





**BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA  
APLİKASYON VE DEFORMASYON  
ÖLÇMELERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ufuk ÇATALKAYA**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ulaştırma Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2016**



**BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA  
APLİKASYON VE DEFORMASYON  
ÖLÇMELERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ufuk ÇATALKAYA  
(501101409)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ulaştırma Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK**

**HAZİRAN 2016**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101409 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ufuk ÇATALKAYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA APLİKASYON VE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ” başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Himmet KARAMAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Mustafa Sinan YARDIM** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

.....

**Teslim Tarihi :**      **2 Mayıs 2016**  
**Savunma Tarihi :**   **9 Haziran 2016**



*Aileme ve üzerimde emeđi olan herkese,*



## ÖNSÖZ

Günümüzde hızlı, ekonomik, çevre dostu, güvenli sistemler olmaları dolayısıyla raylı sistemler gittikçe önem kazanmaktadır. Raylı sistemlerin güvenli bir ulaşım türü olma özelliğini devam ettirebilmesi, hem yeni yapılacak hatların aplikasyonunda, hem de işletmeye açık hatların sürekli olarak kontrolünde yüksek doğruluklu, hızlı ve verimli bir çalışma ile mümkün olmaktadır. Son yıllarda özellikle balastsız üstyapılarda artan doğruluk talepleriyle birlikte demiryolu ölçmeleri için özel ölçme sistemleri geliştirilmiştir.

Tez kapsamında; geliştirilen özel ölçme sistemleri ile klasik jeodezik yöntemlerin, raylı sistemler için yapılan aplikasyon, deformasyon ve rölöve ölçmeleri baz alınarak karşılaştırması yapılmıştır.

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her türlü konuda yardımcı olan ve beni hep yüreklendiren değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e,

Mühendislik eğitimim boyunca mesleğimde ve araştırmaya duyduğum heyecanda payı olmuş tüm hocalarıma ve eğitim hayatıma henüz ilk adımlarımı atarken bana inanan ve yol gösteren sevgili öğretmenim Ayşe UYSAL'a,

Ailemin birer parçası olan sevgili dostlarım Başak, Burak, Ebru, Gamze, İpek, Mehmet, Mert, Murat, Mustafa, Sinem ve Tülay'a,

Ve bana her zaman güvenen, inanan, destek olan ve ufkumu açan sevgili anneme, babama, kardeşime, teyzelerime ve dayıma

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2016

Ufuk ÇATALKAYA  
(Geomatik Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

|                                                              | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ÖNSÖZ .....</b>                                           | <b>vii</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                     | <b>ix</b>    |
| <b>KISALTMALAR.....</b>                                      | <b>xiii</b>  |
| <b>SEMBOLLER .....</b>                                       | <b>xv</b>    |
| <b>ÇİZELGE LİSTESİ.....</b>                                  | <b>xvii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>                                    | <b>xix</b>   |
| <b>ÖZET .....</b>                                            | <b>xxi</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                         | <b>xxiii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                        | <b>1</b>     |
| <b>2. BALASTSIZ DEMİRYOLU ÜSTYAPISI.....</b>                 | <b>5</b>     |
| 2.1 Balastsız Üstyapının Avantajları.....                    | 5            |
| 2.2 Balastsız Üstyapı Elemanları.....                        | 6            |
| 2.2.1 Raylar .....                                           | 6            |
| 2.2.2 Ray - travers bağlantı elemanları.....                 | 7            |
| 2.2.3 Elastik altlıklar.....                                 | 8            |
| 2.2.4 Traversler .....                                       | 9            |
| 2.2.5 Asfalt veya beton taşıma tabakası .....                | 10           |
| 2.2.6 Hidrolik veya bitümle bağlı koruma tabakası.....       | 11           |
| 2.2.7 Zemin.....                                             | 11           |
| 2.3 Balastsız Üstyapı Tipleri .....                          | 11           |
| 2.3.1 Traverslerle yapılan mesnetli döşeme.....              | 13           |
| 2.3.1.1 Gömülü traversliler .....                            | 13           |
| RHEDA sistemi .....                                          | 13           |
| Züblin sistemi.....                                          | 15           |
| 2.3.1.2 Gömülü olmayan traversliler .....                    | 16           |
| ATD sistemi .....                                            | 17           |
| BTD sistemi.....                                             | 18           |
| 2.3.2 Traverssiz olarak yapılan mesnetli döşeme sistemi..... | 19           |
| 2.3.2.1 Prefabrik olarak imal edilenler .....                | 19           |
| Shinkansen sistemi .....                                     | 19           |
| Bögl sistemi.....                                            | 20           |
| 2.3.2.2 Tek parça dökülerek imal edilenler.....              | 22           |
| Grass Track sistemi .....                                    | 22           |
| FFC sistemi .....                                            | 22           |
| 2.3.3 Sürekli döşeme sistemi .....                           | 23           |
| 2.3.3.1 Sürekli gömülü raylı üstyapı sistemleri .....        | 24           |
| Infundo-Edilon sistemi.....                                  | 24           |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| BBERS sistemi .....                                          | 26        |
| 2.3.3.2 Sürekli sabitlenmiş raylı üstyapı.....               | 26        |
| SFF sistemi .....                                            | 26        |
| SAARGUMMI sistemi.....                                       | 27        |
| <b>3. BALASTSIZ ÜSTYAPILARIN APLİKASYONU.....</b>            | <b>29</b> |
| 3.1 Yatay ve Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması.....      | 30        |
| 3.2 Yatay Geometri Aplikasyonu .....                         | 32        |
| 3.2.1 Bağlı aplikasyon .....                                 | 32        |
| 3.2.2 Koordinatlarla aplikasyon.....                         | 32        |
| 3.2.2.1 Kutupsal koordinat yöntemi.....                      | 33        |
| 3.2.2.2 Dik koordinat yöntemi.....                           | 34        |
| 3.2.2.3 İki açı ile kestirme yöntemi .....                   | 35        |
| 3.2.2.4 İki uzunluk ile kestirme yöntemi .....               | 35        |
| 3.2.2.5 Bir açı - bir uzunluk ile kestirme yöntemi .....     | 36        |
| 3.2.2.6 RTK GPS yöntemi .....                                | 36        |
| 3.3 Düşey Geometri Aplikasyonu .....                         | 38        |
| 3.3.1 Presizyonlu geometrik nivelman .....                   | 39        |
| 3.3.2 RTK GPS .....                                          | 40        |
| 3.3.3 Elektronik takeometri .....                            | 41        |
| <b>4. BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA DEFORMASYON ÖLÇMELERİ .....</b> | <b>43</b> |
| 4.1 Deformasyonun Tanımı .....                               | 43        |
| 4.2 Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Deformasyonlar .....     | 44        |
| 4.2.1 Malzeme deformasyonları .....                          | 44        |
| 4.2.1.1 Ondülasyonlar.....                                   | 44        |
| 4.2.1.2 Yanal aşınma.....                                    | 45        |
| 4.2.1.3 Yuvarlanma yüzeyi parçalanması .....                 | 46        |
| 4.2.1.4 Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması .....              | 46        |
| 4.2.1.5 İç köşe kabuklanması.....                            | 46        |
| 4.2.1.6 Yatay çatlak.....                                    | 47        |
| 4.2.1.7 Boyuna dikey çatlak.....                             | 47        |
| 4.2.1.8 Kaynak kusurları.....                                | 48        |
| 4.2.2 Geometrik deformasyonlar.....                          | 48        |
| 4.2.2.1 Düşey geometrinin bozulması .....                    | 48        |
| 4.2.2.2 Yatay geometrinin bozulması .....                    | 50        |
| 4.3 Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri .....         | 51        |
| 4.3.1 Yatay yöndeki deformasyonların belirlenmesi .....      | 52        |
| 4.3.1.1 Jeodezik kontrol ağı yöntemi.....                    | 52        |
| 4.3.1.2 Hassas poligon yöntemi.....                          | 53        |
| 4.3.1.3 Aliyman yöntemi .....                                | 54        |
| 4.3.2 Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi .....      | 55        |
| 4.3.2.1 Presizyonlu geometrik nivelman yöntemi .....         | 55        |
| 4.3.2.2 Hidrostatik nivelman yöntemi .....                   | 55        |
| 4.3.2.3 Trigonometrik nivelman yöntemi .....                 | 56        |
| <b>5. ÖZEL ÖLÇME SİSTEMİ .....</b>                           | <b>57</b> |
| 5.1 Ölçme Sistemi Bileşenleri .....                          | 57        |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.1 Algılayıcı sistemler.....                                                | 58        |
| 5.1.1.1 Ekartman değişimi algılayıcısı .....                                   | 58        |
| 5.1.1.2 Eğim ölçer.....                                                        | 58        |
| 5.1.1.3 Odometre .....                                                         | 59        |
| 5.1.2 Konum belirleme sistemleri.....                                          | 59        |
| 5.1.2.1 GPS alıcıları.....                                                     | 59        |
| 5.1.2.2 Elektronik takeometre.....                                             | 59        |
| 5.1.3 Ölçme sistemi yardımcı bileşenleri .....                                 | 59        |
| 5.1.3.1 Veri toplama ünitesi .....                                             | 59        |
| 5.1.3.2 Ölçme yazılımı.....                                                    | 60        |
| 5.2 Sistemin Çalışma Prensipleri.....                                          | 61        |
| 5.3 Özel Ölçme Sistemleri.....                                                 | 63        |
| 5.3.1 Amberg GRP FX .....                                                      | 63        |
| 5.3.2 Trimble GEDO .....                                                       | 63        |
| 5.3.3 Rhomberg HERGIE.....                                                     | 64        |
| 5.4 Klasik Jeodezik Yöntemler ile Özel Ölçme Sisteminin Karşılaştırılması..... | 65        |
| 5.4.1 Aplikasyon ölçmeleri.....                                                | 65        |
| 5.4.1.1 Gömülü traversli sistemlerin aplikasyonu .....                         | 65        |
| Beijing - Tianji Olimpik Yüksek Hızlı Tren Hattı .....                         | 68        |
| 5.4.1.2 Prefabrik sistemlerin aplikasyonu.....                                 | 70        |
| 5.4.2 Deformasyon ölçmeleri .....                                              | 70        |
| 5.4.3 Rölöve ölçümü.....                                                       | 72        |
| Sonoma-Marin Transit Ray Hattı .....                                           | 72        |
| <b>6. SONUÇ .....</b>                                                          | <b>75</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                          | <b>79</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                          | <b>83</b> |



## KISALTMALAR

|              |                                           |
|--------------|-------------------------------------------|
| <b>ATD</b>   | : AsfalTragschicht mit Direktauf Lagerung |
| <b>ATT</b>   | : Asfalt Taşıma Tabakası                  |
| <b>BART</b>  | : Bay Area Rapid Transit                  |
| <b>BBERS</b> | : Balfour Beatty Embedded Rail System     |
| <b>BES</b>   | : Betontragschicht mit EinzelStützpunkten |
| <b>BTD</b>   | : BetonTragschicht mit Direktauf Lagerung |
| <b>BTE</b>   | : BetonTragschicht mit Einzelstützpunkten |
| <b>BTT</b>   | : Beton Taşıma Tabakası                   |
| <b>CPI</b>   | : Cinquini and Passarino Inc.             |
| <b>DIN</b>   | : Deutsches Institut für Normung          |
| <b>DKT</b>   | : Don Koruyucu Tabaka                     |
| <b>DXF</b>   | : Drawing Exchange Format                 |
| <b>FFC</b>   | : Feste Fahrbahn Crailsheim               |
| <b>GPS</b>   | : Global Positioning System               |
| <b>GPR</b>   | : Ground Penetrating Radar                |
| <b>GSM</b>   | : Global System for Mobile Communications |
| <b>GBT</b>   | : Hidrolik Bağlı Tabaka                   |
| <b>TUDKA</b> | : Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı        |
| <b>TUTGA</b> | : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı            |
| <b>RTK</b>   | : Real Time Kinematic                     |
| <b>SATO</b>  | : Studiengesellschaft Asphalt Oberbau     |
| <b>SBV</b>   | : Schwellen mit Bitumen Verguss           |
| <b>SMART</b> | : Sonoma-Marina Area Rail Transit         |
| <b>UIC</b>   | : International Union of Railways         |
| <b>WGS</b>   | : World Geodetic System                   |



## SEMBOLLER

|                                                   |                                                           |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>P</b>                                          | : Aplikasyon noktası                                      |
| <b><math>\beta</math></b>                         | : Aplikasyon açısı                                        |
| <b>S</b>                                          | : Aplikasyon kenarı                                       |
| <b><math>\mu_p</math></b>                         | : Talep edilen doğruluk                                   |
| <b><math>\sigma_p</math></b>                      | : Ulaşılan Doğruluk                                       |
| <b><math>(X_p, Y_p)</math></b>                    | : P noktasının yerel koordinat sistemindeki koordinatları |
| <b>g</b>                                          | : Geri mira okuması                                       |
| <b>i</b>                                          | : İleri mira okuması                                      |
| <b><math>H_P</math></b>                           | : P noktasının yüksekliği                                 |
| <b><math>\Delta h_i</math></b>                    | : Yükseklik farkı                                         |
| <b><math>\sigma_{\Delta h}, \Delta h_i</math></b> | : Yükseklik farkının standart sapması                     |
| <b>n</b>                                          | : Nivo kurma sayısı                                       |
| <b><math>\sigma_{H_A}</math></b>                  | : A aplikasyon dayanak noktasının standart sapması        |
| <b>Z</b>                                          | : Başucu açısı                                            |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 6.1:</b> Klasik yöntemler ile özel ölçme sisteminin karşılaştırılması..... | 75 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.1 : Şekillerine göre ray profilleri.....                                     | 6            |
| Şekil 2.2 : Çeşitli ray bağlantı elemanları.....                                     | 8            |
| Şekil 2.3 : Travers Çeşitleri.....                                                   | 10           |
| Şekil 2.4 : Balastsız Üstyapı Tipleri.....                                           | 12           |
| Şekil 2.5 : RHEDA Classic üstyapı sisteminin en kesiti.....                          | 14           |
| Şekil 2.6 : RHEDA Berlin üstyapı sisteminin en kesiti. ....                          | 14           |
| Şekil 2.7 : RHEDA 2000 üstyapı sisteminin en kesiti. ....                            | 15           |
| Şekil 2.8 : Züblin üstyapı sisteminin en kesiti. ....                                | 16           |
| Şekil 2.9 : ATD üstyapı sisteminin en kesiti. ....                                   | 17           |
| Şekil 2.10 : BTD (v2) üstyapı sisteminin en kesiti. ....                             | 18           |
| Şekil 2.11 : Shinkansen üstyapı sistemi.....                                         | 20           |
| Şekil 2.12 : FF-Bögl üstyapı sistemi.....                                            | 21           |
| Şekil 2.13 : FF-Bögl üstyapı sisteminin en kesiti. ....                              | 21           |
| Şekil 2.14 : Grass Track üstyapı sisteminin en kesiti. ....                          | 23           |
| Şekil 2.15 : FFC üstyapı sisteminin en kesiti.....                                   | 23           |
| Şekil 2.16 : Infundo-Edilon üstyapı sisteminin en kesiti. ....                       | 24           |
| Şekil 2.17 : Infundo-Edilon üstyapı sistemi ray kesiti.....                          | 25           |
| Şekil 2.18 : BBERS üstyapı sisteminin en kesiti. ....                                | 26           |
| Şekil 2.19 : SFF üstyapı sisteminin en kesiti. ....                                  | 27           |
| Şekil 3.1 : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı.....                                        | 31           |
| Şekil 3.2 : Kutupsal koordinat yönteminde aplikasyon elemanları. ....                | 33           |
| Şekil 3.3 : Dik koordinat yönteminde aplikasyon elemanları.....                      | 35           |
| Şekil 3.4 : Bir açı ve bir uzunlukla kestirme yönteminde aplikasyon elemanları. .... | 36           |
| Şekil 3.5 : Prezisyonlu geometrik nivelman ölçme modeli. ....                        | 40           |
| Şekil 3.6 : Trigonometrik nivelman ölçme modeli. ....                                | 41           |
| Şekil 4.1 : Ondülasyonlar.....                                                       | 45           |
| Şekil 4.2 : Yanal ve düşey aşınma.....                                               | 45           |
| Şekil 4.3 : Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması. ....                                  | 46           |
| Şekil 4.4 : İç köşe kabuklanması.....                                                | 47           |
| Şekil 4.5 : Yatay çatlak. ....                                                       | 47           |
| Şekil 4.6 : Boyuna dikey çatlak. ....                                                | 48           |
| Şekil 4.7 : Nivelman bozulması. ....                                                 | 49           |
| Şekil 4.8 : Dever bozulması. ....                                                    | 49           |
| Şekil 4.9 : Burulma. ....                                                            | 50           |
| Şekil 4.10 : Ekartman bozulması. ....                                                | 50           |
| Şekil 4.11 : Dresaj bozulması. ....                                                  | 51           |
| Şekil 4.12 : Nirengi ağı ölçme noktası.....                                          | 52           |

|                   |                                                      |    |
|-------------------|------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.13</b> | : Yönelme noktası.....                               | 53 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | : GRP FX ölçme sistemi.....                          | 57 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | : GRP FX 1000 ölçme sistemi bileşenleri.....         | 58 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | : Özel ölçme sistemi ekranı.....                     | 61 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | : Özel ölçme sistemi ve elektronik takeometre.....   | 63 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | : Amber GRP FX 1000 sistemi.....                     | 64 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | : Trimble GEDO CE ölçme sistemi.....                 | 64 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | : Rhomberg HERGIE ölçme sistemi.....                 | 65 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | : Travers ayarlama sistemi.....                      | 67 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | : Reflektör ve ray ölçme aparatı.....                | 68 |
| <b>Şekil 5.10</b> | : Beijing - Tianji hattı aplikasyon çalışmaları..... | 70 |
| <b>Şekil 5.11</b> | : Sonoma-Marin Transit Ray Hattı rölöve ölçümü.....  | 73 |

# **BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA APLİKASYON VE DEFORMASYON ÖLÇMELERİ**

## **ÖZET**

Son yıllarda özellikle balastsız üstyapıların aplikasyonunda ve deformasyonların izlenmesinde doğruluk talepleri artmaya başlamıştır. Buna paralel olarak demiryolu ölçmelerinde, özel ölçme sistemlerinin geliştirilmesine doğru bir yönelim gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında raylı sistem hatları aplikasyon, deformasyon ve rölöve ölçmelerinde kullanılan klasik yöntemlerle, yeni geliştirilen cihazlarla yapılan özel ölçme sistemlerinin bir kıyaslaması yapılarak, farklılıklarının ortaya koyulması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında öncelikle genel hatlarıyla demiryollarının ortaya çıkışı, diğer ulaşım sistemleri arasındaki konumu ve üstün yanları üzerinde durulmuştur.

Daha sonra balastsız üstyapı sistemlerinin balastlı sistemlerle karşılaştırması yapılmış ve balastsız üstyapı elemanları incelenmiştir. Raylı sistemlerin çevresel, geoteknik ve işletme ile ilgili sorunlarına özel çözümler getirmek için geliştirilen farklı balastsız üstyapı sistemleri açıklanmıştır.

Yatay ve düşey kontrol ağlarının oluşturulması açıklanıp, genel aplikasyon tanımından ve klasik aplikasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Sonraki bölümde deformasyon tanımı yapıp, raylı sistemlerde meydana gelen deformasyonlar, malzeme deformasyonları ve geometrik deformasyonlar olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Yatay ve düşey deformasyonları belirlemek için, klasik jeodezik yöntemlerle yapılan deformasyon ölçmeleri üzerinde durulmuştur.

Uygulama kısmında raylı sistemlerde aplikasyon ve deformasyon ölçmeleri için geliştirilen özel ölçme sistemi incelenmiştir. Bu sistemin bileşenleri ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Balastsız üstyapıların aplikasyon, deformasyon ve rölöve ölçümlerinde kullanılan klasik jeodezik yöntemler ile sadece bu iş için üretilmiş özel ölçme sistemleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama yapılırken yurt dışında bu sistemlerin kullanıldığı projelerden örnekler verilmiştir.

Sonuç olarak aplikasyon ölçmelerinde klasik yöntemler kullanılarak günde 54 metrelik hat ölçülebiliyorken, özel ölçme sistemi kullanıldığında bunun 400 metreye kadar çıkabildiği ve bununla beraber ulaşılan doğruluğun da yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde deformasyon ölçmeleri için de hem daha iyi doğruluk değerlerine ulaşılmakta hem de bir saatte ölçülebilen hat uzunluğu 50 metreden 600 ila 1200 metreye kadar çıkmaktadır. Rölöve ölçümlerinde klasik yöntemlerle saatte 100 - 200 metrelik hattın alımı yapılabiliyorken özel ölçme sistemi ile 800 - 1200 metrelik hattın alımı yapılabilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda görülmüştür ki özel ölçme sisteminin kullanımı klasik yöntemlere göre daha yüksek doğruluk ve hız sağlarken ekip sayısının da azalmasına imkan vermiştir.



## **SETTING OUT AND DEFORMATION MEASUREMENTS OF SLAB TRACKS**

### **SUMMARY**

One of the most important mile stone of transportation history is undoubtedly the foundation of railways. Railroads are the most sustained transport system among the others. The main reason for this is the trains can reach maximum speeds with minimum energy consumption. Beside that they give minimum damage to the environment with electrical attraction and low land use. Despite these features since highways and airplanes offer more flexibility and alternatives in every aspect, utilization of these transport types always increased. This competition requires a continuous development of railways.

During the growing of railways current superstructure design of them always developed and changed. Nowadays most of the railways slab tracks are being used in most of the railways. Low cost investing are the most important reason for this. However ballastless tracks are making up the difference with their low maintenance costs and long service life and becoming more feasible in 5 to 7 years. Also it ensures higher safety against lateral forces and accommodation of higher axle loads. The slab track can compensate any excess in superelevation and in cant deficiency with freight trains or passenger trains without fears for dislocation of the track.

The components of ballastless tracks can be counted as, rails, sleepers, fastenings, rail seating pads, transportation layers and protection layers. The rails provide smooth, stepless, low resistance and constant bearing surface for railroad cars at the same time they transfer the loads to sleepers. Sleepers provide sufficient mechanical endurance in horizontal and vertical to structural bearings. Fastenings and rail seating pads between rails and sleepers help damping the vibrations and gain flexibility to superstructure. Beneath these connections there is a track supporting layer. Instead of ballast in ballastless track, concrete or asphalt supporting layers are being used. Under the transportation layer there is a protection layer connected with bitumen to increase the capacity of load carrying system and provide the distribution of upper loads.

Many slab track systems are enhanced to bring special solutions to geotechnical and operation problems of railway systems. Slab tracks can be categorized as two main groups according to their slab types. One of them is supported slab and the other is continuous slab. In supported slabs, sleepers can be embedded to track supporting layers or they can on the layer or they can never be used as well. In the systems without sleeper, instead of sleepers, cast concrete boards or single piece molded concrete are used. In continuous slab, rails are embedded to the holes in concrete track supporting layers. The basic principle of this system is the constant elastic support of rails. This type of pavement can be constant embedded or constant secured rails.

Whatever the slab track system is, the set out must be done with high accuracy in order to provide the trains to navigate comfortably and securely in high speeds. Set out is the

process of adaptation of a civil engineering construction to the field so that it can meet the requested accuracies with designed horizontal and vertical geometry. In high cost engineering projects such as railway systems, many geodesic measurements are needed before, during and afterwards of construction. Foundation of the three dimensional control networks to the field should be planned according to set out process. The first step of set out process is to create a triangulation and leveling network to involve and meet the wanted accuracies. After that these are going to be used as reference points of set out to build the slab track. For the transfer of track geometry to the field, horizontal and vertical control network set out support points must be used. Afterwards set out measurement method would be chosen considered the requested accuracy, the field conditions, the positions of created points and set out points according to each other and the hardware which will be used.

After railways are opened some deformations that can affect the security and comfort would occur. Therefore these deformations are needed to be identified and maintained in order to keep the comfort and security in a certain level. The measurements that evaluate the geometrical changes, the motions around environment and the effect of these motions are called ‘deformation measurements’. Geodesic methods of deformation are based on evaluation of periodic network GPS measurements that can determine horizontal and vertical deformations. When classical geodesic methods are thought, geodesic control network method, precise benchmark method and alignment method can be used for horizontal deformations. For the vertical deformations, precision geometrical leveling method, hydrostatics leveling method or trigonometric leveling method can be used.

Many companies have developed new methods for set out and deformation measurements of railways to replace the classical geodesic measurements. At the end of these studies, various instruments are developed that can determine the measurement hardware and line geometry when the rails are in motion. These measurement systems can be used in new line set out measurements and determination of horizontal and vertical geometry and deformation of existing lines. In the measurement system, there are sensors and locator devices to be able to determine inner parameters and navigation accuracy of railways. The sensor systems are, gauge sensor, odometer and inclinometer. For the navigation system, total station or GPS can be used according to conditions.

After the construction of measurement system on rail line, the system connects wirelessly with total station and a point with known coordinates. Total station connects the mobile measurement system with polygon network and thus it transmits three dimensional coordinates of reflector to the system. Engine-driven total station always automatically follows the reflector as long as the system moves among the rails. Through the computer and measurement software, the coordination information coming from total station syncs with the line information coming from system sensors and can be shown in computer screen real time. Since the line geometry has been identified in computer before the measurement software can make the necessary calculations and transmit the difference between measured line location and necessity location.

Within the scope of this thesis, classical geodesic methods and special measurement systems which are designed just for this goal are compared for slab track set out, deformation and roleve measurements. When these comparisons are being made,

examples have been given from abroad projects, specifically the ones that these systems are used. The criterions between the methods are cost, time and accuracy.

According to results, track which is 54 meters long can be measured in one day by using classical geodesic methods in setting out measurements. Special measurement system can handle 400 meters long rail part daily. Meanwhile accuracy will increase despite scaling up velocity. In deformation measurements, track length which can measured is increased from 50 meters to 600 - 1200 meters as well as increasing accuracy. Relief measurements can be done for 100-200 meters long track line per hour by using classical geodesic methods. By using special measurement system, 800-1200 meters long track line can be measured hourly. As initial costs for special measurement systems are high-priced, this technique reduces number of employees and working hour effectively. Besides that, due to its high capacity to automation and reduction of human factor, this systems assure high precision measurements both relative and absolute.



## 1. GİRİŞ

Ulaştırma tarihinin en önemli kilometre taşlarından biri kuşkusuz demiryollarının ortaya çıkışıdır. Tekerleklerle kılavuz olması için demirden yapılmış lamaların kullanımı ilk kez 19. yüzyılda İngiltere'deki maden ocaklarında olmuştur. 19. yüzyılın başlarında vagonlar bu demir lamaların üzerinde buharla işleyen bir araba tarafından yürütülüyordu. Bugünkü lokomatiften çok farklı olmasına rağmen, temelde tarihte kullanılan ilk lokomotif 1803 yılında Richard Trevithick'in geliştirdiği bu araçtır. Demiryollarının gelişmesi, buharın kullanılması, kömür ve demir gibi madenlerin yaygın olarak işlenmeye başlamasından çok etkilenmiştir. Henüz ilk kez kullanımından 25-30 sene sonra Avrupa'nın birçok kentinde demiryolu hatları işlemeye başlamıştır. Bu yeni teknoloji ilk 100 yılında tüm dünyaya yayılarak altın çağını yaşamıştır. Bu sırada ülkelerin ekonomileri, savaşların kaderleri, insanların yaşayışları demiryollarından büyük ölçüde etkilenmiştir.

1950'li yıllara gelindiğinde gelişmeye başlayan havayolu ile karayolu karşısında rekabeti kaybetmiş gibi görünse de, bundan kısa süre sonra demiryolu ulaşımının hız ve verimlilik potansiyeli demiryolunun tekrar gelişmesini sağlar. Çünkü havayolu ve karayolu taşımacılığının, yoğun trafik ve çevre kirliliği gibi büyük sorunlar doğurduğu gözlenmiştir. Demiryolu ise farklı enerji kaynaklarının kullanımına uygundur ve taşıdığı yolcu sayısının fazlalığından dolayı kişi başına düşen enerji tüketimi karayoluna göre çok daha azdır. Ayrıca düşük miktardaki arazi kullanımı nedeniyle de doğa dostudur.

Tüm bunların ışığında 20. yüzyılda elektrikli çekimin devreye girmesi ile birlikte demiryolları sürdürülebilirlik kavramının da desteğini arkasına alarak, düşük enerji tüketimi ile yüksek hızlara çıkabilecek gelişimi göstermiştir. Havayolu ve karayollarının çevre kirliliği, trafik, kazalar gibi tüm olumsuz yönlerine rağmen üstün esneklik özellikleri ile insanlara her ölçekte alternatifler sunması kullanımlarını arttırmıştır. Bu rekabet demiryollarını sürekli olarak gelişme içerisinde olmasını zorunlu kılmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren yüksek hızlı tren teknolojisinin gelişimi bu

zorunluluğun en somut örneğidir. Bu gelişmeyle birlikte işletme hızları 250-300 km/sa olan trenler ile 200-600 km arasındaki mesafeler için demiryolu ulaşımı havayolu ulaşımına tercih edilmektedir. Teknolojik olarak bir ileri adım olan ve temellerinin Japonya'da atıldığı Maglev (Manyetik Levitasyon) trenleri ise 400-500 km/sa'lık işletme hızlarını mümkün kılacaktır.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de demiryolları adına benzer bir süreç yaşanmıştır. Demiryollarının İngiltere'de ortaya çıkışı ile Osmanlı Devleti yabancı ülkelere imtiyazlar sağlamak zorunda kalarak da olsa yatırımlar yapmıştır. Osmanlı bu yatırımları ekonomik değil askeri ve stratejik nedenlerle yapmıştır. Cumhuriyetin ilanı ve geçen savaş yıllarında büyük çabalarla demiryollarının gelişimi canlı tutulmaya çalışılmıştır. Ancak tüm dünya gibi ikinci dünya savaşından hemen sonra ulaşım ile ilgili yatırımlar demiryolundan karayoluna kaymıştır. Demiryollarının yeniden gelişmeye başlaması 2000'li yılları bulmuştur. Türkiye'de ilk hızlı tren Ankara-Eskişehir arasında 2009 yılında seferlerine başlamıştır. Raylı sistemlerin ekonomik, doğa dostu, güvenli bir sistem olmasına rağmen ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığindeki payı dünya geneline göre oldukça düşük kalmıştır.

Demiryolu ulaşımının diğer türlere göre üstün olan yanları şöyle sıralanabilir:

- Enerji tüketimi azdır.
- Hız yüksektir.
- Ulaşım sistemlerindeki kaza sonuçlarını veren istatistikler demiryolların en güvenilir ulaşım sistemi olduğunu göstermektedir.
- Hem yolcu taşıma hem de yük taşıma yönünden demiryolu kitle taşıma için en elverişli ulaşım sistemidir.
- Arazide çok az yer kaplamasına rağmen büyük yükler taşınmasına olanak sağlar.
- Tekerlekler raylarla kılavuzlandığından dolayı otomotizasyona uygundur.
- Çekim sistemi açısından teknik gelişmelere ayak uydurabilecek esnekliğe sahiptir.
- Elektrikli çekim sayesinde çevre kirliliğine neden olmaz.
- Kötü hava koşullarından en az etkilenen ulaşım sistemidir.

- Ekonomik yönden artan verimle çalışan kuruluşlardır [1].

Demiryollarının gelişimi süresince kullanılan üstyapı sistemleri de sürekli gelişmiş ve değişmiştir. Raylar, traversler, ray bağlantı elemanları yıldan yıla çeşitlilik göstermiştir. Hattın stabilitesini sağlamak için kullanılan balast tabakası yerine 1960'lerden itibaren balastsız üstyapı geliştirilmiştir. Demiryolu üstyapı sistemlerinin değişmesi, hızların artması ölçme yöntemlerinin de değişmesine neden olmuştur. Trenlerin güvenli bir şekilde yüksek hızlarda seyredebilmesi ancak milimetre hassasiyetinde aplane edilmiş bir üstyapıyla mümkündür. Bu doğrultuda son yıllarda mevcut ray geometrisini belirlemede ve yeni hatların aplikasyonunda kullanılan klasik jeodezik yöntemlerin yerine geçebilecek çeşitli özel ölçme sistemleri geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında bu sistemlerin çalışma prensipleri ve klasik yöntemlerle olan farkları incelenecektir.



## 2. BALASTSIZ DEMİRYOLU ÜSTYAPISI

Balast tabakası demiryolu üstyapısının en çok bakım gerektiren ve en zayıf elemanıdır. Bu nedenle 1960'lerden itibaren dünyada balastsız üstyapı geliştirilmeye başlanmıştır. Balastsız üstyapı sistemlerinde, geleneksel demiryollarında kullanılan balast tabakası yerine beton ya da asfalt taşıyıcı tabaka kullanılır. Yapım maliyeti balastsız üstyapıya göre daha fazla olduğundan dolayı günümüzde yeterince yaygın olarak kullanılmamaktadır. Özellikle üstyapı yüksekliğinin ve yükünün daha az olmasından dolayı köprü, viyadük ve tünellerde kullanımı daha fazladır.

### 2.1 Balastsız Üstyapının Avantajları

Günümüzde dünyadaki demiryolu hatlarının çoğunluğunda balastlı üstyapı kullanılmaktadır. Bunun en önemli nedeni şüphesiz yatırım maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bununla birlikte demiryolu hatlarının yapımında servis ömrü, bakım maliyeti ve süresi, stabilite gibi faktörlerin önemi gittikçe artmaktadır. Bu kriterler göz önüne alındığında balastsız üstyapının birçok avantajı vardır. Balastsız üstyapının önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Trafik yüklerinden dolayı hatta meydana gelen boyuna ve yanal doğrultudaki kaymalar daha azdır. Balastlı üstyapıya göre daha stabil bir performans sergiler.
- Tünellerde üstyapı yüksekliğinin, köprü ve viyadüklerde ise üstyapı ağırlığının daha az olmasına imkân sağlar.
- Yüksek hızların etkisiyle balastın fırlayarak araca ya da raylara çarpma riski ortadan kalkar.
- Balastlı üstyapıda 30 ila 40 yıl olan teorik servis ömrü, balastsız üstyapıda 60 yıla kadar çıkmaktadır.
- Gerekli önlemler alındığı takdirde araç geçişlerinde daha az titreşim ve gürültü oluşumuna sebep olur.

- Demiryolu ve karayolu araçlarının aynı üstyapıyı kullanabilmesine olanak sağlar.

Bu avantajlara karşın balastsız üstyapının yapım maliyeti balastlı üstyapıya göre daha fazladır. Yapılan araştırmalara göre, İngiltere’de sürekli döşemeli balastsız hattın yapım maliyeti balastlı hattın poz maliyetinden %30 daha fazladır. Fakat bakım maliyetleri de düşünüldüğünde 5 – 7 yıl içinde bu fark kapanır ve daha sonraki dönemde balastsız üstyapı daha ekonomik duruma gelir [2].

## 2.2 Balastsız Üstyapı Elemanları

### 2.2.1 Raylar

Raylar, tekerleklerden gelen dingil yükleri ile direkt temasta bulunan ve bu yükü traverslere ya da destek elemanlarına dağıtan üstyapının en önemli elemanlarındanıdır. Raylar demiryolu araçları için düzgün, kademeli olmayan, düşük direnimli ve sürekli bir yuvarlanma yüzeyi sağlar [3].

Başlangıçtan günümüze kadar raylarda şekil ve malzeme karakteristikleri bakımından önemli gelişmeler olmuştur. Şekil bakımından başlıca üç ray tipi kullanılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Şekillerine göre ray profilleri.

1. Oluklu raylar: Oluklu raylar daha çok tramvay hatlarında ve demiryolu ile karayolu üstyapılarının kesiştiği yerlerde (hemzemin geçitlerde) kullanılırlar.
2. Çift mantarlı raylar: Bu raylar simetrik bir şekilde olup alt ve üst mantardan meydana gelirler. Bu rayın ortaya atılışındaki fikir üst mantarın aşınmasından sonra rayın çevrilmesiyle bu defa yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılması idi. Fakat üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyon nedeniyle aşınmasından dolayı bu hususun imkansızlığı anlaşıldı.

3. Tek mantarlı raylar: aynı zamanda Vinyol tipi olarak bilinen bu raylar ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan ray tipidir [4].

Rayların görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Trenlerin hareketi için az direnimli, düz, kırıklı olmayan, kademesi bulunmayan bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Tekerleklerden gelen dingil yüklerini, elastik ortama oturmuş bir kiriş olarak alıp, traverslere dağıtmak,
- Araç dingillerinin derayman olayı meydana gelmeden güven içinde hareketini sağlamak,
- Bu belirtilen teknik özellikleri uzun süre ve en az maliyetle sağlayabilmek [5].

### **2.2.2 Ray - travers bağlantı elemanları**

Rayların traverslerle olan bağlantısı küçük bağlantı malzemeleri ile sağlanır. Balastsız üstyapılarda, yatay ve düşey mesafeleri ayarlanabilen bağlantı elemanları tercih edilmektedir. Bu elemanlar sayesinde bazı fabrika üretim hataları ya da sonradan zeminde meydana gelebilecek oturmalarından kaynaklanabilecek sorunlar giderilebilir.

Ray travers bağlantı elemanlarında bu ayarlama sistemleri ile uygulanabilecek düzeltmeler yatayda  $\pm 4$  mm, düşeyde ise 20 mm kadardır [6].

Ray travers bağlantı elemanları genel olarak aşağıdaki özellikleri sağlamalıdır:

- Ekartmanı ve traverstekte yanal ray eğimini sürekli korumak
- Raydan traverse gelen yükleri iletmek
- Titreşimleri azaltmak ve sönmölemek
- Montaj ve bakım kolaylığı
- Elektrik yalıtımı
- Esneklik
- Elemanlar arasında aşınma ve gerilme birikmesini önlemek

- Yeterli korozyon direncine sahip olmak
- Uygun maliyetli ve traverslerle aynı ömre sahip olmak
- Tahribata dayanıklı olmak.

Bağlantılar rijit ve elastik olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit bağlantılar sadece ahşap ve demir traverslerde kullanılırken, balastsız üstyapıda, beton traverslerde, kullanılan bağlantı elemanları elastik özelliğe sahip olmalıdır [4].

Uygulamada balastsız üst yapılarda Vossloh, Nabla, Pandrol gibi birçok değişik bağlantı elemanı kullanılmaktadır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2** : Çeşitli ray bağlantı elemanları.

### 2.2.3 Elastik altlıklar

Elastik tabakalar rayla travers arasında ya da rayla beton arasında kullanılır. Seletle travers ya da seletle beton arasında kullanılan elastik tabakalara selet altı pedler denir. Pedlerin aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekmektedir:

- Yük dağılımı: Pedler ray tabanı ile travers arasındaki yük dağılımını sağlamalıdır. Ray ve travers yüzeyindeki düzensizlikleri elemine edecek uygun bir ara tabaka oluşturur.

- Titreşim sönümlemesi: Pedler tren geçişi esnasında hattın ve tekerleklerden kaynaklanan titreşimleri sönümleyici etki göstermelidir.
- Esneklik: Pedler üstyapının toplam elastik ray bağlantı malzemeleri ile optimum deplasman sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sayede bağlantı elemanları sürekli olarak enine ve boyuna kuvvetlere karşı yeterli direnimi sağlayabilir.
- Raylarda yürümeye karşı direnç: Pedler ray bağlantı elemanları ile birlikte, raylarda yürümeye ve burkulmaya karşı yeterli direnci sağlamalı, bu direnç zamana veya trafik yüküne göre değişkenlik göstermemelidir.
- Elektrik yalıtımı: Pedler sinyalizasyon ve kontrol amaçlı hat devrelerindeki akımın ray ile travers arasındaki yalıtımını sağlamak için, iyi yalıtım özelliklerine sahip olmalıdır.
- Durabilite: Pedlerin servis ömrü en az rayın ömrü kadar olmalıdır. İdeal durum, raylarla birlikte pedlerin de değiştirilmesidir. Bunun yanı sıra, pedler toz, su, yağ ve kimyasal maddeler nedeniyle oluşan kirlenmeye karşı durumunu korumalı ve bağıl sıcaklık ve hava şartlarından etkilenmemelidir. Japon Demiryolları'nın tecrübelerine göre, pedler 10 yıl sonra elastikiyetlerini % 66 oranında kaybetmektedirler [7].

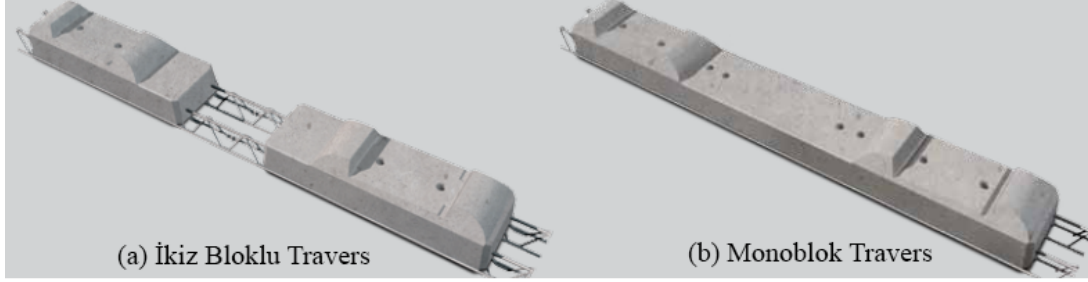
#### 2.2.4 Traversler

Traversler raylara mesnet görevi yapan üstyapı elemanıdır. Traverslerin aşağıdaki görevleri yapması gerekir:

- Raylardan gelen tekerlek yükünü karşılayıp, alttaki tabakalara dağıtarak iletmek
- İki ray arasındaki hat genişliğini (ekartmanı) sabit tutmak
- Raylara içeriye doğru 1/20 veya 1/40 gibi eğimlerin verilmesini sağlamak
- Yatay ve düşey yönlerde yeterli mekanik dayanımı sağlamak

Traverslerde ilk kullanılan malzeme ahşaptır. Ahşapların pahalı ve dış etkenlere karşı zayıf olması nedeniyle 1880'li yıllarda demir traversler kullanılmaya başlanmış ve uzun süre kullanılmıştır. Beton teknolojisinin ilerlemesiyle 1950 yılından itibaren beton traversler kullanılmaya başlanmış ve iki kategoriye ayrılmıştır (Şekil 2.3):

- İkiz bloklu donatılı beton traversler
- Monoblok ön veya art germeli beton traversler



**Şekil 2.3 : Travers Çeşitleri.**

Günümüzde yeni hatlarda ve poz çalışmalarında en çok kullanılan beton traversler ve buna karşın bazı hatlarda ahşap traversler de kullanılmaktadır. Demir traverslerin kullanımı azalmakta ve pozlarda beton veya ahşap traversler ile değiştirilmektedir, yeni hatlarda ise kullanılmamaktadır [7].

Balastsız üstyapı inşaatında genellikle iki çeşit travers uygulaması yapılmaktadır. Bunların ilkinde traversler beton yatağın içine gömülü olarak uygulanırken, diğer uygulamada ise traversler beton yatağın üzerine monte edilmektedir.

#### **2.2.5 Asfalt veya beton taşıma tabakası**

Balastsız üstyapıda balast yerine ondan daha az şekil değiştiren beton ya da asfalttan yapılan taşıma tabakaları kullanılır. Betonarme taşıma tabakası, yerinde döküm ile oluşturulabileceği gibi, plak şeklinde prefabrik olarak da üretilebilir. Bu tabakanın kesit kalınlığı kullanılacak yere göre (tünel, köprü, viyadük vs.) değişmektedir. Beton taşıma tabakasında kullanılan beton, DIN 1045 EC 2 yönetmeliğine göre C30/37 beton standartlarında olmalı ve donma karşı etkili direnç göstermelidir [8].

Asfalt taşıma tabakasında kullanılan asfalt malzemesi karayollarında kullanılanlardan farklı özelliklere sahiptir. Yol yapımında asfaltın geçirimsizliği, donma dayanımı gibi özellikler daha önemli iken, demiryollarında kullanılırken asfalt stabilitesinin artırılması ve deformasyona karşı dayanıklı olması gibi özellikler ön plana çıkar. Asfalt taşıma tabakasının kalınlığı 25 - 30 cm arasında değişmektedir [9].

### **2.2.6 Hidrolik veya bitümle bağı koruma tabakası**

Balastsız üstyapılarda, asfalt veya beton taşıma tabakasının altında, sistemin yük taşıma kapasitesini arttırmak ve yukarıdan iletilen yüklerin altyapıya daha iyi dağılımını sağlamak için hizmet veren bir tabaka bulunur. Bu tabaka genellikle doğal ya da kırma kum ve portland çimentosu karıştırılarak oluşturulur. Ekonomik olarak optimize edilmiş sistemlerde ve köprü, tünel gibi sanat yapılarında bu hidrolik veya bitümle bağı koruma tabakası kullanılmayıp, bunun yerine daha kalın bir asfalt veya beton taşıma tabakası kullanılır.

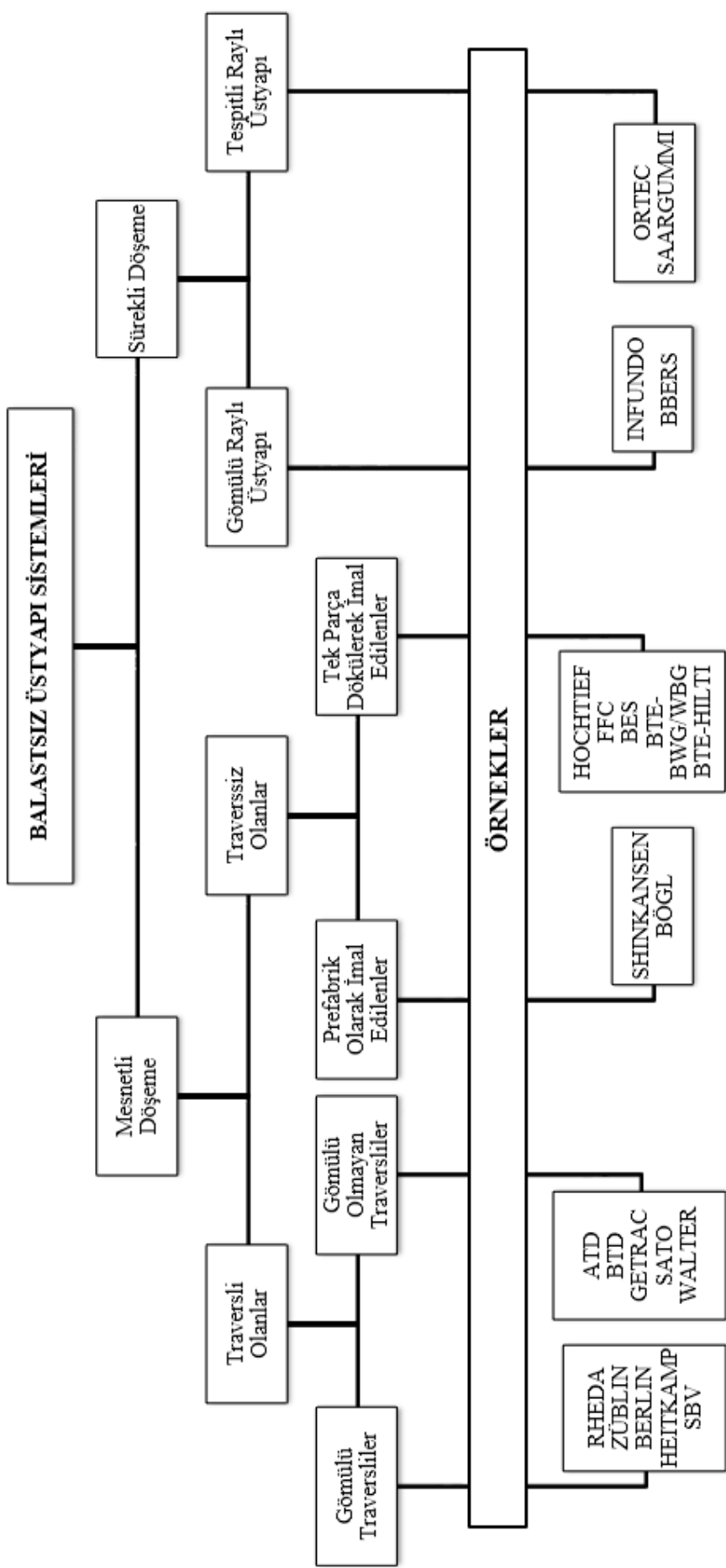
Dona karşı hassas zeminlerde, bu hidrolik veya bitümle bağı koruma tabakasının altına ısı yalıtımını sağlamak için bir don koruyucu tabaka eklenir. İnce çakıl - kum karışımından oluşan bu tabaka, don ve diğer meteorolojik olaylara karşı etkili direnç gösterir. Bu tabaka suyun hızlı bir şekilde uzaklaşmasını sağlayarak donma olayını önler [8].

### **2.2.7 Zemin**

Balastsız üstyapılarda, tüm üstyapı elemanlarının istenilen doğrulukta inşa edilmesini sağlamak için zeminin de yeterli sağlamlığa ve elastikiyete sahip olması gerekir. Bunun için hat boyunca 50 m aralıklarla 6 m derinliğe kadar zemin etüdüleri yapılması gerekmektedir. Zeminin yetersiz görüldüğü yerlerde, kireç ve çimento gibi bağlayıcı malzemelerle iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır [4].

## **2.3 Balastsız Üstyapı Tipleri**

Raylı sistemlerin çevresel, geoteknik ve işletme ile ilgili sorunlarına özel çözümler getirmek için, birçok balastsız üstyapı sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemler demiryolu türüne göre, uygulama yerine göre, ülkeye özgün gelişmelere göre, kronolojik gelişime göre sınıflandırılabilirler ancak en yaygın olanı döşeme şekline göre yapılan sınıflandırmadır. Balastsız üstyapılar döşeme şekline göre mesnetli döşeme ve sürekli döşeme olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4 : Balastsız Üstyapı Tipleri.**

Mesnetli döşeme, ray tabanının 0,50 m ile 0,80 m arasında (ortalama 0,65 m) değişen sabit aralıklı mesnetlerle iki parçalı olan ve yaylı elemanları ile ayarlanabilen bağlantılar yardımıyla, alttaki taşıma tabakası üzerine bağlanmasından oluşur.

Sürekli döşeme tipinde raylar sürekli olarak beton taşıma tabakası üzerinde yol eksenine doğrultusunda ve beton ya da istisnai durumlarda çelik malzemeden yapılmış paralel iki kirişin içlerinde oluşturulan oluklarda, doğal ya da yapay kauçuk yataklar içine döşenir [4].

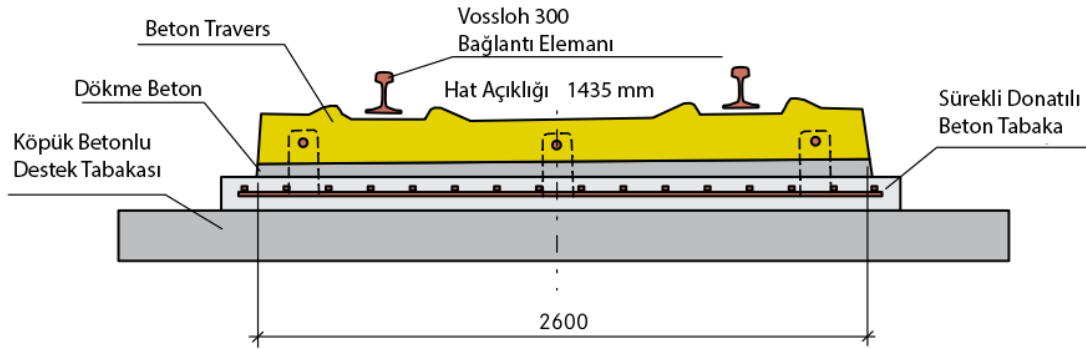
### **2.3.1 Traverslerle yapılan mesnetli döşeme**

#### **2.3.1.1 Gömülü traversliler**

Beton traverslerin taşıyıcı tabakaya gömülü olarak kullanılmaları, hat çerçevesinin kolayca monte edilmesi imkanını sağlar. Bu sistem Almanya’da yapılan yüksek hızlı hatlarda ve bazı metrolarda görülmektedir. Bu üstyapılarda ikiz bloklu donatılı beton traversler ya da monoblok ön veya art germeli beton traversler kullanılır. Travers kullanmanın avantajı, ekartman ve ray eğiminin travers fabrikasında büyük hassasiyetle imal edilebilmesidir. Bunlar yüksek hızda dingilin zorlanmadan gidebilmesi için çok önemlidir. Almanya’da kullanılan RHEDA ve Züblin sistemleri ve Fransa’da daha çok tünellerde kullanılan Stedef sistemi bu üstyapı tipinin başlıca örneklerindendir [4,9].

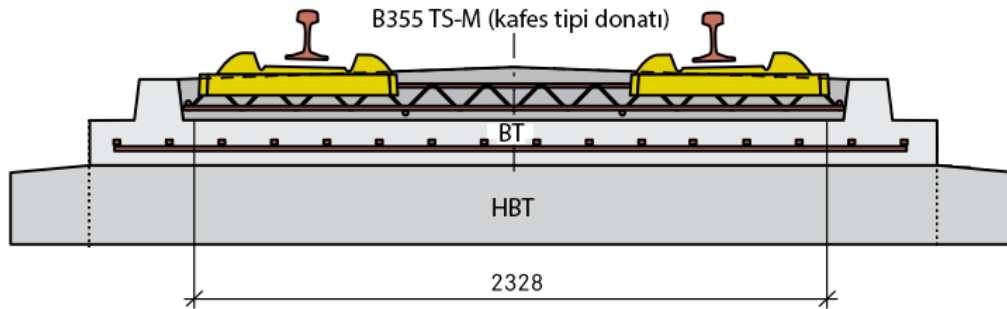
#### **RHEDA sistemi**

İlk RHEDA sistemi olan RHEDA classic, Alman Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen bir araştırma projesi çerçevesinde, 1970’lerin başlarında Batı Almanya bölgesinde sistemli olarak araştırılmaya ve geliştirilmeye başlanmıştır. Bu araştırmanın bir parçası olarak Almanya’nın Westphalia bölgesindeki RHEDA istasyonunda bir test üstyapısı oluşturulup, Bielefeld – Hamm hattı yüksek hızlı denemeler için kullanılmıştır. Sistem adını, 1972 yılında ilk kez kullanılıp test edildiği bu tren istasyonundan almıştır. En kesiti Şekil 2.5’te gösterildiği gibi olan bu ilk model, monoblok ön germeli beton traverslerin, önceden hazırlanan beton yatağının içine gömülü olarak yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Beton dökümünden önce traversler bu yatak içine yerleştirilip son konumlarına getirilir ve ardından beton dökülerek konumları sabitlenir.



**Şekil 2.5** : RHEDA Classic üstyapı sisteminin en kesiti.

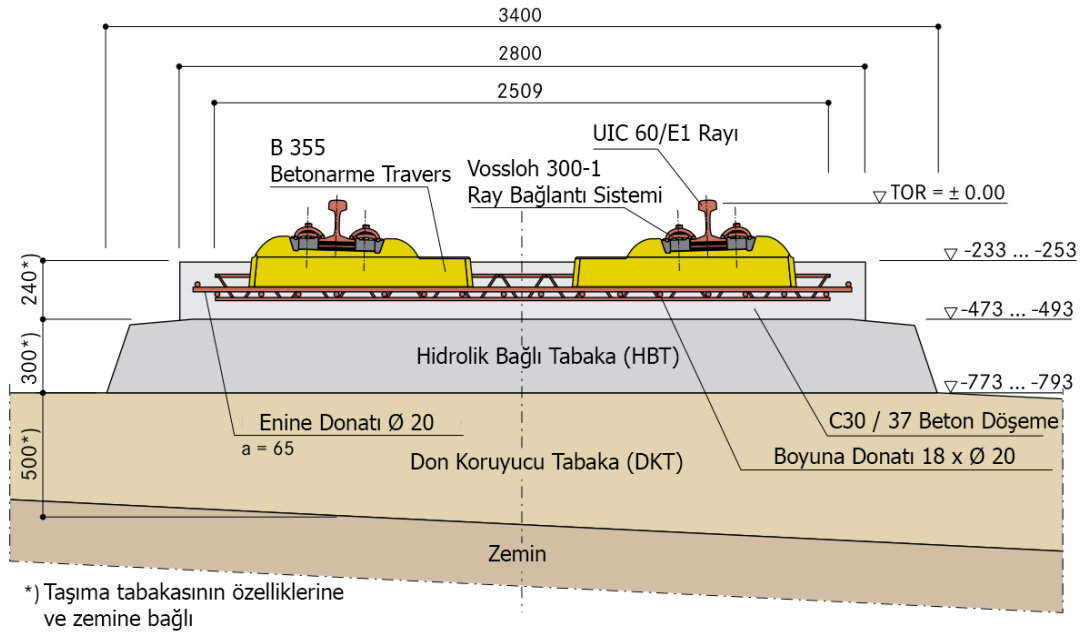
1990'lı yılların ortalarında, Berlin'deki yoğun banliyö toplu taşıma ihtiyaçlarını karşılamak için bir başka RHEDA sistemi olan RHEDA - Berlin geliştirilmiştir. En kesiti Şekil 2.6'daki gibi olan bu modelde monoblok traverslerin yerine daha hafif olan 2,25 m uzunluğunda ön germesiz ikiz bloklu beton traversler kullanılmıştır. Ayrıca yer problemi nedeniyle beton taşıma tabakasının genişliği de azaltılmıştır. RHEDA – Berlin aslen hızı yaklaşık 60 km/s olan banliyö hatları için tasarlanmıştır ancak daha sonraları gerekli iyileştirmeler yapılarak yüksek hızlı hatlarda da kullanılmaya başlanmıştır [8].



**Şekil 2.6** : RHEDA Berlin üstyapı sisteminin en kesiti.

1990'lı yılların sonlarında, RHEDA - Berlin sisteminden kazanılan tecrübe ile RHEDA 2000 sistemi geliştirilmiştir. RHEDA 2000 sistemi, RHEDA ailesinin en gelişmiş üyesidir. Bu modelde daha önceki modellere istinaden önemli iyileştirmeler yapılmış, blokları birbirlerine kafes kirişlerle bağlı ikiz bloklu beton traversler kullanılmıştır (Şekil 2.7). Ön germesiz travers, etrafını çevreleyen beton ile tam olarak homojen bir yapı oluşturur [10].

RHEDA 2000 sisteminde ikiz bloklu beton traversler kullanılması en büyük avantajlarından biri, sistemin ağırlığının azaltılmış olmasıdır. Daha önceki sistemlerde kullanılan B320 tipi monoblok traverslerin ağırlığı yaklaşık 325 kg iken, bu sistemde kullanılan B355 tipi ikiz bloklu traverslerin ağırlığı yaklaşık 225 kg'dır. Yapı ağırlığının çok düşük olması sayesinde, bu hat yapısı balastsız üstyapı için uygun tüm altyapı çeşitlerine homojen bir şekilde uygulanabilir. Diğer taraftan düşük ağırlıklı sistemin ulaştırma ve tüm lojistik zinciri üzerinde de olumlu etkileri vardır.



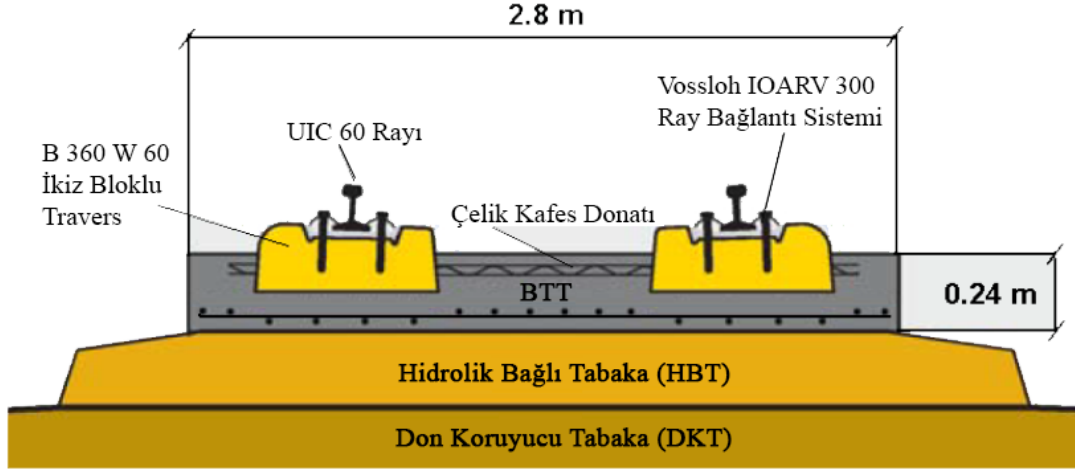
**Şekil 2.7 : RHEDA 2000 üstyapı sisteminin en kesiti.**

Yeni bir hattın yapımı için traverslerin yatay ve düşey konumları, taşıyıcı ve kaydırıcı krikolu ayarlama sistemleri vasıtasıyla olması gereken geometriye getirilir. Sistem geometrisi ayarlandıktan sonra hat paneline beton dökülerek traverslerin konumları sabitlenir. RHEDA 2000 sisteminin beton boşluğu olmadığından, betonun yanal genişliğini belirlemek için kalıplar kullanılır. Bu kalıp betonun kuruma süresine göre sürekli olarak kaldırılıp bir sonraki beton kısmı için tekrar kurulur [8].

### **Züblin sistemi**

RHEDA Sistemi yapılan testlerde kendisini kanıtladıktan sonra 1974 yılında Züblin sistemi geliştirilmeye başlanmıştır. Züblin sistemi tek parça beton plağın içine gömülü ikiz bloklu ya da monoblok betonarme traverslerden oluşur. Bu traversler titreşim aracılığıyla betonun içine batırılır. Bu sistemin geliştirilmesinin asıl amacı, sistem inşasının daha modernize mekanik donanımlarla yapılmasını sağlamak ve böylece

inşaat hızını arttırıp maliyeti düşürmektir. Züblin sistemi Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, altında 50 cm kalınlığında bir don koruyucu tabaka olan 30 cm kalınlığında bir hidrolik bağlı tabaka olan 30 cm kalınlığında bir hidrolik bağlı tabakanın üstüne yerleştirilir. Traverslerin batırıldığı beton taşıma tabakasının kalınlığı 24 cm olup 2,8 m genişliğindedir. Bu beton tabakası boylamasına olarak %0,8-%0,9 oranında donatı içerir [6, 11].



Şekil 2.8 : Züblin üstyapı sisteminin en kesiti.

Yapım şekli olarak RHEDA sistemine benzeyen bu sistemde, traverslerin beton plakaya yerleştirilmesi için özel bir üstyapı döşeme makinesine ihtiyaç vardır. Bu araç traversleri 65 cm aralıkla, beton tabakaya titreşim ile 7 cm derinlikte batırır. RHEDA sisteminden temel farkı betonun önce dökülüp, traverslerin sonradan betonun içine batırılmasıdır. Traverslerin yatay ve düşey konumlarının ayarlanması yine RHEDA sistemine benzer bir şekilde traverslerdeki deliklerden geçen miller aracılığı ile yapılır. Bu sırada meydana gelen boşluklar ise püskürtme ile uygulanan ve çabuk priz alabilen özel harç ile doldurulur [9].

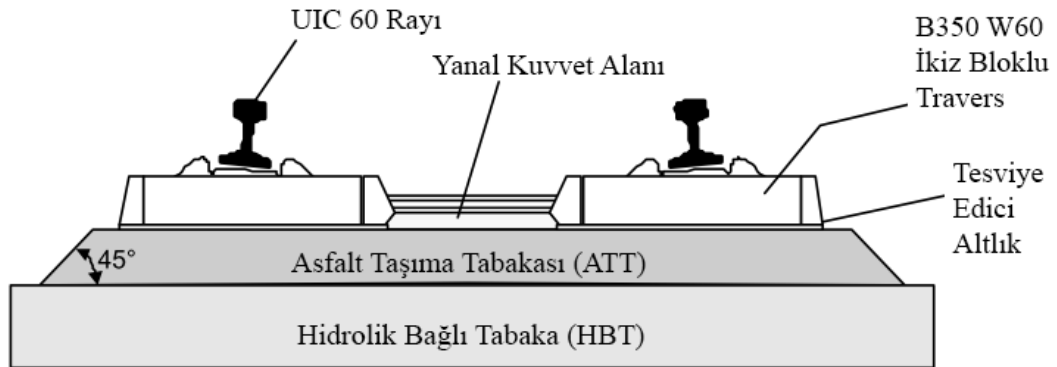
### 2.3.1.2 Gömülü olmayan traversliler

Gömülü olmayan traversli sistemlerde rayın ve taşıma tabakasının bütünleşik bir bağlantısı bulunmaz. Bu tip yapılarda ray kirişi, yükseklik toleransı  $\pm 2$  mm olan bir beton ya da asfalt taşıma tabakasının üstünde bulunur. Taşıma tabakası yüksekliğinin presizyonlu bir şekilde oluşturulmasından ötürü, bu sistemde düşey konum ayarlama vidalarına gerek yoktur. Bir diğer avantajı ise, yatay ray konumunun basit ray yapım makineleri tarafından belirlenebilmesidir. Ray kirişi serildikten hemen sonra bakım trenleri tarafından traverslere tespit edilebilmektedir. Bu sistem esasen taşıma tabakası

olarak asfalt kullanıldığı durumlar için geliştirilmiş. Asfalt kullanılmasının en önemli sebebi ise asfalt yüzeyinin yüksekliğinin kolaylıkla prezisyonlu olarak ayarlanabiliyor olmasıdır. Diğer taraftan asfalt taşıma tabakası, tespitlenmiş ray kirişinin yatay konumlandırmasını zorlaştırmaktadır [6].

### ATD sistemi

Açılımı AsphalTragschicht mit Direktauf Lagerung (Asfalt Taşıma Tabakası ile Mesnetli Döşeme) olan ATD sistemi, German Asphalt şirketi tarafından geliştirilmiştir. ATD sisteminin ayırt edici özelliği, ray kirişine etki eden yanal kuvvetlere karşı direnime sağlamak için rayların ortasında bulunan yaklaşık 60 cm genişliğindeki bağlantı elemanlarıdır (Şekil 2.9). Yatay ray hizalaması yapıldıktan sonra, yanal kuvvetlere karşı direnime sağlayan bu alan ile travers arasındaki boşluk elastik ve plastik bir malzeme ile doldurulur. Bu sistemlerde genellikle uzunluğu 2,60 m olan ikiz bloklu traversler ya da yanal kuvvet direnimi için alt kısmında boşluk bulunan monoblok traversler kullanılmaktadır [6].



Şekil 2.9 : ATD üstyapı sisteminin en kesiti.

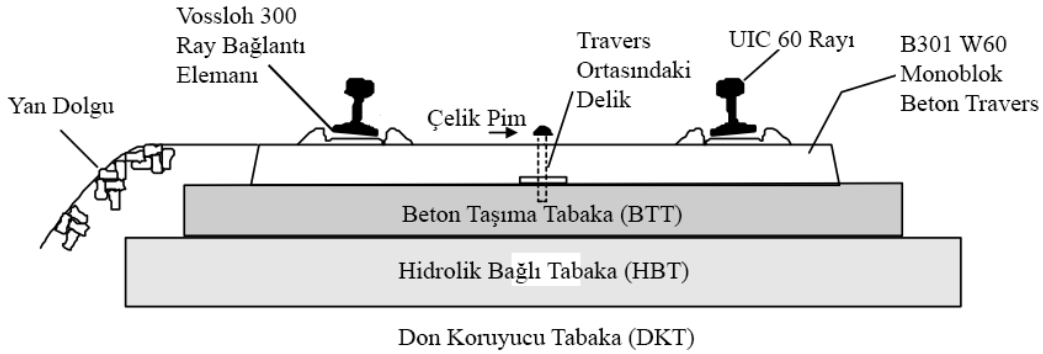
Asfalt kullanılan sistemlerin en önemli avantajlarından biri, asfaltın beton gibi sertleşme süresi gerektirmemesinden kaynaklanan yüksek imalat hızıdır. Bu sistemlerde kullanılan asfalt malzeme, karayollarında kullanılanlardan farklı olup birkaç değişiklik gerektirir. Karayollarında önemli olan asfaltın geçirimsizliği ve donma dayanımı gibi özellikler, demiryolunda yerini asfalt stabilitesinin artırılması ve deformasyona karşı dayanıklı olmak gibi özelliklere bırakır. Asfaltın yüklemeye ve sıcaklık farkından oluşan gerilimlere uyum sağlayabilmesi, onu demiryolu yatağı olarak kullanabilmeyi mümkün kılmaktadır. Bunun yanında asfaltın yapısından dolayı

ses ve titreşim betona göre oldukça azdır. Ortalama kalınlığı 25-30 cm arasında değişiklik gösteren bu asfalt tabakası özel karışımlarla geliştirilerek sıradışı hava koşullarında dahi minimum 50-60 yıl kullanım ömrü sağlar [9].

### BTD sistemi

BTD (BetonTragschicht mit Direktaufagerung), beton taşıma tabakası ile mesnetli döşemenin kısaltılmasıdır. Bu sistemde sadece monoblok beton traversler kullanılır. Traversler beton taşıma tabakasının üzerinde bulunur. İki traverste bir, bu beton taşıma tabakasına çelik pim ile sabitlenmiştir. Bu sistemin yatay kuvvetleri dağıtma şekillerine göre ayrıldığı iki versiyonu bulunmaktadır:

- Versiyon 1 (v1)'de, iki traverste bir, traversin orta noktasında sıkıştırma aparatı bulunur.
- Versiyon 2 (v2)'de, iki traverste bir, traversin ortasında çelik kilitleme sistemi bulunur (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10 :** BTD (v2) üstyapı sisteminin en kesiti.

Bu sistemlerden versiyon 1'in günümüzde kullanımı bulunmamaktadır. Versiyon 2'de ise ray kirişinin konumu ayarlandıktan sonra beton taşıma tabakasına bir delik delinir ve çelik kilitleme sistemi bu deliğe geçirilerek sistemi sabitler [6].

### **2.3.2 Traverssiz olarak yapılan mesnetli döşeme sistemi**

#### **2.3.2.1 Prefabrik olarak imal edilenler**

Prefabrik elemanlarla yapılan bu sistemlerde, traversler yerine önceden dökülmüş ön germeli beton paneller kullanılır. Çimento ya da asfalt ile stabilize edilmiş alt tabaka üzerine bu beton paneller yerleştirilerek birbirlerine bağlanır. Boyuna doğrultuda birbirlerine kenetlenen prefabrik beton paneller sayesinde bu sistem, yerinde dökülen betonla oluşturulan hatlara göre daha hızlı işletmeye açılır.

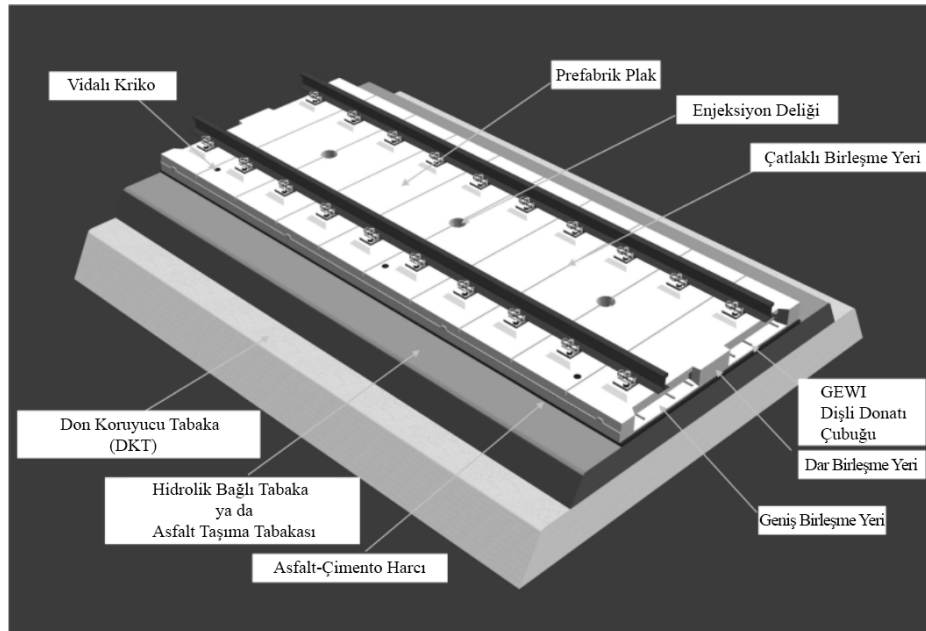
Bu sistem ilk olarak Shinkansen adıyla 1964 yılında Tokyo Olimpiyatları dolayısıyla kullanılmıştır. Yüksek hızlı hatların doğum yeri olan Japonya'da bugün kullanılan balastsız hatların tamamı bu üstyapı tipindedir ve yapılan tüm hatların yaklaşık %70 ila %96'sı balastsız çift hat şeklindedir. Shinkansen sisteminin bir benzeri 1970'li yıllarda Almanya'da geliştirilmiş. Bir Alman inşaat firması olan Max Bögl tarafından geliştirilen sistemin ilk denemesi, 1977 yılında Karlsfeld yakınlarında 160 km/sa hıza uygun olarak 430 m'lik bir hat kısmında yapılmıştır. FF-Bögl ismi verilen bu sistemin deneme sonuçlarından sonra, Alman Demiryolları 300 km/sa hıza kadar olan hatlarda bu sistemin kullanılmasını benimsemiştir [4].

#### **Shinkansen sistemi**

Shinkansen sisteminde 5 m uzunluğunda, 2,3 m genişliğinde ve 16 - 20 cm kalınlığında zayıf donatılı betonarme plaklar kullanılır. Betonarme ya da ön germeli betonarme olarak üretilen bu plakların her biri yaklaşık 5 ton ağırlığındadır. Plakların birbirlerine bağlandıkları yerlerde 40 - 50 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde dairesel sabitleme sistemleri bulunmaktadır (Şekil 2.11). Bu sabitleme elemanları prefabrik plakların enine ve boyuna doğrultuda yer değiştirmelerini önler [12].

Shinkansen üstyapı sisteminin inşaatında öncelikle çimento ile stabilize edilmiş bir alt tabaka oluşturulur. Prefabrik beton paneller bu alt tabaka üzerine yerleştirilip sabitleme elemanları ile birbirlerine kenetlenir. Konumları ayarlandıktan sonra bu paneller geçici destek elemanları ile desteklenir. Daha sonra prefabrik levhalar boyunca, çimento asfalt harcının sızmasını engellemek için kalıplar yerleştirilir. Bu kalıplar yalnızca beton panellerin etrafına değil aynı zamanda iki panelin arasına da





Bögl sisteminin en önemli avantajı, plak üretiminin fabrikada yapılması dolayısıyla, dış etkenlere bağlı olmadan sistemde istenen kaliteye ulaşılmasıdır. Böylece kalite kontrolü de basitleştirilmiş olmaktadır. Bir diğer avantajı da sistem kurulduktan hemen sonra işletmeye açılabilmesidir. Hat, konumu düzgün olarak ayarlandıktan sonra 2 saat içinde işletmeye açılabilmektedir. Ayrıca bakım ve onarım işlemleri sırasında sadece hasar gören parçalar yenileriyle değiştirilerek hat kolaylıkla tekrar işler hale getirilebilmektedir. Bu sistemin en önemli dezavantajı ise fabrikada üretilen beton plakların inşaat alanına taşınması sırasında yaşanmaktadır. Plaklardan bir tanesi yaklaşık olarak 10 ton geldiğinden, kamyonlar bir seferde ancak üç tane plak taşıyabilmektedir. Bu da eğer fabrika ve inşaat alanı arasındaki mesafe fazlaysa maliyeti arttırıcı bir etken olmaktadır [14].

### **2.3.2.2 Tek parça dökölerek imal edilenler**

1990’larda Almanya’da yeni balastsız üstyapı tasarımlarının gelişimi tek parça dökölerek traverssiz olarak üretilen sistemler üzerinde yoğunlaştı. 1996 yılında Alman Devlet Demiryolları, Waghausel-Neulussheim hattındaki Karlsruhe istasyonu ile Mannheim merkez istasyonu arasında kalan Rhine Vadisi boyunca uzanan bölümün yeni balastsız üstyapı tiplerini test etmek için kullanılmasına onay vermiştir. Bu bölümde Grass Track Sistemi, FFC, Hochtief/Schreck-Mieves/Longo, BES, BTE başta olmak üzere toplamda yedi balastsız üstyapı tipinin denemesi yapılmıştır [6].

#### **Grass Track sistemi**

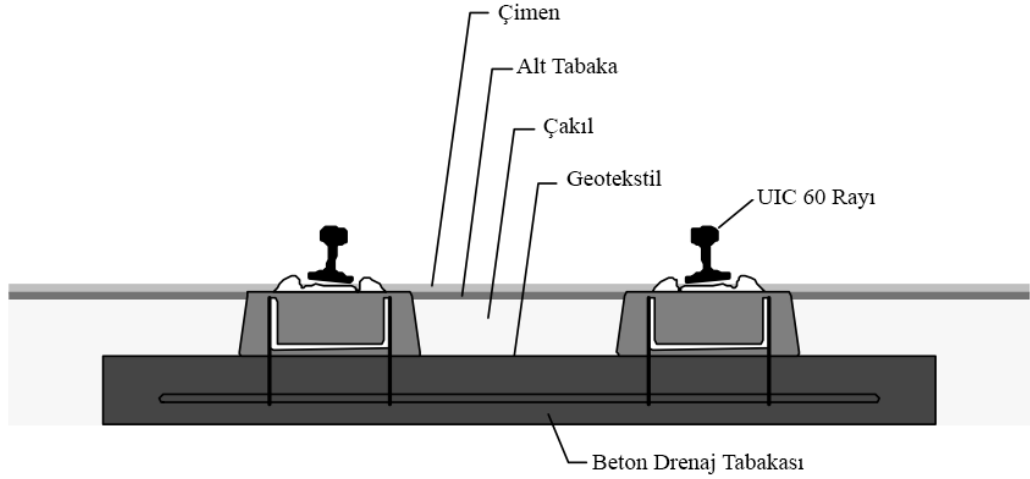
Grass Track sistemi genellikle tramvaylar için kullanılan bir sistem olup daha sonra uzun mesafeli trenlerin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uyarlanmıştır.

Bu sistemde iki tane donatılı beton kiriş uzunlamasına olarak, 30 cm kalınlığında bir su geçirimli beton drenaj tabakasına gömölüdür. Bu kirişler, raylar için destekleyici ve sabitleyici bir görev üstlenirler. Ray bağlantı elemanları mesnet noktalarında kirişlere eklenmiştir. Bu sistemde ray bağlantı elemanları olarak HILTI HRC-DB ray ankraj sistemleri kullanılmıştır. Ankraj sistemi, boyuna kirişler ile drenaj betonunu birbirine bağlamak için kullanılır. İmalat ile ilgili nedenlerden ötürü, boyuna beton kirişleri arasında hattı stabilize etmek için kullanılabilecek bir çarpraz bağlantı bulunmaz. Onun yerine, drenaj betonunda enine donatılar kullanılmıştır. Ayrıca sistemdeki iki boyuna beton kiriş ile üstyapının dış kenarları arasında bir alt tabaka serilerek burada çim tohumları kullanılır kullanılır (Şekil 2.14).

Yükler dolayısıyla hat açıklığında meydana gelen küçük değışimler, uzun süreçte çarpraz bir bağlantının eksikliğinde, hat konumunun stabilitesi ile ilgili gereksinimlerin tamamen karşılanmadığına işaret etmektedir [6].

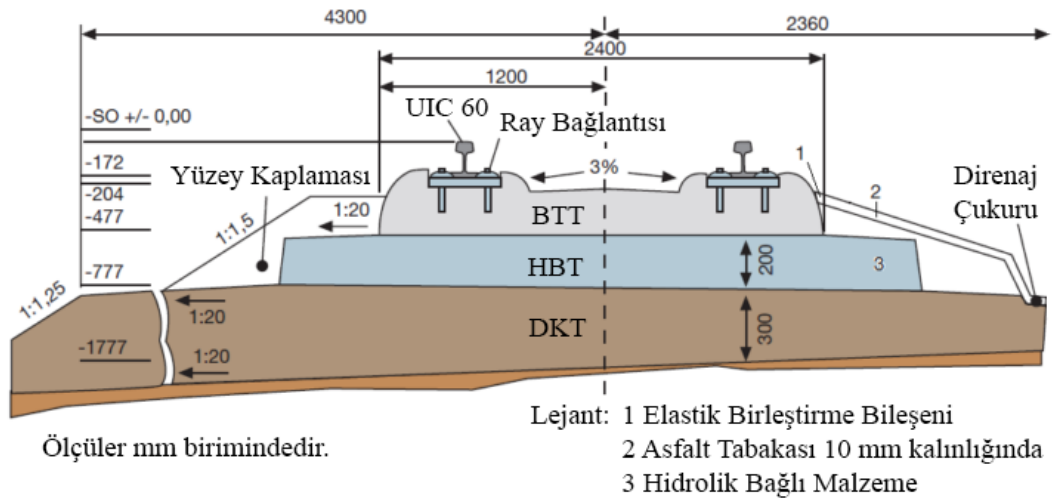
#### **FFC sistemi**

FFC (Feste Fahrbahn Crailsheim) adlı bu sistem, SBI firması tarafından temsil edilmektedir. Bu sistemin yapımı, hazırlanma ve kurulum aşamalarında çok yüksek prezisyon gerekir. Ray bağlantı elemanları için mesnet noktaları, sürekli olarak boylamasına devam eden beton içinde imalat aşamasında oluşturulur ve ray kirişi doğrudan betona tespit edilir. Ray bağlantı elemanlarının ankrajı, prizini almamış



**Şekil 2.14 :** Grass Track üstyapı sisteminin en kesiti.

betonun içine vibrasyonla sokma şeklinde ya da prizlenmiş betondaki delinmiş deliğe yapıştırma şeklinde yapılır. Beton yatak, kayar kalıp ile oluşturulur ve hemen sonrasında özel bir makine ile ray bağlantı elemanlarının ayarlamaları yapılır. Beton yatağın genişliği 2,40 m ila 3,20 m arasında değişebilir. En kesiti Şekil 2.15'deki gibi olan bu sistemde, her üç mesnet noktasından birinde bulunan oluk ile su sistemden uzaklaştırılır [6, 11].



**Şekil 2.15 :** FFC üstyapı sisteminin en kesiti.

### 2.3.3 Sürekli döşeme sistemi

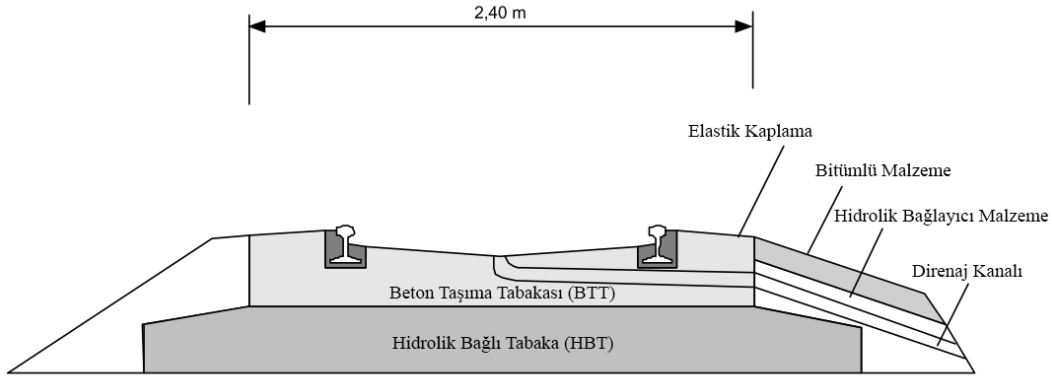
Rayların beton taşıma tabakasındaki çukurların içine gömülü bir şekilde bulunduğu bu tip sistemlerin temel prensibi, rayların sürekli elastik olarak mesnetlenmesidir. Kullanılan bağlantı malzemeleri aynı zamanda sönümleme görevi yaptığından, bu

sistem her tarafından sönümleyici karakterdedir. Dökme ve bağlama işlemlerinden sonra herhangi bir yatay ve düşey ayarlama yapmak mümkün olmayacağından dolayı, bu üstyapı tipinde rayların beton taşıma tabakasındaki çukurların içine tespit edilmesi yüksek prezisyonla yapılmalıdır. Rayların enine eğimleri ve ray mantarlarından olan hat açıklığı, ray bağlantıları yapılırken değerlendirilmelidir [6].

### 2.3.3.1 Sürekli gömülü raylı üstyapı sistemleri

#### Infundo-Edilon sistemi

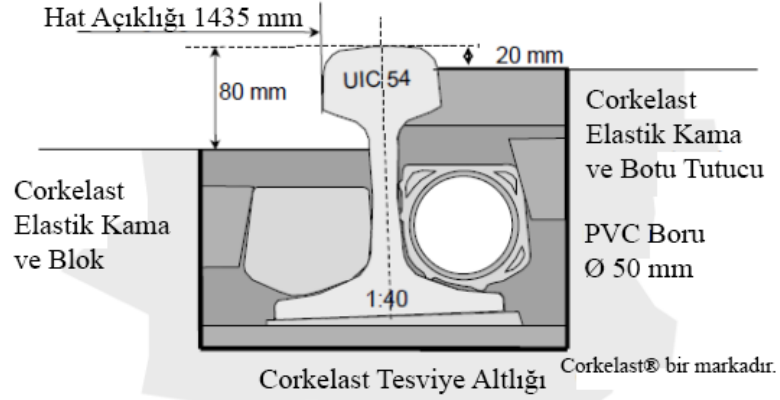
Bu üstyapı tipi ilk olarak Hollanda'da Edilon adı ile 1970'li yıllarda geliştirilmiş olup, daha sonraları bunun üzerine geliştirilen yeni model Infundo adını almıştır. Bu sistemde sürekli olarak beton taşıma tabakasındaki bir çukur içinde bulunan ray, sürekli olarak elastik bileşenler tarafından desteklenmektedir. Beton tabakanın altında kalan kısımlar diğer balastsız üstyapı sistemleri ile benzerlik göstermektedir. Üstyapıya gelen yatay ve düşey kuvvetler yatak pedi ve rayın etrafını saran elastik bileşenler tarafından telafi edilmektedir (Şekil 2.16). Infundo sistemi daha çok tramvay, metro gibi şehiriçi raylı sistemler için tasarlanmıştır [11, 15].



Şekil 2.16 : Infundo-Edilon üstyapı sisteminin en kesiti.

Infundo sisteminde, üzerinde simetrik ve derzsiz dikdörtgen kesitli iki çukur bulunan, 40 cm kalınlığında ve 2,4 m genişliğinde bir donatılı beton taşıma tabakası kullanılmaktadır. Ray bağlantı elemanları bulunmayan bu sistemde, raylar beton tabakadaki çukurların içine elastik altlık üzerine, Şekil 2.17'de görüldüğü gibi PVC boruları ile birlikte yerleştirilir. Elastikiyeti özel olarak ayarlanabilen bu elemanlar, yatay kuvvetleri sönümleyerek deplasmanları önleyici rol üstlenir. Geriye kalan boşluklar elastik malzeme ile doldurulur. Sistemin tamamının elastik malzemelerle

desteklenerek sönümleyici karakterde olması, özellikle gürültü ve titreşime duyarlı çevre koşulları için uygun bir kullanım olanağı sunmaktadır.



**Şekil 2.17 :** Infundo-Edilon üstyapı sistemi ray kesiti.

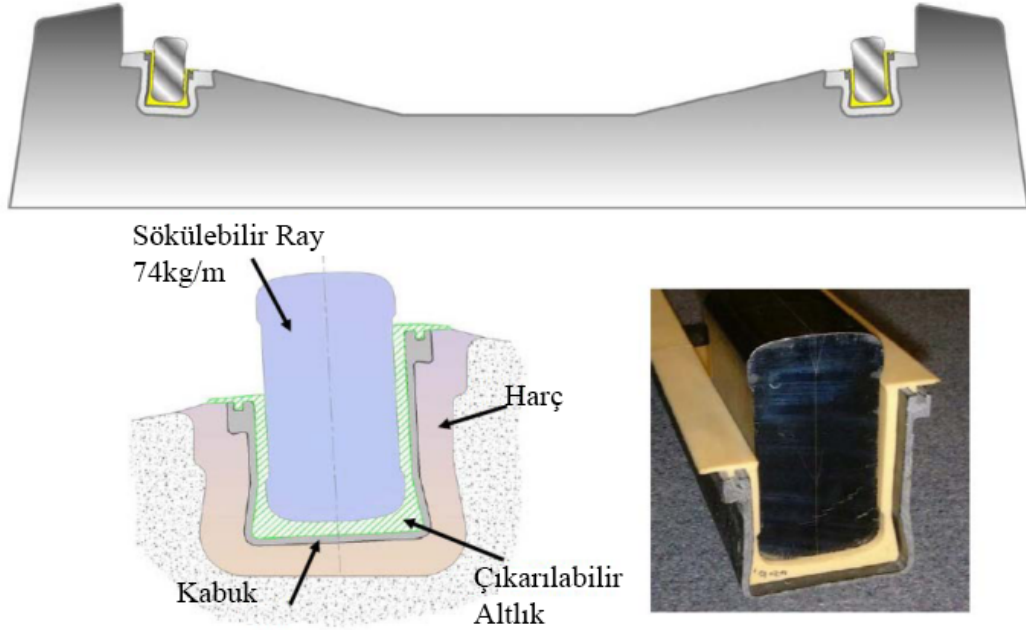
Beton taşıma tabakası içerisindeki oluk sistemi, rayın yüksekliğini, yönünü, eğimini ve hat genişliğini belirleyen temel unsur olduğundan dolayı, bu tabakanın üretimi ve ölçümleri çok yüksek prezisyonla yapılmalıdır. Daha sonra yatayda ve düşeyde herhangi bir ince ayarlama yapmak mümkün değildir. Infundo sisteminin bazı avantajları şunlardır:

- Ray aşınmasını azalttığından dolayı daha zayıf ray profillerinin kullanımına olanak sağlar.
- Gürültü kirliliğini önemli ölçüde azaltır.
- Kullanılan bileşenlerin minimum düzeyde olmasını sağlar.
- Sistemin kısa sürede inşaa edilmesine olanak tanır.
- Karayolu araçlarının ve yayaların geçişine uygun olduğundan hemzemin geçitlerde kullanılabilir.

Infundo üstyapısının temel kullanım alanı Avrupa'daki yüksek hızlı hatlar ve şehiriçi hatlardır. Bununla birlikte özellikle hattın makaslı bölümlerinde ve tünellerde kullanılmak için çok uygun bir sistemdir [6].

## BBERS sistemi

Balfour Beatty firması tarafından 2000 yılında geliştirilen bu sistem ilk olarak 2002’de İspanya’da denenmiştir. BBERS üstyapısının inşaatı, Infundo sistemiyle aynı ilkelere dayanmaktadır. Aralarındaki fark, bu sistemde daha küçük dikdörtgen kesitli ray kullanılmasıdır (Şekil 2.18). Bundan dolayı rayların beton tabakada içerisine girdiği çukurlar çok daha küçüktür ve bu oluklarda rayı sabitlemek için daha farklı elastik destek elemanları kullanılır. Sistemde kullanılan BB14072 isimli ray hem yatay hem de düşey eksenlerden simetriktr. Sonuç olarak yatay ve düşey yönlerde sürekli olarak mesnetlenen bu üstyapı, diğer geleneksel sistemlerdeki gibi yük altında deforme olmaz [16,17].



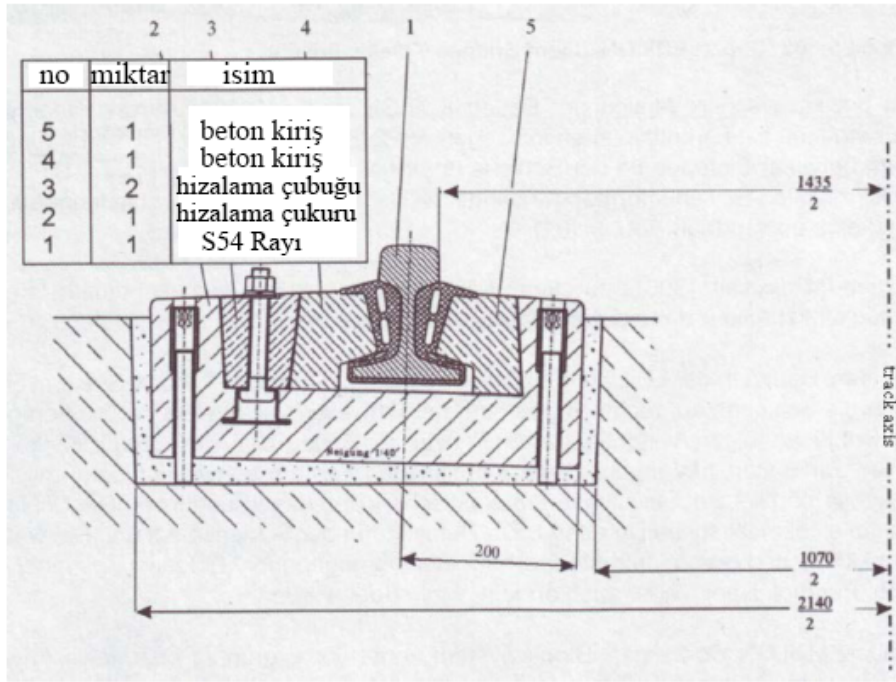
Şekil 2.18 : BBERS üstyapı sisteminin en kesiti.

### 2.3.3.2 Sürekli sabitlenmiş raylı üstyapı

#### SFF sistemi

Ortec tarafından geliştirilen bu sistem Schwingungsgedaempfte Feste Fahrbahn, yani titreşim sönümleyici balastsız üstyapı adıyla anılmaktadır. SFF sisteminde raylar, aynı Infundo sisteminde olduğu gibi beton taşıma tabakasındaki olukların içerisinde elastik yatak üzerinde bulunur ancak rayların konumlarını korumasını sağlamak için

ray gövdeleri oluğun her iki yanına kauçuk parçalar sıkıştırılır (Şekil 2.19). Böylece raylar, ray mantarının altından desteklenmiş ve oluk tabanının üzerinde askıya alınmış olur. Vida yardımıyla hareket edebilen kauçuk parçaları bu şekilde olukların içine yerleştirilip sabitlenebilir. Bu sistem düşey doğrultudaki ufak sapmalara izin verdiği için titreşimleri sönmeler. Sistemin içine giren su ray tabanının altındaki yatay deliklerden dışarı atılır. SFF sisteminin kullanımı şehir içi raylı sistemler ve tüneller ile sınırlanmıştır [6, 11].



Şekil 2.19 : SFF üstyapı sisteminin en kesiti.

### SAARGUMMI sistemi

Sürekli olarak elastik desteklenmiş bu üstyapı sistemi Saar-Gummiwerke GmbH firması tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanıma bağlı olarak beton taşıma tabakasının üzerinde ya da içinde bulunan boyuna traversler kullanılır. Sistemde kullanılan oluklu raylar sürekli olarak elastomerik bileşenler tarafından desteklenir. Hattın yatay ve düşey pozisyonu, hat açıklığı ve eğimi, boyuna traverslerle ayarlanır. Bu sistemin tünellerde ve normal zeminde test edilmesi onaylandığı halde henüz herhangi bir kullanımı gerçekleşmemiştir [6].



### 3. BALASTSIZ ÜSTYAPILARIN APLİKASYONU

Mühendislik çalışmalarında, yüksek doğruluklu büyük ölçekli harita üretimi genellikle inşaat projelerinin planlanmasının ve tasarlanmasının ilk adımıdır. Bir projenin tasarlanmasından sonra, yeryüzüne yüksek mutlak ve bağıl doğrulukta işaretlenmesi gerekmektedir. İşte bir mühendislik yapısının uygulama projesinde tasarlanmış yatay ve düşey geometrisinin, talep edilen doğrulukları karşılayacak şekilde araziye aktarılması işlemine aplikasyon denir [18].

Raylı sistemler gibi yüksek maliyetli mühendislik projelerinde, inşa öncesinde, esnasında ve sonrasında yüksek doğruluk gerektiren bir çok jeodezik ölçme çalışmasına gereksinim duyulur. Bu ölçmelerde kullanılacak üç boyutlu kontrol ağlarının araziye tesis edilmesi, aplikasyon süreci düşünülerek planlanmalıdır. Ağ noktalarının proje boyunca uzun süreler hizmet etmesi beklendiğinden, bu noktalar sağlam ve kalıcı zeminlere uygun nokta tesisleriyle oluşturulmalıdır. Noktaların üç boyutlu konumları, projede talep edilen doğrulukları karşılayacak şekilde belirlenmeli ve noktaların sayıları projeyi ekonomik ve kolay bir şekilde araziye applike edebilmek için yeterli olmalıdır [19, 20].

Genel hatlarıyla düşünüldüğünde tünel uygulamalarını da içeren raylı sistem inşaatları aşağıda sıralanan ölçme uygulamalarını içermektedir [21, 22]:

- Proje alanını kapsayan bir nirengi ağının oluşturulması,
- Nirengi noktaları arasında poligon dizilerinin oluşturulması,
- Nivelman ağının oluşturulması,
- Güzergah haritalarının hazırlanması,
- Tünel tasarımlarının hazırlanması,
- Tünel giriş yapılarının inşaatı için ölçmelerin yapılması,
- Projenin aplikasyonunun yapılması.

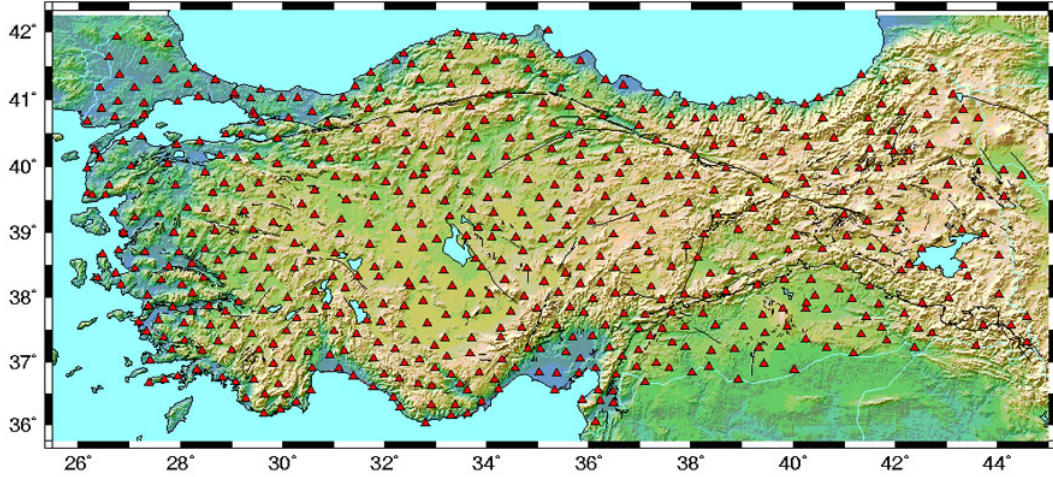
### 3.1 Yatay ve Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması

Küçük mühendislik projelerinde koordinat sistemi yerel olarak tanımlanabilir, ancak büyük ve önemli projeler söz konusu olduğunda ülke, hatta tüm yeryüzü için tanımlanmış koordinat sistemlerinin ve bu sistemlerde üretilmiş koordinatlara sahip noktalar kümesinin kullanılması gerekmektedir. İşte bu ihtiyacı karşılamak için, aplikasyon sürecinin ilk adımı olarak öncelikle proje güzergahını kapsayacak ve talep edilen doğrulukları karşılayacak şekilde nirengi ve nivelman ağları oluşturulmalıdır. Nirengi ağı, bir yeryüzü parçasının belirlenebilmesi için bu parça üzerine uygun bir şekilde dağılmış ve koordinatları ortak bir koordinat sisteminde belirlenmiş noktalar kümesidir. Genellikle yapay uydu konumlama sistemleri (GPS) ile oluşturulan bu ağlar, yüksekliklere ilişkin tam olarak giderilememiş sorunlar nedeniyle yatay kontrol ağı olarak kullanılır ve noktaların yüksekliklerini istenilen doğrulukta belirlemek için ayrı bir düşey kontrol ağı (nivelman ağı) oluşturulur. Güzergah boyunca oluşturulan bu ağlar, proje altlığı olarak kullanılacak büyük ölçekli haritaların üretilmesinde, projelendirmede, aplikasyonda, proje süresince ve sonrasında yapılan deformasyon ölçmelerinde ve gerektiğinde kamulaştırma çalışmalarında kullanılır [18, 20, 23].

Aplikasyon sürecinin ilk adımı olarak proje alanını kapsayacak ve istenilen doğrulukları karşılayacak bir nirengi ve nivelman ağı oluşturulur. Bu ağlar oluşturulurken Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı'ndan (TUTGA) yararlanılır. TUTGA, koordinatları Global Konumlama Sistemi (Global Positioning System-GPS) ile belirlenmiş ve nokta aralıkları 25-50 km olan 594 noktadan oluşur (Şekil 3.1). Bu nokta aralıklarının geoidin hızlı değiştiği bölgelerde 15 km'ye kadar düşmesine rağmen bu sıklık, yol projeleri için son derece yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle aplikasyon ve diğer tüm inşaat çalışmalarının projeye uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için TUTGA'dan faydalanarak yeterli sıklıkta yatay kontrol noktaları oluşturulmalıdır [18].

Nokta sıklaştırması için öncelikle proje alanını kapsayan mevcut jeodezik kontrol noktalarının koordinatları ve yerleri gerekli kurumdan alınır. Çalışma bölgesine ait mevcut halihazır haritalar üzerinde bir ön inceleme yapılır ve sonrasında araziye gidilerek noktaların yerleri kesinleştirilir. Almanya'daki Nuremberg-Ingolstadt hattı örneğinde yapılan balastsız üstyapı aplikasyonu çalışmalarında ana yatay kontrol ağı

1 km sıklıkta GPS ile oluşturulmuştur. Fakat 1 km’lik sıklık aplikasyon işlemleri için yeterli değildir, bu yüzden proje güzergahı boyunca devam eden ve 200 m sıklıkta daha yoğun bir poligon ağı oluşturulmuştur. Ana poligon ağı ile birlikte çok yüksek doğruluktaki bu noktalar oluşturulurken uydusal (GPS) ve yersel ölçmeler yapılmıştır. Bu noktalar inşaat ile ilgili tüm sanat yapılarının (köprü, viyadük, tünel) ve balastsız üstyapının kendisinin inşa edilmesini sağlayacak aplikasyon dayanak noktalarını tesis etmek için kullanılmıştır. Aplikasyon amacıyla oluşturulan bu üçüncü ağıdaki noktalar (aplikasyon dayanak noktaları), hattın iki yanına da 60 m aralıklarla tesis edilmiştir. Yatayda  $\pm 5$  mm doğruluk sağlayan bu noktalar ile birlikte, güvenli ve konforlu bir yüksek hızlı demiryolu hattı (300 km/sa) olan Nuremberg-Ingolstadt hattının inşası için gereken yatay kontrol ağı oluşturulmuştur. [24].



**Şekil 3.1 : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı.**

Benzer işlemler düşey kontrol ağı oluşturmak için de yapılır. Türkiye’de düşey kontrol ağı çalışmalarına 1935 yılında başlanmıştır. Günümüzde uygulamalarda kullanılmak üzere 25680 noktalı Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA) hizmete sunulmuştur. Bu ağda ortalama nokta sıklığı  $30 \text{ km}^2/\text{nokta}$  olup bu noktalar genellikle mevcut kara ve demiryolları yakınlarında bulunmaktadır. Nokta aralıkları yaklaşık 1-1,5 km olduğundan dolayı, yol proje ve inşaat aşamalarında kullanılmak üzere TUDKA noktaları sıklaştırılarak proje alanını kapsayacak bir düşey kontrol ağı oluşturulmalıdır. Bu noktaların yükseklikleri, uyulması gereken sınır hatalara dikkat edilerek presizyonlu nivelman ya da GPS nivelmanı ile belirlenir. Nuremberg-Ingolstadt hattı örneğinde düşey kontrol ağı noktalarının yükseklikleri presizyonlu nivelman ile belirlenmiş olup doğrulukları  $\pm 1 \text{ mm}$ ’dir. Nokta

tesislerinin tamamında, noktaların mümkün olduğu kadar uzun süre yaşayacak şekilde yapılmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca oluşturulan bu yatay ve düşey kontrol ağlarının birçok noktası ortaktır [18, 24].

### **3.2 Yatay Geometri Aplikasyonu**

Yatay geometri aplikasyonu, proje üzerinde tasarımı yapılmış geçki yatay geometrisinin araziye aktarılması eylemidir. Bu işlem ön proje, uygulama projesi ve inşaat aşamalarında yapılır. Geçki yatay geometrisinin araziye aktarımının gerektiği gibi yapılabilmesi için daha önce oluşturulan yatay ve düşey kontrol ağlarındaki aplikasyon dayanak noktaları kullanılmalıdır. Daha sonra talep edilen doğruluk, arazi koşulları, oluşturulan noktalar ile applike edilecek noktaların birbirine göre konumları ve ölçme işlemlerinde kullanılacak donanım dikkate alınarak aplikasyon ölçme yöntemi seçilir [18].

#### **3.2.1 Bağlı aplikasyon**

Bağlı aplikasyonda applike edilecek noktalar, some noktaları, ana noktalar, bisektris noktaları ve ara noktalar olmak üzere hiyerarşik üç gruba ayrılır. Öncelikle detay noktaları ve poligon noktaları dayanak noktası alınarak some noktaları applike edilir. Ana noktaların aplikasyonunda ise dayanak noktaları, birinci adımda applike edilmiş olan some noktalarıdır. Bisektris noktaları ve ara noktalar da some noktalarına ve ana noktalara dayandırılarak applike edilir. Bağlı aplikasyon yöntemi elektronik uzaklık ölçerlerin henüz kullanılmadığı yıllarda uygulanmıştır. Bu yöntemin günümüzde herhangi bir geçki yatay geometrisinin aplikasyonunda kullanılması söz konusu değildir [18].

#### **3.2.2 Koordinatlarla aplikasyon**

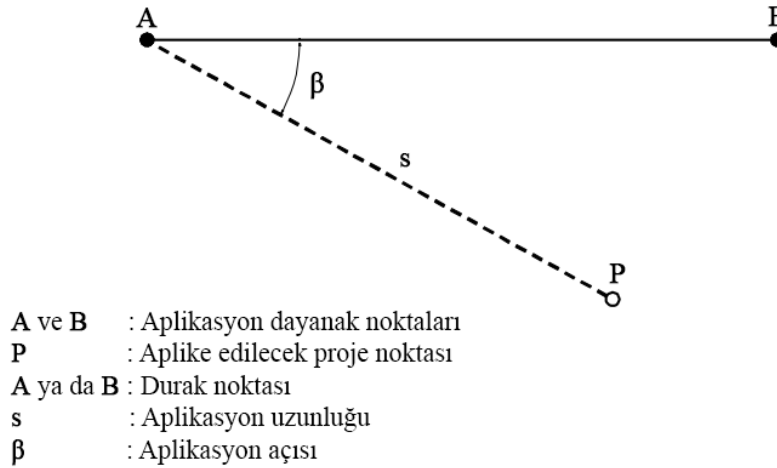
Elektronik takeometrelerin (total station) kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte koordinatlarla aplikasyon son derece önem kazanmış ve çok uygulanan bir yöntem haline gelmiştir. Bu yöntem ile yatay geometri araziye kesikli olarak, yani nokta nokta, aktarılır. Başka bir deyişle bu aplikasyonun temeli nokta aplikasyonudur ve nokta aplikasyonunun yeterli sayıda tekrarlanmasıyla geçki yatay geometrisi araziye aktarılmış olur. Koordinatlarla aplikasyonun yapılabilmesi için, applike edilecek

tüm geçki noktalarının düzlem koordinatları ve seçilen aplikasyon lme yöntemine göre aplikasyon elemanları hesaplanmış olmalıdır. Koordinatlarla yatay geometri aplikasyonunda řu aplikasyon lme yöntemleri uygulanabilir [18]:

- Kutupsal koordinat yöntemi,
- Dik koordinat yöntemi,
- İki aı ile kestirme yöntemi,
- İki uzunluk ile kestirme yöntemi,
- Bir aı - bir uzunluk ile kestirme yöntemi,
- RTK GPS yöntemi.

### 3.2.2.1 Kutupsal koordinat yöntemi

Bu yöntemde applike edilecek bir P noktasının ve aplikasyonda kullanılacak aplikasyon dayanak noktalarının aynı koordinat sistemindeki koordinatları bilinmelidir. Kutupsal koordinat yönteminin geometrisi şekil 3.2’de gösterilmiştir.



**şekil 3.2 :** Kutupsal koordinat yönteminde aplikasyon elemanları.

Bir P noktasının kutupsal koordinat yöntemine göre aplikasyonunda, aplikasyon elemanları s kenarı ile  $\beta$  açısıdır. Aplikasyonun uygulanmasında öncelikle dayanak noktalarından (A, B) biri durak noktası olarak seçilir ve bu noktaya bağlı olarak aplikasyon elemanları (s,  $\beta$ ) hesaplanır. Bu elemanların hesabı A ve B noktalarının bilinen koordinatları ile P noktasının projeden okunan düzlem

koordinatları kullanılarak yapılır. P noktasının yeri kontrollü olarak belirlenmek istenirse C gibi üçüncü bir dayanak noktasından da yararlanılabilir. Böylece P noktası hem B hem de C noktaları kullanılarak iki kez aplike edilmiş olur.

Geçki yatay geometrisinin aplike edilmek istenen tüm noktaları, P noktası için uygulanan işlemler tekrarlanarak araziye aktarılır. Elektronik takeometrelerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte kutupsal koordinat yöntemi yatay geometri uygulamasında en çok kullanılan yöntem haline gelmiştir [25].

Kutupsal koordinat yöntemi kullanılarak yapılan yatay geometri uygulamasında talep edilen doğrulukların karşılanması gerekmektedir. Talep edilen doğruluk, herhangi bir ölçme eyleminden bağımsız olan, yalnızca inşa edilecek yapının niteliklerine bağlı bir doğruluktur ( $\mu_p$ ). Ulaşılan doğruluk ise araziye aplike edilecek P noktasının uygulama elemanlarının ölçmelerini etkileyen hatalar ile dayanak noktalarının nokta konum hatalarının bileşkesidir ( $\sigma_p$ ) [26].

Talep edilen doğruluğun karşılanabilmesi için

$$|\mu_p| \geq |\sigma_p| \quad (3.1)$$

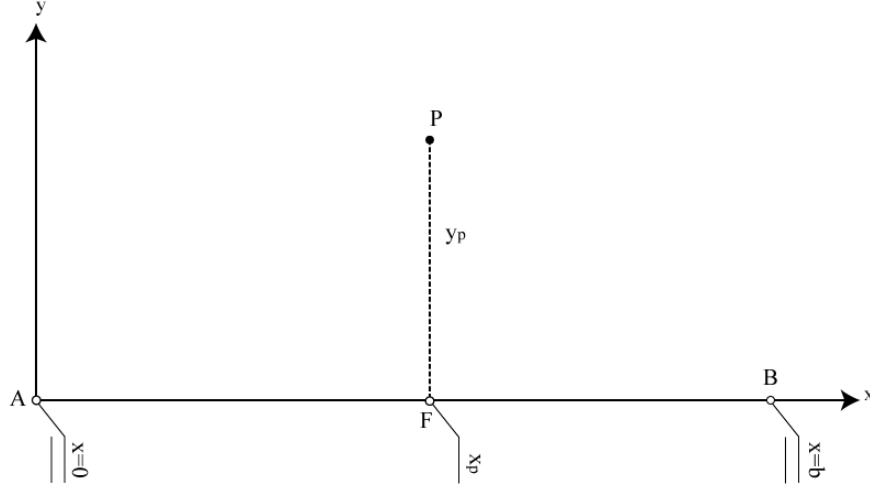
eşitsizliği gerçekleşmelidir.

Kutupsal koordinat yönteminde ulaşılan doğruluğa etki eden hata kaynakları şunlardır [26]:

- Ölçme donanımının kurulduğu dayanak noktasındaki merkezleştirme hatası,
- Aplike edilen noktadaki merkezleştirme hatası,
- Kullanılan ölçme donanımının kalitesi,
- Yatay ve düşey kontrol ağındaki uygulama dayanak noktalarının konum hataları.

### 3.2.2.2 Dik koordinat yöntemi

Bu uygulama yönteminde P proje noktaları yerel olarak tanımlanmış bir dik koordinat sistemi kullanılarak aplike edilir. Bu yöntemde uygulama elemanları, P noktasının yerel koordinat sistemindeki koordinatlarıdır ( $X_p, Y_p$ ). Uygulamanın uygulanabilmesi için proje noktasına yeterince yakın dayanak noktaları olmalıdır (A, B). Yerel dik koordinat sistemi bu dayanak noktalarına bağlı olarak tanımlanır (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3 :** Dik koordinat yönteminde aplikasyon elemanları.

Aplikasyon elemanları  $(X_p, Y_p)$ , A,B ve P noktalarının düzlem koordinatlarından hesaplanır. Dik koordinatlarla aplikasyonda kullanılan ölçme donanımı prizma ve çelik şerit metredir. Bu yöntemde ulaşılabilen doğruluk, yalnızca yerel ve basit aplikasyon işlerinde talep edilen doğruluğu karşılar [18].

### 3.2.2.3 İki açı ile kestirme yöntemi

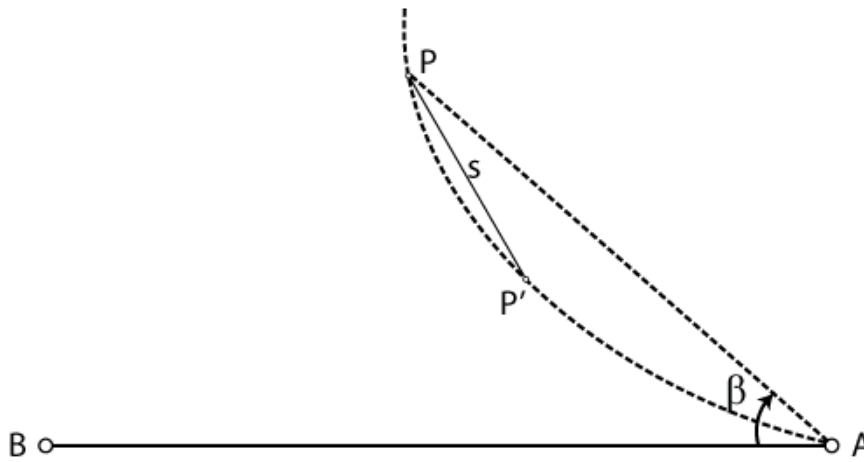
Elektronik uzaklık ölçerler henüz kullanılmadığı yıllarda uzunlukların ölçülmesi büyük sıkıntı yaratmaktaydı. Bu nedenle özellikle yüksek doğruluk gerektiren aplikasyon ölçmelerinde iki açı ile kestirme yöntemi çokça kullanılmıştır. Bu yöntemde aplikasyon elemanları Şekil 3.2'deki  $(\beta_A$  ve  $\beta_B)$  yatay açılarıdır. Yöntemin en büyük zorluğu eş değer iki teodolite gereksinim duyması ve bu donanımların oldukça pahalı olmasıdır. Elektronik takeometrelerin uygulama alanına girmesiyle birlikte yöntem eski önemini yitirmiştir [18].

### 3.2.2.4 İki uzunluk ile kestirme yöntemi

Bu yöntemde kullanılan aplikasyon elemanları Şekil 3.2'deki  $(S_A$  ve  $S_B)$  yatay uzunluklarıdır. İki uzunluk ile kestirme yöntemi, iki eş değer elektronik uzaklık ölçer ile uygulanabilir. Fakat tek alet ile kutupsal koordinat yöntemi kullanılarak aplikasyon yapılabilirken bu yöntemin kullanılması rasyonel değildir.  $(S_A$  ve  $S_B)$  uzunluklarının bir çelik şerit uzunluğundan daha az olduğu durumlarda yöntem iki çelik şerit metre kullanılarak uygulanabilir [18].

### 3.2.2.5 Bir açı - bir uzunluk ile kestirme yöntemi

Bu yöntem elektronik takeometrelerin kullanılmadığı, dolayısıyla büyük uzunlukları ölçmede önemli sıkıntılar yaşanan yıllarda kullanılmıştır. Aplikasyon elemanları  $\beta$  yatay açısı ve s yatay uzunluğudur. Genellikle daire yayı ara noktalarının aplikasyonunda kullanılmıştır. Yöntem yalnızca s uzunluğunun bir çelik şerit uzunluğundan küçük olduğu durumlarda uygulanabilir. Şekil 3.4'teki A daire yayının bir ana noktası, B some noktası, P' daha önce applike edilmiş daire yayı ara noktasıdır. Günümüzde bu yöntemin uygulaması yoktur [18].



**Şekil 3.4 :** Bir açı ve bir uzunlukla kestirme yönteminde aplikasyon elemanları.

### 3.2.2.6 RTK GPS yöntemi

RTK GPS (real-time kinematic global positioning system) gerçek zamanlı kinematik ölçmelerle gerçekleştirilen bir konum belirleme yöntemidir. RTK GPS yöntemi bir bağıl konum belirleme tekniğidir. Bağıl konum belirleme işleminde, koordinatı bilinen noktalar kullanılarak, koordinatı bilinmeyen noktaların koordinatları belirlenir. Bunun için koordinatı bilinen ve bilinmeyen noktalarda eş zamanlı GPS ölçmeleri gerçekleştirilir. Aynı uydu grubundan yapılan bu eş zamanlı ölçmeler sonucunda noktalar arası baz vektörleri belirlenip değerlendirilerek çözüme ulaşılır.

Bu yöntemin kullanılabilmesi için aplikasyon noktası ile dayanak noktası arasındaki uzunluk (baz uzunluğu) 5 km'den az olmalıdır. Nokta sıklaştırması ile oluşturulan proje yatay kontrol ağı bu koşulu sağlamalı ve nokta koordinatları yeterli doğruluğa sahip olmalıdır. Ayrıca dayanak noktası ile aplikasyon noktası arasında radyo

haberleşmesini engelleyebilecek yüksek yer yüzü şekilleri, yüksek yapılar ve yansıtıcı yüzeyler bulunmamalıdır. Aynı zamanda bölgede yüksek gerilim hattı, radyo, televizyon, GSM ya da radar antenleri gibi GPS sinyallerini etkileyebilecek yapılar bulunuyorsa ölçmeler sağlıklı olmayacaktır [27].

RTK GPS yönteminde ölçme donanımı olarak iki ana birim kullanılır. Bunlardan birincisi sabit birimdir. Sabit birim dayanak noktasına kurulur ve aplikasyon ölçmeleri süresince sabit kalır. Bu birimde anten, çift frekanslı GPS alıcısı, radyo alıcısı ve güç kaynağı bulunur. İkincisi ise gezici birimdir. Gezici birim, aplikasyonu yapılacak noktaların ölçmeleri için arazide dolaştırılır. Bu birimde yine anten, çift frekanslı GPS alıcısı, radyo alıcısı ve güç kaynağının yanında el bilgisayarı bulunur. Ölçmelerde bir sabit birime bağlı çok sayıda gezici birim bulunabilir [18].

Aplikasyon işlemini gerçekleştirmek için öncelikle applike edilecek noktaların koordinatları, proje yatay kontrol ağı noktalarıyla aynı projeksiyon düzleminde hesaplanmalıdır. GPS, WGS84 koordinat sisteminde çalıştığı için aplikasyon ve dayanak noktalarının düzlem koordinatları bu sisteme dönüştürülür. Aplikasyon ölçmeleri başlamadan önce dayanak ve aplikasyon noktalarının hesaplanan koordinatları ile anten yükseklikleri sisteme girilmelidir. Ölçme esnasında sabit birim, uydulardan gelen sinyalleri alarak bunları belirli aralıklarla (0,5-2 sn) gezici birimlere gönderir. Geziciler gelen bu verileri, kendilerinin gördüğü uydulardan gelen verileri ve dayanak noktasının bilinen koordinatlarını kullanarak kendi anlık koordinatlarını hesaplar. Applike edilecek noktaların da koordinatları daha önceden sisteme girilmiş olduğundan gezici el bilgisayarı ekranında aplikasyon noktasına ulaşmak için gerekli yer değiştirmeleri görüntülenir. Noktaya bu yönlendirmeler kullanılarak ulaşılır ve nokta applike edilir [18].

RTK GPS yönteminde uygun koşullar altında beklenen doğruluk

$$\begin{aligned} \text{yatayda: } 10\text{mm} + (1.s^{km})\text{mm} \\ \text{düşeyde: } 20\text{mm} + (2.s^{km})\text{mm} \end{aligned} \quad (3.2)$$

dir. Burada  $s$ , dayanak noktası ile aplikasyon noktası arasındaki baz uzunluğudur.

RTK GPS yönteminin diğer aplikasyon yöntemlerine göre üstünlükleri ve eksiklikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Proje yatay kontrol ağı için 5 km kenar uzunluğu yeterli olacağından nokta sıklaştırmasında önemli tasarruf sağlanır.
- RTK GPS ölçmeleri zamana ve hava durumuna bağlı değildir. Günün 24 saatinde, yağışlı havada aplikasyon yapılabilir.
- Bir sabit birime bağlı olarak birden çok gezici kullanılabilir.
- Şehir içlerinde ve ormanlık yerlerde, uydu sinyalleri engellendiğinden dolayı yöntem uygulanamamaktadır.
- Dayanak noktası ile aplikasyon noktası arasında radyo iletişimini engelleyen yapılar varsa yöntem kullanılamamaktadır.
- Yansıma hatalarının modellenememesi yöntemin güvenilirliğini azaltmaktadır.
- (3.2)'deki doğruluk verisi yüksek doğruluk taleplerini karşılamaktan uzaktır.

RTK GPS tüm eksikliklerine rağmen aplikasyonda devrim yaratacak bir yöntemdir ve yakın gelecekte en çok kullanılan yöntem olacaktır [18].

### 3.3 Düşey Geometri Aplikasyonu

Geçki düşey geometrisinin tasarımı, boykesit üzerinden doğru parçaları ile belirli özelliklere sahip eğrilerin uç uca birleştirilmesi ile yapılır. Boykesit, geçki yatay geometrisi boyunca yeryüzünün topoğrafik yapısını gösteren düşey ara kesitleridir. Boykesit altlığı üzerinde tasarımı yapılan geçki düşey geometrisi noktalarının, hesapla bulunan proje yüksekliklerine kırmızı kot adı verilir. Enkesitler ise boykesite dik doğrultuda arazinin topoğrafik durumunu gösterirler. Geçki yatay geometrisinin doğru parçasından oluşan deversiz bölümlerinde, geçkiye dik doğrultuda üstyapının yatay ve düşey geometrisini gösteren tip enkesitler, kırmızı kotlar ve dever uygulamaları ile birlikte üretilen enkesitlere taşınarak yolun geçkiye dik doğrultusundaki geometrisi belirlenmiş olur. Böylece her bir enkesitte tasarımı yapılmış yol geometrisi oluşturularak, tasarım aplikasyona hazır hale getirilmiş olur [18].

Düşey geometri aplikasyonu, diğer adıyla kot verme işlemi, tasarımı tamamlanmış yol düşey geometrisinin araziye aktarılması eylemidir. Geçki düşey geometrisinin araziye aktarımının başarılı olabilmesi için daha önce oluşturulan yatay ve düşey

kontrol ağılarındaki aplikasyon dayanak noktaları kullanılmalıdır. Aplikasyon bölgesine yeterince yakın olması gereken bu düşey dayanak noktalarının yükseklikleri dengeleme hesabı ile üretilmelidir. Çünkü bu durumda nokta yüksekliklerinin standart sapmaları da belirlenir ve bunlar ulaşılan doğruluk hesabında kullanılır [18].

Düşey aplikasyon ile yatay aplikasyon arasındaki önemli farklardan biri, yatay aplikasyonun projelendirilmenin değişik aşamalarında uygulanabilirken, düşey aplikasyonun yatay aplikasyon ile birlikte inşaat aşamasında uygulanabilmesidir. Düşey aplikasyon aslında inşaat ilerledikçe yapılan bir yükseklik kontrolüdür. Bu işlem inşaatın belirli aşamalarında birçok kez ve nokta nokta yapılır. Günümüzde düşey aplikasyonda şu ölçme yöntemleri kullanılmaktadır [18]:

- Presizyonlu geometrik nivelman,
- RTK GPS,
- Elektronik takeometri.

### 3.3.1 Presizyonlu geometrik nivelman

Noktalar arasındaki düşey uzaklık farklarının, yani yükseklik farklarının, nivo adı verilen ölçme donanımları kullanılarak belirlenmesi işlemine geometrik nivelman adı verilir. Presizyonlu geometrik nivelmanda, hassas yatay gözlemeler yapabilen nivo ile yükseklik farkları bulunacak noktalar üzerinde düşey olarak tutulan ve mira adı verilen latalara ölçmeler yapılır. Arazideki A ve B gibi iki nokta arasındaki yükseklik farkını bulmak için, nivo ile A noktasındaki miraya geri mira okuması (g) ve B noktasındaki miraya ileri mira okuması (i) yapılır. Bu durumda A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı, geri mira okuması ile ileri mira okuması arasındaki farka eşit olur (Şekil 3.5).

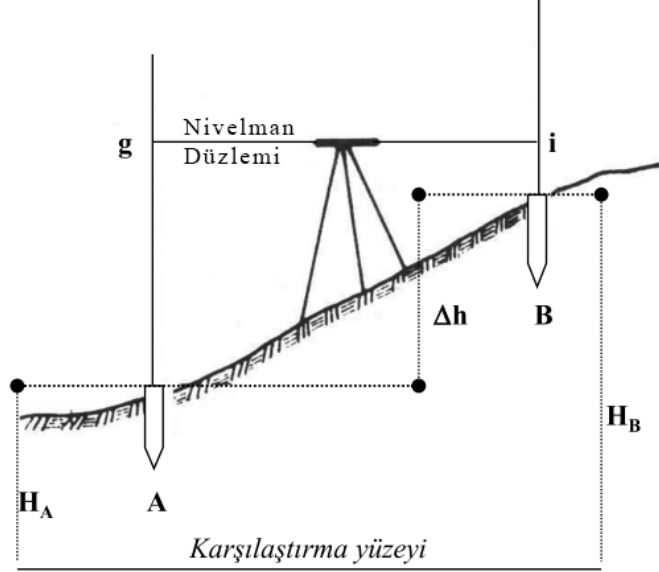
Presizyonlu geometrik nivelmanla düşey aplikasyon, sadece çok yüksek doğruluk talep edilen sanat yapısı yükseklik kontrollerinde gündeme gelebilir. Bir P proje noktasının yüksekliği

$$H_P = H_A + \sum_{i=1}^n \Delta h_i \quad (3.3)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada  $\Delta h_i$  bir nivo kurmada ölçülen yükseklik farkı,  $n$  nivo kurma sayısıdır . Bu yöntem ile ulaşılan doğruluk ise

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + n\sigma_{\Delta h}^2} \quad (3.4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $\sigma_{\Delta h}$ ,  $\Delta h_i$  yükseklik farkının standart sapması olup ölçme boyunca değişmediği varsayılır.  $\sigma_{H_A}$  ise kontrol ağındaki A aplikasyon dayanak noktasının standart sapmasıdır [18].



**Şekil 3.5 :** Prezisyonlu geometrik nivelman ölçme modeli.

Presizyonlu geometrik nivelman tekniği kullanılarak düşey aplikasyonda  $\pm(0,2 - 0,8)mm / \sqrt{S}(km)$  doğruluğa ulaşılabilir. Bu doğruluğa etki eden hata kaynakları şunlardır [28]:

- Ölçme donanımlarından (mira ve nivolardan) kaynaklanan hatalar,
- Atmosferden ve fiziki yeryüzünden kaynaklanan hatalar,
- Yatay ve düşey kontrol ağındaki aplikasyon dayanak noktalarının yükseklik hataları.

### 3.3.2 RTK GPS

Bu ölçme yönteminde noktaların üç boyutlu konumları elde edilir. Bu nedenle Bölüm 3.2.2.6'da anlatılanlar burada da geçerlidir. RTK GPS yöntemiyle belirlenen

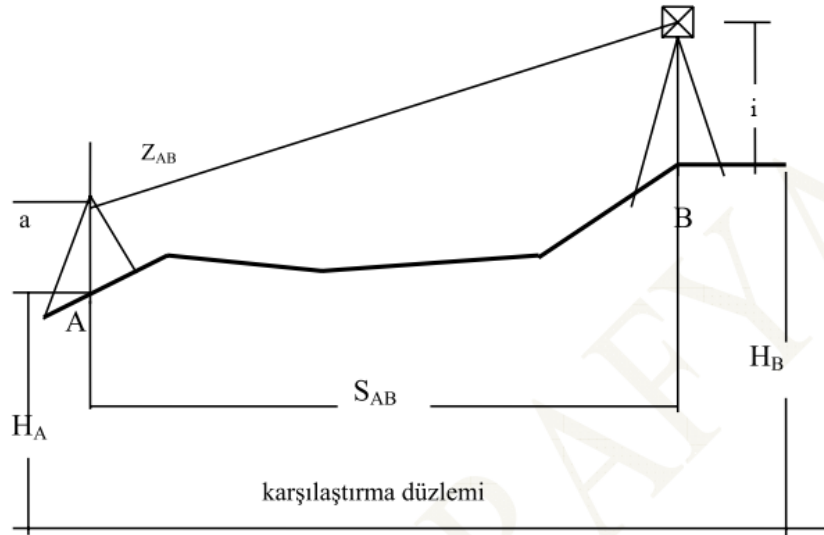
yüksekliklerde ulaşılan doğruluk

$$\sigma_H^{mm} = 20mm + 2.S^{km} \quad (3.5)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada  $s$ , A dayanak noktası ile aplikasyon noktası arasındaki uzaklıktır. Bu veriye göre RTK GPS yöntemi altyapı toprak işi çalışmalarına ilişkin yükseklik kontrollerinde kullanılabilir [18].

### 3.3.3 Elektronik takeometri

Günümüzde yatay ve düşey aplikasyonda genellikle bu yöntem kullanılmaktadır. Elektronik takeometre ile düşey aplikasyonun temeli tek yanlı trigonometrik nivelmandır. Trigonometrik nivelman, düşey açı ve uzunluk ölçmeleriyle yükseklik farkı belirleme yöntemidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Trigonometrik nivelman ölçme modeli.

Bu yöntem ile düşey aplikasyonda, elektronik takeometre A dayanak noktasına kurulur ve P proje aplikasyon noktasında tutulan reflektör gözlenerek iki nokta arasındaki  $s$  eğik uzunluğu ve  $Z$  başucu açısı ile  $a$  alet yüksekliği ve  $i$  reflektör yüksekliği ölçülür.  $s$  yeteri kadar küçükse P noktasının yüksekliği

$$H_P = H_A + a - i + s \cdot \cos Z \quad (3.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu yöntem ile ulaşılan doğruluk ise şu eşitlikle bulunur [18];

$$\sigma_H = \pm \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_i^2 + \sigma_s^2 \cos^2 Z + \sigma_z^2 s^2 \sin^2 Z} \quad (3.7)$$

$\sigma_a$  ve  $\sigma_i$  : alet ve yansıtıcı yüksekliklerinin standart sapması:  $\sigma_a = \sigma_i = \pm 0,5mm$ ;

$\sigma_s$  : eğik uzunluğun standart sapması: alet üreticileri tarafından verilir;

$\sigma_Z$  : düşey açının standart sapması: alet üreticileri tarafından verilir.

$\sigma_{H_A}$  : kontrol ağındaki A aplikasyon dayanak noktasının standart sapmasıdır.

## 4. BALASTSIZ ÜSTYAPILARDA DEFORMASYON ÖLÇMELERİ

### 4.1 Deformasyonun Tanımı

Yeryüzünde ve atmosferde meydana gelen geçici veya kalıcı özellikteki fiziksel değişimlerin, mühendislik yapıları ile bu yapıların çevrelerinde oluşturduğu konum ve şekil değişikliklerine, genel anlamda deformasyon denilmektedir. Özellikle baraj, tünel, köprü, viyadük, raylı sistem hatları gibi büyük mühendislik yapıları ve çevrelerinde oluşan deformasyonların sürekli izlenmesi gerekir. Böylece deformasyonlardan kaynaklanabilecek sosyal ve ekonomik zararlara karşı zamanında önlem alma imkanı doğmuş olur. Yapılarda meydana gelen deformasyonların ya da yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi amacıyla yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri denilmektedir. Bu ölçmelerin değerlendirilip deformasyonların belirlenmesi ve yorumlanması ise deformasyon analizi olarak adlandırılır.

Bir mühendislik yapısında ya da çevresinde deformasyona neden olabilecek temel faktörler:

- Zeminin fiziksel özellikleri,
- Bölgedeki yerkabuğu hareketleri,
- Yapının kendi ağırlığı ve kullanılan malzemenin türü,
- Yapıya etkiyen hareketli dış yükler (trafik yükü ve rüzgâr kuvveti vb.),
- Jeolojik ve atmosferik bir takım etmenler,
- Suyun dinamik basıncı

olarak sıralanabilir. Jeodezik anlamda bakıldığında, bir bölgede ya da yapı üzerinde seçilen karakteristik bir  $P_i$  noktasının konumu,  $t_1$  ve  $t_2$  gibi iki farklı zamanda yapılan ölçmeler sonucunda  $P_i(t_1)$  ve  $P_i(t_2)$  şeklinde belirlenebiliyorsa ve bu iki değer arasındaki farkın istatistik olarak sıfırdan farklı olduğu kanıtlanabiliyorsa, bu deformasyon olarak tanımlanır [29].

## **4.2 Raylı Sistemlerde Meydana Gelen Deformasyonlar**

Demiryolu hattı işletmeye açıldıktan bir süre sonra güvenliği ve konforu etkileyen deformasyonlar meydana gelir. Bu yüzden işletme güvenliğinin ve konforunun belirli bir düzeyde kalmasını sağlamak için bu deformasyonların belirlenip gerekli bakımların yapılması gerekmektedir. Demiryolu hattında oluşan deformasyonları malzeme deformasyonları ve geometrik deformasyonlar olarak iki gruba ayrılabilir. Malzeme deformasyonları ile geometrik deformasyonlar birbirlerinden bağımsız değildir. Hat geometrisi bozulduğunda hat direnimi artar ve bu da malzemelerin deformasyonuna neden olmaktadır. Bakım çalışmalarının kalitesi arttıkça bu deformasyonlar daha geç meydana gelir [4].

### **4.2.1 Malzeme deformasyonları**

Rayda oluşan deformasyonlar ray aşınması, rayda ve ray kaynağında oluşan kusurlardır. Ray kusurları genellikle küçük kusurlardan veya gerilme yoğunluğundan dolayı başlayan çatlakların zamanla yorulma etkisi altında ortaya çıkmasıdır [4].

#### **4.2.1.1 Ondülasyonlar**

Ray üst yüzeyi üzerinde az ya da çok periyodik biçimlerde oluşan düzlemsel bozukluklardır (Şekil 4.1). Kısa mesafeli ondülasyonlar dalga boyları 3-8 cm ve derinliği 0,1-0,4 mm olan oluklardan meydana gelir. Ray yüzeyindeki bu oluklu yüzey birçok negatif etkiye sebep olur. Bunlar:

- Yüksek frekanslı titreşim,
- Ray gerilmelerinin artması,
- Beton traverslerde rayın oturduğu kısımlarda çatlama,
- Ray bağlantılarının gevşemesi,
- Ray pedi ve klipslerde aşınmanın artması,
- Gürültü artışı.

Büyük mesafeli ondülasyonların dalga boyu ise 8-30 cm arasında ve derinliği 0,3-1,0 mm arasında değişir. Genellikle 600 m ya da daha küçük yarıçapı olan kurplardaki

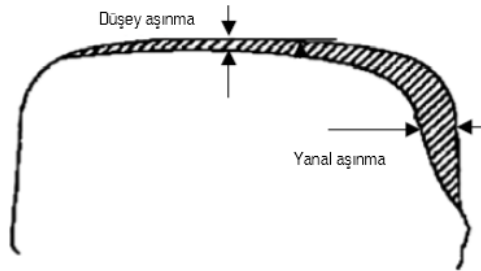


**Şekil 4.1 :** Ondülasyonlar.

iç raylarda meydana gelir. Bu tür aşınmalar genellikle benzer trafik işletimi bulunan banliyö ve metro hatlarında görülür. Bunun sebebi bu hatlarda genelde tek tip trenlerin işletilmesidir. Bu deformasyonlar çıplak gözle ya da özel ekipmanla tespit edilebilir. [5].

#### **4.2.1.2 Yanal aşınma**

Rayların aşınması, ray mantarının şekli, bandaj profili, kurpların yarıçapı, ray çeliğinin dayanımı ve trafik yükü gibi birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlisi, dar kurplarda dış ray mantarında tekerlek budenlerin vurması sonucu oluşan yanal aşınmadır. Tren seyri sırasında tekerlekleri konikliğe de bağlı olarak yalpalayıp zigzag çizerler. Bu sırada buden ray mantarının yan yüzeyine sürterek onun aşınmasına neden olur (Şekil 4.2). Demiryolu idareleri bu aşınmayla ilgili limitleri belirlemiştir ve bu limitlere göre gerektiğinde önlemler alınmalıdır. Bu limitlerin aşımında derayman riski ortaya çıkar [5].



**Şekil 4.2 :** Yanal ve düşey aşınma.

#### 4.2.1.3 Yuvarlanma yüzeyi parçalanması

Rayın yuvarlanma yüzeyinin dereceli olarak ayrışmasıyla meydana gelir. Bu kusurun kaynağı, ray imalat işlemlerindeki hatalardır. Problem ilerlemişse hat bakımı incelemeleri sırasında tespit edilir ve bakım döneminde ray yenisiyle değiştirilir [5].

#### 4.2.1.4 Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması

Üretim ile ilgili kusurlara bağlı olarak meydana gelir. Bölgesel bir hata olmayıp geniş bir alanda görülür (Şekil 4.3). Kabuklanmalar başlamadan önce yüzeyde düzensiz deformasyonlar gözlenir ve sonrasında kabuklanma oluşur. Kabukların enkesitleri oldukça değişkenlik gösterir. Bu hata çıplak gözle ya da ultrasonik cihazlarla tespit edilir. Kaynak dolgu ile ya da ray değiştirmesi ile giderilir [5].



Şekil 4.3 : Yuvarlanma yüzeyinin kabuklanması.

#### 4.2.1.5 İç köşe kabuklanması

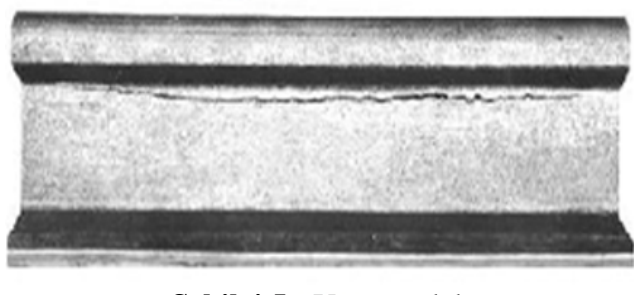
Bu kusurda önce ray mantarının iç kısmının köşesinde dağınık olarak uzun koyu noktalar gözlenir (Şekil 4.4). Bu noktaların altındaki metalin ayrışması ilk belirtisidir. Daha sonra yan kenarlarda çatlama ve kabuklanmalar başlar. Son olarak iç köşede kabuklanmalar olur. Bunlar genellikle kurplarda dışta kalan ve yan al aşınmayı önlemek için yağlanmış olan raylarda meydana gelir [5].



**Şekil 4.4 :** İç köşe kabuklanması.

#### **4.2.1.6 Yatay çatlak**

Rayın yuvarlanma yüzeyinde görülen yatay çatlaklardır (Şekil 4.5). Bu hata üretim aşamasında oluşan iç süreksizliklerden kaynaklanır. Önlem alınmazsa yuvarlanma yüzeyinin kabuklar halinde soyulmasına neden olur. Bunlar gözle ya da ultrasonik cihazlarla tespit edilir. UIC 725 R standardına göre yatay çatlak boyu 20 cm'den uzun ve yön değiştiriyorsa rayın kesilmesi gerekmektedir [5].



**Şekil 4.5 :** Yatay çatlak.

#### **4.2.1.7 Boyuna dikey çatlak**

Bu hata ray üretiminden kaynaklanır. Ray sonlarında ve ray ortalarında, mantarda veya gövdede düşey çatlaklar şeklinde meydana gelir (Şekil 4.6). Zaman içinde bu düşey çatlaklar büyüyerek ray mantarını ikiye bölebilirler. Tespiti ultrasonik ekipmanla yapılır ve farkedildiği anda rayın değiştirilmesi gerekmektedir [5].



**Şekil 4.6** : Boyuna dikey çatlak.

#### **4.2.1.8 Kaynak kusurları**

Kaynak merkezlerinden iki tarafa doğru 10 cm alan içerisinde kalan kusurlar kaynak kusurları olarak değerlendirilir. Alın kaynaklarında mantar veya taban kısmında başlayan yanal yöndeki çatlaklar veya gövdeyi geçen eğri şeklindeki çatlaklar oluşur. Termit kaynaklarda ise yatay yönde çatlaklar vardır, genellikle kaynaktan önce ray başında kesme işlemi yapılmayan durumlarda cebire deliklerinden başlar. Kaynak dolgu hatasından veya kaynak malzemesini yapışma kusurundan dolayı yüzeyde kabuklanma kusuru oluşmaktadır [4].

#### **4.2.2 Geometrik deformasyonlar**

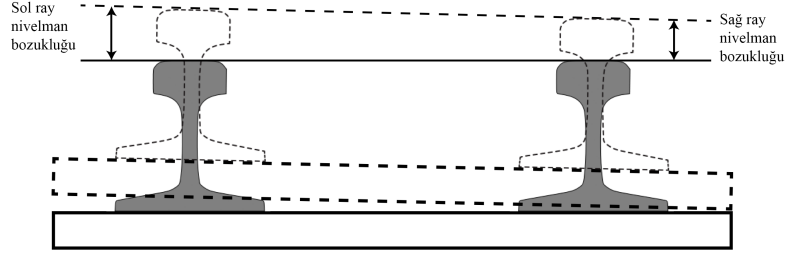
Raylı sistem hattı geometrisinin olması gereken geometrik konumdan sapması geometrik deformasyon olarak adlandırılır. Bu geometrik deformasyonlar, düşey geometrinin bozulması ve yatay geometrinin bozulması olarak sınıflandırılabilirler.

##### **4.2.2.1 Düşey geometrinin bozulması**

Demiryolu hattında meydana gelebilecek düşey yöndeki geometrik deformasyonlar; nivelman bozulması, dever bozulması ve burulmadır.

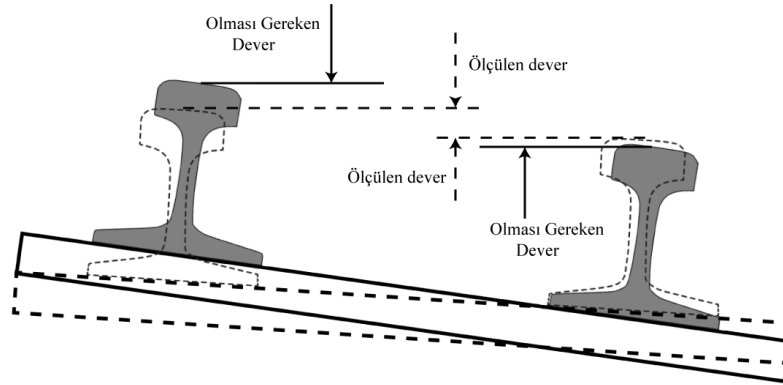
*Nivelman bozulması:* Demiryolu hattında teorik kot değerleri ile gerçek kot değerleri arasında farklılık oluşmasıdır. Her bir ray için ayrı ayrı hesaplanması gereken bu deformasyon, rayların üst kotlarının olması gereken değerlerden düşüklüğünü veya yüksekliğini gösterir (Şekil 4.7). Nivelman bozulması, düşey yüklerin hat kalitesini

etkilediğini gösteren en iyi örnektir ve hat bakım masraflarının önemli bir kısmını oluşturur.



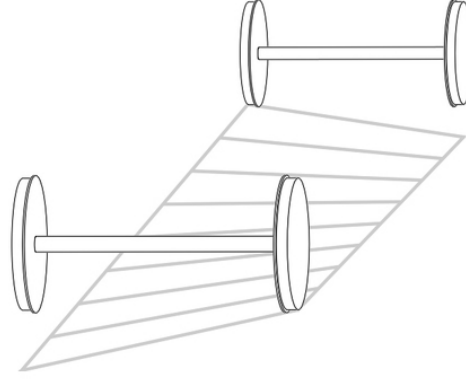
**Şekil 4.7 : Nivelman bozulması.**

*Dever bozulması:* Kurplarda araçlara etki eden merkezkaç kuvvetini dengelemek için dış rayın iç raya göre yükseltilme değerine dever adı verilir. R yarıçaplı bir kurpta V hızıyla giden bir araca etki eden merkezkaç kuvvetini tamamen yok etmek için gerekli dever teorik deverdir. Ancak teorik dever tek bir hıza göre hesaplandığından, hem yolcu hem de yük trenlerinin işletildiği klasik demiryolu hatlarında bu deveri uygulamak mümkün değildir. Bundan dolayı iki koşul arasında hem yüksek hızlı trenlerde yolcu konforunu sağlayacak hem de düşük hızlı yük trenlerinde sorun çıkartmayacak uygun bir dever seçilir ve uygulanır. Bu orta dever değerine normal veya asıl dever denir. Demiryolu hatlarında deverde meydana gelen bozulmalar dever bozulması olarak adlandırılır (Şekil 4.8). Bu bozulmanın derecesi, olması gereken dever miktarından ölçülen dever miktarının çıkarılmasıyla elde edilir.



**Şekil 4.8 : Dever bozulması.**

*Burulma:* Bir hat düzleminde bir noktanın düzlemden oluşturduğu sapmadır (Şekil 4.9). Burulma, nivelman bozukluğu, dever bozukluğu ve gizli boşluklardan kaynaklanır. Demiryolu hattında meydana gelen burulma miktarı hiçbir zaman ‰5 sınırını aşmamalıdır. Burulma, düşük ve orta hızlarda deraymanın en önemli nedenlerinden biridir [4].

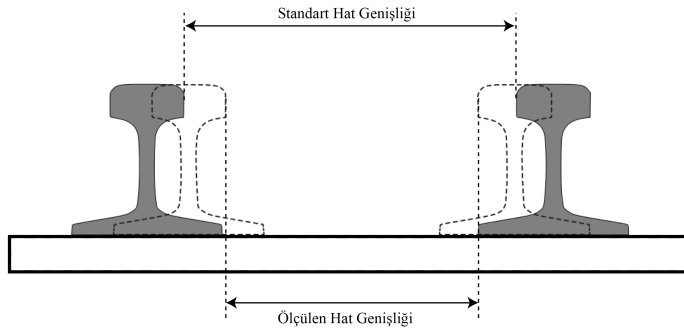


**Şekil 4.9 : Burulma.**

#### 4.2.2.2 Yatay geometrinin bozulması

Yatay geometride ray ve tekerler arasında sabit bir ilişki olmadığından, burada meydana gelen bozulmalar, düşey geometrideki bozulmalara göre daha karmaşıktır. Demiryolu hattında meydana gelebilecek yatay yöndeki deformasyonlar; ekartman bozulması ve dresaj bozulmasıdır.

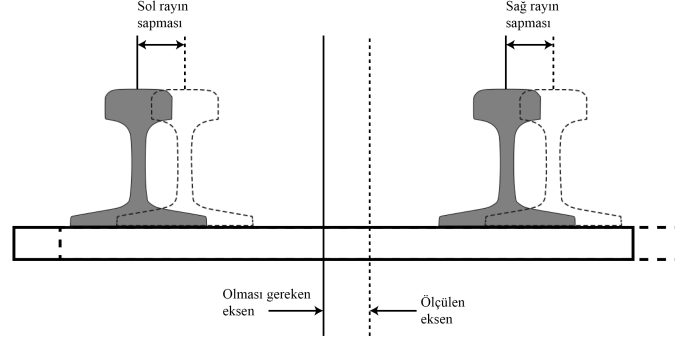
*Ekartman bozulması:* Ray üzerinden 14 mm aşağıdan ölçülen ray iç kenarları arasındaki mesafeye ekartman adı verilir. Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan standart ekartman 1435 mm değerindedir. Bu hat genişliğinin standart değerden sapması ekartman bozulması olarak adlandırılır (Şekil 4.10). Bu bozulma standart hat genişliğinden ölçülen hat genişliğinin çıkarılmasıyla bulunur. Ekartman toleransı +10 mm ile -3 mm arasındadır. Dar kurplarda araçların rahat geçmesini sağlamak ve kurbun dış ray mantarındaki yanal aşınmayı azaltmak için ekartman artırılır ve bu fazla ekartmana sürekartman denir.



**Şekil 4.10 : Ekartman bozulması.**

*Dresaj bozulması:* Hattın teorik konumundan yatay doğrultuda sapmasıdır. Başka bir deyişle, her iki rayın hattın merkezine göre yatayda yaptığı yer değiştirmedir (Şekil

4.11). Bu yer değiştirme her bir ray için ayrı ayrı hesaplanır. Dresaj bozulması, yanal etkilere ve işletme aracının özelliklerine bağlıdır [4].



şekil 4.11 : Dresaj bozulması.

### 4.3 Jeodezik Yöntemlerle Deformasyon Ölçmeleri

Raylı sistemlerde meydana gelen geometrik değişimleri, çevresindeki hareketleri ve bu hareketlerin sisteme etkisini belirlemeye yönelik yapılan ölçmelere deformasyon ölçmeleri denir. Demiryolu hatlarında meydana gelebilecek deformasyonların sonuçları, insan hayatını ve onun güvenliğini yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, bu yapıların ve çevresindeki geometrik değişimlerin izlenmesi, belirlenmesi ve tanımlanması son derece önemli hale gelmektedir. Deformasyon ölçmelerinin řu sonuçlara katkı sağlaması beklenir:

- Yapının kendisine ve çevresine zararlı olabilecek geometrik değişikliklerin önceden belirlenebilmesine,
- Belirlenen geometrik deęiřikliklere yönelik güvenli ve uygun çözüm yöntemlerin uygulanmasına,
- Yapı ve çevresindeki zeminin davranışları hakkında teorik hipotezlerin kontrolüne, değerlendirilmesine ve geliştirilmesine.

Jeodezik yöntemlerle deformasyon ölçmeleri, yatay ve düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesine ve bu amaç için oluşturulmuş kontrol ağlarında, periyodik olarak yapılan klasik veya GPS ölçmelerinin değerlendirilmesine dayanır [25].

### 4.3.1 Yatay yönlerdeki deformasyonların belirlenmesi

#### 4.3.1.1 Jeodezik kontrol ağı yöntemi

Deformasyonların belirlenmesi için kullanılan en presizyonlu yöntem nirengi ağı yöntemidir. Bunun için deformasyon ölçmeleri yapılacak alanı kapsayacak şekilde Bölüm 3.1’de açıklandığı gibi bir yatay ve düşey kontrol ağı oluşturulmalıdır. Bu ağda dört çeşit nokta kullanılır.

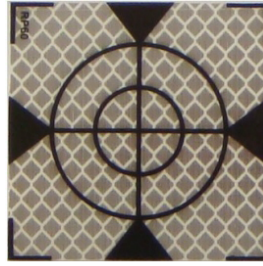
*Ölçme noktaları:* Kontrol noktaları da denen bu noktalar, üzerinde ölçmeler yapılacak olan nirengi ağı noktalarıdır. Deformasyonu belirlenecek obje noktalarının (deformasyon noktası) gözlenmesi amacıyla bu noktalara yakın yerlere tesis edilen ve üzerine alet kurulabilen noktalardır. Bu noktalar deformasyon beklenen alanların dışına sağlam bir zemine tesis edilmelidir. Genellikle donatılı beton pilye olarak tesis edilirler (Şekil 4.12). Pilye yüzeyleri beyaza boyanarak, sert plastik malzeme veya ahşap ile kaplanarak dış etkenlerden korunur.



**Şekil 4.12 :** Nirengi ağı ölçme noktası.

*Obje noktaları:* Deformasyon noktası da denen bu noktalar, deformasyonu belirlenecek olan yapı üzerinde seçilen karakteristik noktalardır. Bu noktaların işaretleri, büyüklük ve şekil bakımından, ölçme yöntemine ve kontrol ağının yapısına uygun olarak belirlenmelidir. Obje noktaları, hedef levhaları ya da direkt olarak yapı üzerine monte edilebilirler. Düşük doğruluğun yeterli olduğu ölçmelerde bu noktaların işaretlenmesine gerek kalmaz.

*Yöneltme noktaları:* Tüm nirengi ağının hareketlerini belirlemek ve böylece ölçme doğruluğunu arttırmak amacıyla tesis edilen, hareketsiz olarak kabul edilen noktalar. Bu noktalar sadece yöneltme için kullanıldığından ve üzerine alet kurulmadığından pilye olarak tesis edilmezler. Üzerlerine yerleştirilecek hedef levhası ölçme işlemi için yeterli olur (Şekil 4.13). Ölçme noktalarından yöneltme noktalarına olan doğrultular belirlenir ve oluşturulan ağın deformasyona uğrayıp uğramadığı belirlenir. Ölçme noktaları ve yöneltme noktaları deformasyon ölçmelerinde kullanılan sabit noktalar.



**Şekil 4.13 :** Yöneltme noktası.

*Sigorta noktaları:* Kontrol noktalarının olası deformasyonlarının büyüklüğünü ve yönünü belirlemek için tesis edilen noktalar. Ölçme noktalarının 10-20 m yakın çevresinde bulunmalıdırlar ve ölçme noktalarının etrafına homojen şekilde dağılmalıdırlar.

Kontrol ağı oluşturulduktan sonra deformasyon ölçmelerinin yapılma aşamasına geçilir. Bu ölçmeler yapılmadan önce, ölçme yapılacak donanımın kontrol ve kalibrasyon işlemleri yapılmalıdır. Ölçmeler atmosfer etkilerinin en az olduğu saatlerde yapılmalıdır. Ayrıca ölçme esnasında deformasyonların gerçekleşmediği varsayıldığından ölçme işleri mümkün olduğunca kısa sürede tamamlanmalıdır. Deformasyon ölçmeleri yapılacak donanım, beklenen deformasyonun büyüklüğü, talep edilen doğruluk, alet ve insan gücünün maliyeti göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Ölçme işlemi esnasında daha sonra değerlendirme kriteri olması açısından hava sıcaklığı, rüzgar hızı, yapının ısı ve ölçme saati not edilmelidir [30].

#### **4.3.1.2 Hassas poligon yöntemi**

Jeodezik kontrol ağı yöntemi bazı amaçlar için uygulanması oldukça zaman alıcı olduğu için pek tercih edilmez. Bu durumlarda, yüksek doğruluk talep edilen çalışmalarda hassas poligon yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemde oluşturulan poligon

geçkisindeki noktaların hareketleri, jeodezik bir kontrol ağı yardımıyla incelenir veya geçkinin dengeleme hesabı, serbest ağı dengelemesi yöntemine göre yapılır. Objelerdeki deformasyonlar bu işlemlerden sonra ölçülür [30].

#### **4.3.1.3 Aliyman yöntemi**

Alyiman yönteminde, noktaların belirli bir doğrultuya göre yaptıkları yatay hareket incelenir. Aliyman doğrultusu belirlenirken şu kurallara dikkat edilmelidir:

- Aliyman doğrultusunun başlangıç ve bitiş noktaları, hareketsiz olduğu belirlenen sağlam zemine pilye olarak tesis edilmelidir,
- Obje noktaları mümkün olduğunca aliyman doğrultusuna eşit uzaklıkta olmalıdır,
- Aliyman doğrultusu deformasyonların kolayca ölçülebileceği nitelikte ve mümkünse kayma yönüne dik olacak şekilde oluşturulmalıdır,
- Tesis edilen pilyeler mümkün olduğu kadar obje noktalarına yakın olmalıdır.

Bu yöntem ile doğrudan sapma miktarları iki türlü belirlenir:

1. Direkt Yöntem

2. Açı Yöntemi

Direkt yöntemde aliymandan olan sapmalar direkt olarak ölçülerek deformasyonlar belirlenir. Açı yönteminde ise obje noktalarının aliymandan kayma miktarları açılar ölçülerek hesaplanır. Bu yöntemlerin her ikisinde de presizyonu arttırmak için noktaların yarısı aliymanın bir ucundan, diğer yarısı da diğer ucundan ölçülerek belirlenir. Aliyman doğrultusunun bir ucuna aliyman teodoliti kurulur ve obje noktalarına miralar yerleştirilir. Ölçmeler aliymanın her iki ucundan teodolit her iki durumunda yapılır. Elde edilen sapmaların ortalamaları deformasyon miktarları olarak belirlenir [30].

### **4.3.2 Düşey yöndeki deformasyonların belirlenmesi**

#### **4.3.2.1 Presizyonlu geometrik nivelman yöntemi**

Büyük mühendislik yapılarında meydana gelebilecek düşey yöndeki deformasyonların yüksek doğrulukla belirlenmesinde presizyonlu geometrik nivelman yöntemi uygulanabilir. Bu yöntem sabit nivelman noktalarının tesisi ile başlar. Sabit noktaların uzun süre konum değiştirmeden yaşamını sürdürmesi çok önemlidir. Noktalar sağlam kalmadıkça özenle yapılan ölçmelerin bir anlamı kalmaz. Bu nedenle nivelman ağı kurulumu yapılırken, noktaların tesis edileceği yerlerin jeolojik etüdü en önemli konulardan biridir. Presizyonlu geometrik nivelman ile düşey konum değişikliklerini belirleyebilmek için, ölçmelerin sistematik hatalardan arındırılmış olması gerekmektedir [31].

Ölçmeler sabah ve akşam saatlerinde, gidiş-dönüş olarak yapılmalıdır. Ölçmelerin yüksek doğrulukla yapılabilmesi için, nivelmana etki eden hata kaynaklarının belirlenip elimine edilmesi gerekmektedir. Ölçmeler sonucu obje noktalarının yükseklikleri hesaplanıp olması gereken yükseklikten farklarına bakarak deformasyon miktarı belirlenebilir. Presizyonlu geometrik nivelman ile ilgili temel bilgi Bölüm 3.3.1’de verilmiştir.

#### **4.3.2.2 Hidrostatik nivelman yöntemi**

Aslında geometrik nivelmanın bir çeşidi olan bu yöntem tamamen hidrostatik kanunlara göre yapılır. Geometrik nivelmanda yatay gözlem ekseni yerine bu yöntemde, yatay olması nedeniyle su yüzeyi kullanılmıştır. Su düzeyleri hidrostatik ölçme aletlerinin en basiti olup açık ve kapalı olmak üzere iki çeşittir. Sistem, birleştirme borusunun ortasına takılan bir kovan ile kullanılır. Sıvının üst yüzeyi yatay bir doğrultu teşkil eder. Bu üst yüzeyler ile miraya çıplak gözle bakılır ve okumalar yapılır. Geri ve ileri okuma farkı ile iki nokta arasındaki yükseklik farkı bulunmuş olur [30].

#### **4.3.2.3 Trigonometrik nivelman yöntemi**

Bu yöntemde mühendislik yapılarında meydana gelen düşey deformasyonlar, düşey açı gözlemleri yardımıyla hesaplanan trigonometrik yükseklikler karşılaştırılarak belirlenir. Yüksek doğrulukta ölçmeler yapabilen elektronik takeometrelerin geliştirilmesiyle birlikte bu yöntem daha çok kullanılır hale gelmiştir. Trigonometrik nivelman ile ilgili temel bilgi Bölüm 3.3.3'te verilmiştir.

## 5. ÖZEL ÖLÇME SİSTEMİ

Raylı sistemlerde aplikasyon ve deformasyon ölçmeleri için birçok firma (Amberg-Leica, Bahntechnik, GEO++) tarafından, klasik jeodezik ölçme yöntemlerinin yerine geçebilecek ölçme sistemleri oluşturmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda ray hattı üzerinde hareket halindeyken, üzerindeki ölçme donanımları ile hat geometrisini belirleyen çeşitli araçlar geliştirilmiştir (Şekil 5.1).



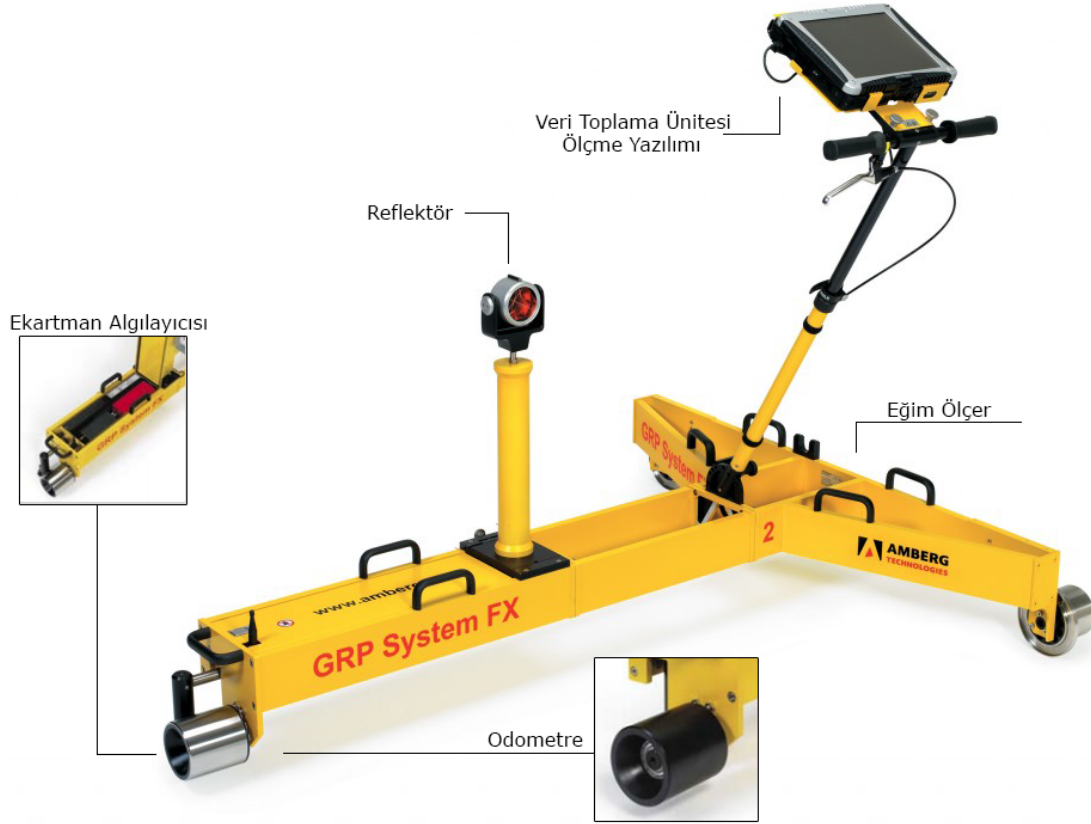
Şekil 5.1 : GRP FX ölçme sistemi.

Bu ölçme sistemi yeni yapılacak hatların aplikasyon ölçmelerinde kullanılabildiği gibi mevcut hatların yatay ve düşey geometrisini belirlemek ve bu hatlardaki deformasyonları ölçmek için de kullanılabilir.

### 5.1 Ölçme Sistemi Bileşenleri

Ölçme sisteminde ray hattının iç parametrelerinin ve konum doğruluğunu belirlemek amacıyla algılayıcı ve konum belirleme sistemleri bulunur (Şekil 5.2). Algılayıcı sistemler ray hattı geometrisinin kendi iç doğruluğu hakkında verileri toplarken,

konum belirleme sistemleri ise ray hattı geometrisinin yatay ve düşey konumunun belirlenmesinde ve kontrolünde kullanılır.



Şekil 5.2 : GRP FX 1000 ölçme sistemi bileşenleri.

### 5.1.1 Algılayıcı sistemler

#### 5.1.1.1 Ekartman değişimi algılayıcısı

Demiryolu hattının ekartman değerlerinin UIC standartlarına uygun olarak belirlenmesi ve kontrolü için iki ray arasındaki mesafenin yüksek doğruluk ile belirlenmesi gerekmektedir. Ölçme sisteminde yer alan ekartman sensörü ile bu değer 0,3 mm doğrulukla belirlenebilir. Bu ölçme işlemi ray mantarının üst kısmından 14 mm aşağıda gerçekleştirilir. Araç ray üzerinde ilerledikçe ekartman değerlerini otomatik olarak ölçer ve kaydeder [32].

#### 5.1.1.2 Eğim ölçer

Ray hattının dever ve boyuna eğim değerlerinin UIC standartlarına uygun olarak belirlenmesi ve kontrolü için bunların yüksek doğruluk ile ölçülmesi gerekmektedir.

Sistemdeki bu algılayıcı sayesinde hattın deveri ve boyuna eğimi, hat açıklığı 1435 mm olan hatlar için, 0,5 mm doğruluk ile belirlenebilir [32].

#### **5.1.1.3 Odometre**

Bu bileşen aracın hat üzerinde kat ettiği mesafeyi ölçerek aracın bulunduğu noktanın kilometresini belirler.

### **5.1.2 Konum belirleme sistemleri**

#### **5.1.2.1 GPS alıcıları**

Ölçme sisteminde ray geometrisinin coğrafik konumunu belirlemek için GPS alıcısı bulunmaktadır. Bu sayede daha düşük doğruluk talepleriyle genel ölçmelerde GPS alıcılarından faydalanabilir. RTK GPS ile 0,1 saniyede ve hatta 0,05 saniyede ve santimetre doğruluğunda ölçme yapılabilir [32].

#### **5.1.2.2 Elektronik takeometre**

GPS'in kullanımının mümkün olmadığı yerlerde ya da yüksek doğruluk talepli işlerde konum belirleme işlemleri elektronik takeometreler sayesinde yapılır. Günümüzde elektronik takeometreler hareketli hedefleri içlerindeki motor sayesinde otomatik olarak takip edebilmektedirler. Bu sayede araç üzerinde bulunan reflektör otomatik olarak izlenerek gerekli ölçmeler yapılabilir. Elektronik takeometreler en presizyonlu işlerde kullanılır.

### **5.1.3 Ölçme sistemi yardımcı bileşenleri**

#### **5.1.3.1 Veri toplama ünitesi**

Ölçme sisteminde en önemli konulardan biri hareket halindeki aracın anlık olarak veri toplaması, bu verilerin depolanması ve aktarımıdır. Bunu sağlamak için, algılayıcı ve konum belirleme sistemlerinden anlık olarak veriyi alıp depolayacak bir veri toplama ünitesine ihtiyaç vardır.

### 5.1.3.2 Ölçme yazılımı

Ölçme yazılımı, gelen ölçme verilerinin değerlendirilip sonuçlarının raporlandığı kısımdır. Ulusal demiryolu standartlarının içine entegre edildiği bu yazılım sayesinde anlık olarak ölçmeler değerlendirilip sonuçlar görülebilmektedir [32].

Ölçme sistemi, tamamlanmış demiryolu hatlarının iş sonu parametrelerinin ölçülmesi, ray hattı geometrisinin belirlenmesi, balastsız üstyapı aplikasyonu ve deformasyon ölçmelerinde kullanılabilir. Bu farklı görevler için ölçme yazılımının farklı modülleri bulunur [32].

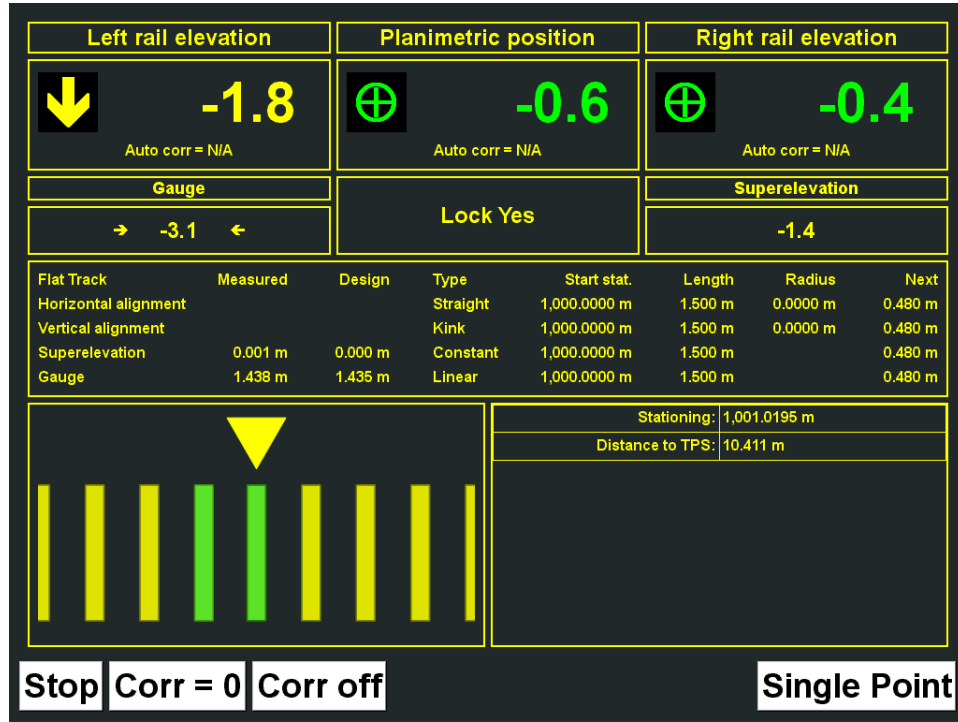
Yapımı bitmiş bir hattın istenilen standartları karşılayıp karşılamadığını görmek ya da bu hattın geometrisini ve sapmalarını belirlemek amacıyla kullanıldığında, yazılım istendiği takdirde limit aşımalarında anlık olarak uyarılar verebilir. Ayrıca ölçülen verilerin, daha sonra ofis ortamında değerlendirilmek üzere ASCII, DXF ya da LandXML formatlarında çıktıları alınabilir [32].

Donanım aplikasyon için kullanıldığında ölçme işlemi devam ederken, ölçme yazılımı sayesinde ray hattı orta eksen yatay konumu, sağ ve sol ray yükseklikleri, hat açıklığı, dever ve boyuna eğim miktarları hesaplanmaktadır (Şekil 5.3). Hesaplanan bu veriler ile proje verileri arasındaki farklar bulunarak bu farklar uluslararası standartlara göre değerlendirilir. Kullanıcı istediği takdirde kendi standartlarını sisteme tanımlayabilir. Belirlenen farklar donanım üzerindeki ölçme ekranı sayesinde kullanıcıya anlık olarak iletilir ve rayın son konumuna getirilmesine olanak verir [32].

Bir diğer kullanım ise hatların izlenmesi yani deformasyon ölçmesi amaçlı kullanımıdır. Bunun için de hat üzerinde belirlenmiş noktalar belirli aralıklarda ölçülüp, bu noktalarda yatay ya da düşey deplasman olup olmadığı kontrol edilebilir.

Ölçme yazılımı sayesinde, elde edilen ölçme verileri anında değerlendirilebileceği gibi daha sonrasında da verilerin ayrıntılı analizi yapıp rapor oluşturulabilir [33].

Ölçme sistemi ile konum belirleme sistemlerinden ve algılayıcı sistemlerden toplanan verilerin analizi için kaba hata araştırması yapılmalıdır. Bir güzergah üzerinde hareket halinde olan bir sistemde kaba hata araştırması yapılabilmesi için yöntem olarak klasik median filtreleme yönteminin kaba hataları gidermedi üstünlüğü, hareketli ortalama yönteminin hareketli özelliği ve robust regresyon yönteminin ölçüleri



Şekil 5.3 : Özel ölçme sistemi ekranı.

ağırlıklandırarak robust kaba hata araştırması özelliği dikkate alınarak, bütün bu özellikleri kombinasyonunun yapıldığı MAD filtreleme yöntemi kullanılmaktadır. Ray hattı üzerinde hareket halinde olan ölçme sistemi ile toplanan veriler için en uygun durum kestirimi yapılabilmesi amacıyla ölçme sistemi için bir kinematik model oluşturulup, bu model Kalman filtreleme tekniğinde uygulanmaktadır [34].

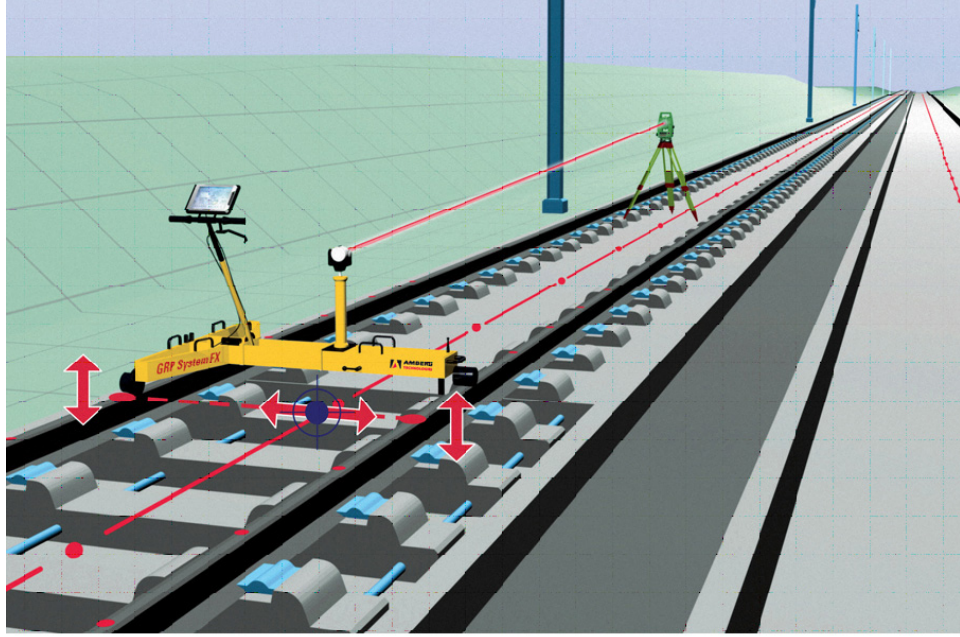
## 5.2 Sistemin Çalışma Prensipleri

Bütün tarama ve ölçme işlemleri bir proje dosyası altında açılacak iş dosyalarıyla yapılır. Bu sebepten öncelikli olarak ölçme yazılımında yeni bir proje oluşturulmalıdır. Bir proje birçok farklı hat ve güzergah içerebilir. Projedeki herhangi bir hat ya da hat kesiminde yapılacak olan ölçme işlemleri için iş dosyaları oluşturulur. Genel yaklaşım, güzergahın ölçme yapılacak her bir kesimi için bir iş dosyası yaratmaktır. Bu daha sonraki işlemleri de yönetmeyi kolaylaştıracaktır.

Ölçme öncesi yapılan diğer işlemler; Elektronik takeometre veya GPS ile ölçme donanımı arasındaki iletişim detaylarının ayarlanması, birimlerin düzenlenmesini, güzergah parametrelerinin ve ölçme işlemlerinde aşılması gereken limit değerlerin belirlenmesini kapsar.

Ölçme işlemi sistemin hat üzerine yerleştirilmesi ve kurulması ile başlar. Daha sonra bilgisayar ölçme donanımının bileşenlerine bağlanır. Ölçme sisteminin deveri ölçen donanımı basit bir kalibrasyon işlemine ihtiyaç duyar. Bunun için öncelikle sistem hat üzerine konumlandırılır ve bir ölçme yapılır. Daha sonra sistem ters çevirilerek diğer tarafa doğru tekrar hat üzerine konumlandırılır ve bir ölçme daha yapılır. Yapılan ölçmeler yazılım tarafından otomatik olarak değerlendirilir ve sistem ölçmeye hazır hale gelmiş olur. Eğer konum belirleme sistemi olarak GPS alıcısı kullanılıyorsa, kurulum pozisyonu sürekli olarak güncellenerek, daha sonraki işlemler için bilgisayara aktarılır. Referans olarak elektronik takeometre kullanıldığı durumlarda ise, motorlu bir elektronik takeometre, ölçme işlemi başlamadan önce koordinatı bilinen bir noktaya kurulmalıdır. Elektronik takeometrenin kurulumu birkez tamamlandıktan sonra ölçme donanımının üzerinde bulunan reflektöre kilitlenmesi sağlanır ve sistem ray hattı üzerinde hareket ettikçe elektronik takeometre prizmayı otomatik olarak takip eder (Şekil 5.4). Bu esnada dikkat edilmesi gereken bir husus bağlantının kopmaması için elektronik takeometre ve ölçme sistemi arasında görüşü engelleyecek bir şeyin olmamasıdır. Elektronik takeometre ve ölçme donanımı iletişimi radyo dalgaları ile sağlarlar ve ölçme donanımının ölçülen pozisyonlarının üç boyutlu koordinatları kablosuz modem sayesinde anlık olarak bilgisayara gönderilir. Aynı zamanda ölçme donanımının üzerindeki algılayıcı sistemlerin sensörlerinden alınan ekartman değeri, eğim miktarı gibi ölçümler de anlık olarak bu koordinat değerleriyle ilişkilendirilerek kaydedilir.

İstenirse ölçme sistemi bağıl modda da çalışabilir. Bu şekilde çalışırken donanımın gerçek konumunun belirlenmesine gerek yoktur. Dolayısıyla bir elektronik takeometre ya da GPS kullanılmaz. Bunun yerine algılayıcı sistemler tarafından ölçülen değerler odometre tarafından ölçülen kilometre bilgisi ile ilişkilendirilerek kaydedilirler. Ölçme donanımının hareket hızı ve elektronik takeometreye olan uzaklığı da dahil olmak üzere ölçülen bütün parametreler gerçek zamanlı olarak güncellenerek bilgisayarın ekranında görüntülenir [33].



Şekil 5.4 : Özel ölçme sistemi ve elektronik takeometre.

### 5.3 Özel Ölçme Sistemleri

Farklı firmaların kendilerine ait ray ölçme sistemleri olsa da, doğruluk ve hız bakımından bakıldığında bu sistemlerin teknik özelliklerinde kayda değer bir fark görülmemektedir. Bu sistemlerden en çok kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

#### 5.3.1 Amberg GRP FX

İsviçre menşeli Amberg firmasının demiryolu ölçme sistemi GRP FX (Şekil 5.5); Leica firmasının TPS1100, TPS1200, TPS2000 elektronik takeometreleri ile ya da GPS500, GPS1200 küresel konum belirleme sistemleri ile kullanılabilir. Amberg Rail 3.0 yazılımını kullanan sistemin yaklaşık ağırlığı 27 kg olup, batarya ömrü yaklaşık 8-10 saattir. Bu sistem Paris - Brüksel, Beijing - Tianjin, Madrid - Barselona ve Londra - Paris gibi büyük çaplı projelerde kullanılmıştır.

#### 5.3.2 Trimble GEDO

GEDO sistemi ABD menşeli Trimble firmasının ray ölçme sistemidir (Şekil 5.6). Bu sistem, Trimble S6/S8 serisi robotik bir elektronik takeometre veya bir GNSS alıcısı ile kullanılabilir. Sistemin toplam ağırlığı 16-19,5 kg civarında olup, bir bataryasıyla 6-8 saat arası ölçme yapabilmektedir. Ölçme yazılımı olarak yine Trimble firmasının



**Şekil 5.5 :** Amber GRP FX 1000 sistemi.

GEDO CE 2.0 isimli araçları kullanılmaktadır. Almanya’da Ebensfeld - Erfurt ve Hannover - Berlin hatları, Schüchtern Tüneli, Amerika’da Kaliforniya Sonoma-Marin Hattı başta olmak üzere birçok büyük projede GEDO sistemi başarıyla kullanılmıştır.



**Şekil 5.6 :** Trimble GEDO CE ölçme sistemi.

### 5.3.3 Rhomberg HERGIE

Avusturya menşeli Rhomberg firmasının ürettiği HERGIE sisteminin (Şekil 5.7) ağırlığı 25-30 kg civarında olup batarya ömrü 12 saate kadar çıkmaktadır. Yazılım olarak yine kendi adını taşıyan HERGIE isimli ölçme yazılımını kullanmaktadır. Başta Köln - Rhein Hattı olmak üzere şimdiye kadar 300 km’den fazla balastsız üstyapı ölçmesinde kullanılarak kendini kanıtlamıştır.



Şekil 5.7 : Rhomberg HERGIE ölçme sistemi.

#### 5.4 Klasik Jeodezik Yöntemler ile Özel Ölçme Sisteminin Karşılaştırılması

##### 5.4.1 Aplikasyon ölçmeleri

Özellikle balastsız üstyapıda hat aplikasyonu için ulaşılmaması gereken doğruluklar çok sıklıdır. Balastsız üstyapı avantajlarından üst seviyede yararlanabilmek ancak hat geometrisinin çok yüksek doğrulukla aplikasyonu ile mümkün olur. Aksi taktirde hat destek sistemine ve raylara gelen gereğinden fazla dinamik yükler yüzünden hem meydana gelen deformasyonlar artacaktır hem de hat ömrü kısılacaktır. Bunu bertaraf etmek için üstyapıdaki her bir travers 3 boyutlu olarak yüksek doğrulukta son konumlarına getirilmelidir. Bölüm 2.3’de açıklandığı gibi piyasada birçok farklı tipte balastsız üstyapı sistemi bulunsa da bunlardan travers temelli ve prefabrik plaka temelli sistemlerin aplikasyon aşamaları sonraki bölümde açıklanacaktır.

##### 5.4.1.1 Gömülü traversli sistemlerin aplikasyonu

RHEDA tipi gibi bir beton yatak içerisinde gömülü traverslerden oluşan sistemlerde hattın 1 aşamada istenilen doğrulukta son konumuna getirilmesi neredeyse imkansızdır. Bu yüzden bu işlem 3 aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada raylar olması gereken konumlarına kabaca getirilecek şekilde ölçme işlemi yapılır. Bu kaba ayarlama ile traversler ve ray hattı,  $\pm 2$  cm doğrulukla olması gereken yatay ve düşey konumlarına getirilmiş olur. Hattın ince ayarlama yapılarak yatay ve düşeyde son konumlarını almalarını sağlayacak vida ayarlama sistemleri kurulur. Daha sonra ikinci aşamada

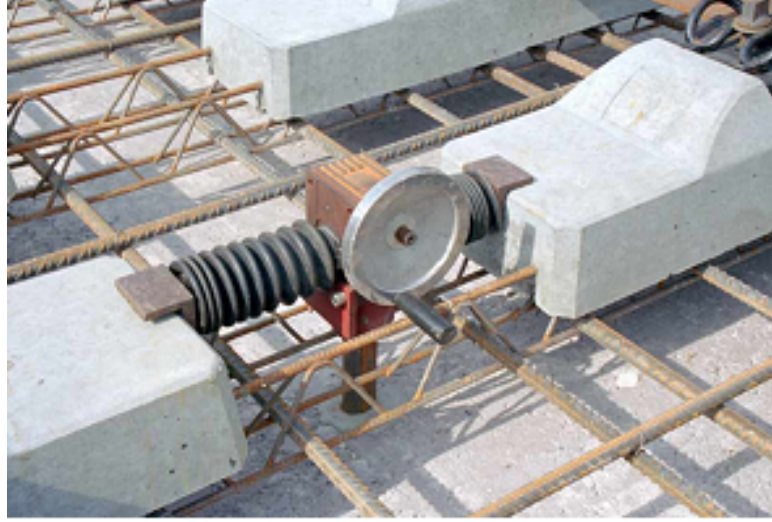
milimetre doğruluk için ölçme işlemi yapılır. Ray hattının son pozisyonunun mutlak konum doğruluğu  $\pm 3$  mm olmalıdır. Bunu sağlayana kadar ölçme işlemi tekrarlanır. Hattı son konumuna getirme işlemi tamamlandıktan sonra üçüncü aşama olarak kontrol ve teslim ölçmeleri yapılır. Kontrol ve teslim ölçmesinde hat geometrisindeki sapmaların izin verilen aralıkta olup olmadıklarına bakılır.

Hat üzerindeki hiçbir kesimde mutlak konum doğruluğu yatayda ve düşeyde  $\pm 10$  mm'yi geçemez. Ayrıca hattın her 5 metrelik kesimi için iki ölçme noktası arasındaki bağıl konum doğruluğu  $\pm 2$  mm'yi geçmemelidir. Hattın her 150 metrelik kesimi için bağıl konum doğruluğu  $\pm 10$  mm içerisinde olmalıdır. Bunun yanında dever toleransı da  $\pm 2$  mm'dir [24].

Klasik yöntemler kullanıldığında bu işlem için minimum 2 kişilik bir ekibe ihtiyaç vardır. Bunlardan biri elektronik takeometre aletini kullanacak olan alet operatörü, diğeri ise reflektörü ölçülmesi gereken yere tutacak şenördür. Ölçme işleminde iki rayın ayrı ayrı mutlak konumları ölçülebileceği gibi bir rayın mutlak konumuna ölçülüp, diğer rayın bu raya göre bağıl konumu kontrol edilebilir. Rayın mutlak konumunun belirlenmesi demek; rayın o noktasına reflektör yerleştirilerek elektronik takeometre ile ölçülmesi demektir. Böylece rayın olması gereken pozisyonun ne kadar dışında olduğu görülüp, bu değerlere göre ray hattı, ayarlama vidaları yardımıyla düzeltilerek ölçme tekrarlanır. Tek rayın mutlak konumunun ölçüldüğü durumlarda gabari aleti yardımıyla ekartman ve dever değerleri ölçülerek diğer rayın konumu kontrol edilir. Her iki rayın mutlak pozisyonunu ölçmek daha çok zaman aldığından dolayı genelde ikinci yöntem tercih edilir.

Aynı ölçme işlemi özel ölçme donanımı ile yapıldığında, sistemi kullanacak tek operatör yeterlidir. Operatör mobil ölçme sistemini ray hattı üzerine yerleştirir ve elektronik takeometre aletini koordinatı bilinen bir noktaya kurar. Elektronik takeometre ile mobil sistem arasındaki kablosuz bağlantı kurulur. Elektronik takeometre, mobil ölçme sisteminin poligon ağıyla olan ilişkisini kurar ve böylece sistem üzerindeki reflektörün güncel üç boyutlu koordinatlarını sürekli bir şekilde sisteme iletir. Ölçme sistemindeki bilgisayar ve içerisindeki ölçme yazılımı sayesinde, elektronik takeometre aletinden gelen koordinat bilgisi, sistemin sensörleriyle algıladığı hat bilgisiyle eşleştirilerek gerçek zamanlı olarak bilgisayar ekranında gösterilir. Bilgisayar içerisinde hat geometrisi önceden tanımlanmış olduğundan ölçme

yazılımı gerekli hesaplamaları yaparak ölçülen hat konumu ile olması gereken hat konumu arasındaki farkı düzeltme değeri olarak operatöre aktarır. Bu düzeltme değerleri traverslerin ortasında bulunan yatay ayarlama sistemiyle ve traverslerin iki yanında bulunan düşey vida ayarlama sistemiyle hatta uygulanır (Şekil 5.8). Bu sırada bilgisayar ekranında uygulanan düzeltme gerçek zamanlı olarak takip edilir. Değerler kabul edilebilir limitlerin arasına girdiğinde ölçme donanımı bir sonraki ayarlama noktasına yürütülür ve bu sırada motorize elektronik takeometre sistemi takip eder. Bu işlem tüm hat boyunca tekrarlanarak üstyapının son konumuna gelmesi sağlanır.



**Şekil 5.8** : Travers ayarlama sistemi.

Yeryüzüne bir nokta applike edilirken bu aplikasyon işlemine etki eden hata faktörleri Bölüm 3.2.2.1’de açıklanmıştır. Bu hata kaynaklarından applike edilecek noktanın merkezleştirme hatası ve kullanılan ölçme donanımının kalitesi dışındakiler, klasik jeodezik yöntemler ve özel ölçme sistemi ile yapılan ölçmelerde ortaktır. Klasik yöntemler kullanıldığında applike edilecek noktanın merkezleştirme hatasında insan faktörü büyüktür. Çünkü ray üzerinde gerçek konumuna getirilmek istenen nokta ölçülürken, bu nokta üzerine şenörün reflektör tutması gerekmektedir. Ölçme doğruluğunu doğrudan etkilediğinden, tutulan bu reflektörün düzecinde olması ve tam istenen nokta üzerine tutulması çok önemli bir hale gelmektedir (Şekil 5.9). Düzekli bir jalon üzerindeki reflektörün merkezleştirme hatası yaklaşık olarak  $\pm 2 - 3$  mm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte ray üzerinde ölçülmesi istenen noktanın yeri de  $\pm 1$  mm doğrulukla belirlenebilmektedir. Bu doğrulukları yakalayacak titizlikte yapılan ölçmelerde doğal olarak ölçme hızı yavaşlamaktadır. Klasik yöntem ile yapıldığında

bu işlem; kaba ayarlama, ince ayarlama ve kontrol ölçmesi olarak toplamda 54 metrelik bir ray hattı kesimi için 9 - 10 saat arası sürmektedir.



**Şekil 5.9 :** Reflektör ve ray ölçme aparatı.

Özel ölçme sisteminin kullanıldığı durumlarda ise donanım ray hattı üzerinde yürüdüğünden dolayı aplike edilecek noktanın merkezleştirme hatası, donanımın sistem iç doğruluğuna yani  $\pm 0.5$  mm'ye eşittir. Aplikasyon ölçmeleri yapılırken konum belirleme sistemi olarak GPS alıcıları yerine elektronik takeometre kullanılır. Çünkü GPS alıcıları ile yapılan ölçmelerin konum doğruluğu yatayda  $\pm 10$  mm, düşeyde ise  $\pm 20$  mm'dir ve bu, talep edilen doğruluğun üzerinde bir değerdir. Elektronik takeometre ile kaba ayarlama ölçmesi yapılırken sistem izleme moduna alınır. Bu modun nokta ölçme hızı 0,3 saniye ve konum doğruluğu  $\pm 3$  mm'dir. Kaba ayarlama sonrasında ince ayarlama yapılırken sistem tek ölçüm moduna alınır. Bu modda nokta ölçme hızı 4 saniyeye çıkarken sistem doğruluğu da  $\pm 1$  mm olmaktadır. Bu şekilde özel ölçme sistemiyle saatte 100 metrelik hat kesiminin son pozisyonuna getirilmesi için ölçme yapılabilirken, günde 400 metrelik bir hat kesiminin de kurulumu yapılabilir.

### **Beijing - Tianji Olimpik Yüksek Hızlı Tren Hattı**

Sosyal ve ekonomik gelişiminden ötürü Çin Halk Cumhuriyeti demiryolu ağlarını hızlı bir şekilde genişletmiş ve bu büyüme hızı çabuk genişlemeyi zorunlu kılmıştır. Çin Raylı Sistemler Bakanlığı tarafından şu anda 75 bin kilometre olan demiryolu ağını 2020 yılında 100 bin kilometreye çıkarılmak istenmektedir. Yeni yapılacak ağı

yarısı elektrikli ve çift hat olacak şekilde yapımı planlanmıştır. Ayrıca bu plan Beijing ve Tianjin arasındaki 114 km'lik kısımda yüksek hızlı hatları da içermektedir. Bu kısım balastsız üstyapı olarak tasarlanmıştır ve büyük çoğunluğu kötü zemin koşulları nedeniyle köprü ile geçilmiştir. Bu yeni yüksek hızlı hat Çin'deki saatte 350 kilometre ve üzerindeki hızlarla seyahat edilebilecek ilk hattır. Hatta üç istasyon bulunmaktadır ve trenler 3 dakika arayla kalkıp tüm hattı yaklaşık 30 dakikada alacaklardır.

Çinli yüklenici firma ilk defa bu hattın yapımında özel ölçme sistemini kullanmıştır. Ölçme işleri, 114 kilometrelik balastsız üstyapının ve 24 tane makasın yüksek doğrulukta aplikasyonunu ile birlikte tüm hattın kontrol ve teslim ölçmelerini kapsamaktadır.

Proje şartnamesine göre aşağıdaki koşulların sağlanması talep edilmiştir:

- Mükemmel sürüş dinamikleri, yüksek hızlarda güvenli ve konforlu işletme için en yüksek kalitede ve 1 milimetre doğrulukta hat aplikasyonu,
- Hızlı hat inşaatı için yüksek doğrulukla beraber yüksek performanslı ve kaliteli ölçme işlemleri,
- Kapsamlı dökümantasyon ve hat geometrik parametrelerinin uygunluğunun kontrolü.

Ölçme yönünden bakarsak, hatların ve makasların kalitesi önemli ölçüde ölçme sisteminin ve ölçme işleminin kendisinin doğruluğu tarafından belirlenir. Beijing ve Tanjin arasındaki yüksek hızlı hatta yapılan ölçme işlerinde 8 tane GRP 1000 özel ölçme sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, mobil ölçme ünitesi ve üzerinde prizma kolonu, özel GRP balastsız üstyapı yazılım modülü ve TCRP 1201 motorize elektronik takeometreden oluşmaktadır (Şekil 5.10). GRP 1000 sistemi otomatik ölçme işlemleri sırasında hassas hat ölçümüne olanak sağlamaktadır. Sistem hattın üç boyutlu koordinatlarını gerçek zamanlı olarak ölçerek hattın olması gereken pozisyonuna göre farkları hesaplayıp kullanıcıya iletir. Bu sistem ile beton dökümü öncesi ya da kontrol ve teslim ölçmeleri için milimetre hassasiyetinde hızlı bir şekilde ölçme yapılabilir. Bu proje kapsamında 8 adet GRP 1000 sistemi ile saatte 700 metrelik balastsız üstyapılı hattın ölçmesi gerçekleştirilmiştir. Raylı sistemler üretim müdürü Heiko

Barthold'a göre kullandıkları özel ölçme sistemi sayesinde, klasik yöntemlerle yapılan aplikasyonun maliyetine oranla %70 seviyesinde kar sağlanmıştır [35,36]



**Şekil 5.10 :** Beijing - Tianji hattı aplikasyon çalışmaları.

#### **5.4.1.2 Prefabrik sistemlerin aplikasyonu**

Bögl tipi prefabrik plakalardan oluşan sistemlerde her beton plakanın kullanım amacına göre kendi geometrik dizaynı vardır. Bu bağımsız plakaların boyuna yönde birbirlerine geçmesini sağlayan çelik çubuklar bulunur. Bunlar lego gibi birbirlerine geçtiğinden, kurulduklarında zaten neredeyse doğru konumlarındadırlar. Ardışık iki beton plaka arasındaki bağıl konum hatası  $\pm 0.5$  mm'den küçüktür. Her bir beton plakanın altında,  $\pm 2$  mm doğrulukla düşey pozisyonlamayı sağlayacak ayarlama sistemleri bulunur. Bu aşamadan sonra ince ayarlama ve kontrol ölçmesi adımları gömülü traversli sistemlerde olduğu gibi uygulanarak hat son konumuna getirilir.

#### **5.4.2 Deformasyon ölçmeleri**

Demiryolu hatlarının yapımı kadar sonrasında bu hatların izlenmesi ve bakımlarının yapılması da hayati önem taşımaktadır. Tam bu noktada devreye milimetre hassasiyetinde yapılan deformasyon ölçmeleri girmektedir. Raylı sistemlerde oluşan deformasyonların ölçülmesinde, klasik jeodezik yöntemlerin kullanılması, hem doğruluk olarak hem de ekonomik anlamda yetersiz kalmaktadır. Ray hattı için

deformasyon ölçmeleri genelde işletmeye açık hatlarda yapıldığından, ölçmelerin en kısa zamanda tamamlanması çok önemlidir. Klasik yöntemler ile yapılan ölçmeler oldukça uzun süreler almaktadır.

Söz gelimi 100 metre uzunluğundaki bir demiryolu hattındaki deformasyonların klasik yöntemlerle belirlenebilmesi için en az iki kişilik bir ekibin yaklaşık 1 saatlik bir çalışma yapması gerekmektedir. Arazideki ölçme işlemlerinden sonra hatta oluşan deformasyonların hesaplanması ve değerlendirilmesi için de yaklaşık 1 saatlik ofis çalışması gerekmektedir. Ayrıca bu işlemler yapılırken insan faktöründen kaynaklı hatalar meydana gelmektedir. Ray mantarı yüzeyinin geniş olması ve düz olmaması nedeniyle, ölçme yapılan reflektörün okunması gereken yere tutulması zor hale gelmektedir. Bu da yapılan işin kalitesini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür.

Özel ölçme sistemi kullanılarak aynı ölçme işlemi gerçekleştirildiğinde ise, sistem ray hattına tam olarak oturduğundan ve ilerlediğinden, insan kaynaklı hatalar saf dışı bırakılmış olur. Üstelik 100 metre uzunluğundaki hatta gerçekleştirilen bu ölçme işlemi için 1 kişilik bir ekibin yalnızca 5-10 dakika boyunca ölçme yapması yeterlidir. Ölçme sistemi ile yapılan ölçmeler sonucu olması gereken hat geometrisi ile ölçülen hat geometrisi arasındaki farklar anlık olarak ekranda görülebildiğinden, deformasyon miktarlarının hesaplanması için fazladan bir ofis çalışmasına ihtiyaç olmaz. Günümüzde kullanılan klasik ölçme ve değerlendirme yöntemleri ile söz konusu hattın ölçme ve değerlendirme süresi 2 saati bulurken, özel ölçme sistemi ile bu süre 5-10 dakikaya kadar inmektedir. Hat uzunluğu arttıkça sağlanan zaman ve maliyet kazancı çok daha fazla olmaktadır.

Deformasyon ölçmeleri işletmeye açık hatlarda çokça yapıldığından, ölçme işleminin süresi burada daha çok önem kazanmaktadır. Çünkü hattın deformasyon ölçmesi için kapalı kalabileceği süre bellidir ve bu süre içerisinde maksimum hat uzunluğunun ölçmesi yapılmalıdır. Bir yüksek hızlı tren hattının 1 dakika fazladan kapalı kalması yaklaşık olarak \$ 8000 zarara sebep olmaktadır. Yüksek hızlı hatlarda işletmeye açıkken yapılan ölçmeler için yönetmelikler, yoğun işletme trafiği nedeniyle operatörün yalnızca 5 dakika boyunca hatta ölçme yapabilmesine izin vermektedir ve 7 saniye içerisinde ekipmanını hattan tamamen kaldırabilmesini şart koşmaktadır.

Özel ölçme sistemi düşük ağırlığı ve tek kişi tarafından taşınabilir olması nedeniyle bu koşulu yerine getirmektedir [37].

#### **5.4.3 Rölöve ölçümü**

Yapımı bitmiş bir hattın istenilen standartları karşılayıp karşılamadığını görmek ya da bu hattın geometrisini ve sapmalarını belirlemek amacıyla klasik yöntemlerle yapılan ölçmelerde iki kişilik bir ekip, elektronik takeometre ve reflektör kullanarak saatte yaklaşık 100 - 200 metrelik hattın alımı yapılabilmektedir. Elektronik takeometre yerine GPS kullanıldığı durumlarda ise tek kişi saatte yaklaşık 400 - 500 metrelik hattın alımını yapabilmektedir.

Özel ölçme sistemiyle yapılan ölçmelerde talep edilen doğruluğa bağlı olarak elektronik takeometre veya GPS alıcılı konum belirleme sistemleri tercih edilebilir. Elektronik takeometre kullanıldığında sistem alım modunda iken  $\pm 5$  mm yatay ve düşey doğrulukla saatte 800 ile 1200 metrelik bir hat kesiminin alımı yapılabilmektedir. GPS kullanıldığında ise yatay doğruluk  $\pm 10$  mm ve düşey doğruluk  $\pm 20$  mm seviyelerine gerilerken ölçme hızı yaklaşık 3 kat artar. Bu şekilde saatte 3000 metrelik hattın alımı yapılabilmektedir.

#### **Sonoma-Marin Transit Ray Hattı**

Kuzey Kaliforniya'daki Sonoma-Marin Area Rail Transit (SMART), oldukça popüler bir demiryolu girişimi ve aynı zamanda bu ölçmelerle ilgili karşılaştırmalı örnek oluşturan bir projedir. İki eyaletin de %70'inin bu projeyi destelemesindeki en büyük etmen, bu projenin benzerlerine oranla çok daha ekonomik olmasıdır. Benzer bir proje olan Bay Area Rapid Transit (BART) projesinin bir kilometresinin maliyeti 203.9 milyon dolar iken, SMART projesinin kilometre başına yapım maliyeti sadece 4.4 milyon dolardır. Bunun en önemli nedeni ise halihazırda kuzeyde Sonoma'dan, güneyde Marin Larkspur'a kadar mevcut olan ama kullanılmayan Kuzeybatı Pasifik demiryolu hattıdır. Mevcut üstyapı büyük bir avantaj sağlamasına rağmen 1994 yılından beri kullanılmadığından üzerinde yapılacak çok iş vardır. Mevcut bir hattı yeniden projelendirmek için yapılacak ilk şey, yüksek doğruluklu olarak mevcut hattın halihazır alımını yapmaktır (Şekil 5.11). Projeciler ve planlamacılar mevcut hattın tam konumunu, deverini, ekartmanını, makasların yerini tam olarak bilmek zorundadırlar.

Kaliforniya’da bir ölçme şirketi olan Cinquini&Passarino Inc. (CPI) daha önceki tecrübelerine dayanarak bu ölçümün geleneksel yöntemlerle yapıldığında yaklaşık üç ay süreceğini belirlemiştir.



**Şekil 5.11** : Sonoma-Marin Transit Ray Hattı rölöve ölçümü.

Geleneksel GPS ya da elektronik takeometre kullanılarak yapılan ölçme işlemi, eğimli olan ray üst yüzeyine jalon ya da mirayı düzeçli bir şekilde sabit olarak tutmak zor ve yorucu olduğundan, hem yavaş olacaktır hem de istenilen doğruluğa daha zor ulaşılacaktır. CPI şirketi hem daha verimli çalışmak hem de hat hakkında daha doğru ve detaylı bilgi sağlamak amacıyla bu projede özel ölçme donanımı kullanmaya karar vermiştir. Bu donanım konum belirleme sistemi olarak GPS kullanmaktadır. Bu sistem GSM modem ile güzergahı çevreleyen Kaliforniya GPS ağına bağlanarak, herhangi bir sabit nokta kurulumuna ihtiyaç duymadan ölçme yapabilmektedir.

Sistemi kullanmak için yalnızca bir kişi yeterli olsa da, çeşitli güvenlik gerekçeleriyle projede bu iş için iki kişilik bir ekip oluşturulmuştur. CPI firması bu çapta bir işi geleneksel ölçme metodlarını kullanarak üç ayda tamamlayabileceklerini hesapladılar. Özel ölçme sisteminin kullanımı ile günlük 8 ila 15 km’lik hattın ölçümü tamamlanarak toplamda 96 kilometrelik güzergahı iki haftadan daha az bir sürede ölçülmesi sağlanmıştır [38].



## 6. SONUÇ

Günümüz teknolojisi ile demiryolu ulaşımında yapısal birçok teknik gelişme yaşandığı gibi yöntem değişiklikleri de yaşanmaya başlamıştır. Özellikle balastsız üstyapı kullanımının ve işletme hızlarının artmasıyla birlikte demiryollarında güvenli bir ulaşım sağlamak için talep edilen doğruluk da artmıştır. Bu doğruluk taleplerini karşılamak ve daha verimli bir ölçme yöntemi belirlemek adına klasik jeodezik yöntemlerin yanında raylı sistem ölçmeleri için özel sistemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, özel ölçme sistemlerinin klasik yöntemlerle zaman, maliyet ve doğruluk açısından karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 6.1).

**Çizelge 6.1** : Klasik yöntemler ile özel ölçme sisteminin karşılaştırılması.

| Ölçme       | Ekip (kişi) |      | Doğruluk (mm) |         | Hız          |               |
|-------------|-------------|------|---------------|---------|--------------|---------------|
|             | Klasik      | Özel | Klasik        | Özel    | Klasik       | Özel          |
| Aplikasyon  | 2-3         | 1    | $\pm 2-3$     | $\pm 1$ | 54 m/gün     | 400 m/gün     |
| Deformasyon | 2-3         | 1    | $\pm 2-3$     | $\pm 1$ | 50 m/sa      | 600-1200 m/sa |
| Rölöve      | 2-3         | 1    | $\pm 5-10$    | $\pm 5$ | 100-200 m/sa | 800-1200 m/sa |

Ölçme sistemlerinde ray açıklığı, eğim ve kilometre sensörleri ile birlikte coğrafi konumları belirlemek için GPS ya da elektronik takeometre sistemleri bulunur. Sensörlerle algılanan ekartman, dever ve boyuna eğim değerleri, konum belirleme sistemleri ile üç boyutlu olarak koordinatlarla ilişkilendirilip kaydedilerek ray geometrisi belirlenir. Ray hattının yatay ve düşey geometrisinin belirlenebilmesi için kullanılan konum belirleme sistemlerinden GPS daha düşük doğruluk gerektiren işlerde çok hızlı bir şekilde ölçme yapmaya imkan sağlarken, elektronik takeometre kullanımı üst seviye doğruluk taleplerini rahatlıkla karşılamaya yetmektedir. Ray üzerinde hareket halinde ölçme yapılırken veriler kablosuz modem sayesinde bilgisayara aktararak ölçme yazılımı ile değerlendirilebilir.

Uluslararası standartlara göre balastsız üstyapı kullanılan hatlarda hat üzerindeki hiçbir kesimde mutlak konum doğruluğu yatayda ve düşeyde  $\pm 10$  mm'yi geçemez. Ayrıca hattın her 5 metrelik kesimi için iki ölçme noktası arasındaki bağıl konum doğruluğu  $\pm 2$  mm'yi geçmemelidir. Hattın her 150 metrelik kesimi için bağıl konum doğruluğu

$\pm 10$  mm içerisinde olmalıdır. Bunun yanında deyer toleransı da  $\pm 2$  mm'dir. Bu doğruluklar aplikasyon ölçmelerinde GPS kullanımını devre dışı bırakmaktadır. Çünkü RTK GPS yöntemiyle ulaşılacak doğruluklar yatayda  $\pm 10$  mm iken düşeyde  $\pm 20$  mm'dir. RTK GPS yönteminin kullanılmadığı bu gibi durumlarda yüksek doğruluk taleplerine ulaşabilmek için elektronik takeometre kullanılır. Klasik yöntemler kullanıldığında aplikasyon doğruluğu  $\pm 3$  mm iken özel ölçme sistemi ve elektronik takeometre aletinin beraber kullanıldığı durumlarda bu doğruluk  $\pm 1$  mm'ye kadar çıkmaktadır. Bununla birlikte ölçme hızı da klasik yöntemlere göre çok daha iyidir. Birim uzunlukta bir ray hattının kurulumu yapılırken özel ölçme sistemi, klasik yöntemlere göre yaklaşık 8 kat daha hızlı bir şekilde aplikasyon ölçmelerini gerçekleştirebiliyor. Üstelik klasik yöntemlerde en az iki kişilik bir ekip gerekirken, özel ölçme sistemi için sadece operatör yeterli olabilmektedir.

Deformasyon ölçmelerinin, özellikle işletmeye açık hatlarda ve kısıtlı zaman aralıklarında gerçekleştirilmesi gerektiği için bu ölçmelerin hızı çok önemli hale gelmektedir. Hattın işletmeye fazladan bir dakika bile kapalı kalmasının ekonomik olarak çok olumsuz etkileri olmaktadır. Klasik yöntemler ile yapılan deformasyon ölçmelerinde 100 metre uzunluğundaki bir hattı 2 kişilik bir ekip ofis ve arazi çalışmalarıyla birlikte 2 saatte ölçebiliyor. Özel ölçme sistemi kullanıldığında ise 100 metrelik hat 1 kişi ile 5-10 dakikada ölçülebilmektedir.

Yapımı bitmiş bir hattın istenilen standartları karşılayıp karşılamadığını görmek ya da bu hattın geometrisini ve sapmalarını belirlemek amacıyla klasik yöntemlerle yapılan ölçmelerde iki kişilik bir ekip, elektronik takeometre ve reflektör kullanarak saatte yaklaşık 100 - 200 metrelik hattın alımı yapılabilmektedir. Elektronik takeometre yerine GPS kullanıldığı durumlarda ise tek kişi saatte yaklaşık 400 - 500 metrelik hattın alımını yapabilmektedir.

Özel ölçme sistemiyle yapılan ölçmelerde talep edilen doğruluğa bağlı olarak elektronik takeometre veya GPS alıcılı konum belirleme sistemleri tercih edilebilir. Elektronik takeometre kullanıldığında sistem alım modunda iken  $\pm 5$  mm yatay ve düşey doğrulukla saatte 800 ile 1200 metrelik bir hat kesiminin alımı yapılabilmektedir. GPS kullanıldığında ise yatay doğruluk  $\pm 20$  mm ve düşey doğruluk  $\pm 40$  mm seviyelerine gerilerken ölçme hızı yaklaşık 3 kat artar. Bu şekilde

saatte 3000 metrelik hattın alımı yapılabilir. Bu, klasik ölçme yöntemleriyle yapılan ölçmelerden yaklaşık 8 kat hızlıdır.

Sonuç olarak bu tez kapsamında yapılan çalışmada görülmüştür ki raylı sistemler için tasarlanmış özel ölçme sistemleri kullanılarak, hem ölçmelerde insandan kaynaklı hataları azalması hem de teknik açıdan ulaşılabilecek doğrulukların artması sağlanabilmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda bu ölçme sistemleri farklı donanımlarla daha da geliştirilebilir. Örneğin son yıllarda jeofizik uygulamalarında sıkça kullanılan GPR (Ground Penetrating Radar) yöntemi ile hat güzergahının zemin durumunu incelemek için sisteme radar donanımı entegre edilebilir. Ayrıca bu yöntem kullanılarak yüksek hassasiyet ve yüksek ayırım oranı ile tünellerdeki kaplama betonu ve iç donatı kalitesinin belirlenmesi, ray hattının altına yerleştirilen prekast beton ile dolgu betonu arasında boşluk kalıp kalmadığının kontrolü, dolgu işlemlerinin test edilmesi ve jeolojik sınırların belirlenmesi gibi birçok ölçüm yapılabilir. Ölçme sistemindeki konum belirleme sistemleri ile radardan gelen veriler birleştirilerek hattın zemin haritası ya da tünel imalatlarının kalite haritası çıkarılabilir.

Aynı şekilde sisteme entegre edilecek bir lazer tarayıcı ile nokta bulutları oluşturularak hat çevresinin ya da tünelin sürekli olarak kesitleri alınabilir. Üstyapının ve tünellerin projeye uygunluğu kontrol edilip gabari analizi yapılabilir. Ayrıca üstyapıdaki ya da tüneldeki deformasyonlar yüksek doğruluklu olarak belirlenebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Güngör, E.** (2002). *Demiryolu*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] **Arlı, V.**, (2002), Balastlı ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, yüksek Lisans Tezi.
- [3] **Satish Chandra, D.** (2007). *Railway Engineering*, Oxford Higher Education, Oxford University Press.
- [4] **Öztürk, Z. ve Arlı, V.** (2009). *Demiryolu Mühendisliği*, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul.
- [5] **Öztürk, P.D.Z.**, (2010). Demiryolu Üstyapısı ile İlgili Özel Konular, İTÜ Ulaştırma Anabilim Dalı Ders Notları.
- [6] **Quante, F.** (2001). Innovative Track Systems Technical Construction, *Competitive and Sustainable Growth Program*, 1–43.
- [7] **Profillidis, V.** (1995). *Railway engineering*, Avebury Technical.
- [8] **Freudenstein, S.** (2008). Ballastless Track Systems: from a niche solution to standard technology for new high-speed rail lines, *RTR Special*, 99–104.
- [9] **Öztürk, Z. ve Öztürk, T.** (2005). Kentiçi Demiryolunda Balastsız Üstyapı Tasarımları ve Uygulama Esasları, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 372–383.
- [10] **Freudenstein, S.** (2010). RHEDA 2000: ballastless track systems for high-speed rail applications, *International Journal of Pavement Engineering*, 11(4), 293–300.
- [11] **Lichtberger, B.** (2005). *Track Compendium*, Eurail Press.
- [12] **Ando, K.** (2001). Development of Slab Tracks for Hokuriku Shinkansen Line Tracks, *Quarterly Report of RTRI*, 42(1), 35–41.
- [13] **Esveld, C.** (2003). Developments In High-Speed Track Design, *Structures for High-Speed Railway Transportation-IABSE Symposium*, 27–29.
- [14] **Bastin, R.** (2006). Development of German non-ballasted track forms, *Proceedings of the ICE - Transport*, 159(February), 25–39.
- [15] **Esveld, C.** (2001). *Modern railway track*, MRT-Productions.
- [16] **Budisa, M.**, (2003). Advanced Track Design, university of Illinois.

- [17] **Balfour Beatty Rail Projects Ltd.** (2008). Design and Manufacture of Embedded Rail Slab Track Components, **Teknik Rapor**, INNOTRACK.
- [18] **Baykal, O.** (2009). *Mühendislik Ölçmeleri I: Kara ve demiryollarında geçen geometrisi tasarımı ve uygulaması*, Birsan Yayınevi.
- [19] **Schofield, W.** (2001). *Engineering Surveying, Fifth Edition*, Butterworth & Heinemann.
- [20] **Kalkan, Y., Alkan, R.M. ve Yanalak, M.** (2005). Ulaştırma Yapılarına İlişkin Mühendislik Projelerinde Yatay - Düşey Kontrol Ağlarının Oluşturulması : Üsküdar-Ümraniye II. Etap Hafif Metro Projesi Örneği, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- [21] **Demirağ, C. ve Ünlütepe, A.** (2003). Raylı Sistemlerde Ray Hatlarının Yerleştirilmesi İçin Yapılan Ölçme Çalışmaları, *I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 106–119.
- [22] **Ünlütepe, A.** (2003). Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metotları İçin Karşılaştırılması, *I. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 451–465.
- [23] **Aksoy, A. ve Güneş, H.** (1990). *Jeodezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İTÜ.
- [24] **Klumpp, K.H., Barthold, H. ve Henneick, D.** (2006). Setting Out for Ballastless Track on the New Route Nuremberg–Ingolstadt, *RTR Special*, 64–68.
- [25] **Alkan, R.M.**, (2005). Ölçme Tekniğinde Özel Konular, İTÜ Geomatik Mühendisliği Ders Notları.
- [26] **Baykal, O., Tarı, E., Coşkun, M. ve Erden, T.** (2005). Kutupsal Koordinatlarla Nokta Uygulamasında Doğruluk, *2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 95–110.
- [27] **HKMO** (2008). *Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği*, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İşkur Matbaacılık Kağıtçılık San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- [28] **Ekinci, S.K.**, (2008), Sayısal Presizyonlu Nivolar Ve Sayısal Presizyonlu Nivelman Tekniğinin Doğruluğu.
- [29] **Hoşbaş, R.G.** (1992). Baraj Deformasyonlarının Belirlenmesinde Jeodezik Yaklaşımların İrdelenmesi ve Bir Öneri, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [30] **Özhan, N.** (1994). Deformasyonların Belirlenmesinde Kullanılan Jeodezik Ölçü Yöntemleri Bunların İrdelenmesi ve Öneriler İstanbul Metrosu, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [31] **Aydın, O.** (2005). *Mühendislik Ölçmeleri Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- [32] **Technologies, A.**, (2007), GRP System FX, Brochure.
- [33] **Engstrand, A.** (2011). A Case Study of the GRP 5000, *Doktora Tezi*, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.
- [34] **Akpınar, B.** (2009). Ray Hattı Geometrik Değişimlerinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Geliştirilmesi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [35] **Technologies, A.** Slab Track „Made in China“ Olympic High Speed Line Beijing - Tianjin, **Teknik Rapor**, Switzerland.
- [36] **Hughes, M.** (2010). Trimming the Cost of Track Inspection, *Railway Gazette International*, (November), 43–46.
- [37] **Chaves, M.** (2009). SMART Surveying, *The American Surveyor*.
- [38] **W. Stocking, A.** (2010). SMART Surveying, *The American Surveyor*, 3.



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** Ufuk Çatalkaya

**Doğum Tarihi ve Yeri:** 12.09.1986 / İstanbul

**E-Posta:** catalkayau@itu.edu.tr



## ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği

## YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- U. Çatalkaya, O. Öztürk, Z. Öztürk., 2012. Ulaşım kaynaklı iklim değişimi ve azaltma çalışmaları. *Transist 2012*