

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BALASTLI ve
BALASTSIZ (BETONA TESPİTLİ) ÜSTYAPILI
HATLARIN BAKIM MALİYETLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa POLAT

İSTANBUL, 2011

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BALASTLI ve
BALASTSIZ (BETONA TESPİTLİ) ÜSTYAPILI
HATLARIN BAKIM MALİYETLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa POLAT

Tez Danışmanı: Dr. Veysel ARLI

İSTANBUL, 2011

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi


Tezin Başlığı : Kent İçi Raylı Sistemlerde Balastlı Ve Balastsız (Beton Tespitli)
Üst Yapılı Hatların Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması
Öğrencinin Adı Soyadı : Mustafa POLAT
Tez Savunma Tarihi: : 22.04.2011

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. F. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdür V.

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

Tez Sınav Jürisi Üyeleri :

Dr. Veysel ARLI (Tez Danışmanı) : 

Prof. Dr. Mustafa ILICALI :

Dr. Nilgün CAMKESEN :

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tezin Başlığı : Kent İçi Raylı Sistemlerde Balastlı Ve Balastsız (Beton Tespitli)
Üst Yapılı Hatların Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması
Öğrencinin Adı Soyadı : Mustafa POLAT
Tez Savunma Tarihi: : 22.04.2011

Bu yüksek lisans tezi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

.....

Doç. Dr. F. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdür V.

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

Tez Sınav Jürisi Üyeleri :

Dr.Veyssel ARLI (Tez Danışmanı) :

Prof. Dr.Mustafa ILICALI :

Dr.Nilgün CAMKESEN :

İÇİNDEKİLER

TABLolar.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEM MODLARI	4
2.1 YOLCULUK KAPASİTELERİ AÇISINDAN KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRMASI.....	5
2.1.1 Tramvay	5
2.1.2 Hafif Raylı Sistemler.....	6
2.1.3 Metro	7
2.1.4 Banliyö Sistemleri	9
2.2 KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN YAPISAL OLARAK SINIFLANDIRILMASI.....	6
2.2.1 Demiryolu Altyapısı	7
2.2.2 Demiryolu Üst Yapısı.....	8
2.2.3 Balastlı Üstyapı	8
2.2.4 Rijit (Betona Tespitli) üstyapı.....	9
3. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERİN GELİŞİMİ VE TARİHÇESİ.....	11
3.1 TRAMVAYIN GELİŞİMİ	11
3.2 HAFİF RAYLI SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ.....	16
3.3 METRONUN GELİŞİMİ.....	17
4. ÜSTYAPININ KISIMLARI	21
4.1 DEMİRYOLU ALTYAPISI	21
4.1.1 Demiryolu Altyapısının Sınıflandırılması	23
4.1.2 Altyapının Mekanik Karakteristikleri	25
4.2 BALASTLI DEMİRYOLU ÜST YAPISI.....	25
4.2.1 Ray.....	27
4.2.1.1 Oluklu raylar.....	28
4.2.1.2 Gömülü dizayn rayı.....	29
4.2.1.3 Vinyol raylar (tek mantarlı).....	29
4.2.1.4 Çift mantarlı raylar.....	31
4.2.1.5 Rayların işaretlenmesi ve taşınması.....	32
4.2.2 Travers.....	33
4.2.2.1 Ahşap traversler.....	34
4.2.2.2 Demir traversler.....	35

4.2.2.3 Betonarme traversler.....	35
4.2.3 Bağlantı Elemanı.....	36
4.2.3.1 Rijit bağlantı elemanları.....	36
4.2.3.2 Elastik bağlantı elemanları.....	37
4.2.3.3 Cebireler.....	39
4.2.4 Balast.....	40
4.3 BALASTSIZ (BETONA TESPİTLİ) ÜSTYAPI.....	41
4.3.1 Balastsız Hatların Avantajları Ve Dezavantajları.....	43
4.3.2 Balastsız Üst Yapı Çeşitleri.....	44
4.3.2.1 Beton traversli balastsız üst yapı sistemi.....	45
4.3.2.1.1 <i>Bloklı betona tespit sistemi</i>	45
4.3.2.1.2 <i>İkiz bloklı stedef sistemi</i>	46
4.3.2.1.3 <i>Rheda sistemi</i>	46
4.3.2.1.4 <i>Züblin sistemi</i>	48
4.3.2.2 Asfalt traversli üstyapı sistemi.....	49
4.3.2.3 Traverssiz üstyapı sistemleri.....	50
4.3.2.4 Gömülü balastsız üst yapı.....	53
5. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BAKIMLAR.....	58
5.1 BAKIM SINIFLARI	60
5.1.1 Kontrol ve Hattın İzlenmesi.....	60
5.1.2 Önleyici Bakım.....	61
5.1.3 Düzeltici Bakım.....	61
5.1.4 Yenilemeler.....	62
5.2 RAYLI SİSTEMERDE KONTROLLER VE HATTIN GÖZLENMESİ...62	
5.2.1 Hattın Görsel Kontrolü.....	63
5.2.1.1 Hat nöbetçisinin yaptığı günlük kontroller.....	63
5.2.1.2 Hattın sürücü kabininden kontrolü.....	63
5.2.1.3 Üç aylık hattın görsel kontrol.....	64
5.2.2 Rayların Görsel Kontrolü.....	64
5.2.3 Traverslerin Görsel Kontrolü.....	64
5.2.4 Makasların Görsel Kontrolü.....	65
5.2.5 Kaynakların Görsel Kontrolü.....	65
5.2.6 Ray Bağlantı Elemanlarının Görsel Kontrolü.....	65
5.2.7 Hat Geometrisinin Görsel Kontrolü.....	66
5.2.8 Hat Yatağı ve Drenaj Sistemlerin Görsel Kontrolü.....	66
5.2.9 İzole Cebirelerin Görsel Kontrolü.....	66
5.2.10 Makasların Görsel Kontrolü.....	67
5.2.11 Bağlantı Elemanlarının Kontrolü.....	67
5.2.12 Üçüncü Ray Besleme Bağlantıları Kontrolü.....	68
5.2.13 Üçüncü Ray İzolatör Ankraj Kontrolü.....	69
5.2.14 Üçüncü Ray Pozisyon ve Aşınma Kontrolü.....	69
5.3 BOYUTSAL KONTROLLER.....	70
5.3.1 Hattın Geometrik Kontrolü.....	70
5.3.2 Makas Boyutsal Kontrolü.....	71
5.3.3 Rayların Boyutsal Kontrolü.....	72
5.3.3.1 Aşınma ölçümleri.....	72

5.3.3.2 Ondülasyon ölçümleri.....	75
5.3.4 Ray Genleşme Derzi Boşluk Kontrolü ve Yağlama.....	79
5.3.5 Durdurucu Tampon Kontrol ve Bakımı.....	80
5.3.6 Ray Taşlama.....	80
5.3.7 Makasların Yağlaması.....	82
6. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE YAPILAN DÜZELTİCİ BAKIMLAR.....	83
6.1 RAY BAĞLANTI ELEMANLARININ DEĞİŞTİRİLMESİ.....	83
6.2 RAY BAKIMLARI.....	86
6.2.1 Ray Kusurlarının Tamiri.....	86
6.2.2 Ray Değişirme.....	93
6.2.3 Ray Kırık ve Çatlakların Tamiri.....	94
6.2.4 Üçüncü Ray Düzeltici Bakım İşleri.....	95
6.2.5 Ray Taşlama.....	96
6.3 RAY KAYNAK BAKIMLARI.....	98
6.3.1 AluminoTermit Kaynak.....	98
6.3.2 Ray Dolgu Kaynak Bakımları.....	112
6.4 TRAVERS DEĞİŞTİRME.....	118
6.5 HAT GEOMETRİSİNİN DÜZELTİLMESİ.....	120
6.5.1 Ekartman.....	120
6.5.2 Fleşteki Sapmaları.....	120
6.5.3 Dever.....	121
6.5.4 Burulma.....	121
6.5.5 Ray Üstü Sapmalar (Ray Düşey Nivelmanı).....	122
6.6 İZOLECEBİRENİN TAMİRİ VE DEĞİŞTİRİLMESİ.....	122
6.7 BALASTLI ÜSTYAPIDA HAT GEOMETRİK BOZUKLUKLARININ DÜZELTİLMESİ (BURAJ).....	123
6.7.1 Elle Buraj.....	124
6.7.2 Makineli Buraj.....	125
6.8 BALAST ELEME.....	126
6.8.1 Elle Balast Eleme.....	127
6.8.2 Makineli Balast Eleme.....	128
6.9 MAKAS BAKIMLARI.....	129
6.10 MAKAS DİL TAKIMI VE GÖBEK DEĞİŞTİRİLMESİ.....	130
7. BALASTLI ve BETONA TESPİTLİ HATLARDA BAKIM MALİYETLERİ....	131
7.1 METODOLOJİ.....	132
7.1.1 Hat Bakım Maliyetlerinde İncelenecek Hatlar.....	132
7.1.1.1 Balastlı Hat.....	133
7.1.1.2 Betona Tespitli Hat.....	134
7.2 AKSARAY -HAVALİMANI ARASI BALASTLI HATTA YILLIK BAKIMLAR VE MALİYETLERİ.....	135
7.2.1 Yıllık Bakım Maliyetleri	138
7.2.2 Bakım Çeşitlerine Göre Maliyetlerin Değerlendirmesi.....	143
7.2.3 Hafif Metro Hattında Yolcu Başına Düşen Bakım Maliyetleri.....	144

7.3 İSTANBUL METRO HATTINDA YILLIK BAKIMLAR VE MALİYETLERİ	146
7.3.1 Yıllık Bakım Maliyetleri	147
7.3.2 Yapılan Bakım Maliyetlerinin Değerlendirmesi.....	150
7.3.3 Metro Hattında Yolcu Başına Düşen Bakım Maliyetleri.....	151
8. BALASTLI ve BETONA TESPİTLİ HATLARIN BAKIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	154
8.1 BALASTLI VE BETONA TESPİTLİ HATLARDA YAPILAN PERİYODİK BAKIM FAALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI.....	154
8.2 BALASTLI VE BETONA TESPİTLİ HATLARDA YAPILAN BAKIMLARIN SİSTEM BAZINDA KARŞILAŞTIRMASI.....	155
8.3 TOPLAM HAT BAKIM GİDERLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI.....	157
9. SONUÇ.....	159
KAYNAKÇA.....	162
ÖZGEÇMİŞ.....	165

TABLolar

Tablo 2.1: Farklı mod kategorilerinin özellikleri.....	5
Tablo 2.2: Otomatik sürücüsüz ulaşım sistemlerinde önemli gelişmeler.....	8
Tablo 3.1: Kent içi raylı sistemlerinin gelişiminde önemli kilometre taşları.....	19
Tablo 4.1: Altyapı işleri ve altyapı türleri.....	22
Tablo 4.2: Jeoteknik karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlara bağlı olarak altyapı Kalitesinin sınıflandırılması.....	24
Tablo 4.3: Rayların mekanik özellikleri.....	30
Tablo 4.4: En çok kullanılan ray tipleri.....	31
Tablo 4.5: Ray etiketleme sistemi.....	33
Tablo 4.6: Uygulanan balastsız hatların burulma rijitlikleri.....	44
Tablo 5.1: İngiliz standardına göre ray aşınmaları.....	73
Tablo 5.2: Taşlama sonrası kalan ondülasyon toleransları	81
Tablo 5.3: Kanada ulusal araştırma enstitüsü taşlama periyotları.....	81
Tablo 6.1: Thermit kaynak yöntemleri.....	100
Tablo 6.2: Raylar arasındaki sıcaklığa bağlı boşluk miktarı.....	102
Tablo 7.1: Hafif Metro hattı ölçüm ve kontroller	136
Tablo 7.2: Hafif metro hattı planlı bakımları.....	136
Tablo 7.3: Hafif metro hattı düzeltici bakımlar.....	137
Tablo 7.4: Hafif metro hattı bakım giderleri.....	138
Tablo 7.5: Hafif metro hattında yıllara göre bakımlar.....	140
Tablo 7.6: Yıllara göre yolcu başına düşen bakım giderleri.....	145
Tablo 7.7: Metro Hattında Yapılan Periyodik kontroller.....	147
Tablo 7.8: Metro hattı bakım maliyetleri.....	148
Tablo 7.9: Metro hattında 2002- 2010 sistem bazında bakım maliyetleri.....	151
Tablo 7.10: Yolcu başına düşen bakım maliyeti.....	152
Tablo 8.1 : Yapılan Bakım çeşitleri ve toplam maliyetleri.....	155
Tablo 8.2 : Sistemler bazında km başına yıllık toplam maliyetleri.....	156
Tablo 8.2 : Yıllık ortalama km' ye düşen bakım maliyetleri.....	158

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Taksim nostaljik tramvayı.....	6
Şekil 2.2: Z.burnu-kabataş tramvayı.....	6
Şekil 2.3:İstanbul hafif metro aracı.....	7
Şekil 2.4 : Metro sistemi.....	9
Şekil 2.5 : Banliyö trenleri.....	9
Şekil 3.1: Nostaljik tramvay.....	13
Şekil 3.2: Dünya metrolarının gelişimi.....	20
Şekil 4.1 : Demiryolu kısımları.....	21
Şekil 4.2: Farklı zemin sınıflarına karşılık gelen cbr indeksleri.....	25
Şekil 4.3: Balastlı üstyapı.....	26
Şekil 4.4: Demiryolu rayının bölümleri.....	27
Şekil 4.5: Oluklu ray.....	29
Şekil 4.6: Gömülü dizayn ray.....	29
Şekil 4.7: Vinyol ray.....	30
Şekil 4.8: Çift mantarlı ray.....	32
Şekil 4.9: Ray etiketleme sistemi.....	32
Şekil 4.10: Ahşap travers.....	34
Şekil 4.11: Demir travers.....	35
Şekil 4.12: Beton travers çeşitleri.....	36
Şekil 4.13: Rijit bağlantı elemanı.....	37
Şekil 4.14: Cıvata tipli elastik bağlantı.....	37
Şekil 4.15: Cıvata tipli elastik bağlantı.çeşitler.....	38
Şekil 4.16: Yay tipli elastik bağlantı.....	38
Şekil 4.17: Yay tipli elastik bağlantı çeşitleri	39
Şekil 4.18: Cebire bağlantısı.....	40
Şekil 4.19: Balast tabakası.....	41
Şekil 4.20: Demiryolu yolun bölümleri.....	45
Şekil 4.21: Stedef sistemi.....	46

Şekil 4.22: İlk yapılan rheda sistemi.....	47
Şekil 4.23: Rheda sisteminin ayar düzeneği.....	47
Şekil 4.24: Rheda sisteminin gelişme süreci.....	48
Şekil 4.25: Züblin sistemi.....	48
Şekil 4.26: Asfalt yataklı üst yapı.....	50
Şekil 4.27: J-shinkansen prekast üst yapı.....	51
Şekil 4.28: Bögel prekast üst yapı.....	52
Şekil 4.29: Porr prekast üst yapı.....	53
Şekil 4.30: Edilon sürekli gömülü üstyapı sistemi.....	54
Şekil 4.31: Yüksek hızlı hatlar için erc gömülü ray istemi.....	54
Şekil 4.32: Yüksek hızlı hatlar için erc gömülü ray sistemi çim hat.....	55
Şekil 4.33: Çemberlitaş istasyonu gömülü yol çalışması.....	55
Şekil 5.1 : Hat parametrelerinin bozulma oranları.....	59
Şekil 5.2 : Bakım çeşitleri.....	63
Şekil 5.3 : Bozuk ve kırık travers.....	64
Şekil 5.4 : Rayda aşınma ve kırılma.....	65
Şekil 5.5 : Bozuk hat geometrisi.....	66
Şekil 5.6 : Trifönöz makinesi ile somun sıkma.....	68
Şekil 5.7 : Üçüncü ray pozisyonu.....	69
Şekil 5.8 : Hat geometrisi ölçüm cihazı ve el bilgisayarı.....	70
Şekil 5.9 : Makasların boyutsal kontrol yerleri.....	71
Şekil 5.10: Ray aşınma Şekilleri.....	72
Şekil 5.11: Manuel ray aşınma ölçüm aleti.....	73
Şekil 5.12: Lazerli profil ölçüm aleti.....	74
Şekil 5.13: Dokunmatik kılavuzlu profil ölçüm aleti.....	74
Şekil 5.14: Tekerlek izinden oluklanma.....	75
Şekil 5.15: Uğuldayan ray ondülasyon.....	76
Şekil 5.16: Ondülasyon ölçüm aleti.....	79
Şekil 6.1 : Dubel delme makinesi.....	85
Şekil 6.2 : Kısa ve uzun dalgalı ondülasyon.....	87
Şekil 6.3 : Raylarda mantrında oluşan oyulmalar.....	88
Şekil 6.4 : Raylardaki oval boşluklar.....	89

Şekil 6.5 : mantarda yatay çatlaklar.....	89
Şekil 6.6 : Mantarda çatlağı.....	90
Şekil 6.7 : Temas yüzeyinin yorulması.....	90
Şekil 6.8 : Kabuklanmalar.....	91
Şekil 6.9 : Ray mantarındaki kabuklanmalar.....	91
Şekil 6.10: Yanal ve düşey aşınma.....	92
Şekil 6.11: Ray aşınma ölçüm aleti.....	92
Şekil 6.12: Ray değişim işlemi krokisi.....	93
Şekil 6.13: Üçüncü ray pozisyon değerleri.....	95
Şekil 6.14: Üçüncü ray koruyucu kapakları ve koruyucu levha destekleri.....	96
Şekil 6.15: Taşlama yapılacak hat.....	97
Şekil 6.16: Profil taşlama sonrası ray mantarının durumu.....	97
Şekil 6.17: Ray gerdirme tertibatı.....	102
Şekil 6.18: Ray yüzeyinin temizlenmesi.....	103
Şekil 6.19: Kaynak öncesi rayların ayarlanması.....	104
Şekil 6.20: Termit kaynağında kalıbın bağlanması.....	105
Şekil 6.21: Potanın ısıtılması.....	106
Şekil 6.22: Potanın yerleştirilmesi.....	107
Şekil 6.23: Pota içinde thermit reaksiyonunun oluşması.....	108
Şekil 6.24: Porsiyonun kalıba dökülmesi.....	109
Şekil 6.25: Thermit kaynağında ray sıyırma işlemi.....	110
Şekil 6.26: Sıyırma işlemim tamamlanmış ray.....	111
Şekil 6.27: Thermit kaynak yapılmış ray.....	111
Şekil 6.28: Dolgu kaynağı yapılacak ray.....	112
Şekil 6.29: Dolgu kaynağı yapılacak bölge.....	113
Şekil 6.30: Aynak ağzı açılması.....	114
Şekil 6.31: Ön ısıtma yapılması.....	115
Şekil 6.32: Ray sıcaklığının kontrolü.....	115
Şekil 6.33: Kaynak dolgu işlemi.....	116
Şekil 6.34: Kaynak sonrası taşlama.....	117
Şekil 6.35: Fleş eğrisi.....	120
Şekil 6.36: İzole cebire montajı.....	122

Şekil 6.37: Elle buraj noktaları ve rayın askıya alınması	124
Şekil 6.38: El buraj aletlerinin traverse dizilişi	124
Şekil 6.39: Buraj makinasının çalışması.....	125
Şekil 6.40: Balast yatağının boşaltılması.....	127
Şekil 6.41: Elenmiş balastın hatta dökülmesi.....	127
Şekil 6.42: Balast eleme makinası.....	128
Şekil 6.43: Makas göbek kaynağı.....	128
Şekil 7.1 : Aksaray yenibosna hattı üstyapı kesiti.....	133
Şekil 7.2 : Yenibosna – havalimanı betona tespitli hat.....	133
Şekil 7.2 : İstanbul metrosu üstyapısı.....	134
Şekil 7.3 : İstanbul metrosu üstyapı.....	134
Şekil 7.3 : İstanbul metrosu üstyapı kesiti.....	135
Şekil 7.4 : Yıllara göre hafif metro bakım maliyetleri.....	135
Şekil 7.5 : Yıllara göre hafif metro hattının bakım maliyetleri.....	139
Şekil 7.6 : Yıllık düzeltici ve periyodik bakımların oranları.....	141
Şekil 7.7 : Hafif metro hattı bakımlarının dağılımı.....	143
Şekil 7.8 : Hafif metro hattı hat bakım çalışmaları maliyetlerinin oranları.....	144
Şekil 7.9 : Hafif metro hattında üst yapı bakım oranları.....	144
Şekil 7.10: Hafif metro yıllık yolcu sayıları.....	145
Şekil 7.11: Metro yıllık bakım maliyetleri.....	149
Şekil 7.12: Metro hattı düzeltici ve periyodik bakımlar yıllık dağılımı.....	149
Şekil 7.13: Metro hattı düzeltici ve periyodik bakım oranları.....	150
Şekil 7.14: Metro hattı sistem bazında bakım çalışmalarının oranları.....	151
Şekil 7.15: İstanbul metrosu yıllık yolcu sayıları.....	152
Şekil 8.1 : Balastlı ve betona tespitli hat bakım giderleri karşılaştırması.....	157

KISALTMALAR

Aluminotermite Kaynak Yöntemi(Aluminothermic Welding)	:	AT
Isıdan Etkilenmiş Bölge (Heat Affected Zone)	:	HAZ
İngiliz Demiryolları (British Railways)	:	BR
Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları	:	TCDD
Uluslararası Demiryolu Birliği (Union Internationale des Chemins de fer)	:	UIC
Uzun Kaynaklı Ray	:	UKR
Yakma Alın Kaynak Yöntemi(Flash Butt Welding)	:	FBW
Güzergahın Diğer Trafikten Ayrılma Oranı (right-of-way)	:	ROW
Hafif Raylı Sistem (Line Railway Sistem)	:	LRT
Metrobüs	:	BRT
Otomatik Sürücülü Sistem	:	ATO
Hafif Raylı Transit Sistem (light rail rapid transit)	:	LRRT
Amerika Birleşik Devletleri	:	ABD
Otomatik Sinyal Sistemi	:	ITS
Fransız Demiryolları	:	SNCF
Alman Demiryolları	:	DB AG
Avusturya Demiryolları	:	ÖBB
Hollanda Demiryolları	:	NS
İsveç demiryolları	:	SJ
Norveç Demiryolları	:	NSB
İtalya Demiryolları	:	FS
İsviçre Demiryolları	:	SBB
İngiltere Demiryolları	:	Network Rail
Avrupa Demiryolları kriterleri	:	ERC

SEMBOLLER

Doğru Akım	:	DC
Brinell Sertlik Birimi (Hardness Brinell)	:	HB
Hız (Kilometre/saat)	:	Km/sa
Metre	:	m.
İvme	:	m/s ²
Isıl Genleşme Katsayısı	:	α
Sıcaklık Farkı	:	ΔT
Ray Uzunluğu	:	l
Elektrikte Direnç Birimidir (Simge Ω)	:	Ohm
Newton Metre	:	Nm
Hat kapasitesi	:	(xbin yolcu/sa)

1. GİRİŞ

Raylı sistemler, ulaşım modları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Kentlerde raylı sistemlerin tercih edilme nedenleri arasında beklentileri karşılayabilmesi, çevreye duyarlı olması, ekonomik olması, yolculuk sürelerini azaltması, trafik sıkışıklığını ortadan kaldırması, diğer ulaşım modlarına göre daha konforlu olması gibi bazı özelliklerini sayabiliriz.

Ülkemizde, özellikle büyük şehirlerde artan nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak trafik yoğunluğu, kent içi raylı sistemlere olan eğilimi artırmıştır. Son zamanlarda başta İstanbul olmak üzere Ankara, İzmir, Eskişehir, Konya, Kayseri, Adana, Gaziantep, Samsun gibi nüfus yoğunluğu fazla olan büyük kentlerimizde raylı sistem projeleri tamamlanmış veya devam etmektedir. Şu anda birçok ilimiz raylı sistem yatırımı yapmak için proje ve fizibilite çalışmaları yapmaktadır.

Raylı sistemlerde hat bakım işleri genellikle üst yapıda yapılmaktadır. Yapılan bakımlar içerisinde, alt yapı bakımları çok fazla yer kaplamamaktadır. Demiryolunda yapılan hat bakım periyotlarının sık olması, yapılan bakım çeşitliliğinin fazla olması, bakımın kolay veya zorluk derecesi işletmeyi olumsuz yönde etkileyip, zaman ve para kaybına sebep olur; toplu taşıma sisteminin olumlu yönlerini ortadan kaldırır ve cazibesini kaybetmesine yol açar. Bu sebeple bir yerde kent içi raylı sistem tasarlanırken, projede uygulanacak olan üst yapı kesiti önem kazanır.

Ülkemizde bugüne kadar yapılan raylı sistem projelerinde, balastlı ve beton tespitli üst yapı kesitleri kullanılmıştır. Ülkemizde mevcut olan kent içi raylı sistemlerden Konya Tramvay Hattı, İstanbul Aksaray – Yenibosna Hafif Raylı Sistemi, Ankaray, İzmir Metrosu, Bursa Hafif Raylı Sistemi, Antalya Tramvay Hattı, Adana Hafif Raylı Sistemlerinde balastlı üst yapı uygulanmıştır. İstanbul Metrosu, Ankara metrosu, Eskişehir Tramvay hattı, Samsun Tramvay Hattı, Gaziantep Tramvay Hattı ve Kayseri Tramvay Hattı betona tespitli olarak yapılmıştır. Ayrıca yapımına devam edilen Ankara, İstanbul ve İzmir’deki projelerde ise, betona tespitli üst yapı uygulanmaktadır.

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı, kent içi raylı sistemlerde uygulanan balastlı ve betona tespitli üst yapı çeşitlerinde hat bakım çalışmalarının neler olduğunu ortaya koymaktır. Bu bakımları sınıflandırmak, periyotlarını belirlemek, zamana göre yapılan hat bakım çalışmalarının değişimlerini tespit etmek ve buna bağlı olarak maliyetlerini hesaplamaktır.

Yukarıda saydığımız çalışmaları yaptıktan sonra, her iki üstyapı türünde yapılan hat bakım işlerinin önce kendi içerisinde birbiriyle karşılaştırmak, daha sonra balastlı ve betona tespitli hatta yapılan hat bakım çalışmalarının maliyetlerini karşılaştırmaktır. Bu sayede kent içi raylı sistemlerde, balastlı hat mı, balastsız (betona tespitli) hat mı kullanalım, sorusuna cevap aranmıştır.

Bu tez sonuç bölümüyle beraber 9 bölümden oluşmaktadır.

2. bölümde kent içi raylı sistemlerin sınıflandırması yapılmış ve alt yapı ve üstyapı hakkında kısa bilgiler verilmiştir. 3. bölümde, kent içi raylı sistemlerin tarihsel gelişimi anlatılmıştır. 4. bölümde, demiryolu üst yapısının kısımları ve üst yapıyı oluşturan ray travers bağlantı elemanı hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca balastlı ve betona tespitli üst yapılar tanıtılmıştır. 5. ve 6. bölümde, bakımların sınıflandırması hakkında bilgiler verilmiş ve balastlı ve betona tespitli hatlarda hat bakım ve kontrol çalışmalarının tanıtımı yapılmıştır.

7. bölümde, balastlı ve betona tespitli hatlarda yapılan hat bakım çalışmalarını karşılaştırmak için alınan Aksaray – Havalimanı LRT hattı ile İstanbul metrosunda yapılan periyodik ve düzeltici bakımlar incelenmiştir. Bu hatlarda yapılan periyodik ve düzeltici bakımların yıllara göre dağılımı yapılmıştır. Daha sonra bu bakım maliyetlerinin üst yapıyı oluşturan ray, travers, bağlantı elemanı ve hattaki diğer işlere göre dağılımı çıkartılmıştır. En sonunda her iki hatta yıllık kilometre başına düşen bakım miktarları ve yolcu başına düşen bakım maliyetleri hesaplanmıştır.

8. bölümde, balastlı hat ile betona tespitli hatta yapılan düzeltici, periyodik ve toplam bakım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Betona tespitli ve balastlı hatlarda yapılan hat bakımlarının maliyetlerinin km başına yıllık ortalamaları ve yolcu başına yıllık ortalamaları kıyaslanmıştır. Sonuç olarak betona tespitli ve balastlı üst yapı kesitinin ekonomik olarak değerlendirilmesi yapıp hangi üst yapı kesitinin daha ekonomik olduğu bulunmaya çalışılmıştır.

Ülkemizde bugüne kadar işletmeye alınan kent içi raylı sistemlerin projelendirmesi ve inşaatı esnasında sadece ilk maliyetlerine bakılıp daha sonra yapılacak bakımlar hesaba katılmamıştır. Hat işletmeye açıldıktan sonra hat bakım çalışmalarının olumsuz etkilerinin düşünülmemesinin sonucu olarak zaman ve para kaybı yaşanmıştır. Bu sebeple ülkemizde yeni yapılacak olan demiryolu hatları ömür boyu toplam servis ömrünün ve servis ömrü maliyetinin (life cycle cost) göz önüne alınarak tasarlanması gerekmektedir.

Bu alanda yapılan çalışmalar teşvik edilmeli ve ülkemizde demiryolları konusundaki eğitim ve öğretim eksiklikleri giderilerek, demiryolu teknolojisi konusunda dışa bağımlılığı ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmalıdır.

2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEM MODLARI

Kent içi raylı sistemler, II. Dünya Savaş'ından sonra otomobilin artmasıyla önem kazanmıştır. Kent içi raylı sistemlerin sınıflandırmasında en önemli kriter, yolcu kapasitesine göre yapılan sınıflandırmadır. Yolculuk kapasitesi ile ilgili en önemli faktörler: Ticari hız, bir dizideki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikler, sinyal sistemi, karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan ve yayalardan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatinde dizin çalıştırma sıklığı gibi parametrelerdir.

Kent içi ulaşım sistemleri, temelde özel araç ve toplu taşıma olmak üzere ikiye ayrılır. Toplu ulaşım sistemi ise, yol kullanım hakkı (fiziksel özerkliği), güzergâhın diğer trafikten ayrılma oranı (right-of-way ROW); sistem teknolojisi (mesnetleme, kılavuzlama, tahrik, kontrol); servis tipi olmak üzere dört temel özellikte sınıflanır.

Bir türün fiziksel özerkliği diğer türlerden bağımsız olarak işletebilmesini ifade eder. Böylece işletici açısından işletme ve denetim kolaylığı ve kullanıcılar açısından da düzenlilik ve sisteme güven artmaktadır. Dolayısıyla ortak yolları kullanan türlerde fiziksel özerklik düşük olduğundan buna bağlı olarak sistemin güvenilirliği de düşük olur.

Demiryolu araçlarının yol kullanım hakkı, karayolu ve yaya trafiği ile olan ilişkisine göre üç seviyede olmaktadır:

- C kategorisi, kontrolsüz tramvay sistemleri bu sınıfa girer.
- B kategorisi, yarı kontrollü kavşaklarda ve hemzeminlerde trafikle karşılaşır.
- A kategorisi, tam kontrollü LRT veya metro sistemleri bu sınıfa girer.

Servis tipi, güzergah tipine göre; kısa mesafeli, şehir ve bölgesel olmak üzere üçe ayrılır. İşletme zamanına göre ise düzenli, zirve saat ve düzensiz(özel olaylarda veya acil durumda yapılan) servis olmak üzere üçe ayrılabilir.

Tablo 2.1: Farklı mod kategorilerinin özellikleri

Mod kategorisi	Yol kullanım kategorisi	Mod	Araç kontrol	Araç sayısı	Araç kapasitesi	Hat kapasitesi (x bin yolcu / sa)
Cadde	C	Trolleybüs	Sürücü/görsel	1	80-125	3-6
	C	Tramvay	Sürücü/görsel	1-3	100-300	10-20
Yarı hızlı ulaşım	B	Metrobüs (BRT)	Sürücü/görsel	1	80-180	6-24
	B	LRT	Sürücü/Sinyal	1-4	100-720	10-24
Hızlı ulaşım	A	Hafif metro (LRRT)	Sinyal/ATO	1-4	100-600	10-28
	A	Metro	Sinyal/ATO	4-10	720-2500	40-70
	A	Banliyö	Sinyal/ATO	1-10	150-1800	25-50

Kaynak: Arlı, 2009 s. 15

Ulaşım modlarının en önemli sınıflandırması temelde yol kullanım hakkına dayanarak cadde ulaşımı, yarı hızlı ulaşım, hızlı ulaşım olmak üzere üç ayrılır.(Tablo 2.1)

2.1 YOLCULUK KAPASİTELERİ AÇISINDAN KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRMASI

Kent içi raylı sistemlerin sınıflandırmasında en belirgin özellik, sistemin kapasitesidir. Sistem yolculuk kapasitesi, yolun standardını, duraklar arası mesafeleri, kullanılacak araç türünü, hat güzergahını ve güzergahın uzunluğunu, üst yapı ve alt yapı yapım tekniklerini etkiler. Ayrıca güzergahın geçtiği bölgelerin coğrafi ve sosyoekonomik durumu da sınıflandırmada belirgindir. Bu saydığımız şartlara göre kent içi raylı sistemler şu şekilde sınıflandırılmıştır.

2.1.1 Tramvay

Tramvay, kent içinde karayolu trafiği ile beraber hareket eden ve genellikle tek ,iki veya üç araçtan oluşan dizilerden oluşmaktadır. Kent içinde hızı 20 km/sa karayolu trafiğinin olmadığı bölgelerde 70 km/sa geçmez. Daha çok B ve C kategorisine girerler. Durak araları ortalama 500 metre civarındadır. Tramvaylarda genellikle düşük tabanlı araçlar

kullanılmaktadır. Duraklar, peron şeklinde inşa edilmiştir. Avrupa'nın bazı ülkelerinde peron yoktur. Tramvayın en büyük faydası, çevre ve gürültü kirliliğini ortadan kaldırır. Günlük taşıma kapasiteleri Tablo2.1'de verildiği gibi ortalama 15. 000'dir.



Şekil 2.1 : Taksim nostaljik tramvayı



Şekil 2.2 : Z.Burnu-Kabataş tramvayı

2.1.2 Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistem (LRT) çoğunlukla B kategorisinde, bazen A ve nadiren C kategorisinde elektrikli tek olarak veya 2-4'lü araçlarla çalışan trenlerdir. İlk başlarda mevcut tramvay hatlarının fiziksel ve işletmesel iyileştirilmesi ile geliştirilmiştir. Tramvay ile benzer özelliklere sahip olmakla birlikte tramvay ile metro arasında kalan bir sistemdir. Özellikle son 40 yılda önemli bir ulaşım aracı olan LRT, performans ve maliyet özellikleri açısından tramvay ile metro arasında kalan yarı hızlı bir moddur. Yolcuların yüzde 20-50'si oturandır. 18-42 m boyunda araçların yüksek hızlanma-frenleme ($1-2 \text{ m/s}^2$, acil frenleme 3 m/s^2) ivmesine sahiptir. Maksimum hız 70-80 km/sa arasındadır; ama teknik olarak 100-125 km/sa hıza çıkabilmektedir. İşletme hızı 18-40 km/sa arasındadır. Hafif raylı sistemde aynı güzergah üstünde çok farklı işletme koşulları vardır. Tünel kısımları olduğu gibi yaya bölgeleri ve karışık trafikte de çalışmakta, peronlarda alçak ve yüksek platformlar bulunmakta, sürücülü olduğu gibi tam otomatik kontrol sistemleri ile sürücüsüz de olabilmektedir. Araç taban yüksekliği 80-100 cm olduğu için alçak platformlarda 3-4 basamak bulunmakta veya alçak tabanlı araçlarda 20 cm yükseklikte platformlarla aynı seviyede olabilmektedir. Güzergahın yüzde 70-90'nı kısmen veya tam korumalı olmaktadır. Şehir merkezleri veya çok yoğun

alanlarda tünellerle geçilmektedir. Orta büyüklükteki kentlerde şehir merkezinde tramvay gibi yol ortasından geçmekte ve yaya bölgelerinin yaşanabilirliğine katkıda bulunmaktadır. İstasyon aralığı kent merkezinde 400-800 m iken kent dışında daha fazla olmaktadır. Mesela Los Angeles'da 1900 m, Dallas'ta 2200 m ve New Jersey'de 2880 m olmaktadır. [Vuchic, 2007 s.297-308]

Eğer hafif raylı sistemde tam korumalı bir hat varsa, hafif metro veya LRRT (light rail rapid transit) adı verilmektedir. İşletme hızı, hafif raylı sistemden daha fazladır. Mesela New Jersey'de Riverline hattında işletme hızı 45-55 km/sa ve Philadelphia'da Norristown hattında 57 km/sa'dır. Bu sistemin örnekleri Gothenburg (İsveç), Frankfurt (Almanya), Toronto (Kanada), Los Angeles (ABD) dir.[Vuchic, 2007 s.297-308]

Hafif metro (LRT) gibi yüksek yolculuk potansiyeli olmayan hatlarda özellikle sürücüsüz tam otomatik sistemlerle önemi artan sistemlerdir. Vancouver'daki SkyTrain, Londra-Docklands hattı, Kopenhag ve Kuala Lumpur hafif otomatik metroları en iyi örneklerdir. [Vuchic, 2007 s.297-308]



Şekil 2.3: İstanbul Hafif Metro aracı

2.1.3 Metro

Tek yönde, saatteki yolcu kapasitesi 60.000 - 70.000 arasında olan kent içi raylı toplu taşıma sistemidir. Genellikle 1435 mm ray açıklığına sahip, 4 akslı elektrikli 10'lu setlere kadar çalıştırılabilen tam sinyalli ve tam korumalı (A kategorisi) olan sistemlerdir. Araçlar, kataner veya 3.ray hattından beslenmektedirler. Ortalama hızları

70-90 km/sa'dir. Metro sistemlerinde, istasyonların büyük çoğunluğu yeraltı istasyonlarından oluşur. Dolayısıyla altyapı yatırım maliyeti diğer kent içi raylı sistemlere göre daha yüksektir. Yüksek hız, kapasite, hızlı inme-binme ve sürücü hatasına izin vermeyen kontrol sistemleri ile güvenli sistemlerdir. 90 saniyeye düşen sefer aralıkları ve bir sette 2000 kişiye varan kapasite ile diğer raylı sistemlerden çok daha yüksek performansa sahiptirler.

Tablo 2.2: Otomatik sürücüsüz ulaşım sistemlerinde önemli gelişmeler

Şehir/hat	Yıl	Araç sayısı	Araç boyu	Yolcu kapasitesi	Hat kapasitesi	Açıklama
Dallas-Fort WorthAirtrans	1974	2	13	80	Düşük	Havaalanı hattı
Morgantown	1975	1	5	21	Düşük	
Atlanta Airport / Westinghouse	1980	3	36	420	Orta	Ring hattı
Lille/VAL	1983	2	28	172	Düşük-orta	Düzenli ulaşım
Vancouver / SkyTrain	1986	4	51	440	Orta	Gezici sürücü
Londra / Docklands LRT	1988	2	56	254	Orta	sürücü
Lyon metro / D hattı	1993	3	50	450	Orta	Otomatik lastik tekerlekli metro
Paris metro / 14 hattı	1998	6	90	866	Yüksek	Otomatik lastik tekerlekli metro
Singapur / Northeast hattı	2002	6	138	1353	Yüksek	Tam otomatik metro

Tam korumalı, yüksek kapasiteli optimal bir raylı sistem modudur. Hatalara karşı tam emniyetli kontrol sistemleri, elektrik çekimi ile maksimum hıza imkan vermektedir. Yolcu binme-inme kapasitesi LRT' ye göre 3-5 kat ve otobüse göre 10-20 kat daha fazladır.



Şekil 2.4 : Metro Sistemi

Son zamanlarda inşa edilen metrolarda, ATO (otomatik tren işletme) sistemleri sürücüsüz olarak tüm şebekenin merkez kontrol merkezinden işletilmesi mümkündür. En iyi örnekleri Lyon metro D hattı (1993), Paris metro 14 hattı (1998) ve Singapur Northeast hattıdır (2002). Bundan sonra sürücüsüz metroların kısa zamanda hızla yayılacağı beklenmektedir. Sürücüsüz metroların, işletme maliyeti daha düşük ve işletme elverişliliği daha yüksektir. Buna karşın yatırım maliyeti daha fazla ve sistem daha komplekstir. (Tablo 2.2)'de otomatik sürücüsüz metroların gelişmeleri verilmiştir.

2.1.4 Banliyö Sistemleri

Banliyö hatları, şehir merkezi ile çevresinde oluşan yerleşim yerlerini bağlayan demiryolu sistemleridir.



Şekil 2.5: Banliyö Trenleri

Banliyö hatları, metro işletmesinin yapılamadığı işletme maliyetlerinin fazla olduğu yerlerde kullanılır. Hava kirliliği, şehir içindeki park problemi, trafik sıkışıklığı ve hareketlilik süresinin düşürülmesi için oldukça iyi bir çözümdür. İstasyon araları, şehir içinde ortalama 1 km şehir dışında yerleşim yerlerinin olduğu yerlerdedir. Ülkemizde İstanbul'da Sirkeci – Halkalı, Haydarpaşa – Gebze; Ankara' da Sincan - Kayaş arası; İzmir' de Alsancak – Cumaovası; Halkapınar – Aliğa Banliyö hatları bulunmaktadır.

3. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN GELİŞİMİ VE TARİHÇESİ

Kentlerin gelişmesi ve büyümesi ile birlikte insanlar, ulaşım etkinliğini sağlayacak sistemlere ihtiyaç duymuştur. Raylı sistemler, günümüzde kent içi toplu taşımının en önemli ve etkili öğelerinden biridir.

Kentsel raylı sistemlerin en eskisi atlı tramvaydır. Kentlerin gelişmesiyle ve büyümesiyle artan ulaşım ihtiyacı, teknolojidaki gelişmelerin de yardımıyla yeni ulaşım sistemlerinin gelişmesine yol açmıştır. Bu sayede raylı sistemler de hızla gelişmiştir. Ancak zamanla lastik tekerlekli araçların da gelişmesiyle, özel araçlar daha popüler hale gelmiş ve bu sayede kentlerde toplu taşımacılığa verilen önem azalmıştır. Bir dönem kentsel raylı sistemlerden vazgeçilir gibi olsa da kent nüfuslarının hızla büyümesi ve buna bağlı olarak özel araç sayısında gerçekleşen artış, toplu taşımının öneminin tekrar anlaşılmasını sağlamıştır.

Toplu taşımacılıkta raylı sistemler, özellikle hafif metro ve metro sistemleri, ekonomi, konfor, enerji, yolculuk zamanı bakımından sağladıkları avantajlarla her geçen gün artan özel araç sayısından dolayı verimleri gitgide azalan otobüs ve benzeri sistemlere tercih edilir hale gelmişlerdir.

3.1 TRAMVAYIN GELİŞİMİ

İlk atlı tramvay, New York'ta 1832 yılında, Harlem ile Manhattan arasında bir demiryolu hattı, yolcu taşımak için açılmıştır. 1830'lu yıllarda New York ve New Orleans' da yeni hatlar yapılmıştır. 1850'li yıllara kadar bir boşluk yaşanmış ve daha sonra Boston, Baltimore, Chicago, Pittsburgh gibi birçok şehirde yayılmaya başlamıştır. Bunun en büyük nedeni: 1852 yılında oluklu rayın gelişimi ve yol kaplamasına gömülü olması sayesinde trafikte engel oluşturmamasıdır. Avrupa'da ilk defa Paris'te 1853 yılında atlı tramvay hattı açılmıştır; ancak 1860'li yıllara kadar Avrupa'da tramvay gelişmemiştir. Daha sonra Londra(1861), St. Petersburg(1863), Berlin(1865), Viyana (1865) ve Budapeşte (1866) gibi şehirlerde atlı tramvay hatları açılmıştır. 1870'li yıllarda ucuz olması nedeniyle özellikle işçi kesiminin tercih ettiği tramvaylar,

Avrupa'da çok hızlı gelişmiştir. Ancak Avrupa'ya göre, Amerika'da çok daha fazla kabul görmüş ve önemli caddelerin çoğunda kullanılmıştır. [Vuchic, 2007 ss. 10-14]

İlk yapılan tramvay hatlarında araçlar, atlar tarafından çekilmekteydi. Atlı tramvayların işletme maliyetleri yüksek olduğu için sürekli yeni çareler aranmış, 1873'te buharla çalışan tramvay geliştirilmiştir. 1880'de ise Rus mühendis Fyodor Pirotsky tarafından elektrikle çalışan tramvay geliştirilmiş ve Saint Petersburg'da test edilmiştir. Ardından 1881'de, Berlin'de Werner Von Siemens tarafından yapılan ilk elektrikli tramvay hattı işletmeye açılmıştır. Elektrik üretimindeki teknik problemler ve elektriğin araçlara aktarımı işi çözüldüğü zaman, çok uygun ve ekonomik olması nedeniyle elektrikli tramvaylar, hızla atlı tramvayların yerini almıştır. New York' ta atlı tramvayların sonucusu 1914 yılında işletmeden kaldırılmıştır. Elektrik akımını tramvay araçlarına iletmek için elektrik akımı taşıyan üçüncü bir ray düşünüldü; ancak bu yayalar açısından son derece tehlikeliydi. Bu yöntem günümüzde metro sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntem tramvaylara uygulanamayınca, başka bir çare olarak hat boyunca 5 metre yükseklikte havai besleme hatları yapılmıştır. [Vuchic, 2007 ss. 10-14]

Tipik elektrikli tramvaylar, 1880'li yıllarda ortaya çıkması ile 2.Dünya Savaşı'na kadar olan süreçte kısa iki akslı, ahşap gövdeli, bir sürücü ve bir kondüktör tarafından çalıştırılan araçlardı. Bu tip araçlar, Avrupa'da 1960'lı yılların sonlarına kadar çok yaygın olarak kullanılmaya devam etmiştir. [Vuchic, 2007 ss. 15-18]

Dört akslı 12-16 m boyundaki araçları, 1890 yıllarda Amerika'da kentler arası ulaşımda kullanılmaya başlanmış; ama kent içinde kullanımı daha yavaş olmuştur. Birçok ABD şehrinde 1900 yıllarda iki akslı araçlar işletilirken, bunu takip eden 30 yılda genelde 4 akslı araçlarla yer değiştirmiştir.

1920 ve 1930'lu yılların başında Amerika'da özel otomobillerin rekabeti tramvay işletmecilerine büyük bir darbe vurmuştur. Bunun yanında otomobil kaynaklı trafik sıkışıklığı durumunda karışık trafikte eski düşük ivmeli tramvaylar çekiciliğini kaybetmeye başlamıştır. Sıkışık caddelerdeki işletmeyi iyileştirmek ve hat bakım maliyetlerinden kaçınmak için tramvay işletmecileri otobüs işletmesine yönelmiştir.

Birçok şehirde toplu taşıma için ayrı bir şerit uygulamak yerine karışık trafiği uygulamak daha çok benimsenmiştir. 1930'lu yıllarda tramvayların otobüs ve trolleybüs işletmesine dönüşümü büyük ölçüde başlamış ve 2.Dünya Savaşı'na kadar devam etmiştir. 1940 yıllarda toplu taşımaya olan talep artmıştır. 1960 yıllara kadar Amerika'da çok az sayıda tramvay sistemi kalmıştır. [Vuchic, 2007 ss. 19-25]



Şekil 3.1: Nostaljik tramvay

Raydan karayolu transit modlarına geçişin nedenleri:

- Gelişen teknoloji, otobüs ve trolleybüslerin ekonomik özelliğinin olması,
- Karayolu trafiği içerisinde ayrı bir şeridinin olması,
- Bu sistemlerin, hızlı ve yolcu potansiyelinin yüksek olması,
- Transit sistemlerin karayoluna geçmesi,
- Raylı sistemlerdeki düşük servis kalitesi,
- Raylı sistemlerdeki yolculuk taleplerinin düşmesi.
- Özel raylı sistem teşebbüslerine gerekli mali destek sağlanmadığı için, işletmeciler uzun vadeli maliyetleri ve yolculuk etkilerini dikkate almaksızın kısa vadeli maliyetlere karar vermiştir.

İngiltere'de, Fransa'da ve Amerika'da olduğu gibi transit işletmecileri artan işçilik ve ekipman maliyetleri ile karşı karşıya kalmıştır. Transit işletmeciler, hat yapım ve bakım maliyetlerini karşılarken, otobüs işletmecileri için bu maliyetler olmamıştır. Bunun yanında karayolunu genişletmek amacıyla tramvaya ayrılmış olan şeritler de trafiğe

dahil edilmiştir. Birçok Fransa kentinde modern tramvaylar elde edilememiştir; ancak İngiltere’de bazı işletmeciler sistemlerini modernize etmeyi ve çift katlı araçlarla maliyetlerini azaltmayı çalışmışlardır. Ancak devletin finansman desteğinin olmaması ve karışık trafikte işletmecilik durumunda Amerika’da olduğu gibi tramvay sistemleri giderek azalmaya başlamıştır.

Bununla birlikte Almanya, Avusturya, İsviçre gibi bazı Orta Avrupa ülkelerinde tramvayların belediyeler tarafından işletilmesi sayesinde güçlü finansman ve organizasyon yapısı ve ayırık şerit uygulama imkânı, tramvayların gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Avrupa’da tramvay teknolojisi ilk başta Amerika’ya göre çok daha yavaş gelişmesine rağmen daha sonra kararlı teknoloji ve organizasyon projeler sayesinde daha hızlı gelişmeye başlamıştır. Mevcut tramvay sistemlerinin iyileştirilmesi, ayırık şerit uygulanması sayesinde 1960-1970’li yıllarda performansı bir metro sistemine yakın olan hafif raylı sistemler (LRT) ortaya çıkmaya başlamıştır.

Birçok Alman şehrinin liderliğinde başlayan LRT gelişimi 1970’li yıllardan itibaren sürekli yeniliklere, 2-4 araçlı trenlere, korumalı hat işletmesine, düşük tabanlı araçlara neden olmuş ve bu sayede farklı büyüklükte, dünyadaki birçok şehirde, yüksek kaliteli yolculuk cazibesi olan transit sistemler oluşmuştur. 1900’lü yıllardaki düşük hızlı, gürültülü küçük tramvay sistemleri, artık geniş, sessiz, yüksek kapasiteli sistemlere dönüşmüştür. Önceden otobüslere kaptırdığı baskın pozisyonu LRT sistemlerinin gelişimi ile yeniden kazanmaya başlamıştır. Tramvayı terk etmiş birçok şehirde ve yeni gelişmekte olan şehirlerde orta kapasiteli yüksek kaliteli transit modu olmaya başlamıştır.

Ülkemizde kent içi raylı sistemlerin gelişimi, 19. yüzyılın ilk çeyreğine kadar İstanbul’da ulaşım, yaya, at ve at arabaları ile gerçekleşmiştir. Osmanlı Devleti, 30 Ağustos 1869 ‘da Der saadet Tramvay Şirketi ile yapılan bir mukavelede, İstanbul içinde insan ve eşya nakli için gerekli olan demiryolu inşaatlarını ve demiryolu üzerinde

hayvan çekerli araba işletme hakkını 40 yıl süre ile bu firmaya vermiştir. 1870 yılında Der saadet Tramvay Şirketi'nin yaptığı çalışmalarla,

- Temmuz 1872'de Azap kapısı-Galata-Beşiktaş-Ortaköy,
- Aralık 1872'de Eminönü-Divan yolu-Beyazıt-Aksaray,
- 1873 yılında Aksaray-Samatya-Yedikule,
- 1874 yılında Aksaray-Topkapı hatları tamamlanarak hizmete girmiştir. [Arlı, 2009 ss. 4-10]

Sonraki yıllarda yeni tramvay hatlarının yapımı için çalışmalar yapılmıştır. 1881'de 3 yeni güzergâhın yapılmasına karar verilmiştir. Bu güzergâhlardan;

- Galata-Şişli hattı, 5200 metre uzunluğunda olup 1883 yılında,
 - Galata-Tatavla hattı, 1885 yılında işletmeye açılmıştır.
 - Eminönü-Eyüp hattı ise hayata geçirilememiştir. [Arlı, 2009 ss. 4-10]
- İstanbul'da Şubat 1914'te elektrikli tramvay devri başlamıştır. 1928 yılında Üsküdar-Kısıklı hattı ile Anadolu yakasında da tramvay kullanılmaya başlanmıştır. 1935 yılında tramvaylarla günde 314 bin yolcu taşınırken, 1950 yılında tramvay hatlarının toplam uzunluğu 130 kilometreye ulaşmıştır. 1956 yılında trolleybüslerin sefere konmaya başlanması ile ilk olarak Tünel-Maçka hattı ile Topkapı ve Yedikule tarafındaki tramvay seferleri Beyazıt'a kadar iptal edilmiştir. 1961 yılına gelindiğinde ise, hızla artan lastik tekerlekli ulaşım vasıtalarına yol açabilmek adına Avrupa yakasındaki tramvay hatlarının tamamı, 1966 yılı içinde de Kadıköy yakasındaki tüm hatlar kaldırılmıştır. [Arlı, 2009, ss. 4-10]

İstanbul'un, dünyanın önemli kentleriyle birlikte başladığı raylı sistemler yarışını 1966 yılında terk etmesi ve 1990'lı yıllara kadar da raylı sistemler üzerine herhangi bir çalışmanın yapılmaması, İstanbul'a çok değerli yıllar kaybettirmiştir. İstanbul ulaşımında bugün için toplu taşımının payı pek çok dünya ülkesinden daha iyi durumdadır. İstanbul için asıl problem. Toplu taşımada raylı sistem taşımacılığının yetersiz olmasıdır.

1990 yılının sonlarında Tünel-Taksim arasında tarihi tramvay tekrar işletmeye alınmış olup, Zeytinburnu-Kabataş arasında hizmet veren tramvay hattının, 1992 yılında Sirkeci-Aksaray-Topkapı bölümü, Mart 1994 tarihinde Topkapı-Zeytinburnu bölümü ve Nisan 1996 tarihinde Sirkeci-Eminönü bölümü hizmete açılmıştır. [Arlı, 2009 ss. 4-10]

1855'de işletmeye açılan İzmir-Manisa hattında Çiğli'ye kadar, 1866'dan itibaren işletmeye açılan Alsancak (Punta)-Aydın hattı, Şirinyer-Paradiso, Gaziemir ve Torbalı'ya kadar, Paradiso-Buca hattı ve Gaziemir-Seydiköy hattı üzerinde yapılan banliyö demiryolu taşımacılığı İzmir'deki kentsel demiryolu işletmeciliğinin ilk örnekleri olmuştur. Nisan 1880'de Kordon'dan geçerek, Alsancak-Konak arasında işletilmeye başlayan atlı tramvaylar yoğun bir ilgi görmüş, atlı arabalarını bırakarak bu yeni ulaşım biçimini kullanan Levantenler için bir prestij unsuru olmuştur. [Arlı, 2009 ss. 4-10]

1883'de tramvay işletme imtiyazı el değiştirmiş, 1885 yılında yeni bir imtiyazla kurulan İzmir-Göztepe Tramvay Şirketi, Konak- Kokaryalı (Güzelyalı) arasında hat döşeyerek ikinci tramvay hattını hizmete sokmuştur. 1914 yılında elektrikli çekişe geçen tramvaylar, 1954 yılına kadar kentlilere hizmet etmiştir. Tramvaylar, elektrikli trolleybüslere ve otobüslere yerlerini bırakırken, banliyö demiryolu giderek azalan yolcu sayısı ile günümüze kadar gelmiştir.

3.2 HAFİF RAYLI SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

Hafif raylı sistemler; 19. yüzyılın sonunda, 20. yüzyılın başlarında inşa edilmeye başlanmıştır. İlk başlangıcında tek araç olarak faaliyet gösterirken, daha sonraları 2' li, 3' lü ve 4 lü dizilerle çalıştırılmaya başlanmıştır. Dizi şeklinde çalışma, uzun mesafeli demiryolu hatlar yapıldıkça kadar pek yaygınlaşmamıştır. Hafif metro sistemleri de tramvay gibi 1950'li yıllarda faaliyetlerine son verilmiştir. Modern hafif metro teknolojisi Alman kökenlidir. II. Dünya Savaş'ından sonra Almanlar, raylı sistemlerine sahip çıkmış ve uygun olanları geliştirerek hafif metroya dönüştürmüşlerdir. Hafif raylı sistemler, Kuzey Amerika'da altın çağına Kanada'nın Edmonton ve Alberta kentlerinin 1978 yılında Alman Siemens-Duewag U2 sistemini uygulamasıyla girmiştir, Bu kentleri

Calgary, San Diego ve California gibi diğerkleri takip etmiştir. İngiltere 1980'lerde hafif raylı sisteme geçmeye başlamıştır. [www. wikipedia.org]

Ülkemizdeki ilk hafif metro hattı, İstanbul'da Aksaray-Havaalanı arasında hizmet vermektedir. Hat kısım kısım işletmeye açılmış, ilk kısım olan Aksaray-Kartaltepe Mart 1989'da yolcu taşımaya başlamış, Yenibosna -Havaalanı arasındaki kısmı Aralık 2002'de hizmete girmiştir. İstanbul'dan başka 1996'da, Ankara'da ve 2002'de Bursa'da da hafif metro sistemleri hizmete açılmıştır. Bunların yanı sıra planlanmakta ve yapım aşamasında olan birçok hafif metro hattı mevcuttur.

3.3 METRONUN GELİŞİMİ

Dünyada ilk kez Londra'da, 1863 yılında, 6 km uzunluğunda aç-kapa yöntemi ile inşa edilen Metropolitan metro hattı yapılmıştır. Özel ekipmanla duman emisyonu azaltan buharlı lokomotifle çekim yapılan hatta, hava kalitesi ile ilgili şikâyetler olsa da hızlı servis sayesinde çok sayıda yolcuyu çekmiştir. 1870 yılında, Thames nehrinin altında geçen metro hattında ilk defa tüp tünel sistemi kullanılmıştır. Daha sonra aynı şehirde 1890 yılında, çelik tüplerle inşa edilen 3.raydan beslenen elektrikli lokomotiflerin kullanıldığı bir metro hattı yapılmıştır. Avrupa kıtasında ilk defa 1896 yılında, Budapeşte'de açılmıştır. Paris'te 1900 yılında, Berlin'de 1902 yılında açılmıştır. Berlin'de 1882 yılında viyadüklü banliyö (S-bahn) hattı açılmıştır. Amerika'da viyadüklü metro hatları Avrupa'ya göre daha fazladır. İlk defa 1860'lı yılların sonunda New York'ta çelik kolonlar üzerinde viyadüklü metro hattı açılmıştır. İlk başta kablolu çekim yapılan hatta işletme sorunları yaşandığı için buharlı çekime geçilmiştir. Ancak buharlı çekimin gürültülü ve güvenilir olmaması ve yakınındaki binaların güneş ışığını engellemesi şikâyetlere neden olmuştur. 1870 ve 1880'li yıllarda üç viyadüklü hat daha inşa edilmiştir. Artan yolculuk talepleri ve elektrikli çekimde gelişmeler doğrultusunda ilk metro, 1904 yılında işletmeye açılmıştır.

Ülkemizde, Londra'dan sonra ikinci metro olan Karaköy Tüneli, yap-işlet modeli ile yapılarak, 1875 yılında işletmeye açılmıştır. İlk başta buharlı çekilen tramvay 1910

yılında elektrikle çekime geçmiştir. Daha sonra 1989 yılında İstanbul hafif metro hattı ve 1992 yılında Konya hafif metro hattı açılmıştır.

1890-1910 yıllarında metro hatlarının inşaatı, hızlı, yüksek kapasiteli, güvenilir raylı sistemlere çok ihtiyaç olduğunu göstermiştir. Ancak yüksek yapım maliyeti ve dünya savaşları metro inşaatlarını oldukça yavaşlatmıştır. 2.Dünya Savaşı sonrasında Amerika, otoban ve özel ulaşım için tesisler inşa etmeye yoğunlaşırken, Avrupa'da ve Japonya'da çok kısıtlı bütçeler vardı. Buna rağmen hızlı raylı sistemlerin ayrı hatlara sahip olması ve otomobile göre rekabetçi olması sayesinde yatırımlar, tekrar hız kazanmaya başlamıştır.

Dünyada kentsel ulaştırmanın önemi, İkinci Dünya Savaşı'nın ardından otomobilin ve motorlu taşıtların sayılarının hızla artışına bağlı olarak ön plana çıkmıştır. Otomobil arzının artması, buna karşılık karayolu ağlarının yetersizliği, kent içinde trafik sorunun doğmasına neden olmuştur. Bu sorunun çözümlenmesi amacıyla bir takım çalışmalar ve planlamalar yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Özel otomobil kullanımının hızlı artışı birçok büyük kentte işletilen raylı sistemlerin atıl kalmasına ve hatta kapatılmasına yol açmıştır. Ancak 1950'li yıllarda yapılan ulaşım planlamalarında işletmeden kaldırılan raylı sistemlerin kurtarılmasına dönük hiçbir çalışma yapılmamış; trafik sorunu trafik sıkışıklığına endekslenmiş ve buna bağlı olarak da özel otomobillerin hareketini kolaylaştıracak yeni yollar inşa edilmiştir. Böylece toplu taşıma türlerine olan talep daha da azalmış ve özel otomobil kullanımı da hızla artmıştır.

Kent ulaşımının gelişimindeki kilometre taşları (Tablo3.1)'de sunulmuştur. Modern ulaşım sistemleri olmaksızın büyük kentlerin oluşamayacağı görülmektedir. Geçmişte kent ulaşımının yeterince sağlanamamasının başlıca nedeni, teknolojik olmuştur. Uzun süren araştırmalar ve teknolojik gelişmeler sonucunda bile hala daha birçok kentte ciddi ulaşım problemleri yaşanmaktadır. Günümüzdeki sorun ise, kronik cadde/karayolu sıkışıklığı, yetersiz ulaşım kalitesi, bazı gruplar için yetersiz ulaşım altyapısı, finansman sorunları (bazen en ciddi sorun olan) ulaşımın kent ve çevre üzerindeki olumsuz etkileridir.

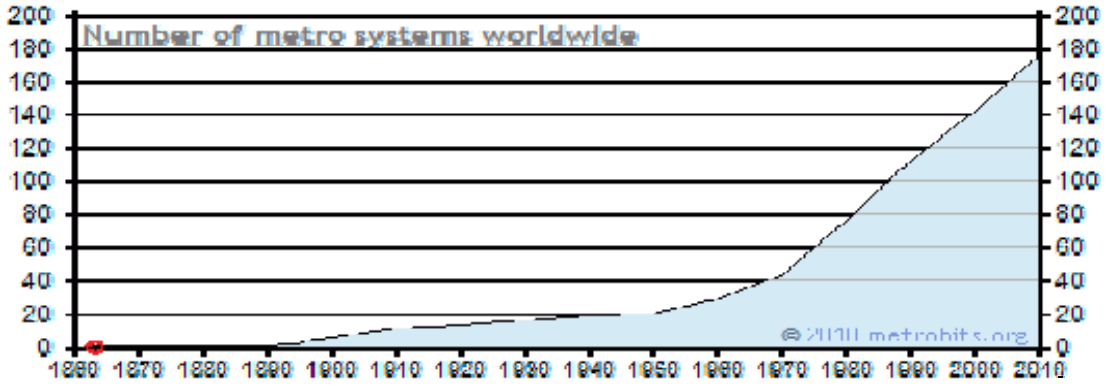
Tablo 3.1: Kent içi raylı sistemlerinin gelişiminde önemli kilometre taşları

Yıl	Yer	Olay
1765	İngiltere	Buharlı Motorun İcadı (Watt)
1825	Stockton-Darlington İngiltere	İlk Demiryolu Hattı
1832	New York	İlk atla çekilen tramvay
1863	Londra	İlk metro
1881	Berlin	İlk elektrikli tramvay (Siemens)
1901	Wuppertal, Almanya	İlk başarılı monoray
1955	Cleveland	İlk kapsamlı park at-bin uygulaması (metro için)
1956	Paris	İlk lastik tekerlekli metro
1962	New York	İlk tam otomatik metro
1972	BART, San Francisco	İlk bilgisayar kontrollü metro
1990	Bremen	İlk %100 düşük tabanlı LRT aracı
1993- 2002	Lyon, Paris, Singapur	Tam otomatik metro
1990-	Batı Avrupa, ABD, Japonya, Singapur	ITS teknolojinin yaygın kullanımı

Kaynak: Arlı, 2009, s.7

Şehirlerin önündeki kompleks problem, farklı ulaşım modları arasındaki rollerin uygun dağılımını sağlamaktır. Temelde özel otomobil ve toplu taşıma arasındaki rol dağılımının şehir büyüklüğüne, topografyaya, yaşam standardına ve alışkanlıklara bağlı olarak nasıl yapılacağına karar vermektir. Bu karar çoğu kez iyi anlaşılammakta veya yeterli düzeyde üzerinde durulmamaktadır. Birçok şehirde özel otomobil düzenlemesi yetersiz olması nedeniyle, daha fazla olan hareketlilik potansiyeli trafik sıkışıklığı nedeniyle sınırlanmakta ve yayaların ulaşımı güvensiz veya sınırlı kalmaktadır. Özel ve toplu taşıma arasındaki denge bölgesel düzenleme ve ekonomik önlemlerden ziyade caddelerin trafik sıkışıklığı ile belirlenmektedir.

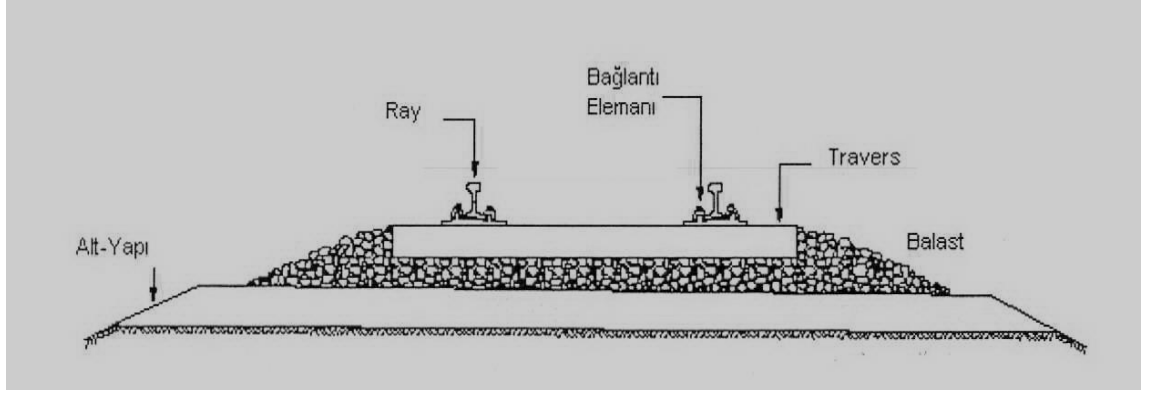
Ulaşım servislerinin entegrasyonu ve düzenlemeleri ile birlikte önemli gelişmeler sağlanmıştır. Çoğu büyük kentte ilk başta bağımsız olan ulaşım servisleri bölgesel otoritelerle arasındaki entegrasyon eğilimi, ulaşımı paralanma, trafik düzenlemeleri ile düzenleyen kurumların kurulmasını sağlamış ve şehirlerin yaşanabilirliği artmıştır. Bugün tüm ulaşım operatörleri arasında tam entegrasyonu sağlamış ve cadde trafiği, yaya, transit ulaşım arasındaki ilişkiyi iyileştirmiştir. Münih, Paris, Toronto gibi şehirlerde en iyi ulaşım hizmetleri verilmektedir. Dünyada metrolar 1860 yılında başladığı gelişimine 2010 yılında 180 adet metro bulunmaktadır.1970 yılından sonra metro inşaatlarında artış süreci yaşanmıştır. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2: Dünya Metrolarının Gelişimi [www.metrobits.org, erişim ocak 2011]

4. ÜSTYAPININ KISIMLARI

Bir demiryolunu altyapı ve üstyapı olmak üzere iki bölümden oluşur. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1: Demiryolunun kısımları

4.1. DEMİRYOLU ALTYAPISI

Bir ulaşım yolunda, üzerinde taşıtların hareket edeceği yuvarlanma yüzeyine destek olan platformun ve tesviye yüzeyinin altında kalan yapıya “altyapı” denir. Boy kesitte arazinin yükseltisini gösteren siyah çizgiyi, yol platformunun yükseltisini gösteren kırmızı çizgi düzeyine getirmek ve bu konumda korumak için oluşturulan yapılara altyapı denir. Bu işlemi gerçekleştirmek için yapılan işlere de altyapı işleri denir.

Altyapı, yolun esas taşıyıcı kısmıdır. Hizmet kalitesi ve ömrü açısından üst yapı kadar önem arz etmesine rağmen alt yapıya bakım yapma imkânı çok daha azdır. Bir demiryolu yapısında altyapının kalitesi bütün sistemleri etkilemektedir. Üst yapıda belirlenen iki hat arasındaki mesafe, altyapının teşkiline, altyapıyı oluşturan sanat yapılarına (tüneller, gabariler ve köprüler vs), yolun geometrisinin belirlenmesine ve yolun maliyetine direkt etki eder.

Altyapıda meydana gelen en büyük problemler oturma ve kabarma olayıdır. Oturma ve kabarma olayları, altyapı türlerinin istenilen süre boyunca ihtiyaç duyulduğu şekilde görevlerini yerine getirmesini engellemektedir. [Ekin, 2007, ss. 3-7]

Tablo 4.1: Altyapı işleri ve altyapı türleri

ALTYAPI İŞİ	ALTYAPI TÜRÜ
Arazi düzeyini, zemini kazıp uzaklaştırarak düşürme.	Yarma
Arazi düzeyini, üzerine zemin doldurma ve sıkıştırma ile yükseltme.	Dolgu
Dolgu ve yarma şevlerinin korunması.	Çimlendirme, ağaçlandırma, ankraj, kaplama, vb.
Dolguda şev eteğinin, yarmada şev kretinin korunması.	Blokaj, pere, istinat duvarı vb.
Yüzeysel ve yeraltı sularının uzaklaştırılması.	Drenaj tesisleri
Yolun durgun sular ve akarsular üzerinden geçilmesi.	Köprü
Küçük akarsuların dolgu altından geçirilmesi	Büzler ve Menfezler
Doğal zeminin delinerek, içinden yol geçirilmesi.	Tünel
Yolun vadilerin üzerinden geçirilmesi.	Viyadük
Yol yüzeyinin kardan korunması.	Paranej
Doğal zeminin iyileştirilmesi CFG yöntemi, bağlayıcı katkı malzemeleri, asfalt beton.	Altyapı tesislerinin sürekli denetimi, bakımı, onarımı ve korunması.

Kaynak: Erel 2008, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3114.pdf>

Bir altyapıyı, sanat yapıları, yarma ve dolgulardan (toprak işleri) oluşturulmakta olup, ulaştırma yapısının hizmet ömrü boyunca sürekli olarak denetlenmesi, bakımın yapılması ve dış etkenlerden korunması gerekmektedir. Altyapı yolun esas taşıyıcı kısmı olup, üstyapı tarafından iletilen yükleri herhangi bir kalıcı şekilde değiştirmeye uğramadan güvenle karşılayarak, geniş bir yüzey boyunca doğal zemine iletmelidir. Altyapı, bir ulaştırma yapısının konumunu oluşturur ve yolu dış etkilerden korur. Genelde üst yapının altında kaldığı için kontrol ve denetimi pek yapılmaz, ihmal edilir.

Oysa bir yolun hizmet düzeyi ve kalitesi en az üstyapı kadar altyapının da kalitesine ve korunma koşullarına bağlıdır.

Yol altyapısının üst kısmı, özel oluşturulmuş bir altyapı tabakası olup, enine eğime sahiptir. Bu tabakanın işlevi, değişik demiryollarında farklı olarak tanımlanabilmektedir (örneğin; iyileştirilmiş ya da dışarıdan getirilmiş iyi kaliteli zemin tabakaları).

Bir alt yapının bulunduğu bölgede yer altı su seviyesi yukarıda ise, alt yapıyı olumsuz yönde etkileyecektir. Bu durum, yer altı su seviyesinin yol kenarı hendekleri ve derin drenaj sistemleri ile yolun altında belirli bir düzeye kadar indirilerek iyileştirilmelidir. Ayrıca yol yüzeyi ev çevresine düşen ve altyapıya girmesi söz konusu olan yağış suları, hızlı bir şekilde uzaklaştırılmalıdır.

4.1.1 Demiryolu Altyapısının Sınıflandırılması

UIC sınıflandırmasına göre, altyapının mekanik davranışı mikroskobik olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Düşük oturmalar ve tren yüklerini çok iyi taşıması. Bu altyapı S₃ olarak isimlendirilir.
- Genelde orta miktarda oturma davranışı ve tren yüklerini taşıması. Bu altyapı S₂ olarak isimlendirilir.
- Büyük miktarda oturmalar ve biraz yeterli yük taşıması. Bu altyapı S₁ olarak isimlendirilir.
- Aşırı oturmalar ve zayıf yük taşıması. Bu kalitedeki altyapıya S₀ olarak isimlendirilir.
- Yukarıdaki tanımlamaların dışında altyapının yeterli dayanıma sahip kaya altyapısına da R olarak eklenmelidir.

Yukarıdaki sınıflandırma kriterleri, zeminin jeoteknik karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlarıdır. Bundan dolayı, UIC standartlarına göre uygulanabilir altyapı sınıflandırması (Tablo 4.2)' de verilmiştir. Bu sınıflandırmada kullanılan referans parametreleri ince

agrega yüzdesi, plastisite indeksi PI ve Los Angeles ve Deval katsayılarıdır. [Profillidis, 1995, ss. 150-160]

Tablo 4.2: Jeoteknik ortalamalı karakteristikleri ve hidrojeolojik şartlara bağlı olarak altyapı kalitesinin sınıflandırılması.

Zeminin jeoteknik sınıflandırması	Hidrojeolejik durumu	Demiryolu altyapı kalitesi
Düşük geçirgenli kaya	-	R
Orta geçirgenli kaya (kuru Deval >9, Los Angeles ≤ 30) ince tanecikli zemin < 5%	-	S ₃
Yüksek geçirgenli kaya (6 < kuru Deval < 9, Los Angeles < 33) Düzgün dağılılı ince malzemeli kum < 5%	İyi	S ₃
İnce tanecikli toprak 5- 15%	Kötü	S ₂
Şilt PI > 7	İyi	S ₂
Siltli kum PI > 7	Kötü	S ₁
İnce tanecikli toprak 15- 40%		
Kırma taş Deval < 6 ve Los Angeles > 33		
Silt, kısmi plastik ince tanecikli toprak > 40%	-	S ₁
Organik toprak	-	S ₀

Kaynak: [Profillidis, 1995, ss.150-160]

Kategori S₀ zemini, demiryolu hattının döşenmesi için uygun değildir. Çünkü fazla miktarda çöker ve homojen değildir, karakteristikleri zaman içinde değişebilir. Sonuç olarak, balastın zeminin içine batmasına neden olur. Yeni bir hattın yerleştirilmesinde mümkün oldukça organik topraktan kaçınılır veya poz çalışmasında daha uygun malzeme ile değiştirilir. Bunu belirlemek mümkün olmadığı ve hattın organik zemin bölgelerinden geçtiği durumlarda özellikle yüksek dolgularda oturma riski dikkatli bir

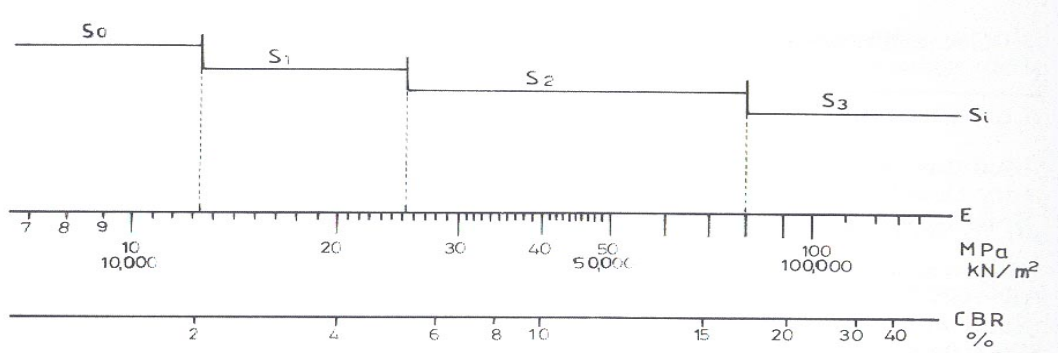
şekilde takip edilmelidir. Balast ve balast altı kalınlığının artırılması ve jeotekstil kullanımı ile beraber zemin iyileştirmesi çözümleri uygulanmalıdır.

4.1.2 Altyapının Mekanik Karakteristikleri

Zeminin görevi ara tabakalar (balast ve balast altı) tarafından yeteri kadar azaltılan tren yüklerini taşımaktır. Yükleri uygun bir şekilde taşıması için zeminin bazı mekanik özelliklere sahip olması gerekir.

O.R.E tarafından yapılan bir seri test sonunda U.I.C'e göre, zemin sınıflarının her biri için elastisite modülü aralıkları belirlenmiştir.(Şekil 4.2) Kayalık zeminler için elastisite modülü kaya malzemesinin doğasına bağlı olarak değişir. R altyapı için elastisite modülü 310^4 kg/cm^2 dolayındadır.

Altyapının sınıflandırmasında elastisite modülünün yanında taşıma kapasitelerinin de belirlenmesi gerekir. (Şekil 4.2) farklı altyapı zemin sınıflarına karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir.



Şekil 4.2: Farklı zemin sınıflarına karşılık gelen CBR indeksleri [Profillidis 1995 S.140]

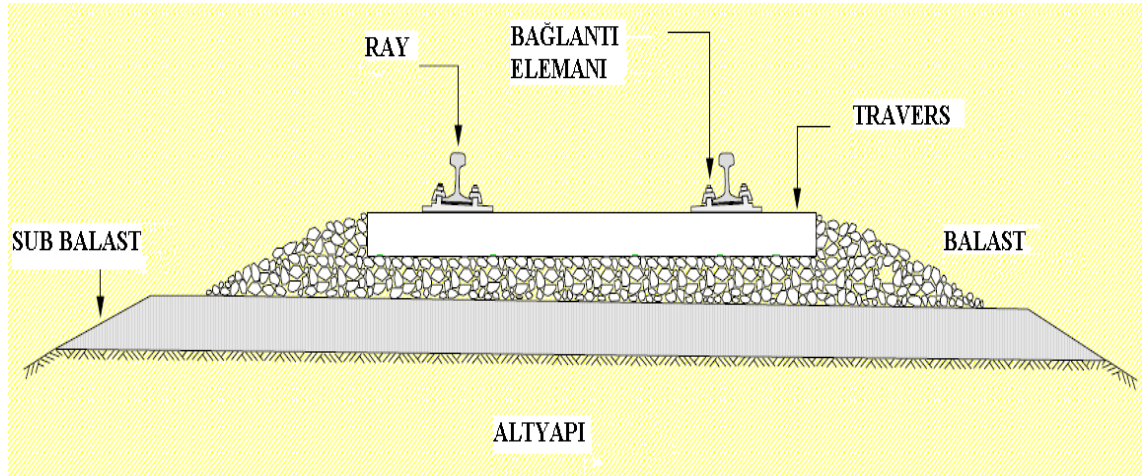
4.2 BALASTLI DEMİRYOLU ÜST YAPISI

Demiryolu taşıtlarının yuvarlanma yüzeyi olarak kullandıkları, tekerden gelen yükleri altyapıya ileten, yol en kesitinin her iki tarafında paralel olarak uzanan raylardan oluşan ve bu rayları belirli aralıklarla yol alt yapısının üzerinde bulunan yataklara bağlayan, alt yapının üzerinde bulunan yol tabakasıdır.

Üst yapının görevleri:

- Düzgün ve pürüzsüz yuvarlanma yüzeyine sahip olmalı.
- Araçtan gelen yükleri güvenli bir şekilde altyapıya iletmeli.
- Esnek olmalı.
- Kullanılan malzemeler kaynak ve zaman kaybetmeden eski haline getirilebilmeli.
- Uzun ömürlü olmalı.
- Doğal ve çevre etkilerini kolaylıkla altyapıya iletebilmeli.

Dünyada kullanılan demiryollarının üstyapısı, genellikle balast tabakası üzerine döşenmiş ahşap, çelik veya betonarme traverslere mesnetlenmiş ray dizilerinden meydana gelmektedir. Balastlı üstyapı elemanları balast tabakası, subbalast tabakası, traversler, çelik ray ve bağlantı elemanlarından oluşur. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3: Balastlı üstyapı [Özalp , 2007 s.10]

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

Klasik demiryolu üst yapısı:

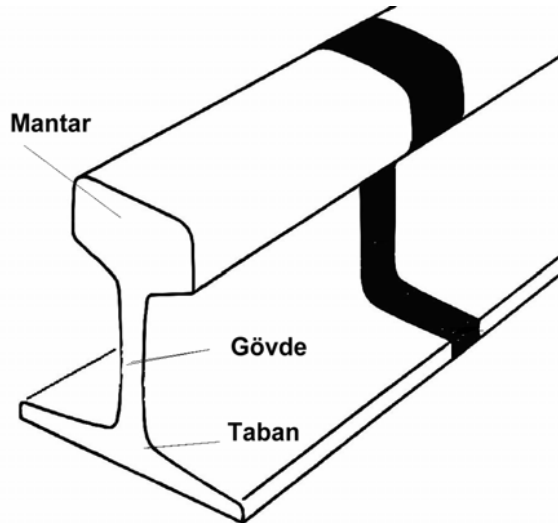
- Ray
- Travers
- Bağlantı elemanı
- Balast (betona tespitli hatlarda travers ve balast yerine betonarme plak bulunmaktadır.)

4.2.1 Ray

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

Ray başlıca üç bölümden oluşmaktadır:

- Mantar; tekerin üzerinde yuvarlandığı kısımdır. Ray mantarına uygun ray – teker teması için belirli açılar verilmiştir.
- Taban; rayların traverslere veya bağlantı elemanlarına bastığı rayın taşıyıcı kısmıdır.
- Gövde: mantarı tabana bağlayan kısımdır. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4: Demiryolu Rayının Bölümleri

Ray profillerinin özellikleri:

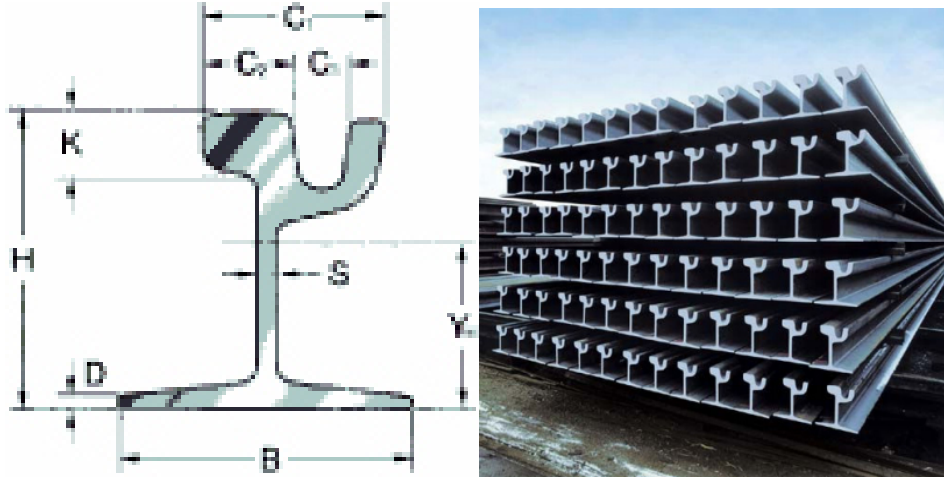
- Üzerinde hareket eden yüzey yeterince geniş olmalı, tekerlek ve ray arasındaki teması kaynaqlanan yüzey basıncını minimize edecek şekilde imal edilmelidir.
- Uzun bir hizmet süresi için, baş yüksekliği yeteri kadar aşınmaya izin vermelidir.
- Ray gövdesi, taşıma kapasitesi ve esneme mukavemeti açısından yeterli kalınlığa sahip olmalıdır.
- Taban, yüksek stabilite sağlamak ve traverslere minimum yüzey basıncını iletmek için yeterli kalınlığa sahip olmalıdır.
- Rayın kesit modülü, yatay ve dikey olarak beklenen yüklere uygun olmalıdır.
- Faydalı gerilme akışına ulaşmak için geçiş alanları yeterli yarıçapa sahip olmalıdır.
- Yükseklik ve ayak yeterli eğilme direncine sahip olabilecek şekilde seçilecektir.
- Statik sebeplerden dolayı ağırlık merkezi yaklaşık ray yüksekliğinin yarısı kadar olmalıdır.

Başlıca ray tipleri:

- Oluklu raylar
- Gömülü dizayn rayı
- Vinyol raylar (tek mantarlı)
- Çift mantarlı raylar

4.2.1.1 Oluklu raylar

Oluklu raylar daha çok hemzemin olarak inşa edilen tramvay hatlarında kullanılmaktadır. Oluklu rayın oluk kısmı zemine gömülü olan demiryolunda mantar ile dış zemin arasında boşluk oluşturarak, tekerin zeminden ve çevresel şartlardan etkilenmeden mantar üzerinde yuvarlanmasını sağlar. Demiryolu ve karayolunun kesiştiği yerlerde de oluklu raylar kullanılır. BoStrab standardına göre, minimum oluk derinliği 13 mm olmalıdır. Eğer buden ucu daire yarıçapı 3 mm' den büyükse, fazla olan miktar kadar oluk derinliği artırılmalıdır. Oluk genişliği maksimum aliymanda 45 mm ve kurplarda 60 mm olmalıdır.

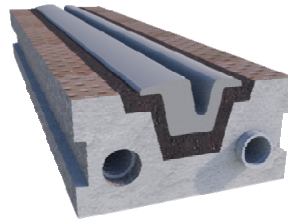


Şekil 4.5: Oluklu Ray

4.2.1.2 Gömülü dizayn rayı:

Bu ray tipinde gömülü tramvay yollarında kullanılan ray tipidir.(Şekil 4.6) da görüldüğü gibi bu ray tipinde ray betona gömülü olduğu için ray tabanı ve gövdesi yoktur. Bu ray tipi yeni kullanılmaya başlanmıştır. Yük tabandan çok direk mantardan zemine iletilir.

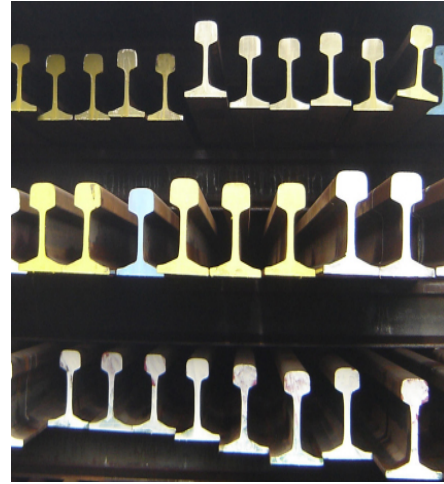
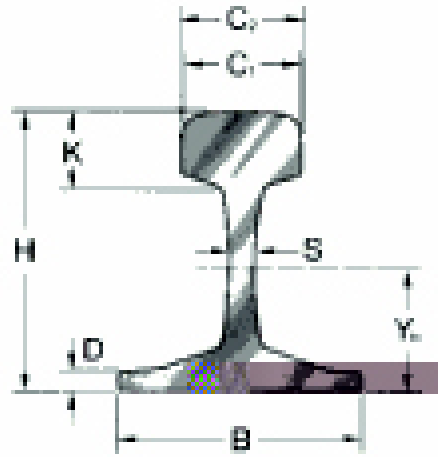
[<http://www.bathtram.org/tfb/tLR55.htm> erişim Ocak 2011]



Şekil 4.6: Gömülü Dizayn Ray

4.2.1.3 Vinyol raylar (tek mantarlı)

Bu tip raylar, ilk defa 1832 yılında, Amerikalı Stevens tarafından yapılmış; ancak yapanın değil, geniş anlamda kullanımını sağlayan İngiliz mühendis Vinyol'un ismi verilmiştir. Ülkemizde ve dünyada kullanılan ray tipidir.



Şekil 4.7: Vinyol Ray

(Şekil 4.7) Kesit özellikleri: ağırlık/birim uzunluk ve atalet momenti I 'dir. Ağırlık (m) artırılarak, atalet momentinde daha fazla artış sağlanır, ağırlık artışından dolayı I/m oranı artar. Bu da rayın yüksekliğinin artmasına sebep olur. İlk profiller 25 kg/m'den daha küçük ağırlıklarda idi. Sonraları dingil yükleri ve hızların artması ile beraber bakım masraflarını azaltacak şekilde rayın birim ağırlığı 40, 50, 60 ve hatta 70 kg/m' ye kadar çıktı.

Tablo 4.3: Rayların mekanik özellikleri

Ray tipi	Kesit Alanı $A_k(\text{mm}^2)$	Birim uzunluk kütlesi $m \text{ (kg/m)}$	Mukavemet momenti $W \text{ (cm}^3)$	Atalet momenti $I(\times 10^{-8}\text{m}^4)$	Eğilme rijitliği $EI(\times 10^6 \text{Nm}^2)$	Kesme faktörü γ
S49	6297	49.43	248	1819	3,82	1,33
S54	6948	54.54	276	2073	4,35	1,29
UIC54	6934	54.43	313	2127	4,93	1,14
UIC60	7687	60.34	377	3055	6,42	0,97
BS113A	7183	56.39	278	2349	4,90	1,18

Normal hatlarda ray kesitleri Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından belirlenirdi. Başlıca tipleri UIC 50 (ağırlık. 50.18 kg/m), UIC 54 (ağırlık: 54.43 kg/m), UIC 60 (ağırlık: 60.34 kg/m), UIC 71 (ağırlık: 71.19 kg/m) dir ve demiryollarının

genelde kullandığı ray tipleri Tablo 14’de ve mekanik özellikleri Tablo 15’de verilmiştir. Ama 2001 yılında UIC 860 yerine EN 13674 ray sınıflandırma standardı yürürlüğe girmiştir. [Arlı, Öztürk, 2009. ss.30-39]

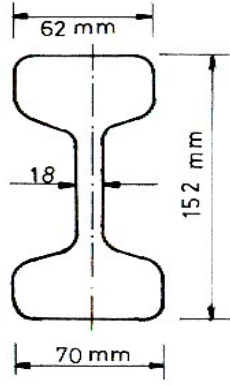
Tablo 4.4: En çok kullanılan ray tipleri

Demiryolu	Ray	Ray eğimi	Ekartman
Network Rail	BS113A	1:20	1432 ⁻⁰⁺³
DB AG	UIC60	1:40	1435 ⁻⁰⁺³
FS	UIC60	1:20	1435 ⁻²⁺¹
NS	UIC54, NP46	1:20 1:40	1435 ⁻¹⁺³
NSB	UIC54, S49	1:20	1435 ⁻³⁺³
ÖBB	UIC60, UIC54, S49	1:40	1435 ⁻²⁺²
SBB	UIC60	1:40	1435 ⁻²⁺²
SJ	SJ43, SJ50	1:30	1435 ⁻³⁺³
TCDD	S49, UIC60	1:20	1435 ⁻³⁺³
SNCF	UIC60	1:20	1435 ⁻²⁺²

Kaynak: [Öztürk,Arlı, 2009 s. 40]

4.2.1.4 Çift mantarlı raylar

Bu tür rayların altında ve üstünde mantar bulunmaktadır. (Şekil 4.8). Bu sebeple simetrik şekil gösterirler. Bu rayın üretilme sebebi, mantar aşındıktan sonra rayın taban kısmı çevrilerek yuvarlanma yüzeyi olarak kullanılmasıdır. Fakat zamanla görülmüştür ki, üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyondan dolayı aşınmalar oluşmuş ve alt mantarın kullanılması imkânsız hale gelmiştir. En son olarak İngilizler kullanmıştır. İngilizler de 1938 yılında bu rayı kullanmaktan vazgeçmişlerdir. Şimdi Fransa’nın bazı bölgelerinde ikinci dereceden hatlarda kullanılmaktadır.

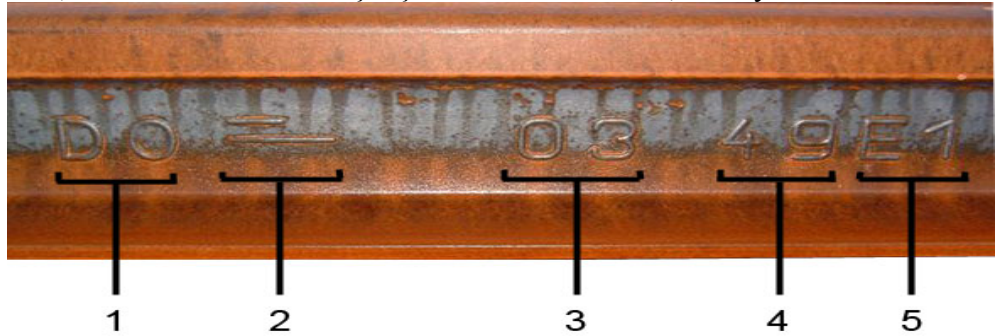


Şekil 4.8 : Çift mantarlı ray

4.2.1.5 Rayların işaretlenmesi ve taşınması

Raylar ilk üretildiği yıllarda 12 m olarak üretilmiştir; ancak iki dingilli araçların dingilleri arasında da 12 m' ye yakın aralık bulunduğu için contalara ön ve arka dingillerin çarpmaları aynı zamanda meydana geldiğinden bu sakıncalı bulundu. Günümüzde raylar kaynaklanmak suretiyle “uzun kaynaklı raylar” elde edilmekte ve kullanılmaktadır. En çok üretilen ray boyları 18, 24, 30, 36 m uzunluktadır. 120 m boyunda ray üretilmekle birlikte genelde 60 m boyundaki raylar kullanılmaktadır.

Büyük ray uzunluklarının sağladığı avantajlar şunlardır: Düşük maliyet, taşıma sırasında ulaşım aracına fazla sayıda ray yüklenebilmesi, yükleme ve boşaltma sürelerinin daha kısa olması, nötrleştirme, gerilme ve kaynak işlemlerinde yüksek verimlilik, arazide daha hızlı bir çalışma sürecinin olması, daha yüksek ürün kalitesidir.



1 Üretici Firma

2 Çeliğin Özelliği

3 Üretim Yılı

4 Ray ağırlığı

5 Ray profili

Şekil 4.9 : Ray etiketleme sistemi

Rayların özelliklerinin belirlenmesi için haddelenme esnasında ray üzerine işaretler vurulmaktadır. EN 13674-1 normu etiketlemenin şartlarını belirlemektedir. (Şekil 4.9) a göre bazı ray tiplerindeki değerler (Tablo 4.5) de gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Ray etiketleme sistemi

Bayrak	Dayanım (Eski)	Çekme Dayanımı [N / mm ²]	Çelik sınıf (Yeni)	Sertlik (HB)	Yorum
olmadan	700	680	R 200	200-240	Karbon-manganez çelik (C-Mn)
—	800	780	R 220	220-260	Karbon-manganez çelik (C-Mn)
==	900 A	880	R 260	260-399	Karbon-manganez çelik (C-Mn)
===	900 B	880	R 260 Mn	260-300	Karbon-manganez çelik (C-Mn)
====	1100	1080	R 320 Cr	320-360	Alaşımlı Çelik (% 1 Cr)
== —	900 A (HH)	1175 mantar 880 + taban	R 350 HT	350-390	Karbon-manganez çelik (C-Mn), ısıtılma işlemi tabi
== —	XXX	1175	R 350 LHT	350-390	Düşük alaşımlı çelik, ısıtılma işlemli

Kaynak: EN 13674-1,2003 s.9

4.2.2 Travers

Rayların üzerine konduğu, balastın içinde yataklanarak tekerden gelen yükleri yayarak altyapıya ileten, ray açıklığını sabitleyerek aracın güvenle ilerlemesini sağlayan ray ile balast arasında kalan üst yapı elemanıdır. Bir demiryolunda traverslerin başlıca görevleri:

- Raydan traverslere uygun yük iletimini ve dağılımını sağlamak,
- Ekartmanı korumak,

- Rayların traverslere 1/20 veya 1/40 eğimle montesini sağlayarak, araçların tekerlerinin bandajları koniktir ve belli bir eğimi vardır bandajların ray üzerine oturabilmesi için bu eğim raya da verilir. Traverslere veya travers üzerine oturan seletlere bu eğim verilerek sağlanır,
- Yatay ve düşey yönlerde yeterli mekanik dayanıma sahip olmak.

Demiryolunda kullanılan traversler aşınma dayanımı yüksek olmalıdır. Dinamik yüklere karşı elastik olmalıdır. Kırılma ve ezilme dayanımı yüksek olmalıdır. Rayla üzerine kolaylıkla tespit edilmelidir. Çevresel şartlardan etkilenmez, üst yapı içerisinde stabil olmalıdır, bakım esnasında fazla işgücü gerektirmeyecek kadar hafif olmalıdır, ekonomik olmalıdır, elektrik yalıtımını sağlamalıdır. Başlıca travers türleri:

4.2.2.1 Ahşap traversler

Günümüze kadar en çok kullanılan travers türüdür. Ahşap traversler genellikle tropik ağaçlar, meşe ve kayın ağacından yapılmaktadır. Bir ahşap traverste hiçbir budak, düğüm ve enine eğrilik olmamalıdır. Ahşap traversler, dış ortamlardan daha az etkilenmeleri için kreozot içerisinde emprenye işlemine tabi tutulurlar. Ortalama ömürleri 20- 25 yıldır(Şekil 4.10).

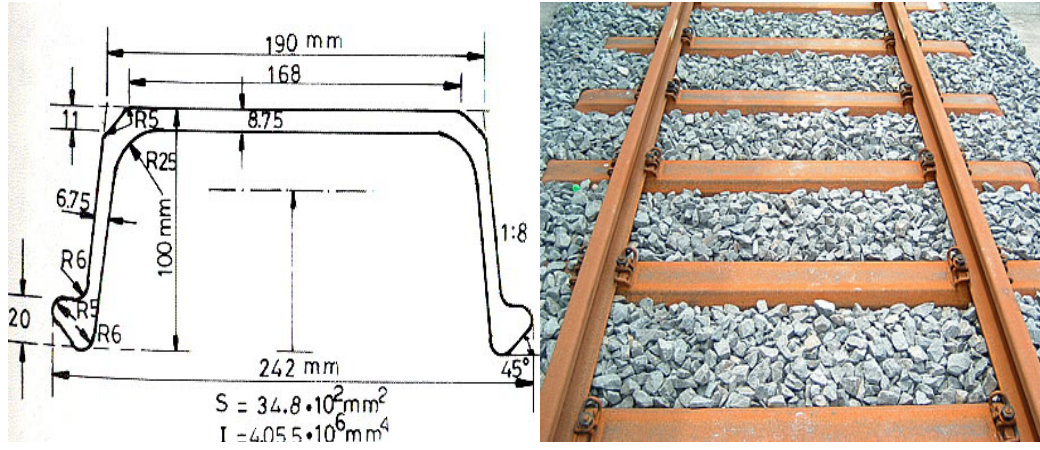
Ahşap traverslerin avantajları: Hafif, yalıtkan, kolay işlenebilir, elastik ve hızlı bir şekilde değiştirilebilir olmalarıdır. Derz avantajları ise, fiyatı yüksektir, yük altında betona göre daha erken bozular, çevresel şartlardan çok çabuk etkilenir.



Şekil 4.10 : Ahşap travers

4.2.2.2 Demir traversler

Demiryollarının ilk yıllarında çok hızlı bir gelişim gösterdiği için ahşap yerine çelik traversler kullanılmıştır. Çelik traversler genellikle yumuşak çelikten yapılmışlardır. Bu traversler hafif olmaları, bakım güçlükleri, elektrik izolasyon sorunları ve gürültü nedeniyle günümüzde kullanılmamaktadır. Çelik traversler çabuk paslanırlar. Rutubetli iklimlerde oksitlenerek çürüdüklerinden ömürleri çok azdır. Ancak iklimi rutubetli olmayan, balastı iyi ve trafiği az olan yollarda 50 yıl dayanmaktadır. (Şekil 4.11)



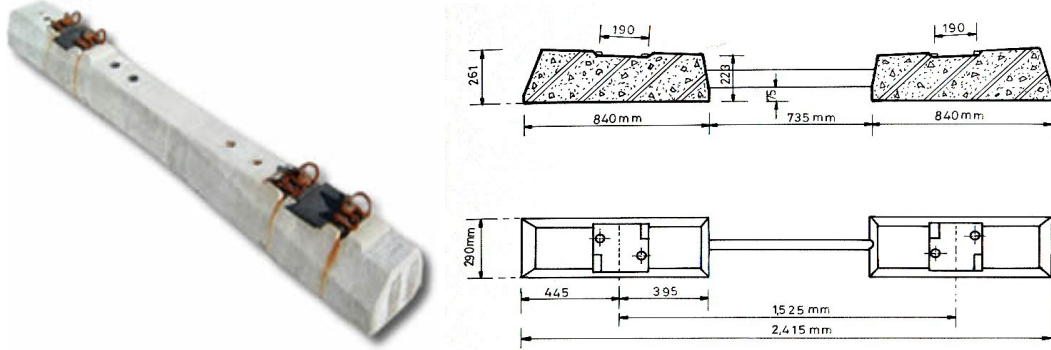
Şekil 4.11: Demir travers

4.2.2.3 Betonarme traversler

İlk kullanılan malzeme ahşaptır. Ahşapların pahalı ve dış etkenlere karşı zayıf olması nedeniyle çelik traversler kullanılmaya başlamış ve uzun süre kullanılmıştır. Beton teknolojisinin ilerlemesi ile 1950 yılından sonra beton traversler kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde artık makaslarda da beton traversler kullanılmaktadır.

Beton traversler çevresel şartlara karşı daha dirençli, uzun ömürlü, plastik dübeller kullanılarak daha kolay tamir edilebilir, daha iyi yol güvenliği, daha iyi yataklanma, düşük fiyatlı ve uzun ömürlü olmaları en büyük avantajlarıdır. Dezavantajları ise, çatladıklarında tamir edilemezler, ilk yapım maliyetleri yüksektir, bakım esnasında değiştirme maliyetleri yüksektir.

Beton traversler, ikiz bloklu donatılı beton traversler ve Monoblok ön veya art germeli beton traversler olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır: (Şekil 4.12) :



Şekil 4.12: Beton travers çeşitleri

4.2.3 Bağlantı Elemanı

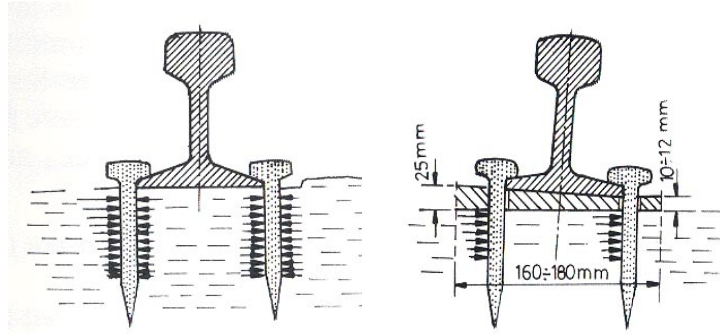
Rayları traversler çelik seletlere veya birbirine bağlayan demiryolu malzemesine denir. Bir demiryolunda bağlantı elemanları ray açıklığını ve ray eğimini korur. Raydan gelen yükleri traverslere iletir. Araçtan raya gelen titreşimleri azaltır. Montajı kolay olmalıdır. Bakım esnasında kolaylıkla sökülüp, değiştirilir. Yalıtkanlık özelliği vardır. Yeterli derecede esnek olmalıdır. Aşınma karşı dirençli olmalı ve içsel gerilmelere müsaade etmemelidir. Fiyatı uygun olmalı, korozyona karşı dayanıklı olmalı, dış etkilerden kolaylıkla etkilenmemelidir. Bağlantı elemanları üç grupta toplanır:

- Rijit bağlantı elemanları
- Elastik bağlantı elemanları
- Cebireler (Rayları birbirine bağlayan bağlantı elemanları)

4.2.3.1 Rijit bağlantı elemanları

Sadece ahşap ve demir traverslerde kullanılır. Rijit bağlantılar traverse bulon veya çivi ile bağlanır. Tren geçişlerinde ray traverse basar ve yaylanmanın bir kısmı plastiktir, (yani yük geçtikten sonra deformasyon oluşur) bundan dolayı rayla çivi başı arasında bir boşluk oluşur. Sürekli olan araç geçişlerinde bu boşluk artar ve bağlantının laçkalaşmasına neden olur. Bu durum güvenliği etkiler ve dreymana neden olabilir.

Plastik deformasyonun yanında yüksek frekanslı vibrasyonlar boşluğun genişlemesine ve bağlantının gevşemesine neden olur. Rijit bağlantılar seletle veya seletsiz olarak traverse bağlanır, seletli olması tercih edilir. Seletsiz bağlantıda raylar traverslere krampon çivisi veya tirfonlarla doğrudan bağlanır. Seletli bağlantıda ray ve travers arasına döküm demirden imal edilen seletler konur ve raylar selet ve traverslere krampon çivileri veya tirfonla traverse bağlanır. (Şekil 4.13)

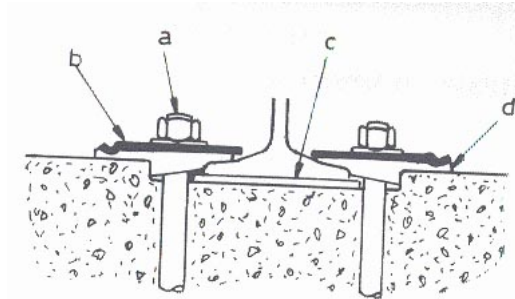


Şekil 4.13: Rijit bağlantı elemanı.

4.2.3.2 Elastik bağlantı elemanları

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

Cıvatalı tip: Bu bağlantıların avantajı bakımları ve değiştirilmeleri kolaydır, germe güçleri de yüksektir. Fakat düzgün bir montaj çevre şartlarına bağlıdır. Bu tip bağlantılar RN, Nabla, Vossloh, ve diğerleridir.



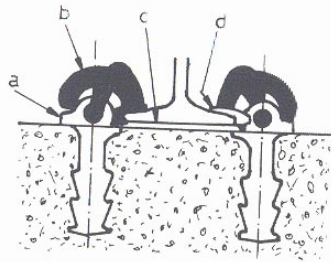
Şekil 4.14: Cıvata tipli elastik bağlantı

Bu bağlantıların ortak elemanları şunlardır (Şekil 4.14) :Somunlu bir eleman (a) yay elemanlara bir kuvvet uygular ve bu eleman traverssten çıkarılabilir. Çelik yay elemanı (b) çubuk veya plaka şeklinde olabilir, ray ve travers arasında vibrasyonları ve darbeleri absorbe eden bir elastik ped (c), ray ile travers arasında elastik bir tabaka sağlar ve elektrik yalıtımı sağlar. İzole elemanı (d) raydan bir metal aracılığıyla traverse elektrik akımının ulaşmasını önler.



Şekil 4.15: Cıvata tipli elastik bağlantı çeşitleri

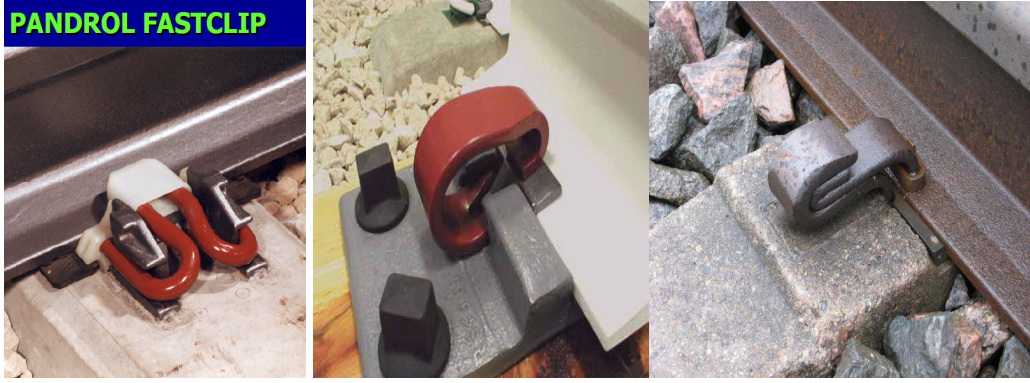
Yay tipi elastik bağlantılar (Şekil: 4.16) ise, cıvatalı tipe göre daha az yaygındırlar, montaj şartlarından daha az etkilenirler ve kusurları gözle kolaylıkla fark edilebilir. Bu tip bağlantılar, Pandrol, Lineloc, Hambo vb.'dir (Şekil 4.17). Bu bağlantıların (daha sonra bir bakım gerektirmez) ortak elemanları şunlardır:



Şekil 4.16: Yay tipli elastik bağlantı

Bu bağlantılarda traverse yapılan ankraj elemanları (a), traversele birlikte de üretilebilir, çelik yay elemanı (b), ray tabanına germe gücü uygular, ray ve travers arasında vibrasyonları ve darbeleri absorbe eden bir elastik ped (c), ray ile travers arasında

elastik bir tabaka ve elektrik yalıtımı sağlar, izolatör veya izole tabakası (d) raydan bir metal aracılığıyla, mesela a ve b elemanları ile traverse elektrik ulaşmasını önler.



Şekil 4.17: Yay tipli elastik bağlantı çeşitleri

Bir demiryolunda demiryolu araçlarının geçtiğinde elastik bağlantılar ray ile travers arasındaki bağlantı kuvveti tam olarak stabilize edilmiş balastlı hatta traversin boyuna hareket direnç kuvvetinden daha fazla ve ray-travers kayma direnci sağlayacak miktarda olmalı, bağlantının rezonans frekansı rayın rezonans frekansından daha fazla olmalı, uzun süre yeterli bağlantı kuvvetini sağlamalı, sıklığı demontaj etmeden kolaylıkla fark edilebilmeli, montajdan uzun süre sonra bile elastikiyetini kaybetmemeli, ray tabanına uygulanan kuvvetin bağlantıdan traverse iletilen kuvvete oranı mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır.

4.2.3.3 Cebireler

Rayların uçlarının birbiri ile bağlanmasını sağlayan bağlantılara cebire denir(Şekil 4.18) Cebireler, ray tiplerine ve kullanım yerlerine göre yumuşak çelikten, özel profilden imal edilirler. Cebireler, ray gövdesine açılan delik sayısına göre 4 veya 6 delikli olurlar. Bağlantı sırasında rayın gövdesine oturmazlar, 5-6 mm boşluk kalacak şekilde bağlanırlar. Cebire bulonlarına rağmen, ray uçlarının genişlemesi için bulon ile ray delikleri farklı çapta delinir. Cebireler 2-3 yılda bir sökülerek yanakları tel fırça ile fırçalanarak temizlenmeli, iyi cins bir yağla yağlanarak yerlerine takılmalıdır.

Cebirelerde iki ray arasında, sıcaklık değişiminden kaynaklanan uzunluk değişimlerini m¼mk¼n kılmak için dilatasyon payı bırakılır. Daha önce cebireli bağlantı yaygın kullanılmasına rağmen günümüzde cebirenin yerini ray kaynakları almıştır.



Şekil 4.18: Cebire bağlantısı

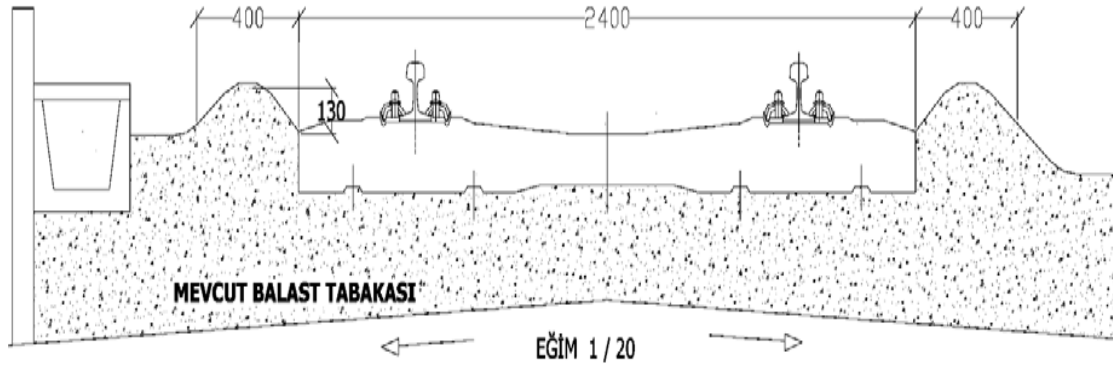
4.2.4 Balast

Tekerden gelen yüklerin ve diğer mevsimsel şartlardan dolayı raya gelen yatay ve d¼řey yüklerin traversler vasıtasıyla aktarıldığı, traverslerin de içinde bulunduğu yatağı oluşturan malzemeye balast, balastın oluşturduğu tabakaya da balast tabakası adı verilir. Boyutları en küçük 30mm'lik halkadan geçmeyecek ve 60 mm' lik halkadan geçecek şekilde olan bazalt, granit, diyorit, dolomit, andezit gibi sert kayalardan konkasörle kırılması ile elde edilen kırma taşlardır. Balastın görevleri çok çeşitli ve önemlidir. Bu yüzden iyi bir balastın aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Temiz ve topraksız olmalıdır.
- Bünyesinde su tutmamalı, tabiat şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır.
- Basınca karşı dayanıklı olmalıdır.
- Elle ve makinele yapılan burajlarda darbelere karşı dayanıklı olmalıdır.
- Traverslerin yanal ve boyuna kaymasını engelleyecek yapıda keskin kenarlı, keskin köşeli ve kübik şekilli olmalıdır.
- Yolda yeterli miktarda bulunmalıdır.

Balast tabaka kalınlığı günümüzde birçok ülkede 50 cm' yi bulmuştur. Ülkemizde ise, 30-40 cm arasındadır (Şekil 4.19). Balast yatağının başlıca görevleri: Platformu dondan korumak, üstyapıya elastikiyet sağlamak, traverslerden gelen basıncı yayarak ve azaltarak platforma iletmek, yağmur ve kar sularını süzerek platformun kuru kalmasını sağlamak, traverslerin topraklanmasını önlemek, kuru kalmasını sağlayarak çürümesini önlemek, yolda meydana gelen düşüklüklerin düzeltilmesinde dolgu malzemesi görevini üstlenmek, yolun dresajına ve şöminmanına engel olmak, yolun stabilitesini sağlamak, yolda ot bitmesini önlemektir.

Balast malzemesi olarak kullanılacak malzemeler: Bazalt, granit, diyonit, diyobaz, kuvarsit ve terafır gibi kayalardan üretilir. Üretim mutlaka konkasörle olur, çene ve elekler balast için ayarlanmalıdır. Balastın iriliği 3 cm ile 6 cm çapında olmalıdır. (Yani balast tanesi 3 cm çapındaki halkadan geçmemeli, 6 cm çapındaki halkadan geçmelidir.) Balast travers altında sürtünme direnci sağlayabilmesi için keskin köşeli ve kübik olmalıdır. Balast aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Balastın içinde organik madde bulunmamalı, homojen olmalıdır. Su emme oranı çok düşük ve dona karşı dayanıklı olmalıdır. Balast yola konmadan önce (özellikle tünellere) yıkanmalıdır.



Şekil 4.19: Balast tabakası

4.3 BALASTSIZ (BETONA TESPİTLİ) ÜSTYAPI

Balast tabakası yerine daha az şekil değiştiren beton, betonarme veya asfalttan yapılan taşıma tabakalarının kullanıldığı bir demiryolu üstyapı tipidir. Taşıma tabakası asfalt

veya beton olabilir. Rijit üstyapı için gerekli elastiklik, ray ve travers arasında veya travers altında elastik malzemeler kullanılarak sağlanır. [Erel, 2002, ss.3-8]

Rijit üstyapı Almanya'da 'Feste Fahrbahn', İngiltere ve ABD'de 'Slab Track', 'Ballastless Track' ya da 'Direct Fixation Track' adlarıyla tanınmaktadır. Günümüzde yatırım maliyetlerinin yüksek olması, rijit üstyapı sistemlerinin yaygın kullanımını engellemiştir. Rijit üstyapıda, en büyük tasarruf tünel ve köprülerde elde edilmektedir.

Daha etkili inşaat metotlarının kullanılmasıyla inşaat maliyetinin daha da düşürülmesi sağlanabilecektir. Rijit 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 çok bilinen döşeme hat yapıları şunlardır:

- Rheda, Züblin ve diğer değişik tipler(Almanya)
- Stedef, Sonneville düşük vibrasyon tipi(Fransa)
- Walo(İsviçre)
- Edilon blok hat, Gömülü Ray Yapıları (Hollanda)
- Shinkansen döşeme hattı (Japonya, Güney Kore)
- IPA döşeme hattı(İtalya)
- ÖBB –Por (Avusturya)

Balastsız hatta ve köprülerde, raylar direk olarak betona tespit edilmiştir. Balastın eksikliğini dengelemek için sisteme ek olarak esneklik katılmalıdır. Sistemi daha esnek hale getirebilmek için ray altına (ekstra kalın ray pedleri eklemek veya gömülü ray sistemi kullanmak) ve travers veya beton bloğun altına ikinci bir esnek tabakanın eklenir.

Bunu yaparsak, araçlarda olduğu gibi birincil ve ikincil süspansiyon ile iki kütleli yay sistemi efektif olarak sağlanır. Hem ray altına hem de travers veya beton blok altına esnek tabakaların yerleştirilmesi ile bu sağlanır. Delft Teknik Üniversitesi bu iki farklı

tip arasındaki dinamik davranış farkları üzerinde çalışmalarını devam ettirmektedir.
[Esveld, 2001, ss. 234-237]

4.3.1 Balastsız hatların avantajları ve dezavantajları

Balastsız betona tespitli hatlar, balastlı hatlarla kıyaslandığında, betona tespitli hatların yüksek stabiliteye sahip olduğu ve bakım giderlerinin balastlı hatlara göre daha az olduğu için betona tespitli hatlar daha fazla tercih edilmektedir. Betona tespitli hattın balastlı hata göre avantajları şu şekildedir:

- Hat servis ömrü boyunca bakım maliyeti balastlı hatta göre daha azdır.
- Hat Bakım çalışmalarında, balastlı hatta yapılan buraj, balast tesviye balast takviye balast temizliği vs. geometrik bakımlar yapılmayacaktır.
- Betona tespitli hattın servis ömrü balastlı hatta göre daha uzundur.
- Hat üzerindeki üstyapı malzemelerinin herhangi bir sebeple deformasyona uğraması halinde yenilenmesine olanak sağlar.
- Özellikle yüksek hızlı hatlarda, balastlı üstyapıdaki balastın sürüklenme kuvveti yoktur.
- Herhangi bir ek tedbir almadan elektro-manyetik teker freni kullanabilme olanağı
- Farklı hız ve yükteki araçların çalıştığı karışık hatlarda deformasyonlar daha az olur, hattın güvenlik katsayısı daha fazladır.
- Düşey yönde 26 mm ve yatay yönde 5 mm' den büyük olmamak şartıyla küçük deformasyonların oluşumunu önler.
- Üst yapı kesitinde yapım yüksekliği ve ağırlığı ve balastlı hatlara göre daha azdır. İstanbul LRT hattının balastlı kısmında hat yüksekliği 1 m iken betona tespitli kısmında 0,80 cm ağırlığı da balastlı yol 5,5 t/m balastsız yolda 4,9 t/m
- İşletme esnasında betona tespitli yollara statik olarak ek ağırlık gelmemektedir.

Betona tespitli hatların balastlı hatlara göre avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır:

- Balast yerine betonla yapıldığı için maliyeti daha fazladır
- Betona tespitli hatlar balasta göre daha rijittir.
- Hattın gürültü seviyesi daha fazladır.

- Hattın geometrisindeki değişikler ve yüksek dever uygulamalarını yapmak zordur.
- Alt yapıda çıkan zemin deplasmanlarına karşı uyum sağlayamaz.
- Dreyman durumunda tamir işleri çok zaman alır.

Günümüzde balastsız hatlar yolcu taşımacılığının olduğu yüksek hızlı hatlarda ve hafif metrolarda, metro ve tramvaylarda kullanılmaktadır.

Tablo 4.6: Uygulanan balastsız hatların burulma rijitlikleri

BALASTSIZ HAT SİSTEMLERİ	Burkulma rijitliği	
	Düşük	Yüksek
Travers veya blok betona gömülü	←→	→
Traversler asfalt yatağın üstünde	←→	
Prefabrike beton plak	←→	→
Tek parça yerinde dökülen plak	←→	→
Gömülü ray	←→	→
Kenetlenmiş ve sürekli raya sabit	←→	→

Kaynak: [Öztürk, www.e-kütüphane/imo.org/pdf/11156 . erişim Ocak 2011]

Düşük burkulma rijitliğine sahip balastsız hat sistemleri, yalnızca zeminin taşıma gücü ve rijitliğine dayanır. Prefabrike veya yerinde beton dökülen hatlarda üstyapı bükme kuvvetine maruz kalabilir. Yumuşak zeminlerde burkulma rijitliği öngerilmeli beton ile sağlanabilir.

4.3.2 Balastsız üst yapı çeşitleri

Balastsız üstyapılar döşeme şekline göre mesnetli döşeme ve sürekli döşeme olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Mesnetli döşeme, ray tabanının 0.50 m ile 0.80 m arasında (ortalama 0.65 m) değişen sabit aralıklı mesnetlere 2 parçalı olan ve yaylı elemanları ile ayarlanabilen bağlantılar yardımıyla, alttaki taşıma tabakası üzerine bağlanmasından

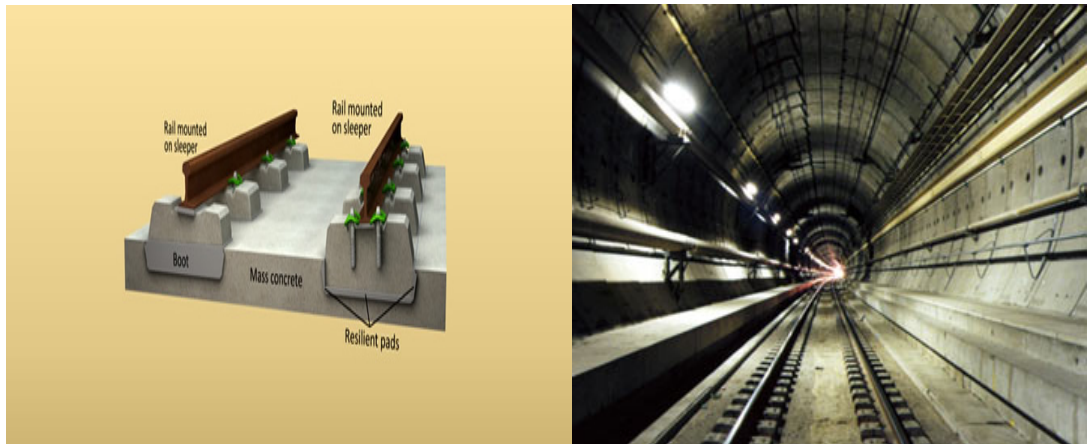
oluşur. Sürekli döşeme tipinde raylar sürekli olarak beton taşıma tabakası üzerinde yol eksenine doğrultusunda ve beton ya da istisnai durumlarda çelik malzemeden yapılmış paralel iki kirişin içlerinde oluşturulan oluklarda, doğal ya da yapay kauçuk yataklar içine döşenmektedir. Bu üstyapı tipinin iki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

4.3.2.1 Beton traversli balastsız üst yapı sistemi

Bu tarzda inşa edilen üst yapı sistemleri genellikle prefabrik traversler ya elastik olarak ya da sıkı bir şekilde beton taşıyıcı plağa bağlanırlar. Elastik bağlantıda lastik sömeller kullanılmaktadır. Elastikiyet (yay katsayısı 20-30 kN/mm) sağlamak için travers blokları altına lastik sömeller, rayla travers arasına ise elastikiyeti daha düşük olan seletler konulmaktadır. Balastsız üstyapının çeşitli inşa tipleri arasında kullanılan traverslerin taşıyıcı tabaka üstüne serbest yerleştirilmeleri veya gömülecek şekilde konulmaları çerçevenin kolayca monte edilmesini sağlar. Travers kullanılması ray açıklığı ve ray eğiminin verilmesinde kolaylık sağlar. Bu iki geometrik standardın hassas bir şekilde uygulanabilmesi yüksek hızlı demiryollarında çok önemlidir. [Öztürk www.e-kütüphane/imo.org/pdf/11156 . Erişim Ocak 2011]

4.3.2.1.1 Bloklü betona tespit sistemi

Traverslerin yerine beton bloklar kullanılır (Şekil 4.20). Yolun yanal kaymasını önlemek için beton taşıyıcı tabakaya ‘U’ şeklinde donatılar yerleştirilir. İsviçre’de, Manş Tüneli’nde ve Madrid Metro Tüneli’nde uygulanmıştır. Deray riskine karşı kontray kullanılmaktadır.



Şekil 4.20: Bloklü betona tespit sistemi bölümleri

4.3.2.1.2 İkiz Bloklü Stedef Sistemi

İkiz blok traverslerin taşıyıcı betona gömülmesi ile imal edilir. Fransızların kullandığı sistemdir. Traversleri kısmen saran ve içlerinde elastomer yastık bulunan lastik botların etrafına lastik çizmeler sarılarak traverslerin taban üzerindeki beton blok altında kaymaması önlenmiş olur. Beton travers üstü ile ray tabanı arasında konan lastik seletler, diğer balastlı demiryollarında olduğu gibi yüksek frekanslı vibrasyonu yeterince azaltacak şekilde tasarlanmıştır. Düşük frekanslı titreşimlerin emilmesi ise, nitrojen dolgulı küçük hücrelerden oluşan ve beton travers blokların altına yerleştirilen elastomer hava yastığı ile sağlanır.

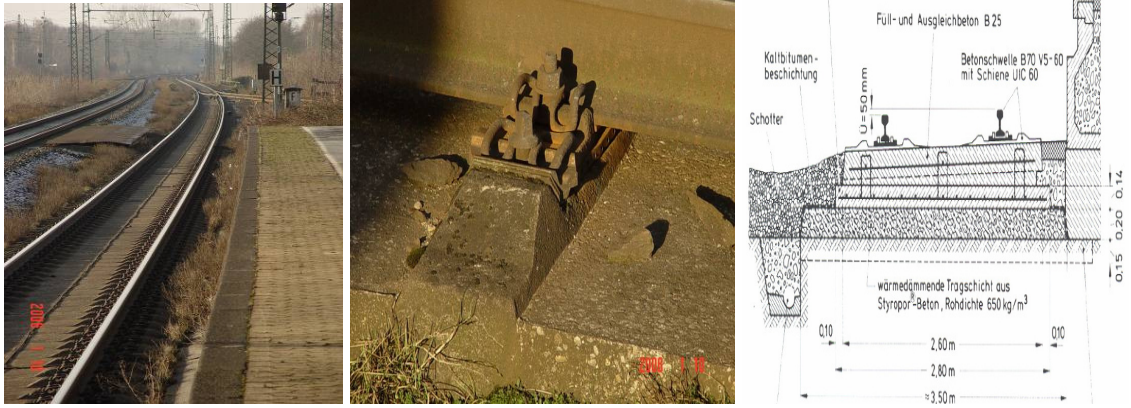
Bu sistemde raylar, traverslerin üzerine döşendikten sonra bağlantı elemanları ile traverslere tespit edilir (Şekil 4.21). Eksen ve kot ayarı yapılarak, ince agrega ile hazırlanmış akıcı beton travers lastik torba üst kenarına kadar doldurulur. Ülkemizde Taksim- 4. Levent arası metro hattında kullanılmıştır. Dünyada Fransa'da İsviçre'deki tünellerde, Seul ve San Diego'da uygulanmaktadır.



Şekil 4.21: Stedef sistemi

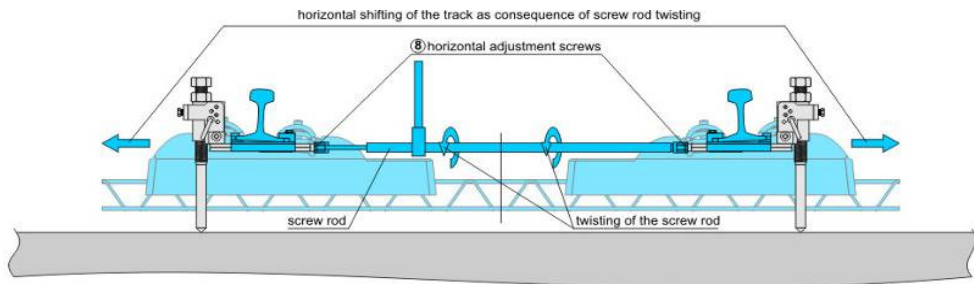
4.3.2.1.3 Rheda sistemi

Bu sistem, Almanya'da 1972 yılında Münih Teknik Üniversitesi tarafından Rheda istasyonunda 850m uzunluğundaki deneme hattına uygulanmıştır(Şekil 4.22). Yapılan bu test hattında bugüne kadar ray taşlaması dışında herhangi bir bakım yapılmamıştır. Yüksek hızlı hatlarda yapılan ölçümlerde 250 km/h' e kadar hızlarda hatta bu güne kadar deformasyon olmadığı tespit edilmiştir. Bu yolda ondülasyon tespit edilmemiştir.



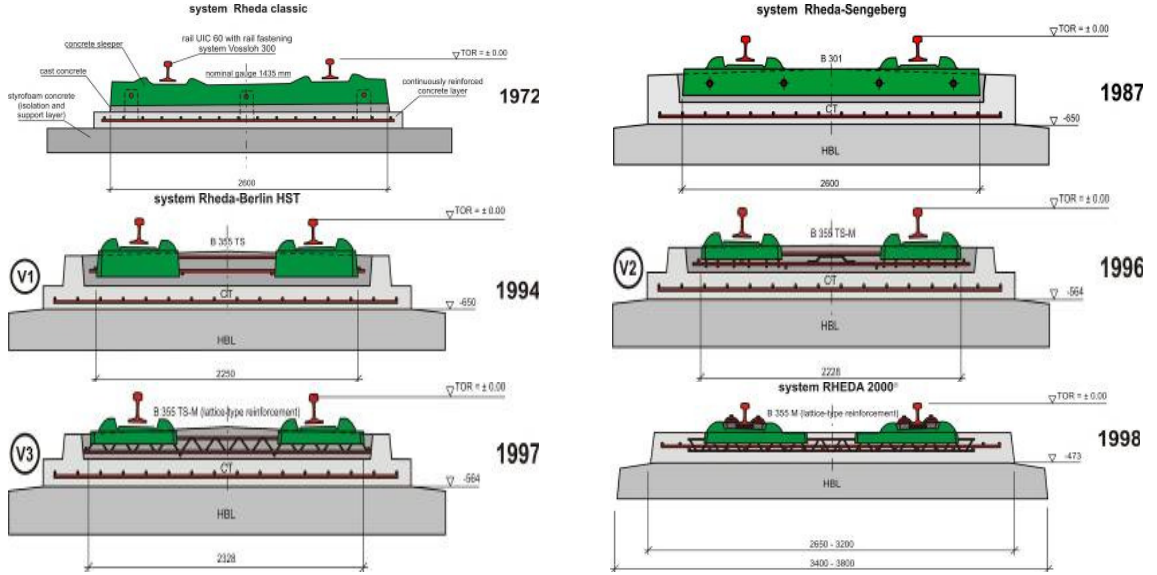
Şekil 4.22: İlk yapılan Rheda sistemi

Rheda istasyonundan sonra 2800 m' lik çift hatlı Sengeberg Tüneli'nde kullanılmıştır. Kullanılan Rheda sisteminde sağlam zemin üzerine bir betonarme yatak imal edilmiştir, ön germeli veya sonradan germeli traversler beton traversler yerleştirilmiştir. Son aşamada da traverslerin aralarına çelik donatılar döşendikten sonra beton dökülmüştür. Demir donatı boyuna direnci sağlamak amacıyla konulmuştur. Üst kısımdaki direnç sağlayacak demir donatılar ise, özel olarak travers altlarında bırakılmış deliklerden geçmektedir. Yolun projesine göre traverslerin yatay ve düşey geometrisinin ayarlaması traverslere monte edilebilen uzun saplama somunları vasıtasıyla yapılır (Şekil 4.23). Rheda üstyapısı Alman Demiryollarının pek çok tüneline ve Singapur Metrosu'nda başarıyla kullanılmaktadır. Bu sistemin ömrü 50- 60 yıl arasında tahmin edilmektedir.



Şekil 4.23: Rheda sisteminin ayar düzeneği

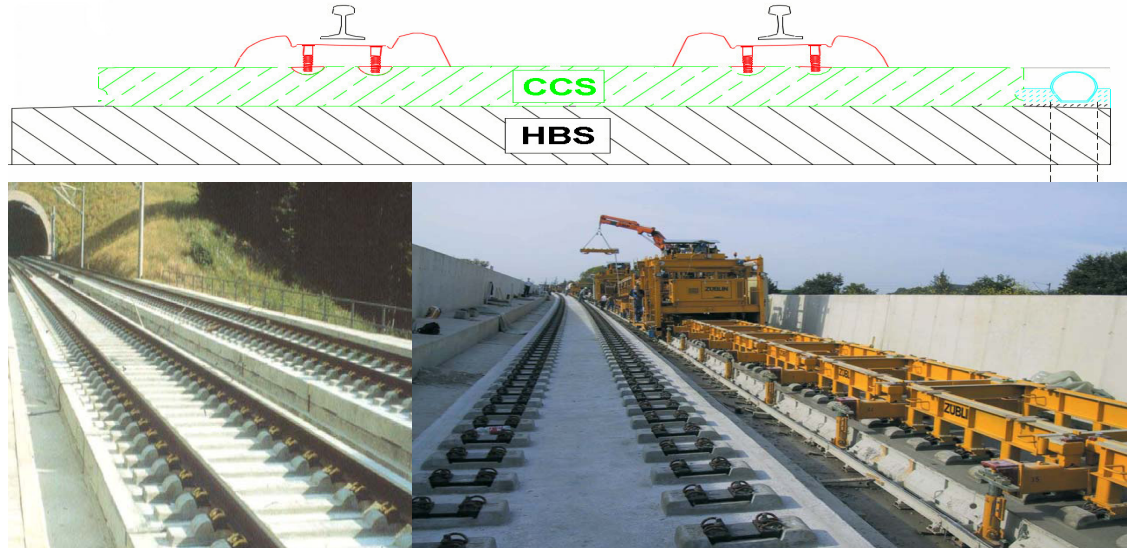
(Şekil 4.24) Rheda sisteminin 1972’ de başlayan tasarım süreci rheda 2000’ le devam etmektedir



Şekil 4.24 : Rheda sisteminin gelişme süreci

4.3.2.1.4 Züblin sistemi

Züblin sistemindeki amaç, iyi kalitede yol imalatı yaparak betona tespitli yol imalat fiyatı ile balastlı yol imalat fiyatını birbirine eşitlemektir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25: Züblin sistemi

Sistemin temeli makine ile yol yapmaya dayanmaktadır. Alt temel üzerine 30 cm kalınlığında don koruma betonu atılır. Bunu üzerine ikiz blok traversler dizilir. Yol geometrisine göre ayarlanıp 28 cm kalınlığında beton dökülür. Çatlak oluşumunu önlemek için yüzde 08-09 oranında alt zemin takviye edilir ve her iki metrede bir boşluk bırakılır. Döşeme ekipmanı traversleri kavrar ve taze dökülmüş özel beton üzerine gelerek verilen koordinatlara göre titreştirir ve sıkıştırır. Daha sonra vibrasyonu keserek traverslerin yerinde kalmasını sağlar

4.3.2.2 Asfalt traversli üstyapı sistemi

Traversler asfalt-beton bir yol yatağı üzerine yerleştirilir. Bu yatak sıradan yol asfalt serim makineleri tarafından yapılır. Asfalt traversin altında rijit ve sağlam bir altyapı oluşturduğu için 2 mm'lik bir hassasiyetle 180 mm'lik dever uygulayabiliriz. Traversler arası balastla doldurulursa, hem stabilite artar, hem de gürültü azalır. Asfalt betonu yatağının üzerine plak koyma olanağı vardır. Asfalt sertleşme süresi gerektirmez, sadece soğuması yeterli olduğu için imalat hızlıdır (Şekil 4.26).

Malzeme özelliklerinden dolayı plak üstyapılar için asfalt uygun olabilir. Kullanılan asfalt malzeme yollarda kullanılanlardan farklıdır. Yol yapımında önemli olan asfaltın geçirimsizliği donma dayanımı gibi özellikleri kullanılır. Demiryolunda ise asfalt stabilitesinin artırılması ve deformasyona karşı dayanıklı olması gibi özelliklerinin olması istenir. Asfalt yükmeden ve sıcaklık farkından oluşan gerilmelere uyum sağlayabilir. Bu sebeple asfalt sürekli bir yol yatağı olarak uygulanabilir. Gürültü ve titreşim asfaltın yapısından dolayı betona göre oldukça azdır. Asfalt, geri dönüşümü daha çok olan bir malzemedir. Almanya'da 28860m uzunluğunda doğrudan asfalt üzerine yerleştirilen travers ve raydan oluşan demiryolu hattı bulunmaktadır.

Asfalt karayolunda olduğu gibi demiryolunda da +/-2mm karayolundakine benzer bir şekilde uygulanır. Özel karışımlarla geliştirilerek ekstrem hava koşullarında minimum 50-60 yıl kullanım ömrü sağlanır. Ortalama tabaka kalınlığı 25-30 cm arasında değişiklik göstermektedir. Ortadaki bağlantı elemanı yanal kuvvetlere karşı direnimsizdir. Rayların düşeyde ayarlanmasından sonra travers ve yatak arasındaki boşluk sentetik ve esnek malzeme ile doldurulur.



Getrac system



Şekil 4.26: Asfalt yataklı üst yapı

4.3.2.3 Traverssiz üstyapı sistemleri

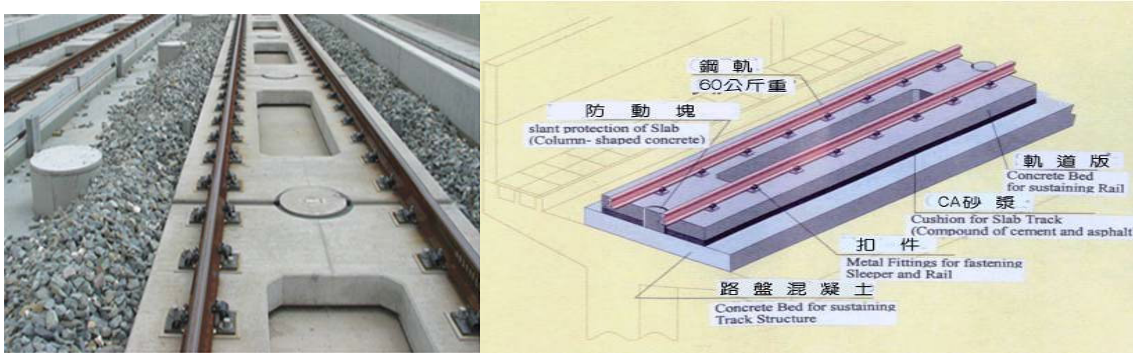
Bu üst yapı yönteminde demiryolu inşaatı yapılırken travers kullanılmadan yapılır ray altında taşıyıcı beton plak veya kiriş bulunur.

Bu prensip, özellikle 1972'den beri Japonya'da Shinkansen hatlarında standart üstyapı olarak kullanılmaktadır. Burada 5 m uzunlukta, 2.3 m eninde ve 16 cm kalınlıkta gevşek takviyeli prefabrik levhalar kullanılmaktadır. Levhalar, boyuna ve enine yönde yuvarlak beton kütüklerle ($\varnothing 40$ cm) tutulur, bunlar da taşıyıcı plakanın konstrüksiyon betonuyla sıkı sıkıya bağlanmışlardır. Levhaların altına 4cm kalınlığında çimento-asfalt harcı doldurulur. Son zamanlarda Shinkansen hatlarında levha kalınlığı 19 cm' ye çıkarılmış enine ve boyuna daha az bir ön gerilim verilmiştir. Ayrıca, son zamanlarda yerleşim bölgelerinde beton plakanın altına 25 mm kalınlıkta bir lastik paspas döşenir, bu da zaten prefabrik işletmesinde önceden plakanın altına yapıştırılmaktadır.

Hattın büyük bir kesimi sanat yapıları üzerinde bulunan Shinkansen hattının yatırım maliyeti, balastlı üstyapınınınin 1.3-1.5 katı olmasına karşın, işletme maliyeti yüzde 18-33'ü kadardır.

Japonya, yüksek hızlı hatların doğum yeridir. Shinkansen ağındaki geliştirme çalışmaları 1950'li yılların sonunda başladı ve ilk hat (Tokyo ve Osaka arasında) 1964'ün sonbaharında açıldı. 5 hat şu an işletmede ve altıncısı yapım aşamasındadır. 1970 yılı öncesinde devletin 3500 km'lik çift hat bir demiryolu ağı kurma hedefi vardı. 1993'e gelindiğinde bunun 1400 km'sinin bittiği görülmekte ve bunun 1000 km'sinden fazlası balastsız çift hat şeklindedir. Japonya'da balastsız hatlar daima 5 m'den az uzunlukta olan prefabrike döşemeler şeklindedir. Balastsız kısımların yüzdesi her hatta değişmektedir. Yeni hatlarda bu oran yüzde 96 gibi yüksek seviyelere çıkmaktadır. Döşeme hat dizaynı 1972 yılında yerleştirildiğinden beri hiç değişmemiştir.

Shinkansen döşeme hattı çimento ile stabilize edilmiş bir alt tabaka, yan ve boyuna hareketini engelleyen silindirik takozlar, 4.93 m x 2.34 m x 0.19 m (tünellerde 4.95mx2.34mx0.16m) donatılı ön gerdirimli beton döşemelerden oluşur. Bitümlü çimento harcı, döşemelerin altına ve kenarlarına enjekte edilir. Döşemenin yaklaşık ağırlığı 5 ton kadardır (Şekil 4.27) .



Şekil 4.27: J-Shinkansen prekast üst yapı

1993 yılında, Japonya'da 1400 km'lik demiryolu ağının 1000 km'inden fazlası balastsız üstyapı olarak yapılmıştır. Balastsız üstyapı yüzdesi her hatta farklı olmakta ve yeni hatlarda bu oran yüzde 96 gibi yüksek seviyelere çıkmaktadır. Güney Kore'de Seul ile Pusan limanı arasındaki yüksek hızlı hattın balastsız kısımları aynı tipte

yapılmaktadır. Buna benzer bir inşaat tarzı da İtalya'da Roma-Floransa arasındaki 5,4 km' lik yüksek hız hattında kullanılmaktadır. 1992 yılında, İtalya'da, 100 km' den az balastsız hattı vardır.

Almanya'da prefabrik plakalarda yapılan deneyler, prefabrik plakanın altına çimento-asfalt harcının dökümünün problemlili olduğunu ve bu yapım tarzının çok pahalıya çıktığını göstermektedir.

Alman inşaat mühendisliği firması olan Max Bögl, Rheda ve Züblin üstyapı sistemlerinde yerinde beton döküm gerekirken, kendi getirdiği çözümde prefabrike elemanlar kullanarak yeni bir sistem geliştirmiştir. FF-Bögl sisteminin deneme sonuçlarından sonra, Alman Demiryolları 300 km/sa hıza kadar olan hatlarda bu sistemin kullanılmasını benimsemiştir. Birbirine kenetlenen ön döküm beton panellerle yerinde dökülen betona göre hat işletmeye daha hızlı bir şekilde açılabilme ve döşemeler kolaylıkla değiştirilebilmektedir (Şekil 4.28) .



Şekil 4.28: Bögl prekast üst yapı

Max Bögl FF Bögl ismini verdiği yüksek hızlı hatlar için prekast döşeme üstyapısını geliştirmiştir. Birbirine kenetlenen prekast beton panellerle, yerinde dökülen betona göre hat işletmeye daha hızlı bir şekilde açılabilme ve döşemeler kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Max Bögl'in ön döküm döşeme sisteminin ilk denemesi, 1977 yılında Karlsfeld yakınlarında ,160 km/sa hıza uygun 430 m.lik bir hat kısmında yapılmıştır. Ön gerdirmeli 4.76m boyundaki ön döküm paneller boyuna doğrultuda birbirine kenetlenmektedir. FF-Bögl panelleri, 200mm yüksekliğinde ve 6.45m

uzunluğunda ön gerdirmeli elamanlardır. Üretim aşamasında hat özelliği doğrultusunda değişiklikler dikkate alınır ve ray bağlantıları monte edilebilir. Döşemelere monte edilen ayar aletleri ile hattın yatay ve düşey konumu ayarlanabilir. Max Bögl, bu sistemde bir günde 650m yol yapmanın mümkün olduğunu hesaplamıştır. Hat düzgün bir şekilde ayarlandıktan 2 saat sonra işletmeye açılabilir. Max Bögl'e göre, 100000 ton /gün trafik yüke sahip deneme hattında hiç bir bakım ve onarım gerekmemektedir.

ÖBB (Avusturya)'nın 25km.lik özellikle tünel ve viyadüklerde balastsız hattı vardır. ÖBB-Porr sistemi Züblin sisteminde olduğu gibi kauçuk içine yerleştirilen gömülmüş monoblok traversleri içerir. Prefabrike döşemeleri kullanan (Porr Sistem) farklı bir sistem de vardır. Wels-Passau arasında 1992 yılında yüksek hızlar için Modurail adındaki test hattı monte edilmiştir. Bu sistem, beton döşemeye elastik olarak yataklanan öngerdirmeli traversler kullanır (Şekil 4.29).

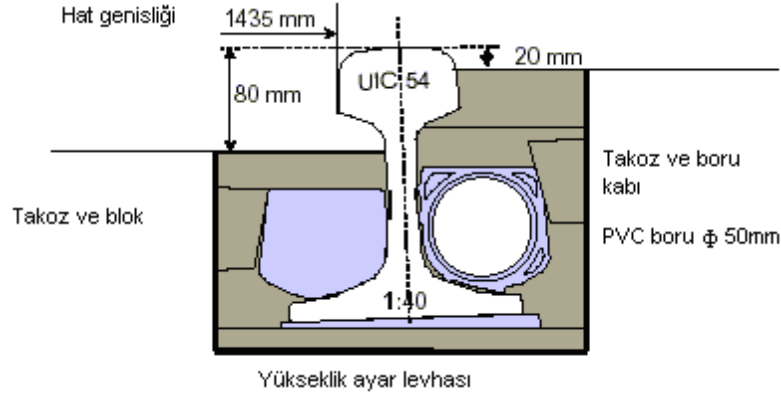


Şekil 4.29: Porr prekast üst yapı

4.3.2.4 Gömülü balastsız üst yapı

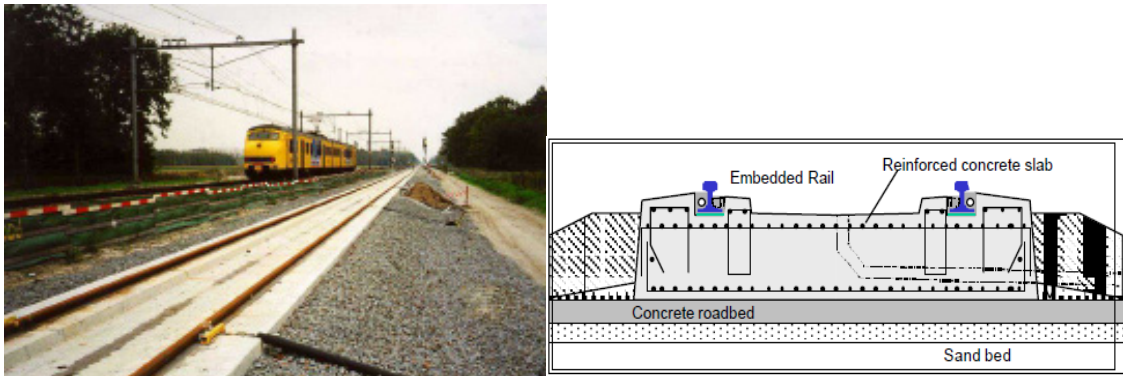
Bu tipte, içine simetrik ve derzsiz dikdörtgen kesitli iki çukur açılan, yaklaşık 0,40 m kalınlığında donatılı beton taşıma tabakası kullanılmaktadır. Raylar, bu çukurlar içine bir mantar taban levhası üzerine, PVC boruları ile birlikte yerleştirilir. Bu borular olası yanal deplasmanlarını önleyici ve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

karakterde olan bu yapı, özellikle gürültü ve titreşime duyarlı çevre koşulları için uygundur(Şekil 4.30).



Şekil 4.30: Edilon sürekli gömülü üstyapı sistemi

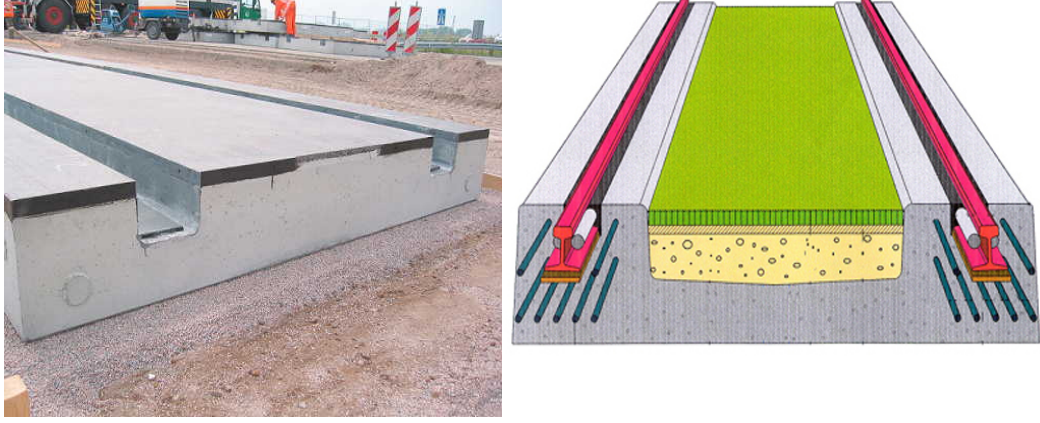
Bu yol tipi ilk kez Hollanda'da EDİLON adı ile 1973'de geliştirilmiş, tünel ve köprülerde başarıyla kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen yeni modelin adı INFUNDO olup, tramvay yollarında ve kentler arası demiryollarında başarılı olmuştur. Hollanda'da 10 km yüksek hızlı hat, hafif raylı sistemler ve Madrid Metrosu (100 km) önemli uygulama sahalarıdır. Almanya'da denenen balastsız üstyapı tipleri arasında en iyi sistem olarak seçilmiştir(Şekil 4.31).



Şekil 4.31: Yüksek hızlı hatlar için ERC gömülü ray istemi

Günümüzde bu tipte geliştirilen üstyapı tipleri SFF, Saarummi ve ERC (Embedded Rail Construction) 'dir. Hollanda Demiryolları, (NS)'nın ERC üstyapı tipi ile 20 yıllık

deneyimleri vardır. Bu üst yapı tipinin çok az bakım ihtiyacı duyduğunu ispatladılar (Şekil 4.32).



Şekil 4.32: Yüksek hızlı hatlar için ERC gömülü ray sistemi çim hat

İstanbul Eminönü-Zeytinburnu tramvay hattı Çemberlitaş İstasyonu'nda, 54 m yol kısmında sürekli mesnetli Preferail-Stero kiriş elemanları denenmiştir. Rayın etrafında elastik malzeme yerinde monte edilebileceği gibi, prefabrik kiriş veya döşeme olarak da monte edilebilmektedir. Prefabrik elemanlar, daha hızlı ve kaliteli inşaat için veya hemzemin kavşak gibi trafiğin kesilemediği yerlerde en uygun çözümlerdir (Şekil 4.34).



Şekil 4.33: Çemberlitaş istasyonu gömülü yol çalışması

Sürekli elastik mesnetli üstyapı tipi özellikle tramvay hatları için tercih edilmesinde bir çok avantajı vardır. Avantajlar, şöyle sıralanabilir:

- Daha homojen yük dağılımı: Bu sistemin en önemli üstün tarafı, rayın sürekli olarak mesnetlenmiş olmasıdır. Bu sayede homojen bir yük dağılımı sağlanmakta ve betona iletilen tekerlek yükü daha fazla azalmaktadır. Ayrıca raydan çevreye iletilen titreşimler sürekli olarak absorbe edilmektedir.
- Taşıyıcı beton ve zemin tabakalarına iletilen yüklerde azalma: Belli aralıklarla (genelde 75 cm) seletli veya seletsiz ray bağlantı elemanları ile ray taşıyıcı betona sabitlenmektedir. Titreşimleri ve dinamik yükleri ray altındaki veya selet altındaki elastik tabaka sönümleyerek azaltmaktadır. Tekerlek yükü mesnet noktasında ve komşu iki selette dağılmaktadır. Balastlı hatta mesnet noktasına tekerlek yükünün yüzde 40'ı iletilirken beton hatta bu değer yüzde 70 mertebesindedir.
- Yapısal gürültü ve titreşimlerde önemli oranda azalma: Gömülü ray sisteminde 10-15 dBv titreşim ve 3-5 dBA gürültü azaltılmaktadır. Daha iyisi de sürekli beton döşeme altına elastik tabaka kullanmaktır.
- Ondülasyon oluşumunda azalma: Ondülasyonların oluşma nedenlerinden biri de rayların ayırık mesnetlenmesinden kaynaklanan mesnet (pinned-pinned) rezonans frekansıdır. Sürekli mesnetli raylarda mesnet rezonans frekansı oluşmadığı için ondülasyon oluşumu da daha az veya hiç oluşmamaktadır.
- Ray kırılması ile oluşan dreyman riskinin önlenmesi : Raylar belli noktalardan mesnetlendiği için ray kırılması esnasında raylarda yanal ve düşey ekseninde kaçıklıklar oluşmakta ve tekerleğin çarpması sonucu dreyman riski oluşmaktadır. Ancak sürekli mesnetli raylarda oturmalar aynı olduğu için ray kaçıklığı da oluşmamakta ve drayman riski de olmamaktadır.
- Oluklu ray yerine vinyol ray kullanma olanağı :Ray kenar kauçuk elemanları ile tekerlek geçişi için gerekli olan oluk sağlanabilmektedir.
- Daha hızlı yol döşeme imkânı: Bu sistemde, bağlantı elemanı ve izolasyon işçilikleri olmadığı için çok daha hızlı yol döşeme imkânı vardır.
- Daha iyi kaçak akım kontrolü: Klasik ray bağlantı sistemin göre çok daha iyi kaçak akım izolasyonu vardır.

Ray altı elastik ped ve ray kenar kauçuklarından (jacket) oluşan Preferail adında bir gömülü ray sistemi mevcuttur. Preferail ray askı tertibatı ile monte edilmekte ve yerinde beton dökülerek hat döşenmektedir. Daha hızlı ve kaliteli inşaat için rayların beton kirişlere gömülü olduğu Preferail Stero sistemi ve iki rayın beton döşemeye gömülü olduğu Preferail Modulix sistemleri de mevcuttur. Bu iki sistemin farklı özelliği, prefabrik beton fabrikasında üretildiği için, işçilik montaj hatasının olmamasıdır. Bu iki sistem, yeni hat inşasından ziyade mevcut hatların işletme altında çok hızlı yenilenmesi amacıyla veya hemzemin kavşakların geçişinde kullanılmaktadır. Prefabrik kiriş veya döşeme sistemi düz yollarda çok hızlı yol döşeme olanağı verecektir; ancak kurplu kısımlarda Preferail sisteminin çok daha pratik bir yöntem olacağı açıktır. Yeni hat inşası için, bu üç yöntemden en ekonomik olanı tercih edilmelidir. Çalışma sahasına yakın yerlerde prefabrik beton üretim fabrikası bulunması durumunda veya yerinde beton döküm için işçilik kalitesinin yetersiz olması durumunda Preferail Stero daha uygun bir çözümdür. Ancak trafiği çok yoğun olması nedeniyle kapatılması mümkün olmayan hemzemin kavşaklarda Preferail Modulix kullanılması en uygun çözümdür.

5. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BAKIMLAR

“Bakım” kelimesinin sözlük anlamı, herhangi bir cismin veya varlığın iyi durumda ve kullanılabilir kalması için verilen emektir. Demiryolunu çalışan bir sistem veya işletme olarak düşünürsek bakım, çalışan bir sistemin aksamadan aralıksız olarak düzenli bir şekilde mümkün olan en uzun zaman aralığında çalışmasını sağlamak için yapılan bütün faaliyetleri kapsar.

Raylı sistemlerde hizmet üreten yatırım maliyeti çok yüksek ve sistemi oluşturan bileşenlerin (ray, travers, balast vs) değiştirilmesi oldukça zahmetlidir. Bu sebeple raylı sistemlerde, özellikle kent içi raylı sistemlerde, hizmet kalitesinin aksamaması için, bakım çok önemli bir yer kaplamaktadır.

Demiryolu hattında, işletmenin güvenilirliğini sağlamak amacıyla belirli aralıklarla, belirli dönemlerde veya gerekli olduğu zamanlarda bakım çalışmaları yapılması çok önemlidir. Uzun vadede demiryolu hattında yapılan bakımların amacı emniyetli, güvenilir, yüksek konforlu ve düşük maliyetli bakımların gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla hat kontrollerinde ve bakım çalışmalarında işlerin kalitesinin yüksek olması için bakımları yapacak ekip ve ekipmanların standartlarının yüksek düzeyde tutmalı ve şu koşullar uygulamalıdır:

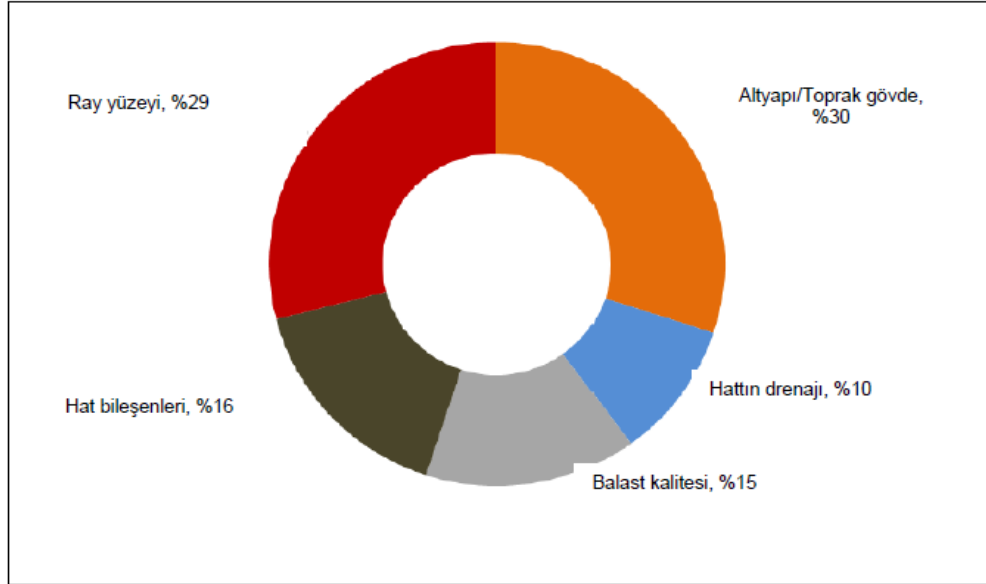
- Sadece belirli özelliklere sahip, kalibre edilmiş ve sertifikalandırılmış ölçüm sistemleri, hat yapım araç ve gereçleri kullanılmalıdır.
- Tüm sistem için oluşturulan talimatlar, boyutlar, toleranslar ve standartlar her zaman uygulanmalı ve takip edilmelidir.
- Özellikle emniyet kriterleri, kontrol toleransları, bakım, onarım ve malzeme değiştirmeleri koşulsuz uygulanmalıdır.
- Bakım işlerinde yapılan bir ihmal büyük kazalara sebep olabilir. Şayet bakım politikası düzenli bir şekilde uygulanmazsa, hattı oluşturan bileşenlerin ömürleri kısılır.
- Bakım çalışmalarında kullanılan teknik prosedürler ve ürünler insan sağlığını tehdit etmemelidir. Hattın çevresine zarar vermemelidir.

- Ulusal yasalar, prosedürlere uyulmalıdır.
- Hattın şeffaf ve karşılaştırılabilme olanağı sağlayan raporlama ve bakımların ölçüm sonuçları olmalıdır.

Kent içi raylı sistemlerde hava koşulları, araçların durumu ve trafik yükleri karayolu trafiği, çevrenin fiziksel ve kimyasal etkileri hat parametrelerini etkilemektedir. Hat parametreleri üzerinde etkisi olan önemli altyapı sistem bileşenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Altyapı / Toprak gövde
- Ray yüzey durumu
- Hattı oluşturan bileşenler
- Balast kalitesi (taşıyıcı beton kalitesi)
- Hattın drenajı

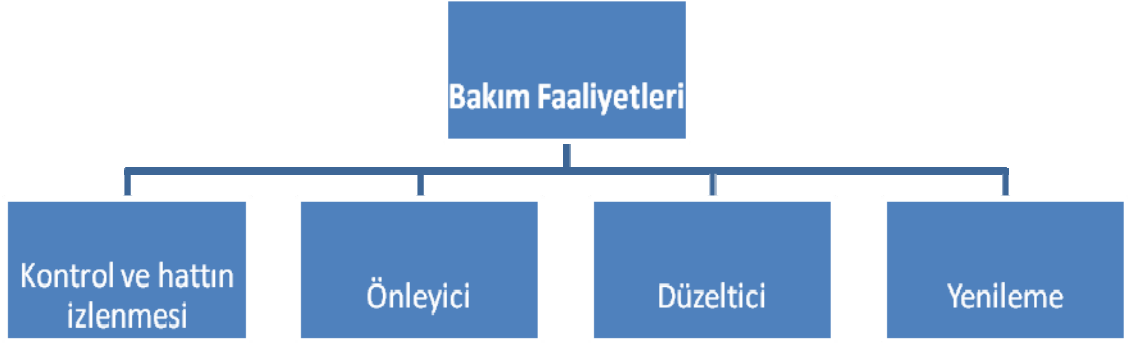
Bu parametrelerin etkileri ve ağırlıkları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Her bir parametre birbirini etkilediğinden, sistem bir bütün olarak ele alınmalıdır. (Şekil 5.1)



Şekil 5.1: Hat parametrelerinin bozulma oranları [UIC Altyapı dairesi, 2008, s.10,]

5.1 BAKIM SINIFLARI

Bakım faaliyetleri aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ana gruplara ayrılabilir(şekil5.2):



Şekil 5.2: Bakım çeşitleri

5.1.1 Kontrol ve Hattın İzlenmesi

Demiryolunda kontrol ve hattının izlenmesindeki en önemli amaç; hat güvenliğinin sağlanması, hat bileşenlerinden servis ömrü boyunca en iyi şekilde teknik ve ekonomik verim alınmasıdır. Kontroller, güvenlik ve bakımlar için yapılır. Güvenlik amaçlı yapılan kontrollerde, kazalara sebep olabilecek dray, aynı hat üzerinde trenlerin karşılaşması veya hat güvenliğini tehlikeye sokabilecek kusurların tespit edilmesi amacıyla yapılır.

Kontrol ve ölçümlerdeki diğer amaç, kazalara ve olaylara sebep olabilecek hat kusurlarının önlenmesi için altyapı bozulmalarının düzeyinin takip edilmesidir. Bu kontrol sonucunda çıkan sonuçlara göre; hatta yapılacak bakım ve yenilemelere karar verilecektir.

Hatta yapılan bakımların kontrol edilmesindeki amaç, bakım faaliyetlerinin kısa ve uzun dönem planlaması için kusurlar, aşınmalar ve çatlak ve kırılmalar hakkında bilgi sağlamaktır.

Hattın kontrol edilmesi çalışmaları sistem altyapısı özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Aşağıda sıralanan faktörlerin bazıları kontrol ihtiyaçlarını etkilemektedir:

- Hattın hızı,
- Trafik yoğunluğu,
- Trafik tipi, yol veya yük,
- İklim ve çevre koşulları,
- Jeolojik durumlar,
- Fiziksel ve kimyasal etkiler,
- Altyapı bileşenlerinin teknik standartları,
- Hattın güvenlik düzeyi,
- Yaş ve tüm bileşenlerin kalitesi.

5.1.2 Önleyici Bakım

Koruyucu bakım iki bölüme ayrılır: Duruma dayalı bakım ve önceden tespit edilerek yapılan bakımdır.

Duruma Dayalı Bakım: Periyodik bakımlardan çıkan sonuçlara göre, yapılacak bakımların ve arızaların saptanması. Önem sırasına göre planlanarak en kısa sürede yapılmasını kapsar. Makas ve mazgal bakımı vs. bu bakıma örnek verilebilir.

Önceden tespit edilerek yapılan bakım, periyodik bakımlardır. Düzenli olarak belirli zaman aralıklarında demiryolu hattındaki bütün elemanlar gözden geçirilerek ve tespit edilir ve kaydedilir. Periyodik bakımlarda küçük arızalar giderilir. Bu bakım türünde sistemi oluşturan elemanlara yapılacak bakımların ne zaman yapılacağı belirlenir. Böylelikle arıza çıkma ihtimali büyük ölçüde azalır. Bakımlar önceden planlı bir şekilde yürüdüğü için olası arızaların önüne geçilir. Bu bakım türünde yapılan işlerin servis ömrü doğru bir şekilde tespit edilip, altyapı elemanlarına uygulanır. Bu bakımda, bakım faaliyetleri belli aralıklarda yapılır.

5.1.3 Düzeltici Bakım

Hatta meydana gelen olay veya arızadan sonra meydana geliş sebeplerini, bir başka deyişle hata kaynaklarını ortadan kaldırmak için alınan önlemlerdir. Düzeltici bakımlar,

arızalanan bir donanımı tekrar çalışır durumuna getirmek amacıyla yapılır. Düzeltici bakımlar, hat bileşenlerinin değiştirilmesi, ayarlanması ve diğer tamir işlerinin yapılması suretiyle yürütülür.

Kısaca bozulmuş bir hatta yapılan bakıma, düzeltici bakım denir. Düzeltici bakım, ertelenmiş ve acil düzeltici bakım diye ikiye ayrılır. Bakım çeşitleri kusura bağlıdır. Kusurlar ciddi değilse, orta vadede bir müdahale söz konusudur. Kusur / Bozulma tanımları ve sınıflandırması beraber gruplandırılır ve orta vadede başlatılır. Acil bakım faaliyetleri, acil kusurlarla ilişkilidir ve önlemler ya çok acil olarak alınır ya da işletmenin sınırlandırılması şeklinde yapılır.

5.1.4 Yenilemeler

Teknik ve ekonomik olarak ömrünü bitirmiş hat bileşenleri veya tüm hat için yenileme çalışması yapılır. Hat bileşenlerinin ayrı ayrı yenilemesi faaliyetleri verimli olmadığından kaçınılmalıdır.

Sadece hat bileşenleri yenilenirse, iyi durumda olacaktır ancak hattın geri kalan kısımları eski durumda kalacaktır. Yapılan çalışma kısa zamanda heba olacaktır. Hat yenilemenin en verimli yolu toprak gövdeden başlayarak, raylara kadar tüm hattı yenilemektir. Bu çalışma yapıldığında hat yenilenmiş ve iyi bir hale gelmiş olur.

5.2 RAYLI SİSTEMERDE KONTROLLER VE HATTIN GÖZLENMESİ

Raylı sistem işletmesinin sağlıklı bir şekilde işlenmesi için hattın tamamının ve hattı oluşturan bileşenlerin sürekli kontrol edilmesi ve gözlenmesi gerekmektedir. Bu kontroller sayesinde,

- Hattı etkileyebilecek çevresel ve fiziksel olaylardan haberdar olunur.
- Hattı oluşturan ray travers makas bağlantı elemanı vs bileşenlerinde oluşabilecek çatlak, kırık gibi olaylar gözlenerek oluşabilecek kazaların önüne geçilir.
- Hatta yapılacak bakımların planlanması sağlanır.
- Oluşabilecek kazaların önüne geçilir.

- Hatta yapılacak yenilemeler planlanır.

Hatta yapılacak kontrolleri genel olarak iki sınıfta toplayabiliriz:

- Görsel kontroller
- Boyutsal kontroller

5.2.1 Hattın Görsel Kontrolü

Görsel kontroller, hat kontrolleri işletme esnasında doğabilecek hataları, gözden kaçan ve işletme esnasında kazaları sebebiyet verecek durumları engellemek için günlük, haftalık, aylık, üç aylık kontrollerdir.

5.2.1.1 Hat nöbetçisinin yaptığı günlük kontroller

Hatta görevli bir personelin günlük olarak bütün hattı yürüyerek gözlemlemesidir. Hat nöbetçisi kontrolleri esnasında dikkat ettiği hususlar şunlardır:

- Hat içerisinde tren seferlerini etkileyecek yabancı maddelerin varlığına,
- Üst yapı ve üst yapı elemanlarında herhangi bir kusur veya hata olup olmadığına,
- Platform içerisinde veya dışarısında hatta risk doğuracak unsurlara,
- Görsel olarak yolda yatay ve düşey bozulmalara,
- Hattı etkileyecek çevresel şartlara, (su baskını, yangın, heyelan vs.)
- Ayrıca zaman kaybettirmeyecek küçük malzemelerin tamir ve değiştirilmesi,
- Hatta olabilecek olaylarda ilk müdahale ekibi olarak gider.

5.2.1.2 Hattın sürücü kabininden kontrolü

İşletme saatleri içerisinde, seferde olan trenin sürücü kabinine binilerek yapılır. Bu kontrolü hat nöbetçisinden ziyade bakım mühendisi veya teknikeri yapar. Kontrollerde dikkat edilmesi gereken hususlar:

- Tren yükü altında hattın davranışına,
- Üst yapı ve elemanlarındaki anormal davranışlarına,
- Üst yapıya veya üst yapı elemanlarındaki gözle görülebilir kusurlara,

- Hatta periyodik bakım öncesi nereden başlanacağına karar verir.

Bu kontrol sayesinde, hat nöbetçisinin gözünden kaçan ve göremediği hata ve kusurlar gözlenmiş olur.

5.2.1.3 Üç Aylık Hattın Görsel Kontrolü

Bu kontroller bakım öncesi tarihlere denk getirilir. Hat bakım mühendisi veya teknikeri gözetiminde tüm üstyapı kontrol edilir. Gerekliyse ölçümler alınır, hatta bulunan hata ve kusurlara göre üç aylık bakım planı çıkartılır.

5.2.2 Rayların Görsel Kontrolü

Üç aylık kontrol esnasında ray mantarlarındaki ezilmeler, ondülasyonlar, yatay ve enine çatlaklar, tabakalaşmalar ve raylar üzerindeki aşınma durumları, raylardaki korozyonlar, kılcal çatlaklar görsel olarak kontrol edilir.

5.2.3 Traverslerin Görsel Kontrolü

Traverslerin görsel kontrolünde, traverslerin kırılan bölgelerine, çatlaklara, ikiz blok traverslerde travers çubuklarındaki bozulma ve deformasyonlara, ahşap traverslerdeki çürüme, bozulma, travers üzerindeki bağlantı elemanlarının ve küçük yol malzemelerinin durumuna bakılır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Bozuk ve kırık travers

5.2.4 Makasların Görsel Kontrolü

Hatta bulunan makasların dil, yaslanma rayı, kontray ve göbek aşınma seviyelerine, traverslerinin ve küçük yol malzemelerinin durumuna, makasın geometrisine üzerinde bulunduğu platformda, yapısal bir bozukluk olup olmadığına, trenin makas üzerinden geçişine bakılır

5.2.5 Kaynakların Görsel Kontrolü

Rayların birleşim kaynaklarında aşınma, düşüklük, kaynak üstünde çökmelere, kaynak üzerinde veya gövdesindeki kılcal çatlaklara, kaynağın bulunduğu conta bölgesinde ondülasyon durumuna bakılır(Şekil 5.4).



Şekil 5.4: Rayda aşınma ve kırılma

5.2.6 Ray Bağlantı Elemanlarının Görsel Kontrolü

Hatta bulunan bağlantı elemanlarının ray altı pedlerinin durumuna, rayı sabitleyen esnek yay, krapo veya esnek levhaların sağlamlığına, bağlantı elemanlarını traverse veya platforma sabitleyen tirfon veya saplamalarına, tirfon ve saplamaların yataklarına, tirfon yataklarının laçkalığına, bağlantı elemanı üzerinde bulunan somun ve civatalara bakılır.

5.2.7 Hat Geometrisinin Görsel Kontrolü

Hat güzergâhının görsel yatay ve düşey olarak doğruluğuna gözle bakılır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Bozuk hat geometrisi

5.2.8 Hat Yatağı Ve Drenaj Sistemlerin Görsel Kontrolü

Hat yatağındaki sızıntıların olup olmadığına, tünel kesitinden ray üzerine gelen sızıntılara, hat kesitinde tali ve drenaj çukurlarında, mazgallarda tıkanma veya birikme olup olmadığına görsel olarak bakılır.

5.2.9 İzole Cebirelerin Görsel Kontrolü

İzole cebireler yalıtımlı ray bağlantı elemanlarıdır. Bunların asıl görevleri hat üzerinde bir ray ile diğer rayı birbirinden izole ederek, sinyal sisteminin istenildiği şekilde çalışmasına sağlamaktır. Hattın belli bölgelerinde (özellikle makaslarda) bulunan yalıtımlı ray bağlantı elemanlarının metal tozu, yağ, toz ile kaplı olup olmadığının tespiti yapılır. Seyir rayı üzerindeki çapaklanmadan dolayı yalıtımın bozulup bozulmadığına bakılır.

İzole cebireler, yalıtımlı ray bağlantılarıdır. Bulonlar, somunlar, izoleli conta ve ray ek yerleri gibi bağlantı elemanları görsel olarak kontrol edilir. İzole cebirenin üstünde izoleli contanın erimesi sonucu ray birleşim yerinin birleşmesi, metal tozlarının toplanması, yağlarının fazla olması, akımın geçmesine ve sinyalin düşmesine neden olduğu için ray üstünü taşıyarak ve ray akması oluşan yeri kılcal testere ile az keserek

ray metalinin yapışması önlenmelidir. İzole cebirenin direnci yılda en az bir kere ölçülmelidir, şayet direnç 1000 ohm'dan fazla ise, izole cebire normal, düşük ise program kapsamında izole cebire değiştirilmelidir.

5.2.10 Makasların Görsel Kontrolü

Ray bağlantı elemanlarının ve tirfonların eksik veya kırık olup olmadığı, kayma yatakları bağlantı elemanlarının (kırlangıç demirlerinin) eksik, kırık veya yerinden çıkıp çıkmadığı, kayma yataklarının yağ durumu kontrol edilir.

Daha sonra makası oluşturan bölümlerin kontrolüne geçilir. Bu kontrollerde; dil rayı ile kayma yatakları arasındaki mesafeye, dil rayı ile yaslanma rayı arasındaki takozların eksik çatlak veya kırık olduğuna, takozlar ile dil rayı arasındaki boşluğa, raylarda ve termit kaynaklarda çatlak, kırık vb. deformasyonların olup olmadığına bakılır. Ray yüzeyindeki anormal aşınmalar, ondülasyonlar, karıncalanmalar, kabuklaşmaların varlığına bakılır. Ray mantarına yağ bulaşmış mı, raylara su akıyor mu, makas ökçesi (topuk) kısmının durumuna bakılır. İzole cebirelerde metal akması, ondülasyon ve gevşek vida, kontray seletlerinde kırık veya çatlak durumuna, kontraya tekerlek temas izine bakılır. Kontray yağ durumunun nasıl olduğu, kontray vidalarının eksik veya bozukluğuna bakılır. Makas göbeğinin ve tavşanayaklarının aşınma durumu ve metal parçalarının kopup kopmadığı, göbek bağlantı bulonlarının gevşek olup olmadığı, traverslerde çatlak ve hasar durumuna bakılır. Dil ucunda aşınma ve kırık durumuna bakılır. Dil ve yaslanma rayında metal akmasına, dil rayı ile yaslanma rayı arasındaki boşluğa, dil ile kilitleme mekanizması bağlantılarının çalışma durumuna bakılır.

5.2.11 Bağlantı Elemanlarının Kontrolü

Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü hat işletmeye açıldıktan bir yıl sonra yapılır. Yıllık bakım sonucunda elde edilen verilere göre değerlendirme yapılır ve bir sonraki bakım yılı kararlaştırılır. Bağlantı elemanlarının türlerine göre, bakım ve kontroller 5-6 yılda bir tekrarlanarak yapılır. Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü rast gele olarak seçilen, birbirini takip eden 20 traversde yapılır. Düz hat ve yarıçapı 400 metreden büyük olan kurplarda 200 metrelik yolda, yarıçapı 400 metreden ve uzunluğu 25 m den

küçük kurplarda 20 metrelik yolda, yarıçapı 400 metreden küçük ve uzunluğu 25-50 metre arasında olan kurplarda, 40 metrelik kesimde, yarıçapı 400 metreden küçük uzunluğu 50 metreden fazla olan kurplarda, 50 metre'lik yolda kontrol edilir. Bağlantı elemanları sıklığı toleranslar dahilinde değil ise, hemen müdahale edilebileceği gibi kalıcı bakım kapsamında müdahale edilebilir. [Nesih 2007, s.29]

Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü ile ray altı seletlerinin durumuna da bakılır. Deforme veya eksik olan ray altı seletleri varsa tespit edilir. Bağlantı elemanları, anahtarla yapılabileceği gibi trifonözle de sıkılabilir. (Şekil 5.6) Bu makineyle bağlantı elemanları sıkma işlemi yapılırken, tork değerine göre sıkılır.



Şekil 5.6: Trifonöz makinesi ile somun sıkma

5.2.12 Üçüncü Ray Besleme Bağlantıları Kontrolü

Bakır levha ile üçüncü ray arasındaki kaynakların hasarlı olup olmadığı görsel olarak kontrol edilir. Bakır levhalardan birinin kaynağının olmaması durumunda bir hafta içerisinde levha üçüncü raya kaynatılır. İki adet bakır levhanın kaynağı düşmüşse, hemen veya bir sonraki gün levhalar kaynatılmalıdır.

750 Volt DC kablolarını bakır levhaya bağlayan vida ve somunların eksik ve hasarlı olmadığını tespiti yapılır. Hasarlı ise, hemen değiştirilir ve vidalar 40 Nm tork değerine göre sıkılır. 750 Volt DC kablolarının hasarlı durumu kontrol edilir ve hasarlı ise, ilgili birim ile koordineli olarak çalışma yapılır.

Üçüncü Rayın aşınması düşey olarak kumpasla her 50m.'de bir ve hassas noktalarda kontrol edilir. Aşınma değeri maksimum aşınma değerini geçerse, Üçüncü rayda gerekli olan noktada kaynak yapılır veya duruma göre değiştirilir.

5.3 BOYUTSAL KONTROLLER

Demiryolu hattında hattın taşıt yükü altında davranışını izlemek ve hattaki ray travers bağlantı elemanı balast hat drenajı durdurucu tamponlar gibi malzemelerin aşınma ve bozulma değerlerini elde ederek hat parametreleri ile karşılaştırarak düzeltici bakımların planlarının yapılmasını sağlamaktır.

5.3.1 Hattın Geometrik Kontrolü

Hat geometrisi kontrolünde, ray aşınmaları, ekartman, yatay dresaj, düşey nivelman, dever gibi geometrik değerlere bakılır. Basit manuel aletlerle geometrik kontrol yapılacağı gibi, ray üstünde hareket eden araçlarla da hat geometrisi dijital kayıtlar alınmak suretiyle kontrol edilebilir.

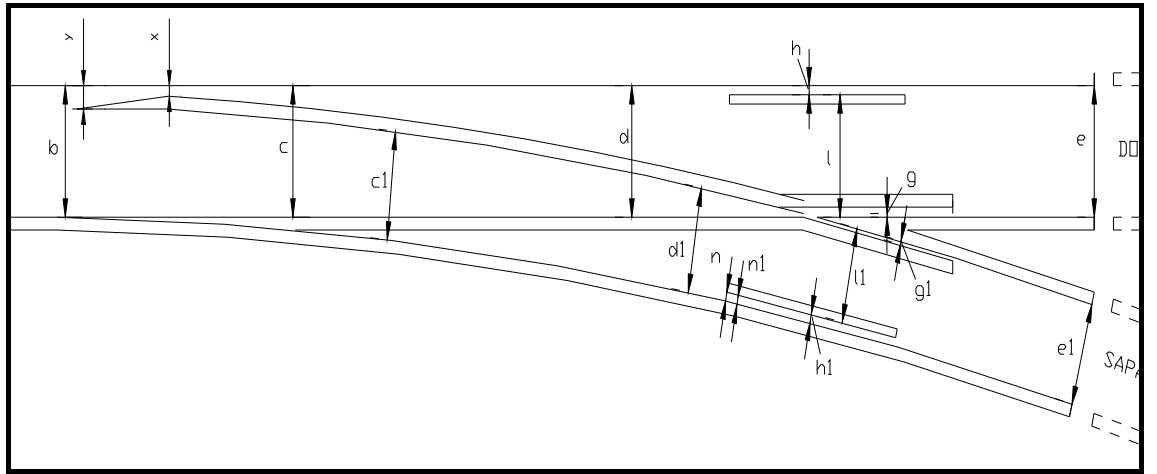


Şekil 5.8: Hat geometrisi ölçüm cihazı ve el bilgisayarı

Özellikle kent içi raylı sistemlerde bakımı kolaylaştıran ve zaman kazandıran, hassas ölçümleri ile hataları tespit edebilen, bakımı kolay olan hat geometrisi ölçüm araçlarının kullanılması gerekir. (Şekil 5.8)'de görülen hat geometrisi ölçüm cihazına, aynı şekil üzerinde görülen el bilgisayarını bağlanarak hattın tüm geometrik değerleri kayıt altına alınır. Araç üzerindeki 3 küçük kutuda bulunan proplar ekartman, fleş ve düşey fleşi ölçerken ortadaki kutu ise eğimi ölçer. (Şekil5.8). Sol tarafa sonradan eklenen tekerli kol ise burulmayı ölçer. Ölçüm aracı ekartman, metredeki ekartman değişimi, dever, dinamik dever, sağ ve sol ray düşey fleş, sağ ve sol ray yatay fleş, burulma gibi geometrik değerleri ölçebilmektedir. Araç üzerine yerleştirilen el bilgisayarındaki tüm veriler bilgisayara aktarılarak ve analiz programı vasıtasıyla tüm geometrik değerleri grafik üzerinde ve sayısal olarak görme olanağı sağlar. Analiz yaparken kendi ülke standardına göre analiz yapılabileceği gibi, Avrupa standartlarına göre de analiz yapılabilir.

5.3.2 Makas Boyutsal Kontrolü

Makas boyutsal kontrolü “makas gabari ölçüm aleti” ile yapılır. Ölçüm aletiyle makasın belli noktalarındaki ölçümler alınır ve bunların standartlar dâhilinde olması istenir. Göbek ve tavşanayağındaki aşınma durumlarına kumpasla bakılır (Şekil 5.9). Tolerans dışı ölçümler belirlenir ve bu ölçümler değerlendirilerek kalıcı bakım programı oluşturulur.



Şekil 5.9: Makasların boyutsal kontrol yerleri

5.3.3 Rayların Boyutsal Kontrolü

Raylarda boyutsal kontrol olarak aşınma ölçümleri ve ondülasyon ölçümü yapılmaktadır.

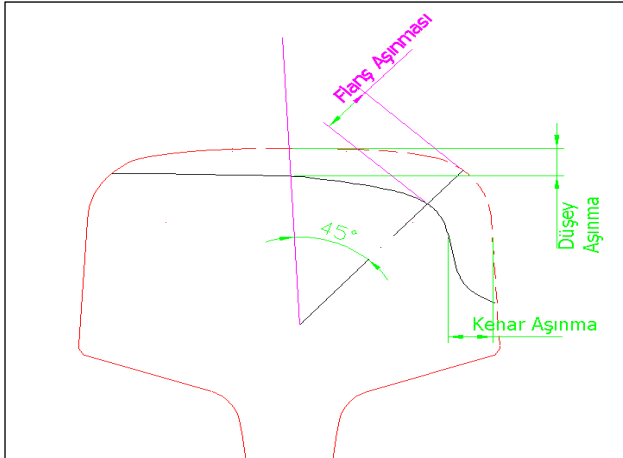
5.3.3.1 Aşınma ölçümleri

Kent içi raylı sistemlerde ray aşınma ölçümleri her yıl yapılmaktadır. Aşınma ölçümleri kurplarda ve aliymanlarda (Şekil 5.11)'de gösterilen yerler ölçülmektedir. Aşınma ölçüm sonuçlarına göre, rayların yıllık aşınma miktarları takip edilerek toleransların dışına çıkan bölgelerde raylar değiştirilmektedir.

Düşey aşınmalar, İngiliz Railway Group Standart'ına göre 19 mm Alman BoStrab şartnamesine göre 25 mm, Alman demiryollarına göre üzerinden geçen yüke göre düşey aşınmalar:

- Günlük yük 25.000 ton 12 mm
- Günlük yük 20.000-25.000 ton da 20 mm
- Günlük Yük Daha az ise 26 mm

İstanbul Ulaşım bakım manüeline göre düşey aşınması, 14 mm



Şekil 5.10: Ray aşınma şekilleri

(Şekil 5.10) de raydaki aşınma tipleri görülmektedir. Bu aşınma tiplerine göre; BoStrab'a göre yanıl aşınma, 20 mm olarak verilmiştir. (Tablo 5.1) de görüldüğü gibi

İngiliz Railway Group Standart'a göre; ray mantar genişliği 70 mm ve üzeri olan raylarda tablodan da görüldüğü gibi 80 km/sa altındaki hızlarda müsaade edilen ray mantarı genişliği 52 mm'dir. Bu da gösteriyor ki, İngiliz standardına göre maksimum yanal aşınma, 18 mm'dir. İstanbul Metrosu Bakım Manüeline göre kenar aşınması, 10 mm' dir.

Tablo 5.1: İngiliz standardına göre ray aşınmaları

ARAÇ HIZI KM/h	MİNİMUM MANTAR GENİŞLİĞİ (mm)
V<80	52 mm(mantarı aşınması %50 den fazla olamaz.)
80<V<125	61
V>125	64

Ray aşınma ölçümleri manüel aletler veya elektronik ölçüm aletleri ile ölçülmektedir.



Şekil 5.11: Manuel ray aşınma ölçüm aleti

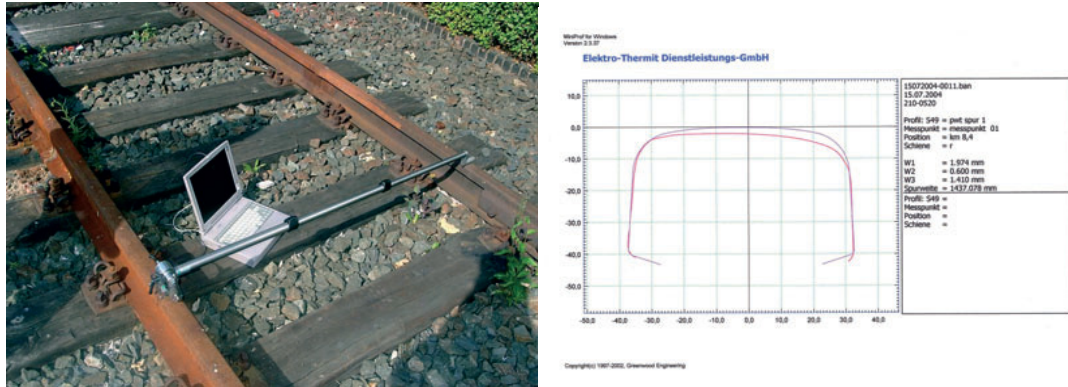
Manüel aletler ile rayın belirli noktalarda ölçüm alınabilmektedir. Alınan ölçümler değerleri ile sıfır rayın boyutları arasındaki fark aşınma miktarını vermektedir. Ray profilinin aşınma ölçümü yapıldığı anki durumunu göstermemektedir. Elektronik ölçüm aletleri rayın tam bir profilini çıkarmaktadır. Çıkan bu profil bilgisayara aktarılarak, sıfır rayın üstüne oturtulup aşınma farkı görsel olarak görülebilmektedir. Ayrıca bu bilgiler

dijital ortamda saklanarak, yıllar geçtikçe rayın durumu görsel olarak görülebilmektedir. Bu aletlere profil ölçüm alet denmektedir



Şekil 5.12: Lazerli profil ölçüm aleti

(Şekil 5.12)' de görülen profil ölçüm cihazları manuel aletlerden farklı olarak mantarın tamamını ölçmektedir. Lazer ölçüm yapan profil ölçüm aletleri bir lazer ray mantarına dik olarak mantarın çevresinde dolaşıp ray profilini dijital olarak çıkarır.



Şekil 5.13: Dokunmatik kılavuzlu profil ölçüm aleti

(Şekil 5.13) de görülen ray profil ölçüm aletleri ray mantarına dokunan bir kılavuz ile ray mantarına dik bir şekilde hareket ettirilir. Bu kılavuz hareket ettikçe, ray mantarı bilgisayar ekranına çizilir. Bu aletlerle manuel olarak mantar ölçüldüğü için hata yapma olasılığı çok fazladır.

5.3.3.2 Ondülasyon ölçümleri:

Genel olarak, ray üst yüzeyinde az ya da çok düzenli şekillerde oluşan düzlemsel bozukluklar olarak tanımlanan ondülasyonlar, demiryolu mühendislerinin en önemli problemidir. Tüm demiryollarında ve kentsel raylı sistemlerde, dingil yükünden bağımsız olarak, değişik hızlarda oluşabilmektedir. Dalga derinliği 0,05mm'ye ulaştığı zaman gürültüye ve 0,1mm'nin üstüne çıktığında ise, üstyapı bakım maliyetlerinin artmasına neden olur.[UIC International Eisenbahnverband 1979, ss.50-59]

Ondulasyonlar, genellikle dalga boylarına ve edenlerine göre sınıflandırılmaktadır. Ancak bu sınıflandırmalar demiryolu mühendisleri için pek fazla bir şey ifade etmez; çünkü onlar için önemli olan, aşınmanın ortadan kaldırılması ya da en azından azaltılması için ne yapılması gerektiğidir. Başlıca tespit edilen ondülasyon çeşitleri:

Tekerlek İzinden Oluklanma:

Bu tip ondülasyonların yaygın aşınma formlarından biridir. Dar kurplarda iç ray dizisi dış ray dizisine göre daha kısa olması nedeniyle, dış rayda yol alan tekerleğin iç raydaki tekerleğe göre uzun mesafeyi kat etmesi gerekmektedir. Aynı dingile rijit bir şekilde tespit edilmiş iki tekerleğin aldıkları mesafelerin aynı olması bir kayma sürtünmesine neden olur. Bu nedenle kurbun iç rayında orta dalga boylu ondülasyonlar oluşur. Tramvay raylarında dalga boyu 5cm dolayında olup, hafif metro raylarında ise dalga boyu 20 cm'ye kadar çıkabilmektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Tekerlek izinden oluklanma

Uğuldayan Ray:

Bu ondülasyonlara hızlı seyir yapan hatlarda rastlanmaktadır. Dalga uzunluklarının hız artışı ile hafif bir artış gösterdiği saptanmıştır. Mekanizma henüz tam olarak anlaşılammıştır; ancak en uygun açıklama olarak, lokomotif tekerleklerinin rayı sıyırarak kaymaları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu tip ondülasyonlara aliymanlarda ve büyük yarıçaplı kurbalarda her iki rayda rastlanmaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15: Uğuldayan ray ondülasyon

Ağır Yük Ondülasyonları:

Bu ondülasyonlar genellikle, büyük dingil yükleri sebebiyle yüksek zorlanmaya uğrayan, çoğunluğu aynı vagonlardan oluşan ve az sayıda lokomotiflerle çekilen trenlerin işlediği, ağır dingil trafikli yollarda oluşmaktadır. Dalga boyu 20-30cm arasındadır. Aşınmalar kaynak yerlerinde başlamakta ve çoğunlukla kaynağa yakın yerlerde bulunmaktadır.

Hafif Ray Ondülasyonları:

Bu ondülasyonlara esas olarak hafif raylarda seyrek olarak da 53 kg/m'lik raylarda rastlanır ve 60 kg/m'lik raylarda ise hiç rastlanmamaktadır. Dalga uzunlukları 50-

100cm arasındadır. Ray malzemesinde bir akmaya rastlanmamakta ama tüm ray kesitinde bir plastik şekil değiştirme olmaktadır.

Yuvarlanma Kontak Yorulması Ondülasyonları:

İlk defa Kanada yük trafiği hatlarında ortaya çıkmıştır. Aşınan bir rayın yuvarlanma yüzeyi çapaklanır ve sonra bu çapaklar koparak dalgalı aşınmanın vadilerini oluşturur. Dalga boyu 15-45cm arasındadır.

Çizmeli Travers Ondülasyonu:

Betona tespitli hatlarda zemin içindeki titreşimlerden kaçınmak amacıyla çok yumuşak ara mesnet levhalar üzerinde oturan traversli hattın dar yarıçaplı(genelde 400m'den küçük) kurbalarında rastlanmaktadır. Bunların dalga uzunlukları 4,5-6cm arasındadır. Mono blok traverslere göre twin(çift) bloklu hatlarda daha sık görülür.

Ondülasyona etki eden faktörleri de kısaca şöyle tanımlayabiliriz:

- Elektrifikasyonlu hatlarda trafiğinin homojenliği ve tren hızlarının düzenli olması,
- Araçların tahrik şekilleri, hız değişimleri ve bandajdaki aşınmalar,
- Altyapı durumu,
- Aynı büyüklükteki dingil yüklerine ve aynı çaptaki tekerleklere sahip olan bir trafik
- Dingil yükündeki artışlar ve tekerlek yarıçaplarındaki farklı aşınmalar,
- Pabuçlu-sabo frenli tekerlek bandajları

Ondülasyonlu raylarda trenlerin geçişleri esnasında hem yol üst yapısı hem de yuvarlanan elemanlar titreşimlerin oluşmasına neden olur. Aslında oluşan zararların ana sebebi de bu titreşimlerdir. Ondülasyonun başlıca zararları:

- Ray yüzeyindeki bozukluklar, kılcal çatlaklar büyür ve ray aşınmaları artar.
- Rayların sağlamlılığını negatif yönde etkileyen ek bir yorulma ortaya çıkar.
- Balastın ve altyapının zorlanması sonucu balastın ufalanmasına, işlevini yitirmesine neden olur.
- Ray-travers bağlantı elemanları gevşer.

- Elastik ray bağlantı elemanları zamanından önce tahrip olur.
- Taşıt elemanlarında ek bir yorulma faktörü oluşur.
- Taşıtların durumu kötüleşir.
- Yolcular ve demiryolu yakınında oturanlar için gürültü sorunu artar.
- Özellikle yeraltı demiryolu hatlarında titreşimler komşu yapıları etkiler.
- Lokomotifin çekim kuvveti için gerekli enerji artar. Yani ondülasyonlar enerji kayıplarına sebep olur.
- Ondülasyonun bu kadar zarar verdiği hatlarda bazı önlemlerin alınması gerekir.

Başlıca alınacak önlemler:

- Tekerlek-ray profilinin kontrolü ve taşlama ile düzeltilmesi: Dinamik kuvvetlerin azaltılması için en etkili olan ve çok sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Taşlama ile ray profilinin boyu ve yanal profili düzeltilir.
- Taşıtlarda düşey süspansiyonun daha yumuşak yapılması ve yaylandırılmamış kütlelerin azaltılması.
- Dingil ara uzaklığı küçük olan ve yönlendirilebilen bojilerin kullanılması.
- Tek motorlu bojilerden kaçınılması.
- Dingil yüklerinin azaltılması.
- Yolda daha yüksek yanal rijitlik sağlanması.
- Daha dar travers aralığı seçilmesi.
- Özellikle dar kurlarda($R < 400m$) çizmeli travers tipi yapıdan kaçınılması.
- Ray bağlantısının ara mesnetlerle elastikleştirilmesi.
- Sertleştirilmiş raylar kullanılması.
- Raylarda doğrultma ve genişleme nedeniyle oluşan alt gerilmelerin azaltılması.
- Aluminotermite kaynak porsiyonlarının ray sertliğine uygun seçilmesi.
- Yeni döşenen rayların taşlanması ve kaynak yerlerindeki eğrilikler ile pürüzlüklerin giderilmesi.
- Kurlarda ray iç yanağı ve budenlerin yağlanması.
- Ray üst yüzey çatlakların düzenli şekilde taşlanarak giderilmesi.
- Rayların temiz tutulması ve kuru yarıçaplarının artırılması. [Funke, 1978, s.22, ss.139-140]

Ondülasyonlar ölçülürken dalga boyu, dalga uzunluğu ve ondülasyon derinliği ölçülür. Manuel veya ondülasyon ölçüm aletleri ile ölçülebilir. Manüel ondülasyon ölçümünde bir metrelik bir mastar ondülasyonlu bölgede rayın üzerine konular, mastarın değdiği yerler metre ile ölçülerek yarı dalga boyu bulunur ve iki ile çarparak dalga boyu bulunmuş olur. Daha sonra elimize bir derinlik ölçen levha (sentil) ile ondülasyon derinliğini buluruz. Elektronik ondülasyon ölçüm aletinde ise, aleti ondülasyonlu bölgeye koyup dokunmatik kolunu alet boyunca hareket ettiririz ve daha sonra alet bütün değerleri bize verir. (Şekil 5.16)



Şekil 5.16: Ondülasyon ölçüm aleti

5.3.4 Ray Genleşme Derzi Boşluk Kontrolü Ve Yağlama

İki 3.ray arasındaki boşluğun yüzeylerinin temizliğine ve genleşme eklerinin çalışmasına engel olan herhangi bir yabancı cismin olup olmadığı görsel olarak kontrol edilir. Yabancı cisimler varsa temizlenir ve solvent ve benzeri maddelerle genleşme ek yerleri temizlenerek greslenir. Cebire lamalarının 3.rayları doğru şekilde yönlendirip yönlendirmediği görsel olarak kontrol edilir. Genleşme derzleri uçlar arasında yükseklik farkına bakılır; şayet iki uç arasında kot farkı varsa taşlama yapılarak düzeltilir. Genleşme derzleri arasındaki boşluk kontrol edilir ve maksimum 300 mm'de olmasına dikkat edilir.

5.3.5 Durdurucu Tampon Kontrol Ve Bakımı

Durdurucu tampon sürtünme elemanları ve ilave geciktiricilerden oluşur. Sürtünme elemanları tamponun gövde kısmındadır ve bunlar raya bağlanmıştır. İlave geciktiriciler ise, tampon gövdesinin arka kısmında bulunan zigzag şeklinde monte edilmiş yay düzeneğinden oluşur. Bakım yapılacağı esnada sürtünme elemanları ve geciktirici düzeneğin raya monte edilen tüm kısımları sökülmelidir. Tamponun monte edildiği ray kısmı, sökme işleminden sonra temizlenmeli ve tampondan sökülen vidalar ve sürtünmeyi sağlayan düzenekler temizlendikten sonra raya tekrar monte edilmelidir. Durdurucu tamponun ön kısmındaki kauçuğun hasar durumu görsel olarak kontrol edilmeli, hasar varsa yenisiyle değiştirilmelidir.

5.3.6 Ray Taşlama

Ray mantarında oluşan hataların motor tahrikli aşındırma taşlarıyla aşındırılarak düzeltilmesidir.

Ray taşlamasındaki amaç:

- Ray Profillerinin Sağlanması
- Ray Ömrünü Artırması
- Tekerlek Hareketini İyileştirmesi
- Bakım Masraflarını Azaltması
- Yakıt Tasarrufu
- Çevre Sorunlarını düzeltmesidir.

Başlıca taşlama çeşitleri:

- Koruyucu taşlama
- Önleyici Taşlama
- Düzeltici Taşlama
- Profil taşlaması
- Anti hadcheck taşlaması

Metalürjik araştırmalar sonucunda, optimum taşlama derinliği olarak 0,1mm'lik bir yükseklik ve yeni ray taşlama için 0,3mm'lik bir yükseklik bulunmuştur. Yani, ondülasyonları taşlamak için en az iki pas yapmak gerekir. Yeni raylar için en az 6 pas taşlama yapılmalıdır. [Erel , 1996, ss.6-7]

Ondülasyon dalga derinliği artıkça gerekli taşlama pas sayısı daha hızlı artmaktadır; yani taşlama işlemine dalga derinliği az iken yapmak daha ekonomik olmaktadır. Bu konuda, büyük dalga derinliklerinin üst yapıda telafisi mümkün olmayan zararlara yol açabileceği göz önünde tutulmalıdır. Sonuç olarak, ondülasyon oluşumunun sıkı bir programla izlenmesinin ve rayların zamanında taşlanmasının hat bakımı açısından çok önemli avantajlar sağlayacağı açıktır.

Tablo 5.2: Taşlama sonrası kalan ondülasyon toleransları

Ülke	Kalan miktar max.(mm)	Dalga boyu(mm)
Almanya	0.02	200
	0.03	3000
Banverket	0.02	30-80
	0.02	80-300
	0.3	300-1000
	0.3	1000-3000
İngiltere	0.01	25-90
	0.025	90-450
	0.05	450-750
	0.1	750-1050

Kaynak: Öztürk-Arlı, 2009, s.179

Boyuna profil toleransları dalga boyuna göre taşlama sonrası kalan ondülasyon derinliğine göre (Tablo 5.2) de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.4: Kanada Ulusal Araştırma Enstitüsü taşlama periyotları

Kanada Kabulleri		Önleyici Taşlama	Bakım Taşlaması	Düzeltilici Taşlama
Tekrar arahęı(MGT)	Keskin karp	10-18	20-40	40-60
	R>2000m	20-30	60-80	60-120
Pas sayısı veya sıyırılması metal	1 pasta öngörülen	1 pas 0,001 0,002mm	1~5 pas hataya bağlı	3 ~ 9 pas hataya bağlı

Kaynak : Candemir , www.e-kütüphane.ime.org. tr/pof/3215.pof, Erişim Ocak 2011

Yorulma belirtilerinin ölçülmesi ile yapılan taşlama planlaması pratik olmadığı için taşlama periyodik olarak yapılmalıdır (Tablo 5.3). Kent içi raylı sistemlerde en az 2 yılda bir koruyucu taşlama yapılmalıdır. Yeni açılan tüm hatlarda rayın taşınması esnasında veya üretimden kaynaklanan ray hatalarını ve ray döneşmesi esnasında çarpan balast tanelerinin kusurlarını temizlemek için mutlaka koruyucu taşlama yapılmalıdır.

5.3.7 Makasların Yağlaması

Makas yağlama işleminde, makas kayıcı yatakları temizlenerek gres ile yağlanır. Makas dil rayının hareket ettiği yataklara makas kayıcı yatakları denir. Makas kayıcı yatakları ile dil rayının temasının kusursuz olması gerekir, temas düzgün değilse veya kayıcı yatak ile dil rayı tabanı arasındaki mesafe toleranslar dışında ise kayıcı yataklar altına Şia takviyesi yapılarak düzgün temas sağlanır.

6. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE YAPILAN DÜZELTİCİ BAKIMLAR

Kent içi demiryollarında koruyucu bakımlar sonrasında tespit edilen arızaların giderilmesi ile zamanla çıkabilecek daha büyük arızaların önüne geçilmesi mümkündür. Kent içi demiryollarında düzeltici bakımının önemini şöyle sıralayabiliriz:

- Bakım ve onarım için ayrılan zamanın kısıtlı olması,
- Kent içi demiryollarının bakım ve işletmesi belediyelerin elinde olması nedeniyle maddi olanakların çok fazla olmaması,
- Hatları bakımlardan dolayı kapatmanın çokta mümkün olmaması,
- Hat içerisindeki yapılacak bakımlar için yeterli alanın olmaması,
- Gündüz saatlerinde bakım ve onarım çalışmaları yapma imkânının az olması.

Bu sebeple kent içi raylı sistemlerde düzeltici ve önleyici bakımların zamanında yapılması gerekmektedir. Düzeltici ve periyodik bakımların zamanında yapılması ile

- Hattın ömrünü uzatmış oluruz.
- Konforu arttırırız.
- Hız sınırlamalarının önüne geçerek servis hızının arttırırız
- Tren seferlerin daha güvenli bir şekilde yapılmasını sağlarız.
- Demiryolundaki bozulmalardan dolayı diğer sistemlerin etkilerini azaltırız.

Bu çalışmalarının temel ilkesi; ölçüm sistemlerinden elde edilen kontrol verileri, görsel gözlemler ve finansal-ekonomik verilerle hattın bölgesel koşullarını da dikkate alarak hazırlanacak programlara dayanır.

6.1 RAY BAĞLANTI ELEMANLARININ DEĞİŞTİRİLMESİ

Zamanla yük etkisi altında tirfon ve bulonların dişleri bozulabilir. Korozyon ve sürekli olan yük etkisi tirfon, bulon, rondelâ ve klips gibi bağlantı malzemelerinin yorulmasına

ve kırılmasına neden olur. Özellikle endüstriyel alanlarda korozyon normalden 4 kat daha fazla olmakta ve bağlantı malzemelerinde önemli kayıplara neden olmaktadır. Bağlantı malzemelerinin ömrü en az 35 yıl olarak kabul edilir ve en az hattın servis ömrü kadar olması istenir.

Cebireli hatlarda yüksek sıcaklıklarda cebirelerin eğilmesi veya düşüklük bulunan contada, cebirenin kırılması mümkündür. Cebirenin ray gövdesine tam oturmaması nedeniyle tekerlek budenlerinin ray iç kısmındaki cebireye sürtmesi ve aşındırması mümkündür.

Bağlantı elemanlarının işlevlerini yerine getirmesi üstyapı açısından çok önemlidir. Bağlantı elemanların laçkalaşmış olması üstyapıda meydana getirdiği sorunlar;

- Ray altı seletlerinin gevşek durmasına ve zamanla travers üzerinden kaymasına sebep olur.
- Teker ray etkileşimi sonucu tekerden ray vasıtasıyla travers üzerine gelen yükün düzgün yayılı yük şeklinde dağılmamasına,
- Traverslerde ezilmelere, çatlaklara ve nihayetinde kırılmalara,
- Ray sabitlenmediğinden dolayı yanal hareketler artar ve dolayısıyla tironlarda kırılmalar ve eğilmelerin olmasına,
- Tiron deliklerinin laçkalaşmasına,
- Ekartman ayarının bozulmasına,
- Raylarda boyuna doğru yürümelere,
- Dresaj bozulmalarına,
- Üstyapı malzemelerinin kısa sürede bozulmasına,
- Yapılan diğer bakımların kısa ömürlü olmasına neden olur.

Beton traverslerde travers üzerindeki dübellerin hasarlı olması veya dübellerin dışlarının görevini yerine getirememesi ve tiron dışlarının hasar görmesi sonucu tironun işlevini yerine getirememesinden kaynaklanan bağlantı elemanı arızaları görülmektedir. Dübelde problem olmaması durumunda, arıza tironun değiştirilmesi ile giderilebilir.

Dübel hasarlı ise; hasarlı olan dübel, (Şekil 6.1)'de gösterilen dübel delme makinesi kullanılarak, yenisi ile değiştirilir Dübel değiştirildikten sonra tirfon takılıp minimum tork değerinde sıkılır.[Demirdağ, 2007, s.27]



Şekil 6.1: Dübel delme makinesi

Ahşap traverslerde, ray bağlantı elemanı kusuru olarak tirfonların laçkalaşması görülmektedir. Ahşap traverslerde tirfon deliklerinin laçkalaşma sebepleri:

- Yapım aşamasında tirfonların yeterince sıkılmaması,
- Ray altı pedlerinin ezilmesi veya yerinden oynaması,
- Çelik seletlerin zamanla üzerinde geçen yüke bağlı olarak traverse gömülmesi.

Tirfon deliklerinin bozulması, tirfonların, pul veya rondelâların zamanla paslanıp mukavemetini kaybetmesi ile kırılmasından kaynaklanmaktadır. Rayın ahşap traverse oturduğu bölgede traverste herhangi bir bozulma olmamış veya tirfon deliğinde laçkalaşma olmamışsa, bozulan seletler değiştirildikten sonra tirfonlar sıkılarak arızalar giderilir. Ahşap traverslerde tirfon dönmeye karşı mukavemet göstermiyor ve devamlı dönüyor ise, traversteki tirfon deliği laçkalaşmıştır. Bu durumda deliğe kama çakılarak, yeniden sıkma işlemi yapılır. Şayet birden fazla tirfon deliği bozulmuşsa, bu durumda travers delikler özel burgu uçları ile temizlenmeli, isfine çakılarak tıkanmalı ve üzerine yeniden delik açılarak tirfonlar sıkılmalıdır. [Demirdağ, 2007, s. 27]

6.2 RAY BAKIMLARI:

Demiryolunun esas unsuru olan raylar üstlendikleri görevi gereği tekerlekten gelen kuvvetleri çok küçük bir alanda karşılamak zorundadır. Bu sebeple ray yüzeyinde yüksek gerilmeler meydana gelir. Demiryolu üst yapısının en çok zorlanmaya ve bozulmaya uğrayan kısmıdır.

6.2.1 Ray Kusurlarının Tamiri

Ray kusurlarını ray mantarında, gövdesinde ve taban kısmında oluşan kusurlar şeklinde ayırmak mümkündür. Ray kusurları ray üretiminden kaynaklanan ve rayın yorulmasına sebep olan iç boşluklar şeklinde olabileceği gibi, işletme altında çalışan rayların zamanla mekanik yapılarının değişmesinden de kaynaklanmaktadır. Bazı ray kusurlarına bakım aşamasında müdahale edilip düzeltilir. Özellikle rayın üretiminden kaynaklanan kusurlarda düzeltme yapılamaz. Bu durumlarda bozuk ray değiştirilmek zorundadır. Ray mantarı üzerindeki karıncalanmalar, tünel ortamlarında tünelden gelen su sızıntılarının ray üzerine damlamasından veya hemzeminde tren tekeri ile ray arasında yabancı cisimler girmesiyle oluşur. Açık hatlarda oluşan karıncalanmalar ise, özellikle işletmede olmayan raylar üzerinde yağmur gibi etkenlerden meydana gelir.

Karıncalanmaların önlenmesi için tünel ortamında ray üzerine gelen su sızıntılarını kesmek veya ray üzerine gelmesini engellemektir. Karıncalanma meydana gelen raylar taşlanarak karıncalanmalar giderilir.

Ondülasyon ray üzerinde tekerin bastığı yüzeyde sinüs eğrisi şeklinde olan dalgalanmalardır. Ondülasyonlar, kent içi demiryollarında raylarda en sık görülen kusurdur.

Ondülasyonlar dalga boylarına göre değişik şekillerde oluşmaktadır. UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği) tarafından hazırlanan ray hatları katalogunda,

- Dalgalı aşınmalar, 3-6 cm boylarındaki kısa dalgalar (2201 No'lu hata)
- Dalga boyu 6-30 cm boyundaki uzun dalgalar (2202 No'lu hata) olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 6.2: Kısa ve uzun dalgalı ondülasyon

Alias, rayların dalgalı aşınmasını, dış görünüşlerine ve oluşum biçimlerine göre 3 farklı sınıfta incelemektedir.

- 3 ile 6 cm uzunluğundaki kısa dalgalı ondülasyonlar
- 15-30 cm uzunluğundaki orta dalgalı ondülasyonlar
- 50-200 cm uzunluğundaki uzun dalgalı ondülasyonlar diye sınıflandırmaktadır.

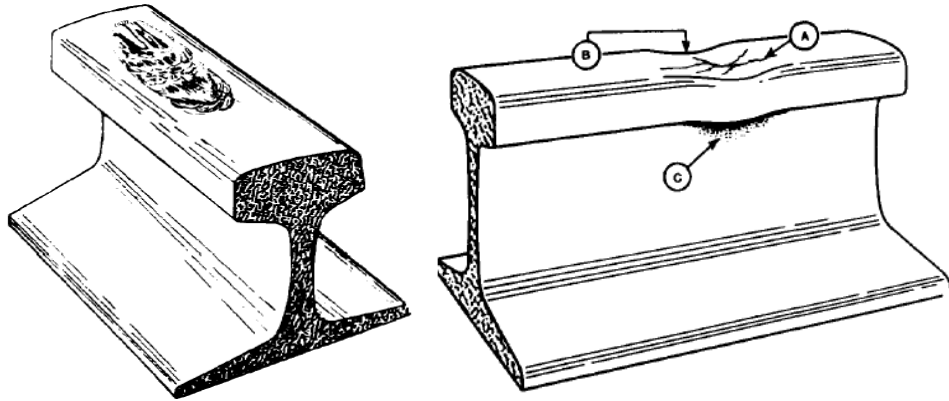
Stuart Grassie, dalga boyuna göre sınıflandırmaların demiryolu mühendislerine çoğu zaman yararlı olmadığını, onlar için aşınmanın ortadan kaldırılması ya da en azından azaltılması için ne yapılması gerektiğinin önemli olduğunu belirterek, bu aşınmaları oluşum mekanizmalarına göre sınıflandırmaktadır. Grassie tarafından önerilen sınıflandırmaya göre 6 değişik dalgalı aşınma tipi tarif edilmiştir.

- Ağır yük,
- Hafif yük,
- Yuvarlanma kontak yorulması
- Çizmeli travers,
- İz,
- Uğuldayan raylar.

Dalgalı aşınmanın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için en iyi çözüm, rayların taşlanması ve ray mantarı profilinin düzeltilmesidir.

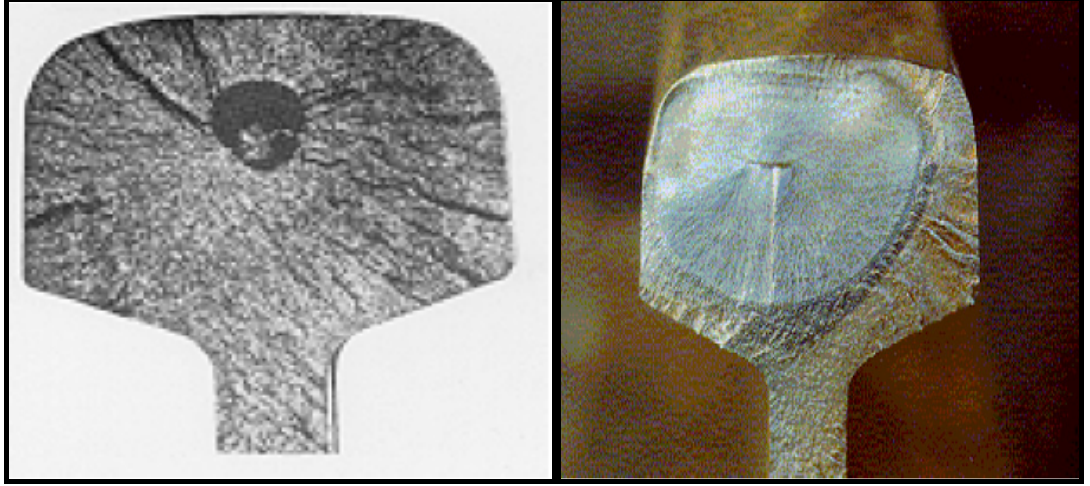
Ray mantarı ve kaynaklardaki eziklikler; ray mantarındaki eziklikler aracın patinaj veya apleti yapması sonucu oluşan kusurdur (Şekil 6.3). Bu kusurlar rayın taşlanması ile giderilebilir. Ray kaynaklarındaki eziklikler ise, kaynakların doğru bir şekilde yapılmamasından ve yanlış kaynak porsiyonlarının kullanılmasından kaynaklanır.

Sert rayların birleştirme kaynaklarında normal sertlikteki kaynakla yapılması en büyük kusurlardan biridir. Bu durumda kaynak raya oranla daha fazla aşındığından kaynak bölgelerinde çukurlaşma göze batmaktadır. Tren geçişlerinde sürekli olarak vuruntu olduğu için bu noktaya gelen noktasal yük daima fazla olur. Bu durum hattaki ondülasyonu arttırdığı gibi, raylarda kırılmalara ve hattaki diğer üst yapı elemanlarının yıpranmasına sebep olur. Böyle bir yanlış uygulamada, geçici olarak kaynak bölgesi kaldırılıp aynı seviyeye getirilir. Eğer oyulma büyükse mantarın aşınmaya maruz kalan kısmı dolgu kaynağı yapılarak yükseltilir.



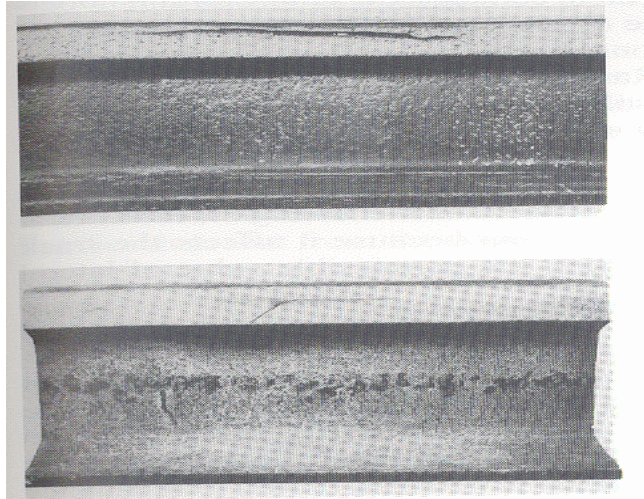
Şekil 6.3: Ray mantarında oluşan oyulmalar

Ray mantarında oluşan oval boşluklar ray üretimi esnasında oluşan bir kusurdur. Bu boşluk zamanla ray üzerine ulaşır ve rayın kırılmasına sebep oluşturur. Dikkat edilmemesi durumunda çok ciddi sıkıntılara sebep olur. Bu hata ultrasonik cihazlarla görüldüğü gibi ray yüzeyine ulaştığında gözle de görülebilir (Şekil 6.4). Bu gibi durumlarda ihatalı ray bölgesi kesilerek yenisi ile değiştirilir.



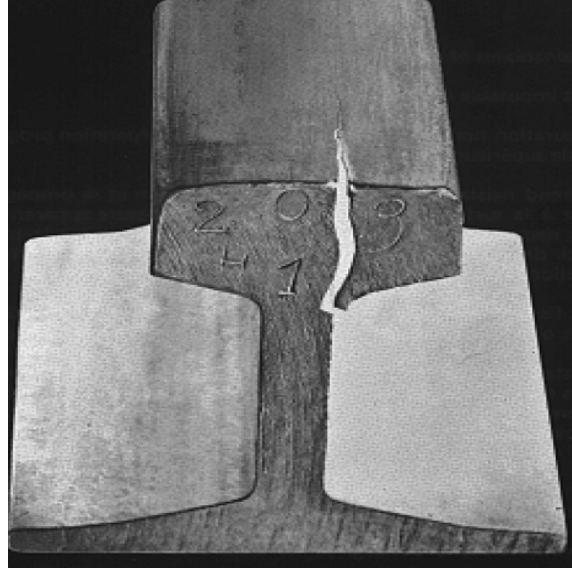
Şekil 6.4 : Raylardaki oval boşluklar

Ray mantarında enine veya yatay çatlakların olması gibi hatalar üretim aşamasında olur (Şekil 6.5). Bu gibi durumlarda çatlaklar taş motoru ile açılarak rayın sertliğine göre aynı sertlikte kaynak kullanılarak dolgu kaynağı yapılır. Yatay çatlakla, ray gövdesine kadar inmiş veya enine çatlaklar ray gövdesinde ise ilgili bölgeye kupon ray atılarak raylar değiştirilir. Ana hat üzerine en az 6 m'lik kupon ray atılması gerekirken, makas bölgesi gibi çalışma alanının kısıtlı olduğu bölgelere kupon ray en az 3 mesnet noktasına (traverse) oturacak şekilde atılmalıdır. (yaklaşık 2m civarı).



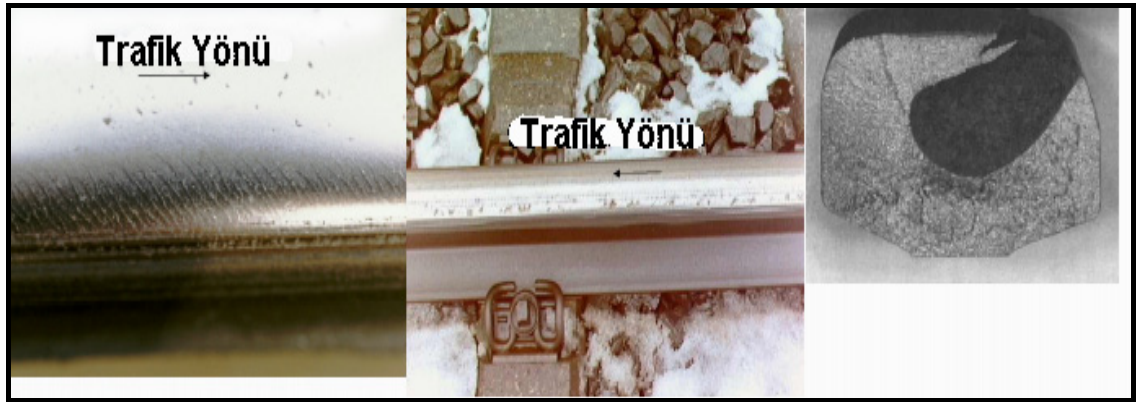
Şekil 6.5: Mantarda yatay çatlaklar

Boyuna düşey çatlaklarda, düşey çatlak ray mantarına ulaşarak rayı ikiye ayırır (Şekil 6.6). Ray üretiminden kaynaklanır, ultrasonik muayene yöntemleri ile fark edilir. Hatalı ray fark edildiği zaman hemen kupon rayla (minimum 6 m raylarla) değiştirilmelidir.



Şekil 6.6: Mantarda çatlağı

Yuvarlanma temas yüzeyinin yorulması; rayın yuvarlanma yüzeyinin derece derece ayrışmasıdır (Şekil 6.6). Trafik yükü altında malzemenin ray mantarının yorulmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle kent içi raylı sistemlerde, makas bölgelerinde görülmektedir. Bakım kontrollerinde gözlem altında tutularak program dahilinde ray değiştirilir.



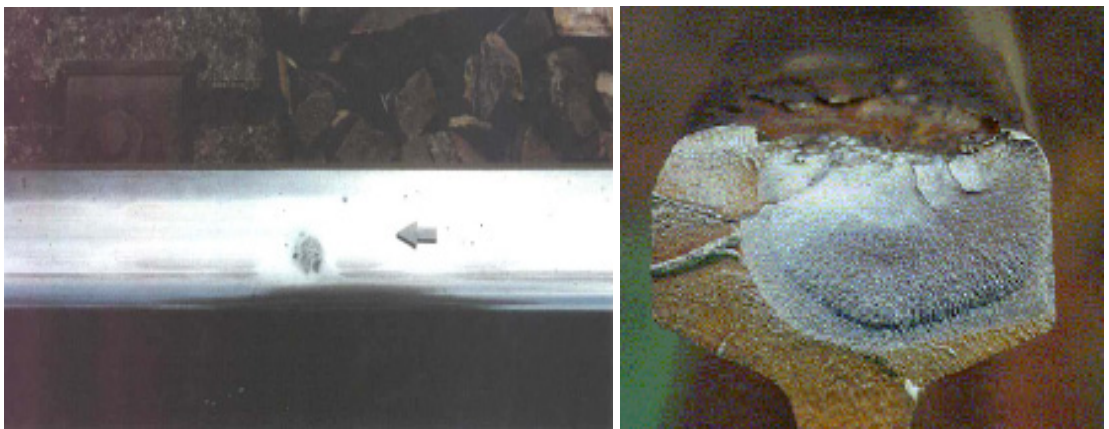
Şekil 6.7: Temas yüzeyinin yorulması

Raylarda kabuklanma genellikle kurplardaki dış raylarda meydana gelir ve bu raylar mantarının iç kısmının köşesinde ilk zamanlarda dağınık halde uzun koyu noktalar belirir. Bu noktalar, metalin ayrışmasının ilk belirtileridir. Daha sonra mantar yan yüzeyinde açılmalar ve çatlaklar oluşarak kendini göstermeye başlar (Şekil 6.8). Bu hatalar, ultrasonik muayene cihazlar ve görsel kontroller sonucu fark edilebilir.



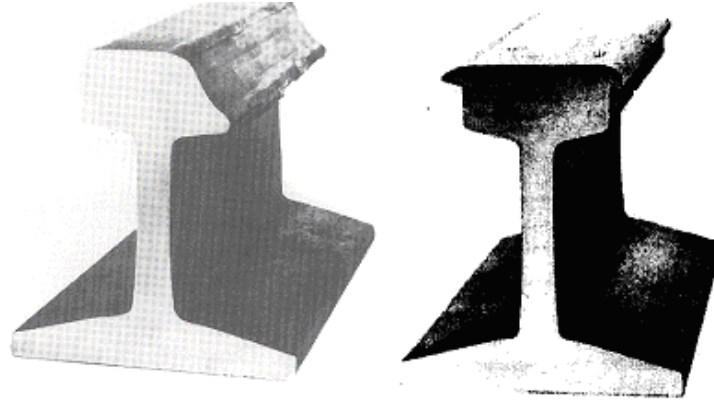
Şekil 6.8 : Kabuklanmalar

Ray mantarında da tabakalaşmalar görülmektedir. Özellikle teker yuvarlanma yüzeyinin ray mantarına temas ettiği yüzeylerde rayda kabuklanmalara neden olup ray mantarında siyah benekler şeklinde kendini gösterir (Şekil 6.9). Ray mantarındaki tabakalaşmalar raylarda enine çatlakların oluşmasına neden olur.



Şekil 6.9 : Ray Mantarındaki kabuklanmalar

Rayın yanal ve düşey aşınmaları özellikler yarıçapı küçük olan kurplar da ve korozyona uğrayan kesimlerde ölçülür (Şekil 6.10). Rayın düşey ve yanal aşınması bir sürmeli kumpas vasıtasıyla ölçülebileceği gibi özel ray aşınma ölçüm cihazlarıyla da ölçülebilir (Şekil 6.11). S49 raylar için rayın maksimum düşey aşınması 14 mm'nin, maksimum yanal aşınması 10 mm'nin altında olmalıdır. Rayın toplam maksimum aşınması ise düşey aşınma + 1/2 ray mantarı yanal aşınması civarı kadar, yani 20 mm'nin altında olması gerekir. Aşınma durumu maksimuma ulaşan raylar derhal değiştirilmelidir.



Şekil 6.10 : Yanal ve düşey aşınma

Rayların korozyona uğraması özellikle ıslak kesimlerde olur. Korozyona uğrayan rayların özellikle taban kesimlerinde küçülme görülür. Taban kesitleri küçülen raylar değiştirilerek sorun giderilebilir.

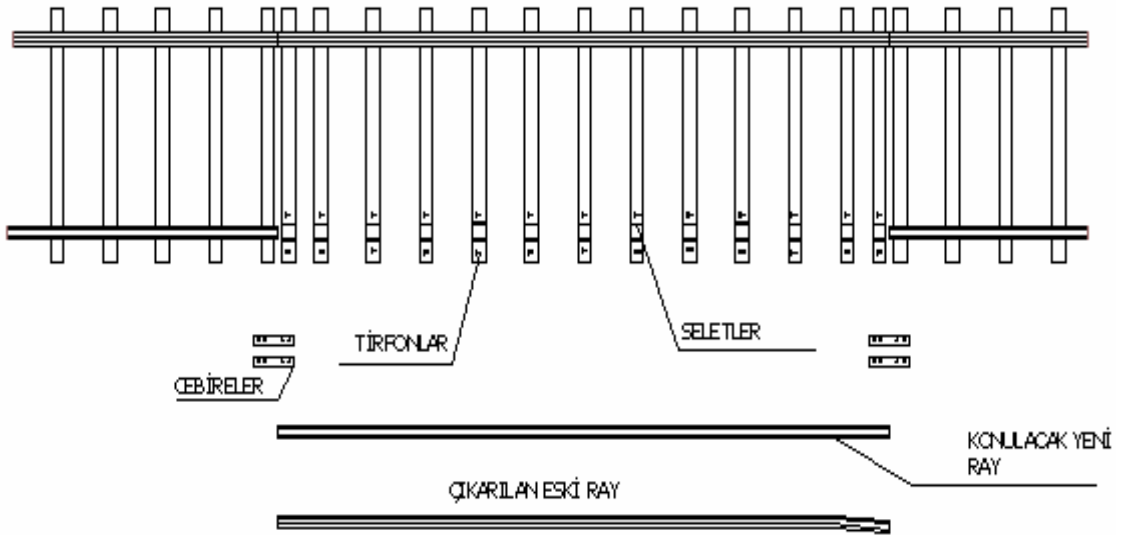


Şekil 6.11: Ray aşınma ölçüm aleti

6.2.2 Ray Değişirme

Bir demiryolu hattında ray değişimi yapılması için,

- Aşınma toleranslarını geçmiş olması gerekmektedir.
- Ray çatlaklarının derinine inmesi,
- Rayda kırıklar oluşmalıdır.
- Ekonomik ömrünü tamamlamış olmalıdır.
- Raylar korozyona uğramış olması gerekmektedir.
- Betona tespitli ve gömülü hatlarda ray tabanının aşınması,
- Conta bölgelerinde kaynak tamirati yapılan bölgelerinin enine uzayarak kaynak yapılamaz hale gelmesi gibi unsurlardan birinin veya birkaçının oluşması gerekmektedir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Ray değişim işlemi krokisi

Ray Değişiminin Aşamaları

- S49 rayın yanal aşınması veya düşey aşınması 15mm'ye ulaşırsa, tam rayı değiştirilir veya yanal ve düşey aşınma toplamı 24mm ulaşırsa rayı değiştirilir.
- Tramvay hattında oluklu rayın yanal veya düşey aşınması 16mm ye ulaşırsa veya yanal ve düşey aşınma toplamı 25mm ye ulaşırsa rayı değiştirilir.
- Rayın aşınan rampası ile ray eksenini arasındaki açı 33°ye ulaşırsa rayı değiştirilir.

- Ray yuvarlanma yüzeyinde ray boyunca kabuklanma olursa, rayı değiştirilir.

Ray değişiminin aşamaları:

- Değiştirilecek rayın, bağlantı elemanları tirfonöz yardımı ile çıkartılır.
- Değiştirme bölgesi saptandıktan sonra ray kesme motoru ile veya oksijen şaloma şablon kullanarak düzgün bir şekilde ray kesilir.
- Eski rayı hattan çıkartılır ve yeni rayı aynı yöntemle yerine yerleştirilip bağlantı elemanları sıkılır.
- Eğer kaynak yapmaya vakit yoksa değiştirilen cebire ile bağlanır.

6.2.3 Ray Kırık ve Çatlakların Tamiri

Rayda zamanla kırılmaya yol açabilecek, gözle veya çeşitli muayene yöntemleri ile tespit edilen süreksizliklere ray çatlakları denir. Eğer bir rayda çatlak var ise ve taşlama ile giderilemiyorsa, bu rayda kırık olduğu kabul edilerek raya en kısa zamanda müdahale edilir. Ray kırıklarının nedenleri;

- Soğuk havalarda ray üzerinde apletli vagon veya makine seyretmesi,
- Rayda imalat hatası olması, ray kaynağının hatalı yapılması,
- Ray bağlantı malzemelerinin eksik, kırık veya laçka olması,
- Traverslerin kırık, ekerli veya aralıklarının fazla olması,
- Balastın kirli, topraklı veya az olması,
- Yolda tasman gibi düşey (şakuli) düşüklerin olması,
- Platformun don ve çamurlu olması,
- Dingil basıncından fazla yük yüklenmesi veya hatalı yükleme yapılması,
- Trenlerin normalin üstünde hız yapması,
- Kurplardaki deverin fazla veya az olması,
- Raydaki aşınmanın fazla, malzemenin yorgun olması,
- Patinaj sonucu rayda oyulmaların (apleti) meydana gelmesi. [MEGEP , 2008, s.18]

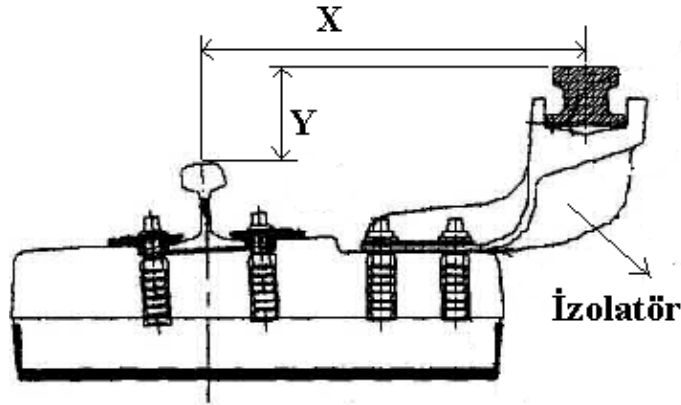
Ray kırıkları eğer ray mantarını geçmemişse ray üzerine uygun elektrotla dolgu yapılır. Eğer gövdede ise, ray kesilerek yeni ray konulur ve uygun bir birleştirme kaynağı ile tekrar kaynak yapılır. Kırık veya çatlak kaynak bölgesinde ve ray üzerinde oyulma

şeklinde ise, bozuk bölge temizlenerek uygun elektrotla dolgu yapılır. Kusur cebireli bölgede ise, ya ray kesilerek değiştirilir veya conta başındaki bozuk kısım temizlenerek kaynak dolgu yapılır.

6.2.4 Üçüncü Ray Düzeltici Bakım İşleri

Üçüncü Ray da düzeltici bakım işlemleri olarak; üçüncü rayın düşey ve yatay pozisyonunun toleranslar dışında çıkması, genleşme derzi boşluklarının toleransın üstünde veya altında olması, üçüncü ray besleme bağlantı kablolarında oksitlenmeden dolayı kopmaların olması ve üçüncü ray ekipmanlarının (kapak, izolator, soket profil vb. gibi) kırılması veya işlevlerini yerine getirememesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

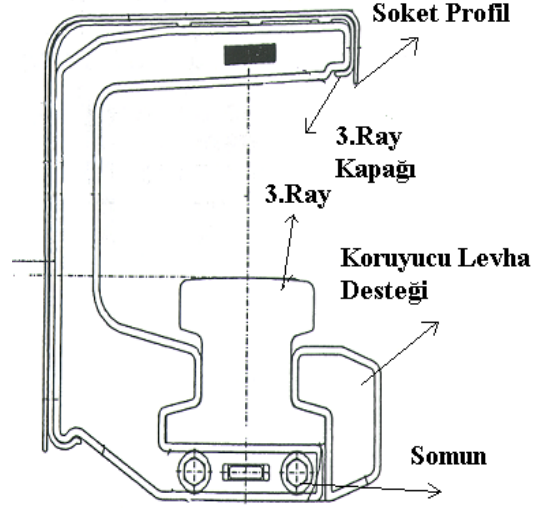
“x” mesafesini düzeltmek için krikoyla üçüncü ray kaldırılıp, izolatorün ileri geri hareket mesafesi kullanılarak üçüncü ray uygun konuma getirilir.”y” mesafesini düzeltmek için; üçüncü ray yüksekse üst kısımdan üçüncü ray taşlanır, üçüncü ray düşükse, üçüncü rayı krikoyla kaldırılıp, izolator yerinden sökülerek, izolatorün altına milimetrik şimler bırakılarak düşey mesafe ayarlanır. (Şekil 6.13)



Şekil 6.13 : Üçüncü ray pozisyon değerleri

Genleşme derzlerinin boşluk ayarlarını düzeltmenin tek yolu üçüncü rayın serbest olan en yakın ucundan mesafe fazla ise üçüncü rayın iteklenmesi, mesafe az ise üçüncü rayın çekilmesi gerekmektedir.

Üçüncü ray ekipmanlarının kırılması veya işlevlerini yerine getirememesi durumunda bunların değişmesi gerekmektedir. Koruyucu kapaklar 2-6 m arasında değiştiği için 6 m olan koruyucu kapakların değiştirilmesi 2 kişi tarafından yapılmalıdır. üçüncü ray koruyucu kapağını çıkarmak için önce her iki uçta kapakları birleştiren soket profiller çıkarılır ve kapağın arkasına geçilerek, 2 kişi aynı anda kapağın içine girdiği oluktan kapağın uç kısmını çekerek çıkarırlar. üçüncü ray koruyucu levha desteği de aynı şekilde kapak çıkarıldıktan sonra koruyucu levha desteklerinin somunları çıkarılarak koruyucu levha desteği üçüncü raydan çıkarılıp değiştirilir. İzolatörlerin değiştirilmesi ise bu iki işlemin tekrarlanmasından, travers tirfonlarının da çıkarılmasından sonra gerçekleştirilir.



Şekil 6.14: Üçüncü ray koruyucu kapakları ve koruyucu levha destekleri

6.2.5 Ray Taşlama

Ray mantarı üzerinde tekerin bastığı yüzeyde oluşan hataların giderilmesi amacıyla yapılan işleme taşlama denir. Günümüzde demiryollarında taşlama çalışması elle tek taşlı makinelerle yapıldığı gibi daha büyük ve komplike makinelerle de yapılmaktadır.

- Hattın tamamında rayların kontrolü yapılır.
- Ondülasyon ölçülerek kontrol edilir. (Şekil 6.15)
- Kontrol sonucu çıkan değerler listelenir.

- Standartlara göre belirlenen ondülasyon derinliğine göre taşlama programı çıkartılır.



Şekil 6.15: Taşlama yapılacak hat

Ray taşlama yapmanın ray ömrüne, hat ömrüne, ray teker ilişkisinin daha sağlıklı olmasını sağlayarak araç bakım ve onarım masraflarının düşmesine, gürültü düzeyinin düşmesine, enerji tasarrufuna, yol üstyapı malzemelerinin daha az hasar görmesine çok büyük katkısı vardır. taşlama amacı rayın profilini koruyarak ray teker ilişkisinin düzgünlüğünü sağlamaktır (Şekil 6.16). Başlıca taşlama tiplerini; önleyici taşlama, koruyucu taşlama, düzeltici taşlama, profilendirme taşlaması olarak sınıflandırabiliriz



Şekil 6.16: Profil taşlama sonrası ray mantarının durumu

6.3 RAY KAYNAK BAKIMLARI

Raylarda kullanılan kaynaklarını; kullanım yerleri, amaçları ve tekniklerine göre sınıflandırabiliriz. Başlıca ray kaynakları birleştirme kaynakları; thermit yakma alın kaynağı, gaz basınçlı kaynaklar, elektrikli ark kaynağıdır. Dolgu kaynakları özlü tel, gaz basınç kaynağı, elektrot kaynağı, tozaltı kaynağıdır.

6.3.1 Aluminotermit Kaynak

Alüminotermit kaynağı birbirine kaynak yapılacak iki ray parçasının, termit adı verilen karışım yardımıyla bir pota içerisinde ergiyik hale getirilmesi, ergiyen metalin birleştirilecek parçalar arasındaki boşluğa dökülmesi ve katılaştırılması yoluyla birleştirilmesi prensibine dayanır.

Alüminotermit kaynağı aslında bir döküm işlemidir. Demiroksit ve ince taneli alüminyumdan oluşan karışım, noktasal olarak ateşlendiğinde 1200 °C sıcaklığa ulaşır. Bu sıcaklıkta karışım içerisinde egzotermik (ısı veren) bir tepkime başlar ve sıcaklık 3000 °C ye kadar yükselir. Tepkime sonucunda ergimiş demir elde edilir.

Kullanılan malzeme tamamıyla taşınabilir ve iş herhangi bir harici güç kaynağı kullanılmaksızın yapılabilir.

Bir çok aluminotermit kaynağı bağlantı prosesi olmasına rağmen seçilen proses, kısa bir ön ısıtma ile yapılan bir uygulamadır. Kaynak, minimum çalışma zamanı gerektirir ve güvenilir sonuçlara sebep olacak ön ısıtmada operatör bağımlılığı yoktur.

Termit kaynağını etkileyen parametreler ön ısıtma sıcaklığı, ön ısıtma süresi, kaynak boşluğu, porsiyonun kimyasal yapısı, soğuma süresidir.

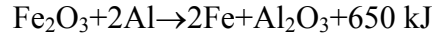
İyi bir kaynak kalitesi elde etmek için kaynaktan önce conta bölgesi kontrol edilmeli, geometrik ve fiziksel bozukluklar giderilmelidir. Raylarda ve kaynaklarda görülen hatalar süreçlerine bağlı olarak üç aşamada oluşabilir.

Üretim Hataları : Rayın imalatı sırasında oluşabilecek süreksizliklerdir. Gaz boşlukları, laminasyon, katlanma (lap), çekinti boşluğu, aşırı dövme, segragasyon, kalıntı (enklüzyon) ve çatlak olası süreksizlikler olarak ortaya çıkabilir. Bir diğer olasılık cebire bağlantılarını sağlamak üzere ray gövdesinde açılan deliklerin kenarlarında oluşabilecek çatlaklardır.

Kaynak Hataları; gaz ve cüruf boşlukları, yan duvarlarda kaynama eksikliği, çekinti boşlukları ve çatlaklar alüminothermit kaynağı sırasında oluşabilecek süreksizliklerdir. İşletme Hataları: İşletme sırasında oluşan süreksizliklerdir. Ancak bu oluşumun başlangıcı çoğu kez üretim ve alüminothermit kaynağı sırasında oluşan süreksizliklerden kaynaklanır. Özellikle çatlak olarak ortaya çıkacak bu süreksizliklere kaynağın durumu, ray gerilimlerinin alınmaması ve işletme sırasında rayın dinamik yüklere maruz kalması neden olabilir. Söz konusu çatlaklar genellikle mantar, mantar gövde geçiş bölgelerinde ve tabanda oluşur. Ayrıca cebire bağlantı deliklerinin kenarlarında ortaya çıkabilir. Sözü edilen tüm bu süreksizlikler ultrasonik yöntemle belirlenebilir. Ayrıca kaynak sonrası ve özellikle işletme sırasında rayların planlı bakımlarında manyetik parçacık yöntemi ile yüzey çatlakları tespit edilebilir.

Egzotermik reaksiyonlar, yüksek sıcaklıkta metal oksitler ile alüminyum metali veya alaşımları (AlCa veya AlSi) arasında oluşan egzotermik reaksiyonlardır. Dışarıdan enerji verilmeksizin yüksek ergime sıcaklığına sahip metal veya alaşımların üretiminde (W veya FeW, Mo veya FeMo, Ti veya FeTi v.b.) yaygın olarak kullanılan alüminotermite yöntemde redükleyici etkiye sahip metal veya metal alaşımları metal oksitler ile (TiO_2 , B_2O_3) reaksiyona sokularak yüksek sıcaklığa ulaşılır. Bu esnada aktif elementin tam oksidasyonu ile redüklenen metalin ayrışması ile birlikte akışkan bir cüruf oluşur.

Termit kütlesi yanarken, $3000^{\circ}C$ sıcaklık meydana gelir ve bu ısı, kaynak yerini ısıtmaya yarar; yani termit demiri ve cüruf kaynak yerinden akıtılarak burası kaynak sıcaklığına kadar ısıtılır ve preslenerek parçalar kaynatılır ve aşağıdaki egzotermik reaksiyon ile ergime sağlanır. Proses aşağıdaki kimyasal reaksiyon ile kendini göstermektedir.



Aluminothermitin özel bir ateşleyici kullanarak refraktör bir pota içinde ateşlenmesi devam eden birkaç saniye süren ekzotermik reaksiyondan sonra 2400°C'lik bir sıcaklıkta yaklaşık ergimiş çelik miktarına eşit ve sıvı Al_2O_3 ayırıştır.

Tablo 6.1 : Thermit kaynak yöntemleri

TERMİT KAYNAK YÖNTEMLERİ							
Ray	Ray Sınıfı	Kaynak Aralığı	Yöntem	Gaz Basıncı (Bar)	Şaloma Yük. (Mm)	Ön Isıtma Süresi (Dak.)	Sıyırma Süresi (Dak.)
RI60/59	700	24-26	SRZ	O:4,5 P:1	65	6-6,5	6-7
RI60/59	700	65-75	SRZ L75	O:4,5 P:1,0	60	2	6-6,5
RI60/59	HSH	24-26	SRZ KİT	O:4,5 P:1,0	60	6-6,5	6-6,5
S49	900	26-30	SoW-5	O:4 P:1,5	40	5	5
S49	HSH	26-30	SoW-5	O:4 P:1,5	40	2	5
S49	900	65-75	SoW-5 L75	O:4 P:1,5	40	2	13-14
S49	HSH	26-30	SoW5	O:4 P:1,5	40	5	5

Ray döşenirken iki ray arasında sıcaklığa bağlı olarak boşluk bırakılmalıdır. Eğer bu boşluklar çalışma metodu nedeniyle verilmiyorsa, raylar kaynak sırasında ya çekerek ya da keserek istenilen aralık elde edilir. Rayların döşenme sırasındaki sıcaklıkları bir forma kayıt edilmelidir. Kaynakla ilgili diğer verilerde bu forma kaydedilmelidir. Sıcaklık rayın mantar kısmının güneş almayan kısmından ölçülmelidir. Ölçümden önce

mantar üzerindeki paslar iyice temizlenmelidir. Ray döşenirken iki ray arasına sıcaklığa bağlı olarak aşağıda yazılı değerde boşluk bırakılmalıdır.

Thermit kaynağın +3 °C 'nin altında yapılması istenmez. Sürekli kaynaklı hat yapılırken son kaynak, o bölgenin yazın sahip olduğu maksimum sıcaklık ve kışın sahip olduğu minimum sıcaklık farkının ortalamasına karşılaman, nötr sıcaklık diye adlandırılan sıcaklıkta yapılmalıdır. Böylece basma kuvvetleri daha kritik olduğundan, ortalama sıcaklığa 5 °C eklemek seçilir.

Tablo 6.2: Raylar arasındaki sıcaklığa bağlı boşluk miktarı

Ray sıcaklığı	Döşeme Boşluğu
10 °C den düşük.	20 mm
10 °C - 19 °C	15 mm
20 °C - 25 °C	10 mm
25 °C den çok	0 mm

Örneğin, bir bölgedeki en yüksek ray sıcaklığı +60 °C ve minimum sıcaklıkta -30 °C ölçülsün bu durumda nötr sıcaklık $(60+(-30))+5 = 20$ °C' dir. Ölçüm hataları göz önüne alınırsa, hesaplanan değere +3 °C eklenmesi istenir. Bu durumda yukarıdaki örnekteki nötr sıcaklık 23 °C olacaktır.

Başlangıç sıcaklığı ve nötr sıcaklık arasındaki farktan, kontrol noktalarındaki uzamalar hesaplanabilir.

İlgili Formül :

$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$
Çelik için
α =Isıl genişleme katsayısı
Δt =Sıcaklık farkı
l =Ray uzunluğu

$\alpha=0,0000115$

Düz hatlarda kontrol noktaları 60 m' de bir olmalıdır. Kavisli yollarda bu aralık 30 m olmalıdır. Çektirme sırasında yaya rayın nötr sıcaklığa uzamasını beklerken tüm ray uzunluğunun serbest olduğundan emin olunmalıdır; bu da en kolay şekilde kontrol noktalarından belli olur. Ray uzunluğu istenilen değere ulaşınca vidalar sıkıştırılarak, ray sabitlenerek uzun raylar oluşturulur (Şekil 6.15). Ray gerdirme düzeneği ile stresi işlemleri yapılan bir ray görülmektedir .



Şekil 6.17: Ray gerdirme tertibatı

Rayların ayarlanması; Cebire delikli raylarda, delikler zarar görmüş ve çatlak olmamalıdır. Kaynakla delik arasındaki mesafenin 10 cm 'den az olmasına izin verilmemelidir. Delikleri kesmek mümkün değilse, Thermor sızdırmazlık macunu su ile karıştırılarak delikler tıkanır. 900 A ve daha üst sınıftaki raylar ray kesme makinesiyle kesilmelidir. Şaloma ile kesme yaparken şablon kullanılmalıdır. Kaynaktan evvel raylar zift, yağ, boya ve paslardan temizlenmelidir. Oksijenle kesilen ray yüzeyleri cüruftan tamamen arındırılmalıdır.(Şekil 6.18)



Şekil 6.18 : Ray yüzeyinin temizlenmesi

Öncelikle ray başları cebire ile bağlı ise cebire sökülmalıdır. Daha sonra ray uçları tel fırça veya zımpara taşı ile temizlenmeli, yağ, pas ve tüm pisliklerden arındırılmalıdır. Kaynatılacak ray başları ezik olmamalıdır. Kaynatılacak ray uçta bozukluk varsa, bozuk kısım kesilmeli hata büyükse ray değişimine gidilmelidir. İki ray arasındaki kaynak açıklığının ise maksimum 22-26 mm aralığında olmasına dikkat edilmelidir.

Kaynağın ömrü ve boyutsal kalitesi bakımından ray contası ayarlarında aşağıdaki dört hususa çok dikkat edilmelidir. Yatay düzlük, düşey düzlük, dönme, kaynatılacak açıklık.

Kaynağı soğuma ile çekileceği ve düşüklük meydana gelebileceği göz önüne alınarak, kaynatılacak ray başlarına 1m' lik master altında toplam 1,2-1,4 mm ve geniş aralıklı kaynakta 2-2,4 mm yükseklik verilmelidir. Bu işlem için kamalardan yararlanır. Ray iç kenarına da 0,3mm kadar içe doğru fazlalık verilebilir. (Şekil 6.19)' de rayların ayarlanması gösterilmiştir.



Şekil 6.19 : Kaynak öncesi rayların ayarlanması

Kamalar, kaynak tamamen soğuduktan sonra yükseklik tekrar kontrol edilmeli ve eğer gerekiyorsa müteakip kaynakta yükselti değiştirilmelidir. Kenar düzeltmeleri ayar aleti ile veya 1m.'lik çelik master ile yapılabilir. Kurplar ise, gözle kontrol edilir. Kaynak açıklığı tüm kaynak işlemi boyunca sabit kalmalı, rayın itilmesi veya çekilmesi gibi bir işleme maruz kalmamalıdır. Ön ısıtma sırasında doğabilecek herhangi bir boylamasına hareketin tespit edilebilmesi amacıyla her iki rayın tabanına ve conta traverslerine işaret konulmalıdır. Ön ısıtma sırasında kullanılan yöntemeye göre izin verilen limitler dışında bir aralık oluşursa çalışma durdurulmalı ve düzeltmeler yeniden yapılmalıdır.

Kalıpların Bağlanması: Taşıyıcı düzeneğini ray başına, ayar çubuğu uzunluğuna göre kasıtsız olarak bağlanır. Eksantrik boru şaloma tutucu gergi düzeneğinin arkasında ve ray gövdesinin üzerine takılabilecek gibi yerleştirilmelidir.

Kalıplar yerleştirilmeden önce hatasız olup olmadığı kontrol edilmeli, döküm kanalı ve hava deliği temizlenmelidir. Kullanılacak kalıplar, ray profile uygun olmalıdır. İki ray yükseklik farkı 3mm' den az ise, normal kalıplar alıştırma yolu ile profile

uydurulmalıdır. Kalıp tutucu saçıdaki kalıbın ilk yarısı dış taraftan kaynak aralığı ortasına yerleştirilir, ikinci yarı iç taraftan demet olarak karşısına yerleştirilip ray tabanına hatasız olarak oturup oturmadığı kontrol edilir. Kalıp bağlama esnasında kalıbın içerisine kesinlikle kalıptan kopan parçaların dolmaması gereklidir. Çünkü bu parçacıklar kaynak kalitesini bozmaktadır. Ayrıca kalıp cebire deliğine yakın olmamalıdır.



Şekil 6.20 : Termit kaynağında kalıbın bağlanması

Kaynatılacak ray ile cebire deliği arasındaki en az 100 mm olmalıdır. Çünkü bu delikler kaynağın dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Pota taşıyıcısının iki yanında kolların civataların kalıbı her iki yönünden eşit olarak sıkıştırılır, işlemi yaparken kalıp yukarı itilir. Ray yüzeyini ve kaynak boşluğu karton ile kapatılır. Ray ile kalıp tutucu sacın arasındaki boşluk ve taban boşluğu sıvama kumu ile kapatılır. Kalıpların yanındaki ray başlarını örtü sacı ile kapatılarak koruma altına alınır. (Şekil 6.20)' de kalıpların raya bağlanması gösterilmiştir.

Potanın yerleştirilmesi; Potalar ilk kullanımdan önce şiddetli olmayan bir ateşle dış yüzeyi 100 °C oluncaya kadar (yaklaşık 25 dakika) ısıtılmalı veya bir adet boşa döküm yapılmalıdır. Buradaki amaç; potadaki nemin kaynak banyosuna zarar vermesini engellemek için, nemi uzaklaştırmaktır. (Şekil 6.21)' de potanın ısıtılması gösterilmiştir.



Şekil 6.21 Potanın ısıtılması

Tek kullanımlı potaların kurutulmasına gerek yoktur. Eğer potada çatlak varsa ve nem almışsa kurutulsa bile kullanılmamalıdır. Z90, Z120 porsiyonları kullanımında manyezit pota gömlek duvarındaki cüruf her defasında temizlenmelidir. Gömleksiz olan uzun ömürlü pota kullanılırsa, cüruf potayı koruduğu için ancak 15-20 kaynakta bir temizlenmelidir. Temizleme sırasında pota kaplamasına zarar verilmez.

Kaynak tozu ile doldurulmuş pota , pota tutucusu ile gergi düzeneği üzerindeki boru desteğe yerleştirilir, deneme için kalıp ortasına itilir ve dikeyliği kontrol edilir. Pota tabanı ile kalıbın üst köşesindeki mesafe 2cm olmalıdır. Pota dikkatlice geriye çekilerek ön ısıtma işlemi izlenmelidir. Pota hiçbir zaman oturmuş kalıp üzerinde hazırlanmamalıdır.

Tapa; manyetik tapa yerleştirme çubuğu kullanılarak yerine oturtulur ve tapayı tapa deliğinden potaya yerleştirilir. Sıkıca basılarak ve el ile hafifçe vurarak yerleştirilmesi gereken yerine yerleştirilir.

Uzun ömürlü potada aşınma meydana geldiğinde, pota bacası ve gergi kasnağı ile birlikte yeni uzun ömürlü pota değiştirilir. (Şekil 6.22)' de ayar yapılan bir pota yerleştirilmiştir.



Şekil 6.22 : Potanın yerleştirilmesi

Paketinden çıkartılan sızdırmazlık kumu magnezyum oksit ATS-ER muhafaza borusu çevresine eşit olmak şartı ile dökülür. Kaynak şarjı (termit) potaya dökülür. THERMİT-Porsiyonu dikkatlice doldurulur ve konik olarak tepelenir. Ateşleme çubuğunu (maytap) kullanmaya hazır olarak porsiyonun içine konur. Pota; pota kapağı ile kapatılır ve doldurulmuş bulunan THERMİT-Porsiyonunu rutubetten korunur. Uzun ömürlü pota veya manyezit pota gömleği kuru depolanmalı ve zarar görmemesi için dikkat edilmeli. Her kaynak ekibinin yanında kuru bir yedek pota bulunmalıdır.

Kaynak porsiyonu; Rayın profili ve çekme dayanımı termit Porsiyonunun cinsini belirler. Kaynak yapılacak ray tipine uygun kalıp ve porsiyon seçimi yapılmalıdır. Aynı tip ray için kullanılan kaynak yöntemlerinin kalıplarının farklı olduğu unutulmamalıdır. İki farklı sınıftaki ray kaynak edilirse, düşük sınıftaki raya uygun kaynak porsiyonu kullanılır. Termit miktarı ve bileşimi kullanılan rayın tipine göre belirlenir. Eğer 900A kalitesinde bir ray ile 700 bir ray ile kaynaklanıyorsa, termit malzemesi sertleştirilmemiş raya göre seçilmelidir. 1100 kalitesinde bir ray, 900A kalitesinde bir raya kaynaklanıyorsa, termit 900A kalitesindeki raya göre seçilir. Uygulanan metodun prosedürüne titizlikle uyulmalıdır.

Ön Isıtma; Ray sıcaklığının 0 c° altında ise kaynak yapılmamalı, yapılması zorunlu ise ray başlarından itibaren 0,5-1,0 m. uzunluğundaki bölge el ile dokunulacak sıcaklığa ulaşıncaya kadar ısıtılır. Derin ve derin olmayan oluklu rayların ön ısıtma işleminde ön ısıtma şaloması kullanılır. Şalomayı ateşlemek için önce oksijen valfi, sonra Propan valfi açılır. Şaloma alev çekirdeği 15-20 mm uzunluğunda olmalıdır. Oluklu raylarda şaloma yüksekliği 6 cm, vinyol raylarda 4 cm olmalıdır. Kalıp hava deliklerinden çıkan alev uzunluğu 35cm civarında olmalıdır. Ön ısıtıcı şaloma, şaloma tutucusu ile birlikte tavasının kısa bir ısıtılmasından sonra eksantrik borulu gergi düzeneği kalıbın ortasına gelecek şekilde yerleştirilir ve ayar cıvataları hafifçe sıkılır. Şaloma yüksekliğine dikkat edilmelidir. Doğru ayar edilmiş şaloma alevi, 35 cm olmalıdır. Şaloma hiçbir zaman fazla oksijen ile çalışmamalıdır. Ön ısıtma sürecinde ray kesiti sıcaklığının eşit olmasına dikkat edilmeli gerekiyorsa şalo ayarı yapılmalıdır. Ön ısıtma işleminde basınç ayarları manometreden yapılmalıdır.

Normal ön ısıtma şaloma ile minimum 1000°C (sarı renk) olacak şekilde yapılır. Kısa ön ısıtma şaloma tip 55.502 ile minimum 600°C olacak şekilde yapılır. Ön ısıtma süresince her iki ray kesitinin eşit olarak ısıtılmasına dikkat edilir.



Şekil 6.23: Pota İçinde Termit reaksiyonunun oluşması

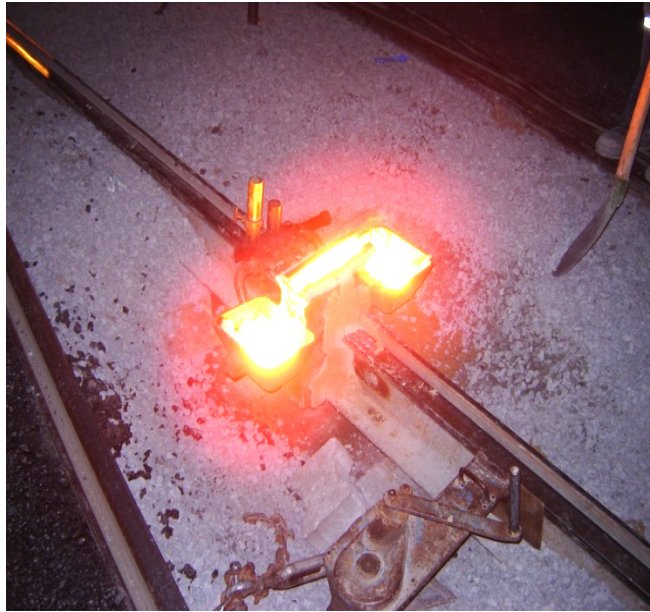
Kaynak işlemi; Ön ısıtma işlemi tamamlandıktan sonra nemi kaynak sırasında alınan kalıp kapağı kısaçak maşa ile kalıp içine konur. Potayı döküme almadan kalıpların

sızdırmazlığını bir daha kontrol edilmelidir. Pota kapağın tam ortasına gelecek şekilde ayarlanmalıdır. (Şekil 6.23)' de pota içinde reaksiyon görülmektedir. THERMİT - Porsiyonunu ateşleyici (maytap)ile ateşlenir.

Reaksiyona dikkat edilmeli, bu gözlemi yaparken kesinlikle koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Pota içindeki termit malzemesinin tepeleştirilmiş en üst noktasından maytap ile tutuşturma ekzotermik reaksiyon başlatılır. Reaksiyonun başlamasından yaklaşık 25-30 saniye sonra pota tapası açılır, akış otomatik olarak gerçekleşir. Boşalan pota alınmalı ve rutubetten korunacak şekilde muhafaza edilmelidir.

Cüruf kabı, cüruf tamamen soğuduktan sonra boşaltılmalı. Cüruf hiçbir zaman nemli bir tabana boşaltmamalıdır. Döküm yapıldıktan en erken 1 dakika sonra tutucu dikkatlice alınır.

Kalıplar, kaynak yönteminde üretici firma tarafından belirlenen sürenin beklenmesinden sonra testere yardımı ile üzerinde kalan kısmının her iki tarafından iz yapılması suretiyle kırılır. Hemen arkasından ray sıyırma makinesi ile kaynak fazlalığı alınır. (Şekil 6.24) 'de kalıp içine dökümü yapılmış bir kaynak gösterilmiştir.



Şekil 6.24 : Porsiyonun kalıba dökülmesi

Sıyırma işlemi kalıbın sökülmesinden hemen sonra olmalıdır. Sıyırma işlemi hidrolik sıyırma aletiyle gerçekleştirilir. (Şekil 6.25)' te sıyırma yapılan bir kaynak görülmektedir.



Şekil 6.25 : Thermit kaynağında ray sıyırma işlemi

Sıyırma makinesi kesme işleminin devamında ileri konumdaki kol geri konumuna getirilir ve ray kavramaları sökülür. Sıyırma makinesi conta üzerinde alınır. Eğer kesme işlemi tam yapılmamış ise, kaynak fazlalıkları özel kaynak keskileri ile temizlenmelidir.

Taşlama işlemi; Sıyırma işleminin devamında kaba taşlama yapılarak kaynak fazlalıklarının yüzde 60 – 90'ı alınır. Kaynak sıcaklığı 350°C' nin altına düştükten sonra yol trafiğe açılabilir. Kaynağın yeterince soğuma süresi en az 30 dakikadır. Kaynakların çıkıntısı yolluklar kaynak soğuduktan sonra koparılmalıdır. (Şekil 6.26) 'de sıyırma işlemi yapılmış taşlamaya hazır bir ray görülmektedir.



Şekil 6.26 : Sıyırma işlemim tamamlanmış ray

İnce taşlama sonrasında ray üstündeki düşüklük 0,3mm'yi ve ray kenarındaki düşüklük 0,2mm'yi geçmemelidir. Ray üstünde fazlalık olmamalı, ray kenarındaki fazlalık 0,3mm'yi geçmemelidir. Taşlamayı takiben zımpara taşı ile zımparalama işlemi yapılarak pürüzsüz bir yüzey elde edilir. (Şekil 6.27)' de termit kaynak yapılmış bir ray görülmektedir.



Şekil 6.27 : Termit kaynak yapılmış ray

6.3.2 Ray Dolgu Kaynak Bakımları

Raylı sistemlerde ray mantarının tekerinin yuvarlanma yüzeyinin pürüzsüzlüğü çok önemlidir. Bu sebeple ezilmiş (aşınmış) contaların dolgu kaynağı ile değişim ve tamiri prensibi uygulanır. Rayın hasar görmüş veya aşınmış olan profili mümkün olduğunca normal ölçü ve profiline getirmektir. Bunu temin etmek için de, aşınmış bölgeyi istenilen nitelikteki madde ile doldurularak, doldurulan madene gerekli profili vermek işlemidir.

Periyodik kontroller sonrasında dolgu kaynağı uygulanacak bölgeler tespit edilir. Contalarda dolgu kaynağı ile ıslah çalışması yapılması programa alınan bölgelerde, geometrik bozukluklar giderilmeli, eğik contalar conta düzeltme makinesi marifeti ile düzeltilmeli, dolgu yapılacak contalar 1 m. uzunluğunda bir mastar ile ölçülür. Yapılan ölçüde ray üzerinde meydana gelmiş aşınmalar ve ezilmelerin 1 mm' den fazla olması halinde contada dolgu kaynağı ile düzeltme işlemi yapılır.



Şekil 6.28 : Dolgu kaynağı yapılacak ray

Dolgu kaynağından önce yolda yapılması gerekli işler; oldukça pahalıya mal olan dolgu kaynağı işleri, üzerinde fazla arıza bulunmayan, sağlam raylar döşenmiş bölgelerde yapılmalıdır. Dolgu kaynağı yapılacak olan bölgeler iyice kontrol edilerek, raylarda aşınma ve ray uçlarında çatlakların bulunup bulunmadığı tespit edilmelidir. Gerekirse

bu tür raylar değiştirildikten sonra dolgu kaynağı yapılması ekonomik ve faydalı olacaktır. Acil haller dışında iki yıl içerisinde değiştirilmesi dıřunđlen rayların dolgu kaynağı ile kaynaklanması ekonomik olamamaktadır.

Dolgu kaynağının etkili ve uzun ömürlü olması için conta mutlaka geometrik bakımdan dđzeltilmiř olması gereklidir. Bu işlem dolgu kaynağı işlerinden evvel yapılmalıdır. Conta eksen bakımından kontrol edilerek gerekli dđzeltme yapılmalıdır, ray bağlantısını sağlayan kđük bağlantı elemanları mutlaka torkuna uygun sıkılmalıdır. Contanın nivelmanı yapılarak, şakuli dđřüklükler tespit edilmeli, nivelman hataları ve gizli boşluklar giderilmelidir.

Contada eğrilikler conta doğrultma makinesi marifeti ile dđzeltilmelidir. Konu edilen onarımlar, mahalli şartlar ve o bölgede çalışan onarım ekibince yapılacağından, ekibin yeterli bilgi ve beceriyi kazanmış olması gereklidir. Onarım sırasında conta değerinden fazla kaldırılmamalı, onarımdan sonra conta üzerinden bir veya iki tren geçtikten sonra kaynak uygulanmalıdır.



şekil 6.29 : Dolgu kaynağı yapılacak bölge

Dolgu kaynağı yapılacak contadaki bozukluğu kolaylıkla görmek mümkündür. Bozukluk, ray uçlarındaki aşınmanın uzunluğuna göre değişen bir parlama sahası şeklinde görülür. Ekip sorumlusu contada doldurulacak kısmın başlangıç ve bitiş noktasını, her iki ray ucuna oturtulmuş bir master yardımı ile tespit eder. Bu tespit, ray mantarı üzerine çizilerek işaretlenir. (Şekil 6.29)

Normalden çok fazla aşınmış veya ezilmiş olan kısımlar ayrıca işaretlenmelidir. Çünkü çok fazla aşınmış kısımlar daha kalın bir dolguya ihtiyaç doğuracaktır.

Ön taşlama; kaynak bölgesi tavlansızdan önce taşlama makinesi taşı ile taşlanarak, iyice temizlenmelidir, ray yuvarlanma yüzeyinde darbeler neticesi meydana gelen sert tabaka kaldırılmalı, girintiler, çıkıntılar ve okside olmuş kısımlar gibi dolgu kaynağında sorun oluşturan bozuk yerler temizlenmelidir. Kaynak bölgesinde oluşmuş kılcal çatlaklar sonuna kadar taşlanmalıdır. Kaynak için düzgün ve temiz bir yüzey hazırlanmalıdır. (Şekil 6.30)



Şekil 6.30 : Kaynak ağızı açılması

Tavlama (Ön Isıtma); kaynaklama kabiliyeti bakımından gereklidir. Kaynak sırasında elektrik kaynağının sıcak darbesi etkisi altında bulunan ve kaynak altı tabakasını meydana getiren ray maddesinin gevrek bir hal almasına engel olur. Tavlama; tavlama aparatları ile yapılır. Isınma sıcaklığı 400~450 °C' de olmalıdır. (Şekil 6.31)



Şekil 6.31 : Ön ısıtma yapılması

Sahada tav derecesini kontrol etmek için “termokrem” kalemleri veya termometre kullanılır. Bu kalemlerin özelliği, ısı derecesinde renk değiştirmeleridir .(Şekil 6.32)



Şekil 6.32 : Ray sıcaklığının kontrolü

Tavlama müddeti, hava şartlarına (havanın ısısına ve şantiyenin rüzgâr alıp almamasına), ısıtıcı tesisin uzunluğuna, ısı ayarı ve propan gazı basıncına bağlıdır. Pratik olarak ray yuvarlanma yüzeyinde 400~450 °C’ yi bulmak için 5 ila 9 dakika

ısıtmak gereklidir. Tavlama işleminin her ray ucunda ve rayın tamamında (mantar gövde ve taban kısmında) yapılması gereklidir. Tavllanmış olan bölgenin boyu, kaynak yapılacak kısmın her iki yönde 100 mm fazla olmalıdır.

Dolgu Kaynağının yapılması; kaynak uygulaması geniş dikişler halinde yapılır. Her dikişten sonra, dikiş bölgesinde meydana gelen cüruf çekiçle kırılarak ve tel fırça ile fırçalanarak temizlenir. Her kaynak dikişi kendinden evvel yapılmış dikişin üzerine 1/3 miktarında genişliğinde geçirilmelidir

Kaynağın bu şekilde uygulanması ile, kaynak izlerinin oluşması önlenmiş olur. Kaynak dikişine ray ucundan başlanır. Açık contalarda ray uçlarının düzgün olması için, rayın uç kısmında üç-dört dikiş mantar genişliğinde yapıldıktan sonra uzunlamasına dikişlere başlanmalıdır. (Şekil 6.33)



Şekil 6.33 : Kaynak dolgu işlemi

Kaynak dikişine rayın dışından başlanarak içe doğru devam edilerek bitirilir. Burada dikkat edilecek en önemli husus tavllanmış rayın ısı derecesi düşmeden kaynak işleminin bitirilmesidir. Bu nedenle kaynağa ara verilmez, herhangi bir nedenle kaynağa ara verildiğinde ısı kontrol edilmeli, gerekiyorsa yeniden tavlama yapılarak kaynağa devam edilmelidir. Dolgu kaynağı yapılmış contadan kaynak bitirilmeden ve kaynak bölgesindeki ray sıcaklığı normale gelmeden tren geçirilmemelidir. Rayın ucunun aşınma miktarı, ikinci bir tabaka kaynak dolgusuna ihtiyaç gösterecek miktarda olursa,

bu dolguda yeterli uzunlukta olmakla beraber iş sırası itibari ile önce yapılan dolgu ile aynı şartlar altında yapılmalıdır.

Taşlama; Kaynak dikişleri nedeniyle rayın yuvarlanma sathında meydana gelen pürüzleri giderilmesi için kaynak bölgesi taşlanır. Bu işlem ray taşlama makinesiyle yapılmalıdır. Pratik olarak tolerans miktarı 0,1~0,2 mm' dir. İncelemek için 1 m. uzunluğunda mastar, sentil ve ray kenarı için daire şablonu kullanılır. (Şekil 6.34)



Şekil 6.34 : Kaynak sonrası taşlama

Dolgu kaynağından sonra ray uçlarında, ray dolgu kaynağından kaynaklanan maden taşmaları keski ile kesilerek yok edilmeli, el taşlama makinesi kullanılarak kesilen kısımlar düzeltilmelidir.

Kaynaktan sonrasında; conta ray bağlantısı kontrol edilerek tüm ray altı plastik seletlerinin yerinde olması ve bağlantı malzemesinin torkuna uygun sıkılması sağlanır. Yapılan kaynağa ait bilgiler özel conta dolgu kaynağı formuna doldurularak takibi sağlanır. Dolgu kaynağı aşınmış ve ezilmiş ray uçlarının doldurularak tamirinde kullanıldığı gibi bazı ülkelerde, ray uçlarını korumak içinde dolgu kaynağı yapılmaktadır. Ray ucunu koruma amaçlı dolgu kaynağı yeni döşenmiş yollarda ve çok az miktarda aşınmış ray uçlarında uygulanmaktadır. Böyle bir kaynağın amacı, ray uçlarını sertleştirerek aşınma süresini uzatmaktır.

Trafiği yoğun olan yollar üzerinde yapılmış dolgu kaynaklarının 5 yıl sonra tabaka halinde koparak kalktığı gözlenmiştir. Bu şekil kopmaların çok değişik nedenleri olmakla beraber, genelde kaynak bölgesinde kılcal çatlakların oluşarak büyümesi ve ilerlemesinden olmaktadır. Tabaka halinde kopma tavlama yapılmadan yapılan ince dolgu kaynaklarında görülür. Tavlanmadan ray üzerine uygulanan kaynak dikişi, uygulama bölgesindeki ray madeninde önemli ölçüde sertleşme meydana getirir. İki tabakalı dolgu kaynaklarında ise birinci tabaka üzerine uygulanan ikinci tabaka dikişten meydana gelen ısı bir tav vazifesi görür. Bu tespitler sonucu elde edilen bilgiler tavlama yapılmadan yapılan dolgu kaynağının yararlı olmadığını göstermektedir. Tavlanmadan yapılan dolgu kaynaklarında tabaka halindeki kopmanın nedenleri;

Kaynaklanmış ucun ray tarafındaki başlangıç noktasında kısa boyda ve ince çizgi halinde genellikle birbirine yakın şekilde çatlakla meydana gelir. Bu ince çatlaklara “kaz ayağı” biçiminde çatlaklar denir. Bu görünüş, kopma olayının ilk işaretini oluşturur. İkinci safhasında çatlak miktarı artar ve alt tabakada kopmaları belirten siyah lekeler oluşur. Son olarak kaynak ray madenini oluşturan kısımdan ve çatlaklar hizasından koparak ayrılır.

Ray uçlarında ve genellikle eğriler şeklinde görülen tabaka kopmaları, kaynağın kötü yapılmasından değil, mekanik tesirler neticesinde meydana gelmektedir. Bu kopmalar, hava sıcaklığının yüksek olduğu devrelerde, taşkınlık arz eden ray uçlarının bir birine değmesinden meydana gelmektedir. Bu durumu önlemek için ray uçlarındaki çıkıntıların oluşmasına izin verilmemeli ve bu çıkıntılar temizlenmelidir.

6.4 TRAVERS DEĞİŞTİRME

Traversler görsel kontrol esnasında tespit edilen bozuk ve hasar görmüş; beton traverslerde; çatlak, kırık, korozyona uğramış olması, beton yüzeylerinde pullanmalar olmasıdır. Ahşap traverslerde tirfon yuvalarının laçkalaşarak traversteki kırık ve çatlakların fazla olması, laçka tirfon yuvalarının kaydıracak yer olmaması, traversin çürümüş olması, ahşap traversin çürümesi ve parçalanması durumunda traversler değiştirilir.

Balastlı üstyapılarda ahşap travers değiştirme işleminde öncelikle değiştirilecek traversler belirlenir ve işaretlenir. Değiştirilecek traverslerin yanlarına yenileri getirilerek hazır durumda bekletilir. Traverslerin kolay çıkması ve tekrar yerleştirilmesi için raylar krikolarla birkaç cm kaldırılmalıdır. Değiştirilecek traversin etrafındaki balast temizlenerek hat kenarına alınır. Çıkarılan travers ile yerine konulacak traversin kalınlığına dikkat edilmelidir. Şayet yeni konulacak travers diğerinden farklı ise travers yatağı, traverslerin kalınlık farkı kadar kırılır ve travers yerleştirilir. Yeni konulacak traversin ince olması durumunda ise kalınlık farkı kadar travers yatağı üzerinde bulunan ray altı kısmına micir benzeri gibi dolgu kullanılarak besleme yapılır ve travers yerleştirilir. Yerleştirme işleminden sonra tüm bağlantı elemanları sıkılır, buraj yapılarak travers altında oluşması muhtemel olacak boşluklar doldurulur ve yanal stabiliteyi korumak amacıyla travers başlarındaki balast tokmaklanır veya sıkıştırılır

Betona gömülü traverslerin değiştirilmesi, raylar altına bırakılan krikolar aracılığıyla traversin çıkabileceği yüksekliğe kadar kaldırılması ile gerçekleştirilebilir. Rayların traversin çıkabileceği yüksekliğe kadar kaldırılması için değiştirilecek traversin sağ ve sol tarafından yaklaşık 20 m mesafedeki bağlantı elemanlarının tümünün sökülmesi gerekir. Raylar kaldırıldıktan sonra mutlaka rayların altı ahşap takozlarla desteklenmelidir. Traversin daha rahat bir şekilde yerinden çıkarılması için ikiz blok beton traverslerde bloklar arasındaki travers çubukları uygun yerden kesilerek çıkartılabilir. Bu durumda bloklar ayrı ayrı çıkartılabilir.

Eski travers çıkartıldıktan sonra mutlaka travers yatağı basınçlı hava veya süpürge ile temizlenmelidir. Yeni elastik pedleri ve travers çizmesi giydirilmiş olan traversler düzgün bir şekilde yerine bırakılır. Traversin mevcut yere girememesi durumunda traversin bırakılacağı yer biraz genişletilip o şekilde travers bırakılır. Travers bırakıldıktan sonra genişletilen kısım tekrar betonlanır. Üçüncü ray izolatorlerinin bulunduğu uzatılmış traverslerin değiştirilmesi durumunda aynı şekilde Üçüncü rayında kaldırılması gerekir. Travers yerine bırakıldıktan sonra tüm bağlantı ekipmanları uygun tork değerlerinde sıkılır.

6.5 HAT GEOMETRİSİNİN DÜZELTİLMESİ

Kontroller sonucunda hatta oluşan kısa veya uzun mesafeli yatay ve düşey geometrik bozuklukların düzeltilmesi, hat açıklığının düzeltilmesi işlemidir

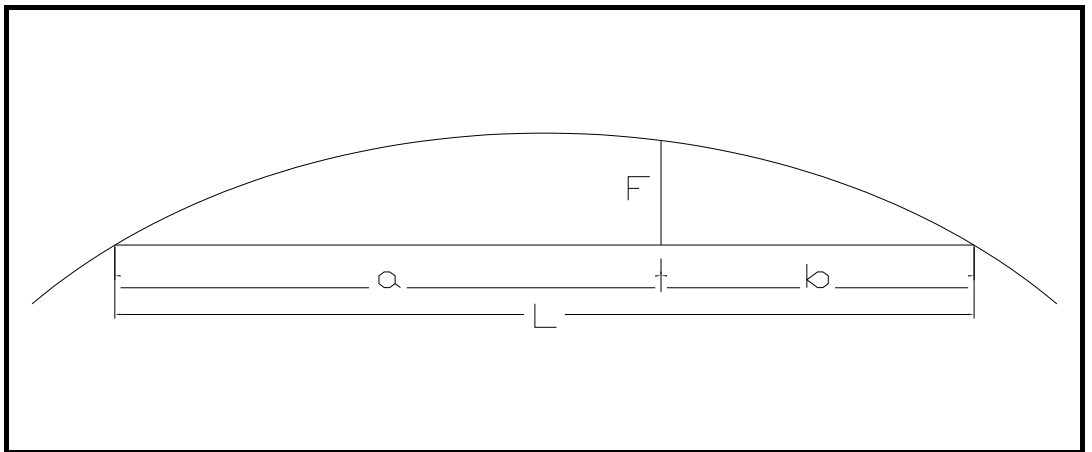
6.5.1 Ekartman

Balastlı hatlarda ahşap traversli bölgelerde tirfonların kaymasından veya bağlantı elemanlarının bozulması, hasar görmesi ve kırılması sonucu ekartman bozulur. Beton traversli bölgelerde tirfon dübelleri bozulur, tirfonlar yuvasından çıkar veya bağlantı elemanını oluşturan parçalar hasar görürse ekartmanlar da bozulmalar olur.

Betona tespitli hatlarda da aynı şekilde hatalar olur. Betona tespitli hatlarda ekartman hatalarını gidermek balastlı hatlara göre daha zordur. Bağlantı elemanlarının izin verdiği kadar düzeltebilir. Aksi halde beton yatağı veya platformu kırmanız gerekir.

6.5.2 Fleşteki sapmaları

Fleş; demiryollarında kübik paraboller kullanılmaktadır. Bu sebeple yatay kurplarda ve bunların geçiş eğrilerinde belli bir kiriş uzunluğu alarak, kirişin herhangi bir noktasından alınan dikmenin yayı kestiği mesafeye denir (Şekil 6.35).



Şekil 6.35 : Fleş eğrisi

Yatay nivelmanın bozuk olması durumunda balastsız hatlarda fleş düzeltmesi bağlantı elemanlarıyla düzeltilmektedir. Örneğin nabla bağlantı sisteminde anlatıldığı gibi ekartman toleranslar dahilinde bırakılarak farklı renkli nabla izolatörler kullanılarak hat eksenini referans olarak alınıp raylar kendi eksenlerine getirilerek yatay nivelman düzeltilmiş olur.

Betona gömülü travers sistemlerinde hattın düz yol, geçiş eğrisi ve kurp gibi geometrik kısımları traverslerin döşenmesi anında hesaplanarak, traversler betona gömülür. Dolayısıyla bu tip hatlarda ekartman bozukluğu, hat ekseninin kayması, yatay nivelman bozukluğu ve dever hatası gibi kusurların çıkma ihtimalleri düşüktür. Ekartman ve fleş arızalarının çıkma nedeni ise, ray bağlantı elemanlarının aşınması veya görevini tam olarak yerine getirememesi durumunda meydana gelir.

Yeni yapılacak bir balastlı hat veya betona tespitli sistemlerde kurp ve geçiş eğrilerinin bulunduğu alandaki raylar projesine bakılarak fleşleri hesaplanıp, sahada raylar büküldükten sonra döşeme alanında montajı yapılmalıdır. Mevcut balastlı hat üzerinde dever, yatay ve düşey nivelman gibi bozukluklarının olması durumunda buraj yapılarak bu bozukluklar giderilebilir.

6.5.3 Dever

Kurplarda merkezkaç kuvvetini yenebilmek için iç raya göre dış raya verilen yükseklik fazlasına dever denir. Aliymanda dever sıfırdır. Bir kurban başlangıcında geçiş eğrisinde dever yükselmeye başlar kurpta maksimum değerini alır sabit gider aliymanda tekrar sıfırlanır. Balastlı yollarda dever bozukluğu travers kaldırılarak yapılır. Betona tespitli yollarda ray altı seletin altına veya traversin (blok) altına şim konularak dever düzeltilir.

6.5.4 Burulma

Burulma yoldaki nivelman ve dever hatalarından, düz yolda ise iki ray arasındaki kot farklarından, gizli boşluklardan meydana gelir. Burulma değerlerinin hesabında boji üzerindeki dingillerin aksları arasındaki mesafe ve diğer bojinin aksı ile olan mesafe

önemlidir. Bir bojinin dingil aksları arasındaki mesafe ile ilişkili iken burulma 2 iki boji aksı arasındaki mesafe ile ilişkilidir.

6.5.5 Ray Düşey Nivelmanı

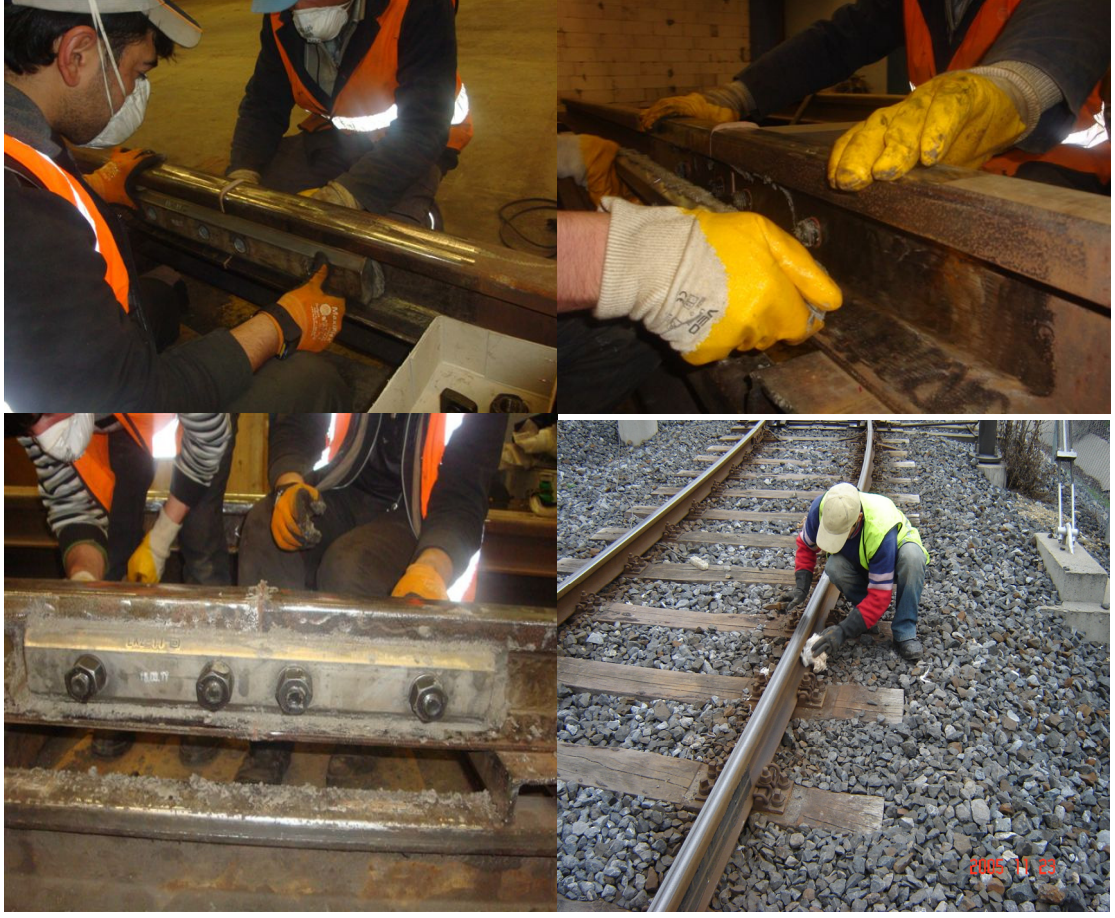
Hat geometrik ölçüm aracı ile hat üzeride ölçülen düşey sapmalardır. Hattın düşey yöndeki konumunu gösterir. Balastlı hatlarda düşey nivelman bozukluklarının giderilmesi için buraj yapılmaktadır. Betona tespitli yolda düşey bozuklukların arması ciddi sorunların olduğunun işaretidir.

6.6 İZOLE CEBİRENİN ONARIMI VE DEĞİŞTİRİLMESİ

İzole cebire iki enerji bölgesini birbirinden ayıran yalıtımlı ray bağlantı elemanıdır. İzole cebire kupon ray boyu 4.5m olmalıdır. Ayrıca ray sıcaklığı 0C' nin altında olmamalıdır. Cebire yapılacak rayda cebire boyu işaretlenerek bu kısım spiral motoru ile temizlenir. Ray gövdesine şablon kullanarak 6 adet delik açılır. Ray ve cebireler, aseton ile temizlenir. Rayları uç uca getir ve master ile doğrultuyu düzeltilir. Cebirelerin bandajları çıkartılır. İki bileşenli yapıştırıcı kutu birbirine karıştırılır. Ray deliklerine plastik contaları koyulur. Yapıştırıcı malzeme ray ve cebire üstüne spatula ile sürülür. İzole kale yapıştırıcısı sürülür.

Cebire ray gövdesine oturtulur ve el mengenesi ile sıkıştırılır. Cıvatalara conta ve pulları takılır. Deliklere cıvataları yerleştir ve şaşırtmalı olarak 750N/mm² tork değerinde sıkılır. Yapıştırıcının fazlalığı temizlenir. Cıvataları şaşırtmalı olarak 950N/mm² tork değerinde sıkılır. 30 dakika bekledikten sonra son temizliği yapılır Son aşamada da izole cebirenin yalıtım testi direnç ölçümü ile yapılır.

İzole cebirenin üstünde ray başlarının akma sonucu birleşmesi, metal tozlarının toplanması Akımın geçmesine ve sinyalin düşmesine neden olur. Bu durumda ray üstünü taşıyarak ray metalinin yapışması önlenir (Şekil 6.36) .



Şekil 6.36 : İzole cebire montajı

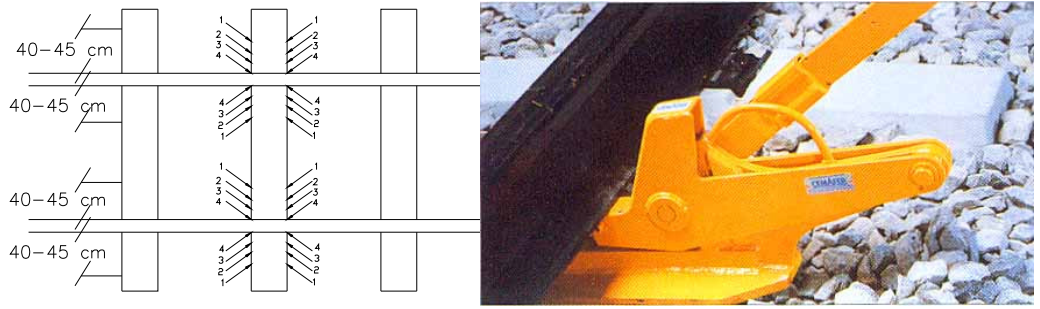
İzole cebireni bulunduğu bölgede yatay ve düşey nivelman bozuxsa düzeltilir. İzole cebirenin yalıtkanlığı ile ilgili bir sorun olursa sinyalizasyon ekibi tarafından direnç ölçümü yapılır. Eğer ölçüm aletinde verilen direnci yalıtımı geçiriyorsa, izole cebre açma yapmışsa, kırık ve çatlaklar varsa değiştirilir.

6.7 BALASTLI ÜSTYAPIDA HAT GEOMETRİK BOZUKLUKLARININ DÜZELTİLMESİ (BURAJ)

Demiryolu üstyapısında zaman içinde trafik yükleri, hava şartları ve altyapı sorunlarından dolayı geometrik bozulmalar meydana gelir. Geometrik bozulmalar yatay ve düşey yönde olmaktadır. Balastlı üst yapılarda yatay ve düşey geometrik düzeltmeler burajla yapılır. Buraj geçmişte elle yapılıyor olmasına karşın günümüzde uzun mesafelerde makinelerle kısa mesafelerde elle yapılmaktadır.

6.7.1 Elle buraj

Günümüzde çok mecbur kalınmadıkça kullanılmayan bu yöntem genellikle lokal yerlerde kullanılır. İşi yapacak elemanlar işe gizli boşluk veya çökmelerin olduğu bölgelerde gözle nivelmanı yapılır. Nivelman için, kurplarda iç rayı ve aliymanlarda yüksek olan rayı referans alınır. Düşük olan yerde ekartman aleti ile düşüklük miktarını ölçülür. Düşük olan ray altına kriko yerleştirilerek eski ölçüsüne kaldırılır. El buraj aletleri ve kriko yardımı ile travers altlarına balast doldurulur. İstenen seviyeye çıkana kadar devam edilir. (Şekil6.37), (Şekil 6.38) da görülmektedir.



Şekil 6.37: Elle buraj noktaları ve rayın askıya alınması

Eğer balast eksilirse kürekle çevredeki fazla balasttan takviye edilir. Elle buraj yapılan yerlerdeki balast sıkıştırılır.



Şekil 6.38: El buraj aletlerinin traverse dizilişi

6.7.2 Makineli Buraj

Gelişen demiryolu bakım makineleri teknolojisiyle bakım araçlarının çeşidinde artış görülmektedir. Balastlı üstyapılarda buraj yapan araçların da çeşitliğinin fazla olmasıyla birlikte bunların hemen hemen tümünün çalışma prensibi aynıdır. Buraj makinesinin kapasitesi makinedeki çapa sayısı ile orantılıdır. Çapa sayısı ne kadar fazla ise yol düzeltme metrajı o kadar artmaktadır.

Makineli burajda hattın dresaj ve rölevajıyla birlikte buraj işlemi yapılır. Buraja başlamadan önce üstyapıdaki diğer elemanların bakımının yapılmış olması gerekir. Bağlantı elemanlarının kontrolü yapılmalı ve bozuk olanlar değiştirilmeli, traversler kontrol edilmeli ve kırık veya çürük ahşap traversler varsa değiştirilmeli, travers aralıkları ve ekseni kayan traversler düzeltilmeli, bozuk olan balast tabakası temizlenmeli, ray mantarı üzerindeki vuruntulu bölgeler (düşük veya yüksel kaynak bölgeleri) düzeltilmeli, buraj yapılırken balast takviyesi için çalışma bölgesine balast getirilmeli, özellikle ray yuvarlanma yüzeyinde oluşan ondülasyonlar taşlama makinesi ile taşlanmalı, hat geometrisine ait bilgiler bilinmeli ve hat üstyapısında zarar görebilecek ekipmanlar, kablolar belirlenmelidir.



Şekil 6.39: Buraj makinasının çalışması

Makineli buraj yaparken hattı bozulmaması ve proje değerlerine uygunluğu için hat üzerindeki sabit noktalar (röper noktaları) esas alınarak buraj yapılmalıdır. Buraj

yapılmadan önce hatta, aplikasyon yapılmalı ve proje değerlerine göre dresaj ve rölevaj değerleri tespit edilerek çalışma yapılmalıdır.(Şekil 39)

Makasların burajları makas buraj makineleri ile yapılır. Buraj yapılırken önce doğru yol sonra sapan yol yapılır. Göbek kısmında uzun traversler olduğu için doğru yolun buraj yapılırken sapan yol ray altından kriko ile kaldırmaya yardımcı olunur. Buraj işlemi bittikten sonra travers bağlarında ve travers aralarında balast eksikliği varsa mutlaka eklemeye yapılmalı ve balast tokmaklanarak veya kompaktörlerle mutlaka sıkıştırılmalıdır.

6.8 BALAST ELEME

Balastlı demiryolu hatlarında üstyapıyı oluşturan en önemli unsurlardan biri de balasttır. Balast tabakası, dingil yüklerinden dolayı meydana gelen ve traversler tarafından iletilen basınç kuvvetlerini kısmen karşılayarak, altyapı tabakası üzerinde geniş bir alana düzgün olarak yaymak ve dolayısıyla balast altı zeminin aşırı zorlanmasını engeller.

Ray ve traverslerden oluşan yol çerçevesinin boyuna ve enine yöndeki deplasmanlarına iç sürtünme yardımıyla engel olur. Su ve hava geçirgenliği özelliğinden dolayı yol çerçevesinin kuru kalmasını sağlar, yağmur ve kar sularının balast altı zeminin dayanımını bozmasına engel olur.Yolun yapısını don olayından koruyarak, taşıma gücünün azalmasına engel olur.

Üstyapıya yeterli elastisiteyi vermek suretiyle yolculukta konforu arttırmak ve üstyapı elemanlarında oluşabilecek bozuklukları azaltarak bakımda ekonomiklik sağlar. Balast tabakasının yaptığı bu görevler düşünüldüğü zaman balastın bakımının çok önemli olduğu görülmektedir. Balast çevreden ve ortamdaki etkilenen bir üstyapı malzemesi olduğu için zamanla kırılmalar, kirlenmeler ve bozulmalar olmaktadır. Bu durumda balast görevini ve işlevini yerine getiremez. Bunun için kirlenen balastın elenmesi gerekmektedir. Balast eleme; elle ve makineli olmak üzere iki çeşit yapılmaktadır.

6.8.1 Elle Balast Eleme

Elle balast eleme genellikle travers aralarında ve travers başlarında yapılan kısa mesafeli kirlenmelerin giderilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Travers aralarındaki balast elenirken öncelikle iki travers arasındaki balast alt zemine kadar boşaltılır (Şekil 6.40). vagonlarla getirilen elenmiş balast hatta dökülür



Şekil 6.40: Balast yatağının boşaltılması çalışması

Bu şekilde dağıtım yapılarak eksik olan balasta yeni takviye balast eklenerek balast eleme tamamlanır. Burada dikkat edilecek husus iki travers arası boşaltılırken travers altındaki balastın kaymamasıdır. Şayet travers altındaki balast dağılırsa ray kotunda bozulmalar oluşur ve tekrar buraj yapma ihtiyacı doğar(Şekil 6.41).



Şekil 6.41: Elenmiş balastın hatta dökülmesi

Travers başlarındaki veya altındaki balast elenirken öncelikle bozuk traversler varsa, bunların tespit edilmesi ve eleme sırasında değiştirilmesi gerekmektedir. Burada da travers arasındaki balast elemeye olduğu gibi iki travers arasındaki balast boşaltılır ve balastı elenecek travers boşluğa doğru kaydırılarak altındaki balast boşaltılır. Boşaltılan balast yaba veya eleklerle elenerek takviye balastla birlikte travers altına serilir. Travers tekrar yerine alınarak buraj yapılır ve aynı işlem diğer traverslerde de devam eder. Balast elemesi yapılan yerler sürekli gözlem altında tutulmalı ve balast yeteri sıklığa ulaşıncaya kadar takip edilip gerektiğinde buraj yapılmalıdır.

6.8.2 Makineli Balast Eleme

Makine ile balast elemeye geçmeden önce yer tespitinin iyi yapılması, çalışılacak yerde bozuk veya işlevini yerine getiremeyen traversler varsa değiştirilmesi, tüm bağlantı elemanlarının sıkılı olması, ilgili bölgeye temiz balast eklenebilmesi ve hattın makine gabarisine engel olmayacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

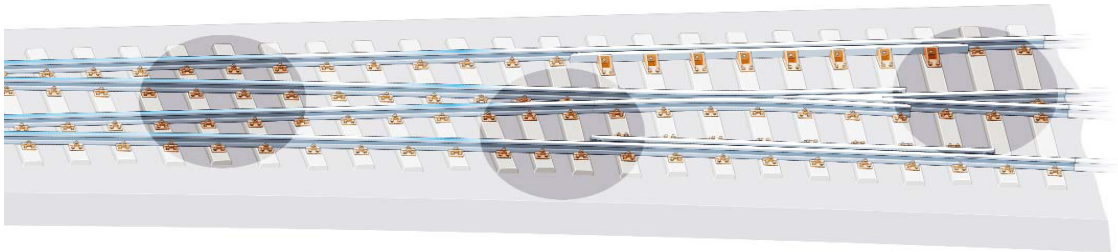


Şekil 6.42: Balast eleme makinesi

Makine ile eleme yapılırken komşu üç travers araları ve ortada kalan traversin altı boşaltılarak eleme yapılır (Şekil 6.42). Altı boşaltılan traversin altına takoz bırakılmak suretiyle hat kotunda tutulmaya çalışılır. Balast eleme makinelerinin özelliğine göre elenen kirli balast makine marifetiyle vagonlara direkt bırakılabilir veya uygun yerlere dökülerek sonradan da alınabilir.

6.9 MAKAS BAKIMLARI

Makaslarda yapılacak bakımlar periyodik kontrollerden sonra çıkan ölçüm sonuçlarına göre belirlenir. Genellikle küçük malzeme bakımları, buraj, göbek, tavşan ayağı ve yaslama rayı dolgu işleri olmaktadır. Makaslarda en çok zorlanan ve aşınan kısımlar; göbekler, tavşanayakları, diller, yaslanma raylardır. Makasın ölçüm sonucunda makasın projesinden belirlenen toleranslar dışına çıkmasından dolayı kaynak dolgu yöntemi kullanılarak yapılan makas bakımlarıdır(Şekil 6.43).



Şekil 6.43 : Makas göbek kaynağı

6.10 MAKAS DİL TAKIMI VE GÖBEK DEĞİŞTİRİLMESİ

Hat üzerinde bulunan makaslar; sağ ray, sol ray dil takımı olmak üzere iki dil akımından ve bir adet göbekten oluşur. Dil takımı ise, yaslanma rayı ve makas dili olmak üzere iki parçadan oluşur.

Bir makasta hiçbir zaman dil ve yaslanma rayı ayrı ayrı değiştirilmez, makas dili veya yaslanma rayından biri değiştirilecekse, dil takımının tümü değiştirilmelidir. Bir makas üzerinde dil ucundan 2 adet, makas sonundan 4 adet ve bazı makas tiplerinde de dil takımı ile göbeğin birleşim yerlerinde 4 adet olmak üzere 10 adet termit kaynak veya birleşim yeri vardır .

Dil takımını değiştirirken, göbek ile birleşim yerlerindeki termit kaynaklarla, dil ucundaki termit kaynakların dışından olacak şekilde rayların kesilmesi gerekmektedir. Makas takımı traversler üzerine veya sabit çelik seletler üzerine oturduğu için makas dil takımı veya göbek takımında ekstra hiçbir işlem yapılmaz. Sadece kesilen dil takımının mesafesi ölçülür ve yerine bırakılacak olan dil takımının da mesafesi ölçülerek, kaynak yapılacak kadar mesafeler bırakılacak şekilde yeni dil takımında varsa fazlalıklar kesilir.

Dil takımını değiştirirken öncelikler tüm bağlantı elemanları sökülür, ray altı pedleri alınır ve birleşim yerlerindeki termit kaynaklar dış taraftan kesilerek dil takımı bakım aracının üstünde vinç tertibatı varsa vinçle, yoksa ray maşalarıyla kaldırılarak makastan alınır. Yeni dil takımı aynı şekilde makas üzerine yerleştirilerek ara kısımda bulunan bağlantı elemanları sıkılır. Dil ucu ve sonlarına termit kaynak yapılarak geri kalan tüm bağlantı elemanları sıkılır.

Makas göbeğinin değiştirilmesi işlemi de aynı şekilde yapılmaktadır. Öncelikle bağlantı elemanları sökülür, ray altı elastik pedler alınır ve birleşim yerlerindeki termit kaynaklar dış taraftan kesilerek, makas vinç veya ray maşalarıyla hattan alınır. Aynı şekilde göbek yerleştirilir, uç kısımlarına termit kaynak yapılır ve tüm bağlantı elemanları sıkılır.

7. BALASTLI ve BETONA TESPİTLİ HATLARDA BAKIM MALİYETLERİ

Demiryollarının kullanım sürelerine hattın ömrü (Life Cycle), bu süredeki toplam bakım giderlerine hattın ömür bakım maliyeti, (Life Cycle Maintenance Cost) bakım ve yapım giderlerinin tamamına ise, ömür maliyeti (Life Cycle Cost) denmektedir. Ömür maliyeti hattın ticari açıdan başarısını göstermektedir.

Bakım giderlerini etkileyen faktörler:

- Hat uzunluğu ve tipi (tek veya çift hat olması)
- Makas Yoğunluğu
- Kurplar
- Sanat yapıları; tüneller, köprüler, viyadükler
- Trafik yoğunluğu
- Trenlerin sayısı, çeşitliliği ve dizideki araç sayısı
- Hatta geçen tonaj

Bakım giderlerini yükselten faktörlerin başında iş gücü gelmektedir. İkinci sırada malzeme ve alt yüklenici kullanımı, alt yapı ve üst yapı giderleri, konvansiyonel hatlar için trafik ayırımı(yük yolcu) kurp yarıçaplarının dar olması, makas yoğunluğunun fazla olması. Bir makasın bakım gideri 330 m hattın bakım giderine eşit olmaktadır.[Lichtberger, 2011, ss.357- 359]

Bakım giderlerini aza indirmek için personel giderlerini düşürmek gerekmektedir. Bu sebeple bakım esnasında hattın kapatılması veya trafiğin bakıma göre biçimlendirilmesi, montaj yöntemlerinin geliştirilmesi, giderleri düşürecek. Bakım giderlerini düşürmek için:

- Projeler planlanırken, prestij projelerinden çok altyapı hattın beklenen karlılık açısından planlanmalı.
- Bakımı yapacak organizasyon projenin başlangıcından itibaren her evreye katılmalıdır.

- Baştan planlanan teknik veya altyapısal parametrelerden çok, fonksiyonel ve gelecekte ihtiyacı karşılayacak şekilde olmalıdır.
- Aık ve özenle tanımlanmış hedefler olmalıdır.
- Tasarım sürecinin her safhasında alternatifler gözden geçirilmeli ve en iyi alternatif uygulanmalıdır.
- Yaşam döngü maliyeti ve getirileri uygun bir şekilde tespit edilmelidir.

7.1 METODOLOJİ:

Kent iı demiryolu sistemlerinde balastlı veya betona tespitli hatların bakım giderlerini hesaplamak için daha önceki bölümlerde açıkladığımız periyodik, koruyucu ve düzeltici bakımların balastlı ve betona tespitli hatlarda hangi bakımın ne sıklıkta yapıldığını, bakımların maliyetlerinin ne olduğunu ve önümüzdeki dönemde bu bakımları ne kadar zaman daha yapacağımızı bilmemiz gerekmektedir. Bu sebeple iki yöntem kullanılacaktır.

Birinci yöntemde şu anda çalışmakta olan ve bize lazım olan bütün bilgilere sahip olduğumuz betona tespitli ve balastlı iki adet kent iı raylı sistemi ele alarak servise başladığı günden bu güne kadar yapılan hat bakım maliyetlerini hesaplayarak karşılaştırırız. Ayrıca bu hesaplardan yaşam döngüsü maliyetini buluruz.

Balastlı hat için ilk 20 yılda yapılan bakım değerleri bulunmaktadır. Balastlı bir hat için 40 yıl ömür biçilmektedir. Balastlı bir hatta ilk yirmi yıldan sonra yenileme zamanı gelmiştir, hatta yapılan düzeltici bakım çalışmaları daha çok yenileme çalışmalarını kapsar. Bu bölümde balastlı hat olarak Türkiye'deki en eski hafif metro hatlarından biri olan Aksaray - Havalimanı hattı incelemeye alınacaktır.

7.1.1 Hat Bakım Maliyetlerinde İncelenecek Hatlar

Balastlı ve betona tespitli hatlar için İstanbul'da bulunan Aksaray havalimanı hattı ile İstanbul Metrosu'nun bakım maliyetlerine ait veriler alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

7.1.1.1 Balastlı hat

Balastlı hat olarak Aksaray – Havalimanı Hafif Metro Hattı incelenecektir. Aksaray-Havaalanı Hafif Metro Hattı ilk olarak 1989 yılı Mart ayında, Aksaray-Kartaltepe arasında yolcu taşımaya başlamıştır. Aynı yıl içinde Kartaltepe ve Esenler arası tamamlanarak hizmete açılmıştır.1994 yılında Zeytinburnu ve Bakırköy istasyonları devreye alınmıştır. Hat, 1995 yılında Ataköy, Yenibosna 'ya uzatılmış, 1999 yılında da Bahçelievler'e istasyonu devreye alınarak Aksaray – Yenibosna arası tamamlanmıştır. 2002 yılında Yenibosna – Havalimanı hattı devreye girerek bugünkü halini almıştır.

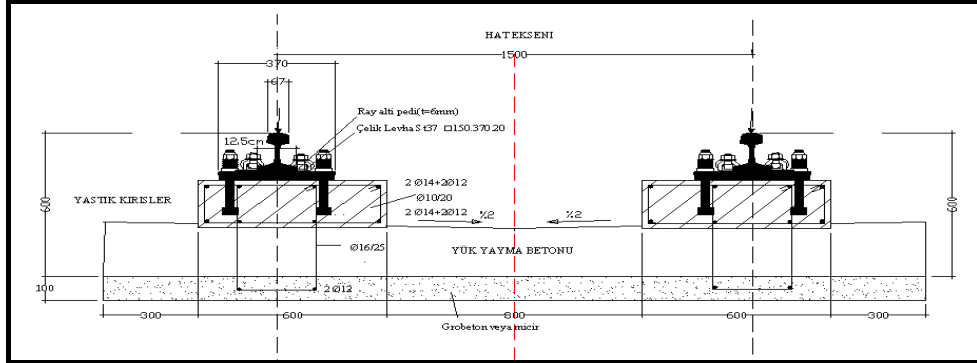
Hattın Aksaray – Yenibosna arası balastlı (18,5 km), Yenibosna – Havalimanı arasındaki 2 kilometrelik kısım betona tespitli olarak inşa edilmiştir. İstasyonlar arası yaklaşık olarak 1 kilometredir. Bu hatta şu anda yapımı devam eden 700 metrelik Aksaray - Yenikapı ve 5,5 kilometrelik Otogar- Bağcılar hattı entegre olacaktır.



Şekil 7.1: Aksaray -Yenibosna hattı üstyapısı

Bu hatta S49 ray kullanılmıştır. Hemzemin olan bölgelerde B55 beton travers ve bağlantı elemanı olarak da Vossloh bağlantı sistemi kullanılmıştır. Makaslarda ve viyadüklerde ahşap travers kullanılmış bağlantı elemanı olarak çelik selet üzerine Vossloh bağlantı sistemi kullanılmıştır (Şekil 7. 1) . Balastlı olan kısımda minimum 40 cm, maksimum 60 cm kalınlığında kalker ve bazalt kullanılmıştır. Ahşap traverslerde K tipi bağlantı malzemesi kullanılmıştır (Şekil 7. 1).

Yenibosna-Havaalanı hattında kullanılan betona tespitli üstyapı sisteminde, sistem yük yayma betonu üzerinde bulunan beton kiriş üzerine sabitlenmiştir (Şekil 7. 2).



Şekil 7.2: Yenibosna – Havalimanı betona tespitli hat

7.1.1.2 Betona Tespitli Hat

Birinci metotta kullanılmak için örnek betona tespitli hat olarak İstanbul Metro'su'nun bakım giderleri ele alınacaktır. Yapımına 1992 yılında başlanan İstanbul Metro'su 16 Eylül 2000'de Taksim - 4. Levent arasında hizmete girmiştir. Taksim – 4 Levent arası toplam 8,5 km. 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete girmiştir. 31 Ocak 2009' da hattın kuzeyinde Atatürk Oto Sanayi ve güneyinde Şişhane uzantıları hizmet vermeye başlamıştır. Bu tarihten sonra toplam hat uzunluğu 14,5 km' ye çıkmıştır. Atatürk Oto Sanayi- Hacı Osman ve Şişhane – Yenikapı hatları eklenecektir.

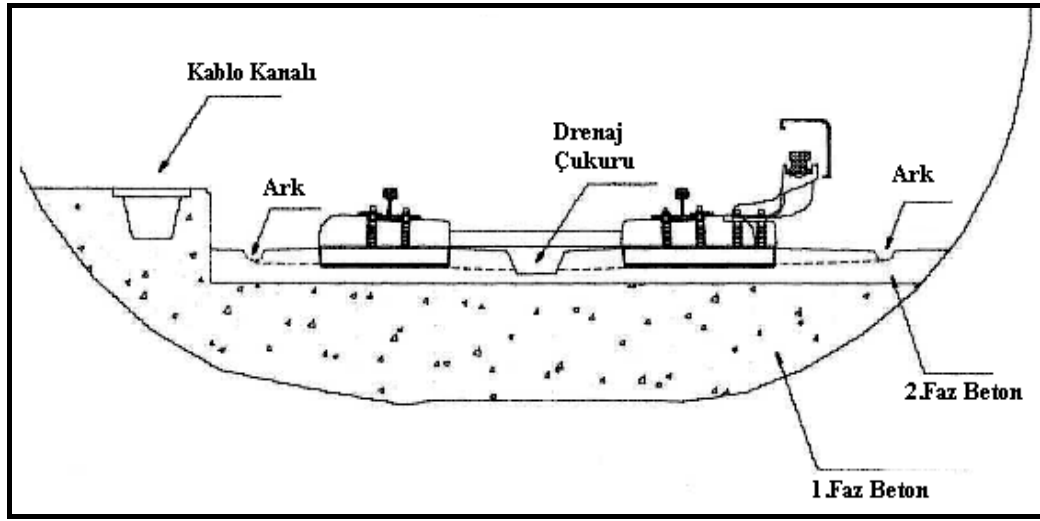


Şekil 7.3: İstanbul Metro'su üstyapısı

Üstyapı sistemi makaslar dışındaki tüm hat için ikiz blok beton traversler, makaslar için ahşap traversler ve traverslerle ilişkili olan elastik travers çizmeleri ve travers altı mikroselüler yastıklar ve elastik ray bağlantı elemanlarından oluşmaktadır.

Traversin alt kısmını kaplayan elastik travers çizmesi, beton plaka ve travers arasındaki teması engelleyerek, traversin kolay bir şekilde yeniden çıkarılmasını sağladığı gibi traversin direkt olarak betonla temasına engel olarak kaçak akım oluşmasını engeller. Traversin alt kısmı ve elastik travers çizmesi arasına yerleştirilen mikroselüler elastik ped, trenin seyri sırasında zeminden kaynaklanan gürültüyü azaltma işlevi görür.

İstanbul Metrosu'nda kullanılan bu sisteme STEDEF V.S.B. (Stedef Balastsız Üstyapı) denir, (Şekil 7. 4). Sistemin en önemli avantajı; bakım masraflarının az olması ve 30- 250 Hz arasında oluşan, özellikle çevredeki yapılara rahatsızlık veren titreşimleri ray altı ve mikroselüler ped olan travers altı pedleriyle söndürme yetkinliğine sahip olmasıdır.



Şekil 7.4: İstanbul Metrosu üstyapı kesiti

7.2 AKSARAY -HAVALİMANI ARASI BALASTLI HATTA YILLIK BAKIMLAR VE MALİYETLERİ

Aksaray-Havalimanı hattında saat 05.30 ile 24.00 saatleri arasında işletme yapılmaktadır. Günde ortalama 180 sefer yapılmaktadır. Zirve saatler sabah 06.30 –

09.30 akşam 16.30 ile 19.30 saatleri arasındadır. Hafif metro hattında bakım onarım çalışmaları gece 01.00 ile 05.30 saatleri arasında yapılmaktadır.

Tablo 7.1: Hafif Metro hattı ölçüm ve kontroller

KONTROLLER	BAKIM PERYODU	ÖLÇÜMÜ YAPAN	ÖLÇÜMÜN AMACI
Makine ile nivelman ve dresaj ölçümü	Yılda bir	Ölçüm aleti operatörü	Hatta buraj öncesi geometrik bozuklukların tespiti
Ray aşınma ve ekartman ölçümü	Yılda bir	Bakım mühendisi teknikeri	Yıllık ray aşınmaları ve ekartman değişimi takibi
Ondülasyon ölçümü	Yılda bir	Bakım mühendisi teknikeri	Taşlama programını oluşturmak
Makas ölçüm ve kontrolü	Yılda bir	Bakım mühendisi teknikeri	Göbek ve dildeki aşınma ve bozuklukların takibi
Günlük hat kontrolü	Hafta içi her gün	Hat nöbetçisi	Hattı gözetim altında tutmak
Haftalık hat kontrolü	Haftada bir	Bakım mühendisi	Çıkabilecek arızaları gözlemlemek
Makinist hız kontrolü	3 ayda bir	Sistem emniyet sorumlusu	Dreyman ve hızın hatta etkilerinin giderilmesi
Teknik hat kontrolü	3 ayda bir	Bakım teknikeri hat nöbetçi	Hattaki değişimleri takip etmek
Makas gözle kontrolü	3 ayda bir	Bakım teknikeri	Makaslardaki arıza ve bozuklukların tespiti

Balastlı bir hatta ölçüm ve kontroller (Tablo 7. 1) 'e göre yapılmaktadır. Yıllık düzeltici bakım planları ölçümlerden çıkan sonuçlara göre çıkartılır. Bu planlarda yıl içerisinde yapılacak olan periyodik bakım ve kontrollerin yanı sıra düzeltici bakımlar ve yenilemeler de bulunmaktadır. Düzeltici bakım faaliyetleri hattan gelen bilgilere göre her 3 ayda bir revize edilir. Düzeltici faaliyetler ve hat içerisindeki kısımları periyodik ölçümler sonucunda çıkartılır. Balastlı bir hatta düzeltici bakımlar (Tablo 7. 3)' de görüldüğü gibidir. Kontroller yapıldıktan sonra bu faaliyetler planlanır ve öngörülen şekilde yapılır.

Her yılın sonunda programlanan - gerçekleşen eşleştirmesi yapılarak o yıl içerisinde hedeflenen ve gerçekleşen faaliyetlerin oranları bulunur. Bir önceki yıllla o yıl karşılaştırılarak, yıllar arasındaki düzeltici bakımlarda artışlar görülmüş olur ve bir sonraki yılın programlanmasına yardımcı olur.

Tablo 7.2: Hafif metro hattı planlı bakımları

BAKIMLAR	BAKIM PERYODU	BAKIMI YAPAN	YAPILAN İŞ
Kanal Temizliği	6 Aylık	Bakım Ekibi	Drenaj kanalları temizlenerek drenaj sistemini açık tutmak
Makasların Yağlanması	Aylık	Bakım Ekibi	Makasların kayma yataklarının temizlenip yağlanması
Ot Temizliği	6 Aylık	Bakım Ekibi	Balast içerisinde oluşan yabancı otların temizlenmesi
Durdurucu Tampon Bakımı	Yıllık	Bakım Teknikeri	Tamponun bakım ihtiyaçlarının tespiti

Hafif metro hattında yapılan planlı bakım faaliyetleri (Tablo 7.2)' de görüldüğü gibidir. Planlı bakımlar daha çok sistemi korumaya yönelik yapılan faaliyetlerdir. Kanal temizliği drenaj sistemini korumaya yöneliktir. Ot temizliği ise balast içerisindeki organik maddeleri temizlemek için yapılmaktadır.

Tablo 7.3: Hafif metro hattı düzeltici bakımlar

BAKIMLAR	BAKIMI YAPAN	YAPILAN İŞ
Makinelı Buraj	Buraj makinesi	Geometrik düzeltmeler yapmak travers altı gizli boşlukları almak
Manuel Buraj	Bakım Ekibi	Travers atındaki gizli boşlukları almak
Balast tesviye	Bakım Ekibi	Buraj sonrası bozulan banketleri düzeltmek
Balast takviye	Bakım Ekibi	Buraj sonrası eksik kalan balastları tamamlamak
Balast Eleme	Eleme Makinesi	Kirli balastın temizlemek
Balast değiştirme	Bakı Ekibi	Bozuk balastın çıkartılarak yenisinin yerine konması
Travers değiştirme	Bakı Ekibi	Kırık ve bozuk traverslerin değiştirilmesi
Travers Kaydırma	Bakı m Ekibi	Ahşap traveslerde gevşek ve laçka tirfonların yerinin değiştirilmesi
Bağlantı elemanı değişimi	Bakım ekibi	Zamanla bozulan ve kırılan bağlantı elemanlarının değişimi
Contalarda Kaynak Dolgu	Kaynak Ekibi	Kaynak birleşim bölgelerindeki düşüklüklerin giderilmesi
Conta düzeltme	Kaynak ekibi	Eğilen ray Kaynak contalarının eski konumuna getirilmesi
Ray Değiştirme	Bakım ve Kaynak	Hasar gören ve aşınan rayların değiştirilmesi
Aluminothermit Kaynak	Kaynak ekibi	Kırılan kaynak contalarının yenilenmesi
Ray Taşlaması	Taşlama makinesi	Ray yüzeyindeki bozuklukların giderilmesi
İzole cebire değiştirme	Bakım Ekibi	Bozulan izole cebirelerin değiştirilmesi
Makas göbeği dolgu kaynağı	Kaynak ekibi	Aşınan makas göbeklerinin kaynak yöntemi ile tamir edilmesi
Makas dil ve göbeklerinin değişimi	Bakım ekibi	Kırılan ve bozulan makas göbeklerinin değiştirilmesi

Hafif Metro hattında düzeltici bakımların çokluğu dikkat çekicidir. Bakım maliyetleri düzeltici bakımlar oluşturmaktadır. Koruyucu bakımlar daha çok kontrollerdir. (Tablo 7. 3)

7.2.1 Yıllık Bakım Maliyetleri

Hafif metro hattı açıldığı günden bu güne kadar 22 yıl geçmiştir. Balastlı bir hattın yaşam ömrü kırk yıl olarak kabul edilmektedir. Kırk yıl geçtikten sonra hat tamamen yenilenir. Hatta yapılan bakımların maliyetleri giderek artmaktadır (Tablo 7. 4). Demiryolu hattında ve üstyapıda oluşan deformasyonlar artması bozulmalara neden olur. Bu bozulmalar konforu bozar, diğer üst yapı malzemelerini etkiler, en önemlisi dreymana neden olur. Hatta bozulma ve deformasyonların aşırı bir şekilde artması hattın ömrünü tamamlamış olduğunun göstergesidir. Hat ömrünü tamamladığı zaman tüm elemanları yenilenir.

Tablo 7. 4: Hafif metro hattı bakım giderleri

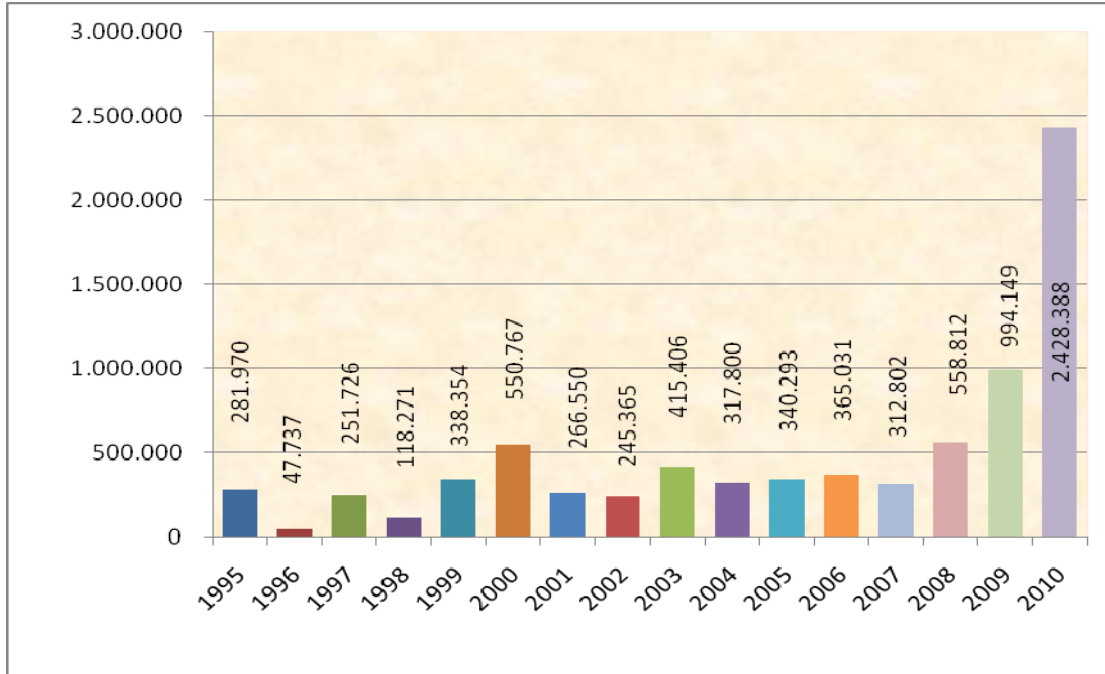
YILLAR	YILLIK TUTAR (\$)
1995	281.970
1996	47.737
1997	251.726
1998	118.271
1999	338.354
2000	550.767
2001	266.550
2002	245.365
2003	415.406
2004	317.800
2005	340.293
2006	365.031
2007	312.802
2008	558.812
2009	994.149
2010	2.428.388
TOPLAM	7.833.422

Hafif Metro hattında bakım için harcanan tutar (Tablo7.4) de görüldüğü gibi 7.833.422 \$ olmuştur (Tablo 7.4). Aksaray Havalimanı Hafif Metro hattı 18 km balastlı çift hattır. Tek hat olarak 36 km' dir.

Yıllık ortalama toplam bakım gideri: $7.833.422 / 16 = 489.589$ \$/Yıl

Km Başına Toplam Bakım Gideri: $7.833.422 / 36 = 217.595$ \$/KM

Km Başına Ortalama Yıllık Bakım Gideri: $217.595 / 16 = 13.600$ \$/Yıl.Km



Şekil 7.5: Yıllara göre hafif metro hattının bakım maliyetleri

(Şekil 7. 5)' de görüldüğü gibi 1995 ile 2007 yılları arasında yapılan toplam bakımlar 2000 yılı hariç 296.310 \$/Yıl civarındadır. 2008 yılından itibaren hat bakım giderleri hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. 2010 yılında zirve yapmıştır. 2010 yılında yapılan hat bakım gideri 2007 yılına kadar olan ortalamanın 8,2 katı olmuştur.

Tablo 7. 5: Hafif metro hattında yıllara göre bakımlar

YILLAR	PERİYODİK BAKIM MALİYETİ (\$)	DÜZELTİCİ BAKIM MALİYETİ (\$)	TOPLAM BAKIM MALİYETİ (\$)
1995	49.800	232.171	281.970
1996	9.500	38.237	47.737
1997	14.700	237.026	251.726
1998	10.550	107.721	118.271
1999	14.545	323.809	338.354
2000	71.724	479.043	550.767
2001	64.335	202.215	266.550
2002	41.607	203.757	245.365
2003	12.130	403.276	415.406
2004	32.101	285.699	317.800
2005	25.972	314.321	340.293
2006	25.487	339.544	365.031
2007	52.148	260.654	312.802
2008	40.556	518.256	558.812
2009	64.486	929.663	994.149
2010	104.995	2.323.393	2.428.388
TOPLAM	634.636	7.198.785	7.833.422

Hat bakım giderlerinin artmış olması, hatta artık yenileme çalışmalarının başladığının göstergesidir. 1995,1997, 1999 yıllarında 1996 ve 1998 yıllarına göre daha fazla olmasının nedeni düzeltici bakımların daha fazla olmasıdır. 2000 yılından sonra yapılan hat bakım giderleri, 2000 öncesinin düzeltici bakımlarının yapıldığı yıllara yakın değerlerde gitmektedir. Bu yıldan itibaren düzeltici bakımlar artık her yıl yapılmaya başlanmıştır. 2008 yılından itibaren yenilemeler başlamıştır.(Tablo 7. 5)

(Tablo 7.5)' e göre 1995 -2010 yılları arasında yapılan düzeltici ve periyodik bakımların yıllara göre ve km başına düşen bakım giderleri hesaplanarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur :

Periyodik Bakımlar

Yıllık ortalama Periyodik Bakım Gideri: $634.636 / 16 = 39.665$ \$/Yıl

Km Başına Periyodik Bakım Gideri : $634.636 / 36 = 17.629$ \$ / Km

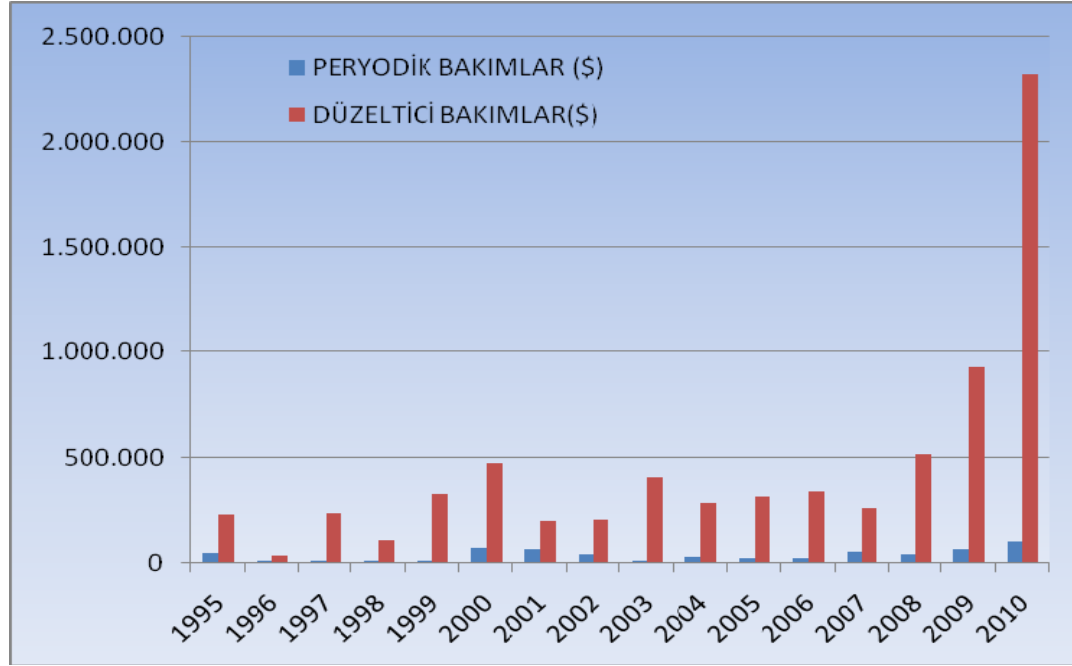
Km Başına Yıllık Periyodik Bakım Gideri: $17.629 / 16 = 1.102$ \$ / Yıl . Km

Düzeltilici Bakımlar

Yıllık ortalama Düzeltilici Bakım Gideri: $7.198.785 / 16 = 449.924 \text{ \$/Yıl}$

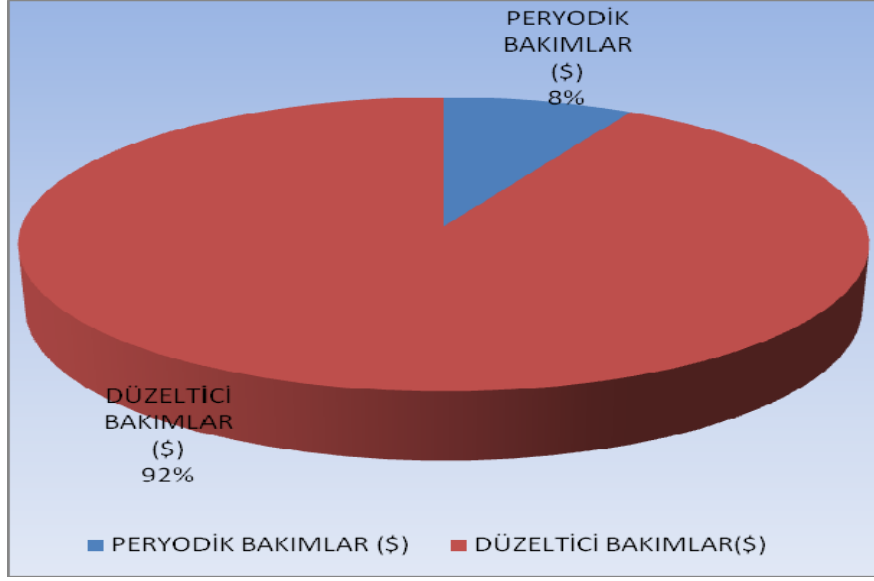
Km Başına Düzeltilici Bakım Gideri : $634636 / 36 = 199.966 \text{ \$/Km}$

Km Başına Yıllık Düzeltilici Bakım Gideri: $17.629 / 16 = 12.498 \text{ \$/Yıl . Km}$



Şekil 7.6: Yıllık düzeltilici ve periyodik bakımların oranları

Hafif metro hattında yapılan hat bakım çalışmalarının büyük bir kısmını düzeltilici bakımlardır. Hatta yenilemeler (Şekil7.6)' de görüldüğü gibi 2000 yılından sonra başlamıştır. 2000 yılından 2009 yılına kadar hatta yapılan yenileme harcamaları birbirine eşit gitmiştir. 2009 yılından sonra çok hızlı bir şekilde yükselmiştir. Hafif metro hattında yenileme çalışmaları bitinceye kadar bu değer daha fazla olacaktır. Yenileme çalışmaları bitince hat bakım harcamaları 2009 yılından önceki değerini alması beklenmektedir.



Şekil 7.7: Hafif metro hattı bakımlarının dağılımı

1997 – 2010 yılları arasında yapılan bakımların toplam bakımlara olan oranlarına baktığımızda yenilemeleri de düzeltici bakım sınıfında değerlendirirsek yapılan bakımların içerisinde periyodik bakımların yüzde 8 gibi çok küçük bir değerde kalmıştır. Bunun yanı sıra düzeltici bakımlarda yüzde 92 gibi çok yüksek bir değerde olduğu görülmüştür.

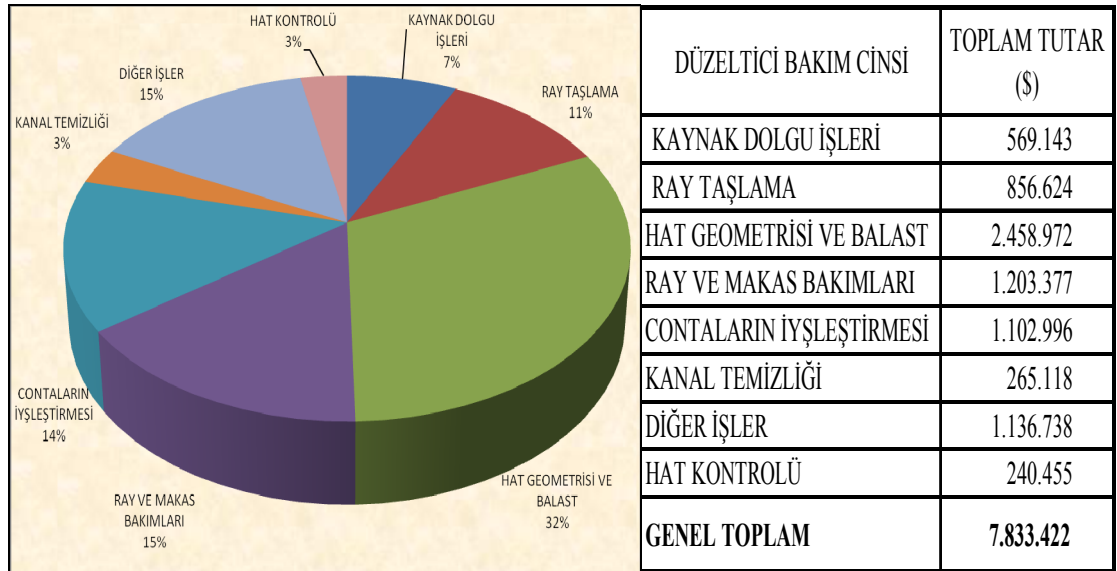
Maliyet karşılaştırmasını yapabilmemiz için balastlı hat olarak seçtiğimiz İstanbul Aksaray – Havalimanı Hafif raylı sisteminde yapılan bakımların yüzde 92 gibi büyük bir kısmının düzeltici bakım yüzde 8'nin de periyodik bakım olarak yapıldığı görülmüştür. Ayrıca hattın işletmeye açıldığı günden 1997 yılına kadar alınan veriler sağlıklı olmadığı için açıldığı ilk yıllardaki maliyetler konusunda bir fikir yürütemiyoruz; fakat elimizdeki verileri değerlendirdiğimizde zaten az olan periyodik bakımlarla düzeltici bakımlar arasındaki farkın yıllar geçtikçe arttığı görülmüştür.

Yıllık düzeltici ve periyodik bakımların oranlarının yıllar geçtikçe arasındaki farkın artmış olması; balastlı hatlarda üzerinden geçen işletme yükü arttıkça üst yapıda büyük deformasyonlar olduğu ve üst yapıyı oluşturan kısımlarında artık yenileme ihtiyacının doğduğu görülmüştür.

7.2.2 Bakım Çeşitlerine Göre Maliyetlerin Değerlendirmesi

Balastlı hattı oluşturan üst yapı elemanlarına yapılan düzeltici ve koruyucu bakımların genel olarak ne seviyede olduğu hesaplandı. Hafif metro hattında yapılan bakımların çeşitlerine göre 2010 yılına kadar maliyetleri ve oranları hesaplanılacaktır.

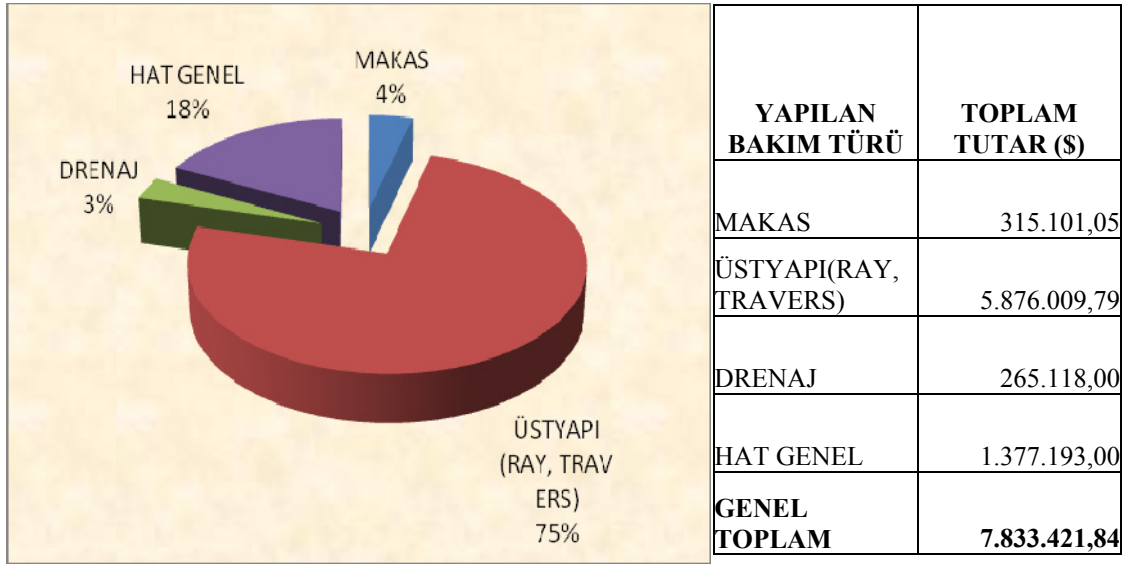
Balastlı hatta en fazla harcanan bakım kalemi makineli buraj kalemidir. Arkasından ray taşlama ve conta kaynaklarının değiştirilmesi kalemleri gelmektedir. Balastlı hatta düzeltici bakım kalemi olarak en fazla harcanan tutar üst yapıya harcanan tutar ve üst yapı içerisinde de en büyük payı hat geometrik düzeltmeleri almaktadır.



Şekil 7. 8: Hafif Metro hattı hat bakım çalışmaları maliyetlerinin oranları

Yukarıda da belirttiğimiz gibi Hafif metro hattında yapılan bakım çalışmalarında en büyük payı yüzde 31 ile hat geometrik bakımları almıştır.(Şekil 7.8) Geometrik bakımlara bağlı olarak rayla ilgili işlerde önemli bir yer kaplamaktadır. Periyodik bakımlar ve diğer işlerin içerisinde ele alınmıştır.

Diğer işler, periyodik bakımları, düzenleme işlerini, kontroller ve bakımın dışında yapılan işleri kapsar. Toplam bakımlar içerisinde yüzde 15 gibi yüksek bir oranı kapsamaktadır. Hat bakım ekibi yüzde 85 oranında bakım yapabilmektedir.



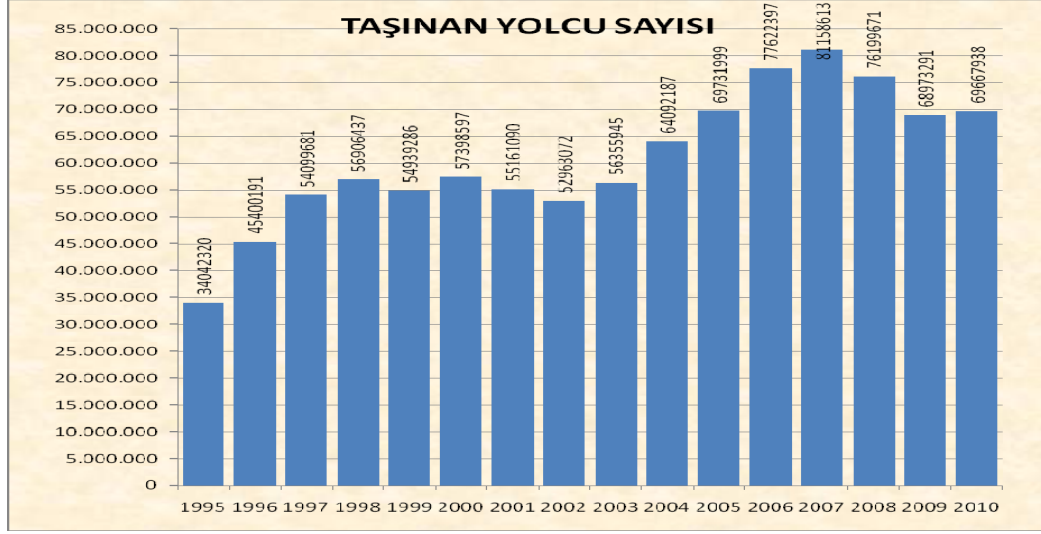
Şekil 7.9: Hafif metro hattında üst yapı bakım oranları

Üst yapıyı oluşturan ray travers bağlantı elemanı vs. malzemeler yapılan bakımların yüzde 75 oluşturmaktadır. Geri kalan bakımların da yüzde 18 hat genel bakımları oluşturmaktadır. Drenaj sistemi en az harcama kalemidir. Makaslara yapılan bakım çalışmaları yüzde 3 gibi çok cüzi bir değer almıştır (Şekil 7. 9).

7.2.3 Hafif Metro Hattında Yolcu Başına Düşen Bakım Maliyetleri

İstanbul kent içi toplu taşıma sistemleri içerisinde büyük önem taşıyan hafif metro hattında taşınan yolcu sayıları açıldığı günden itibaren bu güne kadar artarak devam etmektedir. 1989 yılı sonunda; yaklaşık 1.000.000 yolcu taşınmışken günümüze geldiğimizde 2007 sonunda 81.000.000'u geçmiştir. 2007 yılında metrobüsün açılması ile 2008 yılında 76.000.000, 2009 sonunda da 69.000.000 yolcu taşınmıştır. Bu sayı 2010 yılında tahminen 65.500.000 yolcuya düşmüştür.

Hafif metro hattında taşınan yolcu sayılarının artarak gitmesi hat üzerinde yapılan sefer sayılarının artması anlamına gelmektedir. Hatta yıllara geçtikçe düzeltici bakımların artmıştır. Bunun sebebi demiryolu hattında geçen yıldaki toplam yükün artması, dış etkilere dolayı üst yapı elemanlarının yorulmasıdır.



Şekil 7.10: Hafif metro yıllık yolcu sayıları

Hafif metro hattı için 1995- 2010 yılları arasında taşınan toplam yolcu sayısına göre bakım maliyetlerini karşılaştırdığımızda yolcu başına düşen ortalama bakım maliyetini buluruz. Yolcu başına düşen ortalama hat bakım maliyeti 1 bilet için harcanan hat bakım maliyetini göstermektedir. (Şekil 7.10)

Tablo 7.6: Hafif metro hattı yolcu başına düşen bakım giderleri

YILLAR	YOLCU SAYISI (KİŞİ)	YILLIK BAKIM MALİYETİ (\$)	YOLCU BAŞINA BAKIM MALİYETİ (\$/ YOLCU)
1995	34.042.320	281.970	0,008
1996	45.400.191	47.737	0,001
1997	54.099.681	251.726	0,005
1998	56.906.437	118.271	0,002
1999	54.939.286	338.354	0,006
2000	57.398.597	550.767	0,010
2001	55.161.090	266.550	0,005
2002	52.963.072	245.365	0,005
2003	56.355.945	415.406	0,007
2004	64.092.187	317.800	0,005
2005	69.731.999	340.293	0,005
2006	77.622.397	365.031	0,005
2007	81.158.613	312.802	0,004
2008	76.199.671	558.812	0,007
2009	68.973.291	994.149	0,014
2010	64.513.753	2.428.388	0,038
GENEL	969.558.530	7.833.422	0,008

Aksaray – havalimanı arasındaki hafif metro hattında 1995- 2010 yılları arasında 969.600.000 yolcu taşınmıştır. Bu yıllar arasındaki toplam hat bakım tutarı yedi milyon sekiz yüz otuz üç bin dolardır. Ortalama bir bilet için harcanan bakım gideri 0,8 Cent’ tir. Türk lirası cinsinden ortalama bakım gideri 1,6 Kuruş’ tur. (Tablo 7.6)

7.3 İSTANBUL METRO HATTINDA YILLIK BAKIMLAR VE MALİYETLERİ

İstanbul metro hattında 06.00 ile 01.00 saatleri arasında işletme yapılmaktadır. Günlük sefer sayısı ortalama 394 seferdir. Zirve saatler sabah 06.30 – 09.30; akşam 16.30 ile 19.30 saatleri arasındadır. Metro hattında bakım onarım çalışmaları hafta içi her gece enerji kesildikten sonra 01.00 ile 05.30 saatleri arasında yapılmaktadır.

Metro hattında (Tablo 7. 7)’ de görüldüğü gibi bakımların büyük bir kısmını kontroller ve ölçümler kaplamaktadır. Bakımlarda maliyetleri yükseltecek olan unsur taşıma kalemidir.

Tabloda önemli olan ikinci unsur da ölçümlerdir. Ölçümler, genellikle üst yapı elemanlarına yöneliktir. Ölçümlerin bu istikamette olması çok doğaldır. Çünkü (Tablo 7. 7)’ de belirtilen makas hat izolatör 3.ray ölçümleri tamamen üst yapı elemanlarını takibe yönelik ölçülerdir. Hizmet olarak adlandırılan bakımlarda bizzat o ekipman üzerinde işlem yapılan bakım çalışmalarıdır.

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra yıllık bakım planları çıkartılır. Bu planlarda yıl içerisinde yapılacak olan periyodik bakım ve kontrollerin yanı sıra düzeltici bakımlar ve yenilemeler de bulunmaktadır. Her yılın sonunda programlanan - gerçekleşen eşleştirmesi yapılarak bir sonraki yılın programlanmasında yardımcı olur. Ayrıca yıl içerisinde hatta program dışı bir faaliyet olup olmadığı da gözlenmiş olur.

Tablo 7. 7: Metro hattında yapılan periyodik kontroller

KONTROLLER	BAKIM PERYODU	ÖLÇÜMÜ YAPAN	AMAÇ
Hattın Sürücü Kabininden Kontrolü	Haftalık	Bakım Müh	Hattaki olumsuzlukları kontrol etme
Hat Ve 3 Ray Görsel Kontrolü	İki Haftalık	Bakım Ekibi	3 raydaki hata ve kusurların tespiti
Makas Görsel Kontrolü	Aylık	Bakım Ekibi	Makaslarda gözle görülen hat ve kusurların takibi
Makas Boyutsal Kontrolü	3 Aylık	Bakım Müh. ekibi	Makaslarında aşınma ve geometrik ölçümler
Bağlantı Elemanları Kontrolü	Yıllık	Bakım Ekibi	Kırılan gevşeyen bağlantı elemanlarının değiştirilmesi
Hat Geometrisi Kontrolü	Yıllık	Bakım Ekibi	Hattaki Yatay Ve Düşeydeki bozulmalar
İzolatör Ve Ankraj Kontrolü	Altı Aylık	Bakım Ekibi	3. Ray izolatörlerinin ölçümleri
Besleme Bağlantısı Kontrolü	Altı Aylık	Bakım Ekibi	3 ray enerji bağlantılarının kontrolü
Pozisyon Ve Aşınma Kontrolü	Altı Aylık	Bakım Ekibi	Ray pozisyonunun ve aşınmalarının ölçümü
3.Ray Boşluk Kontrolü Ve Yağlama	Altı Aylık	Bakım Ekibi	Ray birleş bölgelerindeki boşlukları kontrol edilmesi
Durdurucu Tampon Bakımı	Yıllık	Bakım Ekibi	Durdurucu tamponların bakım ve gözlenmesi
İzole Cebire Kontrolü	Yıllık	Bakım Ekibi	İzole cebirelerdeki Bozulmaların Ve Gevşemelerin İzlenmesi
Ray Taşlama	2 Yılda		Rayların ondülasyon ve kusurlara karşı taşlanması
Makas Yağlama	3 Ayda Bir	Bakım Ekibi	Makasların yağlama ve temizliğinin yapılması

7.3.1 Yıllık Bakım Maliyetleri

İstanbul metrosu işletmeye açıldığı 2000 yılından 2010 yılına kadar geçen 10 yılda periyodik bakımların ve düzeltici bakımlar ve yenileme maliyetleri (Tablo 7. 8)' de verilmiştir. Metro hattı işletmeye açıldığı günden bu güne kadar yaklaşık olarak 10 yıl geçmiştir.

Geçen bu on yıl içerisinde bakımlara harcanan tutar oldukça düşüktür. Hattın betona tespitli olması bazı bakım giderlerinin düşük olmasının ana sebebi olduğu düşünülmektedir.

Hatta düzeltici bakım maliyetleri ile periyodik bakım maliyetlerine göre yıllar geçtikçe artıyor olması İstanbul metrosunda, hatta ve üstyapıda oluşan deformasyonların

zamana bağılı olarak artmakta olduğu ve periyodik bakımdan düzeltici akıma doğru bir kaymanın olduğu görülmüştür.

Tablo 7.8: Metro hattı bakım maliyetleri

YILLAR	PERYODİK BAKIM MALİYETİ (\$)	DÜZELTİCİ BAKIM MALİYETİ (\$)	TOPLAM BAKIM (\$)
2002	37.984,39	39.492	77.476
2003	36.706,27	36.743	73.450
2004	37.853,76	44.439	82.293
2005	51.909,82	60.483	112.392
2006	45.762,02	140.937	186.699
2007	37.981,33	131.109	169.091
2008	63.252,40	270.034	333.287
2009	27.592,63	49.307	76.900
2010	13.860,00	35.296	49.156
TOPLAM	352.903	807.840	1.160.743

Metro hattında 2002 2010 yılları arasında bakım giderleri 1.160.743 \$ olmuştur. Taksim – 4. Levent Metro hattı 8 Km çift hat olduğu için 16 km. tek hattır.

Yıllık ortalama toplam bakım gideri: $1.160.743 / 8 = 145.093$ \$/Yıl

Km Başına Toplam Bakım Gideri : $1.160.743 / 16 = 72.546$ \$/Km

Km Başına Ortalama Yıllık Bakım Gideri: $72.546 / 8 = 9.068$ \$/Yıl - Km

Peryodik Bakımlar

Yıllık ortalama Periyodik Bakım Gideri: $352.903 / 8 = 44.112,88$ \$/Yıl

Km Başına Periyodik Bakım Gideri : $352.908 / 16 = 22.056$ \$/Km Tek yol

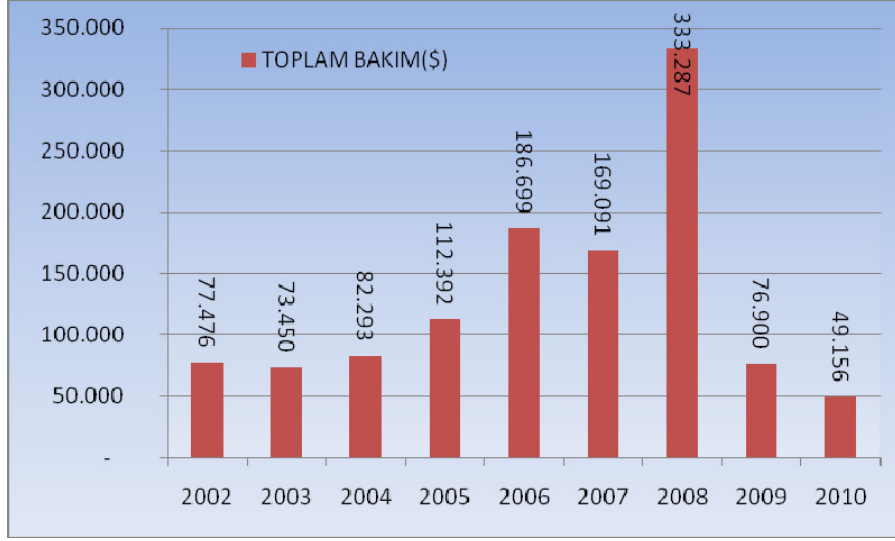
Km Başına Yıllık Periyodik Bakım Gideri: $22.056 / 16 = 2.757$ \$/Yıl - Km

Düzeltilici Bakımlar

Yıllık ortalama Düzeltilici Bakım Gideri: $807.840 / 8 = 100.980$ \$/Yıl

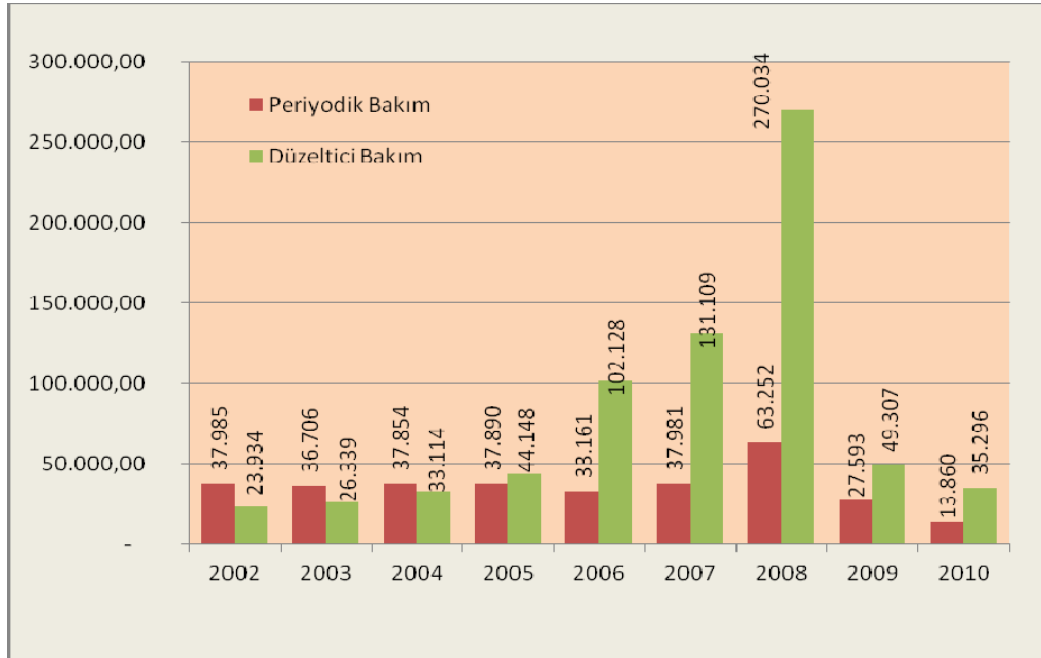
Km Başına Düzeltilici Bakım Gideri : $807.840 / 16 = 50.490$ \$/Km

Km Başına Yıllık Düzeltilici Bakım Gideri: $50.490 / 8 = 6.311$ \$/Yıl - Km



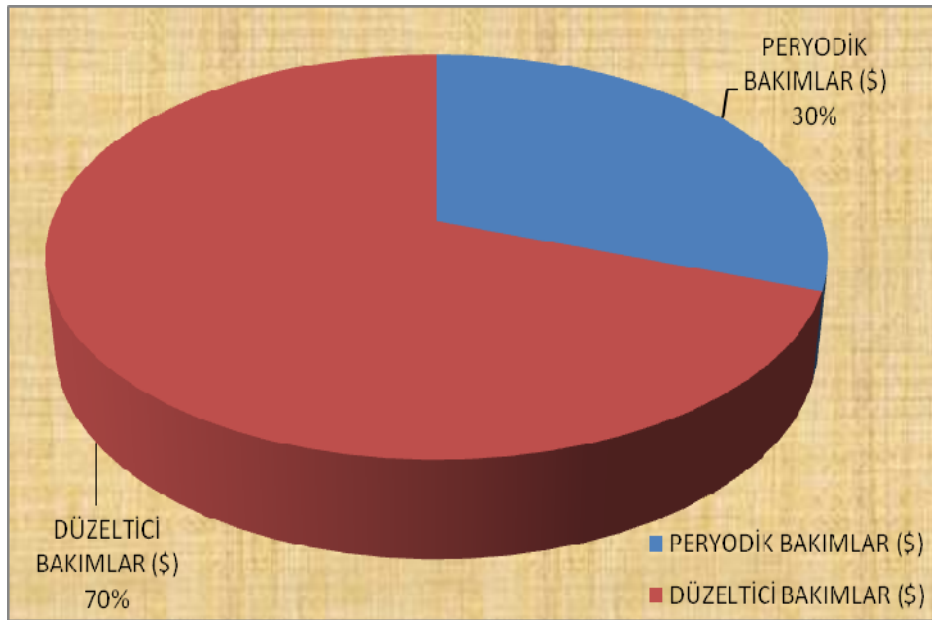
Şekil 7.11: Metro yıllık bakım maliyetleri

2008 yılında yapılan bakımlarda aşırı bir artış vardır (Tablo 7.11). Bakım maliyetlerindeki artışın ana sebebi düzeltici bakımlardaki artıştır. 2005 yılına kadar bakımlar birbirine yakın seviyede gitmiştir. 2005 yılından sonra eğri yükselmeye başlamıştır 2008 yılında pik yapmıştır. 2008 yılında düzeltici bakım yapıldıktan sonra 2009 yılında tekrar ilk açıldığı yıldaki bakım giderleri seviyesine düşmüştür.



Şekil 7.12: Metro hattı düzeltici ve periyodik bakımlar yıllık dağılımı

2002 ile 2010 Ortalama yıllık bakım giderini: 72.546 \$' dır. 2002 ile 2009 yılları bu değere yakın seyretmektedir. Taksim metrosuna yapılan eklentilerden dolayı 2010 yılında düzenli bakımlar daha az yapılmıştır. Bu sebeple 2010 yılı bakım gideri azdır. 2008 yılında bakım giderlerinin zirve yapması düzeltici bakımların artmış olmasıdır. (Şekil 7.12) 1009 ve 2010 yılında bakım giderlerinin düşme sebebi yeni açılan hatlarda test çalışmalarının olmasıdır.



Şekil 7.13: Metro hattı düzeltici ve periyodik bakım oranları

Yapılan bakım çalışmalarında düzeltici bakımlar periyodik bakımların 2,1 katı olması betona tespitli hatların daha düzenli bakım yapma imkânı sağladığının göstergesidir. (Şekil 7.13)

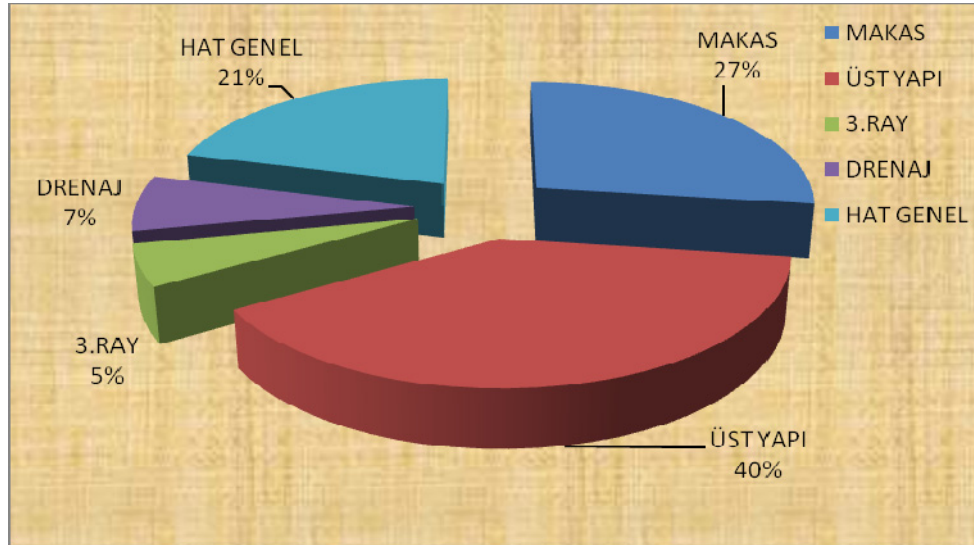
7.3.2 Yapılan Bakım Maliyetlerinin Değerlendirmesi

Metro hattında bakım maliyetleri sınıflandırılırken şu şekilde sınıflandırılmış ve veriler bu başlıklar altında toplanmıştır: Makas, Üstyapı (Ray, Travers), 3.ray, Drenaj, Hat Genel

Tablo 7. 9: Metro hattında 2002- 2010 sistem bazında bakım maliyetleri

YAPILAN BAKIM TÜRÜ	TOPLAM TUTAR (\$)
MAKAS	314.762
ÜSTYAPI (RAY, TRAVERS)	457.256
3.RAY	62.267
DRENAJ	83.634
HAT GENEL	242.823
GENEL TOPLAM	1.160.743

(Tablo 7. 9)' de görüldüğü gibi üst yapıda yapılan bakım maliyetleri birbirine yakındır. Ayrıca geçtiğimiz 9 yılda harcanan tutar 1.160.000 \$ gibi bir değerdir. Bu bakımların sistem bazında en büyük payı üst yapı giderleri almaktadır. Makas giderleri de %27' lif pay ile önemli bir yer kaplamaktadır.(Şekil 7.13)

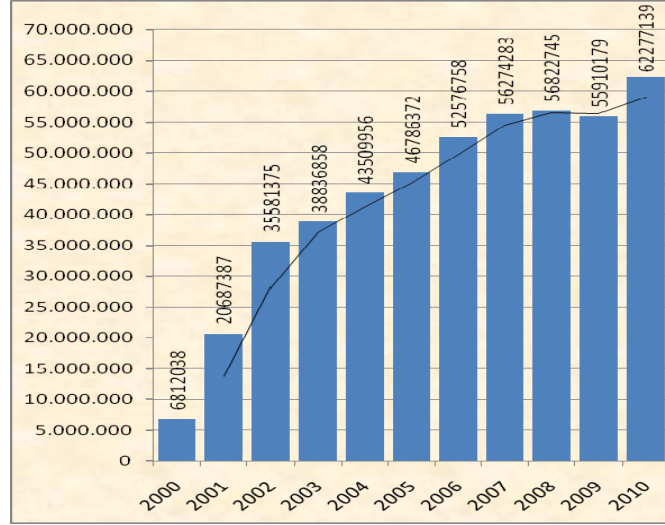


Şekil 7.14 Metro hattı sistem bazında bakım çalışmalarının oranları

7.3.3 Metro Hattında Yolcu Başına Düşen Bakım Maliyetleri

İstanbul metro hattında taşınan yolcu sayıları açıldığı günden itibaren bu güne kadar artarak devam etmektedir. Yeni yapılacak olan hatların da sisteme dahil olmasından sonra yolcu sayısı iki üç katını bulacağı düşünülmektedir.

YILLAR	TAŞINAN YOLCU SAYISI
2000	6.812.038
2001	20.687.387
2002	35.581.375
2003	38.836.858
2004	43.509.956
2005	46.786.372
2006	52.576.758
2007	56.274.283
2008	56.822.745
2009	55.910.179
2010	62.277.139
TOPLAM	476.075.090



Şekil 7.15 İstanbul metrosu yıllık yolcu sayıları

Bu hatta taşınan yolcu sayısının sürekli artarak gitmesi hat üzerinde yapılan sefer sayılarının artması anlamına gelmektedir. Bu da taşıt yükün hatta olan etkilerinin artacağını göstermektedir. Bakım maliyetlerini 2002 yılından itibaren baz aldığımız için 2002 ile 2010 yılları arasında taşınan toplam yolcu sayısı ile bakımlar için harcanan maliyetleri karşılaştırdığımızda bu güne kadar yolcu başına düşen ortalama bakım maliyeti (Tablo 7.10)' de görüldüğü gibidir.

Tablo7.10 : Yolcu başına düşen bakım maliyeti

YILLAR	YOLCU SAYISI	BAKIM MALİYETİ (\$)	YOLCU BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ (\$/yolcu-yıl)
2002	35.581.375	77.476	0,0022
2003	38.836.858	73.450	0,0019
2004	43.509.956	82.293	0,0019
2005	46.786.372	112.392	0,0024
2006	52.576.758	186.699	0,0036
2007	56.274.283	169.091	0,0030
2008	56.822.745	333.287	0,0059
2009	55.910.179	76.900	0,0014
2010	62.277.139	49.156	0,0008
TOPLAM	476.075.090	1.160.743	0,0024

İstanbul metrosunda yıllık bakım maliyetlerinin taşınan yolcu sayısına oranladığımızda 0,24 Cent' lif bir değer çıkmaktadır. İstanbul Metrosunda yapılan hat bakım çalışmalarının bir bilete yansımaları 0,33 kuruştur. 8 km uzunluğundaki İstanbul metroların en yüksek değeri olan 2008 yılında bile bakımların bir bilete oranı 1.1 kuruştur.

8. BALASTLI ve BETONA TESPİTLİ HATLARIN BAKIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kent içi raylı sistemlerde yapım teknikleri olan balastlı ve betona tespitli hatların bakım maliyetlerini karşılaştırırken, reel değerler üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Bu sebeple örnek olarak balastlı ve betona tespitli hatlarda yapılan bakım çalışmaları dikkate alınarak, sınıflandırılıp kategorize edilmiştir.

Bu bölümde elde ettiğimiz veriler ışığında, betona tespitli ve balastlı hatlarda yapılan işlerden başlayarak, toplam yolculuğun bakımlara oranı, km başına düşen bakım maliyetleri karşılaştırılacaktır.

8.1 BALASTLI VE BETONA TESPİTLİ HATLARDA YAPILAN PERİYODİK BAKIM FAALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Balastlı üst yapılarda hat bileşenlerini oluşturan, hattı yatay ve düşey yönde taşıyan balast tabakasının bozulması, betona tespitli hatta göre daha kolay olacağı için periyodik bakımlar üst yapının kontrol ve ölçümlerini kapsamaktadır. Ayrıca kontrol ve ölçüm periyotları daha siktir. Hatta oluşabilecek olaylara karşı her gün hat nöbetçisi, her hafta bakım mühendisi, hattı sürekli gözlem altında tutmaktadır.

Betona tespitli hatlarda ise 3. Ray bakımlarını çıkarırsak, gözlemler ve kontroller balastlı hatta göre daha azdır. Örneğin hat kontrolü sadece sürücü kabininden yapılmaktadır. Makas yağlama çalışması balastlı hatta aylık iken betona tespitli hatta yıllıktır.

Balastlı hatlarda düzeltici bakım çalışmaları hattaki geometrik bozulmalardan kaynaklanan işlerdir. Buraj, balast tesviye, balast takviye, balast eleme, travers değiştirme, travers kaydırma conta dolgu kaynağı vs. çalışmaları balast tabakasının bozulmasından dolayı yapılmaktadır. Betona tespitli hatlarda, bu çalışmaların hiç birinin yapılmasına gerek yoktur. Çünkü betona tespitli hatlarda, balastın yerini beton almaktadır. Beton rijit bir malzemedir, deforme olmaz.

Tablo 8.1: Yapılan bakım çeşitleri ve toplam maliyetleri

BALASTLI HAT KONTROLLER	BAKIM PERYODU	BETONA TESPİTLİ HATLAR	BAKIM PERYODU
Makine ile nivelman ve dresaj ölçümü	Yılda bir	Hattın Sürücü Kabininden Kontrolü	Haftalık
Ray aşınma ve ekartman ölçümü	Yılda bir	Hat Ve 3 Ray Görsel Kontrolü	İki Haftalık
Ondülasyon ölçümü	Yılda bir	Makas Görsel Kontrolü	Aylık
Makas ölçüm ve kontrolü	Yılda bir	Makas Boyutsal Kontrolü	3 Aylık
Günlük hat kontrolü	İş günleri	Bağlantı Elemanları Kontrolü	Yıllık
Haftalık hat kontrolü	Haftada bir	Hat Geometrisi Kontrolü	Yıllık
Makinist hız kontrolü	3 ayda bir	İzolatör Ve Ankraj Kontrolü	Altı Aylık
Teknik hat kontrolü	3 ayda bir	Besleme Bağlantısı Kontrolü	Altı Aylık
Makas gözle kontrolü	3 ayda bir	Pozisyon Ve Aşınma Kontrolü	Altı Aylık
Kanal Temizliği	6 Ayda Bir	3.Ray Boşluk Kontrolü Ve Yağlama	Altı Aylık
Makasların Yağlanması	Ayda Bir Defa	Durdurucu Tampon Bakımı	Yıllık
Ot Temizliği	6 Ayda Bir	İzole Cebire Kontrolü	Yıllık
Durdurucu Tampon Bakımı	Yılda Bir	Ray Taşlama	2 Yılda
		Makas Yağlama	3 Ayda Bir

Balastlı hatlarda saydığımız bu bakımlar, hattaki üstyapı elemanlarına etkisinin yanı sıra, işletmeyi, aracı ve cer gücünü de etkilemektedir. Düzeltici bakımlar yapılırken, işletme kayıpları ve hız sınırlandırmaları olmaktadır. Betona tespitli hatlarda hattı taşıyan sistem, rijit olduğu için yukarıda saydığımız olumsuz etkiler olumluya dönüşür.

8.2 BALASTLI VE BETONA TESPİTLİ HATLARDA YAPILAN BAKIMLARIN SİSTEM BAZINDA KARŞILAŞTIRMASI

Demiryolu hat bakım maliyetlerini hattı oluşturan makas, üst yapı, drenaj ve hattaki diğer işler başlıkları altında toplayıp bu sistemlere yapılan bakım giderlerini içerisinde balastlı ve betona tespitli hatta en büyük payı üst yapı giderleri oluşturmaktadır.

Üst yapı sisteminin bakım giderleri balastlı hatta km başına yıllık ortalama balastlı hatta 10,201 \$ iken, betona tespitli hatta 3.17 \$ 'dır. Balastlı hatta üst yapı bakım gideri betona tespitli hattın üst yapı bakım giderinin 3,2 katıdır. Üst yapıyı oluşturan

ve birinci bölümde bahsettiğimiz balastla ilgili işlerin çok olması üst yapı sistem bakımlarının balastlı hatta bu seviyeye gelmesine neden olmuştur.

Makas bakım giderlerinin fazla olması, hattın hat rijitliğine ve hattaki bakım çalışmaları esnasında makaslarda yapılan hatalı işlemler sebebiyle olmuştur. Eğer hatalı işten dolayı makas, göbek değişimi yapılmıyorsa makas sistemi bakım değerleri balastlı hatla eşit çıkardı.(Tablo (8. 2))

Tablo 8.2: Sistemler bazında km başına yıllık toplam maliyetleri

YAPILAN BAKIM TÜRÜ	BALASTLI HATBAKIM MALİYETİ (\$)	BETONA TESPİTLİ HAT BAKIM MALİYETİ (\$)	BALASTLI HAT MALİYETİ (\$/KM . YIL)	BETONA TESPİTLİ HAT MALİYETİ (\$/KM YIL)
MAKAS	315.101,1	314762	547	2.186
ÜSTYAPI (RAY, TRAVERS)	5.876.009,8	457256	10.201	3.175
DRENAJ	265.118,0	83634	460	581
HAT GENEL	1.377.193,0	242823	2.391	1.686
3. RAY		83634	-	581
GENEL TOPLAM	7.833.421,8	1.160.743,0	13.600	8.061

Drenaj sistemlerinin bakım giderleri balastlı ve betona tespitli hatların her ikisinde de birbirine yakın değerler görülmektedir. (Tablo 8. 2) Drenaj sistemi her iki hatta aynı öneme sahiptir. Hat, genel içerisinde bulunan diğer üç sistemin dışında kalan işleri kapsamaktadır. Balastlı hattın hat genel bakım değeri, betona tespitli hattın bakım değerinin 1,35 katıdır.

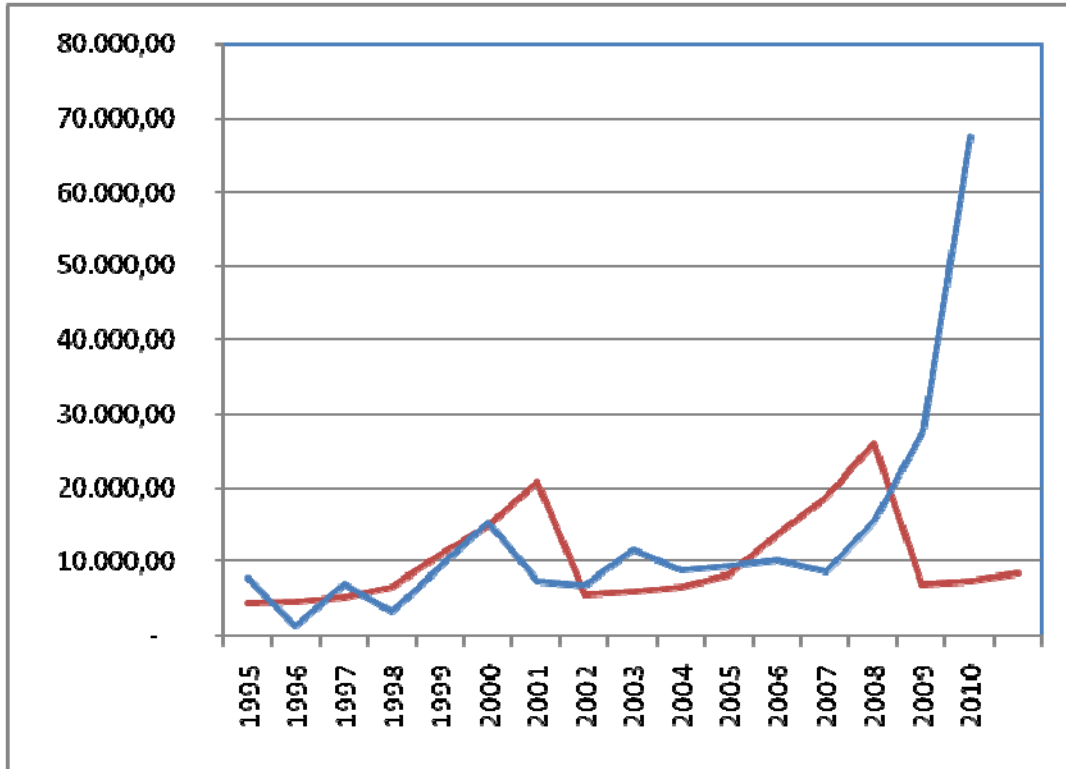
Toplam hat bakım çalışmaları balastlı hatta km başına yıllık 13.600\$ iken betona tespitli hatta 8.061\$' dir. Balastlı hatta yapılan toplam hat bakım çalışmaları betona tespitli hattın 1. 7 katına eşittir. İstanbul Metro Hattında araçlar enerjiyi 3.raydan

aldığı için hat bakım kalemlerinin içerisinde 3. Ray bakımları da vardır. 3. Raya yapılan bakımlar yıllık bakımların 0.07 'sidir. Katener sistemi olan hatlarda, bu bakımı elektrik tesis sorumluları yürütmektedir.

Sonuç olarak, betona tespitli hatlarda hattı oluşturan sistemlere yapılan bakımların değerleri birbirine yakın iken, balastlı hatlarda üst yapı sistem bakımları diğer sistemlerin 5 katına kadar çıkmaktadır. Bakımları minimize etmek ve üst yapıya az bakım yapmak için betona tespitli hat üst kesiti tercih edilmelidir.

8.3 TOPLAM HAT BAKIM GİDERLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Balastlı ve betona tespitli hattın açılış tarihlerini aynı kabul edip, yıllık toplam bakım maliyetlerini üst üste koyup karşılaştırdığımız zaman ilk yedi yıl birbirine yakın bir seviyede seyretmiştir. Yedinci yıldan sonra betona tespitli hattın bakım giderleri balastlı hattın altına ilerleyen yıllarda hep altında kalmıştır.



Şekil 8.1: Balastlı ve betona tespitli hat bakım giderleri karşılaştırması

Betona tespitli hatta görülen maksimum düzeltici bakım gideri kilometre başına yıllık ortalaması 20.000 \$ iken, balastlı hatta 70.000 \$' a kadar çıkmaktadır. Maliyetlerin artmasının sebebi balastlı hattaki düzeltici bakımlardır. Betona tespitli hat balastlı hatta göre 3,1 kat daha azdır. Betona tespitli hatta yapılan düzeltici çalışmalar, balastlı hatta göre daha az masraflıdır (Tablo 8.3) .

Tablo 8.3: Yıllık ortalama km' ye düşen bakım maliyetleri

ORTALAM BAKIM GİDERİ	BALASTLI HAT	BETONA TESPİTLİ HAT
PERYODİK BAKIM (\$/km.yıl)	1.102	2.757
DÜZELTİCİ BAKIM (\$/km.yıl)	12.498	6.311
TOPLAM BAKIM (\$/km.yıl)	13.600	9.068

(Tablo 8.3) de görüldüğü gibi düzeltici bakımların yıllık km başına ortalaması; balastlı hatta 12.498 \$, betona tespitli hatta 6.311\$' dır. Betona tespitli hattaki düzeltici bakımlar, balastlı hattın yüzde 70'ine denk gelmektedir. Betona tespitli hatta yapılan bakım çalışmalarının km başına yıllık ortalaması balastlı hatta göre üçte ikisi kadardır. Üst yapıdaki düzeltici bakımların balastlı hatta daha fazla olduğunu görülmektedir.

Betona tespitli hattaki periyodik bakımlar, km başına yıllık ortalaması hatta 2.757 \$ balastlı hattın yıllık ortalaması 1102 \$ 'dır . Periyodik bakımlarda betona tespitli hattın balastlıya oranı 2,5' tir. Betona tespitli hatlarda yapılan bakımlar, balastlı hatta göre daha fazladır.

Sonuç olarak, betona tespitli hatlarda balastlıya göre periyodik bakımların 2, düzeltici bakımların 0,7 kat olması betona tespitli hatlarda daha düzenli bakım faaliyeti yürütüldüğü sonucu çıkarmaktadır.

9. SONUÇ

Ülkemizde kent içi raylı sistem projeleri, 1980 'li yılların sonunda başlamıştır. Son 10 yılda bu kentlerde raylı sistem projeleri daha fazla artmıştır. İstanbul, Ankara, İzmir, Konya, Kayseri, Eskişehir, Antalya, Samsun, Adana, Gaziantep'te tramvay, metro veya hafif raylı sistemler hizmete girmiştir. Bu illerin uzatma hat projeleri ve diğer illerde de kent içi raylı sistemler için etüt ve proje çalışmaları hala devam etmektedir. Örneğin İstanbul'da şu an geçerliliğini koruyan ulaşım master planına göre, 2023 yılında 623 km metro hattı yapılması hedeflenmektedir.

Kent içi raylı sistem projelerinin hızlı bir şekilde gelişmesi, bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Raylı sistemler, dinamik sistemlerdir. Kent içi raylı sistemlerde yolcu taşımacılığı yapıldığı için diğer inşaat işlerinde olduğu gibi sadece inşaatı yapılarak iş bitmez. İşletme esnasında sürekli bakım ve onarım yapılmazsa, deformasyonlar başlar ve bu deformasyonlar zamanla kalıcı hale gelir, konfor bozulur, işletmede aksamalar oluşur ve en sonunda işletme durabilir. Bu sebeple kent içi raylı sistemlerde bakım ve onarım çok önemlidir.

Bir kent içi raylı sisteminde servis ömrü maliyetlerini oluşturan unsurlar şunlardır: İlk yapım maliyeti, işletme maliyeti, bakım ve yenileme maliyetleridir. Sistemin karlılığı, servis ömrünü oluşturan unsurların en ekonomik şekilde optimize edilmesine bağlıdır.

Yukarıda saydığımız unsurlar içerisinde bir raylı sistem inşaat maliyetini ve sonrasındaki bakım maliyetlerini etkileyen en önemli unsur sistemin üst yapı kesitidir. Üst yapı kesiti, bütün sistemleri etkiler. Kent içi raylı sistemlerde işletmenin aksamaması ve bakım masraflarının az olması, seçilecek üst yapı kesiti ile doğrudan ilişkilidir.

Bu çalışma göstermiştir ki, kent içi raylı sistemlerde balastlı hat tercih edildiği zaman, bakım ve onarım için daha fazla zaman ve para harcanmaktadır. Yapılan hat bakım çalışmalarının yüzde 92' si düzeltici bakımlar, yüzde 8' i periyodik bakımlardır. Balastlı hatta yapılan periyodik bakımlar, tüm bakımlar içerisinde çok az yer

kaplamaktadır. Balastlı hatta düzeltici hat bakım maliyetlerinin artmış olması, hattın servis ömrü boyunca sürekli deforme olduğunu göstermektedir. Örnek verdiğimiz balastlı hattın üstyapısında 20. yıldan sonra oluşan deformasyonlardan dolayı kapsamlı düzeltici bakımların başladığı görülmüştür.

Buna karşın betona tespitli hatlarda yıllık kilometre başına yapılan hat bakım faaliyetlerinin yüzde 30' u periyodik bakım, yüzde 70' i düzeltici bakımdır. Betona tespitli hatta yapılan düzeltici bakımların yüzde 70' i ray taşlama çalışmasıdır. Bazı Avrupa ülkelerinde ray taşlama çalışmaları, periyodik bakımların içerisinde gösterilmektedir. Ülkemizde ise, ray taşlama çalışmaları çeşidine göre periyodik veya düzeltici bakım olarak ele alınmıştır.

Betona tespitli hatlarda kilometre başına yıllık ortalama periyodik bakım maliyeti, balastlı hatlardaki maliyetin 2,5 katı olmaktadır. Düzeltici bakımlarda ise, bu oran yüzde 0,5 katı mertebesindedir. Bu da gösteriyor ki, balastlı hatlarda yapılan hat bakım çalışmalarının çoğu düzeltici bakım iken, betona tespitli hatlarda yapılan bakımlar daha çok periyodik bakımdır.

Bir kent içi demiryolu hattında, seçilen üst yapının uzun ömürlü ve daha az bakıma ihtiyaç duyması, o hattaki demiryolu işletmesinin kesintisiz, konforlu, sürdürülebilir, güvenli ve güvenilir olması ile yakından ilgilidir. Bu sebeple kent içi raylı sistemlerde, betona tespitli üst yapı kesitinin uygun seçilmesi gerekmektedir.

Kent içi raylı sistemlerde, özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerde kesinlikle betona tespitli üst yapı kesiti seçilmelidir. Tünel ve viyadüklerde daha iyi bir üst yapı kesiti bulununcaya kadar betona tespitli üst yapı sistemleri kullanılmalıdır. Hemzemin bölgelerde taşıt yüküne göre değişiklik gösterebilir. Fakat az bakımlı ve sorunsuz bir hat istiyorsak, projelerimizde kesinlikle betona tespitli üstyapı kesiti kullanılmalıdır.

Taşıt yükü az olan projelerde, demiryolu üst yapı sistemlerini geliştirirken sadece yapım maliyetlerine değil, bakımların nasıl yapılacağı ve bakım maliyetlerinin ne olacağı düşünülerek planlanmalıdır. Ayrıca mevcut demiryolu hatlarında üst yapı

bakımlarının kayıtları düzgün bir şekilde tutulmalıdır ki, ileride yapılacak yeni hatlardaki bakım periyotları önceden tespit edilebilir.

Raylı sistemin temel unsurlarını oluşturan malzeme seçimleri için, test prosedürleri oluşturulmalıdır. Sistemin servis ömrü maliyeti konusunda (LCC) ve güvenilirlik – elverişlilik – bakım yapılabilirlik – güvenlik RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) yüksek lisans ve doktora tez çalışmaları yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Alstom, 2002, Track Work Maintenance Manuel, İstanbul

Arlı, V., 2009, *Kentsel Raylı Sistemler Ders notu*, S.15.

Arlı V., Öztürk Z., 2009, *Demiryolu Mühendisliği*, İstanbul:Sembol yayınevi.

Ekin O., 2007, Yüksek hızlı demiryollarının teknik özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü, ss.1-10

Erel A., 1996., 1.İstanbul Ulusal Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul, *Raylarda Dalgalı Aşınma makale*

Erel, A., 2002, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Ankara metrosu 3. aşama işleri için rijit üstyapı seçeneklerinin araştırılması raporu*, ss.3-8

Esveld, C., 2001, *Modern Railway Track*, Delft University of Tech. Netherlands: MRT Productions second edition., ss.349-612, ISBN 90-800324-3-3

EN 13674-1 railway application-track-rail-Part1: vignole railway rails 46 kg/m and above

Funke, H., 1978, Unebenheiten auf der Fahrfläche von Schienen, Signal und Schiene ss.139-140]

Lichtberger, B., 2011, *Demiryolu Cep Kitabı*, DVV Hamburg: Media Group, Eurorailpres1. Basım, ISBN 978-7771-0422-5]

Nesih M., 2007, Kentiçi raylı sistem bakım karşılaştırması *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özalp O., 2007, Kentiçi raylı sistemlerin üstyapısı ve dinamik analizi *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi:Fen Bilimleri Enstitüsü

Profillidis V. A., 1995, *Railway Engineering*, Brookfield:Ashgate Publishing Company,

UIC Altyapı Dairesi, 2008, *Optimum Hat Geometrisini Sağlamak için En Pratik Yöntemler*, ISBN 2-7461-1456-9)

UIC International Eisenbahnverband, 1979, Katalog der Schienenfehler, Utrecht

Vuchic Vukan R., 2007, *Urban Transit System and Tecnolog.* ABD New Jersey: Wiley yayınevi, ss.297-308.

Diğer Yayınlar

Candemir, I., Hızlı raylı sistemlerde taşıma çalışmasının önemi, metotları değerlendirilmesi ve Türkiye'deki örnekleri.
<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3215.pdf> erişim ocak 2011

Erel Aydın 2008, Yüksek Hızlı Demiryollarında Altyapının Önemi Ve Tasarım
<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3114.pdf> erişim ocak 2011

MEGEP, 2008. *Raylı Sistemler Teknolojisi* Ray arızaları, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa POLAT

Sürekli Adresi : 5.Etap Mah. 1. Kısım Aşiyen Sitesi C5 Blok No: 9 Başakşehir/İstanbul

Doğum Yeri ve Yılı : Elazığ 1971

Yabancı Dili : İngilizce

İlk Öğretim : Kenan Evren , 1982

Orta Okul: Atatürk Orta Okulu 1985

Orta Öğretim : Mehmet Akif Ersoy Lisesi, 1988

Lisans : Fırat Üniversitesi, 1992

Yüksek Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi, 2011

Enstitü Adı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Program Adı :Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Yayımları : Demiryolu Balast Teknik Özellikleri Makalesi-Raylı Sistemler Bülteni –Sayı,1
: An important tram line rehabilitation project in Istanbul-eurotransport –2008-4

Çalışma Hayatı :

1999 - İ.B.B. İstanbul Ulaşım A.Ş. İstanbul

1998 - 1992 Hazar Mühendislik İnşaat ve Taahhüt.