

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÇOK YÖNLÜ İNCELENMESİ  
VE ÖRNEK HAT ÜZERİNDE KULLANILAN  
FARKLI TİPTEKİ TRAVERSLERİN İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa Seçkin ÇELİK**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Ulaştırma Mühendisliği Programı**

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

**MAYIS 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÇOK YÖNLÜ İNCELENMESİ  
VE ÖRNEK HAT ÜZERİNDE KULLANILAN  
FARKLI TİPTEKİ TRAVERSLERİN İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa Seçkin ÇELİK  
(501121416)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ulaştırma Mühendisliği Programı**

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

**MAYIS 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121416 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa Seçkin ÇELİK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÇOK YÖNLÜ İNCELENMESİ VE ÖRNEK HAT ÜZERİNDE KULLANILAN FARKLI TİPTEKİ TRAVERSLERİN İRDELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyesi :**      **Yrd. Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyesi:**      **Doç. Dr. İsmail ŞAHİN**      .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **04 Mayıs 2015**

**Savunma Tarihi :**      **03 Haziran 2015**



## ÖNSÖZ

Bu lisansüstü tezi 2015 yılı, Mayıs ayında, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği programının sonunda teslim edilmek üzere İstanbul'da hazırlanmıştır. İTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olduğum günden beri demiryolu sektörünün içerisinde olmam bu tezin ortaya çıkmasında oldukça etkili olmuştur. Demiryollarının ülkemizde de hızla gelişmesi ile birlikte, demiryolu üstyapı inşaatının ana elemanlarından olan traverslere olan ilgim gün geçtikçe artmıştır. Üç buçuk yılı aşkın senedir çalışmış olduğum firmanın kendi travers fabrikalarına sahip olması, ayrıca benim yurtiçinde ve yurtdışında çalıştığım dönemlerde edindiğim tecrübelerin akademik dünya ile paylaşılması yönündeki isteğim bu yüksek lisans tezi ile sonuçlanmıştır. Bunun yanı sıra, öncelikle beni destekleyen ve inancını hiç kaybetmeyen tez danışmanım Sayın Zübeyde ÖZTÜRK'e teşekkür etmek isterim. Yüksek Lisans süreci boyunca bana anlayış gösteren ve destekleyen, demiryolu konusundaki engin birikimini benimle paylaşan işyerim Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri ve Ticaret A.Ş.'ye ve çalışanlarına teşekkür ederim. En zorlandığım ve sıkıştığım dönemlerde, yardımlarını esirgemeyen ve hep yanımda olan Ecehan ACET ile, sadece bu tezde değil tüm hayatımdaki en büyük yol göstericim, ablam Seçil ÖZBEKLİK'e sonsuz teşekkürlerimle.

Mayıs 2015

Mustafa Seçkin ÇELİK  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.3 Hipotez .....	3
<b>2. DEMİRYOLU ÜSTYAPILARINDA KULLANILAN TRAVERS TİPLERİ .5</b>	<b>5</b>
2.1 Çelik Travers .....	6
2.1.1 Y tipi çelik traversler.....	8
2.2 Ahşap Travers .....	9
2.2.1 Ahşap travers işlemleri.....	10
2.3 Betonarme Travers .....	12
2.3.1 İkiz bloklı betonarme traversler .....	14
2.3.2 Monoblok betonarme traversler .....	17
2.3.2.1 Çelik telin gerdirmeye sirasına göre monoblok beton travers çeşitleri..	18
2.3.2.1.1 Sonradan germeli (ard germeli) monoblok traversler .....	18
2.3.2.1.2 Ön germeli monoblok traversler .....	18
2.4 Diğer Travers Çeşitleri .....	19
2.4.1 Makas traversleri.....	19
2.4.2 Çerçevesiz travers .....	20
2.4.3 Geniş travers .....	22
2.4.4 Kompozit plastik travers .....	24
2.4.5 Sentetik ahşap traversler .....	25
<b>3. TRAVERSİN ÜRETİM ESASLARI VE ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>27</b>
3.1 Ahşap Traverslerin Üretimi.....	27
3.1.1 Yumuşak ahşap traversler .....	28
3.1.2 Sert ahşap traversler .....	28
3.2 Çelik Traversler.....	31
3.2.1 Üretimi, ebatı ve ağırlıkları.....	31
3.3 Beton Traversler .....	32
3.3.1 Malzeme teknik özellikleri ve üretim standartları .....	34
3.3.2 Beton traverslere uygulanan testler ve değerlendirme kriterleri .....	37
3.3.2.1 Dizayn ve üretim onay testleri .....	37
3.3.2.1.1 Ray oturma alanında statik test (Mdr).....	38
3.3.2.1.2 Travers Merkezinde Statik Test (Mdc) .....	41
3.3.2.1.3 Yorulma testi.....	42

3.3.2.1.4 Dinamik Test .....	43
3.3.2.1.5 Yukarı çekme deneyi.....	43
3.3.2.1.6 Boyuna direnç testi.....	44
3.3.2.1.7 Elektriksel direç testi.....	45
3.3.2.1.8 Boyut ve işçilik kontrolü.....	46
3.3.2.2 Rutin kabul kontrol testleri.....	47
3.3.3 Üretim Yöntemleri .....	47
3.3.3.1 Uzun sıra (long line) üretim metodu .....	48
3.3.3.2 Döner-konveyör (carousel) beton travers üretim metodu .....	48
3.3.3.2.1 Öngerme elemanlarının hazırlanması.....	49
3.3.3.2.2 Kalıp hazırlama işlemleri .....	49
3.3.3.2.3 Öngerme işlemi .....	50
3.3.3.2.4 Beton üretimi.....	50
3.3.3.2.5 Kalıplara beton dökülmesi .....	50
3.3.3.2.6 Traverslerin kürlenmesi.....	50
3.3.3.2.7 Öngerme yükünün betona aktarılması.....	51
3.3.3.2.8 Kalıp boşaltma ve yağlama işlemleri .....	51
3.3.3.2.9 Tamamlama işlemleri.....	51
<b>4. TRAVERSLERİN FARKLI ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN</b>	
<b>KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>53</b>
4.1 Kullanım Ömürleri Bakımından Karşılaştırılması .....	53
4.2 Kullanım Alanları Bakımından Karşılaştırılması.....	55
4.3 Malzeme ve İnşaat Maliyetleri Bakımından Karşılaştırılması .....	58
4.4 Çevreye Etkileri Bakımından Karşılaştırılması.....	61
<b>5. TRAVERS ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER VE UIC'YE GÖRE</b>	
<b>MONOBLOK TRAVERS TASARIM STANDARTLARI .....</b>	<b>65</b>
5.1 Traversin Altında Oluşan Gerilmeler .....	65
5.2 UIC'ye Göre Monoblok Betonarme Traversin Tasarım Standartları.....	67
5.2.1 Travers tasarımı için servis kategorileri .....	68
5.2.2 Tasarım ömrü ve garanti .....	68
5.2.3 Tasarım yükleri .....	68
5.2.4 Uzunluklar ve ağırlık.....	70
<b>6. B70 TİPİ MONOBLOK VE LVT İKİZ BLOK TRAVERSLERİN TEKNİK</b>	
<b>ÖZELLİKLERİNİN, UYGULAMA FARKLILIKLARININ VE</b>	
<b>MALİYETLERİNİN PROJE ÖZELİNDE İRDELENMESİ.....</b>	<b>71</b>
6.1 Proje Özellikleri ve Gereksinimleri.....	71
6.2 Gürültü ve Titreşim Sönümlemesi Açısından İncelenmesi .....	73
6.2.1 Balastlı hat bölgeleri: .....	75
6.2.2 Balastsız hat bölgeleri – Delme Tünel (Seviye 2).....	76
6.2.3 Balastsız hat bölgeleri – Delme Tünel (Seviye 3).....	77
6.2.4 Batırma Tüp Tünel Bölgesi (Seviye 1) .....	78
6.3 Üstyapı Montajı (Poz) Uygulamaları Bakımından İncelenmesi .....	78
6.3.1 LVT Tipi ikiz blok betonarme travers ile hat montajı .....	79
6.3.1.1 Hat panellerinin ön montajı ve hatta nakli .....	79
6.3.1.2 Panellerin hatta serilmesi .....	79
6.3.1.3 Ray kaynağının yapılması ve hattın fikstürler ile bağlanması .....	80
6.3.1.4 Beton dökülmesi.....	80
6.3.1.5 Birinci tabaka balastın serilmesi .....	81
6.3.1.6 Traverslerin dizilmesi ve rayların indirilmesi .....	82
6.3.1.7 Hattın kaynağının yapılması.....	82

6.3.1.8 İkinci tabaka balastın serilmesi .....	83
6.3.1.9 Hattın makinalı tamiratının yapılması.....	83
6.3.1.10 Rayların geriliminin alınması.....	84
6.4 Maliyetleri Bakımından İncelenmesi .....	84
6.4.1 Malzeme maliyetleri bakımından incelenmesi .....	85
6.4.1.1 LVT blok ile montajı yapılan hat kesimi malzemeleri.....	85
6.4.1.2 B70 tipi travers ile montajı yapılan hat kesimi malzemeleri .....	87
6.4.2 İnşaat maliyetleri bakımından incelenmesi.....	88
6.4.3 Bakım maliyetleri açısından karşılaştırılması .....	89
6.4.4 Örnek hat üstünde travers ve hat yapım maliyetlerinin karşılaştırılması..	90
6.4.4.1 Hat 1 (balastlı hat kesimi) .....	90
6.4.4.2 Hat 2 (balastsız hat kesimi) .....	91
6.5 Değerlendirme .....	92
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>99</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>103</b>



## **KISALTMALAR**

<b>BC1</b>	: Bosphorus Crossing (Boğaz Geçişi)
<b>EN</b>	: European Norm (Avrupa Standartları)
<b>TCDD</b>	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>UIC</b>	: Uluslararası Demiryolları Birliği



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Bazı ikiz blok beton traverslerler. ....	16
Çizelge 2.2 : Monoblok traverslerin geometrik özellikleri .....	18
Çizelge 3.1 : Ahşap travers ölçü toleransları. ....	29
Çizelge 3.2 : Döşenmiş travers türlerine göre dağılım. ....	33
Çizelge 3.3 : B55, B58 ve B70 tipi betonarme traverlerin boyutları. ....	33
Çizelge 3.4 : Agregası ve kumun fiziksel özellikleri .....	36
Çizelge 3.5 : Yük, moment ve katsayı değerleri. ....	41
Çizelge 3.6 : Travers merkezinde statik yük değerleri. ....	42
Çizelge 3.7 : Yorulma testi değerleri. ....	43
Çizelge 3.8 : Dinamik test değerleri. ....	43
Çizelge 4.1 : Ahşap travers ve çelik travers karşılaştırma tablosu .....	60
Çizelge 4.2 : 2014 Yılı B70 Beton TCDD Travers Alımları. ....	60
Çizelge 5.1 : Travers altındaki gerilme dağılımları. ....	66
Çizelge 5.2 : Standart bir traversin karşılaması gereken aks ve hız değerleri. ....	69
Çizelge 6.1 : Marmaray BC1 işletme koşulları. ....	72
Çizelge 6.2 : Travers tipleri ve uygulandığı bölümler. ....	73
Çizelge 6.3 : LVT Blok ile İnşa Edilmiş balastsız hat üstyapı metrajı. ....	86
Çizelge 6.4 : Balastsız hat kesimi yaklaşık malzeme fiyatları. ....	87
Çizelge 6.5 : Balastlı hat kesimi üstyapı yaklaşık maliyetleri. ....	87
Çizelge 6.6 : Balastlı ve balastsız hat makine parkı. ....	89
Çizelge 6.7 : Balastlı örnek hat malzeme fiyatları. ....	91
Çizelge 6.8 : Balastsız örnek hat malzeme fiyatları. ....	92
Çizelge 6.9 : Örnek hatların (1 km) yaklaşık maliyetleri. ....	93



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Çelik travers. ....	7
Şekil 2.2 : Y Tipi çelik travers. ....	8
Şekil 2.3 : Plaka çakılması uygulaması. ....	11
Şekil 2.4 : TW120 tipi ikiz beton travers. ....	14
Şekil 2.5 : Marmaray BC1 Projesi'nde kullanılan LVT ikiz blok traversler. ....	15
Şekil 2.6 : İkiz blok beton traversler. ....	16
Şekil 2.7 : Monoblok betonarme traversli hat (Ankara-Konya Hızlı Treni). ....	17
Şekil 2.8 : Betonarme makas traversi. ....	20
Şekil 2.9 : Makas bölgesi traversleri. ....	20
Şekil 2.10 : Çerçevesiz travers. ....	21
Şekil 2.11 : Avusturya'da uygulanan çerçevesiz travers. ....	22
Şekil 2.12 : Geniş travers. ....	23
Şekil 2.13 : Sentetik ahşap traversler. ....	26
Şekil 3.1 : Çelik seletli ahşap traversler. ....	28
Şekil 3.2 : 1,435 mm'lik ekartman için ahşap travers ölçüleri. ....	30
Şekil 3.3 : 560H tipi çelik travers çizimi. ....	32
Şekil 3.4 : B58 tipi beton travers. ....	33
Şekil 3.5 : B70 tipi beton travers. ....	34
Şekil 3.6 : Ray oturma alanında statik, dinamik ve yorulma test düzeneği. ....	39
Şekil 3.7 : Ray oturma alanında statik dizayn onay test süreci. ....	40
Şekil 3.8 : Ray oturma alanında pozitif rutin test süreci. ....	40
Şekil 3.9 : Travers merkezinde statik test düzeneği. ....	41
Şekil 3.10 : Travers merkezinde statik test prosedürü. ....	42
Şekil 3.11 : Dinamik test prosedürü. ....	44
Şekil 3.12 : Boyunda direnç testi düzeneği. ....	45
Şekil 3.13 : Elektriksel direç test düzeneği. ....	46
Şekil 3.14 : Uzun sıra beton travers üretimi (Abetong travers fabrikası). ....	48
Şekil 3.15 : Döner pres travers üretimi (Rayton Travers Fabrikası, Afyon). ....	49
Şekil 3.16 : Rayton monoblok betonarme travers üretim tesisi. ....	52
Şekil 4.1 : Balast dağılımının gerilmelere etkisi. ....	55
Şekil 4.2 : 2008-2014 yılları arası TCDD B70 travers alımları. ....	56
Şekil 4.3 : Avrupa'da kullanılan travers tipleri. ....	58
Şekil 4.4 : Traverslerin çevresel etkilerinin karşılaştırılması. ....	62
Şekil 5.1 : Basitleştirilmiş gerilme modeli (Profillidis, 2013, s. 247). ....	66
Şekil 5.2 : Travers Altındaki Gerilme Dağılımı (Profillidis, 2013, s. 247). ....	67
Şekil 6.1 : Ahşap travers kullanılmış çelik köprü. ....	74
Şekil 6.2 : Marmaray BC1 Projesi gürültü ve titreşim bölgeleri. ....	75
Şekil 6.3 : LVT blok detayı. ....	75
Şekil 6.4 : Balast altı mat uygulaması. ....	76
Şekil 6.5 : Sonneville Standart LVT ve LVT HA Blok kesiti. ....	77
Şekil 6.6 : LVT HA Blok. ....	77

<b>Şekil 6.7</b> : Vossloh System 300 bağlantı malzemesi .....	78
<b>Şekil 6.8</b> : Tünelde panel serimi. ....	80
<b>Şekil 6.9</b> : Fikstüre alınmış hat. ....	81
<b>Şekil 6.10</b> : Bitmiş hat.....	82
<b>Şekil 6.11</b> : Alın kaynak yapılması. ....	83
<b>Şekil 6.12</b> : Buraj makinesi.....	84
<b>Şekil 6.13</b> : Aluminotermite kaynak yapılması. ....	84
<b>Şekil 6.14</b> : Marmaray BC1 Projesi tünel tipik hat kesiti .....	86

# DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÇOK YÖNLÜ İNCELENMESİ VE ÖRNEK HAT ÜZERİNDE KULLANILAN FARKLI TİPTEKİ TRAVERSLERİN İRDELENMESİ

## ÖZET

Ülkemiz ve dünya nüfusunun ve tüketiminin sürekli artmasıyla beraber, güvenilir ve verimli bir ulaştırma ağına olan ihtiyaç sürekli artmaktadır. Taşınabilen yük ve yolcunun harcanan enerjiye oranına bakılarak yapılan çalışmalarda demiryollarının bu ihtiyacı karşılayabilecek başlıca ulaştırma tipi olduğu tespit edilmektedir.

Artan ulaşım ihtiyacının ekonomik, konforlu ve güvenli bir şekilde karşılanabilmesini sağlayabilmek için günümüzde yeni demiryolları inşa edilmekte ve mevcut demiryolları hatlarının bu ihtiyaca yanıt verebilecek kaliteye ulaşabilmesi için yenilenmesine çalışılmaktadır.

Demiryolu hatlarının inşaatında ve yenilenmesindeki ana elemanlardan biri demiryolu traversleridir. Demiryolu traversleri, demiryolu ağlarının en önemli yapı taşlarından biri olmasına rağmen traverslerin çeşitleri, işlevleri ve kullanım alanları ile maliyet ve kullanım ömürlerini bünyesinde özetleyen bir bilimsel araştırmaya nadiren rastlanmaktadır. Bu doğrultuda, ana görevi trenlerden gelen yüklerin raylardan balasta ve zemine iletilmesini sağlamak ile hat geometrisini sabit tutmak olan traverslerin; günümüze kadar kullanılmış ve halihazırda geliştirilmekte olan birbirinden farklı çeşitlerini tanımlamak; traverslerin kullanım alanları ve özel işlevleri ile kullanım ömürlerini tespit etmek ve üretim ve inşaat maliyetlerinin analizini bir araştırma bünyesinde toplayabilmek amacıyla geniş kapsamlı literatürü kapsayan bir araştırma projesine ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

Bu tezin içeriğinde öncelikle dünyada ve Türkiye’de kullanılmış olan ana tipteki demiryolu traversleri, halihazırda test aşamasında olan ya da özel ihtiyaçlar neticesinde geliştirilmiş olan demiryolu traverslerine ağırlık verilerek incelenmiştir. Geçmişte ve günümüzde en yüksek oranda kullanılmakta olan ahşap, çelik ve betonarme traverslerin üretim yöntemleri hakkında bilgiler bir araya getirilmiştir.

Literatür taraması esnasında, artan demiryolu işletme hızları ve ağırlıkları ile konfor ihtiyaçlarının, geçmişte sıklıkla kullanılmış olan ahşap ve çelik traverslerin kullanımını azalttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, gerek betonarme teknolojisindeki gelişmelerin, gerekse global rekabet koşullarının betonarme traverslerin kullanımını arttırdığı gözlenmiştir. Bu sebeple tezin devamında beton traverslerin kendilerine has özellikleri üzerinde daha fazla durulmuştur.

Kullanılan betonarme traversler arasında, B70 Tipi Monoblok Betonarme traverslerin, konvansiyonel ve hızlı tren hatlarında daha fazla tercih edildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla tezin içeriğinde bu traverslerin teknik özellikleri, üretim standartları, kalite ve dizayn onayları ve testleri üzerine daha fazla ağırlık verilmiştir.

Bahsi geçen tipteki betonarme traverslere oranla işletme hızı ve maksimum aks yükü düşük olan TCDD hatlarında hala kullanılmakta olduğundan, B58 Tipi Monoblok Betonarme traverse de bu kısımda değinilmiştir. Araştırmanın bu kısmına eklenmek üzere ve monoblok traverslerin üretim esaslarının daha iyi anlaşılabilmesi için araştırmacı, Ankara-Konya Hızlı Tren'in de traverslerinin üretimini yapmış olan, B70 Tipi Monoblok Betonarme travers üreticisi bir fabrikaya gözlemci olarak gitmiştir. Merkezi Afyon'da bulunan bu fabrikada, döner konveyör yöntemi ile monoblok üretiminin ana esaslarını araştırmış ve tezinin bu bölümüne eklemiştir.

Farklı çeşitlerde traverslerin üretim esaslarının literatür taramasında yer almasının ardından, ahşap, çelik ve betonarme traverslerin birbirlerine karşı olan olumlu ve olumsuz yönleri belirlenmiştir. Bunun için yakın zamanda elde edilmiş tecrübelerden de faydalanılmıştır. Bu bölümde, traverslerin kullanım ömürleri, kullanım alanları, malzeme ve inşaat maliyetleri ile çevreye etkileri temel alınarak dört farklı kategoride karşılaştırmalar yapılmıştır. Betonarme traverslerin kullanımındaki artışın sebeplerini anlayabilmek için bu bölümdeki verilerin aydınlatıcı olacağına inanılmaktadır. Travers altındaki yük dağılımlarının traverslerin tasarımında önemli bir yere sahip olması dolayısıyla, bu dağılımların nasıl gerçekleştiği üzerinde de durulmuştur. Aynı zamanda travers tasarım kriterlerinin neler olduğu ve travers tasarımının kritik noktalarını tespit edebilmek için demiryolları konusunda tüm dünyada söz sahibi olan UIC'nin standartları esas alınmıştır.

Son bölümde ise, traverslerin kullanım alanlarının ve traverslerin seçiminde örnek teşkil edeceği düşünüldüğünden, İstanbul ve Türkiye'deki demiryolu ulaşımında çok önemli bir yere sahip olan Marmaray BC1 Projesi'ne değinilmiştir. Bu projede kullanılmış olan traverslerin seçiminde etkili olan faktörler, uygulama alanları ve farklılıkları ile maliyet analizleri irdelenmiştir. Bu proje örneklendirilerek, demiryollarında bir üstyapı elemanı olarak traverslerin önemi ile doğru tipteki travers seçiminin hattın üstyapısına, konforuna ve inşaat maliyetlerine etkisi etraflıca analiz edilmiştir. Araştırmacı, bu bölümde, maliyet hesaplamalarının kolaylıkla anlaşılabilmesini hedefleyerek, bir kilometrelik örnek bir demiryolu planlayarak, ortaya çıkabilecek maliyetleri hesaplamıştır.

## **A MULTIFACED ANALYSIS OF RAILWAY SLEEPERS AND SCRUTINIZE OF DIFFERENT RAILWAY SLEEPERS ON AN EXAMPLE LINE**

### **SUMMARY**

It is an inevitable necessity to have reliable and efficient means of transportation due to rapidly increasing population and consumption both in our country and the world in general. Those researches that compared transportation means, based on the data of proportion between the energy spent and the quantity of passengers and the cargo transported continuously highlight the railways as the main way of transportation that will meet this increasing need for reliable and efficient transportation. Railways are integral to the transportation system of many countries around the world. Consequently, it is necessary from the safety and economic perspectives that they maintain their design geometry over their lifespan, with minimal interruption to day to day operations for maintenance. However, with the passage of traffic over a prolonged period, sections of a railway track inevitably deteriorate, leading to speed restrictions and poor levels of passenger comfort.

Understanding railway track behaviour is of importance to gain insight into the complex mechanisms that lead to track deterioration especially as a railway track comprises of several interdependent components. It remains important to policy makers, rail practitioners and researchers to identify new techniques, innovations or processes that will prolong intervals between scheduled track maintenance to provide a sustained degree of passenger comfort and maintain the economic activity that rail transport yields.

In fact, new railways are being constructed and the existing railways are being repaired to meet the increasing need of economical and convenient transportation. Railway sleeper, which mainly functions as both transmitting the load of trains from rails to ballasts and to the ground and stabilizing the railway track geometry, will be regarded as one of the main components of railway line structure. There are different types of railway sleepers that are used throughout the railway construction history and consequently, railway sleeper technology is still improving.

The main aim of the present study is to review the extensive literature of different kinds of railway sleepers. This review of the literature will include those fundamental railway sleepers that had been used from past to present both in Türkiye and throughout the world, those railway sleepers that are under development and testing stages, and those railway sleepers which are developed for particular special needs. The information about the production methods of excessively used wooden, steel and reinforced concrete railway sleepers are also included in the review of literature.

Excessive use of wooden and steel railway sleepers in the railway lines is decreasing nowadays due to increasing speed of railway operation speeds, axle loads and comfort needs. In the meantime, the use of reinforced concrete railway sleepers is increasing depending on the rapid improvements in the reinforcement concrete technology and the increases in the global competition conditions. As a matter of fact, special characters of reinforced concrete railway sleepers are underlined more throughout this study over the other two types of railway sleepers.

Besides the fact that the usage of reinforced concrete sleepers are increasing in general, particularly the usage of pre-stressed B70 type of monoblock reinforced concrete sleepers in the national conventional and high speed train lines are also increased. This fact gave the pave for reviewing those sleepers specifically in the present study; namely their technical features, production standards, quality and design approvals and tests. Even though the operational speed and maximum axle load is lower for B70 type, B58 type of monoblock reinforced concrete sleepers are still used in TCDD railway lines; therefore information about B58 type of monoblock reinforced concrete sleepers is also included in the study.

In order to delve into the fundamental production essentials on monoblock reinforced concrete sleepers, production of monoblock sleepers' by carousel methods, the present researcher visited one of the private institutions' factory located in Afyon, Turkiye. The factory, which the researcher had visited, mainly produces pre-stressed B70 Type of monoblock reinforced concrete railway sleepers and produced the Ankara-Konya Speed Train railway sleepers.

After reviewing the primary production essentials of sleepers in the study, both the advantages and disadvantages wooden, steel and reinforced concrete sleepers' are compared with each other through using the relevant experiences and literature. The three types of railway sleepers are compared with each other by using four categories; namely, average usage life span, commonly usage tracks, supply and construction costs and environmental impact. It is believed that, the data reviewed by comparing between the sleepers in this section would help the reader of this research understand the exceeding usage of reinforced concrete sleepers' over the other two types sleepers.

The distribution of the loading under the railway sleeper has a particular impact on the designing processes; consequently, the simplified explanation on these distributions is included in the preceding chapter. Special attention is also given to critical points of designing essentials of sleepers that are determined by the leading authority on railways, namely UIC (International Union of Railways) Understanding railway track behaviour is of importance to gain insight into the complex mechanisms that lead to track deterioration especially as a railway track comprises of several interdependent components. It remains important to policy makers, rail practitioners and researchers to identify new techniques, innovations or processes that will prolong intervals between scheduled track maintenance so as to provide a sustained degree of passenger comfort and maintain the economic activity that rail transport yields.

In the final section of the research, Marmaray BC1 Project, which has a particular importance on İstanbul's and Türkiye's transportation system, is investigated in order to illustrate the usage areas of railway sleepers and to examine the selection of the sleeper type. The factors that are influential in selecting the appropriate sleeper, usage areas and differences between the sleepers both in costing and in usage are discussed with a special attention given to this particular project. The discussion of the Marmaray BC1 Project helped the researcher to identify the importance of railway sleepers as an element on the estimation of the upper construction component of railway lines, and to consider the effects of the selection of the appropriate railway sleeper to the comfort and construction costs of railways. Additionally, the researcher used a hypothetical one-kilometer railway line to simplify the probable construction costing calculation for a better understanding at the end of the research.



## 1. GİRİŞ

Balastlı demiryollarda, raylar traverslere mesnetlenir ve bu şekilde demiryolu üstyapısını oluştururlar. Çoğunlukla ahşap ve beton traversler kullanılmakla birlikte nispeten çok daha az da olsa çelik traversler de kullanılmaktadır. Beton traverslerin olumlu yanı, iklim şartlarından oldukça az etkilenmeleridir. Belli koşullar altında beton traverslerin hizmet süresi ahşap traverslere göre oldukça fazladır. Bu hizmet süresinin gerçekleşmesi için ray ve kaynak yeri geometrisinden başka formasyon ve balast yatağının iyi kalitede olmasını gerekmektedir. Ancak betonarme traversler özellikle 25-300 Hz frekans aralığındaki çarpma yüküne karşı hassastır.

Traverslerde ilk kullanılan malzeme ahşaptır. Ahşabın bulunma zorluğu ve dış etkenlere karşı zayıf olması nedeniyle 1880'li yıllarda çelik traversler kullanılmaya başlanmış ve uzun süre kullanılmıştır. Beton teknolojisinin ilerlemesi ile 1950 yılından sonra beton traversler kullanılmaya başlanmış ve bunlar iki kategoriye ayrılmıştır:

- İkiz blok beton travers,
- Monoblok beton travers.

Günümüzde dünyada 3 milyarı aşkın travers kullanımdadır ve bunların 500 milyonu beton traverstir. Traverslerin %2-5'i her yıl değiştirilmektedir. Günümüzde yeni hatlarda ve poz çalışmalarında en çok kullanılan beton traverstir. Buna karşın bazı hatlarda ahşap travers de kullanılmaktadır. Çelik travers kullanımı azalmakta, pozlarda beton veya ahşap traversler ile değiştirilmektedir, yeni hatlarda ise kullanılmamaktadır.

Her hatta en uygun travers tipinin seçimi için aşağıdaki faktörlerin değerlendirmesini ve hesaplanmasını içeren fizibilite analizleri yapılmalıdır.

- Travers üretim ve satın alma maliyeti,
- Traversin ömrü,
- Bağlantı ve diğer tertibatın maliyeti,
- Bakım maliyeti,

- Servis ömrü sonundaki hurda değeri (Esveld, 2014).

## **1.1 Tezin Amacı**

Ülkemizde dünya’da kullanılan traverslerin çeşitlerinin tanıtılması, kullanımı gittikçe artan ve yüzdesel olarak kullanımı çok fazla olan betonarme traverslerin üretim standartlarının ve üretim yöntemlerinin ayrıntılı bir şekilde uluslararası standartlara göre nasıl yapıldığının anlatılması ve doğru demiryolu traversinin seçiminin hangi kriterlere bağlı olduğunun belirlenmesi ile birlikte, yapılacak olan bu seçimin demiryolu hattının karakteristiğine, inşaat yapım yönteminin çeşidine ve maliyetlerine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Demiryollarında günümüze kadar kullanılmış olan ve hala kullanılmakta olan demiryolu traverslerinin birbirilerine karşı üstün ya da üstün olmadığı olduğu noktaların ortaya koyulduğu, kullanım oranı olarak diğerlerine üstün olan betonarme traverslerin üretim esasları, üretim standartları ve tasarım kriterleri ortak bir kaynaktan toplanmaya çalışılacaktır.

Günümüzde inşa edilen demiryollarında travers seçiminin hangi kriterlere göre yapıldığı ve ortaya konan sonuçların incelenebilmesi için mevcut bir demiryolu hattı üzerinde incelemeler yapıp, bu incelemelerin neticesinde travers tipinin hattın karakteristiğine olan etkisi ortaya konacaktır. Hattın üzerinde kullanılan traverslerin malzeme fiyatlarına, hat tipinin değişmesi sonucu diğer malzeme ve inşaat fiyatlarının daha kolay anlaşılabilir bir başlangıç noktası oluşturabilmesi için örnek bir hat üzerinde maliyetlerin belirlenmesine çalışılacaktır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Ülkemizde ve dünyada demiryollarına ait bir çok yazılı kaynak bulunmaktadır. Tezin içeriği oluşturulurken demiryollarının üstyapısı ve altyapısı hakkında yazılmış olan bu kaynaklardan yararlanılmıştır. Demiryollarında kullanılan traverslerin çeşitleri, özellikleri üstünlükleri ve dezavantajları hakkında yapılan araştırmalar genellikle demiryolları hakkında yazılmış olan makale, kitaplar ve dergilerden elde edilmiştir.

Bunun yanısıra monoblok betonarme traverslerin üretim standartları ve uygulanan kalite ve dizayn testleri için ülkemiz devlet demiryolları işletmesi TCDD’nin de kendine esas aldığı uluslararası standartlardan yararlanılmıştır. Ayrıca TCDD’nin

kendine ait olan demiryollarında kullanılmasına izin verdiği traversler için hazırlamış olduğu teknik şartnamelerden bu amaç için yararlanılmıştır.

Yine traverslerin tasarımı için ülkemiz ve başta Avrupa demiryolları idareleri üzerinde söz sahibi olan UIC (Uluslararası Demiryolları Birliği) tarafından belirlenmiş olan tasarım standartları, bu bölümdeki en büyük literatür kaynağı olmuştur.

Marmaray BC1 Projesi'ne ait kısımlarda elde edilen bilgiler ise, bu projenin inşaatında görev almış olan tezin yazarı ve diğer çalışanlarca sağlanmıştır. Kullanılmış olan tüm kaynaklar projenin yapımı esnasında kullanılmış olan idare ve müşavir onaylı kaynaklardır.

TCDD'ye ait istatistikler TCDD'nin her yıl yayınladığı raporlar baz alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca TCDD'ye ait şartnameler her ihale öncesinde TCDD'nin isteklilere göndermiş olduğu ihale dökümanlarının içerisinde derlenmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Traversler konvansiyonel hatlarda, hızlı tren hatlarında hatta metro ve tramvay hatlarında demiryolu üstyapısının en önemli parçalarından biridir.

Ahşap ve çelik traverslerin kullanımı günümüzde oldukça azalmakta, hatta çelik traverslerin yeni yapılan demiryollarında kullanılması sadece çok özel gereksinimler gerçekleştiğinde mümkün olmaktadır. Betonarme traversler ise diğer iki tipteki traversin aksine üretimi milimetrik toleranslarla, çok yüksek hassasiyetteki ve kalitedeki imalat yöntemleri ile üretilmekte ve kullanım alanlarını ve kullanılma yüzdesini gittikçe arttırmaktadır.

Kaliteli betonarme traversinin üretilmesi ise mevcut standartlara uygunluğuna, üretim kalitesine ve özellikle tasarımının doğru yapılabilmesine bağlıdır. Kullanılacak olan traversin arzu edilen hat güvenliğini ve stabiliteyi sağlayabilmesi, aynı zamanda uzun ömürlü olabilmesi üretim koşulları ve doğru tasarım ile çok yakından ilgilidir. Özellikle B70 Tipindeki monoblok betonarme traversin kullanımının tüm dünyada ve Türkiye'de artması beklenmektedir.

Demiryolunun tasarımı ve inşaatı yapılırken doğru tipteki demiryolu traversini seçmek, inşa edilen demiryolunun konforunu, ömrünü ve maliyetlerini doğrudan

etkilemektedir. Bunun yanısıra traverslerin kullanıldığı hattın bakımı ile traverslerin ömürleri arasında çok yakın bir ilişki vardır. Doğru hat tipinde, güvenilir ve ucuz bir demiryolu hattı imal etmenin yolu belirli standartlara göre kaliteli bir şekilde üretilmiş olan uygun demiryolu traversinin seçilmesine bağlıdır.

## 2. DEMİRYOLU ÜSTYAPILARINDA KULLANILAN TRAVERS TİPLERİ

Traversler ray ile balast arasında bulunan bir üstyapı elemanıdır. İlk demiryolu hatlarında raylar yere doğrudan olarak yerleştirilen bloklara monte edilirdi. Sonrasında ise daha iyi yük dağılımı için balast ve traverslere ihtiyaç duyulmuştur.

Traverlerin aşağıdaki görevleri yapması beklenir:

- Raydan balasta uygun yük iletimini ve dağılımını sağlamak,
- Ekartmanı korumak,
- Rayların traverslerle 1/20 veya 1/40 eğimle montesini sağlamak (Araçların budenleri konik olup belli bir eğimi vardır. Bu haldeki bandajların ray üzerine oturabilmesi için raylara içeri doğru aynı eğimi vermek gerekir. Bu da ray altına yerleştirilen seletlere hat içine doğru eğim verilerek sağlanır),
- Yatay ve düşey yönlerde yeterli mekanik dayanıma sahip olmak (Öztürk ve Arlı, 2009),
- Rayları sabit tutmak;
  - Yükseklik olarak (yükselmeler ve çökmelerde),
  - Yanal olarak merkezkaç ve çapraz kuvvetlere karşı,
  - Boyuna yönde, ray yürümesinde, fren, ivme ve ısı değişiklikleri ile oluşan kuvvetlere karşı
- Raylardaki titreşimlerin yumuşatılması ve oluşan ses dalgalarının çevreye verdikleri etkilerin azaltılması (Lichtberger, 2005).
- İki ray arasında yeterli elektrik izolasyonunun sağlanması (Esveld, 2014)

Traverslerde aranan özellikler ise şunlardır:

- Aşınmaya karşı mukavemet,
- Elastikiyet,
- Kırılmaya ve ezilmeye karşı mukavemet,
- Raylara kolaylıkla ve sağlam bir şekilde bağlanması,
- Doğa olaylarının zararlı etkilerine karşı dayanıklı olması,

- Üstyapının stabilitesi bakımından çok hafif olmaması ve bakım açısından çok fazla işçi gücü gerektirecek kadar ağır olmaması (Öztürk ve Arlı, 2009),
- Ucuz ve uzun ömürlü olması.

Bu bölümde Türkiye ve Dünya’da ağırlıklı olarak kullanılan travers çeşitlerinden bahsedilecektir.

## 2.1 Çelik Travers

Yumuşak çelikten yapılırlar. Başları tırnaklı olduğundan dresaja dayanıklıdır. Rayla travers arasındaki bağlantı iyi sağlanmazsa düşey ve yatay etkiler altında ray tabanının oturduğu yerde aşınmalar olur. Aşınma sonucu, travers kesitindeki küçülme nedeniyle, bu noktadaki dayanım azalır, çatlama ve kırılmalara neden olur. Bu bakımdan bağlantı kusursuz olmalıdır (Bozkurt, 1989).

Bu traversler hafif olmaları, bakım güçlükleri ve izolasyon sorunları nedeniyle günümüzde sıklıkla kullanılmamaktadır. Çelik traversler gürültüye neden olur, ayrıca izolasyon sorunları sebebiyle de sinyalizasyon için özel tertibata ihtiyaçları vardır.

Çelik traverslerin ömürlerinde iklim önemli bir rol oynar. Rutubetli iklimlerde oksitlenerek çürüdüklerinden ömürleri çok azdır. Ancak iklimi rutubetli olmayan balastı iyi olan ve trafiği az olan yollarda 50 yıl dayanmaktadır (Profillidis, 2013).

Çelik travers haddelenmiş Şekil 2.1’de görülebileceği gibi ters U şeklindedir ve travers sonları balastı sıkıştırması için dövülür. Çelik traversler düşük karbonlu çelikten imal edilir ve maksimum çekme dayanımı 40-50 kg/mm<sup>2</sup>’dir (Öztürk ve Arlı, 2009).

Çelik traverslerin genel olarak yararları:

- Düşük ağırlıkları sebebiyle montaj kolaylığı sağlar,
- Montaj yüksekliklerinin düşük olması sebebiyle hat üzerinde daha az balasta ihtiyaç duyar,
- Uzun yaşam süreleri vardır (Lichtberger, 2005),
- Hafif olmaları sebebiyle daha kolay nakliye edilebilirler,
- Şekilleri nedeniyle kolay stoklanması ve düşük stok alanı ihtiyacı vardır,
- Aluminotermite kaynaklara karşı direnç gösterebilirler,
- Tamamen geri dönüşümü mümkündür,

- Yangına karşı dayanıklıdırlar,
- Raylara bağlanması ve sökülmesi kolaydır.

Sakıncaları:

- Darbeleri yumuşatmadaki yetersizliği sebebiyle balast özelliğini daha çabuk kaybeder,
- Çapraz itme direnci beton traverslere oranlara daha düşüktür,
- Balast tanelerinin özelliğini çabuk kaybetmesi sebebiyle hattın drenaj özelliği kaybolur (Lichtberger, 2005),
- Nemli iklim koşullarında ve tuz içerikli su birikintileri yakınlarında kullanılmaları oksitlenmelere sebep olur ve travers özelliğini kaybeder,
- Tren geçişlerinde, gürültü ve titreşim sönümlenme kabiliyeti daha azdır,
- Ray oturma alanı zayıftır. Yüksek hızlarda ve işletme yüklerinde bu alanda çatlaklar meydana gelebilir,
- Yüksek sıcaklık değişikliklerinde hat ekartmanın artması ya da azalması söz konusu olabilir,
- Elektrik akımını geçirirler,
- Ahşap traverse oranla daha düşük stabilite, elastikiyet ve konfora sahiptirler.



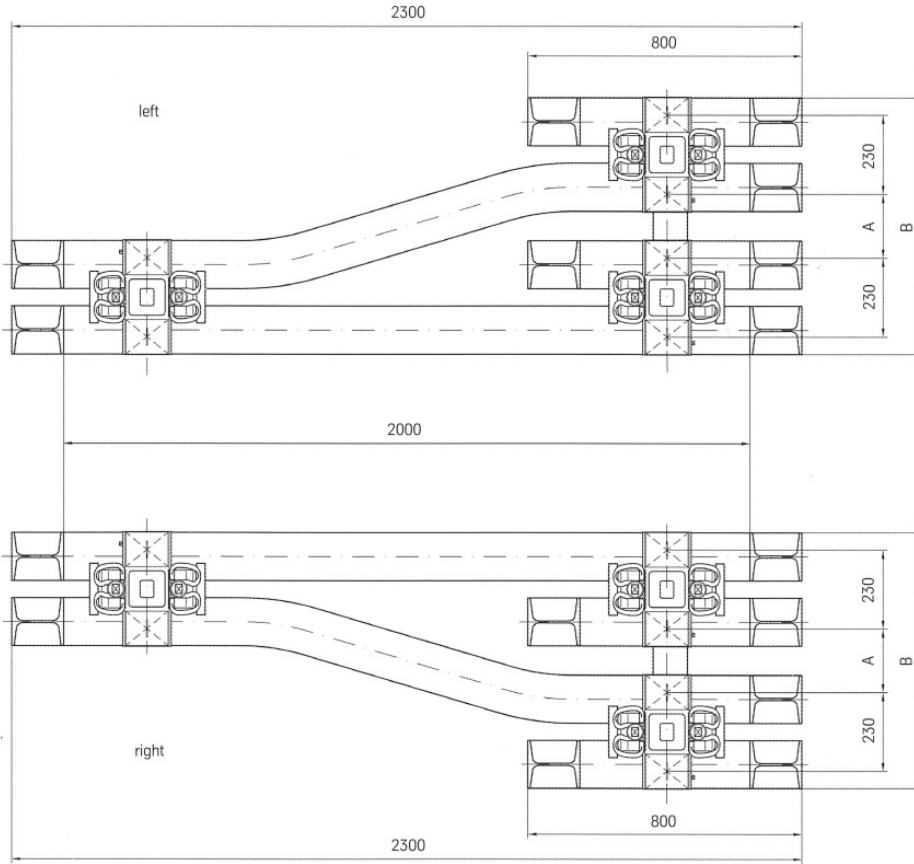
Şekil 2.1 : Çelik travers.

### 2.1.1 Y tipi çelik traversler

Y Tipi çelik traversler, iki adet S şeklinde, sıcak haddelenmiş taşıyıcıdan ve aynı profildeki iki adet düz taşıyıcı parçadan oluşmaktadır. Çelik profillerin birbirleri ile bağlantıları her traverste iki adet alt ve iki adet üst kuşak ile köprü oluşturularak sağlanır. Y Tipi çelik traversler çift olarak düzenlenmiştir ve bir adet Y tipi çelik travers üç adet ray oturma mesnedi içermektedir. Y tipi çelik traversin çizimi Şekil 2.2’de verilmiştir.

Y tipi çelik traverslerin faydaları:

- Yüksek çapraz ve uzunlamasına kayma direnci vardır,
- Düşük montaj yüksekliği ile balast miktarı kazanımı sağlar,
- Düşük ağırlık ve boyutlar ile nakliyesi ve stoklanması kolaydır,
- Yüksek burulma özelliği ve çerçeve sertliği vardır,
- Tamamen geri dönüştürülebilir (Lichtberger, 2005),
- Ömürleri uzundur.



Şekil 2.2 : Y Tipi çelik travers.

Sakıncaları:

- Burajının yapılabilmesi için özel buraj makineleri gerekmektedir,
- Bakımını yapmak zordur,
- Az talep edilmesi ve çok fazla üreticisinin olmaması sebebiyle fiyatı yüksektir,
- Yanal etkileri karşı direnci sebebiyle, hattaki eksen kaçıklıklarının düzeltilmesi zordur (Lichtberger, 2005).

## 2.2 Ahşap Travers

Ahşap traversler diğer traverslere göre yükü daha iyi dağıtırlar. Bu sebeple zayıf kalitedeki zeminlerde düşük balast yüksekliği sağlaması ile beraber ahşap traversler kullanılmıştır. Ancak maliyetlerinin yüksek olması ve ömürlerinin az olması sebebiyle artık Avrupa’da terkedilmeye başlanılmışlardır (Öztürk ve Arlı, 2009). Ayrıca ağaç kesilmesinin önüne geçilmesi yönünden de ahşap traverslerin kullanımı son dönemde oldukça azalmıştır.

Ahşap traversler Amerika’da %95 oranında kullanılmaktadır. Sert traverslerin ömrü 30-50 yıl arasında ve her yıl 16 milyon travers değiştirilmektedir. Ahşap traversin altındaki basınç beton traverse göre üçte bir oranındadır. Avrupa’da en yaygın olarak kayın ve meşe ağaçları ahşap travers imalatında kullanılmaktadır. (Öztürk ve Arlı, 2009).

Ahşap traverslerin en büyük üstünlüğü esnek olması ve yükü balast tabakasına iyi dağıtmasıdır. Bundan dolayı zayıf zeminlerde genellikle bu traversler kullanılır. Ayrıca elektrik yalıtımlarının iyi olması sebebiyle hiçbir yardımcı düzenek gerekmeden sinyalizasyon ve elektrikli hatlarda kullanılabilirler. Ahşap traversdeki sürtünmenin düşük olması balasta verilecek zararı da minimuma indirmektedir. Bu sebeple beton traversin aksine, ahşap traverslerli demiryolları bölgelerinde balast malzemesi olarak kireç taşı kullanımına da izin verilmektedir. Ahşap traversin hafif olması da bir diğer üstünlüğüdür.

Ahşap traverslerin dezavantajı olarak ömürlerinin oldukça az olması, ilk maliyetlerinin yüksek olması ve yüksek hızlı hatlar için yanal dirençlerinin düşük olmasıdır. Yangına karşı direncinin düşük olması ve rutubetten etkilenmeleri de ahşap traverslerin en büyük dezavantajıdır.

Ahşap traversin ömrü kullanılan ağaç tipine bağlı olarak değişmektedir:

- Meşe Traversi (ilaçlanmış) – 25 yıl
- Kayın (ilaçlanmış) – 30 yıl
- Azobe (ilaçlanmış) – 45 yıl
- Tüneller için jarrah (okaliptüs) veya benzeri sert ağaçlar – 50 yıl (Profillidis, 2013).

### 2.2.1 Ahşap travers işlemleri

Ham traversler 1-2 yıl kadar açık havada kurutulurlar. Arkasından yüksek basınç altında sıcak zift yağı ile (kreozot) su geçirmezlik özelliği kazandırılırlar (emprenye edilirler). Bu işlem esnasında emprenye edici malzeme traverse sadece lif yönünde nüfuz eder. Emprenye esnasında mümkün olduğu kadar büyük bir iç alana bu malzemenin etki etmesi büyük önem taşır.

Emprenye içirilmesi tamamlandığında metreküp ağaç başına yaklaşık 500 kg zift yağı emdirilmiş olur (Lichtberger, 2005).

Ahşap traverslere içirilecek olan ilaçlarda aranan başlıca özellikler:

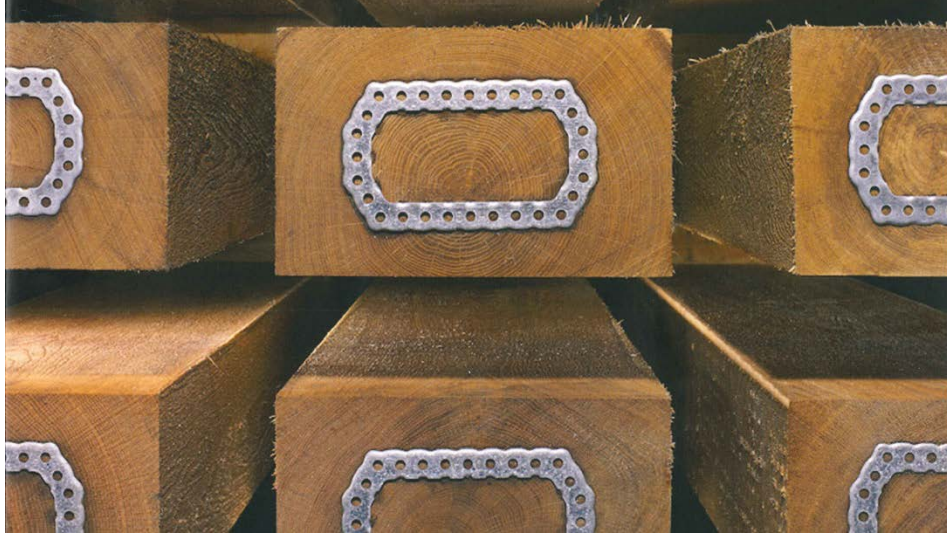
- İlaç zamanla yıkanmamalı yani suda erimemeli aynı zamanda antiseptiği iyi olmalıdır,
- Ağaç içine girmesi kolay olmalı, ağaca homojen bir şekilde nüfuz etmelidir,
- Ağacın mekanik özelliklerini değiştirmemelidir,
- Üstyapının traverslerle temaslı demir kısımlarına (bağlantı malzemeleri) zarar vermemelidir,
- Personele ve doğaya zarar vermemesi için zehirli olmamalıdır (MEB, 2013).

Ahşap traversler zamanla basınç, güneş ve yağmur suları etkisiyle boyuna doğrultuda çatlamalara maruz kalır. Çatlamaların önlenip travers ömürlerinin uzatılması için şu işlemler yapılır:

- Çemberleme: 4–5 cm eninde 1–2 mm kalınlığındaki tokalı çember özel bir aletle traverslerin başlarına bağlanır. Çemberleme örneği Şekil 2.3'te verilmiştir.
- “S” demiri ile takviye: “S” şeklindeki demir parçası imalat anında traversin her iki başına çakılmak suretiyle yapılır. Ayrıca yeni kullanılmaya başlanılan

dikdörtgen şeklinde delikli ve dişli saç parçası da travers başlarına çakılmaktadır.

- Bulonla takviye: 10–12 mm çapında bu iş için özel olarak yapılmış blonlarla çatlayan kısım delinip çatlak bağlanır (MEB, 2013).



**Şekil 2.3 :** Plaka çakılması uygulaması.

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi (TCDD) günümüzde hala çelik köprüler üzerinde kullanılmak için ve makas traverslerinde kolaylıkla kullanılabilmesi sebebiyle ahşap travers satın almaktadır. TCDD kendine ait Ahşap Travers Teknik Şartnamesi'nde (Ankara ve Sevim, t.y.) ahşap traverslerin özelliklerini aşağıdaki gibi belirlemiştir:

- Ağaçların kesim tarihi ile travers teslimat tarihinin arasında maksimum süre 10 ay olacak ve bu süre sonunda traversler emprenyelenmiş olacaktır,
- Traverslerin yarılmalarını önlemek için alınlarından itibaren 8-10 cm mesafede traversin her iki başından köprü traversleri için kalınlığı min. 1.5 mm, eni min. 30 mm diğer traverslerin tamamı ise kalınlığı min. 1 mm , eni min. 30 mm olan çemberle gevşemeyecek şekilde bağlanacaktır. Köprü traverslerinde çemberin değdiği köşeler 35 mm genişliğinde pah kırılacaktır.
- Ekolojik emprenye işleminden önce meşe ahşap traverslerin nem oranı %22-28, ağırlığı 750-900 kg/m<sup>3</sup> olacaktır,
- Ahşap traversler, mukavemet ve korunmalarını etkileyecek tüm zarar verici kusurlardan arı olacaktır. Ahşap traverslerde ölü budaklar, kıvrılmış lifler, içe

kıvrılmış kabuklar, yarım ay şeklinde lekeler, kurt delikleri, çürükler, gövde veya budaklarda görülen kabarcıklar vs. kusurlar olmayacaktır,

- Traverslerin alt ve üst yüzeyleri testere ile kesilecek ve bu yüzeyler birbirine paralel olacaktır,
- Traverslerin yan yüzeyleri alt yüzeye dik açı yapacak şekilde olacaktır,
- Travers başları travers eksenine dik olarak biçilecektir,
- Kabuk ve çürümüş veya örtülü budaklar suyun kolayca akmasını sağlayacak şekilde temizlenecektir. Ray taşıma alanında çentik olmayacaktır. Diğer alanlarda olan çentiklerin derinliği, enine kesitte 1/15, yükseklikte 1/5'ten daha fazla azalmaya sebebiyet vermeyecektir. Traverslerde, üst yüzeyde istenen minimum değerin altına düşülmemek kaydıyla, çentiklere müsaade edilecektir,
- Traverslerde yarık olmayacaktır. Travers en kesitinde bir yüzeyden diğer paralel yüzeye kadar devam eden ve boyuna uzunluğu 25 cm'yi geçen yarık içeren traversler istiflere konmayacaktır (Çatlak : Liflerin uzunlamasına birbirinden ayrılmasıdır),
- Traversler düzgün ve düzenli formda olacaktır,
- Traversler, temiz olacak ve kum, çamur, buz, talaş bulunmayacaktır,
- Traverslerde ahşabı zayıflatan veya şeklini bozan don çatlağı olmayacaktır,
- Traverslerin başına macunlama ve çatlak gizleyici hiçbir işlem yapılmayacaktır,
- Üretici, ücreti kendisine ait olmak üzere tüm traverslerin her iki başına ekli alın plakası ve kelepçe takılacaktır,
- TS700 EN 13145 (Demir yolu uygulamaları - Demir yolu - Ahşap traversler ve destekler)' deki kabuller dikkate alınarak tek tek fiziksel kontrolleri yapılacaktır.

### **2.3 Betonarme Travers**

Ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan beton traversin kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Betonun başlangıçta akışkan olması ve istenilen kalıbın şeklini kolayca alan ve sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli bir dayanım sağlayan yapay bir yapı malzemesi olması

büyük kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Betonarme, betonla çeliğin tek bir cisim gibi, aderans sayesinde çalıştığı, kompleks bir cisimdir. Betonarme de betonun basınca, çeliğin çekmeye çalıştırılması bu her iki malzemenin özelliklerinin gereğidir. Betonarmenin esası, elemanın bünyesinde meydana gelen çekme gerilmelerini çelik, basınç gerilmelerini betonun karşılamasıdır (Kozak, 2010).

Beton traverslerin başlıca olumlu özellikleri olarak aşağıdaki maddeler sayılabilir;

- Ekartmanı iyi korur.
- Az gürültü yapar.
- Nemden etkilenmez.
- Elektrik akımını çok az geçirir.
- Dış etkilere ve ateşe dayanıklıdır.
- Ağırlığı sebebiyle çağın gereği yüksek hız ve ağır yük taşınması ancak beton traversle mümkün olur.
- Ateşe dayanıklıdır.
- Tasarım aşamasında büyük kolaylık sağlar.
- Bağlantı malzemelerinin çok çeşitli ve iyi olması ile değiştirme kolaylığı mevcuttur.

Olumsuz yönleri;

- Bakımı zordur. Daha dikkatli ve makineli çalışmayı gerektirir.
- Deraylardan sonra çatlama ve kırılmalar olur. Bu sebeple de hemen değiştirilmeleri gerekir.
- Kurplarda kurp merkezi yönünde dresaj olur.
- Değişik şekil ve uzunluklarda yapılması zordur.
- Balasta fazla zarar verir.
- Esneklik yoktur.
- Çürük platformlarda kullanılması tercih edilmez (MEB, 2013)
- Yüksek ağırlığı sebebiyle kalker içerikli balastın kullanılmasına izin verilmez (AREMA, 2002).

Özellikle 1950’li yıllardan sonra beton teknolojisinin ilerlemesi ile birlikte beton traverslerin kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmaya başlamış ve tipleri bakımından iki ana kategoriye ayrılmışlardır;

- İkiz bloklu betonarme traversler
- Monoblok betonarme traversler (Profillidis, 2013).

Ülkemizde betonarme demiryolu traversi olarak TCDD'ye ait konvansiyonel ve hızlı tren hatlarında monoblok betonarme traversler kullanılmaktadır. Bunun yanısıra metro, tramvay ve hafif raylı sistemlerde ikiz blok traversler de kullanılmaktadır.

Demiryolunun ihtiyacına göre beton traverlerin boyutları ve beton karışımı kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Bu sebeple dünya üzerinde pek çok tipte ve şekilde betonarme travers bulunmaktadır.

### 2.3.1 İkiz bloklu betonarme traversler

Ağır tonajlı ve hızlı taşımacılığın yapılmadığı metro, tramvay vb. raylı sistem işletmelerinde hem ekonomik travers kesitlerinin elde edilmesi hem de yolda esnekliğin sağlanması için ikiz bloklu betonarme traversler kullanılmaktadır (MEB, 2013).

İkiz bloklu betonarme traversler balastlı hatlarda kullanıldığı gibi beton yapı içerisine yerleştirilerek balatsız hatlarda da kullanılmaktadırlar. Kullanım süreleri yaklaşık olarak 50 yıldır ve özellikle Fransa, Belçika, İspanya, Portekiz, Yunanistan, Meksika, Brezilya, Cezayir, Hindistan ve Tunus'ta kullanılmaktadırlar (Lichtberger, 2005).



Şekil 2.4 : TW120 tipi ikiz beton travers.

Balastlı hatlarda kullanılan geleneksel ikiz blok betonarme traversler eğilmeye karşı direnç göstermeleri için çelik bir taşıyıcı ile birbirlerine bağlanmaktadır. Bu çelik

kiriş L profiline ya da Y profile sahip olabilmektedir. Bu işlemin yapılmasının başlıca sebebi traverslerin orta kısmına gelen gerilmelerin oldukça düşük olması ve bu kısımda daha az malzeme kullanılabilecek olunmasıdır (Öztürk ve Arlı, 2009). Orta kısımdaki bu profilin bir diğer amacı ise ekartmanı sabit tutmaktır. Şekil 2.4'te çelik profil ile birleştirilmiş ikiz bloklu betonarme travers gösterilmiştir.

İkiz blok traversler fazla ağırlıkları ile yüksek yanal direnç gösterebilmekte ve böylelikle yüksek hızlara müsaade edebilmektedirler. Ayrıca servis ömürleri uzundur ve ahşap traverslere göre daha ucuzdurlar (Öztürk ve Arlı, 2009).

Balastlı hatlarda kullanılan ikiz bloklu betonarme bloklar, yeterli balast kalınlığı sağlanamadığı durumlarda istenen performansı gösteremezler. Ayrıca ahşap traverslere göre yük dağılımı, esneklikleri ve yalıtımı daha düşüktür. Elastik bağlantı elemanları gerektirirler ve taşınması hem ağırlıkları bakımından hem de ortalarındaki profilin hassaslığı bakımından daha zordur (Profillidis, 2013).



**Şekil 2.5 :** Marmaray BC1 Projesi'nde kullanılan LVT ikiz blok traversler.

Balastlı hatlarda kullanılan bazı ikiz blok traverslerin özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** : Bazı ikiz blok beton traverslerler (Öztürk ve Arlı, 2009).

	U41	U31	U20	VSP
Toplam boy (mm)	2.415	2.252	2.240	2.240
Beton blok boyu	840	680	680	680
Genişlik (mm)	290	290	290	290
Yükseklik (mm)	220	229	170	170
Ağırlık (kg)	230	200	170	160
Maksimum hız (km/sa)	300	200	140	50
Trafik Yüğü (ton/gün)	>45.000	<45.000	<20.000	<10.000
Aks yüğü (ton)	32	22,5	22,5	22,5

Ülkemizde balastlı hatlarda ikiz blok kullanılması uygulaması henüz yaygınlaşmamış olsa da balastsız hatlarda ikiz blok beton travers kullanıma dair örnekler mevcuttur. 29 Ekim 2013 tarihinde Ayrılıkçeşmesi – Kazlıçeşme arasının hizmete açıldığı Marmaray (İstanbul) projesinde Sonneville Tipi LVT (Low Vibration Track) bloklar kullanılmıştır ve Şekil 2.5’te işletmeye açılmış hattın fotoğrafı verilmiştir (Url-4, 2015).

Ayrıca Eskişehir Tramvayı (ESTRAM)’nda da ikiz blok beton traversler kullanılmıştır. İnşaat aşamasında çekilmiş olan ikiz bloklu tramvay hattının fotoğrafı Şekil 2.6’da verilmiştir.



**Şekil 2.6** : İkiz blok beton traversler.

Balast kullanılmadan inşa edilen betonarme alt temelli raylı sistemlerde traversler beton yapı içerisine yerleştirildiğinden ekartmana ilişkin sorun oluşmamaktadır. Bu nedenle traversleri birbirine bağlayan korniyerlerin kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Bu traversler balastlı yollarda kullanılacaksa rayların birbirine ayrıca korniyerlerle bağlanması söz konusudur (MEB, 2013).

### 2.3.2 Monoblok betonarme traversler

Dünya demiryollarında en çok kullanılan betonarme travers tipi tek bir parçadan oluşan “monoblok” traverslerdir. Bu traversler ağırlıklarından dolayı yolun stabilitesine uygun olduğundan ve ekartmanı çok iyi koruduğundan ağır tonajlı ve hızlı balastlı demir yolu işletmeciliklerinde iyi sonuç vermektedir (MEB, 2013).

Monoblok traversler ekartmanı yeteri kadar koruması ve uzun ömürleri bakımından ikiz blok betonarme traverslerle benzer bir davranış gösterirler. Ayrıca monoblok beton traverslerde oluşan sürekli basınç gerilmeleri sebebiyle, monoblok traversler değişken gerilmeleri ikiz blok beton traverslere göre daha iyi taşırlar. Ankara – Konya Hızlı Tren Hattı’nda kullanılmış olan betonarme traverslerin fotoğrafı Şekil 2.7’de verilmiştir.



**Şekil 2.7 :** Monoblok betonarme traversli hat (Ankara-Konya Hızlı Treni).

Monoblok traversler ahşap traversler kadar olmasa da ikiz blok beton traverslere göre yükü daha iyi yaymaktadırlar. Yanal dirençleri ikiz blok beton traverslere göre daha düşüktür ama ahşap traverslere göre de oldukça yüksektir.

Monoblok beton traverslerin tasarımda tanıdığı özgürlük sebebiyle, monoblok traverslerin tasarımı ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Çizelge 2.2’te bazı ülkelerde kullanılan monoblok betonarme traverslerin geometrik özellikleri verilmiştir (Öztürk ve Arlı, 2009).

**Çizelge 2.2 :** Monoblok traverslerin geometrik özellikleri (Öztürk ve Arlı, 2009).

Ülke	Ekartman	Travers boyu	Travers Başı			Travers ortası		
			Yükseklik	Alt genişlik	Üst genişlik	Yükseklik	Alt genişlik	Üst genişlik
Avustralya	1.435	2500	212	250	200	165	250	200
Kanada	1.435	2542	203	264	216	159	264	226
Çin	1.435	2500	203	280	170	165	250	161
Almanya	1.435	2600	214	300	170	175	220	150
Hindistan	1.673	2750	210	250	-	180	220	-
İtalya	1.435	2300	172	284	222	150	240	190
Japonya	1.435	2400	220	310	190	195	236	180
Rusya	1.520	2700	193	274	177	135	245	182
Güney Afrika	1.065	2057	221	245	140	197	203	140
İsveç	1.435	2500	220	294	164	185	230	150
İngiltere	1.432	2515	203	264	216	165	264	230
Amerika	1.435	2591	241	279	241	178	279	250

### 2.3.2.1 Çelik telin gerdirme sırasına göre monoblok beton travers çeşitleri

Beton traversler içlerinde bulunan çelik tellerin beton dökülmeden önce gerdirilmesine veya beton döküldükten sonra gerdirilmesine göre sınıflandırılmaktadır. Bu bölümde kısaca sonradan germeli monoblok traversler ve ön germeli monoblok traversler hakkında bilgiler verilmiştir.

#### 2.3.2.1.1 Sonradan germeli (ard germeli) monoblok traversler

Bu yöntemde, travers çelik kalıbı hazırlanarak betonlanır. Kalıptan çıkan travers buhar kürü ile kısa zamanda (8 saat) prizlenerek %70 oranında mukavemetini almaktadır. Özel bir tezgaha getirilen traverse betonlama esnasında içinde aralıklı bırakılmış 4 adet boyuna yuvalara, yüksek evsafı (110- 150 kg/mm<sup>2</sup>) ve uçları yivli 2 adet U şeklinde  $\varnothing 7.5$  mm'lik çelik çubuklar çapraz olarak yerleştirilir. Çubukların her 4 serbest ucu, özel çekici apreyle 8'er ton gerdirilip toplam 32 ton bir gergi kuvvetiyle travers başına somun ile ankre ettirilir. Bu işlemle çelik tellerdeki germe kuvveti beton traverslere aktarılır. Ardından idarenin ya da demiryolunun ihtiyacına göre çelik çubuk yuvaları çimento ile kapatılırlar (Berksoy, 1994).

#### 2.3.2.1.2 Ön germeli monoblok traversler

Ön germeli beton travers imalatında ise, sonradan germeli şeklin aksine daha ince çelik çubuklar ( $\varnothing 2,5$ ), 20 veya 30 traverslik imalatı kaplayacak kalıp içinde gerdirilerek betonlanır.

Dökülen ve sıkıştırılan betonun prizlenmesinden sonra, bu uzun boydaki travers, normal boylarda kesilerek istif sahasına gönderilir (Berksoy, 1994).

## **2.4 Diğer Travers Çeşitleri**

Bu bölümde, önceki başlıklarda açıklanan yüksek oranda kullanılan travers tiplerinin yanısıra üretimi ve kullanımı yapılan diğer travers tiplerinden bahsedilecektir. Bu bölümde incelenen travers tipleri;

- Makas traversleri,
- Çerçeveli travers,
- Geniş travers,
- Plastik travers,
- Sentetik ahşap traverslerdir.

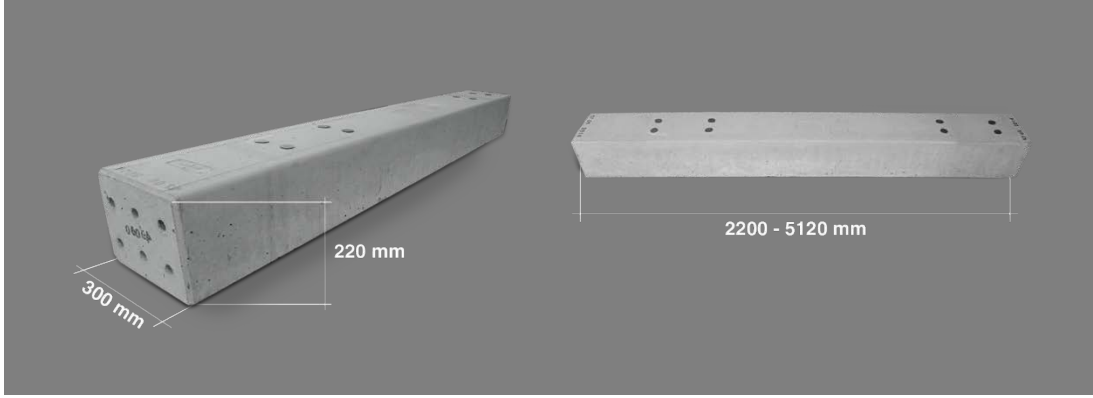
### **2.4.1 Makas traversleri**

Balastlı demiryolu hatlarındaki makas bölgelerindeki farklı yükler ve farklı hat tip kesitleri sebebiyle standart boyutlarda ve dayanımlarda traversler kullanılamamaktadır. Özellikle makasın yapısı sebebiyle traversler üzerindeki bağlantı malzemelerin yeri ve sayısı makas içerisinde her traverste farklılık gösterebilmektedir. Ayrıca makas boyunca (makas dili, ara rayları ve göbek bölgesi) traverslerin uzunlukları değişmektedir.

Makas traverslerinin diğer traverslere göre en büyük farklılığı traverste ray eğiminin bulunmamasıdır. Bunun yanısıra makas traverslerinin kesiti kendi içerisinde bölgesel olarak değişiklik göstermemektedir. Makas traversinin kesiti makas boyunca sabit kalmakla birlikte traversin uzunluğu 1.435 mm ekartmana sahip bir balastlı hattaki makasın tipine göre, 2.200 mm ile 5.120 mm arasında değişiklik gösterebilmektedir (Kıncal, 2015). Şekil 2.8’de makas travers örneği verilmiştir.

Makas traverslerinin hem kendi içlerinde makasın bulunduğu bölgesine göre hem de makas tipine göre farklılık göstermesi sebebiyle beton traversler yaygınlaşmadan önce ahşap ve çelik traversler sıklıkla kullanılmaktaydı. Şekil 2.9’da makas bölgesindeki traverslerin uzunluklarının değişikliği ve bağlantı malzemesinin bağlandığı kısımdaki farklılıklar görülebilmektedir. Ahşap traversler üzerinde, bağlantı malzemesi montajı için işaretlenen yerler kolaylıkla delinebilmekte ve

bağlantı malzemesi montajı bu yöntemle istenilen bölgeye uygulanabilmektedir. Aynı yöntem çelik traversler için de uygulanabildiğinden çelik traversler de makas bölgelerinde rahatlıkla kullanılabilir.



**Şekil 2.8 :** Betonarme makas traversi.

Ancak günümüzde betonarme travers teknolojisinin ilerlemesiyle beraber yeni inşa edilen hatların ihtiyaçları da göz önüne alındığında makas bölgelerinde beton traverslerin kullanılmasının oranı gittikçe artmaktadır.

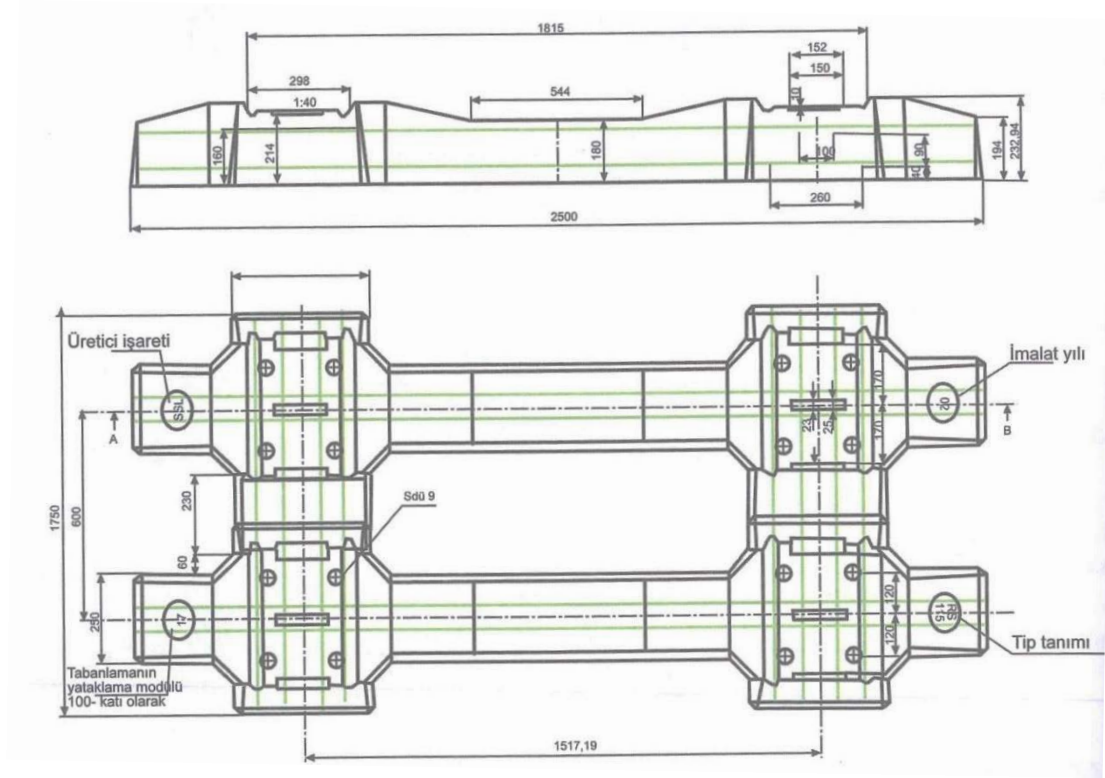


**Şekil 2.9 :** Makas bölgesi traversleri.

#### 2.4.2 Çerçevesel travers

Çerçevesel traversler sadece yüksek hızlı hatlara uygun olmayıp aynı zamanda dar kurlar gibi zor hat bölümlerine de uygundur. Yüksek çapraz itme direnci sebebiyle çok dar kurlarda bile kesintisiz kaynaklı hat oluşturmaya çok uygundur.

Bu traverslerin Avusturya Semmering’de 176 m yarıçaplı bir hatta kullanılabilmiş olmaları bu bilgiyi doğrulamıştır. Şekil 2.10’da bu traversler görülmektedir.



Şekil 2.10 : Çerçeve travers.

Çerçeve travers sisteminde, eskiden beri kullanılan çapraz traversli hat, düşünsel olarak birbirini takip eden ve birbirine bağlı ızgara şeklinde bir taşıyıcıya dönüştürülmüştür. Uzunlamasına taşıyıcı ray aracılığıyla itmeye dayanıklı ama eğilmeye dayanıksız olarak birbirine bağlı parçacıklara ayrılmıştır. Çerçevenin köşelerine yerleştirilmiş olan bağlantı parçaları çok yüksek bir çerçeve katılığı ve çapraz itme direnci sağlamaktadır (Lichtberger, 2005).

Bu elemanlar köprü denilen özel bağlantı sistemleriyle birleştirilmiş iki travers olarak düşünülebilirler. Burada da geniş traverslerdeki gibi taşıma yüzeyini arttırarak balasttaki basıncı azaltma prensibi geçerlidir. Elemanlar, 2,4 m uzunlukta ve 0,95 m genişliktedir; her eleman için, iki takım ray bağlantısı mevcuttur. Bağlantı sisteminde ray, beton kiriş ile kendini desteklemekte ve sürekli ray desteği sağlıyormuş gibi davranmaktadır. Travers elemanlarının altındaki 12 mm’lik kalın polimer tabaka ise yüklerin daha iyi yayılmasını sağlayacaktır. Test sonuçları normal bir travers ile karşılaştırıldığında, çerçeve traverslerde oturmalarda bir azalma olduğu görülmektedir.

Avusturya'da çerçeve traverslerle paralel geliştirilmiş bir ürün Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Dört bağlayıcının hazırlanması ile her çerçeve travers, yatay düzlemde çok yüksek rijitliğe sahip olur, stabilitede ve burkulma dayanımında mevcut limitlerin üzerinde artış sağlanır. Beton yapının içine, çerçeve traversin altına balast ile beton arasındaki yüzeyi düzeltmek için elastik bir yastık (ped) eklenir.

Çok yüksek yanal mukavemet ve iyi bir çerçeve dayanımı için bir düzenleme olup, en iyi şartları sunar. Azaltılmış çökme ve çökme farklılıkları, yol geometrisinde çok daha fazla durabilite/sağlamlık sağlar ve böylece altyapı sisteminin kullanılabilirliğini artırır.



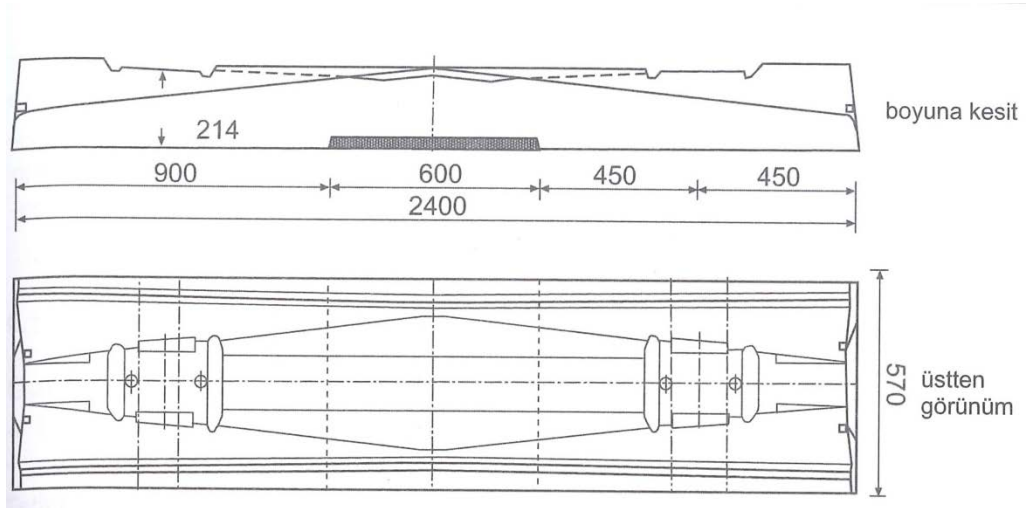
Şekil 2.11 : Avusturya'da uygulanan çerçeve travers (Esveld, 2014).

### 2.4.3 Geniş travers

Geleneksel balastlı üstyapıların planlanmasında gelişmeler elde edilmiştir. Balast traversten gelen yükü altındaki temele yayar. Bu yükleme temas yüzeyleri arasında basınca sebep olur. Bu da balast yatağının bozulmasına yol açar. Balastın bozulması drenaj işlevinde eksikliklere sebep olur ve hat kalitesi (güvenliği) azalır. Geçen yükün miktarına bağlı olarak muntazam bakım gereklidir. Basınç derecesi ve demiryolu hattının bozulması arasında doğru orantı vardır. Balasta uygulanan basıncın azalması daha az bozulmaya neden olacaktır. Yükü daha çok traverslere yayan ağır ray profili kullanarak, traversler arası mesafeyi azaltarak, traversleri uzatarak veya genişleterek, yani taşıma yüzeylerini arttırarak bozulmaları

azaltılabilmektedir. Bu ihtiyaç sebebiyle geniş traversler ve H tipi çerçeve traversler ortaya çıkmıştır (Şekil 2.12) (Lichtberger, 2005).

Geniş traverslerde, travers genişliği standart beton traverslere göre yaklaşık olarak 2 katına çıkartılmış ve traversin boyu 20 cm kadar azaltılmıştır. Traversin yüksekliği ve bağlantı malzemesi bölgelerinde bir değişiklik ise yapılmamıştır. Dış taraflarında su olukları vardır ve bu bölümlerden suyun dışarıya doğru akmasını sağlamak için traversin orta bölümü yükseltilmiştir. Bu traverslerin genişliği 570 mm olmakla beraber, 600 mm seçilen travers aralıklarında iki travers arasında sadece 30 mm'lik bir boşluk kalmaktadır. Bu bölüm de dar kurlarda traversin yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Lichtberger, 2005).



**Şekil 2.12 :** Geniş travers (Lichtberger, 2005, s. 183).

Geniş traversler kullanılması durumunda, travers ağırlığı 560 kg'a ulaşır ve 22,5 tonluk aks yükü ile ortalama 2 kg/cm<sup>2</sup>'lik yüzey basıncı oluşturur. Geleneksel traverslerde bu değer 3,7 kg/cm<sup>2</sup>'dir. Demiryolu hattı, farklı elemanların oluşturduğu sürekli bir tabaka olarak düşünüldüğünden, buraj sadece traverslerin sonunda veya tabakaların kenarlarında yapılabilir. Buraj işlemi sırasında alet 90° ile dönmüş olmalıdır.

İlk denemeler 1996'da Almanya'nın Waghäusel kentinde, 450 m'lik mesafede başlatılmıştır. Uygulama sonrasında ray geometrisinin, "çok iyi" durumda olduğu belirlenmiştir. Daha sonra, Hamburg / Saar – Bexbach arasında 6 km'lik hat Ekim 1997'de referans yolun yanında yapılmıştır. Bu demiryolu hattında, 18.500–21.000 ton/gün'lük trafik yükü altında, maksimum 135 mm dever uygulanan 350 m'lik

kurpta, maksimum 120 km/h hıza izin verilmiştir. Sürekli yapılan ölçümlerden sonra aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yüksek balast stabilitesi sağlanmıştır,
- Yanal etkilere karşı stabilitede %15'lik artış görülmüştür,
- Ses emisyonunda oluşan yaklaşık 2 dB artışı azaltmak için önlem uygulanmıştır,
- Düşük gövde sesi emisyonu sağlanmıştır,
- Uygun deformasyon davranışı görülmüştür (referans hatlarla kıyaslandığında %50'den daha az),
- 3,5 yıl boyunca hemen hemen hiç bakım gerektirmediği görülmüştür.

Geniş traverslerin yapım bedeli, normal balastlı üstyapıdan yaklaşık %10–20 daha fazladır. Ancak bu fazla maliyet, orta vadede bakım maliyetlerindeki azalma ile karşılanabilir (Esveld, 2014).

#### **2.4.4 Kompozit plastik travers**

Günümüzde daha geliştirilme aşamasında olan ancak bazı demiryolu hatlarında halihazırda kullanılmaya başlanmış bir travers çeşidi de kauçuk ve plastikten imal edilmiş olan yekpare traverslerdir. Bu traversler balastlı hatlarda kullanılmaya uygundur.

Ayrıca bilinmektedir ki Dünya gezegeni küresel çapta bir çevre problemiyle karşı karşıyadır. Bu problemin çözüme plastik malzemesinin geridönüşümü olabildiğince katkı sağlayacaktır. Bu malzemenin demiryolu traversi olarak kullanılması sayesinde yüksek kalitede, düşük maliyetlerde, ekoloji dostu ve güçlü traversler elde etmek mümkündür (Sree ve diğ. 2014).

Bu traverslerin üretiminde atık polistren ve poliüretanlar kullanılmaktadır. Polistren malzemesi genellikle geri dönüştürülmüş kahve bardakları yapımında, poliüretan ise geri dönüştürülmüş poşet yapımında kullanılmaktadır. Bu uzun ömürlü malzemelerin demiryollarında beton veya ahşap traversler yerine kullanılması ile birlikte yüz yıllık kullanım ömürlerinden söz etmek mümkün hale gelebilecektir. Ayrıca plastik traversler beton traversler kadar ağır değildir ve kolaylıkla çatlamamaktadırlar. Ahşap traverslere oranla ise daha düşük bakım gerektirmekte ve kimyasal etkilere

karşı daha dayanıklı olmaktadır. Plastik traversler üzerinde yapılan testlerde alınan sonuçlara göre plastik traverslerin en az beton traversler kadar yüksek değerler elde edebildiği görülmüştür. Kompozit plastik traverslerin üretilmesiyle toprağa veya suya karışacak olan zararlı plastik malzemeleri de değerlendirilmiş olacaktır. Kompozit plastik traverslerin özellikleri;

- Beton ve ahşap traverse oranla daha uzun ömürlüdür ve performansı yüksektir.
- Bağlantı malzemelerine uygun şekilde kolaylıkla delinebilmekte ya da beton traversler gibi önceden delikli şekilde üretilmeye imkan tanımaktadır.
- Geleneksel ahşap traverse uygun makine ve ekipmanla hatta serilmesi mümkündür.
- İklim koşullarının yarattığı olumsuz rutubet koşullarından en az seviyede etkilenmektedir.
- Böceklerin verebileceği zararlara karşı hassas değildir.
- Gelecekte tekrardan geri dönüştürülüp yeniden plastik travers olarak kullanılması mümkündür.
- Çevre dostudur (Sree ve diğ. 2014).

#### **2.4.5 Sentetik ahşap traversler**

Demiryollarında kullanılan ahşap traverslerin çoğunun artık değiştirilme zamanları gelmiştir. Ancak son yıllarda sert ahşap travers bulmanın zorluğu ve fiyatlarının artması ile birlikte uygun kalitedeki ahşap elde etmekte sıkıntılar yaşanmaya başlanmıştır. Bunun yanı sıra ahşap traversin emprenye işleminin doğaya ve insan sağlığına verdiği zararların da tartışılmaya başlanmış olmasıyla beraber üreticiler ahşap traversin yerini tutabilecek yeni bir arayışa girmişlerdir. Bununla beraber ahşap traverslere alternatif olabilecek olan fiber kompozit malzeme ile elde edilmiş traversler piyasaya sürülmektedir (Manalo ve diğ., 2010).

Bu ihtiyaçtan doğan FFU (Fiber reinforced, Foamed, Urethane) sentetik ahşap traversler sert poliethilen köpüğü ve fiber-glas malzemesinin kullanılmasıyla üretilirler. Öncelikle Japonya'da ve Avusturya Zollant Köprüsü üzerinde deneme amacıyla kullanılan bu traverslerin ilk montaj yılları 2004 yılıdır ve tasarım ömüleri 60 yıldan fazladır (Şekil 2.13). 2008 yılının Eylül ayında Münih Teknik Üniversitesi

bu traversler üzerinde birçok olumlu görüş belirttiği raporunu yayınlamıştır (Koller, 2010).

Sentetik ahşap traverslerin üstünlükleri olarak, hafiflikleri, güçlü mukavemet yapıları ve ahşap traverslere oranla daha sağlam olmaları olarak gösterilmektedir. Bunun yanısıra sentetik ahşap traversler uzun servis ömrüne ve düşük bakım ihtiyacına sahiptirler. Ahşap traverslerle benzer şekillerde hatta montajı yapıp, beton traverslere oranla çok daha düşük makine ekipman ve işgücü gerektirirler. En önemlisi olarak da sentetik ahşap traversler düşük enerji tüketimiyle üretilip, doğaya saldıkları sera gazları oldukça düşüktür (Manalo ve diğ., 2010).



**Şekil 2.13** : Sentetik ahşap traversler (Koller, 2010).

### 3. TRAVERSLERİN ÜRETİM ESASLARI VE ÖZELLİKLERİ

Traverslerden istenen fonksiyonlar şunlardır;

- Ray ayakları ve bağlantıların sabitlenmesine imkan vermek ve destek sağlamak,
- Raylardan gelen yükleri karşılamak ve bu yükleri üniform bir şekilde balasta iletmek,
- Raylar arasındaki açıklığı, eğimi ve kot farkını korumak;
- İki ray arasında yalıtımı sağlamak,
- Uzun zaman periyotlarında, mekanik etkiler ve kötü hava koşulları sonucu meydana gelen aşınmaya karşı mukavemet göstermek.

Stabiliteyi sağlamak için traverslerin sadece raylar altındaki bölgelerde desteklenmiş olması istenir. Ahşap traversler ve tek parçalı betonarme traversler gibi prizma şekilli traversler kullanılması durumunda, yalnız bu bölgede yükler etkili olacaktır. İkiz blok betonarme travers olması durumunda da mevcut yapı gelen yükleri karşılayacaktır.

Ayrıca, traverslerin düşey yük etkisiyle dönmemesi sağlanmalıdır. Zira, bu durum raylar arası açıklığın daralmasına veya genişlemesine neden olur ki bunun sonucunda raylar arasındaki kot farkı değişmektedir. Bu traverslerin yanlış yerleştirilmesi sonucu ortaya çıkan bir durumdur.

Boyuna ve enine her iki yönde uygun balast mukavemetini sağlamak için traverslerin uçları ve kenarları tamamen balastın içine gömülecek şekilde yerleştirilir. Travers merkezleri arasındaki uzaklık çoğunlukla 60 cm'dir. Düşük yükler altındaki CWR raylarında bu değer 75 cm'e çıkabilir (Esveld, 2014).

#### 3.1 Ahşap Traverslerin Üretimi

Dikdörtgen kesitli (prizmatik) ahşap traversler, 15 cm yüksekliğinde ve 25 cm genişliğindedir. 2,60 – 2,70 m uzunluğunda ve yaklaşık 100 kg ağırlığında olduğu

için elle taşınabilir. Örnek olarak Şekil 3.1’de bir ahşap travers bir “baseplate” (selet) ile desteklenmiş olarak gösterilmektedir.



**Şekil 3.1** : Çelik seletli ahşap traversler (Esveld, 2014).

### **3.1.1 Yumuşak ahşap traversler**

Basınç ağaç damarlarına dik doğrultuda geldiğinde, yükü daha geniş bir alana yaymak için travers ve ray arasına çelik taban levhası (selet) yerleştirilmelidir. Bununla birlikte taban levhası uzun vadede traversin ahşabını keser, içine suyun girebileceği yarıkların oluşmasına yol açar, bu durum kalitenin hızla bozulması ile sonuçlanır. Bu olay travers yüzeyinin bir malzeme ile kaplanması ile yavaşlar. Bu işlemin hizmet süresini %50 oranında arttırdığı söylenmektedir (Esveld, 2014).

### **3.1.2 Sert ahşap traversler**

Bu tip traversler daha kuvvetlidir ve daha uzun ömürlüdürler. Sert ahşap traversler, makas bölgelerinde, kesişim bölgelerinde ve taban levhası kullanılmayan bağlantılarda kullanılır. Makas ve kavşak bölgelerinde kullanılan traversler, normal kesittedir ama boyları 5,50 m’ye kadar uzayabilir. Çelik köprülerde kullanılan ahşap traversler ise özel olarak boyutlandırılırlar (Esveld, 2014).

Daha önce kullanılmış olan ahşap traversler aşağıdaki işlemlerden sonra tekrar kullanılabilirler:

- Kurutma süreci, en az 9 aylık bir süre sonunda, ahşabın kuru ağırlığına bağlı olarak, nem seviyesinin %20 – 25 oranına düşmesi durumunda,
- İşletme süreci, mesela,
  - Bağlantı yüzeylerinin çentiklenmesi,

- Bağlantıların birbirine uygun hale getirilmesi için delikler açılması,
- Çatlakları azaltmak için çelik şeritler kullanılması,
- Koruma, mantar ve böcekler gibi biyolojik saldırılara karşı uygulanan ve vakum uygulanarak fazla yağ alındıktan sonra yüksek basınç altında ahşaba katran ruhu aşlamak suretiyle, ahşap traverslerin korunması,
- Bağlantı sisteminin sabitlenmesi,

Diğer ağaçlardan farklı olarak kayın ağacı, bir uçtan bir uca kreazot ile korunmalıdır. Uzun hizmet süresi bu yolla açıklanabilir. Eğer kayın ağacı işlem görmezse mantarlardan çok hızlı şekilde etkilenir ve çürür. Genellikle işlem görmüş traverslerin ömrü kötü havadan ziyade mekanik etkilere bağlıdır.

İlaçlama işlemi;

Kreozotlama (katran yağı) ile yapılır. Önce ahşap, etüv içerisinde 70-80°C de 24 saat süre ile kurutulur. Kurutulan ahşaba ilacın nüfuzu kolaydır. Kuruyan ahşaba dış etkilere karşı koruyucu olan kreozot emdirilir, (Rüping Yöntemi).

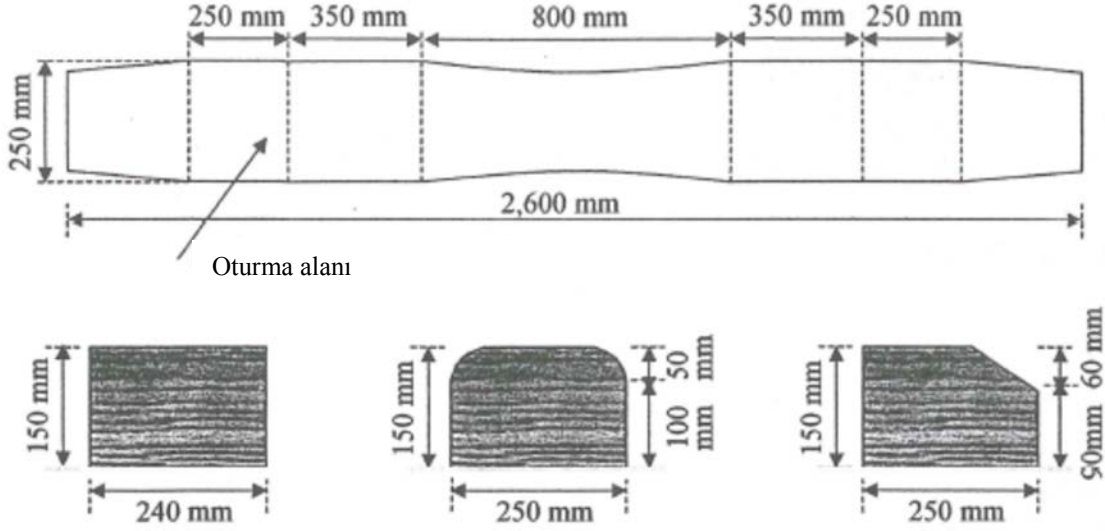
Basınç önce 8 Atmosfere kadar yükseltilir ve bu 6-7 saat boyunca sürdürülür. Sonra basınç düşürülüp, meydana gelen vakumla fazla kreozot alınır. Kayında aynı işlem iki kez tekrarlanır (çift rüping).

Ahşap traverslerin tasarımı ve geometrik özellikleri UIC'ye ait 863 numaralı (Technical specification for the supply of non-treated track support (wooden sleepers for standard and broad-gauge track and crossing timbers) standartta belirlenmiştir. 1,435 mm ekartman açıklığına sahip hatlarda kullanılan ahşap traverlerin genel uzunlukları Şekil 3.2'de verilmiştir (Profillidis, 2006):

Bu traverslere ait standartta belirtilen ölçü toleransları aşağıdaki çizelge'deki gibidir:

**Çizelge 3.1 : Ahşap travers ölçü toleransları (Profillidis, 2013).**

	1.435'lik Hat Açıklığı (mm)	Metrik Hat (mm)
Uzunluk	+40, -30	+30, -30
Genişlik	-10	0
Yükseklik	-5	+5, -5



**Şekil 3.2** : 1.435 mm'lik ekartman için ahşap travers ölçüleri (Profillidis, 2013).

Ahşap traverslerin en önemli üstünlüğü esnek olması, bu sayede yükü daha iyi dağıtmasıdır. Bu nedenle zayıf zeminlerde bu travers kullanılır. Ayrıca elektrik yalıtımı iyi olduğu için hiçbir tertibat gerekmeden sinyalizasyonlu ve elektrikli hatlarda kullanılabilir. Bu traverslerin yüksekliği de beton traverslere göre daha azdır.

Bu traverslerin dezavantajları, ömürlerinin oldukça az olması, ilk maliyetlerinin yüksek olması, ağırlıkları az olduğu için yüksek hızlı hatlarda yanıl dirençlerinin az olması.

Ahşap traverslerin dayanımını azaltan etkenler;

- Mekanik özelliklerinin azalması,
- Kimyasal etkenler,
- Biyolojik etkenler.

Ahşap traversler 100 yılı aşkın sürede kullanılmaktadır. Avrupa'da artık sadece beton traverslerin kullanılmadığı hatlarda kullanılmaktadır (Profillidis, 2013).

Günümüzde Avrupa'da ahşap traversler meşe ve kayın ağaçlarından ve tropik bölgelerdeki azobeden üretilmektedir. Geçmişte çam ağaçları kullanılmakta idi. Günümüzde birçok kurum daha dayanıklı ve daha durabil olduğu için tropik ağaçlardan imal edilen traversleri kullanmaktadır. Metro tünellerinde de Avustralya'nın sert ağaçları yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 3.2 Çelik Traversler

Yalıtım, kullanılan sıkıştırıcıların (buraj makinesi) bakımı ve yüksek fiyat gibi problemlerden ötürü çelik traversler çok az tercih edilmektedirler. Diğer yandan, uzun kullanım süresi, ölçü bakımından malzemenin hassaslığı ve hurda değeri taşıması gibi çelik traverslerin üstün yönleri de vardır.

Ahşap traversler ile karşılaştırıldığında;

- Ömürleri kreozotlanmış ahşap traverslerden fazladır, 45-50 yıl gibidir.
- Şekil ve boyut bakımından kolay istiflenirler.
- Çerçevesel hafif, taşınması kolaydır,
- Yangına karşı güvenlidir,
- Çerçevesel hafif olduğu için üstyapının stabilitesi iyi değildir,
- Bağlantılar iyi yapılmamışsa gürültü artışı ve konfor azalması olur,
- Çelik traversler elektrik akımını geçirdiğinden özel yalıtım gerekir,
- Ahşap traversler kadar elastik, stabil ve konforlu değildir.

### 3.2.1 Üretimi, ebatı ve ağırlıkları

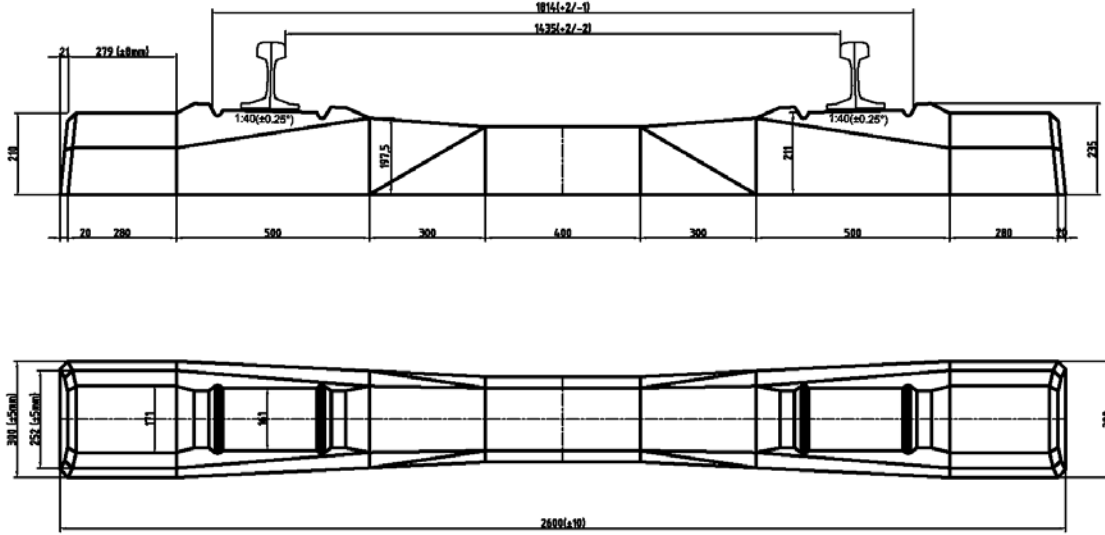
Demiryolu için imal edilen çelik traverslerin traverslerin UIC 865-1 (Technical specification for the supply of steel sleepers) ve 865-2 (Standard profile for 28 kg/m steel sleepers) standartlarına uygun olması istenmektedir. Çelik traverslerin üretiminde düşük karbonlu çelik kullanılmaktadır ve maksimum çekme dayanımı 40-50 kg/mm<sup>2</sup>'dir. Genellikle alaşımlı çeliklerin kullanılmaması sebebiyle akma dayanımı maksimum çekmenin %50'si kadardır. Üretiminde kullanılan kimyasalların dağılımı bakımından: 0,15% karbon, 0,45% manganez, 0,01-0,35 silisyum, 0-0,35 bakır (Profillidis, 2013)

Son yıllarda sonlu elemanlar yöntemi ve gelişen bilgisayar programları ile çelik travers kesitleri optimize edilmeye çalışılmaktadır. Bilgisayarda elde edilen son demiryolu çelik traverslerinden birinin kesiti Şekil 3.3'te verilmiştir.





B70 Tipi Beton Traversler ile B58 Tipi Beton traversler şekil ve üretim yöntemleri olarak birbirlerine çok benzemekle birlikte, B58 Tipi beton traversleri B70 tipi beton traverslere göre daha küçük bir kesite ve boyuta sahiptirler. Bu iki traverse ait boyutlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.5 : B70 tipi beton travers.

Görüldüğü üzere ülkemizde B55 tipi beton traverslerin kullanımı son bulmuş olup, hala kullanılmakta olan betonarme traversler B58 ve B70 tipleri olarak belirlenmiştir. Bu bölümde günümüzde hala TCDD tarafından yenilenen ya da yeni inşa edilen hatlarda kullanılmakta olan B58 ve B70 tipi beton traverslerin, kalitelerinin korunması için gerekli olan üretim standartları, malzeme teknik özellikleri, traverslere uygulanan testler ve üretim yöntemleri hakkında bilgiler verilecektir.

### 3.3.1 Malzeme teknik özellikleri ve üretim standartları

Standart özelliklerdeki beton traverslerin üretiminde kullanılan ana malzemeler:

- Çelik öngerme telleri,
- Plastik dübel,
- Alın plakası (lama),
- M 27 Somun,
- M 16 Somun,
- Uzun ve kısa konik saplama,
- Civata (uzun ve kısa konik),
- Kılavuz Anten,

- Çimento,
- Su,
- Beton Katkı Malzemesi,
- Agregası.

TCDD, Türkiye'deki demiryollarında kullanılacak olan çelik traverslerin üretiminde kullanacak malzemeleri ve üretim standartlarını kendine ait teknik şartnamelerde belirtmektedir. Ayrıca TCDD, kendi teknik şartnamelerinin yanısıra monoblok beton travers üretiminin, TS EN 13230-1 (Demiryolu uygulamaları-Demiryolu- Beton traversler ve mesnetler- Bölüm 1: Genel kurallar) (2010) ve TS EN 13230-2 (Demiryolu uygulamaları - Yol - Beton traversler ve mesnetler -Bölüm 2: Öngerilmeli yekpare traversler) (2010) standartlarına uygun olarak tasarlanmasını ve üretilmesini talep etmektedir.

TCDD'nin şartnamelerinde (Sivrikaya ve diğ., 2011) belirtmiş olduğu ve beton traverslerin uyması gereken şartlar aşağıdaki gibidir;

1. Beton traversler TS EN 13230-1 (Demiryolu uygulamaları-Demiryolu- Beton traversler ve mesnetler- Bölüm 1: Genel kurallar) ve TS EN 13230-2 (Demiryolu uygulamaları - Yol - Beton traversler ve mesnetler -Bölüm 2: Öngerilmeli yekpare traversler) standartlarına uygun olarak üretilecektir.
2. Beton travers üretiminde takviye amaçlı olarak çelik tel yerine betonarme çeliği kullanılmayacaktır.
3. Agregası ve çimento TS EN 13230-2 (2010) kriterlerine uygun olacaktır.
4. Çimentonun eşdeğer alkali içeriği %0.6'dan fazla olmayacaktır.
5. Beton içerisindeki toplam reaktif alkali kütlesi  $3,5 \text{ kg/m}^3$ 'ü aşmayacaktır.
6. Hızlı kür sakıncalarını önlemek için beton minimum  $45 \text{ N/mm}^2$ 'lik beton basınç dayanımı elde edildikten sonra ön-germe işlemi serbest bırakılacaktır (Sivrikaya ve diğ., 2011).

Travers üretiminde agregası olarak bazalt agregası (kum 0,25-8 mm, agregası 8-16, agregası 16-32) kullanılmakta olup, bazalt agregasının ağırlık (gevşek, sıkışık), özgül ağırlık, su emme, aşınma, organik ve çamurlu madde miktarı belirlenmiş olup Çizelge 3.4'de verilmektedir.

**Çizelge 3.4 : Agregave ve kumun fiziksel özellikleri (Kozak, 2010).**

Fiziksel Özellikleri	Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri	Kum ve Agreganın Sınır Değerleri [10,11]					
		Elek Çapı (mm)			Kum (0,25-8 mm)	Agrega (8-16 mm) ve (16-32 mm)	Standart
		16-31.5	8-16	0-8			
<b>Birim Hacim</b>	<b>Gevşek</b>	1434	1451	1579	-	-	-
<b>Ağırlık (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Sıkışık</b>	1557	1577	1803	-	-	-
<b>Özgül Ağırlık (kg/m<sup>3</sup>)</b>		2813	2977	2706	minimum 2400	minimum 2600	(EN 1097-6)
<b>Su Emme (24 Saat) %</b>		1,4	1,6	2,0	maksimum %3	maksimum %3	(EN 1097-6)
<b>Aşınma Deneyi (500 Devir) %</b>		17,5	-	-	maksimum %25	maksimum %22	(EN 1097-2)
<b>Organik Madde Miktarı</b>		-	-	Açık Sarı	-	-	-
<b>Çamurlu Madde Miktarı %</b>		-	-	2,9	maksimum %3	maksimum %1	(TS3527)

TS EN 13230-1 (Demiryolu uygulamaları-Demiryolu- Beton traversler ve mesnetler-Bölüm 1: Genel kurallar) (2010) standardına göre üretim öncesinde üretici firma ürettiği beton traverslerle ilgili olarak aşağıdaki şartları sağlamak ve işveren'e (TCDD) sunmak durumundadır:

1. Su/çimento oranı ve toleransları,
2. Beton içerisindeki her malzemenin oranını, ağırlıklarını ve toleranslarını,
3. Agregaların köşelilik yüzdeleri
4. Üretilen betonun 7 günlük ve 28 günlük dayanımı,
5. 1,000 saatten sonraki ön germe tellerindeki rahatlamanın maksimum değeri,
6. Kullanılan öngerme sisteminin detaylarını ve toleranslarını (her öngerme teli için ayrı ayrı),
7. Uygulanan vibrasyon yöntemi,
8. Betonun kürlenme süresini ve kürlenme sıcaklık detayını,
9. Öngerme tellerinin bırakılmasından hemen önceki minimum basınç ,

10. Öngerme yükünün serbest bırakılmasında kullanılan yöntemi,

11. Üretim sonrasında traverslerin depolanmasında dikkat edilecek noktaları ve şartları

Ayrıca üretilen traverslerden şartname ve standartlarda belirlediği kadar adedi tasarım ve onay testlerine sokulup sonuçları işveren (TCDD) ile paylaşılmalıdır.

### **3.3.2 Beton traverslere uygulanan testler ve değerlendirme kriterleri**

Beton traverslerin standartlara uygunluğunun kabulü ve demiryollarında kullanılabilmesi için Türkiye şartlarında TCDD iki tarafından iki tip test yapılması istenmektedir;

- Dizayn ve Üretim Onay Testleri: Beton travers veya beton traversin bir parçası üzerinde dizaynının uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılan bir takım seri testlerdir. Genellikle bu testlerin bağımsız kuruluşlarca yapılması arzu edilmektedir.
- Rutin Kabul Kontrol Testleri: Fabrikanın üretim kontrol süreçlerinin dışında travers kabulü sırasında TCDD elemanları nezaretinde yapılan ürün kontrol testleridir. Bu testler TCDD tarafından satın alınacak traversler arasından rastgele olarak seçilen beton traversler üzerinde yapılmaktadırlar. Bu testlere Boyut ve İşçilik Kontrolü testleri de denilmektedir.

#### **3.3.2.1 Dizayn ve üretim onay testleri**

Dizayn ve üretim onay testleri üretilen traversin tasarımının istenen standartlarda olup olmadığını kontrol etmek amacıyla bağımsız bir kuruluşca yapılmalıdır. TCDD kendi ihale şartnamelerinde (Sivrikaya ve diğ., 2011) bu testlerin Münih Teknik Üniversitesi'nde yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu testler kapsamında yapılan seri testler şu şekildedir:

- Statik Test (ray oturma alanında pozitif eğilme momenti – 6 traverste, travers merkezinde negatif eğilme momenti – 3 traverste)
- Yorulma Testi (ray oturma alanında pozitif eğilme momenti – 1 traverste)
- Dinamik Test (ray oturma alanında pozitif eğilme momenti 6 traverste)
- Yukarı Çekme Testi (3 traverste),
- Boyuna Direnç Testi (3 traverste),

- Elektriksel Direnç Testi (3 traversde),
- Boyut ve İşçilik Kontrol Testi (onay için hazırlanmış tüm traverslerde).

Yorulma, statik ve dinamik testler için travers üzerinde sadece plastik dübel bulunmasına izin verilmektedir. Ayrıca bu testlerin uygulanacağı traversler testten önce iki gün suda tutulup, ardından bir gün de normal hava şartlarında bekletilen 4-6 haftalık traverslerdir.

### **3.3.2.1.1 Ray oturma alanında statik test (Mdr)**

Demiryollarındaki tekerlek yükleri ray oturma alanının altında pozitif eğilme momenti oluşturmaktadır. Tasarımı yapılan ve üretimi yapılmış beton traverslerin ray oturma alanında oluşan bu pozitif eğilme momentine karşı dayanımını test etme amacıyla statik test yapılmaktadır. Ray oturma alanındaki eğilme mukavemeti tasarım yüklerinin oluşturduğu eğilme momenti ile belirlenmektedir.

Statik testin ilk aşamasında tasarım eğilme momentine maruz kalındığında traversin kuvvet etkileyen bölgesinde çatlak olmaması beklenmektedir. Bu teste ait test düzeneği Şekil 3.6'da verilmiştir.

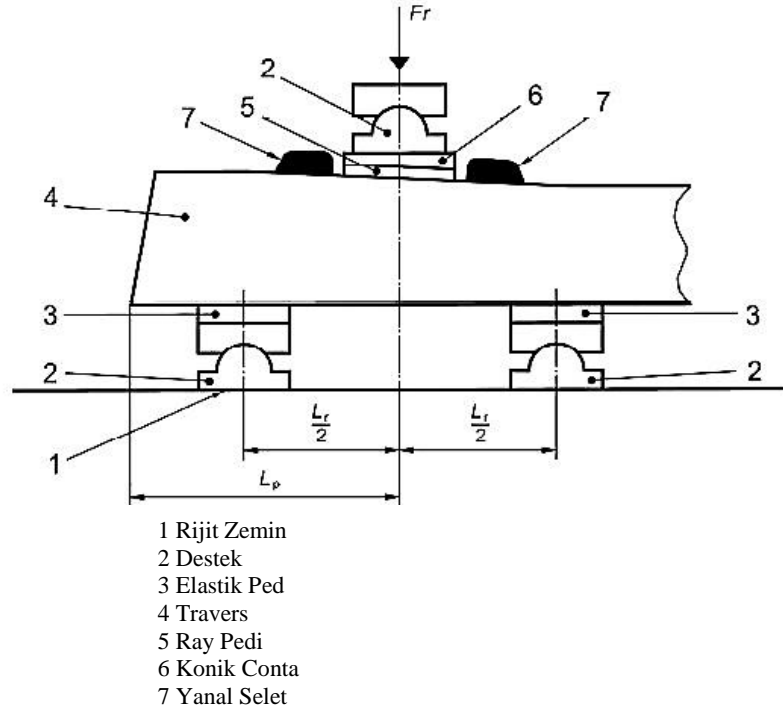
Statik testin ikinci aşamasında travers ömrü boyunca sadece bir kaç sefer görülebilecek olan rastgele ve istisnai yüklerin belirlenmesi için tasarım eğilme momenti (Mdr) bir katsayı ile çarpılmaktadır (k1). Traversin yüzeyinde bu eğilme momenti yüzünden oluşan çatlaklar kuvvet kaldırıldığında kapanmalıdır.

Üçüncü aşama statik testte ise tesadüfi oluşabilecek etkiler sebebiyle tasarım eğilme momenti (Mdr) farklı bir katsayı ile çarpılarak (k2) hesaplanmaktadır.

k1 ve k2 etki katsayıları traversde kullanılan bağlantı malzemesinin tipine de bağlı olmakla birlikte traverslerin kullanılacağı demiryolu hattına göre belirlenmekte ve travers üreticisine tasarım eğilme momenti (Mdr) ile birlikte idare tarafından verilmektedir.

Ayrıca k1 ve k2 etki katsayıları dinamik testler için k1d ve k2d, statik testler için k1s ve k2s olarak da adlandırılmaktadırlar (TS EN 13230-1, 2010).

Monoblok beton traverslerde yapılan statik test, Şekil 3.6'de verilen test düzeneğine uygun olarak yapılmaktadır. B70 ve B58 Tipi beton traversler için travers altındaki destek noktaları arasındaki mesafe (Lr) 0.6 metre olarak belirlenmiştir.

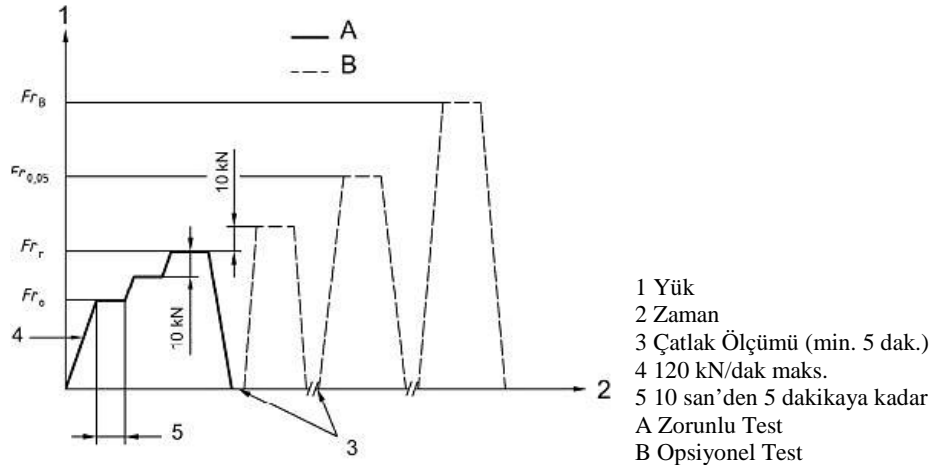


**Şekil 3.6 :** Ray oturma alanında statik, dinamik ve yorulma test düzeneği.

Tasarım eğilme momentinin belirlenmesi demiryolları idarelerinin sorumluluğunda olup aşağıda verilenler gibi bir çok farklı veriye göre belirlenmektedir:

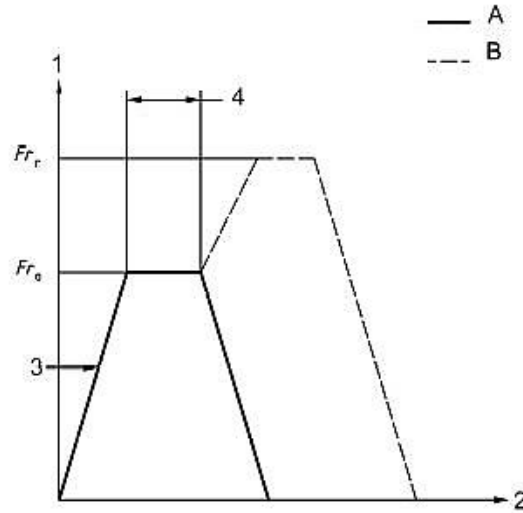
- Hat üzerinde işletilecek katar dizilerinden kaynaklanacak statik ve dinamik yükler,
- Tekerlek yüklerinin boyuna dağılımı ile traverslerdeki düzensiz dağılımlar,
- Hava şartları,
- Uzun süredeki öngerme kuvveti ve travers davranışı,
- Standart olmayan ekartman tasarımları.

Tasarım eğilme momentinin belirlenmesi için de dinamik testler (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8), gerçek hat koşullarının değerlendirilmesi ve teorik hesaplamalar kullanılabilir. Bu teorik hesaplamalar için UIC'ye ait 713 no'lu Monoblok Beton Traverslerin Tasarımı Raporu (2004)'nun 1.435 mm hat açıklığına sahip demiryolu hatları için verdiği veriler kullanılmaktadır. Bu yöntem ikiz blok beton traversler ve geniş hat açıklığına sahip demiryollarındaki traverslerin ray yatağı enkesitleri için de kullanılabilir.



**Şekil 3.7 :** Ray oturma alanında statik dizayn onay test süreci.

Şekil 3.6'da verilen test düzeneğine göre TCDD Öngermeli Önçekmeli Beton Travers Şartnamesine göre B70 tipi beton traversler için başlangıç yükü  $Fr_0$  150 kN, B58 tipi beton traversler için ise 124 kN olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.8 :** Ray oturma alanında pozitif rutin test süreci.

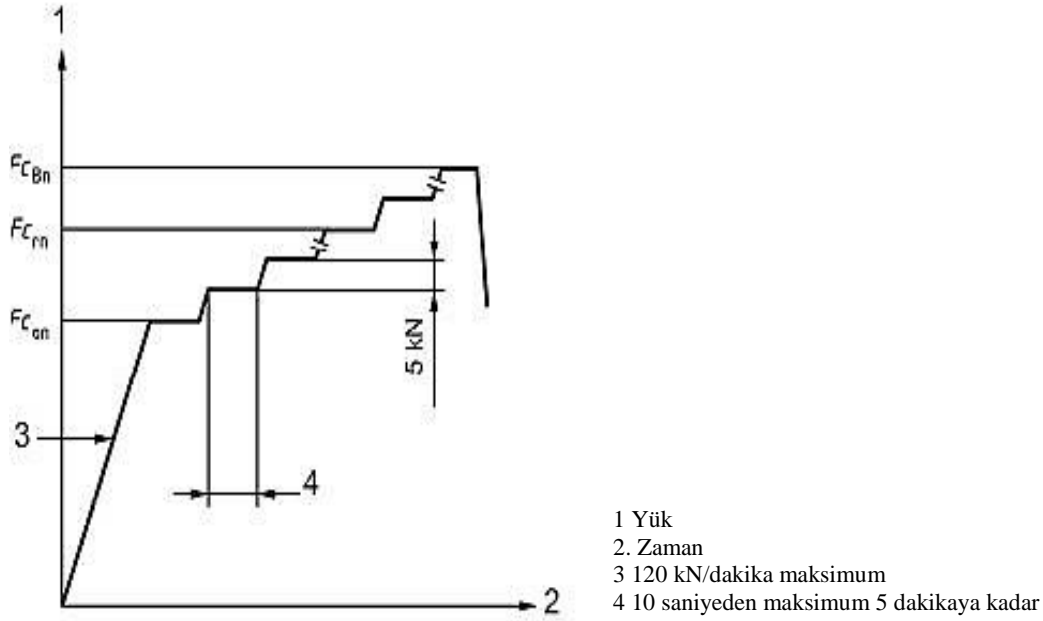
Test sonunda saptanan  $Fr_R$  yükünün  $Fr_0$  yükünden büyük olması istenmektedir. Ayrıca  $Fr_R$  yükü saptandıktan sonra travers kırılıncaya yüklemeye devam edilmeli ve 0,05 mm genişliğindeki kalıcı çatlak oluştuğu andaki  $Fr_{0,05}$  yükü ile traversin kırıldığı andaki  $Fr_B$  yükü belirlenmelidir. Test edilen traverslerin DIN EN 13230-2



edilerek, traversin kırıldığı andaki  $F_{cbn}$  yükü bulunur. Bu test 3 adet travers için tekrarlanmalıdır. Çizelge 3.6'da TCDD tarafından belirlenmiş olan yükler bulunmaktadır.

**Çizelge 3.6 :** Travers merkezinde statik yük değerleri.

	B58	B70
$F_{Cm}$	38,6 kN	35 kN
$F_{C0,05}$	69,5 kN	65 kN
$F_{Cbn}$	96,5 kN	90 kN
$M_{dcn}$	13,5 kNm	12.25 kNm



**Şekil 3.10 :** Travers merkezinde statik test prosedürü.

### 3.3.2.1.3 Yorulma testi

Traversin ray oturma alanındaki yorulma testi Şekil 3.6'da gösterilen test düzeneği ile yapılmaktadır. Öncelikle travers ilk yükleme kuvveti  $F_{ru}$  ile yüklenmeye başlar ve traversin ilk çatlama görüldüğü  $F_{rr}$  yüküne kadar yüklenir. Ardından travers  $F_{ru}$  ve  $F_{r0}$  yükleri ile 2-5 Hz aralığında 2 milyon çevrime tabi tutularak yük kaldırıldığında yükün 0,05 mm olması istenir. Travers tekrardan 120 kN/dakika ile yüklenmeye devam eder ve travers kırıldığında yükleme kuvveti  $F_{rb}$  bulunur. B58 ve B70 tipi monoblok beton traverslere ait yükleme değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7 :** Yorulma testi değerleri.

	B58	B70
Fr <sub>u</sub>	50 kN	50 kN
Fr <sub>r</sub>	194 kN	240 kN
Fr <sub>0</sub>	124 kN	150 kN
Fr <sub>b</sub>	272,8 kN	330 kN
Mdr	15,5 kNm	18,75 kNm

#### 3.3.2.1.4 Dinamik test

Darbeli yüklerin demiryolundaki durumunu benzeştirmek için beton traverse düzenli darbelerle ve artarak yükleme uygulanan bir test biçimidir ve ray oturma alanına Şekil 3.6'daki düzeneğe uygun olarak uygulanır. Bu testte traverse uygulanan yük Fr<sub>u</sub> başlangıç yükünden başlanarak kademeli olarak arttırılır ve her bir yük kademesi için 5.000 yük çevrimi uygulanır. Bu yükler altında travers üzerinde oluşan çatlaklar ışıklı büyüteçler yardımıyla ölçülürler. Bu deney ile ilk çatlak görüldüğü andaki yük (Fr<sub>r</sub>), ray yatağında yüksüz halde 0,05 kalıcı çatlak oluşturan yük, traversin kırıldığı andaki uygulanan yük (Fr<sub>b</sub>) ve yük kaldırıldıktan sonra ray yatağı altında 0,5 mm genişliğinde kalıcı çatlak bırakan azami test yükü kN cinsinden belirlenir. Bu yüklerin standartlar ve şartnamelerde belirtilen yüklerden daha fazla olması durumunda travers testi geçmiş kabul edilir. Bu test altı adet travers için tekrarlanır. Test prosedürü Şekil 3.11'de verilmiştir.

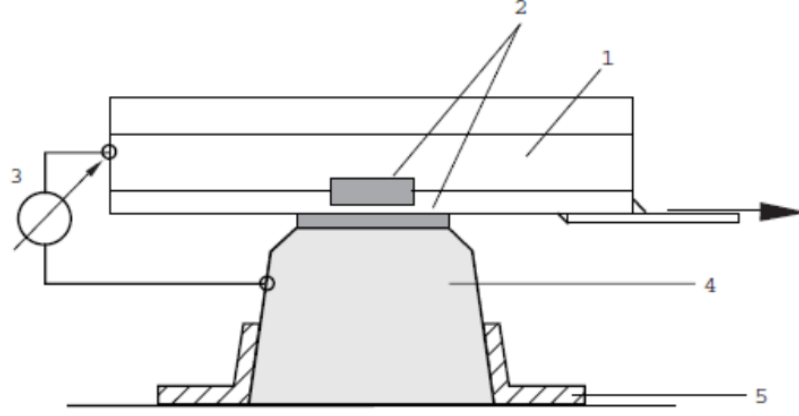
**Çizelge 3.8 :** Dinamik test değerleri.

	B58	B70
Fr <sub>u</sub>	50 kN	50 kN
Fr <sub>0,05</sub>	186 kN	225 kN
Fr <sub>b</sub> , Fr <sub>0,5</sub>	225 kN	330 kN
Mdr	15,5 kNm	18,75 kNm
k <sub>1d</sub>	1,5	1,5
k <sub>2d</sub>	2,2	2,2

#### 3.3.2.1.5 Yukarı çekme deneyi

Yukarı çekme testinde traversin bağlantı noktalarının dayanımı TS EN 13481-2 (Demiryolu Uygulamaları – Demiryolu Bağlantı Sistemleri İçin Performans Özellikleri Bölüm 2: Beton Traversler İçin Bağlantı Sistemleri) (2010) standartına göre test edilir. Bu testte üç adet traversin dübel bölgesine dikey kaldırma yükü uygulanarak belirlenen yük altında traversin en az üç dakika boyunca asılı kalması sağlanır. Vida-Dübel uyumunun ve sağlamlığının test edildiği bu testin sonunda





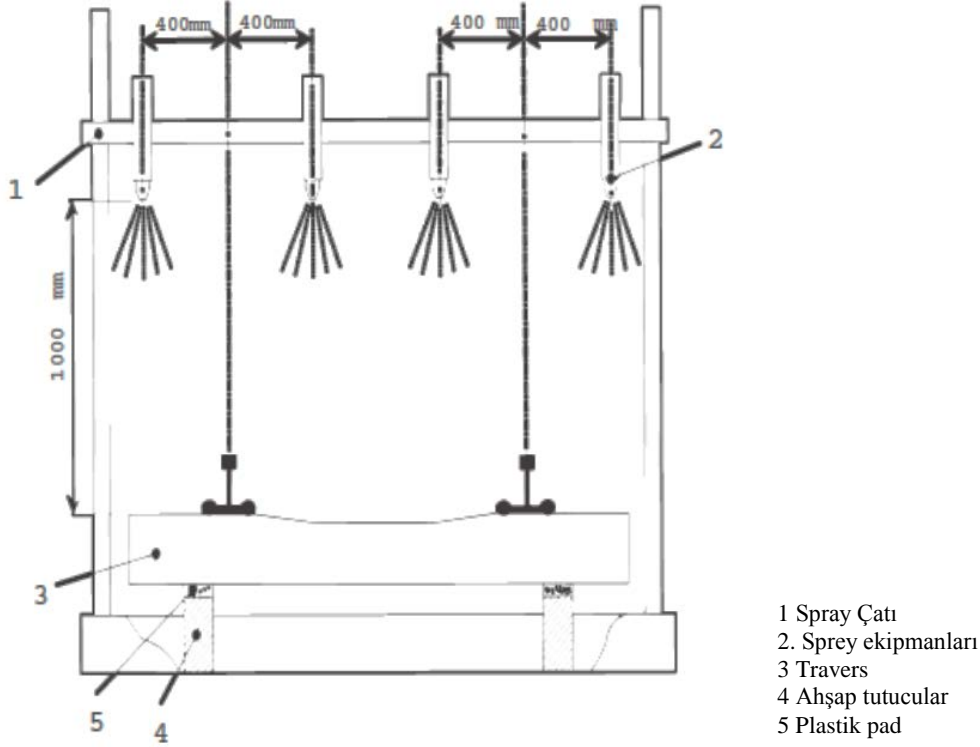
- 1 Ray
2. Bağlantı Malzemesi
- 3 Yük-yerdeğiştirme ölçme ekipmanı
- 4 Travers ya da yarı-travers
- 5 Rijit tutucu ekipmanlar

**Şekil 3.12 : Boyunda direnç testi düzeneği.**

### **3.3.2.1.7 Elektriksel direnç testi**

Traverslerin üzerinde bulunan bağlantı malzemeleri ile birlikte yeterli elektrik direncine sahip olmaları gerekmektedir. Bu sebeple traversler üzerlerinde bulunan bağlantı malzemeleri ile birlikte TS EN 13146-5 (Demiryolu uygulamaları - Yol bağlantı sistemleri için deney işlemleri bölüm 5: Elektrik direncinin tespiti) standartına uygun olarak imal edilmiş olmalıdır.

Bu testte, üzerlerine uygun raylar ve bağlantı malzemeleri monte edilmiş tüm traversler dört adet püskürtme ucunun her birinden iki dakika boyunca kontrollü bir hızda püskürtülen suyun altına sokulurlar ve rayın iki kısa kenarı arasındaki (yaklaşık 0,5 m) elektrik direnci ölçülür. Bu ölçümler sırasında  $K_y$  düzeltme faktörü ile suyun iletkenliği de hesaba katılır. Ayrıca suyun sıcaklığının  $25^{\circ}\text{C}$  olması sağlanmalıdır. TS EN 13481-2 (Demiryolu uygulamaları - Demiryolu - Bağlantı sistemleri için performans özellikleri - Bölüm 2: Beton traversler için bağlantı sistemleri) no'lu standarta göre asgari elektrik direncinin  $10\text{ k}\Omega$  olması istenmektedir. Uygulanan test düzeneği Şekil 3.13'de verilmiştir (2007).



Şekil 3.13 : Elektriksel direç test düzeneği.

### 3.3.2.1.8 Boyut ve işçilik kontrolü

Bu bölümde bahsedilen dizayn ve kalite onay testlerinin yanısıra traverslerin belirli toleranslar içerisinde ölçülere sahip olması istenmektedir. Ayrıca traverslerin işçilikleri de kabul kriterlerinden biridir (Sivrikaya ve diğ., 2011).

Traverslerin sahip olması gereken toleranslar kullanılacağı hattın işletme koşullarına bağlı olarak değişmekle beraber, örnek teşkil etmesi açısından B70 tipi monoblok beton traversler için TCDD tarafından belirlenen toleranslar şu şekildedir:

- Omuz genişliği  $\pm 1,5$  mm
- Ray oturma yüzeyi (1:40) 150 mm uzunluğunda  $< \pm 0,5$  mm
- Ray oturma yüzeyi burulması 150 mm genişlikte  $< \pm 0,7$  mm
- Ray oturma yüzeyindeki omuz genişliği:  $298 + 1,5$  mm  $- 0,5$  mm
- Travers taban uzunluğu (2.600 mm)  $\pm 10$  mm
- Travers taban genişliği (300 mm)  $- 2$  mm  $+ 5$  mm
- Hat açıklığı (1.435 mm)  $- 1$  mm  $+ 2$  mm
- Ray oturma yerindeki (merkezde) travers yüksekliği (215)  $\pm 2$  mm

Belirtilen boyutlar ve toleranslardan anlaşılacağı gibi üretilen beton traverslerin toleransları milimetre mertebelerinde olup, imalatının ve tasarımının çok iyi yapılması gerekmektedir.

Ayrıca traverslerin temiz, çatlaksız ve düz yüzeylere sahip olması gerekir.

Traversin alt yüzeyi pürüzlü ve üniform bir özellik gösterip, ayrıca çimento kaymağı izleri bulundurmamalıdır.

Traverslerde pullanma olmamalıdır.

Plastik seletin oturacağı yüzey düz ve pürüzsüz olmalı, hava boşlukları bulunmamalıdır.

Üstten gelen suyun tahliyesi için dübel altlarında boşluk olmalıdır (Sivrikaya ve diğ., 2011).

### **3.3.2.2 Rutin kabul kontrol testleri**

Rutin kabul kontrol testleri, TCDD elemanları nezaretinde üretici firmanın traversleri teslim ettiği noktada (genellikle üretim yaptığı tesiste) yapılmakta olan testleri içermektedir. Genellikle TCDD bu terslerin her bir 5.000 adetlik yığın için, yığını temsil etmesi için seçilen traversler üzerinde yapılmaktadır. Bu testler:

- Statik test (ray oturma alanında pozitif moment – 5 traversste)
- Boyut ve işçilik kontrolü (onay için hazırlanmış tüm traverslerde) (Sivrikaya ve diğ., 2011).

### **3.3.3 Üretim Yöntemleri**

Günümüz teknolojiye uygun olarak beton traversler Long Line (Uzun Sıra) Metodu ya da Carousel (Döner-Konveyör) Metodu ile üretilmektedir (UIC CODE 713, 2004)

Uzun Sıra Yöntemi ile 200'e yakın travers aynı anda kalıp içerisinde dökülüp, 1 günlük mukavemetinin ardından , kesilerek kalıplarından çıkarılmaktadır.

Döner pres metodunda ise, 4 ya da 6 adet traversin aynı anda dökülebileceği özel kalıplar kullanılmaktadır. Bu bölümde uzun sıra üretim yöntemine kısaca değinilmekle birlikte döner-konveyör beton travers üretim yönteminin aşamalarından bahsedilmiştir.

### 3.3.3.1 Uzun sıra (long line) üretim metodu

Uzun Sıra Yöntemi'nde 30 adet travers uzunluğuna ve 8 adet travers genişliğine sahip kalıplar ile üretim yapılmaktadır. Ancak bir çok üretici kendi ihtiyaçlarına göre kalıp sayısını ve uzunluklarını değiştirebilmektedir. Bu sistemde germe telleri ve sıvı çimento kullanılmaktadır. Germe telleri öncelikle gerdirilip, beton dökülmekte ve beton işleminden sonra tellerdeki gerilme traverslere aktarılmaktadır. Ardından traversler kendi boyutlarına uygun şekilde testereleer ile kesilirler (Şekil 3.14).

Bu sistemde travers üretmek aynı tipte traverslerin üretilmesine devam edildikçe uygundur. Ancak travers tipinin değiştirilmesi yeni ve büyük bir yatırım gerektirecektir (UIC CODE 713, 2004).



Şekil 3.14 : Uzun sıra beton travers üretimi (Abetong travers fabrikası).

### 3.3.3.2 Döner-konveyör (carousel) beton travers üretim metodu

Döner-konveyör sistemi, işçilik, malzeme ve kalite açısından uzun sıra üretim teknolojilerine göre önemli kazanımlar sağlamaktadır. Kesintisiz üretim uygulaması sayesinde üretim süreçlerinde darboğazlar ve üretim dalgalanmaları elimine edilerek, teslim güvencesi optimum seviyede tutulmaktadır (Rayton, 2010).

Sistem içinde kullanılan travers kalıpları üniteler arasında eş zamanlı olarak hareket ettirilmektedir. Her bir ünite de traversin oluşturulması için farklı işlemler uygulanarak, sürekli ve kesintisiz üretim sağlanmaktadır.

Ünitelerde uygulanan işlemler bilgisayar kontrollü yöntemlerle denetim altında tutulur. Bu sayede ürün kalitesindeki dalgalanmalar elimine edilir ve istenilen kalite seviyesinin sürekliliği güvence altına alınır. Bu sebeple döner-konveyör üretim sisteminin üretim aşamalarına bu bölümde daha uzun yer verilmiştir (Şekil 3.15).



**Şekil 3.15 :** Döner pres travers üretimi (Rayton Travers Fabrikası, Afyon).

#### **3.3.3.2.1 Öngerme elemanlarının hazırlanması**

İstenilen boyutlarda hazırlanmış çelik öngerme telleri donatı hazırlama istasyonundaki üretim bandına yerleştirilir. Ünite operatörü tarafından öngerme tellerine iki adet alın plakası takılır. Alın plakaları takılmış olan çelik tellerinin öngerme işlemi sırasında, bağlı bulunduğu alın plakalarından sıyrılmaması için uçları üniteye makine tarafından perçinlenir. Yapılan bu işlemin uygunluğu, çelik öngerme telinin uç çapları kalibrasyonlu kumpasla ölçülerek kontrol edilir. Operatörün bulunduğu tarafta yer alan iki alın plakasından biri pnomatik bir aparat yardımıyla otomatik olarak telin diğer ucuna taşınır.

Hazırlanan öngerme elemanları, yağlanmış ve beton dökümü için hazır olan kalıplara, donatı yükleme makinesi tarafından yerleştirilmek üzere bandın sonunda bekler.

#### **3.3.3.2.2 Kalıp hazırlama işlemleri**

Hazırlanan öngerme elemanları, yağlanmış ve beton dökümü için hazır olan kalıplara, donatı yükleme makinesi tarafından yerleştirilir. Daha sonra üretim operatörleri tarafından kılavuz antenlerine plastik dübellere yerleştirilir, yerlerine iyice

oturup oturmadıkları ve antenlerin deformasyona uğrayıp uğramadıkları kontrol edilir. Yine bu ünite de çalışan üretim operatörleri kalıp içine yerleştirilmiş olan öngerme tellerini, pnömatis tork tabancaları yardımıyla M16 ve M27 somunları sıkarak uzun rot ve civatalarla bağlar. Böylelikle kalıplar, öngerme işlemine hazır hale getirilmiş olur.

### **3.3.3.2.3 Öngerme işlemi**

Öngerme işlemi, plastik deformasyon olmayacak hızda, bilgisayar kontrollü öngerme makinesi tarafından yüksek hassasiyette ve otomatik olarak gerçekleştirilir. Bu istasyondaki operatör öngerme işleminin düzgün şekilde yapılıp yapılmadığına, tellerde kopma olup olmadığına dikkat eder. Öngerme operasyonunu makine üzerinde bulunan ekrandan takip eder.

### **3.3.3.2.4 Beton üretimi**

Öncelikle traversin mix-dizaynı (reçetesi) belirlenir. Çimento, agrega, su ve katkı malzemesi, beton travers fabrikası dâhilinde kurulan beton santralinde adı geçen reçeteye göre belirli oranlarda birleştirilerek istenilen beton sınıfına ait karışım elde edilir. Bu karışım, beton santrali operatörü tarafından gün içinde belirli aralıklarla kıvam testine tabi tutulur. Test sonuçlarına göre su ya da katkı malzemesi miktarı değiştirilir ve tekrar kıvam testi yapılır. İstenilen akışkanlık elde edildiğinde beton kalıplara dökülmeye hazır hale gelir. Çevre ve hava şartlarındaki değişimlere göre kıvam testleri tekrarlanabilir.

### **3.3.3.2.5 Kalıplara beton dökülmesi**

Travers betonu uygun reçeteye göre otomatik beton santrali tarafından hazırlanır. Hazır halde bekletilen beton, ilgili istasyondaki üretim operatörün kontrolünde yarı otomatik olarak kalıplar içine istenilen hacim ve ağırlıkta dökülür.

Döküm esnasında kalıba sırayla yüksek ve alçak frekansta vibrasyon uygulanarak betonun kalıba homojen biçimde yerleşmesi sağlanır.

### **3.3.3.2.6 Traverslerin kürlenmesi**

Beton dökümü tamamlandıktan sonra kalıplar, beton döküm istasyonundan otomatik vinç tarafından alınarak özel kürlenme odalarına taşınır ve maksimum 12 sıra halinde istiflenir.

İstiflenen bu kalıplar, TS EN 13230-1 (Demiryolu uygulamaları-Demiryolu- Beton traversler ve mesnetler- Bölüm 1: Genel kurallar) no'lu standartta tanımlanmış esaslara uygun olarak kürleme programına tabi tutulur. Her bir kürleme odasındaki sıcaklık ve nem, ilgili üniteye elektronik sistem tarafından şartname ve standartlarda belirtilen değerlere göre sürekli kontrol edilir ve odalardaki sıcaklık derecesine bağlı olarak buhar ve su uygulanması sağlanır. Kürleme işleminin bitiminde kalıplar kür odalarından çıkartılarak öngerme yükünün beton aktarılması için bir sonraki üniteye nakledilir.

Üretim yapılan her gün, en az 1 adet traversin ağırlık merkezindeki sıcaklık, bilgisayarlı sistem aracılığıyla takip edilir ve kür odalarının sıcaklık kontrolleri ile ilgili forma işlenir.

#### **3.3.3.2.7 Öngerme yükünün betona aktarılması**

Kürleme süresi tamamlanan kalıplar, otomatik olarak çalışan vinç tarafından kürleme odalarından yük aktarım istasyonuna alınır. Kalıplar üzerinde bulunan öngerme yükü, bilgisayar kontrollü olarak, betona ani yük bindirmeyecek şekilde yavaşça traverse aktarılır.

#### **3.3.3.2.8 Kalıp boşaltma ve yağlama işlemleri**

Yük aktarım ünitesinden gelen kalıplarda gevşetilmiş halde bulunan tie-rod ve boltlar kalıp boşaltma istasyonunda kalıplar ters çevrildikten sonra otomatik olarak sökülür. Traverslerin kalıp içerisinden çıkarılması için gerektiğinde vibrasyon uygulanır. Traversler taşıma bandına yerleştirilir ve bir sonraki istasyona aktarılır.

Boşalan kalıplar, yağlama ünitesinden geçerek kalıp hazırlama istasyonuna gönderilir.

#### **3.3.3.2.9 Tamamlama işlemleri**

Kalıptan çıkarılan traverslerde bulunan uzun rot ve civata boşlukları, ilgili üretim operatörleri tarafından plastik tapalar ile kapatılır ve ray bağlantı elemanları traverslere monte edilir.

Bu üniteye görevli operatörler, traversin üzerinde “üretim yılı, müşteri logosu ve üretici logosu” ibarelerinin okunaklı olup olmadığını görsel olarak kontrol eder. Ayrıca her kür odasından çıkan kalıplardan rastgele olarak seçilen bir traverseste uygun

masterlarla boyutsal kontrol gerçekleştirilir. Bu kontrol ile olası hataların istifleme öncesi tespit edilmesi ve defolu traverslerin ayrılması sağlanır. Ayrıca kontrolden geçen traversler üzerine üretildikleri tarih (gün/ay/yıl) damgalanır. Böylelikle aynı kalıpla daha önce üretilmiş traverslerden ayrılması sağlanır.

şekil 3.16’da bu üretim tesisinin fotoğrafı verilmiştir.



**şekil 3.16 :** Rayton monoblok betonarme travers üretim tesisi.

#### **4. TRAVERSLERİN FARKLI ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

Demiryolu traversleri kompleks demiryolu sistemleri içerisinde çok önemli bir role sahiptir. Farklı yükleme koşulları, traverslerin bakımının yeteri kadar yapılmaması veya kötü kaliteye sahip balastların bulunduğu demiryolu hatlarında balast ve travers etkileşiminde dağınık bir yük dağılımı oluşmaktadır. Traversin dizaynında yapılan hatalar ve hattın tasarımının doğru yapılmaması traverslerin performansını etkileyeceği gibi tüm demiryolu hattını da olumsuz etkileyecektir (Li, 2012).

Bu bölümde daha önceki bölümde bahsedilen traverslerin kullanım ömürleri, maliyetleri, inşaat kolaylığı ve çevreye etkileri gibi çok yönlü karşılaştırmaları yapılacaktır.

##### **4.1 Kullanım Ömürleri Bakımından Karşılaştırılması**

Betonarme, ahşap ve çelik traversin kullanım ömürleri işletilen hattın özelliklerine, hattın bakım ve onarımının yeterli şekilde yapıp yapılmadığına göre değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca her tipteki traversin ömrünü uzatabilecek ya da kısaltabilecek kendine özgü şartlar bulunmaktadır.

Ahşap traverslerin kullanım ömürleri;

- a. Kullanılan ağacın kalitesine,
- b. Kullanılan katkı malzemelerinin özelliklerine,
- c. Hattın işletme hızına,
- d. Hattın işletme koşullarına, travers aralığına ve balast kalitesine,
- e. Hattın kurb oranına,
- f. Kullanılan bağlantı malzemesinin tipine,
- g. Mekanik etkilere,
- h. İklim koşullarına,
- i. Paketleme şekline göre değişiklik gösterebilmektedir (Mundrey, 2010).

Profillidis (2013)'e göre ahşap traverslerin ömürleri aşağıdaki gibidir:

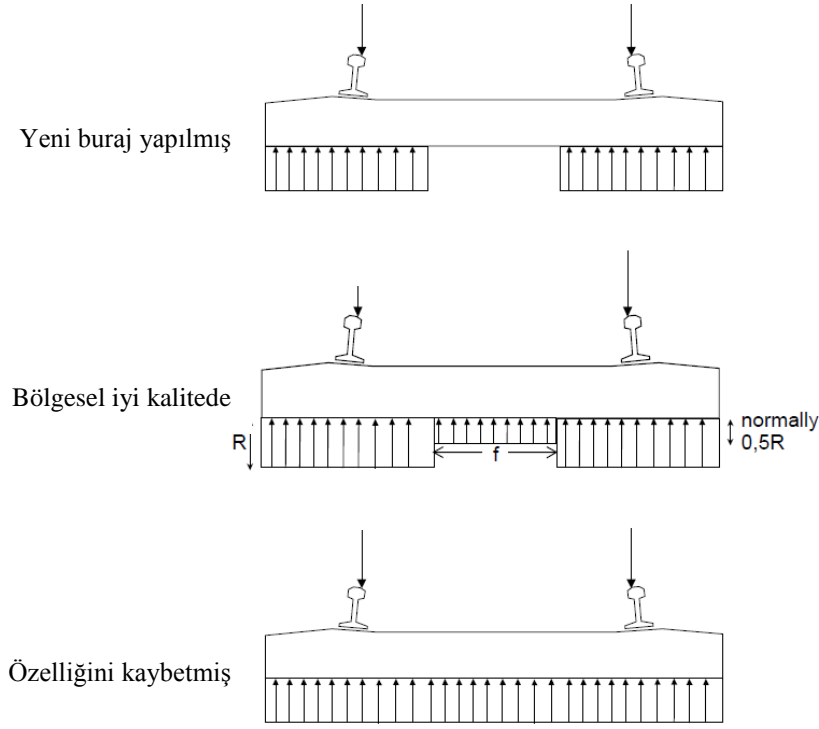
- Meşe Traversi (ilaçlanmış) – 25 yıl
- Kayın (ilaçlanmış) – 30 yıl
- Azobe (ilaçlanmamış) – 40 yıl
- Azobe (ilaçlanmış) – 45 yıl
- Tünellerde kullanılan jarrah (okaliptus) veya benzeri sert ağaçlar – 50 yıl (Profillidis, 2013).

Çelik traversler için belirlenen ortalama kullanım ömrü 50 yıldır (Profillidis, 2013). Ancak 35 ila 50 yıl arasında değişecek olan kullanım ömürlerine ulaşılabilmesi için;

- a. İnce et kalınlıkları dolayısıyla düzgün paketlenmeleri gerekmektedir. Yanlış şekilde paketlenen çelik traversler büyük hasarlar meydana gelebilmektedir.
- b. Balastın temiz olması ve gerekli elastikiyete sahip olması düzgün bir yayılı yük elde edilmesine sebep olacak, aynı zamanda ani yüklere karşı daha uniform bir tepki gösterecektir. Dolayısıyla balast malzemesinin temizliği ve yeterli kalınlıkta olması çelik traverslerin ömrünü uzatacaktır.
- c. Klimatik etkiler içerisinde özellikle deniz ve nem etkisinin çelik traverslere vereceği zarar çok fazladır. Korozyonun kontrol edilmesi ve bu traverslere gerekli bakımların yapılması kullanım ömürlerini arttıracaktır.

Betonarme traverslerin kullanım ömürleri yaklaşık olarak 50 yıldır (Profillidis, 2013). Betonarme traverslerin çevre etkilerinden çok az etkilenmesi kullanım ömürlerini çelik ve ahşap traverslere oranla arttırmaktadır. Ayrıca ülkemizdeki demiryolu traverslerinin de üretiminde kullanılan 713 numaralı UIC standartına göre (2004) traversler minimum 40 yıllık kullanım ömrüne göre dizayn edilmelidirler. Ayrıca ilk 5 yıl içerisinde traversin hemen her türlü bozulmaya karşı üretici tarafından garanti altına alınması beklenmektedir (UIC CODE 713 R, 2004). Ahşap ve çelik traverslerde olduğu gibi düzgün bir stoklama ve bakımı düzgün yapılmış olan bir hatta beton traverslerin de ömrü artmaktadır. Şekil 4.1’de balast dağılımının balast altındaki gerilmelere olan etkisi görülebilmektedir.

Bu bilgiler ışığında betonarme traverslerin kullanım ömürlerinin ahşap ve çelik traverslerden daha uzun olduğu söylenebilmektedir. Ahşap traversler ile çelik traversleri kullanım ömürleri açısından karşılaştırmaya kalktığımızda ise ahşap travers için kullanılan ağacın türü ve yapılan ilaçlamanın türü önem kazanmaktadır.



**Şekil 4.1** : Balast dağılımının gerilmelere etkisi (UIC 713).

#### 4.2 Kullanım Alanları Bakımından Karşılaştırılması

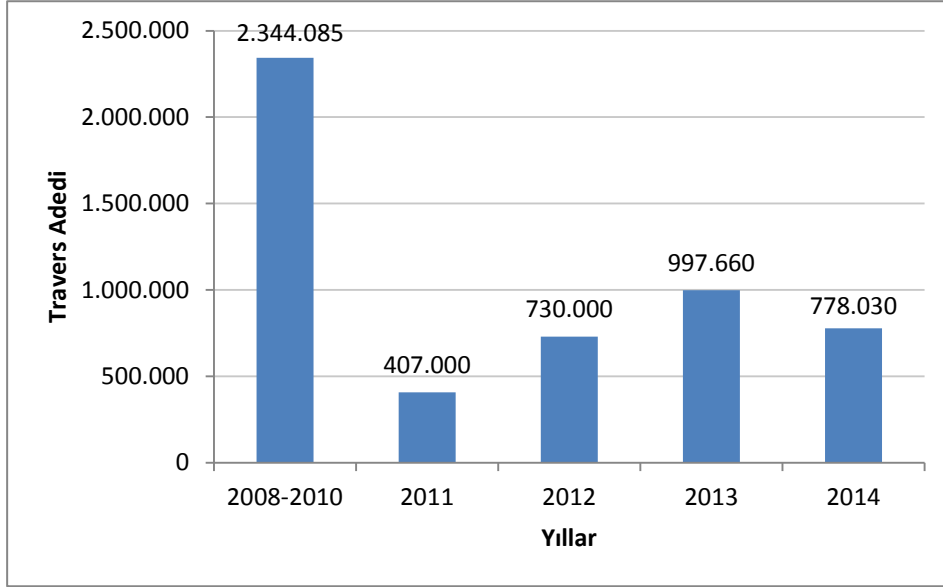
Günümüzdeki demiryolları üzerinde bulunan traversler olarak sayabileceğimiz başlıca travers çeşitleri olan ahşap, çelik ve beton traverslerdir. Demiryolu hatlarında bu traves çeşitlerinden hangisinin kullanılmasının daha yararlı olduğunun anlaşılabilmesi için travers üretim ve satın alma maliyeti, traversin ömrü, bağlantı malzemelerinin özellikleri ve maliyetleri, hattın bakım maliyetleri ve servis ömrü sonundaki hurda değerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Öztürk ve Arlı, 2009).

Günümüzün gelişen teknolojilerinde betonarme traverslerin kullanımı hızla artmakta iken ahşap ve çelik traversler genellikle eski hatlarda bulunmaktadır.

Ülkemizde yeni yapılan tüm hızlı tren hatlarında beton travers kullanılmaktadır. Mevcut hatlardaki çelik travers oranı %1 olmakla beraber ahşap traversin oranı %8'dir (TCDD, 2013).

TCDD hali hazırda yeni hatlar için beton travers almaya hızla devam etmektedir. 2014 yılında Türkiye içerisinde TCDD'nın sadece özel sektörden ihale yoluyla aldığı beton travers miktarları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Grafik oluşturulurken Elektronik Kamu Alımları Platformu (Url-2, 2015)'in internet sitesindeki verilerden ve Rayton markası altında ihalelere iştirak eden Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Endüstri

ve Ticaret A.Ş.'nin bugüne kadar tuttuğu kayıtlardan yararlanılmıştır (Kıncal, 2015). TCDD'nin sadece 2012 ve 2013 yıllarında Sivas ve Afyon'daki kendi travers fabrikalarında ürettiği travers miktarı ise 953.958'dir (TCDD, 2013). Ayrıca bu iki fabrikanın yıllık kapasiteleri 750.000 adet monoblok betonarme travers üretmeye müsaittir (TCDD, 2012).



**Şekil 4.2 :** 2008-2014 yılları arası TCDD B70 travers alımları.

Betonarme traverslerin tasarımlarındaki esneklik imkanı sürekli gelişen beton teknolojiyle birleştiğinde betonarme traverslerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Monoblok beton traversler yüksek hızlarda ve yüksek dingil yüklerinde kullanıma uygundur. Almanya, Avusturya, Kanada, Avustralya, ABD, Çin, İtalya, İngiltere, Japonya, İsveç, Hindistan, Güney Afrika, İsviçre, Rusya ve diğer birçok ülkede kullanılmaktadır. Ayrıca ikiz blok beton traversler de esas olarak Fransa, Belçika, İspanya, Portekiz, Yunanistan, Meksika, Brezilya, Cezayir, Hindistan ve Tunus'ta kullanılmaktadır (Lichtberger, 2005).

Çelik traversler ise çok hafif olmaları, bakım güçlükleri ve izolasyon problemleri sebebiyle yeni yapılmakta olan hatlarda artık kullanılmamaktadırlar. Ayrıca gürültü sönümleme özelliklerinin düşük olmaları ve rutubetten çok etkilenmeleri sebebiyle bu traverslerin kullanımı terk edilmiştir (Öztürk ve Arlı, 2009). İsviçre'de dağlık alanlardaki düşük kurb yarıçapı ve hafif bir demiyolu istenen bölgelerdeki mevcut hatların %50'sini çelik traversler oluşturmaktadır (UIC, 2013)

Ahşap traversler ise beton traverslere oranla daha düşük bir oranda da olsa hala kullanılmaktadır. Amerika ve Avustralya’da bulunan sağlam ağaçlar sayesinde hala ahşap traverslerin kullanımına ana hatlarda da devam edilmektedir. Tüm dünyada şu and yaklaşık olarak 2,5 milyar adet ahşap traversin varlığından söz etmek mümkündür (Manalo ve diğ., 2010). Ayrıca ABD’de sert ahşap traversler (meşe), yüksek hızlı hatlarla birlikte 33 ton dingil yüküne sahip ağır yük demiryollarında kullanılırlar. ABD’de bugün bile ahşap traverslerin payı yaklaşık %95’tir.

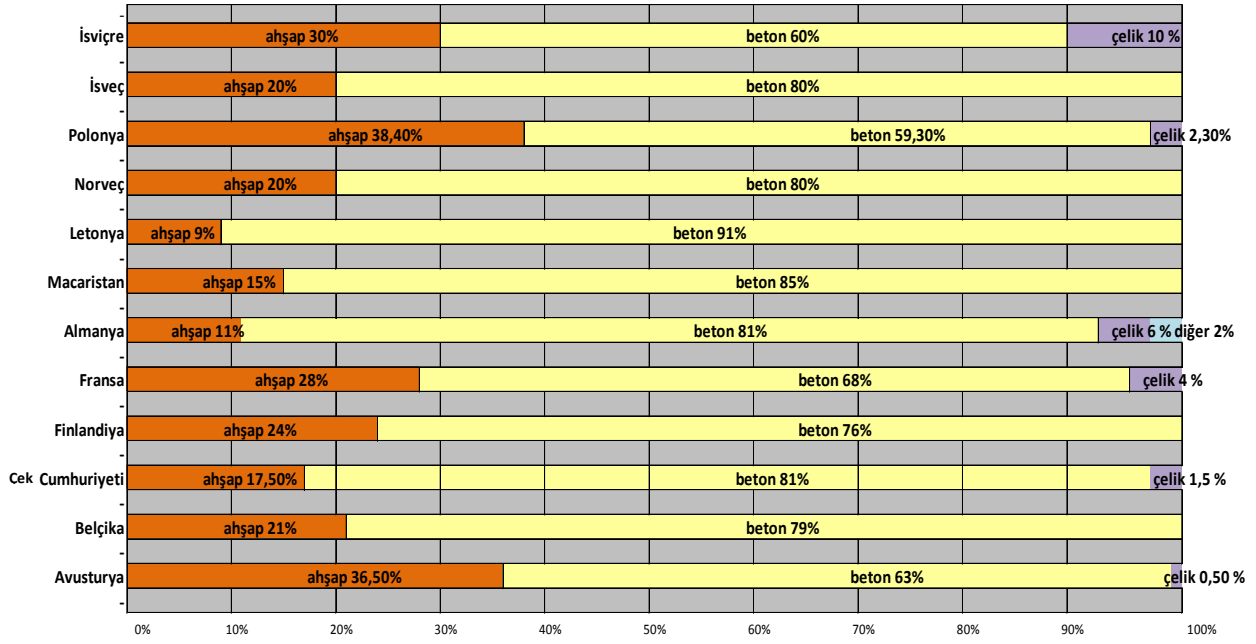
Her yıl 16 milyon ahşap travers döşenmektedir. Avrupa’da ise ahşap traverslerin kullanım oranı ABD, Avustralya ve Kuzey Amerika’ya göre düşük olup, tali hatlarda veya istasyon hatlarında kullanılmaktadır (Lichtberger, 2005).

Ancak betonarme traverslerin kullanımındaki bu ciddi artışa rağmen Avrupa’nın birçok ülkesinde bazı teknik ve ekonomik sebepler dolayısıyla ahşap travers kullanımına devam edilmektedir. Ayrıca teknik aşağıdaki ihtiyaçların ortaya çıkması sebebiyle ahşap traversler hala kullanılmaktadır:

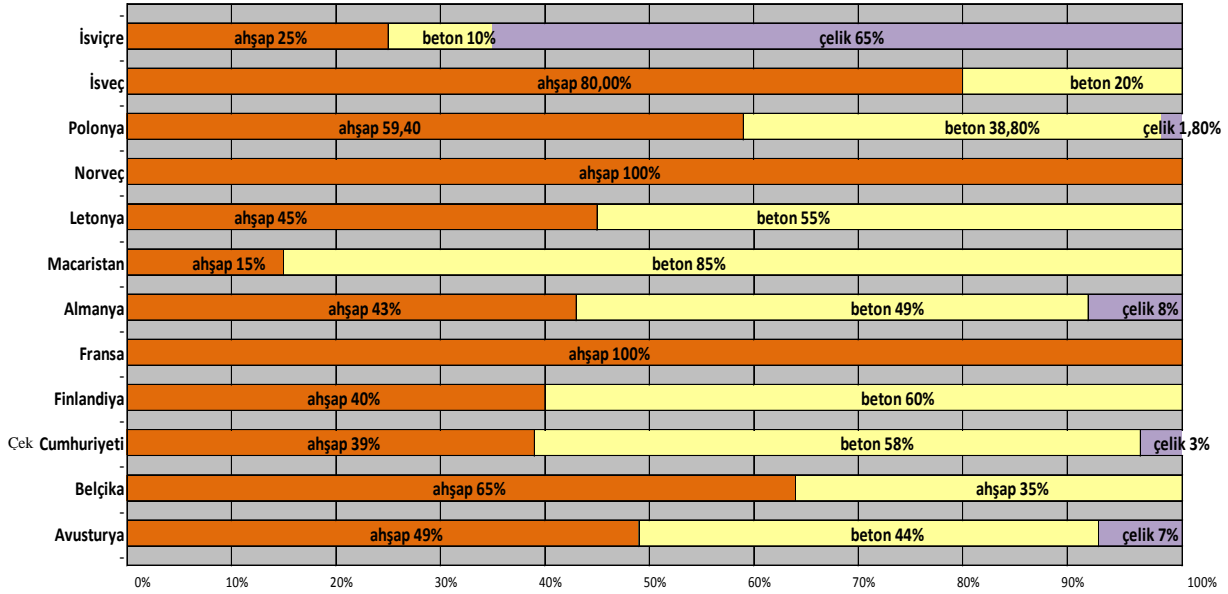
- Tünel ve köprü gibi özel traversler kullanılmaya olan ihtiyaç olan özel bölgelerde,
- Mekanik olarak uygunluğu sebebiyle, istasyonlarda, tali yollarda ve endüstriyel alanlarda,
- Yüksekliği sınırlı olan ve betonarme travers kullanmanın mümkün olmadığı eski tip tünellerde,
- Sıcaklık dalgalanmalarının yüksek olduğu bölgelerde,
- Dar kurlarda,
- Tamamı ahşap traverslerden oluşan ve tamamının değiştirilmesine gerek olmadığı durumlarda hattın bütünlüğünün korunması için ahşap traversli hat kesimlerinde.

Teknik sebeplerin yanısıra ahşap traversten beton traverse geçilmesinin gerekli görülmediği kısımlarda fazladan ekonomik yük getirmemek istenmektedir. Tamamı mekanize olan yenileme işlemlerine geçilmenin de getireceği fazladan maliyetler sebebiyle ahşap travers kullanımına devam edilmektedir. Makas bölgelerinde ve kurlarda meydana gelecek deraymanın daha az maliyetli olması sebebiyle de ahşap traverslerden bazı bölgelerde vazgeçilmemektedir (UIC, 2013).

UIC tarafından 2010 yılında yapılan araştırmaya göre (2013) ana hatlarda ve makas bölgelerinde traverslerin ülkere göre dağılımı Şekil 4.3'deki gibi gerçekleşmiştir:



#### Ana Hatlar



#### Makas Bölgeleri

Şekil 4.3 : Avrupa'da kullanılan travers tipleri (UIC, 2013).

### 4.3 Malzeme ve İnşaat Maliyetleri Bakımından Karşılaştırılması

Çelik, ahşap ve beton traversler üretim, nakliye ve inşaat maliyetleri gözönüne alındığında birbirlerinden farklılıklar göstermektedirler. Günümüzün yüksek rekabetçi şartları düşünüldüğünde demiryolu idareleri ve müteahhit firmalar

kullanılacak travers tipine karar verirken teknik özelliklerinin yanısıra nakliye dahil malzeme fiyatlarını, traverslerin inşa aşamasında getireceği ek işçilik ve makine ekipman giderlerini ve kullanılacak traversin beraberinde getirdiği ek sistem gereksinimlerini karşılaştırmak zorundadırlar.

Traverslerin fiyatları projenin ihtiyaçlarına (aks yükü, işletme hızı vb.) göre değişiklik gösterecektir. Travers tasarımıdaki değişiklikler fiyat artışı ya da azalışı getirebileceği gibi traversin kullanılacağı hattın bölgesel özellikleri de travers fiyatlarında belirleyici olacaktır. Nitekim ağırlıklarının birbirlerinden farklı olmasına rağmen ahşap, çelik veya beton traverslerin hacimsel olarak nakliyesi büyük maliyetler çıkartmaktadır (ÇŞB, 2015). Ayrıca traverslerin kullanılacağı bölgedeki çimento bulmaktaki zorluklar, demir-çelik sektörünün gelişmişliği veya travers elde edilebilecek ahşaba ulaşmak traversin maliyet hesaplamalarına doğrudan etki edecektir.

Beton traverslerin demiryolu piyasasında hızlıca yükselen kullanma oranında teknik özelliklerinin yanısıra geleneksel sert ahşap traverslere fiyat olarak daha ucuz olması yatmaktadır (Lichtberger, 2005). Beton sektöründeki hızlı gelişmeler beton travers için gerekli olan çimento fiyatlarına da olumlu etki etmiştir.

Çelik traversler için ise kendilerine has kesitleri ve balast içerisinde yerleşmelerini sağlayan U kesitleri üretimlerini zorlaştırmaktadır. Ayrıca günümüzdeki kullanım oranının çok düşmüş olması sebebiyle çelik travers üretici firmaların sayısı oldukça azalmıştır. Üretici firmaların sayısındaki bu artış, çelik travers fiyatlarında tekelleşmeye yol açmış ve fiyatlarını olabildiğince yukarı çekmiştir (Manalo ve diğ., 2010).

2014 senesinin Ocak ayın içerisinde 54E1 tipindeki raya uygun, 1.435 mm ekartmana sahip, 25 ton aks yükü olan aynı proje için alınmış ahşap ve çelik traverse ait üretici teklifleri (Kıncal, 2015) aşağıdaki çizelgede (Çizelge 4.1) toplanmıştır. Toplanan teklifler o günün kurları kullanılarak Türk Lirası'na çevrilmiştir (Url 1, 2015). Görüleceği üzere çelik travers maliyet olarak ahşap traversin üstündedir.

Teklif alınan projede kullanılması planlanan yaklaşık travers adedi 750.000 olmakla beraber çelik travers kullanılmasıyla en pahalı ahşap traversin kullanılması arasında bile yaklaşık 30.000.000 Türk Lira'lık bir fark oluşmaktadır.

**Çizelge 4.1 : Ahşap travers ve çelik travers karşılaştırma tablosu**

	<b>Menşei</b>	<b>Ağacın Türü</b>	<b>Yükseklik x Genişlik x Uzunluk (cm)</b>	<b>Fiyatı (nakliye hariç)(TL)</b>
Ahşap Travers (emprenye edilmiş)	Romanya	Meşe	26x25x260	226,18
Ahşap Travers (emprenye edilmiş)	Belçika	Meşe	16x26x260	233.53
Ahşap Travers (emprenye edilmemiş)	Polonya	Kayın	26x26x260	248.88
Çelik Travers	İngiltere	-	10x26x242	287.76

Ülkemiz demiryolları idaresi TCDD ise mevcut yolların traverslerini değiştirmek veya yeni demiryolları inşa etmek için gerekli traversleri kendine ait iki adet fabrikada üretmekle beraber, ihtiyacının tamamının karşılanması için Türkiye’de kurulu özel sektör fabrikalarından da travers alımı yapmaktadır. 2014 yılında TCDD tarafından yapılan ihalelerin sonuçları gözönüne alındığında 2014 yılı TCDD ihaleleri sonucunda ortalama B70 Tipi beton travers fiyatı W14 tipi bağlantı malzemesi dahil **121,02 TL**’dir (Çizelge 4.2) (Kıncal, 2015).

**Çizelge 4.2 : 2014 Yılı B70 Beton TCDD Travers Alımları**

<b>Ürün</b>	<b>İhale Adedi</b>	<b>İhale Edilen Toplam Travers</b>	<b>Ortalama Travers Birim Fiyatı (TL)</b>
B70 Tipi Beton Travers	11	778.030	121,02

Hazırlanan çizelgelerden görülebileceği üzere beton traversin maliyet olarak ahşap ve çelik traverslere karşı büyük bir üstünlüğü bulunmaktadır. Ancak traverslerin fiyatlarının aynı zamanda tüm demiryolu sistemine etkileyen özellikleri de bulunmaktadır. Özellikle beton traversli hatların montajının yapılabilmesi için beton traversin kendi ağırlığı sebebiyle özel demiryolu ekipmanlarına ve yükleyicilerine ihtiyaç vardır. Ayrıca beton traversli bir hattın bakımının yapılabilmesi için mekanize bir demiryolu hat yenileme ekipmanına ihtiyaç duyulacaktır. Ancak ahşap ve çelik traverslerin nakliyesi ve montajı ağırlıkları sebebiyle inşaat kolaylığı getirmektedir.

Hafifliğinin getirdiği nakliye ve inşaat kolaylığının yanısıra çelik traversler U kesitleri sebebiyle balastın içine ahşap ve beton traverslerden farklı yerleşmektedirler. Bu sebeple de ilk montajlarından sonra özel bir bakım ve buraj

işlemine gereksinim duyarlar. Ayrıca çelik traversli hatlarda yapılan gözlemler neticesinde çelik traverslerin raydan gelen araç yükleri altında çabuk deforme oldukları ve ek değiştirme-yenileme maliyetleri ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir (Manalo ve diğ., 2010). Çelik traverslerin bir diğer üstünlüğü ise elektrifikasyona ve sinyalizasyona sahip hatlarda özel elektrik izloasyonu gerektirmesidir. Bu durum yine çelik traversli hat maliyetlerini arttıracaktır.

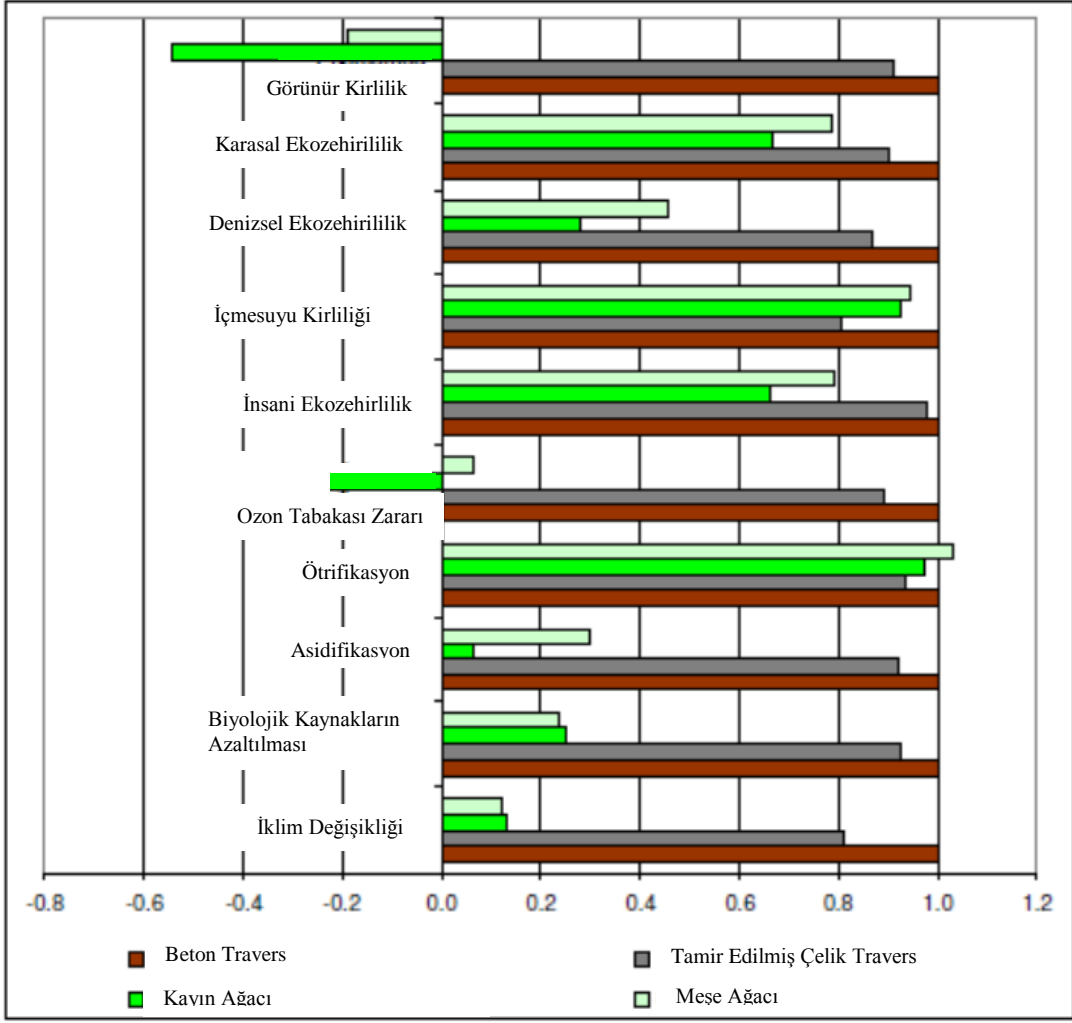
#### **4.4 Çevreye Etkileri Bakımından Karşılaştırılması**

Betonarme traversler, çelik traversler ve ahşap traverslerin üretimi, kullanımları ve hatta kullanım ömürlerinin sonunda çevreye ve doğaya büyük etkileri vardır. Dr. Frank Werner (2009) tarafından yapılan LCA (Life Cycle Assessment- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi) çalışmasında beton traversler, çelik traversler, kayın ve meşe ahşap traverslerin üretim aşamasından ömürlerinin sonuna kadar olan çevreye etkileri değerlendirilmiştir ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken traverslerin üretimi, montaj ekipmanları, kullanım ömürleri sonunda sökülmeleri, geri dönüşümleri ve son olarak doğaya karışma aşamalarında doğaya verdikleri etkiler incelenmiştir. Bunlara ek olarak traverslerin kullanım esnasında hattın üzerinde yapılacak olan bakım, onarım ve tamirat işlemleri de gözönünde bulundurulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda traverslerin çevreye etkileri hakkında elde edilen aşağıdaki grafik ortaya çıkmıştır:

Grafik hazırlanırken betonarme traverslerin sahip olduğu değer 1.0 kabul edilmiş ve diğer traverslerin değerlendirilmesi bu kritere göre yapılmıştır. Ahşap traversler hakkında grafikte görülebilen negatif değerler, ısı enerjisi elde edilmesi esnasında, bilinen fosil yakıtlar yerine kullanım ömürlerini tamamlamış olan ahşap traverslerin yakılması sonucu elde edilecek kazanım olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmanın neticesinde;

- Traverslerin çevreye etkilerini belirleyen ana faktör hat altyapısının inşaatı ile bakım ve onarım işlemleridir. Özellikle yeni balast imalatı ve nakliyesinin çevreye verdikleri zararlı etkiler çok büyüktür.



Şekil 4.4 : Traverslerin çevresel etkilerinin karşılaştırılması

- Yeni imal edilen çelik traversler bütün çevreye etki kategorilerinde büyük farkla önde çıkmışlardır. Bu sebepten son değerlendirmeye katılmayıp, onun yerine sadece tamir edilmiş eski çelik traverslerin çevreye etkileri değerlendirilmiştir. Yeniden geri dönüşümle elde edilen çelik traverslerin bile çevreye olumsuz etkileri çok büyüktür.
- Tamir edilmiş çelik traverslerin çevreye etkileri betonarme traverslerden düşük, ahşap traverslerden yüksektir.
- Ahşap traversler, ötrofikasyon haricindeki tüm değerlendirmelerde, betonarme ve çelik traverslere göre çevreye daha az zarar vermektedir.
- Ahşap traverslerin çevreye etkileri kayın ve meşeden imal edilmelerine göre hemen hemen benzerlik göstermektedir. Ancak daha hafif (kuru ağırlık) olan meşe ağacı daha düşük miktarda krezot eklenmesi dolayısıyla ısı enerjisi elde edilmesi konusunda kayın ağacına oranlara biraz daha zayıf kalmaktadır.

- Ahşap traverslerin üretiminde sürdürülebilir ve yönetilebilir ormanların kullanılması durumunda, tüm ömürleri gözönüne alındığında ahşap traversler karbon olarak stokladıkları CO<sub>2</sub> ve ömürlerinin sonunda fosil yakıtlar yerine kullanılmaları durumunda elde edilecek fayda sebebiyle üstün konuma gelmektedirler.
- Üretilen traverslerin kullanım ömürleri dikkate alındığında doğaya verdikleri zarar yeni üretilen traverslerden çok daha düşük kalacağı için kullanım ömürleri yüksek traverslerin üretilmesi çevreye verilen zararlı etkilerin düşürülmesi konusunda önemli rol oynamaktadır.
- Betonarme traverslerin çevreye verdikleri zararlı etkilerin düşürülmesi için kullanılan çimento ve demir miktarının azaltılmasını sağlayacak yeni tasarımlar ve malzemeler geliştirilmelidir. Agregaya yerine geri dönüştürülmüş beton kullanılması da araştırılmalıdır. (Werner, 2009).

Ayrıca normalde doğada açıkta bırakılacak olan plastik malzemeler, araç lastikleri gibi kauçuk malzemelerin geri dönüştürülerek tekrardan kullanılması ile elde edilecek olan plastik kompozit traverslerin de çevreye olumlu etkileri olacaktır (Sree ve diğ., 2014).

Ancak ahşap traverslere yapılan emprenye işleminin doğaya ve insan sağlığına verdiği zararlar özellikle Avrupa'da çok büyük tartışma konusudur. Yakın zamanda Avrupa Birliği'nin aldığı bir takım kısıtlama kararları sebebiyle ahşap travers üretimi ve kullanımı oldukça büyük zararlar görecektir. Avrupa Birliği'nin şu anda hatlarda serili olan ahşap traversler üzerine yaptığı araştırmalar neticesinde bu traverslerdeki kimyasal madde oranının kritik eşiğin çok üzerinde olduğu saptanmıştır. Bu sebeple 2018 yılına kadar Avrupa'da ahşap travers kullanımının tamamen yasaklanması söz konusu olabilecektir. Günümüzde ahşap travers ile benzer statik ve dinamik özelliklere sahip plastik travers, sentetik travers gibi traverslerin ortaya çıkmasının esas sebeplerinden biri de budur. (Manalo ve diğ. 2010).



## **5. TRAVERS ALTINDA OLUŞAN GERİLMELER VE UIC'YE GÖRE MONOBLOK TRAVERS TASARIM STANDARTLARI**




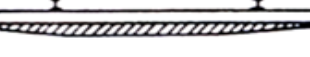


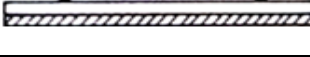
Klasik bir demiryolu, basitçe raylar ve traversler tarafından oluşturulan ve balast tarafından desteklenen düz bir çerçeveden oluşmaktadır. Balast tabakası da sub-balast adı verilen temel üstü bir katman tarafından desteklenmektedir. Balastlı hatların başlıca üstünlükleri olarak kendini kanıtlamış teknolojisi, göreceli olarak düşük sayılabilecek inşa maliyetleri, hat malzemelerinin kolaylıkla değiştirilmesine imkan sağlaması, hat geometrisinin bakım ve onarımının kolay yapılabilmesi (Laryea ve diğ., 2014), kurlar için gerekli ayarlamaların basitçe yapılabilmesi, kaliteli drenaj imkanı, elastiklik ve gürültünün iyi sönmünebilmesi sayılabilir (Sadeghi ve Babae, 2006). Bu bölümde monoblok traverslerin altında oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerle birlikte günümüzde monoblok travers tasarımı yapılırken UIC tarafından standartlaştırılmış maddelerden bahsedilecektir.

### **5.1 Traversin Altında Oluşan Gerilmeler**

Bilindiği üzere traversin esas görevi raydan gelen dikey, yatay ve uzunlamasına tüm yükleri balast malzemesi ile temele iletmektir. Bu dikey yükün aktarımı traversin altındaki balastın durumu ile ciddi şekilde ilgilidir. Yatay ve uzunlamasına yüklerin aktarımı ise traversin boyutlarına, ağırlığına, hattın geometrisine, traversin şekline ve travers aralıklarına bağlıdır (Doyle, 1980).

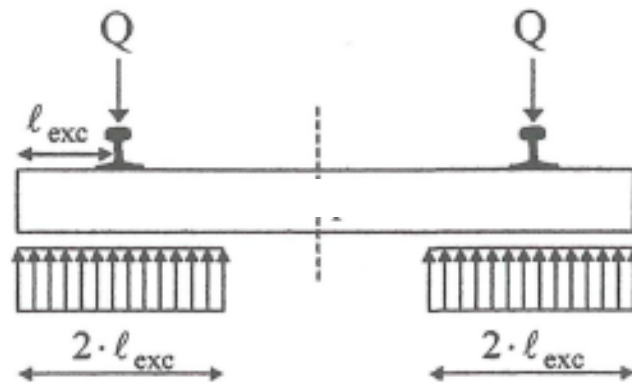
Trafik altındaki hattın balast bölgesinde trafik yükleri altında zamanla boşalmalar oluşmaktadır, ayrıca balast malzemesinin de zamanla kendi özelliklerini kaybetmesi travers ile balast malzemesi arasında kalan ve dikey yükler tarafından oluşturulan gerilme dağılımlarının farklılaşmasına sebep olmaktadır. Bu gerilmelerin oluşturduğu dağılımı pratikte kesin olarak tahmin etmek imkansızdır (Doyle, 1980). Traversin altında oluşacak olan eğilme momentinin hesaplanabilmesi için birkaç farklı varsayımsal yaklaşım önerilmiştir. Çizelge 5.1 travers altında oluşacak gerilmeleri göstermek amacıyla önerilen bu yaklaşımları göstermektedir (Sadeghi ve Babae, 2006):

**Çizelge 5.1 : Travers altındaki gerilme dağılımları.**

Madde No	Beklenen Dağılım Modeli	Araştırmacı yada Standard	Açıklamalar
1		UIC, Talbot	Laboratuvar testlerine göre dağılım
2		UIC, Talbot	Ray altındaki maksimum gerilim
3		Talbot	Travers ortasında maksimum gerilim
4		Talbot	Travers ortasında yoğunlaşmış gerilim
5		Talbot	Esnek traversler için geçerli dağılım
6		UIC, Talbot	Trapez dağılımı
7		AREA, Raymond, Talbot	Üniform gerilme dağılımı

Travers altında oluşacak gerilmeleri burajı ve bakımı yeni yapılmış, balast malzemesinin özelliklerini kaybetmediği bir demiryolu hattı için basitleştirmek gerekirse (Şekil 5.1):

- Travers kenarlarında fazlalıkları olan bir kirişe benzetilebilir,
- Tekerlek yükü sadece bir noktaya etki eden bir kuvvetmiş gibi belirlenir,
- Travers ve balast arasındaki gerilme dağılımı üniform bir şekilde yükün etki ettiği nokta ve traversin son noktası'nın arasındaki uzunluk ( $l_{exc}$ )'nin 2 katı olarak oluşur. (Profillidis, 2013)



**Şekil 5.1 : Basitleştirilmiş gerilme modeli (Profillidis, 2013, s. 247)**

Ancak daha önce de bahsedildiği gibi bu yükün üniform olarak dağıldığını düşünmek pek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Balast ve travers arasında oluşan gerilmenin analizini yapmak ve analitik bazı sonuçlara erişmek oldukça güçtür. Mevcut demiryolu üzerinde yapılan gerilme ölçümlerinde ise Şekil 5.2'deki gibi bir gerilme dağılımına ve amprik formüle erişmek mümkün olmuştur:

$$\sigma = \frac{P}{\alpha \times \left( \frac{L}{2} + \frac{3 \times l_{exc}}{2} \right)} \quad (5.1)$$

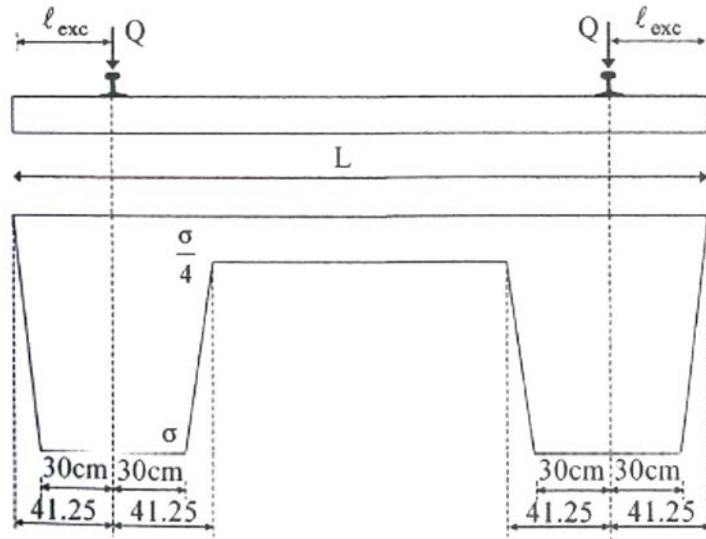
$\sigma$  : Gerilme,

L: Travers Uzunluğu,

$\alpha$  : Travers Kalınlığı,

$l_{exc}$ : Traversin sonu ile tekerlek yükünün etkidiği nokta arasındaki mesafe,

P : Aks yükü (2 x Q)



Şekil 5.2 : Travers Altındaki Gerilme Dağılımı (Profillidis, 2013, s. 247)

## 5.2 UIC'ye Göre Monoblok Betonarme Traversin Tasarım Standartları

Beton traversler demiryollarına ihtiyaca göre tasarım ve üretilme esnekliğini sağlamaktadırlar. UIC, 713 numaralı standartında (2004) betonarme traverslerin tasarım kriterlerini belirlemiştir. Bu standart sayesinde travers tasarımlarının servis kategorileri, dinamik etki faktörü dahil olmak üzere tasarım yüklerinin türetilmesi, tasarım eğilme momentlerinin belirlenmesi ve uzunlukların seçilmesi konularında yol gösterici ve bağlayıcı bir belge olma niteliğindedir.

UIC, monoblok betonarme traversin tasarımını aşağıdaki varsayımlar üzerine yapmıştır ve bu şartların değişimi traversin ömrünü kısaltmakla beraber daha fazla bakım ve onarım gerektirmesine sebep olacaktır:

- Elastik bağlantı malzemesi kullanılmalı,
- Sağlam bir zemin oluşturulmalı,
- En az 250 mm'lik bir balast derinliği sağlanmalı,
- Balast ve temel tabakası için iyi bir drenaj sağlanmalı,
- Raylar üzerinde mekanik herhangi bir bağlantı bulunmamalı,
- Hattın mekanik bakımı gerektiğinde yapılmalı.

### **5.2.1 Travers tasarımı için servis kategorileri**

Servis kategorilerinin farklı olması beraberinde farklı bir travers tasarımı yapılmasını gerektirecektir. Dolayısıyla beton traversin tasarımının yapılabilmesi için öncelikle sistemin ihtiyaçlarının belirlenebilmesi gerekir, ancak her ihtiyaca özel travers üretilmesi durumunda yüksek maliyetler, stoklama sıkıntıları ve idari harcamalar ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla servis kategorilerini standartlaştırmak için öncelikle dikkat edilmesi gereken servis kategorileri aşağıdaki gibidir:

- Farklı aks yükleri veya hattın işletme hızı
- Farklı sınırlamalar (düşük derinlik ihtiyacı gibi)
- Farklı servis yükleri (kurblar, köprüler gibi)
- Farklı hat gereksinimleri (genleşme contası gibi).

Travers tasarımının bu ana kriterler altında standartlaştırılması yatırım maliyetleriyle beraber travers birim fiyatını olabildiğince aşağı çekecektir.

### **5.2.2 Tasarım ömrü ve garanti**

UIC (2004) standartlarında tasarlanmış bir traversin minimum 40 yıllık bir ömre sahip olması gerekmektedir. Ayrıca üretici tüm etkilere karşı traversini ilk 5 yılında garanti altına almak zorundadır. Bu garanti tasarım kaynaklı olabilecek tüm sorunları da kapsamalıdır.

### **5.2.3 Tasarım yükleri**

Traverslerin tasarımında kullanılacak tasarım yükleri aşağıdaki şu şekilde gruplandırılabilir;

- Trenlerden kaynaklı statik aks yükleri,
- Hattın geometrik özelliklerinden ve araçlardan kaynaklanan dinamik faktörler,
- Yüklerin traversler arasında ve hattın değişken katmanları.

Standart sayılabilecek bir traversin Çizelge 5.2'deki hız ve aks yükü değerlerini karşılaması beklenir:

**Çizelge 5.2 :** Standart bir traversin karşılaması gereken aks ve hız değerleri.

Aks Yükü / Hız	180 kN	225 kN	250 kN
120 km/sa	X	X	X
200 km/sa	X	X	
300 km/sa	X		

Tasarım eğilme momentleri olarak aşağıdaki üç eğilme momenti hesaba katılır.

1. Basit tasarım eğilme momenti, statik yüklere normal servis tasarım yüklerinin eklenmesi ile bulunur. Bu yükler altında traverste bir çatlak oluşmaması gerekmektedir.
2. İstisnai eğilme momenti, basit tasarım eğilme momentine etkisi olan yüklere traversin ömrü boyunca sadece bir iki defa görülmesi beklenen istisnai yüklerin eklenmesi ile bulunur. Bu yükler altında oluşan çatlaklar, yükün kalkmasıyla beraber kapanmalıdır.
3. Kaza sonucu oluşabilecek en yüksek değere sahip yüklerden kaynaklanan eğilme momenti.

Ayrıca travers tasarımı yapılırken hesaplamaları ve değerleri yine UIC tarafından belirlenen aşağıdaki yükler ve özelliklerin gözönüne alınması gerekmektedir:

1. Statik Düşey Yük ( $Q_0$ )
2. Normal Servis Dinamik Faktörü ( $\gamma_v$ )
  - a. Hız < 200 km/sa: 0,50,
  - b. Hız  $\geq$  200 km/sa: 0,75
3. Elastik Ray Pedi ( $\gamma_p$ )
  - a. Düşük Sönümlenme < 15%; 1,0
  - b. Orta Sönümlenme > 15-30%; 0,89
  - c. Yüksek Sönümlenme > 30%; 0,78
4. İstisnai Yükleme Katsayıları ( $k_1, k_2$ )
  - a.  $k_1$ : 1,8 (statik), 1,5 (dinamik)

- b.  $k_2$ : 2,5 (statik), 2,2 (dinamik)
- 5. Traversler Arası Yükün Paylaşımı ( $\gamma_d$ ): 0,5 (46 kg/m'den ağır raylarda ve 65 cm'den küçük travers aralıklarında)
- 6. İlave Kısmi Faktörler ( $\gamma_r, \gamma_i$ )
  - a. Balastın travers altındaki testeğinin azalması durumu ( $\gamma_r$ ): 1,35
  - b. Travers altındaki boylamasına düzensizliklerin artması durumu ( $\gamma_i$ ): 1,6
- 7. Yanal Yükler
  - a. Kurb yükleri
  - b. Dinamik boylamasına yükler
  - c. Rüzgar yükleri
- 8. Ray Oturma Alanı Dizayn Yüğü

$$P_d = \frac{Q_0}{2} (1 + \gamma_p \times \gamma_v) \times \gamma_d \times \gamma_r \quad (5.2)$$

- 9. Eğilme Momenti Tasarım Değeri

- a. Ray oturma alanı için;

$$M_{dr_n} = 0,5 \times M_{dr} \quad (5.3)$$

- b. Travers Ortası için;

$$M_{dc} = 0,7 \times M_{dc_n} \quad (5.4)$$

- 10. Minimum Kesme Kuvveti: 3 Mpa

#### 5.2.4 Uzunluklar ve ağırlık

Standart bir monoblok betonarme travers için aşağıdaki değerler önerilmektedir:

1. Uzunluk: 2.500 veya 2.600 mm (bunların dışındaki uzunlukların kabulü platform genişlikleri, yarma ve dolgu genişlikleri gibi özel durumlarda değerlendirilebilir).
2. Genişlik: 300 mm azami (ray oturma alanında en az 160 mm)
3. Taban Alanı:
  - a. 2.5 m uzunluk için 6.000 cm<sup>2</sup>
  - b. 2.6 m uzunluk için 7.000 cm<sup>2</sup>
4. Derinlik: Ray oturma alanından itibaren 200-230 mm arasında
5. Ağırlık: en az 240 kg (UIC CODE 713, 2004).

## **6. B70 TİPİ MONOBLOK VE LVT İKİZ BLOK TRAVERSLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN, UYGULAMA FARKLILIKLARININ VE MALİYETLERİNİN PROJE ÖZELİNDE İRDELENMESİ**

Bu bölümde inşaatı tamamlanmış ve farklı birçok tipte traversin tercih edildiği bir proje üzerinde incelemeler ve değerlendirmeler yapılacaktır. Bu sebeple Marmaray BC1 Projesi seçilmiştir. 29.10.2013 tarihinde hizmete açılmış olan Marmaray BC1 Projesi (Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi) İstanbul'un ulaşımında çok önemli bir yere sahip olduğu gibi kullanılan travers tiplerinin çok çeşitli olması ve farklı ihtiyaçlara cevap vermesi ile de travers seçimi ve uygulamaları için büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple öncelikle Marmaray BC1 Projesi tanıtılacak ve demiryolu üstyapısı gereksinimleri hakkında bilgiler verilecektir. Demiryolu projesinin kendine has standartları ve ihtiyaçları hakkında detaylar verildikten sonra bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için uygulanan traversler irdelenecektir. Marmaray BC1 Projesi'nde travers ve üstyapı seçiminde çok önemli yere sahip olan gürültü ve titreşim analizleri ve traverslerin bu ihtiyacın karşılanmasına olan katkısı, bu traverslerin üstyapı inşaatına olan etkilerine değinilecektir. Son olarak ise günümüze ait güncel fiyatlar ile Marmaray BC1 Projesi'nin üstyapı maliyetleri malzeme işçilikler açısından değerlendirilecek ve örnek olarak kabul edilen 1 km'lik hat kesimlerinde balastlı ve balastsız hat kesimlerinin maliyetleri karşılaştırılacaktır.

### **6.1 Proje Özellikleri ve Gereksinimleri**

Marmaray BC1 Projesi, Ayrılıkçeşmesi ve Kazlıçeşme İstasyonları arasında İstanbul'un Anadolu yakası ile Avrupa yakasını birbirine bağlayan çift hatlı bir demiryolu hattıdır. Hattın yaklaşık uzunluğu 28,000 tek hat metre olarak ölçülmektedir. Projeyi aşağıdaki gibi tip kesitlere ayırmak mümkündür:

- Hemzemin
- Aç-Kapa
- Delme Tünel
- Batırma Tüp Tünel (Yılmaz, 2005).

Projenin ihtiyaçlarını karşılaması için Marmaray BC1 Projesi'nin üstyapısı tasarlanırken kullanılan ve idarenin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde belirlenen demiryolu araçları özellikleri aşağıdaki gibidir:

Yolcu trenleri için;

- Maksimum statik aks yükü: 19,25 ton
- Boji aralığı: 8 m
- Tipik Yaysız Ağırlık: 2.000 kg/aks

Yük trenleri için;

- Maksimum statik aks yükü: 25 ton
- Tipik yaysız ağırlık: 2.000 kg/aks (Yılmaz, 2004).

Ayrıca Marmaray Projesi'nin işletme koşulları Çizelge 6.1'deki gibidir:

**Çizelge 6.1 : Marmaray BC1 işletme koşulları.**

<b>Özellik</b>	<b>İşletme Değeri</b>
Tünellerdeki maksimum hız	100 km/sa
Ticari Hız	45 km/sa
Maksimum aks yükü	25 ton
Maksimum dever	100mm
Maksimum ters dever	110 mm
Çevre Koşulları	Tünel içerisinde maksimum sıcaklık 35°C Tünel dışarısında maksimum sıcaklık 45° C Tünel içerisinde minimum sıcaklık 10°C Tünel dışarısında minimum sıcaklık -10°C
Ekartman	1.435 mm
Ray oturma alanı eğimi	1 : 40
Dikeyde ray üst kotunun ayarlanması	+15 mm
Batırma tüp tünelde dikeyde ray ayarlama	+75 mm
Yatayda Ray ayarlanması	Mümkün
Ray Tipi	60 E1 R350 HT
Bağlantı Malzemesi Aralığı	0,63 mm

Projeyi demiryolu üstyapısı olarak özel kılan başlıca özellik demiryolunda kullanılan araçların yarattığı titreşimin ve zeminden doğan gürültünün engellenmesidir. Projenin üstyapı tasarımı yapılırken gürültü ve titreşimin önlenmesi, inşaat kolaylığı ve fiyat performans oranı ana başlıklar olarak belirlenmiştir. Marmaray BC1 Projesi kapsamında kullanılan travers tipleri ve bölgeleri Çizelge 6.2'de (Özden, 2011) verildiği gibidir:

**Çizelge 6.2 : Travers tipleri ve uygulandığı bölümler.**

<b>Travers Tipi</b>	<b>Bölgesi</b>	<b>Özelliği</b>
Sonneville Standart LVT Blok	Tüneller	Gürültü ve Titreşim Seviye 2
Sonneville Standart LVT Blok (System 300)	Batırma Tüp Tünel	+75mm Dikey Ayarlanabilmeli
Sonneville HA LVT Blok	Tüneller	Gürültü ve Titreşim Seviye 3
B70 Tipi Beton Travers	Balastlı Hatlar	Balastlı Hatlar
Ahşap Travers	Tüneller	Çelik Köprüler ve Yaklaşımları
Traverssiz	Tünel ve Batırma Tüp Tünel	Gömülü Hat Özel Bölgesi

Çizelge 6.2’de de görülebileceği gibi Marmaray BC1 Projesinin balastlı hat kısımlarında standart özelliklerde B70 tipi beton travers kullanılmıştır. Hattın tünel kısımlarında ise Sonneville Tipi Standart LVT ikiz bloklar ve gürültü titreşim seviyesine göre yüksek sönümlenme gereken yerlerde Sonneville Tipi HA (Yüksek Sönümlenmeli) LVT ikiz bloklar (Şekil 6.3) kullanılmıştır. Hattın Marmara Denizi’nin ortasında kalan batırma tüp tünel (IMT) kısımlarında ise yine Sonneville tipi standart LVT ikiz bloklar kullanılmıştır. Ancak bu bölümlerde batırma tüp tünelin zamanla oturacağı düşünülecek düzeyde +75 mm ray üst kotunun yükseltilmesine imkan sağlayacak özel bağlantı malzemeleri mevcuttur (Vossloh System-300). Bunun yanısıra hattın üzerindeki çelik köprüler (Şekil 6.1) ve derayman kullanılan yaklaşım bölümlerinde ahşap travers kullanılmıştır. Şekil 6.1’de Marmaray BC1 Projesi’nden bir çelik köprü verilmiştir. Ayrıca iki yakanın ucundaki istasyonlarda bulunan sel kapağı bölgelerinde su geçirimsiz bir alan oluşturmak için travers kullanılmadan, betona gömülü hat tipi uygulanmıştır (Özden, 2011)

## **6.2 Gürültü ve Titreşim Sönümlenmesi Açısından İncelenmesi**

Marmaray BC1 Projesi güzergahı açısından İstanbul’ın çok önemli ve tarihi bölgelerinden geçmektedir. Anadolu yakasında Üsküdar, Avrupa yakasında ise tarihi yarımada ve surlar Marmaray BC1 Projesi’nin güzergahında bulunmaktadır. Ayrıca denizin altından tünel bölgeleri de gürültü ve titreşim açısından hassas olan bölgelerdir. Bu sebeple Marmaray BC1 Projesi’nin demiryolu üstyapısında kullanılan malzemelerin seçiminde gürültü ve titreşim analizlerinin sonuçları önemli

bir rol oynamıştır. Bu bölümde proje kapsamında oluşturulan gürültü ve titreşim analizlerinden ortaya çıkan gürültü ve titreşim bölgeleri ve bu bölgelere uygun olan travers tipleri üzerinde değerlendirmeler yapılacaktır.



**Şekil 6.1** : Ahşap travers kullanılmış çelik köprü.

Gürültü ve titreşim analizleri yapılırken Marmaray BC1 Projesi güzergahı ve yakınlarında bulunan binaların günlük 70 adetten fazla “titreşim olayı” ile karşılaşacakları düşünülmüştür (Yılmaz, 2005).

Marmaray BC1 Projesi’nin tamamının homojen parçalara ayrılmasına çalışılmış ve neticesinde projenin gürültü ve titreşim açısından aşağıdaki şekilde bölünmesi uygun görülmüştür:

- Seviye 1: Azaltma Gerektirmeyen Bölge
- Seviye 2 : Orta Dereceli Azaltma Gerektiren Bölge
- Seviye 3: Yüksek Azaltma Gerektiren Bölge

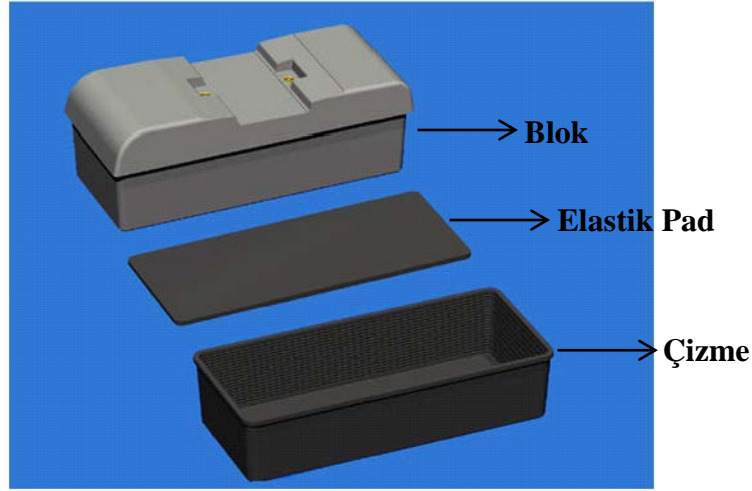
Marmaray BC1 Projesi’nde gürültü ve titreşim analizleri sonucunda oluşan Hat İşleri Basit Dizayn’ına (2005) göre hattın sınıflandırılması Şekil 6.2’deki gibi olmuştur:



- ■ Seviye 1: Azaltma Gerektirmeyen Bölge
- ■ Seviye 2 : Orta Dereceli Azaltma Gerektiren Bölge
- ■ Seviye 3: Yüksek Azaltma Gerektiren Bölge
- ★ Bu bölümdeki Batırma Tüp Tünel +75mm'lik düzeyde ayarlama izin vermelidir.

**Şekil 6.2 : Marmaray BC1 Projesi gürültü ve titreşim bölgeleri.**

Marmaray BC1 projesinde gürültü ve titreşim önlenmesine ait çıkarılan bu şekile göre bölge bazlı olarak kullanılan bağlantı malzemeleri ve travers tiplerine değinilmiştir.



**Şekil 6.3 : LVT blok detayı.**

### **6.2.1 Balastlı hat bölgeleri:**

Balastlı hat kesimlerinde sistemin ihtiyacına göre standart konvansiyonel hatlarda da kullanılan 60E1 Tipi raya uygun 1:40 eğimli B70 tipi monoblok beton travers ile birlikte Vossloh W14 tipi bağlantı malzemesi kullanılmıştır (Özden, 2011).

Balast yatağı üzerindeki demiryolu hattı havaya yayılan gürültünün önlenmesi konusunda yüksek performans gösterebilmesine rağmen, zeminden kaynaklı gürültü ve titreşimin azaltılması konusunda çok başarılı değildir. Bunun yanısıra balastlı hat kesimleri sürekli kaynaklı raylarda sıcaklık değişiklikleri ile birlikte yapıların kendinden kaynaklı olan yataydaki yer değiştirmeleri karşılama konusunda oldukça başarılıdır.

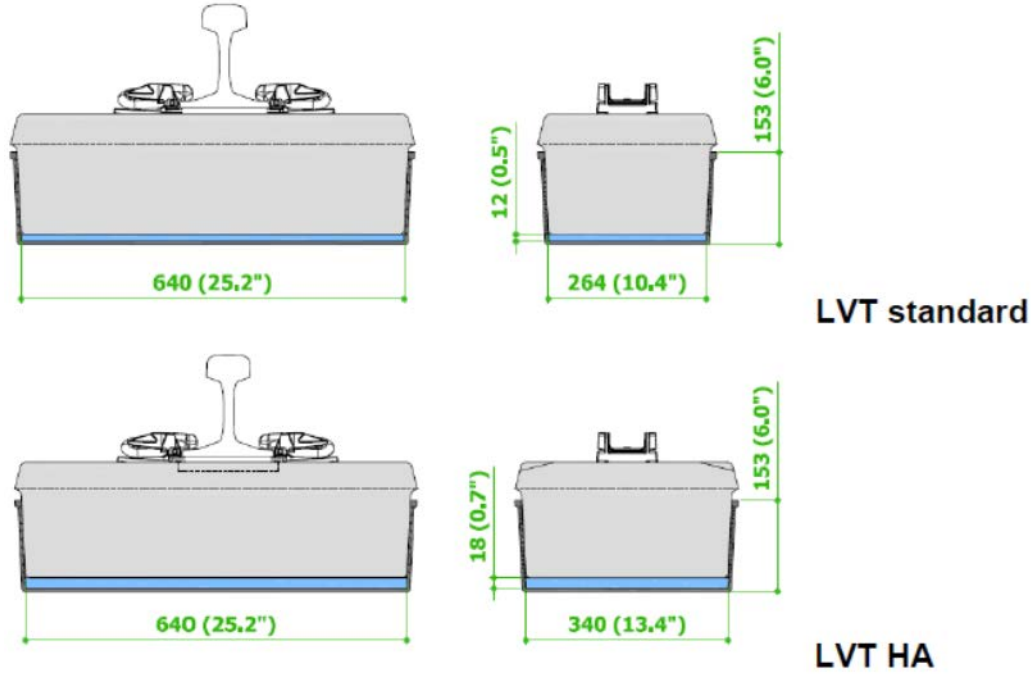
Balastlı hat ile inşa edilen demiryolu kısımları Seviye 1 olarak belirlenen gürültü ve titreşim bölgelerinin ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Ancak gürültü ve titreşim analizlerinde Seviye 2 ve Seviye 3 olarak belirlenen bölgelerde ek olarak balast malzemesinin altında balast mat kullanılmıştır ve uygulama esnasından bir fotoğraf Şekil 6.4’te verilmiştir. Bu bölgelerde bağlantı malzemesi ve travers olarak herhangi bir değişikliğe gerek kalmamıştır (Yılmaz, 2005).



**Şekil 6.4 :** Balast altı mat uygulaması.

### **6.2.2 Balastsız hat bölgeleri – Delme Tünel (Seviye 2)**

Marmaray BC1 Projesi’nin delme tünellerinde gürültü ve titreşim analizine göre Seviye 2 olarak belirlenen bölgelerde Sonneville firmasının LVT Blok (Low Vibration Track) olarak isimlendirdiği ikiz blok betonarme traversleri kullanılmıştır LVT Standart ve LVT HA tipi traversler Şekil 6.5’te verilmiştir. LVT bloklar ile oluşturulan sistemin izin verdiği azami hız 160 km/sa olup, azami aks yükü de 29 ton’dur. Seviye 2 düzeyinde belirlenen bölgelerde Standard LVT Blok’lar Vossloh W14 tipi bağlantı malzemeleri ile birlikte kullanılmışlardır. Bu tipteki ikiz blok beton traversler düşeyde +25 mm’lik bir yer değiştirmeye bloğun altında yapılacak düzenlemelerle izin vermektedir (Yılmaz, 2004).



**Şekil 6.5 :** Sonneville Standart LVT ve LVT HA Blok kesiti (Anonim, 2011).

### 6.2.3 Balastsız hat bölgeleri – Delme Tünel (Seviye 3)

Gürültü ve titreşim analizlerinin sonucuna göre daha yüksek gürültü ve titreşim sönümlemesinin gerekli olduğu Seviye 3 bölgelerinde yine Sonneville tarafından üretilen HA LVT (High Attenuation-Low Vibration Track) (Şekil 6.6) ikiz blok betonarme traversler kullanılmıştır. Bu traversler için de Vossloh W14 tipi bağlantı malzemeleri kullanılmıştır (Yılmaz, 2004).

Bu traverslerin standart LVT'lerden farkı daha geniş olmalarıdır (Şekil 6.5).



**Şekil 6.6 :** LVT HA Blok.

#### 6.2.4 Batırma Tüp Tünel Bölgesi (Seviye 1)

Marmaray BC1 Projesi'nin batırma tüp tünel bölgesinde (IMT) gürültü ve titreşim analizleri neticesinde gerekli olan gürültü ve titreşim sönümlenme kabiliyetinin Seviye 1'e uygun olacağı belirlenmiştir. Ancak batırma tüp tünel bölgelerinde +75 mm'lik bir düşey ayarlama aralığına izin veren sistem kullanılması, batırma tüp tünelin özellikleri sebebiyle gerekli olmuştur. Projenin bu kısmında standart LVT ikiz bloklar modifiye edilerek (travers yükseklikleri 215 cm'den 222 cm'ye çıkartılmıştır) düşey yüksekliği +56/-4 mm şeklinde ayarlanabilen Vossloh Tipi System 300 tipi bağlantı malzemesi ile inşa edilmiştir (Anonim, 2011). Bu bağlantı sistemi ile birlikte (Vossloh System 300) hattın dinamik rijitliği 80 kN/mm/m olup, Seviye 2 bölgesine kadar istenilen şartları karşılamaktadır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 : Vossloh System 300 bağlantı malzemesi (Url-3, 2015).

#### 6.3 Üstyapı Montajı (Poz) Uygulamaları Bakımından İncelenmesi

Bu bölümde Marmaray BC1 Projesinde kullanılan travers tipleri, LVT tipi ikiz blok betonarme travers ve B70 tipi monoblok beton travers olarak iki anakalem altında yapım yöntemi bakımından incelenecektir. B70 tipi betonlu hatların kullanıldığı kesimler balastlı hat bölgeleri iken, LVT blokların kullanıldığı hat kesimleri balastsız hat olarak imal edilmişlerdir. Bu sebeple yapılan çalışma traversler açısından yapılan bir karşılaştırma olmanın yanı sıra balastlı hat montajı ve balastsız hat montajı arasındaki uygulama ve montaj farklılıklarına da açıklık getirecektir. Balastsız hat bölgelerinde kullanılan Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 Tipi LVT'ler yapım yöntemi olarak birbirleri ile benzerlik gösterdikleri için bu bölümde herhangi bir ayırım yapılmamıştır.

### **6.3.1 LVT Tipi ikiz blok betonarme travers ile hat montajı**

Bu bölümde LVT ikiz blok betonarme traversler ile Marmaray BC1 Projesi esnasında yapılan demiryolu hat montajının yapım yöntemi açısından incelenmesi yapılmıştır. Böylelikle ikiz bloklu betonarme hat olarak bir demiryolu inşa etmenin zorlukları ve kolaylıklarının gözönüne çıkması amaçlanmıştır. Bu çalışma yapılırken Standard LVT blok ve HA LVT Blok ile demiryolu hat montajı yapım yönteminin birbirinden farklılık göstermediği belirlenmiş olup, bu sebeple iki tip için de tek tipteki hat montajı uygulamasından bahsedilmiştir.

#### **6.3.1.1 Hat panellerinin ön montajı ve hatta nakli**

LVT blok kullanılarak monte edilen hattın imalatı şantiye içerisindeki ön montaj sahasından başlamaktadır. Ön montaj sahasında LVT bloklar özel bir ataşmana sahip lastik tekerlekli yükleyici ile bir seferde dört adet alınarak panel şablonu üzerine 63 cm aralıklarla dizilirler.

63 cm aralıklarla dizilmiş olan LVT blokların üzerine 18 m'lik metrelik raylar vinç yardımıyla yerleştirilirler ve bağlantı malzemeleri trifonöz adı verilen özel bir ekipman yardımı ile rayları bağlantı malzemelerine sabitlerler.

Her seferinde ön montajı yapılmış olan 2 veya 3 adet panel, montajı yapılacağı bölgeye hem demiryolunda hem de karayolunda yol gidebilen UNIMOG adı verilen makineler ve vagonlar ile nakledilirler.

#### **6.3.1.2 Panellerin hatta serilmesi**

Ön montajı yapılan ve UNIMOG ve vagonlar yardımıyla hatta serileceği yere getirilen hat panelleri özel olarak imal edilmiş olan panel serme makinesi ile vagonların üzerinden alınıp hattaki çelik hasırların üzerine indirilirler. Fotoğraf Şekil 6.8'de verilmiştir.

Bu aşamada hattın ekartmanının ve hat aksının doğru olduğundan emin olabilmek ve sonrasında bozulmasını engellemek amacıyla özel aparatlar kullanılır.



**Şekil 6.8 :** Tünelde panel serimi.

#### **6.3.1.3 Ray kaynağının yapılması ve hattın fikstürler ile bağlanması**

Hat üzerinde montajı yapılacağı yere getirilen ve hatta serilen panellerin raylarının kaynağı alın kaynak makinesi ile yapılmaktadır. Böylelikle 18 metre uzunluğundaki raylar birbirlerine bağlanarak devamlı kaynaklı ray elde edilmektedir.

Kaynak işleminden sonra hat panelleri bu tipteki hat montajı için özel imal edilmiş fikstürler (geçici ekartman tutucu ve geometrik ölçü ayarlaması için özel ekipmanlar) ile askıya alınırlar (Şekil 6.9).

LVT bloklar standart monoblok betonarme traverslerin aksine ray oturma alanına eğim verilmeden üretilirler. Hattın gereksinimi olan 1:40'lık ray eğimi ise LVT blokların 1:40 oranında eğik olarak montajının yapılması ile elde edilir.

Bu aşamada hattın kotu, ekseni ve ekartmanı ile ray oturma alanlarının eğimi topoğrafik ölçümlerle son haline getirilir.

#### **6.3.1.4 Beton dökülmesi**

Tünel içerisinde imal edilecek olan balastsız hattın ihtiyacı olan beton, imalatı yapılacak bölgeye en yakın ulaşım yerinden tünelin içerisine sokulur. Betonun hattın üzerinden dökülecek noktaya ulaşabilmesi için ufak mikserler, konveyör veya pompalar kullanılabilir.



**Şekil 6.9** : Fikstüre alınmış hat.

Beton malzemesi LVT blokların direk altına dökülürken vibratör kullanılmaktadır. Ayrıca rayın ve bağlantı malzemelerinin betondan korunması için naylon malzemesi ile raylar ve bağlantı malzemeleri sarılmaktadır.

Betonun dökülmesinin hemen ardından son olarak yeniden topoğrafik ölçümler yapılır ve beton dökümü esnasında bozulmuş olan geometrik ölçüler hemen yeniden düzeltilirler.

Betonun yeterli prizi almasının ardından (24 saat) hattın üstündeki fikstürler sökülür ve çevre temizliği yapılır. Bu aşamadan sonraki bitmiş hat fotoğrafı Şekil 6.10'da verilmiştir.

Tüm kaynak noktalarında ray malzemesinin taşlanması ile birlikte ray istenen profile getirilir.

#### **6.3.1.5 Birinci tabaka balastın serilmesi**

Demiryolu hattının subbalast kademesinin üzerinde dökülecek olan 1. tabaka balast kamyonlar ile getirilerek hattın güzergahı üzerine dökülürler ve fiğüre makineleri ile veya lastik tekerlekli yükleyiciler ile hattın üzerine serilirler. Bu döküm işleminde balastın yüksekliği transversin tabanının 5 cm altında olacak şekilde +/-3 cm tolerans ile ayarlanır.



**Şekil 6.10 : Bitmiş hat.**

### **6.3.1.6 Traverslerin dizilmesi ve rayların indirilmesi**

B70 tipi monoblok beton traversler kamyonlar ile serileceği bölgede hattın kenarına kadar getirilirler. Traverslerin kamyonlardan indirilip, 1. tabaka balastın üzerine 63 cm aralıklarla serilmesi için özel ataşmanlara sahip lastik tekerlekli yükleyiciler ya da ekskavatörler kullanılır.

Ardından 18 m uzunluğundaki raylar, kamyonlar ile hattın kenarına getirilip, vinç yardımı ile traverslerin üzerine oturtulurlar.

Traverslerin üzerine indirilmiş raylar traverslere bağlantı malzemeleri yardımıyla bağlanırlar.

### **6.3.1.7 Hattın kaynağının yapılması**

Rayları tünel içlerinde olduğu gibi balastlı hat kesimlerinde de alın kaynak makinesi yardımı ile birbirlerine kaynatılırlar (Şekil 6.11). Her 300 m'lik mesafelerde kaynak bölgeleri, gerilim alma kaynağının yapılması için geçici ray cebreleri ile bağlanırlar. Bu bölgelerin kaynağı en son yapılır.

### 6.3.1.8 İkinci tabaka balastın serilmesi

Hattın 2. tabaka balastı lokomotif ya da UNIMOG ile çekilen balast vagonları ile birlikte hattın üzerine serilirler. Balastın balast vagonlarına yüklenmesi için lastik tekerlekli yükleyiciler kullanılır.



Şekil 6.11 : Alın kaynak yapılması.

### 6.3.1.9 Hattın makinalı tamiratının yapılması

İkinci tabaka balastın serilmesinin ardından hattın geometrisini ayarlamak için otomatik buraj makinesi kullanılır. Buraj makinesi örneği Şekil 6.12’de verilmiştir. En az üç sefer buraj işlemi yapılarak hattın kotunun ve ekseninin doğruluğundan emin olunur. Buraj işleminin ardından ise balast profilinin düzeltilmesi için regülatör makinası ile reglaj işlemi yapılır.



## Şekil 6.12 : Buraj makinesi

### 6.3.1.10 Rayların geriliminin alınması

Hattın gerilimi alınacak bölgelerindeki bağlantı malzemeleri sökülür ve rayların hat doğrultusunda hareket etmesine imkan sağlanır.

Mevcut hat sıcaklığı ile doğal ortalama sıcaklık sebebiyle oluşacak uzama hesap edilir. Ray malzemesi çekilerek ya da özel ısıtıcılarla ısıtılarak doğal ortalama sıcaklığa getirilerek hesaplanan boyuta ulaştırılır.

Yeterli uzunluğa erişen ray malzemesi tekrardan bağlantı malzemelerinin sıkılması neticesinde traverslere bağlanır. Uzun kaynaklı ray haline getirilmiş ray malzemeleri aluminotermite kaynak yapılmak suretiyle birbirlerine bağlanır. Kaynak esnasındaki fotoğraf Şekil 6.13'te verilmiştir. Gerilim alma işlemi tünel girişlerinden 120 m içeriye kadar olan raylarda yapılır.

Tüm kaynak noktalarında ray malzemesinin taşlanması ile birlikte ray istenen profile getirilir.



Şekil 6.13 : Aluminotermite kaynak yapılması.

## 6.4 Maliyetleri Bakımından İncelenmesi

Marmaray BC1 projesi kapsamında inşa edilen demiryolu üstyapısını uzunlukları ve montaj tipleri bakımından balastlı (B70 tipi beton travers ile) ve balastsız hat olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu bölümde Marmaray BC1 projesinde imal edilmiş

olan hatların benzerlerinin imal edilmesi durumunda gerçekleşecek olan, traverslerin kendi maliyetleri ile hat üstyapısında kullanılan diğer malzemelerin fiyatları açısından bir karşılaştırma yapılacaktır. Bunun yanısıra kullanılan travers çeşidinin değiştirilmesi inşaat ve bakım maliyetlerini de değiştirmektedir.

İlk olarak benzer bir proje düşünülerek, projede kullanılan malzeme maliyetleri incelenecek ve ortaya karşılaştırmalı bir malzeme maliyet tablosu koyulmaya çalışılacaktır. Kullanılan travers tipinin değiştirilmesi tüm hat tipinde değişikliğe yol açtığı için bu kısımda sadece travers maliyetlerinden değil, hat tipinin değiştirilmesinin getirdiği diğer maliyetler üzerinde de durulacaktır.

İkinci kısımda ise hat montajı için gerekli işçilikler ve makine ekipmanların da dahil edilmesiyle beraber ortaya toplam bir hat montaj maliyeti çıkartılmaya çalışılacaktır. Ardından LVT bloklarla inşa edilmiş balastsız hat ile B70 Tipi beton travers kullanılmış balastlı hatlar ile inşa edilmiş 1 km'lik örnek hatlar üzerinden maliyetler karşılaştırılacaktır.

#### **6.4.1 Malzeme maliyetleri bakımından incelenmesi**

Marmaray BC1 Projesi'nde bulunan balastlı hat kesimleri Ayrılıkçeşmesi ve Kazlıçeşme İstasyonları'ndan başlarak tünel içerisine kadar uzanan bölgelerdir. Bu bölgelerdeki toplam balastlı hat uzunluğu 2.700 tekhatmetre'dir. Hattın LVT bloklarla imal edilen toplam uzunluğu ise 24.000 tekhatmetre'dir. Hattın geri kalan kısımlarındaki köprülerde ahşap traversler ve makas bölgelerinde ise makaslar için özel imal edilmiş LVT Bloklar kullanılmıştır.

Öncelikle hattın LVT bloklar ile imal edilen balastsız hat kesimlerindeki malzemeler ve ardından da balastlı hat kesimindeki malzemeler incelenecektir.

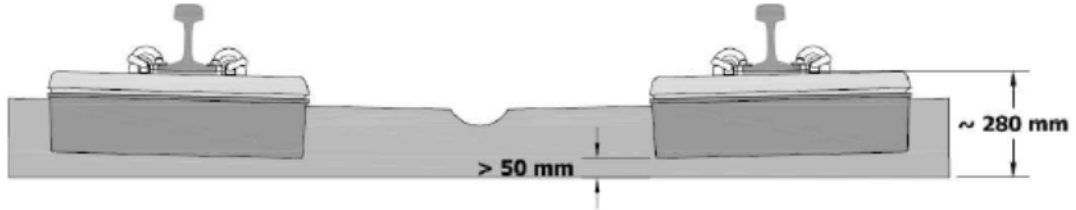
Bu bölümde kullanılan maliyetlerin hiçbiri Marmaray BC1 Projesi'ne ait gerçekleşen maliyetler olmayıp, benzer tip kesitlerdeki metrajların hesaplanması ve maliyetlerin belirlenebilmesi için geçmiş tecrübelerden ve farklı kaynaklardan yararlanılmıştır.

##### **6.4.1.1 LVT blok ile montajı yapılan hat kesimi malzemeleri**

Marmaray BC1 projesinin tünel kesitindeki tip kesitleri incelendiğinde (Şekil 6.14), hattın montajı için gerekli malzemeler:

1. Beton (C30),

2. Zeminde çelik hasır,
3. Demir donatı (nervürlü inşaat demiri)
4. LVT Standart Blok
5. Vossloh W14 Tipi Bağlantı Malzemesi
6. 60E1 Tipi 350 HT Kalitesinde Mantarı Sertleştirilmiş Ray'dir.



**Şekil 6.14 :** LVT ikiz bloklu tipik hat kesiti (Anonim, 2011).

Projenin demiryolu üstyapısı olarak inşa edilen kısımdan ikinci tabaka betonundan ray üst kotuna kadar olan bölümleri gözönünde bulundurulmuş ve travers aralıkları 63 cm olarak belirlenmiş proje için aşağıdaki metrajlara erişilmiştir;

**Çizelge 6.3 :** LVT Blok ile İnşa Edilmiş balastsız hat üstyapı metrajı

Malzeme	Miktar (hatmetrede)	Birim
Beton (C30)	1,1	m <sup>3</sup>
Çelik Hasır	0,023	Ton
Demir Donatı	0,074	Ton
LVT Blok	3,17	Adet
Bağlantı Malzemesi	3,17	Ray Seti
Ray	0,12	Ton

Çizelge 6.4'de farklı kaynaklardan belirlenen birim fiyatlar ve hattın üstyapısında kullanılan, metrajları ile çarpılarak bulunmuş hatmetre fiyatı vardır:

Çizelge 6.4'te belirtilen 1, 2 ve 3 no'lu birim fiyatların belirlenmesi için 2015 yılı T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İnşaat ve Tesisat Analiz ve Birim Fiyatları (2015) kullanılmıştır. 4, 5 ve 6 numaralı birim fiyatların belirlenebilmesi için ülkemizde faaliyet gösteren bir demiryolu inşaatı firmasının yetkilisi Kıncal (2015) ile yapılan karşılıklı görüşmeler belirleyici olmuştur. Sonuç olarak, Marmaray BC1 Projesi benzeri balastsız hat kısımları inşaatı için toplamda kullanılan altı kalem malzemenin maliyeti hesaplandığında 1.654,68 Türk Lirası bulunmaktadır.

**Çizelge 6.4 : Balastsız hat kesimi yaklaşık malzeme fiyatları.**

<b>Poz No.</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Miktar (tekhatmetre- thm)</b>	<b>Birim</b>	<b>Birim Fiyat(TL)</b>	<b>Toplam Fiyat (TL/thm)</b>
1	Beton (C30)	1,1	m <sup>3</sup>	130,00	143,00
2	Çelik Hasır	23	Kilogram	1,35	31,05
3	Demir Donatı	0,074	Ton	1.200	88,80
4	LVT Blok (Standart)	3,17	Adet	321,67	1.019,70
5	Bağlantı Malzemesi	3,17	Ray Seti	20,86	66,13
6	Ray (Mantarı Sertleştirilmiş)	0,12	Ton	2.550	306,00
TOPLAM			tekhatmetre		<b>1.654,68</b>

#### **6.4.1.2 B70 tipi travers ile montajı yapılan hat kesimi malzemeleri**

Bu bölümde Marmaray BC1 Projesi'nde Ayrılıkçeşmesi ve Kazlıkçeşme istasyonlarından başlayarak tünelin içerisine kadar devam eden 2.700 tekhatmetre'lik balastlı hat kesimlerinde kullanılan malzemeler için bir metraj hesaplaması yapılmıştır.

**Çizelge 6.5 : Balastlı hat kesimi üstyapı yaklaşık maliyetleri.**

<b>Poz No.</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Miktar (tekhatmetre- thm)</b>	<b>Birim</b>	<b>Birim Fiyat(TL)</b>	<b>Toplam Fiyat (TL/thm)</b>
1	Balast	2,34	m <sup>3</sup>	80,00	187,20
2	B70 Tipi Monoblok Travers (Bağlantı Malzemesi Dahil)	1,58	adet	121,02	191,21
4	Ray (Mantarı Sertleştirilmiş)	0,12	Ton	2.550	306,00
TOPLAM			tekhatmetre		<b>684,41</b>

Balast malzemesinin metrajı ve travers aralıkları için TCDD tarafından ülkemizde uygulanan standart konvansiyonel balastlı hat kesitlerinden yararlanılmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde projenin yaklaşık 2.700 tekhatmetrelik balastlı hat kesimlerinin demiryolu üstyapı malzeme maliyeti **684,41 TL/tekhatmetre** olarak bulunmuştur (Çizelge 6.5)

#### **6.4.2 İnşaat maliyetleri bakımından incelenmesi**

Marmaray BC1 projesinin iki farklı hat tipi olarak balastlı ve balastsız demiryolu hattı kesimlerindeki demiryolu işçiliklerinin farklılıklarından önceki bölümlerden sözedilmiştir. Bu işçilikler için kullanılan makine ve ekipmanlar ile işçilikler farklı olduğundan ortaya farklı inşaat maliyetleri çıkacaktır. Bu bölümde değinilmemesine rağmen bu inşaat yöntemlerinin yapım süreleri de birbirlerinden farklı olduğu için ortaya çıkardıkları yönetim giderlerinin artışı da sözkonusu olacaktır. Marmaray BC1 Projesi'nde uygulanan hat kesimleri içinin hat yapım maliyetlerinin daha kolay anlaşılabilmesi için hat montajının yapılması esnasında kullanılan makineler hakkında ve hat montaj ekipleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Günümüzde balastlı ve balastsız hat kesimlerinin inşa edilmesi için gerekli olan demiryolu ve inşaat makineleri listesi Çizelge 6.6'daki gibidir.

Projeye ait makine parkından ve üstyapı montajının uygulama farklılıklarına bakıldığında hattın balastlı hat kesimleri tamamı mekanize olmuş demiryolu bakım ekipmanları tarafından inşa edilmiştir. Marmaray BC1 Projesi kapsamında da bakıldığında bu mekanize demiryolu makinelerinin günlük performansları, çok daha düşük iş gücü gerektirmesine rağmen balastsız olarak imal edilen hat kesimlerinden çok daha hızlı inşa edilebileceği anlaşılmıştır.

Marmaray BC1 Projesi'nin inşaat maliyetlerine etki eden bir diğer önemli faktörü ise tünel içerisinde çalışmanın getirdiği zorluk olmuştur. Tünel içerisinde aydınlatılması, temizliğinin ve havalandırılmasının yapılması gibi dolaylı faktörlerin yanısıra tünel içerisine beton indirilmesi, betonun hattın üzerinde mikserler yardımıyla ilerletilmesi de hattın montajını zorlaştıran ve maliyeti arttıran etkenlerden olmuştur.

Marmaray BC1 Projesi gibi demiryolu inşaatlarını yapan firmalardan biri ile yapılan görüşmelerde bu tarz bir projenin günümüzde yeniden inşa edilmesi durumunda İstanbul şartları ve projenin özel gereksinimleri gözönünde bulundurulduğunda

balastsız hat kesimlerinin işçilik maliyetlerinin **600,00 TL/thm**, balastlı hat kesimlerinin inşa maliyetlerinin ise **495,00 TL/thm** olarak gerçekleşeceği öngörüsünde bulunulmuştur.

**Çizelge 6.6 : Balastlı ve balastsız hat makine parkı.**

Makine No.	Balastsız Hat		Balastlı Hat	
	Makine Adı	Adedi	Makine Adı	Adedi
1	Kule Vinç	1	Kule Vinç	1
2	Hat Paneli Serme Makinası	1	Balast Regülatörü	1
3	Platform Vagonu	2	Buraj Makinesi	1
4	UNIMOG	1	UNIMOG	1
5	Fikstür Taşıma Aracı	1	Balast Vagonu	1
6	Hat Kaldırma Ekipmanı	1	Demiryolu Ekskavatörü	1
7	Alın Kaynak Makinesi	1	Alın Kaynak Makinesi	1
8	Lastik Tekerlikli Yükleyici	1	Lastik Tekerlikli Yükleyici	1
9	Beton Pompası	1		
10	Demiryolu Beton Mikseri	1		

#### 6.4.3 Bakım maliyetleri açısından karşılaştırılması

Balastlı hatların ve balastsız hatların maliyetlerinin karşılaştırılması aşamasında doğru bir sonuca ulaşabilmek için bakım maliyetleri açısından da bir karşılaştırma yapmak gerekmektedir. Tezin bu bölümünde değinilen LVT bloklu balastsız demiryolu hatları ile B70 tipi travers ile inşa edilmiş balastlı konvansiyonel demiryolu hatlarının bakım gerekliliklerine kısaca değinilmiştir.

LVT bloklu ya da başka tipte inşa edilmiş olan balastsız demiryolları hatlarının bakım maliyetleri açısından balastlı hatlara göre çok daha ekonomik olduğu bilinen bir gerçektir (Öztürk ve Şahin, 2011).

B70 tipi traversli balastlı hat ile LVT bloklu balastsız demiryolu hattı karşılaştırıldığında ray malzemesinin aşınması ve ray kesitinin aşınması sonucu taşlama işlemine olan ihtiyaç bir farklılık göstermeyecektir. Ancak balastlı hatta meydana gelecek olan enine ve boyuna kaymalar, balastın aşınması ve geçirimsizliği ile mukavemetinin azalması gibi bozukluklar düzenli bir hat bakımı gerektirmektedir. Bu bakım neticesinde balastın elenmesi, buraj, reglaj ve dresaj işlemlerinin yapılması, balastın ve traversin değiştirilmesi gibi tamirat işlemleri uygulanmalıdır. Hattaki bozulmalar neticesinde hattın ömrü de kısalacaktır.

Balastsız hatlar ise kullanım ömürleri boyunca neredeyse hiç bakım gerektirmemektedir. Özellikle LVT blokla imal edilmiş olan balastsız hatlarda, bağlantı malzemelerinin yanısıra, LVT bloklarında da çizmeleri, padleri ve traversin kendisi kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Normal şartlarda balastlı demiryolu hatlarının bakım maliyetleri, balastsız hatların bakım maliyetlerinden yaklaşık %74 daha pahalı olmaktadır (Öztürk ve Şahin, 2011).

#### **6.4.4 Örnek hat üstünde travers ve hat yapım maliyetlerinin karşılaştırılması**

Daha önceki bölümlerde Marmaray BC1 Projesi'nin demiryolu üstyapısında kullanılan LVT tipi ikiz blok traversleri ile B70 tipi monoblok betonarme traversleri üzerinde gürültü ve titreşim sönümlenme performansları ve maliyetleri açısından bazı irdelemeler yapılmıştır. Bu bölümde ise tezin içeriğinde kapsamlıca incelenen ve detayları verilen beton traverslerin Marmaray BC1 Projesi'nde kullanılmış olan bu iki farklı tipi ile inşa edilecek olan örnek bir demiryolu hattının yaklaşık malzeme ve inşaat maliyetlerinin ne olacağı yönünde hesaplamaya yer verilecektir.

Örnek bir demiryolu üstyapısı hesabının yapılmasının sebebi farklı tipteki traverslerin seçiminin maliyet açısından da getirdiği farklılıkların daha anlaşılabilir olmasını sağlamaktır.

Hesaplamalar için Marmaray BC1 Projesi kapsamında inşa edilen LVT bloklu, balastsız hat kesiminin tip kesitleri ve malzeme fiyatlarından esinlenilmiştir. Aynı şekilde balastlı kesimler için de benzer projelerin tip kesitleri ve bu projede gerçekleşen malzeme ve işçilik maliyetleri üzerinden hesaplamalar yapılacaktır.

Hesaplamalar yapılırken demiryolu üstyapı inşaat ve malzemelerinin haricinde, bir demiryolu altyapı inşaatı, bakım onarım giderleri, sinyalizasyon ya da elektrifikasyon giderleri hesaplanmamıştır. Ayrıca betonlu hat bölgelerinde üstyapı inşaatının 2. kademe beton ve üstü olarak, balastlı hat kesimlerinde ise sub-balast üstündeki yapıların inşaat ve malzeme fiyatları değerlendirilmiştir.

##### **6.4.4.1 Hat 1 (balastlı hat kesimi)**

Marmaray BC1 Projesi'ne ait balastlı hattın benzerinin 1 tekhatkilometre olarak inşa edilmesi durumunda gerçekleşecek olan hat malzeme metrajları ve toplam fiyatları Çizelge 6.7'deki gibi olacaktır.

**Çizelge 6.7 : Balastlı örnek hat malzeme fiyatları (1.000m için).**

<b>Poz No.</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Miktar (tekhatmetre- thm)</b>	<b>Birim</b>	<b>Birim Fiyat(TL)</b>	<b>Toplam Fiyat (TL)</b>
1	Balast	2.340,00	m <sup>3</sup>	80,00	187.200,00
2	B70 Tipi Monoblok Travers (bağlantı malzemesi dahil)	1.587,00	adet	121,02	192.058,74
6	Ray (Mantarı Sertleştirilmiş)	120,42	Ton	2.550	307.071,00
<b>TOPLAM</b>			<b>tekhatmetre</b>		<b>686.329,74</b>

Gerçekleşecek olan 686,329.74 TL’lik balastlı hat üstyapı malzemesine balastlı hat işçiliklerini eklemek için 1.000 tekhatmetrelik hattın inşaa maliyetleri hat uzunluğunun tekhatmetre inşaat maliyeti ile çarpılarak hesaplanırsa:

$$1.000 \text{ thm} \times 495,00 \text{ TL} = 495.000 \text{ TL} \quad (6.2)$$

olarak bulunur.

1,000 tekhatkilometrelik balastlı hattın maliyeti için malzeme ve işçilik maliyetleri toplanırsa aşağıdaki toplan hat yapım maliyetine erişilecektir:

$$686.329,74 \text{ TL} + 495.000 \text{ TL} = 1.181.329,74 \text{ TL} \quad (6.3)$$

#### **6.4.4.2 Hat 2 (balastsız hat kesimi)**

Marmaray BC1 Projesi’ne ait balastsız hattın benzerinin 1 tekhatkilometre olarak inşa edilmesi durumunda gerçekleşecek olan hat malzeme metrajları ve toplam fiyatları Çizelge 6.8’deki gibi olacaktır.

Gerçekleşecek olan 1.657.111,22 TL’lik balastsız hat üstyapı malzemesine balastsız hat işçiliklerini eklemek için 1.000 tekhatmetrelik hattın inşaa maliyetleri hat uzunluğunun tekhatmetre inşaat maliyeti ile çarpılarak hesaplanırsa:

$$1.000 \text{ thm} \times 600,00 \text{ TL} = 600.000 \text{ TL} \quad (6.4)$$

olarak bulunur.

**Çizelge 6.8 : Balastsız örnek hat malzeme fiyatları (1.000m için).**

<b>Poz No.</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Miktar (tekhatmetre- thm)</b>	<b>Birim</b>	<b>Birim Fiyat(TL)</b>	<b>Toplam Fiyat (TL/thm)</b>
1	Beton (C30)	1.100	m <sup>3</sup>	130,00	143.000
2	Çelik Hasır	23.000	Kilogram	1,35	31.050
3	Demir Donatı	74	Ton	1.200	88.800
4	LVT Blok (Standart)	3.174	Adet	321,67	1.020.980,58
5	Bağlantı Malzemesi	3.174	Ray Seti	20,86	66.209,64
6	Ray (Mantarlı Sertleştirilmiş)	120,42	Ton	2.550	307.071
<b>TOPLAM</b>			<b>tekhatmetre</b>		<b>1.657.111,22</b>

1.000 tekhatkilometrelik balastsız hattın maliyeti için malzeme ve işçilik maliyetleri toplanırsa aşağıdaki toplan hat yapım maliyetine erişilecektir:

$$1.657.111,22 \text{ TL} + 600.000 \text{ TL} = 2.257.111,22 \text{ TL} \quad (6.5)$$

## 6.5 Değerlendirme

Marmaray BC1 Projesi'nin İstanbul trafiği için özel olmasının yanısıra, aynı hat üstünde çok farklı tipteki, farklı özelliklerdeki traverlerin kullanılması sebebiyle inşaat mühendisliği açısından da çok özel yanları vardır.

Tarihi Yarımada'nın yakınlarından ve tarihi İstanbul Surları'nın yanından geçmekte olan demiryolu hattının önceliğini bu bölgelerde yapılan gürültü ve titreşim analizlerinin sonuçları belirlemiştir. Ayrıca bakım kolaylığı, hatta neredeyse uzun yıllarca hiç bakım gerektirmeyecek bir hat imal etmenin gerekliliği sebebiyle tünel içerisinde inşa edilen balastsız hat bölgelerinde de titreşim ve gürültününün sönümlendirilebilmesi için özel tipteki beton traverslerin tercih edildiği gözlenmiştir.

Bu sebeple projenin balastlı hat kesimlerinde B70 Tipi monoblok travers uygulaması yapılmış, ancak bu uygulama balast altı matın yüksek sönümleme kabiliyetiyle birleştirilmiştir.

Betonlu hat olarak imal edilen bölgelerde ise kendinden çizmeli ve travers altı pedi bulunan LVT blokların seçimi yine projenin yüksek gürültü ve titreşim sönümlenme ihtiyacına cevap vermiştir. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi betonarme traverslerin sahip olduğu yüksek tasarım özgürlüğü (Harris ve diğ., 2011) ile Seviye 3 olarak belirtilen ve titreşim ve gürültü açısından projenin en hassas olduğu noktalarda Standart LVT İkiz Blok'lar modifiye edilmesi ile istenilen sonuçlara kolayca ulaşılmıştır.

Yine projenin en özel bölgelerinden olan Batırma Tüp Tünel bölgesindeki +75 cm'lik dikeyde yükseltilebilme ihtiyacı için bağlantı malzemesinin yanısıra LVT blokların kesitlerinde yapılan yükseltme işlemi ile herhangi başka bir inşaat pozuna gerek kalmadan çözülebilmesini sağlamıştır (Yılmaz, 2004).

Ayrıca Marmaray BC1 Projesi'nin incelenmesi bizlere, çelik köprülerde, balastlı hattın bulunduğu özel titreşim bölgelerinde sadece travers tipinin değiştirilmesi ile istenilen sonuca kolayca erişilebileceğini göstermiştir.

Projede kullanılan farklı tipteki hatların inşaat aşamalarının incelenmesi, verimlilikler, makine parkları ve maliyetleri konusunda fikir sahibi olunabilmesine olanak vermiştir. Öyle ki, bu projenin balastlı hat ve balastsız hat kesimlerinde kullanılan farklı tipteki traverslerin de dahil edilmesiyle 1 km'lik örnek hatlar üzerinde maliyetlerin hesaplanması ve karşılaştırılması mümkün olmuştur.

Yapılan maliyet karşılaştırmasının özeti Çizelge 6.9'da verilmiştir.

**Çizelge 6.9 : Örnek hatların (1 km) yaklaşık maliyetleri.**

<b>Hat Tipi</b>	<b>İşçilik (TL)</b>	<b>Malzeme (TL)</b>	<b>Toplam (TL)</b>
B70 Monoblok Traversli Balastlı Hat	495.000	686.329,74	<b>1.181.329,74</b>
LVT Standart Bloklu Balastsız Hat	600.000	1.657.111,22	<b>2.257.111,22</b>

Çizelge 6.9'da hesaplanan toplam maliyetler gözönüne alındığında LVT bloklar ile balastsız bir hat imal etmenin yaklaşık maliyeti, B70 tipi monoblok traverslerle balastlı bir hat imal etmenin yaklaşık maliyetinden **%91** oranında daha fazla çıkmıştır.

Ancak bu maliyet farkının değerlendirilmesinin sağlıklı olarak yapılabilmesi için bu kısımda kısaca değinilen hattın bakım maliyetlerinin de hesaba katılması gerektiği de unutulmamalıdır.

## 7. SONUÇLAR

Tez içerisinde yapılan çalışmalar neticesinde belli olmuştur ki günümüzde kullanılan travers çeşitleri olarak çelik traversler pahalılıkları, günümüzün yükselen hız ve aks yükleri altında hattın konforunu ve güvenliğini yeterince sağlayamadıkları için gittikçe daha az uygulanmaktadırlar. Hatta önümüzdeki yıllarda çelik traverslerin yenilenen üst düzey hatların hiçbirinde kullanılmayacağını söylenebilir. Özellikle Avrupa ülkelerinde çelik traversin kullanımını yıllar içerisinde gittikçe azalmış birçok ülkede döşeli olan demiryolu hatlarında çelik traversin oranı sıfıra inmiştir.

Ahşap traversler ise kolay nakliye edilebilmesi, düşük balast yüksekliğine sahip olmaları ve yüksek elastikiyetleri sebebiyle hala kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle tüm dünyada makas bölgelerinde ve sert ahşaba ulaşmanın kolay olduğu ülkelerde kullanım oranı oldukça yüksektir. Ancak özellikle Avrupa Birliği'nin krezot kullanımına getirdiği yüksek sınırlamalar sebebiyle ahşap traverslerin de Avrupa'nın bir çok bölgesinde terkedilmeye başladığı bir gerçektir. Bu sebeple ahşap traversin yerini alabilecek sentetik ahşap traverslerin veya plastik traverslerin gelişimi oldukça önem kazanmaktadır.

Betonarme traverslerin ise özellikle yüksek tasarım özgürlükleri, düşük üretim maliyetleri, yüksek stabiliteleri ve çevre koşullarından hemen hemen hiç etkilenmemeleri kullanımını oldukça arttırmaktadır. Bu tezin içeriğinde de bahsedilen yüksek kalitede ve testler altında yapılan üretimleri ile betonarme traversler oldukça uzun kullanım ömürlerine sahip olmaktadır.

Ülkemiz koşullarında da TCDD tarafından tercih edilen, monoblok betonarme traversler yüksek kalite ve standartlarda üretilmektedirler. Bu kalite ve standartların getirisi olarak özellikle B70 tipi monoblok betonarme traverslerin kullanım oranları gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca betonarme sektöründeki gelişmeler ve betonarme traverslerin yeniden tasarlanmaya çok elverişli olması gelecekte farklı tiplerde ve farklı ihtiyaçlara cevap verebilen betonarme traverslerin üretileceğini gözlerönüne sermektedir.

Hızla gelişen ve kalabalıklaşan dünyamızda demiryolları hala yolcu ve yük taşımacılığında önemini korumaktadır ve gittikçe daha da çok önem kazanmaktadır. Demiryolu traversleri ise demiryolu üstyapısının ana elemanı olarak gelişen inşaat sektöründe yerini almaktadır. Bir demiryolu hattı için uygun traversin seçilememesi aşağıdaki sonuçlara yol açacaktır:

- Hattın ve traversin kullanım ömrünü kısaltacak,
- İlave bakım masrafları çıkartacak,
- Düşük konfora sebep olacak,
- Çevreye ve insanların sağlığına zarar verecek,
- Düşük hat güvenliğine neden olacaktır.

Ayrıca doğru travers seçimi birçok kritere bağlıdır. Traverslerin genel olumlu ve olumsuz özelliklerinin yanısıra özel ihtiyaçlar ve bölge koşulları da travers tipinin seçimine doğrudan etki etmektedir. Örneğin çimento ve agregaya ulaşmakta zorlanılan Afrika ülkelerinde ahşap ya da çelik travers tercih edilmesi, sert ahşap bulmanın daha kolay olduğu Amerika ve Avustralya kıtalarında ahşap traverslerin hala kullanılmaya devam etmesi, denize yakın olan nemli bölgelerde çelik travers seçiminin getireceği zorluklar gibi bazı olumsuzluklardan kolaylıkla bahsedilebilir.

Bölgesel etkilerin yanısıra aks yükleri, işletme hızları, tünel yükseklikleri, gürültü ve titreşim analizleri, platform genişlikleri, köprü ve viyadük yapıları, balast malzemesinin özelliği, hattın elektrifikasyon ve sinyalizasyon ihtiyacı gibi özel nedenler de doğru traversin seçimi için değerlendirilmesi gereken kriterlerdir. Son bölümde incelenen Marmaray BC1 Projesi'nde de görülebileceği gibi aynı hattın farklı bölgelerinde farklı travers çeşitlerinin seçilmesi, hattın tüm bölgelerinde maksimum konfor ve güvenliğin sağlanması için seçilebilecek bir yöntemdir. Marmaray BC1 Projesi'nin sunduğu örnekler sayesinde sadece doğru traversin seçilebilmesi ile birlikte bir çok inşaat maliyetinin önüne geçilebileceği belirlenmiştir.

Ayrıca örnek olarak farklı iki tipte beton travers kullanılarak imal edilen 1 km uzunluğundaki hat üzerine yapılan hesaplamalarda monoblok betonarme travers ile imal edilmiş olan balastlı hat kesimi, LVT bloklar ile imal edilmiş olan balastsız üstyapıya sahip demiryolundan ilk inşaat maliyet olarak 0,53 oranında daha ucuzdur.

Ancak ilk işletme maliyetlerinin getirdiği fazla harcamanın, hattın gerektirdiği diğer ihtiyaçların karşılanması için harcanarak dengelendiği belirlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- AREMA** (2002), *Manual for Railway Engineering, Volume 1, Track*, Chapter 30 Ties, American Railway Engineering And Maintenance-Of-Way Association.
- Ankara, E. ve Sevim, İ** (t.y.) *Ahşap Travers Teknik Şartnamesi*, TCDD Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Anonim** (2005) *Technical Specifications for Trackwork*, Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, MARMARAY PROJECT- Contract BC1, İstanbul.
- Anonim** (2011) *Low Vibration Track System (Lvt), Vibration Attenuation Report*, Sonneville AG
- Berksoy, B.** (1994), *Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinde Demiryolu Üstyapı İnşaatı (Balastlı ve Balastsız)*, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bonnett, F. C.** (2008) *Practical Railway Engineering*, London, Imperial Collage Press.
- Bozkurt, M.** (1989) *Demiryolu I*, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- ÇŞB** (2015) *İnşaat ve Tesisat Analiz ve Birim Fiyatları*, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı - Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara
- Doyle, N. F.** (1980) *Railway Track Design A Review of Current Practice*, Canberra, Australian Government Publishing Service.
- EN 13146-1** (2002) *Railway applications Track- Test methods for fastening systems -Part 1: Determination of longitudinal rail restraint*, *European Committee For Standardization*, Brüksel
- EN 13146-5** (2002) *Railway applications Track- Test methods for fastening systems -Part 5: Determination of electrical resistance*, *European Committee For Standardization*, Brüksel
- Esveld, C.** (2014) *Modern Railway Track Digital Edition version 3.1*, Zaltbommel, MRT-Productions.
- Harris, D. K., Lutch, R. H., Ahlborn, M. T., Duong, P.** (2011) Optimization of a prestressed concrete railroad crosstie for heavy haul applications, *Journal of Transportation Engineering*, November 2011, s.815-822.
- Kıncal, T** (2015) Kişisel Görüşme, 25. Nisan.
- Koller, G.** (2010) *Railway Gazette Magazine, FFU synthetic sleepers offer material gains*, s.42-43, Vol:August-10.
- Kozak, M.** (2010) *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Beton Traversin Gelişimi ve üretim Aşamasının Araştırılması*, Vol:6, No:2, s.71-81.
- Laryea, S., Baghsorkhi, S. M., Ferellec, J-F., McDowell, G. R., Chen, C.** (2014) Comparison of performance of concrete and steel sleepers using experimental and discrete element methods, *Transportation Geotechnics* 1, s. 225-240

- Li, S.** (2012) *Railway Sleeper Modelling with Deterministic and Non-deterministic Support Conditions*, Master Dg. Project, Division of Highway and Railway Engineering, the Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Lichtberger, B.** (2005) *Track Compendium*, Linz, Eurail Press.
- Manalo, A., Aravinthan, T., Karunasena, W. ve Ticoalu, A.** (2010) *Composite Structures 92, A Review Of Alternative Materials For Replacing Existing Timber Sleepers*, s. 603-611.
- MEB,** (2013) *Balast ve Travers*, Ankara.
- Mundray, J. S.** (2010) *RailwayTrack Engineering*, New Delhi, Tata McGraw Hill, s.97
- Özden, B.** (2011) *Detailed Design for Trackworks*, Taisei Kumagai Gama Nuro Joint Venture, MARMARAY PROJECT- Contract BC1, İstanbul.
- Öztürk, Z. ve Arlı, V.** (2009). *Demiryolu Mühendisliği*, İstanbul, İstanbul Ulaşım A.Ş.
- Öztürk, Z. ve Şahin, O.** (2011) *Balastlı ve Balastsız Hatlarda Üstyapı Yapım Ve Bakım Maliyetlerinin Karşılaştırılması*, İstanbul.
- Profillidis, V. A.** (2013) *Railway Management and Engineering*, Edition 4, Surrey, Ashgate.
- Rayton** (2010), *Travers Kalite ve Üretim Planı*, İstanbul.
- Sadeghi, J. M. ve Babae, A.** (2006), Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, *Structural Optimization Of B70 Railway Prestressed Concrete Sleepers*, Vol. 30, No. B4
- Sivrikaya, S., Ankara, E, Dağyıldız, M.** (2010) *Öngermeli-Öncekmeli Beton Travers Teknik Şartnamesi*, TCDD Genel Müdürlüğü Yol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Sree, S. G. B., Tabaya, G. ve Basha, S. A.** (2014) *Global Journal of Trends in Engineering, Use of Recycled Plastic in Railway Sleepers*, Vol:1-Issue:2.
- TCDD** (2013) *2013 Yılı Faaliyet Raporu*, Ankara.
- TCDD** (2012) *2012 Yılı Faaliyet Raporu*, Ankara.
- TCDD** (2007) *2007 Yılı Faaliyet Raporu*, Ankara.
- TS-EN 13230-1** (2010) Demiryolu uygulamaları-Demiryolu- Beton traversler ve mesnetler- Bölüm 1: Genel kurallar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-EN 13230-2** (2010) Demiryolu Uygulamaları-Demiryolu- Beton Traversler Ve Mesnetler- Bölüm 2:Öngerilmeli Yekpare Traversler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-EN 13230-3** (2010) Demiryolu Uygulamaları-Demiryolu- Beton Traversler Ve Mesnetler- Bölüm 3: Takviyelendirilmiş İkiz Traversler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TS EN 13481-2** (2007) Demiryolu Uygulamaları-Demiryolu- Bağlantı Sistemleri İçin Performans Özellikleri- Bölüm 2: Beton Traversler için Bağlantı Sistemleri, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- UIC** (2013) *Sustainable Wooden Railway Sleepers*, Paris, International Union of Railways.
- UIC CODE 713** (2004) *Design of monoblock concrete sleepers*, International Union of Railways, 1st Edition.
- Werner, F.** (2009) Life cycle assessment (LCA) of railway sleepers, *Comparison of railway sleepers made from concrete, steel, beech wood and oak wood*, Zürich.
- Yılmaz, V. O.** (2005) *Basic Design for Trackwork*, Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, MARMARAY PROJECT- Contract BC1, İstanbul.
- Yılmaz V. O.** (2004) *Track System Alternatives for Trackworks*, Taisei Kumagai Gama Nurol Joint Venture, MARMARAY PROJECT- Contract BC1, İstanbul.
- Url-1** <<http://www.tcmb.gov.tr>>, alındığı tarih: 15.02.2015
- Url-2** <<http://ekap.kik.gov.tr>>, Elektronik Kamu Alımları Platformu, alındığı tarih: 26.01.2015
- Url-3** <<http://www.vossloh-fastening-systems.com/>>, alındığı tarih: 20.01.2015
- Url-4** <<http://www.marmaray.gov.tr/icerik/marmaray/Marmaray-Teknik-%C3%96zellikleri/56/>>, alındığı tarih: 18.01.2015



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Mustafa Seçkin Çelik

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Fatih, 27.11.1987

**E-Posta** : seckin.celik@me.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

**Lisansüstü** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

**2011 - Devam**

**Teklif Mühendisi**

Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**2014-2014**

**Hat İşleri Şefi (Al Nariyah Depo Hatları Projesi – Suudi Arabistan)**

Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**2012 - 2012**

**Hat İşleri Mühendisi (Gökçedağ-Nusrat Demiryolu Rehabilitasyonu Projesi)**

Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**2011-2012**

**Teknik Ofis Mühendisi (Marmaray BC1 Projesi Hat İşleri Sözleşmesi)**

Yapıray Demiryolu İnşaat Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.

**2011-2011**

**Gayrimenkul Değerleme Uzmanı**

Prime Gayrimenkul Değerleme A.Ş.