

**DEMİRYOLUNDA BALASTSIZ (SLAB TRACK)  
VE BALASTLI ÜSTYAPI UYGULAMALARININ  
MALİYET ANALİZİ**

**2019  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**FATMA MÜGE KUMRU**

**DEMİRYOLUNDA BALASTSIZ (SLAB TRACK) VE BALASTLI ÜSTYAPI  
UYGULAMALARININ MALİYET ANALİZİ**

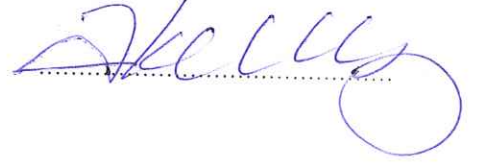
**FATMA MÜGE KUMRU**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Mayıs 2019**

Fatma Müge KUMRU tarafından hazırlanan “DEMİRYOLUNDA BALASTSIZ (SLAB TRACK) VE BALASTLI ÜSTYAPI UYGULAMALARININ MALİYET ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY



Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17.6.2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Bahattin ÇELİK (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU (BÜ)



...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Fatma Müge KUMRU

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DEMİRYOLUNDA BALASTSIZ (SLAB TRACK) VE BALASTLI ÜSTYAPI UYGULAMALARININ MALİYET ANALİZİ**

**Fatma Müge KUMRU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY**

**Haziran 2019, 62 sayfa**

Gelişen teknolojiyle birlikte ulaşım türleri arasında rekabet gün geçtikçe artmaktadır. Demiryolu ulaşımı tercih sebebi olabilmesi için hız, konfor, ekonomik bakım maliyetleri ve güvenlik gibi kriterleri içinde barındırması gerekir. Hızlanan demiryolu taşıtlarında üstyapı tipleri büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda üstyapı farklılıkları ve yapılması planlanan hatlarda tercih edilen parametreler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada Gaziray Proje kapsamında yapılan demiryolu hatlarında balastlı ve balastsız hat olarak iki farklı tipte üstyapı uygulaması yapılması öngörülmüştür. Hat üzerinde farklı kilometre aralıklarında çoğunluğu balastlı yapılan hattın, bir kısmı balastsız imalat olarak yapılmıştır. Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde, demiryollarında balastlı ve balastsız üstyapı özellikleri, tasarım çeşitlerinden söz edilmiştir. Dördüncü bölümünde Gaziray projesi hat inşa üstyapı maliyet analizleri hesapları yapılmıştır. Son bölümde bu analizler sonucunda hat inşa çeşitlerinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Demiryolu üstyapısı, balastsız hat, maliyet analizleri, hat tasarımı.

**Bilim Kodu** : 914.1.134



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **COST ANALYSIS OF SLAB TRACK AND BALLASTED SUPERSTRUCTURE APPLICATIONS IN RAILWAY**

**Fatma Müge KUMRU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist Prof. Dr. Mehmet Emin AKAY**

**June 2019, 62 pages**

Competition is increasing day by day with the developing technology. In order to be preferred for rail transportation, speed, comfort, economic maintenance costs and security criteria must be included. Superstructure types are of great importance for accelerating railway vehicles. In this context, superstructure differences and preferred parameters the planned lines were evaluated. In this study, two different types of superstructure are planned to be used as a ballast and non-ballast line in the railway lines within the scope of Gaziray Project. While most of the line was made with ballast at different mileage intervals, some of it was made as non-ballast. In the second and third sections of this study, which is presented as a master thesis, it is mentioned about the design and types of superstructures with and without ballast in railways. In the fourth chapter, Line building superstructure cost analysis calculations were made in Gaziray project. In the last chapter, the advantages and disadvantages of line construction types were evaluated as a result of these analyzes.

**Key Words** : Railway superstructure, Ballastless track, cost analysis, track design  
**Science Code** : 914.1.134



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi. Mehmet Emin AKAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Birim fiyat analiz hesaplarının temininde, demiryolu bakım periyotlarının araştırılmasında, bilgi ve tecrübesinden yararlandığım saygıdeğer iş arkadaşlarım ve yöneticilerime teşekkür ederim.

Bana çalışmamda özveri ile yaklaşp büyük destek olan sevgili eşim Emre'ye ve çalışmalarımı destekleyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİSİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
KISALTMALAR .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
DEMİRYOLU ÜSTYAPISI .....	1
1.1. RAYLAR .....	1
1.1.1. Rayların Bölümleri .....	2
1.2. TRAVERSLER .....	5
1.2.1. Gaziray Proje Kriterlerindeki Traversler İçin Boyut ve Toleranslar .....	7
1.2.2. Gaziray Traversleri özellikleri.....	7
1.3. BALAST .....	8
1.3.1. Projede Balast Kriterleri .....	9
1.4. BAĞLANTI ELEMANLARI.....	11
1.4.1. Cebire .....	12
1.4.2. Krapo ve Somunu, Bulon, Tirfon .....	13
1.4.3. Selet .....	13
1.4.4. Bağlantı Türleri .....	13
1.5. GAZİRAY PROJESİ BAĞLANTI ELEMANLARI TEKNİK ÖZELLİKLERİ .....	14
1.5.1. Tirfon (Ss Rd 155).....	14
1.5.2. Skl 12 Yaylı Kıskaçı.....	15
1.5.3. Plastik Açık Kılavuzu.....	16
1.5.4. Elastik Ray Seleti .....	16

1.5.5. Plastik Dübel .....	17
<b>BÖLÜM 2 .....</b>	<b>18</b>
<b>BALASTLI HAT .....</b>	<b>18</b>
2.1. BALASTLI HAT ÖZELLİKLERİ.....	18
2.1.1. Balastlı (Esnek) Üstyapı .....	19
2.1.2. Balastlı Üstyapının Avantajları .....	19
2.1.3. Balastlı Üstyapının Dezavantajları .....	20
2.1.4. Balastlı Üstyapıda Bakım İhtiyacı.....	21
2.2. BALASTLI HATTIN UYGULAMA ESASLARI .....	22
2.3. BALASTSIZ HAT ÖZELLİKLERİ .....	24
2.3.1. Balastsız Üstyapı .....	25
2.3.2. Balastsız Üstyapının Avantajları .....	28
2.3.3. Balastsız Üstyapının Dezavantajları.....	29
2.3.4. Balastsız Üstyapıda Bakım İhtiyaçları .....	30
2.4. BALASTSIZ HATTIN UYGULAMA ESASLARI .....	30
2.4.1. Beton Taşıyıcılı Üstyapı .....	30
2.4.2. Asfalt Taşıyıcılı Üstyapı.....	31
<b>BÖLÜM 3 .....</b>	<b>32</b>
<b>BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPILARININ TASARIM ÇEŞİTLERİ .....</b>	<b>32</b>
3.1. BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPININ MALİYET VE SERVİS ÖMRÜ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI .....	33
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>34</b>
<b>ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....</b>	<b>34</b>
4.1. GAZİRAY PROJESİ ÜSTYAPI KRİTERLERİ VE HAT ÖZELLİKLERİ .	34
4.1.1. Proje Kriterleri.....	34
4.1.2. Demiryolu Özellikleri.....	35
4.2. HAT İNŞA HESAPLAMALARI.....	35
4.3. İŞLETME VE BAKIM HESAPLAMALARI.....	47
4.3.1. Koruyucu (önleyici) bakım.....	48

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3.2. Düzeltici bakım: .....	48
4.3.3. Yenileme çalışmaları: .....	49
4.3.4. Tipik Bakım Süreleri .....	49
4.3.5. Hesaplama Esasları.....	50
4.3.6. Kabuller .....	50
4.3.7. Hesaplamalar ve Sonuçlar .....	50
BÖLÜM 5 .....	53
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER .....	53
5.1. HAT İNŞA OPERASYONLARININ MALİYET DEĞERLENDİRİLMESİ .....	53
5.1.1. İşletme ve bakım işlerinde değerlendirme.....	53
5.2. BALASTLI HATLARDA İNŞA VE BAKIM MALİYETİ .....	54
5.3. BALASTSIZ HATLARDA İNŞA VE BAKIM MALİYETİ.....	57
5.4. ÖNERİLER .....	60
KAYNAKLAR .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	62

## ŞEKİLLER DİZİSİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Rayları oluşturan kısımlar .....	3
Şekil 1.2. Mantar tip oluklu ray .....	3
Şekil 1.3. Tekerlek-ray etkileşimi .....	4
Şekil 1.4. B 70 tipi beton travers .....	5
Şekil 1.5. Stedef-Sonneville tipi travers .....	6
Şekil 1.6. Ray-travers proje kesiti .....	8
Şekil 1.7. Ray üst kotu ve balast kesiti .....	9
Şekil 1.8. Gaziray projesi balast kriterleri .....	10
Şekil 1.9. Ray ve traverslerin yerleştirilmesine hazır balast yatağı .....	11
Şekil 1.10. Ray bağlantı elemanlarının toplu görünümü .....	11
Şekil 1.11. Cebire ile birleştirilmiş raylar .....	12
Şekil 1.12. İzoleli cebireli ray bağlantısı .....	13
Şekil 1.13. Vossloh tipi bağlantı sistemi .....	14
Şekil 1.14. Bağlantı elemanları; tirfon, plastik açılı kılavuzu, yaylı kıskaç .....	14
Şekil 2.1. Finişer makinesi ile balast serimi .....	18
Şekil 2.2. Balastlı hat üstyapısı ve elemanları .....	19
Şekil 2.3. Balast serme vagonu .....	21
Şekil 2.4. Plasser&Theurer 08-16 buraj makinesi .....	23
Şekil 2.5. Plasser&Theurer balast regülatör makinesi .....	23
Şekil 2.6. Stabilizatör makinesi .....	24
Şekil 2.7. Balastsız deverli bir hattın yerleştirilmesi .....	25
Şekil 2.8. Fikstürleme işlemi .....	26
Şekil 2.9. Slab track yapısında 1. ve 2. kademe beton demir donatı uygulaması .....	27
Şekil 2.10. Ekartman ölçer aleti .....	28
Şekil 2.11. Gaziray projesi beton taşıyıcı tabakada demir donatı kesiti .....	30
Şekil 4.1. Hattın zamanla bozulması .....	48
Şekil 5.1. Balasta ait ölçülecek parametrelerin çift hatta şematik gösterimi .....	54

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 1.1. Rayların kimyasal bileşimi .....	2
Çizelge 1.2. TCDD tarafından kullanılan rayların ebatları .....	4
Çizelge 1.3. Karşılaştırmalı olarak beton traversin özellikleri.....	7
Çizelge 1.4. Tirfonların mekanik özellikleri .....	15
Çizelge 1.5. Yaylı kıskaç kimyasal yapısı .....	15
Çizelge 1.6. W-14 yaylı kıskaç kimyasal yapısı .....	16
Çizelge 3.1. Balastsız üstyapı tasarım çeşitleri .....	32
Çizelge 3.2. Balastlı ve balastsız üstyapı inşaat maliyetleri .....	33
Çizelge 4.1. Fiyatlandırma pozu açıklaması .....	36
Çizelge 4.2. Genel fiyat analiz tablosu .....	37
Çizelge 4.3. Hat serilmesi fiyatlandırma pozu açıklaması.....	39
Çizelge 4.4. Hat serilmesi maliyet analizi.....	40
Çizelge 4.5. Balastsız hat serimi fiyatlandırma pozu.....	42
Çizelge 4.6. Balastsız demiryolu yapımı fiyat analizi .....	44
Çizelge 4.7. Slab track beton temel yapısı imalat miktarı ve birim fiyatları .....	47
Çizelge 4.8. Maliyet hesapları.....	52
Çizelge 5.1. Demiryolu balastlı hat kontrol parametre çizelgesi .....	54
Çizelge 5.2. Makine bakım maliyet tutarı.....	55
Çizelge 5.3. İşçilik bakım maliyet tutarı .....	55
Çizelge 5.4. Balastlı hat için bakım hesabı .....	56
Çizelge 5.5. Balastlı ve balastsız hat maliyetleri .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

C	: karbon
Si	: silisyum
Mn	: mangan
P max	: maksimum fosfor miktarı
S max	: maksimum kükürt miktarı
Cr	: krom
Al max	: maksimum alüminyum miktarı
N max	: maksimum azot miktarı
Ohm	: direnç birimi
$B_{lu}$	: balastlı demiryolu maliyet hesabı
$B_{sız}$	: balastsız demiryolu maliyet hesabı
$h_m$	: hat metre
$b_{f1}$	: balastlı hat birim fiyat
$b_{f2}$	: balastsız hat birim fiyat
kJ	: kilojoule
kN	: kilonewton

## KISALTMALAR

HBW	: Brinell Sertlik Sayısı
YHT	: Yüksek Hızlı Tren
UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği
UKR	: Uzun Kaynaklı Ray
SNCF	: Fransız Devlet Demiryolları
PO	: Parabol Başlangıcı
PF	: Parabol Bitişi
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları



## BÖLÜM 1

### DEMİRYOLU ÜSTYAPISI

Demiryolu araçlarının emniyetli, konforlu ve istenilen hızlarda hareket edebilmesini sağlamak amacıyla, belirli kriterler esas alarak inşa edilen ve demiryolu araçlarının yol ile temasının gerçekleştiği yol bölümüne üstyapı denir. Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan ve altyapı üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elemanların tümüne üstyapı denir. Klasik demiryolu üstyapısı basit olarak ray ve traversler tarafından çerçevelendirilmiş ve balast tarafından desteklenmiştir. Çerçeveler hattın en küçük birimi olup art arda gelmeleri ile üstyapıyı oluştururlar [1].

Demiryolu üstyapısı; raylar, traversler, balast ve bağlantı elemanlarından oluşur. Üstyapıyı oluşturan bu elemanlar, aşağıda detaylı olarak açıklanacaktır.

#### 1.1. RAYLAR

Demiryolu araçlarına yol oluşturan, tekerlekleri kılavuzlayan ve dingillerden gelen kuvvetleri traverslere aktaran, çelikten yapılmış malzemelerdir. Rayların görevleri;

1. Tekerlekleri kılavuzlamak ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmak,
2. Tekerleklerden gelen yükleri traverslere iletmek,
3. Elektrikli hatlarda katener veya üçüncü raya sistemine geri dönüş akımını (topraklama) iletmek,
4. Sinyalizasyon sinyal akımlarını iletmek olarak sıralanmaktadır [2].

Raylar aşınmaya karşı gerekli dayanımı sağlayacak kadar “sert”, ancak darbeler ve üzerine gelen yükler nedeniyle oluşabilecek şekil değişimleri nedeniyle mukavim olacak kadar “esnek” çelikten imal edilirler. Ray çeliğinin bileşiminde demir, karbon,

silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belirli miktarda bulunması ray daha dayanıklı hale getirmesi açısından faydalıdır. Ancak fosfor ve kükürt ise çelik bünyesinden tamamen çıkarılamayan zararlı elementlerdir. Rayların kimyasal bileşimi Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

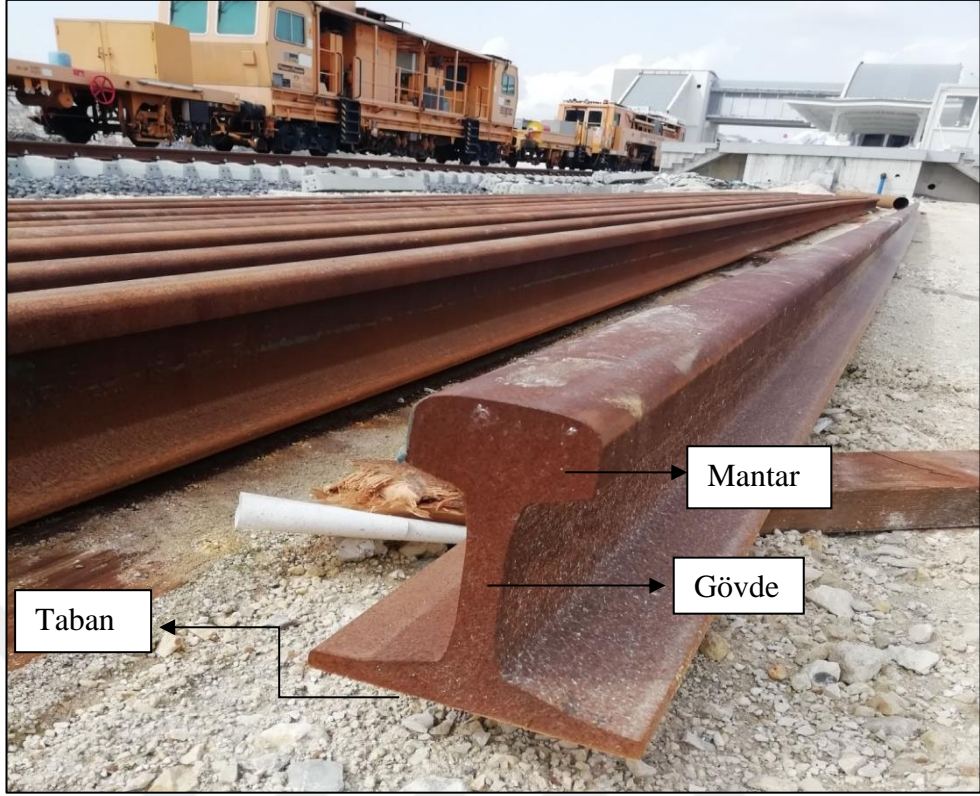
Çizelge 1.1. Rayların kimyasal bileşimi [3].

Çelik Numune kalitesi		% Kütle olarak								
		C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Al max	N max	Yüzey sertliği
R260	Sıvı	0,62-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	0,025	0,006-0,025	0,15 max	0,004	0,009	
	Katı	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,030	0,008-0,030	0,15 max	0,004	0,01	260-300

Raylar kullanım amacına göre, sürat ve yükten kaynaklanan aşınmaya karşı daha dirençli hale getirilmek istenirse, ray mantarları ısıtılarak geçirilerek sertleştirilir. Bunun için rayların mantar kısmı elektrik veya gaz kullanarak 1050 °C ‘ye kadar ısıtılır. Daha sonra sıcaklık saniyede 3 – 4 °C oranında azaltılarak 500 °C’ye düşürülür. Bu şekilde rayın sertlik oranı 280 Brinell Sertlik Sayısı(HBW) değerine yükseltir [2].

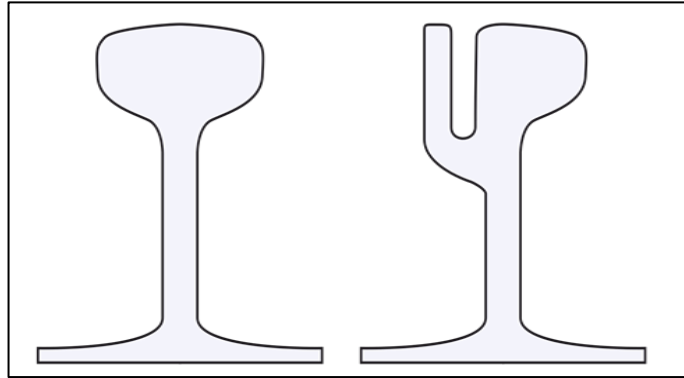
### 1.1.1. Rayların Bölümleri

Bir raylı sistemin en hayati organı raylardır. Raylar düşük karbonlu çelik malzemeden, Perlitik dokulu olup, profil haddeleme yöntemiyle üretilirler. Raylar Şekil 1.1’de gösterilen kısımlara sahiptir ve Şekil 1.2’te gösterildiği gibi; mantar ve oluklu tipte yapılırlar. Mantar (Vignole tip) raylar demiryolu ve kentsel raylı sistemlerde kullanılırken, oluklu raylar Tramvay hatları için uygulanmaktadır.



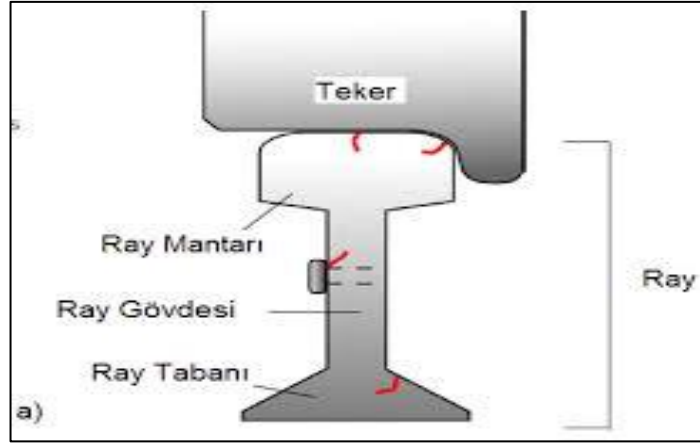
Şekil 1.1. Rayları oluşturan kısımlar.

Demiryolu ve tramvay hatlarında kullanılan ray kesitleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Mantar tip oluklu ray.

Tekerlekler raylara yuvarlanma yüzeyleri ve boden kısımlarıyla temas ederler. Yuvarlanma yüzeyinde dikey kuvvet ( $V_d$ ), boden de ise kılavuzlamayı sağlayan yatay kuvvet ( $V_y$ ), birlikte etki ederler. Bu birleşik etki sonucu, tekerlek  $V_R$  bileşke kuvveti etkisiyle seyir yapar. Tekerlek – Ray etkileşimi Şekil 1.3’te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Tekerlek-ray etkileşimi.

Rayların belirleyici özelliklerinden birisi de kg/m cinsinden birim ağırlığıdır. Bu değer artarsa, rayın mukavemeti de artmaktadır. Demiryollarının konvansiyonel hatlarında UIC 49'luk raylar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yeni yapılan Gaziray projesi gibi konvansiyonel hatlarda ve yüksek hızlı tren hatlarında UIC 60 tipi ray kullanılmaktadır. Hafif raylı sistemlerde ise farklı ve daha küçük kesitte raylar kullanılmaktadır. TCDD'de kullanılan rayların ebatları Çizelge 1.2' de verilmiştir.

Ülkemizin tek ray üreticisi olan KARDEMİR A.Ş. tarafından, 10 yıldır TCDD için muhtelif boylarda, 39, 49E1 (S49) ve UIC 60 tipi raylar üretilmektedir. TCDD'nin talepleri doğrultusunda UIC 60 tipi raylar 72 m boyda üretilmektedir. Bu tür raylar özel vagonlarla kullanım yerine taşınmakta, orada da uzun kaynaklı ray (UKR) haline getirilmektedir [4].

Çizelge 1.2. TCDD tarafından kullanılan rayların ebatları [5].

Rayın Cinsi (kg/m)	Taban Genişliği (mm)	Ray Yüksekliği (mm)	Mantar Genişliği (mm)	Gövde Kalınlığı (mm)
60,340	150	172	72	16,5
49,050	125	148	67	14
49,430	125	149	67	14
46,303	134	145	64	15
39,520	120	138	62	12

## 1.2. TRAVERSLER

Rayların altına belirlenen aralıklarla ve raylara dik olacak şekilde döşenmiş yol malzemesine denir. Traversler arası mesafe tasarım değeri, UIC 60 ve daha büyük kesitli rayların kullanıldığı hatlarda 60 cm; diğer rayların kullanıldığı hatlarda ise 62 cm olmalıdır. Bu değerlerden daha küçük aralıklar kullanılabilir, ama bu maliyeti yükseltir ve bakım çalışmasını zorlaştırır [2]. Şekil 1.4'te B 70 tipi beton travers gösterilmiştir.



Şekil 1.4. B 70 tipi beton travers.

Traverslerin görevleri;

1. Raydan gelen kuvveti balasta iletmek,
2. Ekartmanı korumak,
3. Yol geometrisini korumak.

şeklinde sıralanmaktadır. Ahşap, çelik ve beton olmak üzere 3 çeşit malzemedен imal edilen traversler, genel olarak aşağıda belirtilen özellikleri taşımaktadır:

1. Basınca karşı mukavemet,
2. Aşınmaya karşı dayanım,

3. Bükülme direnci
4. Yeterli esneklik, sertlik ve ağırlık,
5. Hava ve diğer dış etkenlere karşı dayanıklılık

Son yıllarda kentsel raylı sistemlerde kompozit travers kullanımları da yaygınlaşmaktadır. Bir başka travers uygulaması ise, Fransız Devlet Demiryolları (SNCF) tarafından tercih edilen Stedef-Sonneville tipi traverstir. Şekil 1.5'te gösterilen bu travers türü, monoblok beton traversten farklı olarak, iskeleti oluşturan “çelik donatının” her iki yanında, beton blokların bulunmasıdır.



Şekil 1.5. Stedef-Sonneville tipi travers [5].

SNCF tarafından bu tür traverslerin kullanılmasının nedenleri, yol bozulmalarına karşı daha dayanıklı olduğu şeklindeki tecrübe ve görüşlerdir. Şüphesizdir ki, beton traverslerin de olumlu özellikleri yanında, bazı negative yönleri bulunmaktadır. Bu özellikler Çizelge 1.3'te karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Karşılaştırmalı olarak beton traversin özellikleri

<b>Olumlu Yönleri</b>	<b>Olumsuz Yönleri</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ekartman ölçülerini iyi korur.</li><li>2. Nemden etkilenmez ve dış etkilere dayanıklıdır.</li><li>3. Yüksek hızlara ve ağır yük taşımacılığına uygundur.</li><li>4. Yalıtıcıdır ve maliyeti düşüktür.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Bakımı zordur. Daha dikkatli ve aletli çalışmayı gerektirir.</li><li>2. Zayıf zeminlerde kullanılamaz.</li><li>3. Deraylardan sonra kullanılamaz hale gelir.</li><li>4. Esnekliği azdır, balastı çabuk yıpratır.</li></ol>

### 1.2.1. Gaziray Proje Kriterlerindeki Traversler İçin Boyut ve Toleranslar

Gaziray projesinde kullanılacak traversler için aşağıdaki değerler tespit edilmiştir [6]:

1. Omuz genişliği: 1814 mm  $\pm$  1,5
2. Ray oturma yüzeyi eğimi (1:40) 150 mm uzunluğunda  $< \pm 0,7$  mm
3. Ray oturma yüzeyi burulması 150 mm genişlikte  $< 1,3$  mm
4. Ray oturma yerindeki omuz genişliği: 298 mm (+1,5 mm – 0,5 mm)
5. Travers taban uzunluğu: 2600 mm  $\pm$  10 mm
6. Travers taban genişliği: 300 mm  $\pm$  5 mm
7. Hat açıklığı: 1435 mm (-1 mm ; + 2 mm)
8. Ray oturma yerindeki (merkezde) travers yüksekliği: 215 mm +5; - 3 mm

### 1.2.2. Gaziray Traversleri özellikleri

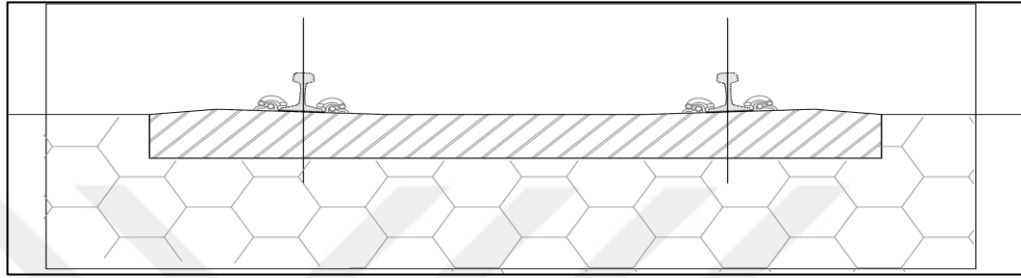
Gaziray projesinde kullanılacak traverslerin özellikleri aşağıda verilmiştir [6]:

1. Traversler temiz, çatlaksız ve düz yüzeylere sahip olacaktır.
2. Traversin alt yüzeyi pürüzlü ve uniform yüzey özelliğini gösterecek ve çimento kaymağı izleri bulunmayacak, traverslerde pullanma olmayacaktır.
3. Plastik seletin oturacağı yüzey düz ve pürüzsüz olacak, hava boşlukları bulunmayacaktır.
4. Tirfon ve plastik dübel altı üstten gelen suların tahliyesi için dübel altlarında boşluk olacaktır.
5. Traverslerin boyut ve işçilik kontrolü her yığın için Wald diyagramı kullanılmak suretiyle yapılacaktır.

6. Kabule sunulan traverslerin, Wald diyagramına göre reddedilmesi halinde yüklenici istediği takdirde kusurlu traversleri ayırmak suretiyle söz konusu yığın tekrar kabule sunabilecektir.

7. Tekrar ekli Wald diyagramına göre yapılacak boyut ve işçilik kontrolünün sonucunda yığın ret veya kabul edilecektir.

Şekil 1.6’da proje kapsamında ray ve travers kesiti gösterilmiştir.



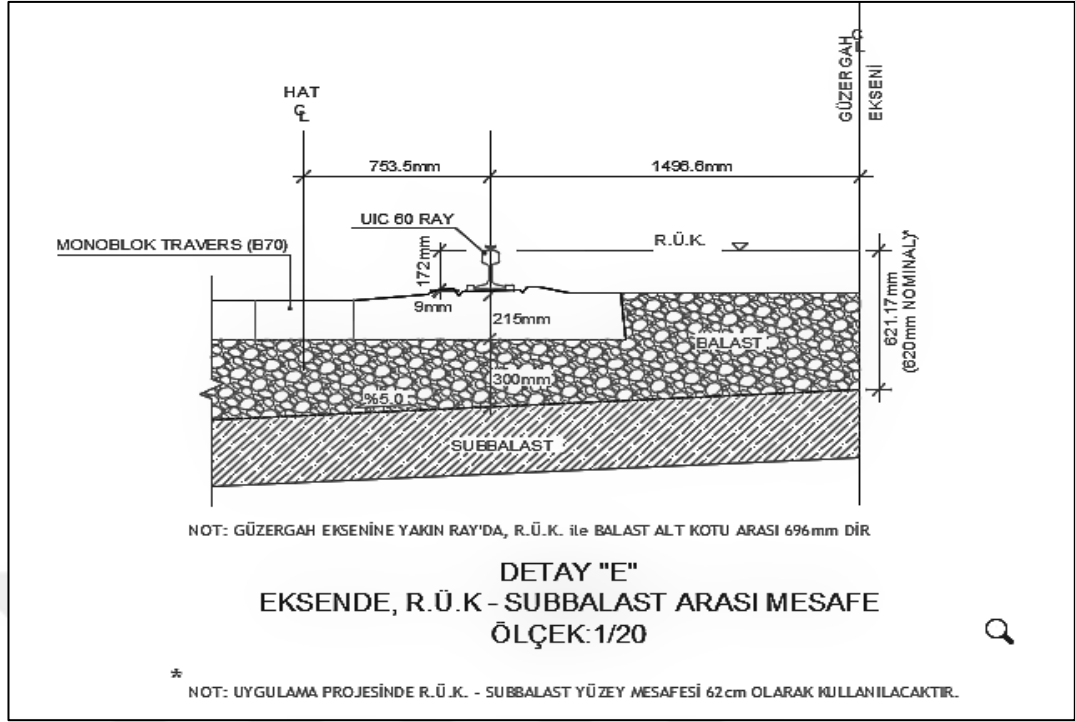
Şekil 1.6. Ray-travers proje kesiti [6].

### 1.3. BALAST

Demiryolu balastları, sert ve sağlam taşlardan 30-60 mm ölçüsünde kırılarak platformun üstüne serilen, keskin köşeli ve keskin kenarlı kübik şekilli malzeme olarak tarif edilmektedir. Diğer bir tanımlamaya göre, raylı sistemlerde hat zemini üzerine serilen, traverse gelen yükü zemine dağıtan, düşey deformasyona engel olan, hat düzleminde yatay hareketi önleyerek verilen geometrik şekli koruyan ve drenaj olanağı sağlayan bir malzemedir. Balast yapılabilen malzemeler granit, bazalt, siyenit, diyorit, diyabaz ve sert kalker taşlarıdır. En ideali ise granit ve bazalt taşlarıdır. Balast kesiti Şekil 1.7’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Balastın Görevleri;

1. Traverse yataklık eder ve yerinde tutar.
2. Traversten gelen yükleri platform üzerine homojen olarak yayar.
3. Yolun esnekliğini sağlar ve yolu ekseninde tutar.
4. Yolu ottan korur, yağmur sularını süzerek dışarı atar.
5. Platformu buzlanmaya karşı korur.
6. Traversin toprakla olan ilişkisini keser ve çürümesini önler [2].




Şekil 1.7. Ray üst kotu ve balast kesiti [6].

### 1.3.1. Projede Balast Kriterleri

Gaziray projesinde kullanılacak balastlara ait kriterler Şekil 1.8'de gösterilmiştir. TCDD tarafından verilen bu kriterlerde;

1. Elek analizi (EN 901 - 1),
2. Yassılık indeksi (EN 901 - 3),
3. şekil indeksi (EN 901 - 4),
4. Los Angeles aşınma dayanımı (EN 1097 -2),
5. Su emme oranı (EN 1097 - 6),
6. Donma çözülme direnci (EN 1367 - 2) gibi parametrelerle ilgili standartlara göre test edilmektedir.

 <b>ÜSTYAPI İŞLERİ</b> <b>KALİTE KONTROL DENEYLERİ ve KABUL ŞARTLARI</b>			
<b>BALAST</b>			
<b>LABORATUVAR DENEYLERİ</b>	<b>KRİTER / DENEY</b>	<b>ŞARTNAME KABUL KRİTERLERİ ve TEST SIKLIĞI</b>	<b>DENEY STANDARTI</b>
	<b>Elek Analizi</b>	Her 5.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	
	<b>Elek Boyutu (mm)</b>	<b>% Geçen</b>	
	63 mm	97 - 100	EN 933-1
	50 mm	87 - 100	
	40 mm	25 - 68	
	31,5 mm	0 - 28	
	22,4 mm	0 - 5	
	<b>İnce Taneler</b>	0,5 mm elekten geçen yüzdesi, toplamın ≤ % 0,6 Her 5.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	
	<b>Çok İnce Taneler</b>	0,063 mm elekten geçen yüzdesi, toplamın ≤ % 0,5 Her 5.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	EN 933-1
	<b>Yassılık İndeksi</b>	≤ %20 Her 20.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	EN 933-3
	<b>Şekil İndeksi</b>	≤ %25 Her 20.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	EN 933-4
	<b>Tane Uzunluğu</b>	50 kg'lık numune arasında 100 mm veya daha büyük tane miktarı kütlece; ≤ % 4 Her 20.000 m <sup>3</sup> 'te 1 adet	
	<b>Parçalanma Direnci (Los Angeles Aşınma Dayanımı)</b>	1000 devir sonunda ≥ %15 Ocak yeri değiştiğinde ve/veya her 2 ayda 1 kez	EN 1097-2, TS 7043 EN 13450 Ek C (düzeltmeler için)
	<b>Su Emme Oranı</b>	≤ % 1.5 Ocak yeri değiştiğinde ve/veya her 2 ayda 1 kez	EN 1097-6
	<b>Donma Çözülme Direnci (MgSO<sub>4</sub> Testi)</b>	10 devir sonundaki ağırlık kaybı ≤ %5 Ocak yeri değiştiğinde ve/veya her 2 ayda 1 kez	EN 1367-2, TS 7043 EN 13450 Ek G (düzeltmeler için)

Şekil 1.8. Gaziray projesi balast kriterleri [6].

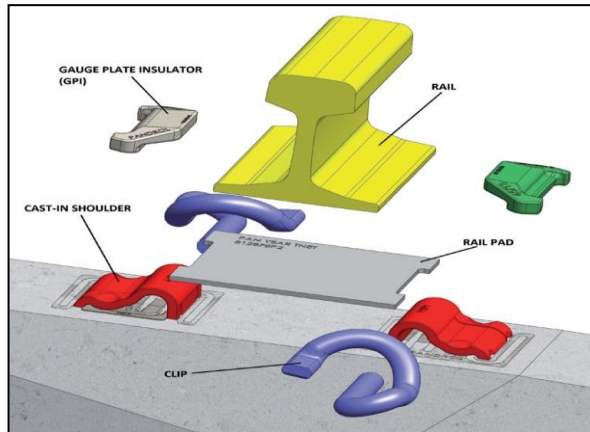
Hat zemininin altyapısı tamamlandıca, balast yatağı Şekil 1.9'da olduğu gibi serilmektedir. Demiryolu hattı, ray ve traverslerin serilmesine hazır durumdadır.



Şekil 1.9. Ray ve traverslerin yerleştirilmesine hazır balast yatağı.

#### 1.4. BAĞLANTI ELEMANLARI

Bu elemanlar, rayları- raylara ve rayları- traverslere bağlayarak stabilitesi yüksek bir çerçeve oluşturan, raylar ve ray ile travers arasında kuvvet aktarımını sağlayan, rayların şekil ve yer değiştirmelerini önleyen, üstyapıya gelen etkileri elastik şekil değiştirmelerle azaltan elemanlardır. Ray bağlantı elemanları; cebire, krapo, ergo, bulon, tirfon ve selet gibi malzemelerden oluşmaktadır. Ray bağlantı elemanları Şekil 1.10'da topluca verilmiştir.



Şekil 1.10. Ray bağlantı elemanlarının toplu görünümü.

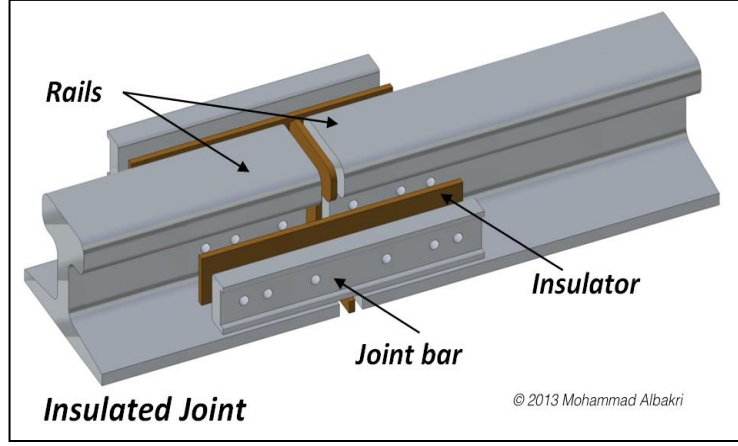
### 1.4.1. Cebire

Rayların bel kısımlarından birbirine bağlanmasına yarayan elemanlardır. Cebireler Şekil 1.11’de gösterildiği gibi cıvata-somun bağlantısı ile takılırlar. Cebire ile ray birleşme noktalarına “conta” denir. Cebire bağlantılarında kötüleşme durumlarında, taşıt tekerleri conta geçişlerinde gürültü üretir ve taşıtın seyir kalitesi kötüleşir. Demiryolu yapımında Cebire kullanmaktan kaçınmak gerektiğinde, raylar UKR tipi ray haline getirilir.



Şekil 1.11. Cebire ile birleştirilmiş raylar.

Demiryolu hatlarında, trenin gelişini hemzemin geçitleri bildirme tesisatları vardır. Bu tesisatta, devrelere akım verileceği için, cebire yalıtılmış olmalıdır. Şekil 1.12’de izoleli cebire ile birleştirme elemanları gösterilmiştir.



Şekil 1.12. İzoleli cebireli ray bağlantısı.

#### 1.4.2. Krapo ve Somunu, Bulon, Tirfon

Rayları-ray, Ray – Travers tespitlerinde, kullanılan birleştirme elemanlarıdır.

#### 1.4.3. Selet

Raylar için traverste yumuşak bir oturma yüzeyini oluştururlar. Plastik – kauçuk türü malzemeden yapılmaktadırlar.

#### 1.4.4. Bağlantı Türleri

Ray bağlantı elemanlarının arasındaki esnek bağlantıyı sağlayan elemanlar kompleksidir. Türleri arasında; Nabla, Vossloh, Pandrol, K tipi vb. bağlantılar mevcuttur. Bu türlerden Vossloh tipi bağlantı yayları Şekil 1.13'te verilmiştir.



Şekil 1.13. Vossloh tipi bağlantı sistemi.

## 1.5. GAZIRAY PROJESİ BAĞLANTI ELEMANLARI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Gaziray projesinde kullanılan bağlantı elemanları; tırfon, plastik açıcı kılavuzu ve yaylı kısıkaç türlerinde Şekil 1.14’te verilmiştir.



Şekil 1.14. Bağlantı elemanları; tırfon, plastik açıcı kılavuzu, yaylı kısıkaç [3].

### 1.5.1. Tırfon (Ss Rd 155)

Tirfonların üretiminde kullanılacak malzeme, Çizelge 1.4’te verilen özellikleri taşımalı ve UIC 864-1 kriterine uygun olarak üretilmelidir.

Çizelge 1.4. Tirfonların mekanik özellikleri.

Çekme Mukavemeti	min 500 N/mm <sup>2</sup>
Kopma uzaması	min 20%
Akma Dayanımı	min 300 N/mm <sup>2</sup>

Yukarıdaki kriterlere ilaveten, tirfonlarda aşağıdaki özellikler de bulunmalıdır:

1. Tirfonlar ekli resimdeki ölçü ve toleranslara uygun olarak, kaynaklı ve tek bir parçadan imal edilecektir.
2. Tirfon başları sıcak dövme ile imal edilecektir.
3. Tirfon başları sıcak ovalama ile imal edilecek, dış hadveleri düzgün ve eksiksiz olacaktır. Dış ölçüleri resimde verilen ölçü ve toleranslara uygun olacaktır.
4. Tirfonların baş ve gövdesi aynı eksen üzerinde olacak ve dış çekilmesi sonucu tirfonda eksen kaçıklığı olmayacaktır.

#### 1.5.2. Skl 12 Yaylı Kıskaç

Skl 12 yaylı kıskaçlar TS EN 10089 veya eşdeğerine göre Çizelge 1.5'te verilen kimyasal kompozisyona sahip alaşımlı yay çeliğinden üretilecektir:

Çizelge 1.5. Yaylı Kıskaç kimyasal yapısı.

C	% 0,35 - % 0,42
Si	% 1,5 - % 1,8
Mn	% 0,5 - % 0,8
S	max. % 0,025
P	max. % 0,025

Diğer özellikler ise; yaylı kıskaçın 400 – 460 vickers 30 (ISO 6507:2005) sertliğe ısıtılıp işleme sağlanacak, gerilim kıskaçları korozyona karşı koruyucu bir kaplama ile kaplanmış olacak ve W-14 yaylı kıskaçlar DIN EN 10089 veya eşdeğerine göre

Çizelge 1.6'da verilen kimyasal kompozisyona sahip alaşımlı yay çeliğinden üretilecektir:

Çizelge 1.6. W-14 Yaylı Kısaç kimyasal yapısı.

C	% 0,35 - % 0,42
Si	% 1,5 - % 1,8
Mn	% 0,5 - % 0,8
S	max. % 0,025
P	max. % 0,025

### 1.5.3. Plastik Açık Kılavuzu

Açık kılavuzları, %30 cam elyafı ile güçlendirilmiş, ışıınımdan meydana gelebilecek deformasyona karşı dirençli sentetik malzemeden üretilecektir.

Malzeme aşağıda verilen özelliklere sahip olacaktır:

1. Yoğunluk: 1,35 – 1,45 gr/cm<sup>3</sup>
2. Darbe mukavemeti:> 40 KJ/m<sup>2</sup> (Test 10x10x110 mm.lik test parçasında yapılacaktır.)
3. Çentik darbe mukavemeti:> 6 KJ/m<sup>2</sup>
4. Nem oranı (işlem gördükten sonra): %1-2,5
5. Açık kılavuz plakaları minimum 10<sup>12</sup> Ohm x cm.lik elektriksel dirence sahip olacaktır.

### 1.5.4. Elastik Ray Seleti

Elastomer ZW 700/148/165 mamul olan elastik ray seleti aşağıda verilen özelliklere sahip olmalıdır:

1. Statik elastikiyet : 50 - 70 kN/mm (18 ve 68 kN arasında secant elastikiyet olarak ölçülecektir)
2. Elektriksel direnç : 2x10<sup>8</sup> ohm x cm

3. Malzemeye uygun koruyucu malzeme ilave edilerek oksitlenmeye ve çürümeye karşı dirençli olması sağlanacaktır. Bu ilave malzemeler mamul içerisinde homojen olarak dağılmış olacaktır.
4. Elastik seletlerin imalatında geri dönüş malzemesi (yolluk, sakat ve bozuk selet vs.) kullanılmayacaktır.
5. Seletler, düz kenarlı ve pürüzsüz yüzeyli olacaktır. Seletler de kalıp kusurları bulunmayacaktır. Seletlerin iç bünyesinde tortu, erimemiş plastik malzemesi, yabancı malzeme bulunmayacaktır.

### 1.5.5. Plastik Döbel

Plastik döbeller aşağıda özelliklere sahip Polyamid PA 6 ya da Polyamid Pa 6.6 malzemesinden yapılacaktır. Bu malzemelerin haricindeki malzemeler kabul edilmeyecektir. Döbeller aşağıda belirtilen fiziksel değerlere sahip olacaktır:

1. Yoğunluk : 1,10 – 1,15 gr/cm<sup>3</sup>
2. Hacim direnci : 2x 10<sup>8</sup> Ohm x m

Döbel imali sırasında kalıplardan artakalan malzemeler (yolluk vb.) ile hatalı ve özürlü parçalar tekrar döbel imalatında kullanılmayacaktır.

## BÖLÜM 2

### BALASTLI HAT

#### 2.1. BALASTLI HAT ÖZELLİKLERİ

Balastlı hat yapısı travers ve raylara zemin görevi üstlenen demiryolu araçlarından gelen yükü subbalasta yayarak ve titreşimi sönmülemeye yarayan granit veya bazalt gibi kırma taşlardan oluşan belirli kesitlerdeki üstyapı hat çeşididir. Diğer hat tasarımlarına nazaran yapım sürelerinin kısa olması ve yapım maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak belirli periyotlarında bakım ve kontrol isteyen hat türüdür.

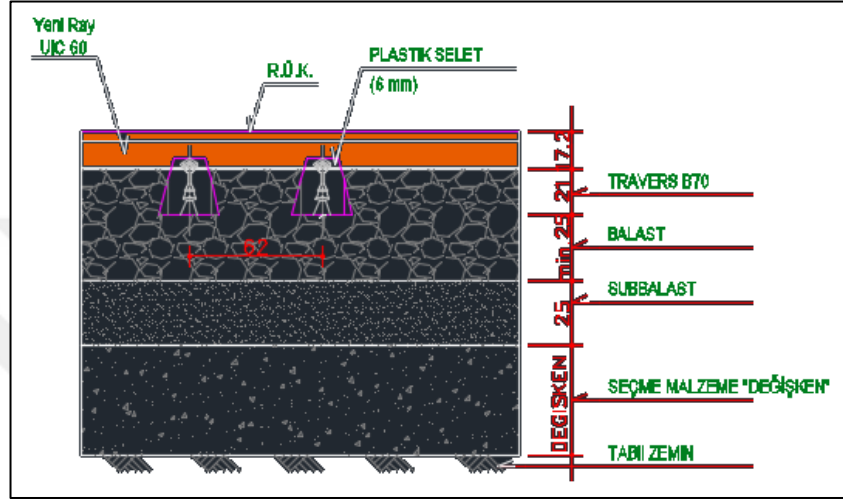
Gaziray projesinde balast malzemesi Finisher adlı makine ile serilmekte olup, işlem Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Finisher makinesi ile balast serimi (super 1900).

### 2.1.1. Balastlı (Esnek) Üstyapı

Ülkemizdeki konvansiyonel, HT ve YHT hatlarının büyük bir bölümünde balast üzerine traverslere bağlantı elemanlarıyla raylara montajlanmış demiryolu üstyapısıdır. Balastlı hat yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Balastlı hat üstyapısı ve elemanları [6].

### 2.1.2. Balastlı Üstyapının Avantajları

Balastlı hatlarda görülen avantajlar aşağıda verilmiştir:

1. Raydan gelen statik ve dinamik yükleri alt temele yayarak indirger.
2. Yatay ve dikey yüklerle oluşan kuvvetlere karşı demiryolu üstyapısının bozulmasında direnç gösterir.
3. Hava şartlarından dolayı oluşan suların zemine kolayca sızarak yapıyı korumasını sağlar.
4. Dar kurplarda ve yüksek değerde dever verilebilir.
5. Demiryolu araçlarından gelen önemli derecedeki titreşimleri sönmüleme görevini üstlenir.
6. Bakımı kolaydır. Makineli ve elle tamiratlarla İstenen değer ve ölçülere getirilebilir.
7. Balastsız demiryoluna göre ilk yatırım maliyeti düşüktür.

### 2.1.3. Balastlı Üstyapının Dezavantajları

Balastlı üstyapının avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Balastlı hattın yapım aşaması hızlı olmasına karşın bakım periyotları siktir. Dolayısıyla işletmeye açık olan hattın sıklıkla bakıma alınması seyrüseferi aksatabilir.
2. Bakım periyotlarının sık olması ilk yatırım maliyeti her ne kadar düşük olsa da servis ömrü maliyetini arttırır.
3. Uygun balast kullanılmazsa yani kirli balast veya istenilen agrega değeri taşımayan malzeme kullanımı hattın kalitesini düşürür.
4. Balastların zamanla ufalanıp uygun olmayan geometri şekline geldiğinde alt temele inmesiyle hattın drenaj sorununu ortaya çıkarır. Bu sorunu çözmek için hatta balast takviyesi ile birlikte tamirat görmesi gerekir.
5. Bakımının daha zor olduğu ve balast kirliliğinin daha fazla olduğu tünel gibi yapılarda balastlı hat uygulaması uygun değildir. Balast yatağının yüksek olmasından dolayı tünellerde yük gabarisinin azalmasına neden olur.
6. Havanın aşırı ısınıp soğuduğu bölgelerde balastlı hatlarda olması gereken ekartman, dever ve nivelman ölçülerinin stabilizasyonunu koruyamaz.
7. Balastlı hat yapısı dış etkenlerden en önemlisi olan suyun nüfuzunu alt temele geçirgenliğini arttırdığında alt yapının da çöküntü ve şişme durumların yaşamasına sebep olur. Bunun sonucu olarak üstyapının da ölçüm değerlerinin bozulmasına neden olur.
8. Balastlı hat yapısında nebati yapının oluşumunu tamamen engellemek mümkün değildir.
9. Yüksek hızlarda balastların etrafa savrulmasıyla çeken, çekilen araçlara ve etrafa zarar verebilir.

#### 2.1.4. Balastlı Üstyapıda Bakım İhtiyacı

Balastlı hat her ne kadar sıkıştırılsa da zamanla hava şartlarından ve işletme etkilerinden dolayı balast taneleri ufalanması ve yer değiştirmesi sonucu demiryolu hattı konumunu kaybedip hatta oturmalar gibi sorunlara neden olur.

Bu sebeple belirli zaman aralıklarıyla gerekiyorsa Şekil 2.3'te gösterildiği gibi balast vagonlarıyla balast takviyesi akabinde de buraj makinesi ile hattın nihai eksenine tekrar çekilip regülatör makinesi ile balast omuz başlarını da balastlarla besledikten sonra stabilizatörle sıkıştırma işlemi yapılır. Yoğun işletmeye açık olan hatlarda ve ülkemizdeki gibi demiryolu ulaşımı genel olarak tek hat ile sağlanması bakım işleri ile hattın yolcu ve yük taşınmasına engel olmaktadır.



Şekil 2.3. Balast serme vagonu (LDH 125-411).

Alternatif yolların olmaması yani tek hat işletmeciliğinde ne kadar bakıma ihtiyaç duyulursa o kadar da hattın işletilmesine engel olur. Bu sorunu çözmek için ülkemizde de yoğun çalışan hatların coğrafi şartlarına göre eğer ikinci bir hat uygun değilse, hat altyapısıyla ve üstyapısıyla birlikte yeniden inşa yoluna gidilerek bakıma ayrılan zaman optimize edilmektedir. İkisi konvansiyonel ikisi de hızlı tren için planlanan 4

hatlı demiryolu projesi olan Gaziray projesinde de olduğu gibi coğrafi şartları uygun olan yerlerde de yeniden inşa ederek hem bakıma ayrılan zaman daha aza indirgenmiş hem de alternatif yolun bulunmasıyla tren işletilmesi engellenmemiş olacaktır. Buna ek olarak balastsız hat uygulamasıyla da önemli derecede bakıma ayrılan zaman, maliyet, iş gücü vb. gibi parametrelerden de tasarruf edilmektedir.

## **2.2. BALASTLI HATTIN UYGULAMA ESASLARI**

Balastlı hatlarda zeminin jeoteknik özelliklerine göre alt yapıya uygun çalışma yapılır. Zayıf zeminse daha derin kazı yapıp taş dolgu ile başlayıp terasman kotuna kadar dolgu yapıp belirli kalınlık aralıklarında sıkıştırma işlemi yapılır. Zayıf olmayan zeminlerde ise alt temel dolgu kazısından sonra sıkıştırma işlemi yapılarak terasman kotuna getirilir. Bu işlem esnasında düz yolda 20 metre de bir kurplu yollarda ise 10 metrede bir eksen kazıkları çakılıp ölçüm değerleri bu aralıklarda kontrol edilir. Aynı işlem subbalast zemin kalınlığı 25 cm olan subbalastta da yapılır. Subbalast malzemesi maksimum dane çapı 25 mm ölçülerdeki çakıllı ve toprak karışımli agregası ile ilk önce 15 cm kalınlığında serilip zemini ıslatıp titreşimle sıkıştırma işlemi yapılır. Daha sonra 10 cm daha subbalast malzemesi aynı şekilde tekrar serilip balast serilmesine hazır konuma gelmiş olur.

Subbalast serimi tamamlanan hatta finişer makinesi ile ilk etapta travers altından 5 cm düşük olacak şekilde balast serilir ve silindir ile sıkıştırma işlemi yapılır. Bu yapının üzerine travers, ray serilmesi ve travers-ray montajı işlemi yapılır. Bu işlem esnasında traversler arasındaki mesafeler tek tek ölçülüp 62 cm ve  $\pm 1$  toleranslarına göre dizilimi kontrol edilir. Akabinde de balast vagonlarıyla ilk kademe balast hatta serilir. Buraj makinesi ile bu hat öncelikle eksen kaçıklığını ve nivelman bozukluğunu ilk işlemde kısmen düzeltir. Şekil 2.4'te buraj çalışması gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Plasser&Theurer 08-16 buraj makinesi.

Hat üzerinde şenaj noktalarından ölçüm yapıldıktan sonra tekrar balast takviyesi ile birlikte ya da yeterli miktarda balast varsa da lokal olarak eksiklikler regülatör makinesi ile tamamlanıp buraj makinesinin ikinci işleminde belirli oranda nihai kota yaklaştırılır. Şekil 2.5'te regülatör makinesi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Plasser&Theurer balast regülatör makinesi.

Bu aşamadan sonra şenaj noktalarından ölçüm alınarak kontroller yapıp buraj makinesi regülatör ve stabilizatör makineleri birlikte çalışarak hattın uzun kaynaklı ray yapımına hazır hale getirilir. UKR işleminden sonra tekrar ölçümlerle buraj

makinesi, regülatör ve stabilizatör makinesi çalışarak sonsuz kaynak işlemine hazır hale getirilir. Şekil 2.6’da stabilizatör makinesi gösterilmiştir.



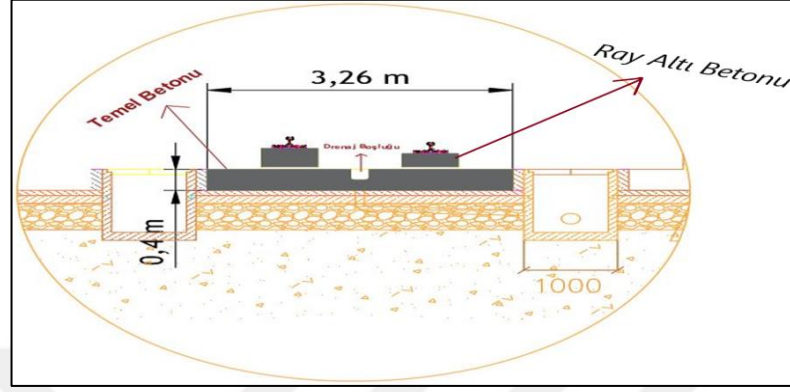
Şekil 2.6. Stabilizatör makinesi.

### 2.3. BALASTSIZ HAT ÖZELLİKLERİ

Gelişen demiryolu teknolojisiyle birlikte daha hızlı taşıtlara gereksinim duyulmakta ve çalışmalara bu yönde yapılmaktadır. Bu durum hızlanan demiryolu araçlarıyla birlikte demiryolu hatlarında mevcut kullanılan balastlı yapının yetersiz kalmasını ve yeni tasarımlara yönelmeyi gerektirmektedir. Balastsız hat yapısı bu tasarım çeşitlerinden biridir. Betona sabit monoblok betonlu veya betona gömülü olarak inşa edilen demiryolu hattı travers ve ray yapısı balastsız bir şekilde rijit olarak hat montajı gerçekleştirilir.

Demiryolunda kullanılan hatlarda balast yatağı ile birlikte travers yapısı en çok yenilenmeye ve bakıma ihtiyacı olan unsurlar olarak görülmüştür. Ancak günümüzde demiryolu hatlarında servis ömrünün uzun olması dikkate alınmasıyla birlikte balast ve travers yapısının yerine balastsız, betona sabit hatlar tercih edilmeye başlanmıştır. Betona sabit hatlarda bakım maliyetinin düşük olması ve ray üstü araçlarından gelen yanal ve dikey kuvvetleri altyapıya homojen olarak dağıtması gibi önemli özellikleri ilk inşa maliyetlerinin yüksekliğini ikinci plana atmaktadır. Balastsız üstyapının yanal kuvvetlerle oluşan etkilere direncinin yüksek olmasından dolayı demiryolu araçlarının yüksek hızlara çıkmasına olanak sağlar.

Betona sabit (balastsız) hatlarda balastın esneklik görevini ray altındaki kalın pedlerle sağlanarak demiryolu araçlarından gelen yük ve titreşim alt yapıya aktarılır. Balastsız bir hattın yerleştirilmesi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Balastsız deverli bir hattın yerleştirilmesi.

### 2.3.1. Balastsız Üstyapı

Balastsız hat; rayların bağlantı malzemeleri ile balast tabakası yerine beton veya asfalt taşıyıcı tabakaya direk olarak montajlanmasıdır. Ülkemiz demiryolunda uygulanan slab track hattının (betona sabit hat) bir örneği de Gaziray projesinin belirli kilometre aralıklarında toplam 4778 metre banliyö ve hızlı tren hatlarında inşa edilmiştir. Bu uygulama demir donatısı üzerinde rayın kırmızı kotta sabit kalmasını sağlayacak olan ve Şekil 2.8’de gösterilen fikstürleme işlemiyle hat nihai konumuna getirilip ray altı iki kademeli beton dökülmesi işlemi uygulanır.



Şekil 2.8. Fikstürleme işlemi.

Slab track uygulamasında ano şeklinde demir donatı fikstür ve beton dökme işlemi anolara bölünerek yapılır. Proje kapsamında bir ano 11-12 metre uzunluğundadır. Bir ano için ilk kademede subbalast üzerine C16 kalitesinde gro beton döküldükten sonra demir donatıya C20 kalitesinde faz beton dökülür.

Slab track yapısında 1. ve 2. Kademe beton demir donatı uygulaması Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Slab track yapısında 1. ve 2. kademe beton demir donatı uygulaması.

Daha hassas ölçümlerde dikkat edilen ikinci kademe beton dökülmesi rayın nihai kotu yani kırmızı kotuna göre işlem yapılır. Bu kademe de ver, eksen ve kotlar üzerinde mikron hassasiyetinde ölçülerek yapılır.

Aksi takdirde beton döküldükten sonra yanlış değer de ray üstü kotu verisi alınırsa geri düzenleme işlemi çok daha zahmetli, maliyeti artırıcı ve zaman kaybettirici duruma neden olur. Bu işlem sırasında de ver ve ekartman değerlerini ekartman ölçer aleti Şekil 2.10'da gösterildiği gibi eksen ve kot değerlerini de harita ekibinin ölçüm aletleri ile hassasiyetle kontrol edilir. Her beton dökülme aşamasında laboratuvar ekiplerince beton numuneleri alınarak uygunluğu teyit edilir.



Şekil 2.10. Ekartman ölçer aleti.

Balastsız hatlarda suyun hattın uzaklaştırılması için gro betonda ve ray altı faz beton yüzeyinde eğimler olacak şekilde kotlarla beton dökülür. Bu sayede suyu hattın dışına aktarılması için bir yere toplanıp eğimle hattı terk etmesi sağlanır. Balastlı üstyapıda 62 ±1 cm aralıklara dizilen traversler balastla tam olarak sıkıştırılmazsa hat geometrisinde bozukluklar olabilir. Balast zamanla dış etkenlerden dolayı ufalanıp alt zemine inerek balast yapısını kirlenmesi sonucu geçirimsizliği azalır. Balastlı hatlarda zamanla yatay kaymalar oluşarak eksen kaçıklığına neden olur.

### 2.3.2. Balastsız Üstyapının Avantajları

Balastsız (slab track) üstyapının sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir:

1. Balastsız hattın yapım süresi yavaş olsa da servis ömrü daha uzundur.
2. Bakım ihtiyacı yok denecek kadar azdır.
3. Yolcu ve yük taşımacılığında daha konforlu ve hızlı ulaşımı sağlar.
4. Tünel kesitlerinde yapı yüksekliği azalır.
5. Hat geometrisinin yanal kaymalarda dirençlik gösterir.
6. Su ve nebati gibi yapılardan kaynaklanan dış etkenlerin hat yapısını bozmasını engeller.
7. Yüksek hızlarda balast sıçraması gibi durumu ortadan kaldırır.
8. Viyadük ve köprülerde balastın kendi ağırlığından gelen yükün azalmasıyla sanat yapılarının ömrünü artırır.

9. Mevcut tünellerde balastlı hattan slab track uygulamasına geçildiğinde tünel kesitinde daha fazla boşluk olacağından dolayı hız esnasında hava direncinin düşmesine yol açar.
10. Daha az bakıma girmesiyle tren trafiğinde aksamalarının önüne geçmesini sağlar.
11. Ömrü balasta göre çok daha uzun süreyi barındırır.
12. Balast takviyesi için sürekli balast temini, balast stoğu için arazi, balast vagonlarıyla balast iş treninin oluşturulması, personel, hat bakım makineleri (buraj-regülatör-stabilizatör), yükleyici gibi sıralanan işlerin yerine slab track uygulaması ile bir defada yapılıp uzun süre kullanıma açık kalacak bir hat olmasına olanak sağlar.

### **2.3.3. Balastsız Üstyapının Dezavantajları**

Balastsız üstyapının dezavantajları ise şunlardır:

1. İlk yapım süresi uzun ve detaylıdır.
2. Balastlı hatlardaki gibi kısa kurplarda yüksek dever vermek ve değişiklik yapmak kolay değildir.
3. Derayman durumlarında daha fazla çalışma ve bundan kaynaklı daha fazla zarara neden olur. Balastlı hatlarda kırılan traversin yerine yenisi koymak kolaydır ancak betona sabit hatlarda beton ciddi manada zarar görürse düzeltmek daha zor olacaktır.
4. İnşaat yapım ve ön yapım aşamaları çoktur ve işçilik gerektirir.
5. Balastsız hat yapım aşamasında daha fazla kalifiyeli ve daha fazla sayıda personel çalıştırılır.
6. Balastsız hat yapımında en önemli kısım ray altı faz beton işidir. Burada hassas değerlere göre ray fikstürlenip beton çekme miktarını da düşünerek o yükseltide beton dökülür. Aksi takdirde yüksek beton dökülürse ve bu durum özellikle kurpta yaşanırse tamiratu daha zor olacaktır.

### **2.3.4. Balastsız Üstyapıda Bakım İhtiyaçları**

Demiryolunda bakım üstyapı elemanlarının zamanla kullanılması, demiryolu aracı ve ray-tekerlek ilişkisi gibi nedenlerle belirli periyotlarla yapılır. Balastsız demiryolu uygulamalarından ise balast tabakası bulunmadığı için üstyapı elemanlarından olan diğer ray, bağlantı malzemeleri, ray kaynağı, ray taşlama, makas çalışması, hat kontrolü ve ölçümleri gibi rutin bakımlar yapılmaktadır. Sonuç olarak balastlı hatlarda balast ve diğer üstyapı elemanlarının bakımları daha sık yapılırken balastsız hatlarda sadece balast harici yani diğer üstyapı elemanlarının kontrolleri belirli periyotlarla yapılarak avantaj sağlamış olur.

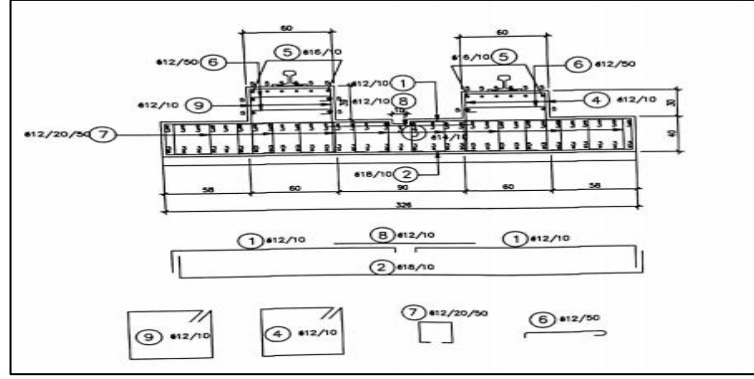
## **2.4. BALASTSIZ HATTIN UYGULAMA ESASLARI**

Balastsız üstyapı uygulamaları beton ve asfalt taşıyıcı tabaka olmak üzere iki kategoride yapılır.

### **2.4.1. Beton Taşıyıcılı Üstyapı**

Üstyapıda balast yerine beton malzemesi kullanılarak tesis edilen bu üstyapı çeşidinde, minimum C35 sınıfı beton kullanılmalı ve betondaki çimento miktarı  $350-370 \text{ kg/m}^3$  arasında olmalıdır. Çatlak oluşumunu sınırlayacak güçlendirme payı beton kesit alanının %0,8-0,9 oranında olmalıdır. Minimum uygulanan tabaka kalınlığı 180mm'dir. Traverssiz yapı tarzında takribi her 2 m' de bir yüzeye uygulanan derzlerle yönlendirilmiş bir çatlak oluşumunu sağlar [8].

Gaziray projesinde slab track uygulamasındaki demir donatı kesiti Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Gaziray projesi beton taşıyıcı tabakada demir donatı kesiti [6].

#### 2.4.2. Asfalt Taşıyıcılı Üstyapı

Asfalt taşıyıcı tabakalar, 4 kat halinde ve 300 mm kalınlıkla uygulanır. Üst yüzeylerde  $\pm 2$  mm' lik tolerans sınırı vardır. Asfalt malzemesi,  $50^{\circ}\text{C}$  sıcaklığın üstünde, üzerinde araç hareketi için gerekli olan minimum mühendislik şartlarını sağlayamaz. Ayrıca asfalt mor ötesi ışınlarla karşı da hassastır. Bu nedenle asfaltın üzeri mıcır veya benzeri tabakalarla örtülmelidir [8].

## BÖLÜM 3

### BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPILARININ TASARIM ÇEŞİTLERİ

Klasik demiryolu üstyapısı, balast yatağı içine hat çerçevesinin yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Düşük inşa gideri, kısa yapım süresi, yapım hatalarını düzeltme imkânı, deyer ve geometride değişiklik imkânları balastlı üstyapının çok önemli avantajlarıdır. Ancak balast yatağı demiryolu üstyapısının en zayıf elemanı durumundadır ve en yüksek bakım harcamalarını gerektirmektedir [9]. Balastsız üstyapı tasarım çeşitleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Balastsız üstyapı tasarım çeşitleri [10].

Aralıklı Ray Destekli Üstyapı		Sürekli Ray Destekli Üstyapı	
Traversli	Traverssiz	Gömülü raylı üstyapı	Sürekli desteklenen Raylı
Betona Gömülü traversler veya bloklar <ul style="list-style-type: none"><li>• Rheda,</li><li>• Züblin,</li><li>• Berlin,</li><li>• Heitkämp,</li><li>• SBV</li></ul>	Prefabrik Beton Döşemeler <ul style="list-style-type: none"><li>• Shinkansen,</li><li>• Frames,</li><li>• Plates,</li><li>• Bögl,</li><li>• ÖBB- Porr</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deck,</li><li>• Track</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cocon Track,</li><li>• ERL</li></ul>
Asfalt beton üzerine imal edilenler <ul style="list-style-type: none"><li>• ATD,</li><li>• BTD,</li><li>• Walter,</li><li>• Sato</li></ul>	Monolitik(Tek parça) <ul style="list-style-type: none"><li>• Lawn-rail,</li><li>• Hochtief</li></ul>		

Yüksek hız hatlarında büyük hat kesimlerinin köprüler, viyadükler veya uzun tüneller içinde döşeniyor olması ve buralarda zaten uygun bir taşıyıcı kaplamanın bulunması, ayrıca daha küçük taşıyıcı sistem kesiti ve daha az tünel gabarisi gerektirmesi gibi nedenler de balast bakım maliyetine eklenince, yüksek hız hatlarının yapımı ve planlanmasında balast yatağı yerine beton tabaka veya plak gibi bir taşıyıcı

konstrüksiyon kullanmayı teşvik etmiştir. Balastsız üstyapı, sanat yapılarının dışında kalan kesimlerde de fazla bakım gerektirmediğinden metro, hafif metro ve tramvay hatlarında da kullanılmaktadır.

### 3.1. BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPININ MALİYET VE SERVİS ÖMRÜ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Balastsız üstyapı ilk yapım maliyeti, balastlı üstyapıya göre yaklaşık iki kat daha pahalıdır. Bu durum kısa vadede yatırım maliyetinin yüksek olmasından dolayı tercih edilmeyebilir. Ancak balastsız hatların uzun servis ömürlerini, düşük bakım maliyetlerini ve sonuç olarak hattın toplam maliyet açısından avantajlarını göz ardı etmemek gerekir. Her iki üstyapı yapım ve bakım maliyetleri Gaziray proje kapsamında yapılan hatlarda güncel değerlere göre hesaplar genel olarak aşağıdaki Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Balastlı ve balastsız üstyapı inşaat maliyetleri.

	Balastlı Üstyapı Maliyeti (Hat-m)	Balastsız Üstyapı Maliyeti (Hat-m)
Malzeme	Travers (adet), ray(ton), bağlantı malzemeleri(adet), kaynak(adet), balast(ton)	Beton(m3), kalıp(m2), ray(ton), derz dolgu(kg), drenaj borusu(m), bağlantı elemanı(adet), fikstür(m)
Makine	Finişer, buraj, regülatör, stabilizatör makineleri, lokomotif, vagon, yükleyici, silindir, ray kaynak makinesi, ekskavatör (sa)	Yükleyici, kamyon, lokomotif, ekskavatör, RGS vagon, küçük motorlu el aletleri, kaynak makinesi, mobil vinç(sa)
İşçilik	Formen, erbab işçi, düz işçi (sa)	Formen, düz işçi, erbab işçi, ray kaynak uzmanı, stres alma uzmanı, fikstür işçiliği, topoğraf vb.
TOPLAM	748,58 TL	1583,723 TL

Çizelge 3.2’deki verilerin detaylı analizleri Bölüm 4’te yer verilmiştir.

Yapılacak yeni bir hatta yatırım maliyetleri kadar servis ömrü süresi önem arz etmektedir. Hattın işletmeye açılmasından sonra belirli periyotlarda bakım çalışması yapılmaz. Balastlı hatlarda hat yapısı denetimleri sıklıkla takip edilmeyi gerektirir ve belirli periyotlarla bakım çalışmaları yapılır. Balastsız hatlarda ise bakım periyotları balastlı hatta kıyasla yok denecek kadar azdır. Bu durumda ilk yatırım maliyeti düşünüldüğünde balastsız hattının servis ömrü kalitesini arttırmaktadır. Çizelge 3.2’deki verilerin detaylı analizlerine Bölüm 4’te yer verilmiştir.

## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

#### 4.1. GAZIRAY PROJESİ ÜSTYAPI KRİTERLERİ VE HAT ÖZELLİKLERİ

Çalışmanın bu aşamasında proje kriterleri, demiryolu özellikleri, hat inşa hesaplamaları ve maliyet analizleri yapılacaktır.

##### 4.1.1. Proje Kriterleri

Gaziray projesinin kriterleri aşağıdaki esaslara göre tespit edilmiştir:

1. Hattın dingil basıncı 22,5 ton olacaktır.
2. Hat ekartmanı 1435 mm ve TCDD'ye yeni yapılan yollarda kullanılan tiriger tablosunda dizayn hızına tekabül eden limitler içerisinde olacaktır.
3. Travers aralıkları 620 mm olacak, traversler hatta dik olarak yerleştirilecek ve aralıklar düzenli ve eşit olacaktır.
4. Traversler arası mesafe  $\pm 10$  mm ve eksenel kaçıklıkta  $\pm 5$  mm toleransla ferş edilecektir. Kurplarda dış ray dizisindeki travers mesafeleri dikkate alınacak ve traversler yelpaze şeklinde ferş edilecektir.
5. Kurplarda kısa ray hesabı yapılarak geçici contaların ve daha sonra yapılacak kaynakların en fazla  $\pm 50$  mm şaşma ile ferşi sağlanacaktır. (iki ray dizisindeki conta ve kaynakların karşılıklı gelmesi için)
6. Yapılacak çalışmalarda hız ve yarıçapa bağlı olarak uygulanacak maksimum dever 130 mm.yi, dever rampası eğimi ise % 1'i geçmeyecektir. Dever rampası eğimi %0,1 i geçtiği takdirde rampa eğiminin % 1'e çekilebilmesi için, gerek aliyman yönünde, gerekse kurp yönünde yapılacak düzeltmelerde aliyman yönünde uzatıldığında yeni oluşacak dever miktarı (ilk PO'dan inilen dikin uzunluğu) 10 mm'yi geçemez. PF'de ise minimum deverden küçük olamaz.

#### 4.1.2. Demiryolu Özellikleri

Demiryolu hattının geometrik ve teknik özellikleri belirtilmiştir ve beton traversler, aşağıda özellikleri verilen hatlarda kullanılacaktır.

1. Ray ..... : 60 E1, 900A kalitesinde
2. Dingil yükü ..... : 22,5 ton/dingil
3. Maksimum hız..... : 250 km/saat
4. Minimum kurb yarı çapı..... : 200 m
5. Maksimum dever ..... : 130 mm
6. Maksimum eğim ..... : ‰25
7. Ray oturma yüzeyi eğimi ..... : 1 / 40
8. Ekartman açıklığı ..... : 1435 mm (-1, +2)
9. Balast ..... : 30-60 mm
- 10.Travers altı balast yüksekliği..... : min. 30 cm
- 11.Traversler arası açıklık..... : 60 cm
- 12.Ray birleşim şekli..... : Kaynaklı ve cebireli

#### 4.2. HAT İNŞA HESAPLAMALARI

Gaziray Proje kapsamında hat inşasında yapılan birim fiyat analiz değerlerinde kullanılacak kriterler; hat-m ve metre küp cinsindedir. Bu kapsamda balast temini ve serilmesi, hat serilmesi, balastsız demiryolu yapılması birim fiyat tarifleri Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1’de proje kapsamında fiyatlandırma ölçütü TCDD Ü.039 pozunun detaylı açıklaması verilmiştir. Balast temini ve serilmesinin fiyatlandırması  $m^3$  (metre küp) cinsinden belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Fiyatlandırma pozunu açıklaması [11].

TCDD Ü.039	Balast Temini ve Serilmesi	m <sup>3</sup>
	<p>Ocak yüzünün yabancı maddelerden temizlenmesi, deliklerinin açılması, patlayıcı madde ile doldurulup patlatılması, taşların sökülmesi, çürüklerinin ayıklanması, büyüklerin kırılması, istifi, ocağın temizlenmesi, figüre sahasındaki 1. (ilk) tabakada kullanılacak balastın karayolu araçlarına yüklenmesi, hatta boşaltılması ve finişerle veya uygun figüre aleti ile hatta serilmesi, gerekli düzeltmelerin yapılarak titreşimsiz olarak silindirle sıkıştırılması, demiryolu üst yapı malzemelerinin yerleştirilmesine hazır hale getirilmesi, üst yapı malzemelerinin yerleştirilmesinden sonra, figüre sahasındaki 2. (son) tabakada kullanılacak balastın vagonlara yüklenmesi, hatta boşaltılması, balast profiline uygun hale getirilmesi için gerekli her türlü malzeme ve zayıtı, işçilik, alet ve edevat giderleri ve ateşleme sırasında bekleme ve güvenlik hizmetleri için geçen zaman karşılığı dahil 1 m<sup>3</sup> fiyatı</p> <p>ÖLÇÜ: Tip en kesit üzerinden metreküp olarak hesaplanır. Nakliye fiyata dahildir.</p>	

Çizelge 4.2’de ise balastlı hatlarda balast temini ve serilmesi işleminin fiyat analiz tablosunda malzeme, makine, işçilik ve nakliye fiyatlandırma verileri detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Çizelge 4.2’deki verilerde yapılan işin poz numarası, fiyatlandırmaların yapıldığı gereç numaraları, yapılan işin ölçü birimi, miktarı ve birim fiyatlarıyla maddeler halinde detaylı değerler girilmiştir. Bu işin toplamda m<sup>3</sup> cinsinden ne kadar mal olduğu hesaplanmıştır.

Hesaplamalar 2016 fiyatlandırmasına göre yapılan işin maliyet toplamı ve firmaya sağladığı kar oranı eklenerek belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Genel fiyat analiz tablosu [11].

BAŞPINAR – GAZİANTEP - M. YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ, ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
TCDD Ü.039	Balast temini ve serilmesi				m <sup>3</sup>
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
Gereç No.	YAPILAN İŞİN CİNSİ	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI (TL)	TUTAR (TL)
<b>Malzeme:</b>					
KOL-M-014	Balast	ton	1,6000	43,84	70,14
<b>Makina:</b>					
KOL-M0603	Finişer (7500 mm - 900 t/h)	sa	0,0010	231,42	0,23
KOL-M0510	Titreşimli toprak silindiri (1750 mm-13 t)	sa	0,0020	116,80	0,23
KOL-M4009	Buraj Makinası(operatör dahil)	sa	0,0003	1.318,20	0,40
KOL-M4002	Balast regülatörü (operatör dahil)	sa	0,0003	1.042,56	0,31
KOL-M4000	Lokomotif (Makinist dahil)	sa	0,0003	740,22	0,22
KOL-M4001	Balast vagonu	sa	0,0012	184,32	0,22
KOL-M0310	Yükleyici (3,50 - 5,50 m <sup>3</sup> , 24 t)	sa	0,0024	197,22	0,47

Çizelge 4.2. (devam ediyor).

BAŞPINAR – GAZİANTEP - M. YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ, ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
TCDD Ü.039	Balast temini ve serilmesi-2				m <sup>3</sup>
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
Gereç No.	YAPILAN İŞİN CİNSİ	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI (TL)	TUTAR (TL)
<b>İşçilik:</b>					
KOL-I-P01	Formen	sa	0,0010	33,46	0,03
KOL-I-P02	Düz işçi	sa	0,0020	22,31	0,04
KOL-I-P22	Silindir Operatörü	sa	0,0020	22,82	0,05
KOL-I-P23	Finişer operatörü	sa	0,0010	22,82	0,02
KOL-I-P20	Yükleyici operatörü	sa	0,0024	22,82	0,05
<b>Nakliye:</b>					
KOL-T-08	Balastın nakli	TL/ton	1,6000	3,80	6,08
	<b>Ara Toplam</b>		<b>78,49</b>		
	Yüklenici karı ve genel giderler %25'e kadar		0,78		
<b>2016 YILI FİYATI (kar ve genel giderler dahil Hat- M Fiyatı)</b>					<b>79,27 TL</b>

Çizelge 4.3. Hat serilmesi fiyatlandırma pozu açıklaması [11].

TCDD Ü.035	Hat Serilmesi (60 E1 Ray ve B 70 beton travers ile)	Hat-m
	<p>Proje ve şartnamelere uygun olarak,</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 60 E1 Ray, B 70 beton travers, her türlü bağlantı elemanı, kontray, ara geçiş rayı, ahşap travers, izole cebire, kupon raylı izole cebire, nervürlü selet, cebire, cebire mengenesi, genişleme contaları gibi özel parçaların temini, bunların iş yerine nakli (rayların stok sahalarından hatta nakli), ilk tabaka balastın üzerine yerleştirilmesi, bağlantılarının yapılması. (Rayların stok sahalarından hattaki ferş yerlerine nakli yüklenici tarafından bu poz içeriğinde yapılacaktır.),</li><li>2. Son tabaka balastın serilip hattın, geometrisine uygun hale getirilmesinden sonra travers-ray ve diğer bağlantıların son haline getirilmesi, ray kotunun -60 mm ye getirilmesi, her türlü düzeltme işlemleri ve uzatma ray kaynaklarının yapılması, taşlanması ile kaynakların tahribatsız muayenesi,</li><li>3. Ray kotunun, makineli tamiratlar ile hat bakım el kitabına uygun hale getirilmesi ve gerilim alınarak SKR yapılması,</li><li>4. Kaynak ve gerilim alınmasına müteakip makineli tamiratlarla hattın kırmızı kotuna getirilmesi</li></ol> <p>Ölçü: Ferş edilen hat üzerinden Hat-metre olarak hesaplanır.</p>	

Çizelge 4.3'te hat serilmesi fiyatlandırma pozunda hat-metre ölçüsünde verilecek parasal miktarın içinde yapılması gereken iş gücü, malzeme tedariki ve ölçüm gibi verilerin detaylı olarak açıklaması yapılmıştır.

Çizelge 4.4. Hat serilmesi maliyet analizi [11].

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M.YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
TCDD Ü.035	Hat Serilmesi (60 E1 Ray ve B70 Beton Travers ile)				Hat -m
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
Gereç No.	YAPILAN İŞİN CİNSİ	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI	TUTAR (TL)
<b>Malzeme:</b>					
KOL-M-1000	Beton Travers	adet	1,6667	149,67	249,45
KOL-M-1001	Bağlantı Elemanı (Saha Teslim)	adet	1,6667	38,94	64,90
KOL-M-1002	Alüminotermite Kaynak Malzemesi (Saha Teslim)	adet	0,0556	182,52	10,15
KOL-M-1003	Cebire Takımı (Saha Teslim)	ton	0,0002	4.056,00	0,81
KOL-M-1010	UIC 60 Ray	ton	0,1204	3.244,80	390,67
<b>Makina:</b>					
KOL-M4009	Buraj Makinası (Operatör Dahil)	sa	0,0010	1,318,20	1,32
KOL-M4003	Dinamik Stabilizatör (Operatör Dahil)	sa	0,0010	912,60	0,91
KOL-M4000	Lokomotif (Makinist Dahil)	sa	0,0029	740,22	2,15
KOL-M4005	RGS tip vagon	sa	0,0116	196,53	2,28
KOL-M4012	UNIMOG	sa	0,0029	243,36	0,71
KOL-M4011	Ray Kaynak Makinesi	sa	0,0015	405,60	0,61
KOL-M4008	Çift Yönlü Ekskavatör	sa	0,0015	129,79	0,19

Çizelge 4.4. (devam ediyor).

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M.YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
TCDD Ü.035	Hat Serilmesi (60 E1 Ray ve B70 Beton Travers ile)-2				Hat -m
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
Gereç No.	YAPILAN İŞİN CİNSİ	ÖLÇÜ BİRİMİ	MİKTARI	BİRİM FİYATI	TUTAR (TL)
<b>İşçilik:</b>					
KOL-I-P01	Formen	sa	0,0010	33,46	0,03
KOL-I-P02	Düz işçi	sa	0,0010	22,31	0,02
KOL-I-P03	Erbab işçi	sa	0,0020	22,31	0,04
KOL-I-P15	Ağır araç şoförü	sa	0,0029	26,77	0,08
KOL-I-P33	Kaynakçı	sa	0,0015	41,84	0,06
<b>1., 2. ve 3. Ay Bakımları Karşılığı</b>					
KOL-I-P01	Formen	sa	0,0010	33,46	0,33
KOL-I-P02	Düz işçi	sa	0,0400	22,31	0,89
KOL-I-P03	Erbab işçi	sa	0,0400	22,31	0,89
<b>Nakliye:</b>					
KOL-T-10	Travers nakli	TL/adet	1,6667	7,12	11,87
KOL-T-20	Rayın yol kenarına nakli	TL/ton	0,1204	23,34	2,81
	<b>Ara Toplam</b>		<b>741,17</b>		
	Yüklenici karı ve genel giderler % 25'e kadar		7,41		
<b>2016 YILI FİYATI (kar ve genel giderler dahil Hat-M Fiyatı)</b>					<b>748,58 TL</b>

Çizelge 4.4’te detaylı bir şekilde balast üzerine beton travers ve ray serim montaj işinin maliyet tablosu verilmiştir. Hat serim aşamalarında her kalem işlerin, işçilerin saatlik-adet veya malzemelerin ton bazında ücretlendirme karşılığı çizelgededir. Bu iş yapımında metrede bir düşen malzeme miktarı, işçi giderleri, makinelerin saatlik çalışma maliyetlerine ek olarak nakliye işleri ve yüklenici firmanın da karı eklendiğinde birim metreye bu işi 748,58 TL’ye yapmaktadır.

Çizelge 4.5. Balastsız hat serimi fiyatlandırma pozu [11].

YBF-TCDD Ü.028	Balastsız Demiryolu Yapılması (60e1 ve 60e2) (Tek Hat, Beton Ankrajlı)	Hat-m
	<p><b>Birim fiyata dahil olan masraflar:</b>            Proje ve şartnamelerine uygun olarak;            1. Balastsız demiryolu yapımı için,            a) Ray, demirli, demirsiz beton, her türlü bağlantı elemanı, izole cebireli ray, alın kaynağıyla hazırlanan ara geçiş rayı gibi parçaların temini ile balastsız yol yapılmasını tamamlamak için seviyeleme betonu ile kırmızı kot arasında gerekli, kendinden yerleşen beton, donatı, topraklama malzemeleri gibi, diğer bütün malzeme ve yol yapım elemanlarının temini, iş yerine nakli ve montajı            b) Seviyeleme betonu üzerinde prefabrik panel ferşinin ve bağlantılarının yapılması            c) Her türlü betonun temini, dökülmesi ve perdahlanması            d) Derzlerin oluşturulması ve derz boşluklarının uygun malzeme ile kapanması            e) Her türlü drenaj malzemelerinin, menhol ızgaralarının, temini ve montajı            f) Kütle yay sisteminin temini ve montajı            g) Geçişlerde kullanılan boruların temini ile montajı            h) Kaçak akım önleyici topraklama sistemi için her türlü malzeme için temini ve montajı            i) Tüm malzemelerin TCDD tarafından uygun görülecek bir sahada veya depoda stoklanması, stok sahasından montaj mahalline taşınması, projesinde belirtilen aralıklarla montajı, her türlü kontrol ve testlerin yapılması, tüm aplikasyon işlerinin yapılması.            2. Balastlı hat ile balastsız hat arası geçiş bölgeleri oluşturulması için gerekli ekstra ray ile bağlantı elemanları ve diğer her türlü malzeme temini ve montajı, hattın geometrisine uygun hale getirilmesinden sonra kaynak ve</p>	

Çizelge 4.5. (devam ediyor).

YBF-TCDD Ü.028	Balastsız Demiryolu Yapılması (60e1 ve 60e2) (Tek Hat, Beton Ankrajlı)	Hat-m
	<p><b>Birim fiyata dahil olan masraflar:</b></p> <p><b>Proje ve şartnamelerine uygun olarak;</b></p> <p>2) ve gerilim alma işlemlerinin tamamlanması, ince taşlamalarının yapılması, tahribatsız muayenelerin yapılması.</p> <p>3)Hattın ultrasonik muayenesi, hat parametrelerin ölçümü, hat kontrollerinde belirlenen hataların giderilmesi ve hat geometrisinin standardına uygun hale getirilmesi ile hattın geometri tanımlayıcı levhalarının hazırlanarak yerine montajının yapılması</p>	
	<p><b>Birim fiyata dâhil olmayan masraflar:</b></p> <p>Balastsız demiryolu hattı ile balastlı demiryolu hattı arasında oluşturulacak geçiş bölgeleri için ödemeler; “balastlı demiryolu yapılması”na ait ilgili pozlarından ödenecektir. Demirli, demirsiz beton, demir imalatları kendi pozlarından ödenecektir.</p> <p>Yeni fiyat için ölçü:</p> <p>Balastsız demiryolu projesine uygun olarak ferşi yapılan tek hat (iki ray) ekseninin “hat-metre” olarak uzunluğudur. Makas bölgeleri uzunluktan düşülür.</p> <p>Proje kapsamında sonradan yapımına karar verilen yeni birim fiyat pozunu olarak belirlenen fiyatlandırmanın neleri kapsadığı veya kapsamadığını gösteren çizelgedir. Bu çizelgeler yeni hat yapımında yürütülen üstyapı çalışmalarının kapsadığı malzeme, işçilik, nakliye gibi işlemlerin fiyatlandırmasının içeriğini açıklayan ve bu fiyatlandırma kapsamında yapılacak olan iş veren-yüklenici arasındaki ödeme şeklini detaylı olarak ifade etmektedir.</p>	

Çizelge 4.5’te proje ve şartnamelerde birim fiyata dahil olan masraflar ve poz numaraları olarak verilen tanımlamalar ise yapılan işlerin karışmaması için isimlendirmeyi kapsamaktadır.

Çizelge 4.6. Balastsız demiryolu yapımı fiyat analizi [11].

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M. YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
YBF-TCDD Ü.028	Balastsız Demiryolu Yapılması (60E1 veya 60E2) (Tek Hat, Beton Ankrajlı)				Hat – m
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
POZ NO	YAPILAN İŞİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	BİRİM FİYAT (TL)	TUTARI (TL)
	<b>Malzeme</b>				
MSB 324	Beton	m <sup>3</sup>	0,360	222,072	79,946
Y.21.001/03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı	m <sup>2</sup>	1,200	32,667	39,200
KOL-M-1010	UIC 60 ray	ton	0,1204	3244,800	390,674
	Derz dolgu malzemesi	Kg	1,000	0,800	0,800
KGM/3605/A 1	200 mm'lik PVC drenaj borusu temini ve döşenmesi	m	1,250	25,392	31,740
Piyasa	Fikstür kalıbı ve malzemesi	m	0,059	1400,000	82,600
KOL-M-1001	Bağlantı elemanı	adet	1,667	38,940	64,901
KOL-M-1003	Cebire takımı	ton	0,0002	4056,000	0,811
	<b>Makine</b>				
KOL-M-0310	Yükleyici	sa.	0,040	197,220	7,889
KGM/03.538/ 2	Kamyon	sa.	0,160	66,930	10,709
KOL-M-4000	Lokomotif	sa.	0,040	740,220	29,610
ÇŞB/03.504	Ekskavatör	sa.	0,080	155,400	12,430
KOL-M-4005	RGS Tip Vagonu	sa.	0,0116	196,530	2,280
	Küçük motorlu el aletleri (Taşlama, tirfonöz vs.)	sa.	0,048	42,470	2,040
KOL-M4011	Ray Kaynak Makinesi	sa.	0,0015	405,600	0,610
ÇŞB/03.517	Kompresör	sa.	0,048	88,160	4,230
	Ölçüm Aleti	sa.	0,120	2,000	0,240
ÇŞB/03.638/1	60 Ton kapasiteli mobil vinç	sa.	0,040	238,620	9,540

Çizelge 4.6. (devam ediyor).

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M.YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
YBF-TCDD Ü.028	Balastsız Demiryolu Yapılması (60E1 veya 60E2) (Tek Hat, Beton Ankrajlı)				Hat – m
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
POZ NO	YAPILAN İŞİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	BİRİM FİYAT (TL)	TUTARI (TL)
	<b>İşçilik</b>				
KOL-I-P01	Formen	sa.	0,010	33,460	0,330
KOL-I-P02	Düzişçi	sa.	0,040	22,310	0,890
KOL-I-P03	Erbab işçi	sa.	0,040	22,310	0,890
Piyasa-7	Ray Kaynak Uzmanı	sa.	0,040	49,793	1,990
Piyasa-5	Stres Alma Uzmanı	sa.	0,020	79,669	1,590
ÇŞB-01.410	Topoğraf	sa.	0,120	11,050	1,330
ÇŞB/01.510	Şenör	sa.	0,240	7,400	1,780
Piyasa	Fikstürİşçiliği	mtul	1,000	400,000	400,000
Piyasa	Plastik Tirfön Kapağı	adet	3,226	6,430	20,740
	Ara toplam				1119

Çizelge 4.6. (devam ediyor).

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M.YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)					
GENEL FİYAT ANALİZİ					
POZ NO	ANALİZİN ADI				BİRİMİ
YBF-TCDD Ü.028	Balastsız Demiryolu Yapılması (60E1 veya 60E2) (Tek Hat, Beton Ankrajlı)				Hat – m
2016 YILI BİRİM FİYAT İLE					
POZ NO	YAPILAN İŞİN CİNSİ	BİRİM	MİKTAR	BİRİM FİYAT (TL)	TUTARI (TL)
		GENEL TOPLAM			1319,769
		% 20 kar ve genel giderler			263,954
		1 Hat - m FİYATI (TL)			1583,723
<b>2016 YILI FİYATI</b> (kar ve genel giderler dahil Hat-m Fiyatı)					<b>1583,72</b>

Çizelge 4.6’da gösterildiği gibi balastsız demiryolunun ilk yapım inşa bedeli, malzemeleri, makineleri, işçi giderleri, yüklenici karı ve genel giderleriyle birlikte bir metre için hat-metre şeklinde fiyatlandırması 1583,72 TL olduğu görülmektedir.

Eskalasyon; enflasyon nedeniyle artan fiyatlar için belirlenen birim artış katsayısıdır. Burada daha önce 2016 yılında fiyatlandırmaya gidilip 2018 yılına uyarlamak için enflasyon farkına göre belirlenen eskalasyon katsayısını yukarıdaki verilen formülle yerine koyularak güncel yılın yeni fiyatlandırması yapılmıştır.

Çizelge 4.7. Slab track beton temel yapısı imalat miktarı ve birim fiyatları [11].

BAŞPINAR-GAZİANTEP-M.YAVUZ İSTASYONLARI ARASININ YENİDEN İNŞA EDİLMESİ ALTYAPI VE ÜSTYAPI YAPIM İŞLERİ (GAZİRAY)				
GENEL FİYAT ANALİZİ				
Slab track beton temel yapısı (1. Ve 2. Kademe gro beton, faz beton ve demir donatı)				
Poz No	Tanımı	Birim	İmalat miktarı	Birim fiyatı
KGM/6000/AN	Ocak taşından konkasörle kırılmış malzeme ile alt temel yapılması	m <sup>3</sup>	4 564,609	34,00
KGM/16.101/K-1/AN	Köprü temellerinde kuruda veya suda her dozda demirsiz beton	m <sup>3</sup>	6 791,408	94,77
KGM/16.133/K/AN	Köprülerde kuruda veya suda her dozda demirli beton	m <sup>3</sup>	7 916,154	150,08
KGM/3000/AN	Çimento bedeli	ton	4 977,740	145,29
KGM/23.014/K/AN	Betonarme için Ø 8 - Ø 12 mm'lik ince nervürlü çelik temini ve işçiliği (Nakliye hariç)	ton	752,037	1 920
KGM/23.015/K/AN	Betonarme için Ø 14 - Ø 32 mm'lik ince nervürlü çelik temini ve işçiliği (Nakliye hariç)	ton	579,268	1 920
Y.19.056/013	5 cm kalınlıkta ekspande polistren levhalar (EPS - 30 kg/m <sup>3</sup> yoğunluğunda) ile bodrum perdelerinde su yalıtımı üzerine ısı yalıtımı yapılması	m <sup>2</sup>	3 166,847	15,75
	Slab track beton temel yapısı 4778 hat-m için Genel Toplam:		5 316 069,394 TL	

Çizelge 4.7'de gösterilen veriler slab track beton temel yapısının maliyet tablosuna göre 4778 metre için maliyeti 5 316 069,394 TL olarak belirlenmiştir.

### 4.3. İŞLETME VE BAKIM HESAPLAMALARI

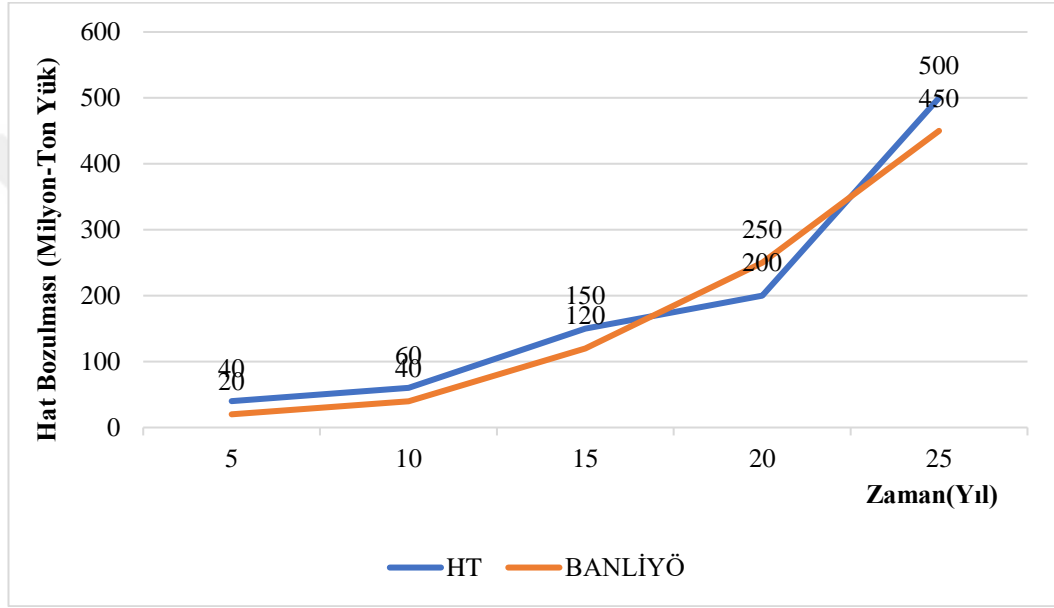
Demiryolu hattının ilk işletmeye alınmasından itibaren değişim grafiği aşağıda görüldüğü gibi gerçekleşmektedir.

**Birinci aşama:** Demiryolu hattının işletmeye açılmasının ilk 2–3 yıl içerisinde lineer olarak geometrik değişimlerdir.

**İkinci aşama:** Birinci aşamanın tamamlanmasından sonraki 10 yıl içinde fark edilebilir geometrik değişiklikler olmaksızın durağan bir durum sergiler.

**Üçüncü aşama:** İkinci aşamanın tamamlanmasından sonraki yıllarda meydana gelen malzeme aşınmaları nedeniyle geometrik değişimler hızla artar [12].

Şekil 4.1'deki veriler hızlı tren ve banliyö hatlarında hattın zamana bağlı durumunu göstermektedir.



Şekil 4.1. Hattın zamanla bozulması [12].

#### 4.3.1. Koruyucu (önleyici) bakım

Koruyucu bakım; duruma dayalı bakım ve önceden tespit ederek yapılan bakım cinsinden iki türlü uygulanır. Duruma dayalı bakım; ölçüm durumlarına bağlı olarak altyapı ve üstyapıyı düzeltmek için kontrolleri ve ölçümleri kapsar. Önceden tespit ederek bakım, hizmet ömrü doğru bir şekilde tespit edilen altyapı elemanlarına uygulanır. Bu bakımda bakım faaliyetleri belli aralıklarda yapılır [12].

#### 4.3.2. Düzeltici bakım:

Bozulmuş bir hatta yapılan bakıma düzeltici bakım denir [12].

### 4.3.3. Yenileme çalışmaları:

Teknik veya ekonomik olarak ömrünü doldurmuş hat bileşenlerinin değiştirilmesi için yol yenileme çalışmalarının yapılması gerekir.

Yenileme çalışmalarında, hatta oluşan kusurların veya hattın kalitesini bozan bütün bileşenlerin değiştirilmesi gerekir. Demiryolu sistemi bir bütün olarak ele alınmalıdır. Sistem içerisindeki herhangi düzensizlik, tüm sistemi etkileyecek ve hattın kalitesini düşürecektir [12].

### 4.3.4. Tipik Bakım Süreleri

Aşağıdaki bakım süreleri / kullanım ömrü süreleri, yaklaşık olarak yüksek gerilimli normal ana hat yollarına / yol bileşenlerine uygulanır.

1. Buraj tamirata yapılması: 40-70 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  4-5 yıl
  2. Ray Taşlama İşlemi: 20-30 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  1-3 yıl
  3. Balast temizliği yapılması: 150-300 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  12-15 yıl
  4. Ray değiştirme işlemi: 300-1000 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  10-15 yıl
  5. Ahşap traverslerin değiştirilmesi: 250-600 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  20-30 yıl
  6. Beton traverslerin değiştirilmesi: 350-700 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  30-40 yıl
  7. Ray bağlantılarının değiştirilmesi: 100-500 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  10-30 yıl
  8. Balastın değiştirilmesi: 200-500 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  20-30 yıl
  9. Altyapının rehabilite edilmesi: > 500 Milyon ton yük geçişinden sonra  $\approx$  40 yıl
- ancak yapılan hat denetimlerinde, hattın bozulmasının planlanandan kötü veya iyi olması durumunda, planlı bakım süresi kısaltılabilir veya uzatılabilir. Ayrıca bakım planlamasında, hatta yapılan ölçüm sonucu elde edilen bakım limit değerlerini dikkate alınır [12].

#### **4.3.5. Hesaplama Esasları**

Başpınar-Gaziantep-M. Yavuz İstasyonları arasının yeniden inşa edilmesi işinde balastlı ve balastsız üstyapı alternatifleri arasında bir karşılaştırma yapılmış ve 8+940-9+690 kilometreleri arası üstgeçit altı ve keskin bir kurp, düşük kot, yağmur suyu çekmesi gibi sebeplerden ve 17+380-17+817 kilometre arası ana istasyon olan Gaziantep Gar bölgesi tren trafiğinin yoğun olmasından dolayı balastsız üstyapıya karar verilmiştir. Bu proje 25 km uzunluğunda ve dört hatlı olup, hat 17 adet istasyona ve 2 adet aç-kapa tünele sahiptir.

#### **4.3.6. Kabuller**

Çalışmada, Gaziray projesinin yapım ve bakım çalışmaları maliyetlerinin net bugünkü değerleri hesaplanması için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

1. Hattın servis ömrünü, hattın en önemli elemanı olan ray belirlediği için, UIC 60 rayın kullanıldığı hattın servis ömrü 36 yıl olarak kabul edilmiştir.
2. Geometrik bakım periyodu 2 yıl ve balast eleme periyodu 9 yıl olarak alınmıştır.
3. Bu kabule göre, hattın 36 yıllık servis ömrü boyunca 18 defa geometrik bakım yapılacaktır.

#### **4.3.7. Hesaplamalar ve Sonuçlar**

Balastlı-balastsız hat inşa maliyet hesapları ve karşılaştırmalarının detayları alt başlıklarda verilmiştir.

#### 4.3.7.1. Balastlı Hat İnşa Maliyet Hesabı

$$B_{li} = h_m * b_{f1}$$

$B_{li}$  : Balastlı Demiryolu Maliyet Hesabı

$h_m$  : Hat-metre

$b_{f1}$  : Birim Fiyatı

$$B_{li} = 80457 * 748,58$$

$$B_{li} = 60.228.501,06 \text{ TL}$$

1. Hat inşa hesabında hat metre hesabı bir metre uzunluğundaki üstyapı (ray, travers, bağlantı malzemeleri, kaynak vb.) maliyet değerini ifade eder.
2. Yukarıda Gaziray proje kapsamında 80457 metre balastlı hat inşasına ait hesaplamalar mevcuttur.

**Not:** Toplam hat metre 85235m olan projenin 80457 metresi balastlı, 4778 metresi balastsız hat olarak inşa edilmiş hesaplamalar bu yönde yapılmıştır.

#### 4.3.7.2. Balastsız Hat İnşa Maliyet Hesabı

$$B_{sız} = h_m * b_{f2}$$

$B_{sız}$  : Balastsız Demiryolu Maliyet Hesabı

$h_m$  : Hat-metre

$b_{f2}$  : Birim Fiyatı

$$B_{sız} = 4778 * 1583,72$$

$$B_{sız} = 7.567.014,16 \text{ TL}$$

Balastsız imalat farklı uygulama ve işlemleri içerdiği için özel bir imalat türüdür. Bu durumda inşa maliyeti balastlı hat inşasına oranla yaklaşık iki kat fazladır. Gaziray proje kapsamında balastsız olarak imalatı yapılan 4778 metre hat kesiminin balastlı olarak imalatı yapılmış olsaydı maliyet olarak tutarı değişiklik gösterecekti.

Aşağıda aynı hat metre değeri için balastlı ve balastsız olma durumuna göre kıyaslaması Çizelge 4.8’de hesaplamalar ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Maliyet hesapları.

	Hat-Metre	Birim Fiyat (TL)	Toplam Maliyet (TL)
Balastlı Hat	4778	748,58	3.576.476,34
Balastsız Hat	4778	1583,72	7.567.014,16

## BÖLÜM 5

### SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

#### 5.1. HAT İNŞA OPERASYONLARININ MALİYET DEĞERLENDİRİLMESİ

Demiryolları gelişen teknoloji sürecinde yerini alırken hızlı araçların artmasıyla birlikte üstyapı kapsamında bugün erişilen yol geometrik kalitesinin ve enine direncinin yetersiz olabileceği düşüncesi, başka bir yol tekniğine başvurmaları gerekliliğini gündeme getirmiştir.

##### 5.1.1. İşletme ve bakım işlerinde değerlendirme

Demiryolu bakım ve tamiratında aşağıdaki makineler kullanılacaktır.

1. Buraj makinesi, (Balastlı hatlarda)
2. Makas buraj makinesi, (Balastlı hatlarda)
3. Regülâtör makinesi, (Balastlı hatlarda)
4. Stabilizatör makinesi, (Balastlı hatlarda)
5. Balast eleme makinesi, (Balastlı hatlarda)
6. Yol yenileme makinesi, (Balastlı hatlarda)
7. Yol muayene makinesi, (Balastlı ve balastsız hatlarda)
8. Panel ve makas serme makinesi, (Balastlı hatlarda)
9. Ray kaynak makinesi, (Balastlı ve balastsız hatlarda)
10. Ray taşlama makinesi (Balastlı ve balastsız hatlarda) [12].

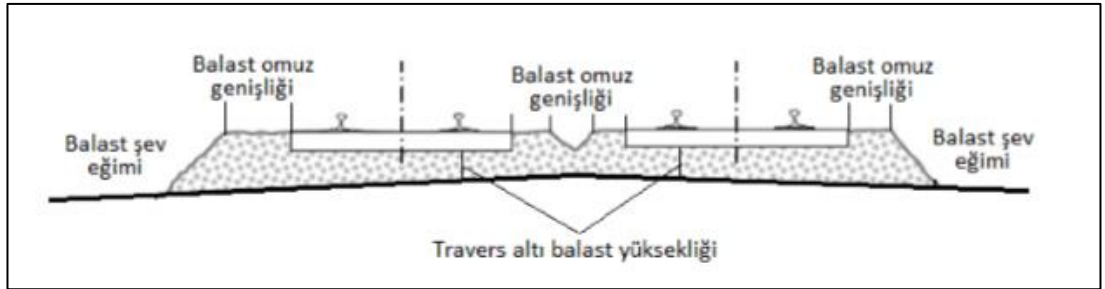
## 5.2. BALASTLI HATLARDA İNŞA VE BAKIM MALİYETİ

Balastlı demiryolu hatlarında kontrol parametreleri ve onların kontrol periyotları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Demiryolu balastlı hat kontrol parametre çizelgesi [2].

Kontrol Edilen Parametreler	Kontrol Periyotları
Travers altı balast yüksekliği	2 yılda 1
Hat üzerinde bulunan balast seviyesinin travers seviyesine göre durumu	2 yılda 1
Hat üzerindeki çamurlu ve beyaz noktalarına olduğu kesimler	Her turne sırasında
Travers başlarındaki balast omuz genişliği	Yılda bir
Travers Hataları, Balast Hataları, Bağlantı Malzemesi Kontrolü	12 ay
Balast değişimi	5 Yılda 1

Şekil 5.1’de balastlı hattın bakımı şematik olarak balast travers yapısı verilmiştir.



Şekil 5.1. Balasta ait ölçülecek parametrelerin çift hatta şematik gösterimi [2].

Bakım işleri esnasında kullanılan makine parkının ve işçilik maliyetleri de Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Makine bakım maliyet tutarı [11].

<b>Makine</b>	<b>Ölçü Birimi</b>	<b>Miktarı</b>	<b>Birim fiyatı (TL)</b>	<b>Tutar (TL)</b>
<b>Buraj Makinası (operatör dahil)</b>	Sa	0,0010	1.318,20	1,32
<b>Balast regülatörü (operatör dahil)</b>	Sa	0,0003	1.042,56	0,31
<b>Dinamik Stabilizatör (operatör dahil)</b>	Sa	0,0010	912,60	0,91
<b>Lokomotif (makinist dahil)</b>	Sa	0,0029	740,22	2,15
<b>RGS tip vagon</b>	Sa	0,0116	196,53	2,28
<b>Unimog</b>	Sa	0,0029	243,56	0,71
<b>Çift yönlü ekskavatör</b>	Sa	0,0015	129,79	0,19
<b>TOPLAM TUTAR (TL)</b>				<b>7,87</b>

Çizelge 5.3. İşçilik Bakım Maliyet Tutarı [11].

<b>İşçilik</b>	<b>Ölçü Birimi</b>	<b>Miktarı</b>	<b>Birim fiyatı (TL)</b>	<b>Tutar (TL)</b>
<b>Formen</b>	Sa	0,0100	33,46	0,33
<b>Erbab işçi</b>	Sa	0,0400	22,31	0,89
<b>Düz işçi</b>	Sa	0,0400	22,31	0,89
<b>TOPLAM (TL)</b>				<b>2,11</b>

Yukarıdaki hesap çizelgeleri sonucunda balastlı hatlarda balast yüksekliği, balast omuz genişliği kontrolleri 2 yılda 1 gerçekleşmektedir. Bu durumda servis ömrü 36 yıl olan demiryolu hattının 18 defa hat bakım makinaları ve operatör kullanımı gerçekleştirilir. Demiryolu bakım araçlarının saatlik maliyet değeri Çizelge 5.2 ve

Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Demiryolu hat bakımlarında 1 saat çalışma yapan makinelerin ve işçilik tutarlarıyla çalışması gereken bakım saatleri hesabı aşağıda yapılmıştır.

Hat bakım maliyet hesabı = Birim fiyat \* Çalışma saati \* (servis ömrü boyunca yapılan tekrar)

Çizelge 5.4. Balastlı hat için bakım hesabı.

İş Gücü Ve Makine	Hesap Formülü	Tutar
Buraj makinesi	1 318,20*8*18	189 820,8
Balast regülatörü	1 042,56*8*18	150 128,64
Dinamik stabilizatör	921,60*8*18	131 414,4
Lokomotif (makinist dahil)	740,22*8*18	106 591,68
6 adet RGS tip vagon	196,53*8*18*6	169 801,32
Unimog	243,56*8*36	70 145,28
Yükleyici (loder)	197,22*8*18	28 399,68
10 adet makine operatörleri	22,82*8*18*10	328 608
Balast	43,84*(4778m*2,65m <sup>2</sup> )*6	3 330 533,568
1 adet formen	33,46*8*72	19 272,96
2 adet erbab işçi	22,31*8*72*2	25 701,12
5 adet düz işçi	22,31*8*72*5	64 252,8
TOPLAM		4 614 670,248

**Not:** Maliyet birim fiyatları 2016 yılında belirlenen değerlerdir.

Çizelge 5.2'deki veriler kapsamında hat bakım sürecinde ihtiyaç duyulan makine, işçilik, malzeme değerlerinin hesabı yapılmıştır.

Bu hesaplamalar balastlı ve balastsız hatlarda ortak olarak bakım maliyeti hesabı içerisinde yer almayan yani ray aşınması, nivelman, ray-tekerlek etkileşimi, bağlantı malzemeleri, ray kaynağı gibi bakımlar harici, sadece balastlı hattın bakım kısmında değerlendirilen ölçütler kullanılarak ortalama balastlı hat bakım değerleri hesaplanmıştır.

Bu durumda balastlı hatlarda bakım işlerinin fazla olmasından dolayı balastsız hatta göre servis ömrüncü 4 614 670,248 TL ek maliyet ortaya çıkmıştır. Bu hesaplamada bakımdan dolayı yolcu ve yük taşıma trafiğini aksatmasından doğabilecek ek maliyetler de bulunmamaktadır. Bu durum hesaplama verilerine dahil edilirse toplam maliyet miktarı daha da artacaktır. Aşağıda hattın servis ömrü boyunca balast serilmesi maliyet hesabı ve hat serilmesi maliyet hesabı toplam değeri ve bakımda dahil edilerek toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Aynı hat metre değeri için balastlı imalat hesabı ise;

1. Balastlı hat: Hat serilmesi + balast serilmesi
  - a. Hat serilmesi maliyeti :  $748,53 \times 4778 = 3\,576\,476,34$  TL
  - b. Balast serilmesi maliyeti : (Birim fiyat) \* (metreküp miktarı)  
:  $(79,27) \times (12\,682,75 \text{ TL}) = 1\,005\,361,592$  TL
2. Balastlı hat imalat toplam maliyet : 4 577 012,932 TL
3. Balastlı hat bakım maliyeti : 4 614 670,248 TL
4. Balastlı hat inşa ve bakım toplamı hesaplanırsa;  
 $4\,577\,012,932 + 4\,614\,670,248 = 9\,191\,683,18$  TL çıkmaktadır.

### 5.3. BALASTSIZ HATLARDA İNŞA VE BAKIM MALİYETİ

Balastsız hatlarda beton malzemesi ve demir donatı kalitesi tam olarak doğru bir şekilde imalat yapıldığında servis ömrü ortalama 50 yıldır. Balastsız hat bakımları bölgenin hava şartlarından dolayı (yağış, sıcaklık, nem vb.) hatta oluşabilecek küçük deformasyonlar, beton çatlakları, bağlantı malzemesi deformasyonu gibi durumlarda yapılır. Bu tamiratlar büyük ölçüde maliyetler gerektirmemektedir. Ancak büyük tren kazalarının meydana gelmesi halinde balastsız hattın beton yapısı kırılıp yeniden yapılması gibi durum gerektirir. Ancak bu durum bakım maliyetinde yok sayılacaktır.

Hava şartlarından dolayı yapılacak bakımlarda yöntem iki şekilde yapılır.

1. Deforme olan betonlar farklı kalitedeki betonla güçlendirilir.
2. Çelik hasırlı donatıyla birlikte betonla tamirat yapılır.

Balastsız hattın ömrü 50 yıl ve bakımı ise bu süre içinde ortalama 20 yılda bir yapılır. Yani servis ömrü boyunca nerdeyse bir defa yapılır denilebilir. Buna göre yukardaki yöntemlerden herhangi biriyle betonun hasar durumuna göre hattın tamamından ziyade belirli kilometre aralıklarında bakım işlemi yapılacaktır.

4778 metre hat kesimi için betonda yapılan bakım miktarı 50 yıllık sürede kullanılan malzeme ve beton miktarının %10 oranında malzeme kullanıldığı düşünülürse çizelge 4.7'deki verilere dayanılarak slab track beton temel yapısı 4778 hat metre için genel toplam maliyeti 5 316 069, 394 TL'nin %10'u 531 606,9394 TL 'si bakıma harcanan tutar olduğu var sayılmıştır.

İnşa maliyeti ise Çizelge 4.7'de gösterildiği gibi (birim fiyat\*hat metre) olarak hesaplanırsa;

$1583,72 \cdot 4778 = 7\,582\,851,36$  TL inşa bedeli olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplar balastlı hattın 36 yıllık ömrü boyunca maliyet hesabını içerirken balastsız hattın 50 yıllık ömrü boyunca maliyet analizleriyle kıyaslandığında balastsız hattın uzun vadede daha tercih edilebilir bir imalat türü olduğunu göstermektedir.

1. Balastsız hat yapım inşa tutarı: 7 582 851,36 TL
2. Bakım maliyeti: 531 606,939 TL
3. Balastsız hat toplam yapım ve bakım maliyeti: 8 114 458, 299 TL

Yapılan hesaplar balastlı ve balastsız hat arasında büyük maliyet farklılığı oluşturmamıştır. Ancak servis ömürleri düşünüldüğünde balastsız hattın balastlı hattan ortalama 14 yıl fazla trafik akışı sağladığı için avantaj sağladığını söyleyebiliriz.

Bu çalışmada demiryolu ulaşımında hat tasarımlarının incelenen faktörler çerçevesinde farklılıkları, maliyet analizleri, bakım periyotları ve işletmeciliği değerlendirilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Demiryolu hatlarının proje aşamasında ve inşa aşamasında uygulanacak imalatlar hattın yapısı, kullanım sıklığı gibi nedenler değerlendirilerek balastlı ve balastsız uygulama çeşitlerinden hangisinin daha uygun

olduğuna karar verilir. Bu karar maliyet açısından ve hattın işletilmesi açısından karşılaştırma yapılıp değerlendirilir. İmalatların inřa maliyetleri balastlı demiryolunda balastsız (betona sabit hat) demiryoluna gore yaklaşık %50 oranında daha dūřuktur. Bu kapsamda değerlendirirsek balastlı hatlar daha dūřuk maliyetlerle inřa edilir. Fakat bakım sūrelerinin sıklığı ve seyrūseferi engel teşkil eden uzun sūreli bakımlar nedeniyle sorun oluşturmaktadır. Balastsız demiryolu imalatları ise daha maliyetli olmasına rağmen zorunluluk teşkil eden tūneller, kot farkı dūřuk olan ve yağmur suyu drenajı sorun olan, balast agrega yapısının esneklik kaybetmesi sonucu sık bakım gerektiren durumları ortadan kaldıran imalat yapısı olduğu için tercih edilmektedir.

Tabi ki yūsek maliyetli bir inřa her hat kesiminde yapımı kar elde edilecek bir ulařım tūrünün zarara sūrükler. Bu durumda yapılması gereken sorun oluřturacak hat kesimlerinde maliyet-iřletme kısmında deđerlendirmeler geniř kapsamlı analiz edilir ve ne tūr inřa gerekliyse o tūr tasarım uygulamaya geçirilir. Bir hattın servis mrū yapılacak olan deđerlendirmelerde önemli bir lūttūr. Hat bakımları dūzenli ve kaliteli řekilde yapıldıđı durumda en uzun hat mrū balastlı bir hat için maksimum 36 yıl balastsız hat için ise 50 yıldır.

Çizelge 5.5. Balastlı ve balastsız hat maliyetleri.

	<b>Balastlı hat</b>	<b>Balastsız hat</b>
İlk yapım maliyeti	4 577 012,932 TL	7 582 851,36 TL
Bakım maliyeti	4 614 670,248 TL	531 606,939 TL
Toplam	9 191 683,18 TL	8 114 458, 299 TL
Toplam maliyetin servis mrūne oranı	<b>255 324,53 TL</b> (Toplam Maliyet/36 yıl)	<b>162 289,16 TL</b> (Toplam Maliyet/50 yıl)

Çizelge 5.5’de gösterildiđi gibi toplam maliyet açısından balastlı hat ve balastsız hat arasında būyūk bir fark yoktur. Fakat toplam maliyetlerini servis mūr oranlarına göre balastsız hat balastlı hatta göre % 63,56 daha uygun bir demiryolu ūstyapı tasarımı olduđunu ortaya koymaktadır.

Balastlı hatlarda bakım periyotları sıklıkla yapıldığı için hattın işletmesinde aksaklıklara neden olabilmektedir. Bu durum demiryolu işletmesinde kār zarar dengesi hesabı yapıldığında ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

Buna ek olarak balastlı hat servis ömrü 36 yıl olduğu için 36 yıl sonra ya yeniden yapım işine gidilecek ya da ekonomik durum ve hattın işletmesine bağlı olarak sadece belirli kritik yerlerin yeniden yapımı gerçekleştirilecektir. Bu gibi geçici çözümler ve bakımları zamanında yapılamayan demiryolunda ilk başta tren hızlarının düşmesi gibi hat işletmeciliğini de olumsuz yönde etkileyecektir. Balastsız hat servis ömrü balastlı hat servis ömrüne göre yaklaşık 1,5 kat daha fazla olması ilk yapım maliyetini 50 yıl içerisinde çok kısa sürede amorti edecektir.

Demiryolu inşaatlarında uygulama oranı düşünüldüğünde ilk yapım maliyeti ve kısa süreli inşa gerektiren balastlı hat imalatları daha yaygındır. Ancak balastsız hattın servis ömrünün uzun olması, balastlı hattın ilk yapım maliyetinin düşük olmasına rağmen avantaj sağladığı sonucuna varılmaktadır. Zaten demiryollarını karayollarına göre sağladığı önemli avantajlarından bir tanesi ise servis ömrüdür. Demiryollarında da hat tasarımı belirlenirken servis ömrü yine önemli avantaj sağlayan etken olacaktır. Bu durumda balastsız hat tasarımı balastlı hat tasarımına göre gelecekte daha tercih edilebilir konuma getirecektir.

#### **5.4. ÖNERİLER**

Bu çalışmada balastsız hattın balastlı hatta göre servis ömrüne daha uygun olduğu işletmecilikte de yolcu ve yük taşıma kapasitenin arttığını, bakıma ayrılan zaman ve maliyetin azaldığı anlaşılmaktadır. Bu durumda balastsız hattın ülkemizde yaygınlaşarak inşa edilmesi uzun vadede ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Sahin, O., “Demiryolunda Hat Rijitliğinin ve Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).
2. Anonim, *Yol Üstyapısı Ders Notu*, TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları, (2014).
3. Anonim *Güzergah Üstyapı İşleri*, Gaziray Projesi - Teknik Şartnameler (2014).
4. Akay, M. E., 2016, “Raylı Sistemler Mühendisliğinin Temelleri - Ders Notu”, *KBÜ Mühendislik Fakültesi*, Karabük (2016).
5. Kozak, M., 2011, “Demiryolunda Rayların Birleşim Noktaları ve Özelliklerinin Araştırılması”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, No: 2*, 2011 (40-49).
6. Anonim, *Üstyapı Plan Proje Kesitleri*, Gaziray Projesi, (2014).
7. Evren, G., ve Dündar S., “Demiryolu”, 3. Baskı *Birsen Yayınevi*, Ocak 2016, İstanbul.
8. Ceylan, C., “Demiryolu Hatlarında Balastsız Üstyapı Kullanılması”, *Demiryolu Mühendisliği*, 34-36 (2017).
9. Günoral, Ş., 2018, “Balastlı Üst Yapılarda Yol Bakımı ve Tamirata” 2nci baskı, *Karabük Üniversitesi Yayını No: 19*, Karabük, (2018).
10. Vicana, J., Katarina S., “Analysis and design of steel bridges with ballastless track”, *A Department of Structures Brides and Faculty of Civil Engineering, University of Zilina*, Univerzitna 8215/1,010 26 Zilina, Slovakia
11. Anonim, *Birim Fiyat Analiz Tabloları*, Gaziray Projesi, (2014).
12. Anonim, *Hat Bakım El Kitabı*, 1. Baskı, TCDD, 10-13 (2013).

## ÖZGEÇMİŞ

Fatma Müge KUMRU 1992 yılında Hatay'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Bahri Çelen Anadolu Lisesi Fen Bilimleri Bölümü'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında iyi derece ile mezun oldu. Lisans eğitiminden sonra 2016 yılında yüksek lisans eğitimine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nı iyi derece ile kazanıp devam etti. 2018 yılında Gaziray Projesi kapsamında müşavir firmada üstyapı saha kontrol mühendisi olarak görev aldı ve halen aynı projede çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Fıstıklık mahallesi, Turgut Özal Bulvarı

Sistemli Hayat Yapı Apartmanı No: 234 Daire no:28

Şehitkamil / GAZİANTEP

Tel : (543) 765 0185

E-posta : muggedelis@gmail.com