

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BALASTLI VE BALASTSIZ HATLARDA BETONARME TRAVERSLERİN
KULLANIM VE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Buğrahan SELVİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN, 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**BALASTLI VE BALASTSIZ HATLARDA BETONARME TRAVERSLERİN
KULLANIM VE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Buğrahan SELVİ
(501181417)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

HAZİRAN, 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501181417 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Buğrahan SELVİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BALASTLI VE BALASTSIZ HATLARDA BETONARME TRAVERSLERİN KULLANIM VE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Güzin AKYILDIZ ALÇURA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Mayıs 2022
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2022





Aileme ve bilime,



ÖNSÖZ

Betonarme travers teknolojisi ve üretim teknikleri her geçen gün gelişmekte ve bu gelişme de kuşkusuz demiryolu kalitesine yansımaktadır. Demiryolu tasarımı yapılırken kriterler hassas bir şekilde belirlenmeli ve betonarme travers çeşidi de özenle seçilmelidir. Birden çok betonarme travers çeşidi vardır ve projenin uygulanacağı konum, doğa yapıları ve çalışma alanı dikkate alınarak uygun olan betonarme traversin belirlenmesi önemlidir.

Bu tez kapsamında betonarme travers kullanım alanları ve üretim özellikleri detaylandırılarak anlatılacak ve çeşitli karşılaştırmalar da yapılarak betonarme travers çeşidinin belirlenmesine katkı sağlaması beklenilecektir.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması için bana iş tecrübesi sağlayarak bu konu hakkında temel bilgilere sahip olmamı sağlayan, halihazırda görevde bulunduğum şirketim Yapıray'a ve manevi destekleriyle bana yardımcı olmaya çalışan çok değerli aileme teşekkür etmek istiyorum.

Ayrıca özel olarak, bu tez için bana danışmanlık yapan, bilgi ve tecrübeleri ile bana elinden gelen yardımı sağlayan Sayın Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e teşekkür etmek isterim.

Mayıs 2022

Buğrahan Selvi
(İnşaat Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.1.1 Tezin amacı	2
1.1.2 Tezin kapsamı	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.3 Hipotez	3
1.4 Betonarme Traversler	3
1.4.1 Traverslerin üstlendiği görevler	4
1.4.2 Traverslerde aranılan özellikler	4
1.4.3 Betonarme traverslerin dezavantajları	5
1.4.4 Bağlantı malzemeleri ile ilişkisi	5
2. BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPIDA BETONARME TRAVERS KULLANIMI	7
2.1 Balastlı Hatlardaki Betonarme Travers Kullanımı	7
2.2 Balastsız Hatlardaki Betonarme Travers Kullanımı	13
2.2.1 Tünelde balastsız hat döşemesi kullanımı	14
2.2.2 Köprülerde balastsız hat döşemesi kullanımı	16
2.2.3 Balastsız hattan balastlı hatta geçişlerde travers kullanımı	18
2.2.4 Geçiş gereksinimleri	18
2.3 Betonarme Traverslerin Diğer Kullanım Alanları ve Geri Dönüştürülmesi	19
3. BETONARME TRAVERSLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	29
3.1 Betonarme Traverslerin Tasarım Yüklerinin Kabulü	29
3.2 Betonarme Traverslerin Üretimi ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi	31
3.2.1 Ülkemizdeki betonarme travers fabrikalarının üretim süreci	31
3.2.1.1 Karusel metod	32
3.2.1.2 Ekipmanlar	32
3.2.1.3 Üretim aşamaları	35
3.2.1.4 İçerik; kum, agrega, donatı	39
3.2.1.5 Laboratuvar testleri	41
3.2.2 İkiz blok - Tekil blok üretimi ve öngerme işlemi	45
3.2.2.1 İkiz blok traversler	45
3.2.2.2 Tekil blok traversler	46

3.2.2.3 Öngerme işlemi	50
3.2.3 Balastsız hat döşemesi üretimi ve üretim teknikleri.....	52
3.2.3.1 Balastsız hat döşemesi tekniklerinin ilk denemeleri ve evrimi	53
3.2.3.2 Balastsız hat döşemesi üretimi	54
3.2.3.3 Balastsız hat döşemesi üretim teknikleri.....	56
3.2.4 Fiber donatılı betonarme travers üretimi	64
3.2.5 Plastik granüllü betonarme travers üretimi	69
4. BETONARME TRAVERSLERİN KULLANIM ALANLARININ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	75
4.1 Balastlı ve Balastsız Hatlardaki Kullanım Karşılaştırılması	75
4.2 Üretim Tekniklerinin Karşılaştırılması.....	78
4.3 Maliyet Açısından Betonarme Traverslerin Karşılaştırılması.....	81
4.4 Dayanıklılık Açısından Betonarme Traverslerin Karşılaştırması.....	84
4.5 Üretim ve Hat üzerindeki İmalat Süresi Açısından Betonarme Traverslerin Karşılaştırması.....	87
4.6 Karşılaştırmaların Değerlendirilmesi	88
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

ACI	: The American Concrete Institute - Amerikan Beton Enstitüsü
AREMA	: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association - Amerikan Demiryolu Mühendisliği ve Yol Bakımı Derneği
CNR-DT	: Recommendations for the Design, Realization and Control Of Structures In Concrete Reinforced with Fiber-reinforced Composite Bars - Elyaf Takviyeli Kompozit Çubuklarla Donatılı Betonarme Yapıların Tasarımı, Gerçekleştirilmesi ve Kontrolü İçin Öneriler
DB	: Deutsche Bahn – Almanya Demiryolları
EGIP	: Edinburgh Glasgow Improvement Programme - Edinburgh Glasgow İyileştirme Programı
EN	: European Norms – Avrupa Şartnameleri
EPS	: Genişletilmiş Polistiren
FIB	: The International Federation for Structural Concrete - Uluslararası Yapısal Beton Federasyonu
FRP	: Lif Takviyeli Polimer Kompozitler (fiber donatılar)
JSCE	: Japan Society of Civil Engineers - Japonya İnşaat Mühendisleri Derneği
LCC	: Life Cycle Cost – Yaşam Boyu Maliyet
LIRR	: Long Island Demiryolu Yolu
ÖBB	: Avusturya Demiryolları
ÖBB PORR	: Balastsız hat döşemesi Avusturya
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
P-TEC	: Almanya’da Travers Üreticisi
Slabtrack	: Balastsız Hat Döşemesi
SCC	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TS	: Türk Standartları
UIC	: Union Internationale des Chemins de Fer – Uluslararası Demiryolu Birliği



SEMBOLLER

cm	: Santimetre
€	: Euro
Ft	: Feet
k1, k2	: İstisnai Yükleme Katsayıları
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Paskal
N	: Newton
Pd	: Ray Oturma Alanı Dizayn Yüğü
Q	: Yüğü
V	: Hız
γ_d	: Traversler Arası Yüğüñ Paylaşımı
γ_p	: Elastik Ray Pedi
γ_r, γ_i	: İlave Kısmi Faktörler
γ_v	: Normal Servis Dinamik Yüğü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : 1 m ³ beton için kullanılan malzeme karışım miktarları.....	39
Çizelge 3.2 : Öngerilmeli beton travers çeliğinin mekanik özellikleri.....	40
Çizelge 3.3 : Travers tiplerinin dizayn momentleri (kN.m)	52
Çizelge 4.1 : Balastlı hattın avantajları.....	75
Çizelge 4.2 : Balastlı hattın dezavantajları	76
Çizelge 4.3 : Balastsız hattın avantajları.....	77
Çizelge 4.4 : Balastsız hattın dezavantajları	77
Çizelge 4.5 : Üstyapı maliyetlerine etki eden kalemler	83
Çizelge 4.6 : Farklı travers çeşitlerinin maliyet karşılaştırması	83
Çizelge 4.7 : Normal donatılı ve fiber donatılı balastsız hat döşemesi maliyeti	84
Çizelge 4.8 : Balastlı demiryolu hatlarında kontrol parametreleri ve periyotları.....	85
Çizelge 4.9 : Farklı travers tiplerinin 1 günlük ortalama döşeme miktarı	88



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Betonarme travers örneği	3
Şekil 1.2 : Demiryolu yapı bileşenleri (boyuna eksen).....	4
Şekil 1.3 : Bağlantı sistemi elemanları	6
Şekil 1.4 : Rayların eğimli döşenmesi	6
Şekil 2.1 : Balastlı demiryolu hattı.	7
Şekil 2.2 : Raylı sistem üzerindeki kuvvet bileşenleri.....	8
Şekil 2.3 : Travers altı ped kullanımı I	9
Şekil 2.4 : Travers altı ped kullanımı II	9
Şekil 2.5 : Travers altı ped kullanılan sistem kesiti	11
Şekil 2.6 : Travers altı ped kullanımında oluşan yük dağılımı	12
Şekil 2.7 : Balastsız demiryolu hattı	13
Şekil 2.8 : Balastsız sistemlerde alt katmanlar	14
Şekil 2.9 : Balastsız hat döşemesi Avusturya Modeli örneği	15
Şekil 2.10 : New Bailey Street Köprüsü	17
Şekil 2.11 : Rheda sistemi balastsız hattan balastlı hatta geçiş detayı	18
Şekil 2.12 : Demiryolu makas bölgesi	20
Şekil 2.13 : Edilon blok raylı sistemi.....	22
Şekil 2.14 : Güverte yolu raylı sistemi	23
Şekil 2.15 : Betonarme traverslerin hendeklerde kullanımı	25
Şekil 2.16 : Betonarme traverslerin temellerde kullanımı	25
Şekil 2.17 : Betonarme traverslerin geri dönüşümü	26
Şekil 2.18 : Betonarme traverslerden örnek öğütülmesi.....	27
Şekil 3.1 : Travers dizayn prosesi, kilit aşamaları ve değişkenleri.....	30
Şekil 3.2 : Betonarme travers kür odası.....	33
Şekil 3.3 : Vibrasyon sehpası.....	33
Şekil 3.4 : Beton hava boşluk ölçer	34
Şekil 3.5 : Yüzey aşındırma cihazı	34
Şekil 3.6 : Sentil.....	35
Şekil 3.7 : Kalıp hazırlanması.....	36
Şekil 3.8 : Kürleme işlemi	37
Şekil 3.9 : Betonarme travers stok alanı	38
Şekil 3.10 : Betonarme travers boyut ölçümü	38
Şekil 3.11: Betonarme travers çeliğinin çekme kuvveti altında yük-şekil değişim grafiği.....	40
Şekil 3.12 : Ekartman ölçümü	41
Şekil 3.13 : Düşey yük testi	42
Şekil 3.14 : Elektriksel direnç testi	43
Şekil 3.15 : Yorulma yükü için yük dağılımı	44
Şekil 3.16 : İkiz blok travers boyutları	45
Şekil 3.17 : Tekil blok travers boyutları	47

Şekil 3.18 : Makas travers boyutları	49
Şekil 3.19 : Değişkenlik gösteren makas travers bağlantı noktaları	49
Şekil 3.20 : Öngerme yükünün betona aktarılması.....	51
Şekil 3.21 : Balastsız hat döşemesi boyutları	53
Şekil 3.22 : Balastsız hat döşemesi sistemi Rheda istasyonu	53
Şekil 3.23 : Balastsız hat döşemesi donatı kafesi	54
Şekil 3.24 : Balastsız hat döşemesi kalıpları.....	54
Şekil 3.25 : Balastsız hat döşemesi stok alanı	56
Şekil 3.26 : Balastsız hat döşemesi Rheda sistemi	57
Şekil 3.27 : Balastsız hat döşemesi Zublin sistemi.....	58
Şekil 3.28 : Balastsız hat döşemesi Stedef sistemi I	58
Şekil 3.29 : Balastsız hat döşemesi Stedef sistemi II.....	59
Şekil 3.30 : Silindirik durdurucu.....	60
Şekil 3.31 : Balastsız hat döşemesi Shinkansen sistemi	60
Şekil 3.32 : Çerçeve tipi plaklar.....	61
Şekil 3.33 : Balastsız hat döşemesi Bögl sistemi.....	62
Şekil 3.34 : Asfalt tabakası üzerinde balastsız yol sistemi	63
Şekil 3.35 : EPS kullanımı ile balastsız hat döşemesi	64
Şekil 3.36 : Fiber donatıların travers kalıplarına dökümü	65
Şekil 3.37 : Fiber donatılı travers kesitleri.....	66
Şekil 3.38 : Termal genleşmeler sonucu oluşan çatlaklar.....	68
Şekil 3.39 : Mikrosentetik fiber donatılar	69
Şekil 3.40 : Kauçuk lastik	71
Şekil 3.41 : Lastik kauçuk kullanımının bulunduğu beton yapısı.....	71
Şekil 3.42 : Çimento harcı ile lastik kauçuk lifler arasındaki aderans.....	72
Şekil 3.43 : Plastik granüllü travers kesitleri.	73
Şekil 4.1 : Balasta ait ölçülecek parametrelerin çift hatta şematik gösterimi	85
Şekil 4.2 : Beton döşeme	86

BALASTLI VE BALASTSIZ HATLARDA BETONARME TRAVERSLERİN KULLANIM VE ÜRETİMİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Demiryolları 1800’lü yılların başında yük taşımacılığında kullanılmış ve daha sonraki zamanlarda ise yolcu taşımacılığına da evrilerek en önemli ulaşım yöntemlerinden birisi haline gelmiştir. Demiryolları yapımında kullanılan travers tipi de teknolojinin gelişmesiyle beraber ahşap traverslerden betonarme traverslere dönüşmüştür. Günümüzde en çok kullanılan travers tipi olan betonarme traversler kolay üretim ve yapım, dayanıklılık ve kolay değiştirilebilmesi ile ön plana çıkmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında betonarme traverslerin kullanım farklılıklarının neler olduğu ve avantajlarına göre uygunluk durumlarının detaylandırılmasına karar verilmiştir. Ayrıca yine betonarme traverslerin üretimi sırasında görülen farklılıklar ve yeni üretim yöntemlerinin incelenmesi uygun görülmüştür.

Bu çerçevede kullanım alanları incelenirken, balastlı hatlarda betonarme traverslerin kullanım detayları verilmiş ve taban plakası ve travers altı pedlerin traverslerin döşenmesi sırasındaki görevlerinden bahsedilmiştir. Balastsız hatlardaki betonarme travers kullanımı için uygulanan method olan döşeme traversi yani balastsız hat döşemelerinin neden tercih edildiği anlatılmış ve kullanım alanlarındaki ayrıntılara yer verilmiştir. Bu iki farklı kullanım alanı olan balastsız hattın balastlı hat ile birleştiği noktadaki travers kullanımı ve geçiş detayları da devamında anlatılmaktadır. Kullanım alanları bölümünün son bölümünde ise betonarme traverslerin, ufak bir alanı kapsayan, demiryolları dışındaki kullanım alanından bahsedilmiştir. Dünyada özellikle küresel ısınma için en önemli konulardan biri olan geri dönüşümün, betonarme traversler için de geçerli olduğuna ve hangi yöntemle yapıp kazanımlarının neler olacağına dair bilgiler de verilmiştir.

Üretim yöntemleri incelenen diğer bir ana başlık olmuştur. Betonarme traverslerin tasarım yüklerine dair kabullerden bahsedilmiştir. Ülkemizde yer alan betonarme travers fabrikalarının üretim yöntemleri fabrikalardan alınan güncel bilgi ve fotoğraflarla da desteklenerek anlatılmıştır. Fabrikalar anlatılırken üretim aşamalarından bahsedilmiştir. Kalıp hazırlama, donatı hazırlama, beton döküm işlemleri ve vibrasyon, kür odalarının üzerinde durulmuştur. Stok sahalarının yüksek yükleri kaldırabilecek zemin yapısına sahip olması gerektiği söylenmiştir. Devamında betonarme travers çeşitleri olan tekil blok, ikiz blok traverslerinin ve döşeme şeklinde olan balastsız hat döşemesi traversinin üretim yöntemleri yer almaktadır. Traversler üretilirken dayanımlarına katkı sağlayan traverslere öngerilme uygulama metodu da anlatılan konular arasındadır. Öngerilme yapıya, servis halinde gelecek yükleri

karşılایacak bir taşıma kapasitesi kazandırmaktadır. Öngerilme uygulanan betonarme travers daha üretim aşamasındayken kullanım sırasındaki gerilmelere maruz bırakılır.

Üretim yöntemleri anlatılırken farklı noktalara da değinmek amacıyla, yeni kullanılmaya başlanılan fiber donatılı traversler ve plastik granüllü traverslere detaylıca yer verilmiştir. Son zamanlarda kullanımı diğer betonarme alanlarda da artan fiber donatıların, betonarme traversler ile demiryolu sektörüne de girişı görülmüştür. Ve traverslerin geri dönüştürölmesi gibi önemli olan bir diğer konu da plastik geri dönüşümünden gelen parçaların betonarme travers üretiminde kullanılması olduğu belirtilmiştir. Oluşan lastik kauçuk atıklarının ve bunların yakılmasının dünyamız ve küresel ısınma için ne kadar tehlikeli olduğu hatırlatılmıştır. Betonarme traverslere bu atıkların bir kısmını ekleyerek hem onların avantajlarından yararlanıp hem de çevreye verilen zararın azaltılabileceğı belirtilmiştir.

Son bölümde ise önceki başlıklarda belirtilen kullanım alanlarına ve üretim yöntemlerine dair karşılaştırma bilgilerine yer verilmiştir. Balastsız ve balastlı hatların karşılaştırılması yapılmış ve avantajlı olduğu noktalara değinilmiştir. Sonrasında ise tekil blok ile ikiz blok karşılaştırması yer almış ve öngerilme ile ardgerilme farklılıklarından bahsedilmiştir. Balastsız hat döşemesi üretiminin avantajları ve yine plastik granüllü üretim, fiber donatılı üretim avantajlarına yer verilmiştir. Birçok açıdan maliyet karşılaştırması yapılmış olup, gerçek maliyetlerden yola çıkılarak bir tekil blok travers, bir makas travers ve bir balastsız hat döşemesinin üretiminde ortak olarak kullanılan çimento, agrega ve donatı tutarlarının toplamı karşılaştırılarak tablolaştırılmıştır.

Betonarme traversler dayanıklılık açısından karşılaştırılmıştır. Balastlı hat için olan kontrol parametreleri, travers altı balast yüksekliğinin kontrolü, hat üzerinde bulunan balast seviyesinin travers seviyesine göre durumu, hat üzerindeki çamurlu bölgelerin tespiti, travers başlarındaki balast omuz genişliği, travers ve balast hataları ve bağlantı malzemesi kontrolü ve balast değişimidir. Balastsız hatların sahip olduğu avantajlar hattın daha düşük bir kalınlığa sahip olmasıdır ve kullanım ömrü de yaklaşık 2 katıdır. Balastsız hatta drenaj ve donma kabarması terimleri oldukça önemlidir. Bu uygulamalar düzgün yapılmamış ise zemin kaldırılıp yeniden yapılması gerekebilir. Balastsız hatlarda yol stabilitesi rijit bir levha yardımıyla sağlanırsa, bakım miktarı da önemli ölçüde azalacaktır. Ray taşıma sayesinde raydaki ve ray yüzeyindeki düzensizlikler giderilir. Bu, düzgün çalışma ve gürültü üretiminin azalması için önemli bir koşuldur. Taşıma ayrıca dalgalanmaları çok daha yavaş gelişmesini sağlar. Balastlı hat ile karşılaştırıldığında, dinamik kuvvetler daha düşük olduğundan ve ray desteklerinde kademeli bir bozulmaya neredeyse hiç neden olmadığı için, kaynakların yakınında veya (yalıtlımlı) mafsalların yakınında ezikler gibi arızalar önemli ölçüde daha yavaş gelişecektir.

Üretim ve hat üzerindeki imalat süreci açısından yapılan karşılaştırmada farklı tip traverslerin sahada 1 günde ortalama döşenme miktarlarına bakılmış ve tekil blok traverslerin balastsız hat döşemesine oranla önemli ölçüde daha hızlı imalat yapıldığı anlaşılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalar değerlendirilmiş ve önceki bölümlerde detaylı olarak belirtilen karşılaştırmalar düzenlenerek tek bölümde sunulmuştur.

Tez kapsamında demiryolu inşaatı sektöründe oldukça çok kullanılan yöntemlerden, Rheda, Züblin, Bögl, Stedef, Shinkansen ve Heitkamp yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Bunlardan Rheda yöntemi ile yapılan bir balastsız hattan balastlı hatta geçiş detayları verilerek geçiş bölgesi özellikleri anlatılmıştır.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise yeni üretim yöntemleri üzerinde durularak betonarme traverslerle ilgili yeni bilgilerin öğrenilip paylaşılması amaçlandığı belirtilmiştir. Ayrıca balastsız hattan balastlı hatta geçişlerin çok önem arz ettiği ve bu bölgelerin detaylıca anlatıldığı söylenmiştir. Kullanım ömrü dolmuş betonarme traverslerin geri dönüştürülebileceği tekrar hatırlatılmıştır.





EXAMINATION OF THE USE AND PRODUCTION OF REINFORCED CONCRETE SLEEPER IN BALLASTED AND UNBALASTED LINES

SUMMARY

Railways were used in freight transportation in the early 1800s and later evolved into passenger transportation and became one of the most important transportation methods. The type of sleeper used in the construction of railways has also changed from wooden sleepers to reinforced concrete sleepers with the development of technology. Reinforced concrete sleepers, which are the most used sleeper type today, have come to the fore with their easy production and construction, durability and easy replacement.

In the literature research, it was decided to detail the differences between the usage areas of reinforced concrete sleepers and their suitability according to their advantages. In addition, the differences observed during the production of reinforced concrete sleepers and the examination of new production methods were deemed appropriate.

In this context, while examining the usage areas, the details of the use of reinforced concrete sleepers on ballasted lines are given and the duties of the base plate and under sleeper pads during the laying of sleepers are mentioned. It is explained why the slab sleeper, which is the method applied for the use of reinforced concrete sleepers in ballastless lines, is preferred and the details in the usage areas are given. The sleeper usage and transition details at the point where the ballastless line, meets the ballasted line, are also explained in the following. In the last part of the usage areas section, the usage area of reinforced concrete sleepers, which covers a small area, outside the railways, is mentioned. Information on recycling, which is one of the most important issues in the world, especially for global warming, is also valid for reinforced concrete sleepers, how it will be done and what the benefits will be.

Production methods were another main topic examined. The assumptions regarding the design loads of reinforced concrete sleepers are mentioned. The production methods of the reinforced concrete sleeper factories in our country are explained with the support of current information and photographs taken from the factories. While describing the factories, the production stages are mentioned. Mold preparation, reinforcement preparation, concrete casting processes and vibration, curing rooms are emphasized. It has been said that stockyards should have a ground structure that can handle high loads. Following are the production methods of single block and twin block sleepers, which are types of reinforced concrete sleepers, and slab sleepers in the form of slabs. The method of applying prestressing to the sleepers, which contributes to their strength while the sleepers are produced, is also among the topics covered. Prestressing gives the structure a bearing capacity to meet the loads that will come in service. Prestressed reinforced concrete sleeper is exposed to stresses during use while still in production.

In order to touch on different points while explaining the production methods, fiber reinforced sleepers and plastic granulated sleepers that have just started to be used are given in detail. Recently, the use of fiber reinforcements, which has increased in other reinforced concrete areas, has also entered the railway sector with reinforced concrete sleepers. And it is stated that another important issue such as recycling of sleepers is the use of parts from plastic recycling in the production of reinforced concrete sleepers. It has been reminded how dangerous the tire rubber wastes and their burning are for our world and global warming. It has been stated that adding some of these wastes to reinforced concrete sleepers can both benefit from their advantages and reduce the damage to the environment.

In the last section, comparison information about the usage areas and production methods mentioned in the previous titles is given. The comparison of ballastless and ballasted lines has been made and the advantageous points have been mentioned. Afterwards, the comparison of single block and twin block took place and the differences between prestress and poststress were mentioned. The advantages of slab sleeper production and the advantages of plastic granule production and fiber reinforced production are also included. Cost comparisons were made in many respects, and the sum of the cement, aggregate and reinforcement amounts used jointly in the production of a single block sleeper, a turnout sleeper and a slab sleeper was tabulated based on the actual costs.

Reinforced concrete sleepers were compared in terms of durability. The control parameters for the ballasted line are the control of the ballast height under the sleeper, the condition of the ballast level on the line relative to the sleeper level, the determination of the muddy areas on the line, the ballast shoulder width at the sleeper heads, the control of the sleeper and ballast faults and the fastening material, and the ballast change. The advantages of ballastless lines are that the line has a lower thickness, and its service life is about 2 times. For ballastless area, the terms drainage and frost heave are very important. If these applications are not done properly, the floor may need to be removed and redone. If road stability is ensured with the help of a rigid plate in ballastless lines, the amount of maintenance will be significantly reduced. Irregularities on the rail and on the rail surface are eliminated by rail grinding. This is an important condition for smooth operation and reduced noise production. Grinding also allows fluctuations to develop much more slowly. Compared to ballasted track, failures such as dents near welds or near (insulated) joints will develop significantly more slowly, as the dynamic forces are lower and cause almost no gradual deterioration of the rail supports.

In the comparison made in terms of production and the manufacturing process on the line, the average amount of laying of different types of sleepers in 1 day in the field was examined and it was understood that the single block sleepers were produced significantly faster than the laying of the ballastless line.

The comparisons made were evaluated and the comparisons stated in detail in the previous sections were arranged and presented in a single section.

Within the scope of the thesis, Rheda, Züblin, Bögl, Stedef, Shinkansen and Heitkamp methods, which are widely used in the railway construction sector, are mentioned. Among them, the transition zone features are explained by giving the details of the transition from a ballasted line to a ballastless line made by Rheda method.

In the conclusion and suggestions section, it is stated that it is aimed to learn and share new information about reinforced concrete sleepers by emphasizing new production methods. It has also been said that the transitions from ballastless to ballasted lines are very important and these areas are explained in detail. It has been reminded again that reinforced concrete sleepers whose lifespan has expired can be recycled.





1. GİRİŞ

Bir yerden bir yere madeni bir yol üzerinde, mekanik bir güçle hareket ettirilen araçlar içinde, insan ve eşya taşımalarını temin eden tesislerin hepsine birden demiryolu denir. Demiryolları bir sistem halinde çalışır ve ray, balast, bağlantı malzemeleri ve travers gibi parçaları bulunmaktadır.

Traverslerin betonarme, ahşap ve çelik olmak üzere 3 ana çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan betonarme travers doğaya daha az zarar verme, kolay üretilebilir ve değiştirilebilir olma, iklim değişikliğinden daha az etkilenme ve rutubete dayanıklılık özellikleri ile ön plana çıkmaktadır.

Betonarme traverslerin gelişimi ve kullanımı, odun kıtlığı, sürekli kaynaklı ray tanımının bulunması, beton teknolojisi ve ön gerilme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra önem kazanmıştır.

Projeler uygulanırken betonarme travers çeşitlerine hakim olmak, hangi türlerin ne gibi avantajları olduğunu bilmek, farklı alanlarda doğru betonarme travers seçimini yapabilmek çok önemlidir. Doğru incelemeler yapıldığında ekonomik olarak avantajlı, kullanımı daha verimli ve doğaya daha az zarar veren seçimler yapılabilir.

Ayrıca demiryollarında kullanımı bittikten sonra da bu traverslerin faydalı olabileceği başka yerlerde kullanımı veya geri dönüşüm yöntemlerinin bilinmesi önemlidir.

Betonarme traversleri üretim yöntemlerindeki farklılıklar, yeni teknikler ve kullanım alanları açısından incelemek mümkündür. Temelde aynı veya benzer hizmetleri amaçlayan betonarme traversleri küçük ama önemli farklılıklarla birbirinden ayırabiliriz. Ayrıca yine kullanım alanlarındaki farklılıklar bir diğer inceleme yöntemi olmaktadır.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

1.1.1 Tezin amacı

Günümüzde dünyada en çok kullanılan travers çeşidi olan betonarme travers çeşitlerinin üretim yöntemleri, genel tasarım ilkeleri, üretim yeri olan travers fabrikalarının detayları ve bu betonarme traverslerin üretildikten sonra kullanıldıkları farklı alanların belirtilmesi amaçlanmıştır.

1.1.2 Tezin kapsamı

Travers üretim yöntemleri anlatılırken hem eski yöntemler hemde yeni üretim yöntemlerinin detaylarına yer verilmiştir. Üretim yöntemlerinin kendi avantajları üzerinde de durulmuştur. Ayrıca fabrikaların üretim aşamaları ve kullanılan ekipman detayları yer almaktadır.

Kullanım alanları anlatılırken raylı ulaşım sistemlerinde kullanılan balastlı ve balastsız hatlar olmak üzere temel 2 kullanım alanı ve diğer küçük raylı sistemlerdeki kullanımı aktarılmış, son olarak da raylı sistemler dışındaki kullanımı ve geri dönüşüme katkısından bahsedilmiştir.

Bütün anlatımlar sırasında çeşitli noktalarda karşılaştırma, maliyet detayları, tasarım detayları gibi özelliklerin verilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Bu tezde kullanılan bilgiler dünyada ve ülkemizde kabul görmüş çok önemli yayınlar ve makalelerden alınmıştır. En doğru bilgi veya aktarıma ulaşabilmek için birçok kaynak araştırılıp bir araya getirilerek çalışmanın verimliliği artırılmıştır.

Fabrikalar için verilen detaylarda, TCDD tarafından da ihalelerde kabul gören fabrikaların özellikleri anlatılmıştır.

Betonarme travers üretimindeki gelişen yeni yöntemlerin anlatımında bu alanda önemli gelişmelere imza atan firmaların doküman ve çalışmaları kullanılmıştır.

Özellikle 2. Dünya savaşı sonrası betonarme traverslerin önemi daha iyi anlaşılmış olup kullanım alanı artmaya başlamıştır. Tecrübe arttıkça ve teknoloji geliştikçe farklı tipte betonarme travers üretim ihtiyacı da oluşmuştur.

Farklı kaynaklardan yararlanılarak yapılan çalışmada, daha önceki dönemlerde az değinilmiş olan betonarme traverslerin farklı üretim tekniklerinin ve farklı alanlardaki kullanımının üzerinde durulup, betonarme traversler hakkında yeni ve farklı bilgiler aktarılmaya çalışılmıştır. Fiber donatılı ve plastik granüllü travers üretimleri ve yine benzer şekilde travers altı pedli kullanımı, diğer raylı sistemlerdeki kullanımı, traverslerin geri dönüşümü hakkında bilgiler toplanıp bu çalışmada üzerinde durulmuştur.

1.3 Hipotez

Betonarme traversler; demiryolu üstyapısının en önemli parçalarından biri olarak, hattın tamamlanmasını ve bütünleşmesini sağlarlar. Oldukça yaygın kullanılan betonarme travers üretim teknolojisinin geliştirilmesi ve kullanıma olumlu yansması çok önemlidir. Gelişen üretim teknolojilerin incelenmesi, farklı malzemelerin üretime dahil olması ve farklı dizaynların üretim ve kullanım farklılıklarının araştırılması ve karşılaştırılması gibi ana başlıklarda incelenen hususların konuyla ilgilenenlere fayda sağlaması düşünülmektedir.

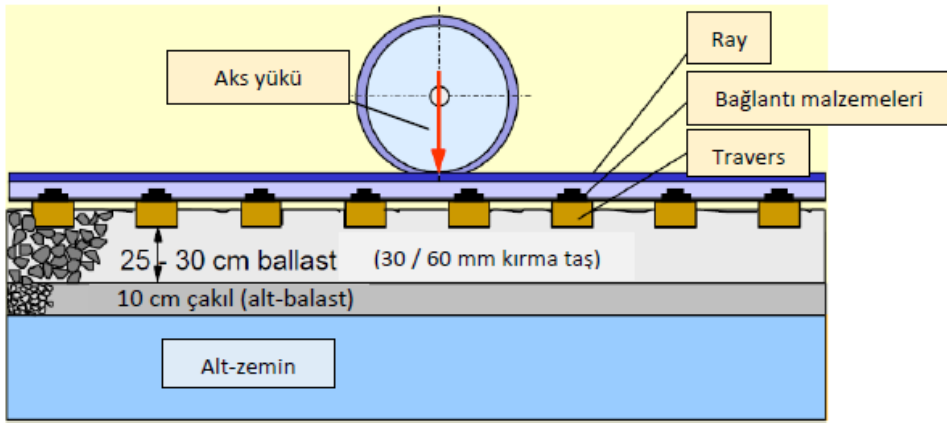
1.4 Betonarme Traversler

Demiryollarında yük aktarımı modeline uygun şekilde; rayın kendisine aktardığı kuvvetleri daha geniş bir yüzeye yayarak balast tabakasına aktaran, yolun açıklığını belirleyip koruyan ve yolu yan etkilere karşı yolun ekseninde tutan, raylara dik yönde belirli aralıklarla döşenmiş sömellere travers denir. En çok kullanılan betonarme travers çeşitlerinden biri Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Betonarme Travers Örneği

Traversler, yol eksenine dik veya paralel yönde ve belirli aralıklarla, rayların altına balast tabakası içine gömülü olarak döşenen enine ve boyuna kirişler olup, raylara mesnet görevi yapmaktadırlar. Traversler belirli aralıklarla, sıkıştırılmış balast tabakasının üzerine yerleştirilir. Tren geçişi sırasında, traversler raylardan gelen noktasal düşey, enine ve boyuna kuvvetleri alır ve bu kuvvetler travers/balast ara yüzeyindeki gerilmenin kabul edilebilir bir seviyeye düşürülmesi için traversler tarafından daha geniş bir alana dağıtılır. Temel demiryolu üstyapısı bileşenleri ve boyut detayları Şekil 1.2’de gösterilmiştir [5].



Şekil 1.2 : Demiryolu yapı bileşenleri (boyuna eksen)

1.4.1 Traverslerin üstlendiği görevler

- Raylardan gelen yüklerin yayılmasını sağlayarak yükü balasta aktarmak,
- İki ray dizisinin oluşturduğu yol genişliğini muhafaza etmek,
- Yolun ekseninden kaçmasını önlemek, demiryolunun ekseninde kalmasını sağlamak,
- İki çelik ray arasında elektrik yalıtımı yapmak (sinyalizasyonlu hatlarda),
- Raylarda içe doğru 1/20-1/40 oranında eğim vermek.

1.4.2 Traverslerde aranılan özellikler

- Aşınmaya karşı mukavemet, dolayısıyla sertlik özelliği.
- Elastikiyet Kırılma ve ezilmeye karşı mukavemet,
- Rayların montajına elverişli olma,
- Dış etkilere mukavemet,
- Üst yapının stabilitesi bakımından çok hafif olmaması,
- Gürültüyü azaltması,

- İzolasyona elverişli olması,
- Hararete ve rutubete dayanıklılık,
- Bağlantı elemanlarının taşıması, istiflemesi, döşenmesi, sökülmesi kolay bir şekilde monte edilebilir olmalı,
- Yeterli genişlik ve uzunlukta olmalı,
- Travers malzeme elektrik akımını iletmemeli,
- Su, nem, asit yağmurları, ot, ağaç kökleri ve mikroorganizmaların zararlı etkilerine dayanıklı olmalı.

1.4.3 Betonarme traverslerin dezavantajları

- Ahşap traverslerden daha az elastiktir. Kötü üretimde deformasyon meydana gelebilir
- Oluklara ve kalitesiz kaynaklara karşı hassastır
- Darbelerden kaynaklanan hasar riski fazladır
- Tasarımında dinamik yükler ve balast gerilmeleri % 25 daha yüksek olabilir
- Tekrar kullanılabilirlikleri azdır

1.4.4 Bağlantı malzemeleri ile ilişkisi

Bağlantı malzemeleri betonarme traverslerin raylar ile bağlantısını sağlar. Aşağıda numaralandırılmış bağlantı malzemelerinin travers bağlantısında kullanılma detayı Şekil 1.3’de gösterilmiştir.

10- Ray

20- Yatak Oluğu

21- Civata

22- Klip

23- İzolasyon Bloğu

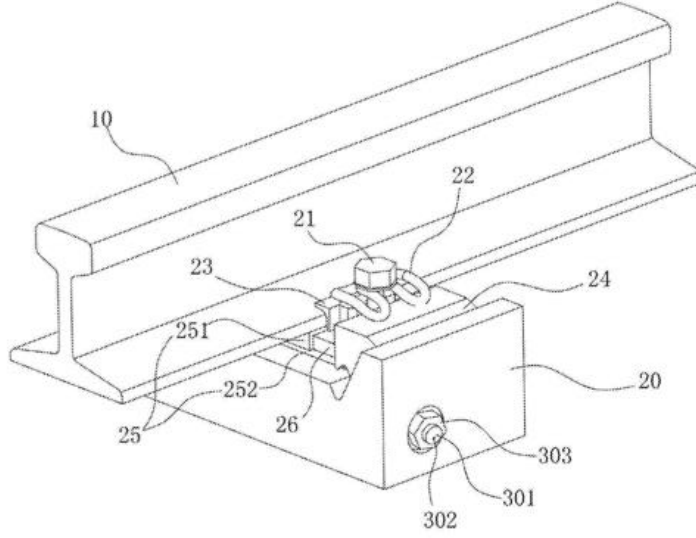
24- Ray Açıklığı Levhası

25- Yastık

26- Demir Ped

301- Civata

302- Kılavuz Deliği

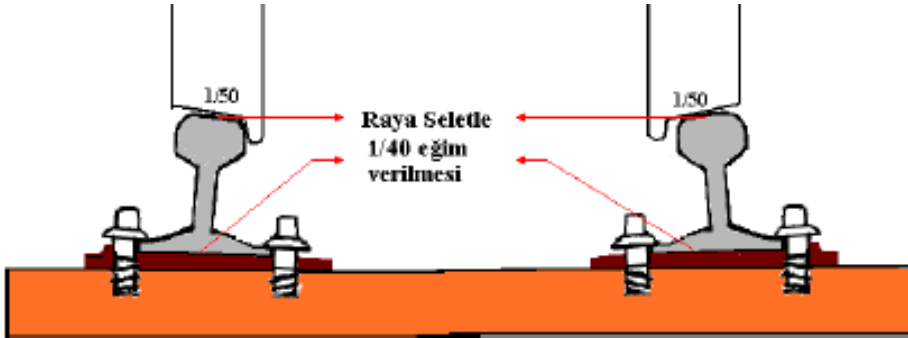


Şekil 1.3 : Bağlantı sistemi elemanları

Düz yollarda her iki tekerleğin yuvarlanma mesafeleri aynıdır. Kurplarda iç ray dizisi dış ray dizisine nazaran daha kısa olduğundan dış rayda yol alan tekerleğin iç raydaki tekerleğe nazaran daha uzun bir mesafeyi kat etmesi gerekmektedir. Bunu temin için tekerlek bandajları konik şekilde imal edilmiştir.

Kurplarda merkezkaç kuvveti etkisiyle dış ray dizisindeki tekerleğin yuvarlanma yüzündeki koniklik sebebiyle konik kısmın büyük çapı üzerinde, iç ray dizisindeki tekerlek konik kısmın küçük çapı üzerinde dönmek sureti ile bu olumsuzluk giderilmeye çalışılmıştır.

Bandajların konik, rayların düşey durumda olması hâlinde tekerlek rayla çizgi teması yapacağından ray üzerinde büyük basınçlar oluşur. Tekerlek ray ilişkisini düzeltmek için raylar yol içerisine doğru 1/40 eğimli olarak döşenmektedir (Şekil 1.4). Ayrıca verilen eğimle rayların yanıl kuvvetler nedeniyle devrilmeleri de güçleştirilmiş olur.



Şekil 1.4 : Rayların eğimli döşenmesi

2. BALASTLI VE BALASTSIZ ÜSTYAPIDA BETONARME TRAVERS KULLANIMI

Betonarme traversler günümüzde en çok kullanılan travers çeşidi olmuştur. Bu bölümde betonarme traverslerin ve balastsız hat döşemesinin yer aldığı balastlı ve balastsız hatlardaki kullanımlar anlatılacaktır. Ayrıca demiryolları dışında traverslerin kullanıldığı diğer alanlara da son bölümde yer verilmiştir.

2.1 Balastlı Hatlardaki Betonarme Travers Kullanımı

Balastlı hat yapısı travers ve raylara zemin görevi üstlenen demiryolu araçlarından gelen yükü subbalasta yayarak ve titreşimi sönmülemeye yarayan granit veya bazalt gibi kırma taşlardan oluşan belirli kesitlerdeki üstyapı hat çeşididir. Diğer hat tasarımlarına nazaran yapım sürelerinin kısa olması ve yapım maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak belirli periyotlarda bakım ve kontrol isteyen hat türüdür [11].

Hat yapımında altyapı işleri tamamlandıktan sonra alt kademe balast ve balast serim imalatları yapılır. Daha sonra traversler balast üzerine belirli aralıklarla yerleştirilir. Buraj, bağlantı malzemeleri ve ray montajı ile devam eder, raylar birbirine kaynaklanır. Son aşamalarda gerilim alma ve taşlama işlemleri ile balastlı hat imalatı tamamlanmış olur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Balastlı demiryolu hattı

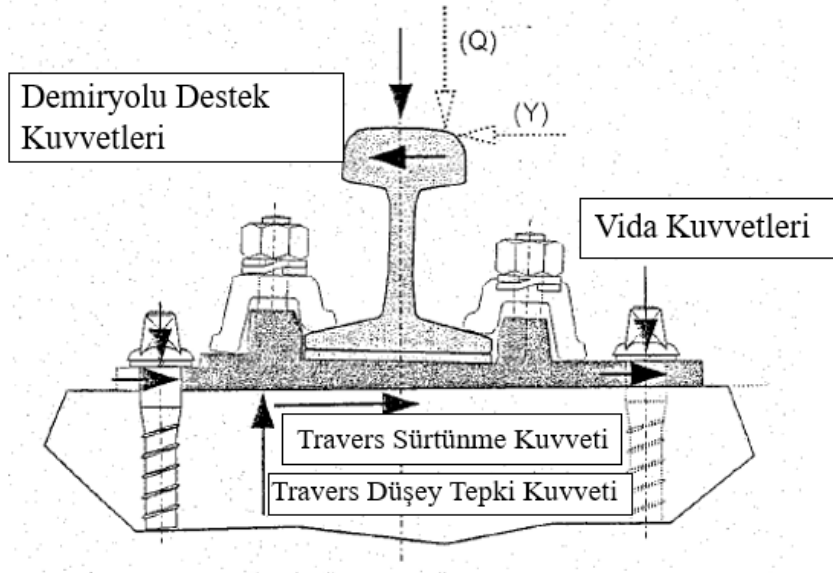
Alt yapı veya alt zemin, eğimleri, kenarları, hendekleri ve bunların içindeki yapıları içeren oluşumdan meydana gelir [5].

Bir balastlı hat için global olarak aşağıdaki gereksinimler geçerlidir.

- minimum taşıma gücü $> \%5$
- sıkıştırma $\%97$ Proctor
- alt zemin profilinde maksimum 10 mm sapma [5]

Balastlı hatlarda taban plakası kullanımı

Raylar, çelik taban plakaları kullanılarak veya kullanılmadan traverslere sabitlenebilir. Taban plakaları, eğimli üst yüzeyler ve rayın aralarında kilitlendiği dik nervürlerle donatılmıştır. Kuvvet bileşenleri Şekil 2.2'de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.2 : Raylı sistem üzerindeki kuvvet bileşenleri

Taban plakalarının kullanılması aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Dikey yük, traversin daha geniş bir alanına dağıtılır. Bu, traversin hizmet ömrünü uzatır,
- Yatay yük, sürtünme nedeniyle daha iyi emilir ve traverste sabitlenen tüm bağlantılara dağılır. Taban plakaları, büyük eğim eksiklikleri sağlanırsa, sürekli yanal kuvvetler için çok uygundur,
- Devrilme momenti, traversteki bağlantılara daha az kuvvet uygulanmasına neden olur,

- Taban plakalarında yüksek bükülme sertliği ve oluklar vardır. Nervürlerde ray için iyi sabitleme yerleri sağlar,
- Taban plakaları traverse ekstra ağırlık verir [5].

Balastlı hatlarda travers altı ped kullanımı

Bazı balastlı hat serimlerinde travers altı pedler de kullanılabilir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de travers altı pedlerin nasıl yerleştirildiği örneklendirilmiştir.



Şekil 2.3 : Travers altı ped kullanımı I



Şekil 2.4 : Travers altı ped kullanımı II

Beton traversler için elastik desteğin sağlanması, klasik balastlı ray sistemlerinin iyileştirilmesi için etkili bir önlemdir. Taze betona elastik destek pedlerinin montajı traverslerle doğrudan bir bağ oluşturur. Bu teknik, balastı korur ve gelişmiş hat esnekliği sağlar. Elastik destek pedlerine sahip palet üst yapısı, özellikle zor, değişen zemin üzerine kurulum için etkilidir. Bu uygulamalar özellikle yüksek performanslı

ray sistemlerini ve bentler ile tüneller arasındaki hattın hassas geçişlerini içermektedir. Bu tür bir yükseltme, bakım maliyetlerini azaltır ve palet konumlandırmasını sürdürülebilir şekilde iyileştirir. Aynı zamanda, bu çözüm, yapıdan kaynaklanan sesin yayılmasını azaltmak ve rayların yakınındaki binaları titreşimden korumak için tasarlanmıştır [17].

Artan demiryolu trafiği hacimleri ve daha yüksek araç hızları, rayları ve noktaları sürekli artan yüklere maruz bırakmaktadır. Bu da, tek tek hat bileşenlerinin daha hızlı bozulmasına ve daha yüksek hat bakım maliyetlerine neden olur. Travers pedlerin balast üst yapılarındaki bozulmayı azalttığı gerçeği, çeşitli test bölümlerinde yapılan uzun vadeli testlerin yanı sıra hesaplamalarla da gösterilmiştir. Bu kanıtlar, Graz Teknoloji Üniversitesi tarafından Avusturya ulusal demiryolu ağı üzerinde yürütülen bir çalışma ile sağlanmıştır [6,7,18].

Avusturya Demiryolları (ÖBB), balast yataklama üzerindeki bozulmayı azaltıcı etkilerini değerlendirmek için 1997 yılında travers pedleri ile ilk testlerini gerçekleştirdi. Sonuçlarda, palet bozulma oranlarında %50'lik bir azalma gösterdi ve bu da sıkıştırma döngülerinin en az %100'lük bir uzantısını kolaylaştırdı. Bu olumlu sonuçlar nedeniyle, Avusturya Demiryolları giderek daha fazla raya travers pedleri yerleştiriyor. Belirli koşullar altında, travers pedli beton traversler artık ana hatlar ve makaslar için standart çözümdür [6,7,18].

Bu konu ile ilgili WINS projesi uygulanmıştır ve WINS projesinin amacı, tüm demiryolu ağını inceleyerek çeşitli test bölümlerinde toplanan bulguları doğrulamaktır. "1500'den fazla enine kesitte yaptığımız ölçümler, Sylomer SLB 3007G travers pedleri ile donatılmış bölümlerde önemli ölçüde geliştirilmiş hat geometrisi gösterdi. Bu, travers pedli yol bölümlerinde bakım aralıklarının uzatılabileceği ve bu bölümlerdeki yol üst yapısının genel hizmet ömrünün önemli ölçüde daha uzun olacağı anlamına gelir. Bu aynı zamanda operasyonel engellerle ilişkili maliyetleri de azaltır. Graz Teknoloji Üniversitesi Demiryolu Mühendisliği ve Ulaştırma Ekonomisi Enstitüsü enstitü müdürü ve fakülte başkanı Profesör Peter Veit, bu etkiler üst yapının yaşam döngüsü maliyetlerini önemli ölçüde düşürür, hatta daha yüksek yatırım maliyetlerini hesaba kattığını belirtti. Uzmanlar, çalışmanın sonuçlarını kullanarak, traversli bir çözümün maliyet etkinliğini hesaplamak için kullanılabilecek bir yaşam döngüsü maliyetleri hesaplama aracı geliştirdiler. Bu LCC modeli, tipik ulusal maliyet yapısını

hesaba katan izleme stratejisi için istatistiksel olarak sağlam bir karar verme yardımı sunar. Proje kesiti Şekil 2.5’de verilmiştir [6,7,18].

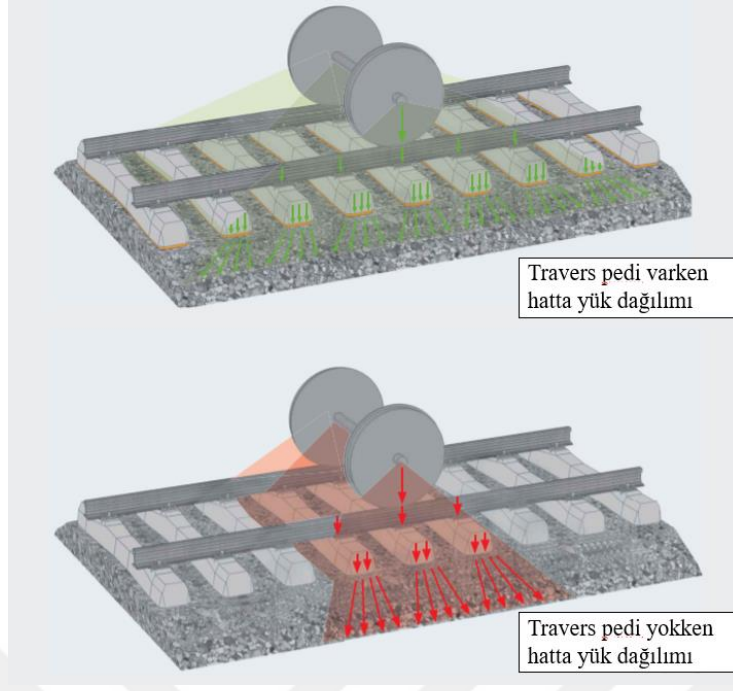


Şekil 2.5 : Travers altı ped kullanılan sistem kesiti

Son derece yüksek aks yüklerine sahip bölümlerde uzun süreli testler

LCC modelinin sonuçları, travers pedlerine yapılan yatırımın getirisinin trafik yüküne paralel olarak arttığını doğrulamaktadır. Bu, travers pedlerinin takılmasının, özellikle aşırı yüksek aks yüklerine sahip bölümlerde maliyetleri düşürmenin etkili bir yolu olduğu anlamına gelir [6,7,18].

Şekil 2.6’da pedli kullanımda raylı sistemdeki yük dağılımının daha verimli olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Travers altı ped kullanımında oluşan yük dağılımı

Geçişlerde iz sertliğinin uyarlanması

Travers altı dolgusu, sertlikteki büyük sıçramaları ve dolayısıyla sapmayı azaltmanın yanı sıra traverslerin altındaki boşlukları azaltmaya yardımcı olur. Bunlar öncelikle farklı rijitlik değerlerine sahip üst yapıların bulunduğu geçişlerde meydana gelir. Travers dolgusu, üst yapı bileşenlerinin korunmasının yanı sıra daha homojen yük uygulayan bir tren geçişi sağlar.

Yapılan araştırmalar, travers altı pedlerinin, ondülasyon ve tümsek oluşumu gibi palet hasarlarının oluşumunu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bu, özellikle kısa ray ondülasyonuna duyarlı olan dar ray kurplarında fark edilir.

Yatak sertlik değerlerinin benzer olmasında pedler önemli rol oynar. Farklı sertlik değerleri, bir tren geçtiğinde dinamik bir yük ile sonuçlanır. Bu, bakım maliyetlerini artırır ve yolcu konforunu azaltır, pistin hızlı bir şekilde aşınmasına yol açar. Ek olarak, titreşimler alt zemin yoluyla yakındaki binalara iletilir [6,7,18].

2.2 Balastsız Hatlardaki Betonarme Travers Kullanımı

Raylı sistemlerde teknolojinin gelişmesi daha hızlı trenlerin yapımına ve bu trenlere uygun hatlar yapılmasına yol açmıştır. Hali hazırda kullanılan balastlı hat üstyapı uygulamaları bu hızlı sistemler için yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle geliştirilen yeni yöntemler arasında balastsız hat üstyapıları vardır. Betonarme döşeme şeklinde kullanımı olan bu yapılar balast ihtiyacı olmadan ray bağlantıları ile hattı tamamlayabilmektedir.

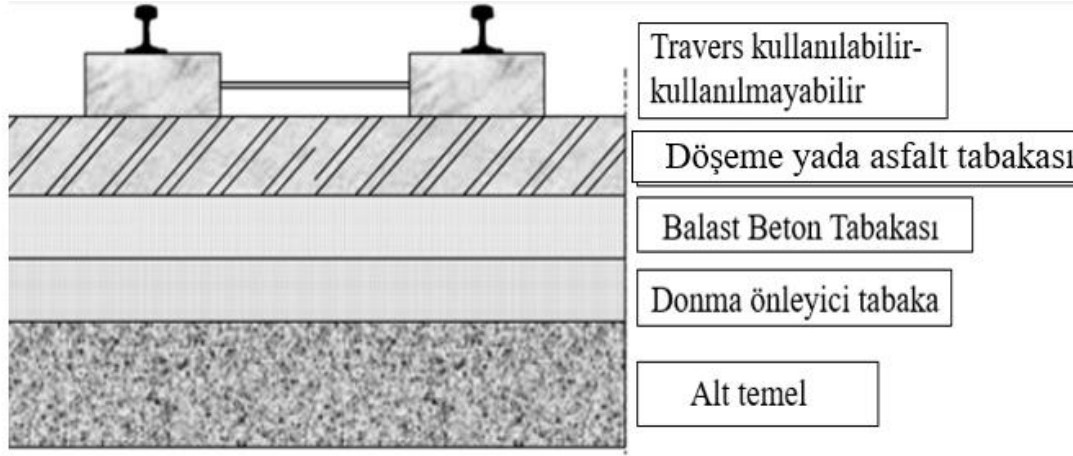
Balastlı demiryolu sistemlerinde traversler ve balast yapısı diğer birimlere göre daha çok bakım ve yenilemeye ihtiyaç duyar. Bu sistem yerine bakım ve yenilemeye daha az ihtiyaç duyan ve kullanım ömrü daha uzun olan balastsız sistemler tercihi son zamanlarda fazlaşmıştır. Yapım maliyeti yüksek olsa da, bakım maliyetinin düşük olması ve üstyapıdan gelen yüklerin altyapıya daha homojen ve güvenilir şekilde aktarılması özellikleriyle balastsız hatların tercih edilmesindeki sebepler daha ağır basmaktadır. Ayrıca bu sistem yanıl kuvvetlere karşı oluşturulan direncin fazla olması sebebiyle demiryolu araçlarının daha yüksek hızlarla gidebilmesine yardımcı olur. Balastsız hat örneği Şekil 2.7’de gösterilmiştir [11].



Şekil 2.7 : Balastsız demiryolu hattı

Balastsız hatlarda, bir beton döşeme (güçlendirilmiş veya öngerilmeli) veya bir asfalt tabakası, balastın yerini alır ve ray, doğrudan döşeme üzerinde veya sırayla beton bir döşeme üzerinde bulunan traversler üzerinde durur. Beton levhanın altına bir balast beton tabakası ve bir donma önleyici tabaka yerleştirilir (Şekil 2.8).

Bu nedenle, balastsız hat, raydan alt zemine olan gerilimleri kademeli olarak azaltmak için bir dizi ardışık katman kullanır, böylece alt zemindeki gerilim değerleri taşıma kapasitesinden daha düşük olur.



Şekil 2.8 : Balastsız sistemlerde alt katmanlar

Bununla birlikte, balastsız hattın dezavantajları da bulunmaktadır, en önemlisi daha yüksek inşaat maliyetidir. Bununla birlikte, bakımdaki tasarruflar, her ülkenin ekonomik koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, döşeme hattının bu ek maliyetini birkaç yıl içinde geri kazanabilir.

Döşeme yolu döşendikten sonra, nihai farklı oturmaların üstesinden gelmek çok zordur ve bu nedenle döşeme hattının kullanımı, iyi ve sabit bir zemin altı kalitesinin sağlanabileceği alanlarla sınırlandırılmalıdır [14].

2.2.1 Tünelde balastsız hat döşemesi kullanımı

Winchburgh tüneli

2015 yılında, EGIP elektrifikasyonunun bir parçası olarak, Winchburgh tüneli, Linlithgow'un hemen doğusunda, Edinburgh Waverley istasyonundan çıkış güzergahı üzerinde, hattın 200 mm'ye kadar düşürülmesini ve 17 milyon sterlinlik bir maliyetle döşeme hattının kurulmasını gerektirdi. Bu, İskoçya'nın merkez kuşağı boyunca tren hizmetlerini dönüştürmek için kurulan Edinburgh'dan Glasgow'a elektrifikasyon programının önemli bir unsuruydu.

Tünel 388 metre uzunluğunda ve sivri çatı profiline sahipti. Furrer+Frey rijit üstten iletken ray sistemi ile birlikte paleti 200 mm'ye kadar düşürmek, gerekli elektrifikasyon açıklığını sağlamak için yeterli olacaktı. Bu açıklığın korunduğundan

emin olmak için, yolun sabitlenmesi gerekiyordu, bu da döşeme hattının kurulumunu gerektiriyordu. Bu, ray bakımını önemli ölçüde azaltacak ve tünelden geçen hızı 80'den 90 mil / saat'e artıracaktır.

Ana yüklenici Morgan Sindall, Asfordby tüneline Old Dalby test pistinde denenmiş olmasına rağmen, Birleşik Krallık demiryolu ağında ilk kez kullanılmış olan ÖBB-PORR “Balastsız hat döşemesi Avusturya” sistemini seçti. Balastsız hat döşemesi Avusturya modelinin bir örneği Şekil 2.9’da yer almaktadır.



Şekil 2.9 : Balastsız hat döşemesi Avusturya Modeli örneği

Sistem, Avusturya Demiryolları (ÖBB) ve Viyana merkezli beton yapı uzmanı Porr tarafından ortaklaşa geliştirildi. İlk olarak 1989'da kullanıldı, 1995'ten beri Avusturya'nın standart levha ray sistemi oldu ve ayrıca Erfurt'tan Leipzig'e yüksek hızlı hattın 180 km'sini kullandığı 2001'den beri Almanya'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sistemin ana unsuru, sekiz çift ray bağlantısına sahip 160 mm kalınlığındaki beton levhadır. Düz yol ve farklı eğriler için farklı geometriler vardır. Plakalar, plakadaki beş kaldırma vidası kullanılarak doğru bir şekilde konumlandırıldıktan sonra taban plakasındaki dikdörtgen konik açıklıklardan dökülen kendiliğinden yerleşen beton (SCC) kullanılarak bir temel katmanına sabitlenir.

Prefabrik levha, titreşimi emen elastik bir kauçuk kaplamaya sahiptir.

Rhomberg Sersa, deneme için Asfordby tüneline balastsız hat döşemesi Avusturya sistemini kurmuştu ve Winchburgh tüneline 188 adet beş metrelik levhayı kurmak için sözleşme imzalamıştı.

Beton taban levhası Babcock tarafından döküldü, ardından Rhomberg Sersa'nın tüm levhaları tek bir hat üzerinde doğru bir şekilde konumlandırması iki gün sürdü. Yeterli döşeme olduğunda, doğru konumlandırmayı sağlamak için üzerlerine 110 metre uzunluğunda raylar takıldı.

SCC çok akışkan olduğu için su geçirmez kalıba ihtiyaç duyuldu. SCC dökümünden sonra, pistin trafiği taşımaya hazır olması 24 saat sürdü. Ardından, döşeme yolu tamamlandı ve süreç, alt hat için tekrarlanmaya hazır [19].

2.2.2 Köprülerde balastsız hat döşemesi kullanımı

Bazı tipik mekanik davranışların dikkate alınmaması durumunda, döşeme yolunun köprüler boyunca devam etmesi problemlere neden olabilir. Bir köprü, döşeme yolu için sağlam bir temel sağlar, ancak aslında bir süreksizlik görevi görür. Sıcaklık değişimlerinden dolayı, köprü yapısının boyuna hareketleri meydana gelir. Trafik yükü, köprü açıklıklarının bükülmesine ve kenarların destekler üzerinde bükülmesine neden olur. Üst yapı bu hareketlerle başa çıkabilmelidir.

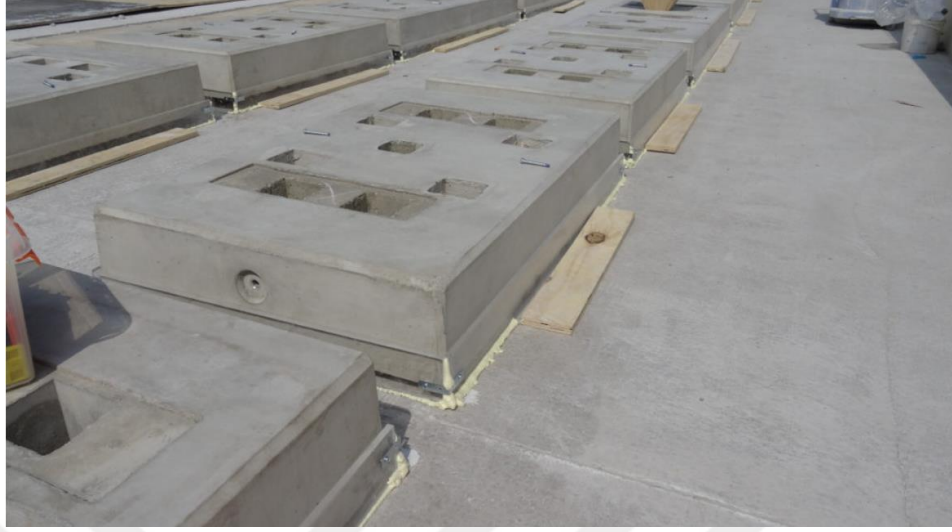
Kısa köprülere döşeme ray sistemleri uygulayarak, birkaç çözüm mümkündür:

- Betonarme yol yatağının üzerindeki traversler köprü tabliyesine rijit bir şekilde bağlanmışsa veya doğrudan ray bağlantı sistemleri kullanılıyorsa, köprü'nün hareketleri azaltılmış bağlama kuvveti ile ray bağlantılarında dengelenir.
- Köprüye rijit bir şekilde bağlanmış sürekli bir ray desteği olması durumunda, 15 m'ye kadar maksimum aktif uzatılabilir köprü açıklıklarına izin verilir. Uzatma cihazları ve derzler uygulanarak daha büyük açıklıklar mümkündür
- Kayar levhalar, köprü yapısı, üstte "kayan" döşeme rayının altında serbestçe hareket edebilir. Bu seçenek, 25 m'ye kadar serbestçe uzatılabilen köprü açıklıklarıyla sınırlıdır.
- Yol yatağında ray çerçevesi - ray, beton veya asfalt beton yol yatağının üzerinde serbestçe hareket edebilir. Bu çözüm, köprü yapıları üzerindeki traverslerin olası hareketleri ve bükülmeleri nedeniyle mevcuttur [5].

New Bailey Street Köprüsü

Köprü'nün kendisi için, döşeme ray sisteminin bir kaide çeşidi seçilmiştir, ancak yeni köprü'nün tasarım gereksinimleri nedeniyle, gelecekte kaidenin

çıkarılmasına/değiştirilmesine izin veren tamamen yeni bir sabitleme yöntemi geliştirilmiştir (şekil 2.10).



şekil 2.10 : New Bailey Street Köprüsü

Her bir kaide ünitesi, kaide geometrisine tam olarak uyacak şekilde köprü güvertesindeki karot delinmiş açıklıklara oturan, onu sabitlemek için özel olarak tasarlanmış dört mil ve ankraja sahiptir. Yerleştirildikten sonra, kaideler miller kullanılarak yüksekliği ayarlanır, milleri ve ankrajları çevreleyen altlarındaki boşlukları doldurmak için kaidelerin içinden yüksek özellikli bir harç dökülür.

Bu tasarım, gerektiğinde herhangi bir tekli kaidenin hızlı ve etkili bir şekilde çıkarılmasına/değiştirilmesine olanak tanır.

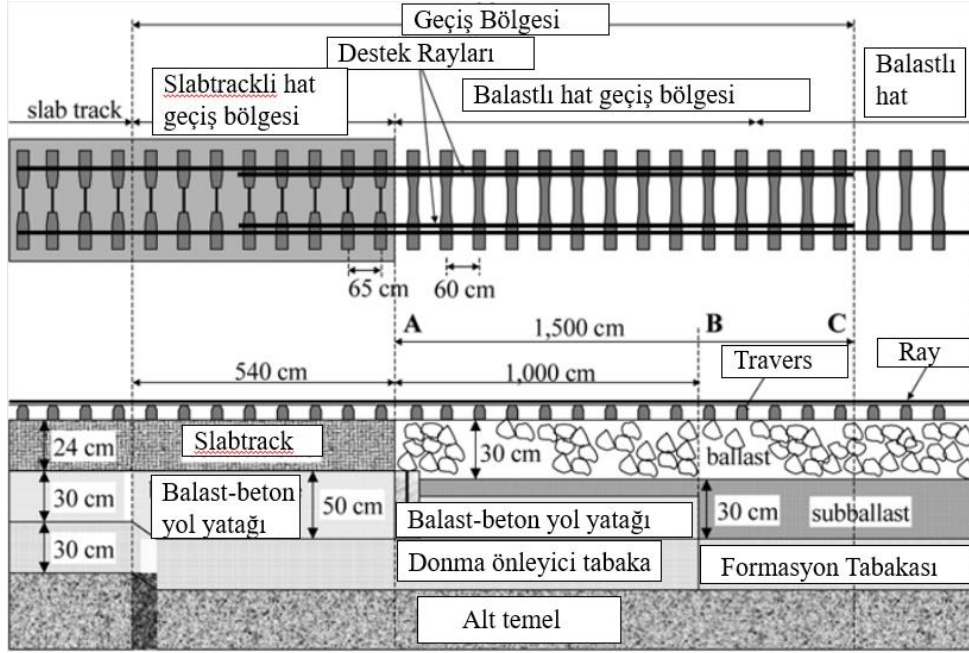
Ray nihai tasarım konumuna geldiğinde ve ± 1 mm'lik bir doğruluk elde edildiğinde, taban plakalarını stabilize etmek ve sabitlemek için harç dökülür.

Balasttan döşemeye geçişi oluşturmak için bir konsol sistemi takılır [19].

2.2.3 Balastsız hattan balastlı hatta geçişlerde travers kullanımı

Balastsız hat, balastlı hatta kıyasla daha yüksek bir sertliğe ve daha düşük bir esnekliğe sahiptir. Ancak, genel yolculuk kalitesi ve yolcuların konforu bir kilometreden diğerine değişmemelidir. Bu nedenle balastlı ve panelli hat arasında bir geçiş bölgesi mümkün olduğunca dikkatli tasarlanmalıdır. Her balastsız hat döşemesi tekniğinin geçiş bölgesi için kendine has özellikleri vardır. Aşağıda Rheda sistemi için bir geçiş bölgesi tasarımı anlatılmaktadır (şekil 2.11).

- Geçiş döşemesi bölümünde döşeme altındaki balast beton tabakası 30cm'den 50cm'ye çıkarılır,
- Balastlı geçiş bölümünde balast taneleri ve taşlar birbirine yapıştırılır. Bu kısımda, balast beton tabakası uzatılır ve kısmen alt balastın yerini alır,
- Her bir rayın iç kısmındaki geçiş bölgesi boyunca iki yardımcı ray yerleştirilir,
- Donma önleyici katman ayrıca geçiş bölgesinin önemli kısmına kadar uzanır [14].



Şekil 2.11 : Rheda sistemi balastsız hattan balastlı hatta geçiş detayı

2.2.4 Geçiş gereksinimleri

Alt ve üst yapıda geçişler olduğu gibi her türden farklı türler arasında da geçişler olur. Altyapıda setler, köprüler ve tüneller arasında geçişler meydana gelir. Üst yapıda balastsız hat ile balastlı hat arasında geçişler bulunmaktadır. Geçişler, her iki palet yapısının elastik özelliklerindeki farkı yumuşatmak için özel önlemler gerektirir.

Bir ray türünden diğerine geçişlerde, trafik yükü ve sıcaklıktan kaynaklanan kuvvetlerin sorunsuz bir şekilde iletilmesi gerekir. Yapı yüksekliğindeki farklılıklarla ilgili sorunlar ortaya çıkabilir. Arada bir derz kullanmak ve her iki ucu özel bir ankrajla uygulamak bile gerekli olabilir.

Döşeme yolundan balastlı hatta geçişlerle ilgili olarak, rijitlik, esneklik ve oturma davranışı bakımından temelde farklı olan iki yapı birbirine bağlanmalıdır. Bu adaptasyon birkaç yolla sağlanabilir.

- Sertlik: ray sabitlemesinin esnekliğinde kademeli bir azalma;
- Esneklik: 20 metre uzunluğunda iki ekstra ray uygulaması
- Yerleşim: kimyasal bağlayıcılarla balastın stabilize edilmesi
- Yerleşim ve esneklik: Alt balast yerine beton yol yatağının en az 10 metre uzunluğunda uzatılması
- Yerleşim: balastlı yolun başlangıcında tampon olarak yatay bir levha ile birlikte döşeme hattının sonunda güçlendirilmiş bir ankraj uygulaması

Köprüler ve döşeme yolu arasındaki geçiş belirli önlemleri içerir. Çelik ve beton köprüler arasında farklılıklar vardır, ancak seçilen çözüm aynı zamanda köprünün uzunluğuna da bağlıdır [5].

2.3 Betonarme Traverslerin Diğer Kullanım Alanları ve Geri Dönüştürülmesi

Betonarme traversler balastlı ve balastsız hattın dışında değerlendirilebilecek farklı kullanım alanlarına da sahiptir.

Makas bölgelerindeki kullanım temelde balastlı hatlardaki kullanımla örtüşse de boyut ve ray yapısı farklılaşmasından dolayı bazı önemli noktaları vardır ve bu bölümde değinilecektir.

Makas bölgelerindeki travers kullanımı

Beton traverslerin döşeneceği makas yerleri 30 cm kalınlığında temiz balast yastığına sahip olmalıdır. Hendekte ekstra balast bulunmalı ve alan iyi drenaja sahip olmalıdır. Alanın mevcudiyetine ve diğer çeşitli saha koşullarına bağlı olarak, beton travers makaslarının döşenmesi için aşağıdaki üç metodolojiden biri veya bunların kombinasyonları benimsenebilir.

- Makasın yerinde montajı ve blok süresi boyunca vinç veya makaralarla değiştirilmesi.
- Montajı yapılan makasın parçalarının vagonlarda taşınması ve blok süresi boyunca değiştirilmesi.
- Tek ünite olarak monte edilebilen makas noktası hariç mevcut makasın travers ile değiştirilmesi.

Montaj ve döşeme normalde uygun kapasitede bir vinç kullanılarak yapılmalıdır. Eski makas traversleri çıkarıldıktan sonra, makaslar için beton traverslerin alt seviyesindeki

balast yatağı düzleştirilmelidir. Balast yatağının sıkıştırılması için mümkün olduğunca titreşimli silindirler kullanılmalıdır. Şekil 2.12’de bir makas bölgesi örneği gösterilmiştir [20].



Şekil 2.12 : Demiryolu makas bölgesi

Öngerilmeli beton travers Deutsche Bahn (DB) ile yakın işbirliği içinde geliştirildi. Bir geliştirme sözleşmesi kapsamında, 1981 yılında Dyckerhoff & Widmann tarafından iki prototip üretildi ve operasyonel bir DB hattına kuruldu. Yüksek trafik yoğunluğu altında test edildikten sonra, 1984’ün başlarında yurtiçinde ve yurtdışında seri üretime başlandı. Son gelişmeler, makas traverslerinin üretimi için “kendiliğinden yerleşen betona” yöneliktir. İlk numune traversleri 2003 yılının başında Avusturya’nın Linz kentindeki bir P-TEC fabrikasında üretildi.

Öngerilmeli beton makas traversleri, çok çeşitli nokta, bağlantı, geçiş ve genişleme cihazları için kullanılır. Benzer şekilde, makas bağlantıları gibi özel yapılar da P-TEC tarafından sağlanabilir. Pratik olarak, bir makastaki her traversin farklı bir uzunluğu ve ayrıca oluklu bağlantı plakalarının konumu ve türü vardır. Örneğin, 1200 m yarıçaplı ve 158 beton travers içeren bir geçiş için, en az 132 ray koltuk pozisyonu gereklidir.

Bu kadar geniş bir travers çeşidini ekonomik olarak üretebilmek için P-TEC, beklenen varyansa uygun çözümler sunmaktadır. Olası versiyonların sayısı biliniyorsa, üretim

sırasında ilgili traverslere özel ray oturma konumlarında delikler bulunan yerleştirme plakaları kullanılır. Bu durumda, her travers tipi için uygun bir yerleştirme plakası gereklidir. Makaralar küçük miktarlarda üretilecekse ray bağlantı elemanı konumlarının ekleme plakalarında değişken olarak tanımlanabilmesi gerekir. Bu durumlar için P-TEC, özel taban plakaları olmadan işleyen bir prosedür geliştirmiştir [21].

Demiryolu makasları, bir treni belirli bir yönden veya belirli bir hattan diğer yönlere veya diğer raylara yönlendirmek için kullanılan özel bir ray sistemidir. Çelik raylar, geçişler, çelik plakalar, lastik tamponlar, yalıtkanlar, bağlantı elemanları, vidalı çiviler, kiriş taşıyıcılardan oluşan yapısal bir ızgara sistemidir. Yapısal katmanları tutarlı bir şekilde açık plan bir yola göre tasarlanmıştır. İki tür katılım vardır, geleneksel katılım ve teğet katılım. Standart konvansiyonel makaslar, tipik olarak düz ana hat yolu için tasarlanmıştır. Anahtar uzunluğu, topuk açısı ve çapraz oranın kombinasyonu, katılım tipini tanımlar ve hepsi tipik olarak aynı bileşenlere sahiptir. Teğetsel katılımlar, katılımın yarıçapı ile tanımlanır. Üreticiler standart konfigürasyon üzerine kendi tasarımlarını yerleştirdikçe, teğetsel katılımındaki bileşenler değişiklik gösterir. Geleneksel makas yapısı, kör geometrisi ve kapatma rayları ile anahtar rayları arasındaki mekanik bağlantılar (yani topuk bloğu eklemleri) nedeniyle genellikle yapısal elemanlarına yüksek darbe kuvvetleri verir. Buna karşılık, katılım payı taşıyanların yapısal davranışı tam olarak araştırılmamıştır. Bir demiryolu makas sistemi genellikle bir ızgara kiriş yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sadeleştirme yararlı olsa da, böyle bir yöntem, katılım bileşenlerinin başarısızlık analizlerine yeterince yardımcı olamaz. Bazı durumlarda, ızgara kiriş yöntemini kullanan sonuçların, çapraz panelde maksimum eğilme ve kesme kuvvetlerinin belirgin olduğu saha gözlemleriyle tutarsızlıkları olduğu görülmektedir [8].

Edilon blok raylı sistemi

Edilon blok yolu esas olarak köprüler ve tüneller için kullanılır. Bu sistemde ilk adım, rayları ve blokları yerine yerleştirmektir. Bloklar daha sonra (gerekli elastik desteği sağlamak için) Corkelast kullanılarak beton levhaya dökülür. Bu, lastik bağlantı bloklarının betona döküldüğü diğer sistemlere benzer (örneğin, Stedef sistemi, Sonneville düşük titreşimli ray sistemi ve İsviçre Walo sistemi). Edilon sistemi, Hollanda'da demiryollarında ve hafif raylı sistemlerde 100 km'nin (62 mil) üzerinde

ve Madrid metro sisteminin 100 km'nin (62 mil) üzerinde kullanılmıştır (Şekil 2.13) [16].

Corkelast tabanlı blok sistemi, kolay ve esnek bir kurulum ve dolayısıyla çok kısa hizmet dışı kalma süresi sunar. Ayrıca oldukça dayanıklıdır. Sistem, nemli ve/veya korozyon riski olan alanlarda önemli olan dinamik yüklerin, titreşimlerin ve mükemmel elektrik yalıtımının güçlü bir şekilde azaltılmasını sağlar [31].



Şekil 2.13 : Edilon blok raylı sistemi

Güverte yolu

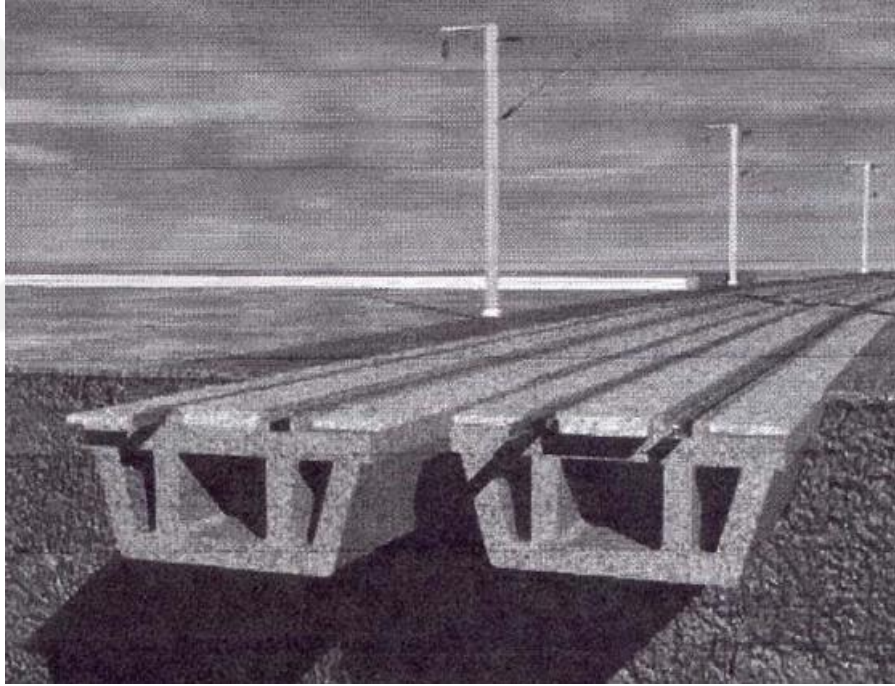
Çok yüksek bükülme sertliğine sahip gömülü ray yapısına bir örnek "Güverte Yolu" olarak adlandırılır. Güverte Parkuru, yumuşak zeminlerde kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmıştır ve zemine döşenen sürekli yerinde veya prefabrike beton taşıyıcıdan oluşur.

Üstte, raylar doğrudan gömülü ray olarak veya doğrudan sabitleme ile uygulanabilir. Beton güverte, kaldırılan toprağın kütlesi ile aşağı yukarı aynı ağırlığa sahip içi boş bir boru olarak düşünülebilir. Yapının ağırlığından dolayı herhangi bir oturma olmayacaktır.

Yapının yüksek bükülme sertliği, farklı oturmaları önler ve titreşimleri azaltır. Yüksek burulma sertliği, yumuşak zeminlerde bile palet için dengeli bir temel sağlar. Parkurun yerel çökmesi engellenir. Güverte yolu bir köprü görevi görebildiği ve bu zayıf

noktaları kapatabildiği için, zemindeki yerel taşıma gücü eksikliği sorunlara neden olmaz. Kütle oranı üzerindeki yüksek rijitlik, zemine çok az titreşimin iletilmesine neden olur ve güverte yolunu yüksek hızlı trafik ve yumuşak zeminlerde uygulama için uygun bir yapı haline getirir.

Halihazırda, Rotterdam'da (Hollanda) 200 m'lik bir test parkuru, parkurun uzun vadeli oturması ile ilgili olarak izlenmektedir (Şekil 2.14). Parkurun trafik yükü, üniform ancak sınırlı toprak oturmalarına neden olmaktadır. Ray yapısı doğrudan beton yapıya bağlıyken, bir ray için geçerli olan aynı konumlandırma ve deformasyon gereksinimleri beton yapıya da uygulanacaktır. Test, yol geometrisinin uzun bir süre inşaat sonrasındaki kalitede kaldığını ve yapının oturmalarına rağmen yol kalitesinin önemli ölçüde bozulmadığını göstermiştir [5].



Şekil 2.14 : Güverte yolu raylı sistemi

Bina temellerinde ve diğer bölgelerde kullanımı ve geri dönüşümü

Demiryolu traversleri uygun fiyatlıdır, bulmak yeterince kolaydır ve bu tür malzemelerin taşınması sorun olmaz. Pek çok kişi, traverslerin uzun süre demiryolu kaplaması görevi gördüğüne ve güçlerini yitirdiğine inandıkları için bir evin temeli için travers kullanma fikrine karşı olumsuz bir tutum içindedir. Ancak gerçekte durum böyle değil, traversler özel olarak kreozot ile işlenir ve sınırsız hizmet ömrüne sahiptir, bu da herhangi bir bina için sağlam bir temel olmalarını sağlar. Eğer kullanılmış

betonarme traversler seçilecekse traversler üzerinde çatlakların oluşmadığına dikkat edilmelidir.

- Ahşap bir ve iki katlı çerçeve evler
- Tek katlı tuğla evler
- Hafif tek katlı yazlık evler, hangarlar ve seralar

gibi binaların temellerinde betonarme travers kullanımları görülmektedir.

Kullanılmış betonarme traverslerden bir şerit temelin inşası ile ilgili ana çalışmayı gerçekleştirmenin kısa bir sırası;

- Başlangıçta, gerekli derinlik ve genişlikte bir hendek kazılır
- Daha sonra kalıp kurulur ve 10-15 cm kalınlığında bir kum yastığı döşenir
- Hendeğin dibine 10-20 cm kalınlığında bir beton karışımı tabakası döşenir ve ardından traversler monte edilir (Şekil 2.15)
- Traversler tuğlalar gibi şaşırtmalı şekilde döşenir
- Temelin sağlamlığını sağlamak için, kullanılmış betonarme traverslerle birlikte, donatılardan yapılmış traversleri çevreleyen bir takviye kafesi kullanılır (Şekil 2.16)



Şekil 2.15 : Betonarme traverslerin hendeklerde kullanımı



Şekil 2.16 : Betonarme traverslerin temellerde kullanımı

Geri dönüşüm süreci

Betonarme traverslerin geri dönüşümü için M100 makinesi kullanılır. Saatlik 500 travers ve üzeri adetlere ulaşılabilir. Geri dönüşüm sürecinden bir kesit Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17 : Betonarme traverslerin geri dönüşümü

Demiryolu traverslerinin betonu, geri dönüşüm işlemi sırasında küçük parçalara bölünür, böylece demiryolu bağının içerdiği çelik, makine içindeki betondan ayrılır.

Ayırma işlemi uzun demir telleri betondan ve demiryolu traverslerinin çelik plakalarından ayırır.

Son olarak, üç malzemeden üç yığın, konveyör bant dağıtım sistemi tarafından bağımsız olarak oluşturulur.

Travers başına işlem süresi 8,6 saniyedir.

Ezilmiş beton daha sonra herhangi bir sorun olmadan doğrudan inşaat malzemesi olarak bile kullanılabilir. Uzun demirler ve demir plakalar da molozdan %99'un üzerinde bir saflıkla ayrılır.

İşleme süresi, traverslerin betonunu sadece bir kırma aşamasında 0 - 80 mm tane boyutuna kadar kırma mümkün olacak şekilde düzenlenebilir.

Bununla birlikte, daha küçük bir kırma eğrisinde hala gerekliyse, M100, saf kırılmış betonu doğrudan başka bir kırıcıya besleyebilir [22].

Eski demiryollarının yeniden inşası ve modernizasyonu, eski betonarme traverslerin elden çıkarılması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bir olasılık, traversleri eski traverslerin ezildiği bir geri dönüşüm tesisine nakletmek ve üretilen beton döküntülerini değerlendirmektir. Kaldırılan eski traversler doğrudan geri dönüştürülse ve bentleri destekleyen veya alt toprağı iyileştiren bir malzeme olarak sahada kullanılsaydı, nakliyenin ortadan kaldırılması nedeniyle başka bir maliyet düşüşü olurdu. Bu fikir geçmişte Çek Cumhuriyeti'nde ve yurtdışında da zaten önerildi. Geri dönüşüm, kaynak malzemenin, yani eski traverslerden betonun 0/0.125 mm'lik bir boyut fraksiyonuna çok ince bir şekilde öğütülmesiyle gerçekleştirilebilir (Şekil 2.18). Bu malzeme daha sonra, malzeme yalnızca öğütülmüş olduğundan ve 1400°C sıcaklıkta yakılması gereken geleneksel Portland çimentosu gibi herhangi bir yüksek sıcaklıkta kürlleme (ateşleme) gerektirmediğinden, önemli bir maliyet düşüşü sağlayacak bir bağlayıcı olarak kullanılabilir. Daha önce belirtildiği gibi, eski traverslerden elde edilen geri dönüştürülmüş beton, esas olarak yeni yerleştirilenlerin altındaki alt toprağın iyileştirilmesi için kullanım bulabilir. Bu zemin altı mukavemetinin ve sertliğinin iyileştirilmesine yol açacaktır. Güçlendirici bağlayıcının kütle kısmı, kuru zeminin kütleline bağlı olarak genellikle % 1 ila 4 arasındadır. Demiryolu yatağını oluşturan toprak, çakıl veya diğer granüler malzemelerin stabilizasyonu için, bağlayıcı maddenin yaygın olarak kullanılan miktarı yaklaşık %3

ila 15'tir ve bu malzemenin yönüne ve yüklenmesine bağlı olarak 1.0 ila 2.5 MPa arasında basınç dayanımı sağlamalıdır [12].



Şekil 2.18 : Betonarme traverslerden örnek öğütülmesi

İncelenen malzeme, bir geri dönüşüm tesisinde kırılan eski beton demiryolu traverslerinden hazırlanır. 0-63 mm boyutundaki üretilen döküntüden 0-16 mm'lik kısım eleme ile ayrılır ve bilyalı değirmen RETCH kullanılarak daha da parçalanır. İnce öğütülmüş ürün daha sonra incelenen numunelerin hazırlanması için gerekli olan 0-0.125 mm boyut fraksiyonunu elde etmek için elenir. Test edilen numuneler, 20×20×100 mm boyutlarında prizmatik biçimdedir. Üç farklı malzeme seti test edilir. İlki “Geri Dönüştürülmüş Çimento A” olarak adlandırılır ve hazırlandıktan sonra 2 gün standart laboratuvar koşullarında yani 20°C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde kürlenir. “Geri dönüştürülmüş çimento B” olarak adlandırılan ikinci set, 4 hafta boyunca 20°C sıcaklıkta suda sertleşir. Üçüncü set referans malzeme olarak kullanılmış, ticari olarak satılan çimento CEM I 42.5 R'den (Radotın, Çek Cumhuriyeti) yapılmış ve “Referans çimento C” olarak belirtilmiş ve 4 hafta boyunca üretiminin ikinci gününden itibaren su altına alınır. Tüm numunelerin su/bağlayıcı oranı 0,41'e eşittir. Tüm malzemeler 6 test edilmiş numune ile temsil edilir. Hazırlanan numunelerin tahribatlı testleri, üretimlerinden 5 hafta sonra gerçekleştirilir [12].

Eski demiryolu traverslerinden geri dönüştürülmüş betonun, bağlayıcı olarak kullanılması amaçlanan ince taneli çimento üretimi için kullanılması olasılığı deneysel olarak doğrulanır. Geri dönüştürülmüş çimento esaslı macunların basınç ve eğilme mukavemeti, beklendiği gibi, geleneksel olarak kullanılan Portland çimentosundan yapılan numunelere kıyasla düşüktür. Ancak uygun kütleme koşulları ile yani ıslak ortamda sertleştirme ile arttırılabilir. 1.0 ila 1.7 MPa'ya ulaşan düşük basınç dayanımlarına rağmen, geri dönüştürülmüş çimento esaslı bağlayıcılar, alt toprak veya bentlerin stabilizasyonu için kullanılabilir [12].

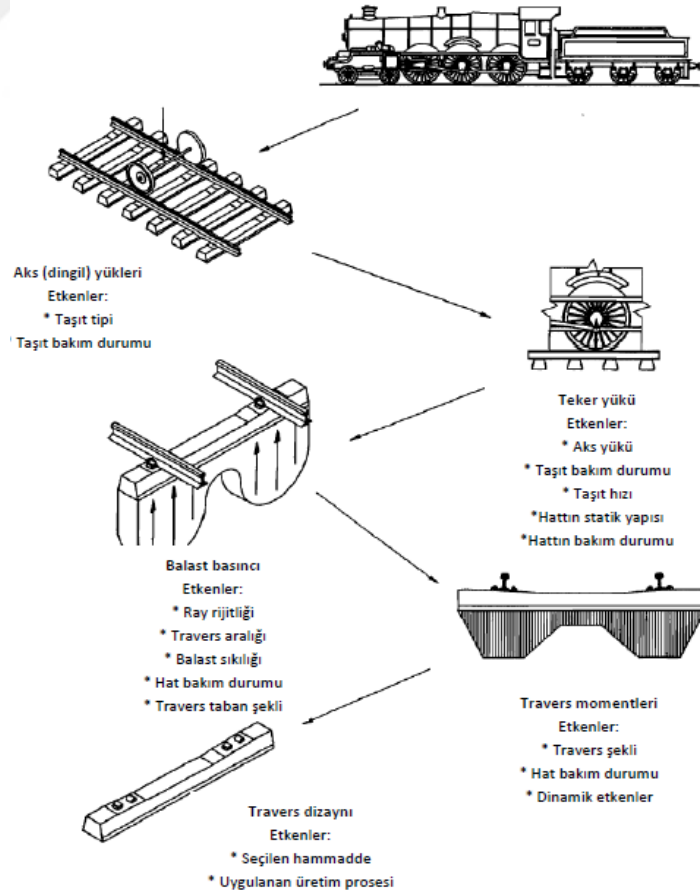


3. BETONARME TRAVERSLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Farklı tipte betonarme traversler mevcuttur ve bu farklı tiplerin üretiminde de farklı yöntemler izlenir. Bu bölümde ilk olarak betonarme traverslerin tasarımı sırasında belirlenen kabüllerden bahsedilecektir. Devamında traverslerin üretimi için fabrikaların sahip olması gereken temel özellikleri ve üretim prosesleri anlatılacaktır. Betonarme travers çeşitleri ve bunların farklı tarzdaki üretim yöntemleri belirtilerek çalışma devam ettirilecektir.

3.1 Betonarme Traverslerin Tasarım Yüklerinin Kabulü

Travers dizayn prosesi, kilit aşamaları ve değişkenleri Şekil 3.1’de detaylandırılmıştır.



Şekil 3.1 : Travers dizayn prosesi, kilit aşamaları ve değişkenleri

Travers tasarımı yapılırken hesaplamaları ve değerleri UIC tarafından belirlenen aşağıdaki yükler ve özelliklerin göz önüne alınması gerekmektedir.

- Minimum Kesme Kuvveti: 3 Mpa
- Normal Servis Dinamik Faktörü (γ_v)
 - o Hız < 200 km/sa: 0,50,
 - o Hız $\geq$ 200 km/sa: 0,75
- Elastik Ray Pedi (γ_p)
 - o Düşük Sönümlleme < 15%; 1,0
 - o Orta Sönümlleme > 15-30%; 0,89
 - o Yüksek Sönümlleme > 30%; 0,78
- İstisnai Yükleme Katsayıları (k_1 , k_2)
 - o k_1 : 1,8 (statik), 1,5 (dinamik)
 - o k_2 : 2,5 (statik), 2,2 (dinamik)
- Traversler Arası Yükün Paylaşımı (γ_d): 0,5
- İlave Kısmi Faktörler (γ_r , γ_i)
 - o Balastın travers altındaki desteğinin azalması durumu (γ_r): 1,35
 - o Travers altındaki boylamasına düzensizliklerin artması durumu (γ_i): 1,6
- Yanal Yükler
 - o Kurb yükleri
 - o Dinamik boylamasına yükler
 - o Rüzgar yükleri
- Ray Oturma Alanı Dizayn Yüğü (P_d)

$$P_d = Q_0/2 (1 + \gamma_p \times \gamma_v) \times \gamma_d \times \gamma_r \quad (3.1)$$

Zemin Modelleri

1860'lı yıllarda Winkler yaptığı çalışmalarda zemini bağımsız ve lineer bir yay olarak yorumlayıp sürekli elastik temel kavramını tanımlamıştır. Winkler'in bu yaklaşımı doğru bir yaklaşım olsa da tam olarak kesin sonuçlara götüren bir yöntem olmamıştır

ve ilerleyen dönemlerde sürekli kiriş modellerinin ve döşeme elemanlarının modellenmesi için birçok farklı çalışmalara gidilmiştir [34].

Pasternak, geliştirdiği zemin modelinde Winkler'in yaklaşımına ilave olarak, zemini karakterize eden yay elemanları arasında bir kesme etkileşimi olduğunu kabul eder. Bu kabulü matematiksel olarak yansıtabilmek için temel alt yüzeyi ile zemin yayları arasında sadece yatay kesme altında deforme olan düşeyde sıkışmayan bir plaka kabul eder [34].

Filonenko-Borodich zemin modelinde yay elemanlar arasında etkileşimi dikkate almak için zemin yaylarının üst yüzeyinde sabit bir T gerilmesi altında gergin elastik bir membran kabulü yapılmıştır. Hetényi ise zemin modelinde yay elemanlar arasında etkileşimi dikkate almak için üç boyutlu zemin modelleri için bağımsız yaylarının üst yüzeyinde bulunan, sadece eğilme etkileri altında şekil değiştiren bir eğilme plağı kabulü yapılmıştır. V.Z. Vlasov ve E. Reissner zeminlerin sürekli ortam olduğu kabulünden yola çıkarak kendi isimleri ile anılan iki farklı zemin modeli geliştirmişlerdir [34].

3.2 Betonarme Traverslerin Üretimi ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi

3.2.1 Ülkemizdeki betonarme travers fabrikalarının üretim süreci

Betonarme travers fabrikaları üretim tesisleri en güncel teknoloji kullanılarak geliştirilir, yarı otomatik kesintisiz üretim yapabilen döner-konveyör sistemine dayalıdır. Döner-konveyör sistemi, işçilik, malzeme ve kalite güvence açısından diğer üretim teknolojilerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır. Kesintisiz üretim uygulaması sayesinde üretim süreçlerinde darboğazlar ve üretim dalgalanmaları elimine edilerek, teslim güvencesi optimum seviyede tutulmaktadır. 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.

3.2.1.1 Karusel metod

“Karusel” sistemleri işçi ve malzeme kullanımında diğer üretim sistemlerine göre önemli avantajlar sunar. Üretim döngüsü sürekli ve çalışma alanları sabit olduğu için, işçilik kaynakları tüm aşamalarda gerektiğinde yoğunlaştırılabilir, böylece ekstra işçi gereken yerlerde fazla istihdam olmadan çözüm üretilebilir. Üretim sistemi, kalıpların sürekli bir kapalı devre içinde, yatay ve dikey eksenlerde hareket ettiği konveyör sisteminden oluşur. Kalıplar tesis boyunca bir istasyondan diğerine eşzamanlı hareket ettirilirken küre tabi olmuş traversler de ürün istasyonuna gider. Her istasyonda, her kritik operasyonun bilgisayarlı kalite kontrol kayıtları saklanarak, farklı imalatlar gerçekleştirir. “Karusel” metodu ile aynı vardiyada farklı tipte travers üretmek mümkündür [25].

3.2.1.2 Ekipmanlar

Yükleyici, Tavan Vinci, Beton Santrali, Santral Mikseri, Çimento Silosu, Glenium Tankı, Bunkerler, Beton Santral Kovası, Vibrasyon Sehpa, Döküm Arabası, Donatı Ünitesi, Kalıp Yağlama Ünitesi, Kalıp Bağlama Bandı, Kalıp Devirme Ünitesi, Devirme Ünitesi Bandı, Gerilim Boşaltma Ünitesi, Gerilim Boşaltma Bandı, İstif, 1-12 Kür Odaları (Şekil 3.2), Plan Vinç, İç Aydınlatma, Hava Kompresörü, Basınçlı Hava Tankı, Lng Tankı, Scada, Buhar Jeneratörü, Su Isıtma Sistemi, İç Alan Isıtma, Ters Ozmoz Su Yumuşatma Sis, Travers Üretim Kalıbı, Tavan Vinç, Travers Test Cihazı, Beton Test Presi, Kür Havuzu, Etüv, Elek, Tork El Aleti, Doğrusallık Mastarı, Gönye, Kalınlık Mastarı – Sentil (Şekil 3.6), Termometre, Sıcaklık Nem Ölçer, Çelik Cetvel, Mezur, Terazî, Büret, Piknometre, Şerit Metre, Hidrometre, Su Banyosu, Kumpas, Silindir Numune Kalıbı, Ph Metre, Bölgeç, Beton Hava Ölçer (Şekil 3.4), Kütle Seti, Tork El Aleti, Komparasör Saati, Beton Mikseri, Yüzey Aşındırma Cihazı (Şekil 3.5), Vibrasyon Masası (Şekil 3.3), Çatlak Mikroskobu, Çatlak Kalınlığı Ölçme Seti



Şekil 3.2 : Betonarme travers kür odası



Şekil 3.3 : Vibrasyon sehpası



Şekil 3.4 : Beton hava boşluk ölçer



Şekil 3.5 : Yüzey aşındırma cihazı



Şekil 3.6 : Sentil [30]

3.2.1.3 Üretim Aşamaları

- Hammaddelerin Temini ve Uygunluklarının Kontrolü

Beton travers üretiminde kullanılacak hammaddelerin uygunluklarının kontrolü, genel anlamda ilgili malzemeye ait standartlara, teknik şartnamelere ve üretici firmalardan alınan sertifikalara göre yapılır. Ayrıca travers fabrikası içerisinde bulunan laboratuvar da TS ve EN standartlarına uygun kalibrasyonu yapılmış ölçme ve test cihazlarıyla rutin uygunluk kontrolleri yapılmakta, uygun olmayan malzemeler, fabrika sahası içerisinde ayrılmış özel alanlarda toplanmaktadır.

- Öngerme Elemanların Hazırlanması

Öngerilmeli beton travers tasarımına uygun çelik öngerme telleri donatı hazırlama makinesinin tel yükleme alanına konur. Alın plakaları, çelik öngerme tellerine monte edilir. Öngerme işlemi sırasında çelik tellerin, bağlandığı lamalardan kurtulmasını engellemek amacıyla uçları ünitadaki makineler tarafından perçinlenir.

- Kalıp Hazırlama

Öngerilmeli beton travers tasarımına uygun olarak temin edilen kalıplara imalat başlamadan önce kılavuz antenleri monte edilir ve kalıplar yağlama ünitesinde yağlanır. Ardından hazırlanan öngerme elemanları ilgili üniteye otomatik olarak kalıp içine yerleştirilir. Üretim operatörü; plastik dübelleri, öngerme işlemi için gerekli tie-rod ve boltları kalıba monte eder ve bir sonraki operasyon için gerekli olan kontrolleri gerçekleştirir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Kalıp hazırlanması

- Öngerme İşlemleri

Öngerme işlemi, plastik deformasyon olmayacak hızda bilgisayar kontrollü öngerme makinası tarafından yüksek hassasiyetle otomatik olarak gerçekleştirilir.

- Beton Üretimi

Beton travers tasarımı sırasında belirlenen beton dayanım sınıfına uygun mix-dizayn, üretime başlanmadan önce yapılan laboratuvar çalışmalarında oluşturulur. Bu mix-dizayna uygun beton hammaddeleri temin edilir. Beton travers fabrikası dahilinde kurulan tam otomatik beton santralinde hammaddeler belirli oranlarda birleştirilerek istenilen beton sınıfına ait karışım elde edilir.

- Kalıplara Beton Dökülmesi

Öngerme işlemi tamamlanan kalıplar beton döküm ünitesine alınır. Beton santralinde üretilen beton, ilgili ünite operatörünün kontrolünde yarı otomatik olarak kalıplar içine istenilen hacim ve ağırlıkta dökülür. Döküm esnasında kalıba sırasıyla yüksek ve alçak frekansda titreşim uygulanarak, betonun kalıba tam olarak yerleşmesi sağlanır.

- Traverslerin Kurlenmesi

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

Bu işlem, ilgili üretim operatörü tarafından kontrol panosundaki panel üzerinden programlanarak yapılır. İstiflenen bu kalıplar, TS EN 13230-1 no.lu standartta tanımlanmış esaslara uygun olarak ivmeli kürleme programına tabi tutulur (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Kürleme işlemi

- Kalıp Boşaltma ve Yağlama

Kalıplar boşaltma istasyonuna transfer edilir ve kalıp ile travers arasındaki tüm bağlantılar otomatik olarak sökülür. Kalıplar ters çevrilir ve titreşim uygulanarak kalıptan çıkarılır. Kalıptan çıkan traversler taşıma bandına yerleştirilir ve bir sonraki üniteye ilerler. Boşalan kalıplar ise yağlama ünitesinden geçerek kalıp hazırlama istasyonuna geçer.

- Tamamlanma İşlemleri

Tamamlama ünitesine gelen traversler, ilgili ünite operatörleri tarafından kontrol edilir. Bu kontroller sırasında ilk olarak traverslerin yüzeylerine ve dübellerin durumlarına bakılır. Travers yüzeyleri pürüzsüz, lekesiz ve gözeneksiz olmalıdır.

- Traverslerin Stoklanması

Kontroller sonucu uygun bulunan traversler forklift veya yükleyici vasıtasıyla fabrika sahasında oluşturulan stok alanına nakledilir. Stok alanı, oturma riski bulunmayan sağlam bir zemin üzerinde oluşturulmalıdır (Şekil 3.9) [25].



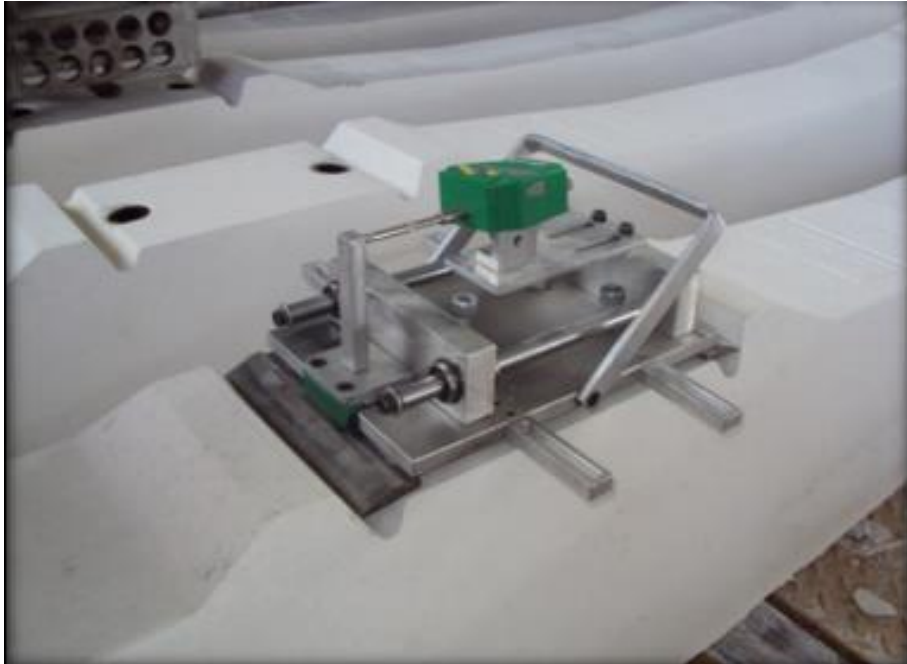
Şekil 3.9 : Betonarme travers stok alanı

Ürün Ölçüm Test ve Kabul İşlemleri

Ürün ölçüm, test ve kabul işlemleri iki safhada gerçekleştirilmektedir:

- Boyut ve işçilik kontrolleri

Boyut ve işçilik kontrolleri, ürün ölçüm test ve kabul ekibi personeli tarafından kalibrasyonlu ölçme aletleri ile yapılmaktadır. Yapılan tüm kontrollerin sonuçları ilgili formlara işlenmektedir. Şekil 3.10'da boyut ölçüm örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Betonarme travers boyut ölçümü

- Dayanım testleri

Dayanım testleri ise fabrika dahilinde kurulmuş olan laboratuarda bulunan kalibrasyonlu test ve ölçüm cihazları ile yapılarak kontrol sonuçları ilgili forma işlenir.

3.2.1.4 İçerik; kum, agreg, donatı

Beton travers bileşiminde kullanılacak olan kum, elenmiş-yıkanmış ve 0-8 mm tane büyüklüğünde olmalıdır. Özgül ağırlığı minimum 2.6 ton/m³, su emme yüzdesi maksimum %3 olmalıdır. Dona dayanım yüzdesi, Na₂SO₄ deneyi ile yapılan benzeşimdeki kayıp maksimum %15 olmalı, ince madde oranı da %3 ü geçmemelidir. Kumun yıkanmasında kullanılacak su bileşiminde beton ve donatıya zararlı bir madde bulunmamalıdır. Suyun nitelikleri TS 266 veya muadili standarda uygun olmalıdır.

Beton travers imalatında kullanılacak agreg kırılmış, elenmiş ve yıkanmış olmalıdır. Özgül ağırlığı minimum 2.7 ton/m³, su emme yüzdesi maksimum %3 olmalıdır. Dona dayanım yüzdesi, Na₂SO₄ deneyi ile yapılan benzeşimdeki kayıp maksimum %15 olmalı, yıkanabilir madde miktarı (ağırlıkça) maksimum %1 olmalıdır. Aşınma dayanımı da (ağırlıkça) bilyeli Los Angeles Aşınma Tamburla (500 dönüşle) maksimum %30 olmalıdır.

Deneylerde kullanılan malzemelerin kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları ince agreg (8-16 mm) 2.72 kg/dm³, iri agreg için (16-32 mm) 2.70 kg/dm³ ve kum için de (0-8 mm) 2.60 kg/dm³ olarak bulunmuştur.

Travers üretiminde kullanılan beton içeriğinin daha iyi anlaşılabilmesi adına Çizelge 3.1’de 1 m³ beton için kullanılan malzeme karışım miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.1 : 1 m³ beton için kullanılan malzeme karışım miktarları.

Malzeme	Miktar (kg)
Su	135
Çimento PÇ-42.5	450
Kum	940
İnce Agreg	400
İri Agreg	500

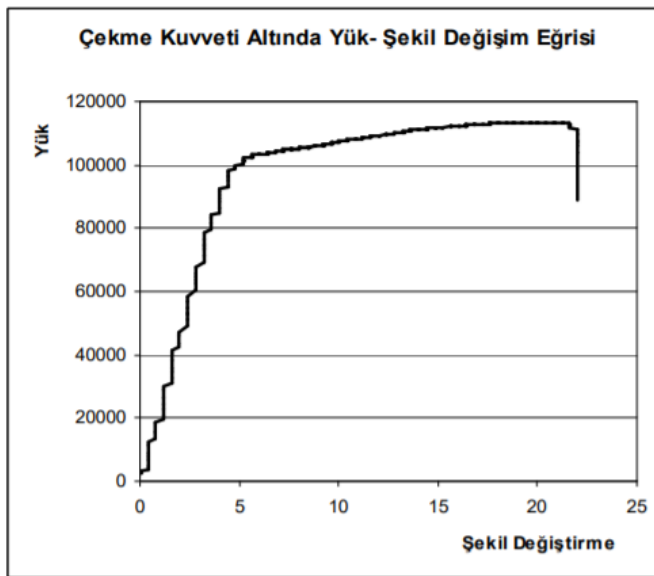
1 m³ beton'un ortalama ağırlığı 2400 kg'dır ve bunun 135 kg'ı su, 450 kg'ı çimento, 940 kg'ı kum, 400 kg'ı ince agrega ve 500 kg'ı da iri agregadan oluşmaktadır.

Fabrikada özel bir tezgaha getirilen traverse betonlama sırasında içinde aralıklı bırakılmış 4 adet boyuna yuvalara, soğukta çekilmiş, yüksek evsafı (140-160 kg/mm²) ve uçları yivli 2 adet U şeklinde Ø 9.4 mm lik çelik çubuklar çapraz olarak yerleştirilir. Çubukların her 4 serbest ucu özel çekici apereyle 8'er ton gerdirilip toplam 32 ton bir gergi kuvvetiyle travers başına somun ile ankre ettirilir. Çelik çubuk yuvalarındaki boşluklar basınçlı çimento şerbetiyle doldurulur. Traversler her iki baş taraflarının sıvanması ve izole edilmesiyle kullanılacakları yerlere sevk edilmek üzere istife konulurlar. Deneylerde kullanılan soğukta çekilmiş öngerilmeli beton travers çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de ve çekme kuvveti altında yük-şekil değişim grafiği de Şekil 3.11'de gösterilmiştir [26].

Çizelge 3.2 : Öngerilmeli beton travers çeliğinin mekanik özellikleri.

Donatı	Kopma / Akma R_m / R_e	Akma (N/mm ²)	Kopma (N/mm ²)	Kopma %
ST 140/160	1.27	1277	1625	6
ST 140/160	1.24	1304	1614	7
ST 140/160	1.33	1211	1618	8

ST 140/160 donatısının kopma/akma oranı değişiklik göstermesine karşın kopma yüzdesi sürekli olarak artmaktadır.



Şekil 3.11 : Betonarme travers çeliğinin çekme kuvveti altında yük-şekil değişim

Öngerilmeli beton travers çeliği çekme kuvvetine maruz kaldıkça grafikteki gibi belli değerlere kadar şekil değişimine uğrayabilir ancak yük uygulanmaya devam ettikçe kopma olayı meydana gelerek şekil değiştirme durur.

3.2.1.5 Laboratuvar testleri

Muayene çeşitleri ve sayıları traverslerin kullanılacakları proje durumuna göre değişmekle birlikte genel olarak aşağıdaki testler laboratuvar ortamında yapılabilen testlerdir.

- Görsel Muayene

Demiryolu hattı üstyapı döşeme sistemi için üzerinde testler yapılmak üzere, seçilen numuneler üzerinde görsel muayene gerçekleştirilir. Tüm yüzeyler ve her bir ray oturma alanı incelenerek aranan kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı gözlenir.

- Geometrik Ölçüm

Demiryolu hattı üstyapı döşeme sistemi için üzerinde testler yapılmak üzere, seçilen örnek üzerinde aşağıdaki ölçümler yapılır.

- Ekartman ölçümü (Şekil 3.12)
- En, boy, kalınlık ölçümleri
- Ray oturma alanı için ölçümler
- Ray oturma alanı aralıkları ölçümleri



Şekil 3.12 : Ekartman ölçümü

Balastsız demiryolu hattı üstyapı döşeme sistemi için üzerinde testler yapılmak üzere, seçilen numuneler üzerinde ekartman ölçümü yapılır. Ekartman ölçülerinin, toleransların dışında olduğu gözlenirse; bağlantı elemanları gevşetilerek ayarlamalar yapıp, tirfonlar tekrar belirlenen tork değeri ile sıkılır.

- Düşey Yük Testi

Bu test, iki ray üzerinde aynı anda düşey yönde ve döşeme merkezindeki herhangi bir ray oturum alanı aksında uygulanır bir adet çevrimsel yüklemeyi içerir. Test düzeneğinde prefabrik eleman sahadaki uygulaması şeklinde yerleştirilir (Şekil 3.13).



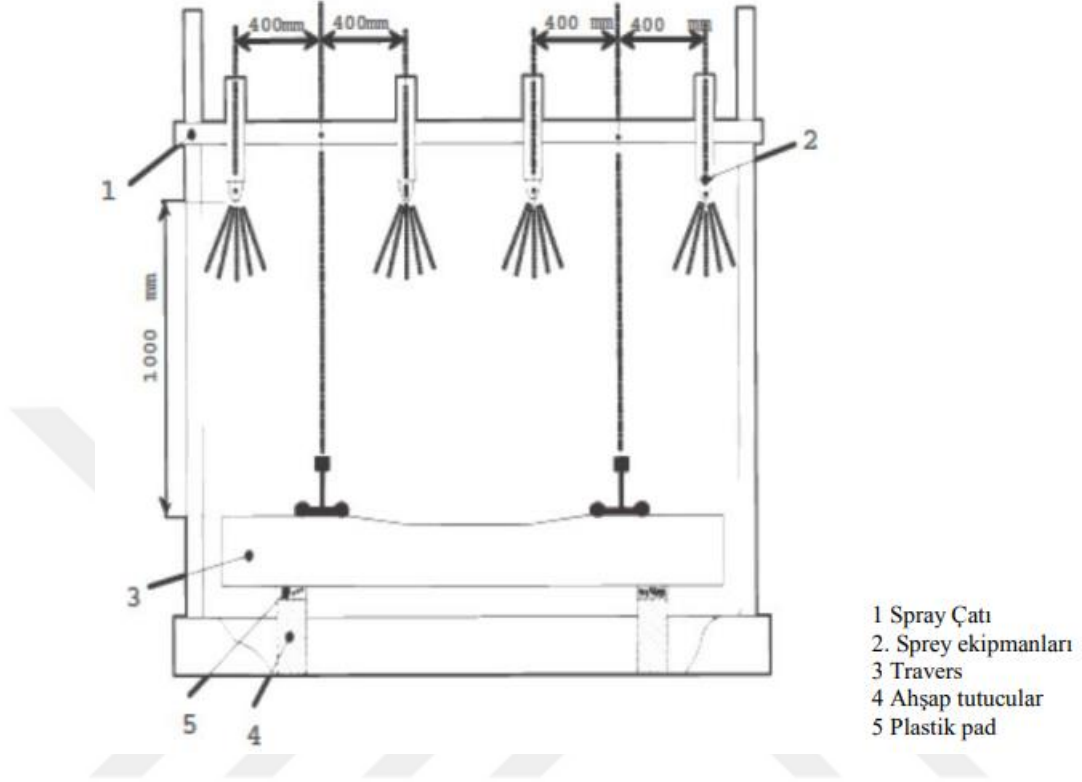
Şekil 3.13 : Düşey yük testi

- Elektriksel Direnç Testi

Elektrik direnci betonarme traversler için önemli bir etkindir ve bağlantı malzemeleri ile beraber belli bir direnç değerine ulaşmalıdırlar. Bu doğrultuda travers sistemleri TS EN 13146-5 (Demiryolu uygulamaları – Yol bağlantı sistemleri için deney işlemleri bölüm 5: Elektrik direncinin tespiti) standartına uyumlu olmalıdır.

Elektriksel direnç testinde raylı sistem ray bağlantı sistemi ve traverslerle bütün olarak yerleştirilir ve püskürtme uçlarından belirli hızlarda sabit 25°C sıcaklıkta su püskürtülür ve ray uçları arasında elektrik direnci ölçülür. Suyun iletkenliği de bu ölçümlere dahil edilir. Elektrik direncinin en az 10 k Ω olması gerektiği TS EN 13481-

2 (Demiryolu uygulamaları - Demiryolu - Bağlantı sistemleri için performans özellikleri - Bölüm 2: Beton traversler için bağlantı sistemleri) no' lu standartta belirtilmiştir (Şekil 3.14) [4].



Şekil 3.14 : Elektriksel direnç testi

Elektrik gücü için elde edilen değer, yalıtım malzemesinin kalınlığına, uygulanan test yöntemine ve şartlara bağlıdır. Elektrik gücü ne kadar yüksekse, yalıtkan görevi gören malzeme o kadar iyidir. Elektrik gücü, bir yalıtkan olarak bir malzemenin elektrik gücünün bir ölçüsüdür. Dielektrik dayanım, malzemede dielektrik bozulma meydana getirmek için gereken en yüksek voltaj değeridir. Genel olarak, bir yalıtkanın elektrik direncini belirlemek için üç temel yöntem uygulanır: kısa vadeli yöntem, yavaş tırmanma yöntemi ve aşamalı yöntem. Her üç yöntem de, hava veya yağ içindeki iki elektrot arasına yerleştirilen test numunesinin aynı temel konfigürasyonuna sahiptir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı kısa süreli yöntemdir. Dielektrik dayanım seviyesi ne kadar yüksekse, yalıtımın kalitesi o kadar yüksek olur. Bu şekilde kaplama, elektrik akımı içinden akar direnç artar.

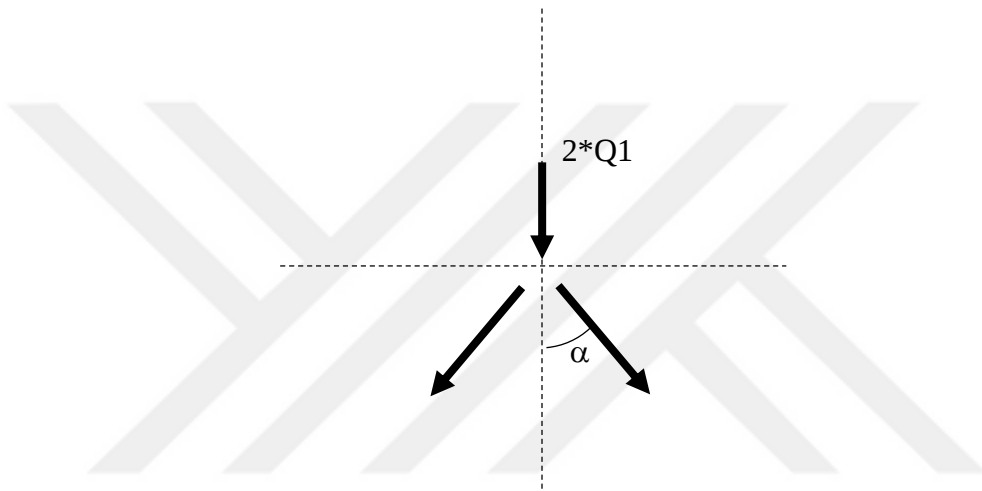
- Eğik Yorulma Testi

Bu test, iki ray üzerinde kontrol edilen yükün düşey ve yatay yöndeki bileşenleriyle uygulandığı bir fiziksel yapıya sahiptir. Test düzeneğinde prefabrik eleman sahadaki

uygulaması şeklinde yerleştirilir. Dağılım şeklinde gösterilen yük yönleri Şekil 3.15’de gösterilmiştir [25].

$$Q_{düşey} = 0.5 \times Q_1 \quad (3.2)$$

$$Q_{yatay} = Q_{düşey} \times \tan \alpha \quad (3.3)$$



Şekil 3.15 : Yorulma yükü için yük dağılımı

- Dinamik Test

Dinamik yük, demiryolundaki döngüsel ve darbeli yüklerin etkilerini simüle etmek için traverse titreşen ve yükselen bir yük uygulayan bir durumdur. Test, rayın oturduğu kısmına uygulanır. Bu test 6 traverse üzerinde yapılır.

İki yük seviyesi arasında 5000 devir yapılarak dinamik yük uygulanır. Dinamik test için alt test yükü (F_{ru}) 50 kN'dir. İlk adımda, ray oturma bölümü için ilk test yükü olan F_{ru} ile F_{r0} arasında 5000 çevrim gerçekleştirilir. Yükün frekansı 2 Hz ile 10 Hz arasında olmalıdır. 5000 döngü tamamlandığında, traverse yükü boşaltılır. Traverse incelenir ve çatlak genişliği ölçülür. Her adımdan sonra maksimum inceleme süresi 5 dakikadır [33].

- Beton Testleri

Traverslerin basınç dayanımını bulmak ve basınç dayanımında herhangi bir değişiklik olup olmadığını görmek için traverslerden karot numuneleri alınır ve numunelere basınç dayanımı testi uygulanır.

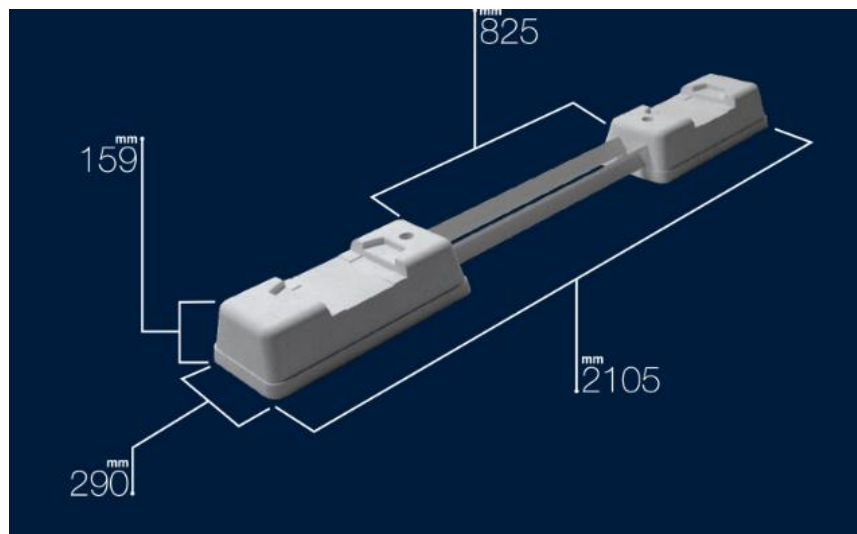
ASTM C42 “Betondan Alınan Karotların ve Kesilmiş Kirişlerin Elde Edilmesi ve Test Edilmesi için Standart Test Yöntemi” ne göre uzunluk/çap oranı 1,75'ten küçük olan numuneler için basınç dayanımı değeri düzeltilmelidir. Değer her numune için düzeltilir ve ortalama basınç dayanımı testlerde yaklaşık 63 MPa olarak hesaplanır [33].

3.2.2 İkiz blok - Tekil blok üretimi ve öngerme işlemi

Balastlı hatlarda kullanılan betonarme travers çeşitleri ikiz blok ve tekil blok traverslerdir.

3.2.2.1 İkiz blok traversler

Bu tip traversler, bir bağlantı çubuğu veya boru ile birbirine bağlanmış iki betonarme bloktan oluşur. 1990 yılına kadar NS, UIC 54 beton traversini kullandı. Bloklar, güçlendirilmiş betonla doldurulmuş sentetik bir boru vasıtasıyla bağlanmıştır. Blokların üst yüzeyi, ray eğimine karşılık gelen 1:40 eğime sahiptir. Ağırlık yaklaşık 210 kg dır. Şekil 3.16’da ikiz blok traverslerin örnek boyutlandırılması gösterilmiştir [5].



Şekil 3.16 : İkiz blok travers boyutları [32]

İkiz blok traversler, ahşap traverslerin gerektirdiğinden daha fazla balast kalınlığı ve mukavemeti gerektirir. Bu gereksinim karşılandığında, ikiz blok traversler üzerine döşenen ray tatmin edici bir davranışa sahiptir [14].

Alt zemin kalitesiz olduğunda özel dikkat gösterilmelidir. Bu durumda balast kalınlığı daha da arttırılmalıdır [14].

Esnek bağlantı çubuğu nedeniyle ikiz blok traversler, iki bloğun farklı şekilde eğilmemesini ve gevşememesini sağlamak için ekstra bakım gerektirir [14].

Balast yatağında iyi tanımlanmış yatak yüzeyleri sağlar

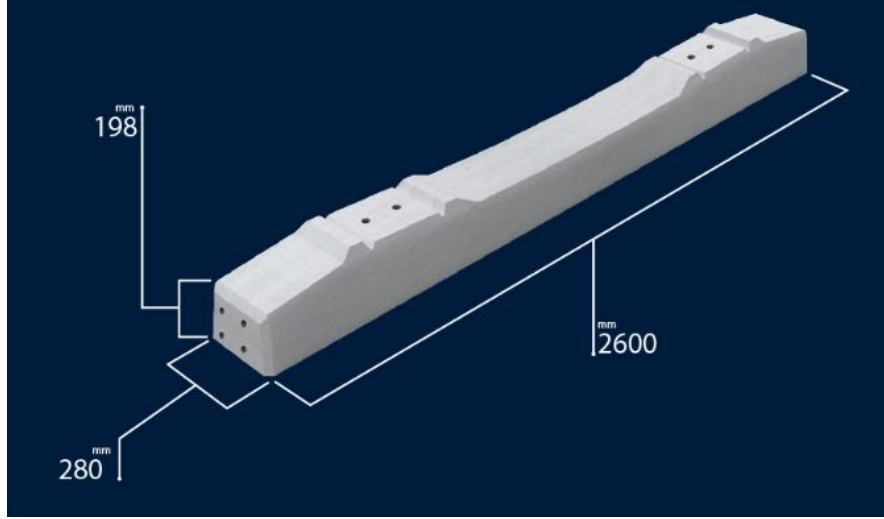
Çift yüzey alanı nedeniyle balast yatağında yüksek yanıl direnç sağlar.

İkiz blok traverslerin üretim aşamaları aşağıdaki gibidir.

- Modelde çelik tel veya çelik donatı montajı,
- Model üzerine çelik tel veya çelik donatı çekilmesi,
- Modele aksesuarların takılması,
- Modele beton dökmek,
- Sıradan titreşim kalıplama (tek titreşim),
- Titreşimli kalıplamanın yüklenmesi (ikinci titreşim),
- Buharla kütleme,
- Gevşetici çelik tel veya çelik çubuk,
- Çift blok traversin ucu boyunca çelik tel veya çelik çubuk kesmek,
- Kalıptan çıkarma [23].

3.2.2.2 Tekil blok traversler

Bu tip traversler kiriş şekline dayanır ve kabaca bir ahşap traversle aynı boyutlara sahiptir NS, 1990'dan beri bu tip traversi yeni hatlarda ve yenilemelerde kullanmıştır. Şekil 3.17'de tekil blok traverslerin örnek boyutlandırılması gösterilmiştir [5].



Şekil 3.17 : Tekil blok travers boyutları [32]

Daha düşük maliyet, çatlamalara karşı daha hassas yapı ve öngermeli olma tekil blok traverslerin başlıca özellikleridir.

Tekil blok traverslerin üretim aşamalarını aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz.

Ön kesilmiş nervürlü düz çelik teller operator tarafından, ünitenin aktarıcı vinci kullanılarak sıcak pres sıvama makinasının ağız ünitesine yerleştirilir. Ankraj plakaları elle yerleştirilir ve çelik tellerin başları otomatik olarak şişirilir. Kalıp yağı boş kalıplara püskürtme ile uygulanır. Her bir kalıp 4 travers üretmek için dizayn edilmiştir, bu kalıplar içersine hazırlanan donatı özel bir havallı makina ile yerleştirilir. Donatılar karşı saplama (bolt) ve ayarlı saplama (tie-rod) kullanılarak kalıba havallı el aletleriyle yardımıyla monte edilir. Ray bağlantı sistemine ait plastik dübellere de kalıba yerleştirildikten sonra donatılar, kalıp çerçevesinden faydalanılarak gerilir, ön yüklemesi otomatik yapılır. Bundan sonra kalıp beton döküm istasyonuna sevk edilir. Programlanabilir beton döküm makinası bölümünde kalıplara, kurulu beton santralinden kumandalı bir beton taşıma arabası vasıtasıyla, beton için özel dizayn edilmiş helozonlar kullanılarak, betonun kalıpların gözlerine kontrollü dökümü yapılır. Kalıp, vibrasyon ünitesinde gerekli vibrasyona tabi tutulur.

Doldurulan kalıp, özel kalıp aparatı olan otomatik tavan vinci tarafından kür odasına alınır. Beton kürleme işleminden sonra yine otomatik tavan vinci, küre tabi tutulan kalıpları, ön germe yükünü boşaltma ve kalıptan çıkarma işlemini yapmak üzere ilgili istasyona aktarır. Yük boşaltma istasyonunda, öngerme yükü tie-rodların otomatik gevşetilmesiyle betona aktarılmış olur.

Kalıplar boşaltma istasyonuna getirildiğinde, karşı saplama ve tie-rodlar sökülür, kalıp çevrilir. Kürlemeden çıkmış olan traversler kalıplarından ayrılmış olur. Boşalan kalıplar yağlama ünitesine dönerken traverslerde son ürün istasyonuna devam eder [25].

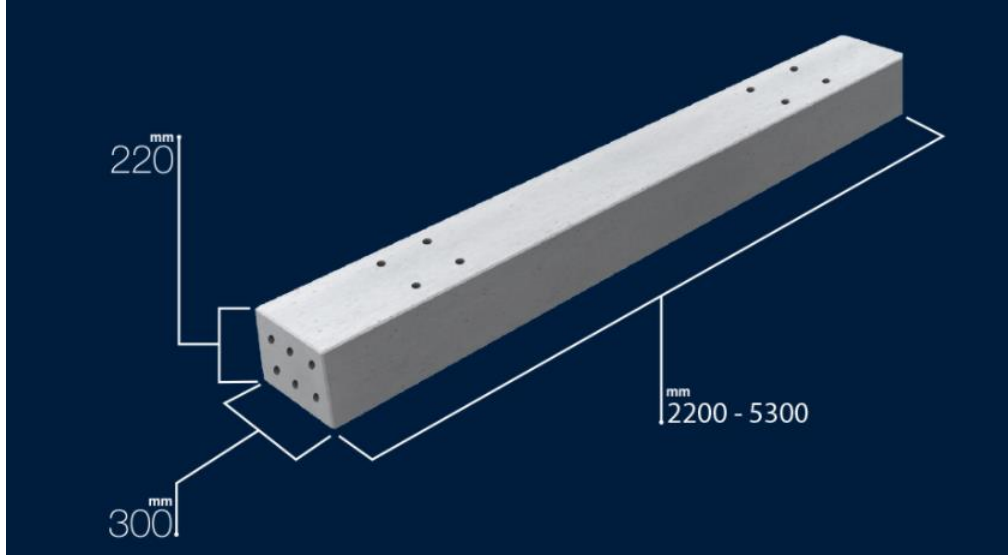
Tekil blok betonarme travers üretimleri donatıların beton dökülmeden önce veya sonra gerdirilmesine göre öngermeli ve ardgermeli olarak adlandırılabilir. Öngirme işlemi detaylıca bir sonraki bölümde anlatılacaktır. Ardgerilmeden burada kısaca bahsedilecektir.

Ardgermeli betonarme travers üretimi için öncelikle standart işlemler yapılır ve beton dökümü de gerçekleştirilir. Beton döküm işlemi sırasında 4'er adet iki kenarına da yuva bırakılır. Sonrasında %70 oranında mukavemet alması için 8 saat buhar kürü ile prizlenir. Yuvalara yüksek evsafı (110- 150 kg/mm²) ve uçları yivli 2 adet U şeklinde $\varnothing 7.5$ mm'lik çelik çubuklar çapraz olarak yerleştirilir. Özel çekici apre ile 8'er ton gerdirilerek somun ile ankre edilir. Böylelikle travers üretildikten sonra çelik çubuklardaki germe kuvveti betonarme traverse aktarılmış olur. Açık kalan yuvarlar isteğe göre betonla kapatılabilir [1].

Makas traversleri

Demiryollarında makas bölgeleri özel bölgelerdir ve normal hattan farklı boyutlarda ve farklı yüklere dayanabilecek traversler gerektirmektedir. Rayların konumu travers üzerinde sürekli değişeceği için bağlantı sistemlerinin yerleri de değişim gösterecektir. Traversin uzunluğu da yine değişkenlik gösteren bir başka etkidir.

Bu tipteki traversleri diğerlerinden ayıran özelliklerden en önemlisi traversler üzerinde ray eğimi verilen yuvaların olmamasıdır ve makas traversler kendi için sabit kesite sahiptir. Kesit sabit kalır ancak traverslerin uzunlukları makas bölgesine göre 2,2 m den 5,12 m ye kadar değişiklik gösterir. Şekil 3.18'de makas travers örneği verilmiştir.



Şekil 3.18 : Makas travers boyutları [32]

Makas traverslerin farklı birleşim noktalarının ve farklı uzunluklarının olması nedeniyle üretimi daha kompleks olabilir ve teknoloji çok gelişmeden önce makas bölgelerinde daha çok ahşap ve çelik traversler tercih edilebiliyordu. Aşağıdaki Şekil 3.19’da değişkenlik gösteren makas travers bağlantı noktaları daha net görülebilir. Ahşap ve çelik traversleri kullanmak kolay oluyordu çünkü istendiği takdirde belirlenen noktaya uygun delikler açılıp bağlantı yerleri kolaylıkla ayarlanabiliyordu. Son zamanlarda travers üretim teknolojisi yeteri kadar ilerlediği için makas bölgelerine özel beton travers üretimi de kolay hale gelmiş bulunmaktadır [4].



Şekil 3.19 : Değişkenlik gösteren makas travers bağlantı

3.2.2.3 Öngerme işlemi

Öngerme; çekme gerilmesi oluşması muhtemel yerlerde, önceden basınç gerilmesi meydana getirilerek, toplam gerilmenin beton çekme dayanımının altında kalmasını sağlamaktır.

Bu işlem yapılırken, elemanın maruz kalacağı gerilmelerin güvenli değerleri aşmayacak şiddet ve dağılımda kalması şarttır.

Öngerilmeli beton yapıların, normal betonarme yapılardan farkı, yapının veya elemanın hizmete girmesinden önce bir ön yüklemenin yapılmasıdır.

Bu ön yükleme, yapıya, servis halinde gelecek yükleri karşılayacak bir taşıma kapasitesi kazandırmaktadır.

Öngerme işleminin aşamaları aşağıdaki gibidir.

- Öngerme Elemanların Hazırlanması

Öngerilmeli beton travers tasarımına uygun çelik öngerme telleri donatı hazırlama makinesinin tel yükleme alanına konur. Alın plakaları, çelik öngerme tellerine monte edilir. Öngerme işlemi sırasında çelik tellerin, bağlandığı lamalardan kurtulmasını engellemek amacıyla uçları ünitedeki makineler tarafından perçinlenir.

- Kalıp Hazırlama

Öngerilmeli beton travers tasarımına uygun olarak temin edilen kalıplara imalat başlamadan önce kılavuz antenleri monte edilir ve kalıplar yağlama ünitesinde yağlanır. Ardından hazırlanan öngerme elemanları ilgili üniteye otomatik olarak kalıp içine yerleştirilir. Üretim operatörü; plastik dübelleri, öngerme işlemi için gerekli tie-rod ve boltları kalıba monte eder ve bir sonraki operasyon için gerekli olan kontrolleri gerçekleştirir.

- Öngerme İşlemleri

Öngerme işlemi, plastik deformasyon olmayacak hızda bilgisayar kontrollü öngerme makinası tarafından yüksek hassasiyette otomatik olarak gerçekleştirilir (Şekil 3.20).

- Öngerme Yükünün Betona Aktarılması

Kürleme süreci tamamlanan kalıplar otomatik olarak kürleme odalarından yük aktarımı istasyonuna taşınır. Çelik öngerme telleri üzerinde bulunan öngerme yükü,

yine bilgisayar kontrollü olarak, betona ani şok uygulamayacak şekilde yavaşça traverse aktarılır.



Şekil 3.20 : Öngerme yükünün betona aktarılması

Öngerilmeye maruz bırakılan betonarme traversler ilerleyen dönemlerde birkaç milimetre kısalmaya uğrayabilir. Bunun nedenlerine baktığımızda büzülme, sünme ve elastik olarak kısalmayı söyleyebiliriz. Bu kısalma bazı bölgelerde istenilen oranın dışına çıkabilir. Bu bölgeler bağıl nem oranının çok düşük olduğu ve yüksek öngerme kuvvetlerine maruz bırakıldığı bölgelerdir. Tabiki bu kısalmayı etkileyen beton içeriği de olabilir. Bu etkenler betonun basınç dayanımı, agreganın türü, öngerme kuvveti değeri, kalıptan çıkarma işlemi sırasında betona uygulanan basınç ve nem değerleridir [2].

Öngerilme uygulanan betonarme traverslerin korozyona uğrama ihtimali diğerlerinden daha fazladır. Bu sınıfta da kısmi öngerilmeliler tam öngerilmelilere göre daha yüksek risklidir. Öngerilme sırasında çekme dayanımının yarısından fazla öngerilme uygulandığı için bu uygulama donatıların korozyana daha açık olmasına neden olur. Ayrıca öngerilmeli traverslerde kullanılan donatıların çapları diğerlerine göre daha düşük olur ve buda korozyana uğradıktan sonra donatının etkisinin daha da azalmasına

yol açar. Hatta donatılar fazla korozyona uğrarsa kırılma tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir. Bu nedenler haricinde yüksek kür sıcaklıkları da önerilmeli donatıların aderanslarının kayıp olmasına neden olabilir. Donatıların korozyonlardan korunması için epoksi ile kaplama işlemi yapılabilir [3].

Servis yüklemeleri sırasında betonarme elemanlarda çatlaklar oluşabilmektedir. Özel donatı seçimleri ile bu çatlaklar 0,1-0,3 mm civarlarında olduğu görülmüştür. Bu aralıkta olan çatlakların ileride donatının aşırı korozlanmasına neden olmadığı söylenebilir. Bu aralıktan yüksek değerlerde oluşan çatlaklarda gerilme cinsi farketmeksizin çatlakların ilerleyen süreçte arttığı görülmüştür [3].

Çizelge 3.3’de farklı travers tiplerinin tasarım moment değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Travers tiplerinin dizayn momentleri (kN.m).

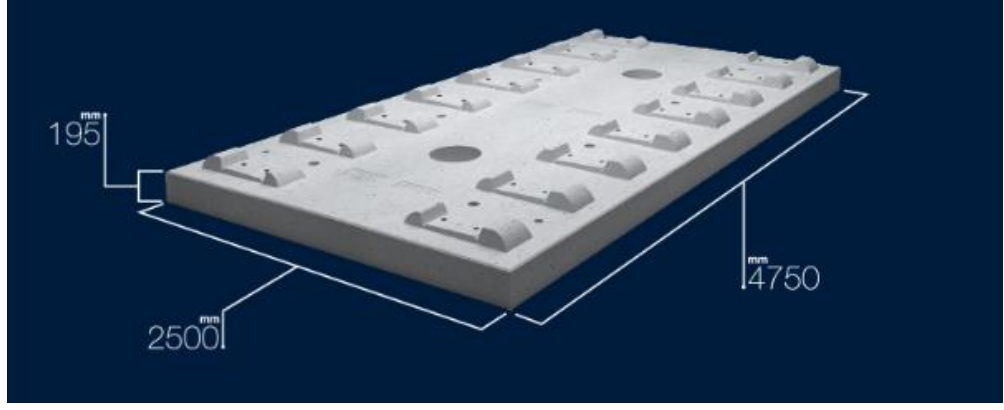
Klasik betonarme travers		Öngerilmeli beton travers	
Ara traversler	Conta traversleri	Ray mesnedinde dizayn momentleri	Travers mrk. dizayn momentleri
10.8	13.7	21.6	14.7

Öngerilmeli beton traverslerin tasarım momentleri ve dayanımları daha yüksektir.

3.2.3 Balastsız hat döşemesi üretimi ve üretim teknikleri

Hızın 200 km/s'nin üzerindeki artışı, yüksek hızlı hatlar için geleneksel rayların neredeyse iki katı olan ($V < 200$ km/s) bakım maliyetlerinde orantısız bir artışla sonuçlandı. Balastlı hat yeterli mekanik özelliklere (yüksek enine direnç, düşük gerilimler ve oturmalar) sahip olsa da, yaşam döngüsü ve bakım hususları, demiryolu yöneticilerini ve mühendislerini birçok durumda balastlı hat yerine döşeme hattı kullanımına yönlendirmiştir [14].

Düşük eğilme rijitliğine sahip döşeme sistemleri sadece zeminin taşıma kapasitesine ve rijitliğine bağlıdır Prefabrike veya tekil blok döşemelerden oluşan üst yapı, eğilme kuvvetlerine pek maruz kalmaz. Daha zayıf noktalar ve yerel deformasyonlar arasında köprü görevi göreceğinden ekstra mukavemet sağlar Alt yapıda Güçlendirilmiş tekil blok döşeme durumunda, gömülü ray uygulamak mümkün olacaktır. Genel tasarım boyutları Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 : Balastsız hat döşemesi boyutları [32]

3.2.3.1 Balastsız hat döşemesi tekniklerinin ilk denemeleri ve evrimi

Balastsız hat döşemesi teknikleri için ilk denemeler arasında 1959'da eski Batı Almanya'da ve 1960'ların başında Japonya'da yürütülen testler vardı. Balastsız hat döşemesi, UIC Araştırma Departmanı tarafından 1967'de Birleşik Krallık'ta sadece bu amaç için inşa edilen bir test parkurunda araştırıldı. İlk balastsız hat döşemesi, 1972'de eski Batı Almanya'daki Rheda şehrinin tren istasyonunda inşa edildi (Şekil 3.22). 1980'ler ve 1990'lar boyunca Almanya, Japonya, Hollanda, İtalya gibi birçok ülkede giderek artan sayıda kilometrelik döşeme yolu inşa edildi.



Şekil 3.22 : Balastsız hat döşemesi sistemi Rheda istasyonu

3.2.3.2 Balastsız hat döşemesi üretimi

Balastsız hat döşemesi üretimindeki aşamaları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Kesilmiş ve bükülmüş donatının projesine uygun aralıklarla yerleştirilmesi ile donatı kafesi hazırlanır (Şekil 3.23). Hazırlanan donatı kafesine, kaçak akım önleyici topraklama prizleri, klemensleri, şeritler yerleştirilir. Perde ve tabliye pas payları uygun aralık ve adetlerle donatıya bağlanır.



Şekil 3.23 : Balastsız hat döşemesi donatı kafesi

Kalıp yağlama işlemi tamamlandıktan, dübeller ve kaldırma somunları yerleştirildikten sonra, hazırlanmış donatı kafesleri kalıba yerleştirilir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 : Balastsız hat döşemesi kalıpları

Tasarım çalışmaları sırasında balastsız hat döşemesi üretimi için geliştirilmiş olan beton karışımı, tam otomatik beton santralinde üretilir. Bu karışım, Kalite Planında belirtilen sıklıkta ve yapılan gradasyon, özgül ağırlık, su emme gibi test ve ölçümlerin sonuçlarına bağlı olarak gözden geçirilir ve gerekiyor ise bazı değişiklikler yapılabilir.

Hazırlanan beton karışımı, kalıplara dökülür. Bu işlem, eğitimli bir operatör tarafından ve vibrasyona dikkat edilerek gerçekleştirilir. Yeterli seviyede vibrasyon, betonun segrege olmadan yerleşmesini sağlayacak, sertleşmiş betonun stabilite ve durabilite özelliklerinin gelişmesini sağlayacaktır. Bu işlem sırasında, hiç bir şekilde yüzey düzeltici master ve benzerleri kullanılmaz.

Beton ile doldurulan ve beton sıkıştırma işlemi tamamlanan kalıp üzerine kür çadırları çekilerek kapatılır ve EN 13230-1 standartlarına göre kür prosesi başlatılır.

Kalıplara beton dökülmesinden sonra, kür brandası kalıbın üzerine çekilerek PLC sistem ile takip edilen kürleme başlatılır. Üstleri branda ile örtülmüş ve sızdırmazlığı sağlanan kalıpların içinde bulunan balastsız hat döşemelerine hızlandırılmış kür uygulanarak 7 saat sonra, 28 günlük dayanımın %40'ına ulaşmaları sağlanır. Bu hızlandırılmış kür işlemi TS EN 13230-1 standartına bağlı olarak tamamlanır. Standartta açıklandığı şekilde kür odasının sıcaklığı ve balastsız hat döşemesi beton sıcaklığı takip edilir ve belirlenen en yüksek sıcaklığı aşması engellenir. Bu bilgiler bilgisayar aracılığı ile kaydedilir ve raporlanır.

Kür prosesi tamamlanmış olan kalıpların transfer numuneleri kırılır, beton mukavemeti C50/60 betonu karakteristik beton dayanımının %40'ını sağlıyor ise kür çadırları açılır. Kalıptan çıkarma aparatı ve tavan vinci yardımı ile kısa vibrasyon uygulayarak balastsız hat döşemesi kalıptan çıkartılır ve çevirme ünitesine götürülür.

Kalıp yeniden temizlenip yağlanarak bir sonraki üretilecek olan balastsız hat döşemesi için hazırlanır.

Çevirme ünitesinde takla attırılan balastsız hat döşemeleri, ön stok sahasına nakledilir. Burada balastsız hat döşemesi sıcaklığının ortam sıcaklığına kadar düşmesi beklenir, balastsız hat döşemesi 2 – 3 gün ön stokta bekletildikten sonra sahaya naklinin yapılacağı zamana kadar bekleyeceği dış stok sahasına nakledilir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25 : Balastsız hat döşemesi stok alanı

Balastsız hat döşemesinin tirfon montajı dış stok sahasında, nakledilmeden önce uygulanır. Dış ve iç stok alanlarında üst üste yerleştirilen balastsız hat döşemeleri arasında ahşap takozlar kullanılır [25].

3.2.3.3 Balastsız hat döşemesi üretim teknikleri

Balastsız hat döşemelerini temelde Traversli balastsız hat döşemesi ve Traverssiz balastsız hat döşemesi olarak 2 ye ayırıp tiplerini inceleyebiliriz.

Traversli balastsız hat döşemesi

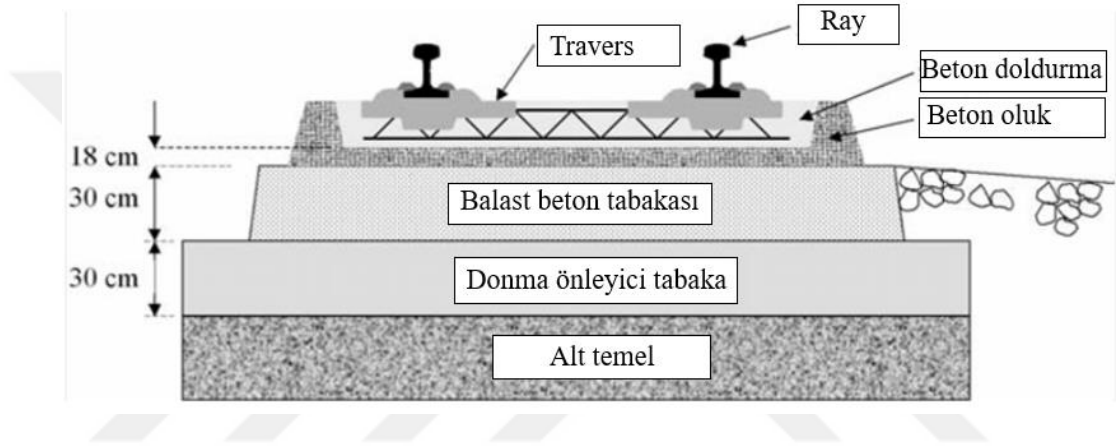
Rheda tekniğinde alt zeminin üzerine 30 cm'lik bir donma önleyici tabaka ve bunun üzerine 30 cm kalınlığında bir balast beton tabakası yerleştirilir ve bunun üzerine 18 cm kalınlığında bir betonarme oluk yerleştirilir. 65 cm aralıklı tekil blok veya ikiz blok traversler, beton oluk içine dolgu betonu kullanılarak gömülür. Şekil 3.26'da bu detaylar gösterilmiştir.

Beton oluk, silindirik test için 300 kp/cm² mekanik basınç gerilimine sahiptir (kübik test için eşdeğer olarak 370 kp/cm²). Balast beton tabakasının ortalama basınç gerilimi 150 kp/cm²'dir. Granülometrik bileşimi, toplam ağırlığın %55-85'inde 2 mm'den büyük taneler ve toplam ağırlığın %15'inden azında 0.063 mm'den küçük taneler içerir.

Rheda tekniğinin son gelişmelerinde, traversler, gevşemeyi önlemek için çelik çubukların uzunlamasına yerleştirildiği bir deliğe sahiptir. Rheda tekniği Almanya'da açık yollarda, tünellerde ve köprülerde yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

Rheda sistemi önerilmeli prefabrike betonarme travers kullanımı ile diğer sistemlerden ayrılır. Beton dökümünden sonra meydana gelebilecek çatlaklar bu

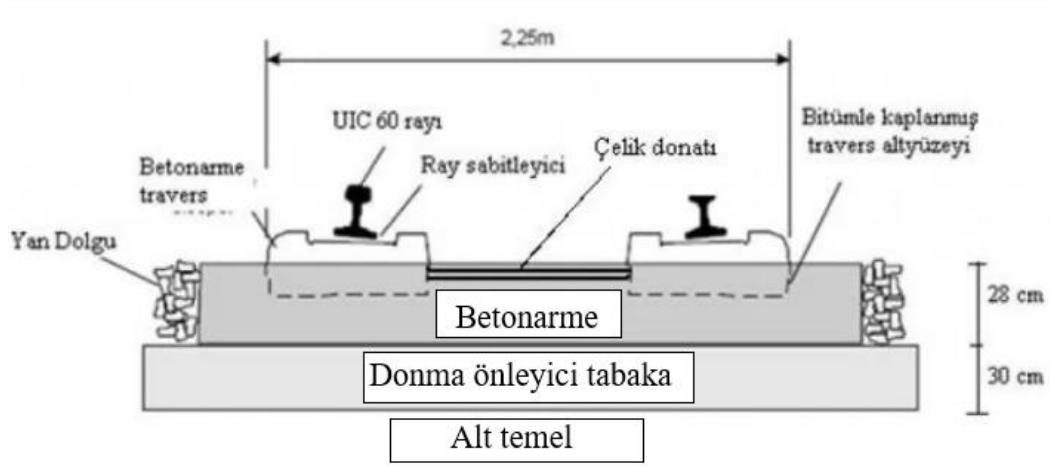
sistemi etkileyemez çünkü imalat yerine prefabrike traversler bağlanmış şekilde getirilir ve o şekilde imalatlar yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken bir konu sistemin altındaki zeminin oturma yapmaması gerektiğidir. Rheda sisteminde yer alan betonun içindeki donatılar yanal kuvvetlerin iyi iletilmesini sağlamak ve çatlakların genişlememesini sağlamak için tasarlanmıştır. Ayrıca Rheda sisteminde hat geometrisi korunması çok önemlidir ve bu doğrultuda ray üst noktası geometrik olarak referans alınır ve kullanılır. Bağlantı sistemlerinin de hassas bir şekilde yapılabilmesi için üretim sırasında traverslere bırakılan delikler de özenle tasarlanmıştır [13].



Şekil 3.26 : Balastsız hat döşemesi Rheda sistemi

Züblin tekniği, tekil blok veya ikiz blok traverslerin, silindirik test için 300 kp/cm² mekanik basınç gerilimine sahip 20 cm kalınlığındaki tekil blok bir beton levhaya doğrudan gömülmesiyle Rheda tekniğinden ayrılır (eşdeğer olarak 370 kp/cm² silindirik test için). Züblin tekniğinde traversler taze betona yerleştirilirken Rheda tekniğinde betonarme döşeme yapılır ve traversler dolgu beton kullanılarak beton döşeme üzerine yerleştirilir (Şekil 3.27). Züblin tekniği Almanya ve Hollanda'da yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

Özel bir döşeme makinesi Zublin sistemindeki traverslerin konumlandırılmasında rol oynar. Makineler 65 cm aralık ile 10 adet betonarme traversi tek seferde yerleştirir. Rheda sistemindeki gibi traverslerdeki boşluklardan geçen pimlerle kot ve eksen ayarları yapılabilir. Bu ayarlama sırasında bulunan boşluklar özel püskürtme beton ile kapatılabilir. Rheda dan farklı bir şekilde bu sistemde önceden yapılmış betonarme traversler bulunur ve bu traversler balastsız hat döşemesi için hazırlanan kalıp donatı işlemlerinin üzerine konulur, daha sonra ana beton döküm işlemi yapılır [13].

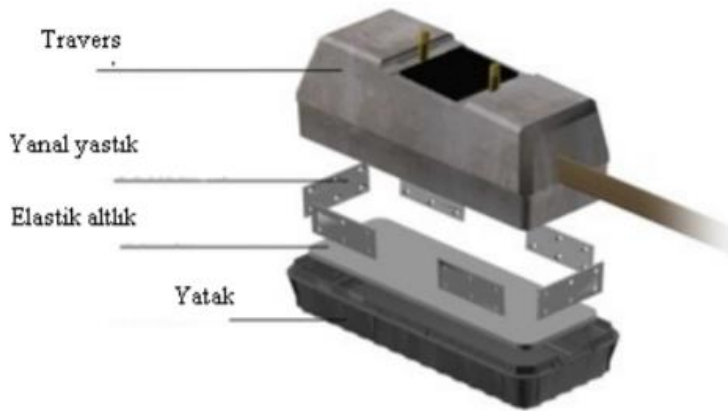


Şekil 3.27 : Balastsız hat döşemesi Zublin sistemi

Stedef tekniğinde traversler, hali hazırda inşa edilmiş bir beton levha üzerine yerleştirilir. Travers ile levha arasına 4,5 mm kalınlığında kauçuk bir tabaka yerleştirilir. Stedef tekniği Fransa'daki tünellerde ve Manş Tüneli'nde kullanılmıştır [14].

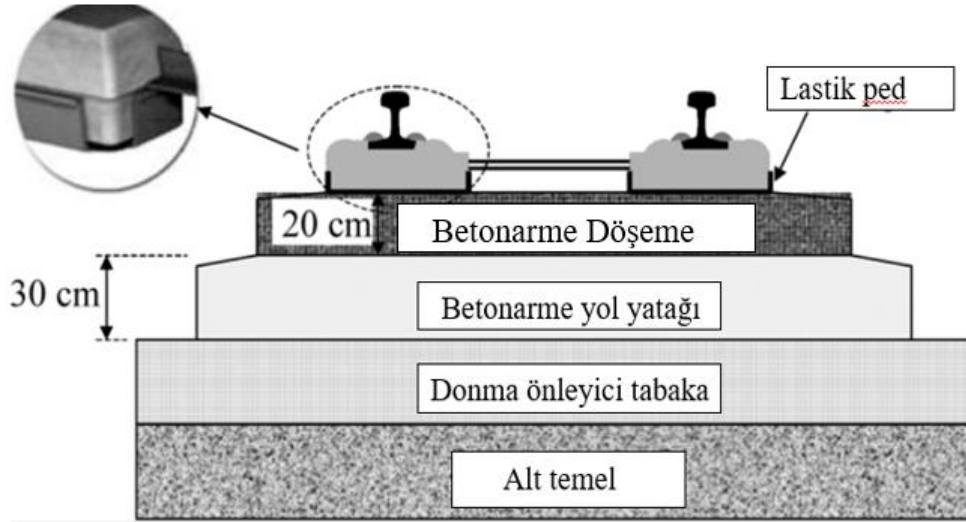
Stedef sistemi ülkemizde Taksim-Hacıosman metro hattının bir kısmında ve dünyada da Seul ve San Diego daki hatlarda kullanılmaktadır.

Sistemi oluşturmada önce beton yatak yapılır ve altlarında elastomer yastıklar bulunan traversler tasarım detaylarına göre yerleştirilir. Elastomer yastıklar aynı balastlı hatlardaki balastların titreşim sönümleme görevi gibi sönümleme ve dağıtım aşamalarında sisteme yardımcı olurlar. Sistem 2 yönlü olarak elastik malzemelerle desteklenir (Şekil 3.28) [13].



Şekil 3.28 : Balastsız hat döşemesi Stedef sistemi I

Devamında kot ve eksen ayarları için özel araçlarla ölçümler yapılarak raylar yerleştirilir. Son aşamada önemli noktalardan birisi beton döküm işleminin elastomer tabakanın üst kısmına kadar izalanarak yapılmasıdır. Ve böylelikle Şekil 3.29'da gösterildiği gibi sistem tamamlanmış olur [13].

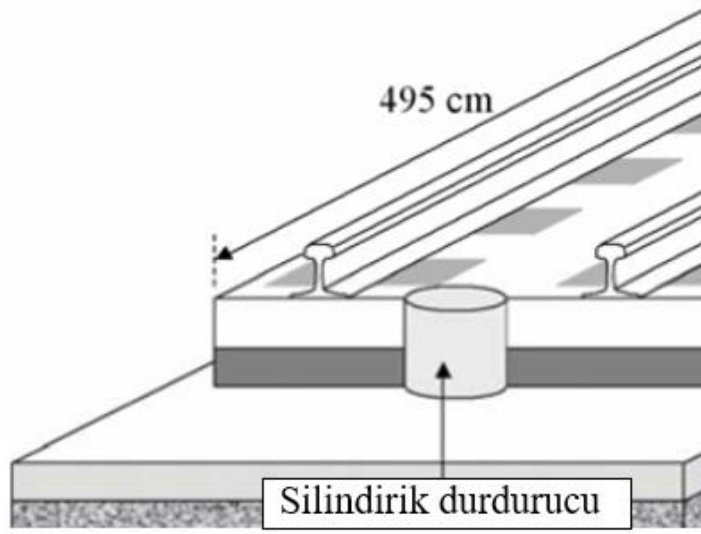


Şekil 3.29 : Balastsız hat döşemesi Stedef sistemi II

Heitkamp sisteminin Rheda sisteminden temel farkı dolgu malzemesi olarak beton yerine balast kullanılmasıdır, böylelikle balastlı hatlarda olduğu gibi balast miktarı ile oynayarak kot eksen ayarları kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayarlamalar yapıldıktan sonra balastların altı bir çimento harcı ile doldurularak sabitlenir ve imalat tamamlanmış olur. Bu sistem ile 1996 yılında Almanya Waghausel'de bulunan test hattında 390 metre imalat yapılmıştır [34].

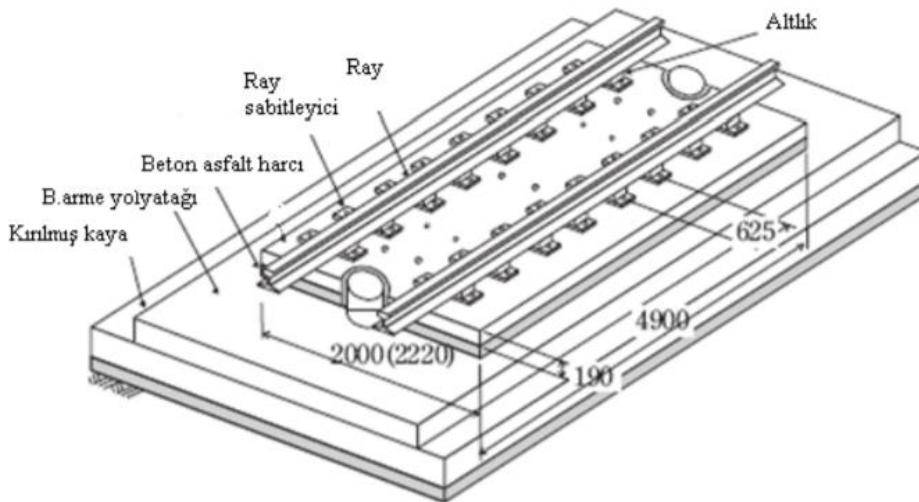
Traverssiz balastsız hat döşemesi

Traverssiz döşeme yolunda, raylar doğrudan prefabrike öngerilmeli beton döşemelerin üzerine yerleştirilir. Artan dinamik etkileri absorbe etmek için, döşeme ile yol yatağı arasına 40 cm kalınlığında bir asfalt yol yatağı yerleştirilir. Bu teknik, 4.95 m × 2.34 m levhanın yatay boyutları ve tünellerde 16 cm ve açık yolda 19 cm kalınlık ile Japonya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.30'da görüldüğü gibi, rayın yan ve boyuna hareketlerini engellemek için silindirik durdurucular kullanılmaktadır [14].



Şekil 3.30 : Silindirik durdurucu

Shinkansen tipi üstyapılar 1964 Tokyo Olimpiyatları çalışmaları ile dünyaya kazandırılmıştır. Bu tip traverssiz balastsız hat döşemelerinde alt tabakada çimento asfalt harcı bulunur, üstüne de 5 metre uzunluğunda prefabrik betonarme plaklar yerleştirilir. İki balastsız hat döşemesinin birleştiği noktada balastsız hat döşemesinin sabitlenmelerine yardımcı olan 40-52 cm çapında 20 cm boyunda silindirik bölümler bulunur. Üst kısım öngerilmeli veya normal betonarme olarak üretilebilir. Bu balastsız hat döşemelerinin boyutları ise 222-234 cm genişlik, 490-495 cm uzunluk ve 16-20 cm kalınlık olarak belirlenmektedir (Şekil 3.31). Balastsız hat döşemelerinin ortalama ağırlıkları ise 5 tondur [13].

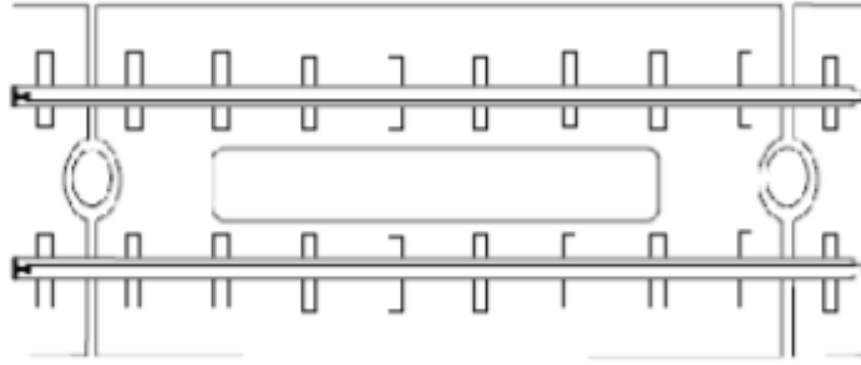


Şekil 3.31 : Balastsız hat döşemesi Shinkansen sistemi

İnşaat sırasında beton altyapı döküldükten sonra prefabrik elemanlar bu altyapının üzerine koyulur, konum ayarları yapıldıktan sonra desteklerle sabitlenirler. Sonra kalıp çakma işlemine geçilir ve bu elemanları ve aralarındaki destek bölümlerini de kapsayacak şekilde kalıplar çakılır. Sızmalara karşı ekstra önlemler alınır. Kalıplardan sonra asfalt-çimento harcı belirlenen yerlere dökülür. Balastsız hat döşemeleri arası bağlantı sağlanmış olur. Daha sonrasında ise ray döşeme işlemlerine geçilerek uygulamanın son aşamasına gelinir [13].

Bağlantı sistemleri diğer balastsız hat döşemeleri ile benzerdir ve sistemde kullanılan parçalar, kot ayarı için pedler, yalıtım plakaları, civatalar, paslanmaz levhalar ve üstyapı pedidir [13].

Tünel ve viyadüklerde çerçeve tipi denilen plaklarda sisteme dahil edilebilmektedir (Şekil 3.32). Bu üstyapı çeşidi normal balastsız hat döşemelerinden ortalama %8-14 daha az maliyetli olması nedeniyle çokça tercih edilmektedir [13].

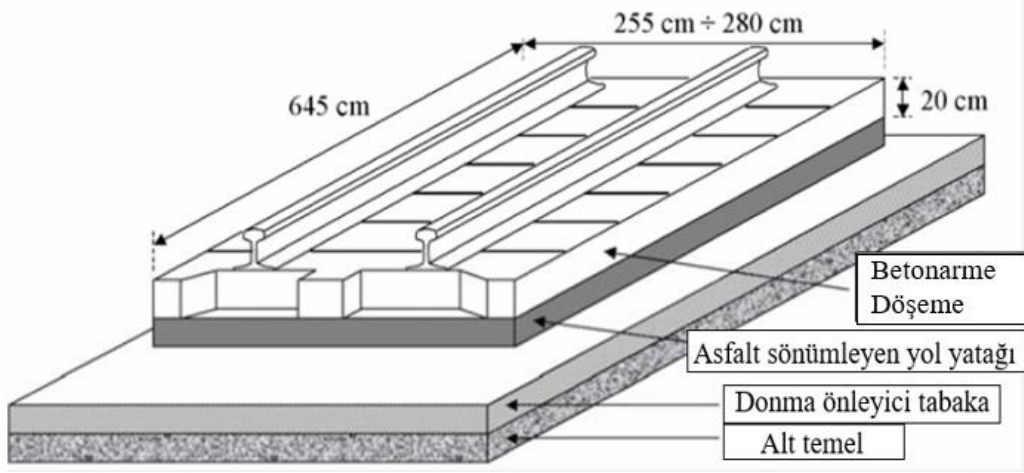


Şekil 3.32 : Çerçeve tipi plaklar

Bögl tekniği; Bögl balastsız hat döşemelerinin ilk uygulaması 1977 yılında Almanya Karslsfeld'de yapıldı. Amaç uzun ömürlü bir ürün üretmektir. Bakım gerektirmeyen hat, özellikle kalıcı yüksek hat kalitesi ve mümkün olan en yüksek hat kullanılabilirliği ile yüksek hızlı trafik için tasarlanmıştır. Devam eden gelişmeler, yüksek kaliteli bir balastsız hat döşemesi sistemine yol açmıştır.

Bögl balastsız hat döşemesi sistemi, çelik fiber takviyeli betondan yapılması ve 20 cm kalınlığında, 6.45 m uzunluğunda ve 2.55 veya 2.80 m genişliğinde olması dışında büyük ölçüde Shinkansen balastsız hat döşemesine benzer (Şekil 3.33). Balastsız hat döşemeleri yanal yönde ön gerilimlidir; uzunlamasına yönde geleneksel donatı

uygulanır. Döşemelere entegre edilmiş miller, döşemelerin kolay ve hızlı bir şekilde ayarlanmasını sağlar



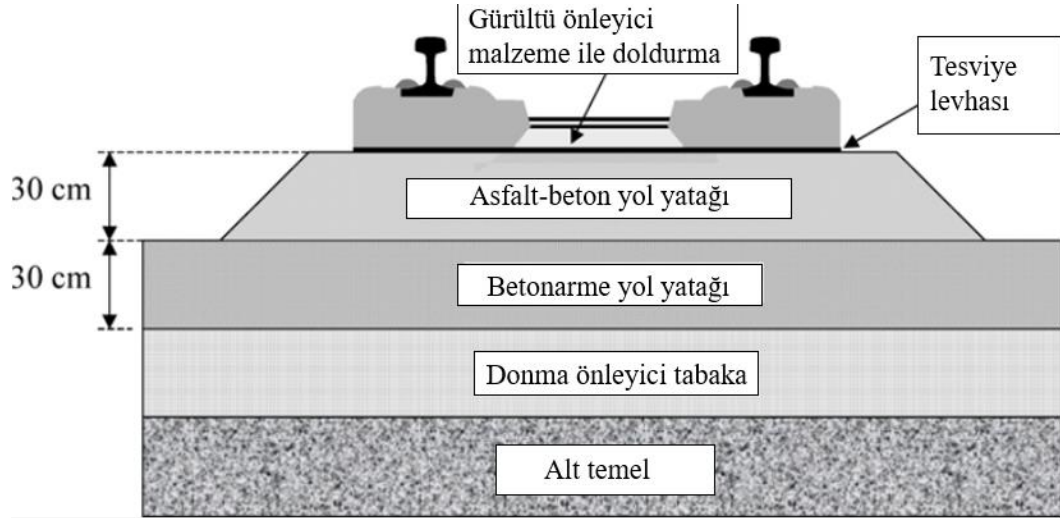
Şekil 3.33 : Balastsız hat döşemesi Bögl sistemi

ÖBB-Porr sisteminde hat döşemesinin uzunluğu 5,16 m, eni 2,40 m ve kalınlığı da 16 cm olup bir döşemenin ağırlığı yaklaşık 5 tondur. Döşeme konvansiyonel donatılar ile imal edilir. Hat imalatı yapılırken döşemeler arasında 4 cm boşluk bırakılır. Bu döşeme elastik bir tabaka ile döşemenin altından ve boşluktan boşçalanır ve sistemin alt katmanlardan ayrı çalışması hedeflenir ve sisteme aynı zamanda ek bir elastikiyet katarak oluşan titreşimin sönümlenmesine katkıda bulunur. Bu sistemde dolgu malzemesi olarak en az 8 cm yüksekliğinde kendinden yerleşen beton kullanılır. Bazı durumlarda KYB yerine 4 cm özel bir harç ile (grout) donatısız uygulama tercih edilir [34].

ÖBB-Porr sistemi tasarım isterlerine yüzer döşeme olarak da kullanılabilir ve böylelikle sistemin titreşim sönüm kabiliyeti arttırılır. Prefabrik döşemelerin üzerine sonradan eklenecek şekilde gürültüyü sönümleyecek özel bileşenler, lastik tekerli trafiğe izin verecek özel plaklar veya derayman koruması amacıyla kontra-ray uygulamaları döşeme üzerinde yerinde delik açmadan kolaylıkla uygulanabilmektedir [34].

Asfalt tabakası üzerinde balastsız yol

Balast, üzerine traverslerin yerleştirildiği 25÷30 cm kalınlığında bir asfalt tabakası ile değiştirilebilir (Şekil 3.34). Asfalt, yol mühendisliği ile aynı mekanik özelliklere sahiptir ve benzer ekipmanlar kullanılarak yerinde yerleştirilir.



Şekil 3.34 : Asfalt tabakası üzerinde balastsız yol sistemi

Genleştirilmiş polistiren (EPS) kullanımı ile balastsız hat döşemesi

Ekspande Polistiren (EPS), petrol türevi, termoplastik bir malzemedir. Çok küçük polistiren tanecikleri su buharı ile ısıtılınca genişir. Pentan gazı sayesinde şişmeye, bu arada birbirlerine sıkıca yapışmaya başlarlar ve içinde bulundukları kalıbın şeklini alırlar.

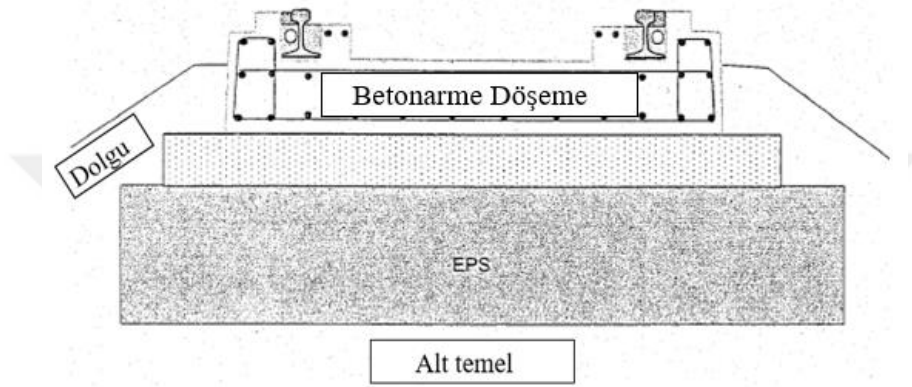
Pentan gazı bu sürecin sonunda hava ile yer değiştirir. Küçük kapalı gözenekli taneciklerin içinde hapsolan bu hareketsiz ve kuru hava, EPS levhaların üstün ısı yalıtım özelliklerine sahip olmasını sağlar. Sandviç panellerde kullanılacak blokların özel fırınlarda kurularak nem düzeyi % 2'nin altına düşürülerek istenilen kalınlıkta kesilerek kullanılır [29].

Isı yalıtım dolguları arasında en ekonomik ve hafif olan üründür [29].

Yumuşak zeminler üzerinde nispeten ağır döşeme yol yapılarının inşası, taşıma kapasitesinin iyileştirilmesini gerektirir. Geleneksel yaklaşım, zayıf toprağın bir kısmının kumla değiştirilmesinin yanı sıra zemin iyileştirmesinden oluşur. Ön yükleme uygulansa bile, yapının ömrünün ilk aşamasında nispeten büyük oturmaların meydana gelmesi muhtemeldir. Genleştirilmiş Polistiren (EPS) gibi ultra hafif malzemelerin uygulanmasıyla, alt zeminde tane gerilmelerinin artmasını önleyecek ve farklı oturma olasılığını azaltacak bir denge yapısı oluşturulabilir. Global olarak konuşursak, ray yapısının ağırlığı artı hafif malzeme, hafriyat malzemesinin ağırlığını dengelemelidir Young's EPS modülünün küçük değeri nedeniyle, EPS alt temelli

demiryolu yapılarında yeterli miktarda malzeme elde etmek için bir beton levha gerekecektir (Şekil 3.35) [5].

Geleneksel alt temel malzemeleriyle karşılaştırıldığında EPS, yoğunluk, Young modülü, su emme kapasitesi ve termal iletkenlik değerleri açısından çok düşük değerlere sahiptir. Aslında bu, entegre bir döşeme yolu çözümünü çok çekici hale getirdi. EPS tabakasının üzerindeki beton döşeme yolunun minimum kalınlığı, GEOTRACK ile yapılan statik bir analiz ile belirlenebilir [5].



Şekil 3.35 : EPS kullanımı ile balastsız hat döşemesi

3.2.4 Fiber donatılı betonarme travers üretimi

FRP kısaltması ile bilinen lif takviyeli polimer kompozitler ilk olarak 1970'lerde inşaat yapılarında kullanılmaya başlandı. FRP'lerin tek başlarına taşıyıcı olma özelliği vardır. Öngerilmeli veya normal betonarme yapılarda da fiber donatılar kullanılabilir. Yapıların güçlendirilmesi veya onarılmasında da fiber donatılar kullanılmaktadır. Şekil 3.36'da fiber donatıların travers kalıplarına dökümü gösterilmektedir [3].



Şekil 3.36 : Fiber donatıların travers kalıplarına dökümü

Donatılar birçok neden ile korozyona uğrayabilmekte ve bu yapıların güvenilirliğini etkilemektedir. Özellikle deniz suyu ile temas ve donma olan bölgelerde donatılar hasar görebilmektedir. Böyle durumlarda rehabilitasyon işlemleri hem zor hem de pahalı olmaktadır. Fiber donatılar hafif malzemelerdir ve çekme dayanımına, yüksek korozyona karşı oldukça dayanıklıdırlar. Bu özellikleri onların çelik donatılar yerine kullanılabileceği fikrini doğurmuştur. Maliyet olarak çelik donatılara göre pahalı olsa da bakım maliyetlerinin düşük olması bu fiber donatıları bazı durumlarda öne çıkarmaktadır. Fiber donatılar binaların, köprülerin yenilenme dış cephe onarılma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Ayrıca fiber donatılar eski öngerilmeli betonarme kirişlerin onarılmasında kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. FRP'ler yüksek dayanımlı liflerin reçine matrisi içerisine gömülmesi ile oluşur. Bu malzemeler FRP'lere dayanım ve rijitlik sağlamakta ve yükü üzerine almaktadırlar. Sistem birbirine kenetlenen FRP'leri oluşturur ve bu birimler arasında yüklerin aktarılmasını sağlamaktadır. Kullanılan lifler; cam, karbon ve aramid, matrisler ise; epoksi, polyester, vinyl ester veya fenoliklerdir. En çok kullanılan lif tipleri cam ve karbondur. Karbon liflerin elde edilmesi poliakrilonitril'in 1000-1500°C'da karbonlaştırılması (havasız ortamda ısıtılması) ile olmaktadır. Karbon liflerinin çok kullanılmasının nedeni birçok avantajının olmasıdır ve bu avantajlar, boyutsal açıdan kararlı oluşları, kimyasal inertlikleri nedeniyle neme ve pek çok kimyasala direnç göstermeleri ve

elektriksel/ısısal iletkenliklerinin yüksek oluşudur. Karbon lifleri oluşumunda bulundukları geometrik şekillerden dolayı hafiftirler. Üretilen fiber donatılar ihtiyaca göre farklı şekil ve boyutlarda üretilmektedir. Fiber donatılar, düz, nervürlü veya burulmuş olabilir. Bazı FRP çubukları ise, aderans için gerekli olan yüzey deformasyonlarının elde edilebilmesi için helezonik tel sarma yöntemi gibi ikinci bir işleme maruz bırakılmakta veya kendisini çevreleyen betonla arasında daha iyi bir aderans olması için kumla kaplanmaktadır. Sıradan donatılardan farklı olarak fiber donatıların belirli bir şekili veya düzeni yoktur. Ayrıca bu donatı türü manyetik alandan etkilenmemesi gereken alanlarda donatı çeşidi olarak tercih edilebilmektedir [3].

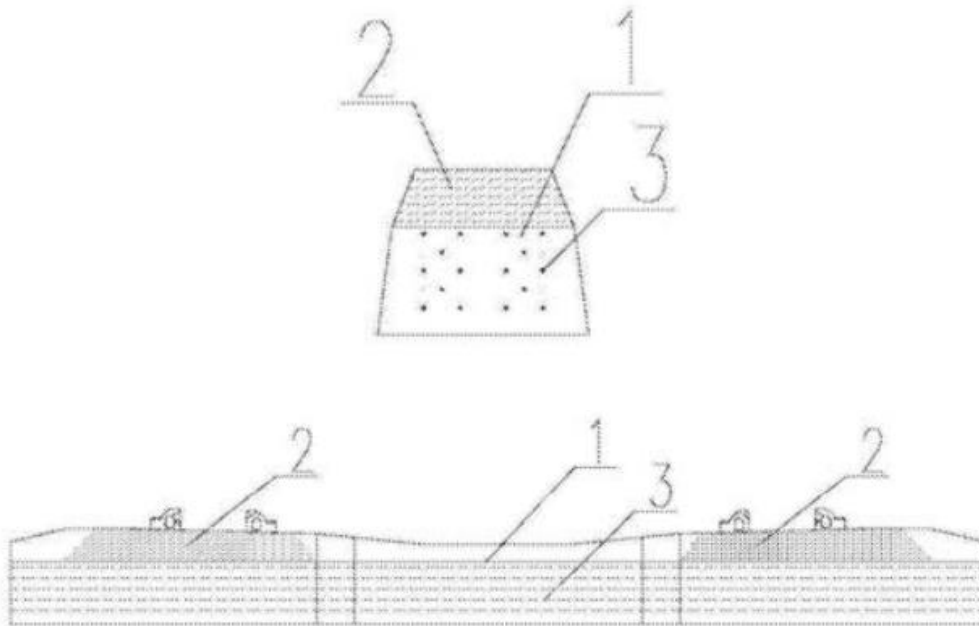
Fiber donatılı öngermeli travers

Beton Fiber donatı taze betonun sertleşmesi sürecinde meydana gelen rötre çatlaklarını önleme amacıyla, yüksek performanslı ve en son teknolojiye sahip, özellikle endüstriyel zemin betonlarında kullanılan bir beton donatı çeşitidir.

1- Donatı Kirişi

2- Taşıma Alanı

3- Travers Gövdesi (Şekil 3.37)



Şekil 3.37 : Fiber donatılı travers kesitleri

- Tek parça tasarımı benimseyen travers eşit şekilde gerilir ve bütünlük gelişmiştir
- İnşaat verimliliği yüksektir
- Fiber malzeme, traversin stresine uyum sağlayabilen, genel sertliği ve stabiliteyi koruyabilen belirli bir alana eklenir.
- Dayanıklılığı artırmak; fiber malzemelerin belirli bir şekilde düzenlenmesi, traversleri konvansiyonel demiryollarının stres gereksinimlerine daha iyi adapte edebilir
- Pas payı kullanılmadığı için döşeme kalınlığı azalır.
- Stok sırasında hasar görmez ve uzun süre muhafaza edilebilir [25]

Raylı sistemlerin inşasında fiber donatı kullanımı, donatı işçiliğini elimine ederek uygulamanın en kolay halini sunar. Minimum %30 zaman avantajı sağlar. Raylı sistemlerde ve özellikle ray altı betonlarında en önemli güvenlik etmeni elektrik iletkenliğidir. İletken olmayan sentetik fiberler ile maksimum güvenlik sağlanır. 3 boyutlu dayanım ve dayanıklılık yardımıyla betonun bir arada kalmasını sağlayarak çatlak sonrası yüksek performans gösterir.

Karbon-Fiber donatılı beton tasarım yöntemi

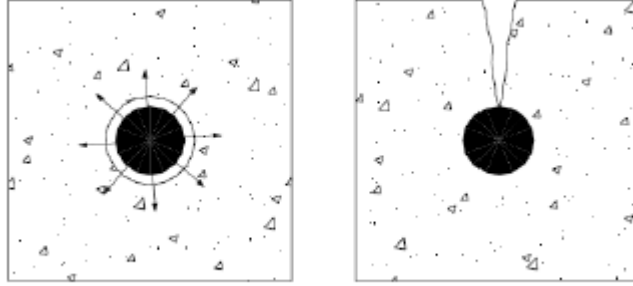
Dünyada 5 tane fiber donatıların kullanımı hakkında bilgi veren norm bulunmaktadır:

- FIB (Task Group 9.3, 2005),
- American Concrete Institute (ACI 440.1R-03, 2003),
- Kanada’da yayımlanan binalar için CAN/CSA-S6-02,2002,
- Yine Kanada’da yayımlanan köprüler için CAN/CSA-S6-00,2000
- Ve Japonya’da yayımlanan JSCE,1997’dir.

En son yayınlanan CNR-DT 203/2006 normundan alınan fiber donatılı beton yapıların dayanım kapasiteleri hakkındaki ön kabuller aşağıdaki gibidir.

- Deformasyondan itibaren kırılma gerçekleşinceye kadar beton kesiti düz kesitini devam ettirmektedir,
- FRP donatı kırılıncaya kadar lineer-elastik davranış sergilemektedir
- FRP donatı ile beton arasında mükemmel aderans vardır,
- Betonun çekme gerilmesi dayanımı ihmal edilmektedir,
- Eğilme tesirindeki kirişin üst kısmındaki donatıların basınç dayanımına katkısı ihmal edilmektedir (Anonim).

Donatılarda termal genleşmeler meydana gelebilmektedir ve bu durum aderansı olumsuz etkilemektedir. Şekil 3.38’de bu çatlama örneği gösterilmiştir. Paspayı genişliği artırılarak genleşmenin zararları azaltılmaktadır [3].



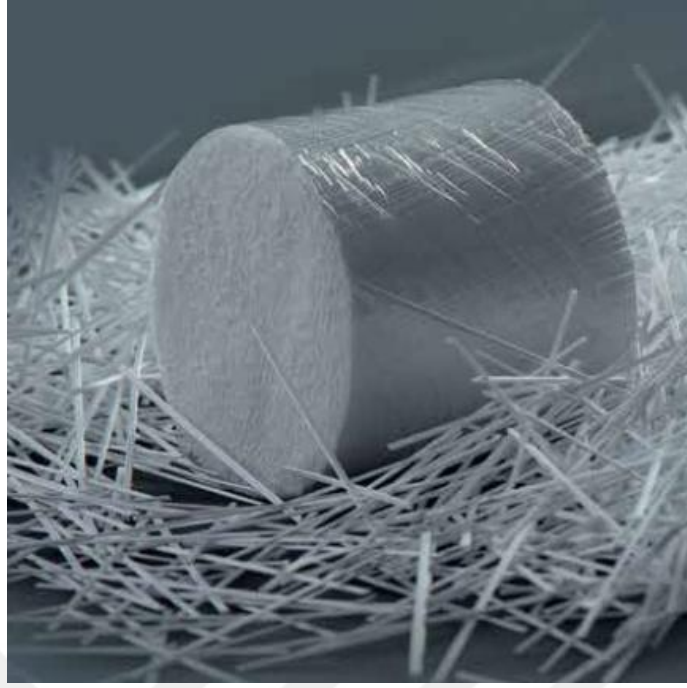
Şekil 3.38 : Termal genleşmeler sonucu oluşan çatlaklar

Mikro sentetik fiber donatılar

Mikro Sentetik Fiber Donatılar; Poliamid 6.6 ham maddesinden EN 14889-2 Sınıf 1 standardında üretilen, taze betonda plastik ve uzun dönemli kuruma rötresi çatlaklarını önlemede polipropilen ve basalt liflere oranla daha başarılı sonuçlar veren sentetik fiber donatıdır (Şekil 3.39).

Diğer sentetik liflerden farklı olarak %5 oranına kadar nemi bünyesine alabilme kabiliyetine sahiptir. Taze beton aşamasında liflerde tutulan nem, beton prizini aldıkça betona geri verilerek içten kürlleme etkisi gözlemlenir. Böylece, ısı ve rötreye bağlı çatlakların oluşumu minimize edilerek daha yüksek yapısal bütünlük sağlanır.

Hazır beton ve püskürtme beton uygulamalarına ek olarak, kuru şap uygulamaları, iç ve dış cephe sıva uygulamaları, yapı kimyasalları üretimi, tamir harçları ve benzeri teknik harç uygulamaları da dahil olmak üzere bütün çimento esaslı kompozitlerde kullanılır.



Şekil 3.39 : Mikrosentetik fiber donatılar

Makro Sentetik Fiber Donatılar; yüksek performanslı Polipropilen ham maddesinden EN 14889-2 Sınıf 2 standartına göre üretilir. Betonun tüm uygulamalardaki en büyük zaafı olan yüzeysel rötire ve yük altında oluşan yapısal çatlaklara karşı en etkili çözümü sunmaktadır. Beton içerisinde 3 boyutlu homojen dağılan fiber dizaynı ile servis ve tasarım yükleri altında betonun taşıma kapasitesini artırarak etkin çatlak kontrolünü her noktada sağlar.

Yüksek dayanım özelliklerine ek olarak kolay karışım ve hızlı uygulanabilme avantajlarıyla; endüstriyel saha betonlarından şap betonlarına, yüksek özellikli ray altı betonlarından pist ve liman betonlarına, püskürtme betonlarından tünel kaplamalarına ve prekast yapı elemanlarına kadar inşaat sektöründe birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır [10].

3.2.5 Plastik granüllü betonarme travers üretimi

İnce agregaları mikro ölçekli kırıntı kauçuk ile değiştirerek basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elektrik direnci ve sönümleme özelliklerini korumak için çeşitli deneyler yapılarak yüksek dayanımlı kauçuklaştırılmış betonun dinamik özellikleri araştırılmıştır. Bulgular, yüksek mukavemetli betonun, yarmada çekme ve eğilme mukavemetlerini, sönümleme özelliklerini ve elektrik direncini iyileştirmek için optimal kauçuk parçacıkları ile geliştirilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle,

demiryolu traverslerinin tasarımıda kauçuklaştırılmış beton (ağırlıkça %10'a kadar kırıntı kauçuğu) kullanımının dikkate alınması tavsiye edilir, çünkü bu, demiryolu ray sistemlerinin hizmet ömrünü iyileştirecek ve çevreye olan atıkları azaltacaktır [9].

Geçen yüzyılın başlarında bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte orman kaynaklarının azalması ahşaptan ziyade çelik ve beton demiryolu traverslerinin üretilmesine yol açmıştır. Demiryolu traversleri etkili ancak pahalı olduğu için 1950'li yıllardan itibaren demiryolu traversleri için daha güvenilir ve daha verimli bir malzeme olarak betonarme kullanılmaktadır. Öte yandan otomotiv sektörünün hızlı gelişimi kauçuk lastik sektörünün de hızla gelişmesine yol açmış ve çevre için ciddi bir tehdit oluşturan kauçuk atıklarla nasıl başa çıkılacağı ikilemini de beraberinde getirmiştir (Şekil 3.40) [9].

Son zamanlarda, birçok araştırma, performansını artırmak için atık kauçuğun betonda kullanımını önermiş ve teşvik etmiştir. Daha doğrusu, demiryolu sektöründe kauçuk beton traversler, yüksek yoğunluklu basınçlı titreşim ortamındaki verimliliği nedeniyle yüksek talep görmektedir. Şekil 3.41'de lastik kauçuk kullanımının bulunduğu beton yapısının kesiti gösterilmiştir [9].

Çok miktarda terkedilmiş atık lastik taşınırken ve çıkarılırken kesinlikle çevreyi olumsuz etkileyecektir. Yakma ve düzenli depolama gibi yaygın katı atık bertaraf yöntemleri, yeraltı su sistemlerinde ciddi kontaminasyonlara neden olan toksik maddelerin salınımına yol açtığı için bu tür atıklar için uygun değildir. Binlerce hektarlık düzenli depolama sahaları sadece daha iyi kullanımlara sahip alanları işgal etmekle kalmıyor, aynı zamanda bakteri ve sivrisinek üremesine katkıda bulunarak bulaşıcı hastalıklara ve yangınlara neden oluyor [9].



Şekil 3.40 : Kauçuk lastik

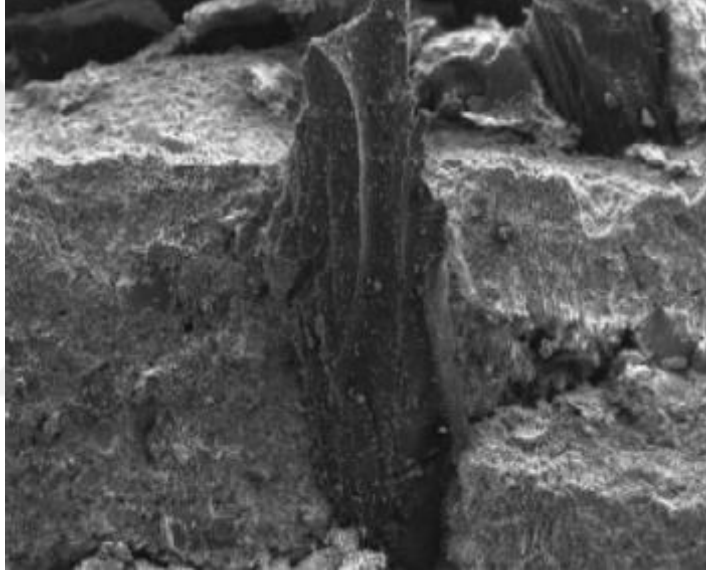


Şekil 3.41 : Lastik kauçuk kullanımının bulunduğu beton yapısı

Demiryolu trafiği ortamı agresiftir ve demiryolu altyapısının ağır taşıma veya yüksek hızlı demiryolu işletmeciliğini kaldırması gerekir. Bu nedenle, demiryolu altyapısı malzemelerinin güçlü, dayanıklı, esnek ve çeşitli beklenmedik hasarlara dayanacak kadar dayanıklı olması gerekir. Atık lastik, biyolojik olarak parçalanamayan, yanıcı

olmayan ve kimyasal bileşimi olan küresel bir çevre sorunudur. Atık lastik, bertaraf gibi normal bir yöntemle çözülemez. Bu çalışma, demiryolu gereksinimlerini karşılayan beton traversler yapmak için mikro dolgu olarak kırıntı kauçuk, geri dönüştürülmüş form atık kauçuk lastikler (75 mikron ve 180 mikron ile 400 mikron karıştırılarak) kullanılarak çevre dostu bir beton geliştirmeyi amaçlamıştır. Balastlı demiryolu hatlarında beton traverslere ağırlık verilmesine rağmen, bu geri dönüştürülmüş betonun uygulaması balastsız hatlardaki beton plakalara da uygulanabilir [9].

Şekil 3.42’de lastik kauçukların çimento harcı ile arasındaki aderans detaylıca gözlemlenebilir [28].

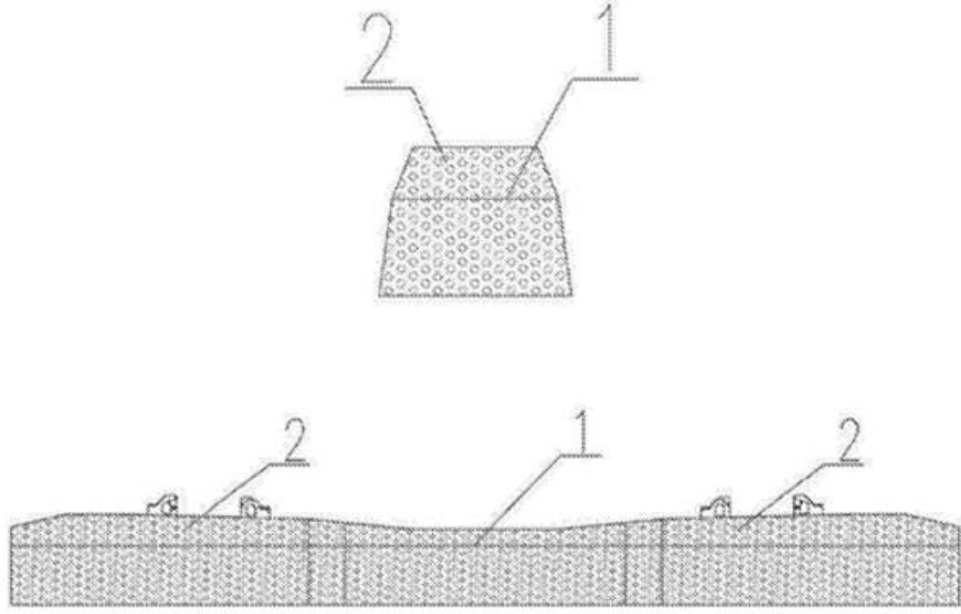


Şekil 3.42 : Çimento harcı ile lastik kauçuk lifler arasındaki aderans

Plastik granüllü beton travers

1- Beton Travers

2- Plastik Parçacıklar (Şekil 3.43)



Şekil 3.43 : Plastik granüllü travers kesitleri

- Sertliği yüksek
- Elastikliği yüksek
- Hafif
- Darbe ve yorulma direnci yüksek
- Uygulaması ve tamir işlemleri kolay ve granüller geri dönüştürülebilir plastikten oluşur.



4. BETONARME TRAVERSLERİN KULLANIM ALANLARININ VE ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıdaki bölümlerde betonarme traverslerin balastlı ve balastsız yapılarıdaki kullanımından ve farklı yapı veya tipteki betonarme traverslerin üretimlerinden bahsetmiştik. Bu bölümde ise kullanım alanlarına göre, farklı üretim yöntemlerine göre ve aynı zamanda üretim maliyeti durumu ve dayanıklılıklarına göre betonarme traverslerin bazı karşılaştırmalarını yapıyor olacağız.

4.1 Balastlı ve Balastsız Hatlardaki Kullanım Karşılaştırılması

Betonarme traverslerin temel kullanım alanları olan balastlı ve balastsız üstyapıların karşılaştırılması aşağıdaki Çizelge 4.1- 4.2- 4.3- 4.4’de yer almaktadır [11].

Çizelge 4.1 : Balastlı hattın avantajları.

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

Çizelge 4.2 : Balastlı hattın dezavantajları.

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

Çizelge 4.3 : Balastsız hattın avantajları.

BALASTSIZ HATTIN AVANTAJLARI
1. Balastsız hattın yapım süresi yavaş olsa da servis ömrü daha uzundur.
2. Bakım ihtiyacı yok denecek kadar azdır.
3. Yolcu ve yük taşımacılığında daha konforlu ve hızlı ulaşımı sağlar.
4. Tünel kesitlerinde yapı yüksekliği azalır.
5. Hat geometrisinin yanal kaymalarda dirençlik gösterir.
6. Su ve nebati gibi yapılardan kaynaklanan dış etkenlerin hat yapısını bozmasını engeller.
7. Yüksek hızlarda balast sıçraması gibi durumu ortadan kaldırır.
8. Viyadük ve köprülerde balastın kendi ağırlığından gelen yükün azalmasıyla sanat yapılarının ömrünü artırır.
9. Mevcut tünellerde balastlı hattan balastsız hat döşemesi uygulamasına geçildiğinde tünel kesitinde daha fazla boşluk olacağından dolayı hız esnasında hava direncinin düşmesine yol açar.
10. Daha az bakıma girmesiyle tren trafiğinde aksamalarının önüne geçmesini sağlar.
11. Ömrü balasta göre çok daha uzun süreyi barındırır.
12. Balast takviyesi için sürekli balast temini, balast stoğu için arazi, balast vagonlarıyla balast iş treninin oluşturulması, personel, hat bakım makineleri (buraj-regülatör-stabilizatör), yükleyici gibi sıralanan işlerin yerine balastsız hat döşemesi uygulaması ile bir defada yapıp uzun süre kullanıma açık kalacak bir hat olmasına olanak sağlar.

Çizelge 4.4 : Balastsız hattın dezavantajları.

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

4.2 Üretim Tekniklerinin Karşılaştırılması

Üretim yöntemleri anlatılan tekil blok ve ikiz blok traverslerin karşılaştırılması ve traversler üretilirken kullanılan öngerme ve ardgerme tekniklerinin karşılaştırılması bu kısımda anlatılmıştır. Devamında balastsız hat döşemesi kullanımının neden ön plana çıktığı ve ne gibi dezavantajlar yaratabileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca betonarme travers üretiminde donatı yerine fiber donatının ve agrega yerine de plastik granül kullanımının getirdiği avantajlar yer almaktadır.

İkiz blok –tekil blok traversler

Tekil blok traversler, ikiz bloklara benzer bir davranışa sahiptir. Palet açıklığını düzgün bir şekilde korurlar ve uzun ömürlüdürler. Sinyal sistemi için elastik bağlantılara ve özel aksesuarlara ihtiyaç duyarlar [14].

Bununla birlikte, tekil blok traversler, yükleri ikiz bloklardan daha iyi dağıtır, ancak ahşap traversler kadar iyi dağıtmaz. Enine dirençleri ikiz bloklara göre daha düşük, ahşap traverslere göre daha yüksektir; tekil blok traversler, muayeneden sorumlu bakım muayene personeli için de daha iyi bir yüzey görünümü sağlar [14].

Öngerme-ardgerme üretim karşılaştırması

Betonda ön gerdirme ile ard germe arasındaki farklar aşağıda listelenmiştir;

- Mantolama maliyeti olmadığı için ön gerdirme daha ucuz, ard gerdirme ise mantolama kullanımı nedeniyle daha maliyetlidir.
- Ön gerdirme daha dayanıklı ve güvenilirdir ancak ard germe durumunda dayanıklılık 'Ankraj Mekanizmasına' bağlıdır.
- Yapı elemanlarının küçük ve kolay taşınabilmesi nedeniyle, ön gerdirme, ard gerdirme ile karşılaştırıldığında tercih edilen ve en popüler olanıdır.
- Ön gerdirme fabrikalarda yapıldığı için prekast inşaat işleri için daha uygundur, ardgerme ise fabrikalarda olduğu gibi şantiyede de yapılabilir.
- Ön gerdirme ve ard gerdirmeli beton için döküm işlemi farklıdır:
Öngermede teller, betonun dökümünden önce gerilir ve betonda, ön gerdirme betonunda gergi kablolarını çevreleyen betonda dökülür, ancak ardgerme betonu durumunda, teller formda bir kanal içine alınır ve daha sonra beton dökülür.

- Öngerme betonda küçük kesitlerde yapılabilir, ardgermede ise eleman boyutu sınırlı değildir. Genellikle uzun açıklıklı köprüler, ard gerilimlerle inşa edilir.
- Ardgermeli betonda ürünler yapıya göre değiştirilir, ancak öngermeli betonda benzer yapılar hazırlanır.
- Ardgermeli betonda öngerilme kaybı fazla değildir (yaklaşık %15), öngerilmeli betonda ise öngerilme kaybı daha fazladır. (yaklaşık %18).
- Öngerilmeli beton durumunda, beton yerine yerleştirilmeden önce tendonlarla gerilir. Ard germeli betonda ise gerilme beton yeterli dayanıma ulaştıktan sonra yapılır.
- Ön gerdirmeye yöntemi, beton ve çelik kirişler arasındaki bağ nedeniyle geliştirilmiştir, ard gerdirmeli beton yöntemi ise taşımayla geliştirilmiştir [24].

Balastsız hat döşemesinin durumu

Balastsız hat döşemesi uygulamasının ön plana çıkma nedenleri şunlar olabilir;

- Azaltılmış yapı yüksekliği ve ağırlığı
- Uygun balast malzemesinin olmaması
- Karayolu araçlarına erişilebilirliği
- Gürültünün ve özellikle titreşim rahatsızlığının azaltılması
- Balast yatağından çevreye toz salınımının önlenmesi

Balastlı ray ile karşılaştırıldığında döşeme hattının dezavantajları da bulunmaktadır.

- Daha yüksek inşaat maliyetleri
- Daha yüksek hava kaynaklı gürültü yansıması
- Ray pozisyonunda ve yükselmede büyük değişiklikler ancak önemli miktarda çalışma ile mümkün olması
- Dolgudaki daha büyük yer değiştirmelere uyarlanabilirlik nispeten küçüklüğü
- Raydan çıkma durumunda onarım çalışmaları çok daha fazla zaman ve emek alması
- Balastlı hat ile döşeme hattı arasındaki geçişlerin dikkat gerektirmesi

Döşeme yolunun uygulanması, temel hazırlanmasına ilişkin kapsamlı önlemler gerektirebilir. Alt katmanlar homojen olmalı ve önemli oturmalar olmaksızın uygulanan yükleri kaldırabilmelidir [5].

Fiber donatılı betonarme traversin durumu

Konvansiyonel çelik donatılar yerine FRP donatıların kullanımı için birçok neden bulunmaktadır. Bu inovatif donatılar korozyona karşı dayanıklı oldukları için deniz kıyısı yapılarında ve şiddetli çevre etkilerine maruz kalınan yapılarda tercih edilebilecektir. Dahası cam fiber donatılar ısı-elektrik-ses geçirmez yapıda olduklarından, yalıtım ihtiyacı olan demiryolu hatları, dış etkenlere açık yapılarda, demiryolu köprülerinde ve tünel kaplamalarında etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu donatıların durabilite avantajlarının dışında manyetik saydamlık gerektiren Manyetik Rezonans Görüntüleyici içeren hastane odaları benzeri yapılarda da avantaj sağlamaktadır [3].

Fiber donatılar beton güçlendirme uygulamalarında çelik hasır yerleştirme ve bağlama işçiliğini tamamen ortadan kaldırır. Uygulama çeşitlerine bağlı olarak %40 kadar zaman avantajı ve toplam kullanım maliyetlerinde ekonomi sağlar. Oluşabilecek işçilik hatalarını önleyerek uygulama kalitesini artırır ve çelik hasır yerleştirmesinden kaynaklanabilecek iş kazalarını önleyerek maksimum uygulama güvenliği sağlar.

Demiryolu sistemlerinin yapımında makro fiber donatı takviyesinin kullanımı, en az % 30 oranında tasarruf sağlayan takviye uygulamalarını bile ortadan kaldırır. Özellikle demiryolu sistemleri ve parça plakaları ile ilgili en önemli güvenlik endişesi, elektriksel iletkenliktir. İletken olmayan makro sentetik lifler maksimum güvenlik sağlar [10].

Plastik granüllü betonarme traversin durumu

İnce agreganın bir kısmını değiştirerek betonda atık lastiklerin kullanılmasının, yüksek darbe direncine, geliştirilmiş elastik özelliklere ve önemli yorulma mukavemetine sahip bir beton ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Çalışmalar, geri dönüştürülmüş lastik kauçuk kırıntıları içeren beton için döngüsel yük altında sertliğin arttığını gözlemlemiştir. Kırıntı kauçuğu üzerine yapılan literatür çalışması, betonda küçük boyutlu kırıntı kauçuğunun varlığının, darbe yükü altında çatlak başlangıcına karşı direncini arttırdığını ortaya koymaktadır. Yukarıdaki anlatılanların sonucu, çimento betona ince kırıntılı kauçuk lastiğin eklenmesinin, eklenen kauçuk yüzdesine bağlı olarak basınç dayanımını azalttığını ancak süneklik özelliğini geliştirdiğini göstermektedir. İnce kauçuk kırıntılarının eklenmesi, sıradan betona kıyasla yorulma ve darbe dirençlerini artırır [15].

ACI standartlarına göre kauçuk betonun ve sıradan betonun yorulma dayanımı ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerini incelemek için deneysel araştırmalar yapılmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır.

- Betonda kırıntı kauçuğunun varlığı, darbe yükü altında çatlak başlangıcına karşı direnci %80-110 oranında artırmıştır.
- Kırılma anındaki darbe yükü, kırıntı kauçuklu beton için %50 yüksektir. Bunun nedeni, kırıntı kauçuğun enerji emme kapasitesidir.

Demiryolu traversinde, kırıntı kauçuğu varlığı, öngerilmeli beton travers ile karşılaştırıldığında darbe dayanımında %40-60 artış gösterir [15].

4.3 Maliyet açısından traverslerin karşılaştırılması

Betonarme travers çeşitleri ve balastsız hat döşemesi üretimine ait bazı maliyet hesaplamaları ve karşılaştırmaları bu bölümde yer almaktadır.

Travers altı pedlerin sağladığı maliyet düşüşleri;

- Sıkıştırma aralıklarının en az %100 uzatılması
- Hatta %50 daha az iz sahipliği
- Toplam hizmet ömrünün en az %25 artması
- Dar kurplarda daha az ray oluşu
- Daha iyi hat kalitesi ve dolayısıyla geliştirilmiş konfor
- Beton travers ve balast yatağı arasında daha büyük temas alanı (ve balast üzerinde %90'a kadar daha az birim basınç)
- Daha az balast çökmesi
- Palet yükü ne kadar yüksek olursa, travers pedlerine yapılan yatırım o kadar fazla karşılığını vermesi [6,7,18].

Balastsız hatlarda inşa ve bakım maliyeti

Malzeme kalitesi ve işçilik düzgün yapıldığı takdirde balastsız hatların ortalama servis ömrü 50 yıldır. Doğal şartlardan dolayı bazı dönemlerde hatlar ufak bakım gerektirebilir. Balastsız hatlardaki bu bakımlar büyük maliyetler doğurmaz. Ancak büyük çaptaki tren kazaları veya doğal felaketler büyük bakım maliyetleri doğurabilir. Hava şartlarından dolayı yapılacak bakımlarda yöntem iki şekilde yapılır.

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

Balastsız hattın ömrü 50 yıl ve bakımı ise bu süre içinde ortalama 20 yılda bir yapılır. Yani servis ömrü boyunca nerdeyse bir defa yapılır denilebilir. Buna göre yukardaki yöntemlerden herhangi biriyle betonun hasar durumuna göre hattın tamamından ziyade belirli kilometre aralıklarında bakım işlemi yapılmaktadır [11].

Balastsız hat döşemesinde maliyet

Balastsız hat döşemeleri, yüksek hızlı demiryolu hatları için 250-350 km/s ve metro ve banliyö demiryolu sistemleri için 160 km/s ve tahmini yaşam döngüsü 50-60 yıl olacak şekilde tasarlanır. Almanya'da, döşeme hattının inşaat maliyetinin Rheda tekniği için 680 €/m ve Züblin tekniği için 575 €/m, balastlı hat inşaatı için 365 €/m maliyete karşılık geldiği bildirilmektedir. Bu maliyetler, döşeme yolu için artan hafriyat ve alt zemin maliyetlerini içermez. Asfalt tabakalı balastsız hattın maliyeti 630 €/m civarındadır. Fransa'da, döşeme hattının inşaat maliyetlerinin balastlı hattın iki katı olduğu bildiriliyor.

Almanya'da çok sayıda döşeme hattı sisteminin dikkate alınması, balastlı hatta kıyasla yaklaşık %10 bakım maliyetlerini ortaya çıkarırken, Japonya'da döşeme hattı bakım maliyetleri balastlı hattın bakım maliyetlerinin %20-30'u kadardır.

2002 yılında Rheda tekniği kullanılarak tamamen betonarme bir döşeme üzerine inşa edilen Köln-Frankfurt hattının ortalama inşaat maliyeti 21.7 milyon €/km'ydı [14].

Balastsız hat döşemesi tedarikçileri bu sistemlerde önemli gelişmeler elde etti. Başlangıçta, balastsız hat döşemesi sistemleri sadece yaşam döngüsü maliyetini azaltmak ve daha güvenilir hat işletimi sağlamak için kullanıldı. Günümüzde tünel yüksekliğini, ray yüksekliğini azaltmak ve sistemlerin kullanılabilirliğini artırmak için de kullanılmaktadırlar. Balastsız hat döşemesi sistemleri uygulanırken ülkeler ekonomik koşulların yanı sıra farklı zemin stabilite özelliklerini de dikkate almaktadır. Örneğin, bazıları aşırı hava koşullarıyla mücadele ederken, bazıları da zeminin sismik davranışıyla uğraşmak zorunda kalıyor. Bu durum balastsız hat döşemesi üreticileri arasındaki rekabeti de etkiliyor [27].

Artan trafik yoğunluğuna sahip bir demiryolu ağının parçası olan bir demiryolu hattının geleceğini tasarlarken yaşam döngüsü maliyeti, yapım süresi, kullanılabilirlik ve dayanıklılık gibi faktörler hayati rol oynamaktadır. Bu kadar yoğun bir demiryolu hattında gece vardiyasında veya günde üç dört saat bakım ve yenileme çalışmaları yapmak son derece zorlaşıyor. Bu operasyonel koşullar, az bakım gerektiren ray sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır [27].

Balastsız hatların yapım maliyeti yaklaşık olarak balastlı hatlara göre iki katıdır. Yapım maliyetinin çok fazla olması nedeni ile balastsız hat imalatı yapım yöntemi olarak seçilmeyebilir. Ancak balastsız hatların uzun servis ömürlerini, düşük bakım maliyetlerini ve sonuç olarak hattın toplam maliyet açısından avantajlarını göz ardı etmemek gerekir [11].

Maliyete etki eden kalemler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir [11].

Çizelge 4.5 : Üstyapı maliyetlerine etki eden kalemler.

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

Balastlı hatlarda balastsız hatlara göre malzemelerde travers ve balast maliyete etki eden kalemler olurken diğerinde ise drenaj borusu ve derz dolgusu giderleri mevcuttur. Makine kısmında ise finişer, buraj makineleri ve stabilizatör balastlı hatta fazladan kullanılan makinelerdir. Balastsız hatta ise fazladan bulundurulması gereken makine mobil vinçdir.

Traversleri mali açılarından incelediğimizde aşağıdaki Çizelge 4.6’da gösterildiği gibi bir tekil blok travers, bir makas travers ve bir balastsız hat döşemesi üretiminde ortak olarak kullanılan çimento, agrega ve donatı tutarlarının toplamı karşılaştırılabilir.

Çizelge 4.6 : Farklı travers çeşitlerinin maliyet karşılaştırması.

	Çimento (Kg)	Agrega (Kg)	Çelik Tel/Donatı (Kg)
B70 Tekil Travers	45,5	235,0	6,1
Makas Travers	25,0	130,0	5,1
Balastsız Hat Döşemesi	975,0	4.520,0	245,0

	Çimento	Agrega	Çelik Tel/Donatı
KG Fiyatı (TL)	0,8	0,1	15,5

	Çimento (TL)	Agrega (TL)	Çelik Tel/Donatı (TL)	4,8 metredeki adet	TOPLAM (TL)
B70 Tekil Travers	36,4	11,8	94,6	6,2	884,8
Makas Travers	20,0	6,5	79,1	6,0	633,6
Balastsız Hat Döşemesi	780,0	226,0	3.797,5	1,0	4.803,5

Tekil travers, makas traversi ve balastsız hat döşemesi için içlerinde ortak bulunan çimento, agrega ve çelik tel miktarları ve bunların birim fiyatları verilmiştir. Yapılan

hesaplama sonucunda, bu malzemeler için 4,8 metre imalata denk gelen adetlerinde harcanan tutarlar tekil travers için 884,7 TL, makas traversi için 633,3 TL ve balastsız hat döşemesi için 4803,5 TL dir. Alt katmanlar olan, tekil traversler için balast ve balastsız hat döşemesi için beton katmanları bu hesaplamaya dahil edildiğinde aradaki tutar farkı, balast maliyetinin çok olması nedeniyle önemli ölçüde kapanacaktır. Ayrıca hesaplamaya dahil edilen malzemelerin birim maliyetleri Mart 2022 dönemine denk gelen maliyetlerdir.

Balastsız hat döşemesi üretiminde hem fiber donatı hemde normal donatı kullanılabilir. Aşağıdaki Çizelge 4.7’de 1 adet balastsız hat döşemesi üretmek için kullanılan donatıların miktarı ve birim fiyatlarından yola çıkarak 1 balastsız hat döşemesi için gerekli donatı tutarları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.7 : Normal donatılı ve fiber donatılı balastsız hat döşemesi maliyeti.

Balastsız Hat Döşemesi	1 Döşemedeki Donatı (Kg)	Kg Fiyatı (TL)	TOPLAM (TL)
Fiber Donatılı	100,0	80,0	8.000,0
Normal Donatılı	245,0	15,5	3.797,5

Fiber donatılı üretimlerin daha maliyetli olduğu belirtilmişti. Tabloda yapılan hesaplamada görüldüğü gibi 1 balastsız hat döşemesi için fiber donatının maliyeti normal donatının yaklaşık 2 katıdır.

4.4 Dayanıklılık Açısından Karşılaştırma

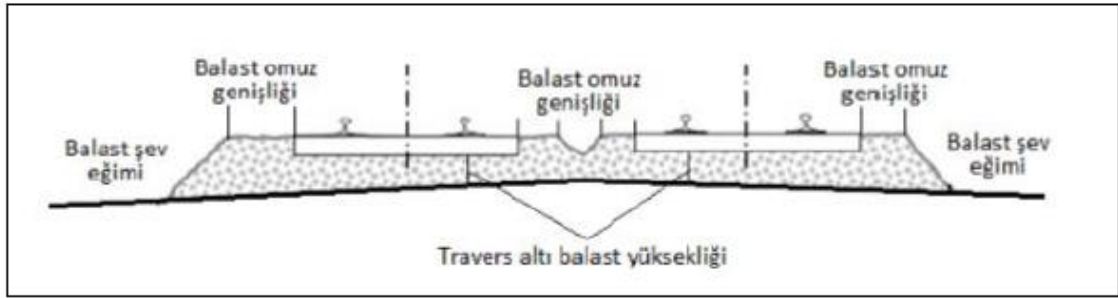
Üretilen betonarme traverslerin dayanıklılıklarına dair bazı karşılaştırma bilgilerini aşağıda bulabiliriz.

Balastlı hat

Balastlı demiryolu hatlarında kontrol parametreleri ve onların kontrol periyotları Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Balasta ait ölçülecek parametrelerin çift hatta şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Balastlı demiryolu hatlarında kontrol parametreleri ve periyotları [11].

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



Şekil 4.1 : Balasta ait ölçülecek parametrelerin çift hatta şematik gösterimi [11].

Balastsız hat

Balastsız hattın temel avantajı, balastlı hatta kıyasla düşük bakım maliyeti ve mükemmel ve kesintisiz çalışma koşullarıdır. Ek olarak, beton levha balast ile karşılaştırıldığında daha düşük bir kalınlığa sahip olduğundan, balastsız ray, tüneller için gerekli enine kesitin azalmasına neden olur, bu da toplam tünel inşaat maliyetini düşürür. Balastsız bir hat, uzun bir ömre sahiptir, balastla karşılaştırıldığında iki katından fazladır. Artırılmış enine direnç ve yolcu konforu da döşeme rayının avantajları arasındadır [14].

Ray aşınması üzerinde balastsız hat döşemesi etkisi

Balastlı ve döşeme raylı sistemler için ray aşınmasını karşılaştırmak için veriler mevcut değildir. Japon Demiryolu Teknik Araştırma Enstitüsü'nden Dr. Ando'ya göre, döşeme rijitliği ray ömrünü olumsuz etkilemez. İki levhalı katman sisteminin üst

levhasının altında daha düşük sertlikte ray pedleri veya kauçuk hasır kullanılması ray aşınmasını azaltır. Ray aşınması ve ray gürültüsünün ve ray taşlama ihtiyacının da tekerlek düzlüklerinden etkilendiğine dikkat edilmelidir [16].

Beton döşeme ve altyapı performansı

Uygun şekilde tasarlanmış ve inşa edilmiş beton levhanın 30 ila 50 yıl boyunca makul ölçüde sorunsuz hizmet vermesi beklenebilir. Ancak, altyapı tasarımının drenaj ve donma kabarması için hükümleri dikkate alması gerekir. Taban zeminleri, konsolide edilmemiş veya zayıfsa, bunlar kaldırılmalı ve uygun şekilde sıkıştırılmış dolgu ile değiştirilmelidir. Döşeme yolunun kurulacağı zayıf zemin altı topraklarını bulmak için yeterli toprak araştırması yapılmalıdır.

Yetersiz drenaj, karayolu beton kaplamaları ve demiryolu rayları için bir endişe olmaya devam ediyor. Balastsız hat döşemesi durumu farklı bir şekilde ele alınmamalıdır. AREMA Manuel zemin altı ve drenaj tavsiyelerine uygunluk çok önemlidir. 3,05 m (10 ft) artı geniş CRC döşeme yolu ile, örneğin LIRR döşeme yolları boyunca, CRC kaplamalara özgü tehlikenin gelişmesi beklenmemektedir ve gelişmemiştir (Şekil 4.2) [16].



Şekil 4.2 : Beton döşeme

Balastsız hat döşemesi bakımı

Döşeme hattının inşa edilmiş bölümleri, genel olarak, az bakım gerektiren bir raydan ne beklendiğini göstermiştir. Yalnızca minimum gerekli bakımı garanti etmekle kalmaz, yolcular için geliştirilmiş sürüş konforunun yanı sıra yüksek kullanılabilirlik düzeyi, düz yolun faydaları olduğu kanıtlanmıştır.

Yol stabilitesi rijit bir levha vasıtasıyla sağlanırsa, bakım miktarı önemli ölçüde azalacak veya neredeyse gereksiz hale gelecektir.

Ray taşıma sayesinde raydaki ve ray yüzeyindeki düzensizlikler giderilir. Bu, düzgün çalışma ve gürültü üretiminin azalması için önemli bir koşuldur. Taşıma ayrıca dalgalanmaları çok daha yavaş gelişmesini sağlar.

Balastlı hat ile karşılaştırıldığında, dinamik kuvvetler daha düşük olduğundan ve ray desteklerinde kademeli bir bozulmaya neredeyse hiç neden olmadığı için, kaynakların yakınında veya (yalıtlı) mafsalların yakınında ezikler gibi arızalar önemli ölçüde daha yavaş gelişecektir. Bir Rheda hattının bakım maliyeti, balastlı hattın maliyetinin yaklaşık %10'u kadardır.

1964 yılında açılan setler üzerindeki geleneksel balastlı yolda 516 km uzunluğundaki Tokaido hattında yaşanan kötü bakım deneyimleri, döşeme yolunun geliştirilmesine yol açmıştır. 1972'den sonra inşa edilen Shinkansen yolunun ana kısmı köprü, viyadük ve tünellerin üzerine uygulandı. Bu hatlardaki toprak dolgu miktarı %5'ten azdır.

Japon deneyimlerindeki bakım maliyetleri, balastlı hat durumundaki maliyetlerin %20-30'u kadardı ve yine de daha iyi bir hat geometrisi ve hizalaması vardı. 1982 yılında açılan ve artan döşeme yüksekliğine sahip olan Tohoku hattının geliştirilmiş ray tasarımı, ön gerilim uygulaması, geliştirilmiş donmaya karşı dayanıklı çimento-bitümlü alt döküm ve tünellerde daha iyi bir drenaj, onu neredeyse bakım gerektirmeyen hale getirdi. Bu tasarımı kullanmanın temel şartı, yerleşimsiz bir temeldir [5].

4.5 Üretim ve Hat üzerindeki İmalat Süresi Açısından Betonarme Traverslerin Karşılaştırması

Aşağıdaki Çizelge 4.9'da betonarme traverslerden tekil blok travers döşemesi ile yapılan bir hat ile balastsız hat döşemesi döşemesi yapılan bir hattın 1 günlük travers

döşeme adetlerinden yola çıkılarak, hat üzerinde 1 günde kaçar metre travers döşemesi yapıldığı bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Farklı travers tiplerinin 1 günlük ortalama döşenme miktarı.

Travers Çeşiti	Travers adedi	Travers Genişliği (m)	Aralık (m)	Toplam İmalat (m)
Tekil Blok Travers	230,0	0,3	0,60	202,4
Balastsız Hat Döşemesi	30,0	4,8	0,05	144,0

Tekil blok travers ile döşenen hattın balast dökümü, buraj yapılması gibi işlemleri göz ardı edildiğinde balastsız hat döşemesinden çok daha hızlı döşenebileceği anlaşılmaktadır.

Ayrıca ülkemizdeki fabrikalarda kapasite olarak ortalama, tekil blok traverslerden ayda 7500 adet, makas traverslerden ayda 5000 adet ve balastsız hat döşemesinden de ayda 1000 adet üretilebilmektedir.

4.6 Karşılaştırmaların Değerlendirilmesi

Kullanım alanlarında balastlı hat üstyapısının tercih edilmesindeki ana neden maliyettir. Balastlı hattın yapım maliyeti daha düşük olması nedeniyle balastsız hatta tercih edilir. Ancak eğer yapım sırasında mali kaynaklar açısından sıkıntı yok ise balastsız hat yapımı tercih edilebilir. Çünkü balastsız hattın servis ömrü daha uzun ve bakım masrafları daha azdır. Uzun vadeli bakıldığında balastsız hat yapmak pahalıya mal olmamaktadır.

Maliyet dışındaki ana tercih kriteri alanın durumudur. Eğer tünel içi gibi yeterli alan yok ise balastsız hatları tercih ederek balast kullanım alanından kar edilebilir.

Üretim tekniklerinde ise tekil blok traversler, alan büyüklüğü daha fazla oldundan yükleri zemine ikiz bloklardan daha iyi dağıtır. Bu nedenle daha çok tercih edilir. Traverslere uygulanacak gerilme çeşidinde ise hem daha ucuz hemde daha dayanıklı olduğu için öngerilme işlemi tercih sırasında daha öndedir. Fiber donatılı betonarme travers üretmek donatı kafesi oluşturulmadığı için daha kısa sürmektedir ve bazı işçilik maliyetlerini de ortadan kaldırır. Plastik granüllü betonarme travers ise hem agrega

yerine atık kullanımı sağladığı için küresel ısınmaya katkı sağlar hemde daha dayanıklı olarak ön plana çıkmaktadır.

Travers üretim maliyeti açısından bakıldığında tekil blok traversler balastsız hat döşemesine göre çok daha ucuz olsa da daha önce de belirtildiği gibi yapım sırasında tekil blok traversler için fazlalık olarak balast ve işçilik maliyetleri de ortaya çıkmaktadır. Ayrıca fiber donatı ile üretilen balastsız hat döşemesi yaklaşık 2 katı donatı maliyetine neden olduğu için bazı avantajları olmasına rağmen geri planda kalmaktadır.





5) SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması betonarme traversler hakkında yapılmış olup, betonarme travers çeşitlerinin kullanım alanları ve üretim yöntemleri irdelenmektedir. Yeni üretim yöntemleri üzerinde durularak yeni bilgiler paylaşılması amaçlanmaktadır. Çeşitli açılardan karşılaştırmalara gidilerek traverslerin üretim yöntemleri ve kullanım alanları arasında avantajlı veya dezavantajlı noktalara dikkat çekilmektedir.

Bu araştırmalar ve edinilen bilgiler ışığında betonarme traverslerin demiryollarındaki ana kullanım alanlarının balastlı hatlar ve balastsız hatlar olduğu belirtilmektedir. Balastlı hatlarda kullanım sırasında traverslerin altına yerleştirilen travers altı pedlerin balasta yük aktarımı sırasında çok daha dengeli yük aktarımına neden olduğu anlatılmaktadır. Balastsız hatlar olan köprü ve tünellerdeki betonarme travers kullanım detayları verilmektedir. Geçiş bölgesi kullanımı hakkında ise balastsız hattan balastlı hatta geçerken balast beton tabakasının normalden daha kalın serildiği ve tam geçiş bölgesi boyunca rayların 2 sıra yerleştirildiği belirtilmektedir.

Kullanım ömrü dolmuş betonarme traverslerin demiryolu dışındaki alanlarında kullanımı veya geri dönüşüm alanlarında geri dönüştürülmesi ile geri dönüşüme katkı sağlanabileceği öğrenilmektedir.

Üretim yöntemlerine geçildiğinde ise ilk olarak bir betonarme traversin fabrikada üretim sırasında hangi aşamalardan geçtiği ve üzerine ne gibi testler uygulandığı anlatılmaktadır. Öngerilme işleminin öneminden ve nasıl yapıldığından bahsedilerek öngerilme işlemine maruz bırakılan traverslerin daha sahada kullanılmadan gerekli gerilmeleri taşıyacağına görülmüş olduğu belirtildi. Balastsız hat döşemesinin traversli veya traverssiz olarak tasarlanabildiği ve bu tasarımlar sırasında kullanılan Zublin, Stedef, Shinkansen gibi tekniklerin detaylarından bahsedilmektedir. Yeni üretim yöntemi olan fiber donatı ile betonarme travers üretimi hakkında, fiber donatıların normal donatıların yerini aldığı için kolay çalışma yani zaman tasarrufu

sağladığı ve dayanıklılığı artırdığı vurgulanmaktadır. Plastik granüllerin de beton karışımında kullanıldığı için atık azaltılması, agrega tasarrufu, betonun sertliğini ve elastikliğini arttırdığı söylenmektedir.

Karşılaştırma ve değerlendirme bölümünde balastlı hatlar ile balastsız hatlar karşılaştırıldığında, balastlı hatlarda kullanılan betonarme traverslerin yapım maliyeti, bakım maliyeti ve suların zemine kolay sızdırılması açısından avantajlı noktada olduğu görülmektedir. Balastsız hatlardaki kullanımların da alan kazanımı, servis ömrü uzunluğu ve konforlu ulaşım nedenleri ile daha ön plana çıktığı belirtilmektedir.

Üretim yöntemleri karşılaştırıldığında tekil blok traverslerin, yükleri ikiz bloklardan daha iyi dağıttığı görülmektedir. Öngerilme işleminin mantolama maliyeti olmadığı için ardgerilmeden düşük olması sebebiyle üretim sırasında genelde öngerilme tercih edildiği anlatılmaktadır. Fiber donatılı traverslerin üretimi ise iletkenlik açısından oldukça faydalıdır, iletken olmayan makro sentetik lifler maksimum güvenlik sağlar. Plastik granüllü betonarme traversler darbe yükü altında çatlak başlangıcına karşı direnci %80-110 oranında artırdığı anlatılmaktadır.

Maliyet açısından yapılan karşılaştırmalarda, balastsız hat döşemesinin yapım maliyeti yüksek olsa da bakım maliyetinin düşük olduğu vurgulanmaktadır. Bir tekil blok traversin, bir makas traversin ve bir de balastsız hat döşemesinin ortak kullanılan malzemelere göre bir maliyet tablosu çıkarılmaktadır. Yine benzer şekilde 1 balastsız hat döşemesi yapımında normal donatı kullanımı ile fiber donatı kullanımı maliyetleri hesaplanarak karşılaştırılmaktadır.

Sonuç olarak betonarme traverslerin kullanım alanları ve üretim yöntemlerine göre avantajları iyi analiz edilip, projeye göre uygun travers seçiminin yapılması çok önemlidir. Maliyet açısından sıkıntı olmadığı takdirde çevreci çözümler içeren betonarme travers çeşitlerinin üretilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Berksoy, B.** (1994), *Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinde Demiryolu Üstyapı İnşaatı (Balastlı ve Balastsız)*, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [2] **Bezgin, N.**, (2019). *Önüretimli ve Öngerilmeli Beton Traverslerde Gözlenen Zamana Bağlı Kısalmalarının Değerlendirilmesi*. İstanbul.
- [3] **Çeçen, F.**, (2019). *Karbon – fiber donatıyla öngerilmemiş monoblok demiryolu beton traversi geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Tokat Gaziosman Paşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [4] **Çelik, M.**, (2015). *Demiryolu traverslerinin çok yönlü incelenmesi ve örnek hat üzerinde kullanılan farklı tipteki traverslerin irdelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Esveld, C.** (2014). *Modern Railway Track* (2nd ed.). Zaltbommel, The Netherlands.: MRT Productions.
- [6] **Getzner.** (2022). Brochure Sleeper Pads Reduce Life Cycle Costs.
- [7] **Getzner.** (2022). Brochure Under Sleeper Pads for Ballasted Track.
- [8] **Kaewunruen, S., Ishida, T., Remennikov, A.**, (2018). Dynamic performance of concrete turnout bearers and sleepers in railway switches and crossings. Birmingham Üniversitesi
- [9] **Kaewunruen S., Li D., Chen Y., Xiang Z.**, (2018). Enhancement of Dynamic Damping in Eco-Friendly Railway Concrete Sleepers Using Waste-Tyre Crumb Rubber.
- [10] **Kordsa.** (2021). Kratos-macro-micro-brochure.
- [11] **Kumru, F.**, (2019). *Demiryolunda balastsız (slab track) ve balastlı üstyapı uygulamalarının maliyet analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [12] **Lidmila M., Tesárek P., Plachý T., Ráková Z., Padevýt P., Nežerka V., Zobal O.**, (2013). Utilization of Recycled Fine-Ground Concrete from Railway Sleepers for Production of Cement-Based Binder.
- [13] **Moderen, O.**, (2010). *Balastsız demiryolu üstyapısının yapısal modellenmesi ve analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Profillidis, V. A.** (2014). *Railway Management and Engineering*, Edition 4, Surrey, Ashgate.
- [15] **Shashikala, A.** (2016). Suitability of Rubber Concrete for Railway Sleepers.

- [16] **Tayabji, S.**, (2000). Concrete slab track for freight and high speed service applications. Illinois.
- [17] **Url-1** < <https://www.railone.com/products-solutions/long-distance-and-freight-transport/ballasted-track-systems/special-track-systems/elastically-supported> > , erişim tarihi: 14.03.2022
- [18] **Url-2** < <https://www.getzner.com/en/products> > , erişim tarihi: 16.03.2022
- [19] **Url-3** < <https://www.railengineer.co.uk/slab-track-paving-the-p-way/> > , erişim tarihi: 18.02.2022
- [20] **Url-4** < <https://www.brainkart.com/article/Railway-Engineering--Turnouts> > , erişim tarihi: 08.03.2022
- [21] **Url-5** < <http://track-technology.org/> > , erişim tarihi: 08.03.2022
- [22] **Url-6** < <https://www.deconx.it/> > , erişim tarihi: 02.04.2022
- [23] **Url-7** < <http://www.chinasleepers.com/products/twin-block-concrete-sleeper/> > , erişim tarihi: 26.01.2022
- [24] **Url-8** < <https://theconstructor.org/question/what-is-the-difference-between-pretension-and-post-tension-in-concrete/> > , erişim tarihi: 18.04.2022
- [25] **Yapıray Demiryolu İnş. Sis. San. Tic. A.Ş.** (2021). Şirket içi dokümanlar. İstanbul, Türkiye
- [26] **Kasapoğlu, E.**, (2010). *Çelik tel kullanımının beton traverslerin mekanik özelliklerine etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [27] **Cebeci, A.**, (2020). A Review Study on Assessing the Sustainability of Design and Maintenance of Slab Track Systems for Turkey. Ankara.
- [28] **Emiroğlu, M.**, (2006). *Atık taşıt lastiğın beton içerisinde kullanımı ve betonun karakteristiklerine etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [29] **Url-9** <[http://www.metapanel.com.tr/Ekspande-Polistiren-EPS#:~:text=Ekspande%20Polistiren%20\(EPS\)%2C%20petrol,i%C3%A7inde%20bulunduklar%C4%B1%20kal%C4%B1b%C4%B1n%20%C5%9Fekli%C4%B1lar.](http://www.metapanel.com.tr/Ekspande-Polistiren-EPS#:~:text=Ekspande%20Polistiren%20(EPS)%2C%20petrol,i%C3%A7inde%20bulunduklar%C4%B1%20kal%C4%B1b%C4%B1n%20%C5%9Fekli%C4%B1lar.)> , erişim tarihi: 18.05.2022
- [30] **Url-10** <<http://www.teskon.com/sentil-mastari-urun1295.html>> , erişim tarihi: 23.03.2022
- [31] **Url-11** <<https://www.edilonsedra.com/case/hemtunnel-zaandam-the-netherlands/>> , erişim tarihi: 18.05.2022
- [32] **Url-12** <<https://www.yapiray.com.tr/products>> , erişim tarihi: 10.01.2022
- [33] **Toprak, M.A.**, (2020). *Experimental and numerical studies on loading capacity of prestressed concrete sleepers with anchor plates.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[34] **Ölçer, B.**, (2022). *EN 16432-2’de verilen tasarım yöntemlerinin Ankara-Sivas yht hattı tünellerinde uygulanan balastsız demiryolu üstyapısı üzerinden incelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Buğrahan Selvi

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012-2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2017-2019 yılları arasında Yapı Merkezi İnşaat'da Teknik Ofis Mühendisi olarak görev aldı.
- 2019 yılından beri Yapıray'da çalışmaya başlayan Buğrahan Selvi, bugün hala aynı şirkette Maliyet Kontrol Mühendisi olarak görev almaktadır.