adet (Esenler, Esenler Sondurak, Çinçin, Bağcılar Merkez, Bağcılar Batı, Kirazlı, Mahmutbey yolu)

Depo Alanı : Mevcut Ferhatpaşa deposu

Kapasitesi : Pik saatte 32,000 kişi/saat/ yön (İkitelliden Bağcılar'a 70,000 Yolcu/saat/yön, Bağcılar'dan Otogara 40,000 Yolcu/saat/yön)

İşletme Hızı : 35 km/saat

Sefer Süresi : 15 dak.

Sefer Aralığı : 2.5 dak.

Araç Sayısı : 50 adet (Mahmutbey-İkitelli dahil)

Enerji Temini : 750 volt DC Katener (Gelecekte 8 araçlı metro dizisine imkan verecek 1500 volt DC'ye dönüştürülecek.)

Trafo Merkezi : 5 adet.

Sinyalizasyon : Sabit bloklu ray sistemli

3.2.3 Tramvay

İstanbul'da inşaatı devam eden iki cadde tramvayı hattı vardır.Vezneciler – Sultançiftliği hattı öncelikli bir proje olup Hazinedaroğlu-Transstroy-Ünüvar firmaları tarfından yapımına başlanmış, iki yıl içinde bitirilmesi planlanmaktadır.

Vezneciler-Sultançiftliği Cadde Tramvayı

Güzergah: Vezneciler'den başlayarak Fevzipaşa,Rami Kışla,Eski Edirne Asfaltı caddelerini izleyerek Sultançiftliği'ne ulaşmaktadır.

Uzunluğu: 15.800 km.

İstasyon: 22 adet (Vezneciler, İtfaiye, Fatih, Yavuz Selim, Karagümrük, Edirnekapı, Demirkapı, Topçular, Rami, Uluyol, Sağmalcılar, Çukurçeşme, Ali Fuat Başgil, Yeni Evler, Karadeniz Mah.,Spor Salonu, Baştabya, Hacı Şükrü, Yeni Mahalle, Sultançiftliği, Cebeci, Mescidi Selam)

Depo Alanı: Sultançiftliği mevkiindeki alan (150 000 m2).

Kapasitesi: Pik saatte 15,000 yolcu talebi kişi/saat/ yön,

İşletme Hızı: 22 km/saat



Şekil 3.13 : Vezneciler-Sultançiftliği Cadde Tramvayı

Sefer Aralığı: 2 dak.

Araç Sayısı: 96 adet

Enerji Temini: 750 volt DC Katener

Trafo Merkezi: 8 adet.

Sinyalizasyon: Sabit zamanlı tramvay öncelikli

3.2.4 Marmaray Projesi

İstanbul'un her iki yakasındaki mevcut banliyo hatlarını birbirine bağlamak , diğer geçişlere de imkan sağlamak amacıyla yapımı planlanmaktadır.İstanbul'un tarihi merkezindeki ana yerleşim ve ticari merkezlerinin daha güneydeki bir boğaz geçişi ile Asya yakasına bağlanması yolculara ve ekonomiye büyük avantajlar sağlayacaktır. Marmaray projesi bu amaçla önerilmektedir.

Temelde proje, demiryolu tesislerini içeren bir boğaz geçiş projesi olup, Yenikapı'yı Sirkeci ve Üsküdar yolu ile Söğütlüçeşmeye bağlamaktadır. Mevcut hattın 3 şerite çıkartılarak , sistemin yüzeysel metroya dönüştürülmesi sistemin amaçlarındandır.Bu geçiş boğaz tabanına açılan bir hendek içine yerleştirilen demiryolu tüp tüneli ile gerçekleştirilecektir.

Boğaz Demiryolu Geçişi yaklaşık olarak 13.3 km uzunluğundadır; 8.6 km'si karada delme tünel şeklinde, 1.8 km'si Boğaz altında batırma tüp tünel ve geri kalan 2.3 km'si ise iki uçta aliymanın mevcut demiryolu hatlarıyla birleştiği yerde hemzemin olarak yapılacaktır.

Marmaray Projesi 75.000 yolcu/saat/yön değerinde bir kapasite sağlarken, 37 istasyonu olacak ve boğaz geçiş bağlantısına imkan sağlayacaktır.

Güzergah : Avrupa yakasında Kocamustafapaşa mevkiinden başlayıp, Yenikapı üzerinden Sirkeci'ye ulaşır. İstanbul Boğazını Sirkeci-Üsküdar arasında birleştirerek Asya yakasında Üsküdar hattı ile Söğütlüçeşme'ye varır.

Uzunluğu : 12.466km (Denizde Batırma Tüp tünel: 1770m - Aç-Kapa: 1588m Derin Tünel : 5716m)

İstasyon Adedi: 5 (K.M.Paşa-Yenikapı-Sirkeci-Üsküdar-Söğütlüçeşme)

Depo Alanı : Mevcut Haydarpaşa Depo Sahası

Kapasitesi : 57,000 kişi/gün/çift yön

Sefer Süresi : 40 dak.

Sefer Aralığı : 2 dak.

Enerji Temini : 25KV AC Katener

Maliyeti : 2.5 MİLYAR US$

3.2.5 Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi İstanbul'un Anadolu Yakasında planlanmıştır. 22 kilometrelik güzergah Kadıköy meydanında başlamakta ve D100 (E5) karayolu koridorunda orta refüjü takip ederek delme tünellerle Kartal'a ulaşmaktadır.

Sistem; boğazı gerek iyileştirilmiş bir vapur servisi ile gerekse Marmaray hattı ile geçen yolculara hizmet verecektir. Bu entegrasyon sayesinde, Avrupa Yakasına güvenli ve hızlı bir ulaşım sağlanacaktır.

Kadıköy-Kartal Raylı Sistem hattının 2010 yılında iki yönde saatte toplam 70.000 yolcuya hizmet vereceği öngörülmektedir. Yolculuk sürelerinde kazanılan zaman, günde 100.000 yolcu saatini geçmektedir.

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi, 100 otobüs ve 4.300 minibüs eş değerini doruk saatte D100 karayolundan çıkaracaktır. Bu, diğer karayolu araçlarına yaklaşık olarak %30 oranında daha fazla kapasite sağlayacaktır.

Kadıköy-Kartal Raylı Toplu Taşıma Sistemi 2010 yılında 32.000 yolcu/saat/yön değerinde bir kapasite sağlarken, 16 istasyonu olacak ve boğaz geçiş bağlantısına imkan sağlayacaktır. Büyük hacimli istasyonlarda yolcu transfer akışını kolaylaştırmak amacıyla, otobüs transfer kolaylıkları da dahil edilecektir.

Uzunluğu :22 km

İstasyon :15 adet

Depo Alanı :Orta İstasyonu yakınındaki alan

Kapasitesi :32,000yolcu/ saat/ yön

Max Hız :90 km/saat

İşletme Hızı :35 km/saat

Sefer Süresi :20.5 dak.

Sefer Aralığı :3.5 dak. (Doruk saatlerde)(Yoğun olmayan zamanda 5 dak, sabah erken ve akşam geç saatlerde 7dak.)

Araç Sayısı :132 adet

Enerji Temini :1500 volt DC Katener

Trafo Merkezi :8 adet.

3.2.6 Üsküdar-Ümraniye- Dudullu Raylı Toplu Taşıma Sistemi

Üsküdar-Ümraniye Raylı Toplu Taşıma Sistemi İstanbul'un Anadolu Yakasında planlanmıştır. 16.5 kilometrelik güzergah Üsküdar meydanında başlamakta, 6 km. boyunca (Capitol alış-veriş merkezini,Altunizade'yi, Çamlıca Tepesi'ni) yeraltından geçmekte ve Kısıklı Tüneli'ni takip etmektedir. Buradan sonra yeraltında Alemdağ caddesini takip etmekte ve daha sonra Nato Yolu'nu takiben güney'e yönelmekte, Dudullu yakınlarından geçerek Şile yolu kavşağında son bulmaktadır.

Sistem, İstanbul Boğazı'nı Üsküdar kalkışlı vapurlar ile geçecek yolculara hizmet edecek ve ileride Yenikapı istasyonuna bağlanacak olan tüp tünelin Üsküdar'daki

istasyonuna doğrudan yolcu taşıyacaktır. Bu sayede Avrupa yakasına kolay ve hızlı bir ulaşım sağlanacaktır.

Üsküdar-Ümraniye hattının 2010 yılında iki yönde saatte toplam 32.000 yolcuya hizmet vereceği öngörülmektedir.

Üsküdar-Ümraniye Raylı Toplu Taşıma Sistemi 2010 yılında 22.000 yolcu/saat/yön değerinde bir kapasite sağlayacak, 13 istasyonu olacak ve ve yüksek hacimli istasyonların yolcu aktarım akışını kolaylaştırmak üzere otobüs aktarma tesisleri yapılacaktır.

Bu projenin Hafif Metro Sistemine göre projesi bitmiş olup, bu hat için bir diğer alternatifte Üsküdar ile Altunizade arasında kot farkının çok olmasından dolayı , lineer metro sistemi ile yapılması da düşünülmektedir.

Uzunluğu :16,440km. (Hemzemin:2,700km -Yükseltilmiş kılavuz yol:6,100km, Aç-Kapa Tünel:1,020km - Delme Tünel:6,560km)

İstasyon :13 adet (6 Yeraltı, 1 Hemzemin, 6 Yükseltilmiş)

Depo Alanı :Dudullunun ilerisinde,TEM-Şile Yolu kavşağı ve Alemdağ Caddesinin yanında

Kapasitesi :25,000 kişi/gün/tek yön,

Sefer Süresi :30 dak.

Sefer Aralığı :3.5 dak.

Max Hız :90 km/saat

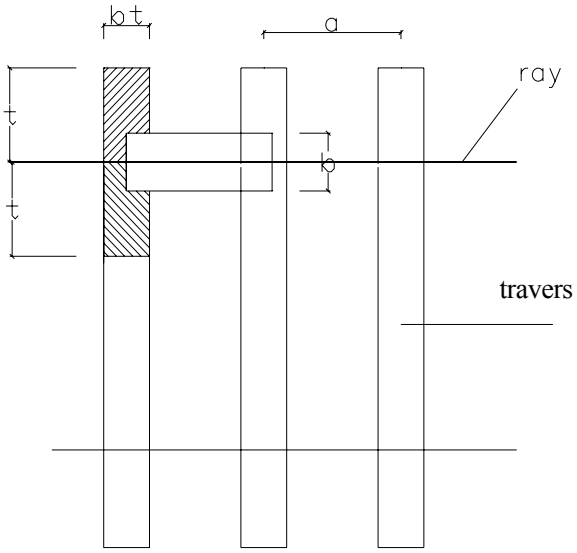
İşletme Hızı :35 km /saat

Araç Sayısı :120 adet

Enerji Temini :1500 volt DC

4. DEMİRYOLU ÜSTYAPI HESABI VE MEVCUT SİSTEMLERİN TAHKİKİ

4.1 Demiryolu Üstyapı Hesabı



Şekil 4.1 : Demiryolu Çerçevesi

Zimmermann yöntemine göre yapılan üstyapı hesaplamalarında raylar, elastik yatak üzerine oturtulmuş sonsuz kirişler olarak kabul edilirler. Ray eğilme momenti hesaplanırken t boyu tekerlek yükünün etkili olduğu alanı belirlemek için hesaplanır. Tekerlek yükü 2t lik bir genişlikte etkili olmaktadır.

$$t = \frac{L_t - 150}{2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Lt: travers boyu, demiryollarında 240-260cm arasındadır.

t : Ray merkezi ile travers kenarı arasındaki mesafe, ve hat ekartmanı 1500mm (ray ekseninden ray eksenine)dir.

$$b = \frac{2t.b_t}{a} \qquad \textbf{(4.2)}$$

b : travers fiktif genişliği

b_t : travers genişliği

a : Travers aralığı

c:elastik yatak katsayısı, kg/cm^3

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bc}} \qquad \textbf{(4.3)}$$

L:elastik boy, cm

E:Rayın elastisite modülü E=2.1x10^6 kg/cm^2

I:Rayın atalet momenti, cm^4

Zimmermann hesap yöntemine göre komşu dingil yüklerinin eğilme momentine ve çökmeye etkisi ξ değerlerine bakılarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den seçilerek hesaba dahil edilir.

$\xi = x/L$ **(4.4)**

x : komşu dingil yükünün mesafesi, cm

$$M = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) \quad \textbf{(4.5)}$$

$$\mu = e^{\frac{-x}{L}}\left(\cos\frac{x}{L} - \sin\frac{x}{L}\right) \quad \textbf{(4.6)}$$

$$\eta = e^{\frac{-x}{L}}\left(\cos\frac{x}{L} + \sin\frac{x}{L}\right) \quad \textbf{(4.7)}$$

M : Ray Eğilme Momenti

Q = Tekerlek Yükü

L : Elastik Boy

μ_1 : Komşu dingil yükünün etkisi

$$y = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} \quad \textbf{(4.8)}$$

y : Travers Çökmesi, cm

Q = Tekerlek Yükü, ton

L : Elastik Boy, cm

b : travers eşdeğer genişliği, cm

c:elastik yatak katsayısı, kg/cm^3

Bulunan statik sonuçlara dinamik etkilerin katılmasında Eisenmann'ın geliştirdiği Münih Teknik Üniversitesi Karayolları ve Demiryolları İnşaatı Enstitüsü'nün verdiği üstyapı biçimine ve hıza bağlı formulasyonlar kullanılmıştır.

Tablo 4.1 Zimmermann Hesap Tablosu(μ)

ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ
0	1	1,7	-0,2047	3,4	-0,02374	5,1	0,00795
0,1	0,81	1,8	-0,1985	3,5	-0,01769	5,2	0,00746
0,2	0,6398	1,9	-0,1899	3,6	-0,01241	5,3	0,00692
0,3	0,4888	2	-0,1794	3,7	-0,00787	5,4	0,00636
0,4	0,3564	2,1	-0,1675	3,8	-0,00401	5,5	0,00578
0,5	0,2415	2,2	-0,1548	3,9	-0,00077	5,6	0,0052
0,6	0,1431	2,3	-0,1416	4	0,00189	5,7	0,00464
0,7	0,0599	2,4	-0,1282	4,1	0,00403	5,8	0,00409
0,8	-0,0093	2,5	-0,1149	4,2	0,00572	5,9	0,00356
0,9	-0,0657	2,6	-0,1019	4,3	0,00699	6	0,00307
1	-0,1108	2,7	-0,0895	4,4	0,00791	6,1	0,00261
1,1	-0,1457	2,8	-0,0777	4,5	0,00852	6,2	0,00219
1,2	-0,1716	2,9	-0,0666	4,6	0,00886	6,3	0,00181
1,3	-0,1897	3	-0,0563	4,7	0,00898	6,4	0,00146
1,4	-0,2011	3,1	-0,04688	4,8	0,00892	6,5	0,00115
1,5	-0,2068	3,2	-0,03831	4,9	0,0087	6,6	0,00087
1,6	-0,2077	3,3	-0,0306	5	0,00837	6,7	0,00063

Tablo 4.2 Zimmermann Hesap Tablosu(**η**)

ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η
0	1	1,7	0,1576	3,4	-0,04079	5,1	-0,00334
0,1	0,9907	1,8	0,1234	3,5	-0,03887	5,2	-0,00229
0,2	0,9651	1,9	0,0932	3,6	-0,03659	5,3	-0,00139
0,3	0,9267	2	0,0667	3,7	-0,03407	5,4	-0,00063
0,4	0,8784	2,1	0,0439	3,8	-0,03138	5,5	0,00001
0,5	0,8231	2,2	0,0244	3,9	-0,02862	5,6	0,00053
0,6	0,7628	2,3	0,0080	4	-0,02583	5,7	0,00095
0,7	0,6997	2,4	-0,0056	4,1	-0,02309	5,8	0,00127
0,8	0,6354	2,5	-0,0166	4,2	-0,02042	5,9	0,00152
0,9	0,5712	2,6	-0,0254	4,3	-0,01787	6	0,00169
1	0,5083	2,7	-0,0320	4,4	-0,01546	6,1	0,00180
1,1	0,4476	2,8	-0,0369	4,5	-0,01320	6,2	0,00185
1,2	0,3899	2,9	-0,0403	4,6	-0,01112	6,3	0,00187
1,3	0,3355	3	-0,04226	4,7	-0,00921	6,4	0,00184
1,4	0,2849	3,1	-0,04314	4,8	-0,00748	6,5	0,00179
1,5	0,2384	3,2	-0,04307	4,9	-0,00593	6,6	0,00172
1,6	0,1959	3,3	-0,04224	5	-0,00455	6,7	0,00162

Eisenmann'ın dinamik yük faktörü araç hızına, hat kalitesine ve emniyet faktörüne bağlıdır.

Tablo 4.3 : Emniyet Faktörü (t) Ve Hat Kalite Faktörü(s) Değerleri

İstatistiki emniyet yüzdesi	Uygulama	Emniyet faktörü (t)	Hat kalitesi	Hat kalite faktörü (s)
68.3%	Temas gerilmesi, zemin	1	Çok iyi	0,1
95.4%	Yanal yük, balast yatağı	2	İyi	0,2
99.7%	Ray gerilmeleri, bağlantı elemanları ve mesnetler(çerçevede)	3	Kötü	0,3

$\varphi=1+ts$ **(4.9)**

φ : Dinamik Etki Katsayısı

t : Emniyet Faktörü

s : Hat Kalite Faktörü

V<60km/sa $\varphi=1+ts$ **(4.10)**

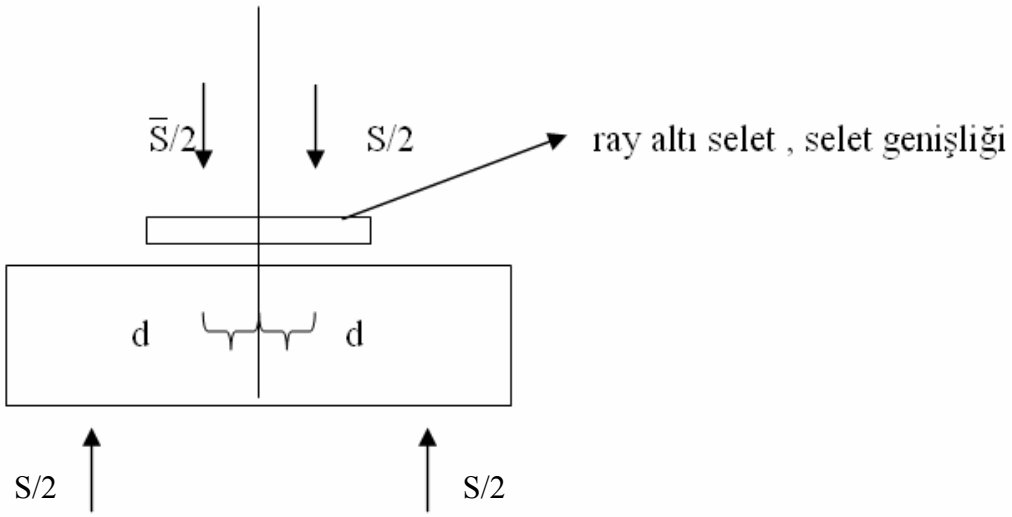
60<V≤200 km/sa $\varphi = 1 + ts(1 + \frac{V-60}{140})$ **(4.11)**

$$M_{din} = \varphi . M_{statik} \quad \textbf{(4.12)}$$

$$y_{din} = \varphi . y_{statik} \quad \textbf{(4.13)}$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_{din}}{W} \quad \textbf{(4.14)}$$

W : Rayın Mukavemet Momenti



Şekil 4.2 : Traverse Gelen Yük Dağılımı

$$M_t = \frac{S}{2}\left(\frac{t}{2} - \frac{d}{4}\right) \qquad \textbf{(4.15)}$$

S : Tekerlek Yükü, ton

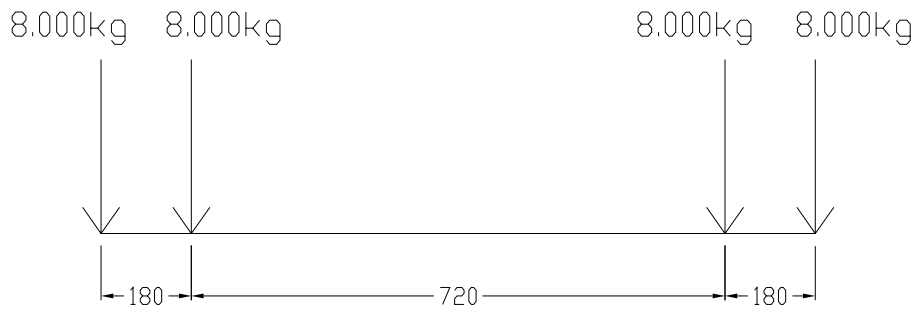
d : Ray Altı Selet Genişliği, cm

t : Ray merkezi ile travers kenarı arasındaki mesafe, cm

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_t}{W} \qquad \textbf{(4.16)}$$

W : Traversin Mukavemet Momenti

4.2 Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı Üstyapı Hesabı



Şekil 4.3 : Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı Dingil Yükleri

Bölüm 4.1'de gösterilmiş olan üstyapı çözümü kullanılarak Aksaray-Havalimanı Hafif Metro Hattı üstyapısı tahkik edilmiştir.

Kullanılan ray tipi S49

Travers aralığı a=75 cm

Traversin boyu l_t=250 cm

Travers genişliği b_t=30 cm

$$t = \frac{L_t - 150}{2} = \frac{250 - 150}{2} = 50cm$$

$$b = \frac{2t.b_t}{a} = \frac{2.50.30}{75} = 40cm$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bc}} = \sqrt[4]{\frac{4.2,1.10^6.1819}{40.4}} = 99cm$$

x=180 cm ξ=x/L=180/99=1,82

x=900 cm ξ=x/L=900/99=9,1

x=1080 cm ξ=x/L=1080/99=10,9

Zimmermann hesap yöntemine göre komşu dingil yüklerinin momente ve çökmeye etkisi ξ değerlerine bakılarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den seçilerek hesaba dahil edilir.

X=180 cm için μ=-0,2 η=0,12

X=1080cm μ=0 η=0

$$M_A = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{4.99}{4}(1-0,2) = 79,2tcm$$

$$M_B = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{4.99}{4}(1-0,2) = 79,2tcm$$

$$M_C = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{4.99}{4}(1-0,2) = 79,2tcm$$

$$M_D = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{4.99}{4}(1-0,2) = 79,2tcm$$

$$y_A = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{4000.(1+0,12)}{2.40.4.99} = 0,14cm$$

$$y_B = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{4000.(1+0,12)}{2.40.4.99} = 0,14cm$$

$$y_C = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{4000.(1+0,12)}{2.40.4.99} = 0,14cm$$

$$y_D = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{4000.(1+0,12)}{2.40.4.99} = 0,14cm$$

φ=1+ts s=0,2α(iyi üstyapı)

φ=1+2.0,2. α

$$\alpha=(1+\frac{V-60}{140})=1,14$$

φ=1+2.0,2. α = 1+2.0,2. 1,14 = 1,46

$$M_{din} = \varphi.M_{statik} = 1,46.79,2 = 115,63tcm$$

$$y_{din} = \varphi.y_{statik} = 1,46.0,14 = 0,2044cm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_{din}}{W}$$

W= 240 cm^3

$$\sigma_{emn} = 1500 \geq \frac{M_{din}}{W} = \frac{115,63}{240} = 481,8kg/cm^2$$

$$M_t = \frac{S}{2}\left(\frac{t}{2} - \frac{d}{4}\right)$$

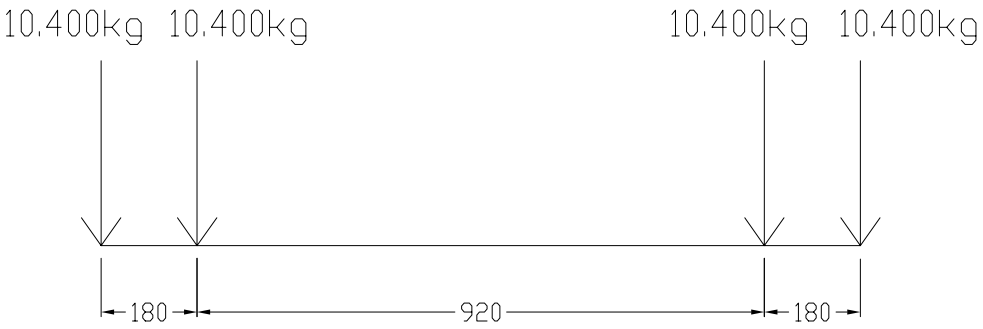
$$M_t = \frac{4}{2}\left(\frac{50}{2} - \frac{12,5}{4}\right) = 43,75tcm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_t}{W}$$

$$\sigma_t = \frac{43750}{1100} = 39,77kg/cm^2 < 100 \text{ kg/cm}^2$$

Travers tahkikinde bulunan σ_t değerinin traverslerin σ_{emn}'nden küçük olduğu gözlenmiştir.Üstyapıda kullanılan ray, travers ve diğer malzemelerin üstyapıya gelen yükleri yeterli emniyet şartları altında rahatlıkla karşılayacağı görülmektedir.

4.3 Tramvay Hattı Üstyapı Hesabı



Şekil 4.4 : Tramvay Hattı Dingil Yükleri

Bölüm 4.1'de gösterilmiş olan üstyapı çözümü kullanılarak Tramvay Hattı üstyapısı tahkik edilmiştir.

Kullanılan ray tipi Rİ60

Travers aralığı a=75 cm

Traversin boyu l_t=1835 mm

Travers genişliği b_t=20 cm

$$t = \frac{L_t - 150}{2} = \frac{183,5 - 150}{2} = 16,75cm$$

$$b = \frac{2t.b_t}{a} = \frac{2.16,75.20}{75} = 9cm$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bc}} = \sqrt[4]{\frac{4.2{,}1.10^6.3213{,}8}{9.4}} = 165{,}5cm$$

x=180 cm ξ=x/L=180/165,5=1,09

x=1100 cm ξ=x/L=1100/165,5=6,65

Zimmermann hesap yöntemine göre komşu dingil yüklerinin momente ve çökmeye etkisi ξ değerlerine bakılarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den seçilerek hesaba dahil edilir.

X=180 cm için μ=-0,142 η=0,45

X=1100 cm μ=0 η=0

$$M = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{5{,}2.165{,}5}{4}(1-0{,}1422) = 184{,}55tcm$$

$$y = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{5200.(1+0{,}45)}{2.9.4.165{,}5} = 0{,}63cm$$

Eisenmann'ın dinamik yük faktörü araç hızına, hat kalitesine ve emniyet faktörüne bağlıdır:

V<60km/sa φ=1+ts

60<V≤200 km/sa $\varphi = 1 + ts(1 + \frac{V-60}{140})$

φ=1+ts s=0,2α(kötü üstyapı)

φ=1+3.0,2. α

α=1

φ=1,6

$$M_{din} = \varphi.M_{statik} = 1{,}6.184{,}55 = 295{,}28tcm$$

$$y_{din} = \varphi.y_{statik} = 1{,}6.0{,}63 = 1cm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_{din}}{W}$$

$$\sigma_{ray} = \frac{295{,}28}{377} = 783{,}2kg/cm^2$$

$$M_t = \frac{S}{2}\left(\frac{t}{2} - \frac{d}{4}\right)$$

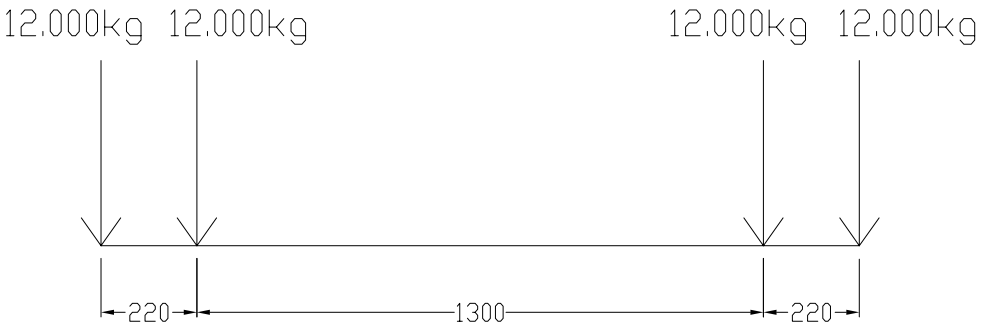
$$M_t = \frac{5,2}{2}\left(\frac{16,75}{2} - \frac{20}{4}\right) = 8,775tcm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_t}{W}$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{8775}{1782} = 4,92kg/cm^2 < 100 \text{ kg/cm}^2$$

Travers tahkikinde bulunan σ_t değerinin traverslerin σ_{emn}'nden küçük olduğu gözlenmiştir.Üstyapıda kullanılan ray, travers ve diğer malzemelerin üstyapıya gelen yükleri yeterli emniyet şartları altında rahatlıkla karşılayacağı görülmektedir

4.4 İstanbul Metrosu Üstyapı Hesabı



Şekil 4.5 : İstanbul Metrosu Dingil Yükleri

Bölüm 4.1'de gösterilmiş olan üstyapı çözümü kullanılarak Tramvay Hattı üstyapısı tahkik edilmiştir.

Kullanılan ray tipi S49

Travers aralığı a=75 cm

Traversin boyu l_t=210 cm

Travers genişliği b_t=25 cm

t=30 cm

$$b = \frac{2t.b_t}{a} = \frac{2.25.30}{75} = 20cm$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{bc}} = \sqrt[4]{\frac{4.2{,}1.10^6.1819}{20.4}} = 117{,}5cm$$

x=220 cm ξ=x/L=220/117,5=1,87

x=1300 cm ξ=x/L=1300/117,5=11,06

Zimmermann hesap yöntemine göre komşu dingil yüklerinin momente ve çökmeye etkisi ξ değerlerine bakılarak Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den seçilerek hesaba dahil edilir.

X=220 cm için μ=-0,19 η=0,1

X=1300 cm μ=0 η=0

$$M = \frac{Q.L}{4}(1+\mu_1) = \frac{6.117{,}5}{4}(1-0{,}19) = 142{,}76tcm$$

$$y = \frac{Q.(1+\eta_1)}{2.b.c.L} = \frac{6000.(1+0{,}1)}{2.20.4.117{,}5} = 0{,}35cm$$

Eisenmann'ın dinamik yük faktörü araç hızına, hat kalitesine ve emniyet faktörüne bağlıdır:

V<60km/sa φ=1+ts

60<V≤200 km/sa $\varphi = 1 + ts(1 + \frac{V-60}{140})$

φ=1+ts s=0,1α(çok iyi üstyapı)

φ=1+2.0,1. α

α=$(1+\frac{V-60}{140})$=1,14

φ=1,23

$$M_{din} = \varphi.M_{statik} = 1{,}23.142{,}76 = 175{,}6tcm$$

$$y_{din} = \varphi.y_{statik} = 1{,}23.0{,}35 = 0{,}43cm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_{din}}{W}$$

W= 240 cm^3

$$\sigma_{emn} = 1500 \geq \frac{M_{din}}{W} = \frac{175,6}{240} = 731,67 kg/cm^2$$

$$M_t = \frac{S}{2}\left(\frac{t}{2} - \frac{d}{4}\right)$$

$$M_t = \frac{6}{2}\left(\frac{30}{2} - \frac{12,5}{4}\right) = 35,625 tcm$$

$$\sigma_{emn} \geq \frac{M_t}{W}$$

$$\sigma_t = \frac{35625}{1100} = 32,38 kg/cm^2 < 100 \text{ kg/cm}^2$$

Travers tahkikinde bulunan σ_t değerinin traverslerin σ_{emn}'nden küçük olduğu gözlenmiştir.Üstyapıda kullanılan ray, travers ve diğer malzemelerin üstyapıya gelen yükleri yeterli emniyet şartları altında rahatlıkla karşılayacağı görülmektedir.

5. SONUÇ

Demiryolu ile ulaşım, gerek kent içi ulaşımında gerekse şehirler arası yolcu ve yük taşımacılığında giderek büyük önem kazanmaktadır. Dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler yüksek hızlı demiryollarının gelişmesini hızlandırmış, havayolu ile rekabet edecek hızlar yakalanmıştır. Çevreye zararının diğer sistemlere göre daha az olması özellikle şehir içi ulaşımında büyük pay almasını sağlamaktadır.

Kent içi raylı sistemler tasarlanırken seçilen güzergahlar, şehir planına uygun olmalı, yolculuk talepleri ve gelecek yıllar hesaba katılmalıdır. Bununla birlikte yapılacak hattın altyapısı ve üstyapısı da sistemin ömrünün uzunluğunda etkin sebepler arasındadır. Demiryolu altyapısının hesabında sonradan iyileştirmelerin yapılmasının neredeyse imkansızlığı nedeni ile gerekli önlemler alınmalı, altyapı iyileştirmesi gerekiyorsa yapılmalıdır. Altyapı inşaatında yapılacak eksiklikler, hattın üstyapısının bozulmasına da neden olacağı gibi işletmeyi aksatacak olumsuzluklara neden olacaktır. Demiryolu inşaatında üstyapıdan gelen yükleri karşılayacak olan altyapının hesabı ve boyutlandırılması ayrı bir konu olup bizim çalışmamızda sadece üstyapıya değinilmiştir.

Demiryolu altyapısı üzerine döşenmiş, demiryolu araçlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan elemanlardan oluşan üstyapı, çalışmamızda genel olarak tanıtılmış, ülkemizde ve dünyada kullanılan çeşitleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

Demiryolu üstyapı seçiminde kullanılacak araç tiplerine dikkate almakla birlikte, bakım maliyetlerini azaltan betona tespitli üstyapı seçilmesinin daha uygun olduğu yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Balastsız hatların yapım maliyetlerinin daha fazla olması, önceleri üstyapı seçiminde balastlı hatları tercih sebebi kılarken özellikle metro inşaatlarında tünel kesitlerinin daralması balastsız üstyapıyı daha avantajlı konuma gelmiştir.

İstanbul'da kent içi raylı sistemler incelendiğinde, rayların seçiminde özellikle asfalt, parke gibi üst kaplamaya gömülü tramvay hatlarında sert rayların kullanılmasının aşınmaya karşı dayanımdan ötürü daha isabetli olduğu ortaya çıkmıştır. Tarihi yarımadadaki güzergahta dar kurplardan ötürü aşınmanın fazlalığı ray değişim sürelerini kısaltmakta, kullanılan sert raylar ise bu süreyi uzatarak turistik bölgelerde yapılacak çalışmaları aza indirmektedir. İlk yapık aşamasında Hafif Metro Hattındaki

ray birleştirme uygulamasında kullanılan raydan daha az sertliğe sahip kaynak yapılması conta bölgelerinde vuruntuya, konforun azalmasına ve bakım maliyetinin artmasına neden olmuştur.

İstanbul gibi yerleşim yerlerinin çok yakınından geçen raylı sistemlerde gürültü ve titreşim üstyapı seçiminde önemli etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle tarihi eserlerin yoğun olduğu bölgelerden geçen tramvay hattında titreşim sönümleyici bağlantı sistemi kullanılmalıdır. Özellikle balastsız hatlarda ray altı pedlerinin gelen yüklerin iletilmesindeki rolü hesaba katılmalı, titreşim ve gürültü azaltıcı bağlantı sistemleri tercih edilmelidir.

Üstyapı hesabında dingil yüklerini emniyetli bir şekilde taşıyıp travers ve diğer üstyapı elemanlarına iletecek olan raylar tahkik edilmiştir. Ray eğilme momentinin hesabında Winkler'in elastik ortama oturan kiriş hipotezi baz alınmıştır. Bu hipotezi demiryolu çerçevesinin hesabında kullanırken Zimmerman'ın geliştirdiği yöntem takip edilmiştir. Üstyapı hesabında statik dingil yüklerinin demiryolu üstyapısında etkileri Zimmermann yöntemi ile hesaplanmış, bulunan sonuçlara dinamik etkilerin katılmasında Eisenmann'ın geliştirdiği Münih Teknik Üniversitesi Karayolları ve Demiryolları İnşaatı Enstitüsü'nün verdiği üstyapı biçimine ve hıza bağlı formulasyonlar kullanılmıştır. Yaptığımız üstyapı hesabında tramvay, metro ve hafif metro için kullanılan ray tiplerinin kabul edilebilir sınırlar dahilinde olduğu ortaya çıkmıştır.

Travers tahkikinde yapılan hesaplarda bulunan sonuçlar, ahşap traverse göre tahkik edilmiş, hesaplaması yapılan bütün sistemler için emniyetli olduğu tespit edilmiştir. Ahşap traverslere göre daha mukavemetli olduklarından beton ve demir traverslerin ayrıca tahkikine gerek görülmemiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Fastenrath F.** ,1977. Railroad Track:Theory and Practise, Frederick Ungar Publishing CO., New York, 191

[2] **Berksoy B.,** 1995, Demiryollarda Balastsız Yollar, Işık Matbaacılık, İstanbul

[3] **Leykauf, G.**,1990, Güçlü Bir Demiryolu Üstyapısından Beklenen Koşullar

[4] **Erel, A**., 2002, Rijit Üstyapı Seçeneklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

[5] **Eisenmann, J.**, 1975, Railroad Track Mechanics and Technology, Railroad Track Structure For High-Speed Lines, Pergamon Press Inc.,Oxford

[6] **Esveld C**., 1997. Low Maintenance Ballastless Track Structures, *Rail Engineering International***, 3**.

[7] **Briginshaw D.,** 2001. Rheda 2000 System, *International Railway Journal*, **16**.

[8] **Esveld C.,** Recent Developments in Slab Track Application

[9] **Esveld C.,**1994, Modern Railway Track,

[10] **Schramm G**.,1961, Permanent Way Technique and Permanent Way Economy

[11] **Profillidis V.A**.,1995, Railway Engineering, Ashgate Publishing Company, Brookfield

[12] **Arlı, V**., 2002, Balastlı Ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü

[13] **Erel A**., 1978, Düşey Dinamik Dingil Yükleri Altındaki demiryolu Yapısında, Taban Zeminlerinin Taşıma Güçlerine Bağlı Olarak, Minimum Balast Kalınlığının Hesaplanması, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü

[14] **Lichtberger, B**., 2005, Track Compendium, Eurailpress

ÖZGEÇMİŞ

Ragıp Sevim, 1979 yılında İstanbul doğdu. İlk ve orta öğretimini İstanbul'da tamamladı. 1997-2002 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde eğitimime devam etti. İstanbul Ulaşım AŞ'de kent içi raylı sistemlerde Hat Bakım Mühendisi olarak çalışmaktadır.