

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE HAT BAKIM VE  
MALİYETİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İnşaat Müh. Muhammed Nesih DEMİRDAĞ**

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ**

**HAZİRAN 2007**

**KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE HAT BAKIM VE  
MALİYETİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İnşaat Müh. Muhammed Nesih DEMİRDAĞ**  
**(501061411)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

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

**HAZİRAN 2007**

## ÖNSÖZ

Ülkemizde son yıllarda nüfus yoğunluğunun ve buna bağlı olarak trafik yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde trafik yoğunluğunu azaltmak ve çevreye duyarlı bir toplu taşıma yapmak için kentiçi raylı sistemlerin arttığı görülmektedir. Yapılan kentiçi raylı sistemlerin işlevlerini yerine getirebilmesi ve sürekliliği için bu sistemlerin sürekli olarak bakımının yapılması gerekmektedir. Bakım çalışmalarının nasıl ve hangi yöntemlerle yapıldığı ve bakım maliyetlerinin ne kadar olduğu bir raylı sistem için en önemli kriterlerdendir.

Bu çalışmada da kentiçi raylı sistemlerde yapılması gereken koruyucu ve düzeltici bakımlar anlatılmış ve yıllık bakım maliyetleriyle birlikte yolcu başına bakım maliyetlerine değinilmiştir. Yapılacak kentiçi raylı sistemlerde bakım ve bakım maliyetleri önem arz ettiği için üstyapı tipi bakım ve bakım maliyetleri düşük olacak şekilde seçilmelidir.

Bu çalışmanın yürütülmesinde ve yönlendirmesinde değerli katkılarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında büyük özveri gösteren aileme, yardımlarını ve teknik desteklerini esirgemeyen Metro Hat Bakım Şefliği ve LRT-TRAM Hat Bakım Şefliği teknik personeline ve günün büyük bir bölümünü beraber geçirdiğimiz mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2007

Muhammed Nesih DEMİRDAĞ

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖNSÖZ</b>                                                                   | <b>ii</b>  |
| <b>KISALTMALAR</b>                                                             | <b>v</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                           | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                           | <b>vii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                                    | <b>x</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                                                 | <b>xi</b>  |
| <br>                                                                           |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                | <b>1</b>   |
| <br>                                                                           |            |
| <b>2. BAKIM AÇISINDAN İNCELENEN KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER</b>                   | <b>3</b>   |
| 2.1. Metro                                                                     | 3          |
| 2.2. Hafif Raylı Sistem (LRT)                                                  | 5          |
| 2.3. Cadde Tramvayı                                                            | 8          |
| 2.4. Koruyucu Bakım                                                            | 10         |
| 2.4.1. Periyodik bakım                                                         | 10         |
| 2.4.2. Duruma bağlı koruyucu bakım                                             | 10         |
| 2.4.3. Yenileme                                                                | 10         |
| 2.5. Düzeltici Bakım                                                           | 11         |
| 2.5.1. Geçici bakım                                                            | 11         |
| 2.5.2. Kalıcı bakım                                                            | 11         |
| <br>                                                                           |            |
| <b>3. KORUYUCU BAKIM</b>                                                       | <b>12</b>  |
| 3.1. Hattın Sürücü Kabininden Kontrolü                                         | 13         |
| 3.2. Hat ve 3.Ray Görsel Kontrolü                                              | 14         |
| 3.2.1. Rayların görsel kontrolü                                                | 14         |
| 3.2.2. Traverslerin görsel kontrolü                                            | 14         |
| 3.2.3. Kaynakların görsel kontrolü                                             | 14         |
| 3.2.4. Ray bağlantı elemanlarının görsel kontrolü                              | 14         |
| 3.2.5. Hat geometrisinin görsel kontrolü                                       | 14         |
| 3.2.6. Hat yatağı ve drenaj sistemlerin görsel kontrolü                        | 15         |
| 3.2.7. İzolecebişelerin (Yalıtımlı ray bağlantı elemanlarının) görsel kontrolü | 15         |
| 3.3. Makas Görsel Kontrolü                                                     | 15         |
| 3.4. Makas Boyutsal Kontrolü                                                   | 16         |
| 3.5. Makas Yağlama                                                             | 16         |
| 3.6. Bağlantı Elemanları Sıklığı Kontrolü                                      | 16         |
| 3.7. Hat Geometrik Kontrolü                                                    | 17         |
| 3.8. 3.Ray İzolatör Ve Ankraj Kontrolü                                         | 20         |
| 3.9. 3.Ray Besleme Bağlantıları Kontrolü                                       | 22         |
| 3.10.3.Ray Pozisyon Ve Aşınma Kontrolü                                         | 22         |
| 3.11.3.Ray Genleşme Derzi Boşluk Kontrolü Ve Yağlama                           | 23         |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.12. Durdurucu Tampon Bakımı                                              | 24        |
| 3.13. İzolecebire Kontrolü                                                 | 24        |
| 3.14. Ray Taşlama                                                          | 25        |
| <b>4. DÜZELTİCİ BAKIM</b>                                                  | <b>26</b> |
| 4.1. Ray Bağlantı Elemanlarının Değiştirilmesi                             | 27        |
| 4.2. Ray Kusurlarının Tamiri                                               | 28        |
| 4.3. Ray Değiştirme                                                        | 35        |
| 4.3.1. Termit Kaynak                                                       | 40        |
| 4.4. Travers Değiştirme                                                    | 43        |
| 4.5. Hat Geometrisinin Düzeltilmesi                                        | 43        |
| 4.5.1. Ekartman                                                            | 43        |
| 4.5.2. Yataydaki sapmalar (Fleş)                                           | 45        |
| 4.5.3. Dever                                                               | 46        |
| 4.5.4. Burulma                                                             | 47        |
| 4.5.5. Ray üstü sapmalar (Ray Düşey Nivelmanı)                             | 48        |
| 4.6. İzolecebirenin Tamiri Ve Değiştirilmesi                               | 48        |
| 4.7. Balastlı Üstyapıda Hat Geometrik Bozukluklarının Düzeltilmesi (Buraj) | 50        |
| 4.7.1. Elle buraj                                                          | 51        |
| 4.7.2. Makineli buraj                                                      | 53        |
| 4.8. Balast Eleme                                                          | 55        |
| 4.8.1. Elle balast eleme                                                   | 56        |
| 4.8.2. Makineli balast eleme                                               | 56        |
| 4.9. Dolgu Kaynağı Ve Isıl İşlem Uygulamaları                              | 57        |
| 4.10. Makas Dil Takımı Ve Göbek Değiştirilmesi                             | 62        |
| 4.11. Ray Taşlama                                                          | 64        |
| 4.12. 3.Ray Düzeltici Bakım İşleri                                         | 64        |
| <b>5.YILLIK BAKIM PLANI VE BAKIM MALİYETLERİ</b>                           | <b>67</b> |
| 5.1. Örnek Yıllık Bakım Planı                                              | 67        |
| 5.2. Yolcu Sayıları Ve Yıllık Bakım Maliyetleri                            | 71        |
| 5.3. Yıllık Bakım Maliyetleri Ve Yolcu Başına Bakım Maliyetleri            | 74        |
| 5.3.1. İstanbul metrosu                                                    | 74        |
| 5.3.2. LRT:Aksaray - Havaalanı                                             | 76        |
| 5.3.3. Tramvay: Eminönü - Zeytinburnu                                      | 77        |
| 5.3.4. Karşılaştırma                                                       | 79        |
| <b>6. SONUÇ</b>                                                            | <b>82</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                           | <b>84</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                            | <b>85</b> |

## **KISALTMALAR**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| <b>LRT</b> | : Hafif Raylı Sistem                |
| <b>UIC</b> | : Uluslararası Demiryolları Birliği |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

|                   |                                                              |    |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1</b>  | 3.Ray İle Beslenen Metro Hattında Yapılan Periyodik Bakımlar | 13 |
| <b>Tablo 5.1</b>  | İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Planı                          | 68 |
| <b>Tablo 5.2</b>  | Yıllık Bakım Planının Haftalık Bazda Dağıtılması             | 69 |
| <b>Tablo 5.3</b>  | Haftalık Bakım Programı                                      | 70 |
| <b>Tablo 5.4</b>  | 2002 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları                           | 71 |
| <b>Tablo 5.5</b>  | 2003 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları                           | 71 |
| <b>Tablo 5.6</b>  | 2004 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları                           | 72 |
| <b>Tablo 5.7</b>  | 2005 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları                           | 72 |
| <b>Tablo 5.8</b>  | 2006 Yolcu Taşıma Sayıları                                   | 73 |
| <b>Tablo 5.9</b>  | Yıllık Yolcu Taşıma Sayısı                                   | 73 |
| <b>Tablo 5.10</b> | İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Maliyetleri                    | 74 |
| <b>Tablo 5.11</b> | LRT Yıllık Bakım Maliyetleri                                 | 77 |
| <b>Tablo 5.12</b> | Tramvay Yıllık Bakım Maliyetleri                             | 79 |
| <b>Tablo 5.13</b> | Yolcu/km Başına Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması       | 81 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 2.1 :İstanbul Metrosu Üstyapı Kesiti                                                     | 4                      |
| Şekil 2.2 :Stedef V.S.B Sistem - Beton Travers Üzerindeki Ray Montajı                          | 5                      |
| Şekil 2.3 :Hafif Metro Hattında Beton Traversli Üstyapı Kesiti                                 | 6                      |
| Şekil 2.4 :Hafif Metro Hattında Ahşap Traversli Üstyapı Kesiti                                 | 7                      |
| Şekil 2.5 :Hafif Metro Hattında Betona Tespitli Üstyapı Kesiti                                 | 7                      |
| Şekil 2.6 :Tramvay Hattı Klasik Üstyapı Kesiti                                                 | 8                      |
| Şekil 2.7 :Tramvay Hattı Üstyapı Kesiti(Ray Altı Mesnet Taşlı)                                 | 9                      |
| Şekil 2.8 :Hat Bakım Şeması                                                                    | 10                     |
| Şekil 3.1 :Makas Boyutsal Kontrol Noktaları                                                    | 16                     |
| Şekil 3.2 :Trifonaj (Trifonöz) Makinesi                                                        | 17                     |
| Şekil 3.3 :Hat Geometrisi Ölçüm Cihazı ve El Bilgisayarı                                       | 18                     |
| Şekil 3.4 :Ölçüm Cihazı Üzerinde Bulunan Ölçüm Kutuları                                        | 19                     |
| Şekil 3.5 :Burulma Ölçme Kolu                                                                  | 19                     |
| Şekil 3.6 :Hat Geometrisi Ölçüm Cihazı Grafik Verileri                                         | 20                     |
| Şekil 3.7 :Beton Travers Üzerindeki İzolatör Takımı                                            | 21                     |
| Şekil 3.8 :3.Ray Ankraj Takımı                                                                 | 21                     |
| Şekil 3.9 :3.Ray Besleme Bağlantısı Takımı ve 3.Raya Montajı                                   | 22                     |
| Şekil 3.10 :3.Ray Pozisyonu                                                                    | 23                     |
| Şekil 3.11 :3.Ray Genleşme Derzi Takımı                                                        | 24                     |
| Şekil 3.12 :İzolecepire (Yalıtılmış Ray Bağlantı Elemanı) Takımı                               | 25                     |
| Şekil 4.1 :Dübel Delme Makinesi                                                                | 28                     |
| Şekil 4.2 :Raylar Üzerinde Oluşan Ondülasyon Bozuklukları                                      | 29                     |
| Şekil 4.3 :Raylarda Patinaj Sonucu Oluşan Apletler Ve Ray Raynaklarındaki Düşüklükler          | 30                     |
| Şekil 4.4 :Raylardaki Oval Boşluklar                                                           | 31                     |
| Şekil 4.5 :Raydaki Enine Veya Yatay Çatlaklar                                                  | 32                     |
| Şekil 4.6 :Raydaki Düşey Çatlaklar                                                             | 32                     |
| Şekil 4.7 :Ray Yuvarlanma Temas Yüzeyinin Yorulması                                            | 33                     |
| Şekil 4.8 :Raylarda Kabuklanmalar                                                              | 33                     |
| Şekil 4.9 :Ray Mantarındaki Kabuklanmalar                                                      | 34                     |
| Şekil 4.10 :Yanal Ve Düşey Aşınmış Ray                                                         | 34                     |
| Şekil 4.11 :Ray Aşınma Ölçüm Aleti                                                             | 35                     |
| Şekil 4.12 :Düşey Nivelmanı Düzelmek İçin Travers Altına Paslanmaz Çelik Levha Yerleştirilmesi | 36                     |
| Şekil 4.13 :Farklı Yanal Aşınmalara Sahip Rayların Değiştirilmesi                              | 37                     |
| Şekil 4.14 :Ray Kafalarının Kaldırılıp Mastara Getirilmesi                                     | 37                     |
| Şekil 4.15 :Ray Yan Yüzeyinin Ve Tabanının Mastara Getirilmesi                                 | 38                     |
| Şekil 4.16 :Kalıp Tutma Aparatının Ayarlanması ve Raya Sabitlenmesi                            | 38                     |
| Şekil 4.17 :Kaynak Kalıplarının Montajı ve Kumlama                                             | 38                     |

|                                                                                                                | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Şekil 4.18</b> :Kalıpların Hazırlanması ve Potanın Neminin Alınması                                         | 39                     |
| <b>Şekil 4.19</b> :Termit Potasının Yerleştirilmesi                                                            | 39                     |
| <b>Şekil 4.20</b> :Rayların Isıtılması Ve Termit Porsiyonun Erimesi                                            | 40                     |
| <b>Şekil 4.21</b> :Kaynağın Sıyırma Makinesi İle Traşlanması ve Rayın Taşlanması                               | 40                     |
| <b>Şekil 4.22</b> :Balastlı Hatlarda Travers Değiştirme                                                        | 41                     |
| <b>Şekil 4.23</b> :Travers Değiştirme Makinesi İle Travers Değiştirme                                          | 42                     |
| <b>Şekil 4.24</b> :Balastsız Üstyapılarda Travers Değiştirme İşlemi Esnasında Rayların Kaldırılması            | 43                     |
| <b>Şekil 4.25</b> :Renkli Nabla Ölçüleri                                                                       | 43                     |
| <b>Şekil 4.26</b> :Farklı Renkteki Nablalar Kullanılarak Yapılabilecek Ekartman Değerleri                      | 44                     |
| <b>Şekil 4.27</b> :Nabla Bağlantı Sistemi İle Ekartmanı Sabitleyip Hat Eksenin Kaydırılması                    | 44                     |
| <b>Şekil 4.28</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Ekartman Değerleri                                   | 45                     |
| <b>Şekil 4.29</b> :Yatay Nivelman (Fleş)                                                                       | 45                     |
| <b>Şekil 4.30</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Fleş Değerleri                                       | 46                     |
| <b>Şekil 4.31</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Dever Değerleri                                      | 46                     |
| <b>Şekil 4.32</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Burulma Değerleri                                    | 47                     |
| <b>Şekil 4.33</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Burulma1 ve Burulma2 değerlerine Etki Eden Mesafeler | 48                     |
| <b>Şekil 4.34</b> :Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Düşey Nivelman Değerleri                             | 48                     |
| <b>Şekil 4.35</b> :İzolenin Tahrip Olması                                                                      | 49                     |
| <b>Şekil 4.36</b> :İzolecebireli Rayın Değiştirilmesi                                                          | 50                     |
| <b>Şekil 4.37</b> :Yeni İzolecebire Raylarının Yapılması                                                       | 50                     |
| <b>Şekil 4.38</b> :Buraj Kazması ve Buraj Çapası                                                               | 51                     |
| <b>Şekil 4.39</b> :Küçük Buraj Makineleri                                                                      | 52                     |
| <b>Şekil 4.40</b> :Buraj Makinesi                                                                              | 54                     |
| <b>Şekil 4.41</b> :Makas Buraj Makinesi                                                                        | 55                     |
| <b>Şekil 4.42</b> :Balast Temizleme Makinesi                                                                   | 57                     |
| <b>Şekil 4.43</b> :Kaynak Noktalarındaki Problemler                                                            | 58                     |
| <b>Şekil 4.44</b> :Makas Göbek Ucu Detayları (1/7 ve 1/9 Makaslar İçin)                                        | 59                     |
| <b>Şekil 4.45</b> :Makas Göbek Ucu Şablonları                                                                  | 59                     |
| <b>Şekil 4.46</b> :Ray Mantarının Isıl İşlemle Kaldırılması                                                    | 60                     |
| <b>Şekil 4.47</b> :Ray Mantarının Isıl İşlemle Düşürülmesi                                                     | 61                     |
| <b>Şekil 4.48</b> :Ray Yan Yüzeyinin Isıl İşlemle Deplasmanı                                                   | 61                     |
| <b>Şekil 4.49</b> :Basit Makas Tertibatı                                                                       | 63                     |
| <b>Şekil 4.50</b> :Ray Taşlama Makinesi                                                                        | 64                     |
| <b>Şekil 4.51</b> :3.Ray Pozisyon Değerleri                                                                    | 65                     |
| <b>Şekil 4.52</b> :3.Ray Koruyucu Kapakları Ve Koruyuc Levha Destekleri                                        | 66                     |
| <b>Şekil 5.1</b> :Yıllara Göre Kent İçi Raylı Sistemlerin Yolcu Sayıları                                       | 74                     |
| <b>Şekil 5.2</b> :İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi                               | 75                     |
| <b>Şekil 5.3</b> :İstanbul Metrosu Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri                                    | 75                     |
| <b>Şekil 5.4</b> :LRT Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi                                            | 76                     |
| <b>Şekil 5.5</b> :LRT Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri                                                 | 77                     |

|                                                                                              | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Şekil 5.6</b> :Tramvay Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi                      | 78                     |
| <b>Şekil 5.7</b> :Tramvay Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri                           | 78                     |
| <b>Şekil 5.8</b> :Periyodik Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması                           | 79                     |
| <b>Şekil 5.9</b> :Düzeltilici Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması                         | 80                     |
| <b>Şekil 5.10</b> :Toplam Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması                             | 80                     |
| <b>Şekil 5.11</b> :Kent İçi Raylı Sistemlerde Yıllara Göre Yolcu/km Başına Bakım Maliyetleri | 81                     |

# **KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE HAT BAKIMI VE MALİYETİ**

## **ÖZET**

Ülkemizde son yıllarda nüfus yoğunluğunun ve buna bağlı olarak trafik yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde trafik yoğunluğunu azaltmak ve çevreye duyarlı bir toplu taşıma yapmak için kentiçi raylı sistemlerin arttığı görülmektedir. Yapılan i raylı sistemlerin işlevlerini yerine getirebilmesi ve sürekliliği için bu sistemlerin sürekli olarak bakımının yapılması gerekmektedir.

Bakım çalışmalarının nasıl ve hangi yöntemlerle yapıldığı ve bakım maliyetlerinin ne kadar olduğu bir raylı sistem için en önemli kriterlerdendir.

Bu çalışmada İstanbul kentiçi raylı sistemler olan Tramvay, LRT (Hafif Raylı Sistem) ve Metroda yapılan kritik koruyucu bakım çalışmalarının nasıl ve hangi periyotlarda yapıldığı ve çıkabilecek arızaların nasıl giderileceği düzeltici bakım kapsamında anlatılmıştır. Ayrıca incelenen kentiçi raylı sistemlerin 5 yıllık (2002-2006) yılları arasında taşıdığı yolcu sayıları ve toplam bakım maliyetleri çıkarılmıştır. Yıllık taşınan yolcu sayısı göz önüne alınarak her bir sistem için yıllık yolcu başına bakım maliyetleri göz önüne serilmiştir.

İncelenen üç raylı sistemin bakım maliyetlerine bakıldığında üstyapı sistemi doğru olarak seçilen sistemlerin bakım maliyetlerinin daha az olduğu görülmektedir. Kentiçi raylı sistemlerde hat bakımları gündüz hat enerjili olduğundan dolayı gece yapılmaktadır.İleriki yıllarda nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan trafik artışı göz önüne alındığında, bakım süreleri kısılacacağından dolayı yatırım maliyeti yüksek olup bakım maliyeti düşük olan betona tespitli üstyapı sistemlerinin seçilmesi daha doğru olacaktır.

## **TRACK MAINTENANCE AND ITS COST IN URBAN RAILWAY SYSTEMS**

### **SUMMARY**

Nowadays; there is an increase of rail transit systems in the Turkish cities which have crowded population and high-level traffic volume. The main goal is to decrease traffic volume and have public transportation systems which have environmental sensitive. Certainly, there should be continuous maintenance for urban railway systems to increase their life.

The important criteria for the maintenance is how and which methods are used in and cost of maintenance.

In this study, railway maintenance practices are explained for the Istanbul LRT, Metro and Tram systems. This study contains; periods and methods for the critical preventative maintenance and the fixing methods for the failures. In addition, Total cost of the maintenance and carried passengers sum for a year has been studied between 2002 and 2006 years. And finally, cost of the maintenance obtained according to per passenger for each rail transit system yearly.

When we look at the maintenance costs for the three railway systems examined, it seems that properly selected superstructure systems have less maintenance costs. In urban railway systems track maintenance is being done at nights because of the daytime electrified train operation. For the future, if we take the population growth and proportionally increasing traffic jam into account, maintenance time will decrease and investment cost will increase and thus low cost slab track systems will be more suitable for railways.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Giriş Ve Çalışmanın Amacı

Ülkemizde nüfus yoğunluğunun ve buna bağlı olarak artan trafik yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde kara taşımacılığın getirmiş olduğu çevre kirlenmesi, kazalar ve trafik sıkışıklığının giderilmesi için kentiçi raylı sistemlere önem verilmektedir. Son yıllarda bazı şehirlerimizde yeni raylı sistem inşaatları yapılmakta ve ilerde oluşabilecek problemler göz önünde bulundurularak yeni yatırımlar yapılmaktadır.

Raylı sistemler yatırım maliyeti açısından düşünüldüğünde yüksek maliyetlerle kurulduğu için, etüt aşamasında doğru olan kentiçi raylı sistemin seçilmesiyle birlikte, yapım aşamasından sonra işletme ve bakım maliyetleri açısından optimum olan üstyapı tipinin de seçilmesi önem arz etmektedir. Üstyapının doğru seçilmesi işletme aşamasında çıkan problemlerden dolayı oluşan sefer kayıpları ve yüksek bakım maliyetlerini minimuma indireyecektir. İstanbul kentiçi raylı sistemlerinde şu an 4 saatlik bir maksimum bakım süresi bulunmaktadır ki bu süre ilerleyen yıllarda artan trafik yoğunluğu ile birlikte daha da azalacaktır. Bu durumda hatların işletmeye kapalı bakım süreleri daha da azalacağından dolayı bakım kalemlerinin ve bakım sürelerini minimize edecek şekilde üstyapı sistemlerinin seçilmesi zorunlu olacaktır. Yeni yapılan kentiçi raylı sistemlerde bakım maliyetleri ve servis ömrü göz önünde bulundurularak daha az bakım gerektiren ve servis ömürleri daha fazla olan üstyapı tiplerinin seçildiği ortaya görülmektedir.

Bu çalışmanın başında İstanbul kentiçi raylı sistemler olan Tramvay, LRT ve Metro'nun üstyapı sistemi ve bakımların sınıflandırılması anlatılmıştır. Ele alınan sistemlerin bakım sınıflandırılmaları yapılmış ve bakım tipleri anlatılmıştır.

Bakımda önemli olan sistemin arıza vermeden arıza verebilecek nedenlerini bulup yapmak ve arıza verebilecek durumları ortadan kaldırmaktır. Sistemi tehlikeye sokacak durumları öncesinden bulmak koruyucu bakımın prensibidir. Raylı sistemler veya diğer tüm mekanik sistemlerde bakım hiçbir zaman arıza durumunda yapılan bir

iş değildir. Üçüncü bölümde de incelen kentiçi raylı sistemlerde yapılan koruyucu bakımlar anlatılmış ve nasıl yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde kentiçi raylı sistemlerde yapılan düzeltici bakımlar ve düzeltici bakımların nasıl yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Düzeltici bakımda amaç; koruyucu bakımda görülen arıza problemlerini gidermek ve üstyapının kalitesini daima korumaktır.

Beşinci bölümde ise incelen kentiçi raylı sistemlerden biri olan Metro'nun bakım planına ve tüm sistemlerin yıllık bakım maliyetleri ile birlikte yıllık yolcu sayılarına değinilmiştir. Örnek bir koruyucu bakım planının nasıl olması gerektiği çok önemlidir. Şüphesiz ki düzeltici bakım maliyeti koruyucu bakım maliyetinden yüksek olduğundan dolayı; sistem büyük bir arıza vermeden, arızayı verecek yolların kapatılması, arıza verme süresinin uzatılması veya arızaya arızanın başlangıcında müdahale edilmesi koruyucu bakımın planlı bir şekilde yürütülmesiyle mümkündür. Yıllık koruyucu bakım planı bu özelliğiyle önem arz etmektedir.

Beşinci bölümde, İncelenen tüm sistemlerin 5 yıllık periyodik ve düzeltici bakım maliyetleri çıkartılmış ve 5 yıllık yolcu başına bakım maliyetleri hesaplanmıştır.

## **2. BAKIM AÇISINDAN İNCELENEN KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLER**

Kentiçi raylı sistemler sınıflandırılırken en önemli kriter sistemin yolcu kapasitesidir. Ticari hız, bir dizindeki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi, karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatinde dizin çalıştırma sıklığı gibi parametreler kapasite ile ilişkili olan faktörlerdir. İncelenen kentiçi raylı sistemlerin sınıflandırılması yolcu kapasitesine göre değerlendirilmiştir.

### **2.1 Metro**

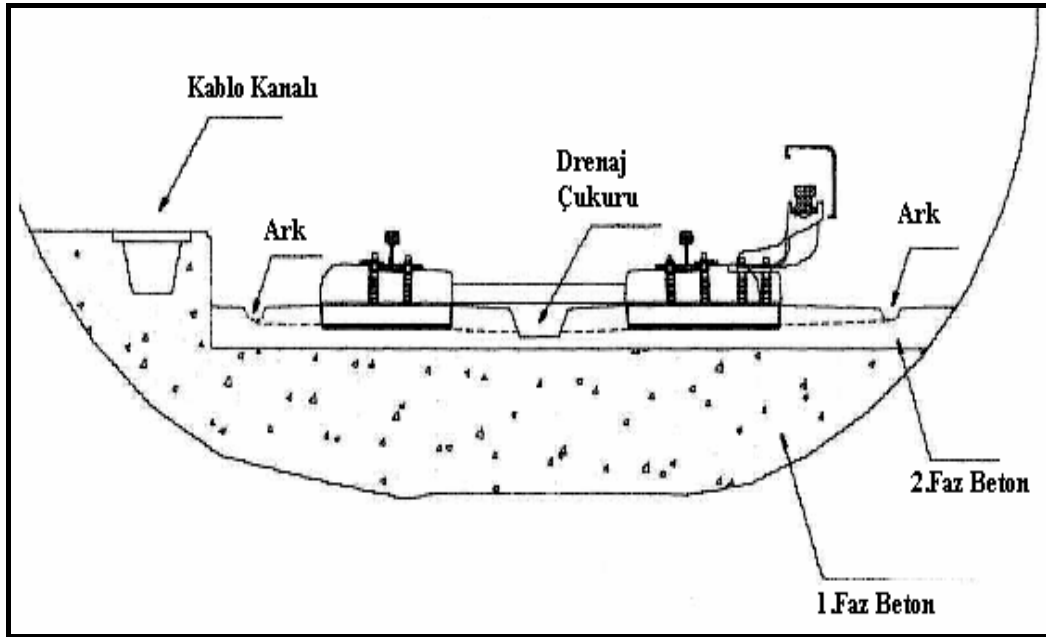
Tek yönde saatteki yolcu kapasitesi 60.000 - 70.000 arasında olan kentiçi raylı toplu taşıma sistemidir. Genellikle 1435 mm ray açıklığına sahip, 6 veya 8 araçlı dizinler halinde yolcu taşıma kapasitesine sahip, kataner veya 3.ray hattından beslenen, sinyalizasyon sistemine tabi olarak işletilen ve ortalama hızı 70-90 km/sa olan kentiçi raylı sistemlerdir. Metro sistemlerinde genellikle istasyonların büyük çoğunluğu yer altı istasyonlarından oluşur, dolayısıyla altyapı yatırım maliyeti diğer kentiçi raylı sistemlere göre yüksektir.

Burada İstanbul kentiçi raylı sistemler dahilinde olan İstanbul Metrosu incelenmiş ve İstanbul Metrosu'nun üstyapı sistemine değinilmiştir (Şekil 2.1)

İstanbul Metrosu üstyapı sistemi aşağıdaki aşağıda ki alt sistemlerden oluşmaktadır.

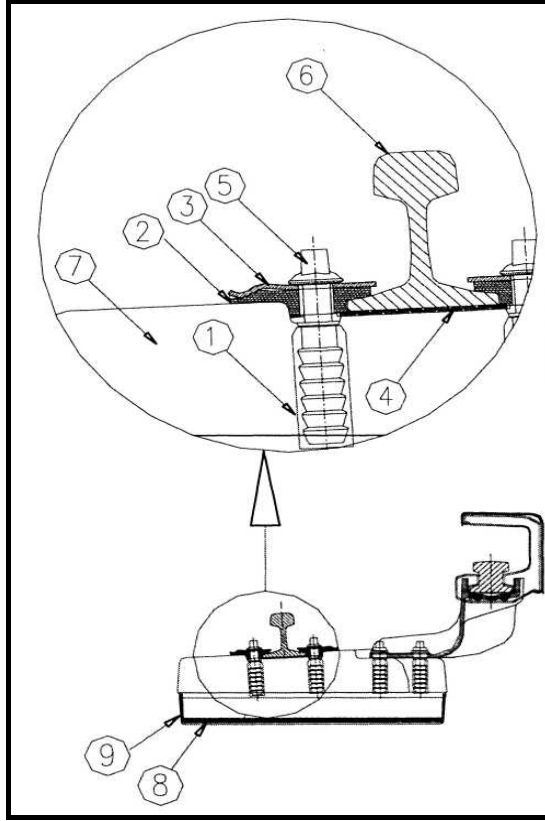
- Drenaj sistemi dahil olmak üzere, üstyapı yatak yapısı
- Traversler ve ray bağlantı ekipmanları
- Raylar
- Makaslar

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 Metrosunda kullanılan bu sisteme STEDEF V.S.B. (Stedef Balastsız Üstyapı) denir, (Şekil 2.2). Sistemin en önemli avantajı; bakım masraflarının az olması ve 30-250 Hz arasında oluşan, özellikle çevredeki yapılara rahatsızlık veren titreşimleri ray altı pedi ve mikroselüler ped olan travers altı pedleri vasıtasıyla söndürülebilmektedir. [1]



**Şekil 2.1:** İstanbul Metrosu Üstyapı Kesiti

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



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

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

**Şekil 2.2:** Stedef V.S.B Sistem - Beton Travers Üzerindeki Ray Montajı

## 2.2 Hafif Raylı Sistem (LRT)

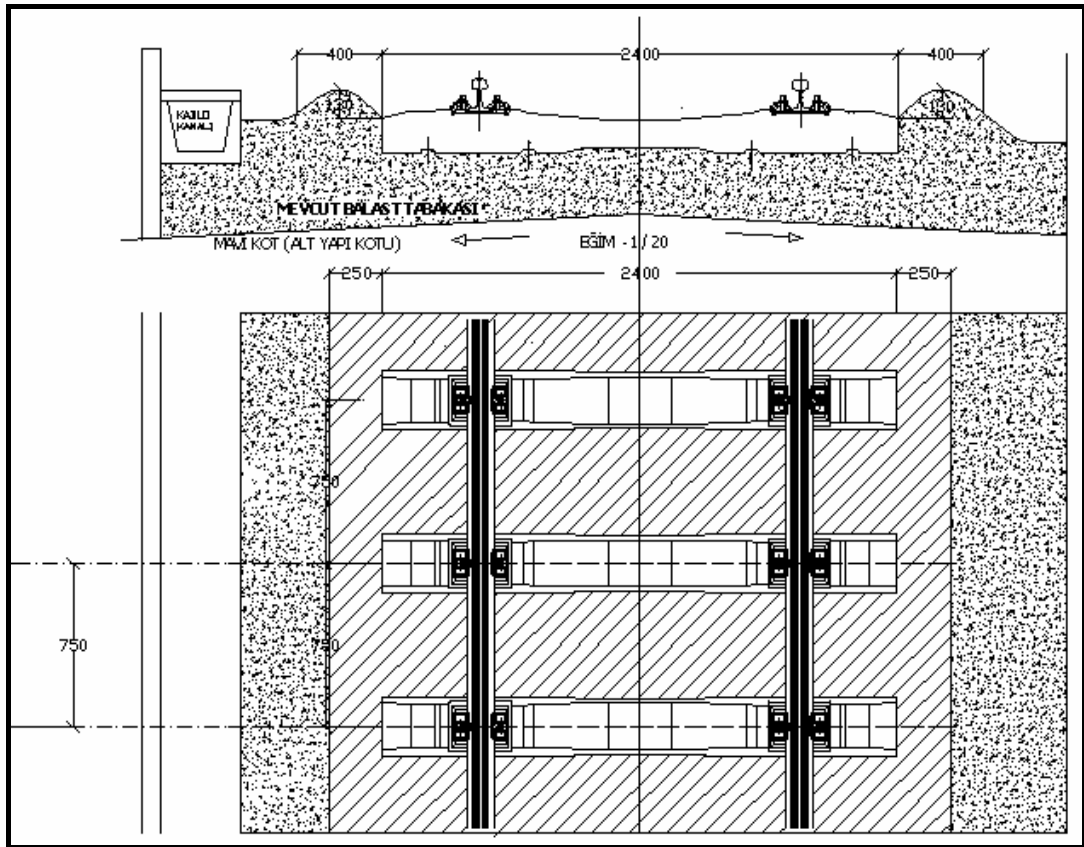
Ray açıklığı genellikle 1435 mm olan, 750 V DC veya 1500 V AC ile üçüncü raydan veya katanerden enerji alan, bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen (bazı sistemlerde bütün operasyonlar sinyalizasyon sistemi tarafından gerçekleştirilmekte), 600-1000 m aralıklarla özel istasyonlarda yolcu indirip bindiren, yaklaşık 300 yolcu kapasiteli araçlardan oluşan diziler halinde, ortalama 60-80 km/h hız ile kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemidir. Kendine ait hatlar genellikle zemin seviyesinde olmasına karşın fiziki duruma göre aç-kapa tünel, yarma, viyadük ve kısa tünellerden geçmektedir. Sinyalizasyonun önemi büyüktür. [2] Tek yönde saatteki yolcu taşıma kapasitesi 34.000-35.000 civarında olan kentiçi raylı sistemlerdir.

Burada İstanbul kentiçi raylı sistemler dahilinde olan Aksaray-Otogar-Esenler-Havaalanı LRT sistemi incelenmiş ve LRT sistemin üstyapı sistemine değinilmiştir.

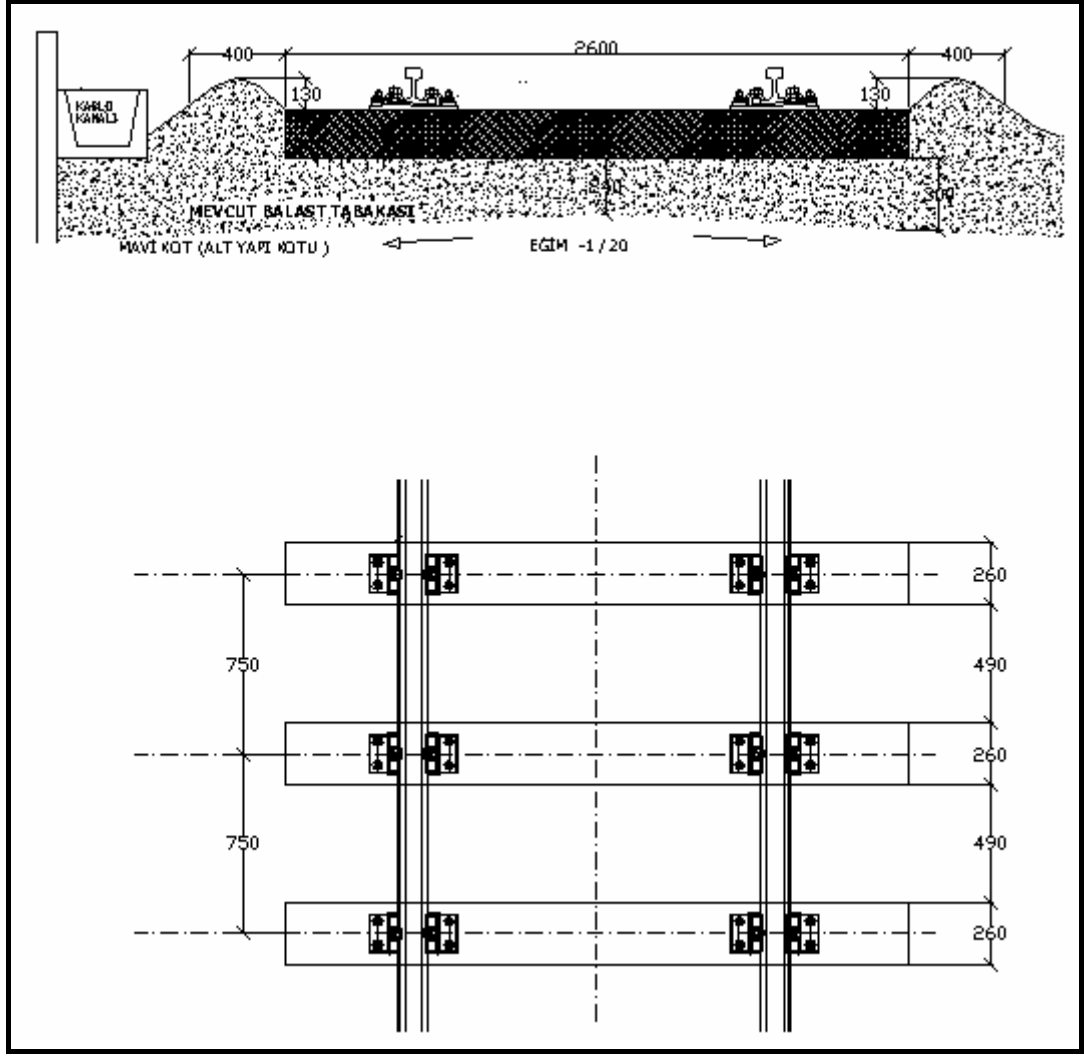
Hafif Metro hattı 2 aşama olarak inşa edilmiştir.1.Aşama olarak Aksaray-Esenler arası hat tamamen balastlı bir üstyapı seçilerek inşa edilmiştir. 2.Aşama olan Otogar-

Havaalanı arası ise Yenibosna' ya kadar balastlı, devamındaki Yenibosna–Havaalanı arası ise betona tespitli bir şekilde inşa edilmiştir.

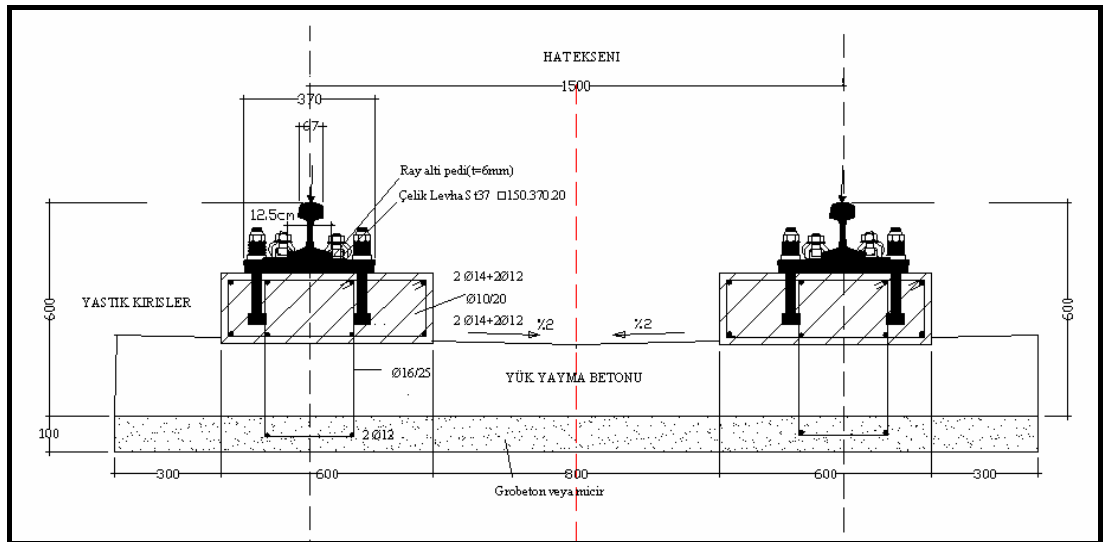
Balastlı üstyapıda kullanılan S49 rayı B55 beton travers üzerine Vossloh bağlantı sistemi ile monte edilmiştir (Şekil 2.3). Balastlı olan kısımda minimum 40 cm, maksimum 60 cm kalınlığında sert kalker olan balast kullanılmıştır. Peronlarda, viyadüklerde ve makas bölgelerinde ise ahşap travers kullanılmıştır. Ahşap traverslerde K tipi bağlantı malzemesi kullanılmıştır (Şekil 2.4). Yenibosna-Havaalanı hattında kullanılan betona tespitli üstyapı sisteminde, sistem yük yayma betonu üzerinde bulunan beton kiriş üzerine sabitlenmiştir (Şekil 2.5). [3]



**Şekil 2.3:** Hafif Metro Hattında Beton Traversli Üstyapı Kesiti



Şekil 2.4: Hafif Metro Hattında Ahşap Traversli Üstyapı Kesiti



Şekil 2.5: Hafif Metro Hattında Betona Tespitli Üstyapı Kesiti

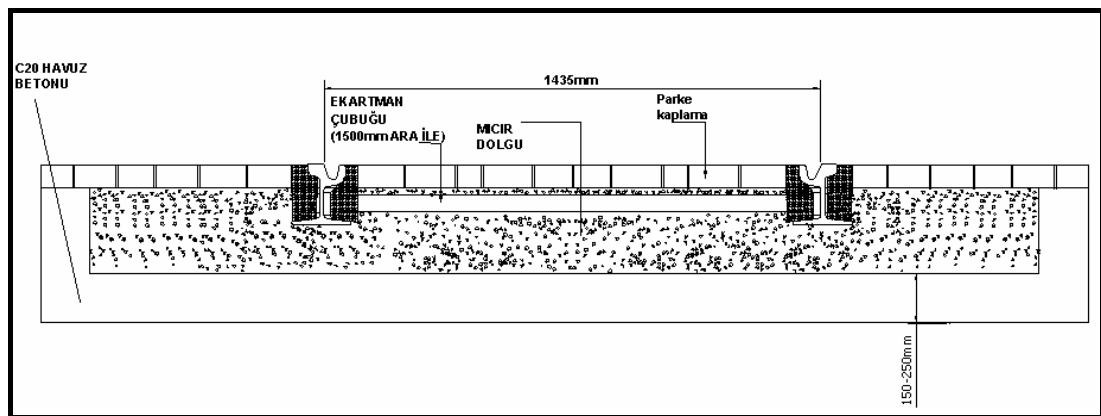
### 2.3 Cadde Tramvayı

Karayolu ulaşım araçları ile aynı alanı kullanan, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, elektrik enerjisini katanerden alan, daha çok inip binmenin olduğu, günümüzde daha çok bir adım atılarak binilebilen alçak zeminli araçların kullanıldığı, en düşük yolcu kapasiteli raylı toplu taşıma sistemidir. Karayoluna aynı seviyede döşenen raylar üzerinde hareket ettiğinden, mevcut karayolu trafik düzenine uymak zorunda olup bu araçlara geçit ve kavşaklarda karayolu araçlarına göre geçiş üstünlüğü sağlanmaktadır. [4]

Cadde tramvayı sisteminde peronlar arası mesafe diğer raylı toplu taşıma sistemlerine göre daha kısadır. Bunlarında ray açıklığı genelde 1435 mm olmakta ve 750 V DC ile beslenmektedir. Cadde tramvayı sistemi, metro ve hafif metro sistemlerine göre maliyeti en düşük, yolcu sikülasyonu en kolay sistemdir.

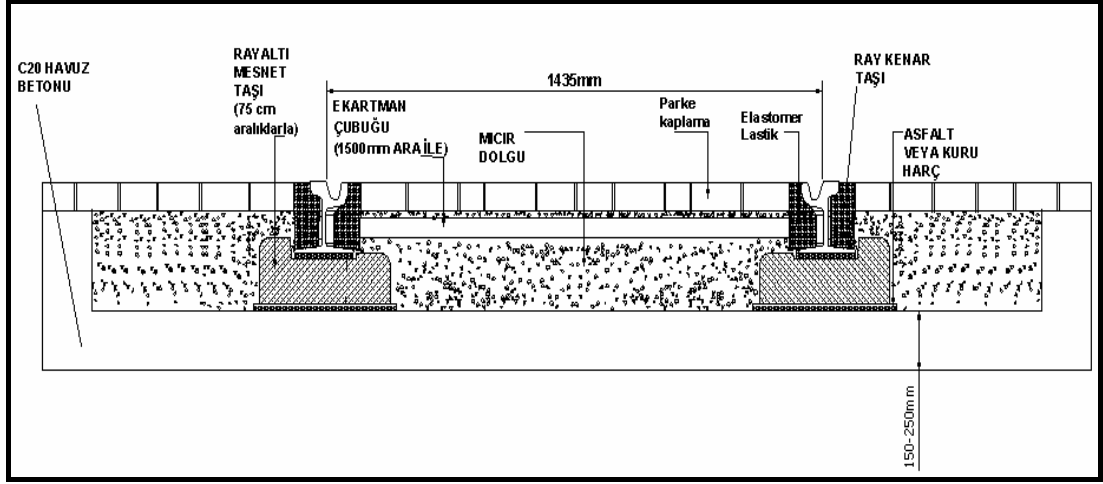
Burada İstanbul kentiçi raylı sistemler dahilinde olan Kabataş-Zeytinburnu Cadde Tramvayı icelenmiş ve Cadde Tramvayının üstyapı sistemine değinilmiştir.

Tramvay Hattı inşa edilirken aşama aşama inşa edilmiş ve işletmeye açılmıştır. İnşa sürecinde tramvay hattı için ayrılan güzergahta hızlı bir inşaa sürecini girilmiş; fakat uluslararası standartlara uymayan bir üstyapı tasarlanmış ve inşa edilmiştir (Şekil 2.6). Bu üstyapı tipi, mevcut şartlara cevap veremeyince çeşitli zamanlarda yapılan rehabilitasyon projeleri ile üstyapının kalitesi artırılmaya çalışılmıştır.



**Şekil 2.6:** Tramvay Hattı Klasik Üstyapı Kesiti

Şekil 1.6. da kullanılan üstyapı sistemi, demiryolu üstyapısına gelen yükleri karşılamamış ve mevcut üstyapı rayların altına 1,5 m aralıklarla mesnet taşı konularak daha stabil hale getirilmiştir (Şekil 1.7). [5]



**Şekil 2.7:** Tramvay Hattı Üstyapı Kesiti(Ray Altı Mesnet Taşı)

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

Ele alınan raylı sistemlerde yapılan bakımlar 2 grupta sınıflandırılabilir:

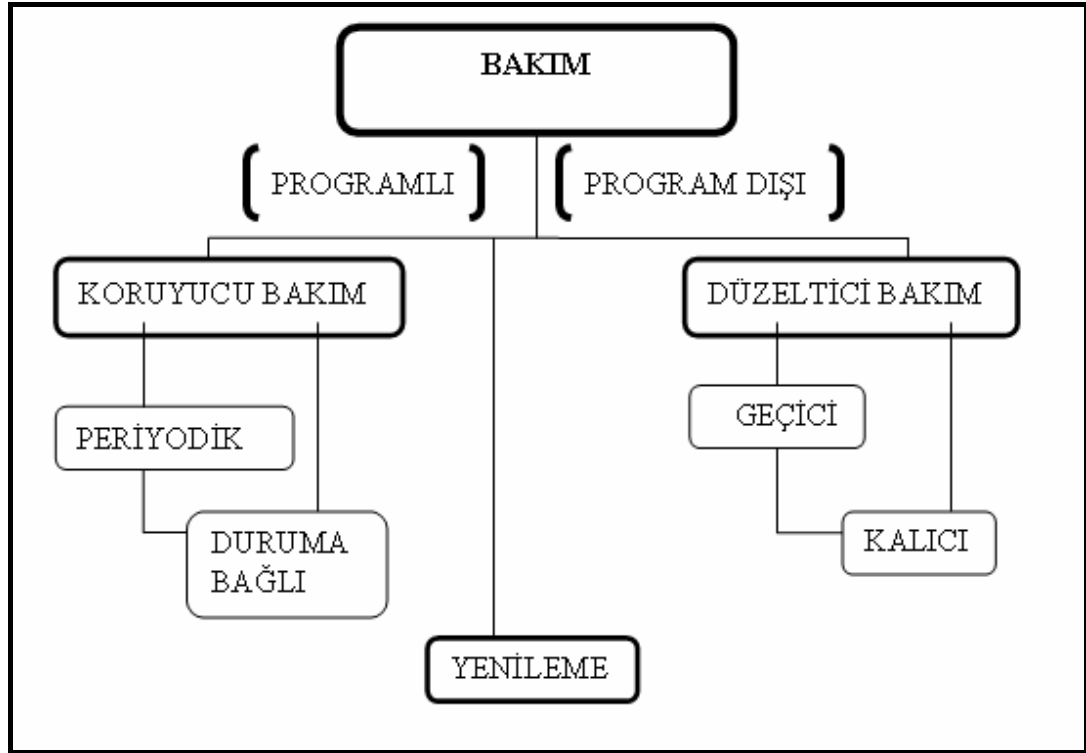
#### 1. Koruyucu Bakım (Programlı Bakım)

- Sistematik koruyucu bakım
- Duruma bağlı koruyucu bakım
- Yenileme

#### 2. Düzeltici Bakım (Program Dışı Bakım)

- Kalıcı bakım
- Geçici bakım

Bakım sınıflandırılması Şekil 2.8 üzerinde şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Hat Bakım Şeması

## 2.4 Koruyucu Bakım

Koruyucu bakım önceden açıkça tanımlanmış periyotlarda gerçekleştirilir

### 2.4.1 Periyodik Bakım

Periyodik bakım belli periyotlarla tanımlanmış bakımları içerir. Görsel kontrol, muayene, ölçüm, yağlama, ve cıvata sıkma gibi ufak çaplı müdahaleleri içerir.

### 2.4.2 Duruma Bağlı Koruyucu Bakım

Bu müdahaleler periyodik kontrollerin sonucu esas alınmak üzere programa dahil edilir. Genellikle ekipman konumuna ilişkin düzeltmeleri, belirli parça değişikliklerini, rayların taşlanması, bağlantı parçalarının sıkıştırılmasını içerir.

### 2.4.3 Yenileme

Yenileme işlemleri ray hattı bileşenlerinin kullanım ömrü sona ermeye yaklaştığında veya bakım giderleri aşırı düzeye ulaştığında programa dahil edilir. Yenileme

işlemleri aynı zamanda raydan çıkma (derayman) gibi ray ile ilgili önemli bir olayın meydana gelmesi sonrasında gündeme alınır. Yenileme işleminde üstyapı kesiti tamamen değiştirilebileceği gibi, üstyapı kesiti korunarak raylar ve bağlantı elemanları da değiştirilebilir.

## **2.5 Düzeltici Bakım**

Düzeltici bakım işlemleri ray hattı ile ilgili olaylar sonrasındaki müdahaleleri içerir. Kural olarak söz konusu işlemler orta vadede program kapsamında yer almaz.

### **2.5.1 Geçici Bakım**

Geçici bakım işlemleri, normal hat işletimi esnasında yolcuların güvenliği veya tesisat ile ilgili risklerin söz konusu olması durumunda başvurulacak acil onarımları içerir. Bu tip müdahalede amaç tren işletmesinin yavaş çalıştırıldığı durumlarda dahi demiryolu trafiğinin olabildiğince kısa bir süre içerisinde eski haline dönmesinin sağlanmasıdır.

### **2.5.2 Kalıcı Bakım**

Ray hattı ile ilgili olaylar sonrasında yapılan müdahaleleri içerir. Duruma bağlı koruyucu bakımla benzer tip müdahaleler söz konusudur. Örneğin ekipman ayarı, ray hattı bileşenlerine ilişkin küçük çaplı yenilemeler gibi. Bu tip bakım orta vadede program kapsamında yer almadığından düzeltici bakım kapsamında yer alır.

### **3. KORUYUCU BAKIM**

Koruyucu bakım işlemleri program dahilinde olan sistematik bakımlar olarak bilinir. Dolayısıyla burada sadece periyodik olan bakımlar göz önüne alınacaktır. Duruma bağlı koruyucu bakım, düzeltici kalıcı bakımla aynı paralelde olduğu için düzeltici bakımda anlatılacaktır.

Periyodik bakım, belli periyotlarla yapılan bakımları içermektedir ve yapılan işe göre aşağıdaki periyotlarda bakım yapılabilir;

- Haftalık kontroller
- On beş günde bir gerçekleştirilen kontroller
- 1 ayda gerçekleştirilen kontroller
- 3 ayda bir gerçekleştirilen kontroller
- 6 ayda bir gerçekleştirilen kontroller
- 1 yılda bir gerçekleştirilen kontroller

Bu periyotlar yapılacak iş için sabit periyotlar olmayabilir. Hattın işletmede kaldığı süre boyunca yapılacak işlerin periyotları geçmiş raporlara göre tekrar düzenlenir.

3.ray ile beslenen bir metro hattında genel olarak aşağıdaki periyodik bakımlar yapılır (Tablo 1).

**Tablo 3.1:** 3.Ray İle Beslenen Metro Hattında Yapılan Periyodik Bakımlar

| Periyodik Bakım Adı               | Periyodik Bakım Tipi ve Sistemi |       |        |                     |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------|--------|---------------------|
|                                   | Görsel                          | Ölçme | Hizmet | Bağlı Olduğu Sistem |
| Hattın Sürücü Kabininden Kontrolü | Görsel                          |       |        | Hat                 |
| Hat ve 3 Ray Görsel Kontrolü      | Görsel                          |       |        | Hat                 |
| Makas Görsel Kontrolü             | Görsel                          |       |        | Makas               |
| Makas Boyutsal Kontrolü           |                                 | Ölçme |        | Makas               |
| Makas Yağlama                     |                                 |       | Hizmet | Makas               |
| Bağlantı Elemanları Kontrolü      |                                 | Ölçme |        | Üstyapı             |
| Hat Geometrisi Kontrolü           |                                 | Ölçme |        | Üstyapı             |
| İzalatör Ve Ankraj Kontrolü       |                                 | Ölçme |        | 3.Ray               |
| Besleme Bağlantısı Kontrolü       |                                 | Ölçme |        | 3.Ray               |
| Pozisyon Ve Aşınma Kontrolü       |                                 | Ölçme |        | 3.Ray               |
| Boşluk Kontrolü Ve Yağlama        |                                 | Ölçme |        | 3.Ray               |
| Durdurucu Tampon Bakımı           |                                 | Ölçme | Hizmet | Hat                 |
| İzole Cebire Kontrolü             |                                 | Ölçme |        | Üstyapı             |
| Ray Taşlama                       |                                 |       | Hizmet | Üstyapı             |

### 3.1 Hattın Sürücü Kabininden Kontrolü

Bu bakım işletme saatleri içerisinde ve tren normal seyir halindeyken sürücü kabininden yapılır. Bu kontroller esnasında; ray hattı geometrisinde ki bozukluklar, özellikle hattın tren yükü altında çökmesi şeklinde ortaya çıkan kusurlar, ray kıvrılmalarının tespiti, anormal gürültüler, ondülasyon oluşumu, ray kaynakları vuruntuları, tünel içerisindeki sızıntılar, tren gabarisi açısından tehlike yaratabilecek depolamalar veya birikintiler tespit edilir. Bakımlar bir birleri ile ilişkili olduğundan dolayı sürücü kabininden yapılan kontroller esnasında kaydedilen anormalliklerin etkin bir şekilde izlenmesi için ray hattının yürüyerek yapılan muayenesi esnasında kontroller yapılır. Hat geometrisi ile alakalı kusurlar gözle muayene edilir. Ray

hattının üzerinden tren geçerken oluşan düşey hareketlerin ölçümleri ise ilgili bölgeye esneme cihazı (flexometre) yerleştirilerek ölçümler alınır. Bu bakım haftada bir yapılır. Hat işletmesi devam ettikçe hafta da birkaç güne çıkartılabilir.

### **3.2 Hat ve 3. Ray Görsel Kontrolü**

Bu bakımın amacı, kusurların tespit edilmesi ve düzeltici bakım çalışmalarının başlatılması amacıyla, ray hattı ekipmanlarının kontrol edilmesidir. Bu kontrollerde aşağıdaki görsel tespitlere dikkat edilmelidir.

#### **3.2.1 Rayların görsel kontrolü**

Ray mantarlarındaki eziklikler, karıncalanmalar, ondülasyonlar, yatay ve enine çatlaklar, tabakalaşmalar ve raylar üzerindeki aşınma durumları, raylarda ki korozyonlar, özellikle kurplarda ki dış rayın yağılı olup olmadığı, görsel olarak kontrol edilir.

#### **3.2.2 Traverslerin görsel kontrolü**

Traverslerdeki kırıklara ve kırılan bölgelerde donatının görünüp grnmediğıne, çatlaklara, traversler ikiz blok travers ise travers çubuklarının durumuna bakılır.

#### **3.2.3 Kaynakların görsel kontrolü**

Bölgedeki tüm kaynaklara bakılıp kaynakta göz ile görünen kılcal çatlak, gaz boşluğı, çökme, ondülasyon başlamasının olup olmadığına bakılır

#### **3.2.4 Ray bağılantı elemanlarının görsel kontrolü**

Eksik veya gevşek ray bağılantı elemanın olup olmadığına bakılır.

#### **3.2.5 Hat geometrisinin görsel kontrolü**

Hat geometrisinde yanal veya düşey bozulmaların olup olmadığına bakılır

### **3.2.6 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.

### **3.2.7 İzolecebiirelerin (Yalıtımlı ray bağlantı elemanlarının) görsel kontrolü**

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

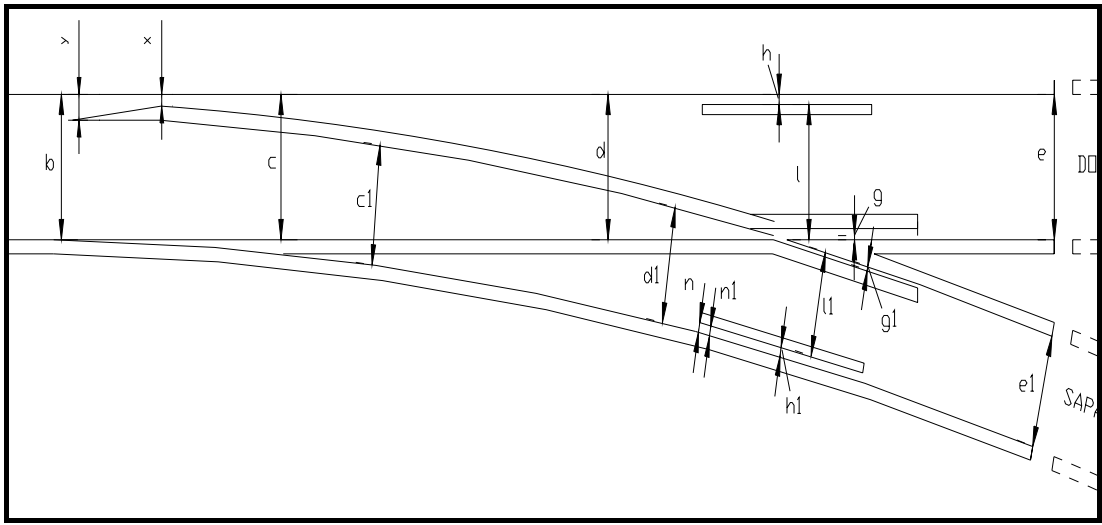
### **3.3 Makas Görsel Kontrolü**

Ray bağlantı elemanlarının ve tirfonların eksik veya kırık olup olmadığı, kayma yatakları bağlantı elemanlarının (kırlangıç demirlerinin) eksik, kırık veya yerinden çıkıp çıkmadı, kayma yataklarının yağ durumu, dil rayı ile kayma yatakları arasındaki mesafenin toleranslar dahilinde olup olmadığı, dil rayı ile yaslanma rayı arasındaki takozların eksik veya kırık olup olmadığı, takozlar ile dil rayı arasındaki boşluğun toleranslar dahilinde olup olmadığı, raylarda ve termit kaynaklarda çatlak, kırık vb. deformasyonların olup olmadığı, ray yüzeyindeki anormal aşınmalar, ondülasyonlar, karıncalanmalar, kabuklaşmaların mevcudiyeti, ray mantarına yağ bulaşmış mı, raylara su akıyor mu, makas ökçesi (topuk) kısmının durumu, İzolecebiirelerde metal akması, ondülasyon ve gevşek vida olup olmadığı, kontray seletlerinde kırık veya çatlak olup olmadığı, kontraya tekerlek temas izinin normal olup olmadığı, kontray yağ durumunun nasıl olduğu, kontray vidalarının eksik veya bozuk olup olmadığı, makas göbeğinin ve tavşan ayaklarının aşınma durumu ve metal parçalarının kopup kopmadığı, göbek bağlantı bulonlarının gevşek olup olmadığı, traverslerde çatlak ve hasar olup olmadığı, dil ucunda kırık olup olmadığı, dil rayında ve yaslanma rayında metal akmasının olup olmadığı, dil rayı yaslanma rayı arasındaki boşluğun toleranslar dahilinde olup olmadığı, dil ile

kilitleme mekanizması bağlantılarının normal çalışıp çalışmadığı görsel olarak kontrol edilir.

### 3.4 Makas Boyutlarının Kontrolü

Makas boyutsal kontrolü “makas gabari ölçüm aleti” ile yapılır. Ölçüm aletiyle makasın belli noktalarındaki ölçümler alınır ve bunların standartlar dahilinde olması istenir. Göbek ve tavşan ayağındaki aşınma durumlarına kumpasla bakılır. Tolerans dışı ölçümler belirlenir ve bunlar kalıcı bakım yapılacak şekilde programlanır. Şekil 3.1’de makas üzerinde alınması gereken kritik ölçüm noktaları belirtilmiştir.



Şekil 3.1: Makas Boyutsal Kontrol Noktaları

### 3.5 Makas yağlama

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 muntazam olması gerekir, temas düzgün değilse veya kayıcı yatak ile dil rayı tabanı arasındaki mesafe toleranslar dışında ise kayıcı yataklar altına şim takviyesi yapılarak düzgün temas sağlanır.

### 3.6 Bağlantı Elemanları Sıklığı Kontrolü

Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü hat işletmeye açıldıktan 1 yıl sonra yapılır. Yıllık bakım sonucunda elde edilen verilere göre değerlendirme yapılır ve bir sonraki bakım yılı kararlaştırılır. Bağlantı elemanlarının türlerine göre bunlar 5-6 yılda bir tekrarlanarak yapılır. Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü rasgele olarak seçilen

birbirini takip eden 20 traverste yapılır. Düz hatlarda ve yarıçapı 400 m'den büyük olan kurplarda 200 m'lik bir kısımda, yarıçapı 400 m'den ve uzunluğu 25 m den küçük kurplarda 20 m'lik bir kısımda, yarıçapı 400 m'den küçük ve uzunluğu 25-50 m arasında olan kurplarda 40 m'lik kesimde, yarıçapı 400 m'den küçük uzunluğu 50 m'den fazla olan kurplarda 50 m'lik bir kısım kontrol edilir. Bağlantı elemanları sıklığı toleranslar dahilinde değil ise hemen müdahale edilebileceği gibi kalıcı bakım kapsamında da müdahale edilebilir.

Bağlantı elemanlarının sıklık kontrolü ile birlikte ray altı seletlerine de bakılır. Deforme olan veya eksik olan ray altı seletleri varsa tespit edilir. Bağlantı elemanlarını sıkma işlemi anahtar vasıtasıyla yapılabileceği gibi trifonözle yapmak en uygun yöntemdir (Şekil 3.2). Bu makine sıkma işlemi yapılırken kaç tork'a kadar sıkılacaksa belirlenir ve o şekilde sıkma işlemi yapılır.



**Şekil 3.2:** Trifonaj (Trifonöz) Makinesi

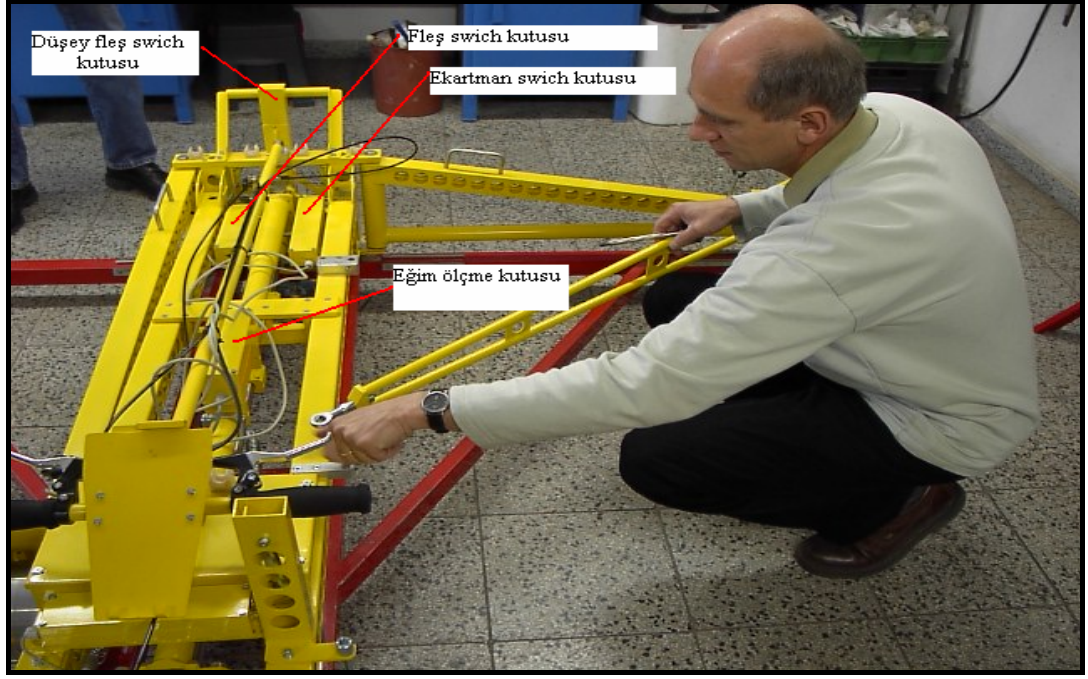
### **3.7 Hat Geometrisi Kontrolü**

Hat geometrisi kontrolünde; ray aşınmaları, ekartman, yatay nivelman (yatay fleş), düşey nivelman (düşey fleş), dever gibi geometrik değerlere bakılır. Basit manuel aletlerle geometrik kontrol yapılacağı gibi, ray üstünde hareket eden araçlarla da hat geometrisi dijital kayıtlar alınmak suretiyle de kontrol edilebilir. Özellikle kentiçi raylı sistemlerde bakımı kolaylaştıran ve zaman kazandıran, hassas ölçümleri ile

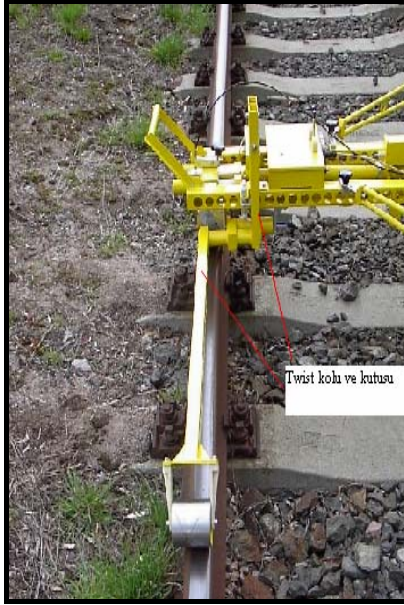
hataları tespit edebilen, bakımı kolay olan hat geometrisi ölçüm araçlarının kullanılması gerekir. Şekil 3.3’de görülen hat geometrisi ölçüm cihazına, aynı şekil üzerinde görülen el bilgisayarı bağlanarak hattın tüm geometrik değerleri kayıt altına alınır. Araç üzerindeki 3 küçük kutuda bulunan proplar ekartman, fleş ve düşey fleşi ölçerken ortadaki kutu ise eğimi ölçer (Şekil 3.4). Sol tarafa sonradan eklenen tekerli kol ise burulmayı ölçer (Şekil 3.5). 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 imkanı vardır. Analiz yaparken kendi ülke standardına göre analiz yapılabileceği gibi, Avrupa Standartlarına göre de analiz yapma imkanı verir.



**Şekil 3.3:** Hat Geometrisi Ölçüm Cihazı ve El Bilgisayarı

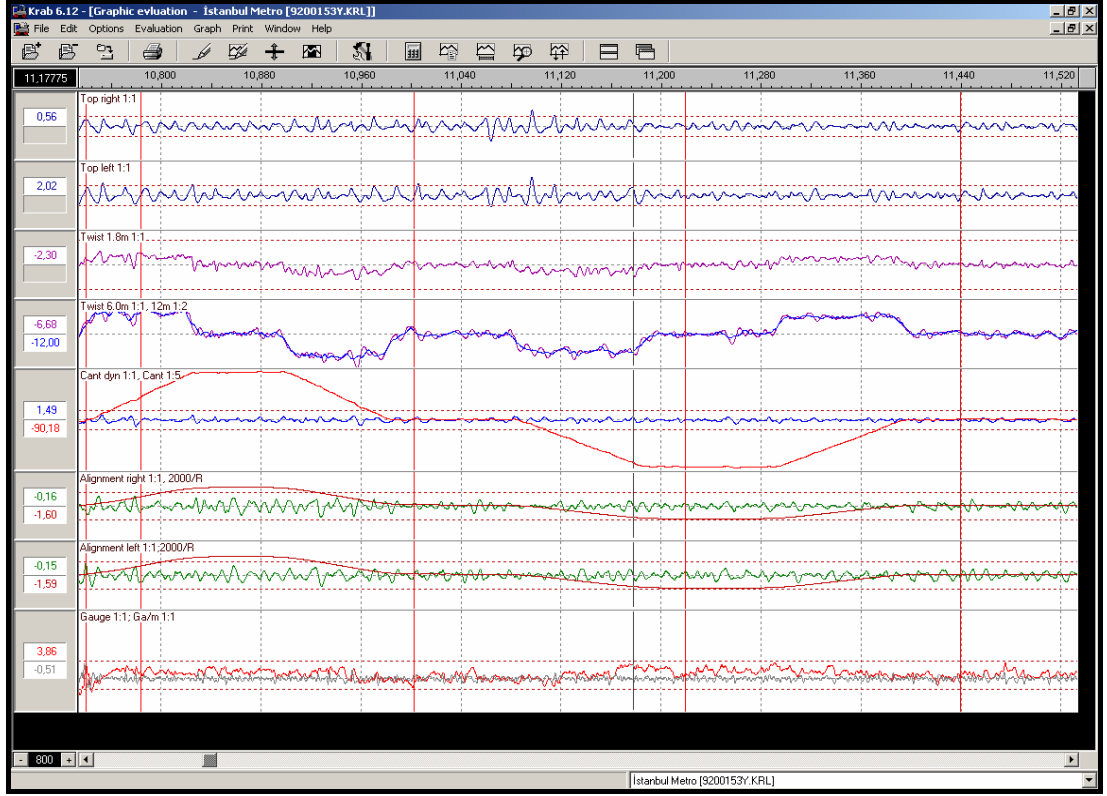


**Şekil 3.4:** Ölçüm Cihazı Üzerinde Bulunan Ölçüm Kutuları



**Şekil 3.5:** Burulma Ölçme Kolu

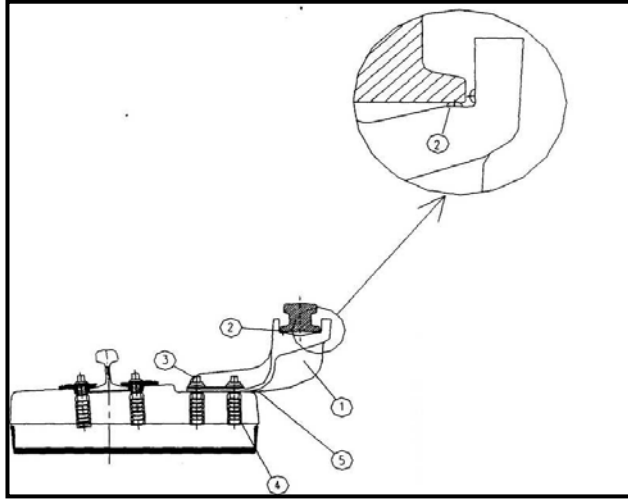
Şekil 3.6’da hat geometrisi ölçümü yapılmış bir hattın grafik değerleri görülmektedir. Ölçüm sonucu tolerans dışı olan değerler kalıcı bakım kapsamında programa alınarak gerekli düzeltmeler yapılır ve düzeltmelerden sonra tekrar ölçüm yapılır. Hat geometrisi kontrolü yılda en az bir kez yapılır.



Şekil 3.6: Hat Geometrisi Ölçüm Cihazı Grafik Verileri

### 3.8 3.Ray İzalatör Ve Ankraj Kontrolü

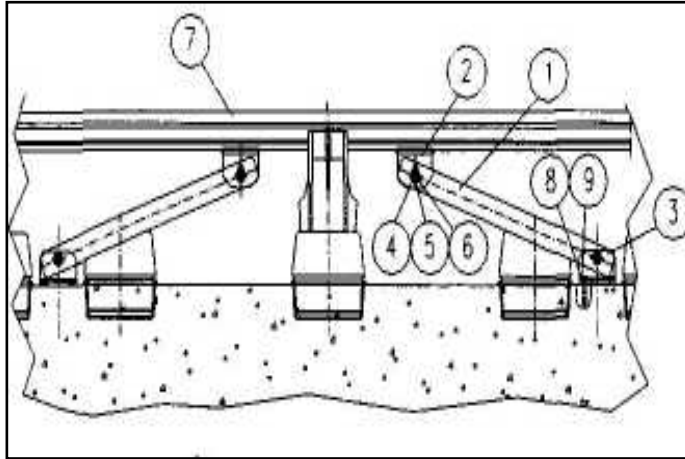
İzolatör tork kontrolü bakımı 3.Ray ile alakalı bir bakımdır. İzolatörler her 5 traverste bir bulunur ve bunlar ankraj çubukları ile birlikte 3.rayı taşır. Şekil 3.7’de izolatör örneği görülmektedir. İzolatör de kırık, çatlak veya başka kusurlar mevcut ise ilgili izolatör bir hafta içinde değiştirilmelidir. İzolatör üstünde bulunan kaygan plastik ray eksik veya kırık ise ilgili izolatör bir hafta içerisinde değiştirilir. Eksik,gevşek veya hasarlı plastirail vidalar kontrol edilir ve eksiklik veya hasar en kısa zamanda programa alınır. İzolatör altındaki elastomer pedin mevcudiyetine ve konumuna bakılır ve gerekli ise uygun konuma ayarlanır.



| No | Adet | Adı                  |
|----|------|----------------------|
| 1  | 4    | Plastik Dübel        |
| 2  | 4    | Nabla Obal           |
| 3  | 4    | Nabla Bıçağı         |
| 4  | 2    | Oluklu Ray Altı Pedi |
| 5  | 4    | Tirfon               |

**Şekil 3.7:** Beton Travers Üzerindeki İzolatör Takımı

Ankraj izolatör profili göz ile kontrol edilir ve profil kırık veya eğri ise bir hafta içerisinde değiştirilir. Üst ve alt destekler göz ile kontrol edilir, kanatların kaynaklarına ve civatalarına bakılır ve eksik civatalar varsa bir hafta içerisinde tamamlanır. Beton tespit vidalarına bakılır ve eksiklik varsa bir hafta içerisinde tamamlanır. Şekil 3.8’de ankraj örneği görülmektedir.

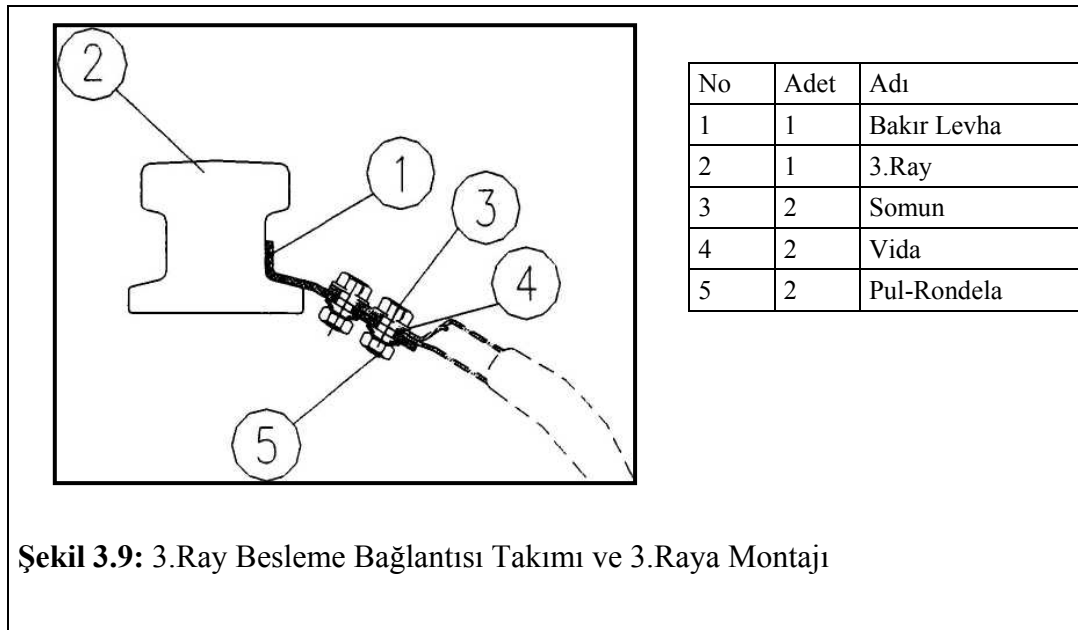


| No | Adet | Adı              |
|----|------|------------------|
| 1  | 2    | Ankraj İzolatörü |
| 2  | 2    | Üst Destek       |
| 3  | 2    | Alt Destek       |
| 4  | 4    | Somun            |
| 5  | 4    | Pul-Rondela      |
| 6  | 4    | Vida             |
| 7  | 2    | 3.Ray            |
| 8  | 8    | Vida             |
| 9  | 8    | Pul-Rondela      |

**Şekil 3.8:** 3.Ray Ankraj Takımı

### 3.9 3.Ray Besleme Bağlantısı Kontrolü

Bakır levha ile 3.ray arasındaki kaynakların hasarlı olup olmadığı görsel olarak kontrol edilir. Bakır levhalardan birinin kaynağının olmaması durumunda bir hafta içerisinde levha 3.raya kaynatılır. İki adet bakır levhanın kaynağı düşmüşse hemen veya bir sonraki gün levhalar kaynatılmalıdır.



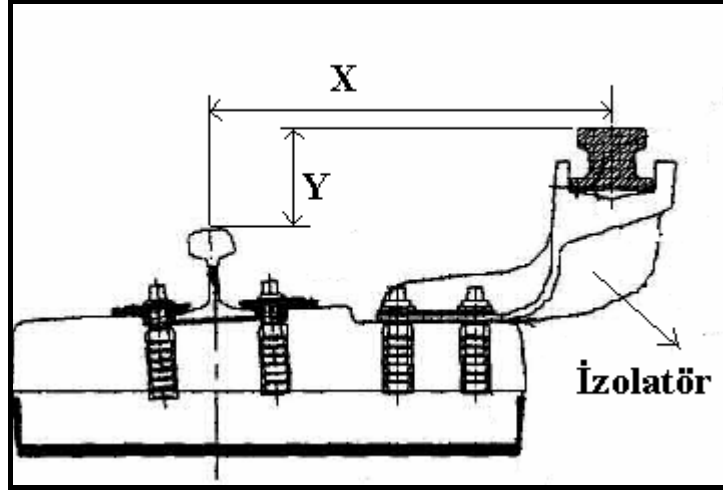
Şekil 3.9: 3.Ray Besleme Bağlantısı Takımı ve 3.Raya Montajı

750 Volt DC Kablolarını bakır levhaya bağlayan vida ve somunların eksik ve hasarlı olmadığını tespitini yap. Hasarlı ise hemen değiştirilir ve vidalar 40 Nm tork değeri ile sıkılır.

750 Volt DC Kabloların hasarlı olup olmadığını kontrol edilir ve hasarlı ise ilgili birim ile koordineli olarak çalışma yapılır. Şekil 3.9'da güç besleme bağlantısı şekli görülmektedir.

### 3.10 3.Ray Pozisyon Ve Aşınma Kontrolü

3.rayın taşıyıcı raya olan yatay (x) ve düşey (y) mesafeleri(Şekil 3.10), 3.ray pozisyon kontrol aleti ile ölçülür. Ölçüm her 50mt.'de bir yapılır ve tolerans dışı olan noktalar bakım programına alınır.

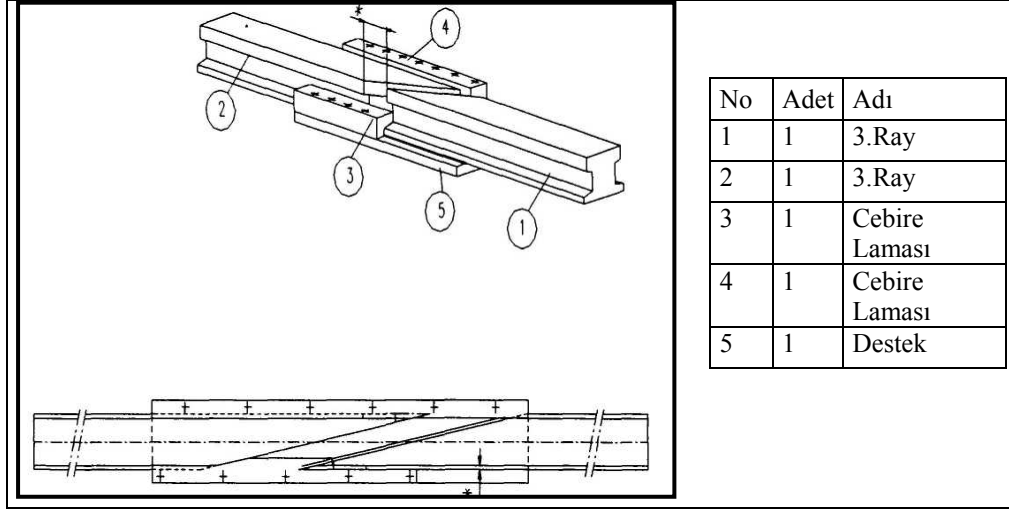


**Şekil 3.10: 3.Ray Pozisyonu**

3.Rayın aşınması düşey olarak kumpasla her 50mt.'de bir ve hassas noktalarda (sulu olan, ark oluşan yerler) kontrol edilir. Aşınma değeri max. aşınma değerini geçerse 3.rayda gerekli olan noktada kaynak yapılır veya duruma göre değiştirilir.

### **3.11 3.Ray Genleşme Derzi Boşluk Kontrolü Ve Yağlama**

İki 3.ray arasındaki boşluğun yüzeylerinin temizliğine ve genleşme eklerinin çalışmasına engel teşkil eden 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 uçları 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. Şekil 3.11'de 3.ray genleşme derzi takımı görülmektedir.



**Şekil 3.11: 3.Ray Genleşme Derzi Takımı**

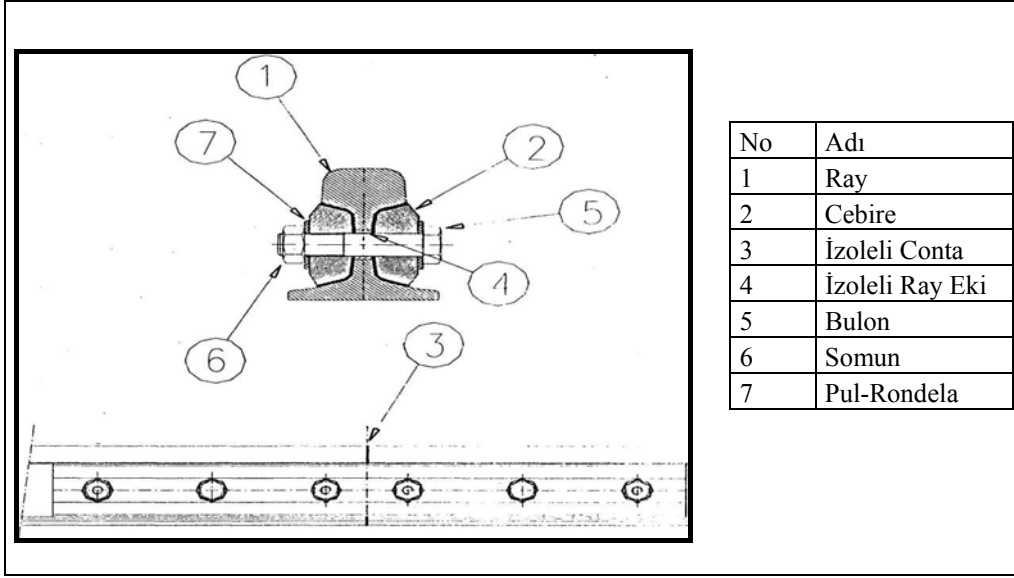
### 3.12 Durdurucu Tampon Bakımı

Durdurucu tampon sürtünme elemanları ve ilave geciktricilerden oluşur. Sürtünme elemanları tamponun gövde kısmındadır ve bunlar raya bağlanmıştır. İleve geciktriciler ise tampon gövdesinin arka kısmında bulunan zik zag 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.

### 3.13 İzolecebire kontrolü

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.



**Şekil 3.12:** İzolecebile (Yalıtılmış Ray Bağlantı Elemanı) Takımı

### 3.14 Ray Taşlama

Koruyucu taşlama muhtemel kırılma sorunlarını önlemek ve daima sorunsuz bir hat işletmek için gerekli bir çalışmadır. Ray mantarı üzerinde dingil yüklerinden dolayı ray üzerindeki ince bir tabakada malzeme bozulması ve mekanik özelliğinin zayıflaması görülür. Bu olaya ray yorulması denir. Yorulmaya maruz kalan ray az ama sık sık yapılan koruyucu taşlama ile ortalama 0.3mm taşlanarak temizlenir.[6] Yorulma belirtilerinin ölçülmesi ile yapılan taşlama planlaması pratik olmadığı için taşlama periyodik olarak yapılmalıdır. Kentiçi raylı sistemlerde en az 2 yılda bir koruyucu taşlama yapılmalıdır.

Yeni açılan tüm hatlarda rayın taşınması esnasında veya üretimden kaynaklanan ray hatalarını ve ray döşenmesi esnasında çarpan balast tanelerinin kusurlarını temizlemek için mutlaka koruyucu taşlama yapılmalıdır.

#### **4. DÜZELTİCİ BAKIM**

Düzeltilici bakım işleri, kalıcı ve geçici bakım kapsamında yer alan işlemleri içermektedir ve koruyucu bakım kapsamında yapılan görsel kontroller veya raydan çıkma gibi beklenmedik kazalar sonucu oluşan hasarları ve komponent değiştirilmelerini içermektedir. Düzeltici bakım kapsamında aşağıdaki bakımlar yapılır.

Ray bağlantı elemanlarının değiştirilmesi

Ray kusurlarının tamiri

Ray değiştirme

Travers değiştirme

Hat geometrisinin düzeltilmesi

İzolecebiirelerin değiştirilmesi

Buraj

Balast eleme

Dolgu kaynağı ve ısıt işlemler uygulamaları

Makas dil takımı ve göbek değiştirilmesi

Ray taşlama

3.Ray Bakım İşleri

#### 4.1 Ray Bağlantı Elemanlarının Değiştirilmesi

Bağlantı elemanı ray ile traversi birbirine bağlayan elastik veya rijit malzemelerdir. Bağlantı elemanlarının iyi ve çalışır durumda olması üstyapı geometrisinin kalitesini göstermektedir. Kalitesiz ve bakımı yapılmayan bağlantı elemanlarının bulunduğu bir üstyapıda diğer bakımların düzenli bir şekilde yapılması yolun kalitesini hiçbir zaman arttırmaz.

Ahşap traverslerde ray bağlantı elemanı kusuru olarak tirfonların laçkalaşması görülmektedir. Laçkalaşma sebepleri ise; yapım aşamasında yeterince tirfonların yeterince sıkılmaması, ray altı seletlerin ezilmesi veya yerinden oynaması, çelik seletlerin zamanla üzerinde geçen yüke bağlı olarak traverse gömülmesi, tirfon deliklerinin bozulması, tirfonların zamanla paslanıp mukavemetini kaybetmesi ve pul veya rondelaların kırılmasından kaynaklanmaktadır. Rayın ahşap traverse oturduğu bölgede traverse herhangi bir bozulma olmamış veya tirfon deliğinde laçkalaşma olmamışsa, tahrip olan seletler değiştirildikten sonra tirfonlar sıkılarak arızalar giderilir. Ahşap traverslerde tirfon dönmeye karşı mukavemet göstermiyor ve devamlı dönüyor ise traversedeki tirfon deliği laçkalaşmıştır. Bu durumda deliğe kama çakılarak yeniden sıkma işlemi yapılır. Şayet birden fazla tirfon deliği bozulmuşsa, bu durumda traverse delikler özel burgu uçları ile temizlenmeli, isfine çakılarak tıkanmalı ve isfine üzerine yeniden delik açılarak tirfonlar sıkılmalıdır.

Beton traverslerde traverse üzerindeki dübellerin hasarlı olması veya dübellerin dişlerinin görevini yerine getirememesi ve tirfon dişlerinin hasar görmesi sonucu tirfonun işlevini yerine getirememesinden kaynaklanan bağlantı elemanı arızaları görülmektedir. Dübel de problem olmaması durumunda, arıza tirfonun değiştirilmesi ile giderilebilir. Dübel hasarlı ise; hasarlı olan dübel, şekil 4.1'de gösterilen dübel delme makinesi kullanılarak yenisi ile değiştirilir Dübel değiştirildikten sonra tirfon takılıp minimum tork değerinde sıkılır.



**Şekil 4.1:** Dübel Delme Makinesi

Bağlantı elemanlarının işlevlerini yerine getirmesi üstyapı açısından çok önemlidir. Bağlantı elemanlarında laçkalaşma olması üstyapıda; ray altı seletlerinin gevşek durmasına ve zamanla travers üzerinden kaymasına , teker ray etkileşimi sonucu tekerden ray vasıtasıyla travers üzerine gelen yükün düzgün yayılı yük şeklinde dağılmamasına ve dolayısıyla traverslerde ezilme ve çatlaklara, ray sabitlenmediğinden dolayı yanal hareketler artar ve dolayısıyla tıfronlarda kırılmalar ve eğilmelerin olmasına, tıfron deliklerinin laçkalaşmasına, ekartman ayarının bozulmasına, raylarda boyuna doğru yürümelere, dresajda bozulmalara, üstyapı malzemelerinin kısa sürede bozulmasına ve yapılan diğer bakımların ömrünün kısa olmasına neden olabilir.

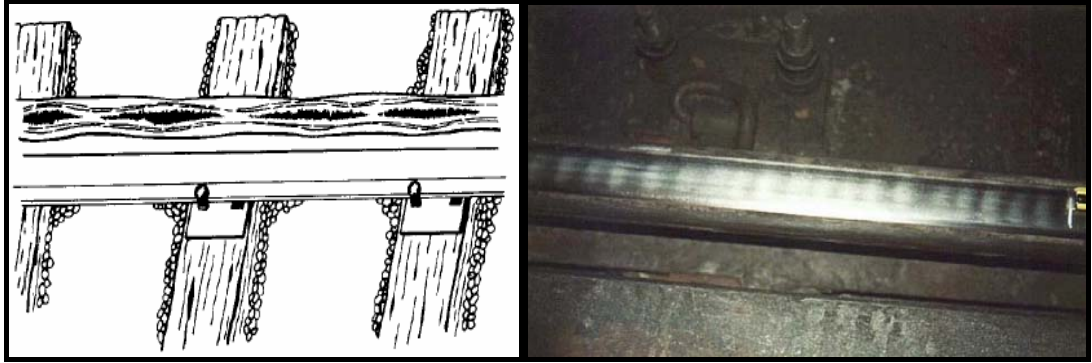
#### **4.2 Ray Kusurlarının Tamiri**

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 düzeltileceği gibi, özellikle rayın üretiminden kaynaklanan kusurlarda düzeltme yapılamaz. Bu durumlarda ilgili ray değiştirilmek zorundadır.

Ray mantarı üzerindeki karıncalanmalar, tünel ortamlarında tünelden gelen su sızıntılarının ray üzerine damlamasından oluşur. Açık havalarda 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 (mantar kısmında) periyodik biçimde oluşan düzlemsel bozukluklardır (Şekil 4.2).



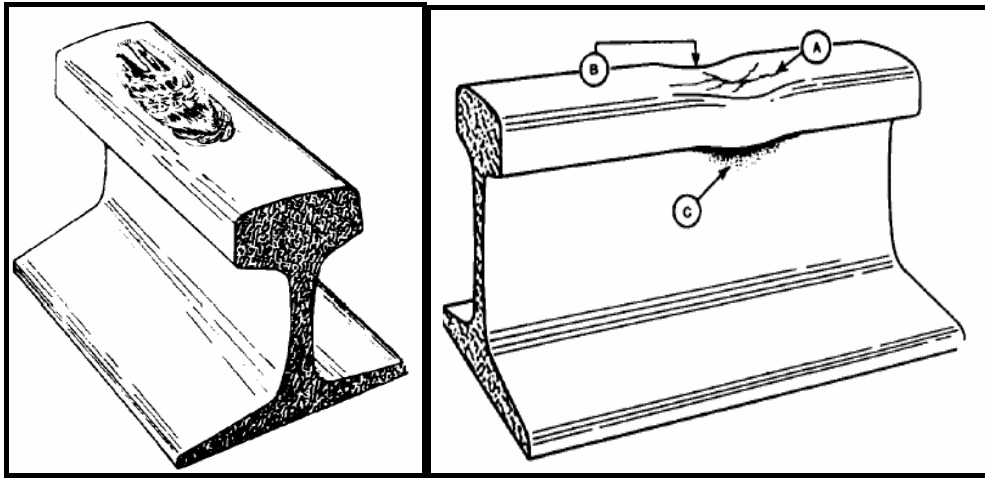
**Şekil 4.2:** Raylar Üzerinde Oluşan Ondülasyon Bozuklukları

Ondülasyonlar dalga boylarına göre değişik şekillerde oluşmaktadır. UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği) tarafından hazırlanan ray hatları katalogunda, dalgalı aşınmalar 3-8 cm boylarındaki kısa dalgalar (2201 No'lu hata) ve 8-30 cm boyundaki uzun dalgalar (2202 No'lu hata) olarak sınıflandırılmıştır. Alias, rayların dalgalı aşınmasını, dış görüşlerine ve oluşum biçimlerine göre 3 farklı sınıfta incelemekte ve 3 ile 8 cm uzunluğundaki kısa dalgalı aşınmalar, 15-30 cm uzunluğundaki orta dalgalı aşınmalar ve 50-200 cm uzunluğundaki uzun dalgalı aşınmalar diye sınıflandırmaktadır. Stuart Grassie, dalga boyuna göre sınıflandırmaların demiryolu mühendislerine çoğu zaman yararlı olmadığını, onlar için aşınmanın ortadan kaldırılması yada 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 söz konusu olur:

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

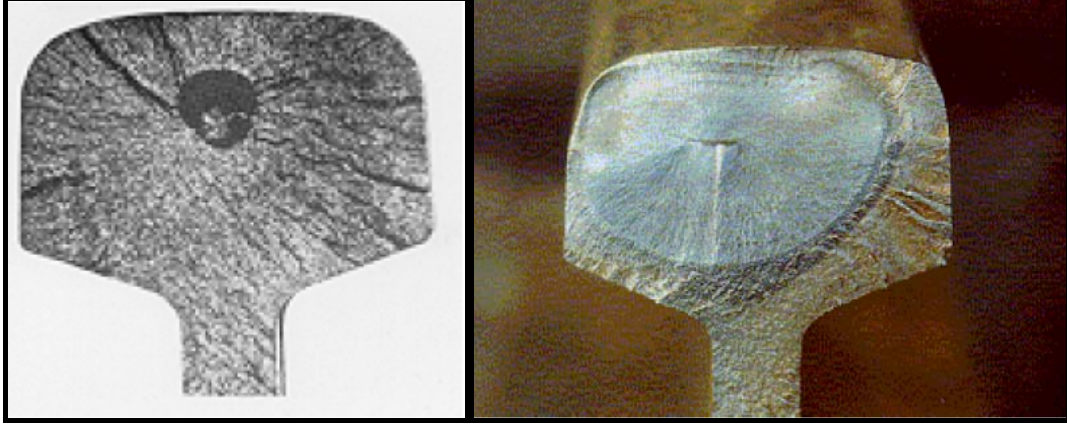
Dalgalı aşınmanın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için en iyi çözüm, rayların taşlanması ve ray mantarı profilinin düzeltilmesidir [7]

Ray mantarı ve kaynaklardaki eziklikler; ray mantarındaki eziklikler aracın patinaj veya apleti yapması sonucu oluşan kusurdur (Şekil 4.3). Bu kusurlar rayın taşlanması ile giderilebilir. Ray kaynaklarındaki eziklikler ise kaynakların doğru bir şekilde yapılmamasından ve yanlış kaynak porsiyonlarının kullanılmasından kaynaklanır (Şekil 4.3). Özellikle sert raya normal sertlikteki kaynak yapılması en büyük kusurlardan biridir. Bu durumda kaynak raya oranla daha fazla aşındığından dolayı, 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 da sebep olur. Böyle bir yanlış uygulamada, geçici olarak ısıtılarak yapılarak kaynak bölgesi yükseltileceği gibi, kaynak bölgesinin üst kısmının alınarak yerine rayla aynı sertliğe sahip dolgu kaynağı yapmak gerekir.



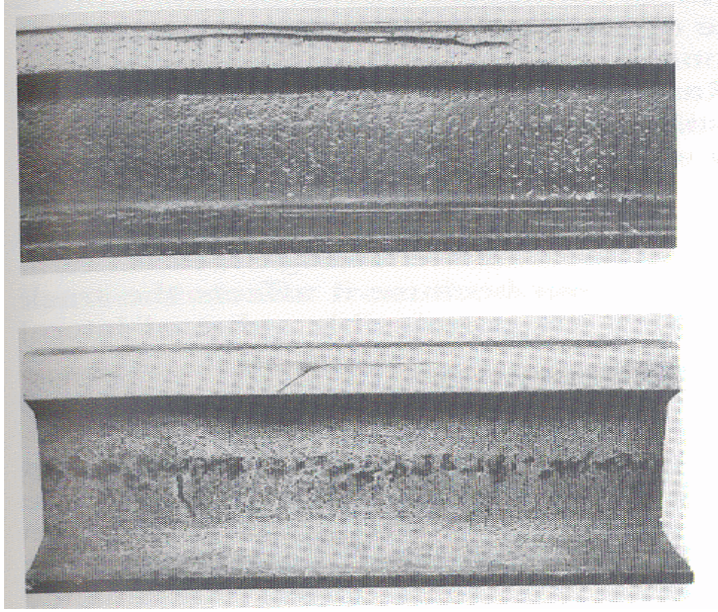
**Şekil 4.3:** Raylarda Patinaj Sonucu Oluşan Apletler Ve Ray Kaynaklarındaki Düşüklükler

Ray mantarında oluşan oval boşluklar ray üretimi esnasında oluşan bir kusurdur. Bu boşluk zamanla ray üzerine ulaşır ve rayın kırılmasına sebebiyet verir. Dikkat edilmemesi durumunda çok ciddi sıkıntılara sebep olur. bu hata ultrasonik cihazlarla görüldüğü gibi ray yüzeyine ulaştığında gözle de görülebilir (Şekil 4.4). Bu gibi durumlarda ilgili ray bölgesi kesilerek yeni ray döşenir.



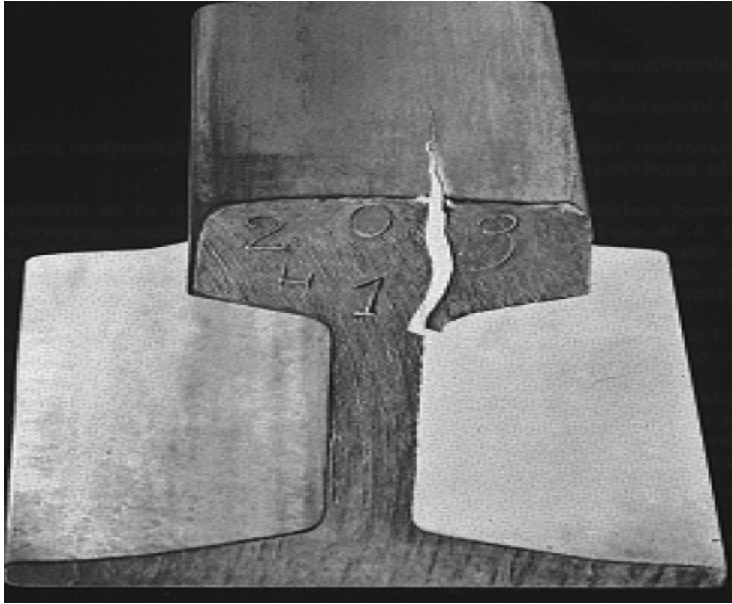
**Şekil 4.4:** Raylardaki Oval Boşluklar

Ray mantarında enine veya yatay çatlakların olması gibi hatalar üretim aşamasında olur (Şekil 4.5). Bu gibi durumlarda çatlaklar taş motoru ile açılarak rayın serliğine göre aynı sertlikte kaynak kullanılarak dolgu kaynağı yapılır. Yatay çatlaklar ray gövdesine kadar inmiş veya enine çatlaklar ray gövdesinde mevcut ise ilgili bölgeye kupon ray atılmak suretiyle 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 4.5:** Raydaki Enine Veya Yatay Çatlaklar

Boyuna düşey çatlaklarda; düşey çatlak ray mantarına ulaşarak rayı ikiye ayırır, (Şekil 4.6). Ray üretiminden kaynaklanır, ultrasonik aletle fark edilir. Bu hatalı raylar hemen kupon rayla (minimum 6 m raylarla) değiştirilmelidir.



**Şekil 4.6:** Raydaki Düşey Çatlaklar

Yuvarlanma temas yüzeyinin yorulması; rayın yuvarlanma yüzeyinin derece derece ayrışmasıdır (Şekil 4.7). Nedeni trafik yükü altında malzemenin yorulmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle kentiçi raylı sistemlerde makas bölgelerinde

görülmektedir. Bakım kontrollerinde gözlem altında tutularak program dahilinde ray değiştirilir.



**Şekil 4.7:** Ray Yuvarlanma Temas Yüzeyinin Yorulması

Raylarda kabuklanma genellikle kurplardaki dış raylarda meydana gelir ve bunlar ray 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 4.8). Bu hatalar ultrasonik cihazlar ve görsel kontroller sonucu fark edilebilir.



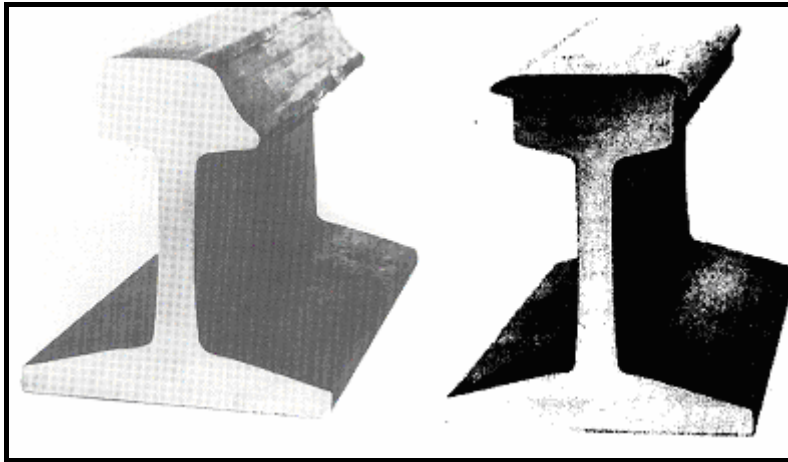
**Şekil 4.8:** Raylarda Kabuklanmalar

Ray mantarında da tabakalaşmalar görülmektedir. Özellikle teker yuvarlanma sathının ray mantarına temas ettiği yüzeylerde rayda kabuklanmalara neden olup ray mantarında siyah benekler şeklinde kendini gösterir (Şekil 4.9). Ray mantarındaki tabakalaşmalar raylarda enine çatlakların oluşmasına neden olurlar.



**Şekil 4.9:** Ray Mantarındaki Kabuklanmalar

Rayın yanıl ve düşey aşınmaları özellikler yarıçapı küçük olan kurplarda ve korozyana uğrayan kesimlerde ölçülür (Şekil 4.10). Rayın düşey ve yanıl aşınması bir sürmeli kumpas vasıtasıyla ölçülebileceği gibi özel ray aşınma ölçüm cihazlarıyla da ölçülebilir (Şekil 4.11). S49 raylar için rayın maksimum düşey aşınması 14 mm'nin, maksimum yanıl aşınması 10 mm'nin altında olmalıdır. Rayın maksimum toplam aşınması ise düşey aşınma + 1/2 ray mantarı yanıl aşınması civarı kadar, yani 20 mm'nin altında olması gerekir [8]. Aşınma durumu maksimuma ulaşan raylar derhal değiştirilmelidir.



**Şekil 4.10:** Yanıl Ve Düşey Aşınmış Ray



**Şekil 4.11:** Ray Aşınma Ölçüm Aleti

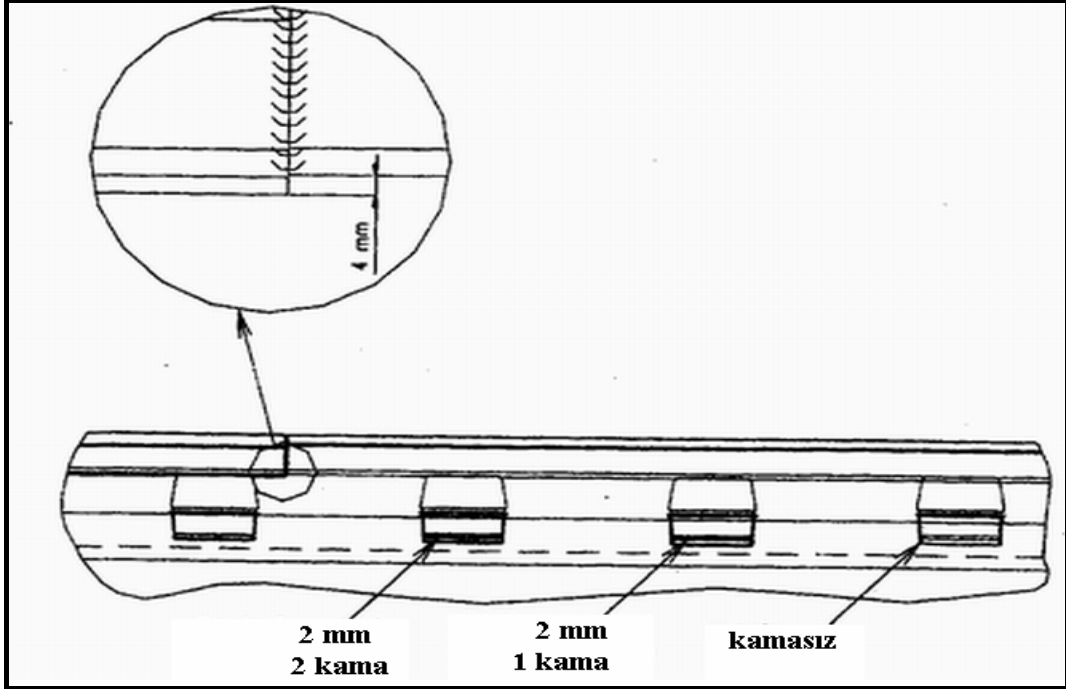
Rayların korozyona uğraması özellikle ıslak kesimlerde olur. Korozyona uğrayan rayların özellikle taban kesimlerinde küçülme görülür. Taban kesitleri küçülen raylar değiştirilerek sorun giderilebilir.

### 4.3 Ray Değiştirme

Ray mantarında yatay veya yanal çatlakların derine inmesi, yanal ve düşey aşınmaların maksimuma ulaşması, hatalı kaynak yapılması, kaynak bölgelerinde 5mm'nin üstünde düşüklüklerin olması, raylarda kabuklanma veya raylar korozyona maruz kalmış ise raylar değiştirilmelidir.

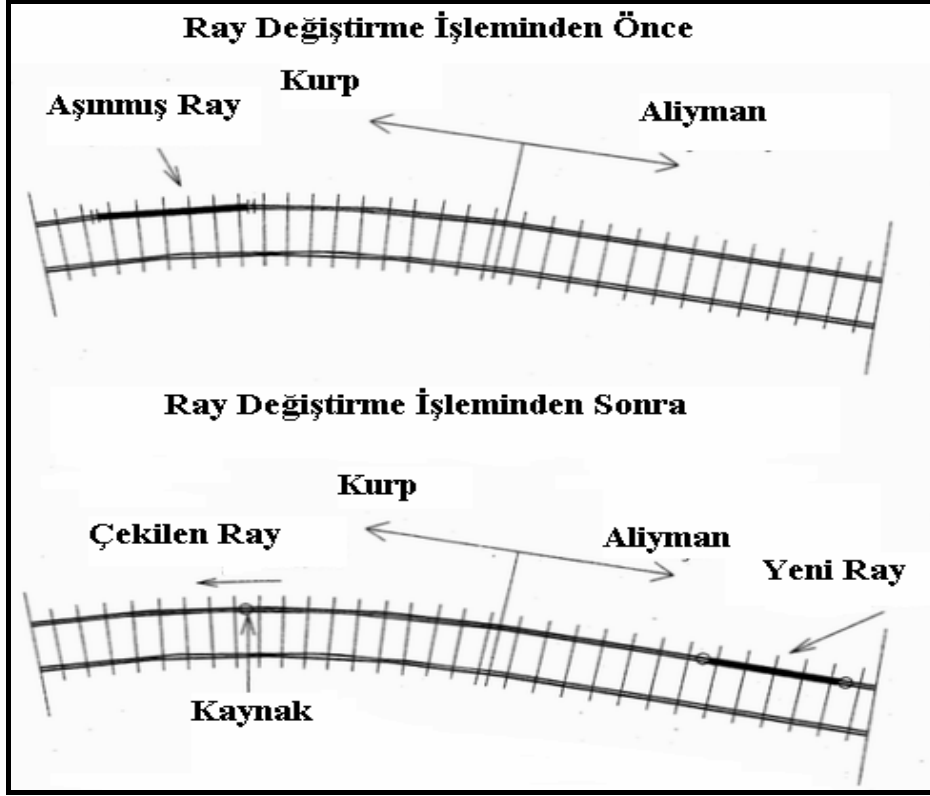
Ray değiştirme işlemi şu şekilde gerçekleşir. Öncelikle yeni ray çalışma alanına getirilir. Kusurlu olan ray, ray kesme makinesi ile kesilir ve bağlantı elemanları çıkarılarak kusurlu olan ray calaskar veya ray maşaları vasıtasıyla tutularak hattan alınır. Çalışma bölgesine getirilen yeni ray hatta konulmadan önce kaynak paylarını da dikkate alacak şekilde ölçülür ve doğru bir şekilde ray kesme makinesi ile kesimi yapılarak calaskar veya ray maşaları vasıtasıyla tutularak hatta yerleştirilir. yeni ray ile eski rayın kesiştiği noktalarda düşey ve yanal aşınmalarına bakılır. Yeni ve eski rayın birleşme noktalarındaki düşey aşınma farkı 2 mm'den fazla ise öncelikle düşey nivelmanlarının düzeltilmesi gerekir. Bu yükseklik farkının giderilmesi için balastlı üstyapılarda travers kaldırılıp rayların kot farkı kadar yükseklikte travers altı besleneceği gibi, daha önceden kullanılmış ve düşey aşınması hat üzerindeki rayın düşey aşınmasına eşit olan raylarda kullanılabilir. Betona gömülü traverslerin alt bölümü ile elastik ped arasına travers ölçülerine uygun 2 mm kalınlığında paslanmaz

elik levhalar bırakılır. Őekil 4.12’de 4 mm dűŕey kot (nivelman) farkı bulunan rayın değiştirilmesi esnasında travers altına bırakılacak elik levhaların leri görülmektedir.



**Őekil 4.12:** Dűŕey Nivelmanı Dűzelmek İçin Travers Altına Paslanmaz elik Levha Yerleřtirilmesi

Eski ray ile yeni rayın birleşme noktalarında yanall aşınma farkı varsa bunlar mümkün olduğunca birbirine kaynaklanmayacaktır. Yanall aşınma özellikle kurp bölgelerinde dış raylarda meydana gelmektedir. Bir kurbun dış rayının tamamının değiştirilmesi durumunda alıymana yakın yanall aşınmanın az olduğu bölgelerde rayın her iki ucunda ray kesme makinesi ile kesim yapılarak ilgili bölgeye, kurbun fleşine göre yeni rayda bükme yapılarak hatta monte edilir. Kurbun için de dış rayın bir parçası değiştirilecekse kusurlu olan ray, ray kesme makinesi ile kesilerek çıkartılır ve yeni ray ile aynı yanall aşınmaya yakın düz hat kesimindeki ray, ray kesme makinesi ile kesilerek kurp bölgesinde çıkartılan ray kesimine doğru çekilir. Dolayısıyla kurp bölgesinde aynı yanall aşınmaya sahip raylar birbiri ile kaynaklanır ve yeni ray ise düz yol kesimine yerleştirilerek ray kaynakları yapılır (Şekil 4.13).

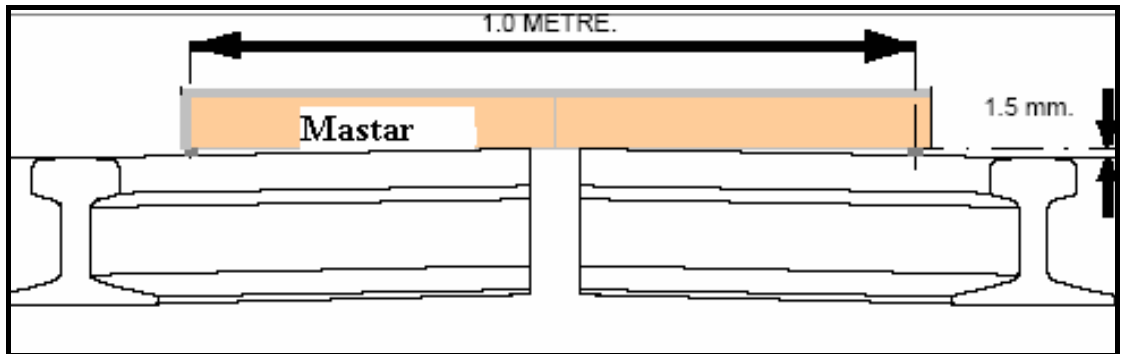


**Şekil 4.13:** Farklı Yanal Aşınmalara Sahip Rayların Değiştirilmesi

Yeni raylar hatta yerleştirildikten sonra düşey nivelmanları ayarlanarak termit kaynak yapılır.

#### 4.3.1 Termit kaynak

Raylar düşey nivelmana getirildikten sonra 1 m'lik master vasıtasıyla ray kafaları kullanılacak porsiyona göre dökülen termitin soğuması sırasında rayda oluşacak çökmeyi karşılayacak şekilde belli bir yüksekliğe kaldırılır (Şekil 4.14) ve rayın taban ve yan yüzeylerine masterla bakılarak teraziye getirilir (Şekil 4.15)

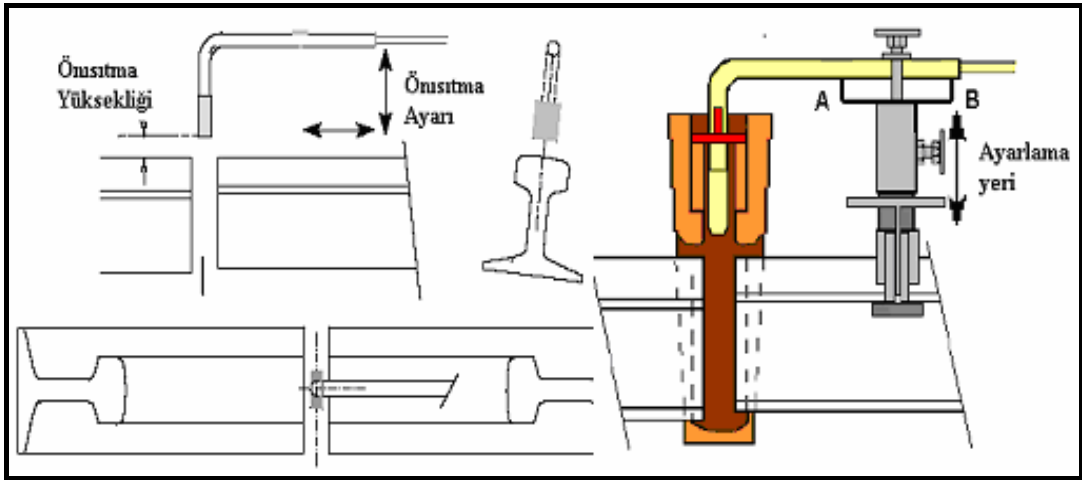


**Şekil 4.14:** Ray Kafalarının Kaldırılıp Mastara Getirilmesi



**Şekil 4.15:** Ray Yan Yüzeyinin Ve Tabanının Mastara Getirilmesi

Raylar teraziye getirildikten sonra ön ısıtma için kalıp tutucu aparatı ön ısıtma için kullanılacak şaloma mesafesi ayarlanarak raya sabitlenir (Şekil 4.16)



**Şekil 4.16:** Kalıp Tutma Aparatının Ayarlanması ve Raya Sabitlenmesi

Termit kaynak kalıpları içine yerleştirilmiş olan ateşe dayanıklı hazır kalıplar ray boşluğunun merkezine gelecek şekilde ayarlanarak kalıp tutucuların kolları vasıtasıyla raya sabitlendirilerek termit kaynak kumu veya özel macun vasıtasıyla ray ile kalıplar arasındaki boşluklar doldurulur, (Şekil4.17).



**Şekil 4.17:** Kaynak Kalıplarının Montajı ve Kumlama

Bir yandan termit kaynak kalıpları bağlanırken diğ er yandan magnezit termit potası 3-4 m ötede nemi alınacak şekilde ısıtılır ve pota ucuna tıpa yerleştirilerek kullanılacak şekilde bekletilir (Şekil 4.18)



**Şekil 4.18:** Kalıpların Hazırlanması ve Potanın Neminin Alınması

Hazırlanan termit potası kalıp tutucuların üzerine, kalıpların üst kısmını ortalayacak şekilde yerleştirilir (Şekil 4.19). Ray kesitine ve sınıfına uygun termit porsiyonu pota içerisine yerleştirilerek ayarlar tekrar gözden geçirilir.



**Şekil 4.19:** Termit Potasının Yerleştirilmesi

Belirlenmiş gaz basınçlarının uygulanması suretiyle şaloma tutuşturularak gerekli ayarlar yapıldıktan sonra şaloma kalıp tutucu üzerine tekrar yerleştirilerek ön ısıtma yapılır. Ön ısıtma işlemi kullanılan gazların basıncına göre sabit bir süre boyunca devam eder. Ateşe dayanıklı olan ve kalıplar üzerine yerleştirilecek olan tıpa kalıplardan çıkan alevler ile ısıtılır. Süre dolduktan sonra şaloma çıkarılarak kalıp tıpası kalıplar üzerine maşa vasıtasıyla yerleştirilir ve termit potası kalıplar üzerinde merkezi bir konuma sahip olacak şekilde ayarlanır. Potadaki termit özel ateşleyici

vasıtasıyla tutuşturularak reaksiyon başlatılır (Şekil 4.20). Aşırı şekilde eriyen termit porsiyonu kalıplar üzerinden uygun yollarla ray aralığını doldurur ve artan erimiş termit ise cüruf kablarnı doldurur.



**Şekil 4.20:** Rayların Isıtılması Ve Termit Porsiyonun Erimesi

Kullanılan porsiyona göre belli bir süre bekledikten sonra ekipmanlar belli bir sıra dahilinde sökülür ve ray mantarı üzerinde bulunan fazla termit soğumaya bırakılmadan kaynak sıyrma makinesi tarafından tıraşlanır. Tüm ray bağlantı elemanları ray mantarının son profil taşlama işlemi başlamadan önce monte edilir. uygun ray taşlama makinesi kullanılarak belirlenmiş taşlama toleranslarına uygun şekilde minimum düzeyde taşlanır (Şekil 4.21)



**Şekil 4.21:** Kaynağın Sıyrma Makinesi İle Tıraşlanması ve Rayın Taşlanması

#### 4.4 Travers Değişirme

Traversler görsel kontrol esnasında tespit edilen durumlarda yani beton traverslerde kırık veya çatlak olması, kırık olması durumunda donatının görülmesi , ahşap traverslerde tirfon hizasında kırıkların ve çatlakların fazla olup önlenememesi durumunda veya ahşap traversin çürümesi durumunda, traverslerin parçalanması durumunda değiştirilir.

Balastlı üstyapılarda ahşap travers değiştirme işleminde öncelikle değiştirilecek traversler belirlenir ve işaretlenir. Değiştirilecek traverslerin yanlarına yenileri getirilerek hazır vaziyette bekletilir. Traverslerin kolay çıkması ve tekrar yerleştirilmesi için raylar krikolar vasıtasıyla birkaç cm kaldırılmalıdır. Değiştirilecek traversin etrafındaki balast temizlenerek hat kenarına alınır. Çıkartılan travers ile yerine konulacak traversin kalınlığına dikkat edilmelidir. Şayet yeni konulacak travers kalın 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 mıcır 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 (Şekil 4.22)



**Şekil 4.22:** Balastlı Hatlarda Travers Değiştirme

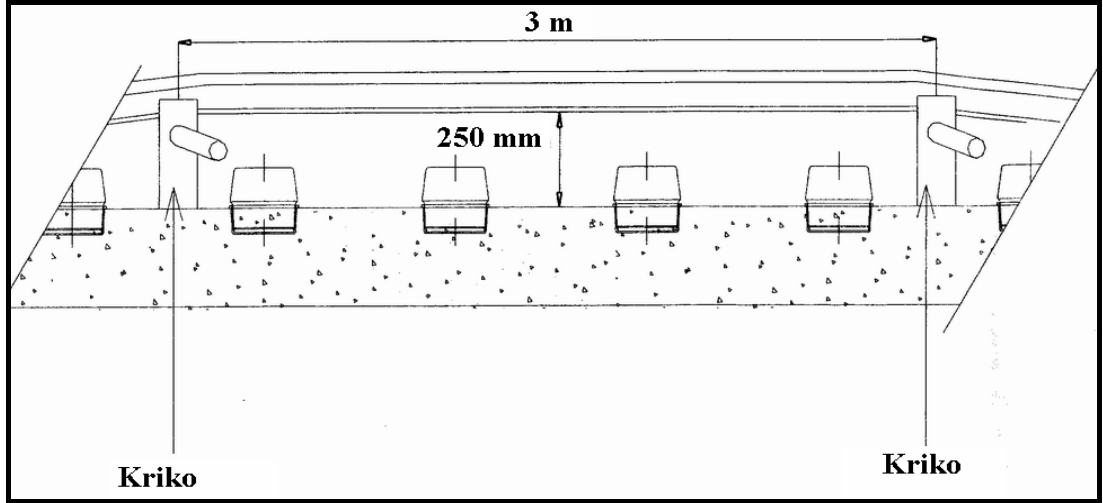
Balastlı üstyapılarda beton travers değiştirme işlemi de aynı şekilde yapılır. Beton traversler standart olduğu için travers yataklarını besleme veya kırma gibi bir durum ortaya çıkmaz. Yerleştirme işleminden sonra tüm bağlantı elemanları sıkılır, travers altında oluşması muhtemel boşluklar için buraj yapılır ve travers başlarında ki balast tokmaklanır veya sıkıştırılır.

Balastlı hatlarda travers değiştirme makinesi vasıtasıyla çok rahat bir şekilde traversleri değiştirmek mümkündür (Şekil 4.23)



**Şekil 4.23:** Travers Değiştirme Makinesi İle Travers Değiştirme

Betona gömülü traverslerin değiştirilmesi, raylar altına bırakılan krikolar vasıtasıyla traversin çıkabileceği yüksekliğe kadar kaldırılması suretiyle 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. 3.ray izolatörlerinin bulunduğu uzatılmış traverslerin değiştirilmesi durumunda aynı şekilde 3.rayında kaldırılması gerekir. Travers yerine bırakıldıktan sonra tüm bağlantı ekipmanları uygun tork değerlerinde sıkılır, (Şekil 4.24). [9]



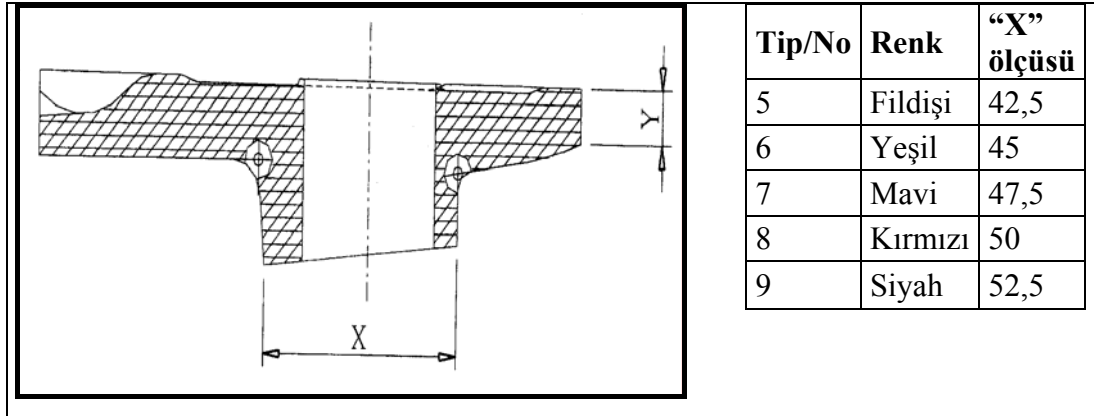
**Şekil 4.24:** Balastsız Üstyapılarda Travers Değiştirme İşlemi Esnasında Rayların Kaldırılması

#### 4.5 Hat Geometrisinin Düzeltilmesi

Koruyucu bakım hat geometrisi kontrolünde; ekartman, yatay nivelman (yatay fleş), düşey nivelman (düşey fleş), dever, burulma gibi geometrik değerlere bakılır. Hat geometrik değerlerinde ekartaman bozukluğu, yatay ve düşey fleş bozukluğu ve dever hatası gibi kusurların çıkma olasılığı vardır.

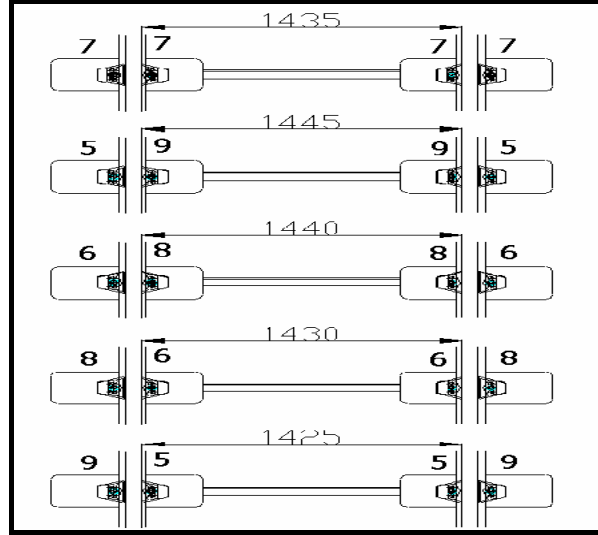
##### 4.5.1 Ekartman

Ekartman bozukluğunda yani hat açıklığının toleranslar dışında olması durumunda, üst yapıda kullanılan bağlantı elemanının tipine göre ekartman hatası kısmen düzeltilebilir. Nabla bağlantı sisteminde farklı renkli nabla izolatorleri kullanılarak (Şekil 4.25) hattın ekartman ve ekseninde oynama yapılabilmektedir.



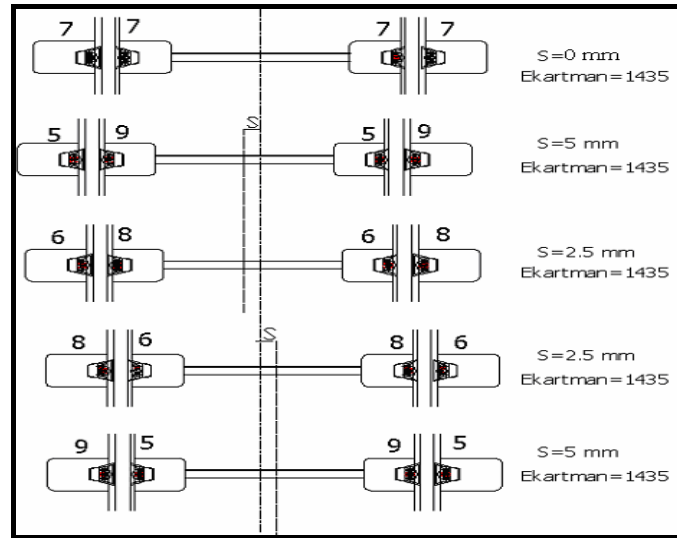
**Şekil 4.25:** Renkli Nabla Ölçüleri

Şekil 4.25’de de görüldüğü gibi X uzaklığı değişen farklı tip ve renkteki nablalar izolatörleri kullanılarak hattın ekartmanında  $\pm 10$  mm civarında 2,5 mm’nin katları olacak şekilde düzeltme yapılabilir. Şekil 4.26’da ise farklı renk nablalar kullanarak ekartman ölçülerinde yapılabilecek farklı ölçüler verilmiştir.

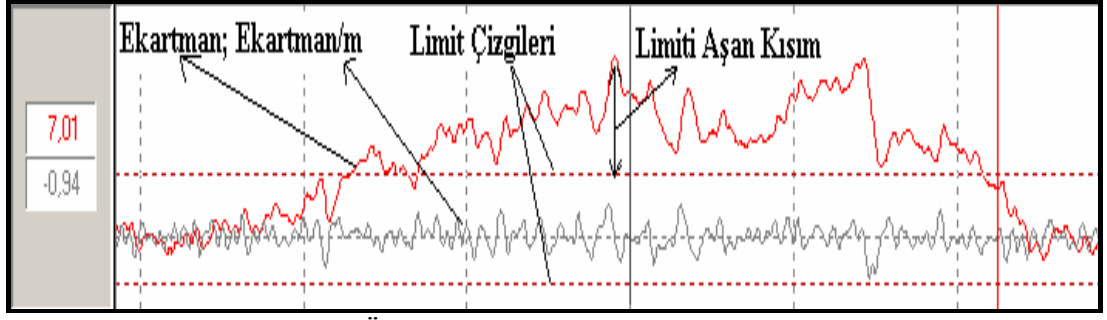


**Şekil 4.26:** Farklı Renkteki Nablalar Kullanılarak Yapılabilecek Ekartman Değerleri

Nabla bağlantı elemanlarında aynı şekilde farklı nabla izolatör renkleri kullanılarak hat ekartmanı (hat açıklığını) değiştirmeden hattın eksenini de 2,5 veya 5 mm sağa veya sola kaydırmak mümkündür. Şekil 4.27’de hat eksenini kaydırılmış bir hat şeması görülmektedir.



**Şekil 4.27:** Nabla Bağlantı Sistemi İle Ekartmanı Sabitleyip Hat Eksenini Kaydırılması

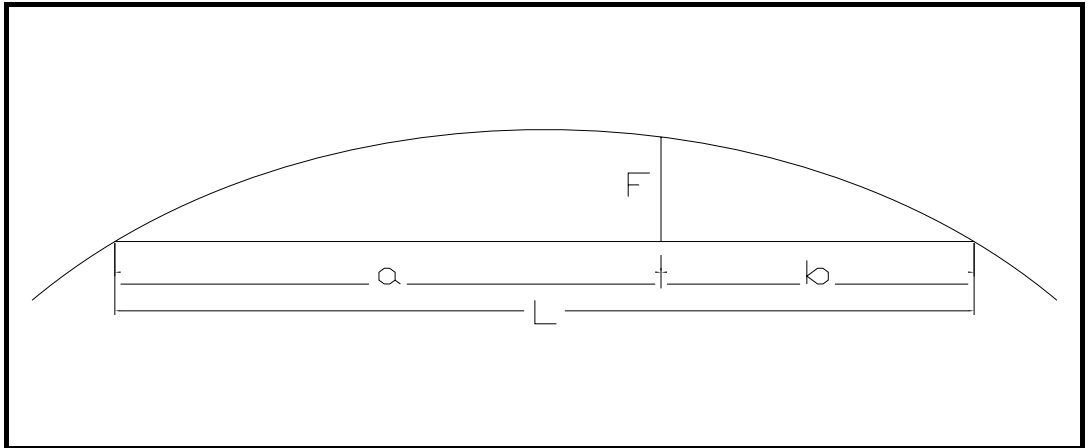


**Şekil 4.28:** Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Ekartman Değerleri

Şekil 4.28’de hat geometrisi ölçüm cihazı ile yapılan bir ölçümde ekartman ve metredeki ekartman değişiminin tolerans çizgisi dahilinde ve haricindeki değerler rahat bir şekilde ekran üzerinde okunabilir.

#### 4.5.2 Yataydaki sapmalar (Fleş)

Yatay fleş (yatay nivelman) yatay kurplarda veya geçiş eğrilerinde belli bir kiriş uzunluğu olarak, kirişin herhangi bir noktasından alınan dikmenin yayı kestigi mesafeye denir (Şekil 4.29). Yatay nivelmanın bozuk olması durumunda balastsız hatlarda fleş düzeltmesi bağlantı elemanları vasıtasıyla düzeltilmektedir. Örneğin nablo bağlantı sisteminde anlatıldığı gibi ekartman toleranslar dahilinde bırakılarak farklı renkli nablo izolatörler kullanılarak hat eksenini referans olarak alınıp raylar kendi eksenlerine getirtilerek yatay nivelman düzeltilmiş olur.

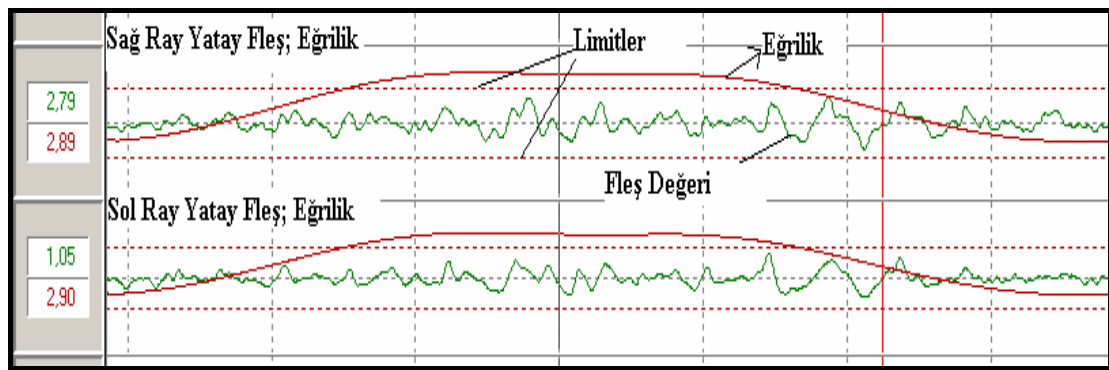


**Şekil 4.29:** Yatay Nivelman (Fleş)

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.

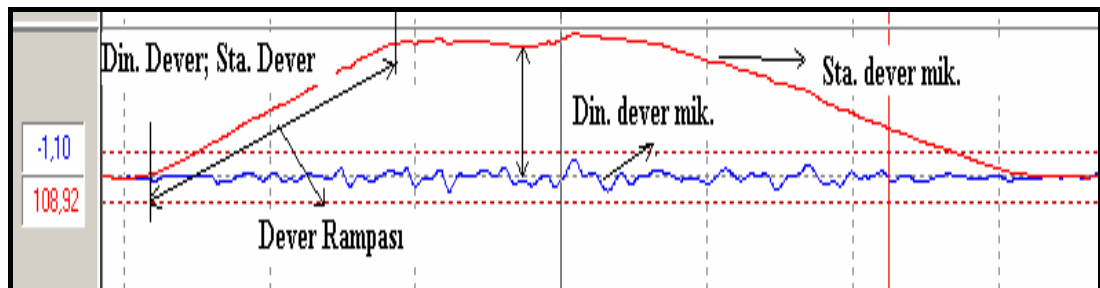


**Şekil 4.30:** Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Fleş Değerleri

Şekil 4.30’da ölçümü yapılan bir hatta sağ ve sol rayın fleş değerleri ve kurp yarıçapına bağlı olarak eğrilik grafiği rahat bir şekilde görülebilmektedir.

#### 4.5.3 Dever

Kurplarda merkezkaç kuvvetini yenebilmek için iç raya göre dış raya verilen yükseklik fazlasına dever denir.



**Şekil 4.31:** Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Dever Değerleri

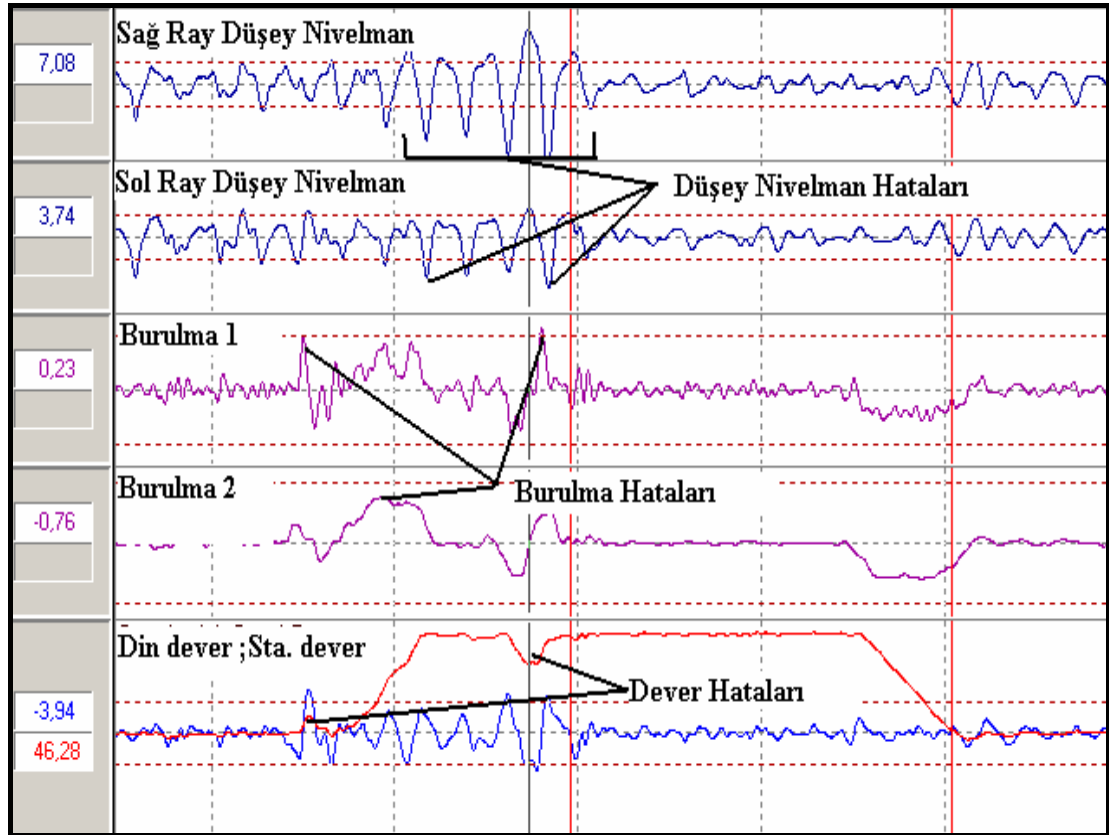
Şekil 4.31’de bir hattın statik dever ve dinamik dever grafiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi düz yolda 0 (sıfır) olan dever miktarı geçiş eğrisinde belli bir açı

ile artarak kurp bölgesinde sabitlenmektedir. Kurp bölgesi bitiminden sonra geçiş bölgesinde tekrar belli bir açı ile azalarak düz yolda O (sıfır) olmaktadır.

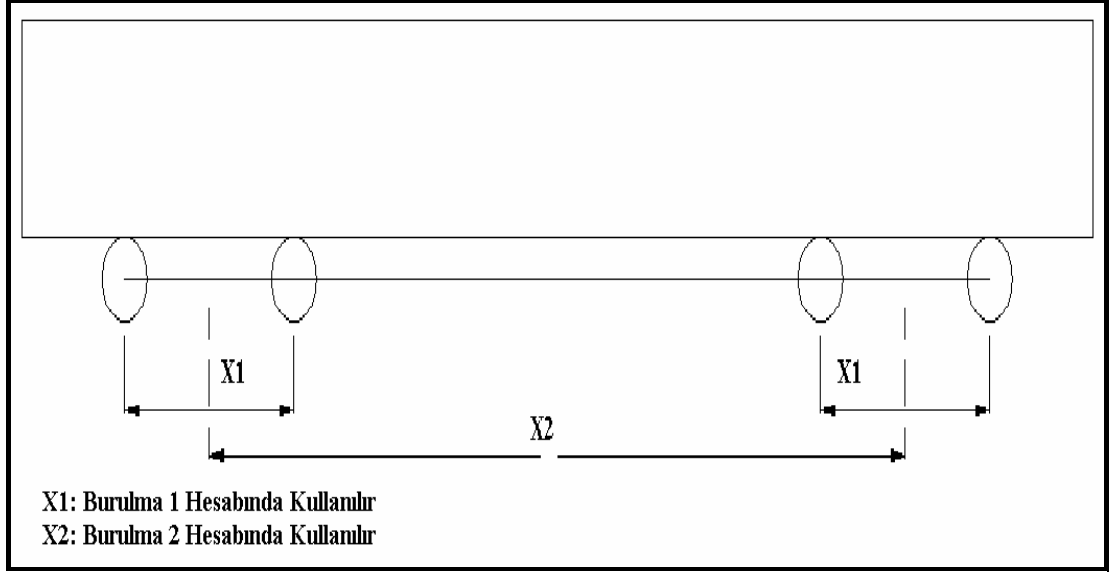
Balastlı üstyapılarda deyer bozuklukları travers kaldırılıp buraj yapılmak suretiyle giderilirken, balastsız üstyapılarda ise traversler kaldırılıp, travers altlarına paslanmaz çelik levhalar bırakılarak deyer hataları düzeltilir.

#### 4.5.4 Burulma

Burulma yoldaki nivelman ve deyer hatalarından, düz yolda ise iki ray arasındaki kot farklarından, gizli boşluklardan meydana gelir. Şekil 4.32’de deyeri ve düşey nivelmanı bozuk bir hat üzerindeki burulma değerleri görülmektedir. Burulma değerlerinin hesabında boji üzerindeki dingillerin aksları arasındaki mesafe ve diğer bojinin aksı ile olan mesafe önemlidir. Burulma 1 Şekil 4.33’de de görüldüğü gibi bir bojinin dingil aksları arasındaki mesafe ile ilişkili iken burulma 2 iki boji aksı arasındaki mesafe ile ilişkilidir.



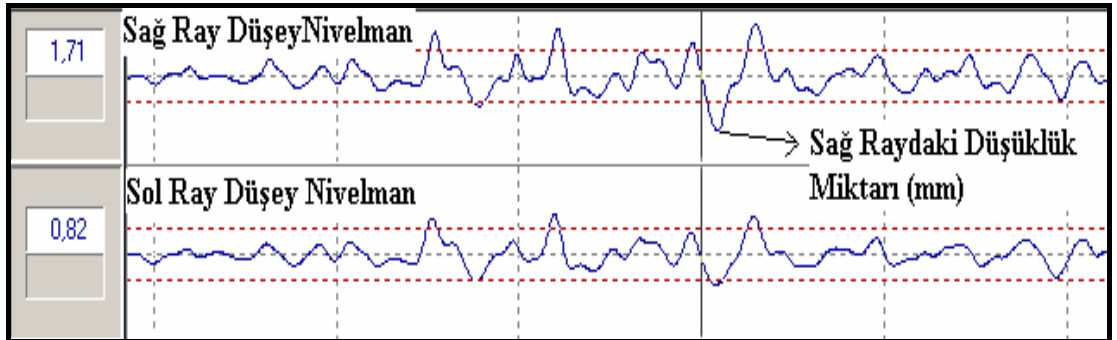
Şekil 4.32: Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Burulma Değerleri



**Şekil 4.33:** Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Burulma1 ve Burulma2 değerlerine Etki Eden Mesafeler

#### 4.5.5 Ray üstü saptmalar (Ray düşey nivelmanı)

Ray boyunca mantar yüzeyinden yapılan ölçümler sonucu tespit edilen hatalardır. Ölçüm cihaza sağ ve sol rayda ayrı ayrı ölçüm alır. Sağ ve sol rayların nivelmanının ölçümü sonucunda ray yüzeyindeki hatalar, kaynakların yüksek veya düşük olma durumları ve ölçüm cihazının büyük tonajlı olması durumunda travers altındaki gizli boşlukları tespit eder, (Şekil 4.34)

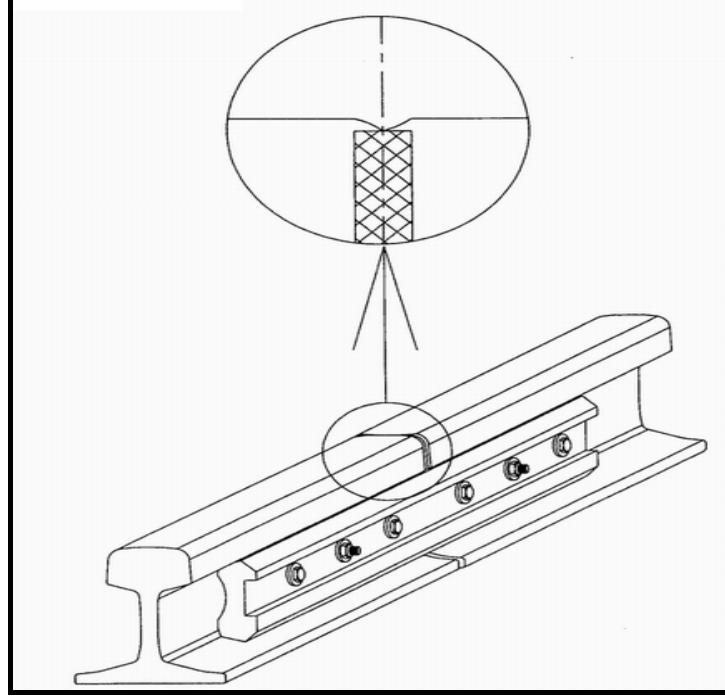


**Şekil 4.34:** Hat Geometrisi Ölçüm Sonucunda Görülen Düşey Nivelman Değerleri

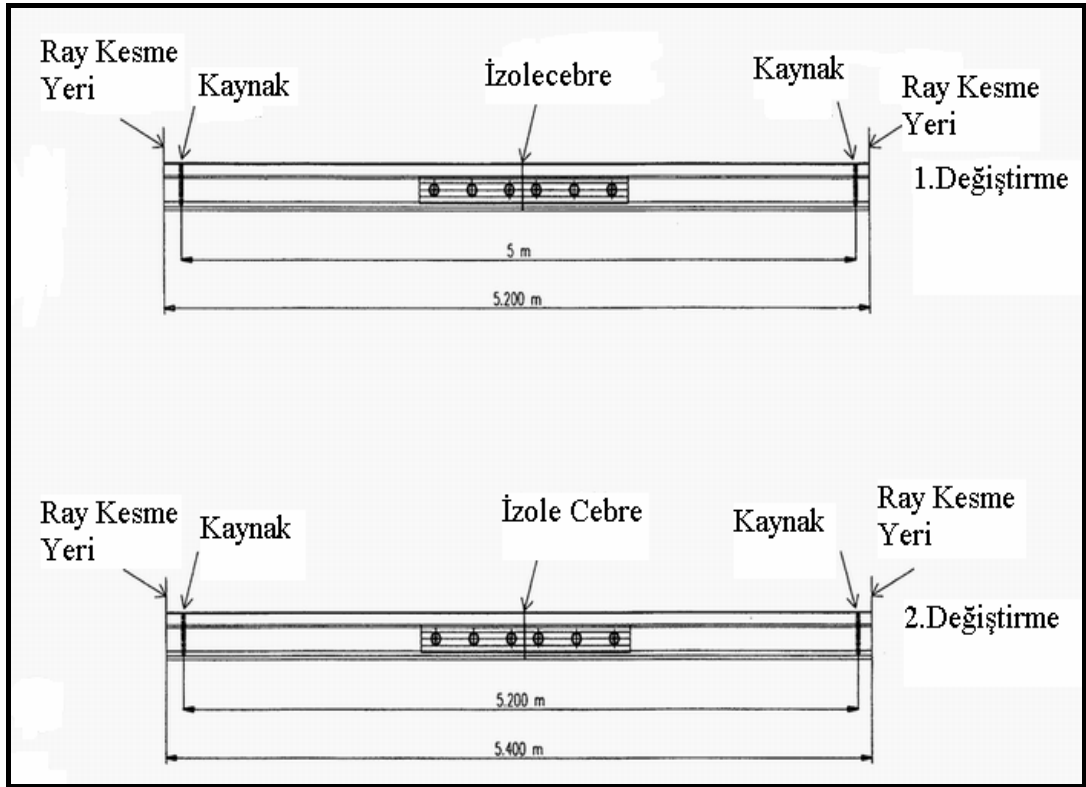
#### 4.6 İzolecebiirelerin Tamiri Ve Değiştirilmesi

İzole cebireler yalıtımlı ray bağlantı elemanlarıdır. Özellikle izole cebirelerde ray mantarı kısmında çapakanmadan dolayı yalıtım bozulabilir. Bu durumda çapaklar kıl testere kullanılarak alınabilir ve mantar kısmında oluşacak yarık yalıtımı sağlayan slikon macunlarla doldurulabilir. İzole cebirenin bulunduğu kısmın tamamen tahrip

olması durumunda (Şekil 4.35) izole cebirenin değiştirilmesi gerekir. İzolecebreinin bulunduğu rayın değiştirilme işlemi rayların değiştirilmesi ile aynı şekilde yapılır. Önemli olan nokta izole cebireli rayın bulunduğu kısımda kaynak noktalarını dikkate alarak ray kesme işlemini yapmaktır. Şayet izole cebireli rayın başında ve sonundaki kaynaklar arası mesafe 5 m ise kaynak dışından 20 cm dışarıda olacak şekilde kesim yapılmalıdır (Şekil 4.36)



**Şekil 4.35:** İzolenin Tahrip Olması



**Şekil 4.36: İzolecebreli Rayın Değiştirilmesi**

Şekil 4.37’de ise yeni yapılan bir hatta izolecebreinin yapımı görülmektedir.



**Şekil 4.37: Yeni İzolecebre Raylarının Yapılması**

#### **4.7 Balastlı Üstyapıda Hat Geometrik Bozukluklarının Düzeltilmesi (Buraj)**

Balastlı üstyapıya sahip hatlarda meydana gelen geometrik bozuklukların düzeltilmesi işlemlerinin tümüne buraj denir. Buraj işleminde öncelikle hat kotuna ve eksenine getirilir. Kotu ve eksenine getirilen hatta travers altları balastla doldurularak buraj işlemi yapılmış olur.

#### 4.7.1 Elle Buraj

Küçük el makineleri ve ekipmanları ile hat geometrik bozuklukları aşağıda anlatılacağı gibi yapılır

##### 4.7.1.1 Yolun Kotuna Getirilmesi (Rölevaj)

İşletmede olan ve sürekli çalışan bir hatta, araçlardan gelen yüklerin etkisi, hava koşulları ve altyapıdan kaynaklanan olumsuzluktan dolayı hat zamanla balasta gömülerek, proje kotunu kaybeder. Toleransı aşan düşey sapmalar (düşey nivelmanlar) özellikle üstyapı elemanlarına zarar verdiği gibi yolculuk konforunu da olumsuz yönde etkiler. Tolerans dışındaki düşey nivelman bozuklukları iki şekilde düzeltilir.

##### Röperler Esas Alınarak Yolun Kotuna Getirilmesi

Düz yollarda röperlere yakın olan ray, kurplarda ise iç ray nivelman rayı (kotu esas alınacak ray) olarak seçilir. Kaldırma işlemine başlanacak ilk röper noktasında nivelman rayı röper göre, diğer ray ekartman ölçüm aleti ile kotuna kaldırılır

Kaldırma işlemi her iki ray altına konulan karşılıklı krikolar vasıtasıyla aynı anda kaldırılarak yapılır. Krikolara yakın traverslerin altları doldurularak burajlanır. Sonra diğer röper noktasına geçilerek aynı işlem bu nokta için de yapılır. Ray nivosu kullanılarak iki röper arasındaki hat, nivelman rayı üzerinden ölçülerek kotuna getirilir. Kaldırılan hattın burajı, buraj kazması ve çapası kullanılarak işçi marifetiyle yapılacağı gibi (Şekil 4.38), küçük buraj makineleri de kullanılarak yapılır (Şekil 4.39) [10]



**Şekil 4.38:** Buraj Kazması ve Buraj Çapası



**Şekil 4.39:** Küçük Buraj Makineleri

Buraj şekil 4.39’da da görüldüğü gibi her traversste ray altlarından ray kenarına 40-45 cm mesafeden başlayarak dört taraflı yapılmalıdır. Buraj traversin ucundan başlayıp ray altına doğru veya traversin ortasından başlayıp ray altına doğru yapılmalıdır. Kazma ile buraj yapılırken kamanın hareketi daima ray altına doğru olmalıdır. Amaç ray altını doldurmaktır. Burajdan sonra travers araları ve uçlarında azalan balast takviye edilmeli ve sıkıştırılmalıdır.

### **Yüksek Noktalar Esas Alınarak Yolun Kotuna Getirilmesi**

Genellikle röper noktaları bulunmayan ve kısa mesafeli nivelman bozukluklarında uygulanan yöntemdir. Bu metotta tecrübeli bir eleman ray üzerine eğilerek yüksek noktaları tespit eder. Tespit edilen ardışık iki yüksek nokta arasındaki raylar yukarıda anlatıldığı şekilde kaldırılarak yüksek ray kotuna getirilir. İki ray üzerinde aynı işlemi yapmak yanlış olacağından dolayı kotu yüksek olan ray ekartman ölçüm aletiyle tespit edilip nivelman rayı olarak seçilir ve diğer rayda nivelman rayı referans alınarak kaldırılır. Sonuç olarak, kaldırma işlemi yüksek olan raya göre yapılır.

#### **4.7.1.2 Yolun Eksenine Getirilmesi (Dresaj)**

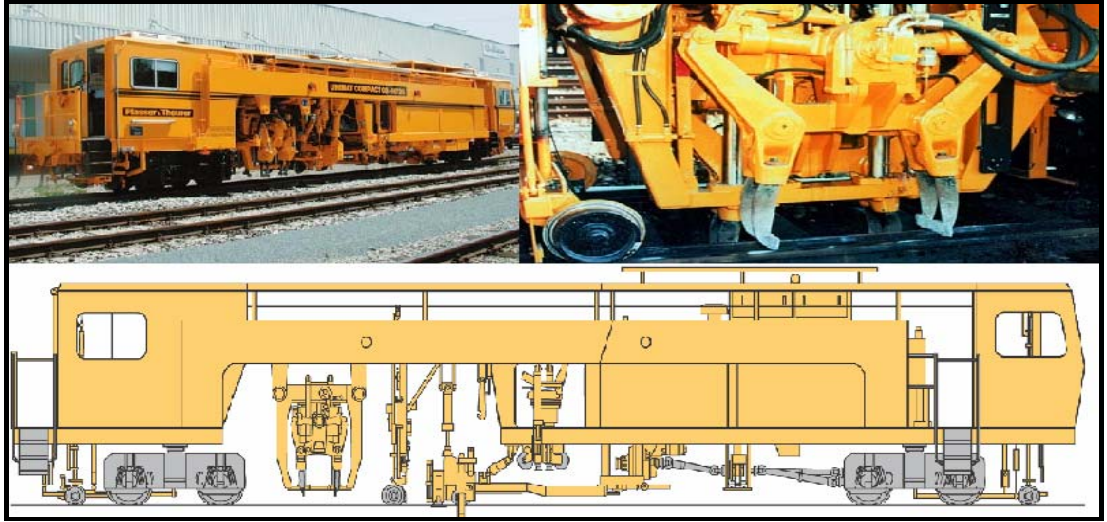
Balastlı sistemlerde yanal stabilite betona tespitli sistemlere göre az olduğundan dolayı trafik yükleri altında ve hava koşullarından dolayı yol ekseninde kaymalar görülür. Yolun projedeki eksenine getirilme işlemine dresaj denir.

Dresaj işleminde uygulanacak en iyi metod röper noktaları esas alınarak yolun eksenine getirilmesidir. Bu yöntemde öncelikle iki röper noktasının karşısındaki hat eksene getirilir ve sonrasında iki röper noktası arasına fleş ipi çekilerek fleş hesaplanıp ipe göre yol eksenine getirilir. İşçi marifetiyle dresaj yapılırken en az 3 kriko ve krikolar yanlardan manivela ile desteklenecek şekilde çalışılmalıdır. Yolun kayma yönüne göre bir kriko önde iki kriko arkada olmalıdır. Krikolar yolu kaldırmayacak şekilde konulmalıdır.

Dresaj işleminde yolda bir defada 50 mm'den fazla ripaj (dresaj esnasında yolun sağa sola kaydırılması) yapılmamalıdır. 50 mm den fazla ripajlar ikiye veya üçe bölünmelidir. 25 mm'ye kadar ripajlarda travers başları boşaltılmalı, 25-50 mm arasındaki ripajlarda traversler arasındaki balast boşaltılmalıdır. Kaydırma işlemi bittikten sonra boşaltılan balastlar tekrar travers başlarına veya travers aralarına konularak sıkıştırılmalı ve krikolar ondan sonra alınmalıdır. Ripaj işlemi bittikten sonra mutlaka fleş ipi kullanılarak ölçüler tekrar alınmalıdır. [11]

#### **4.7.2 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 sayısıyla orantılıdır. Çapa sayısı ne kadar fazla ise yol düzeltme metrajı o kadar artmaktadır. Şekil 4.40'd0 buraj makinesi görülmektedir.

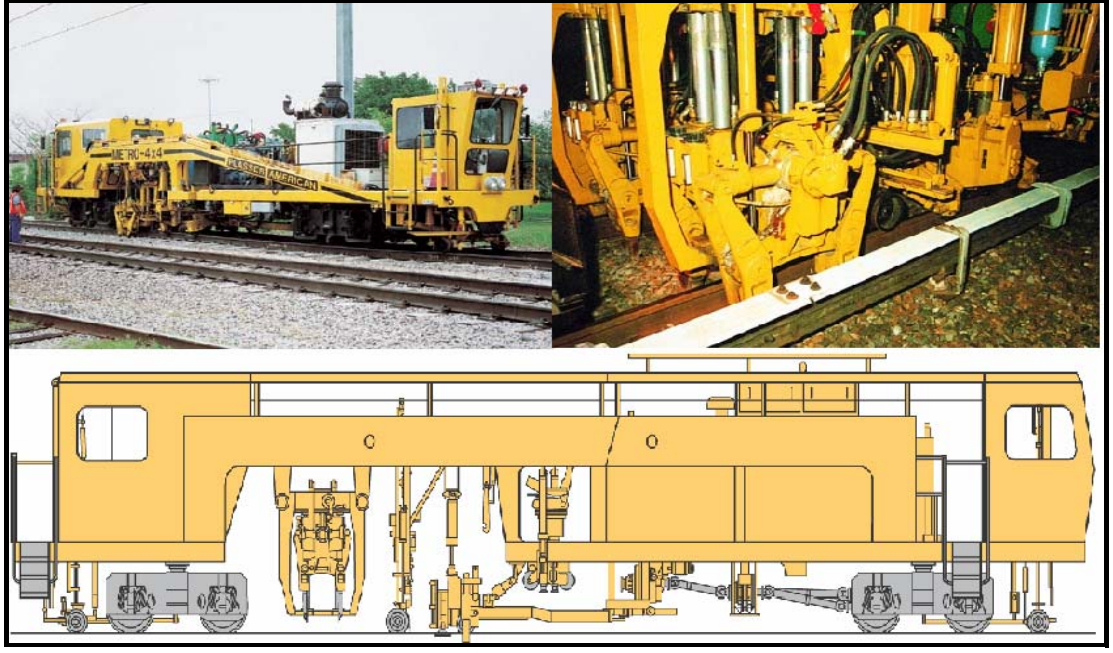


**Şekil 4.40:** Buraj Makinesi

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 eksenleri 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.

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.

Makasların burajları makas buraj makineleri ile yapılır (Şekil 4.41). Buraj yapılırken önce doğru yol sonra sapan yol yapılır. Göbek kısmında uzun traversler olduğu için doğru yolun burajı yapılırken sapan yol ray altından kriko vasıtasıyla kaldırmaya yardımcı olunur.



**Şekil 4.41:** Makas Buraj Makinesi

Buraj işlemi bittikten sonra travers bağlarında ve travers aralarında balast eksikliği varsa mutlaka takviye edilmeli ve balast tokmaklanarak veya kompaktörler vasıtasıyla mutlaka sıkıştırılmalıdır.

#### **4.8 Balast Eleme**

Balastlı demiryolu hatlarında üstyapıyı oluşturan en önemli unsurlardan biride balasttır. Balast tabakası;

1. 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
2. Ray ve traverslerden oluşan yol çerçevesinin boyuna ve enine yöndeki deplasmanlarına iç sürtünme yardımıyla engel olur
3. Su ve hava geçirgenliği özelliğinden dolayı yol çerçevesinin kuru kalmasını sağlar, yağmur ve kar sularının balast altı zeminin mukavemetini bozmasına engel olur
4. Yolun yapısını don olayından koruyarak, taşıma gücünün azalmasına engel olur

5. 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 ortamdan etkilenen bir üstyapı malzemesi olduğu için zamanla kırılmalar, kirlenmeler ve bozulmalar olmaktadır. Bu durumda balast görevini ve işlevini yerine getiremez olmaktadır. Bunun için kirlenen balastın elenmesi gerekmektedir. Balast eleme; elle ve makineli olmak üzere iki çeşit yapılmaktadır.

#### **4.8.1 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 ve diğer iki travers arasındaki balast yaba veya çelik eleklerle elenerek boşaltılan kısma doldurulur. 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.

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 ulaşınca kadar takip edilip gerektiğinde burajı yapılmalıdır.

#### **4.8.2 Makineli balast eleme**

Makineyle balast eleme, elle balast eleme şeklindedir. Makine ile balast elemeye geçmeden önce yer tespitinin iyi yapılması, çalışılacak yerde bozuk veya işlevini yerine getiremeyen traversler varsa değiştirilmesi, tüm bağlantı elemanlarının sıklılı

olması, ilgili bölgeye temiz balast takviyesinin olabilmesi ve hattın makine gabarisine engel olmayacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

Makine ile eleme yapılırken komşu üç travers araları ve ortada kalan traversin altı boşaltılarak eleme yapılır. 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. Şekil 4.42’de balast temizleme makinesi görülmektedir.



**Şekil 4.42:** Balast Temizleme Makinesi

Balast eleme ve temizleme işlemi bittikten sonra buraj makinesiyle çalışılan bölgede buraj yapılmalıdır.

#### **4.9 Dolgu Kaynağı Ve Isıl İşlem Uygulamaları**

Raylı sistemlerde teker ve ray arasındaki temasın düzgün olması önemlidir. Ray üzerindeki yuvarlanma yüzeyinde sürekliliği bozan bazı noktalara veya bölgelere rastlamak mümkündür. Özellikle şehirlerarası işletmede conta noktalarında bu süreksizliği görürken kentiçi raylı sistemlerde iki rayı birleştiren kaynak noktalarında bu süreksizliklere rastlamak mümkündür (Şekil 4.43). Süreksizlikler, kaynaklarda yanlış porsiyon kullanımından dolayı kaynağın aşınması, işçilik hatasından dolayı mantar yüzeyine yakın gaz boşluklarının oluşmasından dolayı zamanla mantarın

ökmesi, kaynak yapıldıktan sonra kaynak kısmının soğumaya bırakılmadan fazla taşlanarak düşük kalması gibi hatalardan dolayı oluşabilmektedir. Bu gibi süreksizlikler dolgu kaynağı ve ısıtıl işlem uygulamaları ile giderilebilmektedir.

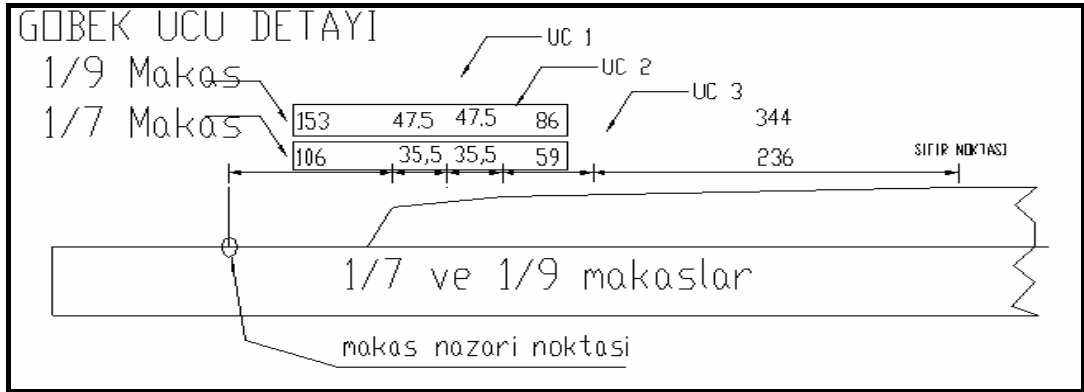


**Şekil 4.43:** Kaynak Noktalarındaki Problemler

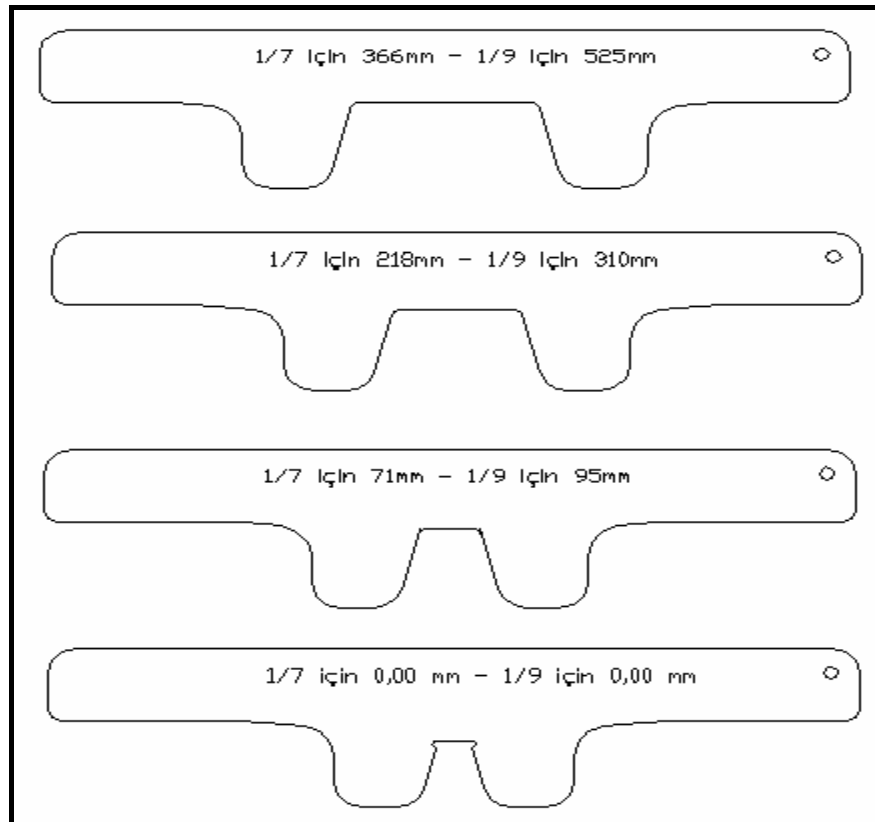
Dolgu kaynağı yapılacak noktanın işaretlenip ön ısıtma yapılmadan önce spiral motorla düzgün bir şekilde taşlanıp temizlenmesi gerekir. Ön taşlama esnasında özellikle tekerlerin raya vurması sonucu oluşan sert yüzeyin alınması önemlidir. Kaynak için düzgün bir yüzey oluşturulduktan sonra kaynak yapılacak bölgenin ön ısıtmasının yapılması gerekir. Ön ısıtma rayın mantar, gövde ve taban kısmının tümünde ve kaynak yapılacak kısmın 100 mm sağ ve solunda yapılmalıdır. Ön ısıtma 400-450 °C'ye kadar yapılmalıdır. Ön ısıtmadan hemen sonra ray soğumaya bırakılmadan kaynak işlemi yapılmalıdır. Şayet kaynak bitmeden rayın sıcaklığı düşmüşse gerekirse tekrar ön ısıtma yapılır. Kaynak dolgusu tatbikinden sonra rayda taşlama yapılarak ve mümkün mertebe profil verilerek ray yuvarlanma yüzeyinin düzgün olması sağlanır.

Kaynak noktalarındaki problemlerle birlikte, ray mantarı üzerinde oluşan apleti, kılcal çatlaklar, rayın üretimi dışında mantar veya yan yüzeyde oluşan kırılma alanları, parça kopması gibi bozukluklarda dolgu kaynağı yapılarak onarım yapmak mümkündür.

Makas göbek ve tavşan ayaklarında da oluşan aşınma veya ezilmeler aynı şekilde dolgu kaynağı yapılarak onarılır fakat makas göbek ve tavşan ayaklarında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biride, kaynak bittikten sonra bu noktaların teker şablonuna uygun olarak taşlanmasıdır. Bunun için göbek ve tavşan ayakları taşlanırken, makas özelliğine uygun şablonların kullanılması gerekmektedir. Şekil4.44’de göbek ucu detayları verilmiş ve bu göbek ucu detaylarına göre kullanılması gereken göbek şablonları şekil 4.45’de gösterilmiştir.



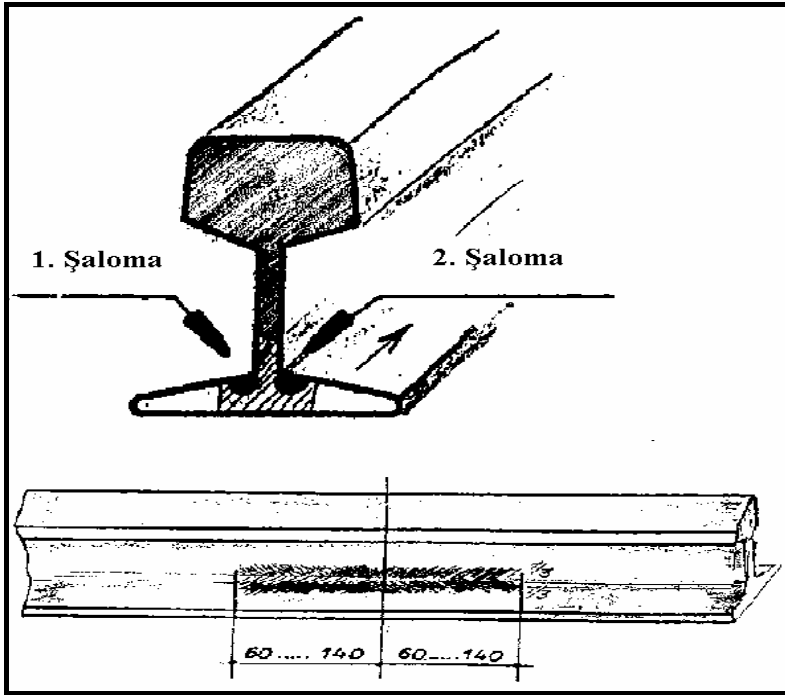
**Şekil 4.44:** Makas Göbek Ucu Detayları (1/7 ve 1/9 Makaslar İçin)



**Şekil 4.45:** Makas Göbek Ucu Şablonları

Isıl işlem uygulamaları özellikle yüksek veya düşük raylarda uygulanan bir yöntemdir. Isıl işlemle düzeltmede malzeme lokal olarak ısıtılır, bu şekilde kısıtlanmış olarak oluşan ısıya bağlı uzamalar kalıcı bir sıkışma meydana getirir. Soğutma işlemi ile beraber sıkışmış bölgede, istenilen şekli sağlayan kuvvetler oluşacaktır.

Isıl işlemle düzeltmede gereksiz yere uzun süreli ve yüksek seviyede ısıtma yapılmamalıdır. En etkili ve başarılı yöntem, rayı belirli bir ısı tahkiki altında çok hızlı bir şekilde koyu kırmızı hale gelecek şekilde ısıtmaktır. Sıcaklık 650 °C'ye kadar rayın iç yapısı bozulmadığı için sıcaklık kesinlikle 650 °C'yi geçmemelidir. [12]

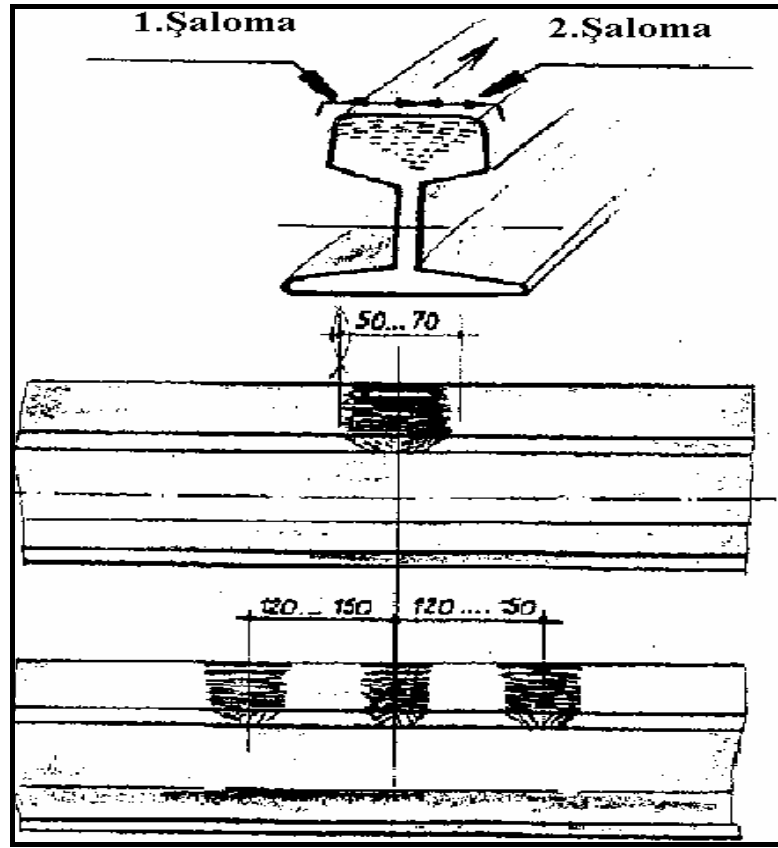


**Şekil 4.46:** Ray Mantarının Isıl İşlemle Kaldırılması

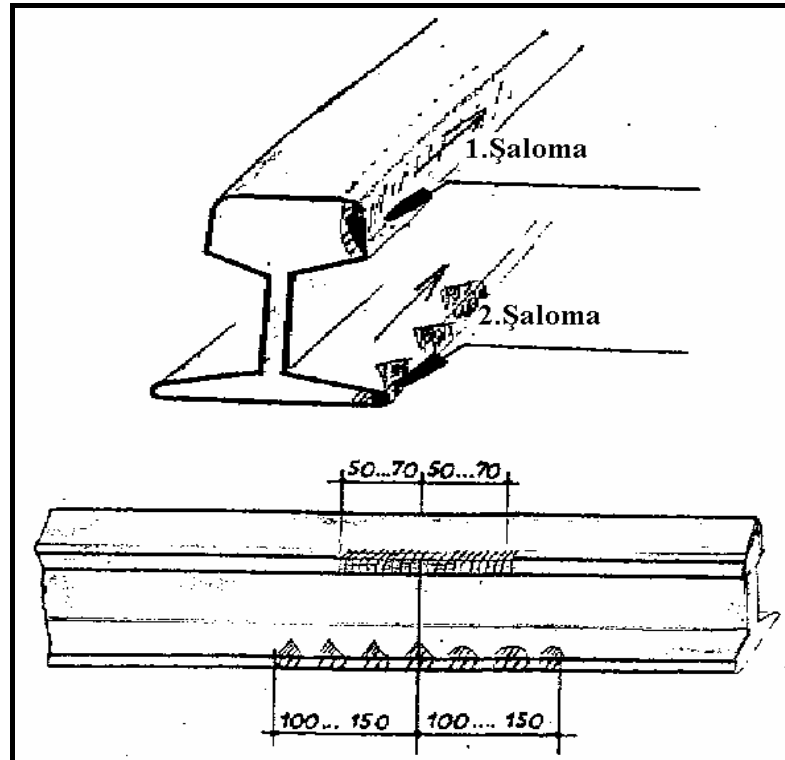
Şekil 4.46'da ray mantarının kaldırılması için ray tabanına uygulanan çift şalomalı ısıtma işlemi görülmektedir.

Şekil 4.47'de ray mantarının düşürülmesi için ray kafasına uygulanan çift şalomalı ısıtma işlemi görülmektedir.

Şekil 4.48'de rayın yanal deplasmanı veya bükme için ray mantarı kenarına ve taban kenarına uygulanan çift şalomalı ısıtma işlemi görülmektedir.



Şekil 4.47: Ray Mantarının Isıl İşlemle Düşürülmesi



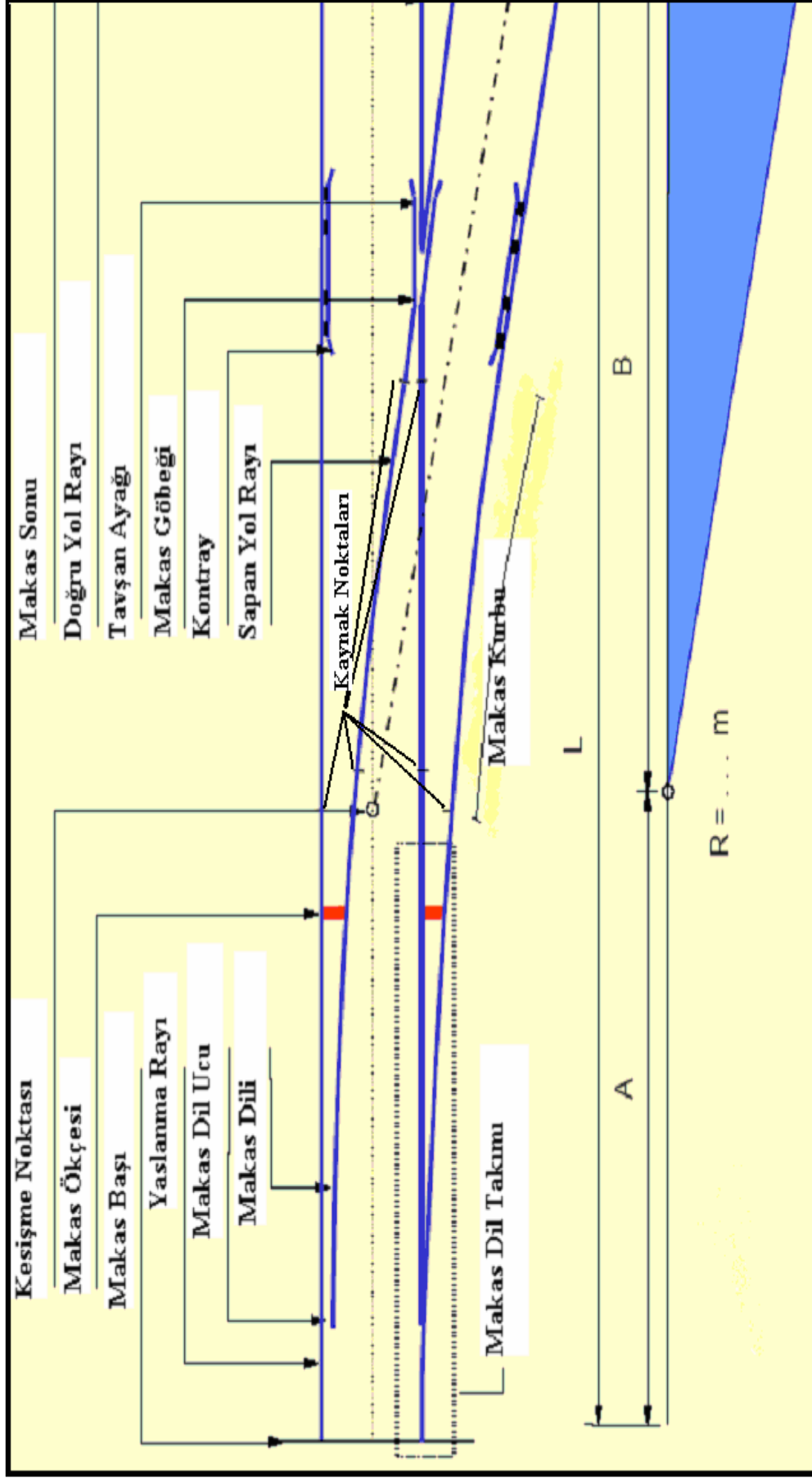
Şekil 4.48: Ray Yan Yüzeyinin Isıl İşlemle Deplasmanı

#### 4.10 Makas Dil Takımı Ve Göbek Değiştirilmesi

Hat üzerinde bulunan makaslar; sağ ray, sol ray dil takımı olmak üzere iki dil takımından 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 (Şekil 4.50). 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 vinç ile, yoksa ray maşaları vasıtasıyla 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 maşaları vasıtasıyla hattan alınır. Aynı şekilde göbek yerleştirilir, uç kısımlarına termit kaynak yapılır ve tüm bağlantı elemanları sıkılır.



Şekil 4.49: Basit Makas Tertibatı

#### 4.11 Ray Taşlama

Dar kurbalarda dış raydaki hızlı yanal aşınmanın, alıymanlarda ray mantarı iç köşelerindeki aşınmanın ve ray yüzeyindeki ondülasyonların nedeni hiç şüphesiz uygunsuz ray teker ilişkisidir. Bu yüzden, hat bakımının en önemli amacı, ray-tekerlek temasının iyileştirilmesidir. Düzeltici bakım kapsamında yapılan taşlamalar raya yeniden profil vermek ve ondülasyonlu bölgeleri temizlemek için yapılır. Taşlama işlemi ray taşlama makineleri vasıtasıyla yapılır, (Şekil 4.50).

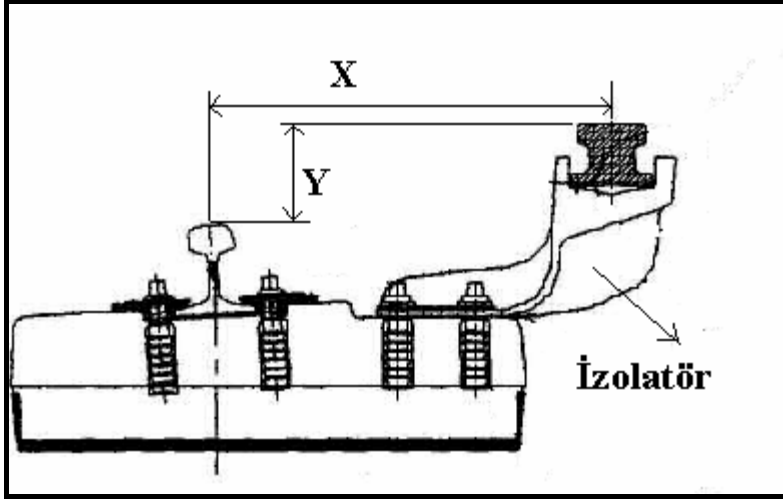


Şekil 4.50: Ray Taşlama Makinesi

#### 4.12 3.Ray Düzeltici Bakım İşleri

3.Ray da düzeltici bakım işlemleri olarak; 3.rayın düşey ve yatay pozisyonunun toleranslar dışında çıkması, genişleme derzi boşluklarının toleransın üstünde veya altında olması, 3.ray besleme bağlantı kablolarında oksitlenmeden dolayı kopmaların olması ve 3.ray ekipmanlarının (kapak, izolator, soket profil vb. gibi) kırılması veya işlevlerini yerine getirememesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

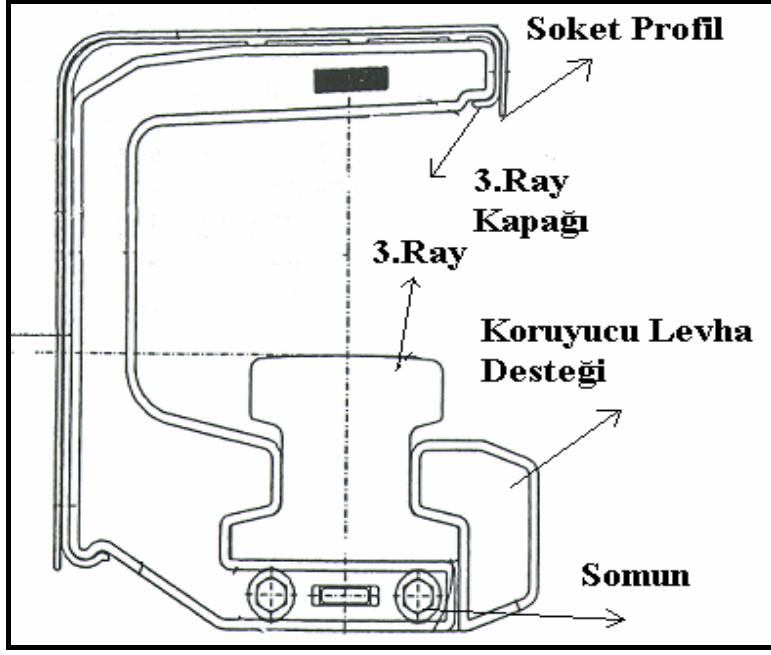
“x” mesafesini düzeltmek için krikoyla 3.ray kaldırılıp, izolatorün ileri geri hareket mesafesi kullanılarak 3.ray uygun konuma getirilir.”y” mesafesini düzeltmek için; 3.ray yükseğe üst kısımdan 3.ray taşlanır, 3.ray düşükse, 3.rayı krikoyla kaldırılıp izolator yerinden sökülerek izolatorün altına milimetrik şimler bırakılarak düşey mesafe ayarlanır (Şekil 4.50)



**Şekil 4.50:** 3.Ray Pozisyon Değerleri

Genleşme derzlerinin boşluk ayarlarını düzelmenin tek yolu 3.rayın serbest olan en yakın ucundan; mesafe fazla ise 3.rayın iteklenmesi, mesafe az ise 3.rayın çekilmesi gerekmektedir.

3.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. 3.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. 3.ray koruyucu levha desteği de aynı şekilde kapak çıkarıldıktan sonra koruyucu levha desteklerinin somunları çıkarılarak koruyucu levha desteği 3.raydan çıkarılıp değiştirilir. İzolatörlerin değiştirilmesi ise bu iki işlemin takibinden sonra travers trifonlarının da çıkarılmasından sonra gerçekleştirilir.



**Şekil 4.52:** 3.Ray Koruyucu Kapakları Ve Koruyuc Levha Destekleri

## **5. YILLIK BAKIM PLANI VE BAKIM MALİYETLERİ**

### **5.1 Örnek Yıllık Bakım Planı**

Yıllık bakım planları planlı şekilde olan periyodik bakımlar için yapılan programlardır. Periyodik (Koruyucu-Planlı) bakımlar belli periyotlarla ve belli sürelerde yapıldığı için programlanması ve bakım için ne kadar süre harcanacağı yaklaşık olarak bellidir.

Bu çalışmada örnek olarak İstanbul Metrosu'nda kullanılan yıllık bakım programı irdelenmiştir. Diğer kentiçi raylı sistemlerde de buna benzer yıllık bakım programları mevcuttur.

Tablo 5.2'de de görüldüğü gibi hangi sistemin bakımının yapılacağı, bakımı yapılacak ekipmanın kodu, işin tanımı ve kodu (referansı), bakım aralığı (periyodu), işin süresi ve işi yapacak personel sayısı bakım tablosunda mevcuttur. Bu bakımların tümü haftalara dağıtılarak bakım periyoduna göre yıllık olarak yapılır. Yine aynı tabloda görüldüğü gibi bakımı yapılacak sistemin iş referansına göre tüm ekipmanlar ayrı ayrı sayfalarda yazılmıştır. Makro halinde hazırlanan program her hafta için çalıştırıldığında, o hafta yapılacak işleri ayrı bir sayfada, ve yapılacak işlerin ekipmanlarını ayrı bir sayfada hazırlar.

Tablo 5.3'de ise, makro çalıştırıldığında 1. haftada süreleri yazan işler 1. haftanın bakım programını oluşturmaktadır.

**Tablo 5.1: İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Planı**

| Sistem  | Ekipman kodu | Ekipman Miktarı | Ekipman için İş Sınıfı Oluşumu | İş Referansı | İş Tanımı                                | Bakım Zaman Aralığı (Ay) | Bakım Günü | İş Süresi (dak.) | Personel Sayısı | Lojistik Süre (dak.) |
|---------|--------------|-----------------|--------------------------------|--------------|------------------------------------------|--------------------------|------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Hat     | HAT          | 36              | 1                              | HAT-2-CK-1   | Görsel Kontrol                           | 0,25                     | 7          | 2                | 1               | 6                    |
| Hat     | HAT          | 36              | 2                              | HAT-2-CK-2   | Hat ve 3 Ray Görsel Kontrol              | 0,5                      | 15         | 35               | 2               | 30                   |
| Makas   | MKS          | 21              | 1                              | MKS-2-CK-1   | Makas Görsel Kontrol                     | 0,5                      | 15         | 40               | 2               | 10                   |
| Makas   | MKS          | 21              | 2                              | MKS-2-CK-2   | Makas Boyutsal Kontrol                   | 2,5                      | 75         | 50               | 3               | 0                    |
| Makas   | MKS          | 4               | 5                              | MKS-2-CK-5   | Kritik Makas Görsel ve Boyutsal Kontrolü | 0,25                     | 7          | 60               | 2               | 15                   |
| Makas   | MKS          | 21              | 1                              | MKS-1-SG-1   | Makas yağlama                            | 2,5                      | 75         | 55               | 3               | 30                   |
| 3.Ray   | ERY          | 30              | 2                              | ERY-2-CK-2   | İzalatör Tork Kontrolü                   | 12                       | 365        | 8                | 2               | 7                    |
| 3.Ray   | BBV          | 25              | 1                              | BBV-2-CK-1   | Besleme Bağlantısı Kontrolü              | 6                        | 180        | 9,5              | 2               | 3                    |
| 3.Ray   | ERY          | 45              | 1                              | ERY-2-CK-1   | Pozisyon ve aşınma Kontrolü              | 12                       | 360        | 5,5              | 2               | 2                    |
| 3.Ray   | GDZ          | 8               | 1                              | GDZ-2-CK-1   | Boşluk Kontrolü ve Yağlama               | 12                       | 360        | 30               | 2               | 15                   |
| Üstyapı | YMH          | 6               | 1                              | YMH-2-TG-1   | Tork Kontrolü                            | 12                       |            | 40               | 2               | 30                   |
| Üstyapı | DTP          | 1               | 1                              | DTP-2-SG-1   | Tampon Bakımı                            | 12                       | 365        | 260              | 2               | 30                   |
| Üstyapı | İCR          | 14              | 1                              | İCR-2-CK-1   | İzole Cebre kontrolü                     | 12                       | 365        | 17               | 2               | 15                   |
| Drenaj  | HAT          | 74              | 1                              | HAT-2-OV-1   | Hat özel incelemesi                      | 0,5                      | 15         | 2                | 2               | 10                   |
| Üstyapı | YMH          | 8               | 2                              | YMH-2-OV-2   | Hat Kontrolü                             | 12                       | 365        | 30               | 2               | 20                   |
| Makas   | MMO          | 19              | 1                              | MMO-2-SG-2   | Elektriksel+mekanik                      | 3                        | 90         | 20               | 2               | 3                    |

**Tablo 5.2: Yıllık Bakım Planının Haftalık Bazda Dağıtılması**

| Haftalar ve yapılacak bakıma harcanan toplam süreler                                                                    |              |                 |                        |              |            |                                          |            |                  |                 |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|------------------------|--------------|------------|------------------------------------------|------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Sistem                                                                                                                  | Ekipman kodu | Ekipman Miktarı | Ekipman için İş Süresi | İş Referansı | İş Tanımı  | Bakım Zaman Aralığı (Ay)                 | Bakım Gücü | İş Süresi (dak.) | Personel Sayısı | Lojistik Süre (dak.) |
| 2                                                                                                                       | Hat          | HAT             | 36                     | 1            | HAT-2-CK-1 | Görsel Kontrol                           | 0,25       | 7                | 2               | 6                    |
| 3                                                                                                                       | Hat          | HAT             | 36                     | 2            | HAT-2-CK-2 | Hat ve 3 Ray Görsel Kontrol              | 0,5        | 15               | 35              | 30                   |
| 4                                                                                                                       | Makas        | MKS             | 21                     | 1            | MKS-2-CK-1 | Makas Görsel Kontrol                     | 0,5        | 15               | 40              | 10                   |
| 5                                                                                                                       | Makas        | MKS             | 21                     | 2            | MKS-2-CK-2 | Makas Boyutsal Kontrol                   | 2,5        | 75               | 50              | 3                    |
| 6                                                                                                                       | Makas        | MKS             | 4                      | 5            | MKS-2-CK-5 | Kritik Makas Görsel ve Boyutsal Kontrolü | 0,25       | 7                | 60              | 2                    |
| 7                                                                                                                       | Makas        | MKS             | 21                     | 1            | MKS-1-SG-1 | Makas yağlama                            | 2,5        | 75               | 55              | 30                   |
| 8                                                                                                                       | 3.Ray        | ERY             | 30                     | 2            | ERY-2-CK-2 | İzalatör Tork Kontrolü                   | 12         | 365              | 8               | 7                    |
| 9                                                                                                                       | 3.Ray        | BBV             | 25                     | 1            | BBV-2-CK-1 | Besleme Bağlantısı Kontrolü              | 6          | 180              | 9,5             | 3                    |
| 10                                                                                                                      | 3.Ray        | ERY             | 45                     | 1            | ERY-2-CK-1 | Pozisyon ve ağırlama Kontrolü            | 12         | 360              | 5,5             | 2                    |
| 11                                                                                                                      | 3.Ray        | GDZ             | 8                      | 1            | GDZ-2-CK-1 | Boşluk Kontrolü ve Yağlama               | 12         | 360              | 30              | 2                    |
| 12                                                                                                                      | Üstyapı      | YMH             | 6                      | 1            | YMH-2-TG-1 | Tork Kontrolü                            | 12         | 40               | 2               | 30                   |
| 13                                                                                                                      | Üstyapı      | DTP             | 1                      | 1            | DTP-2-SG-1 | Tampon Bakımı                            | 12         | 365              | 260             | 2                    |
| 14                                                                                                                      | Üstyapı      | İCR             | 14                     | 1            | İCR-2-CK-1 | İzole Cebre kontrolü                     | 12         | 365              | 17              | 2                    |
| 15                                                                                                                      | Drenaj       | HAT             | 74                     | 1            | HAT-2-OV-1 | Hat özel incelemesi                      | 0,5        | 15               | 2               | 10                   |
| 16                                                                                                                      | Üstyapı      | YMH             | 8                      | 2            | YMH-2-OV-2 | Hat Kontrolü                             | 12         | 365              | 30              | 2                    |
| 17                                                                                                                      | Makas        | MMO             | 19                     | 1            | MMO-2-SG-2 | Elektiriksel+mekanik                     | 3          | 90               | 20              | 3                    |
| Levelled Schedule                                                                                                       |              |                 |                        |              |            |                                          |            |                  |                 |                      |
| MMO-2-SG-2 / HAT-2-CK-1 / HAT-2-CK-2 / MKS-2-CK-5 / MKS-2-CK-1 / MKS-2-CK-2 / MKS-1-SG-1 / ERY-2-CK-2 / BBV-2-CK-1 / EI |              |                 |                        |              |            |                                          |            |                  |                 |                      |
| İş referansına göre ekipmanların yazılı olduğu sayfalar                                                                 |              |                 |                        |              |            |                                          |            |                  |                 |                      |

**Tablo 5.3:** Haftalık Bakım Programı

| İstanbul Metrosu Haftalık Bakım Planı |              |                 |                            |                                          |                                 |                         |                 |      |              |      |          |          |      | Tarih: 2007-1.Hafta |           |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|------|--------------|------|----------|----------|------|---------------------|-----------|
| Şeflik: Hat bakım ve inşaat           | Ekipman      | Ekipman Miktarı | İş Referansı               | İş Tanımı                                | Bakım Zaman Aralığı (Ay Olarak) | İş Süresi (dakika)      | Personel Sayısı | wt   | 2007-WEEK #1 |      |          |          |      | Pazar               | Cumartesi |
| Equipment                             | Qty of Equip | Equipment       | Task Reference             | Task Name                                | Periodicity (in Months)         | Task Duration (Minutes) | Number of Staff | wt   | Pazar        | Salı | Çarşamba | Perşembe | Cuma | Pazar               |           |
| HAT                                   | 36           |                 | <a href="#">HAT-2-CK-1</a> | Görsel Kontrol                           | 0,25                            | 2                       | 1               | 144  |              |      |          |          |      |                     |           |
| HAT                                   | 36           |                 | <a href="#">HAT-2-CK-2</a> | Hat ve 3 Ray Görsel Kontrol              | 0,5                             | 35                      | 2               | 2520 |              |      |          |          |      |                     |           |
| Makas                                 | 21           |                 | <a href="#">MKS-2-CK-1</a> | Makas Görsel Kontrol                     | 0,5                             | 40                      | 2               | 1680 |              |      |          |          |      |                     |           |
| Makas                                 | 4            |                 | <a href="#">MKS-2-CK-5</a> | Kritik Makas Görsel ve Boyutsal Kontrolü | 0,25                            | 50                      | 2               | 480  |              |      |          |          |      |                     |           |
| HAT                                   | 74           |                 | <a href="#">HAT-2-OV-1</a> | Hat özel incelemesi                      | 0,5                             | 2                       | 2               | 296  |              |      |          |          |      |                     |           |
| Makas Motoru                          | 19           |                 | <a href="#">MMO-2-SG-2</a> | Elektriksel+mekanik                      | 3                               | 20                      | 2               | 760  |              |      |          |          |      |                     |           |
| TOTAL                                 |              |                 |                            |                                          |                                 |                         |                 | 5880 |              |      |          |          |      |                     |           |

## 5.2 Yolcu Sayıları Ve Yıllık Bakım Maliyetleri

İstanbul Kentiçi raylı sistemlerinin yıllar bazında aylık olarak ve toplamda taşıdıkları yolcu sayıları aşağıdaki tablolarda ki gibidir.

2002 yıllık yolcu sayısı;

**Tablo 5.4: 2002 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları**

| <b>2002-AYLIK YOLCU SAYISI</b> |                   |                   |                   |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AYLAR</b>                   | <b>LRT</b>        | <b>TRAMVAY</b>    | <b>METRO</b>      | <b>TOPLAM</b>      |
| <b>OCAK</b>                    | 4.460.589         | 3.749.614         | 3.133.485         | <b>11.343.688</b>  |
| <b>ŞUBAT</b>                   | 4.245.185         | 3.243.431         | 2.553.255         | <b>10.041.871</b>  |
| <b>MART</b>                    | 4.436.444         | 3.795.143         | 2.978.203         | <b>11.209.790</b>  |
| <b>NİSAN</b>                   | 4.330.259         | 3.744.698         | 2.865.270         | <b>10.940.227</b>  |
| <b>MAYIS</b>                   | 4.597.460         | 3.959.251         | 3.259.999         | <b>11.816.710</b>  |
| <b>HAZİRAN</b>                 | 4.289.506         | 3.508.310         | 2.772.005         | <b>10.569.821</b>  |
| <b>TEMMMUZ</b>                 | 4.356.705         | 3.663.721         | 2.629.417         | <b>10.649.843</b>  |
| <b>AĞUSTOS</b>                 | 4.262.785         | 3.642.331         | 2.543.601         | <b>10.448.717</b>  |
| <b>EYLÜL</b>                   | 4.315.887         | 3.781.440         | 2.897.344         | <b>10.994.671</b>  |
| <b>EKİM</b>                    | 4.715.863         | 4.162.976         | 3.473.020         | <b>12.351.859</b>  |
| <b>KASIM</b>                   | 4.388.581         | 4.049.161         | 3.186.349         | <b>11.624.091</b>  |
| <b>ARALIK</b>                  | 4.563.808         | 3.591.281         | 3.289.427         | <b>11.444.516</b>  |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>52.963.072</b> | <b>44.891.357</b> | <b>35.581.375</b> | <b>133.435.804</b> |

2003 yıllık yolcu sayısı;

**Tablo 5.5: 2003 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları**

| <b>2003-AYLIK YOLCU SAYISI</b> |                   |                   |                   |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AYLAR</b>                   | <b>LRT</b>        | <b>TRAMVAY</b>    | <b>METRO</b>      | <b>TOPLAM</b>      |
| <b>OCAK</b>                    | 4.477.787         | 3.608.636         | 3.310.598         | <b>11.397.021</b>  |
| <b>ŞUBAT</b>                   | 3.874.448         | 2.669.777         | 2.539.084         | <b>9.083.309</b>   |
| <b>MART</b>                    | 4.420.960         | 3.498.820         | 3.419.688         | <b>11.339.468</b>  |
| <b>NİSAN</b>                   | 4.386.581         | 3.461.953         | 3.330.257         | <b>11.178.791</b>  |
| <b>MAYIS</b>                   | 4.804.166         | 3.709.693         | 3.456.698         | <b>11.970.557</b>  |
| <b>HAZİRAN</b>                 | 4.615.815         | 3.457.936         | 3.126.466         | <b>11.200.217</b>  |
| <b>TEMMMUZ</b>                 | 4.526.358         | 3.422.744         | 2.819.524         | <b>10.768.626</b>  |
| <b>AĞUSTOS</b>                 | 4.695.474         | 3.616.469         | 2.737.228         | <b>11.049.171</b>  |
| <b>EYLÜL</b>                   | 4.938.926         | 3.908.714         | 3.276.660         | <b>12.124.300</b>  |
| <b>EKİM</b>                    | 5.332.157         | 4.464.328         | 3.872.600         | <b>13.669.085</b>  |
| <b>KASIM</b>                   | 5.129.445         | 3.827.334         | 3.101.380         | <b>12.058.159</b>  |
| <b>ARALIK</b>                  | 5.167.963         | 4.134.961         | 3.846.675         | <b>13.149.599</b>  |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>56.370.080</b> | <b>43.781.365</b> | <b>38.836.858</b> | <b>138.988.303</b> |

2004 yıllık yolcu sayısı;

**Tablo 5.6:** 2004 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları

| <b>2004-AYLIK YOLCU SAYISI</b> |                   |                   |                   |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AYLAR</b>                   | <b>LRT</b>        | <b>TRAMVAY</b>    | <b>METRO</b>      | <b>TOPLAM</b>      |
| <b>OCAK</b>                    | 5.038.638         | 3.733.392         | 3.655.883         | <b>12.427.913</b>  |
| <b>ŞUBAT</b>                   | 4.594.792         | 3.171.824         | 3.339.198         | <b>11.105.814</b>  |
| <b>MART</b>                    | 5.329.769         | 4.315.847         | 4.074.456         | <b>13.720.072</b>  |
| <b>NİSAN</b>                   | 5.270.416         | 4.195.423         | 3.868.688         | <b>13.334.527</b>  |
| <b>MAYIS</b>                   | 5.500.113         | 4.067.118         | 3.827.413         | <b>13.394.644</b>  |
| <b>HAZİRAN</b>                 | 5.307.123         | 3.853.513         | 3.334.748         | <b>12.495.384</b>  |
| <b>TEMMUZ</b>                  | 5.343.361         | 4.102.972         | 3.159.168         | <b>12.605.501</b>  |
| <b>AĞUSTOS</b>                 | 5.053.583         | 3.814.119         | 2.924.918         | <b>11.792.620</b>  |
| <b>EYLÜL</b>                   | 5.420.978         | 4.143.000         | 3.473.630         | <b>13.037.608</b>  |
| <b>EKİM</b>                    | 5.649.207         | 4.739.696         | 3.822.579         | <b>14.211.482</b>  |
| <b>KASIM</b>                   | 5.818.280         | 4.464.530         | 3.740.704         | <b>14.023.514</b>  |
| <b>ARALIK</b>                  | 5.802.248         | 4.713.003         | 4.292.956         | <b>14.808.207</b>  |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>64.128.508</b> | <b>49.314.437</b> | <b>43.514.341</b> | <b>156.957.286</b> |

2005 yıllık yolcu sayısı;

**Tablo 5.7:** 2005 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları

| <b>2005-AYLIK YOLCU SAYISI</b> |                   |                   |                   |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AYLAR</b>                   | <b>LRT</b>        | <b>TRAMVAY</b>    | <b>METRO</b>      | <b>TOPLAM</b>      |
| <b>OCAK</b>                    | 5.634.765         | 4.134.291         | 3.846.731         | <b>13.615.787</b>  |
| <b>ŞUBAT</b>                   | 4.991.063         | 3.766.049         | 3.711.633         | <b>12.468.745</b>  |
| <b>MART</b>                    | 5.786.935         | 4.816.341         | 4.308.687         | <b>14.911.963</b>  |
| <b>NİSAN</b>                   | 5.783.229         | 5.154.020         | 4.097.353         | <b>15.034.602</b>  |
| <b>MAYIS</b>                   | 5.996.870         | 5.159.643         | 4.058.162         | <b>15.214.675</b>  |
| <b>HAZİRAN</b>                 | 5.800.122         | 4.883.690         | 3.757.242         | <b>14.441.054</b>  |
| <b>TEMMUZ</b>                  | 5.768.121         | 4.608.360         | 3.307.696         | <b>13.684.177</b>  |
| <b>AĞUSTOS</b>                 | 5.600.092         | 4.774.611         | 3.213.383         | <b>13.588.086</b>  |
| <b>EYLÜL</b>                   | 5.943.786         | 4.835.818         | 3.699.682         | <b>14.479.286</b>  |
| <b>EKİM</b>                    | 6.493.918         | 5.620.228         | 4.260.830         | <b>16.374.976</b>  |
| <b>KASIM</b>                   | 6.278.843         | 4.934.469         | 4.291.557         | <b>15.504.869</b>  |
| <b>ARALIK</b>                  | 6.395.644         | 5.347.133         | 4.720.927         | <b>16.463.704</b>  |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>70.473.388</b> | <b>58.034.653</b> | <b>47.273.883</b> | <b>175.781.924</b> |

2006 yıllık yolcu sayısı

**Tablo 5.8:** 2006 Kentiçi Yolcu Taşıma Sayıları

| <b>2006-AYLIK YOLCU SAYISI</b> |                   |                   |                   |                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <b>AYLAR</b>                   | <b>LRT</b>        | <b>TRAMVAY</b>    | <b>METRO</b>      | <b>TOPLAM</b>      |
| <b>OCAK</b>                    | 5.785.948         | 4.042.621         | 3.781.268         | <b>13.609.837</b>  |
| <b>ŞUBAT</b>                   | 5.646.283         | 4.412.080         | 4.178.860         | <b>14.237.223</b>  |
| <b>MART</b>                    | 6.593.220         | 5.660.382         | 4.789.792         | <b>17.043.394</b>  |
| <b>NİSAN</b>                   | 6.490.320         | 5.489.164         | 4.333.461         | <b>16.312.945</b>  |
| <b>MAYIS</b>                   | 6.776.212         | 5.569.916         | 4.515.296         | <b>16.861.424</b>  |
| <b>HAZİRAN</b>                 | 6.773.129         | 4.954.793         | 4.371.052         | <b>16.098.974</b>  |
| <b>TEMMUZ</b>                  | 6.262.532         | 6.125.517         | 4.100.507         | <b>16.488.556</b>  |
| <b>AĞUSTOS</b>                 | 6.470.292         | 5.780.608         | 3.828.888         | <b>16.079.788</b>  |
| <b>EYLÜL</b>                   | 6.137.399         | 5.706.565         | 3.957.581         | <b>15.801.545</b>  |
| <b>EKİM</b>                    | 6.465.178         | 6.335.543         | 4.338.507         | <b>17.139.228</b>  |
| <b>KASIM</b>                   | 7.005.316         | 6.560.282         | 5.086.982         | <b>18.652.580</b>  |
| <b>ARALIK</b>                  | 7.216.568         | 6.636.424         | 5.294.564         | <b>19.147.556</b>  |
| <b>TOPLAM</b>                  | <b>77.622.397</b> | <b>67.273.895</b> | <b>52.576.758</b> | <b>197.473.050</b> |

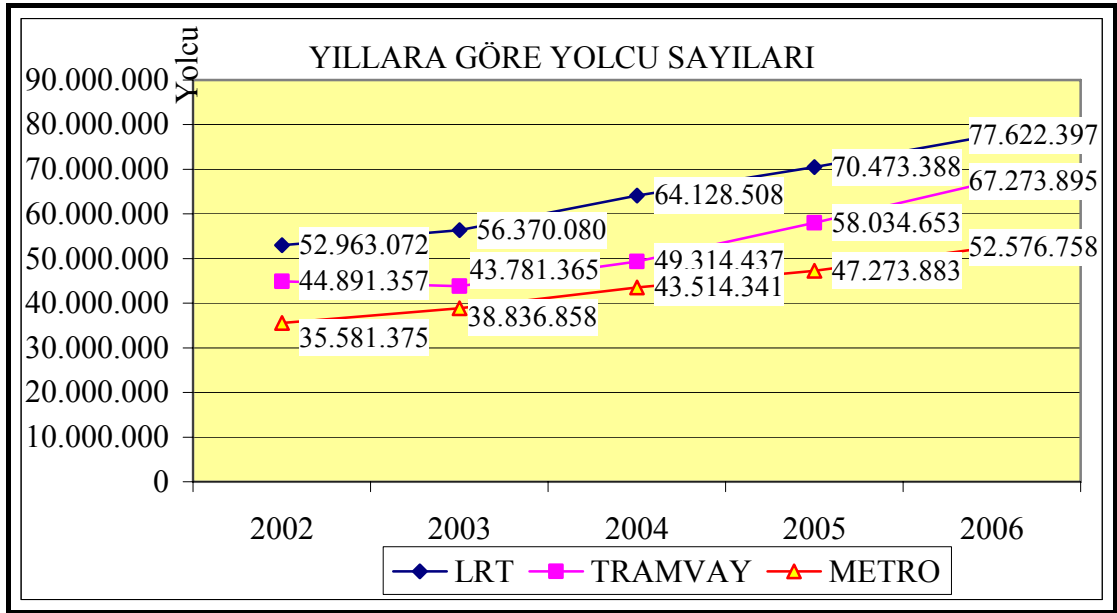
**Tablo 5.9:** Yıllık Yolcu Taşıma Sayısı

| <b>YILLIK YOLCU SAYILARI ARTIŞI</b> |            |                |              |                |                 |                  |
|-------------------------------------|------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|------------------|
|                                     | <b>LRT</b> | <b>TRAMVAY</b> | <b>METRO</b> | <b>LRT (%)</b> | <b>TRAM (%)</b> | <b>METRO (%)</b> |
| <b>2002</b>                         | 52.963.072 | 44.891.357     | 35.581.375   | 6,43           | -2,47           | 9,15             |
| <b>2003</b>                         | 56.370.080 | 43.781.365     | 38.836.858   | 13,76          | 12,64           | 12,04            |
| <b>2004</b>                         | 64.128.508 | 49.314.437     | 43.514.341   | 9,89           | 17,68           | 8,64             |
| <b>2005</b>                         | 70.473.388 | 58.034.653     | 47.273.883   | 10,14          | 15,92           | 11,22            |
| <b>2006</b>                         | 77.622.397 | 67.273.895     | 52.576.758   | <b>46,56</b>   | <b>49,86</b>    | <b>47,76</b>     |

Bir önceki yıla göre artış yüzdesi

2002'den itibaren 2006'ya kadar olan toplam artış

Yıllık bazda taşınan yolcu sayılarına bakıldığında, tüm kentiçi raylı sistemlerde yolcu artışının olduğu görülmektedir, (Tablo 5.9). Tüm sistemlerde, bir sonraki yıla göre yolcu sayılarında artış görülürken sadece tramvay hattında 2003 yılında 2002 yılına göre %2,47 civarında azalma görülmektedir. 2002 yılından 2006 yılına kadar artışlar göz önüne alındığında en fazla artış %49,86 ile tramvay hattında görülmektedir (Tablo 5.9).



Şekil 5.1: Yıllara Göre Kentiçi Raylı Sistemlerin Yolcu Sayıları

### 5.3 Yıllık Bakım Maliyetleri ve Yolcu Başına Bakım Maliyetleri

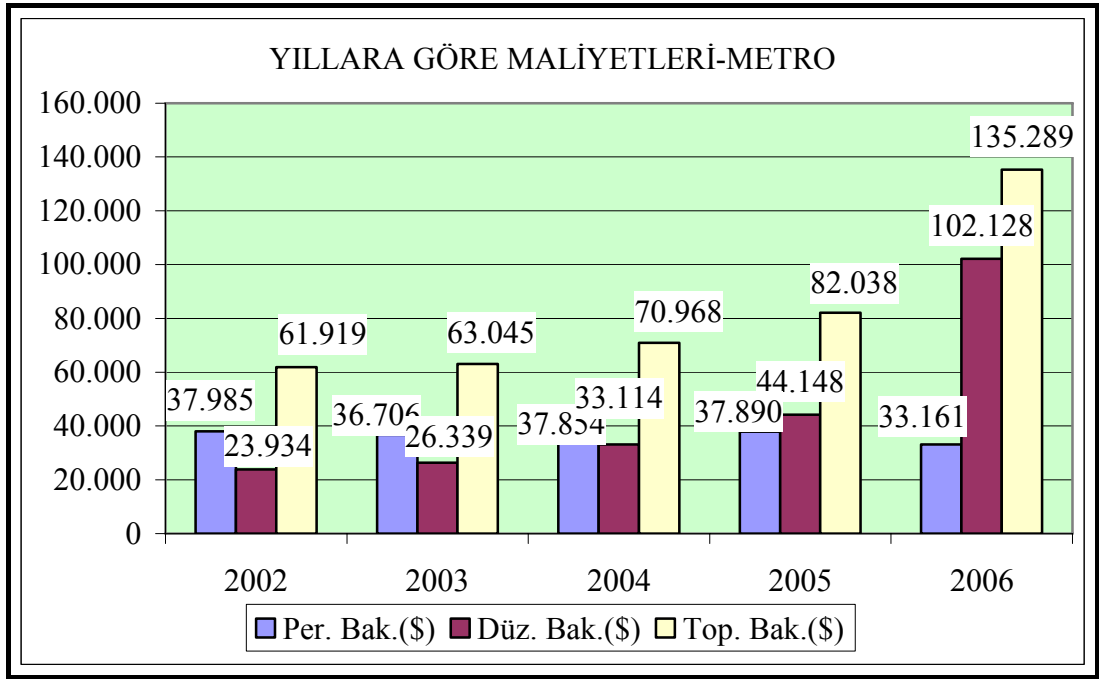
#### 5.3.1 İstanbul Metrosu

2002-2006 yılları arasında 8 km uzunluğunda olan İstanbul Metrosu'nda yapılan hat işleri ile alakalı bakım maliyetleri Tablo 5.10 da gösterilmiştir.

Tablo 5.10: İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Maliyetleri

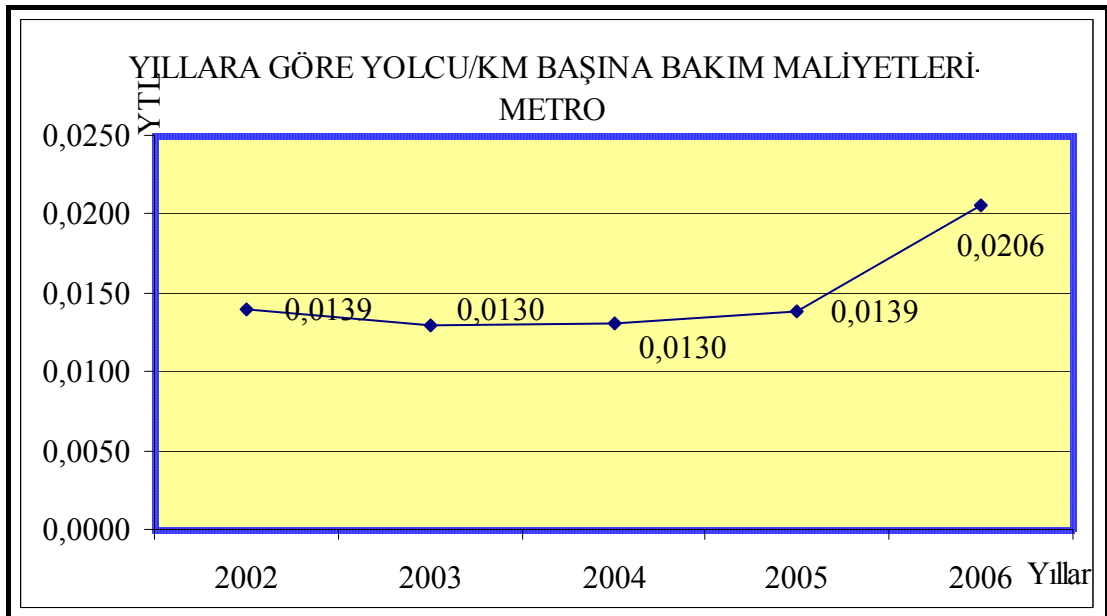
| KİŞİ BAŞINA YILLIK BAKIM ÜCRETİ-METRO |             |          |                     |                       |                  |              |
|---------------------------------------|-------------|----------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| Yıllar                                | \$/Yolcu/Km | \$/Yolcu | Periyodik Bakım(\$) | Düzeltilici Bakım(\$) | Toplam Bakım(\$) | Yıllık Yolcu |
| 2002                                  | 0,0139      | 0,00174  | 37.985              | 23.934                | 61.919           | 35.581.375   |
| 2003                                  | 0,0130      | 0,00162  | 36.706              | 26.339                | 63.045           | 38.836.858   |
| 2004                                  | 0,0130      | 0,00163  | 37.854              | 33.114                | 70.968           | 43.514.341   |
| 2005                                  | 0,0139      | 0,00174  | 37.890              | 44.148                | 82.038           | 47.273.883   |
| 2006                                  | 0,0206      | 0,00257  | 33.161              | 102.128               | 135.289          | 52.576.758   |
| Toplam                                |             |          | 183.596             | 229.664               | 413.260          | 217.783.215  |
| Ortalama                              | 0,0152      | 0,00190  |                     |                       |                  |              |

Şekil 5.2 de ise periyodik, düzeltilici ve toplam bakımın şematik görünümü gösterilmektedir.



**Şekil 5.2:** İstanbul Metrosu Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi

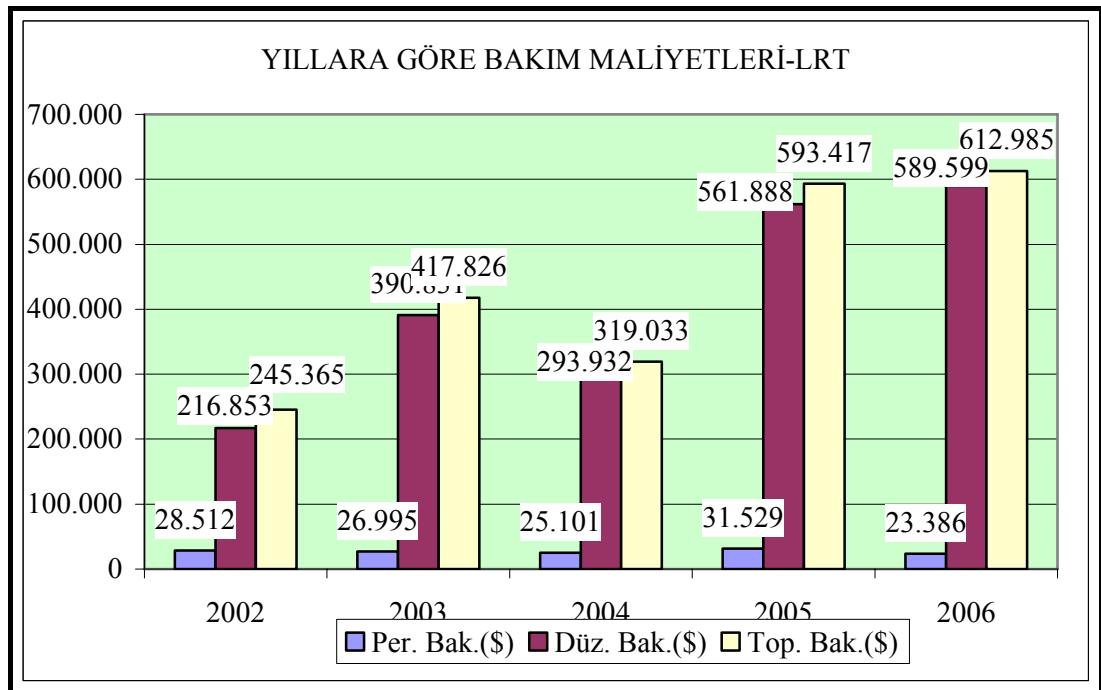
Şekil 5.3 de görüldüğü üzere metronun ilk yıllarında (2002) bakım maliyeti yüksek iken sonraki iki yılda bakım maliyeti ilk yıla göre düşük ve 2005 den itibaren ise yükselmeye başlamıştır. Sistem yavaş yavaş eskidiği için bundan sonraki yıllarda da bakım maliyetlerinin çok az bir şekilde artacağı tahmin edilebilmektedir.



**Şekil 5.3:** İstanbul Metrosu Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri

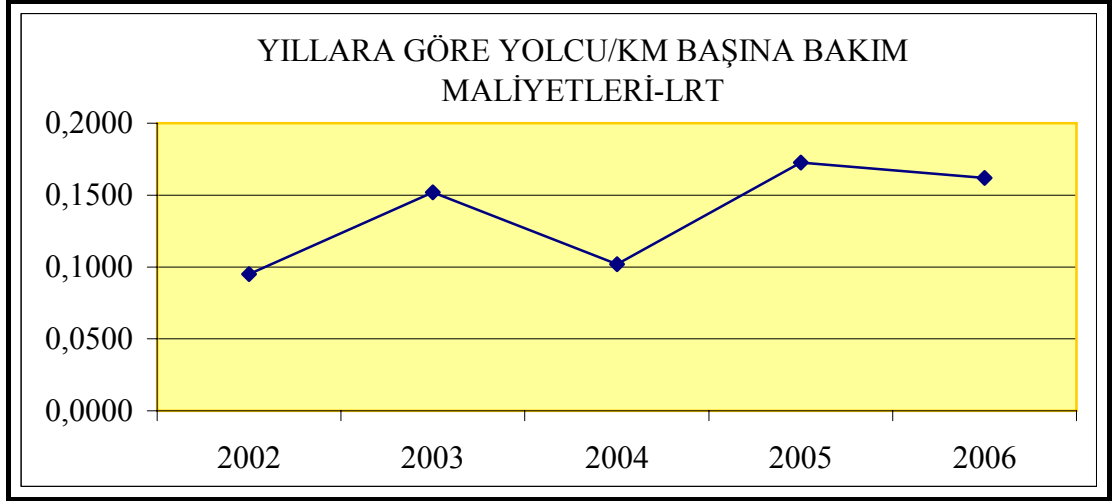
### 5.3.2 LRT: Aksaray-Havaalanı

Şekil 5.4 de LRT hattında 2002-2006 yılları arasında yapılan periyodik, düzeltici bakım ve toplam bakım maliyetleri diyagram olarak gösterilmektedir. Şekil 5.4 üzerinden de görüleceği gibi 2004 yılı dışında tüm yıllarda düzeltici bakım maliyetleri ve toplam bakım maliyetleri yıl geçtikçe artmaktadır. Özellikle düzeltici bakım maliyetlerinin artması, sistemde bakım ihtiyacının her geçen yıl arttığını göstermektedir.



Şekil 5.4: LRT Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi

Şekil 5.5 de yıllara göre yolcu başına bakım maliyetleri görülmektedir. 2004 yılı dışında tüm yıllarda bir önceki yıla göre yolcu başına bakım maliyetinin arttığı görülmektedir.



**Şekil 5.5:** LRT Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri

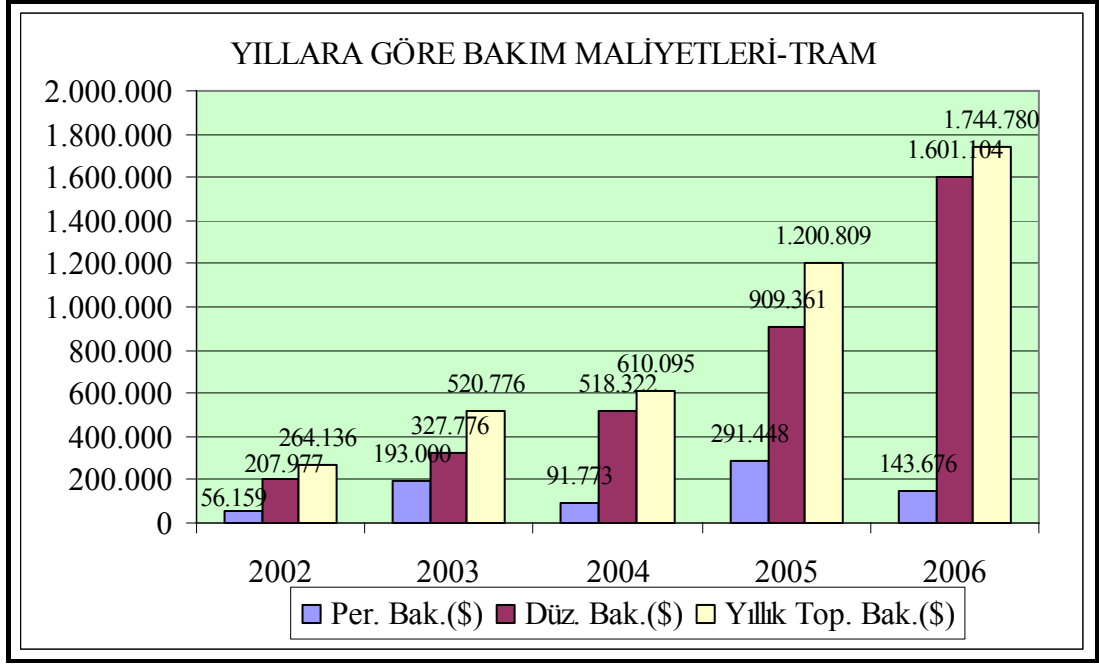
**Tablo 5.11:** LRT Yıllık Bakım Maliyetleri

| KİŞİ BAŞINA YILLIK BAKIM ÜCRETİ-LRT |               |                |                     |                       |                  |              |
|-------------------------------------|---------------|----------------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| Yıllar                              | \$/Yolcu/Km   | \$/Yolcu       | Periyodik Bakım(\$) | Düzeltilici Bakım(\$) | Toplam Bakım(\$) | Yıllık Yolcu |
| 2002                                | <b>0,0950</b> | <b>0,00463</b> | 28.512              | 216.853               | <b>245.365</b>   | 52.963.072   |
| 2003                                | <b>0,1520</b> | <b>0,00741</b> | 26.995              | 390.831               | <b>417.826</b>   | 56.370.080   |
| 2004                                | <b>0,1020</b> | <b>0,00497</b> | 25.101              | 293.932               | <b>319.033</b>   | 64.128.508   |
| 2005                                | <b>0,1726</b> | <b>0,00842</b> | 31.529              | 561.888               | <b>593.417</b>   | 70.473.388   |
| 2006                                | <b>0,1619</b> | <b>0,00790</b> | 23.386              | 589.599               | <b>612.985</b>   | 77.622.397   |
| Toplam                              |               |                | 135.523             | 2.053.103             | 2.188.626        | 321.557.445  |
| Ortalama                            | <b>0,1395</b> | <b>0,00681</b> |                     |                       |                  |              |

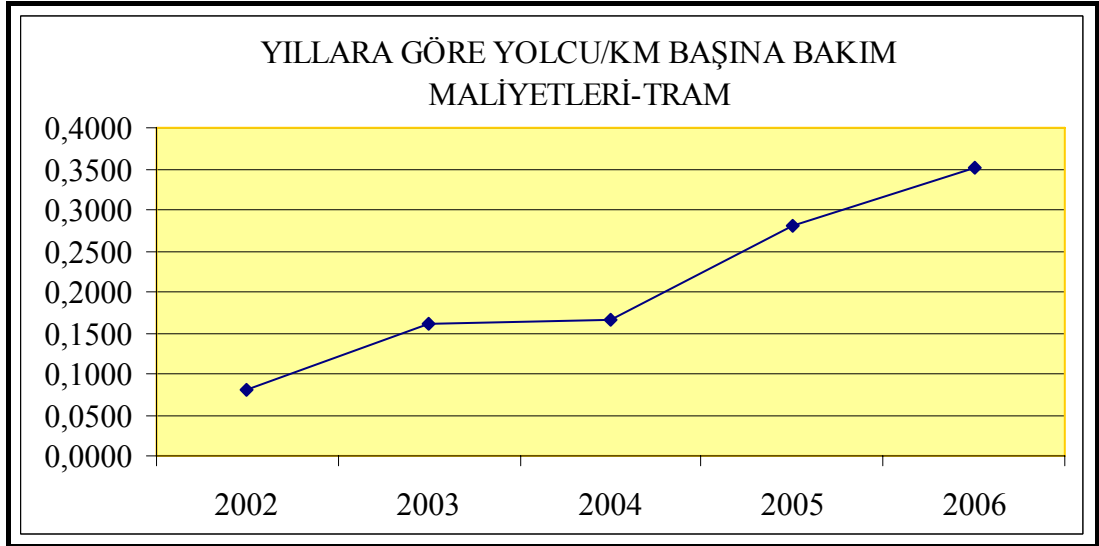
Tablo 5.11’de 20,5 km uzunluğundaki LRT hattına ait bakım maliyetleri ve yolcu sayılarına göre her yıla ait yolcu başına ve yolcu/km başına bakım maliyetleri çıkarılmıştır. 5 yıllık bakım maliyetleri ve toplam yolcu sayıları göz önüne alındığında yolcu/km başına ortalama 0,1395 \$/yolcu bakım maliyeti çıkmaktadır.

### 5.3.3 Tramvay:Eminönü-Zeytinburnu

Tramvay hattında 2002-2006 yılları arasında yapılan periyodik ve düzeltilici bakımlara bakıldığında (Şekil 5.6) 2002’den itibaren periyodik bakımların düzensiz, düzeltilici bakımların ve toplam bakım maliyetlerin ise arttığı görülmektedir. Burada yenileme çalışmaları da düzeltilici bakım kapsamında değerlendirilmiştir.



**Şekil 5.6:** Tramvay Yıllık Bakım Maliyetlerinin Şematik Gösterimi



**Şekil 5.7:** Tramvay Yolcu/km Başına Yıllık Bakım Maliyetleri

Şekil 5.7’den de görüleceği gibi yolcu/km başına yıllık bakım maliyetleri her geçen yıla doğru artış göstermektedir. 2006 yılındaki yolcu başına bakım maliyeti 2002 yılının yaklaşık 4,5 katı civarındır.

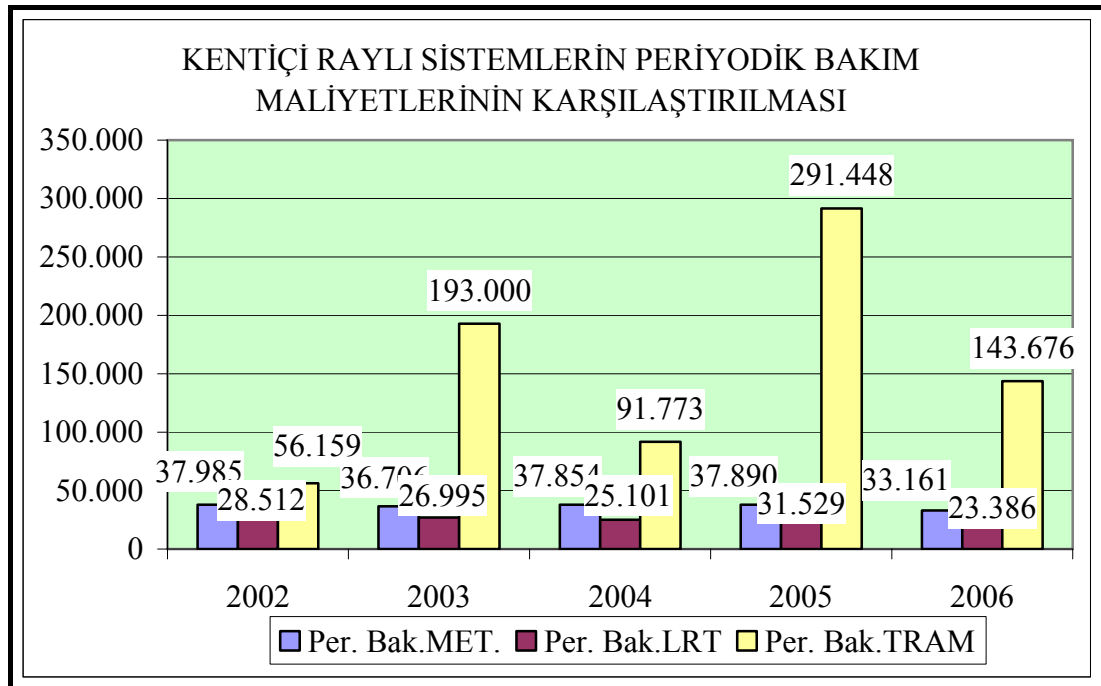
Tablo 5.12’de tramvay hattının 2002-2006 yılları arasındaki bakım maliyetleri verilmektedir.

**Tablo 5.12:** Tramvay Yıllık Bakım Maliyetleri

| KİŞİ BAŞINA YILLIK BAKIM ÜCRETİ-TRAM |             |          |                     |                       |                  |              |
|--------------------------------------|-------------|----------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| Yıllar                               | \$/Yolcu/Km | \$/Yolcu | Periyodik Bakım(\$) | Düzeltilici Bakım(\$) | Toplam Bakım(\$) | Yıllık Yolcu |
| 2002                                 | 0,0794      | 0,00588  | 56.159              | 207.977               | 264.136          | 44.891.357   |
| 2003                                 | 0,1606      | 0,01189  | 193.000             | 327.776               | 520.776          | 43.781.365   |
| 2004                                 | 0,1670      | 0,01237  | 91.773              | 518.322               | 610.095          | 49.314.437   |
| 2005                                 | 0,2793      | 0,02069  | 291.448             | 909.361               | 1.200.809        | 58.034.653   |
| 2006                                 | 0,3501      | 0,02594  | 143.676             | 1.601.104             | 1.744.780        | 67.273.895   |
| Toplam                               |             |          | 776.056             | 3.564.540             | 4.340.596        | 263.295.707  |
| Ortalama                             | 0,2226      | 0,01649  |                     |                       |                  |              |

5 yıllık bakım maliyetlerinin toplamı göz önüne alındığında yolcu/km başına bakım maliyeti ortalama 0,2226 \$ olmaktadır.

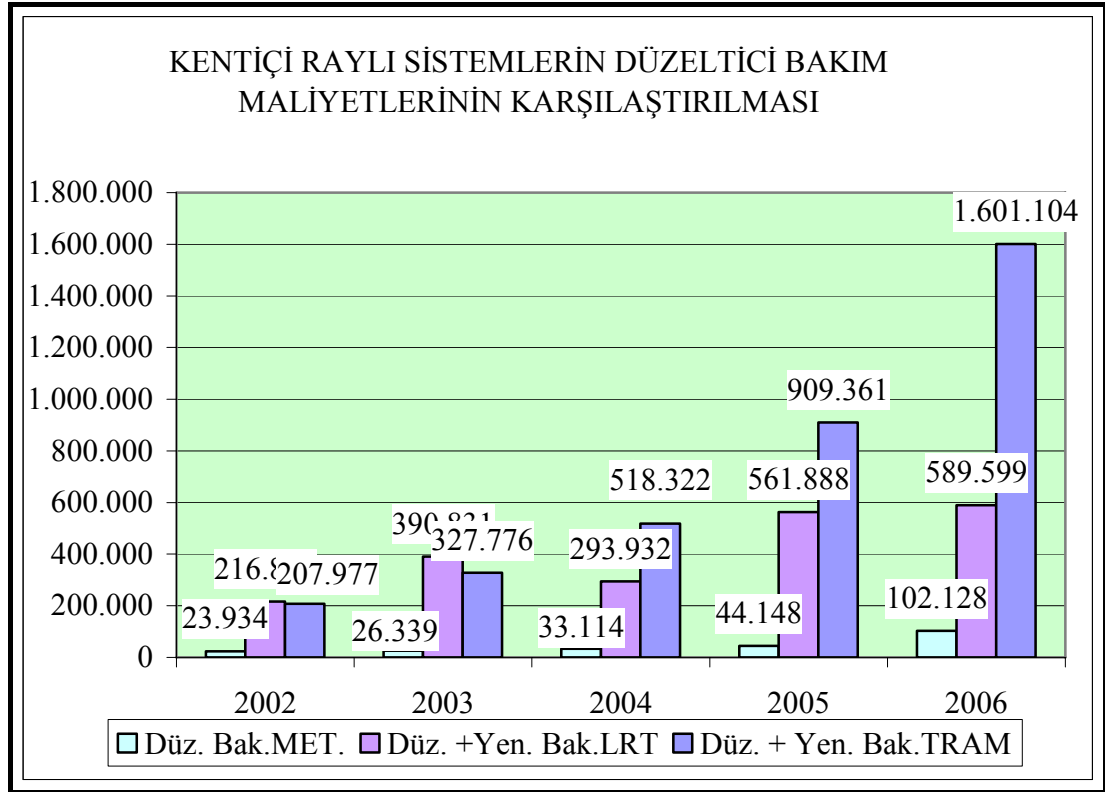
#### 5.3.4 Karşılaştırma



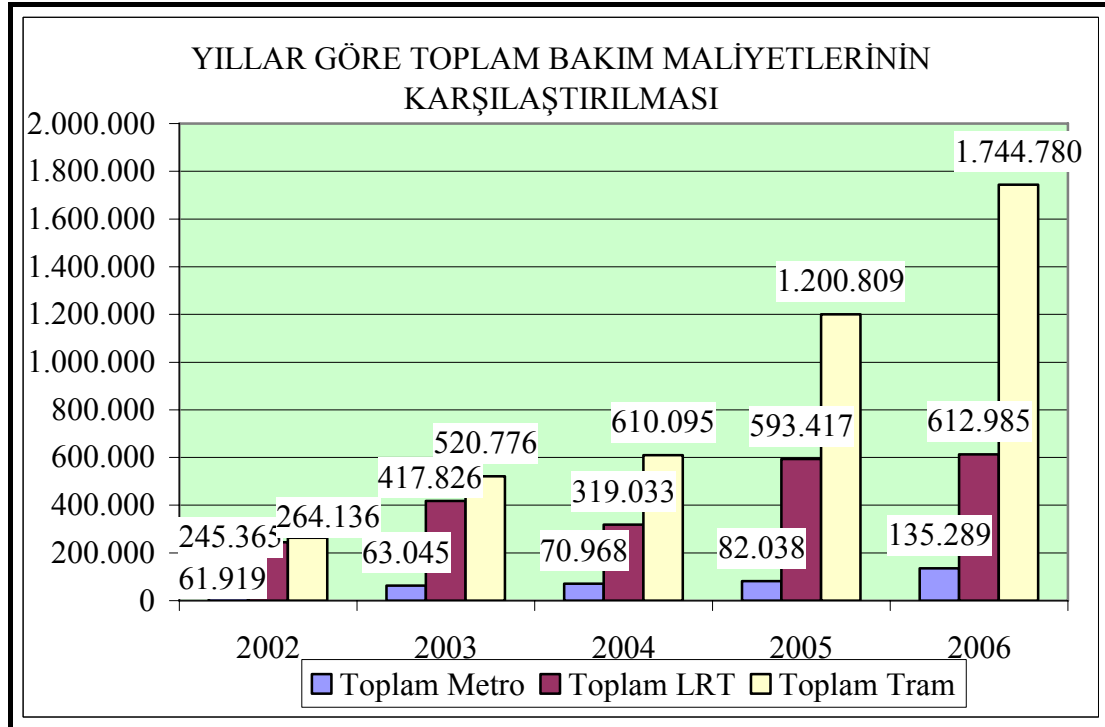
**Şekil 5.8:** Periyodik Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması

İncelenen İstanbul Kentiçi raylı sistemlerine bakıldığında zaman, periyodik bakımlarda en fazla maliyet tramvay hattında çıkarken, en az maliyet ise LRT hattında çıkmaktadır (Şekil 5.8). Düzeltilici bakım maliyetlerinde ise tramvay hattında en yüksek maliyet çıkarken, metro hattında en düşük maliyet çıkmaktadır (Şekil 5.9).

Toplam yıllık bakımlara bakıldığı zaman yine en yüksek bakım maliyeti tramvay hattında, en düşük bakım maliyeti ise metro hattında görülmektedir (Şekil 5.10).



**Şekil 5.9:** Düzeltici Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması

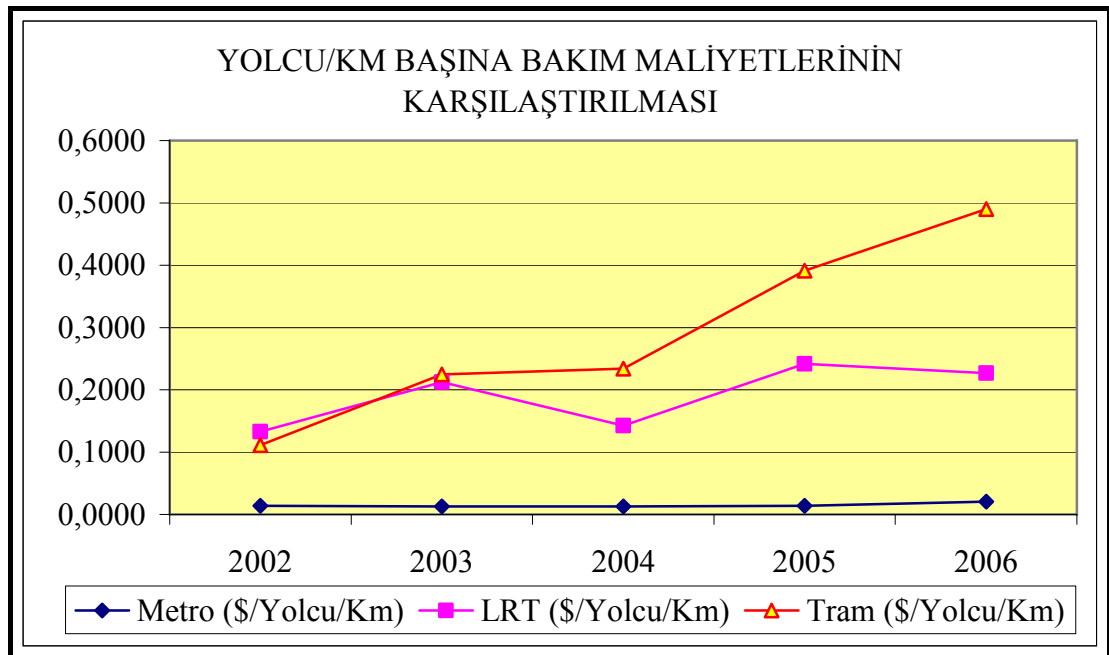


**Şekil 5.10:** Toplam Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması

**Tablo 5.13: Yolcu/km Başına Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması**

| YOLCU BAŞINA BAKIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI |                            |                     |                          |                   |                           |                    |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Yıllar                                              | Metro<br>(\$/Yolcu/<br>Km) | Metro<br>(\$/Yolcu) | LRT<br>(\$/Yolcu/<br>Km) | LRT<br>(\$/Yolcu) | Tram<br>(\$/Yolcu/<br>Km) | Tram<br>(\$/Yolcu) |
| 2002                                                | <b>0,0139</b>              | 0,0017              | <b>0,1330</b>            | 0,0065            | <b>0,1112</b>             | 0,0082             |
| 2003                                                | <b>0,0130</b>              | 0,0016              | <b>0,2127</b>            | 0,0104            | <b>0,2248</b>             | 0,0167             |
| 2004                                                | <b>0,0130</b>              | 0,0016              | <b>0,1428</b>            | 0,0070            | <b>0,2338</b>             | 0,0173             |
| 2005                                                | <b>0,0139</b>              | 0,0017              | <b>0,2417</b>            | 0,0118            | <b>0,3911</b>             | 0,0290             |
| 2006                                                | <b>0,0206</b>              | 0,0026              | <b>0,2266</b>            | 0,0111            | <b>0,4902</b>             | 0,0363             |
| Ortalama                                            | <b>0,0152</b>              | <b>0,0019</b>       | <b>0,1395</b>            | <b>0,0068</b>     | <b>0,3116</b>             | <b>0,0231</b>      |

İncelen kentiçi raylı sistemlerinde yolcu başına bakım maliyetlerine bakıldığında zaman tüm yıllarda tramvay hattında en yüksek yolcu başına bakım maliyeti çıkarken, aynı şekilde metro hattında da tüm yıllarda en düşük yolcu başına bakım maliyeti çıkmaktadır (Tablo 5.13)



**Şekil 5.11: Kentiçi Raylı Sistemlerde Yıllara Göre Yolcu/km Başına Bakım Maliyetleri**

Şekil 5.11’de ise incelenen kentiçi raylı sistemlerin yolcu başına bakım maliyetlerinin artış diyagramı görülmektedir.

## 6. SONUÇ

Kentiçi raylı sistemler, kapasitelerinin fazla olması, dış etkenlerden en az etkilenen sistem olması ve çevreye duyarlı olmasından dolayı son yıllarda en fazla tercih edilen toplu taşıma sistemlerindendir.

Kentiçi raylı sistemlerin verimli kullanılması ve servis ömürlerinin fazla olması için; tasarım aşamasındayken seçilen güzergahların doğru seçilmesi , şehir planına uygun olması ve yolculuk taleplerine göre uygun kentiçi raylı sistemin yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte yapılacak hattın altyapısı ve üstyapısı da sistemin ömrünün uzunluğunda en önemli etkenlerden biri olduğundan dolayı gerekirse altyapının güçlendirilmesi ve doğru üstyapı sisteminin kullanılması gerekmektedir. Altyapı inşaatının doğru yapılamaması durumunda üstyapı sistemi sürekli olarak bozulacağından dolayı sürekli olarak bakım gerektirecek ve servis ömrünün kısalmasına neden olacaktır. Bu çalışmada üstyapı bakımı ve bakım maliyetlerine değinildiği için altyapı üzerinde durulmamıştır.

Üstyapı ömrünü arttırmak için öncelikle sağlam bir altyapının olması gerektiği en önemli unsurlardan biridir. Altyapısı sağlam bir üstyapının ömrünün uzun olması ise doğru bir üstyapı sisteminin seçilmesi ve planlı, sürekli, kalıcı ve doğru malzemelerin kullanılması ile yapılan bir bakımdır. Özellikle koruyucu bakımların zamanında ve sürekli yapılması, düzeltici bakım maliyetlerinin azalttığı gibi servis ömrünü de arttırmaktadır.

Demiryolu teknolojisi sürekli gelişen bir sistem olduğu için üstyapı bakımlarının nasıl yapıldığı araştırılmalı ve gelişen teknolojiye ayak uydurulmalıdır. Bakım sürelerinin kısa olmasından dolayı, özellikle düzeltici bakımlar işçi marifetiyle değil, makine marifetiyle yapılacak şekilde desteklenmelidir.

Bu çalışmada üstyapıda yapılması gereken koruyucu ve düzeltici bakımlar anlatılmış ve incelen kentiçi raylı sistemlerin bakım maliyetleri ve yolcu başına bakım maliyetleri hesaplanmıştır. İncelenen Tramvay, LRT ve Metro hattında en fazla bakım maliyetinin Tramvay hattında, en düşük bakım maliyetinin ise Metro hattında olduğu görülmektedir.

Bu üç sisteme detaylı bir şekilde ele alındığında tramvay hattında; raylar affalt, parke gibi üst kaplamalara gömülü olduğundan dolayı, aşınması, bağlantı elemanlarının kırılması, gizli boşlukların olması veya kaynak yapılması durumunda üst kaplamanın çıkarılması gerekmektedir. Üstyapının ve rayların daha uzun ömürlü ve sağlam olması için yük yoğunluğuna bağlı olarak uygun üstyapı seçilmesi, uygun ray profili seçilmesi ve özellikle dar kurplarda sert rayların kullanılması gerekmektedir. Sistemin bu şekilde kurulması durumunda tramvay hattında bakım maliyetlerinin daha az olacağı beklenmektedir. LRT hattında; balastlı sistem olduğundan ve uygun ray kaynakları kullanılmadığından dolayı bakım maliyeti Metro hattına göre daha fazladır. Bunun için sürekli olarak buraj isteyen bir hatta periyodik taşlamanın yapılması ve kaynakların rehabilitasyonu bakım maliyetlerini azaltma yönünde yapılacak olan ilk çalışmalardır. Metro hattında; bakım maliyetlerinin artmaması için sürekli olarak periyodik taşlamaların mutlaka yapılması gerekmektedir. Rayların periyodik olarak taşlanması bakımın ilk esasıdır. Taşlama bakım maliyetlerini azalttığı gibi servis ömrünü de arttıran en önemli etkidir.

## KAYNAKLAR

- [1,8] **Alstom.** ,2002. Track Work Maintenance Manuel, İstanbul
- [2,4] **Toprak, R.,** Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemleri
- [3,5] **Sevim, R.,**2007. İstanbul’de Kentiçi Raylı Sistemler Ve Üstyapı Hesapları  
*Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü
- [6] **Guidat, A.,** 1996. The Fundamental Benefits of Preventive Rail. Grinding, *Rail Engineering International*
- [7] **Erel, A.,** 1996. Raylı Sistemlerde Dalgalı Aşınma (Ondülasyon), *Birinci Ulusal Ulaşım Sempozyumu*, İstanbul, 6-7 Mayıs.
- [9,10] **Günoral, Ş.,** 2002 .Balastlı Üstyapılarda Yol Bakım Ve Tamirâtı, İstanbul.
- [12] **Deutsche Bahn,** Transport, Lagerung und Rücktrocknung Umhüllter Stabelektroden.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Muhammed Nesih DEMİRDAĞ, 1979 Elazığ doğumluyum. İlk ve orta öğretimini Elazığ'da tamamladım. 1997 yılında Elazığ Korgeneral Hulusi Sayın lisesinden mezun oldum. 1997 ile 2002 yılları arasında Y.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde eğitimime devam ettim. 2002 yılından itibaren İstanbul Ulaşım A.Ş. Metro Hat Bakım Şefliği'nde hat bakım mühendisi olarak çalışmaktayım. Evli ve bir çocuk sahibiyim.