

## Farklı tipteki balastsız üstyapı uygulamalarının balastlı bir üstyapı uygulaması ile ekonomik olarak karşılaştırılması: Durum çalışması; Yenibosna-Havalimanı Metro hattı (İstanbul)

### The economic comparison of the different type of ballast-less superstructures with a ballasted superstructure technic: A case study; Yenibosna-Airport Metro line (Istanbul)

Hüseyin KÖSE<sup>1\*</sup> , Zübeyde ÖZTÜRK<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, Türkiye.  
hkose@ktun.edu.tr

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
ozturkzu@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 30.04.2019  
Kabul Tarihi/Accepted: 29.05.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 06.05.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.55481  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Demiryollarında kullanılan üstyapı tiplerinden biri olan balastsız üstyapı sistemlerinin, servis ömrü boyunca balastlı üstyapıya göre daha az bakım gerektirdiği bilinmektedir. Balastsız üstyapının her ne kadar yapım maliyetleri balastlı üstyapıya göre daha yüksek olsa da, hattın hizmet ömrü süresince oluşan toplam maliyetler incelendiğinde, balastsız üstyapının daha ekonomik çözümler sunduğu görülmüştür. Ancak, her balastsız üstyapı sistemi balastlı üstyapıya göre bu ekonomik avantaja sahip midir? Ayrıca, ekonomik koşullar bir üstyapı tipinin ekonomiklik ölçütünü ne kadar etkilemektedir? Ülkemiz ekonomik koşullarında hangi üstyapı tipini seçmek daha uygundur? Bu çalışma, bu soruları yanıtlamaya yönelik olarak 3 farklı demiryolu üstyapı tipini (balastlı üstyapı, beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı ve asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı) ekonomik olarak incelemiştir. Bahsi geçen üstyapı tiplerinin yapım ve bakım maliyetleri belirlenmiş olup, ortaya çıkan maliyetlere göre üstyapı tipleri ekonomik olarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu araştırma bir durum çalışması üzerinde gösterilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı sistemi, iskonto oranının %2'den büyük olduğu her ekonomik koşulda diğer üstyapı tiplerinden daha pahalı olmaktadır. Beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı sistemi ise, iskonto oranının %7'den küçük olduğu durumlarda en ekonomik sistem durumundadır. Bu iskonto oranı (%7) aşıldığında, toplam maliyeti en az olan sistemin balastlı üstyapı sistemi olduğu görülmüştür. Ülkemiz koşulları dikkate alındığında ise (iskonto oranı %15 için) ekonomik açıdan en uygun sistemin balastlı üstyapı sistemi olduğu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Balastsız üstyapı, Balastlı üstyapı, Asfalt taşıma katmanı, Beton taşıma katmanı, Ekonomik analiz.

#### Abstract

It is known that the ballast-less superstructure systems require less maintenance than ballasted superstructure versions throughout their service life. Although the construction costs of ballast-less superstructure are higher than ballasted superstructure systems, it is seen that the ballast-less superstructure systems offer more economical solutions when the total costs of the line's service life are examined. However does each ballast-less superstructure system have this economic advantage over ballasted superstructure? Which type of superstructure is more economical under different economic conditions? What is the most economical solution for Turkey in the superstructure selection? In this study, 3 different types of railway superstructures (a ballasted system, a ballast-less system with asphalt bearing layer, a ballast-less system with concrete bearing layer) were examined economically to answer these questions. Construction and maintenance costs of the mentioned types of superstructure have been determined and according to these costs, these systems were compared economically. This research has been shown on a case study. The results of this study indicate that the ballast-less track with asphalt bearing layer is more expensive than other superstructure types in every economic condition where the discount rate is greater than 2%. When the discount rate is less than 7%, the ballast-less system with concrete bearing layer is the most economical system. In the case that the discount rate exceeds 7%, the ballasted track is the most economical system. For economic conditions in Turkey (discount rate for 15%), it has been determined that the ballasted track is a more economical system.

**Keywords:** Ballast-Less systems, Ballasted systems, Asphalt bearing layer, Concrete bearing layer, Economic analysis.

## 1 Giriş

Balastsız demiryolu üstyapısı, balastlı bir tabaka yerine daha rijit bir taşıma tabakasının kullanıldığı bir üstyapı tipidir. Bu taşıma tabakaları, beton, betonarme veya asfalt olabilir. Günümüzde dünya genelinde demiryollarının çoğu hala balastlı üstyapıyı kullanmasına rağmen, balastsız üstyapı bazı önemli avantajları sebebiyle, balastlı üstyapının yerini yavaş yavaş almaya başlamıştır. Bu avantajları kısaca şu şekilde sıralayabiliriz [1]:

- Balastlı üstyapıya göre hem daha hafiftir hem de toplam üstyapı kalınlığı daha düşüktür,
- Tünel gabari yüksekliği daha düşük olduğundan tünel yapım maliyetleri daha azdır,
- Üstyapı ağırlığının balastlı yapıya göre daha az olması köprü, viyadük gibi sanat yapılarının daha narin inşa edilmesine olanak sağlar,

\*Yazışılan yazar/Corresponding author

- Üstyapı bakım maliyeti, balastlı hatlarda ortaya çıkan bakım maliyetlerinin neredeyse ¼'üne denk gelmektedir,
- Yüksek hızlı işletilen balastlı hatlarda, balast taneleri savrulularak araca çarpabilmektedir. Balastsız üstyapı ile bu sorun ortadan kaldırılmıştır.

Dünya genelinde uygulanan çok çeşitli balastsız üstyapı tipleri bulunmaktadır. Bu üstyapı tipleri yapı tipi ve döşenme şekline göre ayrık mesnetli ve sürekli mesnetli şeklinde detaylı olarak sınıflandırılabilir. Ancak böyle bir sınıflandırmaya bu çalışma kapsamında ihtiyaç olmadığından, balastsız üstyapı tipleri kabaca beton ve asfalt taşıma katmanlı sistemler olarak ele alınacaktır. Bilindiği üzere demiryollarında balastsız üstyapı uygulamalarında, taşıyıcı tabakalar genel olarak beton ile imal edilmektedir. Betonun kullanılmasındaki ana sebepler, deformasyon yapmadan taşıyabilme yeteneğidir. Ancak şimdilerde asfalt malzemesiyle balastsız demiryolu üstyapısında taşıyıcı tabaka imal edilmesi konusu da popüler olmaya başlamıştır. Asfalt malzemesinin esnek olması, zorlu koşullara uyum sağlama yeteneği ve betonda olduğu gibi sertleşme süreci gerektirmemesi, asfaltın demiryolundaki kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra asfalt, yük taşıma kabiliyeti açısından da demiryolunda kullanılmaya uygundur. Nitekim Lechner tarafından 2011 yılında yapılan bir araştırmada, asfalt tabakanın karayolunda, demiryoluna göre daha fazla temas gerilmelerine maruz kaldığı ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, asfaltın demiryolunda taşıyıcı tabaka olarak kullanılması, stabilite açısından bir problem teşkil etmemektedir. Bütün bu olumlu özellikler, asfaltın demiryolunda taşıyıcı tabaka olarak beton yerine tercih edilebileceğini göstermektedir [2].

Dünyada en çok kullanılan balastsız üstyapı sistemlerinden Rheda ve Shinkansen beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı sistemine örnek teşkil ederken; ATD (AsphaltTragschicht mit Direkt Auf Lagerung- Asfalt Tabakalı Demiryolu Hattı) ve GETRACK (German Track Corporation Asphalt-Asfalt Tabakalı Alman Demiryolu Sistemi) asfalt taşıma katmanlı balastsız demiryolu üstyapı sistemine birer örnek olarak verilebilir.

Balastsız üstyapının, balastlı üstyapıya göre teknik üstünlüklerinin yanı sıra servis ömrü boyunca ekonomik olarak da üstün olup olmadığı araştırmacılar tarafından merak konusu olmuştur. Bu konu üzerine Esveld, 1999 yılında yaptığı bir araştırmada, yüksek hızlı bir hat için optimum çözüm bulma adına, balastlı bir üstyapı ile farklı tipteki balastsız üstyapı tiplerini (Rheda, ERS NI ve ERS Int) ekonomik olarak servis ömrü boyunca ortaya çıkacak toplam maliyetler açısından karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda, balastlı üstyapı tipinin diğer üstyapı tiplerine göre en pahalı seçenek olduğu ortaya çıkmıştır. En ekonomik çözümü sunan sistem ise, balastlı sistemden %30 daha ekonomik olan ERS INT tipi balastsız üstyapı sistemi olmuştur. Onu sırasıyla ERS NI ve Rheda sistemleri takip etmiştir [3]. Arlı tarafından 2002 yılında tamamlanan yüksek lisans tezinde, servis ömrü boyunca ortaya çıkan toplam maliyetler incelendiğinde balastsız üstyapının balastlı üstyapıya göre %19 daha ekonomik olduğu görülmüştür [4]. Schilder ve Diederich tarafından 2007 yılında yapılan bir araştırmada ise, balastlı ve balastsız üstyapı tiplerinin ömür döngü maliyetleri hesaplanmış ve sonucunda balastlı üstyapının hattın servise açılmasından 20 yıl sonra balastsız üstyapı maliyetlerini aştığı görülmüştür [5]. Kondapalli ve Billow, 2008'de yaptıkları bir çalışmada, balastlı

ve beton taşıma katmanlı bir üstyapı tipini, 3 farklı trafik kategorisinde ekonomik olarak toplam maliyetler açısından karşılaştırmıştır. Çalışmada, balastsız üstyapının balastlı versiyona göre ağır tonajlı yük hattında %7, yolcu + ağır tonajlı hatta %8 ve yüksek hızlı yolcu + yük hattında %11 daha ekonomik olduğu gözlenmiştir [6]. Juan-Juan ve ekibi tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada, yüksek hızlı demiryolu hatlarında balastlı ve balastsız üstyapı sistemlerinin ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. Araştırmada, yaşam döngü maliyeti analizi metodu kullanılarak farklı tipte balastsız üstyapı sistemleri (Rheda, ERS NI, ERS NT) balastlı bir üstyapı sistemi ile ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre, balastlı üstyapı yıllık maliyet tutarı 110 €/m ile en pahalı üstyapı tipi olarak tespit edilirken, en ekonomik sistem 90 €/m yıllık maliyetle ERS NI sistemi olmuştur [7]. 2013 yılında Pichler ve Fenske yaptıkları bir çalışmada, Almanya ve Avusturya'daki balastsız üstyapı sistemlerini incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca, ÖBB-PORR tipi balastsız üstyapı sistemi ile balastlı bir üstyapı ekonomik olarak net bugünkü değer (NBD) yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, ÖBB-PORR sisteminin 60 yıllık proje ömrü sonunda toplam NBD maliyetinin yaklaşık 1.5 milyon €/km olacağı, aynı süre sonunda balastlı üstyapı maliyetinin ise 2.5 milyon €/km'yi aşacağı öngörülmüştür. Balastlı üstyapının, projenin ancak ilk 24 yılında balastsız üstyapıdan daha ekonomik olacağı ifade edilmiştir [8]. Öte yandan Köse tarafından 2015 yılında tamamlanan bir yüksek lisans tezinde ise, farklı balastsız üstyapı tipleri (beton taşıma katmanlı ve asfalt taşıma katmanlı) ekonomik olarak incelenmiş ve tez çalışmasının neticesinde, asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı sisteminin beton taşıma katmanlı alternatifinden %18 daha pahalı olduğu belirlenmiştir [9]. Marschnig, 2016 yılında yaptığı bir çalışmada, farklı zemin koşulları açısından balastlı ve balastsız üstyapı tiplerini ekonomik olarak karşılaştırmıştır. Zeminin iyi kalitede olduğu koşulda, balastsız üstyapının balastlı yapıdan daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşmıştır. Araştırmacı ayrıca, balastlı üstyapıda travers altı pedlerinin kullanılmasının bakım maliyetlerini çok azalttığı sonucuna varmıştır. Bu durumun balastlı üstyapı toplam maliyetini, balastsız üstyapı maliyetine yaklaştırdığını saptamıştır. Zayıf zemin koşulunda ise, hat inşasından önce altyapı iyileştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir. Bu durum, balastsız üstyapı inşa maliyetini balastlı üstyapıdan 2 veya 3 kat daha fazla arttırmaktadır. Toplam maliyette balastsız üstyapı dezavantajlı hale gelebilmektedir. Dolayısıyla, hat altyapısının mevcut durumu ekonomik olarak hangi üstyapı tipinin seçileceğine doğrudan etki etmektedir [10]. Pratico ve Giunta 2018 yılında yaptıkları bir araştırmada, balastlı ve balastsız bir üstyapı tipi üzerinde yaşam döngü maliyet analizi yapmışlardır. Çalışmada, Shinkansen tipi balastsız üstyapı ile standart bir balastlı üstyapı ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Analiz için kullanılan iskonto oranı %4 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, balastlı üstyapı sistemi, projenin sadece ilk 20 yıllık sürecinde balastsız üstyapıdan daha ekonomiktir. 20 yıldan sonraki süreçte, balastsız üstyapı ekonomik olarak avantajlı konuma gelmektedir. Proje tamamlandıktan 100 yıl sonra ise, balastlı üstyapı maliyetlerinin balastsız üstyapıdan %20 daha fazla olacağı tahmin edilmektedir [11]. Sarik tarafından 2018 yılında yapılan bir çalışmada ise, balastsız bir üstyapı, balastlı bir üstyapı ve her iki üstyapının beraber kullanıldığı alternatif bir üstyapı ekonomik olarak incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda, her iki üstyapının beraber kullanıldığı alternatifin, toplam maliyetler açısından sadece balastlı ve sadece balastsız üstyapı tiplerinin kullanıldığı alternatiflerden sırasıyla %1 ve

%11 daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir [12]. Örel tarafından 2019 yılında tamamlanan bir yüksek lisans çalışmasında, balastlı ve balastsız bir üstyapı sisteminin yaşam döngü maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada, balastsız üstyapı tipi olarak Shinkansen sistemi kullanılmıştır. Tez çalışması İtalya'da gerçekleştirildiğinden, analizler bu ülke koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Hesaplarda dikkate alınan iskonto oranı %1.77'dir. Bu koşullarda araştırmanın sonucuna göre, 60 yıllık proje ömrü sonunda balastsız üstyapı tipinin balastlı sistemden yaklaşık %25 daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Balastlı üstyapı projenin ancak ilk 30 yılında balastsız sistemden daha ekonomik olabilmektedir [13].

Literatürde yapılan araştırmalara bakıldığında, proje ömrü sonunda balastsız üstyapı sistemlerinin balastlı hatlardan daha ekonomik olduğu görülmektedir. Ayrıca dikkat çeken bir başka husus ise, araştırmaların daha çok beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipleri üzerine yoğunlaştığıdır. Dolayısıyla bu çalışmada, diğer araştırmalardan farklı olarak balastlı bir üstyapı, beton taşıma katmanlı ve asfalt taşıma katmanlı iki farklı balastsız üstyapı tipi ile ekonomik olarak karşılaştırılacaktır. Bu araştırmanın iki ana hedefi şöyledir: Her iki tipteki balastsız üstyapı sisteminin de balastlı versiyona göre ekonomik sonuç verip vermeyeceğini belirlemek ve hangi koşullarda (farklı iskonto oranlarına göre) hangi üstyapı tipinin daha ekonomik olacağını tespit etmektir. Çalışmanın diğer hedefi ise, ülkemiz mevcut koşullarında hangi üstyapının daha ekonomik olacağını belirlemektir. Çalışma, örnek bir hat üzerinde (İstanbul Yenibosna-Havalimanı metro hattı kesimi) 3 farklı üstyapı tipinin yapım ve bakım maliyetlerinin tespit edilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

## 2 Materyal ve yöntem

Çalışmada, 3 farklı demiryolu üstyapı tipinin örnek bir hat üzerinde ekonomik analizi yapılmıştır. Örnek hat olarak, İstanbul M1A Yenikapı-Atatürk Havalimanı metro hattının bir kesimi olan Yenibosna-Atatürk Havalimanı hattı belirlenmiştir. Bu hat kesimi çift hatlıdır ve uzunluğu 1792 m'dir. Mevcut hat, beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı olarak imal edilmiştir. Bu araştırmada, mevcut hattın toplam üstyapı maliyeti günümüz fiyatlandırma ve ücretleri dikkate alınarak yeniden belirlenmiştir. Balastlı üstyapı ve asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipi ise mevcut hatta alternatif olarak inşa edileceği varsayılmış ve bu sistemlerin üstyapı inşa ve bakım maliyetleri de belirlenmiştir. Hesaplamalarda, bazı kamu kurumlarının (Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Karayolları Genel Müdürlüğü) birim fiyat kitapları kullanılmış ve TCDD'nin (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları) yapmış olduğu ihalelerden elde edilen yaklaşık maliyet değerlerinden yararlanılmıştır. Ortaya çıkan verilerin ekonomik olarak yorumlanmasında Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, üstyapı sistemlerinin net bugünkü değerleri dolar cinsinden de belirlenmiş olup, dolar kuru 11.01.2019 tarihi itibarı ile 1\$=5.43 TL olarak kabul edilmiştir. Bu araştırma çalışmasında, hem mevcut sistemde hem de alternatif sistemlerde altyapı maliyetleri (kazı, dolgu, tünel, viyadük vb.) ele alınmamıştır.

## 3 Üstyapı yapım ve bakım maliyetlerinin belirlenmesi

Bir demiryolu hattının ekonomik analizinin yapılabilmesi için önce hattın servis ömrünün belirlenmesi gerekmektedir. Hattın

servis ömründe dikkate alınacak süre ise doğrudan rayın hizmet süresidir [4].

Bir demiryolu hattının servis ömrü süresince maruz kalacağı trafik yükü, Denklem (1) ile şöyle hesaplanabilir:

$$L = KxWxD^{0.565} \quad (1)$$

Burada;

- D : Demiryolu hattının yıllık trafik yükü. İstanbul Ulaşım A.Ş'den alınan bilgiler ışığında bu değer yaklaşık 11 MGT olarak kabul edilmiştir,  
W : Rayın birim ağırlığı, lb/yard (kg/m= 2.01 lb/yard)  
K : Hizmet ömrü ile ilgili bir katsayı. Yeni bir hatta 0.9538 değeri kullanılmaktadır.

S49 tipi ray kullanılan, hizmete yeni açılmış bir hattın servis ömrü boyunca maruz kalacağı toplam trafik yükü Denklem (2) ile şu şekilde belirlenir:

(S49 tipi ray için metrik ağırlık: 49.43 kg/m)

$$L = 0.9538x(2.01x49.43)x11^{0.565}=367.29 \text{ MGT} \quad (2)$$

Denklem (3) kullanılarak hattın servis ömrü şu şekilde tespit edilir:

$$\text{Hattın servis ömrü} = \frac{367.02}{11} \cong 34 \text{ sene} \quad (3)$$

### 3.1 Beton taşıma katmanlı balastız üstyapının maliyet analizi (mevcut hat)

Mevcut hat Şekil 1'de görüldüğü üzere beton taşıma katmanlı balastız üstyapı olarak inşa edilmiştir. Şekil 2'de ise Yenibosna-Havalimanı metro hattının harita üzerindeki konumu görülmektedir. Hattın üstyapı maliyet analizi yapım ve bakım maliyetleri olmak üzere iki ana kalemde belirlenecektir.



Şekil 1. Yenibosna-Havalimanı hattının görünümü[14].

Figure 1. A view from the Yenibosna-Airport metro line [14].

#### 3.1.1 Mevcut hattın yapım giderleri

Üstyapı maliyetleri malzeme ve işçilik olmak üzere 2 ana kalemde hesaplanmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'de sırasıyla bahsi geçen üstyapı tipinin malzeme ve işçilik maliyetleri gösterilmiştir. Maliyet tablolarının detaylı açıklaması Ek A ve Ek B'de verilmiştir.

#### 3.1.2 Mevcut hattın bakım giderleri

Beton tabakalı balastız üstyapılarda bakım işleri periyodik bakım ve ray taşıma olarak iki kısma ayrılır. Malzeme bakımı, makas bakımı, hattın kontrolü ve ölçümü çalışmaları, hattın ve drenaj kanallarının temizliği periyodik bakıma dahil olan kalemlerdir.



Şekil 2. Yenibosna-Havalimani metro hat kesimi [15].

Figure 2. Yenibosna-Airport metro line on metro network [15].

Tablo 1. Beton taşıma tabakalı balastsız üstyapının toplam malzeme maliyeti.

Table 1. Bill of quantities for material costs of the ballast-less system with concrete bearing layer.

Malzeme	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
S49 ray (7170 m)	ton	362.22	2,899.80	1,050,374.26
C25 Beton	m <sup>3</sup>	3,000	188.00	564,000.00
Vosloh 336 ray bağlantı seti	adet	12,200	244.35	2,981,070.00
Basit Makas	adet	4	212,689.45	850,757.80
Diğer				500,424.08
TOPLAM				5,946,626.14

Tablo 2. Beton taşıma tabakalı balastsız üstyapının toplam işçilik maliyeti.

Table 2. Bill of quantities for labor costs of the ballast-less system with concrete bearing layer.

Yapılan İş	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
C25 betonunun dökülmesi	m <sup>3</sup>	3,000	185.90	557,700.00
Alümino termit ray kaynağı yapılması	adet	410	1,037.89	425,534.90
S49 ray ile yol döşenmesi	m	3,584	72.20	258,764.80
S49 raydan yapılmış makas montajı	adet	4	27,258.73	109,034.92
Diğer				973,251.94
TOPLAM				2,324,286.56

Beton taşıma katmanlı üstyapının inşaa maliyeti (Cy) Tablo 1 ve Tablo 2'den yararlanarak şöyle belirlenmiştir;

Malzeme maliyeti = 5,946,626.14 TL

İşçilik maliyeti = 2,324,286.56 TL

Toplam inşaa maliyeti = 8,270,912.70 TL

Beton taşıma tabakalı üstyapının birim inşaa maliyeti (Cy) = 8,270,912.70 / 3.584 = 2,307,732.34 TL/km

### 3.1.2.1 Periyodik bakım gideri (R<sub>i</sub>)

Periyodik bakım giderlerini, işçilik ve malzeme maliyetleri olarak 2 kısma ayırmak mümkündür. İşçilik maliyeti Denklem (4) ile şu şekilde belirlenir:

$$R_i = Q \times S = 0.3 \times 45,969.96 = 13,790.99 \text{ TL/km} \quad (4)$$

Burada,

Q: Bir yılda 1 km hattın rutin bakımını yapan işçi sayısı

S: 1 işçinin yıllık maaşı

Rutin bakımda her 9 yılda bir traverslerin altında bulunan ray altı seletleri değiştirilir. Denklem (5) ile ray altı seleti değişiminden doğan malzeme maliyeti hesaplanmıştır.

$$R_m = N \times u = 3,332 \times 1.70 = 5,664.40 \text{ TL/km} \quad (5)$$

Burada, N: Ray altı seledi sayısını ve u: Ray altı selet birim fiyatını (TL) göstermektedir.

### 3.1.2.2 Ray taşıma gideri (R<sub>i</sub>)

i. Makine kaynaklı giderler (R<sub>mak</sub>)

Makine giderleri araç kiralama ve malzeme maliyetinin toplamından oluşmaktadır.

Araç kiralama bedeli (R<sub>tk</sub>): TCDD'nin yaptığı güncel bir ihale (İhale Kayıt No: 2019/478411) dikkate alınarak bu maliyet kalemi yaklaşık olarak 40,000.00 TL/gün olarak hesaplanmıştır [16]. Bu bedele işçilik ve malzeme maliyetleri dahil olmayıp, aracın amortisman, sigorta, yedek parça gibi maliyetleri dahildir.

Malzeme bedeli ( $R_{tm}$ ): Bakım araçlarında kullanılan yakıt, üstüğü ve yağ gibi malzemeler, bakım araçlarının malzeme giderlerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, hesaplamayı kolaylaştırma adına şu kabul yapılmıştır: Edinilen tecrübeler göre, bakım araçlarının tükettikleri toplam malzeme miktarı, aracın motor gücünün %18'ine tekabül etmektedir [4]. Örneğin, 180 HP motor gücündeki ray taşlama makinesi için harcanan toplam malzeme miktarı  $180 \times 0.18=32.4$  kg olmaktadır. Kullanılan tüm malzemelerin fiyatlandırılması, yakıt için dikkate alınan birim fiyat üzerinden yapılmıştır. Ray taşlama makinelerinin günlük 4 saat çalıştığı düşünülerek malzeme bedeli Denklem (6) ile şöyle belirlenmiştir.

$$R_{tm1} = MGx0.18xU_m xT \quad (6)$$

Burada, MG motor gücünü (HP),  $U_m$  malzeme birim maliyetini (TL) ve T makine günlük çalışma süresini (sa) göstermektedir.  $MG=180$  HP,  $U_m=6.33$  TL/kg ve  $T=4$  sa için bir ray taşlama makinesinin malzeme maliyeti  $R_{tm1}=820.37$  TL/gün olmaktadır.

Bunların yanı sıra malzeme maliyetine ray taşlama makinesinde kullanılan ray taşları da dahil edilmelidir. Genellikle 8 taşlı bir ray taşlama makinesinde, ray taşları kullanım sonrasında her gün yenileri ile değiştirilmektedir. Taşın birim fiyatının 81.45 TL olarak belirlendiği düşünüldüğünde, günlük toplam taş maliyeti ( $R_{tm2}$ ) 651.60 TL olarak hesaplanmaktadır. Buradan toplam malzeme maliyeti  $R_{tm}=820.37 + 651.60 = 1,471.97$  TL/gün olur.

Toplam makine gideri ise Denklem (7) yardımıyla şu şekilde belirlenir:

$$R_{tmak} = R_{tk} + R_{tm} = 40,000 + 1,471.97 \\ = 41,471.97 \text{ TL/gün} \quad (7)$$

#### ii. Operatör gideri ( $R_{to}$ )

Hat bakım makine operatörlerinin işçi sınıfına dahil olduğu düşünülmüştür. Operatörlerin işçilik maliyetleri (maaş, ikramive vb.); TCDD güncel maaş tablosu dikkate alınarak 3,830.83 TL/ay olarak belirlenmiştir. Ray taşlama işi için 2 işçi çalıştığı kabul edilmiştir. İşçilerin bir ay içerisinde hafta sonu tatilleri çıkarılırsa 22 gün çalıştıkları düşünülmüştür. Buradan operatör maliyeti  $R_{to}=2x3,830.83/22=348.26$  TL/gün olarak bulunur. Tecrübeler gösteriyor ki, 1 km hattın ray taşlanması işlemi yarım günde tamamlanabilmektedir [4]. Buna göre toplam ray taşlama maliyeti ( $R_t$ ) Denklem (8) yardımıyla şu şekilde hesaplanır:

$$R_t = 0.5x(R_{tmak} + R_{to}) = 41,471.97 + 348.26 \\ = 20,910.1 \text{ TL/km} \quad (8)$$

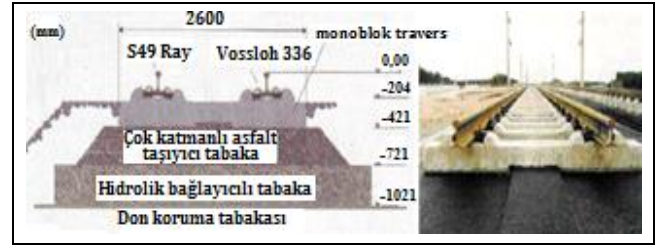
Özetle balastsız bir üstyapıda ortaya çıkan bakım giderleri şunlardır:

- Her yıl yapılan periyodik bakım işçilik maliyeti:  $R_i=13,790.99$  TL/km,
- Periyodik bakım esnasında 9 yılda bir yapılan malzeme değişimi maliyeti:  $R_m=5,664.40$  TL/km,
- Her 2 yılda bir yapılan ray taşlama bakımı maliyeti:  $R_t=20,910.12$  TL/km.

### 3.2 Asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapının maliyet analizi (Alternatif 1)

Yenibosna-Havalimanı hattı için ATD adı verilen asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı sistemi inşa edileceği varsayılmıştır

(Şekil 3). Üstyapının kalınlığı 31 cm, genişliği 5.2 m ve uzunluğu 1,792 m olarak belirlenmiştir. Asfalt karışımının yoğunluğu, 2.4 ton/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır.



Şekil 3. ATD sistemi kesit detayı (solda), sistemin uygulanmış hali (sağda) [17].

Figure 3. Cross sectional detail of ATD system (left), system view on the field (right) [17].

#### 3.2.1 Asfalt tabakalı üstyapının yapım giderleri

Balastız olarak imal edilecek bir demiryolu üstyapısında kullanılması planlanan taşıyıcı nitelikteki asfalt tabakanın, karayolunda olduğu gibi demiryolunda da tabakalardan oluştuğu yapılan mevcut çalışmalardan görülmüştür [18]. Bu bağlamda, taşıyıcı sistemin karayolundaki tabaka sistemine benzer şekilde; aşınma tabakası (5 cm), binder tabakası (8 cm) ve bitümlü sıcak karışım temel tabakası (2x9=18 cm) olmak üzere 4 katmandan oluştuğu düşünülmüştür. Bu bilgiler ışığında, sistemin yapım giderleri, Tablo 3 ve Tablo 4'te sırasıyla malzeme ve işçilik maliyetleri şeklinde sunulmuştur. Maliyet tablolarının detaylı açıklaması Ek C ve Ek D'de verilmiştir.

#### 3.2.2 Asfalt tabakalı üstyapının bakım giderleri

EAPA tarafından 2014 yılında hazırlanan bilimsel rapor dikkate alınarak, bu çalışmada kullanılacak asfalt tabakalı balastsız üstyapının, uygulamada bakımının mümkün olamayacağı veya çok zor olacağı gerekçesiyle bakım çalışması gerektirmeksizin inşa edildiği düşünülmüştür [19]. Bu sebeple, asfalt tabakalı üstyapının bakım maliyetleri, beton tabakalı üstyapı maliyetleri ile eşit olarak alınmıştır.

### 3.3 Yenibosna-Atatürk Havalimanı hattının balastlı üstyapı maliyet analizi (Alternatif 2)

Balastsız beton taşıma katmanlı olarak inşa edilen metro hattı için düşünülen diğer alternatif, hattın bu kesiminin tamamen balastlı olarak imal edilmesi durumudur. Bu koşullarda ortaya çıkan yapım ve bakım maliyetleri şu şekilde belirlenmiştir:

#### 3.3.1 Balastlı üstyapının yapım giderleri

Balastlı demiryolu üstyapısında, ray ve traversler doğrudan balast tabakasına oturmaktadır. Bu durum balastlı üstyapıyı, balastsız alternatiflerine göre daha esnek bir hale getirmektedir. Dolayısıyla, bu sistemde çok esnek bir ray bağlantı sistemi olan Vossloh System 336'ya ihtiyaç duyulmadığından, onun yerine daha ekonomik ve daha rijit olan Vossloh W14 ray bağlantı sistemi tercih edilmiştir. Bunun dışında, bu üstyapı sisteminin, balastsız üstyapı alternatiflerine göre maliyet farklılıkları daha çok balast malzemesinin serimi ve bakımı ile ilgili olmaktadır. Tablo 5 ve Tablo 6, balastlı üstyapıda ortaya çıkan yapım maliyetlerini göstermektedir. Maliyet tablolarının detaylı açıklaması Ek E ve Ek F'de verilmiştir.

Tablo 3. Asfalt taşıma tabakalı balastsız üstyapının toplam malzeme maliyeti.

Table 3. Bill of quantities for material costs of the ballast-less system with asphalt bearing layer.

Malzeme	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
S49 ray (7170 m)	ton	362.22	2,899.80	1,050,374.26
B320 W54 tipi Monoblok beton travers	adet	5,974	194.44	1,161,584.56
Vosloh 336 ray bağlantı seti	adet	12,200	244.35	2,981,070.00
Basit Makas	adet	4	212,689.45	850,757.80
B50/70 Bitüm	ton	523.77	2,192.92	1,148,585.71
Diğer				960,981.27
<b>TOPLAM</b>				<b>8,153,383.60</b>

Tablo 4. Asfalt taşıma tabakalı balastsız üstyapının toplam işçilik maliyeti.

Table 4. Bill of quantities for labor costs of the ballast-less system with asphalt bearing layer.

Yapılan İş	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Asfalt betonu aşınma tabakası imali (5 cm)	ton	1,118.21	77.25	86,381.57
Asfalt betonu binder tabakası imali (8 cm)	ton	1,789.13	74.53	133,346.30
9 cm sıkışmış kalınlıkta bitümlü sıcak karışım temel tabakası yapılması (2 tabaka)	ton	4,025.55	63.24	254,578.69
Asfalt malzemesinin nakliye bedeli	ton	6,932.89	5.67	39,323.65
Delinmemiş ve sabotesiz normal hat traversinin sabote edilmesi ve delinmesi	adet	5,974	14.5	86,623.00
Diğer				1,181,982.27
<b>TOPLAM</b>				<b>1,782,235.48</b>

Tablo 3 ve Tablo 4'ten faydalanarak, taşıyıcı özelliğe sahip asfalt tabakalı üstyapın toplam yapım gideri (Ay), şöyle hesaplanabilir:

Malzeme maliyeti = 8,153,383.60 TL

İşçilik maliyeti = 1,782,235.48 TL

Toplam yapım gideri = 9,935,589.08 TL

Asfalt tabakalı üstyapının birim inşa maliyeti (Ay) =  $9,935,589.08 / 3.584 = 2,772,206.78$  TL/km.

Tablo 5. Balastlı üstyapının toplam malzeme maliyeti.

Table 5. Bill of quantities for material costs of the ballasted systems.

Malzeme	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
S49 ray (7170 m)	ton	362.22	2,899.80	1,050,374.26
B320 W54 tipi Monoblok beton travers	adet	5,974	194.44	1,161,584.56
Vosloh W14 ray bağlantı seti	adet	5,974	51.47	307,481.78
Basit Makas	adet	4	212,689.45	850,757.80
Balast	m <sup>3</sup>	8,712.70	70.47	613,983.97
Diğer				500,424.07
<b>TOPLAM</b>				<b>4,484,606.44</b>

Tablo 6. Balastlı üstyapının toplam işçilik maliyeti.

Table 6. Bill of quantities for labor costs of the ballasted systems.

Yapılan İş	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Depolardaki balastın hat kenarına figüre edilmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	18.20	79,285.57
Depolardaki 1. tabaka balastın platform üzerine figüre edilmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	28.44	123,894.59
2.tab.balastın vagonl.yükl.işyerine nakli,boşalt.,döşenmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	47.57	207,231.57
Alümino termit ray kaynağı yapılması	adet	410	1,037.89	425,534.90
S49 ray ile yol döşenmesi	m	3,584	72.20	258,764.80
S49 raydan yapılmış makas montajı	adet	4	27,258.73	109,034.92
Diğer				797,192.06
<b>TOPLAM</b>				<b>2,000,938.41</b>

Buradan, balastlı üstyapı yapım maliyeti (By) Tablo 5 ve Tablo 6'dan hesaplanacak olursa;

Malzeme maliyeti=4,484,606.44 TL.

İşçilik maliyeti=2,000,938.41 TL

Toplam yapım maliyeti=6,485,544.85 TL

Balastlı üstyapının birim inşa maliyeti (By)= $6,485,544.85/3.584=1,809,582.83$  TL/km.

### 3.3.2 Balastlı üstyapının bakım giderleri

Balastlı üstyapılarda bakım işleri rutin bakım, ray taşlama, balast takviye, geometrik bakım ve balast eleme olmak üzere 5 kaleme ayrılır. Saha tecrübelerine dayanarak bu bakım kalemlerinden rutin bakım ve ray taşlama bakımını işlemlerinin balastsız hattın bakım çalışmaları ile aynı olduğunu kabul edebiliriz. Bu nedenle rutin bakım ve ray taşlama maliyetleri, balastsız hattın maliyetleri ile aynı alınmaktadır.

#### 3.3.2.1 Balast takviye maliyeti ( $B_{tak}$ )

Balastlı demiryolu hatlarında, işletim esnasında zamanla balast malzemesi kirlenir, başka bir deyişle içindeki yabancı madde oranı artar. Bu sorunu çözmek için iki yılda bir hatta balast ilavesi yapılır. Ayrıca 9 yılda bir, hattaki balast elenerek kaybolan gradasyon tekrar sağlanır. İki yıllık periyodik bakımda ilave edilen balast miktarı, saha tecrübelerine göre toplam balast miktarının %4'ü dolaylıdır. Balast eleme çalışması sonrasında ise bu miktar yaklaşık %26 oranına yükselir. Ortaya çıkan maliyetler Denklem (9) ve Denklem (10) ile şu şekilde hesaplanır:

$$B_{tak,2} = V \times 0.04 \times (U_{tak} + M_{tak}) \quad (9)$$

$$B_{tak,9} = V \times 0.26 \times (U_{tak} + M_{tak}) \quad (10)$$

Burada, V: 1 km hattaki balast hacmini,  $U_{tak}$ : Balast takviye birim maliyetini ve  $M_{tak}$ : Balast malzeme maliyetini ifade etmektedir.

Maliyet kalemlerinden;  $V=2000 \text{ m}^3$ ,  $U_{tak}=47.57 \text{ TL}$  ve  $M_{tak}=70.48 \text{ TL/m}^3$  olarak hesaplanmış ve sonuç olarak 2 yıllık rutin balast takviye maliyeti  $B_{tak,2}=9,444.00 \text{ TL/km}$  ve 9 yıllık rutin balast takviye maliyeti  $B_{tak,9}=60,693.00 \text{ TL/km}$  olarak bulunmuştur.

#### 3.3.2.2 Geometrik bakım maliyeti ( $G_b$ )

Geometrik bakım çalışması, hat geometrisinin düzeltilmesi ve hat yatağının stabilitesinin tekrar sağlanması aşamalarını içerir. Bakım periyodu 2 yılda birdir. Geometrik bakım işlemleri buraj, dinamik stabilizatör ve regülatör makineleri ile yapılmaktadır. Bu maliyet kalemi de araç kiralama, işçilik, operatör ve malzeme maliyetleri olarak ele alınabilir.

**Araç kiralama maliyeti:** TCDD'nin yaptığı güncel ihaleler dikkate alınarak bu maliyet kalemi yaklaşık olarak 28,000.00 TL/gün olarak hesaplanmıştır [20]. Bu bedele işçilik ve malzeme maliyetleri dahil olmayıp, aracın amortisman, sigorta, yedek parça gibi maliyetleri dahildir.

**Operatör ve Malzeme Maliyeti:** Tablo 7'de bu makinelerin malzeme ve operatör maliyetleri hesaplanmıştır.

**İşçilik Maliyeti:** Tablo 8'de bakım çalışması işçilik maliyeti gösterilmiştir.

#### 3.3.2.3 Balast eleme maliyeti ( $B_{ele}$ )

Balast eleme maliyeti, geometrik bakım maliyetinde olduğu gibi makine, malzeme, işçilik ve operatör maliyet kalemlerinden oluşur. Hattın hizmet ömrü boyunca toplam 3 defa (9., 18. ve 27. hizmet yılı olacak şekilde) balast eleme işlemi yapılır. Ortaya çıkan maliyet kalemleri şu şekildedir:

**Araç kiralama maliyeti:** TCDD'nin yaptığı güncel ihaleler dikkate alınarak bu maliyet kalemi yaklaşık olarak 136,000.00 TL/gün olarak hesaplanmıştır [20].

**Malzeme ve Operatör Maliyeti:** Tablo 9'da balast eleme makinesinin malzeme ve operatör maliyetleri hesaplanmıştır.

Tablo 7. Geometrik bakım araçları malzeme ve operatör maliyetleri.

Table 7. Operator and material costs of the geometric maintenance machines.

Makine	Malzeme Maliyeti* (TL/gün)	Operatör Sayısı	Operatör Maliyeti** (TL/gün)	Toplam Operatör Maliyeti (TL/gün)
Buraj Makinesi (225 HP) Balast Tokmaklama Makinesi (213 HP)	1,025.46	3	174.13	522.39
Balast Regülatörü Makinesi (400 HP)	969.76	2	174.13	348.26
TOPLAM	1,823.04	2	174.13	348.26
	3,818.26			1,218.91

\*: Denklem (6) yardımıyla belirlenmiştir.

\*\* : 3.1.2 Bölümünde Operatör gideri konu başlığı altında belirlenmiştir.

Tablo 8. Geometrik bakım çalışması işçilik maliyetleri.

Table 8. Labor costs of the geometric maintenance.

No	Elemanın Unvanı	Maliyet (TL/ay)	Eleman Sayısı	İşçilik Maliyeti (TL/gün)
1	Usta	4,971.71	4	903.95
2	İşçi	3,830.83	6	1,044.77
3	Sürveyan	4,768.26	1	216.74
4	Ekip Şefi	5,162.44	1	234.66
	TOPLAM			2,400.12 (TL/gün)

Geometrik bakım ekibi, 1 km hattın bakımını yaklaşık bir günlük mesaide yapabilmektedir. Buradan 1 km hattın geometrik bakım maliyeti şu şekilde hesaplanır:

Geometrik bakım maliyeti ( $G_b$ )=28,000.00+1,218.91+3,818.26+2,400.12 = 35,437.29 TL/km

Tablo 9. Balast eleme aracı malzeme ve operatör maliyetleri.

Table 9. Operator and material costs of the ballast cleaning machine.

Makine	Malzeme Maliyeti* (TL/gün)	Operatör Sayısı	Operatör Maliyeti** (TL/gün)	Toplam Operatör Maliyeti (TL/gün)
Balast Eleme Makinesi (180 HP)	820.37	2	174.13	348.26

\*: Denklem (6) yardımıyla belirlenmiştir.

\*\* : 3.1.2 Bölümünde Operatör gideri konu başlığı altında belirlenmiştir.

**İşçilik Maliyeti:** Tablo 8'deki işçilik maliyetleri balast eleme maliyetleri için de geçerlidir.

Edinilen tecrübelerle göre, 1 km hattın balastının elenmesi için 1 günlük çalışma gerekmektedir. Buna göre, balast eleme maliyeti aşağıda gösterildiği gibi belirlenir:

Balast eleme maliyeti ( $B_{ele}$ )= 136,000.00+820.37+348.26+2,400.12= 139,568.75 TL/km

Özetle balastlı bir üstyapıda ortaya çıkan bakım maliyetleri şunlardır:

- Rutin bakım ve ray taşlama maliyetleri balastsız üstyapılar ile aynı kabul edilmiştir,
- İki yılda bir yapılan balast takviye işlemi maliyeti:  $B_{tak,2}= 9,444.00 \text{ TL/km}$ ,

- 9 yılda bir yapılan balast takviye işlemi maliyeti:  $B_{tak,9}=60,693.00$  TL/km,
- İki yılda bir yapılan geometrik bakım maliyeti:  $G_b=35,437.29$  TL/km,
- 9 yılda bir yapılan balast eleme işlemi maliyeti:  $B_{ele}=139,568.75$  TL/km.

#### 4 Araştırma bulguları ve tartışma

Çalışmada, her 3 üstyapının güncel toplam maliyetleri Net Bugünkü Değer yöntemine göre Denklem (11), Denklem (12) ve Denklem (13)'den faydalanılarak belirlenmiştir.

$$NBD_{Beton} = C_y + \sum_{n=0}^{34} \frac{R_i}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^3 \frac{R_m}{(1+r)^{9n-1}} + \sum_{n=1}^{17} \frac{R_t}{(1+r)^{2n-1}} \quad (11)$$

$$NBD_{Asfalt} = A_y + \sum_{n=0}^{34} \frac{R_i}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^3 \frac{R_m}{(1+r)^{9n-1}} + \sum_{n=1}^{17} \frac{R_t}{(1+r)^{2n-1}} \quad (12)$$

$$NBD_{Balast} = B_y + \sum_{n=0}^{34} \frac{R_i}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^3 \frac{R_m}{(1+r)^{9n-1}} + \sum_{n=1}^{17} \frac{R_t}{(1+r)^{2n-1}} + \sum_{n=1}^{17} \frac{B_{tak,2}}{(1+r)^{2n-1}} + \sum_{n=1}^3 \frac{B_{tak,9}}{(1+r)^{9n-1}} + \sum_{n=1}^{17} \frac{G_b}{(1+r)^{2n-1}} + \sum_{n=1}^3 \frac{B_{ele}}{(1+r)^{9n-1}} \quad (13)$$

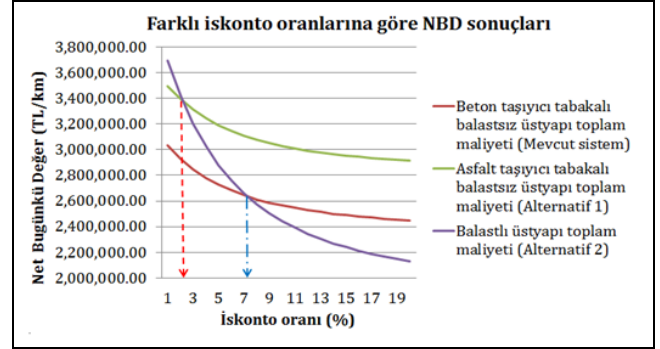
Bu denklemlerde;

- $A_y$  : Asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı toplam maliyeti,
- $B_y$  : Balastlı üstyapı toplam maliyeti,
- $C_y$  : Beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı toplam maliyeti,
- $R_i$  : Rutin bakım işçilik maliyeti,
- $R_m$  : Rutin bakım malzeme maliyeti,
- $R_t$  : Ray taşıma maliyeti,
- $B_{tak}$  : Balast takviye maliyeti,
- $G_b$  : Geometrik bakım maliyeti,
- $B_{ele}$  : Balast eleme maliyeti,
- $r$  : iskonto oranını ifade etmektedir.

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi iskonto oranı önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmakta olup, hangi üstyapının daha ekonomik olacağını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple ilk olarak farklı iskonto oranlarında 3 farklı üstyapının Net Bugünkü Değerleri belirlenmiştir (Şekil 4). Bu sayede hangi iskonto oranlarında hangi üstyapı tipinin daha ekonomik olacağı açıkça görülmüştür.

Şekil 4 incelendiğinde, %2 iskonto oranına kadar (grafikteki kırmızı kesikli çizgi) beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipi, en ekonomik sistem olarak görünmekte iken, balastlı üstyapı tipi en pahalı sistem olmaktadır. Başka bir deyişle, her iki balastsız üstyapı tipi de bu iskonto oranına kadar balastlı üstyapı sisteminden daha ekonomik durumdadır. Ancak iskonto oranı %7 değerinin (grafikteki mavi kesikli noktalı çizgi) üzerine çıktığında, balastlı üstyapı, beton taşıma katmanlı üstyapıyı geride bırakarak en ekonomik sistem olmaktadır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Balastlı üstyapıyı alternatiflerinden ayıran temel maliyet farkı bakım

maliyetleridir. Bu maliyetler hattın servis ömrü boyunca uzun bir periyoda yayılmaktadır. Dolayısıyla paranın değerinin %7'den daha fazla azalması, balastlı üstyapı maliyetlerini daha az arttırmaktadır. Bu da, ilk yapım maliyeti daha yüksek olan balastsız üstyapı tiplerini balastlı üstyapı tipine göre daha pahalı hale getirmektedir.



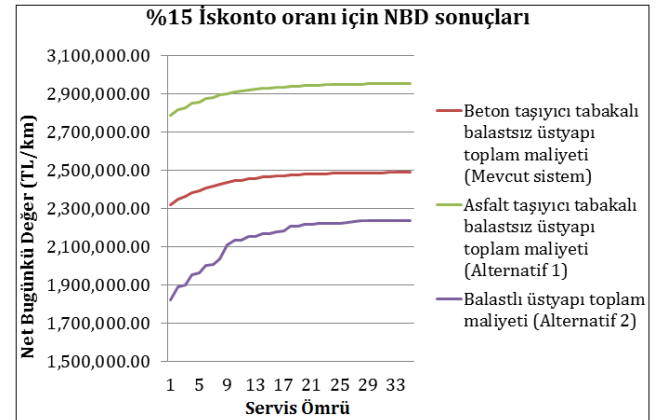
Şekil 4. Farklı iskonto oranlarında üstyapı tiplerinin NBD sonuçları.

Figure 4. NPV results of the tracks based on different discount rates.

Ekonomik karşılaştırmanın ikinci kısmında ise, ülkemiz mevcut koşulları dikkate alınarak güncel iskonto oranı %15 seçilmiş ve Denklem (11), Denklem (12) ve Denklem (13)'ten faydalanılarak her bir üstyapıya ait NBD sonuçları aşağıda gösterilmiştir:

- Beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı net bugünkü değeri = 2,489,116.39 TL/km (458,400.81 \$/km),
- Asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı net bugünkü değeri = 2,953,590.83 TL/km (543,939.38 \$/km),
- Balastlı üstyapı net bugünkü değeri = 2,238,992.10 TL/km (412,337.40 \$/km).

Bu sonuçlara göre, iskonto oranının %15 olduğu koşullarda; balastlı üstyapı, beton taşıma katmanlı balastsız üstyapıdan %11, asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapıdan ise %32 daha ekonomik olmaktadır. Her bir üstyapı tipinin yıllara göre NBD değişimi ise Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Üstyapı Tiplerinin %15 İskonto oranındaki NBD Sonuçları.

Figure 5. NPV results of the tracks for 15% discount rate.

#### 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, 3 farklı demiryolu üstyapı tipi (balastlı üstyapı, beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı ve asfalt taşıma



katmanlı balastsız üstyapı) ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Yenikapı-Atatürk Havalimanı metro hattının Yenibosna-Atatürk Havalimanı kesimi örnek hat olarak seçilmiştir. Bu hat üzerinde hem mevcut beton taşıma katmanlı balastsız üstyapının hem de bu üstyapıya alternatif olacak balastlı ve asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapıların inşa ve bakım giderleri belirlenmiştir. Ortaya çıkan maliyetler, Net Bugünkü Değer yöntemi ile güncellenmiştir. Bu sayede, bahsi geçen üstyapı tipleri birbirleri ile ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada, sadece üstyapı maliyetleri dikkate alınmış olup hesaplamalarda farklı kurumlara ait birim fiyat kitaplarından ve TCDD güncel ihale sonuçlarından yararlanılmıştır.

Araştırma iki ana soruyu yanıtlamayı amaçlamaktadır: 1) Balastsız üstyapı tipleri, balastlı üstyapıya göre her koşulda daha ekonomik midir? Eğer değilse hangi koşullarda (farklı iskonto oranlarına göre) hangi üstyapı tipi daha ekonomik sonuç vermektedir? 2) Ülkemizin mevcut koşullarında hangi üstyapı tipi ekonomik açıdan daha uygundur? Bu soruların yanıtları, çalışmanın sonuçları ile şu şekilde ortaya çıkmıştır:

- 1) Çalışmada incelenen üstyapı tiplerinden asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı sistemi, iskonto oranının %2'den daha büyük olduğu hiçbir koşulda balastlı üstyapıdan veya beton taşıma katmanlı balastsız üstyapıdan daha ekonomik değildir. Beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı ise ancak iskonto oranının %7'den daha küçük olduğu koşullarda balastlı üstyapıdan daha ekonomik durumda olmaktadır. Bu sonuç, literatürdeki araştırma sonuçları ile örtüşmektedir [3]-[13]. Bu oran aşıldığında, balastlı üstyapı her iki balastsız üstyapıdan da daha ekonomik hale gelmektedir,
- 2) Ülkemizin mevcut koşulları dikkate alındığında, iskonto oranı %15 seçilerek 3 üstyapının toplam maliyetlerinin net bugünkü değerleri belirlenmiştir. Bu koşullarda, balastlı üstyapının sırasıyla beton taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipinden %11, asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipinden ise %32 daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın bu kısmı, genellikle balastsız üstyapıların daha ekonomik sonuçlar verdiği literatür araştırmalarından farklıdır [3]-[13]. Böyle bir sonuç elde edilmesinin temel sebebi, ülkemiz için tercih edilen iskonto oranının, literatür çalışmalarındaki ülkelerde dikkate alınan iskonto oranından daha büyük değerde olmasıdır.

Sonuç itibarıyla, balastsız üstyapı tipleri, her ne kadar bakım maliyetleri balastlı üstyapıya göre daha az olsa da, her koşulda balastlı üstyapıdan daha ekonomik değildir. Özellikle asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapı tipinin neredeyse her koşulda en pahalı sistem olduğu görülmüştür. Öte yandan ülkemiz ekonomik koşullarına bakıldığında, bu sistemlerden balastlı üstyapı tipinin daha ekonomik bir alternatif olduğu görülmüştür. Çalışmanın devamında, bu çalışmada incelenenden daha farklı balastsız üstyapı tipleri ekonomik olarak incelenerek, araştırmanın kapsamının artırılması planlanmaktadır.

## 6 Conclusions

In this study, 3 different railway superstructure types (the ballasted track, the ballast-less track with concrete bearing layer and the ballast-less track with asphalt bearing layer) were compared economically. For this purpose, Yenibosna-Airport section of Yenikapı-Airport metro line was chosen as a sample line. In this section, the construction and maintenance costs of both the ballast-less track with concrete bearing layer (current system) and the alternative railway tracks were determined. The resulting costs were updated with Net Present Value method. In this way, these types of superstructure are

economically compared with each other. In the calculations, unit price books belonging to different institutions and TCDD (Turkish State Railways) current tender results were used. The infrastructure costs were outside the scope of this research.

This paper aims to answer two main questions: 1) Each ballast-less superstructure system is more economical than the ballasted system in every economic condition? If not, which type of superstructure is more economical under different economic conditions? 2) Which type of superstructure is more suitable economically in the current conditions of Turkey? The answers to these questions are determined by the results of the study as follows:

- 1) In any case where the discount rate is greater than 2%, the ballast-less track with asphalt bearing layer was not more economical than the other tracks. The ballast-less track with concrete bearing layer was more economical than the ballasted track if the discount rate is less than 7%. Similar results have been found in the literature [3]-[13]. When this ratio was exceeded, the ballasted superstructure became more economical system than the both ballast-less superstructures.
- 2) The discount rate was selected as 15% by taking into account economic conditions in Turkey and the net present values of the total cost of 3 different tracks were determined. Under these conditions, the ballasted track was determined to be 11% and 32% more economical than the ballast-less track with concrete bearing layer and the ballast-less track with asphalt bearing layer respectively. This part of the study is generally different from the literature studies [3]-[13] where ballast-less tracks give more economic results. The main reason for obtaining such a result is that the preferred discount rate for Turkey is higher than the discount rate considered in the countries in the literature studies.

As a result, the ballast-less tracks cannot offer a more economical solution in every economic condition, although the maintenance costs of it are much less than the ballasted tracks. Moreover, the ballast-less track with asphalt bearing layer has proved to be the most expensive system in almost all economic conditions. On the other hand, considering the economic conditions of Turkey, it is seen that the most economical system is the ballasted system. In the continuation of the study, it is planned to increase the scope of the research by economically examining different ballast-less tracks which are not studied in this research.

## 7 Teşekkür

Bu çalışma, Hüseyin KÖSE'nin yüksek lisans tezi kullanılarak hazırlanmıştır. Yazar, çalışmaya 2210-A Burs Programı kapsamında destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na (BİDEB) ve kıymetli yardımlarından dolayı Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e içtenlikle teşekkür eder.

## 8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Hüseyin KÖSE kaynak ve malzemelerin temini, veri toplama, analizlerin gerçekleştirilmesi, literatür taraması, yazım ve eleştirel inceleme başlıklarında; Zübeyde ÖZTÜRK fikrin oluşması ve tasarımın yapılması başlıklarında katkı sunmuşlardır.

## 9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 10 Kaynaklar

- [1] Öztürk Z, Arlı V. *Demiryolu Mühendisliği*. İstanbul, Türkiye, Sembol Basım Baskı Sistemleri Matbaa ve Yayıncılık, 2009.
- [2] Lechner B. "Railway concrete pavements". *2<sup>nd</sup> International Conference on Best Practices for Concrete Pavements*, Florianopolis, Brazil, 2-4 November 2011.
- [3] Esveld C. Slab Track: A Competitive Solution. Faculty of Civil Engineering, Section Roads & Railways. Delft University of Technology, The Netherlands, 1999.
- [4] Arlı V. Balastlı ve Balastsız Üstyapıların Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [5] Schilder R, Diederich D. *Installation Quality of Slab Track-A Decisive Factor for Maintenance*. Editor: Eberhard Jansch. RTR Special: Maintenance and Renewal, 76-78, Hamburg, Germany, Eurailpress, 2007.
- [6] Kondapalli SK, Billow DN. "Life Cycle Benefit of Concrete Slab Track". Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, Scientific Report, SN2860, 2008.
- [7] Juan-Juan R, Lechner B, Xiu-yi L. "Economical evaluating the ballastless railway track with consideration of LCC viewpoint". *8<sup>th</sup> International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals (ICCLTP)*, Chengdu, China, 8-10 October 2008.
- [8] Pichler D, Fenske J. "Ballast-less track systems experience gained in Austria and Germany". *AREMA Annual Conference*, Indianapolis, USA, 29 September-2 October 2013.
- [9] Köse H. Balastsız Üstyapıda Asfalt ve Beton Taşıyıcı Tabakaların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [10] Marschnig S. "Ballasted track or slab track? What would be the best choice for the new high-speed lines in Sweden?". *Seminar Järnvägsgrupp*, Stockholm, Sweden, 25 May 2016.
- [11] Pratico FG, Giunta M. "LCC-based appraisal of ballasted and slab tracks: limits and potential". *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 13(4), 475-499, 2018.
- [12] Sarik V. Decision-Making Model For Track System Of High-Speed Rail Lines. MSc Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2018.
- [13] Önder EG. Comparison Of Ballasted And Slab Track Based On Lcc Analysis, MSc Thesis, Sapienza University, Rome, Italy, 2019.
- [14] Şahin O. Demiryolunda Hat Rijitliğinin ve Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [15] Ray Haber Web Sitesi. "İstanbul Raylı Sistemler Ağ Haritası". [https://i0.wp.com/rayhaber.com/wp-content/uploads/2013/09/Istanbul\\_Rapid\\_Transit\\_Map\\_schematic.png?ssl=1](https://i0.wp.com/rayhaber.com/wp-content/uploads/2013/09/Istanbul_Rapid_Transit_Map_schematic.png?ssl=1) (24.04.2020).
- [16] T.C. Kamu İhale Kurumu. "Çakmak-Çiftehane İstasyonları Arası Hattın Ray Taşlama Makinesi ile Koruyucu Ve Düzeltici Ray Taşlamasının Yapılması İşi". <https://www.turkiye.gov.tr/kik-ihale-sorgula?asama=detay&kayitNo=2019/478411&index=0&sf=0&aciklama> (25.04.2020).
- [17] Michas G. Slab Track Systems for High-Speed Railways., MSc Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012.
- [18] French Tunneling and Underground Space Association. "Rail Tracks and Trackbeds in Tunnels". Paris, France, Scientific Report, 242, 2013.
- [19] European Asphalt Pavement Association. "Asphalt in Railway Tracks". Brussels, Belgium, Scientific Report, 10, 2014.
- [20] T.C. Kamu İhale Kurumu. "50 Km Yol Yenileme Çalışmalarına Ait Geri Tamirat Çalışmalarında Kullanılmak Üzere 1 Adet Balast Eleme Makinası, 1 Adet Buraj Makinası, 1 Adet Balast Regülatörü, 1 Adet Dinamik Hat Stabilizatörü Kiralanması ve Çalıştırılması Hizmet Alım İşidir" ve "Diyarbakır-Kurtalan İstasyonları Arasında Buraj, Regülatör ve Hat Stabilizatör ile Makinalı Tamirat ve Ray Taşlama Yapılması Hizmet Alımı İşi". <https://www.turkiye.gov.tr/kik-ihale-sorgula?asama=detay&kayitNo=2017/332736> <https://www.turkiye.gov.tr/kik-ihale-sorgula?asama=detay&kayitNo=2018/620679> (16.02.2019).

## Ekler

Ek A. Yenibosna-Havalimanı hattı beton taşıma katmanlı balastsız üstyapının malzeme maliyet tablosu.

Appendix A. Material costs of the ballast-less system with concrete bearing layer on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	18 m uzunluğunda 154 adet S49 Ray (Toplam uzunluk=2740.8 m)	ton	137.02	2,899.8	397,330.60
2	18 m uzunluğunda 248 adet mantarı sertleştirilmiş S49 Ray (Toplam uzunluk= 4427,64 m)	ton	225.203	2,899.8	653,043.66
3	Cebire	adet	804	65.65	52,782.60
4	Cebire bulonu	adet	1608	9.39	15,099.12
5	1608 adet tek katmanlı rondela	ton	0.106	16,290.00	1,726.74
6	33.23 m uzunluğunda basit makas (Eğim=1/9, Yarıçap=300 m) (4 adet)	adet	4	212,689.45	850,757.80
7	Birim ağırlığı 33.4 kg/m olan kontray (Toplam uzunluk=3740 m)	ton	125	2,899.8	362,475.00
8	Kupon raylı izole cebire (4m'lik)	adet	22	2,938.01	64,636.22
9	İşaretleme	ton	0.2	18,522.00	3,704.40
10	Satın alma işlemi gerçekleştirilen, beton pompası vasıtasıyla basılan C25 dayanım sınıfına sahip beton	m <sup>3</sup>	3000	188	564,000.00
11	Ray bağlantı malzeme seti (Vossloh system 336)	adet	12200	244.35	2,981,070.00
	<b>Genel Toplam</b>				<b>5,946,626.14</b>

Ek B. Yenibosna- Havalimanı Hattı beton taşıma katmanlı balastsız üstyapının işçilik maliyet tablosu.  
Appendix B. Labor costs of the ballast-less system with concrete bearing layer on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	Aplikasyonun yapılması	km	3,584	10,009.39	35,873.65
2	Malzemelerin depolara nakliyesi, tahliyesi, yığılması ve korunması	ton	690	47.87	33,030.30
3	Depodaki malzemelerin poz bölgesine taşınması için yüklenmesi, poz bölgesinde tahliye edilmesi	ton	690	15.87	10,950.30
4	Poz bölgesine taşınan malzemelerin hat kenarına alınması ve ray markalama işleminin yapılması	m	3584	10.83	38,814.72
5	UIC S49 tipi ray kullanılarak direkt olarak tespitli yol döşeme işleminin yapılması	m	3584	72.2	258,764.80
6	UIC S49 cinsi raydan imal edilmiş ahşap traversli makas pozu.	adet	4	10,164.95	40,659.80
7	UIC S49 cinsi ray kullanılarak imal edilmiş makasın direkt olarak tespitli montajının yapılması	adet	4	27,258.73	109,034.92
8	Alüminotermit tipi ray kaynağı uygulanması	adet	410	1,037.89	425,534.90
9	Kontrayların bağlanması	m	1870	28.94	54,117.80
10	Rayların taşlanması	m	3584	15.75	56,448.00
11	Yolun bir tarafa kaydırılması (ripaj)	m	375	27.23	10,211.25
12	Satın alma işlemi gerçekleştirilen, beton pompası vasıtasıyla basılan C25 dayanım sınıfına sahip betonun yerinde dökülmesi	m <sup>3</sup>	2940	185.9	557,700.00
13	Düz yüzeye sahip kalıp (beton ve betonarme) hazırlanması	m <sup>2</sup>	3500	45.48	159,180.00
14	Çelik hasırın (nervürlü) yerine konulması	ton	29	3,616.56	104,880.24
15	Φ8-12'lik nervürlü donatının projesine uygun şekilde bükülmesi ve yerine yerleştirilmesi	ton	40	3,548.84	141,953.60
16	Φ14-26'lik nervürlü donatının projesine uygun şekilde bükülmesi ve yerine yerleştirilmesi	ton	60	3,504.78	210,286.80
17	Muhtelif demir işçilik maliyetleri	kg	7920	9.56	75,715.20
18	Poz bölgesinin inşaat atıklarından temizlenmesi	ar	93.18	12.13	1,130.27
	Genel Toplam				2,324,286.56

Ek C. Yenibosna- Havalimanı Hattı asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapının malzeme maliyet tablosu.  
Appendix C. Material costs of the ballast-less system with asphalt bearing layer on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	18 m uzunluğunda 154 adet S49 Ray (Toplam uzunluk=2740.8 m)	ton	137.02	2,899.8	397,330.60
2	18 m uzunluğunda 248 adet mantarı sertleştirilmiş S49 Ray (Toplam uzunluk= 4427,64 m)	ton	225.203	2,899.8	653,043.66
3	Cebire (804 adet)	ton	7767	65.65	509,903.55
4	Cebire bulonu (1608 adet)	adet	1608	9.39	15,099.12
5	1608 adet tek katmanlı rondela	ton	0.106	16,290.00	1,726.74
6	33.23 m uzunluğunda basit makas (Eğim=1/9, Yarıçap=300 m) (4 adet)	adet	4	212,689.45	850,757.80
7	Birim ağırlığı 33.4 kg/m olan kontray (Toplam uzunluk=3740 m)	ton	125	2,899.8	362,475.00
8	Kupon raylı izole cebire (4m'lik)	adet	22	2,938.01	64,636.22
9	İşaretleme	ton	0.2	18,522.00	3,704.40
10	KGM/4300/PMB pozlu polimer modifiye katkı	ton	26.19	132.35	3,466.25
11	B50/70 bitüm	ton	523.77	2,192.92	1,148,585.71
12	B320 W54 tipi monoblok travers	adet	5974	194.44	1,161,584.56
13	Ray bağlantı malzeme seti (Vossloh system 336)	adet	12200	244.35	2,981,070.00
	Genel Toplam				8,153,383.60

Ek D. Yenibosna- Havalimanı Hattı asfalt taşıma katmanlı balastsız üstyapının işçilik maliyet tablosu.

Appendix D. Labor costs of the ballast-less system with asphalt bearing layer on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	Aplikasyonun yapılması	m	3584	10,009.39	35,873.65
2	Malzemelerin depolara nakliyesi, tahliyesi, yığılması ve korunması	ton	690	47.87	33,030.30
3	Depodaki malzemelerin poz bölgesine taşınması için yüklenmesi, poz bölgesinde tahliye edilmesi	ton	690	15.87	10,950.30
4	Poz bölgesine taşınan malzemelerin hat kenarına alınması ve ray markalama işleminin yapılması	ton	3584	10.83	38,814.72
5	UIC S49 tipi ray kullanılarak direkt olarak tespitli yol döşeme işleminin yapılması	M	3584	72.2	258,764.80
6	UIC S49 cinsi raydan imal edilmiş ahşap traversli makas pozu.	adet	4	10,164.95	40,659.80
7	UIC S49 cinsi ray kullanılarak imal edilmiş makasın direkt olarak tespitli montajının yapılması	adet	4	27,258.73	109,034.92
8	Makas traverslerine sabote işleminin yapılması	adet	4	1,103.46	4,413.84
9	Alüminotermit tipi ray kaynağı uygulanması	adet	410	1,037.89	425,534.90
10	Normal hat traverslerine sabote işleminin yapılması	adet	5974	14.5	71,561.88
11	Kontrayların bağlanması	m	1870	28.94	54,117.80
12	Rayların taşlanması	m	3584	15.75	56,448.00
13	Yolun bir tarafa kaydırılması	m	375	27.23	10,211.25
14	Asfalttan aşınma tabakası imali (5 cm)	ton	1,118.21	77.25	86,381.57
15	Asfalttan binder tabakası imali (8 cm)	ton	1,789.13	74.53	133,346.30
16	Asfalttan 9 cm kalınlıkta bitümlü temel tabaka imali (2 tabaka)	ton	4,025.55	63.24	254,578.69
17	Asfalt malzemesinin nakliye bedeli	ton	6,932.89	5.67	39,323.65
18	Muhtelif demir işçilik maliyetleri	kg	7920	9.56	75,715.20
19	Poz bölgesinin inşaat atıklarından temizlenmesi	m	3584	12.13	43,473.92
	Genel Toplam				1,782,235.48

Ek E. Yenibosna- Havalimanı Hattı balastlı üstyapı malzeme maliyet tablosu.

Appendix E. Material costs of the ballasted system on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	18 m uzunluğunda 154 adet S49 Ray (Toplam uzunluk=2740.8 m)	ton	137.02	2,899.8	397,330.60
2	18 m uzunluğunda 248 adet mantarı sertleştirilmiş S49 Ray (Toplam uzunluk= 4427,64 m)	ton	225.203	2,899.8	653,043.66
3	Cebire	adet	804	65.65	52,782.60
4	Cebire bulonu	adet	1608	9.39	15,099.12
5	1608 adet tek katmanlı rondela	ton	0.106	16,290.00	1,726.74
6	33.23 m uzunluğunda basit makas (Eğim=1/9, Yarıçap=300 m)	adet	4	212,689.45	850,757.80
7	Birim ağırlığı 33.4 kg/m olan kontray (Toplam uzunluk=3740 m)	ton	125	2,899.8	362,475.00
8	Kupon raylı izole cebire (4m'lik)	adet	22	2,938.01	64,636.22
9	İşaretleme	ton	0.2		3,704.40
10	B320 W54 monoblok beton travers	adet	5974	194.44	1,161,584.56
11	Ray bağlantı malzeme seti (Vossloh W14)	adet	5974	51.47	307,481.78
12	Balast	m <sup>3</sup>	8,712.70	70.47	613,983.97
	Genel Toplam				4,484,606.44

Ek F. Yenibosna- Havalimanı Hattı Balastlı Üstyapı İşçilik Maliyet Tablosu.  
Appendix F. Labor costs of the ballasted system on Yenibosna-Airport metro line.

Numara	Yapılan İş	Birim	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Tutar (TL)
1	Aplikasyonun yapılması	m	3584	10,009.39	35,873.65
2	Malzemelerin depolara nakliyesi, tahliyesi, yığılması ve korunması	ton	690	47.87	33,030.30
3	Depodaki malzemelerin poz bölgesine taşınması için yüklenmesi, poz bölgesinde tahliye edilmesi	ton	690	15.87	10,950.30
4	Poz bölgesine taşınan malzemelerin hat kenarına alınması ve ray markalama işleminin yapılması	ton	3584	10.83	38,814.72
5	UIC S49 cinsi raydan imal edilmiş ahşap traversli makas pozu.	adet	4	10,164.95	40,659.80
6	UIC S49 cinsi ray kullanılarak imal edilmiş makasın direkt olarak tespitli montajının yapılması	adet	4	27,258.73	109,034.92
7	Makas traverslerine sabote işleminin yapılması	adet	4	1,103.46	4,413.84
8	Depolarda bulunan balastın hat kenarına figüre edilmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	18.2	79,285.57
9	Depolardaki 1. tabaka balastın platform üzerine figüre edilmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	28.44	123,894.59
10	Kordon balastın profile göre platforma serilmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	15.93	69,396.66
11	2.tab.balastın vagonl.yükl.işyerine nakli.boşalt.,döşenmesi	m <sup>3</sup>	4,356.35	47.57	207,231.57
12	2.tabaka balast üz.rölövaj, dresaj, buraj (en az iki işlem yapılması)	m <sup>3</sup>	4,356.35	35.02	152,559.38
13	49.050 kg/mt' lik rayla çerçevede 20 beton traversle poz yapılması	m	3584	72.2	258,764.80
14	Delinmemiş ve sabotesiz normal hat traversinin sabote edilmesi ve delinmesi	adet	5974	11.98	71,568.52
15	Yapılacak poz ve balastın tacili zamları	m	3584	14.22	50,964.48
16	Yeni pozu yapılan ve işl.açılan hatta 1.ay bakımı	m	3584	9.04	32,399.36
17	Yeni pozu yapılan ve işl.açılan hatta 2.ay bakımı	m	3584	8.62	30,894.08
18	Yeni pozu yapılan ve işl.açılan hatta 3.ay bakımı	m	3584	6.97	24,980.48
19	İşletmeye açılmış makasta 3 aylık toplam bakım	adet	4	8,740.38	34,961.52
20	Alüminotermit tipi ray kaynağı uygulanması	adet	410	1,037.89	425,534.90
21	Kontrayların bağlanması	m	1870	28.94	54,117.80
22	Rayların taşlanması	m	3584	15.75	56,448.00
23	Yolun bir tarafa kaydırılması	m	375	27.23	10,211.25
24	İzole kupon raylı cebire montajı	adet	22	67.00	1,474.00
25	Poz bölgesinin inşaat atıklarından temizlenmesi	m	3584	12.13	43,473.92
	Genel Toplam				2,000,938.41