

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTİÇİ RAYLI SİSTEM HATLARINDA ÜSTYAPI BAKIMI VE MALİYETLERİ:
AKSARAY – HAVALİMANI HATTI ÖRNEĞİ**

TEVFİK HASAN ORTAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MUSTAFA GÜRSOY**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTİÇİ RAYLI SİSTEM HATLARINDA ÜSTYAPI BAKIMI VE MALİYETLERİ:
AKSARAY – HAVALİMANI HATTI ÖRNEĞİ**

TEVFİK HASAN ORTAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ULAŞTIRMA PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MUSTAFA GÜRSOY**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTİÇİ RAYLI SİSTEM HATLARINDA ÜSTYAPI BAKIMI VE MALİYETLERİ:
AKSARAY – HAVALİMANI HATTI ÖRNEĞİ

Tevfik Hasan ORTAÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 26.05.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Lisans eğitimim sebebiyle Eskişehir-İstanbul arasında trenle yolculuk etmeye başladığım günden bu yana raylı sistemlere ilgi duyarım. Üniversite 2. sınıfın yazında bindiğim hızlandırılmış trenin, bindiğimden 1 hafta sonra kaza yapması sonucunda onlarca insanın hayatını kaybetmesi beni derinden etkiledi. Bu talihsiz olaydan 3 ay sonra okulda, çok kıymetli hocamız merhum Prof. Dr. Aydın EREL'den Demiryolu dersi almaya başladım. Raylı sistemlere duyduğum bu ilgi, bu konuda artık bir şeyler yapma isteğine dönüştü. Bu istek, staj yaptığım yeri, çalışacağım yeri ve yüksek lisans yapacağım dalı etkiledi. Yine bu isteğin bir ürünü olarak da bu tez çalışması ortaya çıkmış oldu.

Tez çalışmam sırasında en büyük sıkıntıyı, yoğun bir temposu olan işim ile tezimi bir arada yürütmekte yaşadım. Bu sıkıntıyı aşmamda bilgisi, kaynakları ve deneyimleri ile bana her konuda katkı sağlayan tez danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY'a ve bu çalışmanın her aşamasında bana destek olan ve sabır gösteren sevgili aileme, sevgilim İlkay SARIKAŞ'a ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mayıs, 2011

Tevfik Hasan ORTAÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE ÜSTYAPI	4
2.1 Üstyapıda Kullanılan Malzemeler	5
2.1.1 Ray.....	5
2.1.2 Kaynak	7
2.1.3 Cebireli Bağlantı	9
2.1.4 Bağlantı Elemanları	10
2.1.5 Travers.....	13
2.1.6 Balast.....	13
2.2 Üstyapı Tipleri	14
2.2.1 Balastlı Üstyapı.....	14
2.2.2 Balastsız Üstyapı.....	15

BÖLÜM 3

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE ÜSTYAPI BAKIM - ONARIM TEKNİKLERİ..... 20

3.1	Hat Denetimi	21
3.2	Ray Taşlama.....	22
3.3	Buraj	26
3.4	Balast Temizleme	31
3.5	Üstyapı Elemanı Yenileme.....	33
3.5.1	Traverslerin Yenilenmesi	34
3.5.2	Rayların Yenilenmesi	34

BÖLÜM 4

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERİN ÜSTYAPI BAKIM - ONARIM MALİYET ANALİZİ..... 36

4.1	Balastlı Hattı “Ray Taşlama” ve “Buraj” İçin Çeşitli Ölçütlere Göre Karşılaştırmalı Maliyet Analizi	36
4.1.1	Maliyet Formülleri.....	37
4.1.2	Hat Ömrü Hesabı	37
4.1.3	1 km Hattın Ortalama Bakım Süresi (T) Hesabı:.....	38
4.1.4	İşçilik Maliyetleri Hesabı.....	39
4.1.5	Güncellenmiş Bakım Maliyetlerinin Hesaplanması.....	40
4.2	Güncel Bakım Verileriyle Maliyet Hesaplanması	44
4.2.1	1 m Hattın Buraj Maliyeti Hesabı	44
4.2.2	Güncel Verilere Göre Yıllık Bölgesel Buraj Yapılan Kesimin Uzunlukları	45
4.2.3	Gelecek Yıllar İçin Yıllık Ortalama Buraj Yapılan Kesimin Uzunlukları	45
4.2.4	Yıllara Göre Toplam Bölgesel Buraj Maliyetlerinin Hesaplanması... ..	45
4.3	Periyodik Buraj Maliyetlerinin Bölgesel Buraj Maliyetleriyle Karşılaştırılması	48

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 49 |

KAYNAKLAR 51 |

EK-A

KORUYUCU BAKIM PROGRAMI ÖRNEĞİ 54 |

EK-B

BAKIM EKİPMAN KİRALARI VE İŞÇİ MALİYETLERİ 57 |

EK-C

RAY TAŞLAMA MALİYETLERİ 58 |

C.1	Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)	59
C.2	Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)	60
C.3	Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)	61
C.4	Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)	62
C.5	Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)	63
C.6	Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)	64
C.7	Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)	65
C.8	Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)	66
C.9	Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)	67
EK-D		
BURAJ MALİYETLERİ		68
D.1	Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %7 iskonto oranına göre).....	69
D.2	Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %8 iskonto oranına göre).....	70
D.3	Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %9 iskonto oranına göre).....	71
EK-E		
AKSARAY - HAVALİMANI HAFİF METRO HATTI'NIN YILLARA GÖRE BURAJ YAPILAN KESİMLERİN UZUNLUKLARI		72
E.1	Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2004 Yılı'nın İlk Yarısına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları.....	73
E.2	Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2004 Yılı'nın İkinci Yarısına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları	74
E.3	Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2005 Yılına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları.....	75
E.4	Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2008 Yılına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları.....	76
ÖZGEÇMİŞ		77

SİMGE LİSTESİ

$(M_g)_j$	j yılındaki ray taşlama maliyeti (€)
$(M_{ta})_j$	j yılındaki buraj maliyeti (€)
T	1 km hattın ortalama bakım süresi (sa/km)
l	Bakımı yapılan hattın uzunluğu (km)
n	Taşlama geçişi (pas) sayısı
C_{Lg}	Ray taşlama için ortalama saatlik işçi maliyeti (€/sa)
C_{Lta}	Buraj için ortalama saatlik işçi maliyeti (€/sa)
C_{eg}	Saatlik taşlama ekipmanı maliyeti (€/sa)
C_{eta}	Saatlik buraj ekipmanı maliyeti (€/sa)
L	Hattın hizmet ömrü boyunca geçen tonaj (MGT)
K	Sabit katsayı
W	Rayın birim ağırlığı (kg/m)
D	Hattan 1 yılda geçen trafik yükü (MGT)
$(M_g)_i$	i yılına güncelleştirilmiş ray taşlama maliyeti (€)
$(M_{ta})_i$	i yılına güncelleştirilmiş buraj maliyeti (€)
r	İskonto oranı
i	Güncel yıl
j	Bakım maliyetin hesaplandığı yıl
c_{ta}	1 m hattın toplam buraj maliyeti (€/m)
l_n	n yılında buraj yapılan kesimin uzunluğu (m)

KISALTMA LİSTESİ

GETRAC	German Track Corporation: Alman Demiryolu Kurumu
GPR	Ground Penetrating Radar: Zemin Penetrasyon Radarı
KRS	Kentiçi Raylı Sistem
LRT	Light Rail Transit: Hafif Raylı Toplu Taşıma Sistemi
LVT	Low Vibration Track: Düşük Titreşimli Hat
MGT	Milyon Groston
NBS	Neubaustrecke: Yeni Hat
NS	Nederlandse Spoorwegen: Hollanda Demiryolları
TGV	Train à Grande Vitesse: Yüksek Hızlı Tren
TT	Taşıma Tabakası

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	19. yy. başlarında Stockton-Darlington arasında kullanılan üstyapı [8] 2
Şekil 2.1	Balastlı üstyapı [10] 5
Şekil 2.2	Balastsız Üstyapı [11] 5
Şekil 2.3	Ray üretimi [13] 6
Şekil 2.4	Ray tipleri 7
Şekil 2.5	Mobil alın kaynağı makinesi ve uygulaması [13] 8
Şekil 2.6	Alüminotermite kaynak uygulaması [14] 8
Şekil 2.7	Elektrik ark kaynağı uygulaması [15] 9
Şekil 2.8	Cebireli bağlantı [16] 10
Şekil 2.9	Demiryolu araçlarından yola gelen kuvvetler [9] 11
Şekil 2.10	Bağlantı Sistemleri [17] 11
Şekil 2.11	Krampon ve tirfon çeşitleri [8] 12
Şekil 2.12	Vossloh W14, Pandrol ve Nabla direk bağlantı elemanları [13] 12
Şekil 2.13	Vossloh System 336 endirek bağlantı elemanı [13] 12
Şekil 2.14	Travers yerleşimleri [17] 13
Şekil 2.15	Ahşap travers, betonarme travers ve çelik travers [13] 13
Şekil 2.16	Balastlı üstyapı 14
Şekil 2.17	İstanbul Hafif Metro Sistemi 15
Şekil 2.18	İzmir Metrosu 15
Şekil 2.19	Rheda 2000 taşıma tabakası (TT) içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı [13] 17
Şekil 2.20	PORR TT içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [12] 17
Şekil 2.21	LVT, TT içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [17] 17
Şekil 2.22	Taşıma tabakası üzerine döşeli travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [12] 17
Şekil 2.23	Monolitik balastsız üstyapı sistemi [12] 17
Şekil 2.24	Prefabrik balastsız üstyapı sistemi [2] 17
Şekil 2.25	Infundo üstyapı sistemi [19] 18
Şekil 2.26	Edilon Corkelast gömülü raylı yol sistemi [2] 18
Şekil 3.1	Hat denetimi için kullanılan çeşitli GPR makineleri [21] 22
Şekil 3.2	Speno International ray taşıma makinesi [5] 25
Şekil 3.3	Plasser & Theurer CSM 09/32 buraj makinesi [25] 26
Şekil 3.4	Buraj makinesi çalışırken 27
Şekil 3.5	Plasser & Theurer DGS 62N dinamik stabilizatör [27] 29
Şekil 3.6	Plasser & Theurer SSP 110 SW balast regülatörü [28] 30

Şekil 3.7	Plasser Theurer RM 80 balast eleme makinesi [31]	32
-----------	--	----

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Yapı tipi ve döşenme şekline göre balastsız üstyapı tipleri [18] 19
Çizelge 4.1	Ray taşıma için işçilik maliyetleri 39
Çizelge 4.2	Buraj için işçilik maliyetleri 40
Çizelge 4.3	Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %7 iskonto oranına göre) 41
Çizelge 4.4	Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %8 iskonto oranına göre) 42
Çizelge 4.5	Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %9 iskonto oranına göre) 42
Çizelge 4.6	Buraj ekipmanları kiralari 43
Çizelge 4.7	Hattın hizmet ömrü boyunca toplam buraj maliyetleri (€ cinsinden) 43
Çizelge 4.8	Toplam bölgesel buraj yapılan kesim uzunlukları (m cinsinden) 45
Çizelge 4.9	Yıllara ve %7, %8 ve %9 iskonto oranlarına göre güncelleştirilmiş toplam buraj maliyetleri 47
Çizelge 4.10	Periyodik buraj maliyetleri ile bölgesel buraj maliyetleri (€ cinsinden; 2011 yılına güncellenmiş verilere göre) 48

**KENTİÇİ RAYLI SİSTEM HATLARINDA ÜSTYAPI BAKIMI VE MALİYETLERİ:
AKSARAY – HAVALİMANI HATTI ÖRNEĞİ**

Tevfik Hasan ORTAÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY

Kentiçi Raylı Sistemler; çevre kirliliği yaratmadan, emniyet, sürat, konfor ve yüksek taşıma kapasitesi ile gelişmiş kentlerde ulaşım sorunlarına etkili bir çözüm olabilmektedir. Raylı sistemlerin yapım maliyetleri çok yüksek olmakla beraber, yol bakım giderleri, işletme giderleri içerisinde önemli bir kalem olarak yer almaktadır. İlk yapılışında sistem ne kadar iyi imal edilmiş olsa da, işletme sırasında araçlardan gelen basınçlar, tabiat olayları, malzemenin yorulması gibi etkiler nedeniyle üstyapı geometrisinde bozulmalar oluşmaktadır. Bu bozulmalar zamanında tespit edilmeli ve onarılmalıdır, aksi halde büyüyerek trafik emniyetini bozacak boyutlara ulaşmakta ve büyük maddi hasarlara da sebep olmaktadır. Raylı Sistem trafiğinin güvenli ve konforlu olarak sürdürülmesi, üstyapı malzemesinin ve araçların zamanından önce yıpranmasının önlenmesi ancak tüm hatta periyodik ve iyi bakım yapılması ile mümkündür. Yapılacak tamiratın başarılı olabilmesi ise yolun iyi incelenmesine, meydana gelen arızanın doğru tanımlanmasına ve en uygun onarım yönteminin seçilmesine bağlıdır. Bu çalışmada, kentiçi raylı sistem hatlarının üstyapısında meydana gelen arızaların giderilmesinde uygulanan bakım-onarım yöntemleri incelenmiş, Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı için bakım-onarımın periyodik uygulanması ile bölgesel uygulanması durumları karşılaştırılmış ve maliyet analizleri yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, her sene ihtiyaca göre yapılan bölgesel bakım yerine periyodik bakımın tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: kentiçi raylı sistemler, üstyapı, bakım – onarım, balastlı hat, periyodik bakım, bölgesel bakım, maliyet analizi

ABSTRACT

SUPERSTRUCTURE MAINTENANCE AND COSTS IN URBAN RAILWAY SYSTEMS: AKSARAY – AIRPORT LINE EXAMPLE

Tevfik Hasan ORTAÇ

Civil Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa GÜRSOY

The urban railway system is an efficient solution to transportation problems in developed cities without causing environmental pollution, providing safety, speed, comfort and high capacity of transport. Construction costs of railway systems are quite high and also expenses of track maintenance have a remarkable item within expenses of operation. However, although the system has been installed properly, geometry of superstructure is degraded because of pressure of vehicles, natural events, the fatigue of materials, etc. The damage should be determined and fixed in time, otherwise it expands and degrades traffic safety and also causes big financial loss. The persistence of railway system in a safe and comfortable way and prevention of early damage of vehicles and superstructure material is just possible with a periodic and well-done maintenance on the entire track. The success of repairment depends on examining the track, correct description of the damage and the most convenient repairment method. In this study, maintenance and repairment methods which are used to correct the damage occurred in the superstructure of urban railway system lines have been examined, the cases whether maintenance-repairment is applied periodically or locally have been compared for Aksaray – Airport Light Metro Line and the cost analysis has been performed. As a result of this comparison, it has been revealed that periodic maintenance is more advantageous instead of local maintenance which is applied according to the needs in each year.

Keywords: urban railway systems, superstructure, maintenance – repairment, ballasted track, periodical maintenance, local maintenance, cost analysis

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

1.1 Literatür Özeti

Bu tez çalışması sırasında incelenen başlıca çalışmalara ve yayınlara ilişkin kısa değerlendirmeler aşağıda verilmiştir:

Lichtberger, “Track Compendium; Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics” [1] adlı kitabında demiryolu yapısı, demiryolu elemanları, demiryolu altyapısı, üstyapı tipleri, tekerlek – ray etkileşimleri, katener sistemi, sinyal ve demiryolu işletmesi, hat bakımı, hizmet ömrü maliyetleri konularında ayrıntılı bilgi vermiştir.

Esveld, “Modern Railway Track” [2] adlı kitabında demiryolu elemanları, üstyapı tipleri, demiryolundaki dinamik etkiler, dünya çapında uygulanan bakım yöntemleri gibi pek çok konuda ayrıntılı bir biçimde bilgi vermiştir.

Selig ve Waters, “Track Geotechnology and Substructure Management” [3] adlı kitaplarında demiryolu hattı elemanları ve yüklemeleri, zemin özellikleri için testler, analitik hat modelleri, balast malzemesi özellikleri, balast bakımı, alt balast gereksinimleri ve davranışları, hat drenajı, bakım makinaları ve yöntemleri, bakım modeli gibi konularda bilgi vermiştir.

Öztürk ve Arlı, “Demiryolu Mühendisliği” [4] adlı kitaplarında demiryolu üstyapısı ve altyapısı, üstyapı elemanları, hat geometrisi, hat yükleri ve direnimleri, statik ve dinamik analiz, titreşim ve gürültü, demiryolları deformasyonları ve bakımı gibi konularda bilgi vermiştir.

Günöral, “Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakım ve Tamirâtı” [5] adlı kitabında Türkiye’deki balastlı hatlarda, üst yapıda uygulanan bakım yöntemleri ve tamiratları hakkında bilgi vermiştir.

Arlı, “Balastlı ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması” [6] adlı tez çalışmasında demiryolu üstyapısı, üstyapı elemanları, balastlı ve balastsız üstyapı, bakım çalışmaları, balastlı ve balastsız üstyapıların bakım maliyetleri gibi konuları inceleyerek, bu konularda bilgi vermiştir.

Patra, Söderholm ve Kumar, “Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration” [7] adlı yayınlarında İsveç Demiryollarındaki hizmet ömrü maliyetindeki belirsizlik tahmini üzerine bir yöntem sunarken aynı zamanda demiryolu için gelişmiş maliyet modellerini de incelemektedir.

1.2 Tezin Amacı

Raylı sistemler, günümüzdeki klasik yapısına ve boyutlarına ulaşmaya dek, teknik ve ekonomik gereksinimlerle değişik aşamalar geçirmiştir. Stephenson’un 1825 yılında Stockton-Darlington arasında döşettirdiği taş mesnetler üzerindeki ve açıklıklarda balık karnı kesit verilmiş olan dökme demirden rayların (Şekil 1.1) yerini, bugün kırma taş tabakasından oluşan bir yatak üzerine rijit ya da elastik olarak bağlanmış olan geniş tabanlı ray dizileri almıştır. Zaman içinde büyük gelişmeler gösteren raylı sistemler, şehirler arası ve kentiçi ulaşım sistemlerinde yaygınlaşarak gelişmeye devam etmiştir.



Şekil 1.1 19. yy. başlarında Stockton-Darlington arasında kullanılan üstyapı [8]

Kentiçi Raylı Sistemler, büyük şehirlerdeki yoğun trafik sorununa çözüm olabilmesi; çevre kirliliği yaratmaması; güvenli, hızlı, konforlu olması sayesinde yerel yönetimler tarafından sıkça tercih edilmektedir. Raylı Sistem trafiğinin güvenli ve konforlu olarak sürdürülmesi ile üstyapı malzemesinin ve araçların zamanından önce yıpranmasının önlenmesi ancak tüm hatta sürekli ve iyi bakım yapılması ile mümkündür. Yapılacak tamiratın başarılı olabilmesi ise yolun iyi incelenmesine, meydana gelen arızanın doğru tanımlanmasına ve en uygun onarım yönteminin seçilmesine bağlıdır.

Raylı sistemlerin üstyapı elemanlarına ve üstyapı tiplerine göre çeşitli bakım yöntemleri vardır. O yüzden bu çalışmada öncelikle klasik raylı sistem üstyapısı tanıtılmış, dünyada ve Türkiye’de kullanılan üstyapı elemanları ve üstyapı tipleri hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde kentiçi raylı sistemlerde yapılan bakım - onarım çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Günümüzde uygulanan bakım - onarım yöntemleri ve kullanılan bakım makineleri, dünyadan ve ülkemizden örneklerle anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise, güncel veriler doğrultusunda, İstanbul kentiçi raylı sistemlerinde 20 km güzergâh uzunluğuna sahip balastlı Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı ile ilgili hat ömrü süresince olan periyodik bakım maliyetleri hesaplanmıştır. Bu bakım maliyetleri, önemli bakım kalemlerinden olan buraj ve ray taşıma için değişik koşullardaki durumlara göre hesaplanmıştır. Daha sonra hattın bakımıyla ilgilenen kurumdan alınan güncel buraj yapılan kesimlerin uzunluklarıyla hattın hizmet ömrü boyunca olan buraj maliyeti hesaplanmış ve önceden hesaplanan periyodik buraj maliyetleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu tezin amacı, dünya üzerinde uygulanan bakım uygulamalarından yola çıkarak ülkemizde uygulanan bakım uygulamalarını değerlendirmek ve ekonomik olanı belirlemektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada ileri sürülen hipotez aşağıdaki cümle ile özetlenebilir:

Ekonomik fayda sağlamak için, İstanbul kentiçi raylı sistemlerinde uygulanan, ihtiyaca göre bölgesel bakım yerine dünya çapında üstyapı bakımı ile ilgilenen birçok kurum tarafından tercih edilen periyodik bakım uygulanmalıdır.

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE ÜSTYAPI

Bir demiryolunda altyapı platformu üzerine oturan yapı kısmına 'üstyapı' denir. Demiryolu araçlarından gelen statik ve dinamik kuvvetler tekerleklerden üstyapıya ve buradan altyapıya aktarılır. Ayrıca üstyapı dış etkilere de doğrudan doğruya etkilenir.

Demiryolu araçlarının tekerlekleri 'ray' adı verilen sürekli iki sıra metalik çubuk üzerinde yuvarlanma hareketi yaparlar. Raylar da travers adı verilen ve rayların altında onlara dik yönde belirli aralıklarla yer alan mesnetlere oturtularak tespit edilmişlerdir.

Genel olarak demiryolu üstyapısının görevleri şunlardır [9]:

- 1) Taşıtlara istenilen geometrik ve fiziksel standartlarda, düzgün, pürüzsüz ve güvenli bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- 2) Taşıtların oluşturduğu dinamik etkiler ile diğer dış etkileri güvenlikle (hiçbir kalıcı yer ve şekil değiştirme yapmadan) karşılamak, bunları (elastik şekil değiştirmeler ile) kısmen azaltarak geniş bir yüzey boyunca altyapıya iletmek,
- 3) Bu görevleri düşük maliyetle uzun bir süre sürdürmek.

Kentiçi raylı sistemlerin zemine uygulanışı bakımından genel olarak iki tip Raylı Sistem karşımıza çıkmaktadır. Bunlar, balastlı ve balastsız raylı sistemlerdir.

Balastlı sistemlerde demiryolu üstyapısı, yol ekseni boyunca altyapı üzerine döşenen ve genellikle kırma taşlardan oluşturulan balast tabakası, bu tabakanın içine gömülü olarak yol eksenine dik yönde ve belirli aralıklarla döşenen ahşap, çelik ya da betonarme traversler, bu traverslerin üzerine sabit aralıkla ve yol eksenine paralel olarak döşenen bir çift çelik ray ve traversleri raylara, rayları birbirlerine bağlamaya yarayan bağlantı elemanlarından oluşur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Balastlı üstyapı [10]



Şekil 2.2 Balastsız Üstyapı [11]

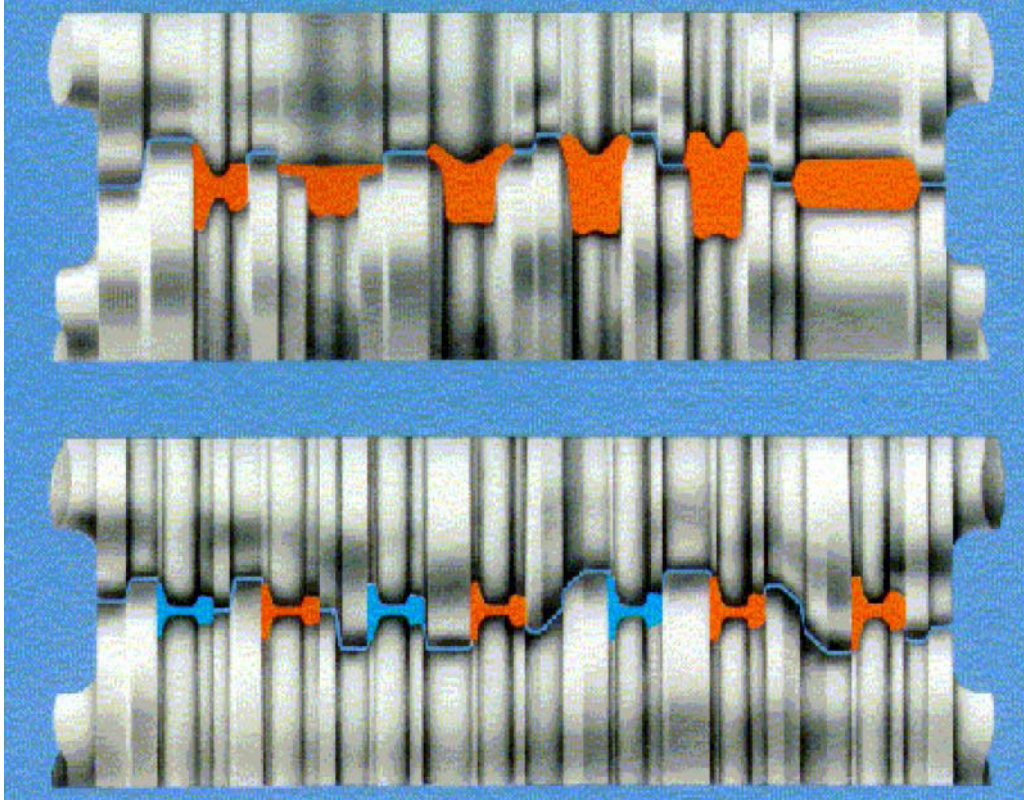
Balastsız üstyapı ise balast yerine ondan daha az şekil değiştiren beton, betonarme ya da asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapısıdır. Taşıma tabakası asfalt ya da beton olabilir (Şekil 2.2). Balastsız üstyapı için gerekli elastiklik, ray ve travers arasında ve/veya travers altında elastik malzemeler kullanılarak sağlanır. [12]

Balastsız üstyapı, maliyet yüksekliğine rağmen hem deformasyon hem de bakım güvenliği açısından ideal bir sistem olması nedeni ile genel olarak yeraltı metro sistemleri ve trafiğe açık tramvay hatlarında zorunlu olarak uygulanmaktadır. Hızlı, trafiğe kapalı ve kısmen yeraltına alınan Hafif Metro sistemleri için şehirler arası demiryollarında uygulanan balastlı sistem tercih edilmektedir. Bazı tramvay yapılarına da balastlı sistem uygulanmıştır. Bütün bu tercihler teknik projelendirme çalışmaları sırasında öngörülen bütçeler ve hedefler doğrultusunda karara bağlanılmaktadır.

2.1 Üstyapıda Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Ray

Demiryolu araçlarının tekerleklerine az direnimsiz göstererek yuvarlanma yüzeyi sağlayan, tekerlekleri kılavuzlayan, aşınmaya dayanıklı ve yüksek mukavemetli çelikten özel profilde imal edilmiş üstyapı elemanına 'ray' denir. Ayrıca dingillerden aktarılan etkileri, mesnet görevi yapan traversler aracılığıyla zemine iletirler.

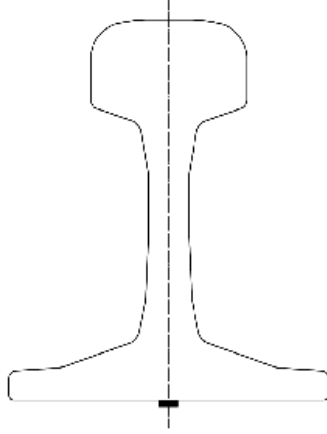


Şekil 2.3 Ray üretimi [13]

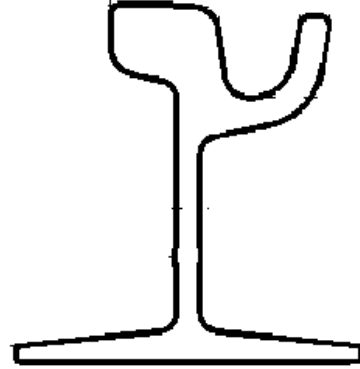
Ray, 5-7 ton ağırlığındaki çelik bloklara 1250 °C sıcaklıkta haddeleme yöntemi ile Şekil 2.1'deki gibi enkesit tipi verilerek elde edilir. Bir bloktan yaklaşık 100 m uzunluğunda ray elde edilir ve bu ray 12, 24 ya da 36 m'lik boylarda kesildikten sonra sıcak yataklarda yavaşça soğutulur. Gövde ve taban 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/mm² değerlerine çıkabilen arzu edilmeyen içsel gerilmelerin oluşmasına yol açar [9].

Temelde iki ray tipi vardır; birçok demiryolunda halen kullanılan tek mantarlı vinyol tipi ray ve oluklu ray (Şekil 2.4). Oluklu ray özellikle kentiçi demiryolu sistemlerinde kesintisiz akım olarak tabir edilen, demiryolu ve karayolu taşıtlarının kesiştiği bölümlerde tekerleğe bağımsız bir yuvarlanma yüzeyi sağlaması amacıyla kullanılmaktadır.

VİNYOL TİPİ RAY



OLUKLU RAY



Şekil 2.4 Ray tipleri

2.1.2 Kaynak

Günümüzde rayların kaynaklanarak bağlanması için genel olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar alın kaynağı, termit kaynak ve elektrik ark kaynağıdır.

2.1.2.1 Alın Kaynağı

Alın kaynağı genellikle mobil kaynak makineleri ile gerçekleştirilir. Bu yöntemde raylar elektrik akımı ile ısıtılır ve ısınan uçlar işleme tabi tutulur. Ana metalin 25-30 mm'lik bir kısmı eritilerek kaynak yapılır ve yaklaşık 3 dakika sürer. Bu kaynak yönteminin, farklı bir kimyasal veya metal kullanılmaması, tam otomasyon sayesinde işçilik hatasının olmaması, kaynak kalitesinin iyi olması, yorulma mukavemetinin daha iyi olması, daha iyi sertlik dağılımının olması gibi üstünlükleri vardır.

Alın kaynağı Türkiye'de Ankara-İstanbul Hızlı Tren Projesi kapsamında, Ankara-Eskişehir bölümünde kullanılmıştır. Şekil 2.5'te mobil alın kaynağı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.5 Mobil alın kaynağı makinesi ve uygulaması [13]

2.1.2.2 Termit Kaynağı

Termit kaynağı uygulanırken kalıp kovası içerisine bırakılan termit malzeme 2400 °C sıcaklıkta eritilir ve bunun ardından soğumaya bırakılır. Soğumadan sonra kalıp açılır, fazla kısım kırılır. Rayın tekerlekle temas eden yüzeyinde bulunan fazla malzeme ray profiline uygun profildeki ekipman ile tesviye edilerek, düzgün bir yüzey sağlanır.

Türkiye’de termit kaynak kentiçi raylı sistemlerin birçoğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.6’da İstanbul’da 2004 ile 2006 yılları arasında inşaa edilen Zeytinburnu-Bağcılar Tramvay projesi esnasında gerçekleştirilen alüminotermit ray kaynağı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.6 Alüminotermit kaynak uygulaması [14]

2.1.2.3 Elektrik Ark Kaynağı

Alın kaynağının veya termit kaynağın yapılamadığı yerlerde rayları kaynaklamak için kullanılan bir yöntemdir. Kaynak işlemi yapılmadan önce contanın her iki tarafından en az 10 cm’lik kısımda bütün ray kesiti ısıtılır. Minimum 680 Mpa (N/mm²) çekme dayanımlı raylar için 300°C’ye ve 880 Mpa (N/mm²) çekme dayanımlı raylar için

400°C'ye kadar ısıtılır. Kaynak işlemi boyunca sıcaklığın bu değerler altına düşmesine asla izin verilmez. Kaynaktan sonra da sıcaklıktan oluşan gerilmeyi azaltıp, kademeli soğutmayı sağlamak için kaynağın her iki tarafından 1 m'lik kısımlar yaklaşık 100°C'ye kadar ısıtılır. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 Elektrik ark kaynağı uygulaması [15]

2.1.3 Cebireli Bağlantı

Cebire, rayların birbirlerine bağlandıkları yerlerde, rayın her iki yanına konulan, bulonlarla sıkıştırılan, yumuşak çelikten ve özel profillerde imal edilen levhalara denir. (Şekil 2.8)

Cebireli bağlantılarda iki ray ucu arasında bir miktar aralık bırakılır. Buna genleşme aralığı denir. Bu aralıklar raylar ısındıkça kapanır, soğudukça açılır.

Cebireli bağlantı yolculuk konforunu düşürür, tekerleğin ve rayın aşınmasına ve yorulmasına sebebiyet verir. Cebireli bağlantının bakım masrafları uzun kaynaklı raylara göre yüksektir.

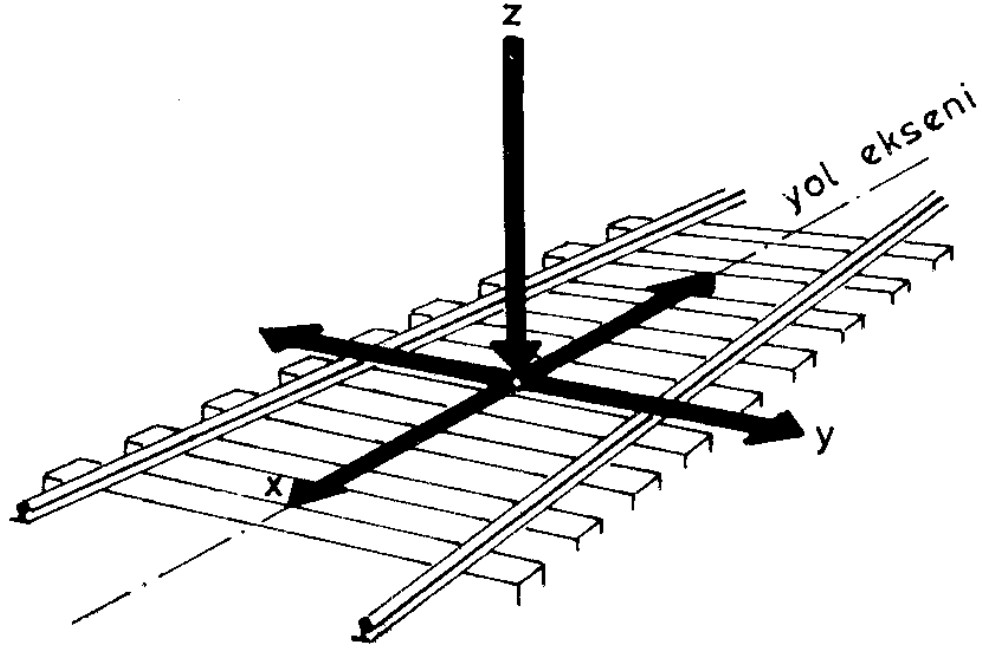


Şekil 2.8 Cebireli bağlantı [16]

Sinyalli hatlarda sabit blok bölgelerini ayırmak için izoleli cebire kullanılmaktadır. İki ray arasında elektrik akımını yalıtmak için plastik malzemeler kullanılmaktadır. Çelik cebire raya epoksi ile çok sıkı bu şekilde yapıştırılmaktadır. Alternatif olarak ahşap veya fiberglas cebireler de kullanılmaktadır.

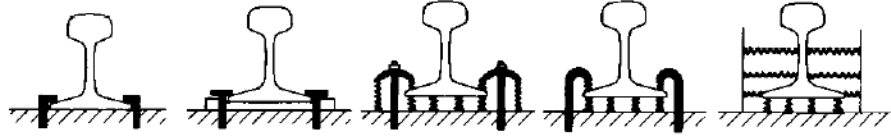
2.1.4 Bağlantı Elemanları

Ray ile travers arasındaki yapısal bağlantıyı oluşturan sisteme bağlantı elemanı denir. Demiryolu araçlarından yola gelen dinamik etkiler, biri düşey doğrultuda, diğer ikisi yatayda yol eksenine paralel ve dikey olmak üzere üç doğrultuda toplanabilir (Şekil 2.9). Bu üç doğrultudaki kuvvetler altında rayların traverslere sabitlenmesi gerekmekte ve bağlantı elemanlarının şekil ve cinslerinin de ona göre seçilmesi gerekmektedir (Şekil 2.10).

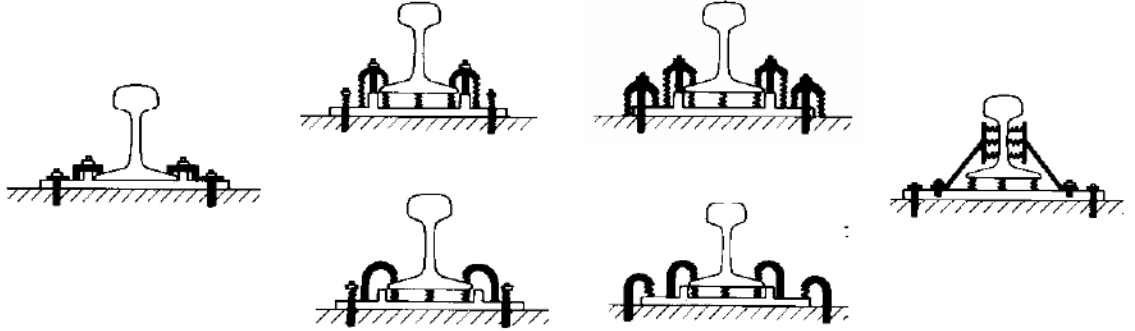


Şekil 2.9 Demiryolu araçlarından yola gelen kuvvetler [9]

Direk Bağlantılar

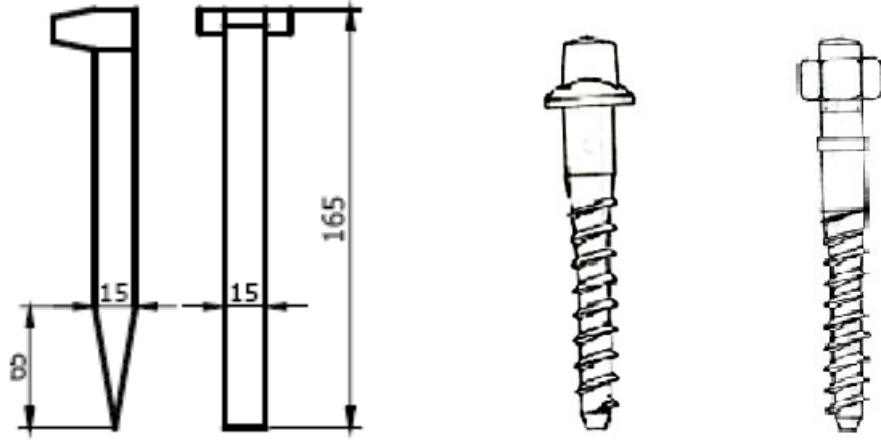


Endirek Bağlantılar



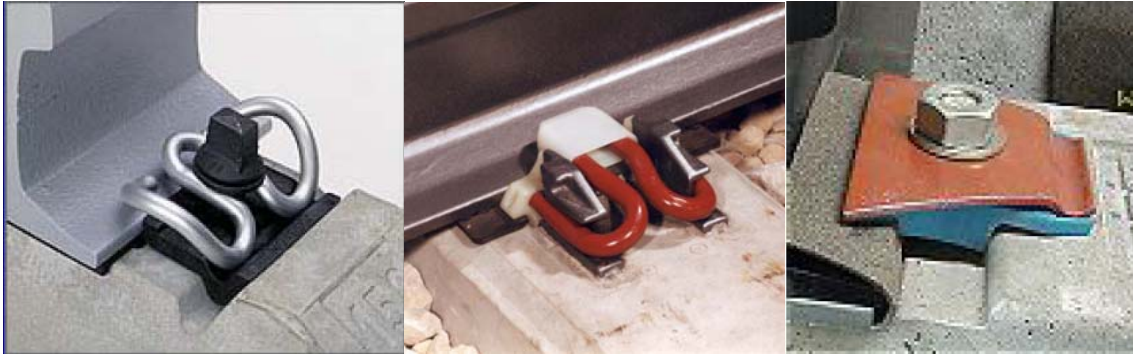
Şekil 2.10 Bağlantı Sistemleri [17]

Vinyol tipi rayların ahşap traverslere sabitlenmesi eskiden 'krampon' adı verilen demir çivilerle yapılırdı. Bugün daha ziyade, traversten sökülmesi krampondan daha zor olan ve 'tirfon' adı verilen bir burgulu bağlantı elemanı kullanılmaktadır (Şekil 2.11).

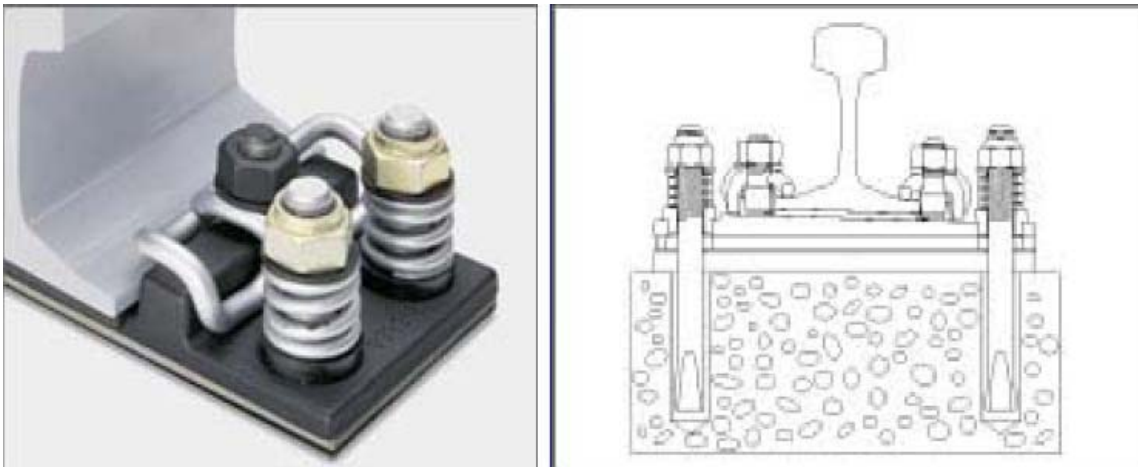


Şekil 2.11 Krampon ve tirfon çeşitleri [8]

Günümüzde rayların traverslere sabitlenmesinde değişik tipte birçok elastik bağlantı elemanı kullanılmaktadır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te günümüzde en çok kullanılan direk ve endirek sistemler görülmektedir.



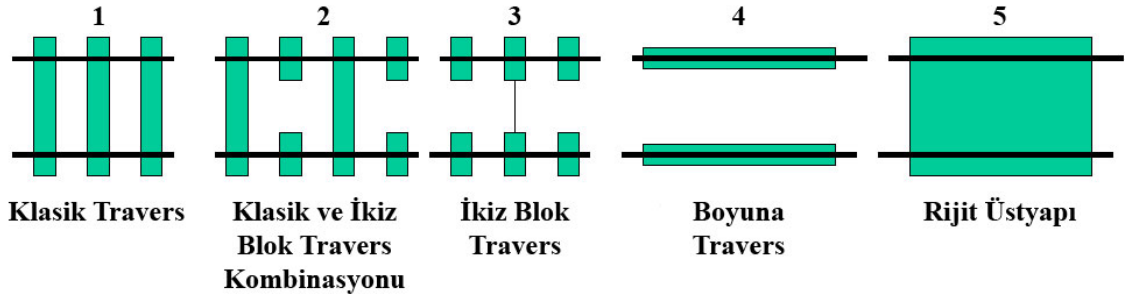
Şekil 2.12 Vossloh W14, Pandrol ve Nabla direk bağlantı elemanları [13]



Şekil 2.13 Vossloh System 336 endirek bağlantı elemanı [13]

2.1.5 Travers

Traversler, yol eksenine dik veya paralel yönde ve belirli aralıklarla, rayların altına balast tabakası içine gömülü olarak döşenen enine ve boyuna kirişler olup, raylara mesnet görevi yapmaktadırlar. Traversler Şekil 2.14'te gösterildiği gibi çeşitli şekillerde yerleştirilebilirler.



Şekil 2.14 Travers yerleşimleri [17]

Üretildikleri malzemeye göre, günümüzde 3 çeşit travers türü vardır: ahşap, betonarme ve çelik traversler (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Ahşap travers, betonarme travers ve çelik travers [13]

2.1.6 Balast

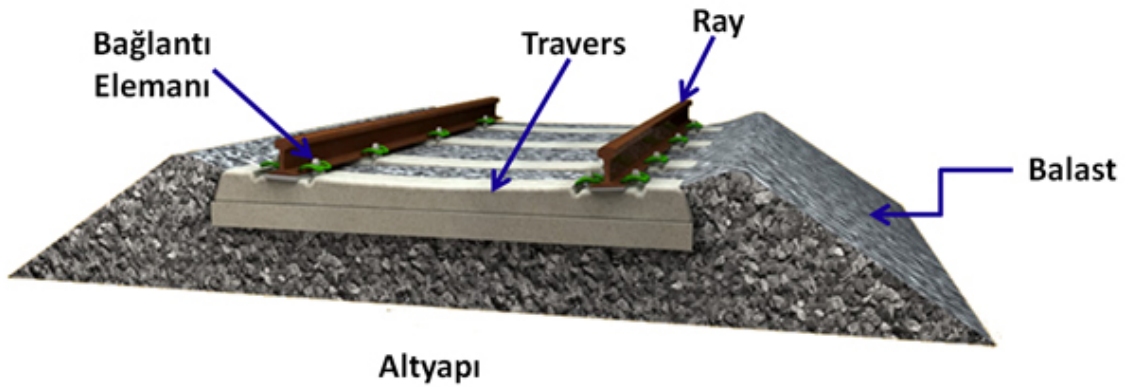
Balast, raylarla traverslerin bağlantı elemanları ile birleştirilmesiyle oluşturulan yol çerçevesinin altına döşenen ve çapları genellikle 20 - 70 mm arasında olan taş danelerden oluşturulan üstyapı malzemesidir. Granit, bazalt gibi volkanik kayalar ile silisli kireç taşı, sert kum taşı ve sert kalker taşlarının belirli dane çaplarında kırılmasıyla elde edilir. İri çakıl taşları da kırılarak balast malzemesi olarak kullanılabilir. Ancak küresel, oval yüzeyli taşları kullanmaktan sakınılmalıdır. Taşların basınç dayanımları en az 180 - 200 N/mm² (1800 - 2000 kg/cm²) olmalıdır. Kalınlıkları 20 mm'nin altında ve

uzunlukları 90 mm'nin üzerinde olan dane miktarlarının toplam ağırlığa göre oranları %15'in üzerine çıkmamalıdır.

2.2 Üstyapı Tipleri

2.2.1 Balastlı Üstyapı

Günümüzde dünya üzerinde kullanılan demiryollarının çoğunluğunun üstyapısı balast üzerine döşenmiş ahşap veya beton traverslere bağlanmış raylardan meydana gelmektedir. Balastlı üstyapı elemanları balast tabakası, traversler, çelik ray ve bağlantı elemanlarından oluşur (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Balastlı üstyapı

Yapım, bakım, onarım kolaylıkları ve düşük maliyetli olmaları nedeniyle balastlı üstyapı sistemlerinin gelecekte de uzun bir süre kullanılacağı açıktır. Fakat balastsız üstyapının maliyeti daha fazla ve kalifiye işçilik gerektirmesine karşın, kullanılabilirlik süresi klasik üstyapıdan daha fazla, bakımı için harcanan zaman ise daha azdır. Bu, günümüzün gittikçe artan trafik yoğunluğunda bakım ve yenileme işlemlerinin yapılabilmesi için büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Günümüzde, İstanbul'da Aksaray – Havalimanı arasında işleyen Hafif Metro Sistemi'nin Aksaray – Yenibosna arası (Şekil 2.17) ve İzmir'de İzmir Metrosu (Şekil 2.18) KRS'lerdeki balastlı üstyapılara örnek verilebilir.



Şekil 2.17 İstanbul Hafif Metro Sistemi



Şekil 2.18 İzmir Metrosu

2.2.2 Balastsız Üstyapı

Balastsız üstyapı Almanya’da ‘Feste Fahrbahn’, İngiltere ve ABD’de ‘Slab Track’, ‘Ballastless Track’ ya da ‘Direct Fixation Track’ adlarıyla tanınmaktadır.

Balastsız üstyapı (Slab Track Structures), balast tabakası yerine; daha az şekil değiştiren beton, betonarme ya da asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapı tipidir. Taşıma tabakası asfalt ya da beton olabilir. Balastsız üstyapı için gerekli elastiklik, ray ve travers arasında ve/veya travers altında elastik malzemeler kullanılarak sağlanır [18].

Yatırım maliyetlerinin yüksek olması balastsız üstyapı sistemlerinin yaygın kullanımını engellemiştir. Balastsız üstyapıda, en büyük tasarruf tünel ve köprülerde elde

edilmektedir. Daha etkili inşaat metotlarının kullanılmasıyla inşaat maliyetinin daha da düşürülmesi sağlanabilecektir.

Balastsız üstyapının en önemli nitelikleri; gevşek bağlantılı balastta yetersiz olan yük iletiminin, yükü dağıtan daha rijit bir tabaka ile sağlanması ve balastlı üstyapının etkili elastikliğinin, yol boyunca ray tabanının altına ya da travers tabanı altına konulan elastik elemanlarla sağlanmasıdır.

En iyi bilinen ve şu anda kullanımda olan, balastsız üstyapı sistemleri şunlardır:

- Taşıma tabakası içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi (Rheda, Züblin - Almanya, PORR - Avusturya, Stedef, Sonneville LVT-Fransa) (Şekil 2.19, Şekil 2.20, Şekil 2.21)
- Taşıma tabakası üzerine döşeli travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi (ATD sistemi -Nant, GETRAC) (Şekil 2.22)
- Monolitik balastsız üstyapı sistemi (Rasengleis) (Şekil 2.23)
- Prefabrik balastsız üstyapı sistemi (German Prefabric – Almanya, Shinkansen - Japonya, Güney Kore, IP İtalya) (Şekil 2.24)
- Gömülü raylı üstyapı (Embedded Rail Structure) (Infundo üstyapı sistemi - Hollanda) (Şekil 2.25)
- Kama sistemi ile sıkıştırılmış raylı balastsız üstyapı sistemi (Hollanda Edilon Corkelast gömülü raylı yol sistemi) (Şekil 2.26)

Balastsız üstyapı sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. En genel sınıflandırma şekilleri şunlardır:

- Demiryolu türüne göre
- Uygulama yerine göre
- Yapı tipi ve döşenme şekline göre (Çizelge 2.1)
- Ülkeye özgün gelişmelere göre
- Kronolojik gelişime göre



Şekil 2.19 Rheda 2000 taşıma tabakası (TT) içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı [13]



Şekil 2.20 PORR TT içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [12]



Şekil 2.21 LVT, TT içine gömülü travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [17]



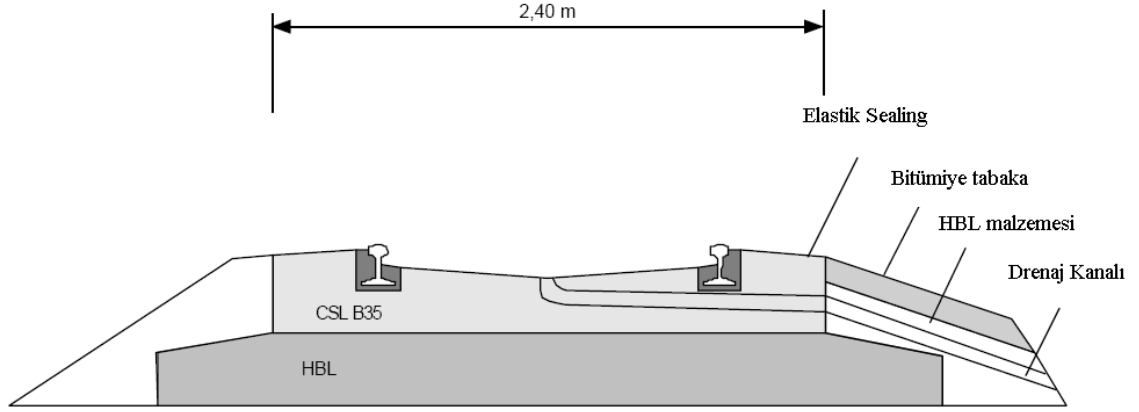
Şekil 2.22 Taşıma tabakası üzerine döşeli travers mesnetli balastsız üstyapı sistemi [12]



Şekil 2.23 Monolitik balastsız üstyapı sistemi [12]



Şekil 2.24 Prefabrik balastsız üstyapı sistemi [2]



Şekil 2.25 Infundo üstyapı sistemi [19]



Şekil 2.26 Edilon Corkelast gömülü raylı yol sistemi [2]

Demiryolu türüne göre sınıflandırmada, şehirler arası demiryollarında ve kentiçi raylı sistemleri olan metro, hafif raylı sistem (LRT) ve tramvay yollarında uygulanan balastsız üstyapı tipleri yer alır.

Balastsız üstyapı sistemleri genel olarak yapı tipi ve döşenme şekline göre sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.1). Döşenme şekline göre balastsız üstyapı tipleri mesnetli döşeme ve sürekli döşeme olmak üzere başlıca iki grupta incelenebilir.

Çizelge 2.1 Yapı tipi ve döşenme şekline göre balastsız üstyapı tipleri [18]

MESNETLİ DÖŞEME					SÜREKLİ DÖŞEME	
TRAVERSLİ		TRAVERSSİZ				
GÖMÜLÜ	DÖŞELİ	BAĞLAYICI HARÇ MESNETLİ	MONOLİTİK	PREFABRİK	RAY GÖMÜLÜ	RAY KAMALI

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE ÜSTYAPI BAKIM - ONARIM TEKNİKLERİ

Bu bölümde kentiçi raylı sistemlerde özellikle balastlı üstyapı için uygulanan bakım – onarım yöntemlerinden; hat denetimi, ray taşıma, buraj, balast temizleme ve üstyapı elemanı yenileme hakkında bilgi verilmektedir.

Bir demiryolu hattı işletmeye açıldıktan bir süre sonra işletme güvenliğini ve konforunu etkileyen birtakım bozulmalar meydana gelir. Bu yüzden belirli bir işletme hızı için işletme güvenliğinin ve konforunun kabul edilebilir bir seviyede kalmasını sağlamak için bakım yapılması gerekir. Hat bakımı, hat kalitesini tamir edilemez boyuta getirmeden önce teknik imkanları ve ekonomik kapasiteyi hesaba katarak optimum maliyet ile yapılmalıdır.

1950'li yıllara kadar bütün hat bakımları işçi gücü ile yapılırken sonradan basit hat bakım makinelerinin hizmete girmesiyle kullanılan işçi gücü azalmaya başlamıştır. Bakım çalışmaları makine ve işçi güçlerinin birlikte kullanılması ile yapılmaktaydı. 1967 yılından sonra gelişmiş hat bakım makinelerinin kullanılmaya başlaması ile neredeyse makine operatörleri dışında işçiye gerek kalmamıştır. Sadece işçi ile yapılan bakımlarda 1 km'lik hattın bakımı için 1300 adamxsaat harcanırken günümüzde 142 adamxsaat harcanmaktadır. Tam makineli bakım sayesinde işçi maliyetlerinde %90 azalma sağlanmıştır. Avrupa'da olduğu gibi Türkiye'de de hat bakımları tam makineli olarak yapılmalıdır [4].

Avrupa'da bakım çalışmaları koruyucu bakım programı dahilinde ve tam makineli olarak gerçekleştirilmektedir. Koruyucu bakım, belli bir program hazırlanarak üstyapı sorunlarının belli toleranslar içinde düzeltilmesidir. Koruyucu bakım programının bir

örneği Ek-A'da verilmiştir [20]. Bu bakım konseptinde, bakım çalışmaları daha yüksek maliyetlere neden olmadan önce optimum bakım periyotları içinde yapılır.

3.1 Hat Denetimi

Demiryollarının inşaatında ve bakımında kullanılan teknoloji her zaman en güvenilir olmak zorundadır. Balast çökmeleri, kirli balast, altyapının drenaj problemleri, uygun olmayan bölgesel zemin katmanları devamlı olarak kontrol edilmeli, yerleri bilinmeli ve gelişmeleri gözlenmelidir. Bu tip balast ve zemin problemleri genişleyerek diğer bölgeleri de etkileyebilir. Bu gibi durumlarda, ağır bakım makineleri ile balast temizlenir veya bölgedeki buraj tutmayan bölgede altyapı iyileştirmesine gidilir. Bu bakımlar beraberinde işletmede aksamalara neden olur. Fakat etkin ve periyodik bir tarama ile tüm bu sorunlardan kurtulmak mümkündür.

Demiryollarında yol kalitesini en st düzeyde tutmak, güvenli ve konforlu işletme sağlamak için planlı ve periyodik bakımlar yapılmalıdır. Demiryolu bakımlarının fayda-maliyet açısından en uygun zamanda yapılabilmesi için sürekli olarak altyapı-üstyapı durumları hakkında veri toplanması gerekmektedir. Yol geometrisindeki ve yol malzemelerindeki bozulmalar periyodik olarak muayene ve ölçümlerle takip edilmelidir.

Bu muayene yöntemlerinden biri olan GPR (Ground Penetrating Radar: Zemin Penetrasyon Radarı) ile balast ve zemin tabakası sürekli olarak kontrol edilebilmektedir. Türkiye'de de hat denetimi için kullanılan bu makineler, tabaka kalınlığı lçebilmesi ve altyapı tabakalarının enine kesit haritalarını ıkartabilmesi ile özellikle kirlenmiş amurlanmiř balast kesimlerinin belirlenmesinde etkili ve verimli bir yöntemdir. Daha detaylı bilgi elde etmek için zemin radarı ile tespit edilen noktalarda sondaj yapılmaktadır. Zemin penetrasyon radarı yöntemi ile sondaj için en uygun noktaları tespit etmek ve daha ekonomik inceleme yapmak mümkün olup, balast eleme yapılması veya balast takviyesi gereken bölgelerin saptanması hızlı ve kolay bir şekilde olmaktadır. Ayrıca balast ve zemin içine gömülü boru, kanal gibi yapılar da tespit edilmektedir.



Şekil 3.1 Hat denetimi için kullanılan çeşitli GPR makineleri [21]

Demiryolu geçkisi üzerindeki hat geometrisine ait stabilite, üstyapı koşullarının yanı sıra alt zeminin kalitesine de bağlıdır. Üstyapı koşullarına ait bilgilerin yanı sıra zeminin taşıma durumunu da değerlendirmek ve kaydetmek gereklidir. Avrupa'da hattın taşıma durumunun muayenesi, kaba ve ince olmak üzere iki ayrı bölüm üzerinden yürütülür:

- Kaba muayene, zemin radarı ile yapılır,
- İnce muayenede, test delikleri veya test çukurları kullanılır. (Zemin radarı ile birlikte kullanılıyorsa, yaklaşık her kilometrede bir, elle veya ekskavatör ile açılır.)

Karotlardan elde edilen zemin ile ilgili sınıflandırma ve dokümantasyon anında yapılabilir. Detaylı mekanik inceleme için karotlar laboratuvara gönderilir. Bunlar aynı zamanda radar kayıtlarının kalibrasyonunda kullanılır.

3.2 Ray Taşlama

Rayların yuvarlanma yüzeyinin kalitesi, demiryolu işletmesinin güvenliğini doğrudan etkiler. Ray yuvarlanma yüzeyindeki geometrik düzensizlikler dinamik yükün artmasına neden olur. Bu geometrik hatalar ya ray üretiminden kaynaklanan ray yüzeyi hataları ya da tekerlek teması sonucu oluşan ondülasyonlardır. Bu ray yüzeyi kusurlarını temizlemenin en uygun çözümü rayların taşlanmasıdır.

Son yıllarda, demiryollarında işletme hızlarının, dingil yüklerinin ve trafik yoğunluğunun artması nedeniyle hat bakımının önemi oldukça artmıştır. Küçük yarıçaplı kurplarda dış raydaki hızlı yanal aşınmanın, alinymanlarda ray mantarı iç köşelerindeki aşınmanın ve ray yüzeyindeki ondülasyonların nedeni uygunsuz tekerlek-ray ilişkisidir. Bu yüzden, hat bakımının en önemli amacı, ray-tekerlek temasını iyileştirmektir.

Demiryolu elastik tabakalardan oluşan karmaşık bir yapıdır. Dingillerin raya olan basıncını belirleyen dinamik yük katsayısı işletme hızına ve üstyapı kalitesine bağlı olarak artmaktadır. Dinamik yükler rayla birlikte, ray bağlantı malzemelerini, traversleri ve balast yatağını da etkilemekte ve hat stabilitesini bozmaktadır. Ray yüzeyindeki dalgalı aşınmalar yani ondülasyonlar dinamik yükleri arttıran en önemli faktörlerden biridir.

Ondülasyonlar 0,05 mm'lik bir dalga derinliğinde gürültü düzeyinde hissedilen bir artışa ve dalga derinliği 0,1 mm'nin üstüne çıktığında ise üstyapı bakım maliyetlerinin artmasına neden olabilmektedir. Ondülasyonlar beton traversli ve kötü durumdaki bir üstyapının hizmet ömrünü %30 azaltmaktadır. Taşlama, yol geometrisinin bakım aralığını %30-50 arttırır [1].

Almanya'da yapılan araştırmalar sonucunda ondülasyonun oluşumunda altyapının ve ray üst yüzeyi pürüzlülüğünün çok önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Ondülasyon yoğunluğu en fazla bataklık, kum, kil gibi zeminlerde olurken, kayalık zeminlerde en az olmaktadır. Çünkü yumuşak zeminlerde raylar daha büyük bir uyarılmaya maruz kaldığı için rayda daha büyük bükümler oluşmaktadır. Aynı bölgede tünel dışında ondülasyon varken tünellerde olmamasının nedeni de budur. Daha önceleri korozyon farkından olabileceği düşünülmüştür ancak daha sonra bu tezin geçerli olmadığı ortaya çıkmıştır. Ondülasyonun oluşma hızı 30 ile 50 MGT'lik trafik yüküne ulaşana kadar artar, daha sonra azalır [22]. Ondülasyondaki en büyük yoğunluk, açık yolda, hiç fren yapmadan gidilen raylarda görülmektedir. Çünkü rayların uyarılması taşıt hızı ile birlikte artar ve ray bükümleri daha hızlı bir şekilde ilerler. Ayrıca ondülasyon yoğunluğu, taşıtın dingil basıncı arttıkça artmaktadır.

Ondülasyonlar hattın yüksek frekanslı salınmasına, ray gerilmelerin artmasına, taşıtların daha fazla yorulmasına, trenlerin enerji kaybının artmasına, beton traversin çatlamasına, bağlantı elemanlarının gevşemesine, klipslerin ve pedlerin aşınmasına, balast ve altyapının daha kısa zamanda bozulmasına, gürültünün 5-15 dB(A) kadar artmasına neden olur. Almanya 48 dBA eşik değeri geçen hatlarda akustik taşlama yapmaktadır. Akustik taşlama gürültü bariyerine göre 25 yıllık ömürde 10 kat daha ekonomik bir yöntemdir [1].

Dinamik kuvvetlerin azaltılması için en etkili ve en çok kullanılan yöntemlerden birisi taşlamadır. Taşlama, sadece boyuna profil vermek için değil aynı zamanda ray yanal profilinin düzeltilmesi için de kullanılır. Yanal profil vermek ray aşınmasını ve metal akmasını azaltır, ray iç gerilme dağılımını kontrol eder, tekerlek profilini korur ve araç hareketini iyileştirir.

Metalurjik araştırmalar sonucunda, optimum taşlama derinliği olarak 0,1 mm'lik bir yükseklik ve yeni ray taşlama için 0,3 mm'lik bir yükseklik bulunmuştur. Yani ondülasyonları taşlamak için en az iki pas (taşlama geçişi) gerekir. Yeni raylar için en az 6 pas taşlama yapılmalıdır [23].

Gerçekte dalga derinliği arttıkça gerekli taşlama pas sayısı daha hızlı artmaktadır; yani taşlama işlemini dalga derinliği az iken yapmak daha ekonomik olmaktadır. Bu konuda, büyük dalga derinliklerinin üstyapıda telafisi mümkün olmayan zararlara yol açabileceği göz önünde tutulmalıdır. Genelde dalgalı ray oluşumunun, sıkı bir programla izlenerek, rayların zamanında taşlanması yol bakımı açısından önemli avantajlar sağladığı belirtilmektedir.

Muhtemel ray kırılmalarını önlemek ve daima sorunsuz bir hat işletmek için koruyucu taşlama yapılmalıdır. Yeni rayların döşenmesinden sonra balast çarpmasından kaynaklanan kusurların, kaynak çıkıntılarının ve korozyonun temizlenmesi için koruyucu taşlama yapılmalıdır. Ayrıca ray döşenirken ray ve travers toleranslarından kaynaklanan ray eğimi hataları koruyucu taşlama ile düzeltilir. Fransa TGV hatları ve Alman NBS hatları gibi yüksek hızlı hatlarda poz çalışmasından sonra hat işletmeye açılmadan önce koruyucu taşlama yapılır. Birçok demiryolu kurumunda yeni rayların yerleştirilmesinden itibaren 6 ay içinde sistematik olarak taşlama yapılır. Yorulma sonucu ray mantarı üzerinde oluşan, mekanik özelliği zayıflamış ve kristal kafes örgüsü bozulmuş ince tabaka, ortalama 0,3 mm kadar koruyucu taşlama ile taşlanarak temizlenmelidir. Alman Demiryollarına göre koruyucu taşlama düzeltici taşlamayı 60 MGT'luk trafik yükü kadar geciktirmiştir. İngiliz Demiryollarına göre koruyucu taşlama ondülasyon oluşumunu 5 yıl geciktirmiştir [24].

Taşlama ve burajın birlikte yapılmasının hızlı hatlarda daha iyi ve dayanıklı yerleşim sağladığı kanıtlanmıştır.



Şekil 3.2 Speno International ray taşlama makinesi [5]

Modern taşlama makinelerinde 16, 32 veya 48 adet taş bulunmakta ve ortalama bir pas taşlama yaparak saatte 6-7 km hızda çalışmaktadır. Taşların çapları 130-260 mm arasındadır ve bir seferde 0,2 mm taşlamak mümkündür. Taşlama derinliği maksimum ondülasyon derinliğinin 0,1 mm fazlası olarak belirlenir.

Taşlama makineleri taşlama yaparken yanal profil üzerinde ölçüm yaparak orijinal profilden olan sapmaları sürekli kontrol eder ve en uygun taşlama açılarını ve basınçlarını belirler. Makine bilgisayarında belli taşlama açısı setlerinden oluşan modüller vardır. Operatör bu alternatiflerden en uygun olanını seçerek taşlama programını belirler.

Sonuç olarak, balastlı hatlarda her iki yılda bir buraj çalışması ile birlikte koruyucu taşlama yapılarak ray yüzeyi kusurları temizlenmelidir.

Taşlama makineleri dışında rayı tornalayan freze (milling) makineleri vardır. 1,5 km/sa hızda ve 0,3 mm hassasiyetle derin ondülasyonları taşlamada kullanılmaktadır. Kesicilerin ömrü 2-4 km arasındadır. Bu makine ray yüzeyinde oluklar bıraktığı için yeni ondülasyonların başlamasına neden olabilmektedir.

3.3 Buraj

Demiryolu üstyapısında zaman içinde trafik yükleri, hava şartları ve altyapı sorunlarından dolayı geometrik bozulmalar meydana gelir. Geometrik bakım çalışması, buraj, tokmaklama veya dinamik stabilizatör ve regülatör makinelerinden oluşan makineli bir ekip tarafından gerçekleştirilir.

Günümüzde nivelman, dever ve dresaj bozukluğunu¹ düzeltmek için dresaj ekipmanlı buraj makineleri kullanılır. Buraja başlamadan önce malzeme bakımı yapılmalıdır. Bağlantı malzemeleri kontrol edilmeli, gevşek olanlar sıkılmalıdır. Traverslerin kırık ve çürük olanları değiştirilmeli ve raya göre eksen bozulan traverslerin eksenleri düzeltilmelidir. Ayrıca contalardaki ezilmeler ray bükme makinesi ile düzeltilmeli veya elektrik ark kaynak dolgu ile tamir edilmelidir. Buraj makinesinin çalışması sırasında balastta gömülü bulunan kablo ve borular için gerekli güvenlik tedbirleri alınmalıdır.

Hatta yolun kaldırma miktarına göre yeterli balast bulunmalıdır, aksi takdirde mutlaka balast eksikliği takviye edilerek tamamlanmalıdır. 16 m³ balast kapasitesi alan vagonlar ile balast takviyesi yapılabilir. Hatta dökülen balast bir regülatör makinesi ile yayılarak düzeltilir.



Şekil 3.3 Plasser & Theurer CSM 09/32 buraj makinası [25]

Daha sonra buraj makinesi hattın nivelmanını ve dresajını düzeltir ve travers altlarını balastla doldurur. Buraj makinesi, yolu istenilen yüksekliğe kaldırarak travers altına balast doldurmak suretiyle hattı düşey ve yatay doğrultularda ölçüm değerlerine göre düzeltir. Buraj çapaları aynı kuvvetle titreşim uygulayarak her bir travers altındaki

¹ Dresaj Bozukluğu: Yoldaki eksen kaçıklıkları

balast, eşit miktarda sıkıştırılmış olur. Sıkıştırma basıncı balast yatağı durumuna göre ayarlanabilir.



Şekil 3.4 Buraj makinesi çalışırken

Klasik buraj makineleri her traverste yavaşlar ve tekrar ivmelenir. Yeni Plasser & Theurer 09-CSM tipi buraj makineleri sabit hızla çalışır ve çapalar traversten traverse atlar. Bu şekilde bütün kütlenin % 20'si ivmelenir ve çalışma kabini yüksek konfor ve düşük enerji maliyeti sağlar. % 40 performans artar, titreşim ve gürültü ve makineye iletilen gerilme azalır. Makas ve kruvazmanların¹ burajı için özel makas buraj makineleri örneğin Plasser Unimat 08-275 tipi makineler kullanılır. Makas buraj makinesi standart hat burajı için de kullanılabilir [2].

1969 yılından itibaren buraj makinesi lazer sistemleri ile çalışmaktadır. Makinenin önünde ilerleyen araçta yolun proje değerinden olan sapmalar buraj makinesine lazerle iletilir ve buraj makinesinin bilgisayarında kayıtlı olan yol geometri bilgilerine ve 1-2 mm hassasiyetle iletilen sapma değerlerine göre düzeltme yapılır. Lazer aracı ile buraj

¹ Kruvazman: Birbirlerini kesen iki yolda, yön değiştirme olmadan, kendi yönünde geçişi sağlayan demiryolu tesisidir.

makinesi arasındaki mesafe hava şartlarına bağlıdır ve gündüz 200-300 m, gece 500 m kadar mesafe mümkündür [26].

Balast 40 Hz frekanstan sonra stabilitesini kaybeder ve yolun formu bozulur. Buraj çapaları 35 Hz de 115-125 bar basınçla çalışır, en iyi sıkıştırma bu frekansta elde edilir. 45 Hz frekansa göre en az 2 kat sıkıştırma enerjisi iletilir [1].

Bazı demiryolları 20-25 mm kaldırma değerleri için süflaj çalışması yapar. Süflaj çalışması traversin altına mıcırların bir üfleç vasıtası ile yerleştirilmesidir. İngiliz Demiryolları balast veya zemin kalitesi kötü olduğu için 3-6 ayda bir süflaj yapmaktadır. Süflaj, burajın yerine yapılmayan ancak buraja ek olarak yapılan bir çalışmadır. Bir hattın stabilitesinin tam olarak sağlanması için son kat ayarlaması mıcır üfleci ile yapılır. Süflaj çalışmasında ölçüm yapılarak travers altındaki boşluk tespit edilir, travers kaldırılır ve altındaki boşluğa traversin kenarından bir tüp yerleştirilir. Eklenen mıcır miktarı ile kaldırma değeri arasındaki ilişkiden gerekli mıcır miktarı hesaplanarak boşluğa üflenir. Sonra tüp çekilerek travers yerine indirilir. Sonuç itibarıyla süflaj çalışmasına göre buraj makineleri daha ekonomiktir ve daha iyi yol stabilitesi sağlamaktadır.

Burajın arkasında tokmıklama makinesi veya stabilizatör makinesi yolun stabilitesinin büyük ölçüde tekrar kazanmasını sağlar ve hız sınırlaması konulmadan işletme seferlerinin yeniden yapılmasını sağlar.



Şekil 3.5 Plasser & Theurer DGS 62N dinamik stabilizatör [27]

Buraj çalışması balast yatağının yatay direncini % 40-50 azaltır. Bu nedenle hat bakım çalışmalarından sonra izin verilen seyir hızının azaltılması gerekir. Hız sınırlamanın mümkün olmadığı yerlerde, burajın arkasından dinamik stabilizatör makinesi hat'a girer. Stabilizatör, balast yatağının iyi bir kalitede olması durumunda kaybedilen yatay direncin yarısını tekrar sağlar. Bu fayda 100 000 tonluk trafik yük etkisine denk gelir. Bu sayede geometrik bakım aralığı % 30 uzatılmaktadır. Avusturya Demiryolları stabilizatör makinesi için maliyet analizi yapmıştır. Buraj aralığı 3 yıldan 4 yıla çıktığı için km hat başına 430 € yıllık tasarruf, 35 yıllık bir hat ömründe km hat başına 15 000 € tasarruf edilmektedir. İçsel verim oranı (internal rate of return) % 484 olarak hesaplanmıştır. Bu makine hatta yatay yönde titreşimler uygular ve aynı zamanda hidrolik olarak aşağıya doğru bastırır. Makine 15 cm derinliğe kadar etki etmektedir. Bu sırada üretilen yatay güçler 150 kN civarında olmaktadır. Dinamik hat stabilizatörü kullanıldığı takdirde hat, buraj çalışmasından sonra yeniden en yüksek hızla sefer yapılacak hale gelmektedir [1].

Dinamik stabilizatör etkinliği şunlara bağlıdır:

- Sıkıştırma frekansına: operatör makinenin düzgün çalışmasına göre ayarlar ve genelde 28-35 Hz arasındadır.
- Uygulanan hidrolik silindir yüküne: 70-240 kN arasında sürekli olarak ayarlanabilmektedir.

- Çalışma hızına: pratikte 10 mm çökme elde etmek için makine 70 defa geçmelidir. Çalışma hızı arttıkça verimliliği de azalmaktadır.
- Darbenin dinamik gücüne: DTS62N makinenin toplam eksantrik kütlesi 95 kg'dır ve buna tekabül eden dinamik güç; 30 Hz'de 200 kN olmaktadır. Eksantrik kütle arttıkça verimliliği de artmaktadır.

Travers ile balast arasındaki temas alanı çok düşüktür. Ahşap traverste bu oran % 4-10 arasında ve beton traverste % 1-9 arasındadır. Buraj ve sıkıştırma sayesinde temas alanı % 40 kadar artmaktadır [1].

En son olarak, süpürgeli bir regülatör makinesi hem balast banketini düzenler hem de süpürgesi ile bağlantı malzemeleri üzerindeki balastı temizler. Bağlantı malzemeleri üzerinde bulunan balast, tren titreşimleri ile bağlantı malzemesinin aşınmasına neden olur.



Şekil 3.6 Plasser & Theurer SSP 110 SW balast regülatörü [28]

Alman Demiryollarına göre hızlı ve ağır trafik hatlarında 2 yılda bir geometrik bakım yapılmalıdır. Almanya'da cari hatlarda 25-28 MGT trafik yükü geçtikten sonra geometrik bakım yapılmaktadır [29]. Bununla birlikte, Fransa'daki TGV hatlarındaki tecrübelerle göre (zayıf bir üstyapı ve yüksek balast sıkışması vardır) yaklaşık her iki yılda bir buraj yapılması gerekir. Fransa'da TGV hatlarında balast yatağının her 15 yılda bir yenilenmesi görüşü egemendir [4]. Günümüzde Alman Demiryollarında balast eleme yenileme sırasında, yani 20-30 yıl sonra yapılmaktadır [1].

Tam mekanizasyonun uygulandığı ülkelerde 4-5 yılda bir tam bakım yapılır. Bunun dışında gereken yerlerde yılda bir defa dresaj ve ağır buraj makineleri ile tokmaklama yapılır [30].

Burajda hattı 15-20 mm altında kaldırmanın anlamı yoktur. Mesela 40 mm kaldırma yapıldığında, 15 mm tekrar oturmaktadır. Burajdan sonra yol, stabilitesini kazanana kadar (0,5 - 2 MGT) hızlı bir şekilde oturma yapmaktadır, bunun için proje değerinden bir miktar fazla kaldırma yapılması gereklidir [1]. Türkiye’de hızlı yolcu trenleri ve ağır yük trenlerinin çalıştığı ana hatlarda geometrik bakım periyodunun 2 yıl alınması gereklidir. TCDD'nin tecrübelerine göre, her geometrik bakımdan önce ortalama olarak % 4 balast takviyesi ihtiyacı olmaktadır [4].

3.4 Balast Temizleme

Balast temizleme çalışmasına başlamadan önce yapılması gereken işler:

- Hattaki çürük ve kırık traversler değiştirilmelidir.
- Ekartman¹ ayarı yapılmalıdır.
- Raya göre ekseni bozulan traverslerin eksenleri düzeltilmelidir.
- Aşınma toleranslarını geçen raylar yenilenmelidir.
- Ray - travers bağlantıları kontrol edilmeli, gevşek bağlantılar sıkılmalı, kırık olanlar değiştirilmelidir.
- Cebireli hatlarda cebire bulonları kontrol edilmeli, gevşek olanlar sıkılmalıdır.
- Makinenin bıçak genişliği içerisinde kalan ve elemeye engel olabilecek bir şey olmamalıdır.
- Balast tabakası içinde kalan sinyal ve enerji kabloları işaretlenmeli ve zarar görmemeleri için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Travers altındaki minimum 25 cm derinlikteki balastı hafriyat dişleri ile kazımak için balast eleme makinesi kullanılır. Travers arasındaki ve altındaki balast platform seviyesine kadar boşaltılır ve platform üstüne makinenin bıçağı yerleştirilir ve kazıyıcı

¹ Ekartman: Bir demiryolu hattında iki ray arasındaki mesafe.

zincirlere bağlanır. Eğer 10-15 mm kadar bir elenmemiş balast tabakası bırakılırsa, suyun drenajını engelleyeceği için balast eleminin verimliliğini azaltacak ve daha erken yapılması gerekecektir. Dişlere bağlı bant sistemi ile kazılan balast yukarı kaldırılır ve ebadı 35 mm'den az olan balastı eleyen titreşimli eleklerden geçirilir. Temiz iri balast hatta geri gönderilir. Balast eleme makinesi balast içindeki yabancı maddeleri de eler. Eleme sonunda çıkan atık malzeme hattın dışına boşaltılır veya taşıyıcı bantla makinenin arkasına bağlı vagonlara yüklenir. Atık malzemenin yarma hendeklerine ve yarma şevlerine dökülmesi sakıncalıdır. Bu bölgelerde ve tünellerde elek atıkları vagonlara yüklenerek taşınır. Bant sistemi ile çalışan özel vagonlar ile en arka vagonun başlayarak öne doğru vagonları doldurmak mümkündür. Vagonların kapasiteleri 50 ila 140 ton arasında değişmektedir. Ufalanmış balast beton agregası olarak kullanılır. Ayrıca ufalanmış balast iyi bir stabilize malzemesi olarak çeşitli yerlerde kullanılabilir.

Eğer balast tabakası yüksekliği 25-30 cm'den az ise makinenin bıçakları platforma girer ve oyulmasına neden olur. Bunun için makine, çeneleri ile hattı kaldırarak eleme yapar. Şayet kaldırma ünitesi yoksa yeterli yüksekliği sağlayacak kadar balast takviyesi yapılarak yol yükseltilmelidir. Balast eleme makinesinin önünde sık sık sondaj çukurları açılarak balast derinliği ölçülerek kontrol edilir.



Şekil 3.7 Plasser Theurer RM 80 balast eleme makinesi [31]

Günümüzde Plasser Theurer RM 80/RM 90 balast eleme makineleri saatte 500-700 m³ kapasite ile 28 cm derinliğinde ve 7,70 m genişlikte eleme yapabilmektedir. Eleme sonrası ince malzeme oranı % 3'den az olmaktadır. RM 800 makinesi ile saatte 800 m³ ve RM 900 makinesi ile 1000 m³ eleme yapılmaktadır. Eleme derinliği 32-42 cm'i bulmaktadır.

Balast eleme makinesinden önce hat'a regülatör makinesi girer ve banketlerdeki balastı hattın içine doğru toplar. Çünkü balast eleme makinesi her iki tarafta travers

kafasından 40-45 cm mesafe arasında kalan alanın elemesini yapar. Regülatör makinesi bu alanın dışında kalan balastı toplayarak elenmesini sağlar. Eleme makinesinin hemen arkasından buraj makinesi girer ve travers altlarını balast ile doldurur. Buraj makinesi mevcut balastın elverdiği ölçüde yolun nivelmanını da düzeltir. Eleme sonunda travers kafaları da boşta kaldığı için buraj makinesi bir balast direnci ile karşılaşmayarak yüksek dresaj bozukluklarını da rahatlıkla düzeltebilir. Bu çalışma tren seferlerinin yeniden devam edebilmesi için yapılan geçici bir çalışma hükmündedir. Çünkü yolun buraj makinesi ile kırmızı kota getirilmesi için gerekli balast takviyesi bir iki gün sonra yapılabilmektedir. Balast takviyesi balast vagonlarındaki balastın rayların her iki tarafına boşaltılması ile gerçekleştirilir.

Balast takviyesinin arkasından tekrar regülatör makinesi girer. Bu sefer makine düzgün bir şekilde dökülmeyen balastı yayarak düzgün dağılımını sağlar. Ayrıca hat içindeki balast yığınlarının buraj makinesinin dresaj ölçüm ipine sürmesini ve yanlış ölçüm vermesini önlemiş olur. Balast eleme ve takviye çalışmalarından sonra buraj, tokmaklama veya stabilizatör ve süpürgeli regülatörden oluşan bir geometrik bakım çalışması yapılır.

Hollanda Demiryolları (NS)'na göre balast içinde % 20 yabancı madde varsa balast elemesi yapılmalı, genel olarak da 10 yılda bir balast elemesi yapılmalıdır ve eleme sonrası % 13 balast takviyesi yapılmalıdır [32]. Avrupa'da yeşil çevreye sahip ülkelerde balast eleme periyodu 5-6 yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'de ortalama olarak 9 yılda bir balast elemesi uygun kabul edilebilir. Bu durumda balast elemenin arkasından % 13 kadar bir balast takviyesi gerekli olacaktır.

3.5 Üstyapı Elemanı Yenileme

Türkiye'de, üstyapı elemanı yenileme çalışmasında, ilk önce bu konuda bilgili bir ekip tarafından bütün hat muayene edilir, sonrasında aşınmalardan zarar görmüş ve artık kullanılamaz durumda olan üstyapı elemanları için yenileme yapılmaktadır.

Üstyapı elemanlarını manüel yenilemenin normal işletmelere nerdeyse hiç engeli yoktur. Sadece traverslerin yenilendiği bölümlerde % 75 hız limit sınırlaması vardır. Bu, kısmen, NS'nin büyük ölçekte manüel yol temizlemeyi kullanmasının sebebidir. Bunun diğer bir sebebi de Hollanda'daki birçok tren yolunun balast yatağının çakıllardan

oluşmasıdır. Çakıllı bölgede elle çalışmak mantıklı bir seçenektir. Son olarak, yenileme için döşeme sistemini seçerken traversin türü önemlidir; beton traversler ağırlığından dolayı sadece mekanik olarak döşenebilirler.

Hatlarda sürekli kaynaklı ray kullanımı çalışma yönteminin şartlarını etkiler; sürekli kaynaklı ray uygulanmış hatlarda geçiş noktasında balast direnci yeterince büyük olmalıdır ki yenilemeden hemen sonra tekrar zarar görmesin. Dahası, alinymanda düzensizlik olmamalıdır. Nedeni, genel kural olarak önce traversler sonrasında raylar yenilenir [2].

3.5.1 Traverslerin Yenilenmesi

Eğer balast yatağı çakıldan oluşmuşsa, yenilemeden evvel balast döküntüleri ve çakıl kırıntılarından temizlenmelidir. Buradaki amaç, traverslerin yerine yenileri yerleştirilirken bu kırık malzemenin çakılla karışmaması ve böylece balast yatağını sağlamlaştırmak ve balast stabilitesini yükseltmektir. Yeni traversler ve bağlantı elemanları yolun yanına boşaltılır.

Travers yenileme işlemi birer birer yapılır. Balast, traverslerin etrafından çıkarıldıktan sonra, travers sökülüp yolun kenarına çıkarılır ve yenisi döşenir [2].

3.5.2 Rayların Yenilenmesi

Yeni 180 m uzunluğundaki raylar, traverslerin yanına çıkartılır ve gün boyunca, tek bir seferde yerleştirilebilecek şekle sokmak için kaynak yapılır. Bu uzunluk, sahip olunan yolun uzunluğuna göre değişir ve 540 m den 1080 m ye kadar değişkenlik gösterebilir. Rayların yerleştirilme süreci aşağıdaki şekildedir:

- Bağlantı elemanları gevşetilir ve eski raylar yolun içine konulur.
- Yeni raylar, travers desteklerine ve hali hazırda yenilenmiş termit kaynaklı raylara yerleştirilir. Her 6 m de bir, yenilenen rayların altına bir rulo yerleştirilir. Hidrolik gerilim ekipmanının yardımıyla raylar, nötr ray sıcaklığı 25°C ye karşılık geldiği bir uzunluğa ulaşıncaya kadar uzatılır. Yerleştirilen bu rulolar, rayların uzatılması esnasında hareket kolaylığı sağlar.

- Raylar bir kez istenen uzunluğa eriştikten sonra, rulolar çıkarılır ve raylar traverslere tutturulur.
- Gün boyunca eski raylar 180 m uzunluğundaki ölçülerde kesilir ve yeni rayları getiren özel trenler tarafından gece boyunca geri götürülür.
- Gece vakti aynı zamanda eski traverslerin ve bağlantı elemanların da taşıma için yükleme zamanıdır.
- Balast yatağını bitirme işlemleri elle veya mekanik şekilde olabilir [2].

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERİN ÜSTYAPI BAKIM - ONARIM MALİYET ANALİZİ

İşletmeler çeşitli üretim faktörlerini birleştirerek, bunlardan toplum ihtiyaçlarını karşılamaya yarayacak biçim, nitelik ve miktarda ürünler meydana getirirler. Ortaya çıkan bu ürünler mamul veya hizmet olabilir. Her işletmenin kendi faaliyet konusunu oluşturan mamul veya hizmetleri elde edebilmek için kullandığı hammadde, işçilik, makine, amortisman, faiz gibi çeşitli üretim faktörlerinin para ile ölçülen değerine o ürünün maliyeti denir.

Maliyet analizi ise, bir ürünün üretim maliyetini, onu oluşturan faktörlere ayırarak her birimin ayrıntılı biçimde incelenmesidir. Bu amaçla çoğu kez istatistiki yöntemler kullanılır. Böylece maliyeti etkileyen faktörlerin niteliği, karşılıklı ilişkiler, zamanla gösterdikleri değişimler incelenir ve maliyeti düşürmek ya da maliyet artışlarını tespit etmek ve maliyet artışlarını denetlemek için alınması gereken önlemler araştırılır.

Bu bölümde, İstanbul'un önemli raylı sistemlerinden biri olan Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Sistemi'nin önemli üstyapı bakım – onarım kalemlerinden ikisi olan, ray taşıma ve buraj periyodik olarak yapıldığında, hat ömrü boyunca bakım maliyetinin ne olacağı hesaplanmıştır. Ulaşım A.Ş.'den alınan yıllara göre bölgesel buraj yapılan kesimlerin uzunluklarından bu maliyetler de hesaplanıp daha önce hesaplanan periyodik bakım maliyetleriyle karşılaştırılmıştır.

4.1 Balastlı Hatta “Ray Taşıma” ve “Buraj” İçin Çeşitli Ölçütlere Göre Karşılaştırmalı Maliyet Analizi

Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Sistemi'nin değerleri kullanılarak bu sistem için güncelleştirilmiş ray taşıma ve buraj maliyetleri hesaplamak için toplam maliyet

formülleri verilmiş, hat ömrü, 1 km hattın ortalama bakım süresi kullanılarak ray taşıma ve buraj için işçilik maliyetleri hesaplanmıştır.

4.1.1 Maliyet Formülleri

Ray taşıma için herhangi bir yıldaki bakım maliyeti hesaplanırken (4.1) denklemi kullanılmıştır [7]:

$$(M_g)_j = T \cdot l \cdot n \cdot (C_{Lg} + C_{eg}) \quad (4.1)$$

$(M_g)_j$: j yılındaki ray taşıma maliyeti (€)

T : 1 km hattın 1 taşıma geçişi için ortalama bakım süresi (sa/km)

l : Bakımı yapılan hattın uzunluğu (km)

n : Taşıma geçişi (pas) sayısı

C_{Lg} : Ray taşıma için ortalama saatlik işçi maliyeti (€/sa)

C_{eg} : Saatlik taşıma ekipmanı maliyeti (€/sa)

Buraj için herhangi bir yıldaki bakım maliyeti hesaplanırken (4.2) denklemi kullanılmıştır [7]:

$$(M_{ta})_j = T \cdot l \cdot (C_{Lta} + C_{eta}) \quad (4.2)$$

$(M_{ta})_j$: j yılındaki buraj maliyeti (€)

T : 1 km hattın ortalama bakım süresi (sa/km)

C_{Lta} : Buraj için ortalama saatlik işçi maliyeti (€/sa)

C_{eta} : Saatlik buraj ekipmanı maliyeti (€/sa)

4.1.2 Hat Ömrü Hesabı

Hat ömrünü belirlemek için en önemli bileşen olan rayın ömrü esas alınır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar sonucunda hattın hizmet ömrü boyunca geçen tonaj (4.3) formülüyle hesaplanır [1].

$$L = K \cdot W \cdot D^{0,565} \quad (4.3)$$

L : Hattın hizmet ömrü boyunca geçen tonaj

K : Sabit katsayı. Tamamen yenilenmiş bir hatta K değeri 0,9538 alınmaktadır.

W : Rayın birim ağırlığı (lb/yard) (kg/m=2,01 lb/yard)

D : Hattan 1 yılda geçen trafik yükü (MGT)

Tamamen yenilenmiş S49 raylı bir hat için ömür hesabı yapılırsa:

(S49 rayın birim ağırlığı: 49,43 kg/m)

$$L = 0,9538 \cdot (2,01 \cdot 49,43) \cdot D^{0,565}$$

$$L = 94,76 \cdot D^{0,565} \quad (4.4)$$

denklemini elde edilir.

Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı için Ulaşım A.Ş'den alınan Mayıs 2009 bilgilerine göre bir ayda 5 800 sefer yapılmakta, bir dizide genelde 4 araç kullanılmakta ve dolu bir aracın ağırlığı yaklaşık 49 ton'dur [33]. Bu bilgiler doğrultusunda D değeri şu şekilde hesaplanır:

$$D = \frac{4 \cdot 12 \cdot 5800 \cdot 49}{10^6} = 13,64 \text{ MGT/yıl} \quad (4.5)$$

MGT cinsinden hat ömrü (4.4) ve (4.5) denklemleri kullanılarak şu şekilde hesaplanır:

$$L = 94,76 \cdot (13,64)^{0,565} = 414,79 \text{ MGT} \quad (4.6)$$

Elde edilen bu sonuç, hattan 1 yılda geçen trafik yüküne bölünürse, hat ömrünün yıl cinsinden değeri elde edilir:

$$\text{Hat Ömrü} = \frac{414,79}{13,64} = 30,41 \text{ yıl} \quad (4.7)$$

4.1.3 1 km Hattın Ortalama Bakım Süresi (T) Hesabı:

Bakımlar, gece işletmenin durduğu sürede yapılmaktadır. Ray taşlama için günde 6 saat çalışılmakta, bu sürede de yaklaşık 1 200 m ray taşlaması yapılmaktadır.

Buna göre T değeri ray taşlaması için:

$$T_g = \frac{6 \text{ saat}}{1,2 \text{ km}} = 5 \text{ saat/km'dir} \quad (4.8)$$

Buraj içinse günde 5 saat çalışılmakta, bu sürede ise ortalama 600 m buraj yapılabilir.

T değeri buraj için:

$$T_{ta} = \frac{5 \text{ saat}}{0,6 \text{ km}} = 8,33 \text{ saat/km'dir} \quad (4.9)$$

4.1.4 İşçilik Maliyetleri Hesabı

Bakım çalışmaları sırasında çeşitli sayıda operatör ve düz işçi görev alır. Görüşme yapılan demiryolu üstyapı bakım firmasından alınan bilgiye göre, ray taşıma için yaklaşık olarak 2 operatör ve 4 düz işçi çalıştığı bilgisi alınmıştır. 2004 yılına ait işçilik maliyetleri Ek-B'de ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ray taşıma için işçilik maliyetleri

İşçi Türü	İşçi Sayısı	İşçi Maliyeti	Toplam
Operatör	2	2 500 TL/ay	5 000 TL/ay
Düz İşçi	4	1 000 TL/ay	4 000 TL/ay
Toplam İşçilik Maliyeti			9 000 TL/ay ~4 500 €/ay

Günde 6 saatten, 1 ayda ortalama 25 gün çalışıldığında aylık 150 saat çalışılmış olur.

Buna göre ray taşıma için saatlik işçilik maliyeti (4.10)'daki gibi hesaplanır.

$$\text{Ray taşıma işçiliği} = \frac{4500 \text{ €}}{150 \text{ saat}} = 30 \text{ €/saat} \quad (4.10)$$

Buraj makinası, balast regülatörü ve dinamik stabilizatör gibi makinaların kullanılacağı buraj bakımı için bakım firmasından alınan bilgiye göre yaklaşık olarak 3 operatör ve 4 düz işçi çalıştığı bilgisi alınmıştır.

Çizelge 4.2 Buraj için işçilik maliyetleri

İşçi Türü	İşçi Sayısı	İşçi Maliyeti	Toplam
Operatör	3	2 500 TL/ay	7 500 TL/ay
Düz İşçi	4	1 000 TL/ay	4 000 TL/ay
Toplam İşçilik Maliyeti			11 500 TL/ay ~5 750 €/ay

Günde 5 saatten, 1 ayda ortalama 25 gün çalışıldığında aylık 125 saat çalışılmış olur. Buna göre buraj için saatlik işçilik maliyeti (4.11)'deki gibi hesaplanır.

$$\text{Buraj işçiliği} = \frac{5750 \text{ €}}{125 \text{ saat}} = 46 \text{ €/saat} \quad (4.11)$$

4.1.5 Güncellenmiş Bakım Maliyetlerinin Hesaplanması

Tüm bu bilgilerden yola çıkarak, elde edilen tüm veriler ve hesaplanan değerler (4.1) denkleminde yerlerine konularak herhangi bir yıl için ray taşıma maliyetleri hesaplanıp, bu değerler maliyetlerin alındığı 2004 yılına göre güncelleştirilip, Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5'te farklı iskonto oranlarına (r), farklı bakım periyotlarına ve ray taşıma için farklı pas sayılarına (n) göre yaklaşık toplam maliyetler € cinsinden gösterilmiştir. Bakımı yapılan hattın uzunluğu olan " l " değeri, çift hattan oluşan 20 km'lik Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın uzunluğudur.

Görüşme yapılan demiryolu üstyapı bakım firmasından alınan, 2004 yılı için bakım ekipmanları maliyetleri Ek-B'de verilmiştir.

Örnek olarak, herhangi bir yıldaki 5 geçişli ray taşıma için bakım maliyeti (4.12)'deki gibi hesaplanır:

$$(M_g)_j = T \cdot l \cdot n \cdot (C_{Lg} + C_{eg}) = 5 \cdot (2 \cdot 20) \cdot 5 \cdot (30 + 1000) = 1\,030\,000,00 \text{ €} \quad (4.12)$$

(4.12)'deki gibi hesaplanan değerler (4.13)'teki formülle 2004 yılına güncelleştirilir.

$$(M_g)_i = \frac{(M_g)_j}{(1+r)^{(j-i)}} \quad (4.13)$$

$(M_g)_j$: j yılındaki ray taşıma maliyeti (€)

$(M_g)_i$: i yılına güncelleştirilmiş ray taşıma maliyeti (€)

r : İskonto oranı

i : Güncel yıl

j : Bakım maliyetinin hesaplandığı yıl

Örnek olarak, 2018 yılı için ray taşıma maliyeti, %7 iskonto ile 2004 yılına (4.14)'teki gibi güncelleştirilir:

$$(M_g)_{2011} = \frac{(M_g)_{2018}}{(1+r)^{(2018-2004)}} = \frac{1\,030\,000}{(1+0,07)^{(2018-2004)}} = 399\,451,76\text{€} \quad (4.14)$$

(4.14)'teki gibi güncelleştirilen ray taşıma maliyetleri, farklı taşıma geçişleri, farklı iskonto oranları ve farklı periyotlar için Ek-C'deki çizelgelerde gösterilmiştir. Hattın hizmet ömrü boyunca hesaplanan bu güncelleştirilmiş maliyetlerin toplamaları Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %7 iskonto oranına göre)

$r = \%7$	Pas Sayısı		
Bakım Periyodu	$n = 5$	$n = 8$	$n = 10$
5 yılda 1 kez	2 378 129,88	3 805 007,81	4 756 259,77
4 yılda 1 kez	3 012 721,18	4 820 353,89	6 025 442,36
3 yılda 1 kez	4 253 943,91	6 806 310,26	8 507 887,83
2 yılda 1 kez	6 606 765,36	10 570 824,57	13 213 530,71
1 yılda 1 kez	13 676 004,29	21 881 606,86	27 352 008,58

Çizelge 4.4 Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %8 iskonto oranına göre)

$r = \%8$	Pas Sayısı		
Bakım Periyodu	$n = 5$	$n = 8$	$n = 10$
5 yılda 1 kez	2 134 653,15	3 415 445,03	4 269 306,29
4 yılda 1 kez	2 728 121,21	4 364 993,93	5 456 242,42
3 yılda 1 kez	3 857 552,42	6 172 083,88	7 715 104,85
2 yılda 1 kez	6 020 749,13	9 633 198,61	12 041 498,26
1 yılda 1 kez	12 523 158,19	20 037 053,11	25 046 316,38

Çizelge 4.5 Hattın hizmet ömrü boyunca toplam ray taşıma maliyetleri (€ cinsinden, %9 iskonto oranına göre)

$r = \%9$	Pas Sayısı		
Bakım Periyodu	$n = 5$	$n = 8$	$n = 10$
5 yılda 1 kez	1 927 283,06	3 083 652,90	3 854 566,13
4 yılda 1 kez	2 483 502,50	3 973 604,01	4 967 005,01
3 yılda 1 kez	3 518 572,16	5 629 715,45	7 037 144,32
2 yılda 1 kez	5 518 771,00	8 830 033,60	11 037 542,00
1 yılda 1 kez	11 534 231,39	18 454 770,23	23 068 462,79

Yine aynı şekilde elde edilen tüm veriler (4.2) denkleminde yerlerine konularak toplam buraj maliyetleri hesaplanıp, bu değerler 2004 yılına göre güncelleştirilip, Çizelge 4.7’de farklı iskonto oranlarına (r) ve farklı bakım periyotlarına göre yaklaşık toplam maliyetler € cinsinden gösterilmiştir.

Buraj için 3 ayrı ekipmana ihtiyaç olduğundan buraj ekipmanları saatlik maliyetleri için Çizelge 4.6’da ve Ek-B’de verilen değerler alınarak (4.15)’teki hesaplama yapılır:

Çizelge 4.6 Buraj ekipmanları kiralari

Buraj Ekipmanı	Günlük Kirası (€/gün)
Plasser & Theurer CSM 09/32 Buraj Makinası	5 500
Plasser & Theurer DGS 62N Dinamik Stabilizatör	3 250
Plasser & Theurer SSP 110 SW Balast Regülatörü	2 750
Toplam Buraj Ekipmanları Günlük Kirası	11 500

Önceki altbölüm 4.1.3'te buraj için günde 5 saat çalışma yapıldığına değinilmişti, buna göre:

$$\text{Saatlik buraj ekipmanı maliyeti} = \frac{11500}{5} = 2300 \text{ €/saat} \quad (4.15)$$

Örnek olarak, herhangi bir yıldaki buraj için bakım maliyeti (4.16)'daki gibi hesaplanır:

$$(M_{ta}) = T \cdot I \cdot (C_{Lta} + C_{eta}) = 8,33 \cdot (2 \cdot 20) \cdot (46 + 2300) = 782\,000,00 \text{ €} \quad (4.16)$$

(4.16)'da hesaplanan buraj maliyeti, 2018 yılı için, %7 iskonto ile 2004 yılına (4.17)'deki gibi güncelleştirilir:

$$(M_{ta})_{2011} = \frac{(M_{ta})_{2018}}{(1+r)^{(2018-2004)}} = \frac{782\,000}{(1+0,07)^{(2018-2004)}} = 303\,273,08 \text{ €} \quad (4.17)$$

Güncelleştirilen buraj maliyetleri, farklı iskonto oranları ve farklı periyotlar için Ek-D'deki çizelgelerde gösterilmiştir. Hattın hizmet ömrü boyunca hesaplanan bu güncelleştirilmiş maliyetlerin toplamları Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Hattın hizmet ömrü boyunca toplam buraj maliyetleri (€ cinsinden)

Bakım Periyodu	%7 iskonto oranı	%8 iskonto oranı	%9 iskonto oranı
5 yılda 1 kez	1 805 531,62	1 620 678,41	1 463 238,21
4 yılda 1 kez	2 287 328,12	2 071 253,19	1 885 532,97
3 yılda 1 kez	3 229 693,34	2 928 743,69	2 671 381,97
2 yılda 1 kez	5 016 010,20	4 571 093,03	4 189 979,54
1 yılda 1 kez	10 383 141,12	9 507 873,50	8 757 057,23

Bu hesaplamalardan görölüyor ki bakım periyodu sıklaşırsa bakım maliyeti artar. Ancak optimum bakım periyodu belirlenip uygulandığı takdirde, hat bakım hizmeti veren firma ile dönemlik anlaşma yapıldığında ekonomik olarak %30 - 40 fayda sağlandığı bilgisi firma yetkilisi tarafından verilmiştir.

4.2 Güncel Bakım Verileriyle Maliyet Hesaplanması

Elde edilen verileri güncel verilerle karşılaştırmak amacıyla Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın işletmeciliğini yapan, dolayısıyla bakım çalışmalarını da yürüten kurum olan Ulaşım A.Ş.'den yetkililerle görüşülmüştür. Ulaşım A.Ş.'den ray taşlaması ile ilgili ayrıntılı bakım bilgisi alınamamıştır. Buraj ile ilgili de periyodik bakım yapılmadığı, ancak her yıl ihtiyaca göre bölgesel bakım yapıldığının bilgisi alınmıştır. 2004'ün ilk yarısı, 2004'ün ikinci yarısı, 2005 ve 2008 yıllarına ait yapılan bölgesel buraj yapılan kesimlerin uzunlukları bilgisi alınmıştır. Bu uzunluklar Ek-E'deki çizelgelerde verilmiştir.

Bu altbölümde, 1 m hattın buraj maliyeti, buraj yapılan kesimin uzunlukları verilen yıllar için maliyetler, buraj yapılan kesimlerin uzunlukları verilmeyen aradaki yıllar için tahmini buraj uzunlukları, gelecekteki yıllar için ortalama buraj uzunluğu ve güncelleştirilmiş toplam buraj maliyetleri hesaplanmıştır.

4.2.1 1 m Hattın Buraj Maliyeti Hesabı

Önceki altbölümlerden buraj ile ilgili elde edilen verilere göre günde 5 saat çalışma yapıldığını ve bu sürede ortalama 600 m buraj yapıldığına değinilmişti, ayrıca:

Saatlik buraj ekipmanı maliyeti = 2300 €/saat

Saatlik buraj işçiliği = 46 €/saat

olduğu hesaplanmıştı, buna göre:

$$1 \text{ m hattın buraj maliyeti } (c_{ta}) = \frac{(2300 + 46) \cdot 5}{600} = 19,55 \text{ €/m} \quad (4.18)$$

olarak hesaplanır.

4.2.2 Güncel Verilere Göre Yıllık Bölgesel Buraj Yapılan Kesimin Uzunlukları

Ulaşım A.Ş.’den alınan, yıllık bölgesel buraj yapılan kesimin uzunlukları; Ek-E’deki verilere göre Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.8 Toplam bölgesel buraj yapılan kesim uzunlukları (m cinsinden)

Yıl	Bölgesel Buraj Yapılan Kesimin Toplam Uzunluğu (m)
2004 – 1	9 140 m
2004 – 2	19 430 m
2005	6 890 m
2008	9 060 m

Buna göre, Ulaşım A.Ş.’den bilgisine ulaşılamayan 2006 ve 2007 yıllarının bölgesel buraj yapılan kesimlerin uzunlukları için 2004 – 1, 2005 ve 2008 yıllarındaki buraj yapılan kesimlerin uzunlukların aritmetik ortalamaları alınarak tahmini uzunluklar (4.19)’da hesaplanmıştır. 2004 – 2’deki buraj yapılan kesimin uzunluğu diğer yıllardakine oranla çok fazla olduğundan ortalamaya katılmamıştır.

$$I_{2006} \text{ veya } I_{2007} = \frac{I_{2004-1} + I_{2005} + I_{2008}}{N} = \frac{9\,140 + 6\,890 + 9\,060}{3} = 8\,363,33$$

$$2006 \text{ veya } 2007 \text{ yılı için tahmini buraj yapılan kesimin uzunluğu} = 8\,363,33 \text{ m} \quad (4.19)$$

4.2.3 Gelecek Yıllar İçin Yıllık Ortalama Buraj Yapılan Kesimin Uzunlukları

Elde edilen verilere göre 5 yıllık buraj yapılan kesimlerin uzunluğu bellidir. Buna göre:

Yıllık Ortalama Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunluğu =

$$\frac{(9\,140 + 19\,430) + 6\,890 + 8\,363,33 + 8\,363,33 + 9\,960}{5} = 12\,249,33 \text{ m} \quad (4.20)$$

olarak hesaplanır.

4.2.4 Yıllara Göre Toplam Bölgesel Buraj Maliyetlerinin Hesaplanması

Tüm bu bilgilerden yola çıkarak, elde edilen tüm veriler (4.21) denkleminde yerlerine konularak, 2004’ten itibaren, 2004 yılının buraj maliyetine göre hat ömrü olan 30 yıl

için yıllık buraj maliyetleri hesaplanıp, bu maliyetler farklı iskonto oranlarına göre güncelleştirilerek Çizelge 4.9'da tahmini toplam buraj maliyetleri € cinsinden gösterilmiştir.

$$(M_{ta})_j = c_{ta} \cdot l_n \quad (4.21)$$

c_{ta} : 1 m hattın toplam buraj maliyeti (€/m)

l_n : n yılında buraj yapılan kesimin uzunluğu (m)

Örnek olarak, buraj için, 2005 yılına ait toplam yıllık buraj maliyeti (4.22)'deki gibi hesaplanır:

$$(M_{ta})_{2005} = c_{ta} \cdot l_n = 19,55 \cdot 6890 = 134\,699,50 \text{ €} \quad (4.22)$$

(4.22)'de hesaplanan buraj maliyeti, 2005 yılı için, %7 iskonto ile 2004 yılına (4.23)'teki gibi güncelleştirilir:

$$(M_{ta})_{2011} = \frac{(M_{ta})_{2005}}{(1+r)^{(2005-2004)}} = \frac{134\,699,50}{(1+0,07)^{(2005-2004)}} = 125\,887,38 \text{ €} \quad (4.23)$$

Çizelge 4.9 Yıllara ve %7, %8 ve %9 iskonto oranlarına göre güncelleştirilmiş toplam buraj maliyetleri

Hat Ömrü		Buraj Yapılan Kesimin Uzunluğu	1 m için Buraj Maliyeti	Yıllık Buraj Maliyetleri	Güncelleştirilmiş Buraj Maliyetleri		
					%7 İskonto Oranına Göre	%8 İskonto Oranına Göre	%9 İskonto Oranına Göre
	Yıl	m	€/m	€	€	€	€
1	2004	28 570,00	19,55	558 543,50	558 543,50	558 543,50	558 543,50
2	2005	6 890,00	19,55	134 699,50	125 887,38	124 721,76	123 577,52
3	2006	8 363,33	19,55	163 503,17	142 810,00	140 177,61	137 617,34
4	2007	8 363,33	19,55	163 503,17	133 467,29	129 794,09	126 254,44
5	2008	9 060,00	19,55	177 123,00	135 126,29	130 190,69	125 478,40
6	2009	12 249,33	19,55	239 474,47	170 741,99	162 982,30	155 641,97
7	2010	12 249,33	19,55	239 474,47	159 571,95	150 909,54	142 790,80
8	2011	12 249,33	19,55	239 474,47	149 132,66	139 731,05	131 000,73
9	2012	12 249,33	19,55	239 474,47	139 376,32	129 380,60	120 184,16
10	2013	12 249,33	19,55	239 474,47	130 258,24	119 796,85	110 260,70
11	2014	12 249,33	19,55	239 474,47	121 736,68	110 923,01	101 156,60
12	2015	12 249,33	19,55	239 474,47	113 772,59	102 706,49	92 804,22
13	2016	12 249,33	19,55	239 474,47	106 329,53	95 098,61	85 141,49
14	2017	12 249,33	19,55	239 474,47	99 373,39	88 054,26	78 111,46
15	2018	12 249,33	19,55	239 474,47	92 872,33	81 531,73	71 661,89
16	2019	12 249,33	19,55	239 474,47	86 796,57	75 492,34	65 744,85
17	2020	12 249,33	19,55	239 474,47	81 118,29	69 900,31	60 316,38
18	2021	12 249,33	19,55	239 474,47	75 811,48	64 722,51	55 336,13
19	2022	12 249,33	19,55	239 474,47	70 851,85	59 928,25	50 767,09
20	2023	12 249,33	19,55	239 474,47	66 216,69	55 489,12	46 575,31
21	2024	12 249,33	19,55	239 474,47	61 884,75	51 378,82	42 729,64
22	2025	12 249,33	19,55	239 474,47	57 836,22	47 572,98	39 201,51
23	2026	12 249,33	19,55	239 474,47	54 052,54	44 049,05	35 964,68
24	2027	12 249,33	19,55	239 474,47	50 516,39	40 786,16	32 995,12
25	2028	12 249,33	19,55	239 474,47	47 211,58	37 764,96	30 270,76
26	2029	12 249,33	19,55	239 474,47	44 122,97	34 967,56	27 771,34
27	2030	12 249,33	19,55	239 474,47	41 236,42	32 377,37	25 478,29
28	2031	12 249,33	19,55	239 474,47	38 538,71	29 979,05	23 374,58
29	2032	12 249,33	19,55	239 474,47	36 017,49	27 758,38	21 444,57
30	2033	12 249,33	19,55	239 474,47	33 661,21	25 702,20	19 673,91
Toplam		367 480,00					
Tahmini Toplam Bölgesel Buraj Maliyeti					3 224 873,37	2 962 411,25	2 737 869,47

4.3 Periyodik Buraj Maliyetlerinin Bölgesel Buraj Maliyetleriyle Karşılaştırılması

Hesaplanan periyodik buraj maliyetleri ile Ulaşım A.Ş'den alınan verilere göre hesaplanan maliyetler karşılaştırıldığında görülmektedir ki her yıl bölgesel buraj yapılan maliyetle, hat ömrü boyunca periyodik olarak 3 yılda 1 kez tüm hat buraj yapılabilir. Üstelik periyodik bakımla %8 iskonto oranında %1,14 maliyet tasarrufu, %9 iskonto oranında ise %2,43 maliyet tasarrufu elde edilmektedir (4.24).

Çizelge 4.10 Periyodik buraj maliyetleri ile bölgesel buraj maliyetleri (€ cinsinden; 2011 yılına güncellenmiş verilere göre)

Bakım Periyodu	%7 iskonto oranı	%8 iskonto oranı	%9 iskonto oranı
5 yılda 1 kez	1 805 531,62	1 620 678,41	1 463 238,21
4 yılda 1 kez	2 287 328,12	2 071 253,19	1 885 532,97
3 yılda 1 kez	(A) 3 229 693,34	2 928 743,69	2 671 381,97
2 yılda 1 kez	5 016 010,20	4 571 093,03	4 189 979,54
1 yılda 1 kez	10 383 141,12	9 507 873,50	8 757 057,23
Bölgesel Buraj Toplam Maliyeti	(B) 3 224 873,37	2 962 411,25	2 737 869,47

$$\text{Periyodik bakımla elde edilen maliyet tasarrufu (\%)} = \left(\frac{B - A}{B} \right) \cdot 100 \quad (4.24)$$

$$\%8 \text{ iskonto oranı için tasarruf} = \left(\frac{2\,962\,411,25 - 2\,928\,743,69}{2\,962\,411,25} \right) \cdot 100 = \%1,14 \quad (4.25)$$

$$\%9 \text{ iskonto oranı için tasarruf} = \left(\frac{2\,737\,869,23 - 2\,671\,381,97}{2\,737\,869,23} \right) \cdot 100 = \%2,43 \quad (4.26)$$

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentiçi Raylı Sistem projelerinin ömrünün uzun olması istenir. Toplumun uzun süre faydalanacağı bir sistem meydana getirmek zor bir iş, bunun sürekliliğini sağlamak ise daha da zordur. Yerinde ve zamanında yapılacak bakım çalışmaları bu tür projelerin sürekliliğini sağlamak adına çok önemlidir. Periyodik bakımların yanı sıra hatta meydana gelecek beklenmedik bozulmaların da tespiti çok önemlidir. Zamanında ve doğru bir biçimde tespit edilemeyen bir bozulmanın etkisi büyük zararlara neden olmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye’de ve Dünya üzerindeki Kentiçi Raylı Sistem örneklerinin üstyapısı incelenmiş, balastlı hatların üstyapısında bakımda ve onarımda kullanılan yöntemler araştırılmış ve İstanbul’daki Aksaray – Havalimanı Hafif Metrosu için periyodik ray taşıma ve buraj bakımlarının değişik koşullardaki maliyetleri hesaplanmış, hattın bakımını üstlenen kurumdan alınan güncel bölgesel buraj yapılan kesimlerin uzunluklarıyla hat ömrü boyunca olan maliyeti hesaplanmış ve periyodik buraj maliyetleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmadan elde edilen sonuca göre, Aksaray – Havalimanı Hafif Metrosu’nda her yıl ihtiyaca göre yapılan bölgesel buraj bakımı yerine periyodik bakımın tercih edilmesi ekonomik açıdan daha avantajlıdır. Elde edilen mevcut duruma göre hat ömrü boyunca 3 yılda bir yapılabilecek periyodik buraj şu anda uygulanmakta olan bölgesel burajla neredeyse aynı maliyettedir. Ayrıca buraj ekipmanı kiralayan firmalardan edinilen bilgiye göre dönemlik yapılan anlaşmalarda %30 – 40 kadar indirim uygulanabilmektedir ki bu durumda hat ömrü boyunca neredeyse bölgesel buraj maliyetine periyodik olarak iki yılda bir kez buraj yapılabilmektedir.

Raylı Sistem trafiğinin güvenli ve konforlu olarak sürdürülmesi ile üstyapı malzemesinin ve araçların zamanından önce yıpranmasının önlenmesi ancak tüm hatta periyodik ve iyi bakım yapılması ile mümkündür. Ayrıca bu çalışma göstermiştir ki, balastlı bir kentiçi raylı sistem hattından geçen trafik yüküne göre belirlenecek optimum periyot ile tüm hatta bakım çalışması yapmak, her yıl ihtiyaca göre uygulanacak olan bölgesel bakımdan uzun vadede daha ekonomik olmaktadır.

Bu çalışma aynı zamanda, ilerde bu konuda yapılacak kentiçi raylı sistem inşaatı yapım maliyetleri ile bakım – onarım maliyetlerinin kıyaslama çalışmalarına ışık tutabilecektir.

KAYNAKLAR

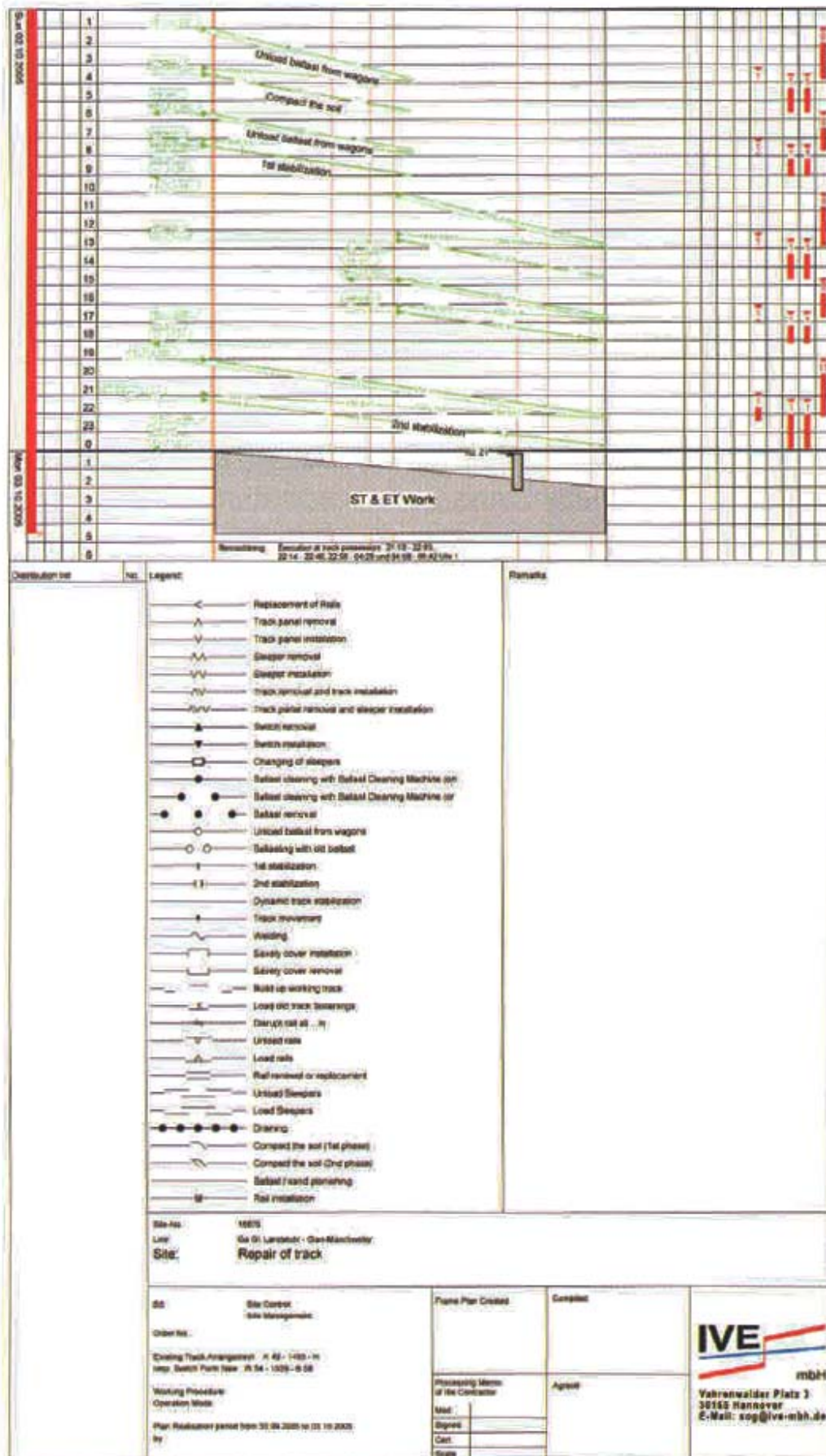
- [1] Lichtberger B., (2005). Track Compendium; Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, Hamburg, Germany.
- [2] Esveld, C., (2001). Modern Railway Track, Second Edition, TU Delf, Netherlands.
- [3] Selig, E. T. ve Waters, J. M., (1994). Track Geotechnology and Substructure Management, Redwood Books, Trowbridge, Wilts, Great Britain.
- [4] Öztürk, Z. ve Arlı, V., (2009). Demiryolu Mühendisliği, Ulaşım A.Ş., İstanbul.
- [5] Günoral Ş., (2002). Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakım ve Tamirâtı, Ulaşım A.Ş., İstanbul.
- [6] Arlı, V., (2002) Balastlı ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Patra, A. P., Söderholm, P. ve Kumar, U., (2008). "Uncertainty estimation in railway track life-cycle cost: a case study from Swedish National Rail Administration", Proc. IMechE 223 Part F: J. Rail and Rapid Transit, 285-293.
- [8] Yılmaz, V. O., (2004). Demiryolu Üstyapısının Dinamik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Erel, A., (2005). Demiryolu Üstyapısı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notu, İstanbul.
- [10] Track Engineering,
<http://www.trackengineer.com/images/SDTrolley/BallastedGdwy.jpg>, 8 Kasım 2010
- [11] Projects Monitor, Patil Rail bags high-speed ballastless track order,
<http://www.projectsmonitor.com/NewsImages/Photos%2026/Patil%20Rail-5.jpg>, 8 Kasım 2010.
- [12] Erkul, C., (2002). Demiryolunun Tarihsel Gelişimi ve Demiryolu Üstyapısı, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [13] Esveld, C., (2003). CT4870 08 Conventional Track Structures, TU Delft Course Notes, Netherlands.
- [14] Özalp, O., (2008). Kentiçi Raylı Sistemlerin Üstyapısı ve Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [15] Demiryolu ve Çevresi, Makaslar, http://e40003.me.metu.edu.tr/Cevre/Haydarpasa_Kruvazman_Bakimi.jpg, 4 Şubat 2011.
- [16] Wikipedia, Fishplate, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/25/Fishplate_on_Bluebell_Railway.jpg, 8 Kasım 2010
- [17] Ludvigh, E., (2004). Structures of Permanent Way, Department of Highway and Railway Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Hungary.
- [18] Erel, A., (2002). Ankara Metrosu 3. Aşama İşleri İçin Rijit Üstyapı Seçeneklerinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [19] Quante, F., (2001). Innovative Track Systems Technical Construction, European Community Competitive and Sustainable Growth Programme, Karlsruhe.
- [20] Marx, L., Mossmann, D. ve Kullmann, H., (2003). Work procedures for maintenance of the permanent way of the "DB Netz AG", 6th Edition, Railway Publication company, Germany.
- [21] Ground Probe, Plasser Rail Asset Management, http://www.groundprobe.com/images/rail_asset.jpg, 8 Kasım 2010.
- [22] Eisenmann, J., (1978). Riffelbildung bei Schienen Der Eisenbahn Ingenieur, Third Edition, Germany.
- [23] Haas, H., (1976). Ein beitrag zum Problem Entstehung Der Eisenbahn Ingenieur, Fifth Edition, Germany.
- [24] Guidat, A., (1996). The Fundamental Benefits Of Preventive Rail Grinding, Rail Engineering International, First Edition.
- [25] Wikipedia, Ballast tamper, <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Carillion-73105-01.jpg>, 8 Kasım 2010.
- [26] Schramm, G., (1961). Permanent Way Technique and Permanent Way Economy, 1. Edition, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Berlin.
- [27] Timespanner, Ontrack vehicles at Avondale Train Station, <http://2.bp.blogspot.com>, 8 Kasım 2011.
- [28] Train Photos, Plasser & Theurer Type SSP 110 SW, <http://train-photos.com.s3.amazonaws.com/15.jpg>, 8 Kasım 2010.
- [29] Fastenrath, F., (1977). Railroad Track: Theory and Practise, Frederick Ungar Publishing CO., Newyork.
- [30] Aladağ, A., (1999). "Yol Bakımında Mekanizasyon ve Gerçekler", II. TCDD Kongresi, TCDD'nin Yeniden Yapılandırılması, Ankara, 491-496.
- [31] Plasser American, Ballast Cleaning RM 80, http://www.plasseramerican.com/en/p_cleaning/00picture.htm#rm8002.jpg, 8 Kasım 2010.

- [32] Tuna, H., (2000). TCDD'de Yol Üstyapı Bakım Onarım Çalışmalarının Etkin ve Ekonomik Hale Getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] İstanbul Ulaşım A.Ş., (2009). “M1 Aksaray – Havalimanı Metro İşletme Faaliyet Raporu”, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

EK-A

KORUYUCU BAKIM PROGRAMI ÖRNEĞİ



BAKIM EKİPMAN KİRALARI VE İŞÇİ MALİYETLERİ

Ray Taşlama için:

Speno Marka Ray Taşlama Makinası Kirası: 5 €/m

Saatlik Ekipman Maliyeti: 1 000 €/sa

Operatör Maaşı: 2 500 TL/ay

Düz İşçi: 1 000 TL/ay

Buraj için:

Plasser & Theurer CSM 09/32 Buraj Makinası Kirası: 5 500 €/gün

Plasser & Theurer DGS 62N Dinamik Stabilizatör Kirası: 3 250 €/gün

Plasser & Theurer SSP 110 SW Balast Regülatörü Kirası: 2 750 €/gün

Saatlik Toplam Ekipman Maliyeti: 2 300 €/sa

Operatör Maaşı: 2 500 TL/ay

Düz İşçi: 1 000 TL/ay

(Firmalardan alınan, 2004 yılına ait yaklaşık ortalama maliyetlerdir. İşçiliklere sigorta, yemek giderleri ve ulaşım maliyetleri dahil edilmiştir.)

EK-C

RAY TAŞLAMA MALİYETLERİ

C.1 Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 030 000,00
2	2005				962 616,82	962 616,82
3	2006			899 641,89		899 641,89
4	2007		840 786,81		840 786,81	840 786,81
5	2008	785 782,07				785 782,07
6	2009			734 375,76	734 375,76	734 375,76
7	2010					686 332,49
8	2011		641 432,23		641 432,23	641 432,23
9	2012			599 469,38		599 469,38
10	2013	560 251,75			560 251,75	560 251,75
11	2014					523 599,77
12	2015		489 345,58	489 345,58	489 345,58	489 345,58
13	2016					457 332,32
14	2017				427 413,38	427 413,38
15	2018	399 451,76		399 451,76		399 451,76
16	2019		373 319,40		373 319,40	373 319,40
17	2020					348 896,64
18	2021			326 071,62	326 071,62	326 071,62
19	2022					304 739,83
20	2023	284 803,58	284 803,58		284 803,58	284 803,58
21	2024			266 171,57		266 171,57
22	2025				248 758,48	248 758,48
23	2026					232 484,56
24	2027		217 275,29	217 275,29	217 275,29	217 275,29
25	2028	203 061,02				203 061,02
26	2029				189 776,65	189 776,65
27	2030			177 361,36		177 361,36
28	2031		165 758,28		165 758,28	165 758,28
29	2032					154 914,28
30	2033	144 779,70		144 779,70	144 779,70	144 779,70
Toplam		2 378 129,88	3 012 721,18	4 253 943,91	6 606 765,36	13 676 004,29

C.2 Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 648 000,00
2	2005				1 540 186,92	1 540 186,92
3	2006			1 439 427,02		1 439 427,02
4	2007		1 345 258,90		1 345 258,90	1 345 258,90
5	2008	1 257 251,31				1 257 251,31
6	2009			1 175 001,22	1 175 001,22	1 175 001,22
7	2010					1 098 131,98
8	2011		1 026 291,57		1 026 291,57	1 026 291,57
9	2012			959 151,00		959 151,00
10	2013	896 402,81			896 402,81	896 402,81
11	2014					837 759,63
12	2015		782 952,93	782 952,93	782 952,93	782 952,93
13	2016					731 731,71
14	2017				683 861,41	683 861,41
15	2018	639 122,81		639 122,81		639 122,81
16	2019		597 311,04		597 311,04	597 311,04
17	2020					558 234,62
18	2021			521 714,60	521 714,60	521 714,60
19	2022					487 583,73
20	2023	455 685,73	455 685,73		455 685,73	455 685,73
21	2024			425 874,52		425 874,52
22	2025				398 013,57	398 013,57
23	2026					371 975,30
24	2027		347 640,46	347 640,46	347 640,46	347 640,46
25	2028	324 897,63				324 897,63
26	2029				303 642,64	303 642,64
27	2030			283 778,17		283 778,17
28	2031		265 213,25		265 213,25	265 213,25
29	2032					247 862,85
30	2033	231 647,52		231 647,52	231 647,52	231 647,52
Toplam		3 805 007,81	4 820 353,89	6 806 310,26	10 570 824,57	21 881 606,86

C.3 Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %7 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					2 060 000,00
2	2005				1 925 233,64	1 925 233,64
3	2006			1 799 283,78		1 799 283,78
4	2007		1 681 573,63		1 681 573,63	1 681 573,63
5	2008	1 571 564,14				1 571 564,14
6	2009			1 468 751,53	1 468 751,53	1 468 751,53
7	2010					1 372 664,98
8	2011		1 282 864,47		1 282 864,47	1 282 864,47
9	2012			1 198 938,76		1 198 938,76
10	2013	1 120 503,51			1 120 503,51	1 120 503,51
11	2014					1 047 199,54
12	2015		978 691,16	978 691,16	978 691,16	978 691,16
13	2016					914 664,64
14	2017				854 826,76	854 826,76
15	2018	798 903,52		798 903,52		798 903,52
16	2019		746 638,80		746 638,80	746 638,80
17	2020					697 793,27
18	2021			652 143,24	652 143,24	652 143,24
19	2022					609 479,67
20	2023	569 607,17	569 607,17		569 607,17	569 607,17
21	2024			532 343,15		532 343,15
22	2025				497 516,96	497 516,96
23	2026					464 969,12
24	2027		434 550,58	434 550,58	434 550,58	434 550,58
25	2028	406 122,04				406 122,04
26	2029				379 553,31	379 553,31
27	2030			354 722,72		354 722,72
28	2031		331 516,56		331 516,56	331 516,56
29	2032					309 828,56
30	2033	289 559,40		289 559,40	289 559,40	289 559,40
Toplam		4 756 259,77	6 025 442,36	8 507 887,83	13 213 530,71	27 352 008,58

C.4 Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 030 000,00
2	2005				953 703,70	953 703,70
3	2006			883 058,98		883 058,98
4	2007		817 647,21		817 647,21	817 647,21
5	2008	757 080,75				757 080,75
6	2009			701 000,69	701 000,69	701 000,69
7	2010					649 074,72
8	2011		600 995,11		600 995,11	600 995,11
9	2012			556 476,95		556 476,95
10	2013	515 256,44			515 256,44	515 256,44
11	2014					477 089,29
12	2015		441 749,35	441 749,35	441 749,35	441 749,35
13	2016					409 027,17
14	2017				378 728,86	378 728,86
15	2018	350 674,87		350 674,87		350 674,87
16	2019		324 698,96		324 698,96	324 698,96
17	2020					300 647,18
18	2021			278 377,02	278 377,02	278 377,02
19	2022					257 756,50
20	2023	238 663,43	238 663,43		238 663,43	238 663,43
21	2024			220 984,65		220 984,65
22	2025				204 615,42	204 615,42
23	2026					189 458,72
24	2027		175 424,74	175 424,74	175 424,74	175 424,74
25	2028	162 430,32				162 430,32
26	2029				150 398,44	150 398,44
27	2030			139 257,82		139 257,82
28	2031		128 942,42		128 942,42	128 942,42
29	2032					119 391,13
30	2033	110 547,34		110 547,34	110 547,34	110 547,34
Toplam		2 134 653,15	2 728 121,21	3 857 552,42	6 020 749,13	12 523 158,19

C.5 Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 648 000,00
2	2005				1 525 925,93	1 525 925,93
3	2006			1 412 894,38		1 412 894,38
4	2007		1 308 235,53		1 308 235,53	1 308 235,53
5	2008	1 211 329,20				1 211 329,20
6	2009			1 121 601,11	1 121 601,11	1 121 601,11
7	2010					1 038 519,55
8	2011		961 592,17		961 592,17	961 592,17
9	2012			890 363,12		890 363,12
10	2013	824 410,30			824 410,30	824 410,30
11	2014					763 342,87
12	2015		706 798,95	706 798,95	706 798,95	706 798,95
13	2016					654 443,47
14	2017				605 966,18	605 966,18
15	2018	561 079,80		561 079,80		561 079,80
16	2019		519 518,33		519 518,33	519 518,33
17	2020					481 035,49
18	2021			445 403,23	445 403,23	445 403,23
19	2022					412 410,40
20	2023	381 861,48	381 861,48		381 861,48	381 861,48
21	2024			353 575,45		353 575,45
22	2025				327 384,67	327 384,67
23	2026					303 133,96
24	2027		280 679,59	280 679,59	280 679,59	280 679,59
25	2028	259 888,51				259 888,51
26	2029				240 637,51	240 637,51
27	2030			222 812,51		222 812,51
28	2031		206 307,88		206 307,88	206 307,88
29	2032					191 025,81
30	2033	176 875,75		176 875,75	176 875,75	176 875,75
Toplam		3 415 445,03	4 364 993,93	6 172 083,88	9 633 198,61	20 037 053,11

C.6 Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %8 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					2 060 000,00
2	2005				1 907 407,41	1 907 407,41
3	2006			1 766 117,97		1 766 117,97
4	2007		1 635 294,42		1 635 294,42	1 635 294,42
5	2008	1 514 161,50				1 514 161,50
6	2009			1 402 001,39	1 402 001,39	1 402 001,39
7	2010					1 298 149,43
8	2011		1 201 990,21		1 201 990,21	1 201 990,21
9	2012			1 112 953,90		1 112 953,90
10	2013	1 030 512,87			1 030 512,87	1 030 512,87
11	2014					954 178,59
12	2015		883 498,69	883 498,69	883 498,69	883 498,69
13	2016					818 054,34
14	2017				757 457,72	757 457,72
15	2018	701 349,75		701 349,75		701 349,75
16	2019		649 397,91		649 397,91	649 397,91
17	2020					601 294,36
18	2021			556 754,04	556 754,04	556 754,04
19	2022					515 513,00
20	2023	477 326,85	477 326,85		477 326,85	477 326,85
21	2024			441 969,31		441 969,31
22	2025				409 230,84	409 230,84
23	2026					378 917,44
24	2027		350 849,49	350 849,49	350 849,49	350 849,49
25	2028	324 860,63				324 860,63
26	2029				300 796,88	300 796,88
27	2030			278 515,63		278 515,63
28	2031		257 884,85		257 884,85	257 884,85
29	2032					238 782,26
30	2033	221 094,69		221 094,69	221 094,69	221 094,69
Toplam		4 269 306,29	5 456 242,42	7 715 104,85	12 041 498,26	25 046 316,38

C.7 Ray taşıma maliyetleri (5 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 030 000,00
2	2005				944 954,13	944 954,13
3	2006			866 930,39		866 930,39
4	2007		795 348,98		795 348,98	795 348,98
5	2008	729 677,97				729 677,97
6	2009			669 429,33	669 429,33	669 429,33
7	2010					614 155,35
8	2011		563 445,27		563 445,27	563 445,27
9	2012			516 922,27		516 922,27
10	2013	474 240,61			474 240,61	474 240,61
11	2014					435 083,13
12	2015		399 158,84	399 158,84	399 158,84	399 158,84
13	2016					366 200,77
14	2017				335 964,01	335 964,01
15	2018	308 223,86		308 223,86		308 223,86
16	2019		282 774,18		282 774,18	282 774,18
17	2020					259 425,86
18	2021			238 005,37	238 005,37	238 005,37
19	2022					218 353,55
20	2023	200 324,36	200 324,36		200 324,36	200 324,36
21	2024			183 783,82		183 783,82
22	2025				168 609,01	168 609,01
23	2026					154 687,16
24	2027		141 914,83	141 914,83	141 914,83	141 914,83
25	2028	130 197,09				130 197,09
26	2029				119 446,87	119 446,87
27	2030			109 584,28		109 584,28
28	2031		100 536,04		100 536,04	100 536,04
29	2032					92 234,90
30	2033	84 619,17		84 619,17	84 619,17	84 619,17
Toplam		1 927 283,06	2 483 502,50	3 518 572,16	5 518 771,00	11 534 231,39

C.8 Ray taşıma maliyetleri (8 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					1 648 000,00
2	2005				1 511 926,61	1 511 926,61
3	2006			1 387 088,63		1 387 088,63
4	2007		1 272 558,38		1 272 558,38	1 272 558,38
5	2008	1 167 484,75				1 167 484,75
6	2009			1 071 086,92	1 071 086,92	1 071 086,92
7	2010					982 648,55
8	2011		901 512,44		901 512,44	901 512,44
9	2012			827 075,63		827 075,63
10	2013	758 784,98			758 784,98	758 784,98
11	2014					696 133,01
12	2015		638 654,14	638 654,14	638 654,14	638 654,14
13	2016					585 921,23
14	2017				537 542,41	537 542,41
15	2018	493 158,17		493 158,17		493 158,17
16	2019		452 438,69		452 438,69	452 438,69
17	2020					415 081,37
18	2021			380 808,60	380 808,60	380 808,60
19	2022					349 365,68
20	2023	320 518,98	320 518,98		320 518,98	320 518,98
21	2024			294 054,11		294 054,11
22	2025				269 774,41	269 774,41
23	2026					247 499,46
24	2027		227 063,72	227 063,72	227 063,72	227 063,72
25	2028	208 315,34				208 315,34
26	2029				191 114,99	191 114,99
27	2030			175 334,86		175 334,86
28	2031		160 857,67		160 857,67	160 857,67
29	2032					147 575,84
30	2033	135 390,68		135 390,68	135 390,68	135 390,68
Toplam		3 083 652,90	3 973 604,01	5 629 715,45	8 830 033,60	18 454 770,23

C.9 Ray taşıma maliyetleri (10 geçişli; € cinsinden; %9 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					2 060 000,00
2	2005				1 889 908,26	1 889 908,26
3	2006			1 733 860,79		1 733 860,79
4	2007		1 590 697,97		1 590 697,97	1 590 697,97
5	2008	1 459 355,93				1 459 355,93
6	2009			1 338 858,66	1 338 858,66	1 338 858,66
7	2010					1 228 310,69
8	2011		1 126 890,54		1 126 890,54	1 126 890,54
9	2012			1 033 844,54		1 033 844,54
10	2013	948 481,23			948 481,23	948 481,23
11	2014					870 166,26
12	2015		798 317,67	798 317,67	798 317,67	798 317,67
13	2016					732 401,53
14	2017				671 928,01	671 928,01
15	2018	616 447,72		616 447,72		616 447,72
16	2019		565 548,37		565 548,37	565 548,37
17	2020					518 851,71
18	2021			476 010,74	476 010,74	476 010,74
19	2022					436 707,10
20	2023	400 648,72	400 648,72		400 648,72	400 648,72
21	2024			367 567,63		367 567,63
22	2025				337 218,01	337 218,01
23	2026					309 374,32
24	2027		283 829,65	283 829,65	283 829,65	283 829,65
25	2028	260 394,18				260 394,18
26	2029				238 893,74	238 893,74
27	2030			219 168,57		219 168,57
28	2031		201 072,08		201 072,08	201 072,08
29	2032					184 469,80
30	2033	169 238,35		169 238,35	169 238,35	169 238,35
Toplam		3 854 566,13	4 967 005,01	7 037 144,32	11 037 542,00	23 068 462,79

EK-D

BURAJ MALİYETLERİ

D.1 Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %7 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					782 000,00
2	2005				730 841,12	730 841,12
3	2006			683 029,09		683 029,09
4	2007		638 344,94		638 344,94	638 344,94
5	2008	596 584,06				596 584,06
6	2009			557 555,19	557 555,19	557 555,19
7	2010					521 079,62
8	2011		486 990,30		486 990,30	486 990,30
9	2012			455 131,12		455 131,12
10	2013	425 356,19			425 356,19	425 356,19
11	2014					397 529,15
12	2015		371 522,57	371 522,57	371 522,57	371 522,57
13	2016					347 217,35
14	2017				324 502,20	324 502,20
15	2018	303 273,08		303 273,08		303 273,08
16	2019		283 432,79		283 432,79	283 432,79
17	2020					264 890,46
18	2021			247 561,17	247 561,17	247 561,17
19	2022					231 365,58
20	2023	216 229,52	216 229,52		216 229,52	216 229,52
21	2024			202 083,66		202 083,66
22	2025				188 863,23	188 863,23
23	2026					176 507,70
24	2027		164 960,46	164 960,46	164 960,46	164 960,46
25	2028	154 168,66				154 168,66
26	2029				144 082,86	144 082,86
27	2030			134 656,88		134 656,88
28	2031		125 847,55		125 847,55	125 847,55
29	2032					117 614,53
30	2033	109 920,12		109 920,12	109 920,12	109 920,12
Toplam		1 805 531,62	2 287 328,12	3 229 693,34	5 016 010,20	10 383 141,12

D.2 Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %8 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					782 000,00
2	2005				724 074,07	724 074,07
3	2006			670 438,96		670 438,96
4	2007		620 776,81		620 776,81	620 776,81
5	2008	574 793,34				574 793,34
6	2009			532 216,06	532 216,06	532 216,06
7	2010					492 792,65
8	2011		456 289,49		456 289,49	456 289,49
9	2012			422 490,27		422 490,27
10	2013	391 194,69			391 194,69	391 194,69
11	2014					362 217,31
12	2015		335 386,40	335 386,40	335 386,40	335 386,40
13	2016					310 542,96
14	2017				287 539,78	287 539,78
15	2018	266 240,53		266 240,53		266 240,53
16	2019		246 519,01		246 519,01	246 519,01
17	2020					228 258,35
18	2021			211 350,32	211 350,32	211 350,32
19	2022					195 694,74
20	2023	181 198,83	181 198,83		181 198,83	181 198,83
21	2024			167 776,70		167 776,70
22	2025				155 348,79	155 348,79
23	2026					143 841,48
24	2027		133 186,55	133 186,55	133 186,55	133 186,55
25	2028	123 320,88				123 320,88
26	2029				114 186,00	114 186,00
27	2030			105 727,78		105 727,78
28	2031		97 896,09		97 896,09	97 896,09
29	2032					90 644,53
30	2033	83 930,12		83 930,12	83 930,12	83 930,12
Toplam		1 620 678,41	2 071 253,19	2 928 743,69	4 571 093,03	9 507 873,50

D.3 Buraj maliyetleri (€ cinsinden; %9 iskonto oranına göre)

Hat Ömrü	Bakım Yılı	5 yılda 1 kez	4 yılda 1 kez	3 yılda 1 kez	2 yılda 1 kez	1 yılda 1 kez
1	2004					782 000,00
2	2005				717 431,19	717 431,19
3	2006			658 193,75		658 193,75
4	2007		603 847,48		603 847,48	603 847,48
5	2008	553 988,52				553 988,52
6	2009			508 246,34	508 246,34	508 246,34
7	2010					466 281,05
8	2011		427 780,78		427 780,78	427 780,78
9	2012			392 459,43		392 459,43
10	2013	360 054,52			360 054,52	360 054,52
11	2014					330 325,25
12	2015		303 050,69	303 050,69	303 050,69	303 050,69
13	2016					278 028,16
14	2017				255 071,70	255 071,70
15	2018	234 010,74		234 010,74		234 010,74
16	2019		214 688,75		214 688,75	214 688,75
17	2020					196 962,15
18	2021			180 699,22	180 699,22	180 699,22
19	2022					165 779,10
20	2023	152 090,92	152 090,92		152 090,92	152 090,92
21	2024			139 532,96		139 532,96
22	2025				128 011,89	128 011,89
23	2026					117 442,10
24	2027		107 745,04	107 745,04	107 745,04	107 745,04
25	2028	98 848,66				98 848,66
26	2029				90 686,85	90 686,85
27	2030			83 198,94		83 198,94
28	2031		76 329,31		76 329,31	76 329,31
29	2032					70 026,89
30	2033	64 244,85		64 244,85	64 244,85	64 244,85
Toplam		1 463 238,21	1 885 532,97	2 671 381,97	4 189 979,54	8 757 057,23

**AKSARAY - HAVALİMANI HAFİF METRO HATTI'NIN YILLARA GÖRE BURAJ
YAPILAN KESİMLERİN UZUNLUKLARI**

E.1 Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2004 Yılı'nın İlk Yarısına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları

Çalışma Bölgesi	Yol	Başlangıç km	Bitiş km	Buraj Yapılan Kesimin Uzunluğu
Otogar - Terazidere	2	0+500	1+080	580 m
Terazidere - Davutpaşa	2	1+100	1+450	350 m
Terazidere - Davutpaşa		1+100	1+700	600 m
Terazidere - Davutpaşa	1	1+110	1+550	440 m
Terazidere - Davutpaşa	2	1+430	1+700	270 m
Terazidere - Davutpaşa	2	1+600	1+950	350 m
Terazidere - Davutpaşa	1	1+980	1+500	480 m
Ulubatlı - Bayrampaşa	2	2+420	2+710	290 m
Ulubatlı - Bayrampaşa	2	2+590	2+290	300 m
Ulubatlı - Bayrampaşa	2	2+600	2+400	200 m
Ulubatlı - Bayrampaşa	2	2+720	2+450	270 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	2	3+520	4+100	580 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	1	4+150	4+630	480 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	2	4+300	4+610	310 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	1	4+610	4+830	220 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	1	4+820	4+620	200 m
Sağmalcılar - Kartaltepe	1	4+820	5+260	440 m
Sağmalcılar - Kartaltepe	2	4+835	5+235	400 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	2	4+845	4+545	300 m
Zeytinburnu - Bakırköy	1	4+910	5+100	190 m
Sağmalcılar - Kartaltepe		5+650	6+270	620 m
Sağmalcılar - Kartaltepe	2	5+850	6+410	560 m
Bahçelievler - Ataköy	1 ve 2	7+840	8+020	180 m
Otogar - Esenler		8+410	7+880	530 m
TOPLAM				9140 m

E.2 Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2004 Yılı'nın İkinci Yarısına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları

Çalışma Bölgesi	Yol	Başlangıç km	Bitiş km	Buraj Yapılan Kesimin Uzunluğu
Otogar - Terazidere	2	0+000	1+100	1100 m
Otogar - Terazidere	1	0+000	1+100	1100 m
Terazidere - Davutpaşa	1	1+100	2+200	1100 m
Terazidere - Davutpaşa	2	1+100	2+200	1100 m
Bayrampaşa - Ulubatlı	2	2+250	3+495	1245 m
Bayrampaşa - Ulubatlı	1	2+950	3+450	500 m
Davutpaşa - Merter	2	3+300	3+750	450 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	1	3+495	4+925	1430 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	2	3+495	4+925	1430 m
Merter - Zeytinburnu	1	3+750	4+650	900 m
Merter - Zeytinburnu	2	4+200	4+650	450 m
Zeytinburnu - Bakırköy	2	4+650	6+000	1350 m
Kartaltepe - Sağmalcılar	2	4+925	6+450	1525 m
Kartaltepe - Sağmalcılar	1	5+400	6+400	1000 m
Otogar - Kartaltepe	1	6+450	7+200	750 m
Otogar - Kartaltepe	Orta	7+100	7+500	400 m
Otogar - Esenler	Orta	7+600	8+500	900 m
Bahçelievler - Ataköy	2	7+900	8+650	750 m
Ataköy - Yenibosna	1	8+150	8+550	400 m
Yenibosna - D.T.M.	1	8+550	8+700	150 m
Ataköy - Yenibosna	1	8+550	8+900	350 m
Ataköy - Yenibosna	2	8+650	9+700	1050 m
TOPLAM				19430 m

**E.3 Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2005 Yılına Ait Buraj Yapılan
Kesimlerin Uzunlukları**

Çalışma Bölgesi	Yol	Başlangıç km	Bitiş km	Buraj Yapılan Kesimin Uzunluğu
Otogar - Emniyet	1	0+000	0+200	200 m
Ulubatlı - Bayrampaşa	2	2+200	2+400	200 m
Bayrampaş - Sağmalcılar	2	3+490	4+000	510 m
Bayrampaşa - Sağmalcılar	1-2	4+500	4+840	340 m
Otogar	1-2	7+000	7+750	750 m
Terazidere - Davutpaşa	1-2	1+200	2+000	800 m
Davutpaşa - Merter	2	2+000	2+900	900 m
Zeytinburnu - Bakırköy	2	4+360	6+000	1640 m
Zeytinburnu Makaslar Dahil	1	4+180	5+100	920 m
Bahçelievler - Ataköy	1-2	7+000	7+300	300 m
Ataköy - Yenibosna	1-2	9+390	9+720	330 m
TOPLAM				6890 m

E.4 Aksaray - Havalimanı Hafif Metro Hattı'nın 2008 Yılına Ait Buraj Yapılan Kesimlerin Uzunlukları

Çalışma Bölgesi	Yol	Başlangıç km	Bitiş km	Buraj Yapılan Kesimin Uzunluğu
Kartaltepe - Sağmalcılar	2	5+760	6+400	640 m
Kartaltepe - Sağmalcılar	2	5+760	6+400	640 m
Otogar - Davutpaşa	1	0+850	1+400	550 m
Otogar - Davutpaşa	2	0+850	1+400	550 m
Yenibosna - Ataköy	1	8+900	9+240	340 m
Yenibosna - Ataköy	2	8+900	9+280	380 m
Terazidere - Davutpaşa	1	1+700	1+950	250 m
Bakırköy - Zeytinburnu	2	5+960	6+040	80 m
Zeytinburnu - Bakırköy	1	4+810	5+100	290 m
Zeytinburnu - Bakırköy	2	4+810	5+100	290 m
Otogar - 417 arası	2	7+270	7+570	300 m
Bahçelievler - Ataköy	2	7+750	8+330	580 m
Bahçelievler - Ataköy	1	8+000	8+340	340 m
Bahçelievler - Ataköy	1	8+000	7+520	480 m
Terazidere - Otogar	1	0+140	0+850	710 m
Otogar - Esenler	Orta	7+600	8+000	400 m
Otogar- Kartaltepe		7+250	7+750	500 m
Otogar Ortayol	Orta	7+300	7+600	300 m
Sağmalcılar - Kartaltepe	2	5+760	6+400	640 m
Kartaltepe - Otogar	2	6+400	7+200	800 m
TOPLAM				9060 m

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tevfik Hasan ORTAÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.11.1983 / Rosny s/s Bois - Fransa
Yabancı Dili : İngilizce ve Fransızca
E-posta : tevsan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lise	Fen Bilimleri	Eskişehir Anadolu Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2006 - Halen	Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş.	Teklif Mühendisi