



1954
TMMOB
ELEKTRİK
MÜHENDİSLERİ
ODASI



TMMOB
İNŞAAT
MÜHENDİSLERİ
ODASI



TMMOB
MAKİNA
MÜHENDİSLERİ
ODASI

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

BİLDİRİLER

02-03-04 KASIM 2023
ESKİŞEHİR

MMO YAYIN NO: E/MMO/746



HST Demiryolu Sistemleri A.Ş.

Vedat Günyol Cad. Flora Residence D.No:2803, 34750 , Ataşehir, Istanbul

Tel: +90 216 228 4260

Faks: +90 850 522 3403

www.hstrail.com

info@hstrail.com



1954

**TMMOB
ELEKTRİK
MÜHENDİSLERİ
ODASI**



**TMMOB
İNŞAAT
MÜHENDİSLERİ
ODASI**



**TMMOB
MAKİNA
MÜHENDİSLERİ
ODASI**

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ



BİLDİRİLER

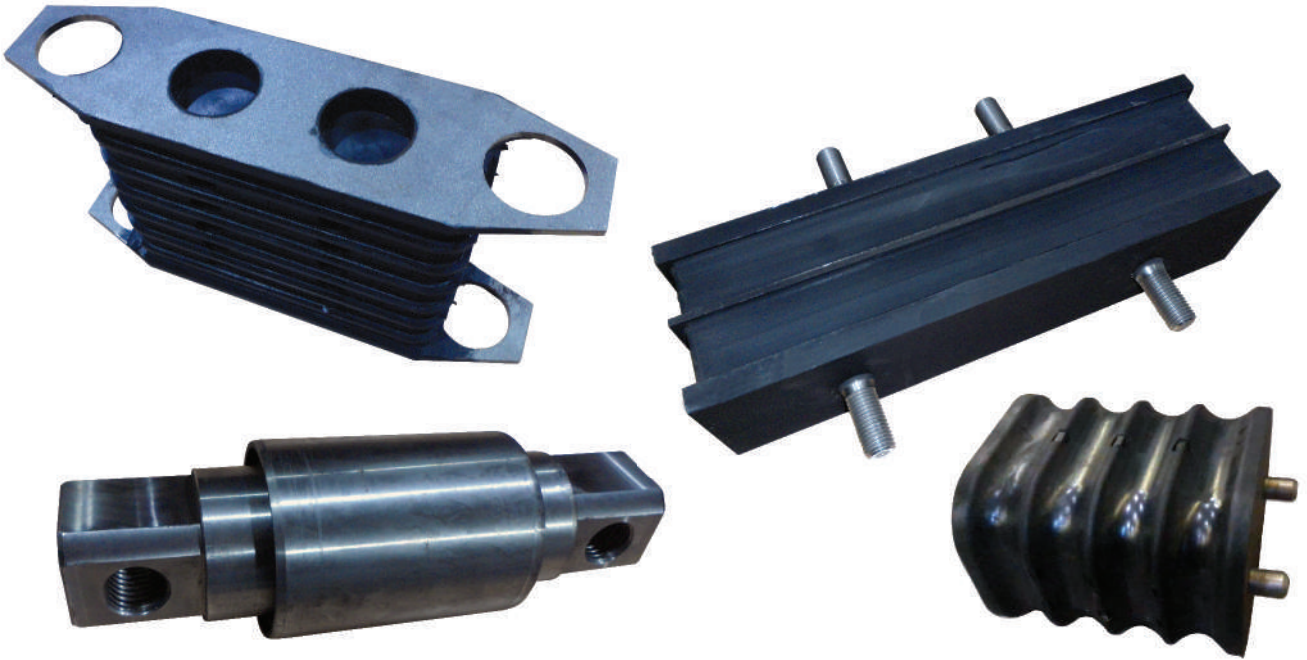
02-03-04 KASIM 2023

ESKİŞEHİR

MMO YAYIN NO: E/MMO/746



MG AYDIN TORNA KALIP KAUÇUK MAKİNA
İMALAT SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞTİ.



📍 Ostim Sanayi Sitesi 1183. Cad. No: 10
06370 Yenimahalle / ANKARA

☎ 0 312 354 53 00

📠 0 312 354 53 49

✉ info@aydintornakaucuk.com

🌐 www.aydintornakaucuk.com

ASDTC MÜHENDİSLİK

Endüstriyel Fikirler



ASDTC Mühendislik, Türkiye'de savunma sanayi ve ulaşım teknolojisinde; kritik malzemelerin yurt içi veya dışından tedarikini sağlayan, elektronik bileşen, kablolaj ve mekanik parça veya malzeme imalatındaki en son yenilikleri destekleyen ve kaliteli ağ çözümü, soğuk zincir ürün teslimi, kimyasal malzemeler, nitelikli kablolar ve yazılım teknolojileri konusunda yetkilisi olduğu veya çözüm ortağı bulunduğu alt imalatçıları ile birlikte büyük bir kapasiteye sahiptir.

SERTİFİKALARIMIZ

- ASDTC ISO 15085-2 CL-1
- ASDTC ISO 3834 2005: Kaynak Üretim Uygunluğu Kalite Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 50001:2018 : Enerji Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 28000:2022 : Güvenlik Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 9001 2015: Kalite Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 10002 2018: Kalite Yönetim ve Müşteri Memnuniyeti
- ASDTC ISO 14001 2015: Çevre Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 22301 2012: İş Devamlılığı Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 27001 2013: Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 31000 2018: Risk Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 37001 2016: Rüşvetle Mücadele Yönetim Sistemi
- ASDTC ISO 45001 2018: İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi



Raylı Araçlara ait; Lokomotif kapıları, metro kapıları, güç üniteleri ve bu ünitelere ait taşıma kutuları, kontrol yazılımlarını geliştirirken parametrik rüzgâr-tüneli deneyleri ile patentine sahip olduğu bir çok reçete ve tasarıma sahiptir. Ürettiğimiz ürünlerimizin tamamı akredite laboratuvarlar tarafınca onaylanmış ve uluslararası sertifikara sahiptir.

"Harika Fikirler, Gelişimi Kaçınılmaz Kılar."

Mühendislik alanında sektörün öncüsü 200'den farklı yerli ve yabancı üretici veya raf ürün satıcısı iş ortağımız ile güç birliği yapmakta ve geniş ürün gamımızla statükoya meydan okumaktayız.

Her türlü sektörden talep gören; yenilikçi ürünlerimiz, çözümlerimiz ve hizmetlerimiz ile uluslar arası etik standartlara uygun sürdürülebilir ve gelişime açık teknolojiye yatkın iş ahlakımız ve müşterimize olan saygımız ile firmaların büyüme hızlarına ve insanların günlük yaşamlarındaki hedeflerinin gerçekleşmesine katkı sağlıyoruz.

Türkiye'de havacılık ve savunma teknolojisinin gelişmesinde; kritik parçaların tedarik ve imalatındaki en son yenilikleri destekleyen kaliteli hizmetleri ve elektrik ara bağlantı çözümleri, ağ çözümü, elektronik bileşen çözümü sağlama konusunda büyük bir kapasiteye sahiptir.

Teknoloji Transferi

Makedonyalı VEDA firmasıyla ortak İştirak ALSVEDA Kurulması (www.alsveda.com.tr)

Batarya Kutusu

Batarya kutusunun millileştirilmesi

2022

2021

Mühendislik Çözümü

Özel Boyutlu Entegreli Darbe Kapasitörü ve Şarj Edilebilir Lityum Pili Üretimi

2013

Resmi Dağıtıcı

50'den Fazla Firmanın Yetkili Satıcılığı Belgesi

2014

DC MOTOR

+100M Euro Yüksek kaliteli DC motorların, güçlü kalıcı miktarlarla ithalatı anlaşması,

2018

Lokomotif Kapısı

Lokomotif Kapısı Millileştirilmesi

2020

ASDTC MÜHENDİSLİK

ALSANCAK GRUP'UN İŞTİRAKI OLARAK
ASDTC MÜHENDİSLİK KURULUŞU (www.alsancakgrup.com.tr)

2012



asdtc.co.uk | alsancakgrup.com.tr



 **TMS**[®]
RUBBER METAL
www.tmsrubber.com

 **LANCK**
SİNYALİZASYON
www.plancksignal.com

 **TMS**[®]
TMS TREN BAKIM ONARIM A.Ş.
www.tmstechnic.com





HISARLAR

www.hisarlar.com.tr

Yüksek Teknolojik Üretim Ağımızla

GELECEĞİ TASARLIYORUZ

Raylı Sistemler Yetkinliklerimiz

- Lokomotif Sürücü Kabini
- Lokomotif Üst Yapı Metal Aksamları
- Lokomotif Şasesi
- 19 mt RILNNS Tipi Yük Vagon Şasesi
- 80 INÇ SGGMRS Tipi Yük Vagon Şasesi
- Elektronik Kontrollü Döner Köprü



2 FABRİKA



128.000 m²
ÇALIŞMA ALANI



2.300 m²
AR-GE MERKEZİ



30x7 m
KUMLAMA VE
BOYAHANE



0 (222) 411 24 30 - info@hisarlar.com.tr

Merkez Fabrika : Hisar Mh. 1047 Cd. No:2 Eskişehir
İmişehir Fabrika : OSB 2004 Cd. No:5 Eskişehir

IRIS GSI SLV
ISO/TS 22163 EN 15085-2



Stor Perde Sistemleri

FAHRETTİN APAYDIN



ADRES & ÇALIŞMA SAATLERİMİZ

Ankara yolu Otosansit 2. Sokak 12.

Blok No:90-92 Yıldırım / BURSA

Haftaiçi : 08:00-18:00

TELEFON & FAX & MAIL

Tel. : +90(224) 346 11 62-63-64 /

Fax : +90(224) 346 11 65

Cep : +90(551) 243 66 73

ozelcelik@gmail.com |

ozelcelik.f@gmail.com

KALİTE BELGELERİMİZ



Akülü Taşıma Araçları

Akülü Çekiciler



SMZ MNC350 Çekme Kapasitesi **35 Ton**



SMZ ATA10 Taşıma Kapasitesi **1 Ton**



SMZ MNC120 Çekme Kapasitesi **12 Ton**



SMZ ATA20 Taşıma Kapasitesi **2 Ton**



SMZ MNC100 Çekme Kapasitesi **10 Ton**



SMZ ATA50 Taşıma Kapasitesi **5 Ton**



Fabrika
Türkgücü Mahallesi Türkgücü O.S.B.
Yılmaz Alpaslan Cad.No: 60-62-64 Çorlu / Tekirdağ
Tel: +90 (282) 681 80 77

1990 yılında büro malzemeleri imalatı ile modern sanayi sitesinde faaliyete başlayan AKÇELİK EŞYA İMALAT SANAYİİ 1996 yılına kadar çelik eşya ve büro malzemeleri üreterek hizmet vermiştir.

AKÇELİK EŞYA İMALAT SANAYİİ started production with the production of office materials manufacturing on the modern industrial site in 1990 Until 1996, the company provided producing steel goods and office materials.

1996 yılı itibarı ile TÜVASAŞ'a Raylı Taşıtlar konusunda yedek parça üretimine başlamıştır.

As of 1996, the company has started production spare parts of rail vehicles for TÜVASAŞ.

2010 yılında 8000 m2 kapalı 25000 m2 açık alanda kendi tesisini kurarak raylı taşıtlara yedek parça üretimi konusunda ihtisaslaşmış olup TCDD, TÜVASAŞ, TÜDEMSAŞ, TÜLOMSAŞ gibi kurumlara hizmet etmeye devam etmiştir.

In 2010, the company established its own facility on 8000 m2 closed and 25000 m2 open area became an expert in the production of spare parts for rail vehicles. Also the company has continued to serve to institutions TCDD, TÜVASAŞ, TÜDEMSAŞ, TÜLOMSAŞ.

2017 yılı itibarı ile White Pigeon markası ile ilgili gerekli tüm belge ve alt yapıları alıp karavan dünyasına giriş yapmış bulunmaktadır. Bünyesinde kendi tasarımı olan iki kişilik mini karavan , çekme karavan, motokaravan , kulis karavan, wc karavan , cenaze yıkama araçları, hayvan taşıma araçları üretimi yapmaktadır.

As of 2017, the company has taken all necessary documents and infrastructure about White Pigeon brand and entered the caravan world. We produce which is our own design two-person mini caravan, caravan, motorhome, backstage caravan, wc caravan, funeral washing vehicles, animal transport vehicles.

Türk kızılayı kan alma araçları Sağlık Bakanlığı , AFAD araçları gibi özel üretim araçlarda hizmet vermektedir.

We also produce special production vehicle such as Türk Kızılayı blood letting vehicle, Ministry of Health vehicle , AFAD vehicle.



AKÇELİK

EŞYA İMALAT TAAHHÜT TİC. ve SAN. LTD. ŞTİ.



29 YILLIK TECRÜBEYİ

TÜRKİYE'NİN YÜKSELEN DEĞERİ



Eskişehir Cad. Aşağı Kirazca Mah. No:159

Arifiye - Sakarya / TURKEY

+90 264 229 43 95

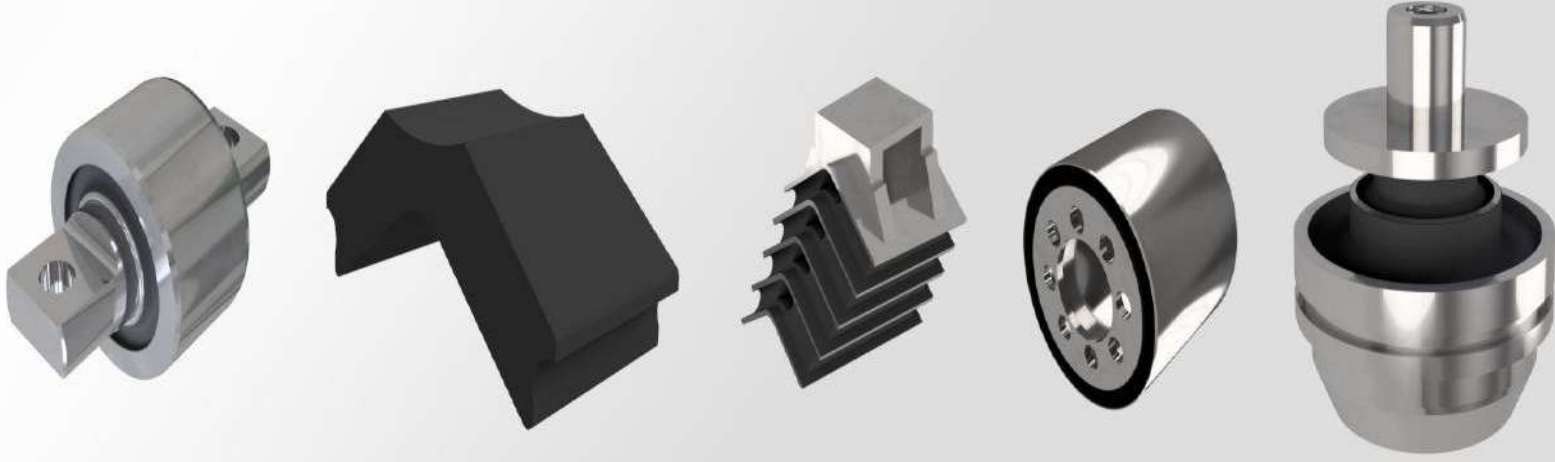
info@akcelikesya.com

akcelikesya.com

/akcelikesyaltd

AVITECH

Anti-Vibration Technology



Bogie Suspension Parts

TIE RODS, STOP BUFFERS

CONICAL SUSPENSION SPRINGS

COUPLINGS, CHEVRON SPRINGS

CONTROL LINKS, WEDGE MOUNTS

ROT KOLU, YANAL DIKEY STOPERLER

KONİK SÜSPANSİYON PARÇALARI

KAPLINLER, ŞEVRON YAYLARI

KONTROL KOLLARI, MOTOR YATAĞI

ISO 9001

BUREAU VERITAS
Certification



IRISTM
Certification

www.avi-tech.com.tr



DIMSA

Raylı taşıtlar sektöründeki 25 yılı aşan tecrübemiz ile, müşterilerimizin isteklerine uygun, uluslararası standartlarda üretim gerçekleştirmekteyiz.

Sektörümüzde büyük önem arzeden DIN EN 15085-2 CL1 (*Demiryolu Araçları ve Bileşenlerinin Kaynaklı İmalatı*) sertifikası ile sektörün lider firmalarına hizmet vermekteyiz.

Bünyemizde çalışan çelik, paslanmaz ve alüminyum kaynakçıları bağımsız kuruluşlar tarafından sertifikalandırılmıştır.

Deneyimli kadromuz ile sürekli kaliteyi hedef alarak çalışmalarımıza devam etmekteyiz.

www.dimsa.com.tr - dimsa@dimsa.com.tr

0264 276 1745 - Hanlıköy Mah. Akgün Cad. No: 4 Arifiye - Sakarya



BABACAN® RUBBER

ALWAYS FOR THE BETTER

RAILWAY
VEHICLES
SOLUTIONS

EN 45545-2

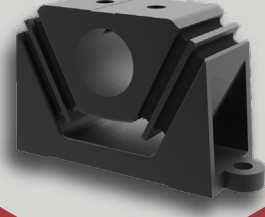
www.babacankaucuk.com



ŞEVRON YAYLARI
CHEVRON SPRINGS



KONİK YAYLAR
CONICAL SPRINGS



TİTREŞİM TAKOZLARI
VIBRATION MOUNTS



ELASTİK KAPLINLER
ELASTIC COUPLINGS



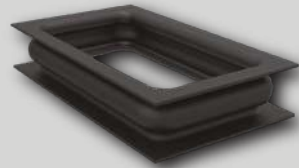
BURÇLAR
BUSHES



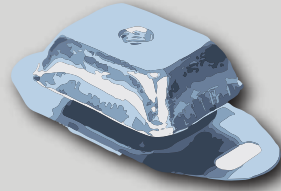
KAUÇUK PROFİLLER
RUBBER PROFILES



SIZDIRMAZLIK
SEALING EQUIPMENTS



KÖRÜK LASTİKLERİ
BELOWS



BAĞLANTI TAKOZLARI
CONNECTION SPRINGS

Mağza: 100. Yıl Bulvarı
No:44 Ostim
Ankara /TÜRKİYE

Fabrika: Fevzi Çakmak Mah.
37.Cd. No:2 06946 Yenikent
Ankara /TÜRKİYE

+90 (312) 385 49 10
+90 (544) 746 99 53
info@babacanrubber.com



1954
TMMOB
ELEKTRİK
MÜHENDİSLERİ
ODASI



TMMOB
İNŞAAT
MÜHENDİSLERİ
ODASI



TMMOB
MAKİNA
MÜHENDİSLERİ
ODASI

Meşrutiyet Caddesi No:19 Kat:6-7-8 Kızılay/ANKARA

Tel : (0312) 425 21 41
Fax : (0312) 417 86 21
Web : <http://www.mmo.org.tr>
E-posta : mmo@mmo.org.tr

Yayın No : E/MMO/746
E- ISBN : 978-605-01-1586-4

BU KİTABIN YAYIN HAKKI MMO'NA AİTTİR.

Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nun izni olmadan hiçbir bölümü elektronik, mekanik fotokopisi vs. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak göstermek şartıyla kitaptan alıntı yapılabilir.

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ESKİŞEHİR ŞUBESİ

Adres : Hoşnudiye Mah. Kızılıcklı Mahmut Pehlivan Cad.

Altın Sok. No:1 Kat:1-2-3-4-5 ESKİŞEHİR

Tel : (0.222) 230 93 60
Fax : (0.222) 231 38 54
Web : <https://mmo.org.tr/eskisehir>
E-posta : eskisehir@mmo.org.tr

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Mahir Ulutaş	EMO Genel Merkez
Ahmet Şakar	EMO Eskişehir Şube
A. Kadir Kozandağı	EMO Eskişehir Şube
Hakan Tuna	EMO Eskişehir Şube
Mehmet Dedeoğlu	EMO Eskişehir Şube
Ömür Yıldız	EMO Eskişehir Şube
Rüstem Şimşek	EMO Eskişehir Şube
Taner Yüzgeç	İMO Genel Merkez
Selim Tulumtaş	İMO Genel Merkez
Halim Ceylan	İMO Denizli Şube
Fulya Pinici	İMO Eskişehir Şube
Murat Karacasu	İMO Eskişehir Şube
Şafak Bilgiç	İMO Eskişehir Şube
Yahya Kaya	İMO Eskişehir Şube
Yunus Yener	MMO Genel Merkez
Zafer Öztürk	MMO Genel Merkez
Cem Tuzcuoğlu	MMO Eskişehir Şube
Fatih Karabacak	MMO Eskişehir Şube
İbrahim Erşahin	MMO Eskişehir Şube
Metin Uçkun	MMO Eskişehir Şube
Sertan Doğan	MMO Eskişehir Şube

KONGRE BİLİM KURULU

Abdulkadir Özden (Dr. Öğretim Üyesi)
Abdülkadir Zirek (Dr. Öğretim Üyesi)
Ahmet Atadeniz Demirer
Ali Ekber Çakar
Alkan Alkaya (Doç. Dr.)
Alp Geyik
Altan Onat (Dr. Öğretim Üyesi)
Arzu Altın Yavuz (Prof. Dr.)
Arzu Er (Dr. Öğretim Üyesi)
Bekir Tuna Kayaalp (Dr. Öğretim Üyesi)
Berat Barış Buldum (Doç. Dr.)
Burak Özgen
Can Ayday (Prof. Dr.)
Celal Tolga İmamoğlu
Cem Sinanoğlu (Prof. Dr.)
Çağdaş Kara (Dr. Öğretim Üyesi)
Engin Algül
Güngör Evren (Prof. Dr.)
Hakan Güler (Prof. Dr.)
Halim Ceylan (Prof. Dr.)
Halil İbrahim Bakar
Haluk Gerçek (Prof. Dr.)
Hasan Hüseyin Erkaya (Prof. Dr.)
Hediye Tüydeş Yaman (Prof. Dr.)
Hüseyin Onur Tezcan (Doç. Dr.)
İlgın Gökaşar (Doç. Dr.)
İlker Örs (Doç. Dr.)
İskender Özkul (Doç. Dr.)
İsmail Şahin (Prof. Dr.)
Kadir Berkhan Akalın (Dr.)
Kamil Bekir Afacan (Doç. Dr.)
Kemal Keskin (Dr. Öğretim Üyesi)
Kemal Selçuk Ögüt (Prof. Dr.)
Kıvanç Taşkın (Dr. Öğretim Üyesi)
Mehmet Canbaz (Doç. Dr.)
Mehmet Fidan (Dr. Öğretim Üyesi)
Mehmet Mete Öztürk (Doç. Dr.)
Mehmet Zeki Ader

KONGRE BİLİM KURULU

Mine Sertsöz (Dr. Öğretim Üyesi)
Muhammet Vefa Akpınar (Prof. Dr.)
Murat Başaran (Dr. Öğretim Üyesi)
Murat Karacasu (Prof. Dr.)
Murat Subaşı
Mustafa Eser
Mutlu Boztepe (Prof. Dr.)
Onur Kılınç (Dr. Öğretim Üyesi)
Osman Parlaktuna (Prof. Dr.)
Ömür Akbayır (Doç. Dr.)
Önder Şişer
Özgür Yalçınkaya (Dr.)
Pelin Alpkökin (Doç. Dr.)
Polat Yalınız (Dr. Öğretim Üyesi)
Salman Kurtulan (Prof. Dr.)
Seda Ayşe Cengiz
Serhan Tanyel (Prof. Dr.)
Sıla Tanyeli
Soner Haldenbilen (Prof. Dr.)
Şafak Bilgiç (Dr. Öğretim Üyesi)
Şeref Sağıroğlu (Prof. Dr.)
Şeref Soylu (Prof. Dr.)
Tuğba Saraç (Doç. Dr.)
Turan Arslan (Prof. Dr.)
Uğur Emek (Prof. Dr.)
Ümit Pınaroba
Yahya Danayiyen (Dr. Öğretim Üyesi)
Yaşar Vitoşoğlu (Dr. Öğretim Üyesi)
Zafer Öznalbant (Dr. Öğretim Üyesi)
Zübeyde Öztürk (Prof. Dr.)
Zühal Tarhan

KONGRE YÜRÜTME KURULU

Ahmet ŞAKAR
Ender KELLEÇİ
Fulya PİNİCİ
Hakan TUNA
İsmail ÖZDEMİR
Kadir Berkhan AKALIN
Metin UÇKUN
Nezihe HANECİOĞLU
Orkun KILIÇ
Sertan DOĞAN
Yahya KAYA

KONGRE SEKRETERLERİ

Marife Elçin ÇETİNKÖPRÜLÜ
İlker ÖZCAN

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

- ACARLAR VAGON
- AK ÇELİK EŞYA İML.TAAH.TİC.VE SAN.LTD.ŞTİ.
- ANADOLU RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ KÜMELENMESİ (ARUS)
- ASDTC MÜHENDİSLİK TİCARET LTD.ŞTİ.
- AVİTECH KAUÇUK METAL END. ÜRÜNLER SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ
- AYDIN ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
- BABACAN KAUÇUK VE YEDEK PARÇA LTD. ŞTİ.
- BATMAN ÜNİVERSİTESİ
- DEMİRYOLU MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ (DEMÜHDER)
- DİMSA DEMİR ÇELİK ÜRÜNLERİ MAKİNA SANAYİ BOYA NAKLİYE İNŞAAT TAAH SANAYİ VE TİC. LTD. ŞTİ.
- ESGAZ DOĞALGAZ DAĞITIM TİC. VE TAAH. A.Ş.
- ESKİŞEHİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
- ESKİŞEHİR ODUNPAZARI BELEDİYESİ
- ESKİŞEHİR ORGANİZE SANAYİ BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
- ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
- ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
- ESKİŞEHİR TEPEBAŞI BELEDİYESİ
- ESRAY MAKİNA OTOMOTİV İNŞ. SAN. VE TİC. A.Ş.
- ESTRAM A.Ş.
- GÜZELOĞLU INDUSTRY
- HİDROES ENDÜSTRİYEL DONANIMSAN. TİC. LTD. ŞTİ.
- HİSARLAR MAKİNA SAN. VE TİC. A.Ş.

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

- HST DEMİRYOLU SİSTEMLERİ A.Ş.
- IONGLOBAL ENDÜSTRİYEL ÜRETİM SANAYİ TİC. LTD.ŞTİ.
- İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ RAYLI SİSTEM PROJELER ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ
- İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ -CERRAHPAŞA
- KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
- KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
- MEDEL MÜHENDİSLİK VE ELEKTRONİK SAN. TİC. A.Ş.
- METRADE ÇELİK DIŞ. TİC. LTD. ŞTİ.
- MG AYDIN TORNA KALIP KAUCUK MAKİNA İMALAT SAN. VE TİC. LTD.ŞTİ.
- ÖZELÇELİK STOR PERDE
- ÖZİSMAC İSTİF MAK. SAN. VE. TİC. LTD.ŞTİ.
- RAYHABER
- RAYLI SİSTEMLER KÜMELENMESİ DERNEĞİ (RSK)
- SAKARYA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
- SAVRONİK ELEKTRONİK SAN. ve TİC. A.Ş.
- SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
- TMS TREN BAKIM ONARIM A.Ş.
- VOİTH TURBO GÜÇ AKTARMA TEKNİĞİ LTD. STİ
- YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

SUNUŞ

TMMOB Elektrik Mühendisleri, İnşaat Mühendisleri ve Makina Mühendisleri Odaları, meslek ve uzmanlık alanlarını ilgilendiren konularla ilgili olarak halkı ve kamuoyunu bilgilendirmek, çözüm önerileri ortaya koymak için gerçekleştirdikleri Kongre, Kurultay, Sempozyumlarla, ilgili tarafları ve uzmanları bir araya getirip ülke politikalarının şekillenmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadırlar. Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi de bağımsız, demokratik, kolektif yapısıyla bu platformlardan biridir.

Ülke raylı sistemler sanayinin gelişmesi ve dünya firmalarıyla rekabet edebilir hale gelmesi için, sanayi – üniversite – bilim kuruluşları – devletin eşgüdüm içinde çalışması ve daha etkin bir işbirliği içinde olmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca raylı sistemler sektörüne yapılan yatırımların iktisadi anlamda koplum yararına olacak şekilde etkin ve verimli bir şekilde planlanması ve kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünya genelinde teknolojik açıdan çok hızlı ilerleyen raylı sistemler sektöründe yenilikçi malzemeler ve ileri üretim teknolojilerine önem verilmesi, bu konularda çalışma yapan üniversiteler ile kurumların bir araya getirilerek araştırma merkezleri kurulması, Ar-Ge çalışmaları için devlet tarafından destek sağlanması gerekmektedir.

Üniversitelerimizdeki eğitim de ülkemiz raylı sistemler sektörünün gelişiminde büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle eğitimin, ülkenin bilim ve teknoloji yeterliliğinin güçlendirilmesini temel alan bir anlayışla yapılandırılması gerekiyor.

Odalarımızca düzenlenen Raylı Sistemler Kongre ve Sergi'sinde; yukarıda değindiğimiz konularla birlikte demiryolu araçları, demiryolu hat planlaması, yapımı, işletmesi, bakımı ve onarımı, güvenlik, erişilebilirlik, elektrifikasyon, sinyalizasyon ve enerji yönetimi, standartlara göre ölçüm, test ve sertifikasyon; yeşil mutabakat ve dördüncü demiryolu paketi doğrultusunda yerleşirme oranının yükseltilmesi konuları ele alınacaktır. Kongremiz; anahatlar ve kent içi raylı ulaşım sistemleri konusunda akademisyenlerin, uygulayıcıların geliştirdikleri yeni bilgi ve uygulamaları paylaşabilecekleri; demiryolu ulaşım politikalarını, kamu işletmeciliğini, kamusal hizmeti, mühendislik hizmetleri ve kalitesini, ehil/liyakatlı kadro politikasını, ulaşım ağlarının bütünlükçü bir anlayışla planlamasını tartışacakları, bilgiyi ortaklaştıracakları bir platform meydana getirmek ve Türkiye'de raylı sistem ve ulaşım alanında ulusal düzeyde bilgi birikiminin oluşturulmasını amaçlanmaktadır.

Kongremizin düzenlenmesinde emeği geçen Düzenleme, Bilim Kurulu, Yürütme Kurulu üyelerine, bildiri sunan konuşmacılara, kongre ve sergiye katılan, destek veren tüm kişi, kurum ve kuruluşlara, Odalarımızın ve Şubelerimizin Yönetim Kurulu üyeleri ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

TMMOB
İnşaat Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

TMMOB
Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

SUNUŞ	7
DEMİRYOLLARINDA BALAST KİRLİLİĞİ VE ÜSTYAPIYA ETKİSİNİN ANALİZİ	12
<i>Emir Yalçın Aksop, Hakan Güler</i>	
DEMİRYOLU ARAÇLARINDA İKLİMLENDİRME YÜKLERİNİN ANALİZİ	19
<i>Serhat Tunç, Hüseyin Bulgurcu</i>	
DEMİRYOLU ARAÇLARININ İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ISI VE ENERJİ GERİ KAZANIMI	27
<i>Emirhan Yerlikaya, Hüseyin Bulgurcu</i>	
DEMİRYOLU DÖNEMEÇLERİNDE TEKERLEKLER ÜZERİNE ETKİ EDEN DÜŞEY KUVVET DEĞERLERİNİN UYGULAMA DEVER DEĞERLERİ İLE BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLMESİ	33
<i>Sinem Bozathlı Kartal, Niyazi Özgür Bezgin</i>	
DEMİRYOLU TRENLERİ İÇİN HAVA ÇEKME Lİ DUMAN ALGILAMA SİSTEMİ.....	43
<i>Hasan Aslankurt</i>	
DEMİRYOLU YÜK TAŞIMACILIĞINDA DİJİTAL OTOMATİK KOŞUM TAKIMI	46
<i>İbrahim Halil Küçük</i>	
HIZLI TREN İŞLETMECİLİĞİ HATA BİLDİRİMLERİNİN KELİME BULUTU ANALİZİ İLE GRUPLANMASI	49
<i>Mehmet FİDAN, Ömür AKBAYIR</i>	
İKİ VEYA ÜÇ DİNGİLLİ BOJİ ALTINDAKİ HATLARDA DENEYİMLENEN GÖRÜNÜR HAT ESNEME DİRENCİNİN VE ORTAYA ÇIKAN DİNAMİK DARBE KUVVETLERİNİN BALCI-BEZGİN FONKSİYONLARI İLE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ.....	54
<i>Erdem Balcı, Niyazi Özgür Bezgin, Mohamed Wehbi</i>	
KENT İÇİ RAYLI TAŞIMACILIKTA TRANSLOHR SİSTEMİNİN VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI	65
<i>Muhammed Emin Arı</i>	

KGK SİSTEMLERİ ARIZA BİLDİRİM SÜRELERİNDE İYİLEŞTİRME	71
<i>İsmail Timur Aslan, Abdullah Ayaz, Furkan Karakuş, Selim Gülle, Ferit Deniz, Orhan Aslan</i>	
RAMS ANALYSIS	76
<i>Sara Stefanelli</i>	
RAYLI SİSTEMLERDE KÜMELENME VE YENİ YAKLAŞIMLAR	92
<i>Semavi Bilgiç</i>	
ROLLING STOCK 4.0 & DIGITALIZATION	98
<i>Leire de Olabarria</i>	
SCADA APPLICATIONS FOR RAIL TRANSPORTATION SYSTEMS	101
<i>Citra Lestari Saparingga, Ade Rukmana, Ferdi Yoloğlu</i>	
ŞEHİRLERARASI DEMİRYOLU ARAÇLARINDA ISIL KONFOR VE İÇ HAVA KALİTESİ PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ	106
<i>Serkan Uğur, Emirhan Yerlikaya</i>	
ŞEHİRLERARASI RAYLI SİSTEMLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK: SAKARYA ARİFİYE YHT DURAĞI	116
<i>Abdulkadir Özden, Süleyman Nurullah Adahi Şahin</i>	
THE BLUE TROLLEY BUS	123
<i>Mohamed Juma Eid, William Pesci</i>	
TRAMVAY İSTASYONU ERİŞİMİNDEKİ IŞIKLI YAYA GEÇİDİ İHLALLERİNİN İRDELENMESİ	131
<i>Gürcan Sarısoy, Ayşe Polat, Hüseyin Onur Tezcan</i>	
TREN ARIZALARININ DEMİRYOLU İŞLETME PERFORMANSLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	141
<i>Pelin Boyacıoğlu, Kadir Berkhan Akalın</i>	
TREN TEKERLEK YATAKLARINDA ONLINE TİTREŞİM ANALİZ SİSTEMLERİ	150
<i>Özgün Yakar, Cem Alaybeyoğlu</i>	

TREN TEKERLEKLERİNİN KONİKLİK GEREKSİNİMLERİNİN HAT VE ARAÇ GEOMETRİK DEĞERLERİ İLE İLİŞKİSİNİN ANALİTİK İRDELENMESİ..... 154

Recep Bilal Sıkar, Ahmet Kerem Özdemir, Niyazi Özgür Beşgin

TÜRKİYE'DE BULUNAN ŞEHİR İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI 159

Mine Sertsöz

UIC406 YÖNTEMİYLE DEMİRYOLU HAT KAPASİTESİ HESABI: MALATYA-NARLI ÖRNEĞİ 163

Serhan Urhan, İsmail Şahin

Y32 BOJİSİNE ETKİ EDEN GERİLMELERİN DENEYSSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ 168

Gülüstan Tuğçe Alvalı, Abdulkadir Orak, M. Hüseyin Çetin

YENİ GELİŞTİRİLEN LAMİNE CFRPU DONATILI BETON DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÜRETİM PROSESLERİ, DONATI MALİYETİ, STATİK VE DİNAMİK PERFORMANSI BAKIMLARINDAN ÖNGERİLMELİ TRAVERSLE KARŞILAŞTIRILMASI..... 175

Ferhat Çeçen, Bekir Aktaş

YÜKSEK HIZLI TREN KAYNAKLI ÇEVRESEL YER TİTREŞİMLERİNİN AZALTIMASI: AÇIK HENDEKLERDE PREFABRİKE PANEL KULLANIMI..... 194

Ayşenur Subaşı, Erkan Çelebi, Berna İstegün, Osman Kırtel, Fatih Göktepe, Muhammet Burhan Navdar, Abdullah Can Zülfiyar

**DEMİRYOLLARINDA BALAST KİRLİLİĞİ VE ÜSTYAPIYA ETKİSİNİN
ANALİZİ***Emir Yalçın Aksop¹, Hakan Güler²*¹ Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli, Türkiye
Tel: 262 321 24 29 E-Posta emiraksop@gmail.com² Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
Tel: 264 295 54 54 E-Posta hguler@sakarya.edu.tr

Özet- Geleneksel (konvansiyonel) demiryolu sistemi yapısı; ray, travers, balast, alt balast, toprak gövde ve doğal zeminden oluşmaktadır. Bir demiryolu yapısında statik ve dinamik kuvvetler sonucu oluşan gerilmeler ve deformasyonlar hem analitik hem de nümerik yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Analitik yöntemle hesaplamalarda Winkler Yöntemi esas alınırken, nümerik hesaplamalarda ise sonlu elemanlar yöntemleri esas alınmaktadır. Bu çalışmada; balast tabakası üzerine oturan ray ve traverslerden oluşan yapı, elastik yatağa oturan kiriş olarak sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu (3D) modellenmiş ve balast kirliliği sonucu mekanik özellikleri değişen balast tabakasının, üstyapı hesaplarına olan etkisi incelenmiştir. Farklı düzeyde kirlilik durumları için balast tabakasında meydana gelen gerilmeler ve çökmeler; ray ve travers elemanlarda oluşan kuvvet ve moment hesaplarına göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Balast, Balast kirliliği, Demiryolu üstyapı hesaplamaları, Sonlu elemanlar yöntemi

1. GİRİŞ

Dünyada geniş bir uygulama alanına sahip olan balastlı demiryolunun hat bileşenleri iki gruba ayrılır. İlk grup üstyapı olarak tasarlanır ve bu üstyapı raylardan, bağlantı malzemesinden, traverslerden ve balast tabakasından oluşur. İkinci grup altyapı olarak tasarlanır ve bu altyapı balast altı malzemesinden ve toprak gövdeden oluşur. Demiryolu sisteminin çalışması prensibinde; üzerinde trenlerin hareket etmesini sağlayan raylar katarlardan (demiryolu taşıtları) gelen yükleri geniş alana yayması için belirli aralıklarda kendisi ile mesnetlenmiş traverslere aktarırlar. Traverslerde, toprak gövde üzerine oturan ve yükü toprak gövdeye sönmüleyerek aktaran balastlı tabakaya iletirler. Bu demiryolu sisteminin oluşturulabilmesi için, yüzeyde zeminin üstyapıya uygun hale getirilmesi gereklidir. Kazı, dolgu, zemin iyileştirme gibi işlemler sonrası oluşturulan ve zemin durumuna göre balast altına serilen malzemeye alt balast denir [1].

Balastlı demiryolu yapım, bakım, onarım kolaylıkları ve düşük maliyetli olmaları, yüksek titreşimleri ve gürültüleri önlemesi ve yükleri zemine malzeme özelliklerinden (balastın elastikiyeti) dolayı titreşimler ile azaltarak aktarması sebebiyle tercih edilmektedir. Balastlı demiryolu üstyapısına ait bir enkesit ve üstyapı elemanları Şekil 1.'de gösterilmiştir [1].



Şekil 1. Balastlı demiryolu üstyapısı kesiti

Demiryolu altyapısı ince daneli malzemeden oluşurken, üstyapısı ise iri daneli ve taneli olmayan bir yapıdadır. 250 kN'dan daha büyük dingil yüklerine karşı hattın bir direnç sağlaması için, rayların yüksek mukavemetli, contasız, kuvvetli ve tercihen ağırlığının 60 kg/m olması gerekir. Rayların, öngermeli ya da betonarme traverslere elastik bağlantı malzemesi ile bağlanması daha uygundur. Çünkü betonarme traverslerin dayanıklılığı ahşap traverslere göre daha fazladır. Tren yüklerini etkin bir şekilde dağıtan ve traversleri olması gereken konumda tutan balast tabakasının; yeteri kadar direnci, mukavemeti ve enerji emilimini sağlaması için kalınlığının 300 mm'den daha büyük olması gerekir. Yine de bu yapısal özellikler beklentileri tam olarak karşılamamaktadır. Çünkü dane boyutu, dane şekli, aşınma direnci ve bileşeni gibi balast malzemesi indeks özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir [2].

Balast altı tabakası; tren yüklerinin daha geniş bir alana dağılmasını sağlamak, hattın don direncini artırmak, toprak gövde malzemesinin balast tabakası içine girmesini önlemek ve aynı zamanda hattın drenaj kapasitesini daha iyi yapmak için tasarlanırlar. Demiryolu yapısının oturacağı toprak gövdenin yapısına göre dane boyutu 0.05-20 mm arasında olan kum-agrega karışımı gibi malzemeler kullanılabilir. Zeminin iyileştirilmesi gibi durumlarda jeosentetikler veya

çimento/kireç karışımı gibi malzemeler de kullanılabilir [2]. Alt balast tabakası, yapım farklılıklarından ve tekrarlanan yüklerden kaynaklanan çökmeleri engellemek amacıyla en az 150 mm kalınlığına sahip olmalıdır [2]. Doğal bir zemin karışımını veya bir dolguyu ifade eden toprak gövdenin düşük rijitliğe ve/veya dayanıma sahip olduğu durumlarda, aşırı hat bozulmalarını önlemek için ileri düzeyde balast altı tabakalar düşünülmelidir [2].

Bu çalışmanın ilerleyen bölümleri içerisinde; demiryolu üstyapısında elastik yatak görevini üstlenen balast tabakasının malzeme özellikleri ve kullanılan standartlara Bölüm 2.'de değinilmiştir. Bölüm 3.'te balast kirliliği hakkında bilgi verilmiştir. Kirlilik ile değişen ve balast malzemesi yoğunluklarına göre geliştirilen üç boyutlu sonlu elemanlar modeli analizleri ise Bölüm 4'te sunulmuştur.

2. BALAST MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ VE STANDARTLARI

Balast; rayları ekseninde tutarak, ray ile traverslerin bir bütün olarak çalışması için toprak gövde üzerine yerleştirilen, belirli özellikteki granüler malzemedir. Balast malzemesi seçimini daha çok ekonomik koşullar ve bulunabilirliği etkilemektedir. Balast malzemesi olarak kırma granit, kireç taşı, cüruf ve çakıl gibi pek çok çeşitte malzeme kullanılabilir. Yapısal açıdan balast danelerinin boyutu ağırlıklı olarak 63 mm-22.4 mm arasında olmalı ve danelerin birbirleriyle bağlantıları iyi olmalıdır [2].

Balast tabakası; raylar arasında düzgün bir elektriksel direnç sağlar, travesten gelen araç yüklerini demiryolu platformu üzerinde daha geniş alana eşit olarak yayar ve hava kaynaklı gürültüyü önler. Ayrıca; traverslere elastik yatak görevi görerek, yolun esnekliğini sağlar, yağmur sularını süzerek, doğal drenaj görevi görür ve aynı zamanda altyapıyı dondan korur [1].

Tane yüzeylerinin tamamen kırılmış olduğu, demiryolu hatlarının inşasında kullanılan agrega; doğal, yapay veya geri kazanılmış tipte olabilir. Mekanik işlemler dışında herhangi bir işlem uygulanmayan mineral kaynaklardan elde edilene doğal demiryolu balastı, ısıtılabilir veya diğer farklı işlemleri içeren endüstriyel işlem sonucunda elde edilen mineral kökenli yapay demiryolu balastı, önceden kullanılmış olan demiryolu balastlarının işlemlerden geçirildikten sonra kullanılanına da geri kazanılmış demiryolu balastı denir [4].

TS 3530 EN 933-1'e uygun olarak belirlenen demiryolu balastı dane sınıfları ve balastlara ait granülo-metrik özellikler TS 7043 EN 13450'ye göre belirlenmelidir. Demiryolu balastı için dane büyüklüğü üst sınır değeri 50-63 mm, alt sınır değeri 22,4 mm'dir. Demiryolu hatlarında kullanılacak balast malzemesinin Los Angeles aşınma dayanımı LA<%15, don kaybı %25'den az ve su emme oranı maksimum %1 olmalıdır. En düşük kabul edilebilir basınç değeri 120 N/mm² olmalıdır. Genel olarak balast malzemesi öngörülen trafik yükleri ve zorlu çevre koşullarına karşı,

düzenli bir şekilde derecelendirilmiş olmalı ve ayrıca sert ve dayanıklı olmalıdır [3]. Balast standartları ve balastlara uygulanacak testler Tablo 1.'de verilmiştir [3, 4].

Tablo 1. Balast standartları ve testleri

Standartlar	Testler
EN 932-1	Numune alma metodları
EN 932-2	Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu
EN 932-3	Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji
EN 932-5	Genel cihazlar ve kalibrasyon
EN 933-1	Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu
EN 933-3	Tane şekli tayini - Yassılık endeksi
EN 933-4	Tane şeklinin tayini - Şekil endeksi
EN 1097-1	Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro- Deval)
EN 1097-2	Parçalanma direncinin tayini için metodlar (LAA)
EN 1097-6	Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini
EN 1367-1	Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini
EN 1367-2	Magnezyum sülfat deneyi
EN 1367-3	"Sonnenbrand bazalt" için kaynatma deneyi

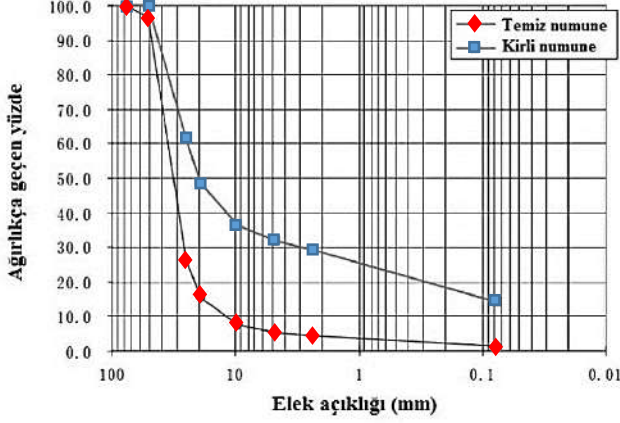
Demiryolu yatağı için elastik malzeme özelliği gösteren balast tabakasının; yağmur sularının drenajı sonrası balast malzemelerinde çamurlaşan toprak parçalarının kuruması, demiryolu araçlarının oluşturduğu rüzgar etkisi ile araçlardan gelen tozlar, demiryolu hattına yakın taş ocakları gibi yerlerden rüzgar ile gelebilecek tozlar gibi dış etkiler ile zamanla yapısı değişerek plastik özellik göstermeye başlar. Yani ray ve travers elemanları altında konumlandırılan balast tabakasında, tren geçişleri esnasında tekerin temas noktası altında oluşan çökmeler zamanla kalıcı hale gelir. Bu yüzden; mevcut demiryolu güzergâhları için balast yenileme çalışmaları yapılmalı, demiryolu yapılacak güzergâhlar ise çevresel açıdan değerlendirilmelidir.

3. BALAST KİRLİLİĞİ

Balast kirlenmesi etkisi esas olarak balast içerisine giren ve kusuru oluşturan malzemenin miktarı ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Balast tabakasındaki performans kaybı çoğunlukla organik toprak, kil ve silt boyutundaki malzemelerin balast agregaları arasında oluşturduğu kusur durumlarında gerçekleşir. Balast arasındaki boşluklar ince malzeme ile dolduğu zaman üstyapının drenaj yeteneği ciddi anlamda düşer. Balast malzemesinin içsel sürtünme açısı yaklaşık olarak 65°'dir. İnce tanelerin birikmesi etkisi ile balastın içsel sürtünme açısı düşer ve dolayısıyla kayma dayanımı da azalır [3]. Balast kirliliği, balast tabakasının sarsıntı ve gürültü önleyici özelliklerinin, fonksiyonel ve yapısal bütünlüğünün kaybolmasına neden olur. Bu durumlara mahal vermemek için, balast koşulları sık sık denetlenmeli ve gerekli bakım ve yenileme faaliyetleri zamanında yapılmalıdır [3].

Balast malzemesinin laboratuvar deneyleri sonuçlarına göre, uygun olan temiz balast tabakasının gradasyon eğrisinin,

kirli balast tabakasının gradasyon eğrisinden farklı olduğu ortaya koyulmuştur [6]. Normal şartlarda iri daneli ve boşluklu olması gereken balast gradasyon eğrisi, ince malzemelerin ve tozların balast arasına girmesi ile birlikte önemli oranda değişmekte ve dane boyutu incelmekte, balast agregaları arasındaki mevcut boşluklar azalmaktadır. Şekil 2.'de görüleceği üzere temiz balast numunesi ile kirli balast numunesi elek açıklığı ve ağırlıkça geçen yüzde cinsinden karşılaştırılmıştır [6].



Şekil 2. Temiz ve kirli balast gradasyon eğrileri

Zamanla altyapıdan yükselen zemin taneleri sebebiyle, çevreden hava yoluyla gelen kirlilikle ve balastın parçalanması sonucu, balast tabakası fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybeder. ERRI D182 raporuna göre, şayet balastın % 30'unun veya daha fazla miktarının boyutu 22 mm'den daha küçük olmuşsa ve balast içinde %40 kirlilik varsa balast temizleme işleminin yapılması gerekmektedir [3, 7].

Literatürde balast kirlenme seviyesi konusunda önemli araştırmalar bulunmaktadır [3]. Bölüm 3.1.'de, demiryolu kuruluşları tarafından kullanılan balast kirlenme indeksleri ve balast kirlenme limit değerleri kısaca sunulmuştur.

3.1 Balast Kirlenme İndeksleri ve Limitleri

Balast içerisindeki ince tanelerin oluşturduğu kusurun sınıflandırılması ilk kez Selig ve Waters (1994) tarafından yapılmıştır. Bu kusur FI (Kirlenme İndeksi) indeksi olarak tanımlanmış ve No.4 elekten geçen malzeme yüzdesi ile No.200 elekten geçen malzeme yüzdesinin toplamı şeklinde hesaplanmıştır [3]:

$$FI = P_4 + P_{200} \quad (1)$$

Burada, P_4 ve P_{200} , sırasıyla 4 numaralı elekten (4.75 mm) ve 200 numaralı elekten (0.075 mm) geçen balast malzemelerinin yüzdeleridir. Tablo 2'de balast kirliliği FI değerine bağlı kategorileri verilmiştir [5]:

Tablo 2. Balast kusurunun FI değerine bağlı olarak sınıflandırılması

Balast kirliliği kategorisi	FI indeksi
Temiz	< 1
Hafif kirli	1 ile 10 arası
Orta seviye kirli	10 ile 20 arası
Kirli	20 ile 40 arası
Yüksek seviye kirli	> 40

O'Reilly ve Brown, kirlenme malzemesinin ölçülen geçirimsizlik katsayısı (k), 1.22×10^{-6} m/s ve 8.09×10^{-6} m/s arasında değiştiğini ve aynı zamanda balastın geçirimsizlik katsayısının 10^{-5} m/s'den daha büyük olması durumunda iyi bir drenajın sağlanacağını belirtmişlerdir [3].

Feldman ve Nissen (2002) agregalar arası boşlukların hacimsel dolma oranına göre bir kriter getirmişlerdir. PVC (Boşluk Kirlilik Yüzdesi) isimli bu yöntemde kirlenme malzemesinin yığın hacmi, balastın orijinal boşluklu halindeki boşluk hacmine oranı şeklinde hesaplanmıştır [3]:

$$PVC = \frac{V_2}{V_1} \times \%100 \quad (2)$$

Burada; V_1 ve V_2 sırasıyla, balastın orijinal boşluklu halindeki boşluk hacmini ve kirlenme malzemesinin yığın hacmini ifade eder.

Lonescu, elastik özelliklere sahip bir balast tabakasının sağlanması için, balast indeks özelliklerinin iyileştirilmesini önermektedir. Lonescu, yukarıda belirtilen sebepten dolayı, aşağıda belirtildiği gibi, balast kirlenme indeksinin ifadesinde $P_{0.075}$ ve $P_{13.2}$ kullanılmasının gerçekçi olduğunu gözlemlemiştir [3]:

$$FI_P = P_{0.075} + P_{13.2} \quad (3)$$

Burada; $P_{0.075}$ ve $P_{13.2}$ sırasıyla 0.075 mm ve 13.2 mm'lik elekten geçen balast malzemelerinin yüzdeleridir.

Lonescu, (2004) farklı bir kusur indeksi tanımlamıştır. FID isimli sınıflandırma indeksinde elekten %90 geçen malzeme dane çapının %10 geçen dane çapına oranını dikkate almıştır [3]:

$$FI_D = (D_{90}/D_{10}) \times \%100 \quad (4)$$

Burada; D_{90} ve D_{10} sırasıyla, %90 geçen malzeme dane çapını ve %10 geçen dane çapını ifade eder.

4. BALASTLI DEMİRYOLUNUN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLAR MODELİ

4.1 İzlenen Yöntem

Demiryolu üstyapı analizlerinde, elastik yatağa oturan basit giriş modelinde balast tabakası yerine kullanılan yatak katsayıları yay katsayılarına dönüştürülerek sonlu elemanlar hem enine hem boyuna yönde olmak üzere bir boyutlu ve iki

boyutlu olarak modellenenler [1, 8]. Aynı zamanda balast takasının kullanılması ile balastın elastisite modülü ele alınarak da demiryolu üstyapısı üç boyutlu olarak modellenenler [1, 8]. Bir ve iki boyutlu modellerden düşey yüklere göre elde edilen çökme ve moment değerleri Winkler Yöntemi ile de hesaplanarak sonuçların karşılaştırılması yapılabilir. Bu şekilde demiryolu üstyapısı hem analitik olarak hem de nümerik olarak modellenenler [1, 8].

Bu çalışmada balastlı demiryolu üstyapısı için Bölüm 4.3.'de Tablo 4'de belirtilen parametreler dikkate alınarak üç boyutlu model üzerinde balast malzemesinin değişen yoğunluklarına göre Sap2000 [9] yazılımında analizleri yapılarak her bir model türü için çökme ve moment değerleri bulunmuştur. Farklı yoğunluktaki balast tabakasının özelliklerine göre bulunan bu çökme ve moment değerleri ile Bölüm 4.4.'de Tablo 5'de, tren yükünden oluşan balasttaki gerilmeler ise Tablo 6'da karşılaştırılmıştır.

4.2 Balast Türleri ve Balastın Elastisite Modülü Hesabı

Balast modelleri olarak, balast malzemesinin temiz ve kirli durumlarındaki yoğunluklarına göre yedi farklı türde balast malzemesi tanımlanmıştır [3]. Bu çalışmada, her bir balast tabakasının elastik modülü (E) hesaplanmıştır. Elastik modül hesabı; balast tabakasının yoğunluğu, Poisson oranı ve kayma dalga hızı bilgileri kullanılarak aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır [3]:

$$E = 2 \times G \times (1 + \mu) \quad (5)$$

Burada, μ : Poisson oranı ve G: Kayma modülünü ifade eder.

Kayma modülü, kayma dalgası hızı ve balast tabakasının yoğunluğu kullanılarak tahmin edilebilir. Sismik dalgalar, geleneksel yöntemler ve SCPT (Sismik Koni Penetrasyon Testi) yöntemleri kullanılarak kayma dalga hızları belirlenebilir. Kayma dalgası hızları, zemin yüzeyinden yayılan kesme dalgalarının varış zamanları ve her bir ivme arasındaki mesafenin gözlenmesiyle belirlenebilir. Kayma modülü aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır [3]:

$$G = \rho \times V_s^2 \quad (6)$$

Burada, G: Kayma modülü, ρ : Yoğunluk ve V_s : Kayma dalga hızını ifade eder.

Türk Demiryolları'ndan elde edilen temiz ve kirli balastın kirlenme karakteristikleri Tablo 3.'de gösterilmiştir. Kayma modülü ve elastisite modülü Denklem (5) ile (6) kullanılarak hesaplanmıştır [3].

Tablo 3. Balast türlerinin malzeme özellikleri

Balast Türleri	ρ (g/cm ³)	μ	V_s (m/sn)	G (kPa)	E (kPa)
Temiz balast	1,673	0.40	54	4941	13835
Balast + Kömür tozu	1,684	0.40	58	5581	15627
Kirli balast	1,741	0.40	78	10482	29350
Balast + Killi kum	1,743	0.40	78	10717	30008
Balast + Kömür tozu	1,815	0.40	114	23725	66430
Balast + toz balast	2,018	0.40	331	221216	619405
Balast + Killi kum	2,087	0.40	475	471344	1319763

Burada, ρ : Yoğunluk, μ : Poisson oranını, V_s : Kayma dalga hızını, G: Kayma modülünü ve E: Elastisite modülünü ifade eder.

4.3 Modellerde Kullanılacak Parametreler ve Üç Boyutlu Demiryolu Üstyapı Modeli

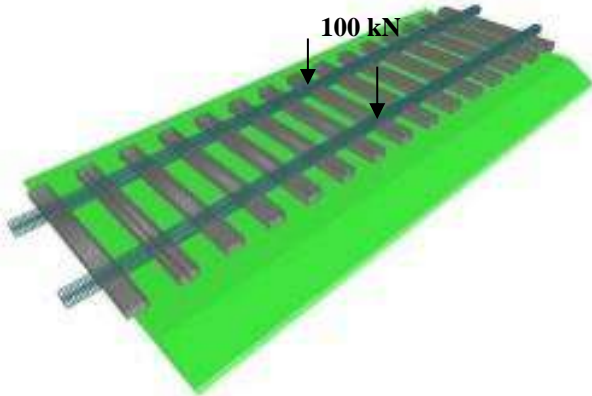
Demiryolu araçlarından zemine aktarılan yükler öncelikle araç yapısından başlayarak teker aksamının çalıştığı ve boji sistemi denilen aksların yer aldığı kısma iletilir. Bir klasik boji sisteminde yan yana iki ve karşılıklı olmak üzere toplamda dört adet teker bulunur. Aks başına iki teker yükü gelir. Her teker temas noktasından yükleri raylara iletirler. Raylar, kılavuz olarak görev aldığı demiryolu sisteminde, araçlardan gelen yükleri tekerlerden kendilerine alırlar. Demiryolu sisteminde mesnet noktalarını oluşturan traversler, raylara gelen yükleri yayar ve bir alt kısma yani balast tabakasına yükleri aktarır. Balast tabakası da, üzerine gelen yükleri sönmüleyerek bir altındaki tabaka olan toprak gövdeye aktarır [1, 8].

Günümüzde tipik aks yükleri yüksek hızlı trenlerde 20 ton, karışık hatlarda 22.5 ton ve ağır yük hatlarında 36 ton dolayındadır [7]. Ray ve travers ağırlıklarına göre üstyapının dayanabileceği aks yükleri, Uluslararası Demiryolu Birliğince (UIC) aks başına düşen yükler olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar sırası ile şöyledir; A sınıfı 16 ton, B sınıfı 18 ton, C sınıfı 20 ton, D sınıfı 22.5 ton [10]. Bu çalışmada, 20 tonluk aks yükü kullanılmıştır. Aks yükünden tekerlere gelen yükler, 10 tonluk (100 kN) yük olarak dağıtılır. Şekil 3.(a)'da gösterildiği gibi demiryolu aracından tekerlere gelen ve raya aktarılan 100 kN'luk yük, üç boyutlu modelin sağ ve sol raylarının tam orta noktasına düşey yönde etki ettirilmiştir. Ray ve travers elemanlar çerçeve sistem, balast tabakası düzlem eleman olarak tasarlanıp üç boyutlu model oluşturulmuştur. Winkler Yöntemine göre beklenen teker yükü altında oluşacak çökme ve moment değerleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizde kullanılmak üzere Sap2000 [9] yazılımına veri girişte Tablo 4.'deki parametreler ele alınmıştır.

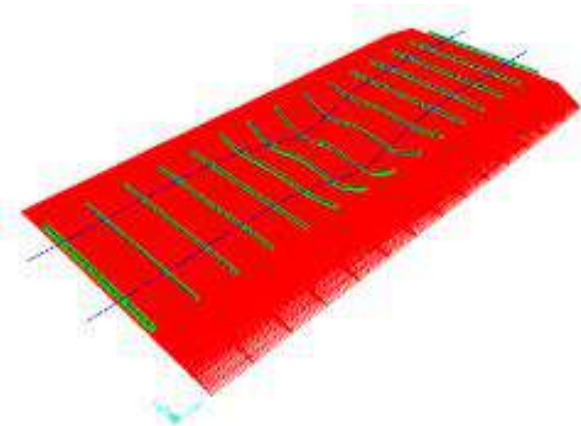
Tablo 4. Demiryolu sistemi parametreleri

Malzeme	Özellik	Malzeme	Özellik
Balast alt uzunluğu:	$B_{Lalt}= 480$ cm	Travers genişliği:	$b_t=25$ cm
Balast üst uzunluğu:	$B_{Lüst}= 360$ cm	Travers yüksekliği:	$S_t=15$ cm
Eleman boyu:	$L=1000$ cm	Travers uzunluğu:	$S_{L_t}=270$ cm
Balast kalınlığı:	$B_t=40$ cm	Travers aralıkları mesafesi:	$a=64$ cm
Balast Poisson:	$\mu=0.40$	Teker yükü:	$P=100$ kN
Ray ve Travers Poisson:	$\mu=0.3$	Travers sonlu eleman uzunluğu:	$L_{sem}= 3$ cm
Hat genişliği:	150 cm	Balast sonlu eleman uzunluğu:	$L_{Alt-sem}=4$ cm
Travers elastisite modülü:	$E_t=1,000$ kN/cm ²	Balast sonlu eleman uzunluğu:	$L_{Üst-sem}=3$ cm
Ray elastisite modülü:	$E=2.1 \times 10^4$ kN/cm ²	Balast sonlu eleman uzunluğu:	$L_{Düşey-sem}=4$ cm

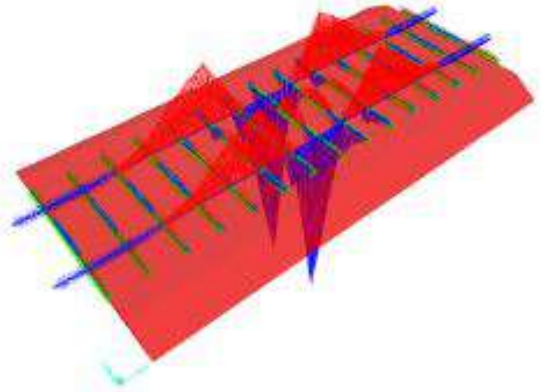
Sap2000 yazılımında modellenen (a) üç boyutlu demiryolu üstyapısı ile analiz sonrası oluşan 100 kN'lık teker yükü altındaki en fazla çökme (b) ve ray elemanındaki en fazla moment (c) eğrileri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5.' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Üç boyutlu demiryolu modeli (a)



Şekil 4. Çökme durumu (b)



Şekil 5. Moment eğrisi (c)

4.4 Analiz Bulguları

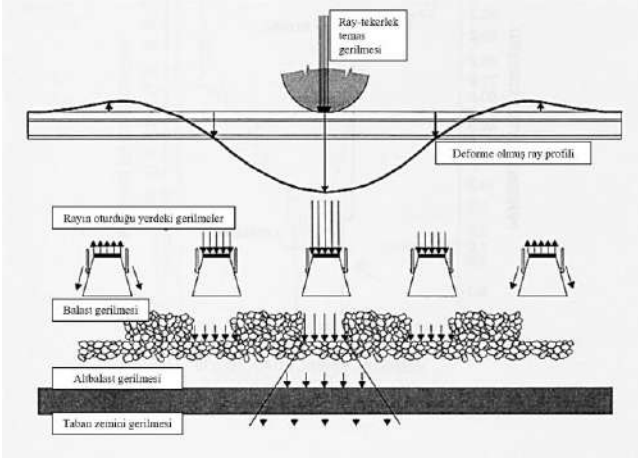
Balast malzemesinin temiz ve kirli durumuna göre türlere ayrılarak oluşturulmuş demiryolu üstyapı modellerinin demiryolu ray elemanındaki analiz sonuçları Tablo 5'de gösterilmiştir. Analiz bulgularına göre yoğunluğu en düşük olan (1,673 g/cm³) temiz balastlı demiryolu üstyapısında balast tabakasında en fazla çökme (0.1006 cm) ve ray elemanındaki en büyük moment kuvveti (2,066.43 kNcm) oluşurken, yoğunluğu en fazla olan (2,087 g/cm³) killi kumlu balastlı demiryolu üstyapısında en az çökme (0.0089 cm) ve ray elemanındaki en düşük moment kuvveti (635.40 kNcm) oluştuğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Ray elemandaki sonlu eleman analiz sonuçları

Balast Malzemeleri	ρ	E	y	M
Temiz balast	1,673	1.3835	0.1006	2,066.43
Balast + Kömür tozu	1,684	1.5627	0.0947	2,018.92
Kirli balast	1,741	2.9350	0.0691	1,782.54
Balast + Killi kum	1,743	3.0008	0.0683	1,744.50
Balast + Kömür tozu	1,815	6.6430	0.0456	1,496.92
Balast + toz balast	2,018	61.9405	0.0136	822.30
Balast + Killi kum	2,087	131.9763	0.0089	635.40

Burada, ρ :Yoğunluk (g/cm³), E: Elastisite modülü (kN/cm²), y: Çökme (cm) ve M: Momenti (kNcm) ifade eder.

Balast malzemesinin üç boyutlu eksenini düşünülürken, üzerine gelen yükler doğrultusunda üç yönde gerilmeler oluşacaktır. Şekil 6.'da bir demiryolu boy profil kesitine göre her bir elemandaki oluşan gerilmeler gösterilmiştir [11].



Şekil 6. Demiryolu üstyapısında oluşan gerilmeler

Balast malzemesinin kirlilik seviyeleri ve yoğunluğuna göre hesaplamalarda balast malzemesi üzerindeki gerilme sonuçları ise Tablo 6.'da gösterilmiştir. Analiz bulgularına göre yoğunluğu en düşük olan ($1,673 \text{ g/cm}^3$) temiz balastlı demiryolu üstyapısında balast tabakasında en az gerilme (82.66 kPa) olurken, yoğunluğu en fazla olan ($2,087 \text{ g/cm}^3$) killi kumlu balastlı demiryolu üstyapısında en fazla gerilmenin (276.38 kPa) oluştuğu belirlenmiştir.

Tablo 6. Balast malzemesindeki gerilme sonuçları

Balast Malzemeleri	ρ	E	σ_x	σ_y	σ_z
Temiz balast	1,673	1.38	82.66	32.96	5.26
Balast + Kömür tozu	1,684	1.56	85.16	33.96	5.62
Kirli balast	1,741	2.94	99.35	39.53	7.94
Balast + Killi kum	1,743	3.00	99.88	39.73	8.03
Balast + Kömür tozu	1,815	6.64	120.56	47.76	12.8
Balast + toz balast	2,018	61.94	212.01	81.08	57.3
Balast + Killi kum	2,087	131.97	276.38	102.68	91.6

Burada, ρ : Yoğunluk (kg/m^3), E: Elastisite modülü (kN/cm^2), σ_x : Yatay yöndeki gerilme (kPa), σ_y : Düşey yöndeki gerilme (kPa) ve σ_z : Kesme gerilmesini (kPa) ifade eder.

5. SONUÇ

Balast, demiryolu hatlarında en çok kullanılan üstyapı malzemesidir. Balast malzemesi, yüksek geçirgenliğe ve yüksek sertliğe sahip olmalıdır. Yüksek geçirgenlik ile drenaj sağlanabilirken, yüksek sertlik ile tren tekerlerinden gelen yüklerin alt tabakalara düzgün bir şekilde yayılmasını sağlar. Balast malzemesi zorlu çevre koşullarına maruz kalmaktadır. Çevresel etkiler; balast malzemesini zamanla kirletir ve dinamik tren yükleri, balast tabakasındaki gerilmeleri artırır ve yüksek basınç altında balast malzemelerinin kırılmasına sebep olur.

Sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen üç boyutlu balastlı demiryolu analizinde balast malzemesinin elastisite modülü hesaplara katılabilmektedir. Böylelikle Winkler yöntemi ile üstyapı hesabına göre daha gerçekçi bir model kurulmuş olur. Geliştirilmiş olan üç boyutlu modeli çok karmaşık demiryolu üstyapı çeşitlerine uygulamak mümkündür. Üç boyutlu modelde; malzeme özellikleri, tabaka kalınlıkları, enkesit şekli ve yüklemeler çok kolay bir şekilde tanımlanabilir ve analizler gerçekleştirilebilir [8]. Analizler, balast tabakasının elastik modülü arttıkça balast tabakasının düşey yer değiştirmesi ve ray elemanı üzerindeki moment değerlerinin azaldığını göstermiştir. Buna karşın, balast tabakasının kirlilik düzeyinin artması ve dolayısıyla yoğunluğun artmasıyla balast tabakasında içsel gerilmelerin artmasına sebep olmaktadır. Yoğunlaşan ve gerilmesi artan balast tabakası plastik deformasyon gösterecektir ve bu durumda da balast kirliliğinden dolayı balast malzemesinin sertliği azalarak demiryolu üstyapısında zamanla çökmeler meydana gelecektir. Bu çalışma, balastlı demiryollarının işletilmesinde ve hatların onarımında mekanik özellikleri dikkate alınarak balast malzemesinin seçilmesi gerekliliğini ve balastın kirlilik düzeylerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilebilirliğini ortaya koymuştur.

6. REFERANSLAR

- [1] Aksop, E.Y., "Demiryolu Üstyapı Hesaplarının Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi", İnşaat Mühendisliği Anabilimi, Ulaştırma Bilim Dalı, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2018
- [2] Güler, H., "Demiryolu 1, Demiryolu Mühendisliği Ders Notları", Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı, 2013, Sakarya.
- [3] Guler, H., Mert, N., "A Comparative Analysis of Railway Ballast, Paper 132, Civil-Comp Press", Stirlingshire, Scotland, 2012
- [4] Demiryolları Malzeme, Yapım, Kontrol Ve Bakım Onarım Teknik Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007
- [5] Yılmaz, A., "Demiryolu Üstyapısında Balast Kirliliği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi" 6(1): 11-17 (2015), ISSN Online: 1309-2243
- [6] Tutumluer, E., Dombrow, W., Huang, H., (2008). Laboratory Characterization of Coal Dust Fouled Ballast Behavior AREMA 2008 Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, UT.
- [7] Arlı V., "Demiryolu Mühendisliği", Genişletilmiş 2.Baskı, ISBN 978-605-60958, 121, 158, (2015).
- [8] Aksop, E.Y., Güler, H., "Demiryolu Altyapı ve Üstyapı Hesaplarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi ve Hat Bileşenlerinin Boyutlandırılması", 5. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, Bakü-Azerbaycan, 2017
- [9] Computer and Structures, Inc., 1976-2017, Sap2000 Ultimate 20.0, Structural Analysis Program.
- [10] Profillidis, V. A., "Railway Engineering", 2nd ed., ISBN 978-0-7546-1279-78, 36, (2007).
- [11] Selig E.T., Waters J.M., "Track Geotechnology and Substructure Management", ISBN 07277 2013 9, 2.11, (1994)

7. ÖZGEÇMİŞ

Emir Yalçın Aksop, 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği'nden, 2018 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden mezun olmuştur. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı'nda 2013 yılından beri çalışmaktadır. Burada; sürdürülebilir kentsel ulaşım planları, ulaşım modellemesi ve trafik planlaması, makro ve mikro ölçekli trafik simülasyonları, toplu taşıma hat ve güzergah analizleri, raylı sistem güzergah plan ve projeleri konularında yer almıştır. Ulaşım Planlama Şefi görevinde çalışmaları devam etmektedir. Aksop, İnşaat Mühendisleri Odasına 91670 sicil numarasıyla kayıtlıdır.

Prof. Dr. Hakan Güler, Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamladı. 2006 yılına kadar İTÜ'de çalıştı, 2006 yılında Sakarya Üniversitesi'nde göreve başladı. 2013 yılında doçent, 2018 yılında profesör oldu. 2010-2011 yılları arasında Almanya'da post doktora çalışmaları yaptı. 2013-2015 yılları arasında Almanya'da misafir öğretim üyesi olarak çalıştı. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Teknopark' da genel müdürlüğünü yaptığı bir Ar-Ge şirketi kurdu. Ağırlıklı olarak demiryolu ve otomotiv sektörüne Ar-Ge projeleri ve danışmanlık hizmetleri vermektedir. Halihazırda Bursa Yüksek Hızlı Demiryolu Projesi'ni yapan Kalyon firmasının danışmanlığını yapmakta ve Sakarya Üniversitesi'nde de öğretim görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Güler, İnşaat Mühendisleri Odasına 44139 sicil numarasıyla kayıtlıdır.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

DEMİRYOLU ARAÇLARINDA İKLİMLENDİRME YÜKLERİNİN ANALİZİ

Serhat Tunç, Hüseyin Bulgurcu

Yazkar Klima Soğutma A.Ş. Fatih Mah. Hür sok no:30 54580 Arifiye/Sakarya
serhat.tunc@yazkar.com.tr
hbulgurcu1962@gmail.com

Özet- Günümüzde demiryolu araçları, iklimlendirme sistemleri sayesinde konforlu bir yolculuk olanağı sunmaktadır. Bu sistemler, iç ortamdaki sıcaklık, nem ve hava kalitesini istenen seviyelerde tutarak yolcuların keyifli bir yolculuk geçirmesini hedefler. İklimlendirme sistemlerinin verimli çalışması için doğru yük hesaplamaları ve iyi bir tasarım gereklidir. Tren iklimlendirme üniteleri yaz aylarında soğutma ve havalandırma, kış aylarında ısıtma ve havalandırma taleplerini karşılar. Dolayısıyla bu sistemlerin tasarımında yaz maksimal ve kış minimal dış hava sıcaklıkları, aracın ısı direnci, iç ortam konfor sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri, yolcu başına taze hava miktarı vb. gibi parametrelerin bilinmesi gereklidir. Ayrıca demiryolu aracının konfor sınıfı, şehir içi, şehirler arası olma durumu, yer altı (metro) veya yer üstü (tramvay) olarak kullanımı bu ısı yüklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada demiryolu araçlarının ısı yükü hesaplamalarında kullanılan yöntemler incelenmiş ve örnek olarak şehirlerarası çalışacak olan bir ana hat treninin ısı yükleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu araçları, ısı kazancı, ısı yükü, ısı yükü analizi

1. GİRİŞ

Dünyada demiryolu taşımacılığı hızla yaygınlaşmaktadır. Özellikle şehirlerarası hızlı tren hatlarının çoğalması, şehir içi metro ve tramvay hatlarının yaygınlaşması bu alanlarda gerekli olan konfor beklentilerini de arttırmıştır. Bu bağlamda konfor şartlarının asgari gerekleri karşılayabilmesi için ısı yükü hesaplamalarının mevsimsel şartlara ve aracın kullanım amaçlarına uygun yapılması gerekmektedir.

Amerikan Isıtma Soğutma İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) bu konuda dünyadaki öncü çalışmaları ve standartları hazırlayarak belirli bir farkındalık oluşturmuştur. ASHRAE Standardı 55, İnsan Doluluğu için Termal

Çevre Koşulları, yolcuların yoğunluğu tarafından kabul edilebilir olan çevresel koşulları sağlayacak vagon içi ısı çevre faktörlerini belirlemek için referans alınabilir.

Tren yolculuğu sırasında karşılaşılan aşağıdaki faktörler de dikkate alınmalıdır:

- Vagon güzergâhı boyunca yerel coğrafyanın neden olduğu bölgesel mikro iklim değişiklikleri
- Kapıların açılmasıyla ilişkili hava sızması, cereyan ve hızlı sıcaklık değişimleri
- Isıl tabakalaşma (Dikey hava sıcaklığı değişimi).
- Yolcu seviyesindeki hava hızı (oturan ve ayakta duran yolcular)
- Pencere ve yapının ışınlama etkileri
- Dinamik olarak değişen güneş yönelimi nedeniyle güneş yükü değişimi
- Giysi yalıtımı
- Sıcaklık geri kazanım kapasitesi ve yolcu doluluğu için ön koşullandırma
- İklimlendirme sisteminin genel araç gürültüsüne katkısı
- Yolculuk süresi ve mesafesi

2. DEMİRYOLU ARAÇ ISI YÜKLERİ HESAP YÖNTEMLERİ

Araç ısı yüklerinin doğru yaklaşımlarla tahmini, aracın iklimlendirme ihtiyacını belirlemek için oldukça önemlidir. Hiçbir hesaplama yöntemi sahada karşılaşılabilecek sıra dışı durumlardaki talepleri karşılayamaz. Ancak hesaplamalarda kullanılacak emniyet ve eşdeğerlik faktörleri uygulamadaki bu sapmaları azaltacaktır.

Araç ısı yükleri, bir aracın içindeki ve çevredeki ısı kaynaklarının neden olduğu ısı değişimlerini ifade eder. İklimlendirme sistemleri, bu ısı yüklerini dengede tutmak ve konforlu bir iç ortamı sağlamak

için tasarlanır. Araç ısı yüklerinin hesaplama yöntemleri aşağıda listelenmiştir.

2.1 ASHRAE CLTD Yöntemi

CLTD (Cooling Load Temperature Difference - Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı) Soğutma yükü sıcaklık farkları anlamındadır. Bu yöntemde iki dikkat çekici nokta vardır. Bunlardan birincisi, herhangi bir kaynaktan meydana gelen ısı kazancı ile aynı kaynaktan iklimlendirme sistemine yansıyan soğutma yükünün eşit olmayacağıdır. Depolama etkileri ile oluşan bu yük farkları, tablolardan okunan SCL (Güneşlenme soğutma yükü), CLF (soğutma yükü faktörü) katsayıları hesaba katılarak en aza indirilmiştir. İkincisi, tüm yük bileşenlerinin soğutma yükünü, sürekli olarak ve hep birlikte etkileyebileceğidir. Bu yöntemde yükler eşdeğerlik faktörü ile çarpılarak hesaba katılmaktadır. Kullanılan yapı malzemelerine göre tablolardan malzemelerin ısı iletkenliklerine ve ışınım yayma özelliklerine bakılarak toplam ısı geçiş katsayısı (K_u) hesaplanabilir. Yüzey geçirgenliklerinin bulunduğu tabloda taşınım ek olarak ışınım etkileri de dikkate alınmıştır. CLTD değerleri, soğutma şartlarında dış yüzeylerde taşınım ve ışınım etkilerini birlikte göz önüne alan ve yapı elemanlarının ısı depolama etkilerini de kapsayan eşdeğer sıcaklık farkıdır [1].

2.2 ASHRAE TFM Yöntemi

TFM, ısı denge yönteminden üretilmiş bir metottur. Transfer fonksiyon yöntemindeki denklem katsayıları doğrudan bir ısı denge analizinden türetilmiştir. Bu yöntem, ısıtma ve soğutma yüklerini en hassas şekilde hesaplayabilen ve bina yapı elemanları ve bina içindeki dekorasyon amacıyla kullanılan objelerinde zamana bağlı olarak ısı depolama etkisini göz önüne alan ve hesaplamalara dâhil eden bir yöntemdir. Bu yöntem ile bir bina elemanından binaya geçen ısı miktarı, o bina elemanının zamana bağlı olarak depoladığı ısı miktarı ve bir ısı kaynağı gibi davranarak tekrar içeriye verdiği ısı miktarı saat-saat hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalarda güneş-hava sıcaklığı adı verilen ve söz konusu bina hacmi için iç ortam sıcaklığı ile dış ortam şartlarını tanımlayan bir sıcaklık değeri kullanılmaktadır. Hesaplamaları hızlandırmak için, denklem kısaltmaları ve kabuller kullanılması bu yöntemi çok etkin yapmaktadır. TFM duvarlar ve çatılar için U (toplam ısı transfer katsayısı) değerlerini kullanmamaktadır [3,4].

Transfer Fonksiyonu Yönteminde, ısı balansı yönteminin basitleştirmesi için bazı matematiksel "hileler" kullanılır. Böylece verimli hesaplama zamanları, ısı balans yönteminin doğruluğundan çok ödün vermeden, daha hızlı gerçekleştirilir. Transfer Fonksiyonu işlemi hesapları ısı kaynaklarından,

sıcak çevre havası, güneş ışınımı, aydınlatmalar, insanlar vb. gibi ısı kazançlarının iletim, taşınım, ışınım ve ısı depolama işlemlerinden geçerek nasıl yüke dönüştüğünü inceler. Böylece gerçek zamanlı olarak bir bina için dinamik ısı transferlerini hesaplar. Ayrıca özel tasarım, yapı, çevre, bina kullanım şartları için de hesaplamalar yapılır ki, hesaplamalar her değişik bina uygulamasına özelleştirilmiş olur. Bilgisayar yazılımı kullanılarak yapılması sayesinde, transfer fonksiyonları karmaşıklığı ve doğruluk arasında iyi bir uzlaşma sağlar. Program kullanılırken, Transfer Fonksiyonu Metodu kullanılarak, tüm yük kaynakları dinamik ısı akışını içerir şekilde hesaplanır [5].

2.3 ASHRAE RTS Yöntemi

Bu yöntem, güvenilir ve daha az işleme olanak sağlayan bir yöntemce cevap vermek için geliştirilmiştir. RTS yöntemiyle zon tipinin ve farklı yapıların soğutma yükü üzerindeki etkilerinin araştırılması ve karşılaştırılması kolayca sağlanabilmektedir. Bu yöntemin ASHRAE tarafından önerilen diğer yöntemlerden (TFM, TETD/TA) en önemli farkı, iletimle ısı kazancının hesaplamasındaki farklılıktır [1].

Bu hesap yönteminde, ele alınan ortamı çevreleyen opak ve saydam duvarlara gelen anlık ısının belirli bir gecikmeyle (faz farkı) iklimlendirilen ortamda soğutma yüküne dönüşmesi, CTS ve RTS olarak adlandırılan seriler yardımıyla dikkate alınmaktadır. Ortamı çevreleyen opak duvarların (veya çatıların) dış yüzeyine gelen ısı belirli bir gecikmeyle (faz farkı) önce iç yüzeye aktarılmakta, oradan da ortama geçmektedir. Bu gecikmeyi dikkate almak amacıyla, RTS yönteminde "iletim zaman serisi" olarak adlandırılan CTS (Conduction Time Series) değerleri kullanılmaktadır. Bu yaklaşıma göre, hesap saatindeki soğutma yükü duvarın ısı depolama özelliğine göre daha önceki saatlerdeki ısı kazancından etkilenmektedir. iç yüzeye gelen ısının bir bölümü taşınım, bir bölümü ise ışınım yoluyla ortama geçer. Taşınım ile ısı yükü doğrudan soğutma yüküne dönüşür. Işınım ile ısı kazancı ise, önce ortamda bulunan cisimlere çarparak o cisimlerin yüzey sıcaklığını artırır. Cisim yüzey sıcaklığı ortam havası sıcaklığını aşınca da iç ortam havasını ısıtır. Bu işlemlerin oluşabilmesi için belirli bir zaman gerektiğinden, ışınım ile ısı kazancı belirli bir faz farkı ile soğutma yüküne dönüşür. Bu faz farkını dikkate almak amacıyla "güneş dışı ışınım zaman serisi" olarak adlandırılan "non-solar RTS" (Radiant Time Series) değerleri kullanılmaktadır. RTS değerleri ortamın yüzey özelliklerine (halı vb.) ve ortam içerisinde bulunan cisimlerin yoğunluğuna göre değişir. ASHRAE Fundamentals Handbook 'da, RTS değerleri binanın yapısına göre hafif, orta ve ağır olmak üzere üç farklı durum için verilmiştir. Saydam duvarlardan gelen ısı kazancı iletim, doğrudan ışınım, yayılı ışınım ve yansıyan ışınım

kaynaklanan bileşenler şeklinde ayrı ayrı hesaplanır. Ortam içerisine giren doğrudan ışınının tamamı belirli bir gecikmeyle soğutma yüküne dönüşür. Bu faz farkını dikkate almak amacıyla “güneş ışınım zaman serisi” olarak adlandırılan “solar RTS” değerleri kullanılmaktadır. Diğer üç bileşen (iletim, yayılı ve yansıyan) toplanarak tek bir ısı kazancı türü gibi değerlendirilir. Opak duvarlarda olduğu gibi, içeriye giren bu ısıнын yine belirli bir oranı taşınım ve belirli bir oranı da ışınım yoluyla ortama geçer. Taşınım ısı yükü doğrudan soğutma yüküne dönüşürken, ışınım ısı yükü güneş-dışı RTS değerleri kullanılarak soğutma yüküne çevrilir. İç ısı kaynakları (insan, aydınlatma, cihaz) tarafından üretilen gizli ısı ve duyulur ısıнын taşınım kısmı doğrudan soğutma yüküne dönüşürken, duyulur ısıнын ışınım kısmı belirli bir gecikmeyle soğutma yüküne dönüşür. Bu gecikme güneş-dışı RTS değerleri ile dikkate alınır. İnfiltrasyon ve ventilasyondan kaynaklanan ısı kazançlar ise anlık olarak soğutma yüküne dönüşür [6].

2.4 Saatlik Analiz Kullanılarak Termal Yük Analizi ve Sistem Tasarımı Program (HAP) Yazılımı

Saatlik Analiz Programı (HAP), mühendislere iklimlendirme sistemlerini tasarlamada yardımcı olan bir bilgisayar aracıdır. HAP iki aracın bir arada olduğu bir araçtır. Birincisi, yükleri tahmin etmek ve sistemleri tasarlamak için bir araçtır. İkincisi, enerji kullanımını simüle etmeye ve enerji maliyetlerini hesaplamaya yönelik bir araçtır. HAP, yük hesaplamaları için ASHRAE onaylı transfer fonksiyonu yöntemini kullanır [7].

HAP, İklimlendirme sistemi bileşenleri için gerekli boyutları belirlemek amacıyla tasarım soğutma ve ısıtma yüklerini tahmin eder. Sonuçta program, ekipmanın seçilmesi ve belirtilmesi için gereken bilgileri sağlar. Program özellikle aşağıdaki görevleri yerine getirir:

- HVAC Sistemindeki alanlar, bölgeler ve serpantinler için tasarım soğutma ve ısıtma yüklerini hesaplar
- Mahaller, bölgeler ve sistem için gerekli hava akış hızlarını belirler.
- Soğutma ve ısıtma bataryalarının boyutları.
- Hava sirkülasyon fanlarını boyutlandırır.

Tasarım hesaplamaları yapılmadan önce ihtiyaç duyulan bilgi türleri şunları içerir:

- İklim verileri
- Duvarlar, çatılar, pencereler, kapılar, dış gölgeleme cihazları ve zeminler ile koşullandırılmış ve koşullandırılmamış bölgeler arasındaki iç bölmeler için inşaat malzemesi verileri.

- Duvar, çatı, pencere, kapı ve zemin alanları, pozlama yönelimleri ve dış gölgeleme özelliklerini içeren boyut ve yerleşim verileri.
- Doluluk, aydınlatma sistemleri, ekipman seviyeleri ve programlarına göre belirlenen iç yük özellikleri
- Kullanılacak HVAC ekipmanı, kontrolleri ve bileşenleri ile ilgili veriler.

2.4.1 HAP analizi için gerekli Giriş Verileri

A. İklim Verileri

İklim verileri, bir yıl boyunca karşılaşılan sıcaklık, nem ve güneş ışınımı koşullarını tanımlar. Bu koşullar yükleri ve sistem çalışmasını etkilemede önemli bir rol oynar. İklim verilerini tanımlamak için programın hava durumu veri tabanından bir şehir seçilebilir veya hava durumu parametreleri doğrudan girilebilir. İklim verileri, hava durumu giriş formu kullanılarak girilir.

B. Ortam Verileri

Bir mekânı tanımlamak için mekândaki ısı akışını etkileyen tüm unsurların tanımlanması gerekir. Öğeler arasında duvarlar, pencereler, kapılar, çatılar, çatı pencereleri, zeminler, bina sakinleri, aydınlatma, elektrikli ekipmanlar, çeşitli ısı kaynakları, sızma ve bölmeler bulunur. Bir mekânı tanımlarken, iç ısı kazanımlarının saatlik programlarının yanı sıra duvarların, çatıların, pencerelerin, kapıların ve dış gölgeleme cihazlarının yapısı hakkında bilgiye ihtiyaç vardır. Bu inşaat ve program verileri doğrudan alan giriş formundan (inşaat ve program formlarına bağlantılar aracılığıyla) belirtilebilir veya alternatif olarak alan verileri girilmeden önce tanımlanabilir.

C. Havalandırma Sistemi Giriş Verileri

Bir hava sistemi bir veya daha fazla bölgeye hizmet eder. Bölgeler, tek bir termostatik kontrole sahip alan gruplarıdır. Sistem örnekleri arasında merkezi istasyon klima santralleri, paket çatı üniteleri, paket dikey üniteler, ayırık (split) sistemler, paket doğrudan genleşmeli (DX) fanlı serpantinler, hidrolik fanlı serpantinler ve su kaynaklı ısı pompaları yer alır. Her durumda hava sistemi aynı zamanda ilgili kanalları, besleme terminallerini ve kontrolleri de içerir. Bir hava sistemini tanımlamak için sistem boyutlandırma kriterlerinin yanı sıra sistemle ilişkili bileşenler, kontroller ve bölgeler de tanımlanmalıdır

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada örnek olarak şehirlerarası olarak çalışan bir raylı sistem yolcu vagonundaki iklimlendirme yükleri hesaplanmış olup aşağıda hesaplama detayları verilmiştir.

3.1 Dış Yükler

3.1.1 Cidar Isı Yükleri

Cidar ısı kazancı, aracın çevresel sıcaklık farkından kaynaklanan ısı kazançlarını ifade eder. Her yüzey için ayrı hesaplama yapılır.

$$\dot{Q}_c = A_c K_c \Delta T \quad (1)$$

\dot{Q}_c : Cidardan gelen ısı yükü [kW]

A_c : Cidar yüzey alanı [m²]

K_c : Cidar ısı geçirgenlik katsayısı [W/m² K]

ΔT : İç ve dış ortam sıcaklık farkı [°C]

Tablo 1. Çeşitli araç tipleri için araç gövdesi termal performansı

Uygulama veya Araç Tipi	Arabanın uzunluk metresi başına UA Faktörleri[W/m ² K]
Şehirlerarası ve Banliyö Vagonu, Tek Kat, Paslanmaz Çelik Araba gövdesi	1,8
Metro Vagonu, Paslanmaz sac	2,3
Banliyö Arabası, Tek Kat, Alüminyum sac	2,3
İki seviyeli banliyö arabası, paslanmaz Çelik Araba gövdesi	2,4
Hafif Raylı Araç, Çelik sac	2,4
Hafif Raylı Araç, Çift Mafsallı, Kompozit Kaplı Araba Gövdesi	2,4
Hafif Raylı Araç, Alüminyum Araba gövdesi	2,4
Çift Katlı Banliyö Arabası, Alüminyum sac	3,3

3.1.2 Pencere ve Kapı Cam Yüzeyi Isı Yükü

Camın iletken ısı kazancı, camın termal özelliklerinden ve dış ve iç konvektif hava filmi katsayılarının varsayılan değerlerinden hesaplanabilir. Uygun termal iletkenlik veya iletkenlik değerlerini belirlemek için cam tedarikçisinden alınan bilgiler gözden geçirilmelidir.

Camlardan iletilen ısı kazancı, araç gövdesinden iletilen ısı kazancı ile aynı şekilde hesaplanır. Çift camlı pencereler ve diğer yalıtımlı cam üniteleri, aşırı sıcaklıklara maruz kalan ortamlarda kullanım için ve enerji tasarrufu, yoğunlaşma direnci, cam akustik performansı ve gelişmiş termal konfor önemli hususlar olduğunda giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır.

Dış Konvektif Hava Filmi Katsayısı [h_0]

Cam iletken ısı kazancı hesaplamaları, gelir servisi sırasında karşılaşılanları temsil eden dış konvektif hava filmi katsayılarını içerir. Basit bir yöntem, tasarım dış rüzgâr hızının hizmette elde edilen ortalama araç hızına eşit olduğunu varsaymaktır.

Konveksiyon katsayıları h_0 ve h_i , yüzeyin yönüne ve hava/rüzgâr hızına bağlıdır. Burada, taşıt hızının bir fonksiyonu olarak konveksiyon ısı transfer katsayılarını tahmin etmek için aşağıdaki tahmin kullanılır.

$$h_0 = 0,6 + 6,64\sqrt{v} \quad (2)$$

Burada:

h_0 : (W/m²K) cinsinden konveksiyon ısı transfer katsayısı ve v , m/s cinsinden araç hızıdır.

İç Konvektif Hava Filmi Katsayısı [h_i]

Cam termal performans ampirik testi ve standart hesaplama prosedürleri tipik olarak bir veya daha fazla iç konvektif hava filmi katsayısı koşulunda derecelendirmeyi içerir.

Hem ısıtma hem de soğutma yükü hesaplamaları için $h_i = 8,3$ [W/m²K] değeri önerilir.

Cam Termal İletkenlikleri

Tipik bir raylı yolcu taşıtı camı, yaklaşık 1.0 (W/m²K) termal iletkenliğe sahip soda-kireç-silika düz camdan imal edilir. Ek darbe dayanımı sağlamak için cam sistemine polikarbonat dahil edilebilir; bu malzemenin termal iletkenliği yaklaşık 0,2 (W/m²K)'dir. Sırlama tipik olarak bir polivinil bütiral (PVB) veya termoplastik poliüretan (TPU) ara tabakası ile lamine edilmiş yapıdadır. Penetrasyon direnci gereksinimlerini karşılamak için, özellikle ön camlar birden fazla ara katmana sahip olabilir. PVB ve TPU ara katman termal iletkenlikleri yaklaşık 0,2 (W/m²K)'dir.

$$\dot{Q}_p = A_p K_p \Delta T \quad (3)$$

\dot{Q}_p : Pencere ve camlı yüzeyden gelen ısı yükü [kW]

A_p : Pencere ve camlı yüzey alanı [m²]

K_p : Pencere ısı geçirgenlik katsayısı [W/m² K]

ΔT : İç ve dış ortam sıcaklık farkı [°C]

3.1.3 Taze Hava Yükü

Demiryolu araçlarında klima sisteminde "taze hava yükü" terimi, tren içindeki yolculara temiz ve taze hava sağlama amacıyla kullanılır. Bu hava, tren içindeki havanın tazelenmesini ve içerideki kirliliği veya durgun havanın dışarı atılmasını sağlar.

Taze hava yükü, klima sistemi tarafından dengelenir ve kontrol edilir. Klima sistemi, belirli bir hızda taze hava sağlamak için tasarlanır ve bu, trenin yolculuk yaparken veya duraklarda olduğu durumları dikkate alır. Taze hava yükü, trenin yolculuk yaparken hızının yanı sıra yolcu yoğunluğu ve diğer faktörler gibi çeşitli değişkenlere bağlı olarak değişebilir.

Taze hava yükünün uygun bir şekilde yönetilmesi, tren içindeki yolcuların rahatlığını ve sağlığını artırabilir. Bu nedenle demiryolu araçlarında iyi bir iklimlendirme sistemi, taze hava yükünü doğru bir şekilde kontrol etmek ve sürdürmek için önemlidir.

$$\dot{Q}_{th} = \frac{\dot{V} \Delta h}{v} \quad (4)$$

\dot{Q}_{th} : Taze hava ısı yükü [kW]
 \dot{V} : Hacimsel debi [m³/s]
 Δh : İç-dış koşul entalpi farkı [kJ/kg]
 v : Hava özgül hacmi

3.1.4 Güneş Işınım Yükü

Demiryolu araçlarında güneş ışınımı ile gelen ısı yükü, güneş ışığının ve güneş ışınlarının demiryolu aracının dış yüzeylerine düşerek araç içine giren ısı miktarını ifade eder. Bu ısı yükü, güneşli günlerde ve açık hava koşullarında demiryolu araçlarının iç sıcaklığını artırabilir ve iç ortam sıcaklığını kontrol etmek için klima sistemlerinin daha fazla enerji harcamasına neden olabilir. Cidarlardan ve pencerelerden gelen ışınım yükleri için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir:

$$\dot{Q}_{cr} = A_c K_c \Delta T_{es} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{pr} = A_p K_c \Delta T_{es} \quad (6)$$

Burada:

\dot{Q}_{cr} : Cidarlardan gelen ışınım yükü [kW]
 ΔT_{es} : Işınım etkisi ile oluşan sıcaklık farkı [°C]

Işınım etkisi ile oluşan sıcaklık farkını (ΔT_{es}) belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$\Delta T_{es} = (OF_t \times \Delta T) + OF_b + (OF_t \times t_{gn}) \quad (7)$$

Burada:

ΔT_{es} : Işınım etkisi ile oluşan sıcaklık farkı [°C]
 OF_t, OF_b, OF_t : Opak yüzey soğutma faktör katsayısı
 t_{gn} : Güneşe maruz kalma süresi [saat]

Tablo 2. Opak yüzey ışınım soğutma faktör katsayıları [8]

Yüzey Tipi	OF _T	OF _B	OF _R
Çatı ve Tavan arasında Boşluk Bulunmakta	0,62	14,3 $\alpha_{\text{çatı}}-4,5$	-0,19
Birbirine Bitişik Çatı ve Tavan	1	38,3 $\alpha_{\text{roof}}-7,0$	-0,36
Güneş Gören Ahşap Duvar	1	8,2	-0,36
Gölgede Kalan Ahşap Duvar	1	0	-0,36
Birbirine Bitişik Ortam ve Zemin	1	0	-0,06
Zeminle Taban Arasında Boşluk Bulunmakta	0,33	0	-0,28

Tablo 3. Çatı Güneş Soğurma Katsayıları ($\alpha_{\text{çatı}}$) [8]

Malzeme	Renk			
	Beyaz	Açık	Orta	Koyu
Kiremit	0,75	0,75	0,82	0,92
Seramik	0,3	0,40	0,80	0,80
Metal	0,35	0,50	0,70	0,80
Kauçuk	0,3	-	-	-

Güneş ışınımı belli bir yönden vuracağı için araçtaki simetrik yüzeylerden sadece bir tanesi dahil edilmelidir.

3.1.5 Hava Sızıntı Yükü

Demiryolu araçları için klima tasarımında "hava sızıntısı" terimi, dışarıdaki hava veya duman gibi istenmeyen maddelerin tren içine sızmasını veya girmesini ifade eder. Hava sızıntısı, demiryolu araçlarında iç hava kalitesini etkileyen ve yolcuların rahatlığını ve sağlığını olumsuz etkileyebilecek bir faktördür. Sızıntının kontrol altına alınması, tren içi hava kalitesini ve yolcu konforunu artırmak için önemlidir. İyi bir klima ve hava sızdırmazlık tasarımı, sızıntıyı minimumda tutarak iç hava kalitesini iyileştirebilir. Ayrıca, bu tasarım, enerji verimliliğini artırarak klima sisteminin daha az enerji harcamasına yardımcı olabilir. Bu nedenle demiryolu araçlarının klima tasarımı, hem yolcu konforu hem de işletme maliyetleri açısından önemlidir. Hava sızıntısından kapılardan geçen ısı kazancı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_t D_t D_f (1 - E_f) \quad (8)$$

Burada:

\dot{Q}_d : Yolcu kapısının açılıp kapanmasından dolayı oluşan soğutma yükü [W]
 \dot{Q}_t : Ortalama toplam (duyulur + gizli) ısı kazancı [W]
 D_t : Kapı açık kalma zaman faktörü/ ondalık kısım kapı açık
 D_f : Kapı akış faktörü (gerçek hava değişiminin tam yerleşik akışa oranı)
 E_f : kapı koruyucu cihazının etkinliği (hava Perdeleri veya sızmayı en aza indirecek diğer cihazlar olmayan tipik raylı binek araç kapıları için 0)

Ortalama ısı kazancını (\dot{Q}_t) belirlemek için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$\dot{Q}_t = A_d (h_i - h_r) \rho_r \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{0,5} (g H_d)^{0,5} F_m \quad (9)$$

Burada:

\dot{Q}_t : toplam duyulur ve gizli yük [W]
 A_d : Kapı alanı [m²]
 h_i : sızma havası entalpisi [kJ/kg]
 h_r : soğutulmuş havanın entalpisi [kJ/kg]
 ρ_i : Sızan havanın yoğunluğu [kg/m³]
 ρ_r : Soğutulan havanın yoğunluğu [kg/m³]
 g : Yer çekim ivmesi=9,81 [m/s²]
 H_d : Kapı yüksekliği [m]
 F_m : Yoğunluk faktörü

$$F_m = \left[\frac{2}{\left(1 + \left(\frac{\rho_i}{\rho_r}\right)^{1/3}\right)} \right]^{1,5} \quad (10)$$

Belirli aralıklarla birden fazla kapı açıklığını hesaba katmak için aşağıdaki faktör getirilir.

$$D_t = \left(\frac{P \theta_p + 60 \theta_0}{3600 \theta_d} \right) \quad (11)$$

Burada:

D_f : kapı açık olduğu zamanın ondalık bölümü

P : kapı geçişlerinin sayısı

θ_p : kapı açma-kapama süresi, geçiş başına saniye

θ_0 : kapının açık kaldığı zaman

θ_d : günlük (veya diğer) zaman periyodu, [h]

3.2 İç Yükler

Demiryolu aracı klima tasarımında "iç yükler," tren içinde bulunan yolcuların, personelin ve diğer iç unsurların oluşturduğu ısı ve nem gibi faktörleri ifade eder. İç yükler, trenin klima ve havalandırma sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir çünkü iç hava kalitesi ve konforu üzerinde doğrudan etkilidirler. Klima ve havalandırma sistemleri, iç yükleri dikkate alarak tasarlanmalıdır. İç yüklerin göz önüne alınmaması, iç mekanın aşırı sıcak veya nemli olmasına ve yolcuların konforunu olumsuz etkilemesine neden olabilir. Bu nedenle, demiryolu araçlarının klima tasarımında iç yüklerin belirlenmesi ve yönetilmesi, hem yolcu konforu hem de iç hava kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

3.2.1 İnsan Yükü

Demiryolu araçları klima tasarımında "insan yükleri," tren içindeki yolcuların, personelin ve diğer insanların neden olduğu ısı, nem ve partikül yüklerini ifade eder. Bu yükler, tren içi iklim kontrol sisteminin tasarımında ve verimli çalışmasında önemli bir rol oynar.

Trenlerin klima tasarımı, bu iç yükleri dikkate alarak yapılmalıdır. İç yüklerin kontrol altına alınmaması, iç mekanın aşırı sıcak veya nemli olmasına ve yolcuların konforunu olumsuz etkilemesine neden olabilir. Bu nedenle, demiryolu araçlarının klima ve havalandırma sistemleri, iç yükleri hesaba katarak tasarlanmalı ve yönetilmelidir. İyi bir tasarım, yolcu konforunu artırırken enerji verimliliğini de sağlayabilir.

$$\dot{Q}_{in} = n q_{in} \quad (12)$$

Burada:

\dot{Q}_{in} : İnsanlardan kaynaklanan ısı yükü [kW]

n : Araç içerisinde bulunan yolcu sayısı

q_{in} : Kişi başına toplam (gizli ve hissedilir) ısı [kW/kişi] (Tablo 4.)

Tablo 4. Yolcular ve operatörler için önerilen ısı kazanım değerleri

Uygulama, Etkinlik	Toplam Isı [W/kişi]
Şehirlerarası ve banliyö Araba, Oturmali	117
Şehirlerarası ve Banliyö Arabası, Ayakta	132
Metro ve Hafif Raylı Araç, Koltuklu	132
Metro ve Hafif Raylı Araç, Ayakta	147
Operatör Kabini, Operatörler	132

3.2.2 Fan Motor Isı yükü

Demiryolu araçlarının klima tasarımında, fan motoru ısı yükü, klima sisteminin içindeki fan motorunun çalışması sırasında oluşan ısıyı ifade eder. Fan motorları, iç mekanın hava sirkülasyonunu sağlamak için hava üfleme veya emme amacıyla kullanılırlar. Ancak bu motorlar çalıştığında, enerjiyi ısıya dönüştürürler ve bu ısı, klima sisteminin içindeki ortamı ısıtır. Bu fan motoru ısı yükü, klima sisteminin toplam ısı yükünün bir parçasıdır ve tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır. Özellikle tren içi iklim kontrolü için klima sistemi tasarlanırken, fan motorunun ısı üretimi, trenin iç sıcaklığını artırabilir ve bu da klima sisteminin daha fazla soğutma kapasitesi gerektirebilir.

$$\dot{Q}_f = n_f P_{fm} \quad (13)$$

Burada:

\dot{Q}_f : Fan motor ısı yükü [kW]

n_f : Fan motor sayısı [adet]

P_{fm} : Fan motor elektriksel gücü [kW]

3.2.3 Aydınlatma Isı Yükü

Demiryolu araçları klima tasarımında aydınlatma ısı yükü, trenin iç mekanında kullanılan aydınlatma sistemlerinin çalışması sırasında oluşan ısıyı ifade eder. Aydınlatma sistemleri, lambaların yanması nedeniyle enerjiyi ışığa ve ısıya dönüştürürler. Bu ısı, trenin içindeki hava sıcaklığını artırabilir ve klima sisteminin daha fazla soğutma kapasitesi gerektirebilir.

$$\dot{Q}_l = W F_{ul} F_{sa} \quad (14)$$

Burada:

\dot{Q}_l : Isı kazancı [W]

W : Toplam aydınlatma gücü [W]

F_{ul} : aydınlatma kullanım faktörü

F_{sa} : aydınlatma özel artırım faktörü

3.3 Hesaplama Giriş Koşulları

GİRİŞLER		
Dış Kuru Termometre Sic. (Tk)	50	[°C]
Dış Bağıl Nem (Φ_d)	14,9	[%]
Yolcu Sayısı (n)	78	[Adet]
Araçın Eni (W)	3,24	[m]
Araçın Boyu (L)	16,28	[m]
Araçın Yüksekliği (H)	2,7	[m]
Araç Cam Yüzeyi (A_p)	19,2	[m ²]
Kapı Genişliği (W_k)	1,2	[m ²]
Kapı Yüksekliği (H_k)	1,9	[m]
Kapı adedi (n_k)	4	[Adet]
Bir yöndeki kapı sayısı	2	[Adet]
Kapıların açık kalma süresi	20	[saniye]
Kişi başı taze hava miktarı (m ³ /h)	15	(Seçin)
Rakım (m)	1600	Araç rengi Koyu (Seçin)
Araç İç Konfor Sıcaklığı (T_i)	25	[°C]
Araç İç Konfor Bağıl Nemi (Φ_i)	60	[%]
İç Aydınlatma Ampul Tipi	LED	(seçin)

Araç tipi	Şehirlerarası ana hat vagonu, alüminyum kasa	
Kul. amacı	Şehirlerarası ve banliyö arabası, oturmali	
Güneş yükü saati	16,00	[Saat]
Pencere gölgeleme faktörü	0,6	(Seçin)

3.4 Hesaplama Tablo Değerleri

HESAPLAMA DEĞERLERİ		
Tek Kapı alanı (A_k)	2,28	[m ²]
Cidar Isı Geçirgenlik Değeri (K_w)	0,77	[W/m ² K]
Net Dış Yüzey Alanı (A)	172,5	[m ²]
Vagon İç Hacmi ($V_{iç}$)	139,57	[m ³]
Taze Hava Miktarı (V_{th})	1170	[m ³ /h]
Dış Ortam Hava Entalpisi (h_d)	80,14	[kJ/kg]
İç Ortam Hava Entalpisi (h_i)	55,46	[kJ/kg]
Vagon Taban Alanı (A_s)	52,75	[m ²]
Ortalama Aydınlatma Şiddeti	150	[Lux]

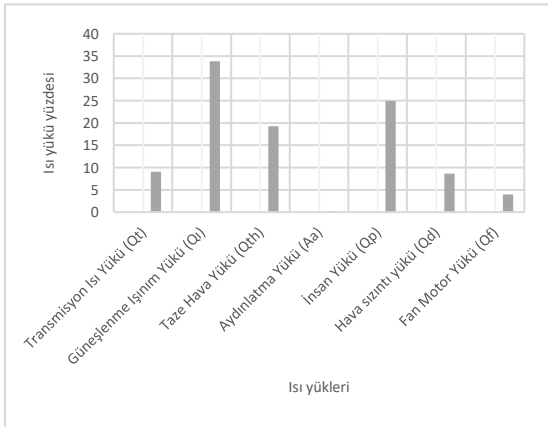
3.5 Hesaplama Sonuçları

ÇIKIŞLAR		
Transmisyon Isı Yükü (Q_t)	3,32	[kW]
Güneşlenme Işınım Yükü (Q_s)	12,37	[kW]
Taze Hava Yükü (Q_{th})	7,03	[kW]
Aydınlatma Yükü (A_a)	0,10	[kW]
İnsan Yükü (Q_o)	9,13	[kW]
Hava sızıntı yükü (Q_d)	3,15	[kW]
Fan Motor Yükü (Q_f)	1,46	[kW]
Toplam Isı Yükü (Q_t)	36,55	[kW]
Eş Zamanlılık Faktörü (EF)	85	[%]
Eşzamanlı Toplam Isı Yükü (Q_{ET})	31,07	[kW]
Duyulur Isı Oranı (DIO)	0,84	

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada örnek bir raylı sistem vagonu üzerindeki iklimlendirme sistemi için gereken ısı yükleri TS EN 13129 standardına göre hesaplanmış olup hesaplamalarda kolaylık sağlaması için Excell hesap sayfası oluşturulmuştur [9].

Bu hesaplama örneğinde sırasıyla transmisyon ısı kazancı %9,1, güneşlenme ışınımı %%33,8, taze hava yükü %19,2, aydınlatma yükü %0,3, insan yükü %25, hava sızıntı yükü %8,6, fan motor yükü %4 olarak hesaplanmış olup eşdeğerlik faktörü %85 alınmıştır. Buna göre toplam ısı kazancı 31 kW olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Araç ısı yüklerinin dağılımı

Teşekkür: Bu bildirinin hazırlanmasında bizi teşvik eden, yoğun katkılar sunan firmamız akademik danışmanı Doç. Dr. Hüseyin Bulgurcu'ya teşekkür ederiz.

Not: Bu araştırma *Yazkar Akademi* çalışmaları kapsamında hazırlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] BULUT, H., DURMAZ, A. F., AKTACİR, M. A., "İklimlendirme Sistemleri için Soğutma Yükü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, VII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 2006.
- [2] AKTACİR, M. A., BÜYÜKALACA, O., YILMAZ, T., "Soğutma Yükü Hesabında Kullanılan Yöntemler", 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 2003, Isparta.
- [3] ESKİN, N., TÜRKMEN, H.İ., "Konut Dışı Binaların Soğutma Yüklerinin Transfer Fonksiyonu Yöntemi ile Hesaplanması", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 2003.
- [4] http://dms.hvacpartners.com/docs/1004/public/01/hap_ehelp_004.pdf
- [5] KÖROĞLU ISIN, N., ALALOĞLU, M., ERDOĞAN, A., ACAR, L., "Saatlik Analiz Programı", Isıtma Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, Temel Bilgiler Tasarım ve Uygulama Eki, Sayı 73.
- [6] BÜYÜKALACA, O., YILMAZ, T., ÜNAL, Ş., CİHAN, E., HÜRDOĞAN, E., "Işınım Zaman Serisi (RTS) Yöntemi ile Bir Otobüsün Soğutma Yükünün Hesaplanması", 6th International Advanced Technologies Symposium, 2011, Elâzığ, Türkiye.
- [7] TADESSE, M. "Thermal Comfort for Passenger Train from Dire-Dawa to Djibouti". Addis Ababa University Addis Ababa Institute Of Technology School Of Mechanical And Industrial Engineering (March, 2015).
- [8] ASHRAE Handbook 2009. Chapter 17.
- [9] TS EN 13129: 2017, Demiryolu Uygulamaları-Ana Hat Vagon için Klima Konfor Parametreleri ve Tip Testleri, Türk Standartları Enstitüsü.

6. ÖZGEÇMİŞLER

Serhat Tunç

1987 Yılı Sakarya doğumludur. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Makine Resim ve Konstrüksiyon bölümünü bitirdikten sonra eğitimine devam ederek dikey geçiş sınavı ile 2017 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2017 yılında MMO Sakarya İl Temsilciliği'nde "111256" sicil numarası ile meslek odasına kaydolmuştur. 2019 yılında Yazkar Klima ve Soğutma A.Ş. de Ar-Ge Departmanında çalışmaya başlayarak demiryolu araçları iklimlendirme üniteleri sektöründe birçok proje tasarımında görev olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Hüseyin Bulgurcu

1962 yılında İzmir Kınık Poyracık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı MYO'da öğretim görevlisi olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-D.B. projesi kapsamında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir MYO İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Mart 2017'de emekli oldu. Sektör firmalarında danışmanlık yapmaktadır.

DEMİRYOLU ARAÇLARININ İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ISI VE ENERJİ GERİ KAZANIMI

Emirhan Yerlikaya

Hüseyin Bulgurcu

Yazkar Klima Soğutma A.Ş. Fatih Mah. Hür sok no:30 54580 Arifiye/SAKARYA
arge1@yazkar.com.tr hbulgurcu1962@gmail.com

Özet-Demiryolu araçlarının iklimlendirme sistemleri, yolcuların ve personelin konforunu sağlamak için önemlidir. Bu sistemler, aracın içindeki sıcaklık, nem ve havalandırma gibi faktörleri kontrol eder. Isı ve enerji geri kazanımı sistemleri araç iklimlendirme sistemlerinin enerji kullanımını azaltan ve tasarruf sağlayan yenilikçi bir uygulamadır. Bu sistemler hem yaz hem de kış mevsiminde enerji tasarrufu sağlayarak cihaz ısıtma-soğutma kapasitesini düşürür. Bu cihazların etkinlik değerleri giren ve çıkan havanın sıcaklık farklarına, alın hava hızına, ısı transfer yüzeyine bağlı olarak %35 ila %85 arasında değişebilmektedir. Ancak sisteme eklenen bu cihazların hava tarafında bir miktar basınç kaybına neden olacağı ve fan basıncının bir miktar yüksek seçilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Bu çalışmada bir demiryolu aracına ait bir iklimlendirme cihazına eklenen ısı geri kazanım cihazının ısı ve enerji performansı araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre cihazda yıllık önemli oranda ısı ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.

1.GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığı, güvenilir olması, insana bağımlılığın ve dolayısıyla hata riskinin asgariye indirilmiş olması, rekabetçi maliyetler oluşturulabilmesi, güzergâh üzerindeki avantajları ve çevre dostu bir çözüm oluşturması itibarıyla son dönemlerde artarak ilgi gören bir taşıma modelidir. Kitle taşımacılığına elverişli olması sebebiyle de diğer taşıma türlerinden kaynaklanan yoğunlukları (örneğin karayollarındaki trafiğin yükünü) azaltıcı faydası vardır. Kötü hava koşullarından etkilenmeyen tek taşımacılıktır. [1].

Gelişen teknoloji ve sürdürülebilirlik odaklı çözümler, demiryolu sektörünü daha verimli, çevre dostu ve konforlu hale getirme amacıyla önemli bir rol oynamaktadır. Demiryolu araçlarında kullanılan iklimlendirme sistemleri de bu çözümler arasında öne çıkmaktadır. Bu sistemlerde yapılan yenilikler, ısı ve enerji geri kazanımı üzerine odaklanarak çevresel etkiyi minimize etmeyi ve enerji verimliliğini maksimize etmeyi hedeflemektedir. Geleneksel iklimlendirme sistemleri genellikle enerji tüketiminde yüksek değerlere sahiptir. Demiryolu, enerji açısından en verimli ulaşım yöntemlerinden biridir ve diğer yöntemlere göre daha az CO2 emisyonu üretir.

Dünyadaki demiryolu şirketleri, enerji verimliliğini artırmak için genellikle bazı yöntemler kullanırlar. Daha düşük enerji tüketimi yapan modern demiryolu araçlarının kullanılması bu yöntemlerden biridir. Trenin frenlemesi sırasında üretilen enerjiyi diğer trenlerin kullanabilmesi için ray sistemine geri aktaran bir sistem olan rejeneratif frenleme gibi yenilikçi teknolojiler de yine bu yöntemler arasında yer almaktadır. Teknik yöntemler dışında, enerji veya dizel yakıt maliyetlerinden tasarruf etmek için tren makinistlerinin uzmanlığını geliştirmeye odaklanan “enerji verimli sürüş teknikleri” eğitimleri ve operatörlerin enerji tüketimlerini izleyebilmeleri ve hangi yaklaşımların en fazla enerji tasarrufu sağladığını değerlendirebilmeleri için trenlerde enerji ölçüm cihazları kurulmaktadır [2].

Demiryolu ile seyahat etmek, karayolu veya hava taşımacılığı ile karşılaştırıldığında üç ila on kat daha az CO2 yoğunluğuna sahiptir. %8,5'in üzerindeki pazar payına rağmen demiryolunun ulaşım enerji tüketimindeki payı %2'den azdır. Yolcu-km başına arazi kullanımı, demiryolu için arabalara göre yaklaşık 3,5 kat daha düşüktür. Ortalama dış maliyetler (yani, kullanıcıların kendileri tarafından ödenmeyen ancak genel olarak toplum tarafından

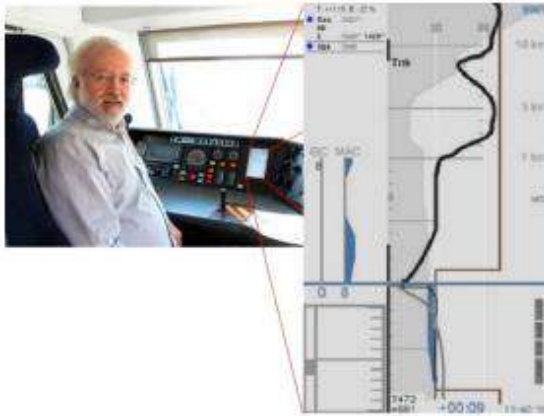
karşılanan hava kirliliği gibi ulaşımın olumsuz etkilerinin maliyetleri), yolcu hizmetleri açısından demiryolu için karayoluna göre dört kattan daha azdır, bu oran yük taşımacılığında daha da artmaktadır [2].

Ülkemizde lokomotiflerin yaş ortalamasının 30 civarında olması, yolculuk hızının yük taşımacılığında yüksek eğim ve çok sayıda virajlı yollar nedeniyle düşük hızda yapıldığından demiryolu yük taşımacılığı talebine yetişememektedir. Ayrıca yüksek güçlü lokomotif azlığı ve eski teknoloji lokomotiflerin yüksek enerji tüketimleri nedeniyle, enerji verimliliğinde ciddi bir kayıp söz konusu olmaktadır.

Enerji verimliliği ve tasarrufuna yönelik çalışmalar genel olarak dört başlık altında toplanabilir. Bunlar: verimli ve tasarruflu tren kullanma, trenlerde enerji sayacı kullanımı, rejeneratif fren, dizel motorlarda enerji verimliliği [3].

İnsan faktörü trenlerdeki enerji verimliliğinde büyük etkiye sahiptir. Makiniste bu konuda yardımcı olmak için "Makiniste Tavsiye Sistemleri (Driver Advisory System, DAS) kullanılmaya başlanmıştır.

Makiniste tavsiye sistemleri genel olarak iki türde bulunmaktadır. Birinci türde sistem sadece cer aracına monte edilmiştir. Sistem; trenin uzunluğu, trenin ağırlığı, tren sınıfı, hattın profili ve tarife gibi sabit verileri dikkate almaktadır. İkinci türde ise; cer aracında bulunan sistem trafik kontrol merkezi ile iletişim halindedir. İkinci türde birinci türe ilave olarak değişken faktörler dikkate alınmaktadır. İkinci türde markizdeki ekrandan makiniste verilen bilgi trenin hareketinde önce hesaplanmakta ve değişen koşulları karşılamak için dinamik olarak güncellenmektedir. Her iki türde de makinist önerilen hız profilini markizde bulunan ekrandan kolaylıkla takip edebilmektedir [4].



Şekil 1. Makiniste tavsiye sistemi ekranı [3]

Dizel trenler tarafından tüketilen enerjinin miktarı kullandığı yakıttan kolayca belirlenebilmektedir. Ancak elektrikli araçlarda elektrik enerji besleme sistemi (katener) hattından sağlanmakta olup tüketilen enerji takip edilmek istenirse trene takılı bir enerji sayacına ihtiyaç vardır.

Rejeneratif fren sonucu elde edilen enerjinin bir kısmı katenere verilmekte, bir kısmı ise dirençlerle ısı enerjisine çevrilerek atmosfere verilmekte diğer bir ifade ile boşa harcanmaktadır. Taşıt üzeri enerji depolama sisteminde, rejeneratif fren sonucu elde edilen enerji araçta bulunan bataryalarda depolanmakta ve aracın tahriki için kullanılmaktadır [3].

Almanya'da Mannheim şehrinde kullanılan bir hafif raylı demiryolu aracına taşıt üzeri enerji depolama sistemi takılmış ve Eylül 2003 – Kasım 2007 arasında 4 yıl boyunca ticari hatta 125.000 km denenmiştir. Mitrac Energy Saver isimli bu sistem Bombardier'ın geliştirdiği ilk jenerasyon taşıt üzeri enerji depolama sistemidir. 4 yıl boyunca aracın tahriki için kullanılan enerjide %25-30 arasında enerji tasarrufunu elde eden söz konusu işletmeci 19 yeni aracı için de 2007 yılında son jenerasyon Mitrac Energy Saver isimli sistemi almıştır [5].

Elektrifikasyonun olmadığı hatlarda dizel demiryolu araçları kullanılmaktadır. Dizel motorlardaki enerji dengesi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Dizel motor enerji dengesi [6]

Şekil 8 incelendiğinde atık ısının (%33 + %11 + %7) motor gücünü (%41) geçtiği görülecektir. Egzozdan dışarı atılan %33'lük, motor soğutma sistemine geçen %11'lik atık ısının kullanımına yönelik teknolojiler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı DMU tren setlerinde motor soğutma sistemindeki atık ısının trenin ısıtılması için kullanımınıdır. Diğer teknolojiler ise egzozdan atılan atık ısıyı kullanarak soğutma yapan absorpsiyonlu soğutma makinası ve clausius-rankine yönetimidir. Motor soğutma sisteminde 80-90°C sıcaklığında 48-280kW, egzozdan ise 420-560°C sıcaklığında 102-413kW atık ısı meydana gelmektedir [6].

2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ISI-ENERJİ GERİ KAZANIM YÖNTEMLERİ [7]

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan ısı geri kazanım cihazları, dış şartlarda alınan taze havanın egzoz havası yardımı ile ön ısıtılmasını (soğutulmasını) sağlayarak, taze havanın entalpi ve sıcaklığını, iç hacim şartlarına yaklaştırmaktadır. Ancak bu tip sistemlerde enerji başka bir sistemden alınırsa, ısı geri kazanımı olmaz. VDI 2071'e göre kütleli transferi, ısı geri kazanımı değildir. Yani hava karıştırılarak ısı geri kazanımı yapılamaz.

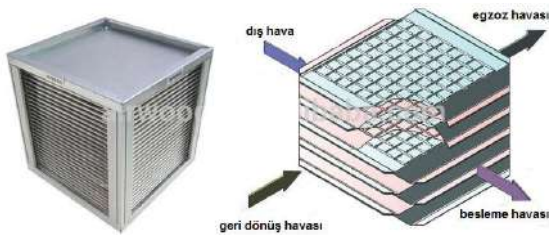
AB direktiflerinde tanımlanan Ecodesign gereklilikleri (COMMISSION REGULATION (EU) No 1253/2014 of 7 July 2014 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for ventilation units) tariflerine göre 1 Ocak 2016 tarihinden itibaren verimlilik değeri $\eta_{i2}=\%63$ 'ün altındaki ürünlerin AB piyasasına arz edilmesi ve kullanılması sınırlandırılmıştır. Aynı direktife göre, 1 Ocak 2018 'den itibaren de aynı ürünlerin verimlilik değeri $\eta_{i2}=\%68$ 'in altında olanların piyasaya arzı ve kullanılması sınırlandırılmıştır.

Isı geri kazanım ünitelerinde asıl olarak duyulur ısı transferi gerçekleşir. Gizli ısı, geri kazanım ünitesinin yapısına bağlı olarak transfer edilebilir. Isı geri kazanım ünitelerini genel olarak iki kategoriye ayırabiliriz:

- Reküperatif Sistemler
- Rejeneratif Sistemler

2.1 Reküperatif Sistemler

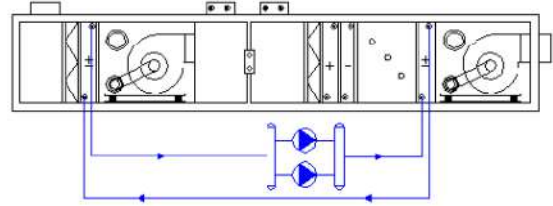
Isı ileten hava, belirli bir bölgede iletimi gerçekleştirir. Dış hava ve atılan hava, bu bölgede ısı ileten bir tabaka ile ayrılır. Hava akışı, paralel veya zıt akışlı olabilir. Nemli hava çığ noktasının altında kalırsa yoğuşma meydana gelecek ve gizli ısı transferi oluşacaktır. Kaçak olmadığı sürece madde transferi meydana gelmeyecektir. Bu sistemlerde buzlanma riski vardır ve ısı bir taşıyıcı vasıtası ile iletilmez. Bölgenin en az bir noktasında hava akımları bir araya gelmelidir. Isı transferini kapatmak mümkün değildir. Isı transferinin kontrolü için dış havanın veya atılan havanın by-pass edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3. Plakalı ısı değiştirici [3]

2.2 Rejeneratif Sistemler

Isı, birbirine bağlantılı iki serpantin üzerinden geçen havalar sayesinde transfer olur. Serpantinlerden biri dış hava tarafında, diğeri atılan hava tarafındadır ve bunlar birbirlerine bir borulama ile bağlanır. Isı transferini sağlayan akışkan bu boruların içinde dolaşır. Akışkan olarak genellikle kimyasal olarak işlenmiş su kullanılır. Gerekliyse antifriz de ilave edilir. Isı transferini sağlayan akışkan, bir pompa sayesinde sistemde dolaştırılır. Bu sistemde akış, vanalar ile kontrol edilir. Eğer sistemden atılan hava çığ noktasının altında kalırsa yoğuşma gerçekleşir. Bu sebeple ek bir gizli ısı transferi meydana gelir. Buzlanma riski vardır.



Şekil 4. Rejeneratif ısı geri kazanımı (Sudan havaya) [3]

Kapalı çevrim sistemi, dış hava ile atılan havanın birbirine uzak mesafelerde olması durumunda bile prosesin gerçekleşmesine olanak verir. Hava akımlarının bir araya gelmesine gerek yoktur; ancak çevrimi gerçekleştirecek bir ek enerjiye ihtiyaç vardır. Bu da çevrimi gerçekleştirecek pompayı çalıştırmak için gereken elektrik enerjisidir. Geri kazanılan ısı miktarı, su debisi kontrol edilerek kolaylıkla kontrol edilebilir. Sistem kapatılabilir.

2.3 Verim Hesaplamaları

Isı geri kazanım amaçlı kullanılan ısı değiştiricilerde ısı/enerji performansının belirlenmesinde üç tanım kullanılmaktadır: Sıcaklık (termal) verimi, etkinlik değeri ve enerji verimi.

2.3.1 Isıl Verim

Isıl verim anlık olarak ne kadar ısı geri kazanılabileceğinin bir ölçüsüdür. Isıl verim alınan sıcaklık farkının toplam sıcaklık farkına bölümü olarak tanımlanır. İki ayrı hava akımının geçtiği ısı değiştiricide iki ayrı ısı verim hesaplanabilir:

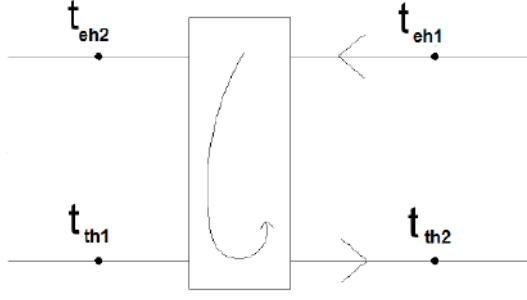
$$\eta_t = \frac{t_{th2} - t_{th1}}{t_{eh1} - t_{th1}} \quad (1)$$

t_{th1} : Isı geri kazanım ünitesine giren taze hava sıcaklığı [°C]

t_{th2} : Isı geri kazanım ünitesinden çıkan taze hava sıcaklığı [°C]

t_{eh1} : Isı geri kazanım ünitesine giren egzoz havası sıcaklığı [°C]

t_{eh2} : Isı geri kazanım ünitesinden çıkan egzoz havası sıcaklığı [°C]



Şekil 5. Isı geri kazanımlı havalandırma cihazında taze ve egzoz havası giriş-çıkış sıcaklıkları [7]

Isıl verim, ısı değiştirici üzerinden geçen hava debileri ile ilişkilidir. Örnek olarak egzoz tarafındaki hava besleme havasından fazla miktarda olursa besleme tarafındaki verim artarken egzoz tarafındaki azalır. Egzoz tarafındaki daha fazla hava debisi besleme tarafına daha fazla enerji transferine neden olur, böylece besleme tarafındaki sıcaklık farkı da artar.

2.3.2 Entalpi Verim

(1) eşitliği yoğuşma görülmeyen durumlar için cihaz verimi açısından geçerli bir sonuç vermektedir. Ancak ısı geri kazanım ünitesinin taze hava tarafında yoğuşma gerçekleşmesi ya da ünite üzerinde nem transferi olması durumunda, cihaz verimini ifade etmek için sıcaklık verimi ifadesi yetersiz kalmaktadır. Bu durumlarda, giren ve çıkan taze hava entalpileri ile ısı geri kazanım ünitesine giren egzoz havasının entalpilerine bağlı olarak hesaplanan, entalpi verimi ifadesi ortaya çıkmaktadır.

Entalpi verimi, ısıl verime benzer olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\eta_t = \frac{h_{th2} - h_{th1}}{h_{eh1} - h_{th1}} \quad (2)$$

h_{th1} : Isı geri kazanım ünitesine giren taze hava entalpisi [kJ/kg]

h_{th2} : Isı geri kazanım ünitesinden çıkan taze hava entalpisi [kJ/kg]

h_{eh1} : Isı geri kazanım ünitesine giren egzoz havası entalpisi [kJ/kg]

h_{eh2} : Isı geri kazanım ünitesinden çıkan egzoz havası entalpisi [kJ/kg]

2.3.3 Etkinlik Değeri

Bir ısı değiştiricisinden ne kadar enerji kazanıldığını tanımlamanın bir diğer yöntemi etkinlik değeridir. Bu kavram özellikle NTU yöntemi ile bağlantılı olarak kullanılır. Hava akımındaki gerçek enerji değişiminin, olabilecek maksimum enerji değişimine bölünmesiyle belirlenir. Şu şekilde tanımlanır:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} \quad (3)$$

Besleme havasından kazanılan veya kaybedilen ısı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{th} C_{p,th} (t_{th2} - t_{th1}) \quad (4)$$

Veya bu ısı egzoz tarafındaki ısıya eşittir:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{eh} C_{p,eh} (t_{eh1} - t_{eh2}) \quad (5)$$

(3) bağıntısındaki maksimum ısı transferi aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$\dot{Q}_{\max} = (\dot{m} C_p)_{\min} (t_{eh1} - t_{th1}) \quad (6)$$

$\dot{m}_{th} C_{p,h} = \dot{m}_{eh} C_{p,h}$ olması durumunda (1) bağıntısı elde edilmiş olur. Böylelikle kütledebiler ve özgül ısı kapasitelerin çarpımları eşit olduğundan sıcaklık verimi ile etkinlik değeri birbirine eşitlenmiş olur.

\dot{Q} : Isı geri kazanım cihazından alınan ısıl güç [W]

\dot{Q}_{\max} : Isı geri kazanım cihazından elde edilebilecek maksimum ısıl güç [W]

\dot{m}_{th} : Isı geri kazanım cihazına giren taze hava debisi [kg/s]

\dot{m}_{eh} : Isı geri kazanım cihazına giren egzoz hava debisi [kg/s]

$C_{p,th}$: Taze hava özgül ısısı [kJ/kgK]

$C_{p,eh}$: Egzoz hava özgül ısısı [kJ/kgK]

2.3.4 Enerji Verimi

Enerji verimi klima santralının yıllık toplam ısı ihtiyacına kıyasla ısı değiştiriciden ne kadar ısı geri kazanımı yapıldığı ile ilgili bir tanımdır.

$$\eta_e = \frac{Q_{hx}}{Q_{top}} \quad (7)$$

Q_{hx} : Isı değiştiriciden bir ısıtma/soğutma sezonunda geri kazanılan ısı [kJ]

Q_{top} : Klima santralının bir ısıtma/soğutma sezonunda kullanmış olduğu toplam enerji [kJ]

2.3.5 Basınç Düşümü

Isı geri kazanım cihazındaki basınç düşümünü karşılamak için gerekli fan gücü;

$$P_{\Delta p} = \frac{2 \dot{V}_{debi} \Delta p}{\eta_{fan}} \quad [W] \quad (8)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada;

\dot{V}_{debi} : cihazın debisini [m^3/s]

Δp : Isı geri kazanım cihazındaki basınç düşümü [Pa]

η_{fan} : fan verimi [%]

2.3.6 Net Etkinlik Değeri

Farklı ısı değiştiricilere ait toplam enerji kayıpları aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmış olup daha sonra her bir cihazın ger kazandığı ısıl güçten

düşülerek net etkinlik hesaplamasında kullanılmıştır:

$$\sum P_{\text{cihaz},k} = P_{\Delta p} + P_{\text{motor},k} \quad (9)$$

Burada;

$\sum P_{\text{cihaz},k}$: Isı değiştirici cihazlardan kaynaklanan toplam güç kayıpları [W]

$P_{\Delta p}$: Isı geri kazanım cihazlarındaki basınç kayıplarından kaynaklanan güç kaybı [W]

$P_{\text{motor},k}$: Isı geri kazanım cihazlarındaki fan, pompa ve kompresör motorlarının harcadığı güç [W]

Her bir ısı geri kazanım cihazı için “net cihaz verimi” aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\varepsilon_n = \frac{\dot{Q}_{\text{cihaz},n}}{\dot{Q}_{\text{top}}} = \frac{\dot{m}_{th} c_{ph}(t_{th2} - t_{th1}) - \sum P_{\text{cihaz},k}}{\dot{m}_{eh} c_{ph}(t_{eh1} - t_{th1})} \quad (10)$$

$\dot{Q}_{\text{cihaz},n}$: Isı geri kazanım cihazından net olarak elde edilen ısı güç [W]

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada şehirlerarası yolcu vagonu için Yazkar firması tarafından tasarımı yapılan bir iklimlendirme sistemine eklenen levha tipi ısı değiştiricinin ısı performansını kuramsal olarak incelenmiştir.

Cihazın giriş koşulları aşağıda belirtilmiştir:

• Dış Kuru Term. Sıcaklığı (T_k)	50	[°C]
• Dış Bağıl Nem (F_d)	14,9	[%]
• Yolcu Sayısı (n)	78	[Adet]
• Aracın Eni (W)	3,24	[m]
• Aracın Boyu (L)	16,28	[m]
• Aracın Yüksekliği (H)	2,7	[m]
• Araç Cam Yüzeyi (A_p)	19,2	[m ²]
• Kapı Genişliği (W_k)	1,2	[m ²]
• Kapı Yüksekliği (H_k)	1,9	[m]
• Kapı adedi (n_k)	4	[Adet]
• Bir yöndeki kapı sayısı	2	[Adet]
• Kapıların açık kalma süresi	20	[saniye]
• Kişi başı taze hava miktarı	15	[m ³ /h]

Hesaplama bağıntılarında kullanılacak olan değerler aşağıda verilmiştir:

• Tek Kapı alanı (A_k)	2,28	[m ²]
• Cidar Isı Geçirgenlik Değeri (K_u)	0,77	[W/m ² K]
• Net Dış Yüzey Alanı (A)	172,5	[m ²]
• Vagon İç Hacmi ($V_{iç}$)	139,57	[m ³]
• Taze Hava Miktarı (V_{th})	1170	[m ³ /h]
• Toplam hava debisi	4000	[m ³ /h]
• Dış Ortam Hava Entalpisi (h_d)	80,14	[kJ/kg]
• İç Ortam Hava Entalpisi (h_i)	55,46	[kJ/kg]
• Vagon Taban Alanı (A_t)	52,75	[m ²]
• Ortalama Aydınlatma Şiddeti	150	[Lux]

Bu verilere göre iklimlendirme ısı yükleri (ısı geri kazanımı olmaksızın) aşağıdaki gibi olmaktadır:

• Transmisyon ısı yükü (Q_t)	3,32	[kW]
• Güneşlenme ışınlam yükü (Q_s)	12,37	[kW]
• Taze hava yükü (Q_{th})	7,03	[kW]
• Aydınlatma yükü (A_a)	0,10	[kW]
• İnsan yükü (Q_p)	9,13	[kW]
• Hava sızıntı yükü (Q_d)	3,15	[kW]
• Fan motor yükü (Q_f)	1,46	[kW]
• Toplam ısı yükü (Q_T)	36,55	[kW]
• Eş zamanlılık faktörü (EF)	85	[%]
• Eşzamanlı toplam ısı yükü (Q_{ET})	31,07	[kW]

Bu araç iklimlendirme cihazında taze hava girişi/egzoz havası çıkışına ısı levha tipi ısı değiştirici ekleyerek kuramsal olarak ısı yüklerini nasıl değiştireceğini ön görmek istiyoruz.

Sistemimizde kullanılacak cihaz Karyer firması kataloğundan Ters Akışlı Plakalı Isı Geri Kazanım Eşanjörü (Counter PHE) olarak belirlenmiştir [3].

Taze hava debisi: $15 \times 78 = 1170 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,325 \text{ m}^3/\text{s}$)

Giriş havasının özgül hacmi: $1,141329 \text{ m}^3/\text{kg}$

Taze havanın kütleli debisi:

$$\dot{m}_{th} = \frac{\dot{V}_{th}}{v} = \frac{0,325}{1,141329} = 0,2847 \text{ kg/s}$$

Egzoz havası kütleli debisi:

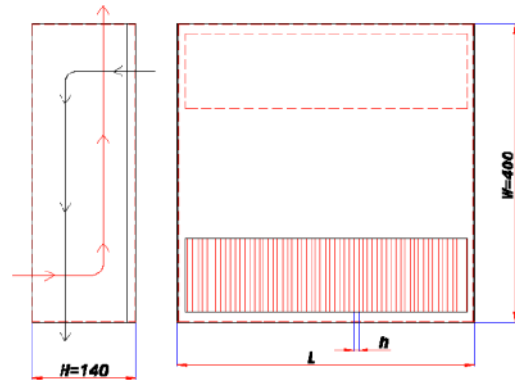
$$\dot{m}_{eh} = \frac{\dot{V}_{eh}}{v} = \frac{0,325}{1,053682} = 0,3084 \text{ kg/s}$$

Dış (taze) hava entalpisi: $80,14 \text{ kJ/kg}$

İç (egzoz) havası entalpisi: $55,46 \text{ kJ/kg}$



Şekil 6. Ters akışlı plakalı ısı geri kazanım eşanjörü [4]



Şekil 7. Ters akışlı plakalı ısı geri kazanım eşanjörü şeması [4]

Isı değiştirici basınç kaybı: 30 Pa (kabul edildi)
Isı değiştirici eşanjör verimi: %50 (kabul edildi)

Isı değiştirici verimi (1) bağıntısından;

$$\eta_t = \frac{t_{th2}-50}{25-50} = 0,5 \text{ ise } t_{th2} = 37,5 \text{ } ^\circ\text{C ve}$$

(5) bağıntısından $t_{eh2} = 38,54 \text{ } ^\circ\text{C}$ bulunur.

Cihaz basınç kayıpları (8) bağıntısından;

$$P_{\Delta p} = \frac{2 \dot{V}_{debi} \Delta p}{\eta_{fan}} = \frac{2 \times 1,0545 \times 30}{0,75} = 84,36 \text{ W}$$

Toplam net verim (10) bağıntısından;

$$\epsilon_n = \frac{\dot{m}_{th} C_{ph} (t_{th2} - t_{th1}) - \sum P_{cihaz,k}}{\dot{m}_{eh} C_{ph} (t_{eh1} - t_{th1})}$$

$$\epsilon_n = \frac{0,2847 \times 1,007 \times (37,5 - 25) - 0,08436}{0,3084 \times 1,007 \times (50 - 25)} = 0,45 \text{ (%45)}$$

Bu durumda net enerji tasarrufumuz aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$\dot{Q}_{net} = \epsilon_n \dot{m}_{th} C_{ph} (t_{eh1} - t_{th1})$$

$$\dot{Q}_{net} = 0,45 \times 0,2847 \times (50 - 25) = 3,225 \text{ kW}$$

bulunur.

Bu durumda hesaplanan taze hava yükü 7,03-3,225=3,805 kW değerine düşecek ve %45 azalacaktır. Yine toplam ısı yükü:

$$\dot{Q}_T = 36,55 - 3,225 = 33,325 \text{ kW}$$

değerine, eşzamanlı toplam ısı yükü;

$$\dot{Q}_{ET} = 0,85 \times 33,325 = 28,32 \text{ kW}$$

değerine düşecektir. Toplam eş zamanlı ısı yükü %15 azalmaktadır. Araç iklimlendirme cihazlarındaki etkinlik değeri ortalama 4 olarak kabul edilirse kompresör enerjisindeki azalma;

$$\Delta P_{el} = 7,7675 - 7,08 = 0,6875 \text{ kW}$$

olarak hesaplanır.

4.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada demiryolu araçlarında kullanılan araç iklimlendirme cihazına eklenecek olan ters akışlı plakalı ısı geri kazanım eşanjörünün sistem üzerine yapacağı verim artışları incelenmiştir.

Sistem bütünlüğünde %15 verim artışı oldukça iyi bir değer olup ilk yatırım maliyet artışlarını 2 yılda amorti etmesi beklenmektedir.

Teşekkür: Bu bildirin hazırlanmasında bizi teşvik eden, yoğun katkılar sunan firmamız akademik danışmanı Doç. Dr. Hüseyin Bulgurcu'ya teşekkür ederiz.

Not: Bu araştırma *Yazkar Akademi* çalışmaları kapsamında hazırlanmıştır.

4.KAYNAKLAR

- [1] <https://www.moslojistik.com/demiryolu-tasimaciliginin-avantajlari> (7.10.2023 tarihinde erişildi)
- [2] Işıkoğlu, N. <https://www.yesillojistikciler.com/demiryolu/demiryolu-tasimaciliginda-enerji-verimliliği/20847> (8.10.2023 tarihinde erişildi)
- [3] Akbayır, Ö. “Demiryolu Araçlarında Enerji Verimliliği ve Tasarrufu”, 3. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'16), 13-15 Ekim 2016, Karabük.
- [4] Traffic Management of The Future, EURAILmag Business & Technology, Issue 22.
- [5] Klohr, M., Onboard Innovative Components, Railenergy Workshop EE Components, Berlin, 18 Mart 2009.
- [6] Lauszat, C., Potentials and limitations of waste heat usage in Rolling stock, 4th Railenergy Workshop, Berlin, 18 March 2009.
- [7] Bulgurcu, H. (editör), Klima Tesisi, Yayın no:663, Bölüm 15, MMO yayını, 2021.
- [8] karyergroup.com/images/documents/catalogues/kar_yer_heat_recovery_cat.pdf (6.10.2023 tarihinde erişildi)

5.ÖZGEÇMİŞLER

Emirhan Yerlikaya

2000 yılında Sakarya'da doğmuştur. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü mezunudur. 2023 yılında çalışmaya başladığı Yazkar Klima Soğutma A.Ş. bünyesinde çalışmaktadır.

Hüseyin Bulgurcu

1962 yılında İzmir Kınık Poyracık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı MYO'da öğretim görevlisi olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-D.B. projesi kapsamında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir MYO İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Mart 2017'de emekli oldu. Sektör firmalarında danışmanlık yapmaktadır.

DEMİRYOLU DÖNEMEÇLERİNDE TEKERLEKLER ÜZERİNE ETKİ EDEN DÜŞEY KUVVET DEĞERLERİNİN UYGULAMA DEVER DEĞERLERİ İLE BİRLİKTE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sinem Bozatlı Kartal^{1,2}, Niyazi Özgür Bezgin²

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Yalova, TÜRKİYE

Tel: 226 815 61 15 E-Posta sinem.bozatli@yalova.edu.tr

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Tel: 212 473 70 70 E-Posta ozgur.bezgin@iuc.edu.tr

Özet- Demiryolu hatları üzerinden ulaşım, tren tekerlekleri ile raylar arasında mevcut yuvarlanma direnç değerinin, karayolu ile lastik tekerlekli taşıtlar arasındaki yuvarlanma direnç değerinden çok daha az olması nedeniyle, ihtiyaç duyulan hareket enerjisi bakımından daha verimli bir ulaşım yöntemidir. Günümüzde ekonomik ulaşım talebin artmasıyla, demiryolu hatları üzerinden sefer sayıları artmakla birlikte, sefer hızları ile tek seferde taşınan yük değerleri ve yolcu sayıları da artmaktadır. Bu artışlar, birim zamanda, belirli bir hat uzunluğu boyunca taşınan yolcu sayısını veya yük miktarını artırmaktadır. Artan tonaj nedeniyle, demiryolu araçları ve hatları daha fazla yıpranmaktadır. Bu durum bakım-onarım ihtiyacının düzenli olarak takibini ve gerçekleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Yetersiz bakım, artan aşınmalar ile artan dinamik darbe kuvvetleriyle hattı ve aracı oluşturan unsurlarda yıpranmalara ve bozulmalara yol açmaktadır. Dönemeçlerde etki eden net yatay ivme değerlerinin sınırlanması için dever uygulaması yapılarak, dönemeçlerde ihtiyaç duyulan merkezci kuvvetin bir kısmının, tren kütesinin ağırlığın yatay bileşeni tarafından karşılanması amaçlanır. Kullanılan dever değeri, dönemeçlerde, iç ray ve dış ray üzerine etki eden düşey kuvvet değerlerini, hattın düz kısımlarında ilerleyen bir trenin uyguladığı düşey kuvvet değerlerine göre değiştirmektedir ve aynı zamanda da hatta dik yönde yatay kuvvetler de uygulamaktadır. Bu çalışma, deverlerde tekerlekler üzerine gelen düşey kuvvet değerlerini ve bu değerlerin uygulama dever değerleriyle değerlendirilmesini incelemektedir.

Anahtar Sözcükler: Demiryolları, dever, düşey kuvvetler, ray-tekerlek etkileşimi.

1. GİRİŞ

Hat geometrisi, bir demiryolu sisteminin kritik bir yönüdür ve doğrudan demiryolu hattının performansını ve sistemi kullanan demiryolu araçlarının davranışını etkilemektedir [1]. Dever, dönemeçlerde gereken merkezci kuvvetin bir kısmını sağlamak ve hissedilen merkezci ivmeyi, ya da başka bir deyişle “net yatay ivmeyi” kabul edilebilir bir değere düşürmek için dönemeçlerde, dönemeç merkezine göre dışarıda kalan rayın, içeride kalan raya göre belirli bir değerde yükseltilmesi ile elde edilen geometrik duruma verilen isimdir. Teorik dever adı verilen durumda, net yatay ivme değeri sıfır olup, verilen dever değeri sayesinde ortaya çıkan yerçekimi ivmesinin yatay bileşeni, merkezkaç ivme değerine eşit değerde ve zıt yönde olmaktadır. Uygulama dever değerinde ise ortaya çıkan net yatay ivme değeri sıfır olmayıp, yolcuların tahammül edebileceği veya taşınan yüklerin yerlerinden kaymayacağı veya yük trenlerinde taşınan canlı hayvanların yerlerinden sarsılmayacağı bir değere göre belirlenerek ortaya çıkmaktadır. Teorik dever ve uygulama dever değerleri arasındaki fark ise dever eksikliği olarak adlandırılır ve ortaya çıkan net yatay ivme değeri de doğrudan, eksik bırakılan dever değerine bağlıdır. Dever, tren tekerleklerine etki eden düşey ve yatay kuvvet değerleri üzerinde etkisi olan önemli hat geometri parametrelerinden biridir [2].

Grassie ve Elkins (2005), dever eksikliğinin tekerlekler arasındaki teğetsel kuvvet dağılımında bir değişikliğe neden olması nedeniyle, dever eksikliğinin dönemeçlerdeki performansı üzerinde nasıl olumlu bir etkiye sahip olduğundan bahsetmektedir [3]. Grassie (2014), karma trafik hatlarının yüksek hızlı yolcu trafiğine göre daha düşük hızlı yük trafiği için eğimli olması durumunda demiryolu bakımının azaltılacağını belirtmek için daha da ileri bir çalışmaya gitmiştir [4].

Daha çok tekerlek/ray kuvvetlerinden kaynaklanan hasara odaklanmaktadır. Hem tekerlek ve ray arasındaki teğetsel kuvvetler üzerindeki etkileri ele almaktadır.

Böylece sürünme kuvvetlerinin daha eşit bir dağılımı olur ve en yüksek çekme kuvveti seviyeleri hariç hepsi için, yüksek raylı tekerlekler üzerindeki çekiş, alçak raylı tekerleklerdekinden daha düşüktür. Teğetsel kuvvetin daha eşit dağılımının bir sonucu olarak, çekiş oranları genel olarak denge hızında dönemeçlere göre daha düşüktür. Kozak (2016), demiryolunda deverin fazla veya eksik verilmesi sonucunda meydana gelebilecek hasarlar ve güvenliğe etkisini çalışmasında ele almıştır [5]. Powell ve Grabe (2017) çalışmalarında Gautrain RapidRail Link'te gerçekleştirilen demiryolu dönemeçlerindeki dikey ve yanal kuvvetler, hız ve eğim arasındaki ilişkiye ilişkin bir araştırma sunmaktadır. Araştırma, bir test treninin bir eğri boyunca çeşitli hızlarda çalıştırılmasını, ray altı besleme ve tren seferlerini tekrarlama yoluyla eğrinin eğimini değiştirmeyi içeren bir deneye dayanmaktadır. Ray altı besleme öncesi ve sonrası test verilerinin değerlendirilmesi, dikey ve yanal ray kuvvetleri, hız ve eğim arasında beklenen ilişkilerin varlığını doğrulamıştır.

2. DÖNEMEÇLERDEKİ DURUMUN KİNEMATİK OLARAK İNCELENMESİ

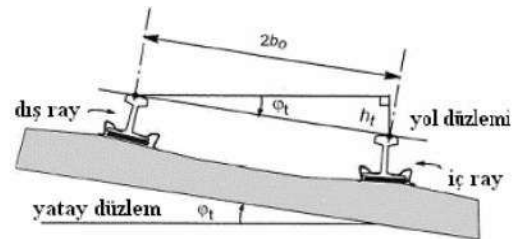
Demiryolu güzergahları (geçkileri) boyunca, geçki planı ve geçki profili boyunca eğrisel bölgeler yer alabilir. Geçki planında yer alan eğrisel bölgeler, dönemeçler olarak adlandırılarak, trenin ilerleme yönünde değişiklik sağlanması gereken yerlerde kullanılırlar. Çağdaş demiryolu hatlarında bir dönemeç, çoğunlukla yarıçapı sabit tek bir dairesel eğri ile bu eğrinin girişinde ve bu eğrinin çıkışında yarıçapı değişken ve klotoid olarak anılan geçiş eğrilerden oluşur. Dönemeçler, bir tepe veya göl gibi bir jeolojik olgunun etrafından geçişin sağlanması için kullanılabilir gibi, bir kıyı şeridi veya vadi tabanı boyunca serili bir geçkinin, arazinin doğal yapısına uyum sağlanması için de kullanılabilir. Öte yandan, geçki boyunca varılması gereken noktalar için doğrultu değişimleri gerekiyorsa, yine dönemeçler kullanılır. Birbirine paralel olarak serili demiryolu hatları arasında geçişler ise makas adı verilen özel demiryolu hat bölgeleri ile sağlanır. Makas bölgeleri boyunca da hat eğriselliklerinin var olduğu bölümler yer alır ancak makas bölgelerinden geçiş esnasında ortaya çıkan merkezci kuvvetler bu çalışmada irdelenmemiştir.

Geçkilerin düz olduğu bölgelerde demiryolu araçlarına etki eden kuvvetlere ek olarak dönemeçlerde, araçlar üzerinde, hareket yönüne dik yatay kuvvetler etki eder. Merkezci kuvvetler olarak anılan bu kuvvetler, dönemeç yarıçapına ve trenin hızına bağlı olarak ortaya çıkan merkezci ivme nedeniyle ortaya çıkarlar. Merkezci kuvvetlerin, demiryolu hattı tasarımında

dikkate alınması gereken iki önemli etkisi vardır. Bu etkilerden bir tanesi, meydana gelen merkezci kuvvet nedeniyle, dönüş yarıçapına göre içte ve dışta kalan raylar üzerine etki eden düşey tekerlek kuvvetlerinde ortaya çıkan farklılıklardır. Hattın düz bölgelerinde hareket eden bir trenin tekerleklerinin raylar üzerinde oluşturduğu düşey kuvvetlere ek olarak dönemeçlerde, raylar üzerine etki eden düşey kuvvetler, hattın düz bölgelerinde etki eden düşey kuvvetlere göre artabilmekte veya azalabilmektedir. Düşey yükün arttığı bölgelerde raylar, hattın düz kısımlarında yer alan raylara göre daha fazla düşey gerilmelere maruz kalabilmektedir.

Dönemeçlerde dikkate alınması gereken bir diğer etki ise ortaya çıkan merkezci ivmelerin tahammül edilebilirlik sınırlarıdır. Yolcu trenlerinde seyahat eden insanlar, dönemeçlerde oluşan bu ivmeleri hissetmektedirler. Bu nedenle, belirli bir yarıçapta ve belirli bir tren hızında dönemeçlerde ortaya çıkan merkezci ivmenin değerini, dever adı verilen geometrik oluşumlar ile azaltmak mümkündür. Uygun bir dever ile merkezci ivmenin, hissedilmeye uygun bir değerde oluşması sağlanabilir. Ek olarak, uygun bir dever ile iç ve dış raylar arasındaki düşey kuvvet farklılıkları da sınırlanarak, raylar üzerinde oluşacak en yüksek düşey gerilme değerleri de sınırlandırılabilir. Seçilecek dever değeri sabit olup, hattın tasarım hızından daha düşük hızlarda seyrin gerçekleşmesi durumunda da işlevsel olmak durumundadır. Bir diğer ifadeyle, bir hat dönemecinden geçen tren, hattın tasarım hızından daha düşük değerlerde geçse veya dönemeç üzerinde durmak zorunda kalsa dahi, seçilen deverin işlevsel olması gerekir. Bu nedenle demiryolu hatları, uygulama deveri adı verilen değerler ile inşa edilmelidir.

Şekil 1' de, bir monoblok travers tarafından desteklenen iki ray kesiti görülmektedir. Ray merkezleri arasındaki mesafe değer $2b_0$ olarak ifade edilmiş olup, demiryolu hattına verilen dever h_t ile dever açısı ise φ_t ile ifade edilmiştir. Eşitlik (1)' de, bu üç parametre arasındaki geometrik ilişki ifade edilmiştir. Eşitlik (1) ile ifade edilen eşitliği, küçük açılar için ($\varphi_t < 8^\circ$) sadeleştirmek mümkündür. Küçük açılarda, açının sinüs ve tanjant değerleri yaklaşık olarak birbirine eşittir.

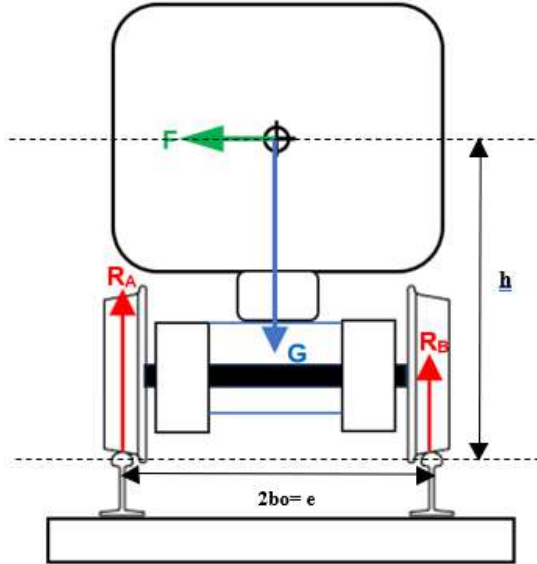


Şekil 1. Dever ve dever açısı [6]

$$\varphi_t = \sin \frac{h_t}{2b_0} \quad (1)$$

Hat ekartmanı, ray mantarı üst seviyesinden 14 mm aşağıda, ray başlarının hat içerisine dönük yüzleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmıştır. Normal ekartmanlı demiryolu hattında ekartman değeri 1435 mm olup, bu değer, George Stephenson'un, 19.yy'ın başında tasarladığı hat ekartman ölçüsü olan 4 feet ve 8.5 inch değerinin SI ölçü sisteminde olan karşılığıdır. Hat açıklığı 1500 mm'dir ve ray eksenleri arasındaki mesafedir. Statik ve dinamik hesaplamalarda hat açıklığı (1500mm) kullanılır.

Şekil 2' de, deversiz bir dönemeçte, sağa doğru dönüş yapan bir tren gövdesi üzerine etki eden merkezkaç kuvveti ile düşey kuvvetler gösterilmiştir. Tasvir edilen dönüşü sağlayan yatay merkezciil kuvvetler, tekerlekler ile raylar arasındaki sürtünme ile dış teker budeninin ray mantarına teması ile sağlanır. Döngüsel bir hareket esnasında, belirli bir merkez etrafında dönüşü gerçekleştiren kütle üzerine etki eden merkezciil kuvvete karşı zıt yönde kütle gösterdiği ve merkezkaç adı verilen tepki kuvveti (F) trenin ağırlık merkezinde gösterilmiştir. Bu kuvvet, kütle, merkezciil kuvvete maruz kaldığı süre boyunca kütle üzerine etki etmektedir. Deversiz bir dönemeçte, dönüş yönüne göre dışta kalan ray, içte kalan raylara göre daha fazla düşey kuvvet altında kalmaktadır ve ray-tekerlek arayüzünde ortaya çıkan düşey tepki kuvveti (R_a), içte yer alan düşey tepki kuvvetine göre (R_b) daha büyük olmaktadır. Şekil 2' de, ray ve tekerlek temas noktalarında oluşan yatay kuvvetler gösterilmemiştir. Şekilde tren setlerinin ağırlık merkezinin ray üst kotuna olan yüksekliği "h" ve ekartman aralığı "e" ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Deversiz dönemeç üzerinde, tren üzerine etki eden yatay ve düşey kuvvetler ile ray üstüne etkin eden düşey kuvvetlerin tasviri

Denge durumu incelemek üzere, içteki ray etrafında (B) kuvvetlerin oluşturduğu moment eşitliği Eşitlik (2)' de

ifade edilmiştir. Eşitlik (3)' te ifade edilen R_a kuvvet ifadesi, eşitlik (4) ve (5)' te ifade edilen denge durumunda düşey kuvvet eşitliği koşulundan yola çıkarak R_b kuvvet ifadesini ortaya çıkarmaktadır.

$$R_a * e = \frac{G * e}{2} + F * h \quad (2)$$

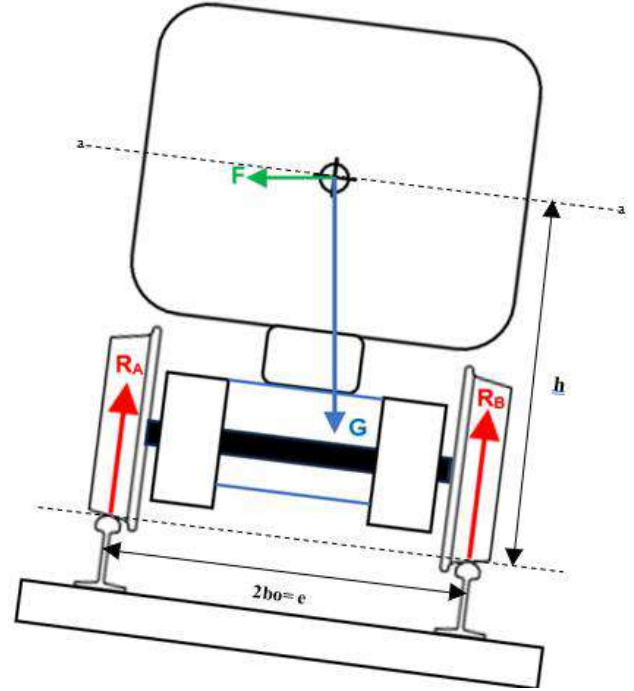
$$R_a = \frac{G}{2} + F * \frac{h}{e} \quad (3)$$

$$R_a + R_b = G \quad (4)$$

$$R_b = \frac{G}{2} - \frac{F * h}{e} \quad (5)$$

Eşitlik (3) ve (5), analitik olarak bize, dış ray üzerinde oluşan düşey yüke karşı doğan tepki kuvvetinin, iç ray üzerinde oluşan düşey yüke karşı doğan tepki kuvvetinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Şekil 3' te dever içeren dönemeç üzerinde sağa doğru dönüş yapan bir tren gövdesi üzerine etki eden merkezkaç kuvveti, trenin ağırlığı ve ray üst kotlarında oluşan ve ray üst kotuna dik kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3. Dever içeren dönemeç üzerinde, tren üzerine etki eden yatay ve düşey kuvvetler ile ray üstüne etki eden düşey kuvvetlerin tasviri

Dever arttıkça, trenin ağırlığı (G) ile içteki ray arasındaki moment kolu azalmaktadır ve dolayısı ile içteki ray, düşey kuvvetin daha büyük bir yüzdesini taşımaktadır. Dış raydaki kuvveti arttıran unsurlar, dönemece giriş hızı, dönemeç yarıçapı ile ortaya çıkan merkezciil kuvvet ve dever değeridir.

Denge durumunda toplam moment değerinin sıfır olması koşulu ile eşitlik (5)'te, B noktası etrafında kuvvetlerin döndürücü etkileri analitik olarak ifade edilmiştir. Eşitlik (6)'da R_a kuvvet değerinin, ilgili değişkenler bağlamında analitik ifadesi görülmektedir. Tren hızının dönemeç içerisinde sıfır olduğu anda, dış ray üzerine etki eden ve dolayısı ile dış rayın gösterdiği tepki değeri R_a , uygulanan dever değerine ve tren ağırlık merkezinin ray üzerinden yüksekliğine bağlı olarak azalmaktadır. Bu durum neticesinde, eşitlik (8)-(12) kapsamında yapılan çözümlere dikkate alındığında, iç ray üzerindeki kuvvete gösterilen tepki R_b , dönemeç içerisinde duran bir tren durumunda, eşitlik (12)' de ifade edildiği haliyle, artmaktadır.

$$R_a * e = G \cdot \frac{\cos\alpha * e}{2} - G \cdot \sin\alpha * h + F \cdot \cos\alpha * h + F \cdot \sin\alpha * e/2 \quad (6)$$

$$R_a = \frac{G \cdot \cos\alpha}{2} - G \cdot \sin\alpha \cdot \frac{h}{e} + F \cdot \frac{h}{e} \cos\alpha + F \cdot \frac{\sin\alpha}{2} \quad (7)$$

$$v = 0 \rightarrow R_a = G \cdot \left(\frac{\cos\alpha}{2} - \sin\alpha \cdot \frac{h}{e} \right) \quad (8)$$

$$R_a + R_b = G \cdot \cos\alpha + F \cdot \sin\alpha \quad (9)$$

$$\frac{G \cdot \cos\alpha}{2} - G \cdot \sin\alpha \cdot \frac{h}{e} + F \cdot \frac{h}{e} \cos\alpha + F \cdot \frac{\sin\alpha}{2} + R_b = G \cdot \cos\alpha + F \cdot \sin\alpha \quad (10)$$

$$R_b = \frac{G \cdot \cos\alpha}{2} + G \cdot \sin\alpha \cdot \frac{h}{e} + F \cdot \frac{\sin\alpha}{2} - F \cdot \frac{h}{e} \cos\alpha \quad (11)$$

$$v = 0 \rightarrow R_b = G \cdot \left(\frac{\cos\alpha}{2} + \sin\alpha \cdot \frac{h}{e} \right) \quad (12)$$

$$v = 0 \rightarrow R_a + R_b = G \cdot \cos\alpha \quad (13)$$

Eşitlik (8) ve eşitlik (12), deverli bir dönemeç üzerinde duran trenin raylar üzerine aktaracağı düşey kuvvetlere karşı raylar oluşan düşey tepki kuvvet değerlerini ifade etmektedir. Trenin, dönemeç üzerinden geçiş hızına, dönemeçin çapına ve trenin ağırlık merkezinin ray ve tekerlek temas noktasına göre yüksekliğine bağlı olarak R_a ve R_b değerleri değişecektir. Hareketsiz duruma göre trenin hızı arttıkça R_b azalacak ve R_a artacaktır. Raylarda oluşan tepki değerlerinin değişimi, F ve G kuvvet değerleri ile dever değeri ve ağırlık merkezinin yüksekliği ile meydana gelir. Bu durumu değerlendirmenin etkin bir yolu, dever içeren demiryolu hat kesitine paralel düzlem içerisinde yatay kuvvetlerden kaynaklı yatay ivme değerlerinin incelenmesidir.

Şekil 2'de a-a ile tasvir edilen düzlem boyunca yatay ivme değerleri, merkezci ivme ve yerçekimi ivme kaynaklıdır. Merkezci hareket sonucu ortaya çıkan ve F merkezkaç kuvveti yönünde tepki değeri hissedilen ivme değeri eşitlik (14)'te ifade edilmiştir.

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (14)$$

Belirtilen a-a düzlemi boyunca etki eden bir diğer ivme bileşeni ise dever aracılığı ile faydalanılan yerçekimi ivme değeridir. Dever içeren bir dönemeçte etki eden ivme değerlerine göre, a-a düzlemi boyunca mevcut net yatay ivme değeri (a_n) eşitlik (15) tarafından ifade edilmiştir.

$$a_n = \frac{v^2}{R} \cdot \cos\phi t - g \cdot \sin\phi t \quad (15)$$

Eşitlik (15) ile ifade edilen eşitliği, küçük açılar için ($\phi t < 8^\circ$) sadeleştirmek mümkündür. Küçük açılarda, açının sinüs ve tanjant değerleri yaklaşık olarak birbirine eşittir ve bu açının kosinüs değeri ise 1'e yakındır. Bu durumda, eşitlik (15)' te yer alan $\cos\phi t$ değerini 1 olarak değerlendirmek, $\sin\phi t$ değerini ise ilgili açının tanjantı olarak değerlendirmek mümkündür. Dolayısı ile eşitlik (15), doğrudan hat genişliği (b_o) ve dever yüksekliği (h_t) ile ilgili olarak eşitlik (16)' da ifade edildiği gibi sadeleştirilebilir.

$$a_n \cong \frac{v^2}{R} - g \cdot \sin\phi t = \frac{v^2}{R} - g \cdot \frac{h_t}{2b_o} \quad (16)$$

1.1 Teorik Dever (Denge Deveri)

Net yatay ivme değerinin 0 olduğu dever yükseklik değeri, denge deveri (equilibrium cant) veya teorik dever olarak ifade edilmektedir. Bu durumda demiryolu aracının dönemeçlerde dairesel hareket yapmasını sağlayan kuvvet tamamen araç ağırlığının dever kaynaklı yatay bileşeni tarafından karşılanmaktadır. Bu durumda, dairesel hareket nedeniyle ortaya çıkan merkezci ivme, tamamen yerçekimi ivmesinin dever kaynaklı yatay bileşeni tarafından karşılanmaktadır. Eşitlik (17)' de, denge dever (h_{eq}) eşitliği sunulmuştur.

$$h_{eq} \cong \frac{2b_o}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \quad (17)$$

Denge deverine sahip bir dönemece giren trenin ilgili denge hızı (v_{eq}) ise eşitlik (18)' de verilmiştir. Denge hızında, dönemeç boyunca hareket eden tren üzerinde ve dolayısı ile tren içerisinde seyahat eden yolcu varsa, yolcular tarafından hissedilen net yatay ivme değeri 0'dır.

$$v_{eq} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot h_t}{2b_o}} \quad (18)$$

Ancak uygulamada, bir dönemeç asla denge dever değeri ile inşa edilmez. Denge dever değeri, yüksek değerlerde olup, kullanılması durumunda, dönemeçte duran bir yolcu treninin yolcular üzerinde son derece rahatsız edici yerçekimi kaynaklı yatay kuvvetler oluştururlar. Yük trenlerinde ise taşınan yükün yerinden kayması gibi olumsuz sonuçlara neden olurlar. Bu nedenle, uygulamada seçilen dever değeri, uygulama deveri (h_t) adını alıp teorik deverin altında bir

değerdir. Belirli bir hizmet hızında ve dönemeç çapında seçilecek uygulama deverinde ana kıstas, yolcuların tahammül edebilecekleri net yatay ivme değeridir. Uygulama deveri (h_t), teorik deverden (h_{eq}) bir miktar eksik bırakılarak elde edilir ve eksik bırakılan dever değeri de (h_d), dever eksikliği olarak ifade edilir ve yolcuların tahammül edebileceği bir değerde yatay ivme değeri üretir. Eşitlik (19)'da yolcuların hissettiği net yatay ivme veya bir başka deyişle dever eksikliği ifade edilmiştir.

$$h_d = h_{eq} - h_t = \frac{2b_0}{g} \cdot \frac{v^2}{R} - h_t \quad (19)$$

2.1 Pratik Dever (Uygulama Deveri)

Teorik deverin uygulanmadığı pratik dever altında tam olarak giderilemeyen ve arda kalan merkezci ivme değerinin bir sınırı vardır. Aksi halde insan bünyesinin tahammül edebileceği ve ötesinde rahatsızlık hissedeceği yatay ivme değerleri, ülke şartnamelerinde belirtilmektedir.

Fransa' da ve Almanya'da, yolcuların tahammül edebileceği net ivme değer aralığı en fazla, $a_y = 0,05g - 0,15g$ ($0,5 \text{ m/s}^2 - 1,5 \text{ m/s}^2$) arasında değerlendirilmiştir.

3. UYGULAMA

Çalışmada uygulama kapsamında ilk bölümde anlatılan kinematik denklemler doğrultusunda farklı yarıçap, hız ve ivme değerleri altında uygulama dever değeri ve bu uygulama dever değeri altında dış ray ve iç ray üzerindeki kuvvet değerleri hesaplanmış ve bu kuvvetlerin değişimleri incelenerek yorumlanmıştır.

Demiryolu dönemeçlerinde tekerlekler üzerine etki eden düşey kuvvet değerleri ve bu kuvvetlerin oluşturduğu temas gerilmeleri, dönemeç yarıçapı, tren seyir hızı, tren tekerleğinin özellikleri ve uygulama değerleri gibi faktörlere bağlıdır. Bu uygulama ile dönemeç yarıçapı, tren seyir hızı ve uygulama dever değerinin tasarımdaki etkilerinin gözlemlenmesi hedeflenmektedir.

Çalışmada 2 farklı senaryo için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir:

- İlk senaryoda (Tablo 1) 1000 m ve 1500 m yarıçap için 150 km/h seyir hızında, 1 m/s^2 izin verilen hissedilir ivme değeri altında, uygulama dever değeri ve bu uygulama dever değeri altında, dış ray ve iç ray üzerindeki kuvvetler bulunmuştur.
- İkinci senaryoda (Tablo 2) ise 2500 m ve 3000 m yarıçap için 250 km/h seyir hızında, $0,65 \text{ m/s}^2$ izin verilen hissedilir ivme değeri altında

uygulama dever değeri ve bu uygulama dever değeri altında, dış ray ve iç ray üzerindeki kuvvetleri bulunmuştur.

Çalışmada yerçekimi ivmesi $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ve $2b_0 = 1500\text{mm}$ kabulü yapılmıştır.

Tablo 1. Birinci senaryoya ait veriler

1. Senaryo			
1. Durum		2. Durum	
R ₁ (m):	1000	R ₂ (m):	1500
v (km/h):	150	v(km/h):	150
a (m/s ²):	1	a (m/s ²):	1

Tablo 2. İkinci senaryoya ait veriler

2. Senaryo			
1. Durum		2. Durum	
R ₃ (m):	2500	R ₄ (m):	3000
v(km/h):	250	v(km/h):	250
a (m/s ²):	0,65	a (m/s ²):	0,65

Tren setlerinin ağırlık merkezinin ray üst kotuna olan yüksekliği (h) sırayla 1,75, 2 ve 2,25 metre baz alınmıştır. (Tablo 3.) İki senaryoda da üç farklı yükseklik değeri için hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3. Tren setlerinin ağırlık merkezinden ray üst kotuna olan yükseklik değerleri

h ₁ (m):	1,75
h ₂ (m):	2
h ₃ (m):	2,25

Statik dingil yükleri (Tablo 4.) ise yolcu treni için 170 ton ve yük treni için 250 ton olarak alınmıştır. Her iki senaryoda da yolcu ve yük treni için ayrı ayrı hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Dingil yükleri (ton)

Dingil Yükleri (ton)	
Yolcu	Yük
170	250

Elimizdeki verilerle teorik dever (h_{eq}) yani denge deveri hesaplanabilir. Denge hızı, eğimden kaynaklanan telafinin dönemeçten kaynaklanan ivmeyi dengelediği hızdır. Hat düzlemine göre, algılanan yanal ivme sıfırdır. Belirli bir yarıçapta (R) ve belirli araç hızında (v) sifira eşit yanal ivmeler veren eğim, denge eğimi (h_{eq}) olarak adlandırılır ve eşitlik (17) ile

hesaplanır (Tablo 5.). Yarıçap arttıkça denge dever değerleri azalmıştır.

Tablo 5. Hesaplanan denge dever değerleri (heq)

1. Senaryo	R ₁ (mm)	h _{eq1} (mm)	265
		R ₂ (mm)	h _{eq2} (mm)
2. Senaryo	R ₃ (mm)	h _{eq3} (mm)	295
	R ₄ (mm)	h _{eq4} (mm)	246

1. senaryoda ikinci durum için verilen 150 km/h hız ve 1500 m yarıçap için dever uygulamasına gerek olmadığı hesaplamalar sonucunda gözlemlenmiştir. Çünkü h_{eq} değeri ortalama dever değeri olan 180 mm ± 20 mm arasındadır. Böyle bir durumda dever uygulanmaması tolere edilebilir. Ancak dış ray daha çok aşınacağı için bakım gereksinimi doğacaktır. Bu sebepten ötürü yine de bu kuvvet dengesi için deveve gerek olacağı gözlemlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda çalışmanın ilerleyen kısımlarında düşey kuvvet değerleri hesaplanmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

Uygulamada her iki senaryo için de izin verilen hissedilir ivme değerleri (1 m/s² ve 0,65 m/s²) verilmiştir. Bu değerler h_d olarak ifade edilen dever eksikliğidir. Yani diğer bir ifadeyle yukarıdaki bölümde de anlatılan eksik bırakılan dever değeri (h_d), dever eksikliği olarak ifade edilir ve yolcuların tahammül edebileceği bir değerde yatay ivme değeri üretmektedir (a_n). Denge ivme değerleri (a_{eq}) eşitlik (14) kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak hedeflediğimiz h_t uygulama dever değerleri (pratik dever) her bir senaryo için Eşitlik (20) kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 6.).

$$a_n = \frac{v^2}{R} - g \cdot \frac{ht}{2b_0} = a_{eq} - g \cdot \frac{ht}{2b_0} \quad (20)$$

Tablo 6. Hesaplanan uygulama dever değerleri (h_t)

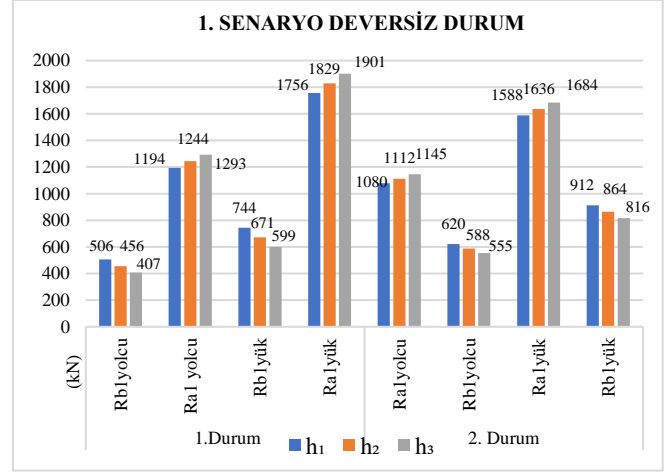
1. Senaryo	R ₁ (mm)	h _{t1} (mm)	113
		R ₂ (mm)	h _{t2} (mm)
2. Senaryo	R ₃ (mm)	h _{t3} (mm)	196
	R ₄ (mm)	h _{t4} (mm)	146

Bu değerlerin hesaplanmasının ardından her bir senaryo için deversiz durum (Şekil 4.-Şekil 5.) ve uygulama dever değeri altında deverli durum (Şekil 6.-Şekil 7.) için dış ray (R_a) ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri hesaplanmıştır.

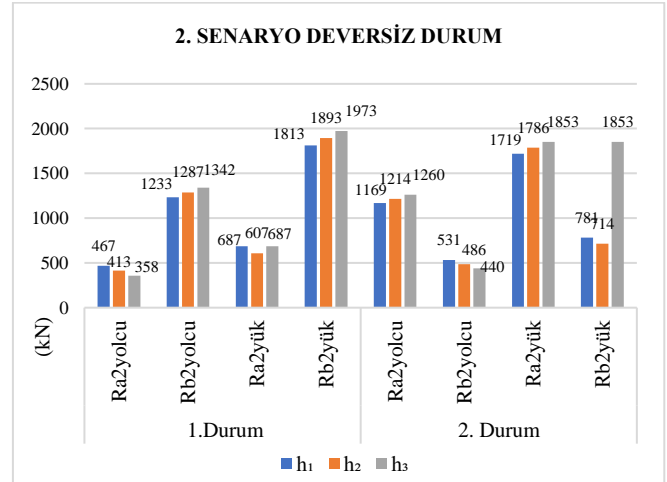
Deversiz durumda dış ray üzerinde oluşan düşey yüke karşı doğan tepki kuvvetinin, iç ray üzerinde oluşan düşey yüke karşı doğan tepki kuvvetinden daha yüksek olduğunu destekler sonuçlar yapılan hesaplamalar

doğrultusunda Şekil 4.'te gösterilmektedir. Gerilmeler farklı olacaktır.

Trenin, dönemeç üzerinden geçiş hızına, dönemecin çapına ve trenin ağırlık merkezinin ray ve tekerlek temas noktasına göre yüksekliğine bağlı olarak R_a ve R_b değerleri değişmektedir.



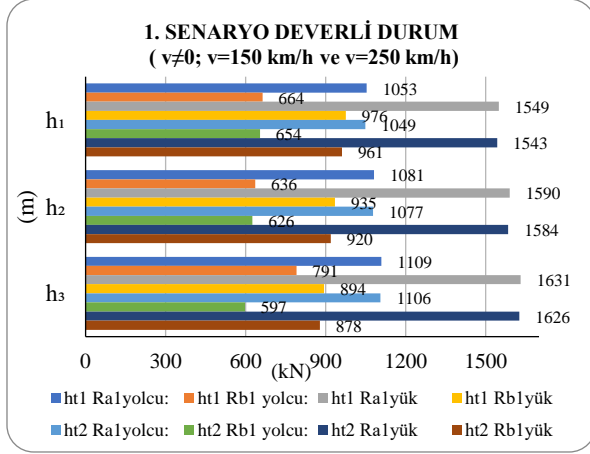
Şekil 4. Deversiz durum 1. senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri



Şekil 5. Deversiz durum 2. senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri

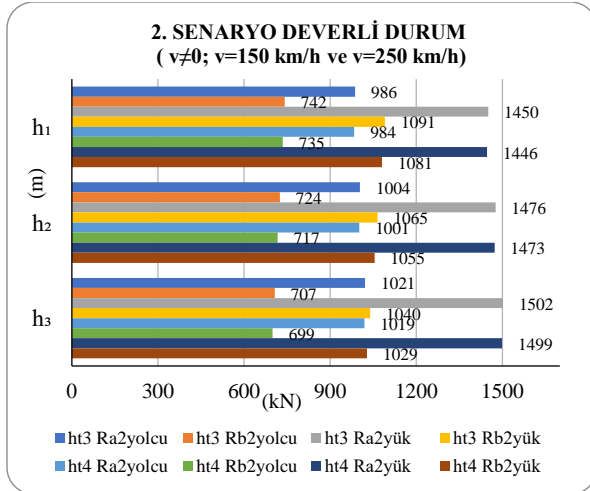
Her iki senaryo için de tren hızının ve yarıçapın aynı olduğu durumda yük ve yolcu treni için kıyaslama yaptığımızda artan statik yüke bağlı olarak düşey kuvvet değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.-Şekil 5.).

Deverli her iki durumda da (v≠0 ve v=0) birinci senaryoda kullanılan 150 km/h hız ve ikinci senaryoda kullanılan 250 km/h hız değeri için tren setlerinin ağırlık merkezinden ray üst kotuna olan yükseklik değeri arttıkça (h₁<h₂<h₃) R_a ve R_b kuvvet değerleri de artmaktadır (Şekil 6., Şekil 7., Şekil 8. ve Şekil 9.).



Şekil 6. Hızın sıfırdan farklı olduğu 1. Senaryo için deverli durumda dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri

Birinci senaryodaki ikinci durum için dever uygulamasının tolere edilebileceğinden h_{eq} hesabı sonrası yukarıda bahsedilmişti. Fakat yine de dever uygulamayı tercih edersek düşey kuvvet değerlerinin azaldığı Şekil 6.'daki grafikte gözlemlenmektedir (h_2 deki düşey yük değerleri). Dever uygulaması, ray-tekerlek etkileşiminden kaynaklanan aşınmaların da azalmasına sebep olacaktır. Bu durum da demiryolu hattı bakım-onarım masraflarının azalmasını destekleyecektir.

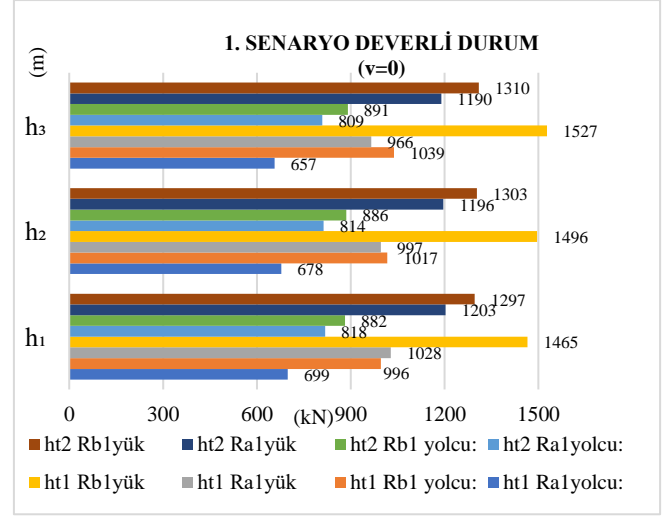


Şekil 7. Hızın sıfırdan farklı olduğu 2. Senaryo için deverli durumda dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri

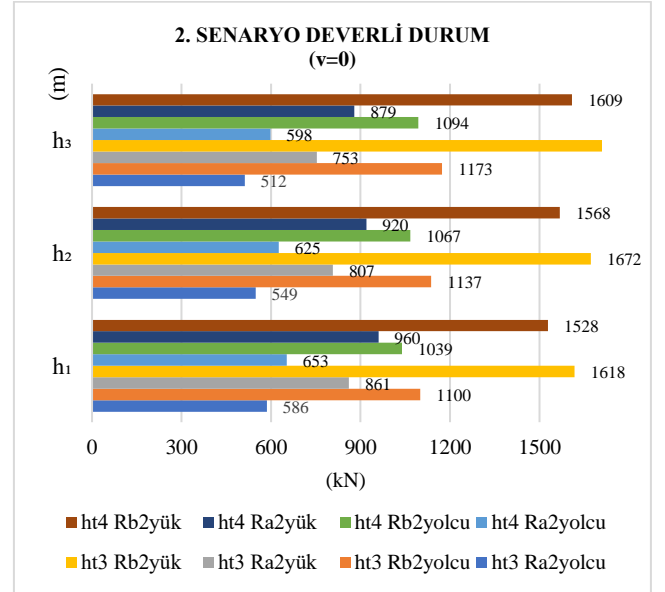
Hareketsiz duruma göre trenin hızı arttıkça R_b azalacak ve R_a artmaktadır.

Her iki senaryo için de tren hızının ve yarıçapın aynı olduğu durumda yük ve yolcu treni için kıyaslama yaptığımızda artan statik yüke bağlı olarak düşey kuvvet değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 6.- Şekil 7.).

Birinci senaryo için Şekil 8. ve ikinci senaryo için Şekil 9. deverli bir dönemeç üzerinde duran trenin raylar üzerine aktaracağı düşey kuvvetlere karşı raylarda oluşan düşey tepki kuvvet değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 8. Trenin dönemeçte durduğu 1. Senaryo için deverli durumda dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri

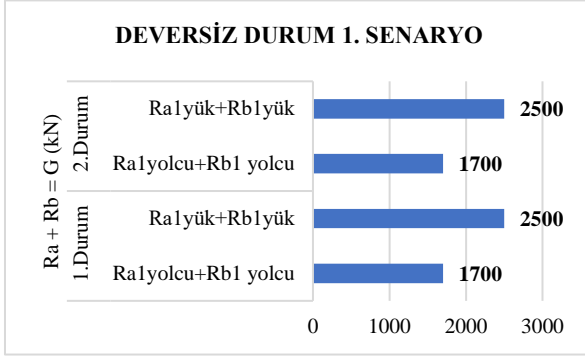


Şekil 9. Trenin dönemeçte durduğu 2. Senaryo için deverli durumda dış ray ve iç ray üzerindeki düşey kuvvet değerleri

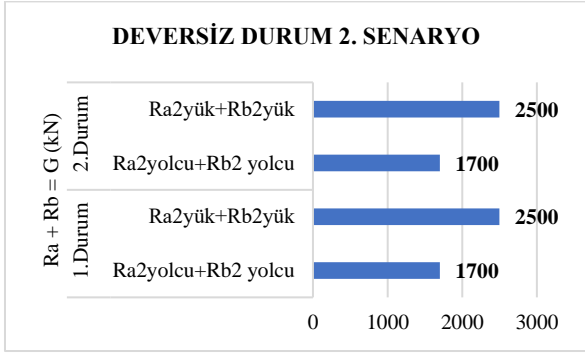
Dönemeçte duran trenin ($v=0$) olduğu durumda toplam düşey kuvvet değerleri hareket eden bir trene göre biraz daha fazladır.

Burada da yine her iki senaryo için de tren hızının ve yarıçapın aynı olduğu durumda yük ve yolcu treni için kıyaslama yaptığımızda artan statik yüke bağlı olarak düşey kuvvet değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 8.- Şekil 9.)

Deversiz durum için iç ray ve dış raya gelen kuvvetler toplamına baktığımız zaman; hız ve yarıçap değerleri değişse de her bir senaryo için trenin kendi statik yüküne eşit çıktığı gözlenmektedir (Şekil 10.-Şekil 11)



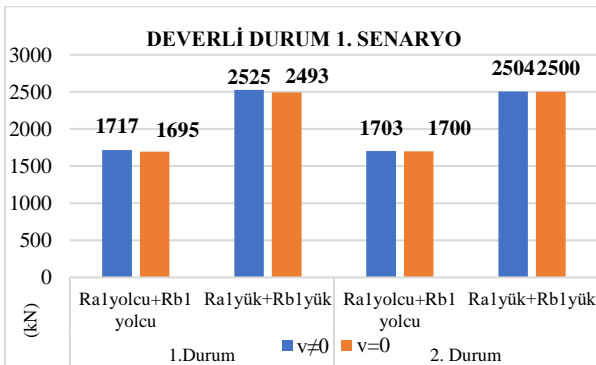
Şekil 10. Deversiz durum 1. Senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki toplam düşey kuvvet değerleri



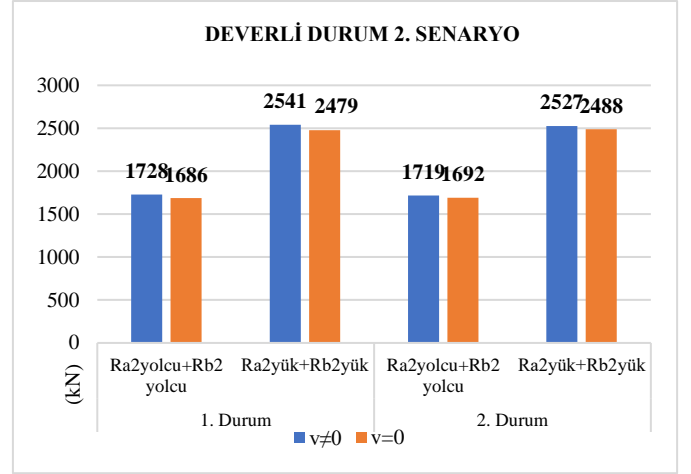
Şekil 11. Deversiz 2. Senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki toplam düşey kuvvet değerleri

Deverli durumda her iki senaryo ve her iki farklı durum koşulları için $R_a + R_b$ toplam düşey kuvvet değeri Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmektedir.

Dönemeçte hareket eden bir trenin duran bir trene göre düşey kuvvet değeri daha fazladır. Bu durum grafiklerden net bir şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 12. Deverli durum 1. senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki toplam düşey kuvvet değerleri



Şekil 13. Deverli durum 2. senaryo için dış ray ve iç ray üzerindeki toplam düşey kuvvet değerleri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında trenin güzergâh üzerinde dönemeçlerdeki durum analitik olarak incelenmiştir. Yarıçapa, hız ve dever eksisine bağlı olarak kinematik denklemler türetilmiştir.

Demiryollarında dönemeçlerde dever uygulaması, trenlerin dönemeçlerde, belirlenen hizmet hızlarında ve dönemeç yarıçaplarında yolculara konforlu bir seyahat sağlamak ve rayların üzerinde oluşacak kuvvetleri sınırlayarak, raylarda ortaya çıkacak aşınmaları ve dolayısı ile dönemeçlerde oluşacak kusurlardan kaynaklı bakım masraflarını sınırlamak için yapılmaktadır. Dönemeçler, demiryolu hatlarının yatay düzlemde dönüş yaptığı kesimlerdir. Trenlerin yüksek hızlarda veya yüksek yüklerle dönemeçleri geçmeleri, oluşan merkezci ivmelerin sınırlanmasını gerektirir.

Dever uygulaması, dönemeçlerde, dönemeç merkezine göre dışta kalan rayın kotunun, içte kalan rayın kotuna göre yükseltilmesini içerir.

Demiryolu dönemeçlerinde tekerlekler üzerine etki eden düşey kuvvet değerleri ve bu kuvvetlerin oluşturduğu temas gerilmeleri, dönemeç yarıçapı, tren seyir hızı, tren tekerleğinin özellikleri ve uygulama değerleri gibi faktörlere bağlıdır. Yüksek temas gerilmeleri, tekerleklerin aşınmasına ve deformasyonuna neden olabilir. Bu gerilmeleri azaltmak için; dönemeç yarıçapı, tren hızı, tekerlek özellikleri, demiryolu mühendisliği ve mekanik mühendislik standartlarının uygun şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Mevcut hat üzerinde daha yüksek hızlarda hizmet planlanıyorsa ve hattın mevcut yapısı (dever ve yarıçap) bu yeni ve yüksek hızın oluşturacağı yatay ivme değerlerinin kullanımını engelliyorsa veya mevcut ekartman değeri kısıtlıysa (normal ekartman değerinden düşük) ancak mevcut hat üzerinde daha yüksek hızlarda hizmet talep ediliyorsa hattın, bu yeni

hız için sahip olmadığı koşullar, tren gövdesine eğim vererek sağlanabilir. Yana yatabilen tren yalpalı tren (Tilting trains) (Şekil 14.) adı verilen bu trenlerin gövdeleri, 5–8 derece arasında yatabilerek içerdeki kişilerin hissedeceği yatay ivme değerini azaltırlar [6].



Şekil 14. Yalpalı tren [6]

Demiryollarında meydana gelen kazaların en aza indirilebilmesi için alınması gereken önlemlerden birisi yol geometrik standartlarının iyileştirilmesidir [5]. Dever uygulaması, trenin dönemeçlerde daha güvenli ve stabil bir şekilde seyretmesini sağlar ve potansiyel kaza risklerini azaltır. Demiryolu işletmecileri ve mühendislik ekipleri, dönemeçlerde doğru dever yüksekliği ve eğimini sağlamak için düzenli bakım ve kontrol faaliyetlerini gerçekleştirmelidirler. Böylece, demiryolu hatlarında güvenli ve verimli bir tren trafiği sağlanmış olacaktır. Demiryollarının mühendislik olarak planlanmasında yol geometrisinin standartları arasında yer alan dever hesaplaması ve dever uygulamaları, demiryolu geometrisi açısından çok büyük öneme sahiptir.

Deverlerde ortaya çıkabilecek dinamik darbe kuvvet değerleri de iç ve dış raylara uygulanan kuvvetlerin dönemeçlerde, hattın düz olan bölümlerindeki değerlere göre değişebilmesi nedeniyle farklı olabilecektir [7]. Bu nedenle dönemeçler, gerek hat üzerine etki eden kuvvetlerin artması, gerekse tekerlek ve ray temas durumunun aşınmaya yol açabilmesi nedenleriyle, demiryolu hatlarının en çok bakım gerektiren bölümleri arasında yer almaktadırlar.

5. REFERANSLAR

1. F. Powell and P. J. Gräbe, "Exploring the relationship between vertical and lateral forces, speed and superelevation in railway curves," *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, vol. 59, no. 3, pp. 25–35, Sep. 2017.
2. P. Wang, L. Gao, and B. W. Hou, "Influence of rail cant on wheel-rail contact relationship and dynamic performance in curves for heavy haul railway," in *Applied Mechanics and Materials*, 2013, pp. 381–387.

3. S. L. Grassie and J. A. Elkins, "Tractive effort, curving and surface damage of rails: Part 1. Forces exerted on the rails," in *Wear*, Mar. 2005, pp. 1235–1244. doi: 10.1016/j.wear.2004.03.064.
4. S. L. Grassie, "Traction, curving and surface damage of rails, Part 2: Rail damage," *Proc Inst Mech Eng F J Rail Rapid Transit*, vol. 229, no. 3, pp. 330–339, Mar. 2014.
5. M. Kozak, T. Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, B. Yol Müdürlüğü, and T. Anahtar Kelimeler Özet, "DEMİRYOLUNDA DEVER UYGULAMASI VE GÜVENLİĞE ETKİSİ," 2016.
6. N. Ö. Bezzin, "İnşaat Mühendisliği Bölümü Çağdaş Demiryolu Mühendisliği II Ders Notu," İstanbul, 2023.
7. Bezzin, N.O., "Development of a new and an explicit analytical equation that estimates the vertical impact loads of a moving train". *Procedia Engineering*, Cilt 189, Sayfa 2-10, May 2017.
8. Bezzin, N.Ö., Wehbi, M. "Advancement and Application of the Bezzin Method to Estimate the Effects of Stiffness Variations Along Railways on Wheel Forces". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume: 2673 issue: 7, page(s): 248-264, 2019.

6. ÖZGEÇMİŞ

Sinem Bozatalı Kartal 1994 yılında Sakarya'da doğmuştur. 2012 yılı Atatürk Anadolu Lisesi mezuniyetinin ardından 2013 yılında eğitimine Yalova Üniversitesi Ulaştırma Mühendisliği bölümünde devam etmiş ve 2018 yılında onur derecesi ile mezun olmuştur. Burada bir yıl Yabancı Diller Yüksekokulunda İngilizce hazırlık eğitimi almış ve başarıyla tamamlamıştır. 2018 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde İnşaat Mühendisliği-Ulaştırma Programı'nda yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2022 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Doktora programına başlamış ve halen ulaştırma alanında doktora çalışmalarına devam etmektedir. Aynı zamanda 2019 yılından beri Yalova Üniversitesi Ulaştırma Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Doç. Dr. Niyazi Özgür Bezzin 16 Nisan 1977 yılında Ankara'da doğmuştur. 1994 senesinde Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezuniyetinin ardından Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği'nde başladığı mühendislik eğitimine, 1999 senesinde New York'ta bulunan Polytechnic University, Brooklyn İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam ederek 2001 yılında şeref derecesiyle mezun olmuştur. Yapı ve zemin mekaniği konularında, Rutgers, the State University of New Jersey inşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2002'de ve 2005'te tamamladığı Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarının ardından 2005-2007 yılları arasında New York'ta bulunan Langan Engineering and Environmental Services isimli firmada Tasarım Mühendisi olarak çalışarak 2007

senesinde Türkiye'ye dönmüştür. 2007 yılında Araştırma ve Geliştirme Sorumlusu olarak çalıştığı Yapı Merkezi Prefabrikasyon AŞ'den 2012 yılının sonunda ayrılarak İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ulaştırma yapıları üzerine araştırmalar yapmak üzere Öğretim Üyesi olarak akademik çalışmalarına başlamıştır. Doç. Dr Niyazi Özgür Bezgin, demiryolu mühendislik mekaniği alanında çalışarak, uluslararası demiryolu mühendisliği literatürüne Ankara Hipotezi, Bezgin Yöntemi, Kapsamı Genişletilmiş Bezgin Denklemleri, Bezgin – Kolukırık Denklemi, Balcı – Bezgin Fonksiyonları çalışmaları ile katkıda bulunmuştur.

DEMİRYOLU TRENLERİ İÇİN HAVA ÇEKMELİ DUMAN ALGILAMA SİSTEMİ

Hasan Aslankurt

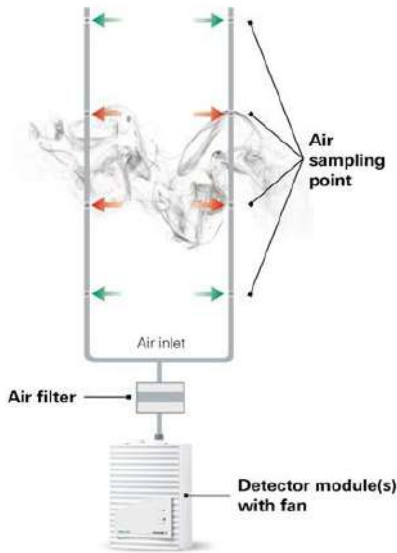
EEC Entegre Bina Kontrol Sistemleri

H. Z. Türkkan Sok. Famas Plaza A16, Okmeydanı 34384 İstanbul /TÜRKİYE

Tel: 0 212 320 1626 E-Posta: hasan.aslankurt@eec.com.tr

Özet

Demiryolu sistemleri, yüzyıllardır güvenilir ve verimli bir seyahat şekli sunarak hem yolcular hem de mallar için güvenilir bir taşıma yöntemi sağlamıştır. Ancak, bu sınırlı ortamlarda yolcuların ve mürettebatın güvenliği hala büyük bir endişe kaynağıdır. Demiryolu güvenliğinin kritik bir yönü, yangınların erken tespiti; çünkü tren içi yangınlar, yolcu can güvenliği ve işletme sürekliliği için ciddi riskler oluşturabilir. Son yıllarda, Hava çekmeli duman dedektör sistemleri, demiryolu trenlerinde yangın güvenliğini artırmak için son teknoloji bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu bildiri, hava çekmeli duman dedektör sistemlerinin konseptine, avantajlarına ve demiryolu trenlerinde nasıl uygulandığına dair bilgiler sunmaktadır.



Şekil1.Hava Örneklemeli Duman Dedektörü

1.HAVA ÇEKMELİ DUMAN TESPİTİNİ ANLAMAK

Hava çekmeli duman tespiti, geleneksel nokta veya ışın duman dedektörlerinin ötesine geçen gelişmiş bir yangın tespit teknolojisidir. Temelde, çevreden hava örnekleme yaparak duman parçacıklarının varlığını görünür hale gelmeden önce tespit etme prensibine dayanır. Bu sistem, bir ağ bağlantısı, merkezi bir tespit ünitesi ve bir dizi yüksek hassasiyetli dedektörden oluşur. Hava örnekleme yapılan borular vasıtasıyla hava çekildiğinde, içindeki duman parçacıkları varlığı analiz edilir ve belirlenmiş duman eşiği aşıldığında alarm tetiklenir.

Hava çekmeli duman dedektörleri, aktif algılama elemanlarıdır. Oysa noktasal geleneksel tip duman dedektörü pasif algılama elemanlarıdır. Bunu açıklamak gerekirse, noktasal bir dedektörün dumanı tespit etmesi için yangın durumunda dumanın ortam tavanında yoğunlaşarak dedektörün içine girmesi gerekir, buna pasif algılama denir. Oysa, hava çekmeli duman dedektörü, aspiratörü vasıtası ile ortamdaki havayı sürekli çektiği ve örnekleyerek kontrol ettiği için aktif bir algılama sistemidir. Dumanın yoğunlaşmasını beklemesiz. Bu sayede, ortamdaki havalandırma sistemi veya cebri hava hareketlerinden kaynaklı algılama sorunları veya gecikmeleri yaşanmayacaktır.

2.DEMİRYOLU TREN UYGULAMALARINDAKİ AVANTAJLAR

1. Erken Tespit

Hava çekmeli duman dedektör sistemleri, yangınları en erken aşamalarında tespit etme yetenekleriyle ünlüdür. Bu erken uyarı, hızlı ve hedefe yönelik müdahaleleri mümkün kılarak geniş çaplı hasar riskini azaltır ve

yolcuların ve mürettebatın güvenliğini sağlar. Geleneksel duman algılama dedektörlerinden 1000 kat daha hassas duman tespiti yapabilmektedir.

2. Yanlış Alarmların Azaltılması

Geleneksel duman dedektör sistemleri toz, buhar veya diğer havadaki parçacıklardan kaynaklanan yanlış alarlara eğilimlidir. Hava çekmeli sistemleri, gerçek dumanı yanlış tetiklemelerden ayıran gelişmiş algoritmalarla donatılmıştır, bu da yanlış alarmları önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, dedektörler 0,3 mikron boyutunda partikülleri filtre edebilen özel filtrlere sahiptir.

3. Zorlu Ortamlar

Demiryolu trenleri, tüneller, istasyonlar ve açık raylar gibi farklı ortamlarda çalışır. Hava çekmeli duman dedektörleri, değişen koşullara dayanacak şekilde tasarlanmıştır, bu da zorlu demiryolu ortamına uygun hale gelmelerini sağlar.

4. Hızlı Konum Belirleme

Örnek alma noktalarının ağı kullanılarak, Hava çekmeli sistemleri potansiyel bir yangının tam olarak nerede olduğunu tespit edebilir, bu da müdahalecilerin tehdidi hızlı bir şekilde tespit etme ve hafifletme çabalarına yardımcı olur.

5. Uzaktan İzleme ve Kontrol

Birçok modern Hava çekmeli sistemi uzaktan izlenebilir ve kontrol edilebilir, bu da trenin yangın güvenliği durumunun sürekli olarak denetlenmesine olanak tanır. Bu yetenek, sürekli gözetimin gerektiği büyük demiryolu ağları için özellikle değerlidir.

3.HAVA ÇEKMELİ DUMAN DEDEKTÖRLER İÇİ STANDARTLAR

Trenler için kullanılan hava çekmeli Hava çekmeli duman dedektörlerinin boruları, güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlanmalı ve üretilmelidir. Bu tür sistemlerin tasarımı ve uygulanması uluslararası güvenlik kuruluşları tarafından belirlenen standartlara tabi olmalıdır. Bu standartlar, tren içi güvenlik ve yangın güvenliği gereksinimlerini karşılamayı amaçlar. İşte bu tür bir dedektörün kullanılması durumunda dikkate alınması gereken bazı uluslararası standartlar:

1. TS EN 54-20 Standartı

Bu standart, yangın algılama ve alarm sistemlerinin bileşenleri için Avrupa Normu'dur. EN 54-20, Hava çekmeli duman dedektörleri için gereksinimleri belirler ve bu dedektörlerin tasarımı, performansı ve test yöntemlerini kapsar. Bu standart TSE tarafından da

kabul edilmiştir. Bu nedenle öncelikli olarak bu bölümdeki tasarım gereksinimleri dikkate alınmaktadır.

2. NFPA 130

Amerikan Ulusal Yangın Alarmı ve İletişim Birliği (National Fire Alarm and Signaling Code) tarafından yayınlanan raylı sistemler için yangın alarm sistemlerinin tasarımı standardıdır. Bu standart, Hava çekmeli duman dedektörleri gibi tüm yangın alarm sistem bileşenlerini kapsar. Amerikan Standardı olduğu için tasarımda faydalı olmakta, ancak ekipman onayları için Avrupa Standardı bölgemizde öncelikli olmaktadır.

3. ISO 7240-20

Uluslararası Standartlar Organizasyonu (International Organization for Standardization- ISO) tarafından yayınlanan bu standart, yangın dedektörlerinin performans gereksinimlerini belirler. ISO 7240-20, Hava çekmeli duman dedektörleri için spesifik gereksinimler içerir.

4. Railway Industry Standards

Demiryolu sektöründe kullanılan bileşenler için belirlenen özel standartlar da vardır. Bu standartlar, demiryolu trenlerinin güvenlik gereksinimlerini ve uyumluluğunu belirler. Örneğin, Avrupa Birliği'nde kullanılan trenler için EN 45545 standardı yangın güvenliği gereksinimlerini kapsar. TSE tarafından da kabul edilmiş olan bu standart tren hareket ve titreşimleri göz önüne alınarak kullanılacak ekipmanların bu standarda uygun olarak sertifikalandırılmış olmasını gerekli kılmaktadır.

5. Ülke ve Bölge Spesifik Standartlar

Trenlerin işletildiği ülke veya bölgeye özgü yangın güvenliği standartları da dikkate alınmalıdır. Bu standartlar, yerel düzenlemelere ve koşullara uygunluk sağlar.

Hava çekmeli duman dedektörü borularının tasarımı ve uygulanması, yukarıdaki standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Özellikle EN45545 standardına uygun borulama yapılması sürekli hareket halinde ve titreşim içinde olan ortamda doğru ve kesintisiz algılama için en önemli etkidir. Tren içi yangın güvenliğini artırmak ve uluslararası güvenlik standartlarını karşılamak için tren içi yangın alarm sistemi, uzman firma mühendisleri veya yangın güvenliği uzmanları tarafından planlanmalıdır. Ayrıca, uygulama öncesi kullanılacak ekipman sertifikalarının EN45545 uyumluluğu ve onayları kontrol edilmelidir.

4.UYGULAMA ZORLUKLARI VE DÜŞÜNÜLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Hava çekmeli duman dedektör sistemlerinin demiryolu trenlerinde uygulanması bir dizi dikkate değer konuyu içerir:

1. Tasarım ve Kurulum

Sistemin tasarımı ve kurulumu, demiryolu tren vagonlarının benzersiz düzenini dikkate almalı ve optimal kapsama ve verimli hava örnekleme sağlanmalıdır.

2. Bakım

Düzenli bakım ve temizlik, örnek alma borularında toz birikmesini önlemek için önemlidir; çünkü bu, yanlış alarmlara veya azalmış hassasiyete neden olabilir.

3. Enerji Kaynağı

Hava çekmeli sistemleri istikrarlı bir enerji kaynağı gerektirir, bu da kesintisiz işletmeyi sağlamak için verimli enerji yönetimi stratejilerini gerektirir.

4. Entegrasyon

Hava çekmeli sistemleri, söndürme sistemleri ile entegre edilebilir, böylece demiryolu trenlerinde genel yangın güvenliği stratejisini artırabilir. Ayrıca, SCADA ve araç kontrol sistemleri (TCS) ile de kolayca entegre edilebilmektedir.

5. SONUÇ

Hava çekmeli duman dedektör sistemlerinin demiryolu trenlerinde entegrasyonu, yangın güvenliği teknolojisinde önemli bir ilerlemedir. Bu sistemler erken tespit, yanlış alarmların azaltılması ve hızlı konum belirleme gibi avantajlar sunarak yolcuların, mürettebatın ve mülklerin genel güvenliğine katkıda bulunur. Demiryolu taşımacılığı geliştikçe, Hava çekmeli duman tespiti, dünya çapındaki demiryolu sistemlerinin güvenliği ve verimliliğini sağlamada önemli bir rol oynamaya ve alternatifsiz olmaya devam edecektir.

6.KAYNAKLAR

[1] “TSE EN54-20 (2015) Fire detection and fire alarm systems - Part 20: Aspirating smoke detectors”

[2] “NFPA 130, Standard for Fixed Guideway and Passenger Rail Systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2014”

[3] “ISO7240-20:2010 Fire detection and fire alarm systems - Part 20: Aspirating smoke detectors”

[4] “European Standard EN 45545 (TSE 2016) Railway Applications – Fire Protection on Railway Vehicles – Part 6 Fire Control and Management Systems”

7.ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Osmaniye’de doğan Hasan Aslankurt, İstanbul Üniversitesi Elektronik Mühendisliği bölümünden 2002 yılında mezun olmuştur. Yangın güvenlik sektöründe 20 yıllık tecrübeye sahip olup EEC firmasında Satış Birim Müdürü olarak görev yapmaktadır.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

DEMİRYOLU YÜK TAŞIMACILIĞINDA DİJİTAL OTOMATİK KOŞUM TAKIMI

İbrahim Halil Küçük

Voith Turbo Güç Aktarma Tek. Ltd. Şti. Armada İş Merkezi Eskişehir Yolu No.6 A-Blok Kat.13
06520 Söğütözü Ankara TÜRKİYE
Tel: +90 312 495 00 44 Mail: ibrahim.kucuk@voith.com

ÖZET

Avrupa, demiryolu yük taşımacılığında otomatik bağlantı sisteminin bulunmadığı tek kıtadır. Ancak dijital otomatik bağlantı sistemine sahip ilk kıta olma yolunda adım atılmıştır. Dijital Otomatik Kaplin (DAC), bir yük trenindeki demiryolu taşıtlarını hem fiziksel olarak (mekanik bağlantı ve frenleme için hava hattı) hem de dijital olarak (elektrik gücü ve veri bağlantısı) otomatik olarak bağlamak ve ayırmak için yenilikçi bir bileşendir. DAC, demiryolu taşımacılığında verimlilik ve şeffaflıkta ihtiyaç duyulan artışı sağlamanın anahtarlarıdır. [1]

Cer kancası bağlantısı bugün hala Avrupa ülkelerindeki yük trenleri için bağlantı standardıdır. Bağlantı, vagonların arasına tırmanmak ve vagonları kancadan çıkarmak zorunda olan bir işçi tarafından manuel olarak yapılır ve tehlikeli bir ortamda fiziksel olarak yorucu bir manuel işlem gerektirir. Hem iklimin korunması (Yeşil Anlaşma) hem de artan taşımacılık hacimlerinin ihtiyaçlarının karşılanması için daha verimli, sürdürülebilir ve rekabetçi bir demiryolu yük sistemi şarttır. Dijital otomatik bağlantı, modern ve dijital bir Avrupa demiryolu yük taşımacılığı yaratmayı

kolaylaştırıcıdır. Otomasyon süreçleri sayesinde verimliliği artırmakla kalmayacak, aynı zamanda telematik uygulamalar için yeterli enerji tedarikinin yanı sıra tüm tren boyunca güvenli veri iletişimini de sağlaması amaçlanmaktadır. [2]

Bu bağlamda AB ulaştırma bakanlıları da aynı şekilde bu teknolojiye yönelik bir taahhütte bulundular ve Berlin Deklarasyonu'nda DAC demiryolu yük taşımacılığı alanında önemli bir Avrupa projesi olarak belirlendi. [1]

Kısaltmalar;

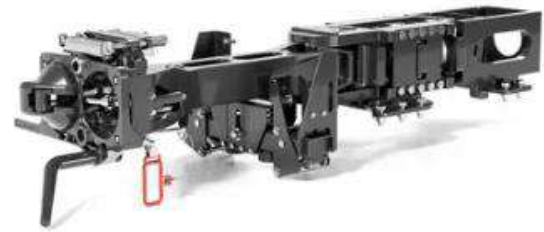
DAC – Dijital Otomatik Kuplör (Koşum Takımı)

AB – Avrupa Birliği

1.CER KANCASI BAĞLANTI SİSTEMİNDEN DİJİTAL OTOMATİK KOŞUM TAKIMINA

Demiryolu operasyonlarının dijitalleşmesi ve otomasyonu arttıkça, demiryolu yük taşımacılığının çekiciliğini ve verimliliğini önemli ölçüde artıracak birçok uygulama geliştirilmektedir. [1]

Bunun için aşağıdaki önkoşulların karşılanması gerekir:



Güç ve Veri Hattı ile Dijital Otomatik Koşum Takımı

Şekil 1 - Demiryolu yük taşımacılığı için AB çapında dijital otomatik bağlantı sistemine (DAC) geçişe yönelik bir konseptin geliştirilmesi

DAC sadece mekanik bir bağlantı kurmakla kalmaz, aynı zamanda fren sistemi için hava hatlarını ve yük vagonlarının güç ve veri hatlarını da birbirine bağlar. [1]

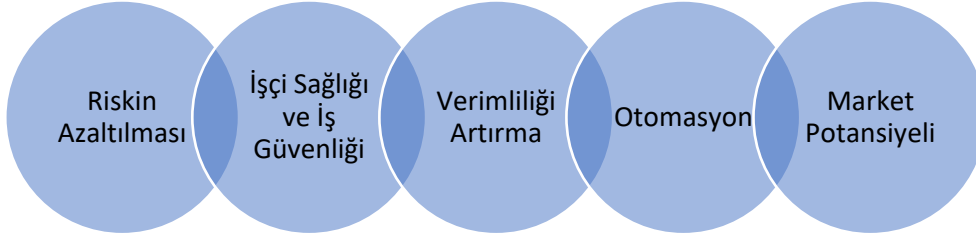
2.BİR BAKIŞTA DAC

Avrupa'daki demiryolu yük sistemlerinde devrim yaratmak için eşsiz bir fırsat olacaktır. Demiryolu operasyonlarının rekabetçi verimlilikle tamamen otomatikleştirilmesine yönelik dijital dönüşümün kolaylaştırıcısıdır. Daha fazla kapasitenin ve yeni teknolojilerin ve yeniliklerin kullanımının önünü açması, demiryoluna geçişi mümkün kılması, bu da iklimin korunmasını ve ekonomik büyümeyi kolaylaştırması amaçlanmaktadır. [2]

3.FAYDALAR

Avrupa'da belirlenen iklim hedeflerine (Yeşil Anlaşma) ulaşılacaksa, yük taşımacılığının karayolundan demiryoluna aktarılması büyük önem taşımaktadır. Ancak bu yalnızca rekabetçi demiryolu yük taşımacılığı ile mümkündür ve DAC bunun için bir nevi önkoşuldur. Hal böyle iken Avrupa'da iklim hedeflerine ancak DAC ile ulaşılabilir. [1]

DAC'ın demiryolu taşımacılığındaki diğer mevcut ve gelecekteki dijital teknolojilerle birleşimi, görev odaklı sistem dönüşümü fırsatını en üst düzeye çıkaracaktır. [2]



Şekil 2Dijital Otomatik Koşum Takımının Kullanım Durumlarına Göre Avantajları

Avrupa Demiryolunun tüm aktörlerini ilgilendiren avantajlar da sunmaktadır;

Tablo 1 Avrupa Demiryolunun tüm aktörlerini ilgilendiren avantajlar

	Altyapı Sorumluları	Demiryolu İşletmecileri	Vagon Sahipleri	Üreticiler	Nakliyeciler
Artan Rekabetçilik	Daha ağır, uzun ve hızlı trenlere izin vererek kapasiteyi artırır	Daha az manevra imkânı ve sistem güvenilirliğinin ve hızının artması	Bakım ihtiyacını azaltır	Yeni pazar fırsatları yaratır	Daha fazla yük, kısa hazırlık süresi ile demiryolu yük taşımacılığını çekici kılar
Otomatik ve Dijital Dönüşüm	Dijital yük trenine bütünleşmiş izleme özellikleri ve iletişim işlevlerinin entegrasyonunu kolaylaştırır	Fren testi gibi manuel süreçleri azaltır, Otomatik demiryolu işletimine izin verir	İzleme özellikleriyle etkinleştirilen kestirimci bakım sayesinde vagon kullanılabilirliğini artırır	Alt sistem ve tren düzeyinde bütünleşmiş rekabetçi dijital hizmetlerin geliştirilmesine olanak tanır	Demiryolu taşımacılığının çekiciliğini artırıyor
Raydan Çıkma ve Gürültü azaltımı	Raydan çıkma riskini azaltır	Raydan çıkma ve gürültü riskini azaltır Manevra sırasında güvenliği artırır	Raydan çıkma ve gürültü riskini azaltır	Sistem düzeyinde güvenlik ve enerjiyi ele alan teknik çözümlerin karmaşıklığını azaltır	Manevra sırasında artan emniyet ve güvenlik

Gerekli finansman programları ve çerçeve koşulları dikkate alınarak en geç 2030 yılına kadar yaklaşık 500.000 yük vagonu artı ilgili lokomotiflerle birlikte çalışabilirlik, tüm ilgili yük vagonlarının DAC ile donatılması amacıyla mevcut sistemden DAC hedef sistemine minimum geçiş ve dönüşüm aşamasıyla ortak, akıllı, koordineli, Avrupa çapında tek tip bir geçiş planının geliştirilmesi planlanmaktadır. [2]

4.REFERANSLAR

[1] Federal Ministry for Digital and Transport, DAC4EU, [Project Information – DAC4](#)

[2] Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail), DAC-Factsheet, [DAC-Factsheet_EN.pdf \(europa.eu\)](#)

5.ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Halil Küçük
Voith Turbo Türkiye – Satış ve Servis Müdürü

Eğitim:

Çukurova Üniversitesi 09.2008 - 05.2013(Lisans)
Engineering and Architecture Faculty, Mechanical
Engineering (English)

Anadolu Üniversitesi - 09.2008 - 05.2013 (Lisans)
Business and Management Faculty, Business
Administration

Çukurova Üniversitesi 09.2020 – 06.2021 (Yüksek
Lisans)
Business and Management Faculty, Management
and Business Administration

HIZLI TREN İŞLETMECİLİĞİ HATA BİLDİRİMLERİNİN KELİME BULUTU ANALİZİ İLE GRUPLANMASI

Mehmet FİDAN¹, Ömür AKBAYIR²

^{1,2}Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

e-posta: mfidan@eskisehir.edu.tr, omurakbayir@eskisehir.edu.tr

Özet

Hızlı tren işletmeciliğinde seyir esnasında karşılaşılan yol bakımı, arıza, ramak kala, yolcu iniş binişlerinde yaşanan olağandışı durumlar, seferlerdeki tehirlere ve kaza gibi durumlar tarihsel olarak metin halinde tek bir kayıt altında tutulmaktadır. Bu kayıt hangi olağandışı durumların sıklıkla, hangi durumların ise rastgele karşılaşıldığı hakkında bilgi taşımaktadır. Bu bilginin analiz edilebilmesi için kayıt üzerinde akıllı metin madenciliği yöntemleri uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada birbiri ile ilgili olabilecek kayıtlar kelime bulutu analizi ile gruplanmıştır. Kelime bulutu analizi metin içindeki hangi kelimelerin daha sıklıkla karşılaşıldığı, hangi kelimelerin daha az görüldüğü hakkında bir görsellik sunduğu gibi bu kelimelerin birbiriyle olan ilişkisi hakkında da fikir vermektedir. Bu çalışma ile kelime bulutu analizinin akılcı yaklaşımı sayesinde raylı sistemler işletmecilik kayıtlarının hem birbiriyle olan ilişkisinin hem de sıklığının görsel bir şekilde sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu tehir kayıtları, tehir analizi, kelime bulutları, kelime torbası

Abstract

In high-speed train operations, situations such as road maintenance, malfunctions, near misses, unusual situations in passenger boarding and landing, delays in flights and accidents are historically kept in a single record in text form. This record contains information about which unusual situations are encountered frequently and which situations are encountered randomly. In order to analyze this information, smart text mining methods must be applied on the record. In this study, records that may be related to each other were

grouped by word cloud analysis. Word cloud analysis not only provides a visualization of which words are encountered more frequently in the text, which words are encountered less frequently, but also gives an idea about the relationship of these words with each other. This study aims to visually present both the interrelationships and frequency of rail systems operating records, thanks to the rational approach of word cloud analysis.

Anahtar Kelimeler: Railway delay records, delay analysis, word clouds, bag of words

1. GİRİŞ

Demiryolu tehir kayıtları, demiryolu operasyonlarındaki tehir olaylarını detaylandıran trenlerin ve programlarının verilerini ve kayıtlarını ifade eder. Tehirlere altyapı sorunları, ekipman arızaları, hava koşulları ve operasyonel verimsizlikler gibi çeşitli faktörler neden olabilir.

Demiryolu tehir verileri, demiryolu operatörleri, sensör ağları ve geçmiş kayıtlar dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan toplanabilir. Gerçek zamanlı veriler GPS takip cihazlarından, sinyalizasyon sistemlerinden ve yolcu raporlarından elde edilebilir.

Demiryolu tehirlerini analiz etmek genellikle aşağıdaki yaklaşımları içerir:

Tanımlayıcı İstatistikler: Kalıpları, sıklıkları ve nedenleri anlamak için tehir verilerinin analiz edilmesi (Chen, 2019).

Tahmine Dayalı Modelleme: Geçmiş verilere dayanarak gelecekteki tehirleri tahmin etmek için makine öğrenimi algoritmalarını kullanma (Wen, 2020).

Simülasyon: Tehir senaryolarını ve etkilerini analiz etmek için demiryolu işletme simülasyonlarının oluşturulması (Yang, 2019).

Demiryolu tehirleniminin yönetilmesindeki zorluklar arasında demiryolu sistemlerinin karmaşıklığı, çeşitli tehir nedenleri ve gerçek zamanlı karar destek sistemlerine olan ihtiyaç yer almaktadır.

Birden fazla kaynaktan gelen verilerin entegrasyonu ve eksik veya eksik verilerle uğraşmak da bir zorluktur.

Demiryolu tehir kayıtları, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için çok önemlidir:

Operasyonel Verimlilik: Tren tarifelerini ve operasyonlarını iyileştirmek için darboğazları ve verimsizlikleri belirlemek (Shi,2021).

Yolcu Bilgileri: Daha iyi yolculuk planlaması için yolculara gerçek zamanlı tehir bilgileri sağlanması (Monsuur,2021).

Güvenlik: Güvenlik açısından kritik tehirlenimlerin belirlenmesi ve önleyici tedbirlerin uygulanması (Asmer, 2019).

Etiket bulutları olarak da bilinen kelime bulutları, her kelimenin boyutunun metindeki sıklığıyla orantılı olduğu metinsel verilerin görsel temsilleridir (Hearst,2019). Kelime bulutları veri görselleştirme, metin analizi ve bilgi çıkarma için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kelime Torbası(BoW), doğal dil işlemede metin verilerini sırasız bir kelime kümesi olarak temsil eden basit ve yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (HaCohen-Kerner, 2020). Metin sınıflandırma, bilgi alma ve metin madenciliği için temel bir yöntemdir.

Bu çalışmada TCDD Yüksek Hızlı Tren İşletmeciliği'ne ait 2009-2020 yılları arası tehir kayıtları birkaç adımda süzgeçten geçirilerek kelime bulutları yöntemiyle incelenmiş ve en sık kelimeler görselleştirilmiştir. Buna ek olarak Kelime Torbası yöntemi kullanılarak tehir kayıtlarındaki en sık tekrarlanan kelimelerin sıklıkları ortaya konulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Kelime Bulutları

MATLAB, güçlü metin işleme ve veri görselleştirme yetenekleri nedeniyle kelime bulutları oluşturmaya yönelik çok yönlü bir platformdur (Huang, 2023). MATLAB'da kelime bulutu oluşturma, genellikle metnin ön işlenmesini, kelime sıklıklarının hesaplanmasını ve kelime bulutunun görsel bir temsiline oluşturulmasını içerir.

Kelime bulutları oluşturulmadan önce metin verilerinin temizlenmesi ve önceden işlenmesi gerekir. Yaygın ön işleme adımları arasında simgeleştirme, küçük harflerle yazma, durdurulan sözcüklerin kaldırılması ve kök ayırma/lemmatizasyon yer alır. Metin Analizi Araç Kutusu ve Doğal Dil Araç Seti (NLTK) entegrasyonu gibi çeşitli MATLAB araç kutuları ve işlevleri, verimli metin ön işleme için kullanılabilir (Modak, 2020).

Metin verileri ön işleme tabi tutulduktan sonra kelime sıklıkları hesaplanır. MATLAB bu amaç için 'countWords' işlevi ve özel komut dosyaları gibi çeşitli teknikler sağlar. Önemli kelimeleri vurgulamak için terim frekansı-ters belge sıklığı (TF-IDF) gibi frekansa dayalı ağırlıklandırmalar hesaplanabilir (Nelson, 2021).

MATLAB, kelime bulutlarını görselleştirmek için birden fazla yöntem sunar. MATLAB'ın Metin Analizi Araç Kutusu'ndaki 'kelime bulutu' işlevi, kelime bulutları oluşturmada kullanışlı bir yoldur. Renklerin, boyutların ve şekillerin kişiselleştirilmesine olanak tanır.

MATLAB'ın çizim ve grafik yetenekleri, görünüm ve düzen üzerinde hassas kontrol ile özel kelime bulutları oluşturmak için kullanılabilir.

Çeşitli araştırma çalışmaları ve uygulamalar, farklı alanlarda kelime bulutu üretimi için MATLAB'ı kullanmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

Duyarlılık Analizi: MATLAB, olumlu ve olumsuz duyarlılık anahtar kelimelerini görselleştirmek için kelime bulutlarını kullanarak duygu analizi için kullanılır.

Konu Modelleme: Araştırmacılar, metin bütünlüklerinden oluşturulan konuları temsil etmek için kelime bulutlarını kullanır.

Metin Madenciliği: MATLAB, görsel bir özet olarak kelime bulutlarını kullanarak büyük metin veri kümelerinden bilgi çıkarmaya yardımcı olur.

Eğitim: Kelime bulutları eğitim araştırmalarında öğrenci geri bildirimlerini analiz etmek ve görselleştirmek veya eğitim materyallerindeki metin içeriğini analiz etmek için kullanılır.

Kelime bulutu oluşturmak için MATLAB kullanmanın avantajlarına rağmen, büyük ölçekli metin verilerinin verimli bir şekilde işlenmesinde zorluklar vardır.

Gelecekteki yönelimler, kelime bulutu özelleştirmesini geliştirmek için makine öğrenimi algoritmalarının entegre edilmesini ve kullanıcı odaklı keşif için etkileşimli öğelerin dahil edilmesini içerebilir.

2.2 Kelime Torbası(BoW)

BoW birkaç adım içerir (VM, 2019):

Tokenizasyon: Metni tek tek kelimelere veya terimlere bölmek.

Sayma: Metindeki her kelimenin sıklığının sayılması.

Vektörleştirme: Metnin, her boyutun benzersiz bir kelimeye ve onun sayısına karşılık geldiği sayısal bir vektör olarak temsil edilmesi.

BoW'da metindeki kelimelerin sırası göz ardı edilir. BoW uygulanmadan önce, metin verileri genellikle küçük harflerle yazma, durdurma sözcüklerini kaldırma, gövdeyi ayırma/birimselleştirme ve noktalama işaretlerini kaldırma gibi adımlar dahil olmak üzere önceden işlenir. Ön işleme seçenekleri BoW temsillerinin kalitesini etkileyebilir.

BoW'un uygulamalarına örnekler şu şekilde sıralanabilir:

Sınıflandırması: BoW duygu analizi, spam tespiti ve konu sınıflandırmasında kullanılır.

Bilgi Erişimi: BoW, arama motorlarında sorgu terimlerine dayalı olarak ilgili belgeleri almak için kullanılır.

Belge Kümeleme: BoW benzer belgeleri kelime sıklığı modellerine göre gruplandırabilir.

Bilgi Çıkarma: BoW, bir belgedeki önemli terimlerin veya varlıkların belirlenmesinde yardımcı olabilir.

BoW'un kelime sırası ve bağlam bilgisi kaybı gibi sınırlamaları vardır. Boyut azaltma teknikleri gerektirebilecek geniş sözlükler için yüksek boyutlu seyrek temsillerle sonuçlanabilir. Araştırmacılar BoW sınırlamalarını ele almak için aşağıdakiler de dahil olmak üzere geliştirmeler önerdiler:

TF-IDF (Terim Frekansı-Ters Belge Sıklığı): Bu ağırlıklandırma şeması, bir belgeye özgü kelimelere daha fazla önem verir.

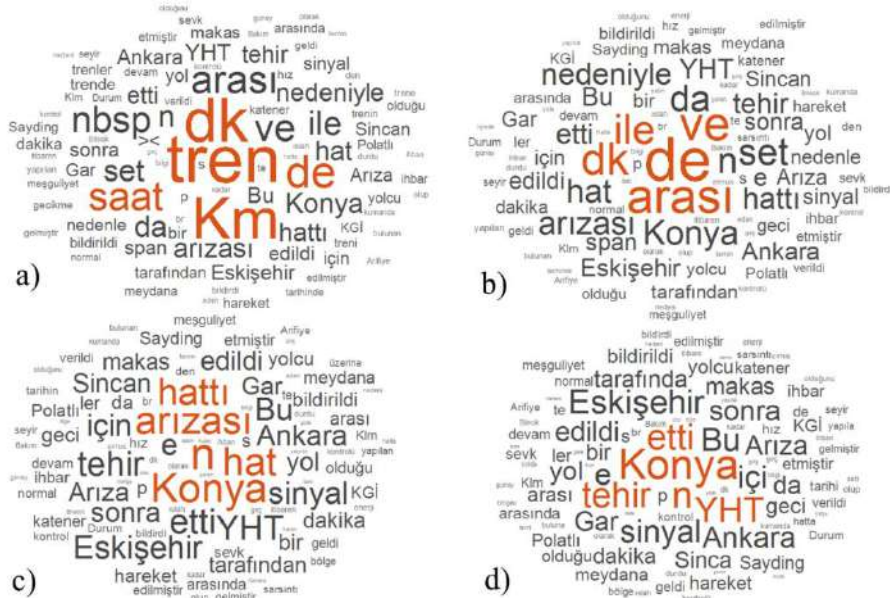
Kelime Gömmeleri: Word2Vec ve GloVe gibi teknikler kelimeler arasındaki anlamsal ilişkileri yakalar.

n-gram: Bazı yerel bağlamları korumak için sözcük dizilerinin yakalanması.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kelime Bulutları Bulguları

Şekil 1'de dört aşamalı kelime bulutları yönteminin her aşaması sonrası en çok tekrarlanan tehir kayıt kelimelerinin görselleri bulunmaktadır.



Şekil 1. Dört Aşamalı Kelime Bulutları Yöntemi Sonrası En Çok Tekrarlanan Kelimelerin Grafikleri a)Süzgeçsiz b)Birinci Süzgeç Sonrası c)İkinci Süzgeç Sonrası d) Üçüncü Süzgeç Sonrası

Bu şekil incelendiğinde kayıtlar süzgeçten geçirilmediğinde “dk” ve “saat” gibi zaman kavramlarının ve “Km” gibi mesafe kavramlarının çok tekrarlandığı görülmektedir. İşin doğası gereği “tren” kelimesi de en çok tekrarlanan kelimeler arasındadır.

“tren” ve “Km” kelimeleri süzülerek uygulanan ilk süzgeç sonrası “de”, “arası”, “ve” ve “ile” gibi dört bağlacın çok tekrarlandığı görülmektedir.

Bu bağlaçlar da süzüldüğünde özellikle durak isimlerinden Konya’nın en çok tekrarlandığı görülmektedir. Bu en çok tekrarlanan durak ismini

sırasıyla, Eskişehir, Ankara, Sincan, Polatlı ve Arifiye takip etmektedir.

Üçüncü süzgeç sonrası “tehir”, “makas”, “sinyal”, “sayding”, “KGI”, “ihbar”, “katener”, “meşguliyet” ve “sarsıntı” kelimelerinin çok tekrarlandığı görülmektedir.

3.2 Kelime Torbası Bulguları

Dört aşamalı Kelime Bulutları yöntemi sonrası süzülen tehir kayıtları Kelime Torbası yöntemi ile incelenerek Tablo 1’de belirtilen kelime sıklıkları elde edilmiştir.

Tablo 1. Dört Aşamalı Süzgeç Sonrası Kelime Torbası Yöntemi ile Bulunan En Sık Kelimeler

Sıklık Derecesi	Kelime	Tekrar
1. Sıklık	Konya	2644
2. Sıklık	YHT	2015
3. Sıklık	Eskişehir	1934
4. Sıklık	tehir	1729
5. Sıklık	Ankara	1631
6. Sıklık	sinyal	1334
7. Sıklık	makas	1195
8. Sıklık	Polatlı	960
9. Sıklık	ihbar	892
10. Sıklık	Sayding	871

Elde edilen sıklıklara göre tehirlerin en sıktan en düşüğe sırasıyla Konya, Eskişehir, Ankara ve Polatlı’da görüldüğü kabaca söylenebilir. Tehir nedenleri olarak da sırasıyla sinyal arızaları, makas sorunları, ihbar ve sayding ile ilgili problemler olduğu gözlemlenmektedir.

4.SONUÇ

Kelime Bulutları ve Kelime Torbası yöntemleri Demiryolu Tehir Kayıtlarının analizinde akıllı bir süzgeç yöntemi ile beraber kullanıldığında tehire neden olan problemleri ve tehirlerin lokasyonlarını görsel bir şekilde ortaya koymaktadır. Görselleştirmede özellikle sıklıkla tekrarlanan bağlaçlar, noktalama işaretleri ve işin doğası gereği tekrarlanan “tren”, “Km”, “YHT” gibi kelimeler esas tehir nedenlerinin görselleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla ön işlemede kullanılacak olan süzgeçte bu tür sık tekrarlanan ama önemli bilgi içermeyen kelimelerin elenmesi ön planda tutulmalıdır.

Gelecek çalışmalarda Kelime Bulutları ve Kelime Torbası yöntemleri makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı akıllı süzgeç ve sınıflandırıcılar kullanılarak hem görselleştirmenin taşıdığı bilginin kalitesinin artırılması, hem de sıklıkla tekrarlanan kelimeler arası ilişkiler incelenerek tehir kök nedenlerinin ortaya konulması hedeflenmektedir.

5. KAYNAKÇA

- Asmer, L., Popa, A., Koch, T., Deutschmann, A., & Hellmann, M. (2019). Secure rail station—research on the effect of security checks on passenger flow. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 10, 9-22.
- Chen, Z., & Wang, Y. (2019). Impacts of severe weather events on high-speed rail and aviation delays. *Transportation research part D: transport and environment*, 69, 168-183.
- HaCohen-Kerner, Y., Miller, D., & Yigal, Y. (2020). The influence of preprocessing on text classification using a bag-of-words representation. *PLoS one*, 15(5), e0232525.
- Hearst, M. A., Pedersen, E., Patil, L., Lee, E., Laskowski, P., & Franconeri, S. (2019). An evaluation of semantically grouped word cloud designs. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 26(9), 2748-2761.
- Huang, Z., & Loo, B. P. (2023). Urban traffic congestion in twelve large metropolitan cities: A thematic analysis of local news contents, 2009–2018. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(6), 592-614.
- Modak, M., Warade, O., Saiprasad, G., & Shekhar, S. (2020, October). Machine learning based learning disability detection using LMS. In *2020 IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)* (pp. 414-419). IEEE.

Monsuur, F., Enoch, M., Quddus, M., & Meek, S. (2021). Modelling the impact of rail delays on passenger satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 152, 19-35.

Nelson, O. M., Zhiguang, Q., Opanin, G. E., Mantebea, D. J., & Gabriel, N. (2021, December). Text Mining A Decade Of Focal Development Trends In An African Country. In 2021 18th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP) (pp. 77-82). IEEE.

Shi, R., Xu, X., Li, J., & Li, Y. (2021). Prediction and analysis of train arrival delay based on XGBoost and Bayesian optimization. *Applied Soft Computing*, 109, 107538.

VM, N., & Kumar R, D. A. (2019, May). Implementation on text classification using bag of words model. In Proceedings of the second international conference on emerging trends in science & technologies for engineering systems (ICETSE-2019).

Wen, C., Mou, W., Huang, P., & Li, Z. (2020). A predictive model of train delays on a railway line. *Journal of Forecasting*, 39(3), 470-488.

Yang, Y., Huang, P., Peng, Q., Li, J., & Wen, C. (2019). Statistical delay distribution analysis on high-speed railway trains. *Journal of Modern Transportation*, 27, 188-197.

6. ÖZGEÇMİŞ

Ömür AKBAYIR

Lise eğitimini Demiryolu Meslek Lisesinde, lisans ve yüksek lisans eğitimini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde, doktora eğitimini Gazi Üniversitesi'nde tamamlamıştır. 1999-2015 yıllarında TCDD'de Teknisyen ve Mühendis olarak, 2015-2018 yıllarında Anadolu Üniversitesi'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmıştır. 2018 yılından bu yana Eskişehir Teknik Üniversitesi'nde çalışmakta olup Doç. Dr. unvanını 2022 yılında almıştır.

E-Posta: omurakbayir@eskisehir.edu.tr

Mehmet FIDAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora eğitimini Anadolu Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde tamamladı. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksek Okulu Raylı Sistemler Elektrik-Elektronik Programında doktor öğretim üyesi olarak çalışmakta ve yine aynı alanda akademik çalışmalarına devam etmektedir.

E-Posta: mfidan@eskisehir.edu.tr

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

İKİ VEYA ÜÇ DİNGİLLİ BOJİ ALTINDAKİ HATLARDA DENEYİMLENEN GÖRÜNÜR HAT ESNEME DİRENCİNİN VE ORTAYA ÇIKAN DİNAMİK DARBE KUVVETLERİNİN BALCI- BEZGİN FONKSİYONLARI İLE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Erdem Balcı¹, Niyazi Özgür Bezgin², Mohamed Wehbi³

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü

E-Posta: erdembalci@outlook.com

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

E-Posta: ozgur.bezgin@iuc.edu.tr

³ Geobear, Ground & Structural Engineering, UK

E-Posta: m.wahbi88@gmail.com

Özet- Bir demiryolu hattına tren tarafından aktarılan kuvvetler, hattın esneme direncine bağlı olarak değişen bir hat tepkisiyle karşılaşılır. Trene ait boji içerisindeki iki veya üç komşu dingilin neden olduğu deformasyon dalgaları, dingiller arasındaki mesafeye bağlı olarak bir girişim göstermektedir. Bu etkileşim sonucunda tek tekerlek altındakinden farklı bir kuvvet-deformasyon karakteristiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle dingil mesafesi, hat tepkisini ve dolayısıyla bojinin hattın geçişi esnasında deneyimlenen hat esneme direncini etkilemektedir.

Hattaki veya tekerlekteki bozukluklardan kaynaklı ortaya çıkan dinamik darbe kuvveti miktarı da hat esneme direncine bağlı olarak değişmektedir. Tüm parametrelerin aynı olduğu iki hatta, sadece boji dingil mesafesinin değişmesiyle hatlara farklı dinamik darbe kuvvetleri etkilemektedir. Bu çalışmada, dingil mesafesinin hat tepkisi üzerindeki etkisini ortaya koyan “görünür hat esneme direnci” kavramı tanımlanmıştır. Daha sonra, hat esneme direnci değerleri ve dingil mesafelerini girdi olarak kabul ederek iki veya üç dingilli bojiler altındaki görünür hat esneme direnci değerlerini sunan Balcı-Bezgin Fonksiyonları tanımlanmış ve bir geçiş bölgesini ele alan analitik çalışma ile sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Dingil mesafesinin dinamik darbe kuvvetleri üzerinde etkili olan ve hat tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir parametre olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Görünür hat esneme direnci, Balcı-Bezgin Fonksiyonları, boji dingil mesafesi,

dinamik darbe kuvvetleri, elastik temel üzerindeki giriş modeli, demiryolu hat analizi

1. GİRİŞ

Hat esneme direnci, tekil tren tekerleği tarafından hatta uygulanan kuvvetin hatta oluşan maksimum deformasyona oranı şeklinde ifade edilir. Hat esneme direnci değerinin düşük olması; hattaki deformasyonların daha geniş bir alana yayılmasına ve daha derine inmesine neden olmaktadır. Çok yüksek bir hat esneme direncine sahip hatta ise dağıtılan yükün büyük miktarı teker altında toplanmakta ve bu nedenle de hat elemanlarına etkileyen basınç değeri artmaktadır [1-3]. Deformasyonların artması zaman içerisinde hatta meydana gelen profil bozukluklarına neden olurken, hat elemanları üzerindeki basıncın artması da travers çatlakları, balast ve altbalast aşınması gibi istenmeyen durumlara sebebiyet vermektedir [4]. Dolayısıyla hat esneme direnci değeri ve bu değerlerin hat boyunca değişme miktarı, hattın servis ömrünü etkilemektedir [5].

Hat esneme direnci, tekerlek tarafından hatta aktarılan kuvvete ve hattın karakteristik özelliklerine bağlıdır. Ancak, iki veya üç dingilli bojilerde, boji içerisindeki komşu tekerlerin hatta oluşturdukları deformasyon dalgaları birbiriyle etkileşim göstermektedir. Bu etkileşim sonucunda hatta meydana gelen maksimum deformasyon değeri değişmekte ve dolayısıyla trenin hattın geçişi esnasında gerçekte deneyimlenen “görünür hat esneme direnci” değeri de değişmektedir [6]. Daha önceden tanımlanan Balcı-Bezgin Fonksiyonları, çift dingil altındaki hatlarda dingil mesafesi değeri

ile görünür hat esneme direnci değerleri arasındaki ilişkiyi analitik olarak göstermektedir [6].

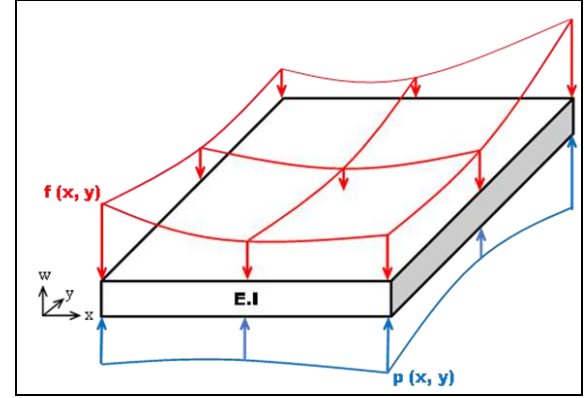
Hattan veya tren tekerinden kaynaklı düzensizlikler sonucunda tren tarafından hatta dinamik darbe kuvvetleri etkimektedir. Bu kuvvetler, ani veya kısa bir mesafe boyunca etkiyen ve trenin statik kuvvetinden daha büyük miktarda kuvvetlerdir. Dinamik darbe kuvvetlerinin tahmin edilebilmesi için bir takım ampirik denklemler, analitik ve nümerik yöntemler kullanılmaktadır. Bezgin Yöntemi, hat esneme direnci değerini bir girdi parametresi olarak kabul ederek dinamik darbe kuvvetlerini tahmin eden analitik bir yöntemdir [7-11]. İki veya üç dingilli bojilerdeki dingil mesafesi, görünür hat esneme direncini etkilediği için aynı zamanda boji tarafından hatta aktarılan dinamik darbe kuvveti değerlerini de etkilemektedir.

Bu çalışmada, iki veya üç dingilli bojiler altındaki hatta deneyimlenen görünür hat esneme direnci kavramı tanımlanmıştır. Dingil mesafesi ile görünür hat esneme direnci değerleri arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular ışığında, tüm parametrelerin aynı kaldığı ancak sadece dingil mesafesinin farklı olduğu üç boji için bir geçiş bölgesinde meydana gelen dinamik darbe kuvvetleri Bezgin Yöntemi kullanılarak tahmin edilmiş ve bu bölgedeki hat-teker etkileşimi sonlu elemanlar modeliyle analiz edilmiştir. Sonuçlar, dingil mesafesinin dinamik darbe kuvvetlerini etkileyen bir parametre olduğunu ortaya koymuştur.

2. ELASTİK TEMEL ÜZERİNDEKİ KİRİŞ MODELİ

Demiryolu hatları; bir bütün olarak zemin-yapı etkileşimini ve hattı oluşturan elemanların birbiriyle etkileşimini içeren, tamamen homojen bir zemin tarafından desteklenmeyen kompleks bir yapıdır. Birçok bilinmeyene sahip bu yapıyı sade bir şekilde temsil eden basit ve pratik modeller zaman içerisinde evrimleşerek elastik temel üzerindeki kiriş modelini (beam on elastic foundations model) oluşturmuştur. Winkler, zemini birbiri ardına sıralanmış, sınırsız sayıda, bağımsız ve elastik yaylarla temsil etmiştir [12]. Bir zemin üzerine yerleştirilmiş olan plakaya bir kuvvet uygulandığında; uygulanan kuvvete plaka tarafından bir tepki meydana gelir. Bu tepki, plaka altındaki zeminin mekanik özelliklerine, plaka yükleme alanına ve plakanın eğilme direncine bağlıdır. Şekil 1’de, elastisite modülü “ E ” ve atalet momenti “ I ” olmak üzere, “ $E.I$ ” eğilme rijitliğine sahip bir plakanın x ve y eksenleri boyunca değişen bir $f(x,y)$ yayılı kuvvetiyle yüklenmesi temsil edilmiştir. Plaka altındaki zeminin sıkışma direnci ve plakanın eğilme direncinin bir kombinasyonu olarak ortaya çıkan zemin tepkisi $p(x,y)$ ile

gösterilmiştir. Bu durumda hatta meydana gelen deformasyonlar ise $w(x,y)$ ile ifade edilebilir.



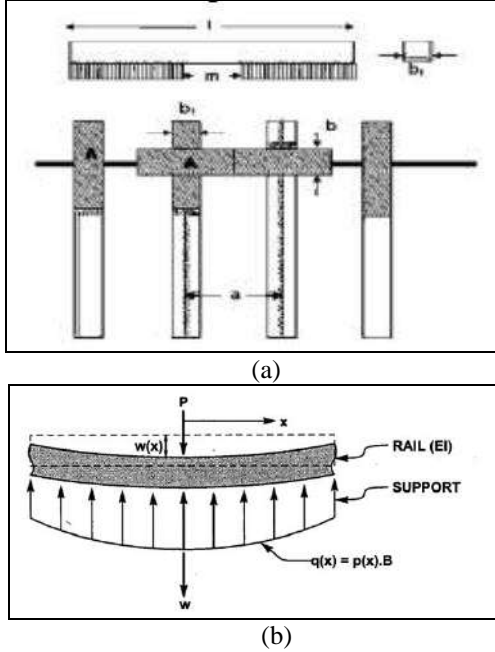
Şekil 1. $f(x,y)$ yayılı kuvveti ile yüklenen bir plaka altında meydana gelen $p(x,y)$ basıncı [13]

Zeminin, üzerine etkiyen kuvvete karşı gösterdiği tepki sadece zemine ait mekanik özelliklerin değil, aynı zamanda kuvveti karşılayan üst yapının (mevcut durumda plakanın) yapısal direncinin de bir fonksiyonudur. Terzaghi (1955), üstyapı özelliklerinin değişimiyle farklı gerilme dağılımlarındaki ve yatak katsayısındaki değişimleri incelemiştir [14]. Winkler modeline göre zemini temsil eden bağımsız yaylar, plaka altındaki herhangi bir noktada $f(x,y)$ kuvvetinin neden olduğu $p(x,y)$ basıncı altında $w(x,y)$ elastik düzey deformasyonu gerçekleştirir. Winkler, plaka altında herhangi bir noktadaki düşey temas basıncı $p(x,y)$ ile buna karşılık gelen düşey deformasyonu $w(x,y)$, Denklem 1’de görüldüğü üzere (C) “yatak katsayısı” kullanarak ilişkilendirmiştir.

$$p(x,y) = C \cdot w(x,y) \quad (1)$$

Winkler modeli sürekli zemin içerisindeki kesme gerilmesi transferlerini göz önünde bulundurmamıştır. Bu nedenle plaka altındaki bölge ile plaka dışındaki bölge arasında bir süreksizlik söz konusudur. Kesme gerilmesinden kaynaklı etkinin demiryolu hattı analizine dahil edilebilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [15-19]. 1880’li yıllarda Zimmermann, rayları zemin ve destek elemanları tarafından sürekli desteklenen bir kiriş olarak temsil ederek Winkler Modelini demiryolu hatlarına uygulamıştır. Zimmermann Modelindeki ana düşünce, tek bir kiriş tarafından taşınan alanı bulup, taşıma alanlarını sürekli destekli kirişe çevirmektir. Şekil 2(a)’da görülen modelde, “ l ” travers uzunluğu, “ m ” desteklenmeyen travers uzunluğu, “ b_1 ” travers genişliği, “ a ” travers aralığı olmak üzere, bir travers altındaki taşıyıcı alan $F = (l-m) \cdot b_1 / 2$ olarak ifade edilir. Şekil 2(b)’de hattın bir yarısındaki kirişin (rayın) desteklenmesi temsil edilmektedir. Bu durumda hat modülü (u), yatak katsayısı (C) ile hat genişliğinin yarısının (B)

çarpımına eşittir (Denklem 2). Taşıyıcı kısımda birim uzunluk başına düşen kuvvet $q(x)$, taşıyıcıya aktarılan basınç $p(x)$ ile hattın yarı genişliğinin (B) çarpımına eşittir (Denklem 3). Hat modülü (u) ise herhangi bir noktada birim uzunluk başına düşen kuvvetin, o noktadaki deformasyona oranıdır (Denklem 3). Hat modülünün birimi Kuvvet/Uzunluk²'dir.



Şekil 2. a) Zimmermann modeline göre taşıyıcı alanların temsili [20] ve b) Modelde birim uzunluk başına düşen kuvvetin ve deformasyonların iki boyutlu temsili [21]

$$u = C \cdot B \quad (2)$$

$$u = -\frac{q(x)}{w(x)} = -\frac{p(x) \cdot E}{w(x)} \quad (3)$$

Denge durumundaki bir kiriş için kesme kuvvetinin (V) türevi birim uzunluk başına düşen kuvvet miktarını $q(x)$ vermektedir.

$$\frac{dV}{dx} = q(x) = -u \cdot w(x) \quad (4)$$

Denklem 5 ise elastik eğilme teorisine göre moment ile deformasyonun eğimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$EI \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right) = -M(x) \quad (5)$$

Kesme kuvveti ise momentin türevidir. Bu nedenle yapı uzunluğu boyunca meydana gelen kesme kuvvetine ait eşitlik Denklem 6'da verilmiştir.

$$V(x) = \frac{dM(x)}{dx} = EI \left(\frac{d^3 w}{dx^3} \right) \quad (6)$$

Denklem 4 ve Denklem 6'nın bir araya getirilmesiyle Denklem 7'de verilen eşitliğe ulaşılır.

$$\frac{dV(x)}{dx} = -u \cdot w(x) = EI \frac{d^4 w(x)}{dx^4} \quad (7)$$

Denklem 7'de verilen 4. dereceden diferansiyel denklemin çözümü sonucunda hattaki moment, kesme, basınç ve deformasyon denklemleri elde edilebilmektedir. Bu çözüm ayrıntılı olarak ilgili kaynakta yer almaktadır [13]. Düşey tekerlek kuvveti (P) etkisi sonucunda meydana gelen hat deformasyonu $w(x)$ Denklem 8'de gösterilmiştir. β ise karakteristik hat uzunluğunun tersi olan karakteristik bir hat parametresidir.

$$w(x) = \frac{P \cdot \beta}{\gamma_1} \cdot e^{-\beta x} \cdot [\cos \beta x + \sin \beta x] \quad (8)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{u}{4EI}} \quad (9)$$

Elastik temel üzerindeki kiriş modeli, hat modülü (u) ve ray rijitliği ($E \cdot I_y$) değerlerinin bileşimi olarak hat esneme direnci kavramını kullanır. Hat performansı üzerinde belirleyici olan bu değer, tüm hat elemanlarının esneme dirençlerinin ortak bir fonksiyonudur. Elastik pedlerin kullanımıyla hattın eşdeğer esneme direnci değerinin ideal bir seviyeye getirilmesi mümkündür [22, 23]. Hat esneme direnci (k), hatta etki eden tekil tekerlek kuvvetinin " P " hattaki maksimum deformasyona " w_{max} " oranıdır.

$$k = \frac{P}{w_{max}} \quad (10)$$

Denklem 11'de tekerlek altında ($x=0$) meydana gelen maksimum deformasyon gösterilmiştir.

$$w(0) = w_{max} = \frac{P \cdot \beta}{\gamma_1} \quad (11)$$

Hat esneme direnci (k) ile hat modülü arasındaki ilişki Denklem 12'deki gibidir.

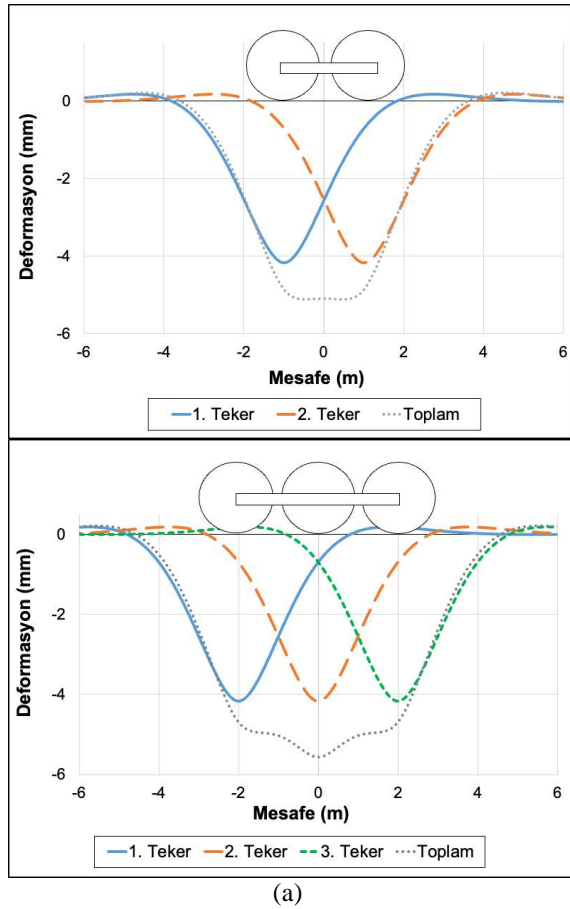
$$k = \frac{2u}{\beta} = \sqrt[4]{64 \cdot E \cdot I \cdot u^3} \quad (12)$$

Bu çalışmada, literatürde yer alan hat esneme direnci değerleri [24, 25] gözetilerek yumuşak bir hattan sert bir hatta doğru esneme direnci değerleri 20 kN/mm ile 120 kN/mm arasında alınmıştır.

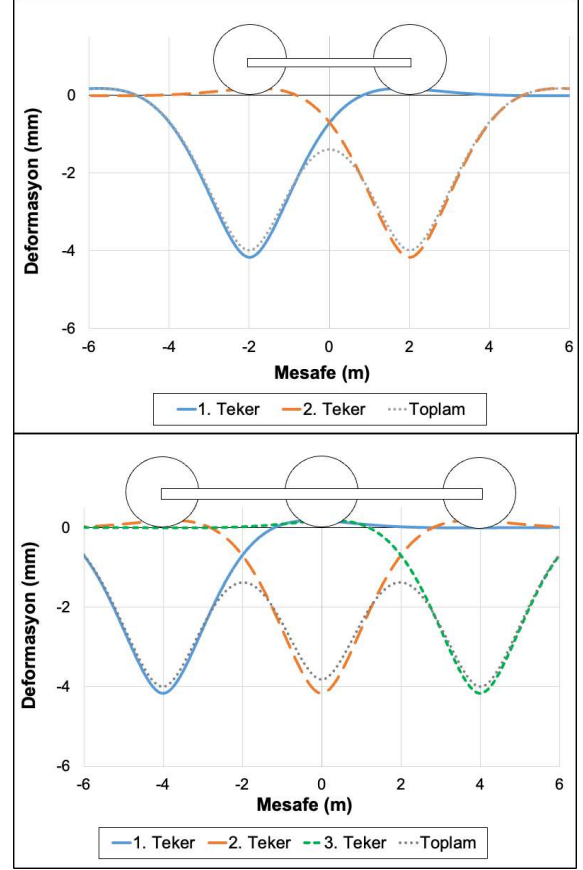
3. İKİ VEYA ÜÇ DİNGİLLİ BOJİ ALTINDAKİ HATLARDA DENEYİMLENEN GÖRÜNÜR HAT ESNEME DİRENCİ

Demiryolu hatlarının karakteristik bir parametresi hat esneme direnci değeri, boji içerisindeki komşu tekerleklerin etkileşimini göz ardı ederek tek bir tekerlek altındaki deformasyonları dikkate almaktadır. Ancak, demiryolu hatlarında kullanılan

iki veya üç dingilli bojilerin içerisindeki dingillerin yakınlığı sınır koşulları ve bunun sonucu trenin hattan geçişi esnasında deneyimlenen esneme direncini etkilemektedir. İki veya üç tekerlek altında hatta meydana gelen deformasyon dalgaları birbiriyle girişim yaparak hat üzerindeki maksimum deformasyon değerini etkilemektedir. Komşu tekerlekler arasındaki girişimin miktarı ve bu girişimin maksimum deformasyon üzerindeki etkisi dingiller arasındaki mesafeye bağlıdır. Birbirine çok yakın iki tekerlek yüksek oranda girişim gösterirken, tekerlekler birbirinden uzaklaştıkça belirli bir noktadan sonra tamamen bağımsız hale gelirler. Şekil 3(a) ve Şekil 3(b)'de sırasıyla yakın ve uzak konumlandırılmış iki tekerlek altındaki etkileşimler görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. İki ve üç dingilli bojilerin a) yakın ve b) uzak dingil mesafesindeki deformasyonları

Birbirinden çok uzak konumda olan ve her birinin uyguladığı kuvvet “P” olan iki tekerleğin her biri altında “w” kadarlık bir deformasyon gerçekleşir. Dingil mesafesinin belirli bir değerden yüksek olduğu durumda tekerleklerin hatta oluşturdukları deformasyon dalgaları girişim yapmamakta ve tekerlekler birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Bu durumda boji tarafından deneyimlenen görünür hat esneme direnci $k^* = 2P/w_{max} = 2k$ olmalıdır. Ancak, varsayımsal olarak dingil mesafesinin hiç olmadığı ($m=0$) ve hatta aynı noktadan iki tekerlek olduğu düşünülürse, görünür hat esneme direnci $k^* = 2P/2w_{max} = k$ olmalıdır.

Benzer şekilde, deformasyon dalgaları girişim yapmayacak kadar yüksek dingil mesafesine sahip üç dingilli bir boji altındaki hatta görünür hat esneme direnci $k^* = 3P/w_{max} = 3k$ olmalıdır. Tam tersine, dingil mesafesinin “0” olduğu varsayılırsa, görünür hat esneme direnci $k^* = 3P/3w_{max} = k$ olmalıdır.

Farklı dingil mesafelerinde meydana gelen hat deformasyonu değerleri incelenerek, 2 ve 3 boji altında deneyimlenen görünür hat esneme direnci ile dingil mesafesi arasında bir bağlantı kurulabilir. Şekil 4'te 2 dingilli boji altındaki hatlar ve Şekil 5'te 3 dingilli boji altındaki hatlar için dingil mesafesi ile görünür hat esneme direnci arasındaki

ilişki sunulmuştur. Hesaplamalarda UIC 60 ray tipi kullanılmıştır. Grafikte bir takım karakteristik sınırlar ($L_0, L_1, L_2,$ ve L_3) ve alanlar ($A_0, A_1, A_2, A_3,$ ve A_4) görülmektedir. L_0 , dingil mesafesine bağlı olarak değişen görünür hat esneme direncinin değişim oranının azalmaya başladığı değerlerdir. L_1 , görünür esneme direncinin, bağımsız tekerlek altındaki esneme direncine eşit olduğu dingil mesafeleridir. L_2 , komşu tekerleklerin etkileşimi sonucu hatta maksimum görünür esneme direncinin meydana geldiği değerlerdir. L_3 , tekerlekler arasındaki girişimin sona erdiği ve tekerleklerin bağımsız hale geldiği noktalar. Bu karakteristik noktalardan yola çıkarak 5 farklı alan belirlenmiştir. A_0 , dingil mesafesine bağlı görünür hat esneme direncinin hızlı bir şekilde arttığı alandır. A_1 alanında görünür esneme direncinin artış hızı azalmaktadır. A_2 , görünür esneme direncinin bağımsız tekerlek altındaki esneme direncine eşit olduğu noktalar ile maksimum hat esneme direncinin meydana geldiği noktalar arasındaki alandır. A_3 , maksimum esneme direncinin meydana geldiği noktalar ile tekerleklerin girişiminin sona erdiği noktalar arasındaki alandır. A_4 ise artık tekerleklerin birbirinden etkilenmediği ve bağımsız olduğu alandır.

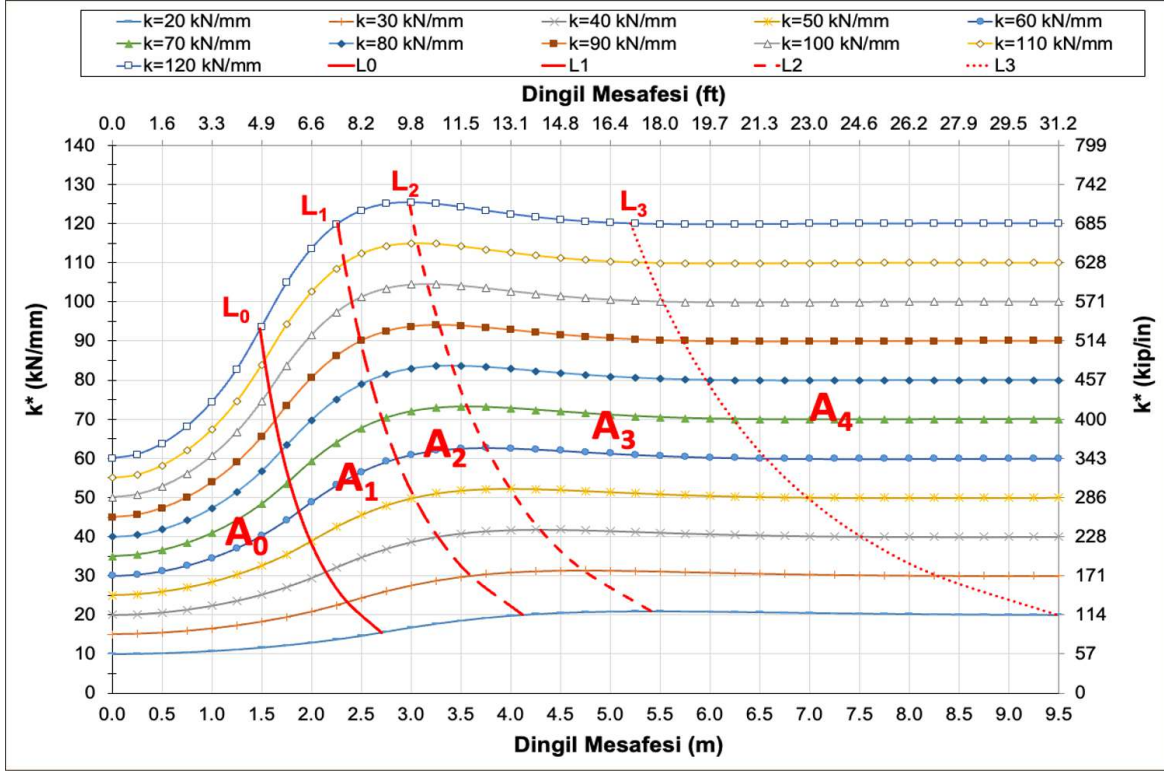
Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilen sınır değer durumlarının gerçekleştiği dingil mesafeleri, Balcı-Bezgin Fonksiyonları yardımıyla elde edilebilmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7'de ise sırasıyla iki dingilli ve üç dingilli boji altındaki görünür hat esneme direnci değerleri farklı ray tipleri için kıyaslanmıştır. Karşılaştırmada iki adet Amerika'da kullanılan (115RE ve 136RE) ve iki adet Avrupa'da kullanılan (UIC 54 ve UIC 60) ray tipleri kullanılmıştır. Ray tipleri hafiften ağıra doğru UIC 54, 115 RE, UIC 60 ve 136 RE olarak sıralanmaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2'de ise sırasıyla 2 dingilli ve 3 dingilli bojiler için sınır durumları veren Balcı-Bezgin Fonksiyonları yer almaktadır. Dingil mesafesi " x " (m) ve ilgili dingil mesafesinde meydana gelen görünür hat esneme direnci " y " (kN/mm) ile temsil edilmiştir.

Tablo 1. İki dingilli boji altındaki sınır durumları ifade eden Balcı-Bezgin Fonksiyonları [6]

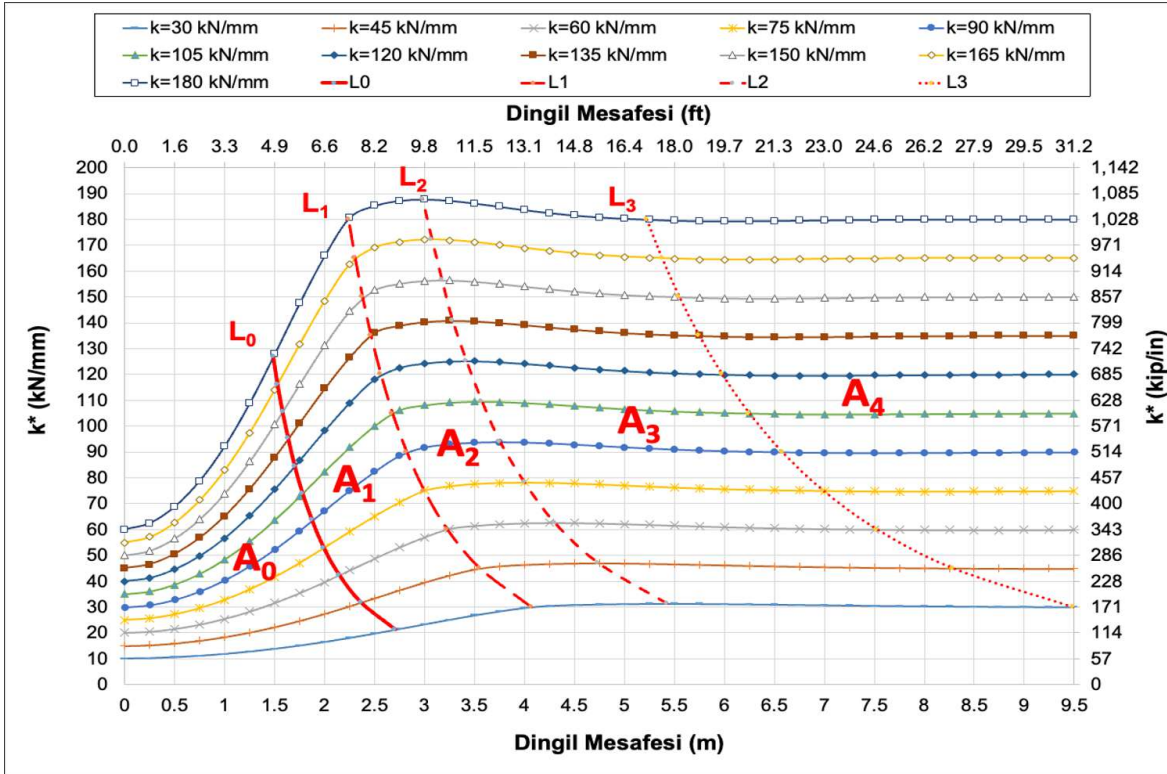
Ray Tipi	2 Dingil için Balcı – Bezgin Fonksiyonları			
	L_0	L_1	L_2	L_3
UIC 54	$y = 246 x^{-3}$	$y = 1077 x^{-3}$	$y = 2557 x^{-3}$	$y = 13140 x^{-3}$
115RE	$y = 282 x^{-3}$	$y = 1263 x^{-3}$	$y = 3008 x^{-3}$	$y = 15397 x^{-3}$
UIC 60	$y = 323 x^{-3}$	$y = 1398 x^{-3}$	$y = 3332 x^{-3}$	$y = 17057 x^{-3}$
136RE	$y = 398 x^{-3}$	$y = 1805 x^{-3}$	$y = 4279 x^{-3}$	$y = 22012 x^{-3}$

Tablo 2. Üç dingilli boji altındaki sınır durumları ifade eden Balcı-Bezgin Fonksiyonları

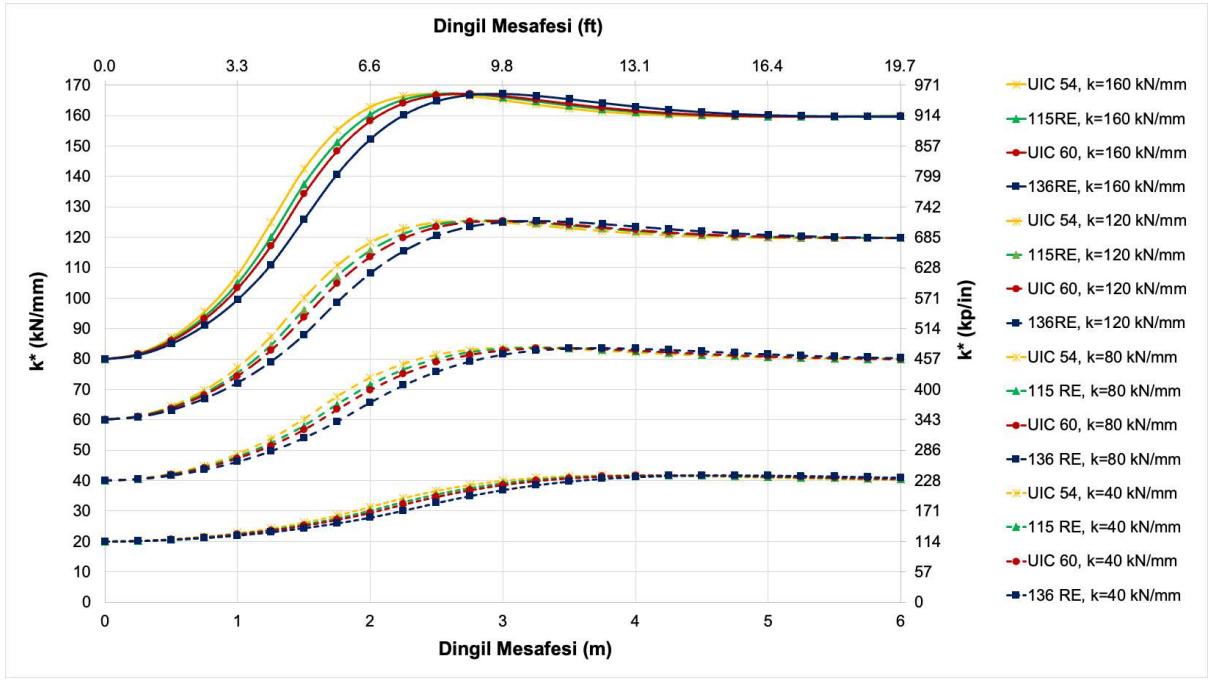
Ray Tipi	3 Dingil için Balcı – Bezgin Fonksiyonları			
	L_0	L_1	L_2	L_3
UIC 54	$y = 292 x^{-3}$	$y = 1403 x^{-3}$	$y = 3468 x^{-3}$	$y = 17818 x^{-3}$
115RE	$y = 376 x^{-3}$	$y = 1809 x^{-3}$	$y = 4472 x^{-3}$	$y = 22978 x^{-3}$
UIC 60	$y = 419 x^{-3}$	$y = 2015 x^{-3}$	$y = 4981 x^{-3}$	$y = 25592 x^{-3}$
136RE	$y = 538 x^{-3}$	$y = 2587 x^{-3}$	$y = 6394 x^{-3}$	$y = 32848 x^{-3}$



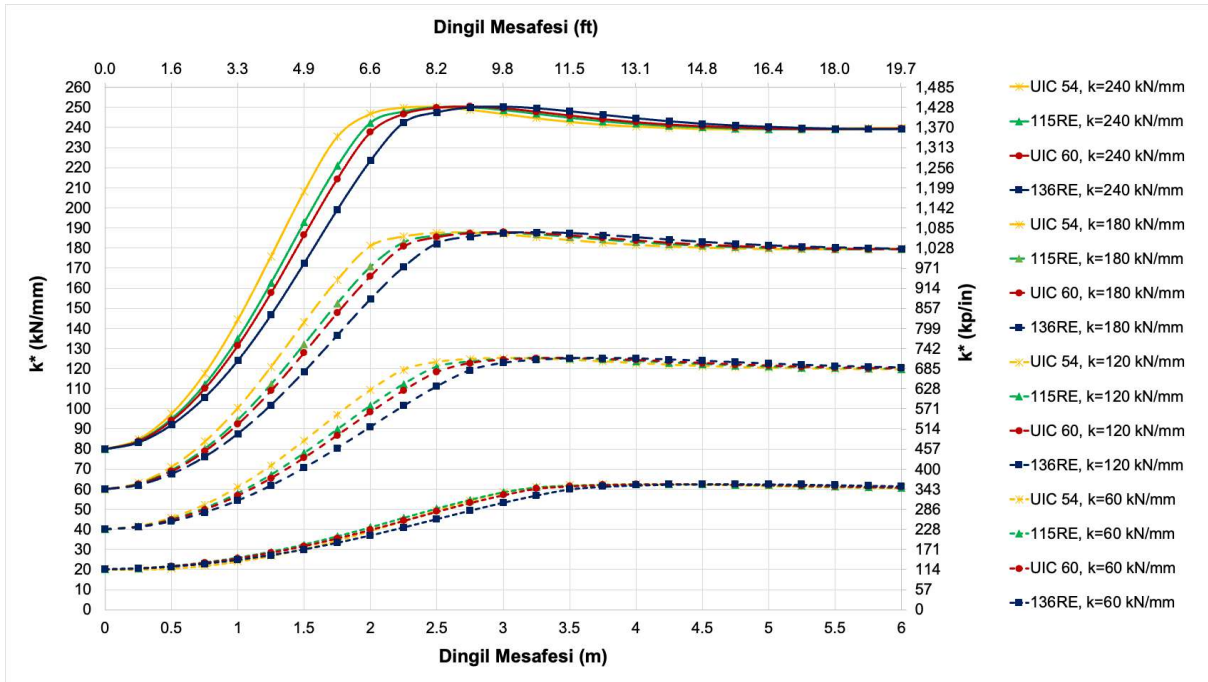
Şekil 4. İki dingilli bojiler altındaki görünür hat esneme direnci ve dingil mesafesi ilişkisi [6]



Şekil 5. Üç dingilli bojiler altındaki görünür hat esneme direnci ve dingil mesafesi ilişkisi



Şekil 6. İki dingil altındaki görünür hat esneme direninin farklı ray tipleri için kıyaslaması [6]



Şekil 7. Üç dingil altındaki görünür hat esneme direninin farklı ray tipleri için kıyaslaması

4.GÖRÜNÜR HAT ESNEME DİRENCİ İLE DİNAMİK DARBE KUVVETİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Yukarıda yer alan bölümlerde farklı türde bojiler ve ray tipleri için boji içerisindeki tekerlekler tarafından deneyimlenen görünür hat esneme direnci değerleri sunulmuştur. Sonuç olarak, tüm parametrelerin aynı olduğu iki hatta sadece dingil mesafesinin değişmesiyle görünür hat esneme direncinin değişeceği görülmüştür. Buna bağlı olarak da, tren tarafından hatta aktarılan dinamik darbe kuvveti değerleri değişmektedir. Bezgin Yöntemi [7-11], dinamik darbe kuvvetlerinin tahmini için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanmasıyla hattaki profil değişimi, hat esneme direnci değişimi ve tekerlek düzlükleri için dinamik darbe kuvvetini tahmin eden 7 denklem geliştirilmiştir. Bu denklemler ile elde edilen sonuçların hattaki hasarların tespitinde de pratik bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür [26, 27]. Denklem 13 ve Denklem 14'te, belirli bir hat mesafesi boyunca hat esneme direncinin değişmesiyle ortaya çıkan maksimum dinamik darbe kuvvetini tahmin eden Kapsamı Genişletilmiş Bezgin Denklemleri yer almaktadır. Hat mesafesi boyunca azalan esneme direnci için Denklem 13 ve artan esneme direnci için Denklem 14 kullanılabilmektedir. Bu denklemlerde; birinci bölgedeki statik sistem deformasyonu (a'), ikinci bölgedeki sistem deformasyonu (b'), sistem sönümlemesi (s) ve Denklem 15'te yer alan darbe azaltma faktörü (f) parametreleri kullanılmaktadır. Denklem 15'te, hat esneme direnci değişiminden kaynaklı yükseklik farkı (h), yer çekimi ivmesi (g), tren hızı (V) ve düzensiz hat uzunluğu (L) parametreleri kullanılmaktadır.

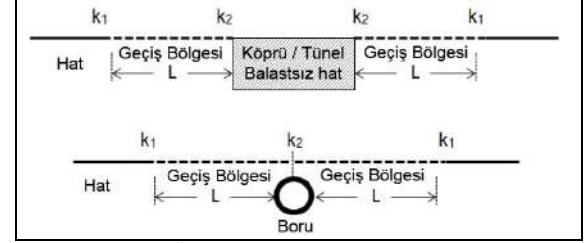
$$K'_{B1} = 1 + \sqrt{2 \left[(1 - f - s) \left(1 - \frac{a'}{b'} \right) \right]}, \quad a' \leq b' \text{ için (13)}$$

$$K'_{B2} = \sqrt{2 \left[1 + f + s + \frac{a'}{b'} (1 - f - s) \right]} - 1, \quad a' \geq b' \text{ için (14)}$$

$$f = 1 - \sqrt{\frac{2h/g}{L/V}} - \frac{V}{L} \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (15)$$

Hattın köprü, tünel gibi yapılardan veya boru hattı üzerinden geçmesi gibi durumlarda hattaki esneme direnci değişmektedir. Şekil 8'de hat esneme direnci değişen bir hat için geçiş bölgesi temsil edilmiştir. Hesaplamalar için esneme direnci $k_1=23$ kN/mm olan toprak destekli bir hattan, esneme direnci $k_2=185$ kN/mm olan beton destekli bir hatta geçiş durumu ele alınmıştır. Bu geçiş bölgesi üzerinden 1.5 m, 2.3 m ve 3.1 m dingil aralığına sahip üç farklı bojinin geçmesi durumunda; toprak

destekli bölgedeki görünür esneme direnci değerleri sırasıyla $k_1=14.7$ kN/mm, 19.1 kN/mm ve 23 kN/mm'dir. Beton destekli bölgede ise görünür esneme direnci ise yine sırasıyla $k_2=185$ kN/mm, 192.4 kN/mm ve 185 kN/mm'dir.



Şekil 8. Örnek geçiş bölgesi durumları [9]

Bezgin Yöntemi'nin uygulanmasıyla 1.5 m, 2.3 m ve 3.1 m'lik dingil aralıkları için elde edilen dinamik darbe faktörleri sırasıyla 1.83, 1.59 ve 1.43'tür. Hat esneme direncine tekerlek yayı esneme direnci de dahil edildiğinde elde edilen darbe faktörleri; 1.048, 1.032 ve 1.023'tür. Buna göre, dinamik darbe kuvvetinin en yüksek olduğu dingil aralığı $m=1.5$ m ve en düşük olduğu dingil aralığı $m=3.1$ m'dir.

Bezgin Yöntemi'nin yanı sıra ABAQUS® programı kullanılarak, parametreleri Tablo 3'te verilen bir sonlu elemanlar modeli ile de dinamik darbe kuvvetleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. Sonlu elemanlar modeli parametreleri [6]

Toplam uzunluk (m)	50	Balast kalınlığı (mm)	300
Tren hızı (km/sa)	120	Balast yoğunluğu (kg/m ³)	1800
Toplam dingil yükü (kN)	246 kN	Balast Poisson oranı	0.28
Tekerlek çapı (m)	0.9	Balast kayıp faktörü	0.1
Tekerlek seti kütlesi (kg)	981	Ray pedi esneme direnci (kN/mm)	150
Ray tipi	CEN60	Ray pedi kayıp faktörü	0.2
Ray Young Modülü (MPa)	210,000	Alt temel Elastisite Modülü (MPa)	10
Ray yoğunluğu (kg/m ³)	7750	Alt temel kalınlığı (mm)	3000
Ray kayıp faktörü	0.01	Alt temel yoğunluğu (kg/m ³)	2000
Travers boyutları (m) (enxboyxyükseklik)	2.5x0.25 x0.14	Alt temel Poisson oranı	0.3
Travers aralığı (m)	0.6	Alt temel kayıp faktörü	0.5
Hertz temas yayı esneme direnci (N/m)	10x10 ⁹	Beton Elastisite modülü (MPa)	3500
Balast Elastisite Modülü (MPa)	180	Beton yoğunluğu (kg/m ³)	2400

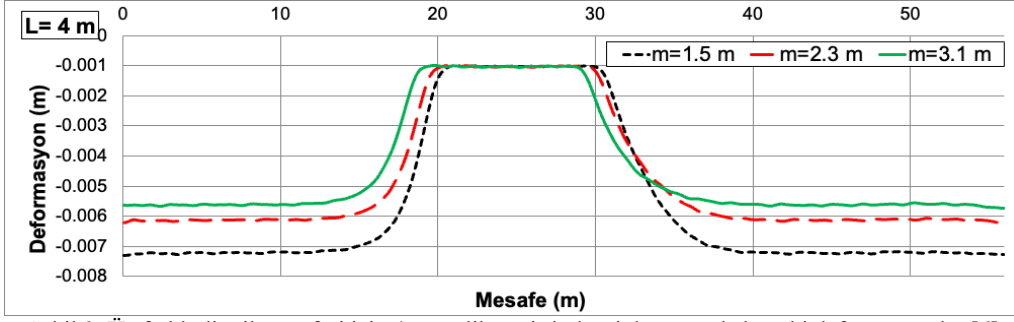
50 m uzunluğunda tasarlanan modelin 20. ve 30. metreleri arasında beton destekli balastlı bir hat yer almaktadır. Toprak destekli hattan beton destekli hatta yine 1.5 m, 2.3 m ve 3.1 m'lik dingil aralıklarına sahip üç farklı bojinin geçişi ele alınmıştır. Bağımsız tekerlek altındaki esneme direnci ilk bölgede $k_1=23$ kN/mm ve ikinci bölgede

$k_2=185$ kN/mm'dir. Tekerlek yayı esneme direnci is $k_w = 1.85$ kN/mm olarak alınmıştır.

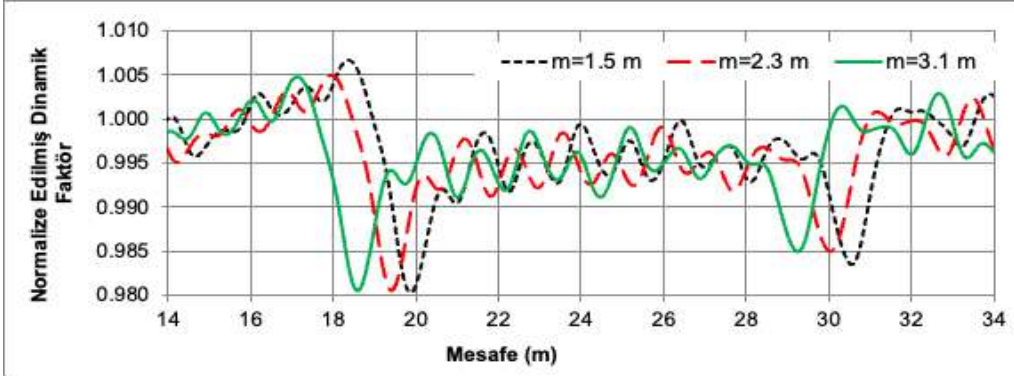
Görünür hat esneme direnci konseptine göre, bu üç dingil mesafesi arasından 3.1 m dingil aralığında deneyimlenen hat esneme direnci en fazladır. En düşük görünür hat esneme direnci ise 1.5 m'lik dingil aralığındadır. Dolayısıyla, en düşük deformasyonun 3.1 m ve en yüksek deformasyonun 1.5 m dingil aralığında ortaya çıkması beklenir. Şekil 9'da 4 metrelik bir geçiş bölgesi durumundaki deformasyonları gösteren sonlu elemanlar analizinde de bu beklentiler karşılanmıştır.

Şekil 10'da ön tekerleğin hattan geçişi esnasında ortaya çıkan normalize edilen dinamik kuvvetler gösterilmiştir. Dinamik kuvvetler $F_s=123$ kN olan statik tekerlek kuvvetine göre normalize edilmiştir. Bezgin Yöntemi ile elde edilen dinamik darbe faktörünün en yüksek olduğu sonuç 1.5 m'lik dingil aralığında ve en düşük olduğu durum 3.1 m'lik dingil aralığında ortaya çıkmıştır. Sonlu elemanlar analizi bulguları da bu sonuçları desteklemektedir.

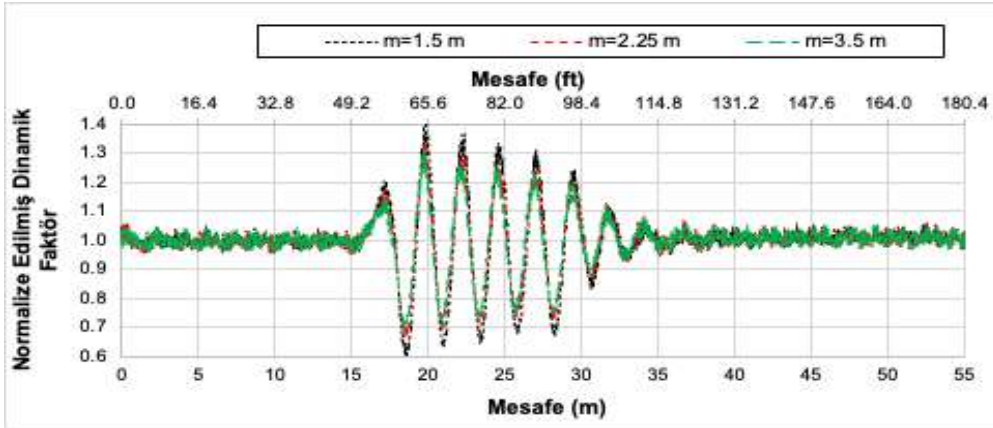
Daha düşük statik kuvvet ($F_s=70$ kN) ve daha yüksek hızda ($v=200$ km/h) görünür hat esneme direnci etkilerini görebilmek için ikinci bir analiz yapılmıştır. Elde edilen bulgular geçiş bölgesinin olmadığı durum içindir. Toprak destekli hattın esneme direnci $k_1=22$ kN/mm ve beton destekli hattın esneme direnci $k_2=210$ kN/mm olarak alınmıştır. 1.5 m, 2.3 m ve 3.1 m dingil aralıkları için ilk bölgedeki görünür esneme direnci değerleri sırasıyla $k^*_{1.5}=13$ kN/mm, $k^*_{2.3}=15.4$ kN/mm ve $k^*_{3.5}=20.7$ kN/mm'dir. İkinci bölgedeki esneme dirençleri ise $k^*_{1.5}=189$ kN/mm, $k^*_{2.3}=218.4$ kN/mm ve $k^*_{3.5}=212.1$ kN/mm'dir. Bezgin Yöntemi uygulandığında elde edilen dinamik darbe kuvveti faktörleri 1.5 m, 2.3 m ve 3.1 m dingil aralıkları için sırasıyla 1.40, 1.33 ve 1.30'dur. Şekil 11(a) ve 11(b)'de sonlu elemanlar analizi ile elde edilen dinamik darbe faktörleri sunulmuştur. Beklendiği üzere, en yüksek dinamik faktör 1.5 m ve en düşük dinamik faktör 3.1 m dingil aralığında ortaya çıkmıştır.



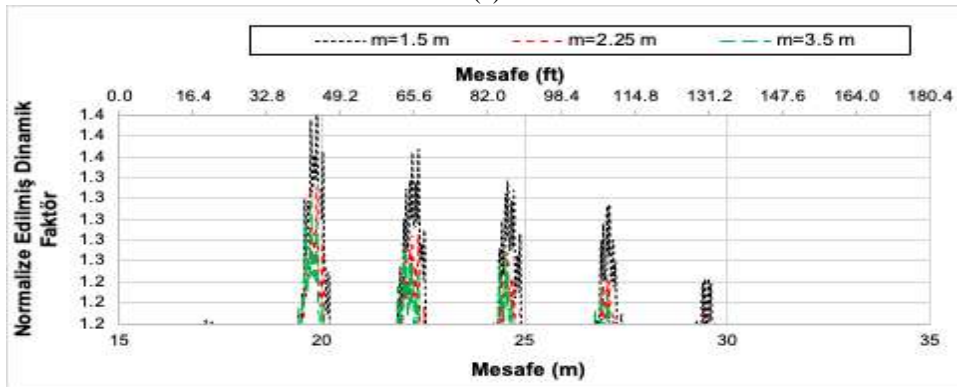
Şekil 9. Üç farklı dingil mesafesi için 4 metrelik geçiş bölgesi durumunda hattaki deformasyonlar [6]



Şekil 10. Üç farklı dingil mesafesi için 4 metrelik geçiş bölgesi durumunda hattaki normalize edilmiş dinamik darbe faktörleri [6]



(a)



(b)

Şekil 11. Geçiş bölgesi olmaması durumunda üç farklı dingil için a) hattaki normalize edilmiş dinamik darbe faktörleri ve b) pik noktaların vurgulandığı durum [6]

5. SONUÇ

Bu çalışma, elastik temel üzerindeki kiriş modeline dayanarak aynı boji içerisindeki komşu tekerleklerin hatta meydana getirdikleri gerilme alanlarının girişimini incelemiştir. “Grup etkisi” olarak da bilinen ortak etki sonucunda hattın, üzerine aktarılan kuvvetlere karşı tepkisi değişmektedir. Aynı boji içerisindeki komşu tekerleklerin deformasyon dalgalarının girişimine bağlı olarak hattaki maksimum deformasyon değişmektedir. Bu girişimin oranı, dingiller arasındaki mesafeye bağlıdır. Dolayısıyla tüm mekanik özellikleri aynı olan iki hat üzerinden geçen farklı dingil aralığına sahip iki bojinin, bu geçiş esnasında deneyimledikleri hat esneme direnci farklı olur. Bu çalışma, “görünür hat esneme direnci” kavramını ortaya koyarak hattın esneme direnci ile dingil mesafesini ilişkilendirmiştir.

İki ve üç dingilli bojiler için dingil mesafesi ile görünür hat esneme direnci arasındaki sınır durumları belirten Balcı-Bezgin Fonksiyonları sunulmuştur. Bu fonksiyonlar, komşu tekerleklerin etkileşimi sonucunda hattın alınan esneme direncinin maksimum olduğu dingil mesafesi veya komşu tekerleklerin etkileşiminin sona ererek birbirinden tamamen bağımsız hale geldiği dingil mesafesi gibi kritik durumları ifade etmektedir.

Hat esneme direncine bağlı olarak hatta aktarılan dinamik darbe kuvvetleri de değişmektedir. Bezgin Yöntemi ile hat esneme direncini göz önünde bulundurarak dinamik darbe faktörleri pratik bir şekilde tahmin edilebilir. 1.5, 2.3 ve 3.1 m’lik dingil aralığına sahip üç farklı boji için yapılan dinamik darbe faktörü tahminleri, sonlu elemanlar analizi bulgularıyla örtüşmüştür. Bu üç dingil mesafesinde deneyimlenen görünür hat esneme direnci gözetilerek yapılan deformasyon tahminleri de sonlu elemanlar analizi ile benzerlik göstermiştir. Dingil mesafesi, hattın esneme direncini ve dolayısıyla hatta aktarılan dinamik darbe kuvvetlerini etkileyen ve hat tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir. Bu çalışmanın bulguları ışığında, demiryolu taşımacılığında işletme maliyetlerini düşürmek ve verimliliği artırmak için yeni tasarım ve bakım planlama stratejileri geliştirilebilir. Çeşitli hat parametreleri, “görünür hat esneme” direnci göz önünde bulundurularak optimize edilebilir.

6. REFERANSLAR

- [1] G. Sauvage and J. Fortin, “La traînée de roulement des véhicules de chemin de fer,” *Rev. Gen. Chemins Fer*, pp. 383–390, 1982.
- [2] B. Lichtberger, “*Track Compendium*”. Hamburg, Germany: Eurail Press, 2005.
- [3] W. Powrie and L. Le Pen, “*A Guide to Track*

- Stiffness*”. Southampton, UK: University of Southampton, 2016.
- [4] Balcı, E., N.Ö. Bezgin, “Hat esneme direncinin hat performansını üzerindeki etkileri”, *Demiryolu Mühendisliği*, 2022, cilt 11, s. 75-85.
- [5] M. Burrow, P. Teixeira, T. Dahlberg, E. Berggren, “Track stiffness considerations for high speed railway lines,” *Railway transportation: policies, technology and perspectives*, pp. 303–354, 2009.
- [6] E. Balcı, N.Ö. Bezgin, M. Wehbi, “Variation of Track Response to Wheel Forces with Bogie Axle Spacing: Apparent Track Stiffness and its Influence on Dynamic Impact Forces on Railway Tracks”, *Transportation Research Record*, 2676(4), 2022, 570-588.
- [7] N.Ö. Bezgin, “Proposal of a new analytical method to estimate the vertical impact forces on railway tracks due to changes in track profile and track stiffness”. In *5th International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA* (Vol. 837, p. 845), 2018.
- [8] N.Ö. Bezgin, “Development of a New and an Explicit Analytical Equation that Estimates the Vertical Dynamic Impact Loads of a Moving Train”, *Procedia Engineering*, 189, 2017, 2–10.
- [9] N.Ö. Bezgin, M. Wehbi, “Advancement and Application of the Bezgin Method to Estimate Effects of Stiffness Variations along Railways on Wheel Forces”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119811983580, 2019.
- [10] N.Ö. Bezgin, “Application of a new concept and a method to estimate the vertical impact forces on railway tracks due to track profile irregularities”. In: *97th Transportation Research Board Meeting*, Paper No.: 18-00407, Washington DC, 2018.
- [11] N.Ö. Bezgin, “Application of a new concept and a method to estimate the vertical impact forces on railway tracks due to track stiffness variations”. In *97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*, 2018.
- [12] E. Winkler, “Die Lehre Vonder Elastizität und Festigkeit”, *Prag*, 1867.
- [13] T.U. Yelce, E. Balcı, N.Ö. Bezgin, “A discussion on the beam on elastic foundation theory”, *Challenge*, 9(1), 2023, 34-47.
- [14] K. Terzaghi, “Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction”, *Geotechnique*, 5(4), 1966, 297-326.
- [15] J.S. Horvath, “New Subgrade Model Applied to Mat Foundations”, *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(12), 1983b, 1567-1587.
- [16] J.S. Horvath, “Basic SSI Concepts and Applications Overview. Soil-Structure Interaction Research Project, Report No. CGT-2002-2”, Manhattan College, School of Engineering, New York, 2002.
- [17] E. Reissner, “A Note on Deflections of Plates on a Viscoelastic Foundation”, *Journal of Applied Mechanics, ASME*, 25(80), 1958, 144-145.
- [18] A. Worku, “Winkler’s single-parameter subgrade model from the perspective of an improved approach of continuum-based subgrade modeling”, *Zede Journal*, 26, 2009, 11-22.

- [19] A.D. Kerr, “ Elastic and Viscoelastic Foundation Models”, *Journal of Applied Mechanics, ASME*, 25(80), 1964, 491-498.
- [20] M. Steidl, “Standards and tests of fastening systems”, *AREMA annual conference presentation, 2007*.
- [21] E.T. Selig, J.M. Waters, “Track geotechnology and substructure management”, Thomas Telford, London, 1994.
- [22] E. Balcı, “Ray Pedi ve Travers Altı Pedlerin Hat Bileşenleri ve Hat Performansı Üzerindeki Etkileri”, *Demiryolu Mühendisliği*, (13), 2021, 14-28.
- [23] E. Balcı, N.Ö. Bezzin, “Demiryolu Hatlarında Elastik Ped Kullanımının Dinamik Darbe Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi”, *Tasarım Mimarlık Ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 140-151.
- [24] M. Wehbi, P. Musgrave, “Optimisation of track stiffness on the UK Railways”, *Permanent Way Institute Journal*, 135, 2017.
- [25] M.X.D. Li, E.G. Berggren, “A Study of the Effect of Global Track Stiffness and Its Variations on Track Performance: Simulation and Measurement”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 224(5), 2010, 375-382.
- [26] M. Wehbi, N.Ö. Bezzin, “Proposal and Application of a New Technique to Forecast Railway Track Damage Because of Track Profile Variations”, *Transportation Research Record*, 2673(4), 2019, 568-582.
- [27] E. Balcı, N.Ö. Bezzin, “Application of the Bezzin Method to estimate dynamic impact forces and judge the conditions for ballast pulverization and slab cracking due to abrupt and rapid changes in railway track profile”. In *6th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, 2023.

Mohamed WEHBI 2006 yılında American University of Sharjah İnşaat Mühendisliği'nden mezun oldu. University of Birmingham'da 2011 yılında yüksek lisans ve 2015 yılında doktora eğitimlerini tamamladı. Network Rail'de kıdemli tasarım mühendisi olarak çalıştı. İngiltere'de demiryolu altyapı mühendisleri için profesyonel bir kuruluş olan Permanent Way Institution'da kıdemli üyesidir. Şu anda Geobear Global'da Mühendislik Direktörü olarak görev almaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

Erdem BALCI 1994 yılında Wuppertal, Almanya'da doğdu. Lisans eğitimini Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde tamamladı. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümlerinden yüksek lisans derecesi elde etti. Şu anda İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde doktora eğitimine devam etmektedir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Bölümü'nde öğretim görevlisidir.

Niyazi Özgür BEZGİN 1977 yılında Ankara'da doğdu. Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği'nde başladığı eğitimine, 1999 senesinde New York'ta bulunan Polytechnic University, Brooklyn İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam ederek 2001 yılında mezun oldu. Yapı ve zemin mekaniği konularında, Rutgers, the State University of New Jersey İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2002'de Yüksek Lisans ve 2005'de doktora çalışmalarını tamamladı ve 7 yıl yapısal tasarım ve geoteknik mühendisliği konularında özel sektörde çalıştı. Şu anda İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde doçent olarak demiryolu hat mekaniği alanında çalışmalarını gerçekleştirmektedir.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

KENT İÇİ RAYLI TAŞIMACILIKTA TRANSLOHR SİSTEMİNİN VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATING THE EFFICIENCY OF TRANSLOHR SYSTEM IN URBAN RAIL TRANSPORTATION

Muhammed Emin Arı

Karabük Üniversitesi, Eskipazar Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makinistliği Programı,
Karabük, TÜRKİYE
muhammedeminari@karabuk.edu.tr

Özet- Günümüz şehirlerindeki nüfus artışları sebebiyle kent merkezlerindeki toplu konut bölgeleri, iş merkezleri, eğitim kurumları vb. alanların genişlemesi toplu taşıma ihtiyacını artırmaktadır. Nüfus artışının diğer bir sonucu ise cadde ve sokaklardaki trafik yoğunluğunun çok yüksek seviyelere ulaşmasıdır. Trafik yoğunluğundaki bu artış hem zaman kaybına yol açmakta hem de trafikte bekleyen araçların gaz salınımlarına yol açmasından dolayı çevreyi kirletmektedir. Çevre kirliliğini minimum seviyelere indirmenin en makul çözüm yolu ise toplu taşıma sistemlerini geliştirip yaygınlaştırılması, buna bağlı olarak emisyon değerlerinin düşürülmesidir. Raylı sistem araçları; elektrikle tahrik edilmeleri ve yüksek verimlilikte çalışabilmeleri sebebiyle kentlerdeki yerel yönetimlerin popüler tercihlerinden biri haline gelmiştir. Ancak bazı şehirlerin coğrafi yapısındaki eğim durumları, raylı sistem araçlarının kullanımını kısıtlamaktadır. Bu çalışmada; kent merkezlerindeki klasik tramvay sistemlerine alternatif olarak, topografik açıdan eğimli kentlerde kullanılmaya uygun bir kent içi raylı sistem aracı olan translohr sistemlerin avantaj ve dezavantajları araştırılarak verimlilikleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Translohr sistemi, Tramvay işletmeciliği, Kent içi raylı sistemler, Raylı sistem araçları, Toplu taşıma araçları, Hafif raylı sistem

Abstract- Due to the population growth in today's cities, the expansion of areas such as public housing areas, business centers, educational institutions, etc. in city centers increases the need for public transportation. Another consequence of population growth is that the traffic density on streets and avenues reaches very high levels. This increase in traffic density not only causes loss of time but also pollutes the environment as vehicles waiting in

traffic cause gas emissions. The most reasonable solution to minimize environmental pollution is to develop and expand public transportation systems and accordingly reduce emission values. Rail system vehicles have become one of the popular choices of local governments in cities because they are electrically driven and can operate with high efficiency. However, the slope conditions in the geographical structure of some cities restrict the use of rail system vehicles. In this study, the advantages and disadvantages of translohr systems, which are suitable for use in topographically sloping cities as an alternative to conventional tram systems in city centers, are investigated and their efficiency is discussed.

Keywords: Translohr system, Tram operation, Urban rail systems, Railway system vehicles, Public transport, Light rail system

1. GİRİŞ

Ulaşım, günümüz kentlerinin en önemli sorunlarından biridir. Özellikle kent merkezlerindeki hızlı nüfus artışıyla beraber yerleşim yerleri genişlemekte, yeni konut bölgeleri oluşturulmakta, yeni iş merkezleri kurulmakta ve eğitim kurumlarının sayısı artmaktadır. Dolayısıyla kentlerdeki faaliyet alanları genişlemekte ve ulaşımın önemi her geçen gün daha da artmaktadır.

Kent merkezlerindeki nüfus artışı neticesinde otomobil kullanımının artması da trafik sıkışıklığı problemlerine sebep olmaktadır. Ayrıca otobüs, minibüs vb. toplu taşıma araçları sınırlı taşıma kapasitelerinden dolayı yetersiz kalabilmektedir. Bu durum; yerel şehir yönetimlerini taşımacılık sistemlerinde fikir ve proje geliştirilmesi hususunda alternatif metotlara yönlendirmektedir. Özellikle taşıma kapasitelerinin

fazla olması sebebiyle yüksek verim alınabilmesi ve elektrik enerjisi kullanılmasından dolayı çevreci taşımacılık yapılmasına imkan sağlamasından dolayı raylı sistem taşımacılığı ön plana çıkmaktadır.

Mevcut kent içi raylı ulaşım sistemlerinde genellikle tramvay, hafif raylı sistem, metro ve banliyö treni gibi klasik tarzdaki hareket mekanizmalarına sahip araçlar kullanılmaktadır. Ancak bazı kentlerin topografik yapısı, bu araçların kullanımına elverişli değildir. Çünkü geleneksel demiryolu araçlarının eğim tırmanma potansiyelleri, frenleme performansları, manevra kabiliyetleri gibi özellikleri sınırlıdır.

Bu çalışmada; geleneksel tramvay taşımacılık sisteminin alternatifi olarak, topografik açıdan eğimli kentlerde kullanılmaya uygun bir kent içi raylı sistem aracı olan translohr sistemlerin olumlu ve olumsuz yönleri araştırılarak verimlilikleri tartışılmıştır.

2. TRANSLOHR VE DİĞER TAŞIMACILIK SİSTEMLERİ

Raylı sistem araç tasarımlarının oluşturulmasında belirleyici olan yolcu hacimleri, topografya, iklim, istasyon aralıkları, ekonomi ve araç estetiği gibi birçok faktör vardır [1]. Translohr araçlara sistemsel olarak altyapı ve demiryolu araçları açısından bakıldığında, tramvay ve otobüs taşımacılıklarının bir kombinasyonundan meydana gelmektedir. Ancak tramvay ve otobüs kombinasyonuna sahip olan tek sistem translohr değildir. Demiryolu ve karayolu altyapısını kullanan diğer bir toplu taşımacılık sistemi trolleybüstür. Trolleybüs, karayolu araçlarının karakteristik özelliklerini daha çok yansıtırken translohr ise demiryolu araçlarının karakteristik özelliklerini bünyesinde barındırır. Ancak bu iki sistemdeki en büyük fark hareket mekanizmalarıdır.



Şekil 1. Geleneksel tramvay rayları ve Translohr rayı [2]

Trolleybüsler otobüslere benzer hareket mekanizmasına sahiptir ve araç kontrolünde bir direksiyon sistemine sahiptir. Yani iki serbestlik dereceli hareket yaparlar. Translohr sistemde ise herhangi bir direksiyon sistemi bulunmaz. Tipik bir

tramvay aracı gibi bir serbestlik dereceli hareket yapar. Çünkü ana tahrik sisteminde lastik tekerlekler kullanmasına rağmen aracı hareket doğrultusu boyunca tam ortadan kavrayan çelik tekerlekler, aracı yörüngede tutarak kılavuzluk yaparlar (Şekil 1.). Dolayısıyla bu sistemi lastik tekerlekli tramvay olarak adlandırmak yanlış olmayacaktır.

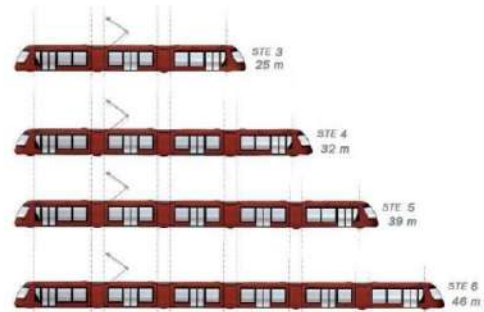
2.1 Araç Tasarım Yapıları

Translohr araçlarının tasarımları tramvaylarla oldukça benzerlik gösterir. Araç gövdesinin dış tasarımlarındaki vagon yapıları, kapı ve pencere tasarımları, çift yönlü sürüşüne uygun sürücü kabinleri gibi özellikler her iki sistemde de ortaktır. Bunun yanı sıra iç tasarım yapısı da çoğunlukla tramvaylarla benzer durumdadır. İç mekandaki yolcu koltuklarının yerleşimleri, kapı genişlikleri, kent içi taşımacılığa uygun genişlikteki ayakta yolcu taşıma alanları ve bununla birlikte tutamak, trabzan gibi yapılar, iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin yerleşim yapısı tramvaylarla önemli ölçüde benzerlik gösterir (Şekil 2.). Ayrıca translohr araçları da alçak tabanlı olarak imal edilebilmektedir. Bu sayede engelli yolcuların yanı sıra bebek arabasıyla seyahat eden yolcuların iniş ve binişlerinde kolaylık sağlanabilmektedir (Şekil 2.).



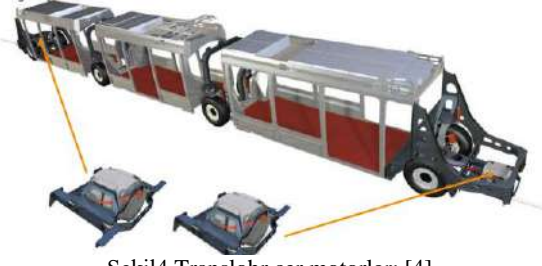
Şekil 2. Translohr iç dizayn ve engelli yolcu binışı [3]

Translohr araçlar modüler yapıdadır ve klasik tramvaylar gibi vagonların körük bağlantılarıyla birleşmesinden oluşur [3]. İşletme yapan kurum taleplerine göre araçlar tek veya çift yönlü sürücü kabinine sahip olabilmektedir. Araçlar, çalıştırılacak kentin ihtiyaç duyacağı kapasiteye göre vagon sayılarında değişiklik olabilmekte, dolayısıyla farklı uzunluklarda setler imal edilebilmektedir (Şekil 3.).



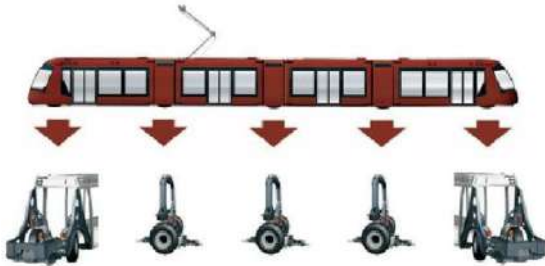
Şekil 3. Translohr kombinasyon uzunlukları [4]

Araçların muhtelif yerlerine yerleştirilmiş cer motorları, enerjisini katener hattından almaktadır (Şekil 4.). Fransa'nın Clermont-Ferrand şehrindeki translohr sisteminin havai hattında 750 V DC kullanılmaktadır [3]. Bunun yanı sıra İtalya'nın Padua kentinde tarihi bir alandan geçen araçların dokuyu bozmaması için katener hattı inşa edilmemiş ve araçlar bu kısa mesafeyi havai hat yerine bataryalardan aldığı enerjiyle geçebilecek şekilde tasarlanmıştır [3].



Şekil4.Translohr cer motorları [4]

Translohr araçlarını tasarımsal açıdan geleneksel tramvaylardan ayıran en önemli fark tekerlek yapısı ve kendine has bojileridir. Bu yapının bazı dezavantajları olsa da özellikle eğimli kent coğrafyalarında önemli avantajlar sağlamaktadır. Araçların boji yapıları ve yerleşimleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil5.Bojilerin araç gövdesi üzerindeki yerleşimi [3]

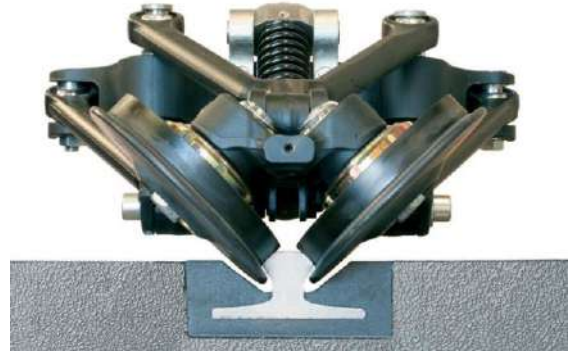
2.2 Tekerlekler ve Boji Yapısı

Demiryollarındaki diğer toplu taşıma araçlarında olduğu gibi translohr araçları da kılavuzlu hareket yapması sebebiyle bir serbestlik dereceli hareket mekanizmasına sahiptir. Yani tipik bir demiryolu aracı gibi translohr aracı da yol tarafından yönlendirilir. Şekil 6'da araca özel yapıda tasarlanmış boji gösterilmiştir. Sistemde ama taşıyıcı olarak lastik tekerlekler kullanılmaktadır. Dolayısıyla dikey ve yataydaki yüklerin yola aktarılması otobüslerin yol tutuşuyla benzer yapıda olan lastik tekerlekler aracılığıyla gerçekleşir. Süspansiyon sistemleri, frenler ve tahrik sistemleri de tekerlek sistemine entegre durumdadır [2]. Ayrıca lastik tekerlek kullanımı; tıpkı karayolu araçlarındaki gibi frenlemelerde ABS sisteminin kullanımını mümkün kılmaktadır. [5]



Şekil6.Translohr bojisi [3]

Araç bojisinin sağ ve sol lastik tekerleklerinin tam orta bölümünde, aracı geleneksel demiryolu araçlarına göre sıradışı bir şekilde kılavuzlayan çelik tekerlek grubu bulunmaktadır. Kılavuzlama tek bir rayla yapılır ve bu rayı iki adet çelik tekerlek kavrar. Bu tekerlekler "V" şeklinde ve karşılıklı olarak 45° açı yapacak şekilde konumlandırılmış olup kendine özgü süspansiyon sistemiyle araç gövdesine irtibatlandırılmıştır [2]. Kılavuz tekerleklerin temel işlevi, hareket yönünü merkezdeki raydan sağlayarak lastik tekerlekli bojilere iletmektir. Şekil 7'de translohr sisteminin bojisindeki çelik tekerlek yapısı ve ray kesiti gösterilmiştir.



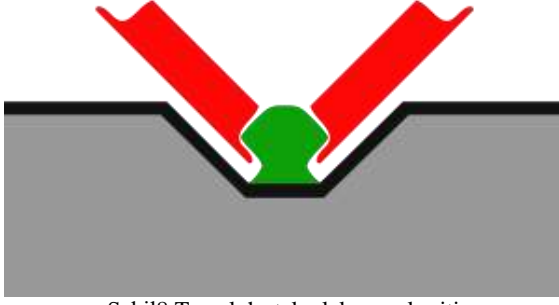
Şekil7.Translohr çelik tekerlek takımı ve ray kesiti [5]

2.3 Raylar, Makaslar

Translohr rayı geleneksel demiryolu raylarından oldukça farklı yapıdadır. Sistemde hareket doğrultusunda uzanan tek sıra ray bulunmaktadır. Geleneksel demiryollarında iki paralel rayı hat boyunca döşemek daha zor ve karmaşıktır. Ekartman ölçülerinin uygunluğu da klasik raylı sistem araçlarında oldukça önemlidir.

Şekil 8'deki translohr araçlarının kullandığı ray - tekerlek kesiti incelendiğinde ray mantarının sağ ve sol yüzeylerinin karşılıklı olarak eğimli olduğu görülmektedir. "V" şeklinde 45°lik açı yapan kılavuz tekerlekler bu eğimli yüzeylerde yuvarlanma hareketi yapmaktadır. Tekerlek bodenleri ise yuvarlanma yüzeyinin tam zıt

yönündeki ray eğimlerinin üzerinde kayma hareketi yaparak aracı yörlüğe tutmaktadır.



Şekil8. Translohr tekerlek - ray kesiti

Translohr sistemindeki ulaşım ağlarında görülen makas yapıları da klasik demiryolu makaslarından çok daha basit mekanizmaya sahiptir. Sistemde herhangi bir ekartman ölçüsü sınırlaması olmaması ve tek ray kullanımı sebebiyle mevcut rayın yön değişecek ray doğrultusundaki basit bir hareketi ile makas değişimi kolaylıkla yapılabilmektedir. Ayrıca iki rayın birbiriyle kesiştiği alanlarda oluşturulmuş dairesel yapıdaki hareket mekanizması sayesinde de makas kontrolleri oldukça basit bir şekilde yapılmaktadır. Şekil 9' da translohr makas yapıları gösterilmiştir.



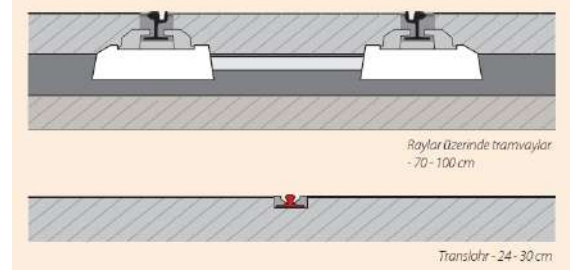
Şekil9. Translohr makas yapıları [3]

Kılavuzlu harekette araçların tek ray üzerinden dönüş sağlaması ve lastik tekerleklerin dönüşlerde sağlamış olduğu esneklik sebebiyle makas geçişleri çok daha kolay yapılabilmektedir. Bu sayede sistem; araçların minimum 10,5 m'lik yarıçaptaki kurp geçişlerine imkan verir [5]. Bu değer, geleneksel tramvaylarda neredeyse 2 kat daha fazladır.

2.4 Karayolu

Geleneksel tramvay yolları; alt katmandaki platformun inşası, ray tabanının oluşturulması, traverslerin veya bağlantı noktalarının oluşturulması, iki paralel rayın ekartmana uygun ölçülerde yerleştirilmesi, tramvay yolundaki beton, kaldırım, çim vb. yüzey kaplamalarının yapılması gibi süreçlerden oluşmaktadır. Sistemin altyapısı tamamlandığında inşa edilmesi gereken tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 0,7 ile 1 m aralığındadır [5]. Ancak translohr hattının inşası, geleneksel tramvaylara göre oldukça basit ve ucuzdur. Çünkü translohr sisteminin kurulmasında bu denli kalın

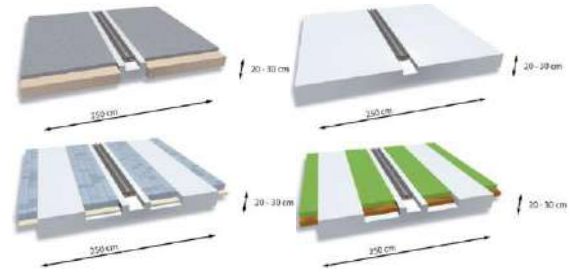
tabakaya ihtiyaç duyulmaz. Tabaka kalınlığı 0,3 m seviyelerindedir [5]. Geleneksel tramvaylardaki çelik tekerlekler çok küçük bir temas alanına ihtiyaç duydukları için yüksek basınca maruz kalırlar ve dayanıklı bir altyapıya olan ihtiyaç, tabaka kalınlığını artırmaktadır. Fakat lastik tekerlekli translohr sisteminde, tekerleklerin kapladığı alanın fazlalığı sebebiyle yola uygulanan basınç azalmakta ve bu da altyapıdaki tabakanın kalınlığını düşürerek maliyetini azaltmaktadır. Tramvay ve translohr sistemin altyapı tabakasının şematik gösterimi Şekil 10'da belirtilmiştir.



Şekil10. Tramvay - translohr altyapı tabaka kalınlıkları [6]

Translohr araçlar kılavuz raylarına bağlı olarak hareket etmeleri sebebiyle bir serbestlik dereceli hareket yaparlar ve buna bağlı olarak lastik tekerlekleri sürekli olarak asfalt ya da beton yoldaki aynı yüzey üzerinde yuvarlanma hareketi gerçekleştirir. Bu duruma bağlı olarak yol geometrisinde çökmeler oluşabilmektedir ve yol bakım maliyetlerinde artışlar görülebilmektedir. Ayrıca bozuk yol geometrisinden dolayı zamanla lastik aşınmalarına bağlı olarak lastik değiştirme maliyetleri ile karşılaşmak olasıdır.

Translohr sisteminde görsel etkiyi iyileştirici ve güzergahtaki ortama uyum sağlayıcı farklı kombinasyonlarda hat inşa etmek mümkündür. Geleneksel tramvaylardaki gibi asfalt, beton, parke taş ve çim kombinasyonları yapılabilir. Bu durum Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil11. Translohr hattı inşa kombinasyonları [5]

3. TRANSLOHR SİSTEMİ ALTYAPISI

3.1 Tutunma ve Eğim Tırmanma

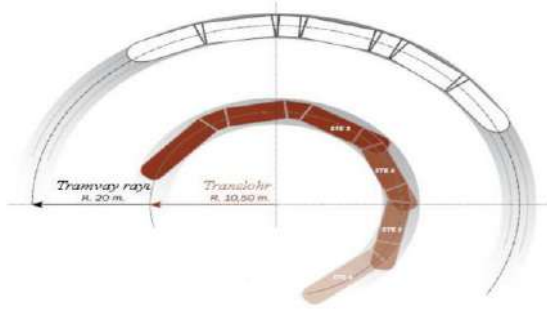
Translohr araçlarının lastik tekerlek kullanmaları sebebiyle klasik demiryolu araçlarına göre yol yüzeyine daha iyi tutunma sağlanmaktadır. Çelik

tekerlekler, çelik raylar üzerinde rahat bir şekilde kaymaktadır. Ancak lastik tekerlekler asfalt yüzeyi iyi bir şekilde kavrar. Bu yüzden translohr araçlar, çelik tekerleklere sahip tramvaylara göre frenleme mesafeleri bakımından büyük avantaj sağlar. Lastiklerin yolu tutuşu sayesinde frenleme anında daha kolay durdurulabilmektedir. Tutunmanın iyi seviyede olmasının diğer bir etkisi ise eğim tırmanma kabiliyetinde görülmektedir. Translohr araçlarda, klasik tramvaylara göre daha dik eğimleri aşabilmek mümkün hale gelir. Bu durum, topografik yapısı eğimli olan kentlerde raylı sistem kullanılabilirliğini mümkün kılmaktadır.

Lastik tekerlekler ve çelik tekerleklerin yol tutuşlarına etki eden en önemli faktör, tekerleklerin yuvarlanma dirençleridir. Lastik tekerleklerin yuvarlanma dirençleri, çelik tekerleklerden yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu durum incelendiğinde geleneksel tramvaylar, lastik tekerlekli bu tramvaylardan çok daha ekonomik olmaktadır. Çünkü lastik tekerlekteki yuvarlanma direncinin 10 kata kadar fazla oluşu, tonaj başına enerji tüketimini artıran bir etmendir.

3.2 Dönüş Yarıçapı ve Arazi Doluluk Oranı

Lastik tekerlekli tramvayların dönüş yarıçapları, geleneksel tramvaylara göre çok düşük seviyededir. Klasik tramvayların dönüş yarıçapı yaklaşık 20 m seviyelerindeyken, translohrda bu değer 10,5 m seviyelerindedir (Şekil 12.).

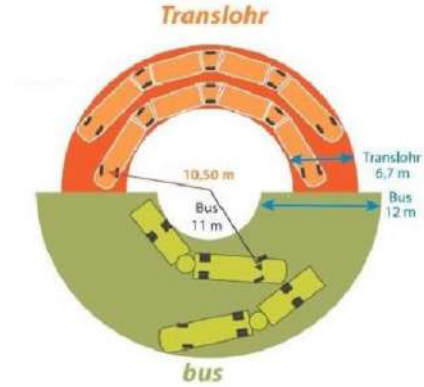


Şekil12. Tramvay ve translohr karp yarıçapları [7]

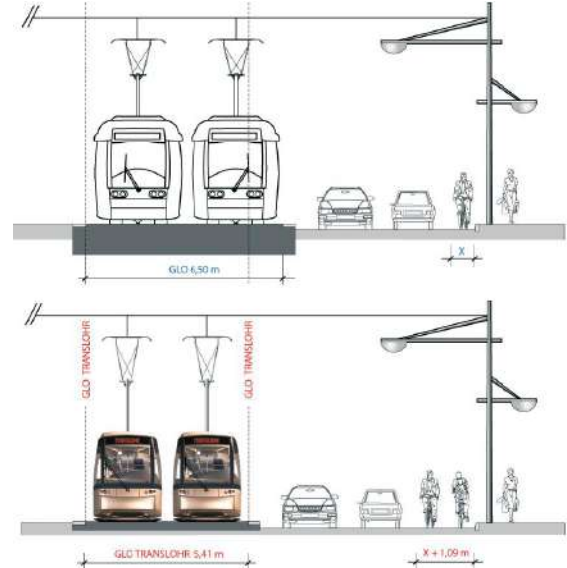
Şehir içi köprük otobüs kullanımında virajlardaki ihtiyaç duyulan dönüş alanı, manevra kabiliyetindeki sınırlama sebebiyle çok fazladır. Translohr araçların kılavuzlu hareketi ve lastik tekerleklerin manevralardaki esnekliğinin bir arada kullanılmasıyla aracın şehir caddelerindeki kapladığı alanı düşmektedir. Bu durum Şekil 13'te gösterilmiştir.

Çift yönlü çalıştırılan tramvay ve köprük otobüs sistemlerinde de arazi şeridinin genişlikleri translohr sistemlere göre çok fazladır. Çift yönlü çalışan tramvay ve köprük otobüsler için arazi şeridi genişliği yaklaşık olarak 6,5 - 7 m

seviyelerinde iken translohr sisteminde bu değer 5,41 m seviyelerindedir (Şekil 14.). Yani kentlerdeki cadde ve sokaklarda, geleneksel tramvaylara göre yaklaşık %20 oranında daha az yer kaplamaktadır.



Şekil13. Translohr - köprük otobüs manevra kabiliyeti [3]



Şekil14. Tramvay ve translohr arazi doluluk oranı [6]

Dar kurplardaki geçiş esnekliği, cadde üzerindeki kaplanan alanın azlığı, dönüşlerdeki aracın gabarisinin çok az yer kaplaması gibi durumlar, araç bakım - onarım depolarında da arazi kullanımını çok az boyutlara getirmektedir. Translohr aracın üretici firma verilerinde; 39 m uzunluğundaki 20 araçtan oluşan filonun depo alanlarının yanı sıra bakım - onarım alanları, personel tesisleri, ofisler vb. alanlarla beraber 10.000 m² alan kaplarken aynı sayıdaki geleneksel tramvayın depolanması ve bakım tesisleri için gereken alan 25.000 m² seviyelerindedir [6].

4. TRANSLOHR SİSTEMİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Translohr sisteminin geleneksel tramvaylara göre avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de belirtilmiştir

Tablo 1. Translohr sisteminin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
* Eğimi yüksek kentlerde işletilebilir olması	* Aracın lastik tekerleklerinin sürekli olarak aynı güzergahı kullanması sebebiyle yol geometrisinde olabilecek olası çökmeler
* Frenleme mesafelerinin geleneksel tramvaylara göre iyi seviyede olması ve ABS fren sistemlerinin entegre edilebilmesi	* Lastik değiştirme ihtiyacı sebebiyle maliyet artışı
* Kurp yarıçapındaki dönüş performansının klasik tramvaylara göre 2 kat daha fazla olması	* Zor hava koşullarında klasik tramvaylara göre performanslarının ve arıza durumlarının belirsizlikleri
* Çift yönlü olarak çalıştırıldığında cadde ve sokaklarda körüklü otobüs ve geleneksel tramvaylara göre yaklaşık %20 daha az yer kaplaması	* Yapılan testlerde geleneksel tramvaylara göre deray olma riskinin fazlalığı
* Altyapı inşasının daha basit ve ekonomik olmasıRay ve makas yapılarının basit olması	* Lastik tekerleklerin yuvarlanma dirençlerindeki yükseklik sebebiyle klasik tramvaylara göre daha fazla enerji tüketmesi
* Bakım – onarım depolarındaki araç parklarında az yer kaplamaları	

sebebiyle geleneksel tramvay sistemlerinin kullanımlarının daha uygun olduğu yorumu yapılabilir. Ancak kentlerdeki cadde ve sokakların dar olması durumunda translohr sisteminin dinamik gabarisinin daha az yer kapladığı ve manevra performanslarının da çok iyi olduğu unutulmamalıdır.

5. REFERANSLAR

- [1] M. E. Arı ve İ. Esen, “Design of a Metro Train and Structural Analysis of the Metro Vehicle Body by Finite Element Method”, *Railway Engineering*, sy 15, ss. 30-45, Oca. 2022, doi: 10.47072/demiryolu.1018663.
- [2] M. E. Arı, “Kent İçi Raylı Sistem Araçlarının Tasarım Kriterleri Örnek Bir Metro Tasarımı Araç Gövdesinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Aerodinamik ve Statik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, 2021.
- [3] C. Kraśkiewicz, “Infrastruktura i tabor w systemie miejskiego transportu TransLohr”, *Logistyka*, 2014.
- [4] “Journée de coopération franco-chinoise pour les transports intelligents et durables en Chine”. À l’occasion du 14ème ITS World Congress, 2007.
- [5] “Tramways on tyres Translohr STE & SP Prime”. NTL. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.newtl.com
- [6] “Transport systems comparison trams on tires / trams on rails”. NTL. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.newtl.com
- [7] F. M. Aydın, “Geleneksel tramvay sistemi ve lastik tekerlekli tramvay (translohr) sisteminin karşılaştırılarak Erzincan için uygulanabilirliğinin araştırılması”, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, 2021.

5. SONUÇ

Translohr sistemi; klasik tramvay sisteminin enerji beslemesi, kılavuzlu hareket sağlaması gibi özelliklerinin yanı sıra alçak tabanlı işletilebilirlik sağlaması yönüyle tipik bir demiryolu aracı gibi olsa da; lastik tekerlek kullanımına bağlı olarak eğim tırmanma kabiliyeti ve frenleme performansındaki artış sebebiyle de otobüs sistemlerine benzemektedir. Sistemin avantaj ve dezavantajları incelendiğinde topografik yapısı klasik raylı sistemler için uygun olmayan kentlerdeki kullanımları makul olabilir seviyededir. Ancak kentlerin coğrafi koşullarının düz veya düşük eğime sahip olması durumunda; translohr sisteminin altyapı sistemlerindeki sık bozulmaları, deray riskindeki fazlalıkları, enerji tüketiminin fazla olması ve yaygınlığı az olan bir sistem oluşu

6. ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Emin ARI, 1993 yılında Sivas’ta doğdu. İlköğretimi Sivas’ta, ortaöğretimi Çanakkale’de tamamladı. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Raylı Sistemler Mühendisliği Programından mezun oldu. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı yüksek lisans programından mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2022 yılı itibarıyla Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Makinistliği Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Kent içi raylı sistemler, raylı sistem araç teknolojileri, demiryolu araç tasarımları, sonlu elemanlar analizi üzerine çalışmalar yürütmektedir.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

KGK SİSTEMLERİ ARIZA BİLDİRİM SÜRELERİNDE İYİLEŞTİRME

İsmail Timur Aslan¹ Abdullah Ayaz² Furkan Karakuş³ Selim Gülle⁴ Ferit Deniz⁵ Orhan Aslan⁶

^{1,2,3,4,5,6}Metro İstanbul A.Ş. Yavuz Selim Mahallesi Metro Sokak No: 3 Esenler/İstanbul · 34220
TÜRKİYE

Tel: 0 (850) 252 88 00

¹E-posta: ismailtimur.aslan@metro.istanbul ²E-posta: abdullah.ayaz@metro.istanbul

³E-posta: furkan.karakuş@metro.istanbul

⁴E-posta: selim.gulle@metro.istanbul ⁵E-posta: ferit.deniz@metro.istanbul

⁶E-posta: orhan.aslan@metro.istanbul

ÖZET

Günümüz modern şehirlerinde, teknolojik ilerlemeler, çevresel endişeler ve enerji bilinci, elektrik tabanlı raylı ulaşım ağlarının genişletilmesini yönlendiren temel faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu çalışma, elektrik tabanlı raylı ulaşımın sürdürülebilir bir ulaşım alternatifi olarak neden bu kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Elektrik tabanlı raylı ulaşımın tercih edilmesindeki anahtar faktörlerden biri, yolcu konforu kavramıdır ve bu konforun temel bileşenlerinden biri enerji sürekliliğidir.

Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde, enerji kesintilerine karşı koruma sağlayan kesintisiz güç kaynakları (KGK), sistemin sürekli ve güvenilir bir şekilde işlemlerini sürdürmesi açısından hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, KGK sistemlerinde meydana gelen arızaların giderilme süreleri ile teknik birime bildirilme süreleri arasındaki ilişki üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmanın bir parçası olarak, Metro İstanbul'un 7 hattında (4 metro, 3 tramvay hattı) gerçekleştirilen bir analizde, 372 örneklem üzerinden elde edilen verilere dayanarak, 42 arıza durumunda hiçbir geri dönüş yapılmadığı ve 68 arıza durumunda ise geri dönüş süresinin 5 dakikadan fazla olduğu tespit edilmiştir. En uzun geri dönüş süresi 101 dakika olarak kaydedilmiştir.

Veriler, Minitab bilgisayar yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve ortalama geri dönüş süresinin 7 dakika 46 saniye olduğu belirlenmiştir. Hedef performans seviyesi olan 5 dakika altında bir ortalama sağlanabilmesi amacıyla, mühendislik çalışmaları yürütülmüş ve IoT teknolojisi kullanılarak arızaların otomatik olarak SAP üzerinden bildirim açma, e-posta ve SMS ile bildirim gönderme işlemlerinin gerçekleştirilebileceği bir pilot uygulama M4

Kadıköy Sabiha Gökçen Metro hattında başarıyla test edilmiştir. Bu gelişme, KGK sistemlerinde yaşanan arızaların giderilme sürelerini önemli ölçüde kısaltarak yolcu güvenliğini artırmayı ve ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma elektrik tabanlı raylı ulaşımın önemini vurgulamakta ve ulaşım sistemlerinin güvenilirliğini artırmak için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Ayrıca, düşük maliyetli entegrasyon yöntemleri ile insan faktörünün etkilerini azaltarak gelecekteki projeler için ilham kaynağı olabilir.

KISALTMALAR DİZİNİ

KGK: Kesintisiz Güç Kaynakları

IoT: Nesnelerin İnterneti

SAP: Systems, Applications, and Products (Sistemler, Uygulamalar ve Ürünler)

DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve, Control (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme, Kontrol)

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition (Denetim ve Veri Toplama)

ANOVA: Analysis of Variance (Varyans Analizi)

BSGE: Brainstorming, Sorting, Grouping, and Evaluation (Beyin Fırtınası, Sıralama, Gruplandırma ve Değerlendirme)

UPS: Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)

PYP: Performans Yönetimi Planı

Anahtar sözcükler: KGK Sistemleri, Arıza Sürelerinin İyileştirilmesi, IoT çözümler, Yalın 6 Sigma Projesi

1. GİRİŞ

Günümüzde, şehirlerin sürdürülebilirlik ve çevresel bilincin artması gibi faktörlere ayak uydurması, ulaşım sistemlerinin dönüşümünde büyük bir dönemi işaret etmektedir. Teknolojik gelişmeler, enerji alanındaki dönüşüm ve çevresel kaygılar, fosil yakıtlarla çalışan ulaşım sistemlerinin yerini elektrik tabanlı raylı ulaşım ağlarının almasını hızlandırmıştır. Bu dönüşüm, modern şehirlerin ulaşım politikalarını derinden etkilemiş ve bu alandaki yeniliklere ivme kazandırmıştır.

Elektrik tabanlı raylı ulaşım sistemleri, çevreci bir ulaşım alternatifi olarak kabul edilmekte ve çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu sistemlerin cazibesinin anahtarı, yolcu konforunu sağlama kapasiteleridir. Elektrik tabanlı raylı ulaşımın başarısı, yolcuların konforlu ve kesintisiz bir seyahat deneyimi yaşamalarına dayanmaktadır. Bu konforun temel taşı, enerji sürekliliğidir.

Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde enerji kesintileri, sistemin düzgün işlemini tehdit eden kritik bir konudur. Bu tür kesintilerin önüne geçmek ve yolcu konforunu korumak amacıyla kesintisiz güç kaynakları (KGK) önemli bir role sahiptir. Kesintisiz güç kaynakları (KGK) kritik yüklerin kaliteli ve kesintisiz bir enerji ile beslenmesinde yaygınca kullanılan cihazlardır.[1] KGK sistemleri, enerji kesintileri sırasında sistemin işlevini sürdürebilmesini sağlayarak istasyonlardaki dönüş bilet sistemleri, sinyalizasyon ve iletişim gibi hayati sistemlerin aksaksız çalışmasını temin eder. Bu nedenle, KGK sistemlerinin sürekli ve güvenilir bir şekilde işlemesi işletmeler ve yolcu güvenliği açısından vazgeçilmezdir.

Araştırmanın temel amacı, KGK sistemlerinde meydana gelen arızaların giderilme süreleri ile bu arızaların teknik birime bildirilme süreleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Mevcut uygulamalarda KGK arızaları manuel olarak bildirilmekte ve teknik ekibe iletilmektedir. Araştırma, Metro İstanbul'un 7 hattında (4 metro, 3 tramvay hattı) bilgileriyle [2] gerçekleştirilen bir çalışma ile, arıza bildirim sürelerini ve yöntemlerini değerlendirmektedir. Ayrıca, bu araştırma, günlük yaşantımızda karşılaştığımız problemleri, yazılım uygulamalarının, günlük objelerimizi ve internetin bağlanabilirliğini kullanarak çözdüğü devrimsel bir teknoloji olarak tanımlanan [5] IoT teknolojisi ile otomatik bildirim süreçlerinin geliştirilmesi ve pilot bir uygulama ile test edilmesi yoluyla KGK sistemi arızalarının hızlı bir şekilde çözüme kavuşturulmasını amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, elektrik tabanlı raylı ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği için önemli katkılar sağlayabilir ve benzer projelerin ilham kaynağı olabilir. Ayrıca,

KGK sistemlerindeki insan faktörünün etkilerini en aza indirmeyi hedefleyen ucuz maliyetli entegrasyon çözümlerine yönelik bir model sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışma, modern şehirlerin ulaşım dönüşümüne katkıda bulunan önemli bir örneği temsil etmektedir.

2. PROJE KAPSAMI

Kesintisiz Güç Kaynağı (KGK) sistemlerinde meydana gelebilecek arızaların bildirim süresinin uzunluğu, işletme yönetimi ve sistem güvenliği açısından ciddi bir risk faktörü oluşturmaktadır. Metro İstanbul M4 Kadıköy Sabiha Gökçen Metro hattı KGK sistemlerinde oluşabilecek arızaların hızlı bir şekilde teşhis edilip ilgililere bildirilmesi, arıza müdahale süresinin kısaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, arıza bildirim süresinin 5 dakikanın altına indirilmesi hedeflenmektedir.

Yalın ve Altı Sigma, endüstrilerin performansını ve kalite kontrolünü artırmak amacıyla üretim sistemlerinde kullanılmak üzere yıllar boyunca çeşitli araçlar, yaklaşımlar ve kavramlar geliştirmiştir. [3] Bu yöntemin temel amacı, bir işin daha iyi, daha hızlı ve daha düşük maliyetle yapılabilmesi için süreçlerin nasıl geliştirilmesi gerektiğine ilişkin yeni bilgilerin işletmeye kazandırılmasıdır. Altı sigma, üretim, insan kaynakları, sipariş alımı ya da teknolojik gelişmeler gibi işletmenin her alanında kullanılabilir. [4] Proje, 6 sigma (Six Sigma) felsefesi çerçevesinde DMAIC (Define-Tanımlama, Measure-Ölçme, Analyze-Analiz, Improve-İyileştirme, Control-Kontrol) metodolojisinin beş aşamasını içerecek şekilde tasarlanmıştır.

Proje kapsamında, SAP bildirimlerinin oluşturulması ve bu bildirimlerin ilgililere e-posta ve SMS yoluyla iletilmesi için Bilgi Sistemleri Müdürlüğü ile işbirliği yapılmış, bu süreçte etkili bir diyalog ve işbirliği ortamı oluşturularak iyileştirme aşaması başarıyla gerçekleştirilmiştir

3. FAZ ÖZETLERİ VE KİLİT ÇIKTILAR

Proje tasarlanırken, 6 Sigma DMAIC felsefesi kullanılarak PYP öğeleri oluşturulmuştur. PYP öğeleri, bir projenin altı sigma DMAIC felsefesini temel alarak tasarlandığında, projenin başarıyla tamamlanması için dikkate alınması gereken kritik bileşenleri ifade eder.

3.1 Tanımlama

Tanımlama fazı kapsamında Projede ön planlamalar gerçekleştirilmiştir. Bu planlamalar ve çalışmalar

yapılırken birçok analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlar;

- SIPOC Analizi (Şekil 1)
- Macro Harita Oluşturulması (Şekil 2)
- Proje Paydaş Etkisi Grafiği
- İletişim Planı
- 5N1K Problem Cümlesi

Tedarikçiler	Girdiler	Süreç	Çıktılar	Müşteriler
S	I	P	O	C
TEKNİK ÇALIŞI	YERİNDİRİLMİŞ, SAKLI, YERİNDİRİLMİŞ, YENİ KUTUP VE İZLEMLERİ	ARIZA DURUMUNUN OLUŞMASI VE FİNİŞİNE KADAR SÜRESİ	ARIZA KUDURUMUNUN SÜRESİNİN ADAPTİFİNGİ	İLETİŞİM HİNDİSİ
BULGİ SÜRESİ HİNDİSİ		İŞİ (SÜRESİ SÜRESİ)	ARIZA OLUŞTURULMASI SÜRESİNİN ADAPTİFİNGİ	
SATIN ALMA HİNDİSİ		SİMA HİNDİSİ SÜRESİ	ARIZANIN GİDERİLMESİ	

Şekil 1: SIPOC Analizi



Şekil 2: Macro Harita

3.2 Ölçüm

SAP ERP programımızda 2021 yılı Şubat – Aralık ayları arası açılan 71203 adet ZA Bildirimleri incelenmiş ve 7208 adedinin Bildirim zamanı ile Arızanın başlangıç zamanında farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu şekilde farklı bildirimler olması nedeni ile GEMBA yaparak sahada sanal alarmlar üretilip geri bildirimlerin nasıl olacağı araştırılmasına ve örneklem alınmasına karar verilmiştir.

Metro İstanbul bünyesindeki M1, M2, M3 ve M4 metro hatları ile T1, T4, T5 tramvay hatlarında ilgili örneklem çalışması yapılması planlandı ve SCADA Operatörlerinin arıza bildirim süreçlerini ne kadar süre ile gerçekleştirdiği gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında 372 adet örneklem alınmıştır. Bu örneklem 68 adet arızaya 5 dk'nın üstünde geri dönüş yapıldığı belirlenmiştir.

KGK Sistemleri kritik Sistemleri enerjilendirdiği için oluşan arızayı bildirmek çok önemlidir. Arıza oluşumdan sonra 1 saat için ilgili Teknik ekip arızalı KGK ekipmanının başına gitmeli ve manuel bypass'a alarak bağlı olduğu kritik ekipmanın oluşabilecek enerji kaybına engel olmalıdır.

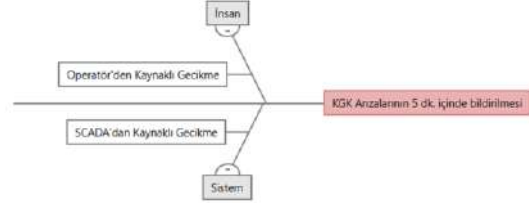
İlgili çalışmaya her hatta 3 elektrik ustası ve 1 mühendis, 3 elektronik ustası ve 1 mühendis

katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Elektronik Birimi SCADA Sisteminde belirlenen UPS'lerde sanal alarmlar oluşturmuş, Elektrik ekibi de Kumanda Merkezinden bildirim alır almaz not etmiş sahaya ekip yönlendirmiştir.

Yapılan bu çalışmada İşletme Biriminin ve İşletme Birimine bağlı olan SCADA Operatörlerinin haberi olmadan gizli bir şekilde yapılmıştır. Bu sayede İşletme Birimi gerçek bir Arıza olduğunu düşünmüş ve buna göre normal zamanlarda nasıl davranıyorsa aynı şekilde davranmaları sağlanmıştır.

3.3 Analiz

Analiz fazında sorunun Kök neden analizi yapılmış olup sistemsel veya operatör kaynaklı olması durumu incelenmiştir. Buna göre sistemsel olarak kullanılan SCADA sistemine oluşan tüm arızaların operatör ekranına düştüğü görülmüştür. (Şekil 3)



Şekil 3: Balık Kılıçlı Analizi

Nötr ve alternatif hipotez olarak yapılan değerlendirmede ise operatörlerin KGK arıza bildirimlerinin operatörlerin 5 dk altında bildirip bildirmediği incelenmiştir. Örneklem ölçüm değerlerinin Minitab programında ANOVA testi üzerinde yapılan analizinde $H_0: 0,002 \geq 0,05$ $H_a: 0,002 < 0,05$ olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Hat	6	7704	1283,9	3,63	0,002
Error	142	50196	353,5		
Total	148	57900			

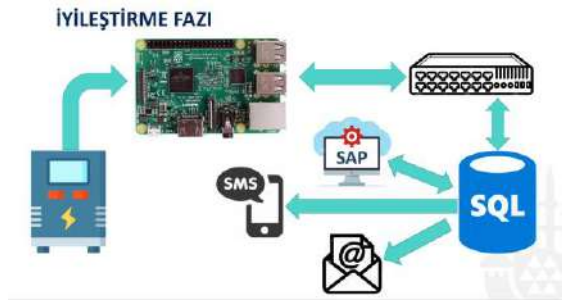
Şekil 4: ANOVA Testi

Yapılan örneklem ölçüm çalışmaları ile hafta içi ve hafta sonu gün içine dağılmış 5 farklı zaman diliminde alınmıştır. Ölçüm çalışması sonucunda toplam 362 adet örneklemde 5 dakikanın üstünde olan ve Tramvay hatlarında hiç cevap alınamayan KGK arıza bildirimleri meydana gelmiştir. Bildirim alınan örneklemelerin ortalaması 7:46 dakika olup

Hedef performans seviyesi olan 5 dakika altına çekilmesi için proje çalışması yapılmıştır.

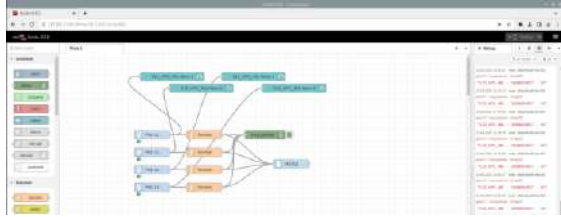
3.4 İyileştirme

Alternatif hipotezimiz olan SCADA operatörlerinden kaynaklı arızaların geç bildirilmesi veya hiç bildirilmemesinden yola çıkarak, KGK sistemlerinin mevcut izleme ve kontrol yazılımlarından bağımsız, ucuz maliyetlerle yapılabilecek entegrasyonla KGK ekipman ara yüzünün konuşurulması hedeflenmiştir. Fikirlerin netleştirilmesi için BSGE yöntemi uygulanmıştır. IoT çözümleri öne çıkmıştır. (Şekil 5)



Şekil 5: IoT Çözümlü Sistem Tasarımı

IoT çözümleri ile SCADA yazılımı ve SCADA operatörlerinden bağımsız bir sistem oluşturularak saha testleri yapılmıştır. (Şekil 6)



Şekil 6: RaspberryPi kartını NodeRed Üzerinden Programlama

3.5 Kontrol

İyileştirme sürecinde çözüm uygulaması olarak belirlediğimiz uygulamayı M4 hattımızda hayata geçirerek kontrol testleri Teknik ekiple birlikte yapılmaktadır. Yaptığımız çözüm uygulamasında KGK sistemlerinde arıza olduğu andan itibaren Arıza bildirimlerimiz ilgili tüm kişilere mail/SMS/SAP İletişim kanallarıyla aktarıldığı tespit edilmiş ve proje hedefimiz olan 5 dakikanın altında olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 7) Proje uygulamasının kontrol testleri aşamasında en az 50 adet sanal arıza alarmı oluşturularak ilgili İletişim kanalları vasıtasıyla arıza bildiriminin gerçekleştirildiği gözlemlendi.

ID	Tarih	İşlem	Tarih	Tarih	İşlem
1001P1402	04.07.2022	ARIZI GEREKLİME DÜŞÜK	04.07.2022	11:06:05	ERSGPO
1001P1403	04.07.2022	ARIZI GEREKLİME DÜŞÜK	04.07.2022	11:06:06	ERSGPO
1001P1405	04.07.2022	BYPASS KAPATILDI	04.07.2022	11:07:04	ERSGPO
1001P1407	04.07.2022	ARIZI GEREKLİME DÜŞÜK	04.07.2022	11:08:04	ERSGPO
1001P1411	04.07.2022	BESLEME AKLIYANI	04.07.2022	11:12:03	ERSGPO
1001P1438	04.07.2022	GENEL ARIZA	04.07.2022	12:22:03	ERSGPO

Şekil 7: Kontrol İşlemleri (Mail,SMS,SAP)

Çözüm uygulamamız; nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinden faydalanılarak yapılmış olup arıza bildiriminde insan ara yüzü ortadan kaldırılmış ve hata payı minimize edilmiştir.

3. SONUÇ

Bu çalışma, elektrik tabanlı raylı ulaşım sistemlerinin enerji sürekliliği açısından kritik bir öneme sahip olduğunu vurgulamıştır. Yalnız 6 Sigma metodolojisi altında yürütülen araştırma, beş temel aşama olan tanımlama, ölçüm, analiz, iyileştirme ve kontrol aşamalarını içermiştir.

Tanımlama aşamasında, enerji kesintilerine dayalı sorunlar detaylı bir şekilde incelenmiş, bu sorunların analizi için gerekli metrikler oluşturulmuş ve paydaş ilişkileri tanımlanmıştır. Ayrıca, tanımlanan riskler ve bu risklere karşı alınacak önlemler Proje Başvuru Formu'nda yer almıştır.

Ölçüm aşamasında, tüm yedi hat üzerinde sanal arızalar oluşturularak homojen bir veri seti oluşturulmuş ve tüm hatlar ayrıntılı bir şekilde gözden geçirilmiştir.

Analiz aşamasında, bilimsel yöntemler kullanılarak toplanan veriler anlamlı bilgilere dönüştürülmüş ve bu sayede çözüm stratejileri geliştirilmiştir.

İyileştirme aşamasında, ekip olarak belirlenen en uygun çözüm stratejisi sahada pilot uygulamada başarıyla test edilmiş ve uygulama sırasında geliştirmeler yapılmıştır.

Son olarak, kontrol aşamasında, uygulama ölçüm aşamasında olduğu gibi örneklerle alınarak sonuçlar titizlikle incelenmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları, elektrik tabanlı raylı ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Operatörden bağımsız otomatik bildirimler, insan faktörünün etkisini azaltarak sistemlerin daha güvenilir hale gelmesine olanak sağlamıştır. Bu çalışma, gelecekteki benzer

projelerin rehberliğini yapabilir ve elektrikli raylı ulaşım sistemlerinin etkin yönetimine katkı sağlayabilir.

5. KAYNAKÇA

[1] Aygül, Mehmet Ali. Çok seviyeli eviriciler ve kesintisiz güç kaynakları. MS thesis. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[2] Metro İstanbul A.Ş. Resmi İnternet Sitesi. <https://www.metro.istanbul/>

[3] Eldeeb, Abdelaziz. Adoption of Lean Six Sigma Using Minitab Software to Improve Industries Performance. Diss. Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2023.

[4] DOĞAN Selen, DEMİRAL Özge, “Yalın Yöntemler ve Altı Sigmayı İçeren Bütünleşik Bir Yaklaşım: Yalın Altı Sigma”, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt:22, Sayı:1, s.344, Ocak 2008.

[5] Özvural, G. (2015). Nesnelerin İnterneti İçin Sistem Tasarımı Ve Kablosuz Kişisel Alan Ağlarında Ağ Kodlama Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

4. ÖZGEÇMİŞ

İsmail Timur Aslan

2013 yılından bu yana Elektronik Haberleşme Mühendisi olarak Elektrik Mühendisleri Odası'na (EMO) kayıtlıyım. EMO Oda Sicil No: 54792.

2014 yılından itibaren Metro İstanbul A.Ş.'de görev aldım ve sırasıyla Bakım Mühendisi ve Uzman Bakım Mühendisi pozisyonlarında çalıştım. Şu an itibarıyla Koordinasyon Şefi olarak görevime devam etmekteyim.

İngilizce ve Almanca dillerini aktif bir şekilde kullanabilmekteyim.

Evliyim ve 1 çocuk babasıyım.

Selim Gülle

2009 yılından bu yana Elektrik Mühendisi olarak Elektrik Mühendisleri Odası'na (EMO) kayıtlıyım. EMO Oda Sicil No: 43938.

2009 yılından bu yana Metro İstanbul A.Ş.'de görev almaktayım ve sırasıyla Bakım Mühendisi, Uzman Bakım Mühendisi, Elektrik-Elektronik Sis. Revizyon Şefi ve son olarak Elektrik Sis. Bakım Şefi pozisyonunda çalışmaktayım.

Furkan Karakuş

2012 yılından itibaren Elektrik Mühendisi olarak Elektrik Mühendisleri Odası'na (EMO) kayıtlıyım. EMO Oda Sicil No: 55095.

2009 yılından itibaren Metro İstanbul A.Ş.'de çeşitli görevleri yerine getirmekle beraber güncel olarak ARGE Merkezi Elektrik Sistemler Koordinatörü pozisyonunda çalışmaktayım.

Abdullah Ayaz

2009 yılından itibaren Elektrik Mühendisi olarak Elektrik Mühendisleri Odası'na (EMO) kayıtlıyım. EMO Oda Sicil No: 43936.

2009 yılından beri Metro İstanbul A.Ş.' de çalışıyorum. Bakım Mühendisi olarak başlayan mesleki serüvenim, Uzman Bakım Mühendisi olarak devam etti.

Ağustos 2018 tarihinde Şef pozisyonuna, Şubat 2021 tarihinde ise Müdür pozisyonuna atandım ve halen Elektronik Sistemler Bakım Müdürü pozisyonunda çalışmalarımı sürdürüyorum.

İyi derecede İngilizce ve başlangıç seviyesinde Almanca bilmekteyim.

Evliyim ve 2 çocuk babasıyım.

Orhan Aslan

2016 yılından beri EMO'ya kayıtlı Elektronik ve Haberleşme Mühendisiyim. EMO Oda Sicil No: 65282

2009 yılından beri Metro İstanbul A.Ş.'de sırasıyla Tekniker, Bakım Mühendisi, Uzman Bakım Mühendisi olarak çalıştım. 2021 yılı Haziran ayından itibaren Tramvay Elektronik Sistemler Bakım Şefi pozisyonunda çalışmaktayım.

Ferit Deniz

2007 yılından itibaren Elektrik Mühendisi olarak Elektrik Mühendisleri Odası'na (EMO) kayıtlıyım. EMO Oda Sicil No: 40076.

2009 yılından itibaren Metro İstanbul A.Ş.'de çeşitli görevleri yerine getirmekle beraber güncel olarak Esenler Elektrik Sistemler Bakım Şefi pozisyonunda çalışmaktayım.

TMMOB
Electrical Engineers, Civil Engineers, Mechanical Engineers
Congress and exhibition of rail systems
November 2023 02-03-04 / ESKİŞEHİR

RAMS ANALYSIS

Sara Stefanelli¹

¹ Z Lab Srl
Tel: +39 0442 41 02 80

Street Pisa, n. 7 Cerea (VR) Italy
E-Mail: info@zeta-lab.it

Abstract

The scope of the paper is to present the state of the art of the RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) Analysis in the Railway industry in comparison with other industries. The presentation will summarize the scope of the RAMS Analysis and the advantages for the Car Builders, for Rolling Stock and track side Subsystems suppliers to use these techniques, since the initial phases of the systems development. Then it will overview on the European standards and guidelines can be followed to perform the analysis.

RAM methods and technics used in Europe will be shown. A focus on the Safety Analysis will be performed.

1. INTRODUCTION

“RAMS Management” refers to a process which will enable the implementation of a consistent approach to the management of Reliability, Availability, Maintainability and Safety, denoted by the acronym RAMS. [5]

RAMS Management is applicable to any kind of technologically complex system, applicable to any kind of industry.

A lot of standards and guidelines details similar way to perform RAMS Analysis and to manage the RAMS process.

IEC (International Electrotechnical Commission) refers to this concept using an even more generic word: Dependability.

This paper focus on the RAMS Management and technics used in European railway industry.

2. RAILWAY 50126 RAMS PROCESS

2.1. CENELEC Overview

The European Electrotechnical Committee for Standardization (CENELEC) is one of three European Standardization Organizations, together with CEN (European Committee for Standardization) and ETSI (European Telecommunications Standards Institute), that have been officially recognized by the European Union (EU) and by the European Free Trade Association (EFTA) as being responsible for developing and defining voluntary standards at European level. It is an association that brings together the National Electrotechnical Committees of 34 European countries. [15]

Both Italy and Turkey are members.

CENELEC is organized in 89 Technical Bodies.

The Technical Committee CLC/TC 9X has the scope of Standardization of electrical and electronic systems, equipment and associated software for use in all railway applications, whether on vehicles or fixed installations, including urban transport. This includes in particular communication, information, supervision and control systems.

CLC/TC 9X published the main standard about Railway RAMS Process: CENELEC EN 50126.

The Subcommittee CLC/SC 9XA has the scope to deal with the standardization of railway communication, signalling and processing systems, taking into account the relevant safety requirements. CLC/SC 9XA published the main standards about the railway communication and signalling software and electronic system design (CENELEC EN 50128 [22] and CENELEC EN 50129 [23]).

2.2. RAMS Analysis in Railway Industry

EN 50126 forms part of the railway sector specific application of IEC 61508 [21]. Meeting the requirements in this European Standard together with the requirements of other suitable standards is sufficient to ensure that additional compliance to IEC 61508 does not need to be demonstrated.

With regard to safety, EN 50126-1 provides a Safety Management Process which is supported by guidance and methods described in EN 50126-2.

EN 50126-1 and EN 50126-2 are independent from the technology used. As far as safety is concerned, EN 50126 takes the perspective of safety with a functional approach.

This European Standard can be applied systematically by the railway duty holders and railway suppliers, throughout all phases of the life cycle of a railway application, to develop railway specific RAMS requirements and to achieve compliance with these requirements. The system-level approach developed by this European Standard facilitates assessment of the RAMS interactions between elements of railway applications even if they are of complex nature.

This European Standard promotes co-operation between the stakeholders of Railways in the achievement of an optimal combination of RAMS and cost for railway applications. Adoption of this European Standard will support the principles of the European Single Market and facilitate European railway inter-operability. [5]

The aim of European railway duty holders and of European railway industry is to develop compatible railway systems based on common standards.

CENELEC EN 50126 aims at introducing the application of a systematic RAMS management process in the railway sector. It delivers a systematic and coherent approach to RAMS applicable to all the railway application fields Command, Control and Signalling (Signalling), Rolling Stock and Electric power supply for Railways (Fixed Installations), [5], and specifically:

- to the specification and demonstration of RAMS for all railway applications and at all levels of such an application, as appropriate, from complete railway systems to major systems and to individual and combined subsystems and components within these major systems, including those containing software;
- at all relevant phases of the life cycle of an application;
- for use by railway duty holders and the railway suppliers.

The process defined by this European Standard assumes that railway duty holders and railway

suppliers have business-level policies addressing Quality, Performance and Safety. The approach defined in this standard is consistent with the application of quality management requirements contained within EN ISO 9001. [5]

EN 50126 has been published by CENELEC (European Electrotechnical Committee for Standardization), but the identical one published by IEC (International Electrotechnical Commission) exists.

2.3. Comparison with other Industries

IEC 61508 sets out a generic approach for all safety lifecycle activities for systems comprised of electrical and/or electronic and/or programmable electronic components (electrical/electronic/programmable electronic systems (E/E/PESs)) that are used to perform safety functions. This unified approach has been adopted in order that a rational and consistent technical policy be developed for all electrically-based safety related systems. A major objective is to facilitate the development of application sector standards. [21]

Further than IEC 61508, other standards define the rules on how to correctly implement/extend these minimum requirements to specific sectors.

EN 50126-1, EN 50126-2, EN 50128, EN 50129 comprise the railway sector equivalent of the EN 61508 series so far as Railway Communication, Signalling and Processing Systems are concerned. When compliance with these documents has been demonstrated, further evaluation of compliance with the EN 61508 series is not required. [23]

Follow some examples of Functional Safety Standards by sectors:

- ISO 13849 Machine Safety;
- IEC 61800-5-2 Electrical Drivers;
- IEC 61513 Nuclear Sector;
- EN 60601 Medica Devices;
- IEC 50156 Furnaces;
- IEC 61511 Process Industry;
- IEC 62061 Machinery;
- ISO 26262 Automotive;
- IEC 61131-6 PLC.

3. DEPENDABILITY INTERNATIONAL STANDARDS

3.1. IEC overview

Founded in 1906, the IEC (International Electrotechnical Commission) is the world's leading organization for the preparation and publication of international standards for all electrical, electronic and related technologies. [8]

IEC International Standards are essential for quality and risk management; they help researchers understand the value of innovation and allow manufacturers to produce products of consistent quality and performance. IEC International Standards are always used by technical experts; they are always voluntary and based on the international consensus of experts from many countries.

International standards also form the basis for testing and certification.[9]

Before a product can enter a market, it generally needs to be able to demonstrate to the buyer or regulator that it is safe and performs as promised in terms of energy efficiency, reliability, sustainability, and many other criteria. Conformity assessment provides the necessary proof, based on standards.[10]

Thousands of experts participate in IEC standardization work in IEC Technical Committees and SubCommittees (TC/SCs). They are chosen by their National Committee (NC) to share their technical expertise and represent the national requirements of industry, government, test & research laboratories, academia or user groups at the global level in the IEC.

Each TC defines its scope and area of activity. A TC can form one or more SCs depending on the extent of its work programme. Each SC defines its scope and reports directly to the parent TC. [11]

3.2. IEC "Dependability" Technical Committee

TC 56 is the Technical Committees to prepare international standards in the field of dependability, in all appropriate technological areas, including those not normally dealt with by IEC Technical Committees.

Dependability is the ability to perform as and when required and is time dependent in application.

Dependability can be expressed in terms of core attributes of availability, reliability, maintainability and supportability that are tailored to application-specific functional and service attributes.

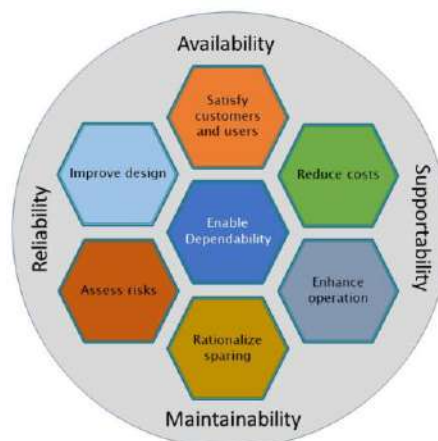
TC 56 standards are related to products, processes and management activities. The standards provide systematic methods and tools for dependability assessment, technical risk assessment and management of services and systems throughout their life cycles.

Dependability is a technical discipline that is important in quality management, asset management risk management and financial decision making. It is managed through life cycle processes involving availability and its core performance attributes of reliability, maintainability and supportability, as well as application specific performance attributes such as recoverability, survivability, integrity and security for products and service dependability evaluation. [12]

TC 56 has 25 Participating countries and 12 Observer Countries. Italy is a Participating country.

3.3. Dependability Benefits

Figure 1. Dependability Management Benefits



The previous figure summarizes the main benefits to apply the dependability management according to IEC standards.

- Satisfy customers and users

The customer / user requires a system / product / service to perform as expected and to consistently perform as expected for a satisfactory period. Dependability concentrates on the "consistently" aspect. When comparing systems etc. this consistency can be qualitative and dependability can be expressed as a rating or as an index. Where more precise quantitative terms are necessary, reference should be made to IEC 60300-3-4 and its associated standards.

- Improve design

A design engineer is concerned with designing an item so that it performs as defined within its requirements. A dependability engineer is concerned with what can go wrong and how this

can be resolved. Implementing IEC 60300-3-1 early in the design will improve the design. If the system is required to be repaired during its operational life, then additionally, early implementation of IEC 60300-3-10 and 60300-3-14 will also provide added benefit.

- Reduce costs

A dependability programme will cost money, but the old adage – “you have to spend money to save money” is certainly true in this case. A correct dependability programme will reduce costs by: catching early design errors/faults/ failures thereby reducing costly re-design; catching early manufacturing errors/faults/failures thereby reducing expensive major strip-downs; optimising maintenance and support which are major cost drivers in the life cycle; giving confidence to the user and thereby reducing marketing and sales costs of a company.

- Assess risks

Dependability takes a risk-based approach identifying factors that could cause systems, products and services to fail or deviate from requirements and providing solutions. Assessing risks is important in all decisions and many of the tools originally designed to assess reliability are now used more generally for assessing risk in any application. These and other risk assessments are summarised in IEC 31010. See also the risk assessment standards and techniques.

- Enhance operation

It is recognised that current systems are highly flexible, permitting changes such as enhancements, extensions and changes in its useable boundaries. These may affect one or more measures; however, the dependability processes are sufficiently robust to enable these measures to be re-assessed to ascertain the suitability of the system for its revised purpose/requirement.

- Rationalize sparing

Dependability considers the wider aspects of sparing such as recoverability, upgrades, impact of downtime, maintenance and support to provide the best sparing solution from which a spares provisioning programme can be established.

- Enable dependability

IEC TC56 have established a number of standards for dependability. To obtain the benefits mentioned above, it should be recognised that the tailoring necessary to enable an effective and efficient dependability programme requires personnel with the necessary skills to enable its implementation. [13]

3.4. Dependability IEC Standards

The committee’s maintenance programme takes into account the anticipated future needs of industry to ensure that TC 56 standards meet these needs.

The committee has been reassessing its document structure in order to facilitate use and to cover current and future market needs. As a result, TC 56 standards have been divided into three categories:

- Core standard

Standard providing overview on dependability fundamentals, objectives or management

- Process standard

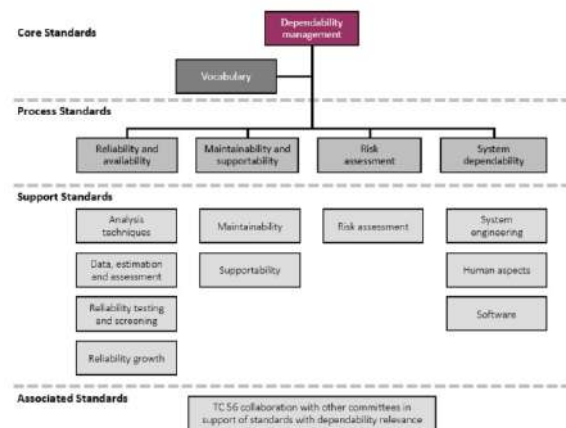
Standard giving guidance on a particular dependability issue related to an aspect of management or to a life cycle phase

- Support standard

Standard giving technical information of general relevance in various dependability issues.

Within these categories, the standards are further grouped according to their content. In addition, information is given on the phase or phases of the life cycle during which the standard can be applied. [14]

Figure 2. Dependability IEC Standards



In the online official site of IEC TC 56 it is possible to find all IEC Dependability Standards: <https://tc56.iec.ch/dependability-standards/>.

3.5. IEC “Electrical equipment and systems for railways” Technical Committee

The scope of TC 9 “Electrical equipment and systems for railways” is to prepare international standards for the railways field which includes rolling stock, fixed installations, management systems (including supervision, information, communication, signalling and processing systems) for railway operation, their interfaces and their ecological environment.

These standards cover railway networks, metropolitan transport networks (including metros, tramways, trolleybuses and fully automated transport systems) and magnetic levitated transport systems.

These standards relate to systems, components and software and they will deal with electrical, electronic and mechanical aspects, the latter being limited to items depending on electrical factors.

These standards deal with electromechanical and electronic aspects of power components as well as with electronic hardware and software components. [16]

About RAMS Analysis, TC 9 created IEC standards identical to the CENELEC one to apply these processes to all railway industry in the word:

- CENELEC EN 50126-1:2017 / IEC 62278-1 ED1;
 - CENELEC EN 50126-2:2017 / IEC 62278-2: ED1.
- See following chapter for details.

4. RAYLWAY RAMS DEFINITION

Railway RAMS is a major contributor to the value of the service provided by railway duty holder.

The RAMS of a system can be characterised as a qualitative and quantitative indicator of the degree that the system, or the subsystems and components comprising that system, can be relied upon to function as specified and to be both available and safe over a period of time.

- Reliability of an item is the ability to perform as required, without failure, for a given time interval, under given conditions;
- Availability of a product is the ability of an item to be in a state to perform a required function under given conditions at a given instant of time or over a given time interval, assuming that the required external resources are provided;
- Maintainability of an item is the ability to be retained in, or restored to, a state to perform as required, under given conditions of use and maintenance;

- Safety is the freedom from unacceptable risk.

The RAMS elements are interlinked in the sense that a weakness in any of them or mismanagement of conflicts between their requirements can prevent achievement of a dependable system.

For example, a safety target can be achieved by ensuring the system enters a safe state (e. g. all trains stopped) in the event of a particular failure. The defined safe state can depend on operational/maintenance context (e. g. a train at standstill at platform rather than in tunnel). If there are circumstances where this safe state has a significant adverse impact on reliability/availability then a different and optimised solution might be needed in order to achieve the RAM targets without compromising Safety.

Attainment of in-service availability targets will be achieved by optimising reliability & maintainability whilst considering the influence of maintaining safety.

The related requirements can be met and controlled by a combination of design and implementation measures and through the ongoing, long-term maintenance and operational activities, all according to the system environment.

For the definition of RAMS requirement is necessary to understand which are the factors that influences RAMS of railway systems.

The RAMS performance of a railway system is influenced in three ways, that can interact:

- by sources of failure introduced internally within the system at any phase of the system life cycle;
- by sources of failure imposed on the system during operation; and
- by sources of failure imposed on the system during maintenance activities.

Failures in a system, product or process are categorized as random failures or systematic failures:

- Random failures are due to causes which can be described by statistical distributions;
- Systematic failures are failures due to errors in the system life cycle activities which cause the product, system or process to fail deterministically under particular combinations of inputs or under particular conditions (e. g. combination of inputs or/and triggering events such as non-fulfilment of environmental or application conditions).

While random failures could derive by stress degradation, wear out, overstress, etc, systematic failures are mainly caused by human errors in the various stages of the system life cycle. Therefore, systematic failures are mainly treated by the application of appropriate processes, methods and organization.

To create dependable systems, factors which could influence the RAMS of the system need to be identified, their effect assessed and the cause of these effects managed throughout the life cycle of the system, by the application of appropriate controls to optimise system performance. [5]

The life cycle approach provides a structure for planning, managing, controlling and monitoring all aspects of a system, including RAMS, as the system under consideration progresses through the life cycle phases.

The focus of the RAMS process is to reduce the incidence of failures and/or the consequences throughout the life cycle, and thus minimise the residual risk resulting from these errors.

Figure 3 represents the interrelation of RAMS management process and system file cycle according to EN 50126-1:2017.

As shown in Figure 3, the general RAMS process consists of 3 major blocks:

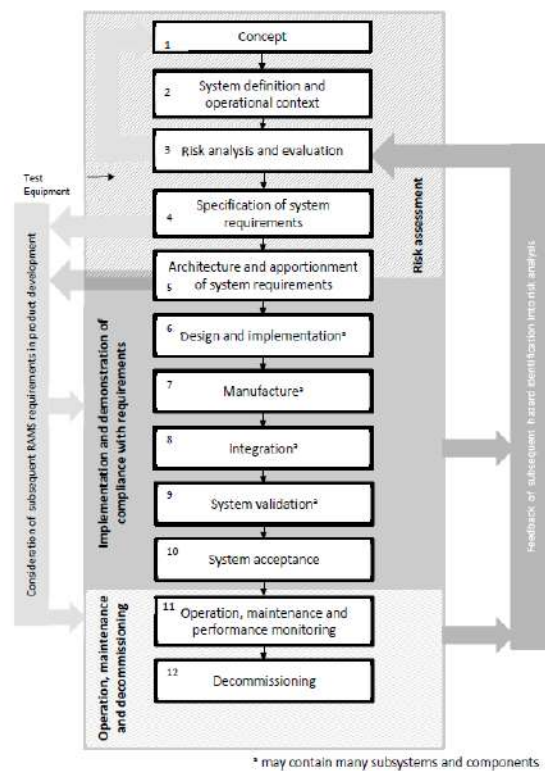
- Risk assessment (on the basis of the system definition), including the specification of RAMS requirements,
- Implementation and demonstration that the system fulfils the specified RAMS requirements, and
- Operation, maintenance and decommissioning.

Besides the nominal process flow between the life cycle phases, the general process includes:

- a feedback loop (on the right side of Figure 3): new or additional knowledge about risk come up during any phase of the project requiring the risk to be reassessed;
- subsequent loops for control of RAMS requirements (on the left side of Figure 3): reassessment allowing to skip some phases of the regular process flow if the reconsidered RAMS requirements do not affect those phases; or in worst case, reassessment demanding rephrasing of the remit of the project (concept phase) if the requirements cannot be met in any way.

A direct consequence of these loops is that the logical flow of information and decision is more important than the time-based flow of the phases. Therefore, generally the risk assessment needs to be confirmed also at the end of the life cycle. [5]

Figure 3. RAMS Management Process and System Life Cycle



4.1. Logistic Reliability Prediction

Reliability Prediction allows to predict random failure of a system. It is a quantitative analysis technique used to predict the failure rate of a system based on the components of the system and its operating conditions.

A Reliability Prediction is typically performed using an accepted, published standard, which defines failure rate equations for various components that make up the system.

According to the previous Reliability definition, in railway sector, the following parameters are usually used to identify the Reliability of an item or system:

- Maximum accepted Failure Rate, λ
- Minimum accepted MTBF/MTTF/MDTF.[7]

MTBF, MTTF or MDBF is the inverse of the Failure Rate.

$$MTBF/MTTF/MDBF = 1 / \lambda \quad (1)$$

MTBF (Mean Time Between Failure) and MTTF (Mean Time To Failure) are measured in Hours, while MDBF (Mean Distance To Failure) is measured in miles or km.

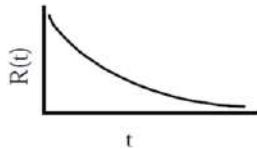
MTBF is intended for repairable items, while MTTF is intended for non-repairable items.

Failure Rate (λ) can be defined, in a simple way, without refers to statistical formulas, as the number of times that an item fails in a specified period of time.

If λ =cost, Reliability $R(t)$ of an item has a negative exponential trend.

$$R(t)=e^{(-\lambda t)} \quad (2)$$

Figure 4. Reliability trend



To predict the Failure Rate of an item it is necessary to take into account its Mission Profile and its operating, environmental and maintenance conditions.

Failure Rate of an item can be estimated in several way:

- referring to historical data;
- performing tests (as endurance tests);
- referring to government and commercial failure rate data (e. g. MIL-HBDK-217F Notice 2 and NPRD-2016).

To predict the Failure Rate of a system it is necessary to define the physical breakdown structure of the system, called also logistic breakdown structure.

With this level of detail of knowledge of the system it is possible to predict the Logistic Failure Rate (or Logistic MTBF) of the system in which all the failures of all the items, without any consideration about the effect on the availability and safety are taken into account.

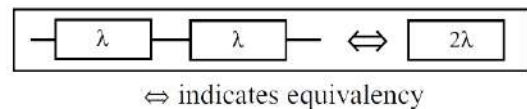
The hypothesis that is on the basis of the Basic (or Logistic) Reliability Prediction is that if we represent the System Breakdown Structure in a Reliability Block Diagram, the system representation is of a Series Diagram, in which the system performs satisfactorily if all items are fully functional and that if one item fails, the entire system fails. This is a very conservative prediction method.

A Reliability Block Diagram (RBD) is a pictorial representation of a system's successful functioning. It shows the logical connection of (functioning) components (represented by blocks) needed for successful operation of the system (hereafter referred to as "system success"). Therefore an RBD is equivalent to a logical equation of Boolean variables

and the probabilistic calculations are primarily related to constant values of the block success/failure probabilities.

Many different analytical methods of dependability analysis are available, of which the RBD is one. Therefore, the purpose of each method and their individual or combined applicability in evaluating the availability, reliability, failure frequency and other dependability measures as may be applicable to a given system or component should be examined by the analyst prior to deciding to use the RBD. [17]

Figure 5. Series Reliability Block Diagram



$$R_S(t) = R_1(t)R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (3)$$

If $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ constant the System Reliability is:

$$R_S(t) = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n)t} \quad (4)$$

So, to predict the failure rate of the system it is sufficient to sum up the failure rate of the items identified in the System Breakdown Structure.

$$\lambda_{S,i} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref})_i \quad (5)$$

Where:

- λ_{ref} : is the failure rate under reference conditions;
- n : is the number of components.

4.2. Mission Reliability Prediction and RBD

For a more detailed analysis, it is possible to require a more specific Reliability Prediction calculation:

- MTBCF (Mean Time Between Critical Failure).

Mission Reliability Prediction does not take into account all failures of all items of the system, but only critical failures that can lead to the Mission of the system.

To analysis if the failure of an item (if it occurs alone, so without any other simultaneous failure), is critical is useful to perform a FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) with a functional-hardware approach.

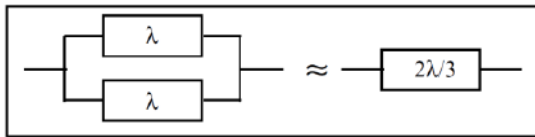
To analyse if the failure of an item, combined with other failures, has a critical effect at system level, is useful to perform the Reliability Block Diagram Analysis or Fault Tree Analysis.

The RBD technique is linked to Fault Tree Analysis (FTA).

The underlying mathematics is the same for RBDs and FTA: when an RBD is focused on system success, the FT (Fault Tree) is focused on system failure. It is always possible to transform an RBD into an FT and vice versa. From a mathematical point of view, RBD and FT models share dual logical expressions. Therefore, the mathematical developments and the limitations are similar in both cases. [17]

RBD and FTA allow to identify any parallel configuration in the system.

Figure 6. Parallel Reliability Block Diagram



If $F_S(t)$ is the System Unreliability,

$$R_S(t) + F_S(t) = 1 \quad (6)$$

$$F_S(t) = F_1(t)F_2(t) \dots F_n(t) \quad (7)$$

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (8)$$

If $\lambda(t) = \text{cost} = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n = \lambda_0$, the System Reliability is:

$$R_S(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^n \quad (9)$$

So, the System Failure Rate is

$$\frac{1}{\lambda_{S,i}} = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{n} \right) \quad (10)$$

The previous one is only a simple example of calculation of System Failure Rate. Exist a lot of different parallel configuration. Each one has a specific formula. There are SWs to automatize this kind of calculation.

An example of free online SW is Reliability Analytics Toolkit published by RAC (Reliability Analytics Corporation). See <https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/> [18].

4.3. FMECA

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a systematic method of evaluating an item or process to identify the ways in which it might potentially fail, and the effects of the mode of failure upon the performance of the item or process and on the surrounding environment and personnel.

The purpose of performing an FMEA is to support decisions that reduce the likelihood of failures and their effects, and thus contribute to improved outcomes either directly or through other analyses. Such improved outcomes include, but are not limited to, improved reliability, reduced environmental impact, reduced procurement and operating costs, and improve safety.

FMEA can be adapted to meet the needs of any industry or organization. FMEA is applicable to hardware, software, processes, human action and their interfaces, in any combination.

FMEA can be carried out several times in the lifetime for the same item or process. A preliminary analysis can be conducted during the early stages of design and planning, followed by a more detailed analysis when more information is available. FMEA can include existing controls, or recommended treatments, to reduce the likelihood or the effects of a failure mode. In the case of a closed loop analysis, FMEA allows for evaluation of the effectiveness of any treatment.

FMEA can be tailored and applied in different ways depending on the objectives.

Failure modes may be prioritized according to their importance. The prioritization can be based on a ranking of the severity alone, or this can be combined with other measures of importance. When failure modes are prioritized, the process is referred to as failure modes, effects and criticality analysis (FMECA).

For the purpose of the RAMS Analysis to be performed in Phase 6 of the System Life Cycle according to EN 50126, a bottom-up hardware FMECA is useful.

Follows a description of the steps to be performed during a generic FMECA according to IEC 60812:2018. For each step, details and suggestion about a bottom-up hardware FMECA performed during Phase 6 of the 50126 Life Cycle, are provided.

- Define the boundaries of the subject of the analysis: usually, this step is already completed with the previous five phases of the 50126 Life cycle;
- Define use scenarios: scenarios for railway FMECA usually are “normal operation”, “maintenance”, “evacuation”, “parking”, “Rescue”;
- Define decision criteria for treatment of failure modes

The criteria for deciding which failure modes require treatment and priorities for action should be defined prior to undertaking the analysis. These criteria should take into account the objectives of

the analysis, any legal or contractual requirements and stakeholder views on what is acceptable.

The criteria should enable consistent and justifiable selection of those failure modes which require treatment, and those which do not, and should also indicate when recommended treatments are considered to be sufficient. [19]

In railway sector some example of severity classification and acceptability criteria are present in EN 50126-1:2017 Annex C.

The Commission Implementing Regulation (EU) No. 2015/1136 (updating of the Commission Implementing Regulation (EU) 2013/402) defines both failure severity (“catastrophic” and “critical” accidents) and acceptability criteria (failure frequency respectively less than or equal to 10^{-9} or 10^{-7} per operating hours).

More restrictive regulations can exist in every Member State (e. g. “Disposizione 51/2007”, published by RFI, requires more restrictive acceptance criteria).

- Sub-divide item or process into elements: usually, the same System Breakdown Structure used for Reliability Prediction is used for FMECA;
- Identify functions and performance standards for each element;
- Identify failure modes and estimate likelihood of each failure mode:
Usually engineering judgment, historical data or referring to government and commercial failure mode data are used.
E. g. FMD-2016 (Failure Mode / Mechanism Distribution) published by RAC collects field failure mode and mechanism distribution data on a variety of electrical, mechanical, and electromechanical parts and assemblies.
- Identify detection methods and existing controls
For each failure mode, the existing controls and detection methods should be identified.
Controls are the arrangements used to prevent or reduce the likelihood of the failure mode or mitigate its effects, while detection methods are the means to identify the failure mode, failure or incipient failure.
Early detection of a failure or imminent failure can allow operators, maintainers, users and others to intervene and reduce either the likelihood of adverse effects or their consequences.
- Identify local and final effects of failure modes
A failure effect is the consequence of a failure mode in the scenario defined for the analysis.
The same failure effect might be caused by one or more failure modes of one or more elements of an item or process.

The effect of failure modes for an element can be identified at the local level (e. g. local effect, that means the same hierarchical level as the item being analysed or its physical location) together with the effect at the top level relevant for the subject of analysis (known as the final effect).

Effects at intermediate levels can also be identified if relevant.

In addition to consequences affecting the function of the item or process, or the system as a whole, there might be other consequences of concern, for example, relating to safety, environmental or to compliance requirements.

Since FMEA considers the final effects on an element by element, or function by function, basis, it follows that the effects resulting from multiple failures are usually not identified.

Fault Tree Analysis (IEC 61025) could be used to investigate the impact of combinations of failures, or to understand redundant functions and the relationship between protected and protective items.

- Identify failure causes
Understanding how the failure occurs is useful in order to identify the best way to reduce the likelihood of failure or its consequences. The FMEA steps do not include a method for a full causal analysis. In some cases, it can be useful to identify the physical, logical or psychological mechanism of the failure however this is not always necessary to achieve the goals of the analysis. [19]
- Determine severity of failure final effect
If the Final Effect is a hazardous situation, it is suggested to describe the Final Effect as the Hazard identified in the Hazard Analysis (see §4.8) and to the Top Event of the FTA (see §4.4).
The failure mode that leads to that Final Effect is called Single Point of Failure (SPoF). This is a safety-critical failure mode that need to be investigate.
The severity will be the same of the Hazard Analysis.
- Evaluate criticality and identify actions
Each Failure Mode must be evaluated in comparison to the Acceptance Criteria (both from Mission and Safety point of view).

When controls or detection methods are considered inadequate, then new or improved controls or detection methods should be determined and form the basis of treatments recommended. [19]

Regarding to Safety point of view, the residual Risk after any improvement action must be evaluate to ensure that it is acceptable.

Otherwise, further action must be implemented.

4.4. FTA

Fault Tree Analysis is concerned with the identification and analysis of conditions and factors that cause or may potentially cause or contribute to the occurrence of a defined top event. With FTA this event is usually seizure or degradation of system performance, safety or other important operational attributes.

FTA is often applied to the safety analysis of systems (such as transportation systems, power plants, or any other systems that might require evaluation of safety of their operation). FTA can be also used for Availability analysis.

It is possible to perform FTA using two different approaches. One is a qualitative approach, where the probability of events and their contributing factors (basic events) or their frequency of occurrence is not addressed. [20]

In railway sector this approach is used in the preliminary phase of the design.

The second approach, is quantitative, where a detailed FTA models an entire product, process or system, and the vast majority of the basic events, whether faults or events, has a probability of occurrence determined by analysis or test. In this case, the final result is the probability of occurrence of a Top Event representing Reliability or probability of a Functional Failure.

In case the Top Event is a Hazard, the probability of occurrence of the Top Event must be compared with the acceptable criteria defined at the beginning of the project to check that the Risk associated to the Hazard is Acceptable.

Otherwise, actions must be implemented to reduce the Risk (reducing the Hazard Severity, or reducing the frequency of occurrence).

FTA is particularly suited to the analysis of systems comprising several functionally related or dependent subsystems. Benefit of FTA are apparent when a system design is the product of several independent specialized technical design groups and the separate Fault Trees are linked together. Fault Tree Analysis is commonly applied when designing nuclear power generating stations, transportation systems, communication systems, chemical and other industrial processes, railway systems, home entertainment systems, medical systems, computer systems, etc.

The benefits of the combination of FTA and FMECA are the following:

- FTA is a top-down and FMECA a bottom-up analysis method and use of both deductive and inductive reasoning is regarded as a good argument for providing assurance for the completeness of the analysis;
- FMECA is a single failure analysis, while FTA is both a single and multiple failure analysis.

Additionally, there exists a simple consistency check between FMECA and FTA:

- Any identified single failure in FMECA leading to the top event of the Fault Tree also has to appear as a SPoF (in the minimal cut set);
- Any SPoF identified in the FTA should also appear as such in the FMECA.

The value of this consistency check is increased if the analysis are performed separately and independently. This is especially important in safety analysis. [20]

4.5. Maintainability

Maintainability is a characteristic that defines the ease with which an item can be maintained and supported during its period of use. Maintainability has to be built into an item during the design and development phase and it is therefore important that maintainability requirements be established as part of the initial specification.

The IEC 60706 series of standards is intended to give guidance on how a designer should best incorporate high standards of maintainability into a product so that the cost of maintenance is reduced to an acceptable level. It is also important to ensure that the necessary maintenance can be undertaken to keep the product in a safe condition and that it can be operated to its required performance.

This International Standard gives an introduction to the concept of maintainability, and guidance as to how maintainability can be incorporated into specifications and contracts and how maintainability should be considered as part of the design process. It forms part of a hierarchy of standards on dependability as described below.

IEC 60300-1 and IEC 60300-2 are the IEC top-level standards that provide guidance on how to incorporate dependability, including reliability, availability and maintainability, into manufactured products. IEC 60300-3-10 is the top-level standard on maintainability, serving as an application guide and which forms part of the IEC 60300-3 series of standards. It can be used to implement a maintainability programme covering the initiation,

development and in-service phases of a product, which form part of the tasks described in IEC 60300-2. It also provides guidance on how the maintenance aspects of the tasks should be considered in order to achieve optimum maintainability.[20]

For a rolling stock and for its subsystems, assemblies and parts according to the boundary limits defined, there are different types of Maintainability Targets:

- Generic Qualitative Requirements;
- Preventive Maintenance Requirements (qualitative and quantitative);
- Corrective Maintenance Requirements (qualitative and quantitative);
- Logistic Support Requirements;
- Maintenance Cost Requirements.

Some examples of Generic Qualitative Requirements are:

- accessibility;
- disconnecting;
- removing;
- handling;
- installing;
- reconnecting;
- standardisation.

Some examples of Preventive Maintenance Requirements are:

- frequency;
- maximum number of personnel related to each frequency;
- maximum number of hours related to each frequency;
- Mean Time To Maintain Preventive (MTTM(p));
- Mean Time Between Preventive Maintenance (MTBPM).

Some examples of Corrective Maintenance Requirements are:

- Mean Time To Restore (MTTR);
- Maximum Time To Restore (Maximum TTR);
- Mean Time To Maintain Corrective (MTTM(c));
- Mean Time Between Corrective Maintenance (MTBCM).

Some examples of Logistic Support Requirements are:

- Supply and administrative delay;
- Spare Parts Availability;
- Turn Around Time (TAT, for repairable spares);
- Lead time (LT, for non-repairable spares).

Some examples of Maintenance Cost Requirements are:

- Preventive (scheduled) maintenance actions (PMc);
- Corrective maintenance actions (CMc).

Both these requirements include cost for spare parts, for software and for personnel employed.

Other Maintenance Cost Requirements can be the cost of Preventive or Corrective Maintenance (or the sum of the two) where the Customer can use the cost per kilometre or per 1000 kilometres or other significant basis (i. e. per year, per vehicle-train, per seat).

Also in this case, Customer should specify what this cost includes, detailing the items counted.

As appropriate, the Customer may specify targets for important sub-systems of the rolling stock (e. g. bogie, supply power module, doors, air conditioning system, toilet, etc.).

4.6. Availability

Based on Annexes B of EN 50126-1:2017, Availability (A) of a system is specified as the time for which the system is in a state to perform its mission.

Availability formula is generally indicated by the following:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \text{with } 0 \leq A \leq 1 \quad (11)$$

where,

- MUT = Mean Up Time (hours);
- MDT = Mean Down Time (hours).

The availability number is dimensionless and is usually indicated as a percentage.

Depending on the definitions of MUT and MDT, it is possible to have different types of availability using the same formula:

- Inherent Availability, A_i
- Achieved (technical) Availability, A_a
- Operational (logistic) Availability, A_o

For Inherent Availability, A_i , the definitions used for MUT and MDT are:

- $MUT=MTBF$ =Mean Time Between Failures (hours);
- $MDT=MTTR$ =Mean Time To Restore (hours).

Then, the formula is:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (12)$$

For Achieved (technical) Availability, A_a , the definitions for MUT and MDT are:

- $MUT=MTBM$ =Mean Time Between Maintenance (hours);
- $MDT=MTTMa$ =Mean Time To Maintain (hours);

In this case, MTTMa takes into account the mean time required to maintain the system both for preventive and corrective maintenance.

Then, the formula is:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + MTTM_a} \quad (13)$$

For Operational (logistic) Availability, Ao, the definitions for MUT and MDT are:

- MUT=MTBM=Mean Time Between Maintenance (preventive and corrective) (hours).

- MDT=MTTMO=Mean Time To Maintain (hours).

In this case, MTTMO takes into account the mean time required to maintain the system both for preventive and corrective maintenance, including logistical and administrative delays.

Then, the formula is:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MTTM_o} \quad (14)$$

[7]

4.7. LCC

Life cycle costing is the process of economic analysis to assess the total cost of acquisition and ownership of a product. This analysis provides important inputs in the decision-making process with regard to product design, development and use.

Life Cycle Cost (LCC) is the cumulative cost generated by the system during its lifetime in respect to a LCC model.

The basic elements of every LCC model may be the following:

- the physical structure of the system and its mission profile;
- the relevant phases of the lifetime to be considered;
- the relevant cost categories to be considered.

Railway Customers and Operators require railway products that are reliable, safe and can be easily maintained over their useful lives.

Using LCC, Main Suppliers can optimize their designs by evaluating alternative designs and/or configurations and by performing trade-off studies. In this way, they can evaluate various and different operating and maintenance strategies to optimize LCC.

Also, the LCC technique can be used to give a value to compare different offers and alternatives and to control the project.

As RAM requirements influence cost of rolling stock, they are the basis of any Life Cycle Cost calculation. [7]

Starting from reliability parameters, failure rate (or MTBF/MTTF/MDBF) has an impact on LCC. But this impact can be evaluated considering maintenance cost.

Maintenance cost is one of the most significant costs of the whole LCC.

Maintenance cost is time-variable when considering either corrective or preventive maintenance.

Corrective maintenance is larger for older systems than new ones, once the early failure period of new system has been overcome.

The proportion spent on preventive maintenance peaks in years when expensive actions are carried out (i.e., major inspections, replacement of expensive parts, refurbishing and overhaul, etc.). As these actions are only carried out two to five times throughout the service life, consideration should be given to these when preventive maintenance costs are evaluated. There should be considered to ensure that maintenance costs from different operators or from different rolling stock Main Supplier are compared on the same equal basis.

Derivation of the parameters related to availability is quite difficult, because they depend on the consequences caused by the lack of use of the system in service.

The immediate cost consequences due to unavailability of the system (e. g. rolling stock) can be the following:

- Costs due to loss of revenue;
- Costs for providing an alternative service;
- Costs due to loss of image, reputation, prestige that may result in loss of clients.

Estimation of these costs is typically a commercial or marketing matter, so it is not taken into account in the LCC Analysis during Phase 6 of the EN 50126 Life cycle. [7]

4.8. Safety

EN 50126-2:2017 considers the safety-related generic aspects of the RAMS life-cycle and defines methods and tools which are independent of the actual technology of the systems and subsystems.

It provides:

- methods to derive the safety requirements and their safety integrity requirements for the system and to apportion them to the subsystems;

- methods to derive the safety integrity levels (SIL) for the safety-related electronic functions. [6]

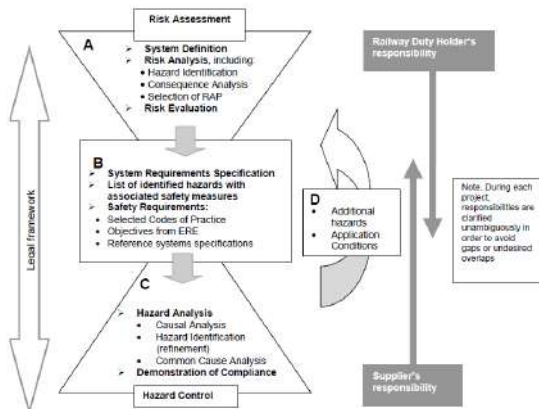
The Hourglass Model provides an overview of the major safety-related activities that are needed to ensure an acceptable safety level for a technical system, including the corresponding responsibility areas.

The development of a technical system starts with its requirements specification and ends with its acceptance. The design of relevant interfaces considering interactions with human operators and their behaviour is considered, while human operators themselves and their actions are not included in a technical system. Both the maintenance process (described in the maintenance manuals) and the operation are specified but are not considered parts of the technical system itself. They can be restricted by SRAC (Safety Related Application conditions).

The purpose of this model is to highlight the separation between risk analysis as part of risk assessment (at the railway system level) from hazard analysis as part of hazard control (at the level of the system under consideration).

This enhances co-operation between the relevant stakeholders, clarifying responsibilities and interfaces and has the advantages of reducing complexity and facilitating modularization.

Figure 7. The Hourglass



- The Hourglass Model describes two main aspects:
- risk assessment, deriving safety requirements for operational and technical issues (including maintenance), and
 - hazard control, satisfying given functional safety requirements coming from upper levels by determining and analysing causes and designing and implementing control measures.

Part A of the Hourglass Model (Risk Assessment) is associated with phases 1 to 3 in the 50126 life-cycle, as depicted in Figure 3.

Part B corresponds to phase 4 and part C to phases 5 to 9. Part D shows the “feedback of subsequent

hazard identification into risk analysis” (see Figure 3).

Risk assessment is performed at the railway system level.

It relies on a System Definition and includes Risk analysis and Risk evaluation.

It defines the high-level system safety requirements, in particular safety requirements for the system under consideration from the perspective of the railway duty holder and the operator. It takes into account safety related operational aspects, previous experience and the regulatory requirements for the railway application.

The main task for this activity is the risk analysis, which is derived from the system definition. The risk analysis includes:

- hazard identification;
- consequence analysis;
- and selection of Risk Acceptance Principle (RAP).

Due to the complexity of the scenarios under analysis, the consequence analysis is performed using bottom-up techniques or a combination of bottom-up and top-down techniques.

In the Part A of the Hourglass Model this Hazard Identification is called Preliminary Hazard Analysis and usually the top-down techniques is used.

The specification of safety requirements is the final result of risk assessment; in Figure 7 it is allocated to box B, because it constitutes an interface (together with system requirement specifications and the list of identified hazards) between different responsibilities. [6]

The hazard control stage in the hourglass model ensures that the system under consideration is compliant with the safety requirements. Hazard control is performed for a specific system architecture.

The main task is the “Hazard Analysis” focused on the system under consideration.

If in the Part A of the Hourglass Model, a Preliminary Hazard Analysis (PHA) is performed; in Part C the following Hazard Analysis can be performed:

- System Hazard Analysis (SHA);
- SubSystem Hazard Analysis (SSHA);
- Operative and Support Hazard Analysis (OSHA);
- Interface Hazard Analysis (IHA).

Commonly used techniques for Part C are also bottom-up technique like FMECA and FTA.

The demonstration of compliance with the safety requirements for the system under consideration can

be performed in various forms of verification. These forms depend on the nature of the underlying requirements set at the beginning of the hazard control. [6]

To demonstrate compliance to Safety Requirements it is possible to refer to tests, simulations or analysis.

4.9. Safety Acceptance Process

Safety demonstration evidence is based on the safety case.

Whenever independent safety assessment is required for the system under consideration, this is performed before system acceptance, in order to provide additional assurance that the necessary level of safety has been achieved.

In this case, independent safety assessment shall take into consideration the safety case related to the system under consideration.

System acceptance of the system under consideration as adequately safe for its intended application, shall be based on the following conditions:

- it has been developed, verified and validated in accordance with EN 50126 series;
- the specified safety requirements have been fulfilled in accordance with EN 50126 series.

Provided all the conditions for safety acceptance have been satisfied, as demonstrated by the safety case, and subject to the results of the independent safety assessment when required, the system under consideration may be granted safety acceptance by the stakeholders responsible for its incorporation into another system or final use. [6]

5. EUROPEAN RAILWAY INDUSTRY

5.1. European Railway Agency

“A sustainable, safe European transport system without frontiers”

is the vision of the European Railway Agency (ERA), established in 2004 by the European Parliament in order to promote the establishment of a European railway area without borders and to help revitalise the railway sector while reinforcing its essential advantages in terms of safety. [1]

The progressive establishment of a single European railway area requires Union action in the field of the rules applicable to railways with regard to technical safety and interoperability aspects, the two being inextricably linked and both requiring a higher level of harmonisation at Union level.

That is why it was necessary to create a European agency dealing with railway safety and interoperability.

In pursuing this objective, ERA performs the following tasks:

- relating to railway safety, according to Directive (EU) 2016/798:
 - address recommendations to the Commission on the CSIs (Common Safety Indexes), CSMs (Common Safety Methods) and CSTs (Common Safety Targets);
 - issues “single safety certificates”;
 - assists the Commission with regard to the system of certification of “Entity in Charge of Maintenance” (ECM);
- relating to interoperability, according to Directive (EU) 2016/797:
 - address recommendations to the Commission on the TSIs (Technical Specifications for Interoperability);
 - address recommendations to the Commission on the templates for the ‘EC’ declaration of verification and for documents of the technical file that has to accompany it;
 - issue a decision for approval before any call for tenders relating to ERTMS trackside equipment in order to ensure harmonised implementation of the ERTMS in the Union;
 - issues authorisations for the placing on the market of “railway vehicles” and “vehicle types”. [3]

5.2. Technical Specifications for Interoperability

Directive (EU) 2016/797 establishes the conditions to be met to achieve interoperability within the Union rail system.

The Directive lays down the provisions relating to, for each subsystem, the interoperability constituents, the interfaces and procedures, and the conditions of overall compatibility of the Union rail system required in order to achieve its interoperability.

The Union rail system, subsystems and interoperability constituents including interfaces shall meet the relevant “essential requirements” defined into the TSIs.

“Essential requirements” means all the conditions set out in Annex III of the Directive (EU) 2016/797 which must be met by the Union rail system, the subsystems, and the interoperability constituents, including interfaces. [4]

Among others, in Annex III are there both general requirements about Reliability, Availability and Safety and Specific requirements to each subsystem.

5.3. Rail Subsystems for Interoperability

The system constituting the Union rail system may be broken down into the following subsystems in Figure 8.

Figure 8. Rail Subsystems according Directive EU 2016/797 Annex II



Each of the subsystems defined in Annex II of the Directive (EU) 2016/797 is covered by almost one TSI. Where necessary, a subsystem may be covered by several TSIs and one TSI may cover several subsystems.

Follows the list of applicable TSIs and a schematic representation of the applicability of each TSIs to the related subsystem (Figure 9):

- CCS (Control Command and Signalling):
Comm. Reg. (EU) 2016/919;
- ENE (Energy):
Comm. Reg. (EU) 2014/1301;
- LOC&PAS (Locomotives and Passengers):
Comm. Reg. (EU) 2014/1302;
- NOI (Noise):
Comm. Reg. (EU) 2014/1304;
- OPE (Operation and Traffic management):
Comm. Impl. Reg. (EU) 2019/773;
- PRM (Persons with disabilities and Reduced Mobility):
Comm. Reg. (EU) 2014/1300;
- SRT (Safety in Railway Tunnels):
Comm. Reg. (EU) 2014/1303;
- INF (Infrastructure):
Comm. Reg. (EU) 2014/1299;
- WAG (Freight Wagon):
Comm. Reg. (EU) 2013/321;
- TAP (Telematics Applications for Passenger Service):
Comm. Reg. (EU) 2011/454;
- TAF (Telematics Applications for Freight Service):
Comm. Reg. (EU) 2014/1305.

Figure 9. TSIs vs Structural and Functional Subsystems



In each TSI specific requirements about Reliability, Availability, Maintainability and Safety of each subsystem are defined.

Following TSIs requires a Risk Management Process according to the Commission Implementing Regulation (EU) No. 402/2013:

- CCS;
- LOC&PAS;
- SRT;
- WAG.

According to the second railway package of which Directive 2004/49/EC is the most relevant in this regard, Common Safety Methods (CSMs) should be gradually introduced to ensure that a high level of safety is maintained and, when and where necessary and reasonably practicable, improved.

The Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 establishes a revised CSM for risk evaluation and assessment. [2]

This Regulation facilitates the access to the market for rail transport services through harmonisation of:

- the risk management processes used to assess the impact of changes on safety levels and compliance with safety requirements;
- the exchange of safety-relevant information between different actors within the rail sector in order to manage safety across the different interfaces which may exist within this sector;
- the evidence resulting from the application of a risk management process.

5.4. CCS Risk Management Process Requirements

According to CCS TSI, all Control-Command and Signalling Subsystems, shall be assessed according with Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013.

The correct application of the risk management process as set out in Annex I of Regulation (EU) No 402/2013, as well as the appropriateness of the results from this application, shall be independently assessed by a “CSM assessment body”. The CSM Assessment Body shall be accredited or recognised

according to the requirements in Annex II of Regulation (EU) No 402/2013 in the fields of ‘Control-command and signalling’ and ‘System safe integration’ as listed in item 5 ‘classification’ of ERADIS database entry for Assessment Bodies.

The application of the following specifications is an appropriate means to fully comply to the risk management process as set out in Annex I of the Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 for design, implementation, production, installation and validation (incl. Safety acceptance) of interoperability constituents and subsystems:

- EN 50126-1:2017- Railway Applications
The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process;
- EN 50126-2:2017 - Railway Applications
The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Systems Approach to Safety;
- EN 50128:2011 - Railway applications
Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems;
- EN 50129:2018 - Railway applications
Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling;
- EN 50159: 2010 - Railway applications
Communication, signalling and processing systems.

6. REFERENCES

- [1] <https://www.era.europa.eu/agency-you/agency/vision-mission-values-tasks>
- [2] Commission Implementing Regulation (EU) 402/2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009
- [3] Directive (EU) 2016/796 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the European Union Agency for Railways and repealing Regulation (EC) No 881/2004
- [4] Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system
- [5] CENELEC EN 50126-1:2017 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process
- [6] CENELEC EN 50126-2:2017 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 2: Systems Approach to Safety
- [7] CENELEC EN 50126-3:2008 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAM
- [8] <https://iec.ch/who-we-are>
- [9] <https://iec.ch/understanding-standards>
- [10] <https://iec.ch/conformity-assessment/what-conformity-assessment>
- [11] <https://iec.ch/technical-committees-and-subcommittees#tclist>
- [12] https://iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:::FSP_ORG_ID:1270
- [13] <https://tc56.iec.ch/>
- [14] <https://tc56.iec.ch/basic-issues/>
- [15] <https://www.cencenelec.eu/about-cenelec/>
- [16] https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:7:31700097:6770402:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1248,25
- [17] IEC 61078:2016 Reliability Block Diagrams
- [18] <https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/>
- [19] IEC 60812: 2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)
- [20] IEC 61025: 2006 Fault tree analysis (FTA)
- [21] IEC 61508: 2010 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
- [22] EN 50128:2011 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems
- [23] EN 50129:2018 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling

7. CURRICULUM VITAE

Sara Stefanelli born in 1988 in Italy. She graduated in Management Engineering in 2013. Since 2012 she works for Z Lab Srl as RAMS and Safety Assurance Engineer in several Industries with focus on railway industry.

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

RAYLI SİSTEMLERDE KÜMELENME VE YENİ YAKLAŞIMLAR

Semavi Bilgiç
TÜRASAŞ Emekli Gn. Md. Yrd.
RSC Üyesi

RSC Raylı Sistemler Kümelenmesi EOSB İş ve Tic. Mrk. 16 / A Eskişehir / Türkiye
Tel: 505 7915353 , E- posta: semavi.bilgic@rsc.org.tr, semavi59@gmail.com

1.KÜMELENME NEDİR

Kümelenmenin popüler olmasını yazdığı “Ulusların rekabet avantajı” kitabı ile ortaya koyan M.E.Porter “Kümeler üretken, yenilikçi bir ekonominin temel taşlarıdır.” demektedir. 90 ‘lı yıllarda başlayan kümelenme yapılanmaları günümüzde hızla artarak giderek daha popüler hale gelmektedir.

Porter kümeleri şu şekilde tanımlar. Belirli bir alanda birbirine bağlı şirketlerin ve kurumların coğrafi yoğunlaşmalarıdır. Birçok küme, üniversiteler, standart belirleme, kuruluşları, mesleki eğitim, ticaret birlikleri, devlet kurumları ve diğer kurumları içerir.

Firmaların birbirine yakın konumlanması, ticarete işbirliği, lobicilik, mesleki eğitim ve belirli bir sanat kolu içinde karşılıklı olarak mutabık kalınan kararlara sadık kalma kültürü, Anadolu’da eskiden beri var olan Ahilik kurumunda da görülmektedir.

Bir bölgede aynı sektörde pek çok firmanın varlığı “yığılma” olarak adlandırılır.

Belli meslek gruplarının belli bir bölgede toplanması şehirlerimizde de basitçe görülebilmektedir. Sebze halleri, hırdavatçılar, kuyumcular, gıda vb. esnafın belirli bölgede yer alması basitçe bir yığılma örneğidir.

Ancak bir yığılmanın küme olması için firmalar ve onların ihtiyaçlarına hizmet veren kurumlar arasında bir anlaşma ve sürekli bir işbirliği olması gerekir. Küme kavramı, küme aktörlerinin ortak bir vizyon ve stratejiler örgüsü içinde geleceğe dönük adımlar atmak üzere gerçekleştirdikleri sistemli çalışmalarını anlatır.

Kümelenmeyi bir araya getiren şey aslında yasal zorunluluk değil, küme katılımcıları arası oluşan güven ve işbirliğidir. Kümelenme, firmaların kendi faaliyet ya da kazançlarının önüne geçmez ve bunlar için engel değildir. Aksine küme içi firmalar arası rekabet devam eder. Rekabet her zaman iyidir ve firmaların sürekli kendilerini yenilemelerini ve küresel rekabetçi ortama ayak uydurmalarını sağlar. Özetle kümelenme rekabet halindeki firmaların

ortak amaçları için belli alanlarda bir araya gelerek iş yapma kabiliyetlerini ifade eder.

2.TÜRKİYE’DE KÜMELENME

Türkiye’deki kümelenme çalışmaları Prof. Dr. Michael Porter’ın ekibi liderliğinde ve Türk özel sektörünün desteği ile 1990’lı yılların sonunda başlamıştır. Zaman içerisinde devlet kuruluşları, üniversiteler ve sivil toplum kurumları da bu yeni oluşuma katkı sağlamaya başlamıştır. Kümelenme yaklaşımının desteklenmesi için doğrudan etkili olan Bilim sanayi ve teknoloji bakanlığı yanında diğer ilgili bakanlıklar, bakanlıklara bağlı çalışan **KOSGEB**, Türkiye teknoloji geliştirme vakfı (**TTGV**), Türkiye bilimsel araştırma kurumu (**TÜBİTAK**), Kalkınma ajansları vb. kurumlar da etkin katkı sağlamaktadır.

Kamu, sanayi, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşlarının oluşturduğu bir platform olan Türkiye’nin rekabet avantajı **CAT** (Competitive Advantage of Türkiye) tarafından ilk kümelenme çalışmaları başlatılmıştır. Bu platform 2004 yılında Uluslararası rekabet araştırmaları kurumu derneği’ne (**URAK**) dönüşerek kümelenme çalışmalarının ilk aşamalarında önemli etkinlikler gerçekleştirmiştir.

Türkiye’de kümelenme konusunda geçmişte çeşitli analiz çalışmaları ve AB projeleri uygulanmış olmakla birlikte konuya ilişkin kapsamlı çalışmalar dokuzuncu kalkınma planı (2007- 2013) döneminde başlamıştır. Dokuzuncu kalkınma planında işletmelerin ortak Ar-Ge, tedarik ve pazarlama faaliyetleri ile ağ oluşturma ve kümelenme girişimlerinin destekleneceği ifade edilmiştir. Başta OSB’ler olmak üzere potansiyel kümelerin desteklenmesi gereği planda vurgulanan unsurlar arasında yer almaktadır. AB destekli “Ulusal Kümelenme Politikasının Geliştirilmesi Projesi” (2007-2009) eski adıyla **Dış Ticaret Müsteşarlığı** tarafından yürütülmüştür. 2008 yılında da “Türkiye

için Kümelenme Politikasının Geliştirilmesi “adıyl kümeler için Beyaz Kitap yayınlanmıştır.

2.1 Beyaz Kitabın amacı ve yapısı;

Beyaz Kitap, stratejik vizyona ve izlenmesi gereken önceliklere açıklık getirmeyi hedeflemektedir. Kitap seçilmiş öncelikleri sunmaktadır. Özel araçları belirlemek, fon dağılımını saptamak ya da sorumluluklar yüklemek yerine politika hedeflerini belirlemekte ve seçilen yöndeki özel faaliyetlerin için önemli görüldüğüne ilişkin düşünceleri sunmaktadır. Bu geniş kapsamda, mevcut belge aşğıdaki temel sorulara yanıt bulmayı amaçlar;

- Türkiye’de niçin kümelenmeye ihtiyaç vardır?
 - Kümelenme neye atıfta bulunmaktadır ve bu kavram nasıl ve hangi boyutta Türkiye gerçeğı ile ilgilidir?
 - Küme geliştirmeye yönelik girişimlere, sağlam ve etkili uzun vadeli bir vizyon bağlamında nasıl yaklaşılmalıdır?
- Kümeler önemlidir, zira genellikle şirketler kümeler dahilinde olduklarında tekil oldukları durumlardan daha fazla verimli ve yaratıcıdır. Kümelenme şirketin performansını arttırabilmektedir, çünkü kümelenme belirli coğrafi sınırlar dahilinde bir dizi yerel tedarikçi, müşteri, rakip, üniversite, araştırma merkezi, vb. ile ortak çalışma ilişkilerine dayanan ağları ve ortaklıkları kolaylaştırmaktadır. Yakınlık, ağ oluşturma ve uzmanlaşma, üç temel özelliktir. Bu özellikler sayesinde kümeler, yukarıda bahsedilen önemli görevleri yerine getirebilir.

Yakınlık; Şirketler bir arada bulunma, uzman işgücüne erişim, bilgilerin değişimi avantajlarından ötürü, birbirlerine yakın mesafede konumlanma eğilimindedirler.

Ağ Oluşturma; Coğrafi sınırlar dahilinde değişik ağların mevcut olması, kümeleri coğrafi gruplaşmalardan ayırır. Ağ oluşturma yerel tedarikçiler, müşteriler, rakipler, üniversiteler ve araştırma merkezleri arasındaki bağlantıları ve ortak çalışma ilişkilerini olanaklı kılar.

Uzmanlaşma; Bir küme ve onun üyeleri yüksek oranda uzmanlaşmıştır. Kümeler dahilinde uzmanlaşma, bir endüstri içinde iş bölümüne gidilmesi gerçeğinin bir yansımasıdır. Bu yüzden, şirketler ana faaliyetleri üzerinde yoğunlaşmaktadırlar ve daha az rekabet gücüne sahip oldukları görevlere ilişkin sorumlulukları da diğer şirketlere ve küme aktörlerine bırakmaktadırlar.

3.KÜMELERDEN VE KÜMELENMELERDEN BEKLENEN FAYDALAR

Ölçek ekonomileri; Uzmanlaşma yoluyla, kümeler şirketlerin ölçek ekonomilerine ulaşmasını sağlayabilir. Örneğın, toplu girdi satın alma sözleşmeleri, ortak pazarlama faaliyetleri,

uzmanlaşmış girişim sermayesine daha fazla erişim, uzmanlaşmış tedarikçilerin ve diğer uzmanlaşmış destek hizmetlerinin mevcudiyeti, küme kapsamındaki şirketlerin kendi işlerine daha fazla odaklanmalarına ve daha yüksek çıktı seviyelerine ulaşmalarına olanak tanıyan yaygın yan ürünlerdir.

Verimlilik artışı ve esneklik; Kümeler, işlem maliyetlerini düşürerek, esnekliği arttırarak ve uzmanlaşmış kaynaklara erişimi sağlayarak, şirketlerde verimlilik artışının gerçekleştirilmesini kolaylaştırabilir.

Öğrenme ve Yenilikçilik; En önemlisi, kümeler yenilikçiliğın gelişebileceğı bir çevre ve platform sunabilmektedir. Şirketler ve kurumlar arasındaki çok taraflı ve yoğun etkileşim, teknolojik ve teknolojik olmayan yenilikçiliğın gerçekleşmesini sağlayan başlıca süreçtir.

Diğer faydalar; Kümeler, oluşturuldukları bölgenin dikkat çekiciliğı ile imajı ve dolayısıyla da genel anlamda çekiciliğini arttırmaktadırlar. Özellikle de doğrudan yabancı yatırımı kümeye çekmek için teşvik edici bir faktör olabilmektedirler. Kümelerde, şirketleşme daha yüksek seviyededir. Sıfırdan başlayan şirketler dış tedarikçilere ve ortaklara daha bağımlıdır ve tüm bunlar da bir küme dahilinde bulunabilir. Genel olarak, küme içindeki şirketler kümede etkileşimde bulunduğunda, iletişim kurduğunda ve rekabet ettiğında, uzun vadeli rekabetçi avantajlar yaratırlar. Yukarıda mikro ekonomik düzeyde belirtilen avantajlar, makro seviyedeki avantajlar ile birleşince kümelerin artan rekabet edebilirliğı bölgesel rekabet edebilirliğe katkı sağlamaktadır. Daha da önemlisi, küme faaliyetlerinin bir sonucu olarak, ulusal rekabet edebilirlik de muhtemelen gelişebilir.

Türkiye’de zaman içerisinde pek çok küme kurulmuş ve bunların bazıları oldukça başarılı olmuştur. 7 sektörel kümelenmeye ev sahipliğı yapan **OSTİM**, kümelenmenin Türkiye’deki öncülerindendir. İş ve inşaat makineleri kümelenmesi (**İŞİM**), Savunma ve havacılık kümelenmesi (**OSSA**), Medikal sanayi kümelenmesi, Yenilenebilir enerji ve çevre teknolojileri kümelenmesi, Anadolu raylı ulaşım sistemleri kümelenmesi(**ARUS**), Kauçuk teknolojileri kümelenmesi ve Haberleşme teknolojileri kümelenmesi faaliyet göstermektedir. OSTİM kümelenmeleri, 20’nin üzerinde UR-GE Projesini başarıyla tamamlamış yeni projelerle de çalışmalarına devam etmektedirler.

03.06.2010 tarihinde imzalanan niyet protokolü çerçevesinde Türkiye’deki kümeler ve küme girişimleri arasındaki işbirliğı ve koordinasyonun sağlanması amacıyla Anadolu kümeleri işbirliğı platformu (**AKİP**) kurulmuştur.

AKİP’in temel prensibi üye kümeler arasında iletişim ve işbirliğini arttırarak hep birlikte büyüme ve gelişmeye katkı sağlamaktır.

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

Diğer başarılı küme örneği de, **ODTÜ Teknokent** 'tir. Günümüzde çok sayıda yenilikçi şirketi kapsayan Türkiye'nin ilk ve en büyük bilim parkıdır. Teknoloji geliştirme bölgeleri kanunu kapsamında bilişim, ileri malzeme, enerji, otomotiv, kimya, biyoloji ve çevre teknolojilerine yönelik araştırma, geliştirme ve tasarım projeleri yürüten girişimler burada yer alabilmektedirler.

Ayrıca 1990 yılında Ankara'da kurulan **SASAD** (Savunma ve havacılık sanayi imalatçıları derneği) günümüzde üye sayısı sürekli artan tüm sektörü kapsayan boyuta ulaşmış ve başarılı işlere öncülük etmiştir.

Türkiye'deki en başarılı kümelenme uygulamalardan biri de İstanbul Tekstil ve konfeksiyon ihracatçı birlikleri (**İTKİB**) tarafından gerçekleştirilmiştir. İTKİB; tekstil, konfeksiyon, deri ve halı sektöründe ihracat potansiyelini artırmak, sektörel tanıtım yapmak ve uluslar arası faaliyetlerde üyelerine yardımcı olmak amacıyla 1986 yılında kurulmuş bir birliktir. Zaman içerisinde gelişerek kurumsal yapısını güçlendirmiştir.

AKİP' in yayınladığı son duruma göre ülkemizde **43 küme ve 26 destekleyici kurum** aktif faaliyet göstermektedir. En çok küme faaliyeti başta Ankara olmak üzere İç Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. Eskişehir'de ise **EBK** Seramik iş kümelenmesi, **RSC** Raylı sistemler kümelenmesi ve **ESAC** Havacılık kümelenmesi mevcuttur. Bu kümeler sektörlerinde kurulan ilk kümeler olduğundan dolayı örnek olarak alınmış yaptıkları başarılı çalışmalar diğer bölgeler için ilham kaynağı olmuştur.

4.DÜNYADA KÜMELENME

Kümelenme programları gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde bölgesel ve ulusal düzeyde uygulanmakta ve desteklenmektedir. Her başarılı kümenin ardında mutlaka eğitim kurumları da vardır. Silikon Vadisinin arkasında Standford Üniversitesi, Bay Area Biyo teknoloji kümesi arkasında Kaliforniya üniversitesi bulunmaktadır.

En bilinen ve başarılı olmuş başlıca küme örnekleri şunlardır,

- Hollywood .

Los Angeles de yer alır. ABD deki tüm film sektörünü barındıran ve yön veren yegane kümedenidir.

-Londra Bankacılık Sektörü.

500 den fazla banka ve finans kuruluşuna sahip bir kümedenidir o kadar etkilidir ki dünya döviz piyasasına burada yön verilmektedir.

-Dijital medya Seul.

2000' li yılların başında faaliyete geçen kümelenme 1000 den fazla ileri teknoloji firmasını barındırmaktadır. Sadece Kore'nin değil dünyanın en önemli dijital medya merkezidir.

-Silikon Vadisi,

ABD'deki en bilinen teknoloji kümelerinden biri hatta ilki Silikon Vadisi olarak bilinen yapıdır. 1900'lü yılların başından itibaren bölgede Amerikan Deniz Kuvvetlerinin Araştırma Merkezi vardır. 1951 yılında ise Standford Üniversitesinin teknoloji parkı kurması bölgeyi önemli bir teknoloji üssü durumuna getirmiştir. Ortaya çıkan bu teknolojik bilginin, savunma bakanlığından gelen büyük miktardaki finansman, risk sermayesi şirketlerinin desteklediği verimli ilişkiler ağı ve Standford üniversitesinin liderliği ile oluşturulan sinerji sonucu Silikon Vadisi ortaya çıkmıştır. Bugün bölgede 1.000'in üzerinde ileri teknoloji şirketi yer almaktadır.

5.DEMİRYOLU KÜMELERİ

Raylı sistemler alanında ülkemizdeki ilk kümelenme olan (**RSC**) Eskişehir raylı sistemler kümesi, Eskişehir'de yerleşik **TÜLOMSAŞ**' in önderliğinde **ESO**, **OSB**, üniversiteler ve diğer kurumların da desteği ile 2011 yılında kurulmuştur. Bunu 2012 yılında Ankara'da **OSTİM** öncülüğünde kurulan (**ARUS**) Anadolu raylı ulaşım sistemleri kümesi takip etmiştir. 2013' te de (**BTSO**) Bursa Raylı Sistemler kümesi kurulmuştur.

İlk kurulan küme olan RSK Kümesinin misyon ve kazanımları şöyle belirlenmiştir.

Misyon;

Raylı sistemler sektöründe ulusal ve uluslararası çerçevede ar-ge ve inovasyon nitelikleriyle katma değerli üretim ve tasarım yapılmasını sağlamaktır.

Kümelenmenin kazanımları;

- Sektörde faaliyet gösteren şirketler arasında sinerji,
- Demiryolu sektörünün birleşmesi,
- Bilgi ve teknoloji paylaşımı,
- Teknoloji transferi ve ortak üretim,
- Demiryolu endüstrisi için yenilikçi çözümler üretmek,
- Demiryolu endüstrinde ekonominin rekabetçiliği ve yenilikçiliğini arttırma.

RSC üyelerinin lokomotif ve vagon üretimi konusunda kabiliyetleri bulunmaktadır. Ayrıca Avrupa raylı sistemler kümeler birliği, **ERCI** üyesidir.

RSK **URAYSİM**, Ulusal raylı sistemler mükemmeliyet ve test merkezinin kurulmasına da etkin destek vermiştir. Demiryollarının kavşak noktasındaki Eskişehir'de böyle bir kümelenmenin varlığı önemlidir ve desteklenmesi gerekmektedir.

ARUS Kümesinin misyon ve kazanımları şöyle belirlenmiştir.

Misyon;

- Küme üyesi firmaların birbirleri ve destekleyici kurumlar ile işbirliği seviyesini geliştirerek ülkemizdeki raylı ulaşım sistemleri sektöründe yerli,

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

yenilikçi ürün ve milli marka üretimini arttırmak ve sektörün uluslararası rekabetçilik seviyesini yükseltmektir.

•“Raylı sistemler milli davamızdır” ilkesiyle yola çıkan Anadolu raylı ulaşım sistemleri (ARUS) kümelenmesi, ülkemizde raylı ulaşım sistemlerine yönelik üretim yapan sanayicilerimiz, destekleyici kurum ve kuruluşlarımız ile birlikte “İş Birliği, Güç Birliği ve Milli Marka” inancıyla 2012 yılında kurulmuştur. Ülkemizde tasarımdan nihai ürüne yerli ve milli marka raylı ulaşım sistemlerini üreterek, birer dünya markası haline getirmeyi kendisine ana hedef olarak belirlemiş olan ARUS, Anadolu'nun dört bir yanından üyeleri ile, Türk raylı sistemler sektörünün önde gelen kuruluşlarını bir araya getirmekte, sektörde işbirliği, güç birliği ve milli markalar üretme görevini üstlenmektedir.

•ARUS başkent Ankara'da kurulması sebebiyle gerek kurumlara gerekse bakanlıklara ulaşımı kolay olduğundan dolayı en büyük kümelenme olarak dikkat çekmektedir. Türkiye'deki tüm büyük demiryolu firmaları üyesidir. Üyeleri her tür demiryolu aracı, sinyalizasyon, alt yapı üreticilerine kadar çeşitlilik arz etmektedir. Ayrıca çeşitli Ür-ge faaliyetleri yürütmektedir. Diğer yurt dışı kümeler ile bağlantıları bulunmakta ve fuar vb. etkinliklerde üyelerine etkin hizmet sunmaktadır.

•ARUS Avrupa Raylı Sistemler Kümeler Birliği, ERCI' in bir üyesidir.

6.DÜNYADA DEMİRYOLU KÜMELENMELERİ

•Buharlı makinelerin bulunması ve lokomotiflerde uygulanması dünyada demiryolu için bir çıkış olmuştur.1804 yılında ilk defa İngiltere'de çalışmaya başlayan buharlı lokomotifler çok hızlı bir şekilde tüm dünyaya yayılmıştır. Demiryolu taşımacılığının avantajları tüm ülkeleri bu alana yatırım yapmaya sevk etmiştir. İngiltere ve Almanya'daki kömür madenleri bu sektörün buralarda daha hızlı gelişimine yol açmıştır. Bu nedenle bu ülkeler ilk demiryolu standartlarını ortaya koymuş ve ilk demiryolu yığılma ve kümelenmesi bu bölgelerde başlamıştır.

•1922 'de Paris' te 29 ülkenin katılımı ile **UIC** (Dünya Demiryolu Birliği) kurulmuştur. UIC' nin ana görevi, demiryolu inşaatları ve operasyonları için koşulları uyumlu hale getirmek ve iyileştirmek olarak belirlenmiştir. Belli standartları belirleyen kurum üyelerine teknik destek vermekte yıllık toplantılar düzenlemektedir. Hali hazırda dünyadaki ülkelerin çoğu bu birliğe üye durumdadır.

•Avrupa ülkelerinden farklı ölçüm standartlarına sahip ABD'de 1934 yılında kurulan **AAR** (Association of American Railroads) , ABD

demiryolu güvenliğine ve üretkenliğine odaklanan dünyanın önde gelen demiryolu politikası, araştırma, standart belirleme ve teknoloji organizasyonudur.

•Alman Demiryolları (**DB**), DIN normlarının ışığında demiryolu alanında en başarılı kurum durumundadır. Pek çok demiryolu kuruluşu DB teknik çizimlerini ve standartlarını esas almaktadır.

•Bu bölgelerde demiryolları alanındaki gelişmeler bu ülke ve firmalarını standart belirleyen, demiryolu araçlarını üretilen satan bir konuma yükseltmiştir. Uzun yıllar ABD, Almanya ve Fransa dünya demiryolu aracı üretiminin çoğunu gerçekleştirmiştir.

•GOST standartları nedeniyle Rusya bölgesi Avrupa'dan ayrılmaktadır. 1520 mm. standart dışı ray açıklığına sahip olduğu için de çoğunlukla doğu bloku ülkeleri için üretim yapılmıştır.

•Son 20 yılda demiryolu sektöründe önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Çin kendi tüm araç üreticilerini tek firma adı altında toplayarak bu alanda en büyük üretici pozisyonuna geçmiş bulunmaktadır. Japonya ve Güney Kore'de özellikle tren setleri ve hızlı tren üretiminde söz sahibi ülkelerdir.

•Avrupa ülkeleri de rekabet edebilmek için sürekli firma birleşmeleri ile gruplaşmakta ve bu alandaki üstünlüğünü sürdürmek istemektedir.

•Tüm bu tarihsel süreçten anladığımız sektörel kümelenmenin ne kadar önemli olduğudur. Bir araya gelerek ortak bir amaç çerçevesinde çalışmakla pek çok şeyin başarılacağı bir gerçektir. Bu ülkelerdeki demiryolu firmaları devletlerinden de destek alarak bir araya gelerek mevcut kazanımlarını korumak istemektedirler. Günümüzde farklı ülkelerin demiryolu pazarına girmesiyle rekabet hızlanmış, kümelenerek rekabet edebilmek en önemli faktör olarak ortaya çıkmış durumdadır.

•İtalya, İspanya, İngiltere vb. birçok ülke demiryolu kümelenmesine sahiptir. 2010 yılında da bir işbirliği anlaşmasının imzalanmasıyla **ERCI** (European Railway Cluster) kurulmuştur. ERCI 15 Avrupa ülkesinden (İtalya, Polonya, Fransa, İngiltere, İspanya, Türkiye, Belçika, İsveç, Hırvatistan, Slovenya, Sırbistan, Bosna Hersek, Karadağ, Makedonya, Almanya) ve 16 Kümeden oluşan bir girişimdir.

•“Avrupa demiryolu endüstrisini güçlendirmek”, Avrupa demiryolu kümelenmesi girişimi ERCI' nin en önemli misyonudur. ERCI' nin amacı, öncelikli olarak küçük ve orta ölçekli işletmeleri, teknoloji ve araştırma enstitülerini ve büyük şirketleri ortak inovasyon projeleri için bir araya getirmek, Avrupa

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

demiryolu endüstrisinde rekabet gücünü sürdürülebilir bir şekilde güçlendirmenin bir aracı olarak yeniliği teşvik etmek ve yeni iş fırsatları geliştirmektir.

7.SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

•1825 yılında ilk demiryolu ticari hattının İngiltere’de hizmete girmesinden bu yana, Demiryolları en önemli ulaşım aracı olmuştur. Güvenli, ekonomik ve çevreci olduğundan dolayı önemli yıllar içinde azalmamış daha da artarak yaygınlaşmıştır. Çin, Hindistan, Avrupa ve ABD başta olmak üzere pek çok ülkede yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı demiryollarınca yapılmaktadır.

•Ülkemiz sınırları içinde ilk demiryolu hattı 1860 yılında İzmir - Aydın arasında açılmıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında kıt olanaklarla yılda ortalama 150 km yeni yol yapılırken sonraki yıllarda yapımlar durdurulmuş ve demiryolları ihmal edilmiştir.2009 yılında Eskişehir-Ankara arası hızlı tren hattının yapımı ile demiryolları tekrar gündeme gelmiştir. Hızlı trenin hız ve konforu tüm kentler için talebi arttırmış bunun sonucu olarak yeni demiryolu hatları yapılmaya başlanmıştır. Gerek hat uzunluğu gerekse araç kapasitesi açısından ülkemiz maalesef beklenen seviyede değildir. Ülkemizin dış ticaret hacmi artmasına rağmen yük taşımacılığının sadece yaklaşık % 5’ i demiryollarıyla yapılmaktadır.

•Günümüzde yüklerin bir yerden bir yere lojistiği çok önemli hale gelmiştir. Kıtalar arası lojistikte deniz taşımacılığının yanında demiryollarının da etkin kullanılması yeni bir konsept olarak ortaya çıkmaktadır. Öyle ki ülkeler demiryolu hatlarının nerelerden geçmesi ile ilgili birbiriyle yarışmakta büyük yatırımlar yapmaktadır. Ülkemiz kıtaların buluşma noktasında olduğundan dolayı eşsiz bir durumdadır. Ancak bu konumumuzu yeterince iyi değerlendirdiğimiz söylenemez. Bunu başarmak için çift hatlı yeni demiryolu hatlarının yapımı gerekmektedir. Örneğin yeni yapılmakta olan Halkalı - Edirne çift hatlı demiryolu yapımı çok önemli ve başarılı bir örnek olarak özellikle Avrupa ülkelerinin dikkatini çekmiş durumdadır. Nahçıvan - Azerbaycan üzerinden Türki Cumhuriyetlere ve Çin’e bağlantı yapılabilir. Ayrıca Van gölü geçişi dışında yeni bir hatla İran bağlantısının sağlanmasıyla Güney Asya’ya ulaşmak mümkündür. Yenilerde gündemde olan Basra / Irak - Türkiye çift hatlı demiryolu hattı yapımı çok büyük öneme sahiptir. Mutlaka başarılımalıdır. Böylelikle Körfez, Hindistan ve Çin’den gelen yükler, ülkemiz üzerinden boğaz geçişi köprü bağlantısı da sağlanmak suretiyle Avrupa’ya en kısa yoldan ulaşacaktır. Böylelikle taşımacılıktan gelir

edilmesinin yanında ulaşımda kilit bir ülke pozisyonuna gelmiş olacağız.

•Yolcu taşımacılığı da önemli olmakla birlikte demiryolunda gelişmiş ülkeler yük taşımacılığında daha çok fayda ve gelir sağlamaktadır. Bu nedenle komşularımızla, limanlarımızla bağlantılı çift hatlı demiryolu yapımı ve işletmesine mutlaka geçmemiz gerekmektedir. **TCDDT** yanında özel firmalarda demiryolunda taşımacılık yapılabilmektedir. Demiryolu Taşımacılık Derneği (**DTD**) adı altında kümelenmiş bu firmalarımız da alt yapı sorunları ve kombine taşımacılık yapılamaması nedeniyle gerekli büyümeyi sağlayamamaktadır. Tek hat işletmeciliği, ortalama hızın düşüklüğü, alt yapıya ödenen ücretlerin yüksekliği taşımacılık firmalarının önündeki en büyük engeldir. Burada liman, lojistik köyler ve OSB’ ler arası yan bağlantıların da tamamlanması önem arz etmektedir. Örneğin, tek parselde ülkemizin en büyük organize sanayi bölgesi olan Eskişehir OSB’ nin 5 km ilerisinde hat olmasına rağmen demiryolu bağlantısı bulunmamaktadır.

•Alt yapı ve Tren işletmeciliğinin yanında Demiryolu araç ve ekipmanı üretmek ülkemiz için oldukça önemlidir. Son yıllarda bu alanda da gelişmeler olmaktadır. Ana entegratör olan **TÜRASAŞ** (Türkiye Raylı Sistemler A.Ş) ‘ a ürün üreten çok sayıda firma bulunmaktadır. Yıllar içinde bu firmalarımız kazanmış oldukları know how sayesinde şimdilerde kendi ürünlerini tasarlayıp üretebilir duruma gelmişlerdir. Örneğin, çok sayıda firmamız Avrupa’ya yük vagonu ve bojilerini ihraç etmektedir. **TÜRASAŞ** üç firmayı bünyesine alarak alanında kapasite olarak büyük bir firmaya dönüşmüştür. Daha önceleri başlatılmış olan projeler ve yeni projelerle üretim yapılmaktadır. Milli elektrikli lokomotif E 5000, Milli elektrikli tren seti EMU, Yerli dizel motor projesi, Banliyo treni seti Gaziray bunlardan birkaçıdır. Cumhuriyetimizin eşsiz emaneti bu tesisler korunmalı desteklenerek geliştirilmelidir. Devletimizin yanında demiryolu kümelerimize de bu konuda önemli görevler düşmektedir. **TÜRASAŞ** ne kadar büyür gelişirse ona iş yapan firmalar ve kümelenme üyeleri de o kadar gelişir.

•Bir diğer konumuzda kent içi ulaşım sistemleridir. Son yıllarda belediyelerimiz raylı taşımacılığa önem vermeye başlamıştır. Başta İstanbul olmak üzere pek çok kentimizde metro, tramvay, banliyö setleri yatırım ve işletmeciliği bulunmaktadır. Maalesef zamanında bu araçları üretmediğimizden dolayı şehirlerimizde çok çeşit ithal ürünler bulunmaktadır. Sadece İstanbul’da belli başlı her üreticinin araçlarını görmemiz mümkündür. Bu da gerek işletme gerekse yedek parça temini ve bakım zorlukları yaratmaktadır. Bursa’da yerleşik **DURMAZLAR** ve Ankara’da tesisleri bulunan **BOZANKAYA** firmaları yerli kendi tasarımları

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ

tramvayları üretmiş ve belediyelerimize satmış durumdadır. Ayrıca Romanya ve Polonya gibi Avrupa ülkelerine ihracat da yaparak büyük bir başarıya imza atmışlardır.

•Ayrıca Avrupa’da gerek işgücü maliyeti gerekse temini zorluğu nedeniyle el emeği yoğun kaynaklı bir imalat olan vagon üretimi azalmış bulunmaktadır. Oysa vagon ihtiyacı çok büyüktür. Ülkemizdeki firmaların Avrupa TSI standardında ürün üretmesi büyük avantaj olarak ortaya çıkmakta ve diğer rakiplerin önüne geçmektedir. Kümelerimizin önderliğinde ve etkili tanıtımıyla Avrupa pazarına daha çok vagon ve ekipmanlarını satmak mümkündür.

•Kümelenme ve bölgesel kalkınma artık günümüzde en geçerli modeldir. Birbirleriyle rekabet içinde bulunsalar da belirli bir bölgede benzer üretim yapan firmaların küme avantajlarını kullanarak bir araya gelip ortak proje yapması arzu edilen bir durumdur. Çünkü kümeler ulaşım, işgücü, Ar-Ge vb. konularda avantajlar oluşturmaktadırlar. Dünya örnekleri incelendiğinde iyi kümelenmeler hem kendi şirketlerine hem de bölgesine büyük bir sıçrama yaptırmıştır. Ülkemizde birlikte iş yapma alışkanlığı batıdaki şirketler kadar gelişmemiştir. Bu durumun aşılması gerekmektedir. Aşılamadığı takdirde kümelerden beklenen verim ve gelişme sağlanamaz.

•Ülkemizde bakanlıklar, sanayi, üniversite ve sivil toplum kuruluşlarının çabalarıyla kümelenme konusunda önemli gelişmeler ve destekler sağlanmaktadır. Ancak daha da geliştirilmelidir. Belirlenen hedeflere ulaşılmasında, yerli ve milli ürünlere yönelmede bu nedenle kümelenmelere önemli görevler düşmektedir.

Demiryolu kümelerimizden beklenenler şunlar olmalıdır;

- Kümelerimiz nitelikli ve deneyimli personel ile teçhiz edilmelidir.
- Kümeye katkı verecek şirketleri davet etmeli ve kritik kitleye ulaşmalıdır.
- Küme üyeleri arasındaki rekabet ve işbirliği, iş yapma kültürünü hassasiyetle korumalıdır.
- Bölgesel küme yapısından sıyrılmalı, uluslararası işbirliği ve fırsatlara açık olmalıdır.
- Ana veya kümeyi sürükleyen belli bazı firmaların aşırı etkisinde kalmayıp, tüm üyelerin haklarını ve kümenin yaşam döngüsünü titizlikle korumalıdır.
- Devlet kurumları ve diğer işletmeler ile güçlü bağlantılar oluşturarak olası destek ve fırsatlardan üyelerin faydalanması sağlanmalıdır.
- Güçlü bir network ağı oluşturulmalı ve uzun vadeli politikalar yapılmalıdır. Üniversiteler, Sanayi odaları, Ar-Ge merkezleri vb. kurumlar network’ ün vazgeçilmez parçası olmalıdır.

-Günümüzde en önemli organizasyon yapısı olarak pazarlama faaliyetleri öne çıkmıştır. Kümeyi, üyelerini uluslararası alanda tanınır hale getirmek kümenin en önemli görevi olmalıdır.

Sonuç itibari ile kümelenme bir araya gelmek suretiyle ekonomik büyümeyi sağlanmanın bir aracıdır. Ortak iş yapma, rekabet halinde işbirliği kültürümüzün geliştirilmesi ile yerel kalkınma, üretim artışı ve ekonomik büyüme sağlanacaktır. Kümelenmelerin doğru yer ve sektörlerde yapılmasıyla ne kadar başarılı olabileceğini dünya örneklerinden görmekteyiz. Ülkemiz için kritik bir sektör olan demiryollarındaki kümelenme faaliyetlerinin desteklenmesi ve geliştirilmesi ile bu alanda dünyada önemli bir yere gelmemiz mümkündür. Bunu başarmak içinde **ATATÜRK**’ün şu sözü bizim için yeterlidir. “ Tek bir şeye ihtiyacımız vardır, çalışkan olmak.”

8.REFERANSLAR

- DTM** : Beyaz Kitap 2008
AKİP : www.akip.org.tr
RSK : www.rsc.org.tr
ARUS : www.anadoluraylisistemler.org

9.ÖZGEÇMİŞ

1959 Eskişehir doğumluyum. Üniversite dahil tüm öğrenimimi Eskişehir’de tamamladım. EDMMA Makine Mühendisliği mezunuyum. 1981’de başlamış olduğum devlet memurluğu görevimi 2022 yılında 41 yıl çalışarak tamamladım. Mühendis olarak iş başı yaptığım, Eskişehir’de yerleşik TULOMSAS’ ta (Şimdiki ismi TÜRASAŞ) Ar-Ge Dai. Bşk. lığı ve en son Gn.Md.Yrd.cılığı görevlerinde bulundum. Evli ve 1 çocuk babasıyım. İyi derecede İngilizce bilmekteyim.

TMMOB

Electrical Engineers, Civil Engineers, Mechanical Engineers
Congress and exhibition of rail systems
November 2023 02-03-04 / ESKIŞEHİR

ROLLING STOCK 4.0 & DIGITALIZATION

Leire de Olabarria

Ingeteam

Parque Tecnológico de Bizkaia, Edificio 110, 48170 Zamudio, Bizkaia: Spain
Tel: +34 94 4039 700 E-Mail leire.deolarria@ingeteam.com

Abstract – Ingeteam is a Spanish company with more than 4.800 employees all over the world specialized in Power Conversion focused in 4 main sectors. Energy/Marine/Rolling Stock and Industry.

Regarding Rolling Stock, Ingeteam is innovating in every given solution applying IOT and 4.0 to the different Train applications. Throughout this paper we will try to explain different IOT solutions applied to Rolling Stock.

Nowadays Rolling Stock market is evolving and we need to adapt ourselves to a digitalized industry in which we can encounter different solutions such as:

Axlebox Monitoring Solutions, in which Ingeteam is expert not only in the Datalogger for catching the Data coming from the Train Bus and sensors but also in Digital Accelerometers design and manufacturing.

Door Controllers with predictive maintenance capabilities. Giving the final customer the possibility of analyzing the operation of the door preventing future damages that could mean future breakdowns and high costs for the Train Operator.

Whole Train Set Monitoring, by identifying key signals coming from the sensors and communication bus, through which operator will be able to diagnose and manage the whole Train Fleet.

Cibersecurity plays a key role in this new digitalization solutions as all information is being sent to the cloud. Major cibersecurity points affecting Rolling Stock IOT will be detailed in the paper.

1. INTRODUCTION

Rolling Stock market has evolved from a traditional and conservative market, purely functional, onto an innovative one that tries to give additional value to the end customer.

During the last decade Railway Operators have focused themselves on assuring a more reliable and sustainable service increasing train's fleet availability.

Nowadays, 30% of the time that a train stays in the workshop is spent in manual maintenance tasks. This amount of time could be reduced a 60% by implementing Condition Based Maintenance (CBM) Solutions that enable a continuous supervision of the status of the assets of the train.

This time reduction is translated into approximately a 15% cost decrease. If we consider that maintenance European market is valued around 45 to 50 billion €, we are talking about an approximate amount of 4,5 billion € savings per year.

Even though, implementing CBM technology in a fleet can sometimes bring us to a point of uncertainty, starting from what should we analyze, how should we upload the information safely, which conclusions can we obtain from the collected data and what actions should we implement.

2. ELEMENTS TO ANALYZE

After taking the decision of implementing CBM technology in our fleet, we will have to decide which strategy will we follow and what will we prioritize. Is the main purpose saving costs reducing breakdowns or is our main purpose providing confort and additional services to the user?

Normally, the key factor that operators have to consider are which elements are more predisposed to fail and which of these elements will cause a breakdown. Also these subsystems could be clasified as Passenger Confort Subsystems or Passenger Safety Subsystems.

Table 1. Types of Subsystems to be Analyzed

Type	Subsystems
Passenger Confort	Toilet, HVAC, AxleBox
Passenger Safety	Doors, Brakes, PowerTrain

For both types, availability is critical in a train as the breakdown of any of them means a train’s service failure.

3. CONNECTING ELEMENTS

Once the kind of elements we want to analyze is clear, the following step is to check how the critical data concerning the different elements can be collected.

By critical data we mean the information that will enable the analyzer to detect any kind of malfunctioning in any of the abovementioned parts.

After acknowledging the range of data we need for detecting any failure on any of the critical elements, we will have to check three points.

Table 2. Considerations about Data Collection

Has the subsystem communication with the Backbone of the train?
Is the information that we need in the communication bus?
Are there physical sensors collecting the information?

As it is specified in the previous table, the main point to be analyzed is if the subsystem that is needed to be analyzed has connection to the backbone of the train.

3.1 Subsystems with connectivity to Backbone

In certain cases it is frequent that the element whose failure we need to predict has connection to the communication bus and whole information is available directly without the need of adding external sensors. If this is the case, the way of proceeding for collecting all the required information is installing one device or Sniffer per vehicle that will be in charge of collecting the data from the communication bus, sniffing the complete bus in order to collect whole critical information.

3.2 Subsystems with no connectivity to Backbone

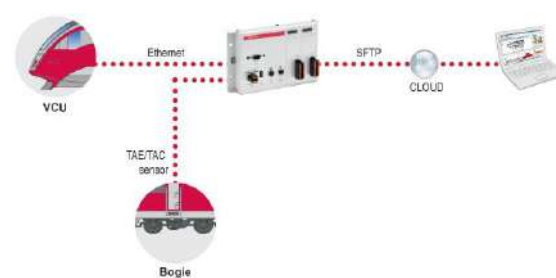
In most frequent cases, part of the critical elements that are needed to be analyzed in order to execute a correct predictive maintenance, do not have connectivity to the communication bus of the train. In these cases, it will be necessary to check if there

are sensors already installed in the train that will supply the required data or if a sensorization of the subsystem will be required.

Adding sensors to the different subsystems will make the solution more costly but will enable a better accuracy about the functioning of the concrete subsystem.

For example, for the case of the AxleBox Monitoring solution (Figure 1.), additional sensors (accelerometers) will be required in order to make a complete analysis of the system.

Figure 1. Sensors Data Collection



4. DATA COLLECTOR

Once the previous analysis has been executed, it is required to study which Hardware will be used as Data Collector/Sniffer.

The selection of the Datalogger Hardware will depend directly on the kind of abovementioned applications that we may encounter.

4.1 Subsystems with connectivity to Backbone

In this case a Processor with High Capacity, connectivity to the train and memory for Datalogging must be considered.

No additional I/Os will be required but depending on the frequency with which data must be collected, a solution with high capacity processor must be supplied.

Connection to the cloud is also necessary in this case. This connectivity is obtained through a external router connected to the DataLogger.

4.2 Subsystems with additional sensors

When not whole information is available in the train, additional sensors are required, as we have mentioned above.

For these cases, it is highly relevant to use a Hardware with availability for physical Inputs and Outputs

The type of signals that are usually logged are:

Temperatures
Vibrations
Analogue Signals (Speed, Water Level,...)

These signals usually after having been logged are processed, sometimes in order to make an spectral analysis and then sent to the Cloud.

As a consequence of the abovementioned requirements, the Hardware to be used will need to have High Processing capacities as the required processings will be carried out in the Datalogger's Processor.

5. INFORMATION SHARE

Once information is collected, it will have to be analyzed how to share that information with the maintainers through a cibersecure method.

As information will be uploaded to the cloud (usually operator's cloud), it is mandatory to choose a secure communication protocol to send the different information. SFTP, MQTT, AMQTP are the most frequently communication protocols used in the market.

But, apart from the communication protocols other factors may be considered.

5.1 Only-Reading

It will be necessary to use a Datalogger that certifies itself as an only-reading unit, with no possibility of writing onto the Backbone of the train and therefore with no possibility of interfering in the main control of the train.

5.2 Vulnerability Surveillance

Hardware Supplier must give a vulnerability surveillance service, checking constantly any vulnerability detected on the adquisition hardware.

5.3 Impossibility of 3rd Elements Connectivity

Hardware can't enable physical connection of 3rd elements, that is, no extra communication ports can be supplied and physically the unit must be inaccessible for the common user.

6. REFERENCES

- Wells, L.J., Camelio, J.A., Williams, C.B., White, J.: Cyber-physical security challenges in manufacturing systems. *Manufact. Lett.* 2(2), 74–77 (2014)
- Ge, Z., Song, Z., Ding, S.X., Huang, B.: Data mining and analytics in the process industry: The role of machine learning. *IEEE Access* 5, 20590–20616 (2017)
- Caterino, M., Fera, M., Macchiaroli, R., Manco, P.A.: Maintenance policy selection method enhanced by industry 4.0 technologies. In: *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, vol. 1, pp. 60 - 66 24 (2019)
- Onur, K. O. C. A., Kaymakci, O.T., Mercimek, M.: Advanced predictive maintenance with machine learning failure estimation in industrial packaging robots. In: *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, pp. 1–6 (2020)

6. CURRICULUM VITAE

Career:

2.023 – Automation Devices Business Unit Director
Company: Ingeteam

2.019-2.022 – Automation Devices Commercial Director

Company: Ingeteam

2.015-2.019 – Automation Devices Sales Engineer

Company: Ingeteam

2.012-2.015 – Export Area Manager

Company: Fanox Electronic

2.011-2.012 – R&D Wind Software Engineer

Company: Ingeteam

Studies:

Master in International Trade and Marketing

Master Engineering in Automation and Electronics

Technical Industrial Engineering, Speciality

Industrial Electronics

SCADA APPLICATIONS FOR RAIL TRANSPORTATION SYSTEMS

Citra Lestari Saparingga¹, Ade Rukmana², Ferdi Yoloğlu³

¹+90 538 728 27 17 citra.lsafaringga@gmail.com

²Elsicom Engineering Garut/Indonesia

+62 821 3066 8633 ade.rukmana@elsicom.co.id

³Chamber Of Mechanical Engineers Kocaeli Branch İzmit/Kocaeli

+90 537 553 00 39 ferdi.ylg141@gmail.com

Abstract

Trains are the main means of transportation because of their ability to carry large numbers of passengers. Sometimes some trains experience accidents due to lack of control due to no detection when trains enter. Therefore, it is more effective to implement several additional devices to protect against unstable detection. This functions to form, lock, control all electrical signal equipment to secure train travel. This system uses PCVUE software for supervisory control and data acquisition (SCADA). It is used for remote control and monitoring the signalling equipment.

For example, in Indonesia, SCADA has been implemented an electrical signalling system equipped with Point machine control detection, signal control and proving detection, and train detection via axle counter. PCVue SCADA provide the control and indication for the signaller to set the routes and monitor all signalling equipment statuses. With this PCVue SCADA in place, railway transportation services are provided safely and efficient.

Keywords: pcvue, scada, electrical signal

1. INTRODUCTION

Train transportation is a very popular form of transportation in many countries, including Indonesia, because it is safe and comfortable. Travel security from the departure station to the destination station involves electronic devices, dozens of workers who organize, observe and communicate with each other throughout the train journey. Electronic and signaling devices have an important role in carrying out calculations, logical operations, communications with the aim of providing safe train travel. Train stations have many signaling devices that must be managed. This signaling device is regulated by an interlocking system. The interlocking system is the brain of the electrical signaling system which consists of a special computer designed for safe train travel. This system consists of (money order motor, and

signal light) data acquisition and HMI. Communication between stations currently still uses radio where voice uses radio communication. Communication using radio is often not heard clearly so other indicators are needed for the driver if he wants to enter the station.

2. BASIC THEORY LITERATUR

The research carried out requires knowledge of SCADA (supervisory control and data acquisition), HMI (human machine interface), LCP (local control panel). The basic theory used to solve the problem is as follows:

2.1. PcVue

PCVUE is Supervisory control and data Acquisition (SCADA) software system. It is used for industrial automation, monitoring and control of industrial processes, and remote management of assets and equipment.

PCVUE provides a graphical interface for the display of real-time data and process information, as well as the ability to configure and control industrial processes. It supports communication with a variety of industrial protocols and can interface with programmable Logic controllers (PLCs), field devices, and other control systems.

In addition to its SCADA capabilities, PCVUE also includes features for data analysis and reporting, alarm management, and historical data management.

Overall, PCVUE is a comprehensive and flexible SCADA system that can be used in a variety of industrial and manufacturing environments, including Power and utilities, oil and gas, water and waste water, and transformation.



Figure 1.PcVue Solution Installation Menu

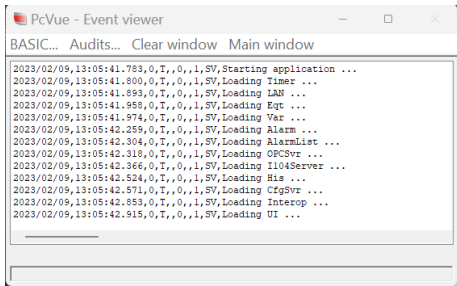


Figure 2.Event Viewer PcVue

2.2. Signal Light

The signal lights in the railway signaling system function as a guide for the driver to know which path has been formed and which track can be passed. Signal lights consist of a main signal aspect, an emergency signal aspect, and a shunt signal aspect.

2.3. Point Machine

Point machine is a mechanical component for moving one track to another or a point machine is a branching construction of railroad track trunks where the train moves in the same direction.

3. PLANNING METHODE

3.1. Implementation

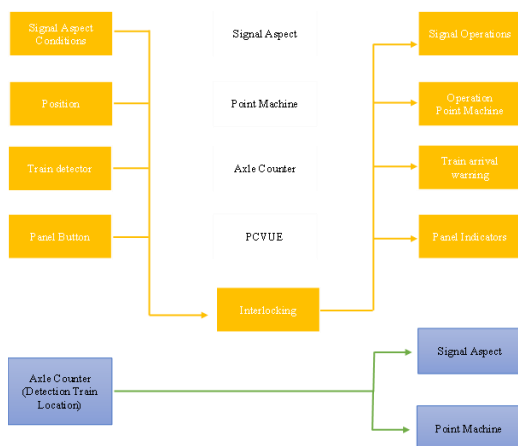


Figure 3.Workflow

3.2. Design PCVUE

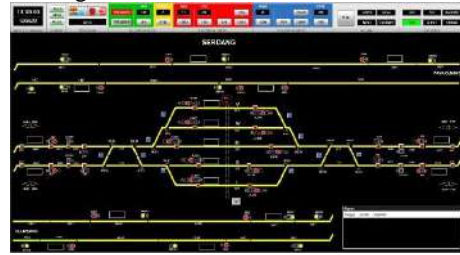


Figure 4.Design PcVue Screen

3.2.1 Animation Signal

The VDU must animate the signal with the following conditions:

The animation of the main aspects follows the actual aspects of the field: red, yellow, green. Animated aspect lights on the VDU.



Figure 5.Main Aspect Animation (A) Red (B) Yellow (C) Hijau.

3.2.2. Animation Point Machine

The VDU must animate the point machine with the following conditions:

- a) Animation of the normal Point Machine condition with the Point Machine the positioned in a straight (normal) direction which is marked by a straight track in the animation of the the intersection.



Figure 6.Animation Straight Point Machine (Normal).

- b) Animation of the normal Point Machine condition with the position of the Point Machine in the turning direction (reverse) which is marked by the turning track at the intersection animation.

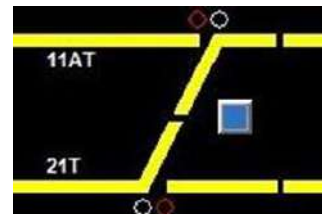


Figure 7.Animation Turn Point Machine (Reverse).

3.3. Discussion

3.3.1 Route Train Operate

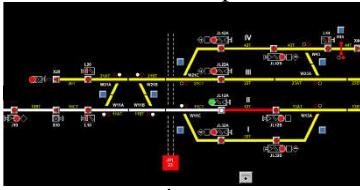


Figure 8. Route From Signal In The Middle Position (JL12A) To A10 This Condition Formed Because The Condition Fullfilled.

The red color identifies the track as occupied or you could say the train is on track 12. If an exit route is formed on JL12A to A10 a route will be formed which makes the aspect of JL12A safe and the signal turns green.



Figure 9. Route From J24 To JL12A Cannot Be Formed

J24 is a signal that is positioned above or in front of the exit signal from the opposite route. The route that ends at JL12B as the opposite route is still being formed so the main route from J24 to JL12A will not be able to be formed. Because the train's position is on track 12.

3.3.2 Control Point Machine

The Point Machine is operated by selecting the command button in the Point Machine group followed by the specific Point Machine button. There are some commands available for each Point Machine setup:

- a) Point Machine Movement – (TKW + Point Machine Button): Controls the Point Machine moving to the opposite position. If the Point Machine is detected in a straight (normal) position and then this control is carried out, the Point Machine will move to the reverse position.

TKW Used to serve Point Machines individually. This is done by pressing the TKW button followed by pressing the Point Machine button which will be reversed.



Figure 10. Point machine control button

- b) Point Machine Lock - (TKGW + Point Machine Button): This command is used to lock the Point Machine and prevent it from being operated to the opposite position either by a route request or by a Point Machine move command.
- c) Unlock Point Machine – (TBKW + Point Machine Button): this command will remove control / unlock Point Machine

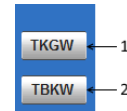


Figure 11. TKGW (button locks the point machine) TBKW (button unlocks the point machine)

- 1- Used to lock the Point Machine position. This is done by pressing the TKGW button followed by pressing the relevant Point Machine button.
- 2- Used to unlock the Point Machine. This is done by pressing the TBKW button followed by pressing the buttoned Point Machine button.

3.3.3. Point Machine Indicator Lock

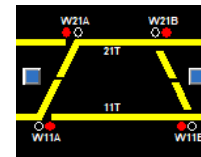


Figure 12. The Point Machine Indicator Is Locked

- 1. Point machine is locked in turning position. The indicator lights red when the button is active (TKGW). The indicator is off in normal condition or unlock (TBKW).
- 2. Point machine is unlock in the straight position. The indicator lights red when the button is active (TKGW). The indicator is off in normal condition or unlock (TBKW).

3.3.4. Signalling Layout Plan in The Field



Figure 13. W= Point Machine



Figure 14. ZP: Axle Counter



Figure 15. J= Signal

4 RESULT

Route activation is done by pressing the start track and destination track buttons. A route will be formed if the Point Machine meets the conditions for forming a route. The station line will change color to white if the route requirements in the form of a Point Machine have been show by pressing the Point Machine group button on the PCVUE display so that if there is a route that will pass it can be controlled and seen on the monitor display and accidents can be avoided.

5 REFERENCE

[1] Sistem Interlocking Persinyalan Berbasis PLC dengan Metode HSB (hot standby) Local Control Panel (LCP) (Septyan1, July 26-27.2017)

[2] Sigalling Principles Elsicom Engineering, 2022

6. RESUME

Citra Lestari Saparingga,

Citra Lestari Saparingga was born in 1997 in Garut, Indonesia. After completing her high school education at SMAN 15 GARUT school, she finished her Bachelor's Degree on Electrical Engineering at Telecommunications department of Garut University.

After her university education, she started working at Elsicom Engineering in April 2021, and during her 24-month of experience in the company;

- 1- Updating the drawings as desired according to the project templates by using AutoCAD software.
- 2- Designing the VDU applications by using the PCVUE software application
- 3- Creating and updating the test documents and forms for the verification and validation processes.
- 4- Creating and updating VDU user manuals for stations according to project requirements.

Etc... She worked on these subjects and completed the process by providing field checks on the areas she followed.

Citra Lestari Saparingga left Elsicom Engineering company due to her marriage in 2023 and settled in Turkey. She lives in Kocaeli and contributes to language development by taking Turkish courses.

Hobbies; Preparing various menus of Korean cuisine, listening to music, and watching horror movies.

She is honored to evaluate your job offers to continue her career in Kocaeli or remotely.

Ferdi Yoloğlu,

Ferdi YOLOĞLU was born in 1996 in Muş, Türkiye. He completed his high school education at Seka Çocuk Dostları High School. He completed his university education in the field of Heat Technology at Erciyes University in 2019.

The thesis titled *"Numerical Investigation on Heat Transfer Enhancement and Flow Characteristics in a Tube Equipped by Twisted tape with Alternate Axis"*, prepared by Professor Doctor Veysel ÖZCEYHAN and Research Assistant Toygun DAĞDEVİR, was held on 12-16 June 2019 in Prague / Czechia at the "5th It was presented at the *"International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS 2019)"* congress and published in the journal.

He started his first business life as a Technical Engineer at OTECH Machinery company operating in Kayseri Organized Industrial Zone. After working for 10 months, he left the company for his military service.

After his military service, he started working as a Project and Design Engineer within Ertuğ Group, which operates in the Automotive sector in Dilovası Organized Industrial Zone. During this period, he made designs and project applications for many domestic and foreign automotive companies.

Currently, she works in the Training unit of TMMOB Chamber of Mechanical Engineers Kocaeli Branch Applied Training Center.

Corporate training planning for corporate training business development in the field of Energy and Maintenance, determining the training needs of institutions, making the training units in the field of Maintenance and Repair functional and arranging course documents to be used in training.

Basic courses given in the sector: Solidworks Basic and Advanced Level Training, AutoCAD (2D) Basic Level Training, Technical Drawing Training, Mechanical Measuring Tools Usage Training, Sheet Metal Modeling Training, General Bearing Training, etc.

Hobbies; Asian Cuisines, Playing Backgammon and Chess.

Ade Rukmana,

Ade Rukmana was born in Indonesia in 1975. He completed his university education in 2000 at Bandung Institute of Technology (ITB), Bandung, Indonesia. Faculty of Industrial Technology, Majoring in Electrical Engineering, took Electronics Engineering as a Minor" and completed his Master's Degree in the same field in 2003.

He started working at "Device and IC Processing Laboratory, Bandung Institute of Technology" in 2000 and worked there for 6 years.

He started working as a Signaling Engineer at the company "Alstom Australia" in 2012, and until today he has worked in different positions and positions within the company as Signaling Engineer, Interlocking Group Leader, Signaling Engineer (Contractor).

Area of Expertise;

- Technical

Strong in the area of Digital/Microprocessor Engineering and its programming application. Also skilled in several simulation tools, programming languages and productivity tools.

- Programming Language: Experience in Visual Basic, Pascal, C++ Builder
- Productivity tool: Extensive use of Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint)

- CAD: Electronics design and testing tools, digital-analog interfacing and circuit, Power Draft Microstation
- Railway Signaling Application Engineering:
 - System Design Engineering (Architecture, Interfacing)
 - Interlocking Engineering Area:
 - VPI Application Engineering (Architecture, Data preparation, Wiring Circuit, Integration, Test & Commissioning)
 - SSI Application Engineering (Data preparation, Wiring Circuit, Test & Commissioning)
 - SML 400T/SML400GP Application Engineering (Data preparation)
 - SmartIO Object Controller (Configuration)
 - ElectrologIXS Application Engineering (Architecture, Data preparation/Validation, Wiring Circuit, Integration, Test & Commissioning)
- Train Control System Area:
 - Traffic control engineering (HMI SCADA Data preparation and Interfacing)
 - Data server/protocol converter configuration

Data structure document design, Input/Output bitlist design.

Some of the many projects undertaken by Mr. Ade Rukmana are as follows;

1. North Western Program Alliance – Bell & Preston Stage 2 & Stage 3 Project (Alstom Australia, Nov 2021 – Jun 2022):
 - a. Responsibility: Design Mentor of Smartlock 400GP interlocking with SmartIO application data for Thornbury to Preston at Mernda Line, one of Metro Train Melbourne service line
2. VLine Melbourne Yard TPWS Stage-2 Project (Alstom Australia, Sept 2022-Apr 2023):
 - a. Responsibility: Modify the Smartlock 400 interlocking application data for Southern Cross station, Melbourne.
3. MTM Sub-Optimal CBI Project: Franklin Street Stage-1 (Alstom Australia, Mar 2022-Mar 2023):
 - a. Responsibility: Perform the Smartlock 400 interlocking application data independent check for Franklin Street interlocking, part of Southern Cross station, Melbourne.
4. South Program Alliance – Caulfield Line Project AWP4 (Alstom Australia, Jun 2022-Now):
5. Responsibility: Design the Smartlock 400GP interlocking with SmartIO application data for Caulfield to Morrabbinn at Frankston Line, one of Metro Train Melbourne service line, Including

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

ŞEHİRLERARASI DEMİRYOLU ARAÇLARINDA ISIL KONFOR VE İÇ HAVA KALİTESİ PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Serkan Uğur, Emirhan Yerlikaya

Yazkar Klima Soğutma A.Ş. Fatih Mah. Hür Sok No:30 54580 Arifiye/Sakarya TÜRKİYE
serkan.ugur@yazkar.com.tr, arge1@yazkar.com.tr

Özet-Şehirlerarası demiryolu araçlarında ısı konfor parametreleri, yolcuların seyahatleri sırasında rahatlık ve konfor düzeylerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu parametreler, iç ortam sıcaklığı, nem, hava hızı, aydınlatma, doğrudan veya dolaylı ısı yansımalar gibi unsurları içerir. İdeal sıcaklık aralığı, yolcuların çoğunluğu için rahat hissedebileceği 22-26°C arasındadır. Aşırı sıcak veya soğuk, yolculuk sırasında rahatsızlık hissi yaratabilir ve hatta sağlık sorunlarına yol açabilir. İyi bir nem düzeyi, kuruluk veya nemlenme sorunlarını önler. Nem düzeyi genellikle %30 ile %60 arasında olmalıdır. Hava dolaşımı, taze hava sağlamak, iç ortam havasını yenilemek ve kötü kokuların ve yüzeylerde nem yoğunlaşmasını önlemek için önemlidir. İyi bir havalandırma sistemi, durgun hava ve sıcak noktaların oluşumunu engeller. Toplu taşıma araçları için önemli bir konu da bulaşıcı hastalıkların yayılma riskidir. Bu konuda geliştirilen UV-C lambaları havada dolaşan mikrop ve bakterilerin dezenfektasyonu için kullanılmalıdır. Bu çalışmada demiryolu araçlarında sağlanması gereken ısı konfor şartları ve iç hava kalitesi konuları araştırılmış ve bu konuda güncel gelişmeler aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor, demiryolu araçları, tren iklimlendirmesi, tren iç hava kalitesi

1. GİRİŞ

Ülkemizde gelişmekte olan demiryolu taşımacılığı ile yol ve yolcu güvenliği, yolculuk konforu gibi konular da gündeme gelmiştir. Demiryolu araçlarında yolcu konfor parametreleri araç tiplerine, yolculuk şekli ve sürelerine göre farklı standartlar ile belirlenmiştir. Bu standartlar CEN/TC 256 "Demiryolu Uygulamaları" Teknik Komitesi tarafından hazırlanmış, Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından onaylanmış ve Türk Standartları Enstitüsü Teknik Kurulu tarafından Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımlanmıştır:

- TS EN 14813: Makinist kabini için konfor parametreleri

- TS EN 14750: Şehir içi ve banliyö demiryolu taşıtları için klima konfor parametreleri
- TS EN 13129: Ana hat vagon için klima konfor parametreleri

ASHRAE Standardı 55, İnsan Doluluğu için Isıl Çevre Koşulları, yolcuların çoğunluğu tarafından kabul edilebilir olacak çevresel koşulları sağlayacak vagon içi ısı çevre faktörlerini belirlemek için referans alınabilir [1].

Kapalı bir iklimlendirme ortamında insanoğlunun konforunu ele alan iklimlendirme, Konfor İklimlendirmesi olarak bilinir. Konfor koşullarını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar sıcaklık, nem, hava hareketi ve hava temizliği olarak özetlenebilir.

Demiryolu aracı iklimlendirme sistemi, beklenen tüm dış ortam koşullarında yolculara konforlu ve keyifli bir iç ısı ortam sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu amaçla binek araç tasarımına uygun boyutta ve kontrollü ısıtma, soğutma ve hava besleme bileşenleri entegre edilmiştir. Isıl yük analizine ve spesifikasyona dayalı olarak, tek veya birden fazla birleştirilmiş iklimlendirme ünitesinden veya aracın altına, içine veya üstüne monte edilmiş bölünmüş sistem bileşenlerinden oluşabilen iklimlendirme ekipman düzenlemesi kullanılmaktadır. İklimlendirme ünitelerine ek olarak ve uygulamaya bağlı olarak kanallar, damperler, difüzörler, egzoz fanları, takviye fanları vb. gibi diğer iklimlendirme bileşenlerinin de binek araç tasarımına entegre edilmesi gerekebilir [2].

Raylı taşıtlarda ısı konfor, çevresel parametreler (hava sıcaklığı, hava nemi, radyant sıcaklık, hava hızı, insan düzeyindeki aktivite ve giysi yalıtımı) iyi tanımlanmış bir değer aralığında olduğunda insan vücudunda meydana gelen subjektif bir ısı dengesi hissini temsil eder [3].

Isıl konfor ile ilgili araştırmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Araçlarda ısı konfor çalışması, temel ısı konfor araştırmalarından ve fabrikalar ve binalarla ilgili uygulamalı çalışmalardan geliştirilmiştir. İlk

araştırmalar esas olarak tarım araçları ve metro, tren ve otobüs gibi toplu taşıma sistemleriyle ilgiliydi [4]. Araçlardaki yolcu ısı konforu, otomobilin gelişimi boyunca bir endişe konusu olmuştur ve otomobil sürücüsünün uyarılma düzeyini ve konsantrasyonunu etkilediği bilinmektedir. Araç tasarımında bu konunun günümüzdeki önemi, bu özelliğin otomobillerde sağlanmasının yüksek maliyetiyle açıkça görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde araç yolcu bölmelerinin soğutulması için yılda yaklaşık 26 milyar litre yakıt tüketilmektedir [5]. Bu rakam, iklim kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi, güneş enerjisi ısıtma yükünün azaltılması, egzoz havasından ısı geri kazanımı ve şartlandırılan havanın daha verimli bir şekilde dağıtılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir.

Raylı ulaşım sisteminin çekiciliğinin artmasında raylı araçların konfor koşullarının iyileştirilmesi önemli bir faktördür. Özellikle demiryolu araçlarında klimanın sağlanması, toplu taşımayı özel arabaya uygun bir alternatif haline getirmede önemli bir rol oynayabilir.

Sıcaklık, nem ve hava hızı bağımsız faktörler olarak adlandırılabilir. Ayrıca ısı konforu etkileyen, tanımlanması çok daha zor olan bireysel insani duyguları etkileyen ikinci grup faktörler de vardır, çünkü her kişinin ısı konfor konusunda kendi tercihleri vardır. Isı rahatsızlığının belirtileri yoğun ter üretimi ve kalp atış frekansının artmasıdır [6].

Kapalı bir alanda ısı konforu değerlendirirken hem odadaki genel sıcaklığı hem de odadaki eşit olmayan ısı dağılımını incelememiz gerekir. Tipik olarak insanlar sıcaklıktan bahsettiğinde, havanın sıcaklığını kastediyorlar; ancak ısı konforu sadece hava sıcaklığından daha fazlasına bağlıdır. Ortalama radyant sıcaklık, odadaki her yüzeyin sıcaklığının ortalamasının alınmasını gerektirir. Hava sıcaklığıyla birleştirildiğinde bu, genel bir ölçüm, yani ortalama çalışma sıcaklığını verir. Bununla birlikte, bir kişinin belirli bir yüzeye ne kadar yakın olacağı genellikle değişken olduğundan ve bu durumlarda farklı zamanlarda farklı yüzeyler hâkim olduğundan, bu ölçümün bile sınırlamaları vardır. Bir odadaki veya vücuttaki sıcaklık farklılıkları rahatsızlık hissi yaratabilir.

Sıcaklık, fenomenolojik bir ısı konfor duygusunun oluşmasında en önemli faktör olsa da sıcaklıkla birlikte bağıl nem, rahatsızlık hissinin sağlanmasında büyük rol oynar. Yüksek düzeyde bağıl nem, terlemenin buharlaşmalı soğutma etkilerine karşı çalışabilir ve vücudu aşırı ısınmaya yatkın hale getirebilir. Hava hızı ısı konforunun algılanmasında rol oynar. Sıcak havalarda vücut kendini soğutmaya çalışırken, vücut boyunca hava akışı terlemenin buharlaşarak soğumasına yardımcı olacaktır. Havanın bağıl nemi yüksek olduğunda,

terleyen vücudun yanındaki hava neme doygun hale gelebilir, ancak vücudun yanındaki havayı uzaklaştırıp taze, daha düşük nemli havayı getirerek terin buharlaşması devam edebilir. Taşınım mekanizmaları, metabolik süreçlerin ürettiği ıyıyı deriden çevredeki havaya daha da taşıyabilir. Bütün bunlar sürekli soğutmaya yol açar ve havanın hızı ne kadar yüksek olursa süreç o kadar etkili olur.

Binek araçlardaki/trenlerdeki ısı ortamı, aşağıdaki nedenlerden dolayı binalardakilerden farklıdır ve çoğunlukla oldukça düzensiz ve asimetriktir:

- İç hacim kişi sayısına göre küçüktür
- Mikro iklim parametrelerinin değişimi hızlı olabilir (araç güneşe doğru yönünü değiştiriyor, vb.)
- Kabinin iç kısmının şekli karmaşıktır
- Cam alanı kabin yüzeyine göre büyüktür
- Yolcular, iç hava sıcaklıklarından önemli ölçüde daha yüksek veya daha düşük sıcaklıklara sahip yüzeylerin yakınında oturuyor
- Yolcular kabin içindeki pozisyonlarını değiştiremezler ve vücut duruşundaki değişiklikler sınırlıdır

Isı konforu, yolcuların çevrelerindeki hava sıcaklığını, nemini, hava hareketini ve ısı yayılımını ideal olarak algılamaları ve daha sıcak veya daha soğuk havayı veya farklı bir nem seviyesini tercih etmemeleri durumunda elde edilir.

Tipik olarak tren yolculuğu sırasında karşılaşılan aşağıdaki faktörler de dikkate alınmalıdır:

- Vagon güzergâhı boyunca yerel coğrafyanın neden olduğu bölgesel mikro iklim değişiklikleri
- Kapıların açılmasıyla ilişkili hava sızması, cereyan ve hızlı sıcaklık değişimleri
- Isı tabakalaşma (dikey hava sıcaklığı değişimi)
- Yolcu seviyesindeki hava hızı (oturan ve ayakta duran yolcular)
- Pencerelerin ve yapının radyasyon etkileri
- Dinamik olarak değişen güneş yönelimi nedeniyle güneş yükü değişimi
- Giysi yalıtımı
- Sıcaklık geri kazanım kapasitesi ve yolcu doluluğu için ön koşullandırma
- İklimlendirme sisteminin genel araç gürültüsüne katkısı
- Yolculuğun uzunluğu

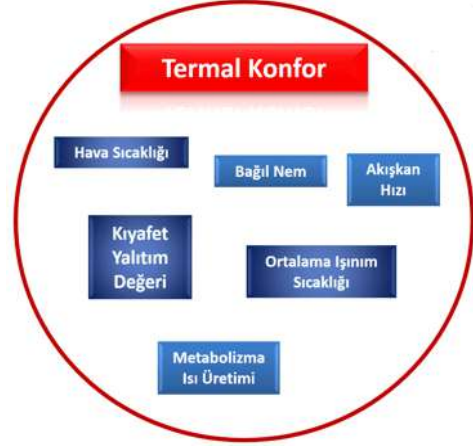
Isı konforu şunlardan etkilenir:

- Kişisel faktörler (aktivite derecesi, giyim, yolculuk süresi)
- Mekânsal faktörler (ısıtma sıcaklığı, çevreleyen yüzeylerin sıcaklığı)

- Havalandırma faktörleri (hava sıcaklığı, hava hızı, bağıl nem)

Bu faktörlerin yolcuların ısı dengesi üzerinde karmaşık etkileri vardır. Bu nedenle, yolcuların çoğunluğu tarafından rahat olarak algılanacak koşulları elde etmek için katkıda bulunan tüm faktörler dikkate alınmalıdır [7].

Bu araştırma temel olarak ısı konfor parametrelerinin ve iç hava kalitesinin ayrıntılı bir analizini ele alarak ülkemizdeki raylı sistem taşıtlarını iyileştirmenin olası yollarını sunmaktadır.



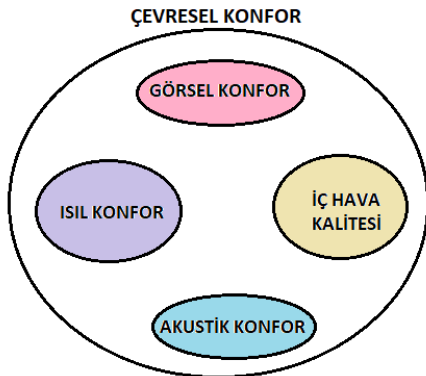
Şekil 2. Isıl (Termal) konfor parametreleri [9]

2. DEMİRYOLU ARAÇLARI İÇİN ISIL KONFOR DEĞİŞKENLERİ

İnsanlar her zaman ısı açıdan rahat bir ortamda yaşamak için çabalamaktadırlar. Bu durum antik çağlardan günümüze kadar yaşadığımız binalara yansımıştır. Günümüzde binaları tasarlarken en önemli parametrelerden biri ısı açıdan rahat bir ortam yaratmaktır.

Fakat tam olarak ısı konfor nedir? Bu durum ISO-7730 standardında 'Bulunduğu ortamın insan zihnine verdiği memnuniyet' olarak tanımlanmıştır. Bu, birçok kişinin katıldığı ancak bunun yanında fiziksel parametrelere kolayca çevrilemeyen bir tanımdır [8].

Çevresel konfor ise daha geniş bir kavram olup ısı konforu, iç hava kalitesini, görsel ve akustik kontrolü de kapsar (Şekil 1).

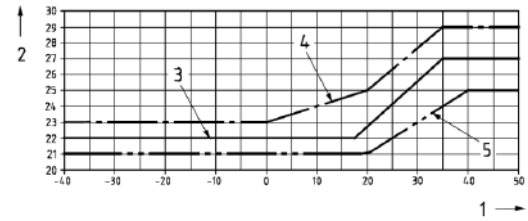


Şekil 1. Çevresel konfor kavramı

Isıl konfor değerlendirmesindeki karmaşık bir çizim ile ifade edilebilir (Şekil 1). Her iki kişide tamamen farklı ısı ortamlarında bulunmasına karşın, ısı konfor açısından rahat olabilirler. Bir çalışma ortamı değerlendirilirken, ısı çevrenin bağlı olduğu hava kalitesi, ışık ve gürültü seviyesi gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Eğer çalıştığımız ortam ısı açıdan bizi her gün memnun etmiyorsa, performansımız kaçınılmaz bir şekilde azalacaktır. Isıl konfor insanların iş verimi üzerinde de etkilidir.

2.1 Sıcaklık

Şehirlerarası demiryolu araçlarında sıcaklık, ısı konforun en temel unsurlarındandır. İç ortam sıcaklığı, yolcuların genel konfor seviyesini doğrudan etkilemektedir. Önerilen ideal araç içi sıcaklık, şehirlerarası demiryolu araçları için TS EN 13129'a göre dış ortam sıcaklığına bağlı olarak 22-27 °C arasında olmalıdır (Şekil 3) [18].



- | | | | |
|---|---|---|-----------|
| 1 | $T_{d, \text{ortalama}}$ dış sıcaklık [°C] | 4 | Üst limit |
| 2 | $T_{i, \text{ayar}}$ iç sıcaklık ayarı [°C] | 5 | Alt limit |
| 3 | Önerilen sıcaklık eğrisi [°C] | | |

Şekil 3. İç hava sıcaklığı için önerilen düzenleme eğrisi ve sınırları [18].

Yolcu kabinindeki sıcaklık dengesini etkileyen koşullar, hizmet tipine bağlı olarak hızla değişebilir. Bu dinamik koşulları bir test ortamında doğru bir şekilde simüle etmek uygulamada kolay olmadığından, bu kriterlerin değerlendirilmesi çoğu kez ölçümler süresince tüm kapılar kapalıyken stabilize koşullar altında yapılır [10].

Şehirlerarası demiryolu araçlarındaki sıcaklık yönetimi hem konfor hem de sağlık açısından önemlidir ve ısıtma/soğutma mevsimine göre değişiklik gösterebilir. Kış aylarında araç içinde 22 °C sıcaklık yeterli olabilirken yaz aylarında bu değer 26 C'ye kadar çıkabilir.

Ayrıca hissedilen sıcaklığın, ölçülen kuru termometre sıcaklığından farklı olduğu ve hissedilen sıcaklığın nem ve hava hızının bir fonksiyonu olduğu unutulmamalıdır (Tablo 1). Hissedilen sıcaklık, termometrenin ölçtüğü somut fiziksel hava sıcaklığından farklı olarak, insan vücudunun

hissetmiş olduğu sıcaklık değeridir. Bu sıcaklık değeri kişiden kişiye değişim gösterebilmekle birlikte uluslararası meteoroloji örgütlerince ortalama bir değer esas alınmış ve tüm hissedilen sıcaklık değerleri bu esasa göre hesaplanır. Hissedilen sıcaklık hesaplamasında nem oranı önem taşımaktadır. Yaz aylarında nem oranı, kış aylarında ise hava akış hızı hissedilen sıcaklıkta belirleyici unsurdur [11]. Örneğin yazın demiryolu aracı içindeki 24 °C kuru termometre sıcaklığı %60 bağıl nemle beraber 28 °C olarak hissedilir.

Tablo 1. Ortalama sıcaklığa bağlı olarak istenen hız gereklilikleri [13]

Ortalama sıcaklık, T [°C]	İzin verilen maksimum hız [m/s]
18	0,30
22	0,35
25	0,70
28	1,40
30	2,00
≥35	4,00

Hissedilen Sıcaklık, termometrenin ölçtüğü aktüel fiziksek hava sıcaklığından farklı olarak, insan vücudunun hissettiği, algıladığı sıcaklıktır. Bu sıcaklık, iklimsel çevre, giysilerin ısı direnci, vücut yapısı ve kişisel durumdan olduğu kadar, termometre sıcaklığı, nispi nem, rüzgâr ve radyasyon gibi dört meteorolojik faktörden etkilendiği için sübjektif bir kavramdır. Dolayısı ile sıcaklığı algılama ve hissetme kişiden kişiye değişiklik gösterir.

Herkesin sıcaklığı farklı hissediyor olması bu kavramın bilimsel olarak ele alınmasına ve kullanılmasına engel değildir. Bu bilgi insan sağlığı açısından önemlidir. Bu nedenle diğer tüm bilimsel çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da kıstaslar uç değerlere göre değil ortalama değerlere göre belirlenmiştir [12].

Genel olarak vücut metabolizma hızı Met olarak hesaplanır (1 Met = 58,18 W/m² vücut yüzey alanı). Yetişkin bir insanın yüzey alanı 1,7 m²'dir ve ısıl konfor şartlarındaki bir kişinin aktivite seviyesi 1 Met yani 1,7 x 58,18 = 100 W'tır. İnsan metabolizması en düşük 0,8 Met seviyesine uyurken, spor aktiviteleri sırasında ise yaklaşık 10 Met seviyesine ulaşır.

İç ortamın sıcaklık şartları ölçülürken dikkate değer bir nokta insanların ortam sıcaklığını değil vücutlarından kaybettikleri ısı miktarını hissetmeleridir. Bu yüzden enerji kaybına neden olan parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu parametreler;

t_a : Hava sıcaklığı [°C]

t_r : Ortalama ışıınım sıcaklığı [°C]

V_a : Hava hızı [m/s]

P_a : Nem (su buharı kısmi basıncı) [Pa]

Bu parametrelerin enerji kaybına olan etkisi eşit değildir ve sadece birinin ölçülmesi yeterli olmayacaktır. Örneğin ortalama ışıınım sıcaklığın hava sıcaklığı gibi enerji kaybı üzerinde etkisi vardır.

Ortamın ısıl şartlarını daha az parametre ile karakterize etmek, zor ve zaman kaybına neden olan ortalama ışıınım sıcaklığın ölçümünden kaçınmak için bazı karmaşık parametreler getirilmiştir. Bunların en önemli üç tanesi; *operatif sıcaklık* t_o , *eşdeğer sıcaklık* t_{eq} ve *etkin sıcaklıktır* (ET). Bu parametreler, ısı kaybı üzerinde olan etkileri ile tek bir parametre olarak şu şekilde yazılabilir;

$$t_o = t_a + t_r \text{ (operatif sıcaklık)}$$

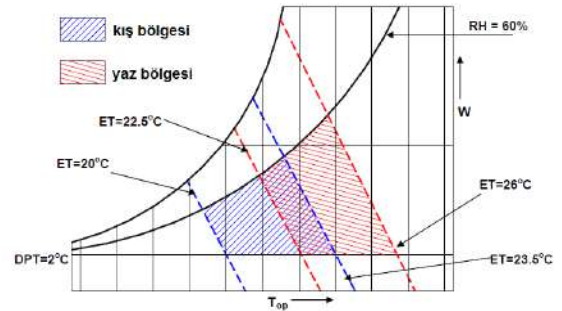
$$t_{eq} = t_a + t_r + V_a \text{ (eşdeğer sıcaklık)}$$

$$ET = t_a + t_r + P_a \text{ (Etkin sıcaklık)}$$

Ortalama ışıınım sıcaklığın hesaplanmasında küre termometre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve hava hızı kullanılmaktadır. Ancak sonuçlar küre ile yüzeyler arasındaki açı faktörünün, aynı yüzeyler ile kişiler arasındakinden farklı olması ve konvektif ısı transfer katsayısının küre için belirsiz olması nedeniyle kesin sonuç vermemektedir.

Odada bulunan bütün yüzeylerin sıcaklıklarının ölçülmesi ve kişi ile yüzey arasındaki açı durumunun hesaplanması çok fazla zaman alacağından mümkünse ortalama ışıınım sıcaklığın kullanımından kaçınmak gerekir [8].

Şekil 4'de ASHRAE tarafından oturmakta olan bir kimse için psikometrik diyagram üzerinde konfor bölgesi görülmektedir. Bu bölgenin yaz ve kış mevsimine göre değişimi ilgi çekici bir durumdur.



Şekil 4. Oturmakta olan bir kimse için ASHRAE konfor bölgesi (aktivite ≈ 1,2 Met)

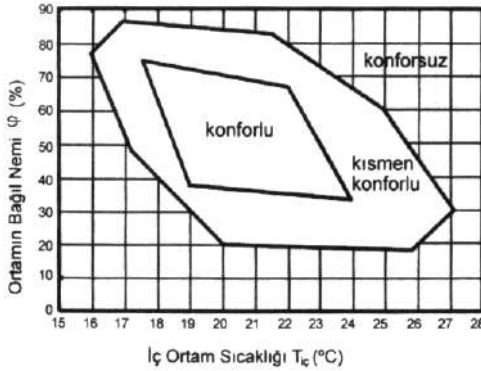
Hava sıcaklığı konusunda kendini iyi hissetme, sadece sıcaklık seviyesi ile ilgili değildir. Aynı zamanda yaşanan bölgedeki düşey sıcaklık gradyanı da bu histe önemli rol oynar. Bu bağlamda hava sıcaklığındaki düşey doğrultudaki sıcaklık gradyanı 1 m oda yüksekliği başına 2°C değerini

aşmamalıdır. Bir başka tanımla ise, düşük aktivite düzeylerinde, insan başı ile ayağı arasındaki sıcaklık farkı 3 °C değerini aşmamalıdır. Döşeme düzeyinden itibaren 0,1 m yükseklikte hava sıcaklığı 21 °C'nin altında olmamalıdır. Daha yüksek aktivite seviyelerinde bu değerler değişmekte ve artmaktadır.

2.2 Nem Oranı

Nem, havada bulunan su buharı miktarıdır. Hafif ıslaklık, rutubet anlamına da gelmektedir. Nem ölçümlerinde mutlak nem, bağıl nem ve özgül nem değerleri hesaplanabilir. Mutlak nem birim hacimdeki nem miktarıdır [kg/m³]. Bağıl nem havadaki su buharının kısmi basıncının, havanın o sıcaklıkta alabileceği maksimum neme (doyma noktasına) olan oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir. Sıcaklık arttıkça hava hacimce genişlediğinden su buharının kısmi basıncı azalacağından bağıl nem oranı azalır. Ortamdaki bağıl nem oranı higrometre ile ölçülür. Özgül nem ise havada bulunan su buharının ağırlığının kuru hava ağırlığına olan oranıdır [kg/kg k.h.]. Bazı yayınlarda mutlak nem tanımı özgül nem anlamında kullanılmaktadır. İngilizcede kullanılan “moisture” kavramı ise bir katının aldığı ya da verdiği sıvı miktarı olarak tanımlanır. Türkçede ise tam bir karşılığı yoktur, rutubet olarak adlandırılabilir.

Demiryolu araçlarında nem kontrolü, iç ortam konforunu, hijyen standartlarını ve yolcuların sağlığını etkileyen kilit bir faktördür. İdeal nem oranı genelde sıcaklığa bağlı (ters orantılı) olarak %30 ila %60 arasında olmalıdır. Bu aralık, insanların genel sağlık ve konfor seviyelerini koruma açısından genellikle en uygun kabul edilir (Şekil 5).



Şekil 5. Nem ve sıcaklığa bağlı konfor bölgesi [8]

Nemin ortama etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Havadaki yüksek orandaki nem alerji ve kötü kokulara neden olabilen küf ve diğer mantarların büyümesini hızlandırabilir.
- Düşük nem ise insan mukoza ve derisinde tahriş yapar.
- Genelde bağıl nem %30 ila %70 arasında iken yoğuşmanın olmadığı farz edilir ve çok az problem ortaya çıkar.

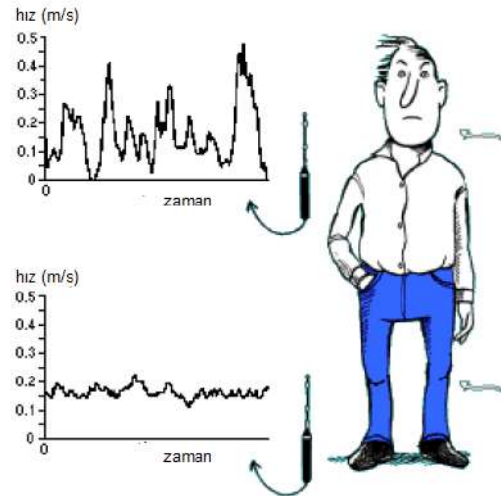
- Yüksek bağıl nem özellikle evlerde yüksek alerji riski gösteren ev tozu haşerelerinin (kene vb. gibi) büyümeleri için iyi bir ortam hazırlar.
- Sulu klima ortamlarında mantar ve diğer mikroorganizmaların büyüme riski vardır.

Nem kontrolü için kullanılan modern sistemler, genellikle nem sensörleri ve otomatik nem düzenleme özellikleri gibi teknolojik yenilikleri içerir. Demiryolu araçlarında kullanılan iklimlendirme cihazlarının genelde nemlendirme özelliği yoktur, insan yoğunluğundan dolayı buna uygulamada çok ihtiyaç hissedilmez. Ancak yaz aylarında iç ve dış hava özgül neminin yüksek olması, içeriye verilen havanın soğutulması, yolcuların yazın daha fazla terlemesi gibi nedenlerle iç ortam bağıl nemi %70'lere çıkabilir. Bu durumda cihazdaki “nem alma” modu sensörlerden gelen bilgiler doğrultusunda otomatik olarak devreye girer ve evaporatör üzerinden geçen havanın hızı kısmen düşürülerek nemi yoğuşurma hızı artırılır.

Sonuç olarak, şehirlerarası demiryolu araçlarında nem kontrolü, iç ortam konforu, sağlık ve hijyen açısından kritik bir öneme sahiptir. Doğru nem oranlarının korunması, yolculara daha sağlıklı, rahat ve keyifli bir seyahat deneyimi sunar.

2.3 Hava Akımı

Hava akımı iç hava şartlarından bahsederken, havalandırma yapılan binalarda, araçlarda ve uçaklarda en çok şikâyet edilen konuların başında gelir. İnsanlar hava hızını hissedemezler ancak vücudun bazı yerel bölgelerinde meydana gelen üşümeden şikâyet ederler. Özellikle vücudun çıplak bölgelerinde daha hassastırlar. Bu yüzden hava akımını genelde yüzde, ellerde ve bacaklarda hissederler (Şekil 6).

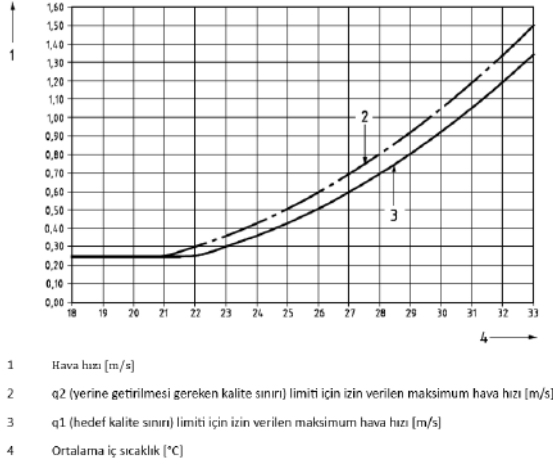


Şekil 6. Hava akımının etkisi [8]

Deriden hava akımı ile meydana gelen ısı kaybı, ortalama hava hızına, türbülansa ve hava sıcaklığına

bağlıdır. Rahatsızlık deride bulunan duyarğalar ile algılanırken sadece yerel ısı kaybına değil, deri sıcaklığında meydana gelen dalgalanmalara da bağlıdır. Aynı ortam sıcaklığında olsa bile hava akışındaki yüksek türbülans düşük türbülanslı havaya göre daha fazla rahatsızlık verir.

Hava hızı, iç mekân konforunu etkileyen önemli bir parametredir, özellikle de şehirlerarası demiryolu araçlarında. Bu faktör, hava akışının hızını ifade eder ve doğru bir şekilde kontrol edildiğinde, yolcuların seyahat deneyimini olumlu yönde etkileyebilir. İdeal hava hızı, genellikle konforlu bir atmosfer oluşturacak düzeyde olmalıdır. Şehirlerarası demiryolu araçları için bu ideal TS EN 13129'da bir eğri ile tanımlanmıştır (Şekil 7) [18]. Bu hız, insan vücudu ile çevre arasındaki ısı transferini etkiler. Yüksek hava hızları, sıcaklığın hissedilen değerini düşürebilir ve yolcuların üşümesine neden olabilir. Öte yandan, düşük hava hızları, iç mekânın taze hava alışverişini azaltabilir ve kokuların birikmesine yol açabilir.



Şekil 7. Hava hızı eğrisi [18]

Araç içinde tavana döşenen havalandırma ve iklimlendirme sistemindeki ana hava dağılım problemi, kış aylarında üflenen sıcak havanın aşağıya inmeyip tavanda tabakalaşması nedeniyle yolcuların ayaklarının üşümesidir. Bu problemi çözmek için cam kenarına ve koltuk altlarına fanlı-elektrikli ısıtıcılar yerleştirilmektedir.

Hava hızının konfora etkisi sadece sıcaklık değil, aynı zamanda hava kalitesi üzerinde de belirgin bir etkiye sahiptir. Hızlı hava akışları, iç mekânı taze hava ile doldurabilir ve karbondioksit, ter kokusu, toz veya diğer kirleticilerin birikmesini önler.

Bir yolcu vagonunda hava hareketini kabul edilebilir bir aralıkta kontrol etmek, yolcu konforunun temel bir unsurudur. Bir konut veya ticari bina iklimlendirme sistemi ile karşılaştırıldığında, tipik bir raylı yolcu aracının yüksek yolcu yoğunluğu ve kısıtlı alanı, hava dağıtımını çok zorlaştırır. Normalde maksimum soğutmanın gerekli olduğu

yüksek sıcaklık ve nem çalışması sırasında daha yüksek hava hızları istenirken, ısıtma veya düşük seviyeli soğutma çalışmasında yüksek hızlar rahatsız edici hava akımları oluşturur.

2.4 Radyant Işınm Asimetrisi (Dengesizliği)

Soğuk bir günde yanan bir ateşin karşısında durursanız bir süre sonra arka kısmınız rahatsız edici bir şekilde soğuk hissettirmeye başlar. Bu rahatsızlık artan vücut sıcaklığı nedeniyle ateşe yaklaşmakla giderilemez. Bu örnek eşdeğer olmayan ısı ışınımının vücutta oluşturduğu rahatsızlık hissidir. Eşdeğer olmayan durumlarda ısı ışınım asimetrisi kullanılır. Bu parametre iki karşıt bölgenin yüzey ışınım sıcaklığı arasındaki fark olarak tanımlanır. Deneylerde ışınım sıcaklığı dengesizliğinde sıcaklık değişimine maruz bırakılan kişilerde sıcak tavan ve soğuk pencerelerin, soğuk tavan ve sıcak duvarlara göre daha fazla rahatsızlık verdiği görülmüştür. Bu deneyler boyunca odadaki diğer bütün yüzeyler eşit sıcaklıkta tutulmuştur. Işınım sıcaklığı asimetrisi iki şekilde elde edilebilir. Birincisi t_{pr} sıcaklığını dönüştürücü yardımı ile iki zıt yönde, yarımkürede bulunan küçük bir yüzeye gelen ışınımı ölçerek, diğeri ise bütün çevre yüzeylerin sıcaklıklarını ölçerek ve ışınım sıcaklığı dengesizliğini bazı hesaplama yöntemleri kullanılarak bulunabilir.

Radyant ışınım, şehirlerarası demiryolu araçlarında iç ortam konforunu etkileyen önemli bir ısı transfer mekanizmasıdır. Araç içindeki yolcuların radyant ışınım dengesizliğinden kaynaklı rahatsızlık hissi, camların iç yüzey sıcaklığına, güneş ışığına maruz kalma ve iç ortam ısıtma sistemlerine bağlı olarak değişebilir.

Cam yüzeylerin kalitesi, yalıtım özellikleri ve iç mekân ısıtma sistemlerinin etkinliği, radyant ışınım dengesizlik hissi üzerinde belirleyici faktörlerdir. Bu nedenle, modern demiryolu araçlarının tasarımında, konfor cam, perde ve yansıtıcı cam kaplamalarının kullanımı önemlidir. Bu önlemler iç ortamın ısıtma ve soğutma yüklerini azaltarak enerji tasarrufu sağlar.

3. ARAÇLARDA İÇ HAVA KALİTESİ

Hava kirliliğinin insanların fiziksel sağlığına, zihinsel performansına ve üretkenliğine etkileri konusunda da pek çok araştırma gerçekleştirilmektedir. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak bir yandan yaşam alanlarındaki iç hava kalitesinin iyileştirilmesi yolunda farkındalık ve duyarlılık oluşturulmakta diğer yandan da binaların ilgili projelendirme, yapım, denetim esasları ile yine ilgili teknolojik sistem ve ekipmanları geliştirilmektedir [14].

Hava insanların en önemli ihtiyaçlarından birisidir. İnsan, günlerce aç susuz durabildiği halde nefes almadan birkaç dakikadan fazla duramaz. Yetişkin bir insanın nefes alma sıklığı tipik olarak dakikada 16 kez – 8 L/d'dır. İnsanların ortalama olarak günde yaklaşık olarak 1,5 kg besin, 2,5 kg su ve 15 kg havaya ihtiyacı olduğu yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir. İnsanlar için bu kadar önemli olan havanın, sağlıklı ve temiz olması gerekir. Yaşamımızın büyük bir kısmını ev ve işyeri gibi kapalı hacimlerde geçirmekteyiz. Bu hacimlerin hava kaliteleri; sağlık, çalışma verimi, kişiler arası uyum gibi kriterleri doğrudan etkilemekte, hatta evlerde ölüm olaylarına bile rastlanmaktadır [15].

İnsanlar günlük yaşamlarının %70-98'ini iç mekânlarda geçirmektedirler. Birçok iç ortamın, bazen dış ortamdan daha kirli ve tehlikeli olduğu saptanmıştır. Bu durum kış aylarında daha da belirginleşmektedir. Kapalı ortamlarda bazı bileşenler veya faaliyetlerden oluşabilen zehirli kimyasallar birçok kanser çeşidinden başka, baş ağrısı, öksürük, gözlerde yanma, baş dönmesi gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir.

İnsanların birçoğu dış hava kirliliğinin sağlığa zararlarını bilmesine rağmen iç hava kalitesi (İHK) problemlerinin insan sağlığına önemli etkileri olduğunu bilmez. Amerikan Çevre Koruma Örgütü'nün (EPA) çalışmaları göstermiştir ki iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi dış havadan yaklaşık 5-100 daha fazla olabilmektedir. Dış hava kirliliğinin etkileri 20. yüzyılın başlarından itibaren bilinirken iç hava kalitesi sadece 30 yıl önce gündeme gelmiştir [17]. Şehirlerarası demiryolu araçlarında iklimlendirme ünitesi bulunan araçlar için yolcu başına düşen minimum temiz hava miktarı dış ortam sıcaklığına bağlı olarak standartlar ile belirlenmiştir (Şekil 8) [18].

İklimlendirme Ünitesi Bulunan Araçlar	
Dış Ortam Sıcaklığı °C	+ 20 °C, %50 bağıl nem ve normal atmosfer basıncında olması gereken minimum temiz hava oranı
$T_{dış} < -15 °C$	10 m ³ /saat/yolcu
$-15 °C \leq T_{dış} \leq -5 °C$	15 m ³ /saat/yolcu
$-5 °C < T_{dış} \leq +26 °C$	20 m ³ /saat/yolcu
$T_{dış} > +26 °C$	15 m ³ /saat/yolcu

Şekil 8. Yolcu başına düşen minimum temiz hava miktarı [18]

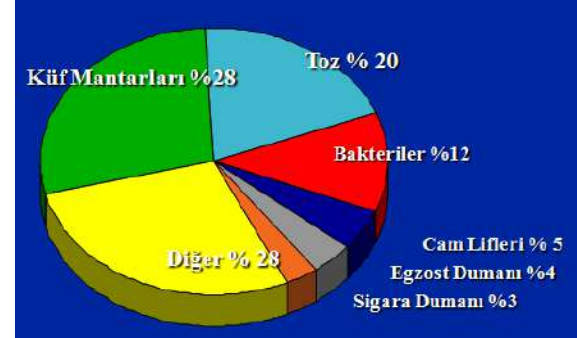
3.1 İç Hava Kirleticileri

İç hava kirleticilerinin orijinleri bina içinde veya dış ortamda olabilir. Şayet kirleticilerin kaynakları kontrol edilmezse havalandırma/klima sistemi düzgün çalışsa bile İHK problemleri oluşabilir. Hava kirleticileri çok sayıda parçacıklardan, liflerden, biyolojik aerosoller ve gazlar oluşur.

Buna ilave olarak okul binalarında binanın yerleşim yeri, sınıfın konumu, yeri boyanmış olması,

laboratuvar veya atölye amaçlı kullanılması kirlenmede etkili olmaktadır.

Uluslararası Sağlıklı Binalar kuruluşu, kötü ve yetersiz hava kalitesini oluşturan en önemli nedenlerin küf mantarları ve bakteriler olduğunu göstermektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Uluslararası Sağlıklı Binalar Kuruluşu'na göre binalardaki kirletici oranları [16]

Kötü ve yetersiz havası olduğu saptanan binaların yaklaşık %72'sinde bunun nedeni havada taşınan taneciklerdir ve bu sorun iyi bir filtreleme ile çözümlenebilir.

Bu binaların yaklaşık %40'ında kötü hava kalitesinin en önemli nedeni biyolojik taneciklerdir (bakteri, mantar tohumları ve onlardan gelen diğer ürünler).

İç hava kirleticilerinin genel bir sınıflandırması ve insan sağlığına etkileri Tablo 2'de listelenmiştir.

Tablo 2. Kirleticilerin sağlığa etkileri [16]

Kirletici	T	B	U	Z	P/A	K
Uçucu Organik Bileşikler	X	X	X	X		X
Formaldehit	X					X
Pestisitler	X			X		X
Kurşun	X			X		X
Karbon monoksit		X				
Karbon dioksit		X				
Azot dioksit	X					
Kükürt dioksit	X					
Biyolojik Kirleticiler	X					X
Çevresel tütün dumanı	X					X
Polisilik aromatik hidrokarbonlar	X					X
Asbest	X					X
Radon						X

T: Tahriş edici, B: Boğucu, U: Uyuşturucu, Z: Zehirli, P/A: Patolojik-alerjik, K: Kanserojen

3.2 İç Hava Kalitesini İyileştirme Yöntemleri

İç hava kirleticilerinin derişikliklerini düşürmek için bazı kontrol yöntemleri mevcuttur [17]:

Kaynak yönetimi: Kirlilik kaynağının uzaklaştırılmasını, değiştirilmesini ve kapatılmasını kapsar.

Yerel egzoz: İç ortama dağılmış olan kirleticileri kaynağında yakalayıp uzaklaştırmak ve dış ortama göndermek için kullanılır.

Havalandırma: Havalandırma sistemi uygun olarak tasarlanıp işletildiğinde ve bakımı yapıldığında havadaki kirleticileri uygun seviyeye indirecektir.

Maruz kalma kontrolü: Kirliliğin tamamen önlenemediği yerlerde maruz kalma sürelerini ve şekillerini kısaltmak gereklidir.

Hava temizleme cihazları: Hava temizleyiciler kapalı ortamlarda ve özellikle evlerde belli seviyede partikül ve mikrobiyolojik ajanları filtreleyerek astım, bronşit hastalarının evlerde tedavisinde kullanılabilir. Ancak bu cihazların bakımlarının uygun yapılması çok önemlidir. Aksi takdirde bu cihazlar kendileri de hastalık kaynağı olabilir.

Filtreleme Sistemleri: Özellikle dış havanın artırılması ve karışım havasındaki partikül yoğunluğunun azaltılması, bakteri ve mikropların tutulması amacıyla kademeli filtre sistemi kullanılmaktadır. Bakterileri tutmak amacıyla HEPA, ULPA gibi filtreler kullanılmalı veya UV ışınımı ile bakterilerin dezenfekte edilmesi sağlanmalıdır.

3.3 UV-C Işınımı ile Hava Dezenfeksiyonu

Ultraviyole-C (UV-C) ışığı, mikroorganizmaların DNA ve RNA'sını yok ederek onları etkisiz hale getirebilen bir dezenfektan özelliğe sahiptir. Klimalar, genellikle nemli ve karanlık ortamlar olduklarından bakteri ve mantar gibi mikroorganizmaların üremesi için uygun bir ortam sağlarlar. Bu nedenle, klimaların düzenli olarak dezenfekte edilmesi, içerideki hava kalitesini artırmak ve sağlıklı bir ortam sağlamak için önemlidir.

UV-C ışığı, klimalardaki bu mikroorganizmaları etkisiz hale getirerek alerjenlerin ve potansiyel hastalık taşıyan mikropların yayılmasını önleyebilir. Klimaların içindeki ıslak yüzeylerde, özellikle buharlaşma bobinleri ve drenaj panoları gibi bölgelerde bakteri ve küf oluşumu sık görülür. UV-C ışığı, bu alanlardaki mikroorganizmaları etkili bir şekilde temizleyerek, kötü koku oluşumunu azaltır ve hava dolaşım sistemini temiz tutar.

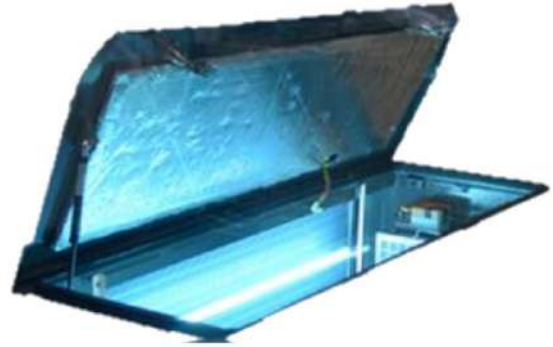
Bu dezenfeksiyon yöntemi, klimaların düzenli bakımı sırasında uygulanabilir ve uzun vadede sağlık sorunlarını önlemeye yardımcı olabilir. Ancak, UV-C dezenfeksiyonunun etkili olabilmesi için doğru dozaj ve maruziyet süresi önemlidir. Ayrıca, cihazların düzgün çalışması ve güvenli bir şekilde kullanılması da önemlidir.

UV-C ışığıyla dezenfeksiyon, klimalardaki mikroorganizmaların kontrol altına alınması ve iç hava kalitesinin artırılması için etkili tek çözümdür. Bu yöntem, sağlıklı bir iç ortam ortamı sağlamak için klimaların düzenli bakımının bir parçası olarak düşünülmelidir.

3.4 Demiryolu Araç Klimalarının UV-C Işınımı ile Dezenfeksiyonu

Sars-Cov-2 virüsünün neden olduğu COVID-19 salgını tüm dünyayı etkilemiştir. Bu virüsün en önemli özelliği hızlı ve etkin bir bulaş ortamına sahip olmasıdır. Özellikle, solunum yolu ile bulaşan hastalığın yayılması için önerilen en temel koruma yöntemleri, maske takmak ve sosyal mesafeyi korumaktır. Ancak, "yeni normale" geçtiğimiz bu dönemde, toplu taşımada sosyal mesafeyi korumak neredeyse mümkün değildir. İstanbul gibi olağanüstü ölçekte büyük bir şehirde, toplu taşıma araçlarında Makine Mühendisleri Odasının önerdiği sosyal mesafenin korunmasının sağlanması en doğru yöntem olsa dahi, bunun gerçekleştirilmesi gerek ekonomik gerekse uygulamanın sonucunda oluşacak yolcu ve araç trafiği göz önünde bulundurulduğunda başka çözümlerin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. İstanbul gibi büyük ölçekli metropollerden New York, Londra gibi şehirlerde henüz yeni uygulanmaya başlayan araç klimalarının UV-C ile dezenfekte edilmiş havalandırma yöntemleri dikkate değer bir çözüm olarak önümüzde bulunmaktadır.

Yazkar Klima, YAZKAR AR-GE'nin geliştirdiği Safeair-UV dezenfekte sisteminin laboratuvar ortamında testlerini tamamlayarak demiryolu araçlarına entegrasyon çalışmalarına aktif olarak devam etmektedir.

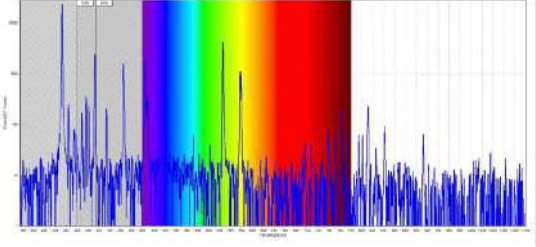


Şekil 10. Demiryolu araç klimalarında UV-C uygulaması

3.5 UV-C ve UV-C Kaynaklarının Özellikleri

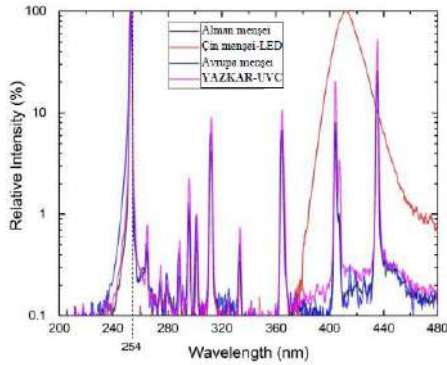
Gördüğümüz ışık, yani elektromanyetik dalga boyu, yaklaşık 400 nanometre (nm) ile 780 nm arasındadır. Her rengin kendine ait bir dalga boyu vardır, örneğin lacivert 440 nm, sarı ise 580 nm civarındadır. Oysa göremediğimiz ışığın da farklı dalga boyları ve etkileri vardır. Konumuz olan UV-C, ultraviyole (Morötesi) ışınımının 180 ile 280 nm arasında olanıdır ve gözle görülemeyen bir bölgede yer almaktadır.

UV-C, ultraviyole (Morötesi) ışımınının 180 ile 280 nm arasında olanıdır ve gözle görülemeyen bir bölgede yer almaktadır. Şekil 11’de örnek bir spektrum (ışık tayfı) gösterilmektedir. Bu spektrumda mavi çizgi ışık kaynağının hangi dalga boyunda en çok ışınım yaptığını göstermektedir ve görüleceği üzere 253,7 nm’de bir maksimum ışımaya gözlemlenmektedir. Bu maksimumun yüksekliği lambanın gücüne işaret eder.



Şekil 11. UV-C ışınlarının dalga boyu grafiği

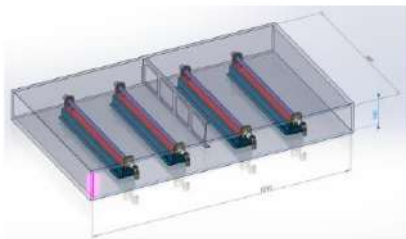
Işık kaynağının tayfı (Spektrumu). Maksimum olduğu yer 253,7 nm olup cıvalı lambanın UV-C bölgesinde güçlü bir kaynak olduğunu göstermektedir. Yeşil ve sarı renklerdeki maksimum ise görünür bölgede lambaya rengini veren dalga boylarını göstermektedir. Küçük dalgalanmalar ışınımdaki gürültüye işaret etmektedir.



Şekil 12. Farklı UV-C ışık kaynaklarının yoğunluk-dalga boyu grafiği

3.6 Raylı Sistem Klimalarında UV-C ışık kaynaklarının kullanımı

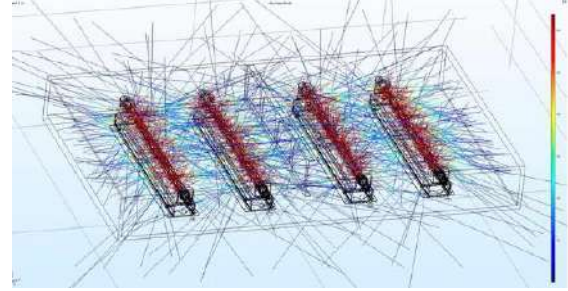
Şekil 13’de Raylı Sistem araçları için YAZKAR Klima Soğutma tarafından yapılan YAZKAR UV-C adlı cihazın klima hava kanallarına yerleştirilmiş görseli bulunmaktadır.



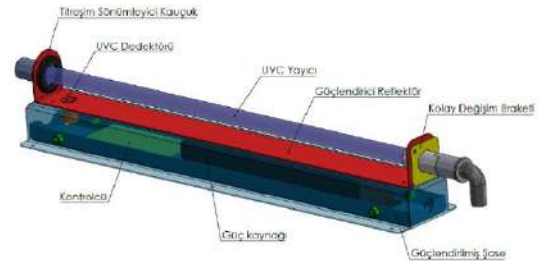
Şekil 13. Yazkar UV-C sistemi

3.7 Raylı Sistem Klimalarında UV-C Uygulaması FEA Analizi Sonuçları

Raylı sistem araçlarında, YAZKAR UV-C’nin ışınım doz dağılımının gösteren bilgisayar simülasyonu sonuçları Şekil 14’de yer almaktadır. Orta bölgede yer alan çubuk yapılar ışık kaynaklarını, renkler ise ışınım şiddetlerini göstermektedir. Kırmızı bölgelerdeki ışınım şiddeti en yüksektir.



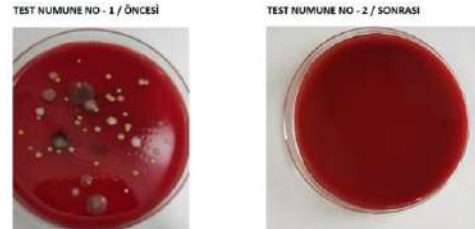
Şekil 14. Yazkar UV-C FEA analiz sonucu



Şekil 15. YAZKAR UV-C ünite prensip şeması

3.8 UV-C Uygulamaları Laboratuvar Sonuçları

Şekil 16’da UV-C sisteminin hücre canlılığı üzerindeki etkisinin test edildiği petri kaplarından bir örnek sonuç gösterilmiştir. Toplam koloni miktarı yaklaşık 120 cfu/m³ olan petri kabı 60 dakika boyunca UV-C’ye maruz bırakılmış ve koloni miktarının sıfırlandığı görülmüştür [19]



Deney Koşulu	Zaman Noktası	Test Numune No	Toplam Koloni cfu/m ³
Koşul A (UV-C kapalı)	0 Dak	1	120
Koşul B (UV-C Açık)	60 Dak	2	0

Şekil 16. YAZKAR UV-C laboratuvar test sonuçları [19]

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada demiryolu araçlarında ısı konfor ve iç hava kalitesi parametreleri incelenmiş olup bu alanlardaki güncel bilgiler derlenmiştir.

Toplu taşıma ve demiryolu araçlarında ısı konfor ve iç hava kalitesi konuları tercih edilebilirliği arttırdığı için önemlidir. Ayrıca yolcu sağlığı açısından da bir zorunluluktur. Ancak tren iklimlendirme sistemlerinde ısı yükünün artmaması için karışım havası kullanılması nedeniyle filtreleme ve dezenfeksiyon sistemlerinin kullanılması hayatsal önem taşımaktadır. Özellikle son yıllarda ortaya çıkan SARS türevli virüslerin oluşturduğu salgın hastalıklar toplu taşıma araçlarında dezenfeksiyon konusunun önemini daha da ön plana çıkarmıştır.

Teşekkür: Bu bildirin hazırlanmasında bizi teşvik eden, yoğun katkılar sunan firmamız akademik danışmanı Doç. Dr. Hüseyin Bulgurcu'ya teşekkür ederiz.

Not: Bu araştırma *Yazkar Akademi* çalışmaları kapsamında hazırlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Guideline 23P, "Guideline for the Design and Application of Heating, Ventilation and Air Conditioning Equipment for Rail Passenger Vehicles" First Public Review Draft.
- [2] Duckshin Park, Soonbark Kwon, Youngmin Cho, Eunyong Park, Seyoung Kim, Miyoung Jung," Analysis of Indoor Air Quality and Development of New Air Cleaner for Railroad Passenger Cabin",Korea Railroad Research Institute, 360-1 Woulamdong, Uiwangsi, Kyonggido, 437-757, Korea.
- [3] Sârbu, I., "Thermal comfort evaluation models", in Theoretical considerations, No. 2(43), University of Ti Mi Soara, 2007.
- [4] Devonshire, J. M., Sayer, J. R., "The effects of infrared-reflective and antireflective glazing on thermal comfort", University of Michigan, March 2002.
- [5] "Predicting human thermal comfort in a transient non uniform thermal environment. In, Proceedings of the Fifth International Meeting on Thermal Manikins and Modeling, 5IMM, Strasbourg, France, 2003 (National Institute for Working Life, Stockholm, Sweden), also in Eur. J. Appl. Physiol., 2004, 92(6), 721-727.
- [6] Daniel Trzebieski, Ireneusz Szczygie, Thermal analysis of car air cooler, Silesian University of Technology, Institute of Thermal Technology, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2 2011.
- [7] Gabriel Haller, Thermal Comfort in Rail Vehicles, Climatic Wind Tunnel Vienna Professional article September 2006.
- [8] Bulgurcu, H. Klima Tesisatı, 840 Sayfa, Makine Mühendisleri Odası Yayını No:663, Mayıs, İstanbul 2021.
- [9] <https://alkazar.com.tr/hizmetlerimiz/ic-ortam-termal-konfor/> (8.10.2023 tarihinde erişildi)
- [10] Mekonnen Tadesse, Thermal Comfort for Passenger Train from Dire-Dawa to Djibout, Addis Ababa University Addis Ababa Institute of Technology School of Mechanical and Industrial Engineering (Master Thesis-March 2015).
- [11] <https://www.havaforum.com/hissedilen-sicaklik-hesaplayici/> (11.10.2023 tarihinde erişildi)
- [12] <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=hissedilensicaklik> (10.10.2023 tarihinde erişildi)
- [13] Sayaral, G., "Hafif Raylı Taşıtlarda Modül Tasarımının İç Ortam Hız Ve Sıcaklık Dağılımına Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [14] Sofuoğlu, C.S. ve Toksoy, M. (Editörler), Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerleri, TOBB Yayını, 2023.
- [15] İlten, N. ve Bulgurcu, H., Evlerde iç hava kalitesi ile ilgili bir araştırma, 4.Balıkesir Mühendislik Sempozyumu, Sayfa-427-438, 11-13 Eylül 2002, BALIKESİR.
- [16] Bulgurcu, H., "Havalandırma ve iç hava kalitesi", <https://docplayer.biz.tr/2246140-Bolum-1-havalandırma-ve-ic-hava-kalitesi.html>, 2015. (6.10.2023 tarihinde erişildi).
- [17] H. Bulgurcu, N. İlten, A. Coşgun, Okullarda İç Hava Kalitesi Problemleri ve Çözümler, Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı:96, Sayfa 59- 72, 2006.
- [18] TS EN 13129:2017, Demiryolu uygulamaları-Ana hat vagon için klima konfor parametreleri ve tip testleri, Türk Standartları Enstitüsü
- [19] Yazkar Ar-Ge / <http://www.safeair-uv.com/2021/04/belgeler.html>

6. ÖZGEÇMİŞLER

Serkan Uğur

1984 yılında Ankara'da doğmuştur. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü mezunudur. 126562 Sicil numarası ile TMMOB Makine Mühendisleri Odası'na kayıtlıdır. 2019 yılında çalışmaya başladığı Yazkar Klima Soğutma A.Ş. bünyesinde demiryolu araçları iklimlendirme üniteleri tasarımında aktif olarak görevini sürdürmektedir.

Emirhan Yerlikaya

2000 yılında Sakarya'da doğmuştur. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü mezunudur. 2023 yılında çalışmaya başladığı Yazkar Klima Soğutma A.Ş. bünyesinde çalışmaktadır.

ŞEHİRLERARASI RAYLI SİSTEMLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK: SAKARYA ARİFİYE YHT DURAĞI

Abdulkadir Özden¹, Süleyman Nurullah Adahi Şahin²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Serdivan, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: 264 616 0237 E-Posta: aozden@subu.edu.tr

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Serdivan, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: 264 616 0243 E-Posta: adahisahin@subu.edu.tr

Özet- Toplumsal yaşamın her alanında engelli ve dezavantajlı bireylerin katılımı ve hizmetlerden faydalanabilirliği, üretkenlikleri ve sosyal etkinliklere dahil olmaları önemli bir gereklilik olup son yıllarda da dikkat çekmeyi başarmıştır. Ayrıca, tüm mekanlar ve ulaşım sistemleri engellilere erişilebilir olmalıdır. Bu nedenle, fiziksel çevre ve ulaşım sistemlerinin planlama ve tasarım süreçleri, engellilerin ihtiyaçlarını karşılayacak ve TS 12460 standartlarına uygun olacak şekilde düzenlenmelidir. Gelişmiş toplumların etkin ulaşım altyapılarından olan şehirlerarası raylı sistemler, toplumun her kesimine hızlı, güvenli ve çevre dostu bir ulaşım imkânı sunmanın yanı sıra engelli, yaşlı ve hareket kısıtlılığı olan diğer bireylerin toplu ulaşım hizmetlerine eşit erişimini sağlama görevine sahiptir. Bu çalışma, Yüksek Hızlı Tren (YHT) duraklarında hareket kısıtlılığı yaşayan bireylerin karşılaşılabileceği zorlukları ve erişilebilirlik avantajlarını ve dezavantajlarını incelemek amacıyla Sakarya ili Arifiye Tren Garı saha çalışması yapmış ve TS 12460 standartlarına uygunluk karneleri oluşturmuştur. Yapılan incelemelerde, gar binası ve duraklarda eksiklikler ve sorunlar tespit edilmiş, WC ve lavabolar, asansörlerin durumu, merdivenler, yolcu bilgilendirme levhaları, işaretlemeler, zemin kaplamalarının uygunluğu, durak türleri, oturma alanları ve gar binasının bileşenleri gibi konular ele alınmıştır. Bu tespitler ve bulgular ışığında, erişilebilirlik iyileştirmeleri ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Erişilebilirlik, Yüksek Hızlı Tren, Hareket Kısıtlı Bireyler, Ulaşım Planlama

1. GİRİŞ

Günümüzde, engelli bireylerin toplumsal yaşamın her alanında yer alması ve katkı sağlaması, tedavi, eğitim ve rehabilitasyon hizmetlerinden faydalanması, üretimde rol alması, sosyal etkinliklere katılması ve her türlü mekânın ve ulaşım sisteminin erişilebilir olması artık bir zorunluluk

haline gelmiştir [1-2]. Bu zorunluluk sadece engelli bireyler için değil, aynı zamanda hareket kısıtlılığı bulunan bireyler, çocuklar ve çocuklu aileler, yaşlılar ve hamileler gibi farklı gruplar için de geçerlidir. Bu bağlamda, fiziksel çevre ve ulaşım sistemlerinin planlanması ve tasarlanması aşamasından itibaren altyapı uygulamalarının her aşamasında, engelli ve hareket kısıtlı bireylerin kullanımını ve erişilebilirliğini kolaylaştıracak düzenlemeler dikkate alınmalıdır [3].

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde 'hareketlilik için planlama'dan (*planning for mobility*) 'erişilebilirlik için planlama'ya (*planning for accessibility*) geçiş birçok bakımdan kapsayıcı bir bakış açısını da ortaya koymuştur [4]. Daha çok toplu taşıma odaklı gelişimin etrafında yoğunlaşan bakış açısının hiç şüphe yok ki hareket kısıtlı bireylerin erişim ve ulaşım kalitesini de artırması beklenmektedir.

Erişilebilirlik, sadece bireylerin fiziksel çevreye nasıl erişebildiğiyle sınırlı değildir, aynı zamanda bilgiye, iletişime ve toplumsal etkinliklere erişimi de içerir. Bu nedenle, erişilebilirlik, sadece fiziksel engelleri aşmakla kalmaz, aynı zamanda toplumsal katılımın temel bir unsurunu oluşturarak gelişimin sağlıklı olmasını destekler.

Erişilebilirliği artırmak için çeşitli çevresel düzenlemelere ihtiyaç vardır. Yollar, kaldırımlar, toplu taşıma araçları, duraklar, üst ve alt geçitler gibi toplumsal yaşam alanlarının tümü, hareket kısıtlılığı bulunan bireyler için erişilebilir hale getirilmelidir [5]. Toplumsal bakış açısından ulaşımın rolü, toplumun tüm kesimlerine eşit derecede hareketlilik sağlayarak, ekonomik, sosyal, kültürel, politik ve mekânsal farklılıklarını; yaşlılar, çocuklar, engelliler ve benzeri grupları ayırt etmeksizin homojen bir hareketlilik imkânı yaratmayı amaçlar [6]. Bu bağlamda, ulaşımın toplumsal katkısı, toplumun en temel yapı taşlarını oluşturan bu farklı kesimleri, her

türlü ulaşım zorluğunu aşabilecekleri koşullar altında bir araya getirmeyi hedefler.

Engellilerin toplumsal yaşamın her alanında aktif bir şekilde yer alması ve erişilebilirlik sorunlarının çözülmesi, sadece bir ahlaki ve yasal gereklilik değil, aynı zamanda toplumun genel refahı ve adaleti için stratejik bir yatırımın bir parçasıdır. Erişilebilirlikle ilgili karşılaşılan zorluklar büyük olabilir, ancak doğru stratejiler, yenilikçi çözümler ve işbirliği taahhüdü ile tüm yolcular için daha erişilebilir ve kapsayıcı bir ulaşım ağına doğru önemli ilerlemeler kaydedebiliriz.

Sürdürülebilir ulaşım kavramı, kent içi ulaşım ve hareketlilik için sunulan çözümler açısından değerlendirmeye tabi tutulması gereken temel unsurlardan birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, Altuntaş ve Eyigün [7], bu iki kavramı birleştirerek kent içi hareketliliği inceledikleri çalışmalarında, raylı sistemlerin kent içi ulaşımına olan katkısını örnek bir şekilde ele almışlar ve bu yaklaşımın olumlu sonuçlarını vurgulamışlardır. Diğer bir araştırma olan Tiyek vd. [8] ise, engellilik ve erişilebilirlik kavramları bağlamında dünya genelinde, Türkiye’de ve İstanbul’da yaşayan hareket kısıtlı bireylerin sayısal verilerini ve yasal haklarının tarihsel gelişimini analiz etmişlerdir.

Ayrıca, kent içi toplu ulaşım sistemlerinde erişilebilirliği değerlendirmek amacıyla yapılan bir çalışmada, Zeytinburnu ilçesindeki toplu ulaşım durakları, istasyonları, çevresi ve ulaşım araçları teknik açıdan incelenmiş ve görevli personel ile hareket kısıtlı bireyler olmak üzere iki farklı anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda söz konusu bölgedeki toplu ulaşım sistemlerindeki erişilebilirlik düzenlemelerinin eksiklikler taşıdığını ve standartlara uyum sağlamadığını ortaya koymuştur [8].

Yang vd. [9] seyahat hızındaki farklılıkları göz önünde bulundurarak transit erişilebilirliği değerlendirmek için bir demiryolu ağı performans endeksi (RPI) geliştirerek dünya çapında 40 şehrin karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Avrupa şehirleri yüksek RPI değerlerine sahipken, gelişmekte olan ülkelerdeki şehirler demiryolu altyapı eksiklikleri nedeniyle nispeten düşük RPI değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Caset vd. [9] ise Brüksel Bölgesel Ekspres Demiryolu ağının bir parçası olan 144 demiryolu istasyonunun tamamı için sistematik bir ampirik düğüm-yer (node-place) analizini yapmışlardır. Analiz sonuçları, ilgili istasyonlar için yedi erişilebilirlik profili ortaya koymakta olup analizlerin paydaşların uzmanlığı ile birleştirilmesinin istasyonlar için kendilerine özgü geliştirme fırsatlarının belirlenmesine etkili bir şekilde yardımcı olabileceğini öne sürmektedir.

Literatürde derlenen çalışmalar erişilebilirlik kavramının önemini ve planlama aşamasında dikkate alınmasının kritikliğini vurgularken, lokal yapılacak araştırma ve incelemelerin de bölgesel ve ilgili alana özgü çözümler üretmedeki etkinliğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilir ulaşım konseptinin büyük bir parçası olan şehirlerarası raylı sistemler Yüksek Hızlı Tren (YHT) istasyonlarından biri olan Arifiye, Sakarya istasyonu TS 12460 kapsamında değerlendirilmiş olup, hareket kısıtlı bireyler açısından erişilebilirlik durumları incelenmiştir. Çalışma kapsamının tek bir lokasyon ile kısıtlı tutulması, değerlendirme kriterlerinin ilgili altyapıdaki testini gerçekleştirmek adına önemli olup aynı zamanda Arifiye gar binası gibi karmaşık bir yapıyı değerlendirmedeki başarısını da göstermek adına önemlidir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada yöntem olarak Şehiriçi Yollar, Raylı Taşıma Sistemlerinde Türk Standartları Enstitüsü’nün özürü ve yaşlılar için koydukları tasarım kuralları kapsamında Sakarya ili, Arifiye ilçesi YHT istasyonu incelenmiştir. TS12460’ın ilgili kısmı ise şu şekilde özetlenebilir [10]:

- i. Metro istasyonlarında engelli yolcuların, bir engelle karşılaşmadan ve uzun yürüyüş mesafelerine gerek duymadan dolaşmaları için mimari açıdan gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.
- ii. Raylı sistem ile şehrin diğer trafiği arasında engellinin emniyetini sağlamak için yol kenarı metal yay korkulukları kurulmalıdır.
- iii. Bilet temin bölgesinde bulunan güzergâh hakkında bilgi ve danışma veren tesisler engellilere de hizmet vermelidir. Bunlar, engelli bireylerin hareketlerine mâni olmamalı, bilet alışı ve biletli bölgeye geçişteki turnikelerde bu kişilere öncelikli yeterli alan ayrılmalıdır.
- iv. Platformlarda tekerlekli sandalyeli engellilerin kolay hareket ve manevra yapmaları sağlanmalıdır. Yan ve orta platformlarda platform döşemesinde görme engellilerin algılayacağı renkte doku ve desende ve ışıқта parlayan nitelikte emniyet bandı bulunmalıdır.
- v. İşitme engelliler için alarmlar sinyal verecek veya mevcut ışığı kesin şekilde yükseltecek şekilde ayarlanmalı ve görülebilir alarmlar duyulabilir acil durum alarmlarıyla bağlantılı olarak bir flaşa bağlanmış parlayan ışıklar şeklinde olmalıdır.
- vi. Görme engellilerin görmesine yardımcı olan köpeklerin istasyonlara girmesi ve trene binmesine müsaade edilmelidir.

Bütün bu maddeler kapsamında, saha çalışması yapılacak ilgili istasyon için karneler

oluşturulmuştur. Bu karneler, istasyona ait birimleri, bu birimlerde incelenecek olguların sorularını ve bu soruların cevaplarını “Evet” ve “Hayır” olarak içermektedir. Böylelikle ilgili istasyonun erişilebilirlik açısından karnesi ve mevcut durumu ortaya konulmuştur. Yapılan incelemelerde ilgili alanlar mümkün oldukça fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır.

3. BULGULAR

Arifiye YHT istasyonu, gar binası, durak, merdiven, asansör ve tuvalet olmak üzere 5 noktada incelenmiş ve erişilebilirlik karnesi oluşturulmuştur. Arifiye YHT istasyonu, biletleme ve bilet kontrol noktasının tren erişim noktasından ayrı olması bakımından diğer YHT istasyonlarına göre farklı bir fiziki yapı ortaya koymaktadır. Biletleme ve bilet kontrol işlemleri ana gar binasında yapılırken yolcuların trenlere ulaşmak için gar binasından çıkıp aynı zamanda tren hattını geçmek için de kullanılan kapalı üst geçidi kullanmaları gerekmektedir. Bu durum bir taraftan güvenlik zafiyeti oluştururken diğer taraftan erişilebilirlik ihtiyacını ve sorunlarını da artırmaktadır.

Yapılan incelemelerde öncelikli olarak gar binasında yapılan erişilebilirlik incelemesinde, ilgili kılavuz izlerin kullanımının ve kot farkının olduğu bölgelerde asansör erişimlerinin uygun olduğu gözlemlenmiştir. İlgili standartta belirtilen bir madde olmasa da tespit edilen tasarım hatalarından birinin erişim güzergahı üzerinde bulunan düşey engellerin (kolonlar) sıklığı ve kılavuz izlere olan yakınlığı olmuştur (Şekil 1). Ayrıca, son yıllarda yaygınlaşan erişilebilir hizmet noktalarının bu istasyonda da varlığı tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Gar binası ve tren erişimi arası kılavuz izler



Şekil 2. Gar binası erişilebilirlik hizmet ve altyapıları

Arifiye YHT gar binası için erişilebilirlik karnesi ve değerlendirme kriterleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. YHT Gar Binası için Erişilebilirlik karnesi

Gar Binası		
Sorular	Cevaplar	
	Evet	Hayır
Dolaşım alanlarında zemin kaplaması düz, sabit ve dayanıklı mıdır?	X	
Dolaşım alanlarında zemin kaplaması ıslak- kuru hâlde kaymayan malzeme ile kaplanmış mıdır?	X	
Dolaşım alanlarında (koridor, girişten asansöre erişim, katlarda asansöre erişim vb.) kot farklılıkları var mıdır?		X
Kaldırımdan danışma bankosu/birimi olan en az bir bina giriş kapısına kadar hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri bulunmakta mıdır?	X	
Bina içinde danışma bankosu/birimi olan bina giriş kapısından danışma birimine/bankoya kadar, danışma bankosu/birimi bulunmadığı durumda hissedilebilir kat planına giriş kapısından itibaren hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri bulunmakta mıdır?	X	
Yürüyüş güzergâhını işaret etmek için kılavuz iz (yüzey) kullanılmış mıdır?	X	
Hissedilebilir yüzey uygulaması ızgara vb. yatay ve tabela, kolon vb. dikey engellerle kesintiye uğramadan uygulanmış mıdır?		X

İstasyon durakları için yapılan incelemeler sonucu oluşturulan karnede, ortaya çıkan en önemli eksikliğin, özellikle hareket kısıtlı bireyler için zorlanılacağı bilinen ancak tüm bireyler için bir problem teşkil eden yolcu bilgilendirme ve yönlendirme altyapısındaki mevcut eksiklikler olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Bu eksikliklerden en önemlisi, farklı vagon sayısına sahip tren setleri için (mevcutta 6 ve 8 vagonlu hızlı tren setleri kullanılmaktadır) vagonun duracağı durağın net olarak ifade edilememesidir (Şekil 3). Bu durum, özellikle tekerlekli sandalye ile yolculuk yapan bireylerin sadece ikinci vagonu kullanabilmeleri sebebi ile, ikinci vagonun yanaşacağı noktayı iyi tespit edememesini ve bekleme pozisyonunu efektif bir noktada alamamasını doğurmaktadır.

Bunun dışında, her iki seyahat yönünde de korunaklı ve korunaksız duraklar ve oturaklar bulunmaktadır (Şekil 4). Platform ve raylar arasında etkin bir koruma olmamasına rağmen görme engelli bireyler için hissedilebilir yüzey uygulaması bulunmakta olup bu uygulama vagon kapılarına gelen bölgelerde eliptik hissedilebilir yüzeylerle desteklenmemiştir (Şekil 3). Bunun yanında, her ne kadar korunaklı durakların varlığı gözlemlense de platformun tamamen üstü kapalı olmaması, kötü hava şartlarında yolcuların hareket ve bekleme kabiliyetlerini kısıtlamaktadır. Platform durakları ile ilgili değerlendirme kriterleri Tablo 2’de sunulmuştur.



Şekil 3. YHT istasyonu durak örneği ()



Şekil 4. YHT istasyonu durak örneği

Tablo 2. YHT Durakları İçin Erişilebilirlik Karnesi

Duraklar	Cevaplar	
	Evet	Hayır
Sorular		
Raylı taşıma duraklarının bulunabilmesi ve belli bir uzaklıktan görülebilmesi için yönlendirmeler yapılmış mıdır?		X
Raylı taşıma duraklarının bulunabilmesi ve belli bir uzaklıktan görülebilmesi için işaretlemeler yapılmış mıdır?		X
Raylı taşıma duraklarının zemininde kullanılan kaplama malzemeleri düz, sabit ve dayanıklı mıdır?	X	
Raylı taşıma duraklarının zemininde kullanılan kaplama malzemeleri ıslak-kuru hâlde kaymayan malzeme midir?	X	
Raylı taşıma duraklarında toplu taşıma hizmetine ilişkin bilgilendirme (güzergâh planı, şehir haritası, otobüs tarifesi vb.) ve uyarı amaçlı sesli ve görsel donanımlar kullanılarak dijital olarak veya kabartmalı pano ile yapılmış mıdır?		X
Raylı taşıma durağı kapalı, yarı kapalı veya kısmi kapalı durak mıdır?	X	
Raylı taşıma duraklarında oturma bankı bulunmakta mıdır?	X	
Engellilerin başkalarına ihtiyaç duymadan araca inip binmeleri için araç ve durak zemini aynı seviyede midir?		X
Raylı taşıma durağı içinde yürüyüş güzergâhını işaret eden kılavuz yüzey kullanılmış mıdır?		X
Görme engellinin vagona güvenli olarak binmesini sağlayacak hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretleri uygulanmış mıdır?	X	

İstasyonda bulunan merdivenler için yapılan inceleme ve değerlendirmelerde, yürüyen merdivenlerin her iki yönde de (yukarı ve aşağı) hareket kabiliyeti sağlanması ve gar binasından

bekleme platformuna kadar yürüyen merdiven imkânı olması, erişilebilirlik adına önemli bulunmuştur. Ancak, yürüyen merdivenler arasına konumlandırılmış sabit basamaklarda, kaymayı engelleyici malzemelerin eksikliği ve merdiven genişliğinin (105 cm) konfor bakımından yetersizliği gözlemlenmiştir (Şekil 5). İlgili değerlendirmelerin karnesi ve değerlendirme kriterleri Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 5. YHT İstasyonu merdivenleri

Tablo 3. YHT istasyonu merdiven erişilebilirlik karnesi

Merdiven		
Sorular	Cevaplar Evet Hayır	
Merdiven döner ve kavisli olmayan türde midir?	X	
Basamak genişliği en az 27 cm midir?	X	
Engelliler için ayrıca düzenleme olmadığı (rampa, asansör vb.) durumlarda basamak yüksekliği en fazla 16 cm, diğer durumlarda ise en fazla 18 cm midir?		X
Bir merdivende yer alan tüm basamaklar aynı genişlikte (derinlikte) ve aynı yükseklikte midir?	X	
Merdiven basamaklarının ön kenarında algılamayı kolaylaştırıcı farklı renkte ve çıkıntı yapmayacak şekilde 2,5 cm eninde kaymaz şeritler kullanılmış veya kaymayı önleyici işlem yapılmış mıdır?		X
Merdiven tutamağı var mı?	X	

Kullanımda bulunan asansörler için oluşturulan karnede, yönlendirme ve bilgilendirme sistemlerinde olan eksiklikler, görme kısıtlı bireyler için Braille yazı eksikliği, aydınlatma eksikliği ve sesli uyarı sistemi eksikliği öne çıkan eksiklikler olarak tespit edilmiştir (Tablo 4). Her biri küçük birer eksiklik olarak görülse de özellikle hareket kısıtlı bireyler açısından oldukça zorluk çıkarması muhtemel eksiklikler olduğu dikkat çekmektedir. Gar binası, platforma erişim köprüsü ve platform inişlerinde asansör ile dış zemin arasında kot farkı, eşik veya eğimli platform olmaması, özellikle tekerlekli sandalye ve bebek arabası kullanıcıları için önemli bir iyileştirme olarak değerlendirilmiştir. Genel çerçevede asansörlerin çalışır durumda olduğu ve yolcular tarafından kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4. YHT istasyonu Asansör erişilebilirlik karnesi

Asansör		
Sorular	Cevaplar Evet Hayır	
Gar içerisinde asansöre yönlendirme işaretleri var mı?	X	
Asansörün önündeki sahanlıktan asansör kabinine erişimde eşik, basamak veya kot farkı var mıdır?		X
Asansör kapıları otomatik midir?	X	
Asansör kapısının yanında bilgilendirici ve/veya uyarıcı işaretler var mıdır?	X	
Yazılar ve işaretler görüş mesafesine göre uygun büyüklükte midir?	X	
Tüm yönlendirme ve bilgilendirme işaretleri ve yazıları kolay görülebilmesi için yazıldığı zeminle zıt renklerde midir?		X
İşaretler görme engelliler için Braille alfabetiyle yazılı mıdır?		X
İşaretlerde hissedilebilir kabartmalı harfler ve semboller kullanılmış mıdır?		X
Asansör önü ve içi yeterli şekilde aydınlatılmış mıdır?		X
Kabin dışı çağrı düğmelerinde Braille alfabeti rakam ve yazılar kullanılmış mıdır?	X	
Asansör kapıları açıldığında kabin zemini, kat zemini ile aynı seviyede midir?	X	
Kabin içinde asansörün hangi kata geldiğini anons eden sesli uyarı sistemleri var mıdır?	X	
Kabin içinde asansörün kata geldiğini gösteren görsel uyarı sistemleri var mıdır?	X	

Kabin içinde asansörün hangi kata geldiğini anons eden sesli uyarı sistemleri var mıdır?	X	
Kabin dışında asansörün çağırıldığını ve kata geldiğini gösteren görsel uyarı sistemleri var mıdır?	X	
Kabin dışında asansörün çağırıldığını ve kata geldiğini belirten sesli uyarı sistemleri var mıdır?		X
Kabin içi ve dışındaki rakam, yazı ve semboller buldukları zeminle zıt renkte midir?		X
Asansör çalışır durumda mıdır?	X	

Her bireyin günlük ihtiyaçlarına cevap verebilmek adına tesiste bulunan tuvalet ve lavabolar incelenerek erişilebilirlik karneleri oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeye göre, görme kısıtlı bireyler için Braille alfabesi ve kabartmalı sembollerle birlikte, ıslak zemin kaplamasının kaygan malzeme ile yapılması en büyük eksiklikler olarak ortaya konulmuştur (Tablo 5). Bütün bunların haricinde Şekil 5'te de görüleceği üzere erişilebilirlik standartları neredeyse yakalanmış gözükmektedir.



Şekil 5. YHT istasyonu tuvaletleri

Tablo 5. YHT istasyonu tuvaletleri erişilebilirlik karnesi

WC-Lavabolar		
Sorular	Cevaplar	
	Evet	Hayır
Tuvaletin giriş kapısından ve tuvaletin girişinden engelli tuvalet kabinine erişimde kot farkı var mıdır?		X
Engelli tuvalet kabini girişinden klozete erişimde kot farkı var mıdır?		X
Kapı yanında, duvarda, kapının mandalının bulunduğu tarafta, işaretin yan kenarı pervazdan 5- 10 cm arasında bir uzaklıkta yer alacak şekilde bilgilendirici işaretler var mıdır?	X	
İşaretler okunaklı ve anlaşılabilir midir?	X	
İşaretleme (tabelalar) çevre rengi ile zıt renkte midir?	X	

Yazılar ve işaretler görüş mesafesine göre uygun büyüklükte midir?	X	
Tüm yönlendirme ve bilgilendirme işaretleri ve yazıları kolay görülebilmesi için yazıldığı zeminle zıt renklerde midir?	X	
İşaretler görme engelliler için Braille alfabesiyle yazılı mıdır?		X
İşaretlerde hissedilebilir kabartmalı harfler ve semboller kullanılmış mıdır?		X
Tuvaletlerin zemin kaplaması düz, sabit ve dayanıklı mıdır?	X	
Tuvaletlerin zemin kaplaması ıslak-kuru hâlde kaymayan malzeme ile kaplanmış mıdır?		X

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Sakarya ili sınırları içerisinde bulunan Arifiye YHT Garı'nın dezavantajlı bireylerin kullanımına uygunluk bakımından değerlendirilmesi ve farklı kategorilerde erişilebilirlik karnelerinin çıkarılması için yapılmıştır. Yapılan çalışma TS12460 kapsamında ilgili 5. bölüme bağlı olarak incelenerek erişilebilirlik karnelerindeki değerlendirme kriterlerinin yardımıyla oluşturulmuştur.

Bu bağlamda, raylı ulaşım aracından gar dışına kadar olan kısımda erişilebilirlik açısından hareketi engelleyecek temel bir sorun tespit edilmemiştir. Fiziksel kısıtı olan vatandaşlar için gar içinde zeminin düz ve sorunsuz olduğu, kılavuz iz ve uyarıcı yüzeylerin gerekli yerlerde uygulandığı gözlenmiştir. Platformlardaki bekleme yerlerinin, gar binasının ve bina içindeki lavabo ve tuvaletlerin de hareket kısıtlı bireyler için uygunluğu tespit edilmiştir.

Son yıllarda yaygınlaşan 'Engelli Hizmet Noktası'nın varlığı ve etkinliği bir diğer önemli katkı olarak değerlendirilmekte olup, bu hizmeti alma ihtiyacı hisseden yolcuların da hizmet noktasındaki yardım taleplerinin anlayışla karşılandığı gözlenmiştir.

Bütün bu inceleme ve tespitlere göre Arifiye YHT istasyonunun;

- Fiziksel engelli bir birey için gerekli olan ihtiyaçlara çok büyük oranda karşılık verdiği değerlendirilmiştir. İstasyon çevresi düz bir zemine sahiptir ve zeminler arası geçişlerde kot farkları yoktur. Asansör erişimlerinde basamak veya kot farkı bulunmamaktadır. Raylı sistem araçlarından inip binmede bir kot farkı bulunmakla birlikte, diğer garlarda olduğu gibi görevlilerin hareketli rampa uygulaması ile bu engel aşılmaktadır.

Platformda bulunan duraklar korunaklı ve oturma bankına sahiptir.

- Görme engelli bireyler için kılavuz iz ve uyarıcı yüzeyler olmakla birlikte platformda vagon kapı önlerine gelecek bölgelerde eliptik yüzey uygulamasına rastlanmamıştır. Gar binası ve asansörlerde sesli yönlendirmeler ve anonslar düzenli olarak yapılmaktadır. Ancak, gar binası ve platforma erişim köprüsünde, asansörlerde ve bekleme platformunda Braille yazısı çok az kullanılmıştır.
- İşitme engelli bireyler için görsel uyarı sistemleri genellikle mevcut olmakla birlikte, yönlendirme levhaları ve tabelalarında karışıklık olduğu tespit edilmiştir. Gar binası ile platforma erişim girişinin farklı yerlerde olması bu aksaklığı tetikleyen bir sebep olmakla birlikte, özellikle platformda bulunan vagon numaralarının karışıklığı sadece dezavantajlı bireyler değil tüm yolcular için şikâyet sebebi olmaktadır.

Son olarak bu çalışma bir durum tespiti içermektedir ve bu değerlendirmede kullanılan kriterler ve TS12460'ın diğer ilgili kriterleri farklı yerlerdeki istasyonların erişilebilirlik değerlendirmesinde de kullanılabilir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, raylı sistemler açısından erişilebilirlik konusunu daha iyi anlamak ve kavramak için ilgili bireylerle anket çalışması yapılmasının ve daha kapsamlı bilgiler için uzman görüşlerine başvurulması düşünülmektedir. Elde edilecek ilave veri ve bulguların şehirlerarası raylı sistem istasyonlarında erişilebilirlik perspektifini daha geniş bir bakış açısı ile değerlendirmeyi mümkün kılacağı beklenmektedir.

5. REFERANSLAR

- [1] Cervero, R. "Effects of Light and Commuter Rail Transit on Land Prices: Experiences in San Diego County," *In Journal of the Transportation Research Forum*, 43(1), 2010.
- [2] Ge, J., MacDonald, H. I., & Ghosh, S. U. M. I. T. A. "Assessing the impact of rail investment on housing prices in north-west Sydney," *In Annual Pacific-Rim Real Estate Society Conference*, PRRES, 2012.
- [3] Benenson, I., Martens, K., Rofé, Y., & Kwartler, A. "Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area." *The Annals of Regional Science*, 47(3), 2011, pp. 499-515.
- [4] Ulvi, H., Kutlu, B. H., Akdemir, F., "Gelişmekte Olan Ülkelerde Raylı Sistem Yatırım Kararlarını Etkileyen Ölçütlerin Belirlenmesi: AB ve Türkiye Özelinde Bir Araştırma, *Demiryolu Mühendisliği*", 2019(9):91-108.
- [5] Ayhan Selçuk, İ. & Szeri, R. (2019). "Eşitlik, Erişilebilirlik ve Toplu Taşıma". *İDEALKENT*, 10 (28), 1207-1229 . DOI: 10.31198/idealkent.

[6] Altuntaş, S., T., Eyigün, Y., (2021). "Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları Raylı Sistemler Örneği". *Journal of Technology and Applied Sciences* 3(2), 217-233.

[7] Tiyek, R., Eryiğit, B. H. & Baş, E. (2016). "Engellilerin Erişilebilirlik Sorunu ve TSE Standartları Çerçevesinde Bir Araştırma". *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (2) , 225-261 . Retrieved from

<https://dergipark.org.tr/en/pub/iibfdkastamonu/issue/2962/3/318088>

[8] Yang, Lan, Sunyong Eom, and Tsutomu Suzuki. "Measuring railway network performance considering accessibility levels in cities worldwide." *Journal of Transport Geography* 96 (2021): 103211.

[9] Caset, Freke, David S. Vale, and Cláudia M. Viana. "Measuring the accessibility of railway stations in the Brussels Regional Express Network: A node-place modeling approach." *Networks and Spatial Economics* 18 (2018): 495-530.

[10] TS 12460, "Şehir içi yollar-Raylı taşıma sistemleri bölüm 5: Özürlü ve yaşlılar için tesislerde tasarım kuralları", 1998

6. ÖZGEÇMİŞ

Abdulkadir ÖZDEN (Dr. Öğr. Üyesi): Erzurum Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olan ÖZDEN, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini Birleşik Devletler Delaware Üniversitesinde Ulaştırma Mühendisliği alanında tamamlamıştır. Ardından, Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde görev yaptıktan sonra, Sakarya Uygulama Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görevini sürdürmektedir.

Süleyman Nurullah Adahi ŞAHİN (Arş. Gör.): Sakarya Üniversitesinden mezun olduktan sonra yüksek lisans eğitimine Gazi Üniversitesinde başlayıp tekrar Sakarya'ya dönerek Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Ulaştırma Mühendisliği yüksek lisansını bitirmiştir. Aynı yerde doktora eğitimine ve araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmekte olan ŞAHİN, TU Wien ve EUR'da kısa süreli misafir araştırmacı olarak bulunmuştur.

TMMOB

Electrical Engineers, Civil Engineers, Mechanical Engineers
 Congress and exhibition of rail systems
 November 2023 02-03-04 / ESKIŞEHİR

THE BLUE TROLLEY BUS

Mohamed Juma Eid, William Pesci

BLUE Engineering S.r.l., Albenga Street, 98, IT-10098 Rivoli, Italy
 Tel: 0039 011 950 4211, Email: m.eid@blue-group.it
 Tel: 0039 347 481 2797, Email: w.pesci@blue-group.it

Abstract - The BLUE Trolley Bus, hereinafter referred to as BTB, is a non-standard fully electric vehicle, therefore of BEV class, which can be approved for road circulation as it is capable of driving through curves with an external radius under 12,5 meters and internal radius of 9.75 meters. The vehicle has a travel speed in autonomous L3 mode of 9,73 m/s, with a maximum capacity of 21 passengers and a maximum axle load of 2200 kg, while its curb weight is equal to 4500 kg. BTB is a modularly expandable vehicle which is equipped with critical innovations that allow it to be a real answer to the problem of the “last mile connection” in the context of present e future smart cities. The most important innovations entail its L3 autonomous driving system, the wireless charging, the flexible dynamic joint and lastly its living wall composed of living plants.

Keywords: Trolleybus, Autonomous driving system, Static wireless charging, Flexible dynamic joint, Living wall.

1. L3 AUTONOMOUS DRIVING SYSTEM

As previously mentioned, the features that make the BTB truly a one-of-a-kind electric vehicle and which will be analysed individually here as part of the integration process into a single vehicle are: (1) L3 autonomous driving system, (2) Wireless charging, (3) Flexible dynamic joint and (4) Living wall made of living plants.

The BTB's L3 level autonomous driving system is the central element of the entire system as it can follow a road route in totally autonomous mode. The route is generated from a list of GNSS positions and can be traced on the road with a maximum deviation of 10 metres. The system can drive the vehicle in the most appropriate way to perceive the road surface, reducing the speed before entering a curve and possibly braking and stopping if the road is not passable, for example due to a too narrow radius of curvature for the physical limitations of the vehicle. Furthermore, since the vehicle is not of a conventional type, a simplified movement model must be imposed on the system. In terms of necessary instrumentation, BTB is composed of various sensors, including four cameras, three cameras with a 120° FOV, a camera with a 60° FOV, an Inertial Measurement Unit, a GNSS antenna, an automotive-specific processing unit

capable of connecting to the vehicle via CAN Bus. For development reasons the system is completed with a keyboard, a mouse and a 15.6" USB screen. The guidance system therefore appears in the form shown in the following Image 1. As for the software, the autonomous driving system algorithm is made up of three main sections. First a "perception system" capable of locating the vehicle in space and evaluating an area of "free space" in which it is possible to move, then the second section is the "trajectory planning system" capable of calculating the optimised path to follow and finally the control system which calculates and sends acceleration commands to the vehicle on the basis of the developed “vehicle motion model” that will be discussed later on in this paper. The "perception system" shown in Image 2 reads the data from the cameras to evaluate the parameter called "free space", i.e., the area in which the vehicle can advance, then the system's attention turns to the parameter which defines the "centre line" of the lane in which the vehicle travels. These values are calculated by the nVidia DNN based on the real images captured. In particular, the "free space" is evaluated by combining the 4 different shapes coming from the 4 different cameras mounted on board so to identify the most realistic shape and avoid network errors.

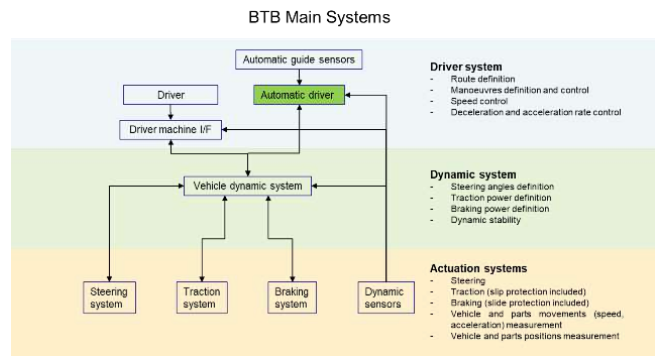


Image 1. Diagram of the main driving systems installed on the BLUE Trolley Bus.

Instead, the system generates position, speed, acceleration, and curvature from the CAN bus, the GNSS and the Inertial Measurement Unit. The manufacturer of our nVIDIA hardware provided an egomotion algorithm based on

Kalman filters which was already encompassed in its library and that for us was indispensable to improve our results in terms of autonomous driving.



Image 2. BLUE Trolley Bus, Perception System.

The "trajectory planning" is generated by the implementation of a specific algorithm which is the "Optimal Trajectory in a Frenet-Serret frame" where the code provides speed, acceleration, and jerk limitations. The code was then modified to include cruise control to keep it under the speed limit and be able to stop in a certain position. Then, the algorithm generated in this way returns the longitudinal and lateral accelerations of the vehicle chassis which can be used by the vehicle control unit in autonomous driving mode. The functioning and interaction scheme between the various components of software and hardware is therefore structured as in the following Image 3.

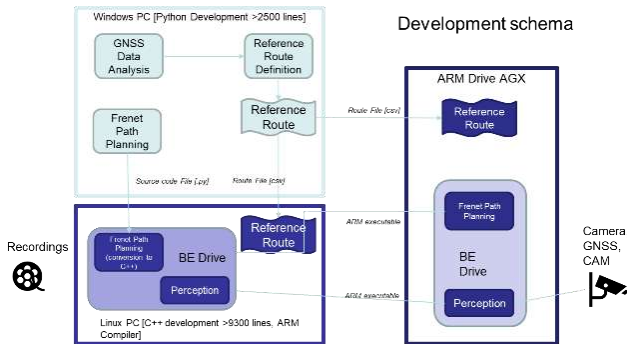


Image 3. Architecture of the interaction between software and hardware.

To further increase the performance of the above-mentioned software, a multi-threaded software is further developed as highlighted in the following Image 4. The "vehicle motion model" developed for the BTB is based on the bicycle model. To approximate the actual behaviour of vehicle, an analysis of the radius of curvature versus the angle of the steering wheels is performed, together with a study of the angle between the front and rear modules, as depicted in the following Image 5. Another key improvement of the model consists in using the correct heading direction given by the inertial measurement unit mounted on the front vehicle and corrected by the value of the angle between the front and rear module of the BTB.

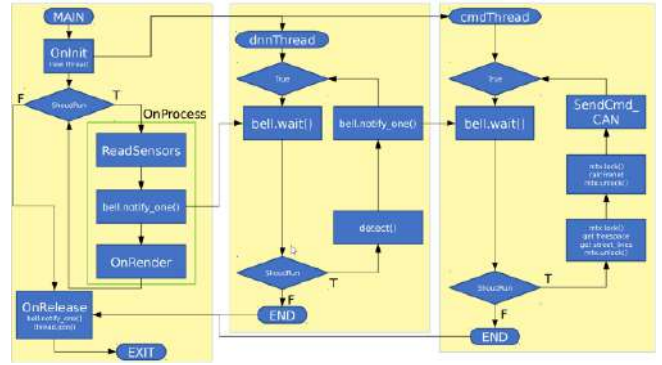


Image 4. Structure of the multi-threaded software developed for the BLUE Trolley Bus.

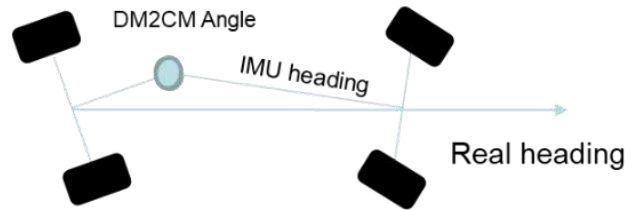
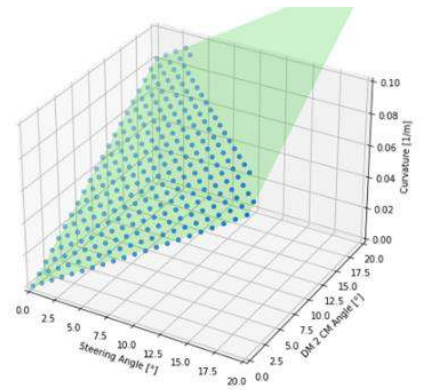


Image 5. Representation of the vehicle movement model developed specifically for the BTB as an unconventional vehicle.

Some conclusions can be drawn from the development of this autonomous driving system. Location data suffers from a high level of errors and must be integrated to determine the current location of the vehicle, a task performed by nVidia Drive's sensor fusion algorithms. The debugging process on real vehicle is time-consuming and complicated by the type of real-time software used. Besides, working and testing on a real testbed vehicle is always deemed necessary due to the hardware/software coupling. The collection of heading data from the magnetometer proved to be reasonably good in most circumstances and the vehicle is required to respond quickly to ADS commands. Simulations and road tests shown that Frenet-Serret planning requires a "clear" path to follow. Finally, although the provided nVidia DNN can evaluate free space through images provided by cameras, in its current state the detection of moving obstacles can still be improved. To address such problems, it is necessary to implement its maintainability and modularity on a ROS-

based system and simplify hardware management. Furthermore, it is crucial to develop a “model predictive controller” to limit the effect of vehicle command delays. Regarding the sensors used, it is important to use lidar and radar to evaluate and detect free space and obstacles. Lastly, to improve obstacle avoidance, cameras should be mounted on both sides of the vehicle.

2. WIRELESS CHARGING

The BTB wireless charging system is composed of two distinct sections, one on the ground and a second on board. The ground section fulfils the purpose of providing the energy necessary for the vehicle to start the charging phase when the vehicle is stationary. Conversely, the section on board has the purpose of receiving the energy emitted by the section on the ground and conveying it to the vehicle's batteries. Batteries are of the Li-Ion type, for a total capacity of 47 kWh. The complete system architecture is highlighted in the following Image 6.



Image 6. Architecture of the wireless charging system. The ground section is made up of elements 1 and 2, while the section on board the vehicle is made up of equipment 3, 4, 5, 6, 7 and 8.

Specifically, the system not on board the vehicle is composed of the ground inverter, shown in Image 7, which fulfils the purpose of drawing energy from the network, characterised by the parameters 400Vac 50Hz 3ph, and converting it into power to be transferred via the transmission antenna. The maximum power that can be transmitted by this system is 12 kW. The transmission antenna pad, shown in the following Image 8, consequently has the purpose of using the energy received from the inverter and transmitting it to the corresponding reception pad installed on board the vehicle. Again, the maximum power that can be continuously transmitted has an upper limit of 12 kW. With regards to the system on board the vehicle, this is primarily made up of the receiving antenna, shown in the following Image 9, which has the purpose of receiving the energy from the transmission pad mentioned above and distributing it to the other equipment on board the vehicle. In the hypothesis of a transfer without continuous power losses, it will be equivalent to 12 kW. The pad is installed on a pantograph structure located in a central position underneath the vehicle. Connected to the receiving antenna is the receiving power unit, shown in the following Image 10, which converts the energy taken into direct voltage/power to recharge the buffer batteries. From the same Image 10., the receiver is also installed under the body near the receiving antenna to limit the distance between these two devices as much as possible and avoid losses.

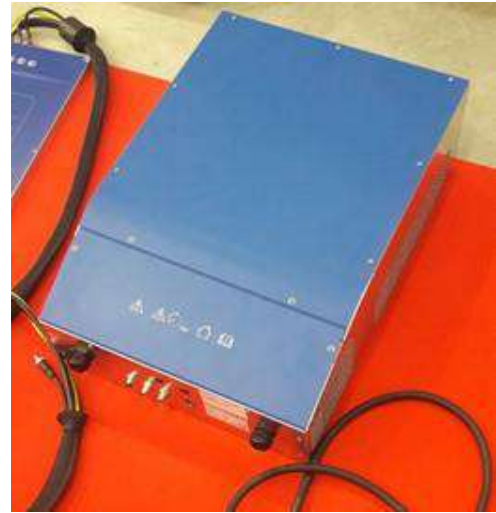


Image 7. Photograph of the 12-kW ground inverter.



Image 8. Photograph of the 12-kW transmit antenna.



Image 9. Photograph of the 12-kW receiving antenna.

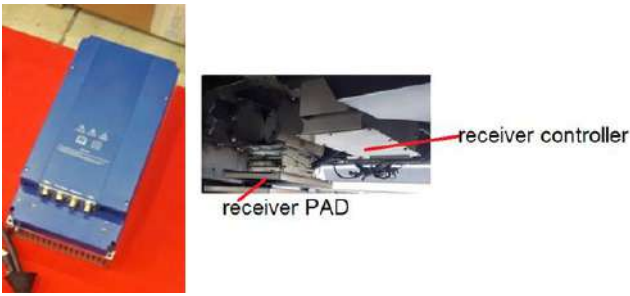


Image 10. Photograph of the receiving power unit and its installation.

In connection with the receiving power unit there are the buffer batteries represented by the following Image 11, which perform the DC-LINK function at 48Vdc, with the aim of stabilizing the voltage for the final conversion to 220Vac for the inverter. The batteries are installed in a special container which also includes the DC-AC inverter and the E-Station inside the vehicle.



Image 11. Photograph of the buffer batteries and their installation.

In connection with the buffer batteries there is the DC-AC inverter, shown in Image 12, which has the purpose of converting the energy available in the DC-LINK into a single-phase 220Vac, 50Hz output.



Image 12. Photograph of the DC-AC inverter.

Downstream of the DC-AC inverter is the E-Station, shown in Image 13 below, which has the purpose of controlling and managing the energy/power shared with the vehicle's traction batteries. This type of controller is the same used in

charging stations available in standard applications for electric-powered vehicles.



Image 13. Photograph of the E-Station controller.

Lastly, the power switch closes the system to isolate the power circuits in case of problems or needs. The operating principle of the system can be divided into four elements, resulting in alignment (1), start of charging (2), charging phase (3) and finally interruption of charging (4). The battery charging system already available and installed in the vehicle is used for the charging process. The wireless charging equipment is interfaced with the existing one via the standard PLUG. The control of the charging current is managed via the E-Station, while the control of the battery status and protection is delegated to the vehicle's internal BMS. Alignment (1) is configured between transmit and receive pads. To ensure correct alignment, manual operation is required. When BTB needs the charging process, the vehicle autonomously approaches the charging area, then the driver takes control of the vehicle to complete the positioning. Once the vehicle is aligned with the transmission pad, the driver operates the control system to stop the vehicle and put it into wireless charging mode. In this phase the pad on board the vehicle is lowered to approximately 4 cm from the transmitting pad thanks to the pantograph system, as can be seen from Image 14 below.

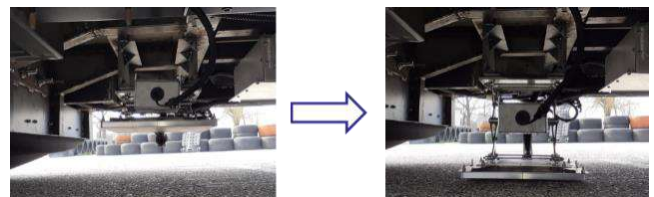


Image 14. Wireless charging alignment phase with descent guided by the pantograph to which the receiving pad is connected.

The start of charging (2) immediately follows the activation of the charging mode as the transmitting and receiving PADs automatically begin a digital communication and in the absence of errors the charging process starts autonomously. An indication of the start of the charging process then appears on the control monitor of the driving station,

together with an estimate of the time necessary for its completion, as can be seen from the following Image 15.



Image 15. Control monitor representing the estimation for the completion of the charging process.

The charging phase (3) is characterised by the indication on the driver's monitor of the actual state of the charge and the time remaining for its completion, which in this phase is no longer an estimated but a real value, obtained from the calculation carried out based on the available power, as displayed in the following Image 16.



Image 16. Control monitor representing the actual values for the completion of the charging process.

The charging interruption phase (4) concludes the process. The charging stop can occur for three reasons: (a) Request by the driver who interrupts the charging using a specific command that raises the receiving PAD; (b) batteries are fully charged whereby the system informs the driver and at the same time the system switches off; (c) misalignment between the two pads induced by the movement of the vehicle which departs from the charging position and instantly interrupts the process.

3. FLEXIBLE DYNAMIC JOINT

The flexible dynamic joint, formally called Central Module (CM), connects the head module that is equipped with a central electric motor, and capable of a yaw angle of 19°, with the rear module which can reach a maximum yaw of 13°, complying with the constraints of pitch and roll in relation to the dynamics of the running vehicle. The connection is ensured by two joints, one upper and one lower with respect to an imaginary sagittal plane of the vehicle. The upper joint is made up of two different types of connections, the front one is made up of two connecting rods with a triangle configuration, while the rear one is made up of a single connecting rod with an L-shaped configuration, as highlighted in the following Image 17.



Image 17. Upper joint of the flexible dynamic joint.

The lower joints are instead made up of two spherical joints, one front and one rear, as well as four springs/shock absorbers, equally divided between the front and rear, as represented in the following Image 18.

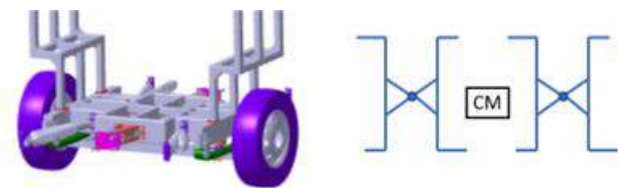


Image 18. Lower joint of the flexible dynamic joint.

This articulation scheme was entirely developed and patented by Blue Engineering S.r.l. At the same time, the suspension scheme of the flexible dynamic joint is made up of specifically designed leaf springs and shock absorbers, as illustrated in the following Image 19.

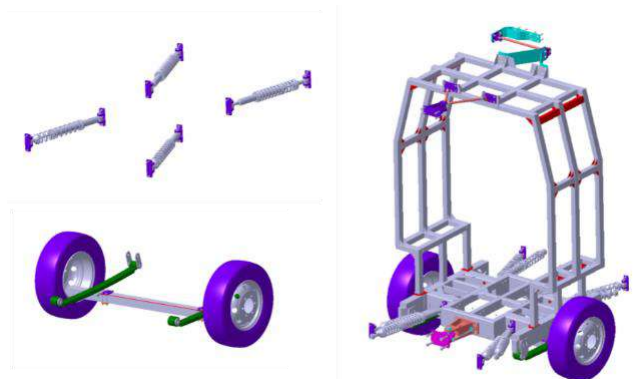


Image 19. Mechanical and suspension components of the flexible dynamic joint.

The structure of the joint was then worked with sheet metals both externally using a steel alloy, and internally, using aluminium for the finishing only and then with no dynamic or structural functions, as shown in Image 20 below.



Image 20. Bodywork of the flexible joint.

Subsequently, the two half sections of the vehicle, the front called TM1, and the rear called TM2, were welded, riveted, and then finished with sheet metals and sealed following the indications developed in the design phases, as highlighted in the following Image 21.

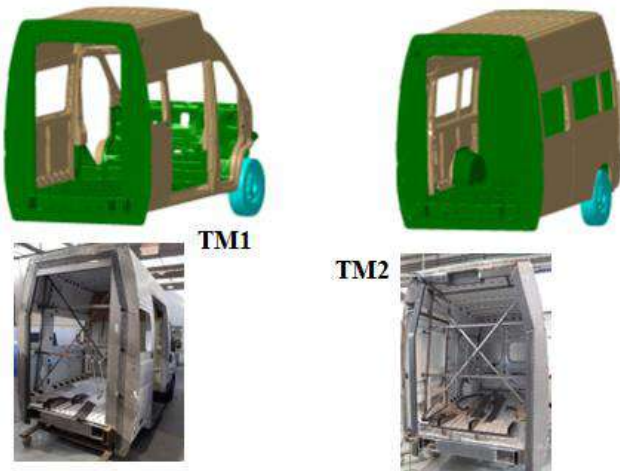


Image 21. Manufacturing and bodywork of the TM1 module (left) and the TM2 module (right).

Following this phase, all the modules were coupled together as represented in the following Image 22, monitoring the overall dimensions, and carrying out numerous static tests to monitor the stress of the mechanical elements. All tests carried out were passed with complete success. After coupling, the bellows were screwed which ensure the connection between the TM1 and CM modules, as well as between CM and TM2, guaranteeing their tightness and functioning during the assembly phase, as suggested by the following Image 23. The bellows were simply screwed for easier maintenance and adjustment.



Image 22. Coupling scheme between all modules [TM1 + CM + TM2] (left) and their photographic rendering (right).

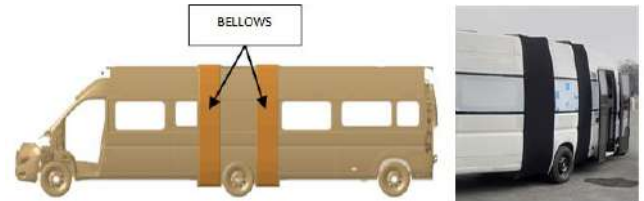


Image 23. Bellows installation diagram (left) and their photographic rendering (right).

4. LIVING WALL MADE OF LIVING PLANTS

The research project was carried out together with the Department of Agricultural, Forestry and Food Sciences (DISAFA) of the University of Turin. In the first instance, DISAFA proceeded with the identification of the pollutants present on board the means of transport, subsequently the plant species most effective in reducing pollutants and dimensionally suitable for being positioned in the module generated with additive manufacturing were identified. Subsequently, a preliminary laboratory evaluation phase of the identified species was carried out before moving on to their positioning in the green module and measuring their effectiveness in the final setup. Following an in-depth bibliographical analysis, it was possible to identify four types of pollutants present on board means of transport and corresponding to PM, VOCs, NOx, and Ozone. The selection of plant species effective in reducing pollutants could not ignore some essential selection criteria such as habitus, thermal needs, water needs, nutritional needs as well as the definition of the specific pollutant that was intended to be removed. The evaluation study finally isolated the species most suitable for this purpose, namely the species known as *Fittonia argyryneura*, *Chlorophytum comosum*, *Tradescantia fluminensis*, *Epipremnum aureum* and *Nephrolepis exaltata* 'Bostoniensis', as highlighted in the following Image 24. The design of the plant housing module took into consideration some critical aspects for its definition, including the dimensions of the individual cells, tank capacity, irrigation system, plant containers, substrate, printing material and finally waterproofing of housing. The module was then installed and the plants placed inside it were monitored for a period of two months, during which it was possible to note a high growth rate of the epigeal portions of the plants, a sufficient water supply deriving from the system of

irrigation, a complete absence of signs of distress of the plants that could have compromised the aesthetic component with yellowing or wilting, excellent water tightness due to waterproofing.

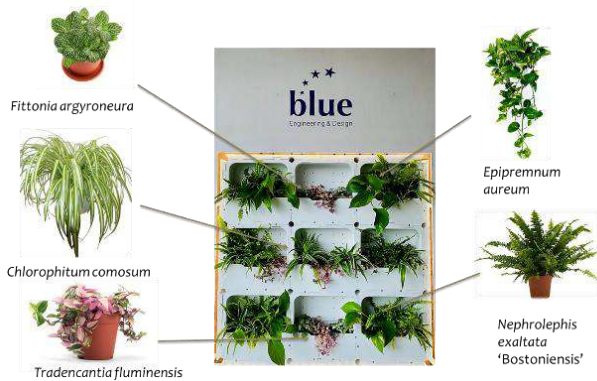


Image 24. Representation and arrangement within the module of the plants identified for the project purposes.

However, some minor problems relating to the deterioration of the internal surface layers of the cells were noted. The final analysis therefore revealed how the plants adapted to the support by growing in size and developing good vigour with an irrigation content adequate for their growth. Furthermore, the leaf surface present on the panel was found to be sufficient compared to the air volumes of 60 m³. It is also noted that a possible subsequent installation of a mechanical ventilation system capable of conveying an air flow in contact with the leaves could further significantly increase the yield in terms of purification.

5. CONCLUSIONS

After numerous refinement and debug phases, BTB was tested first in areas closed to public traffic and then with a series of complete laps on the Cerrina race track in Bruino, approximately 12 km from BLUE Engineering S.r.l. headquarters. The expectation that the BTB would complete the course was fully respected and the dynamic joint performed its task as expected. At the same time, the wireless charging system also passed the tests carried out with complete success. The public recognition of the success of the project was demonstrated by the world premiere held on May 2, 2023 at the same Cerrina race circuit in which the highest authorities of the municipality of Turin, the neighboring municipalities and the Piedmont Region, as well as journalists from the major national press outlets which widely reported the event, highlighting the innovative nature of the result obtained by BLUE Engineering S.r.l. Images 24, 25 and 26 below were taken from the world premiere. Possible areas of further development involve the transition from the GNSS positioning system to an high resolution 3D live mapping to correct positioning errors which in urban areas can exceed 10 meters in gauge.



Image 25. BTB being tested at the Cerrina race circuit.



Image 26. BTB in position on the morning of May 2, 2023, the day of the world premiere.



Image 27. Authorities and members of the institutions present on May 2, 2023, for the first lap on the Cerrina race circuit.

Alternatively, the positioning result could be improved by implementing for this specific application a non-linear Kalman filter in the interaction between the Inertial Navigation System (INS) and the GNSS tracking. Lastly, an improved ventilation system could guarantee greater vitality to the plants located on the living wall, increasing their capacity to filter internal air and reduce pollutants.

6. CURRICULUM VITAE

(a) CV of Mohamed Juma Eid

Nationality: Italian

Date of birth: June 2, 1964

Work experience:

- From 2016 to present, CEO of BLUE Engineering S.r.l.
- From 1993 to 2016, Co-founder and Vice-president of BLUE Engineering S.r.l.

Education:

- From 1983 to 1988, Master's degree with distinctions in Aeronautical engineering at the Polytechnic of Turin.

(b) CV of William Pesci

Nationality: Italian

Date of birth: November 26, 1986

Work experience:

- From April 2023, Head of Research and Development of BLUE Engineering S.r.l.
- From 2015 to 2023, Senior Research and Development, Project and Operations manager at the European Technology center von General Electric Deutschland Holding GmbH.
- From 2011 to 2015, Owner and Founder of William Pesci Consulting.

Education:

- From 2018 to 2023, Ph.D. in Mechanical Engineering at the Technical University of Munich.
- From 2009 to 2011, Master of Science in Applied Mathematics at the University of Turin.
- From 2006 to 2009, Bachelor's degree in MBA, majored in Mathematics for Finance at the University of Turin.

TRAMVAY İSTASYONU ERİŞİMİNDEKİ IŞIKLI YAYA GEÇİDİ İHLALLERİNİN İRDELENMESİ

Gürcan Sarısoy¹, Ayşe Polat², Hüseyin Onur Tezcan³

¹Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü Yalova/ TÜRKİYE
Tel: 226 815 61 77 E-Posta: gurcan.sarisoy@yalova.edu.tr

²Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü Yalova/ TÜRKİYE
Tel: 226 815 61 80 E-Posta: ayse.polat@yalova.edu.tr

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü İstanbul/ TÜRKİYE
Tel: 212 285 36 65 E-Posta: tezcanhu@itu.edu.tr

Özet- Yaya geçitlerinin taşıt ve yayaların ortak kullanım alanlarında yer alması yaya geçitlerini güvenlik açısından riskli hale getirmektedir. Yaya geçitleri, güvenli kullanım için trafik ışığı ya da levha kontrollü şekilde işletilmektedir. Her iki yapıda işletilen kavşaklarda da bireyler tarafından yaya geçidi ihlallerinin yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu ihlallere neden olan unsurlar arasında yol ve geçiş özellikleri açısından yayaların beklediği kaldırımın yeterliliği, yaya geçidinde bekleme süresi vb.; bireylerin seçimleri veya davranışları açısından yakında yer alan toplu taşıma aracına yetişme, dikkatsiz davranışlar vb. konular yer almaktadır. Yayaların trafik kurallarını ihlal etmelerine ve trafik kazası riskine girmelerine etkisi olan unsurların araştırılması, trafik güvenliği açısından önemlidir. Çalışmada, tramvay istasyonu erişimindeki ışıklı yaya geçidi ihlalleri incelenmiştir. İnceleme için İstanbul ilinde T1 tramvay hattında yer alan bir istasyona yolcuların erişimini sağlayan ve yaya hareketlerinin yüksek olduğu iki adet yaya geçidi seçilmiştir. Yaya trafiğinin yüksek olduğu bir zaman diliminde, bu ışıklı yaya geçitlerinde 15 devre süresi boyunca yaya hareketi gözlem verisi toplanmıştır. Bireylerin tramvay yolcusu olma durumu da dikkate alınmış ve gözlem verilerinden yararlanılarak yaya geçidi ihlali üzerine etki eden unsurlar ikili lojit model ile incelenmiştir. Bu bağlamda, yaya geçidi ihlallerinin yayaların tramvay yolcusu olması durumuna göre birey, yol, geçiş ve tramvay ile ilgili özellikler açısından değişimi irdelenmiş ve yaya geçidi ihlalini azaltmak için öneriler sunulmuştur. Güvenli bir şekilde hareket etmeyen yayaların davranışlarında pozitif değişiklik yaratacak etkili unsurların belirlenmesi ve irdelenmesi gerekli önlemlerin alınmasını kolaylaştıracaktır.

Anahtar Sözcükler: Tramvay erişimi, ışıklı yaya geçidi, yaya geçidi ihlali, ikili lojit model

1. GİRİŞ

Yaya geçitleri, yatay ve düşey işaretlemeler veya trafik ışıkları yardımıyla, hem taşıt hem de yayaların ortak kullanımını için düzenlenmiş noktalardır. Ülkemizde, Karayolları Trafik Kanununun 68. maddesine göre yaya geçitlerinde trafik ışığının olması durumunda yayaların trafik ışığına uyma zorunluluğu olduğu belirtilmiştir [1]. Buna karşın, yapılan çalışmalarda yayaların bu kuralı bazen ihlal ettiği görülmektedir [2-4].

Yaya geçidi ihlallerinin nedenleri çeşitlidir. Bu nedenler arasında kuralı bilmeme veya tanımama [5] gibi bireysel etmenlerin yanında, fiziksel ve/veya arazi kullanımı [6-9] ile ilgili unsurlar da yer almaktadır. Özellikle çekim noktaları veya toplu taşıma aktarma merkezleri [9] gibi yerlerde yaya hareketliliği ve yaya geçidi ihlalleri yüksek olmaktadır. Bu çalışmaya konu olan tramvay kazaları hakkında yapılan bir çalışmada kazalara neden olan unsurlar; tramvay, vatman, diğer taşıt, yolcu, yaya, yol ve çevre kusurları şeklinde yedi ana başlık altında incelenmiş ve yaya kusurları, diğer taşıt kusurları ile beraber, en yüksek ağırlığa sahip unsurlardan birisi olarak belirlenmiştir [10]. Benzer çalışmalar, kent içi raylı sistem araçlarından biri olan tramvay sisteminde, özellikle istasyonlara erişebilmek için yayalar ile ortak kullanılan yaya geçitlerinin, trafik güvenliği açısından riskli alanlar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu riski azaltmak için yaya geçitlerinin ayrıntılı incelenmesi önemlidir.

Bu çalışmada, bir tramvay istasyonu çevresinde bulunan iki ışıklı yaya geçidinde araştırma yapılmıştır. Yaya geçidini kullananlar, tramvay yolcusu olan ve tramvay yolcusu olmayan yayalar olarak iki gruba ayrılmıştır. Belirtilen ayrım da dikkate alınarak; sahadan birey, yol, geçiş ve tramvay ile ilgili özelliklere ait bilgiler toplanmıştır. Bu özellikler ile yayaların ışıklı yaya geçidi ihlal durumu arasındaki ilişkiler ikili lojit model kullanılarak araştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Yaya davranışı ülkeler arasında farklılaşan bir konudur. Gelişen taşıt teknolojisi için yaya davranışlarının analiz edilmesinin önemini vurgulayan bir çalışmada, yaya davranışlarının farklı iki ülkede (Japonya ve Almanya) değişim gösterebileceği sonucuna ulaşılmıştır [11]. Ülkemizde İstanbul Beşiktaş ve Fatih ilçelerinde iki yaya geçidinde yapılan bir çalışmada, trafik ışığını ihlal eden yayaların oranı %32,9 olarak bulunmuştur [2]. Isparta'da yapılan bir başka çalışmada, yayaların %21,3'nün ışık ihlali yaptığı görülmüştür [3]. Hindistan'da yapılan bir çalışmada ise kırmızı ışıkta yaya geçidine gelen bireylerde, yaya geçidi ihlali yapanların oranı %64,6'dır [12]. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye farklılık gösterebilen yaya davranışları hakkında ülkemizdeki çalışmaların artmasının trafik güvenliğine katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Farklı ulaşım türlerinin ortak kullandığı yaya geçitlerinde yapılan ihlaller trafik güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Hindistan'da yapılan bir çalışmada, yaya ışık ihlali ile ölümlü trafik kazası sıklığı arasında bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır [9]. Bu nedenle, bu noktalarda yaya davranışlarının detaylı araştırılması ve araştırma sonuçlarına göre yaya geçidinin düzenlenmesi önemlidir.

Işıklı yaya geçitlerinde, yaya davranışları birçok unsura bağlı olarak değişim göstermektedir. Bunlardan biri yayanın kırmızı ışıkta bekleme süresidir. Polonya'da ışıklı yaya geçitlerinde yapılan bir çalışma kapsamında yapılan saha gözlemlerinde, kırmızı ışık süresinin uzun olması ve yaya geçidinden herhangi bir taşıt geçmemesinin yayaları kırmızı ışığı ihlal etmeye teşvik ettiği sonucuna ulaşılmıştır [13]. Kanada'da yapılan bu çalışmayı destekler başka bir çalışmada, düşük trafik hacmi kırmızı ışık ihlal nedeni olarak değerlendirilmiştir [14]. Hindistan'da yapılan bir çalışmada ise yayaların trafik ışığında bekleme süresinin artmasının ışığı ihlal etme olasılığını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [15]. Çin'de yapılan ve bekleme süresinin yaya davranışlarına etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada, kırmızı ışık süresinin ilk yarısında geçiş yapan birey sayısının az olduğu ve en yüksek geçiş oranının kırmızı ışık süresinin %80'inin tamamlanmasından sonra olduğu sonucuna ulaşılmıştır [16]. Hindistan'da yapılan bir başka çalışmada ise ışıklı kavşağın devre süresinin uzunluğunun yayaların kırmızı ışıkta geçme davranışı ile ilişkili olduğu bulunmuştur [17]. Türkiye'de yapılan bir çalışmada ise ışıklı yaya geçidi ihlali yaparak karşıdan karşıya geçen yayaların davranışını en çok etkileyen unsurların taşıt-yaya yoğunluğu, sayım yapılan günün saati, devre süresi uzunluğu ve yerin toplu taşıma erişilebilirliği olduğu görülmüştür [2].

Literatürde yaya davranışları ile birey özellikleri arasındaki ilişkiler de incelenmiştir. Erkek ile genç yayaların, kadın ile yaşlı yayalara göre trafik kurallarını ihlal etme olasılığının fazla olduğu gözlemlenmiştir [18-21]. Buna karşın,

ABD'de yapılan bir çalışmada yaş ile ışık ihlali arasında anlamlı bir ilişki olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, 16-29 yaş aralığındaki yayaların yürürken telefonla mesajlaşma veya kulaklık takma olasılığı diğer tüm yaş gruplarına kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur [22]. Diğer bir çalışmada, San Francisco'daki toplu taşıma duraklarının yakınında bulunan ışıklı yaya geçitlerinde yaya, bisikletli ve sürücü davranışlarını incelemiştir. Yayaların %3 ile %18'inin karşıdan karşıya geçerken telefon kullandığını ve kadınların karşıdan karşıya geçerken telefon ile konuşma olasılığının erkeklere göre daha yüksek olduğunu; ancak erkeklerin yürürken ve bisiklet sürerken ışığı ihlal etme olasılığının daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur [23]. Hindistan'da yapılan bir çalışmada ise yayaların karşıdan karşıya geçerken cep telefonu kullanmasının yaya geçidinde ışık ihlali yapma olasılığını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [24].

Literatürde, ışıklı yaya geçitlerinde yapılan ışık ihlallerinin yanında yaya geçidi çizgi ihlallerinin araştırıldığı çalışmalar da yer almaktadır. Singapur'da yapılan bir çalışmada, ışık ihlalinde bulunan yayaların %61'inin belirlenen yaya geçidi çizgilerinin dışından geçtiği gözlemlenmiştir [25]. Türkiye'de yapılan bir çalışmada ise ışıklı kavşakta yayaların %60'ünün yaya geçidinin dışını kullandığı gözlemlenmiş ve yaya geçidi genişliğinin uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır [4].

Literatürde, toplu taşıma duraklarının konumları ile yaya ihlalleri arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Toplu taşıma duraklarının yakınında yapılan bir çalışmada, ışıklı yaya geçitlerinde toplu taşıma duraklarının olduğu yöne doğru giden yayaların diğer yöne giden yayalardan daha fazla ihlal yaptığı sonucuna ulaşılmıştır [25]. Yapılan başka çalışmalarda da otobüs duraklarının yaya geçitlerindeki yaya davranışını etkilediği vurgulanmıştır [14, 15]. Bu sonuçlar ile benzer şekilde, Polonya'da tramvay istasyonu çevresinde yaya geçitleri için yapılan çalışmada, istasyona yaklaşan tramvayın ışıklı yaya geçidi ihlaline sebep olduğu ve bu durumun güvensiz geçişe neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır [13].

3. YÖNTEM

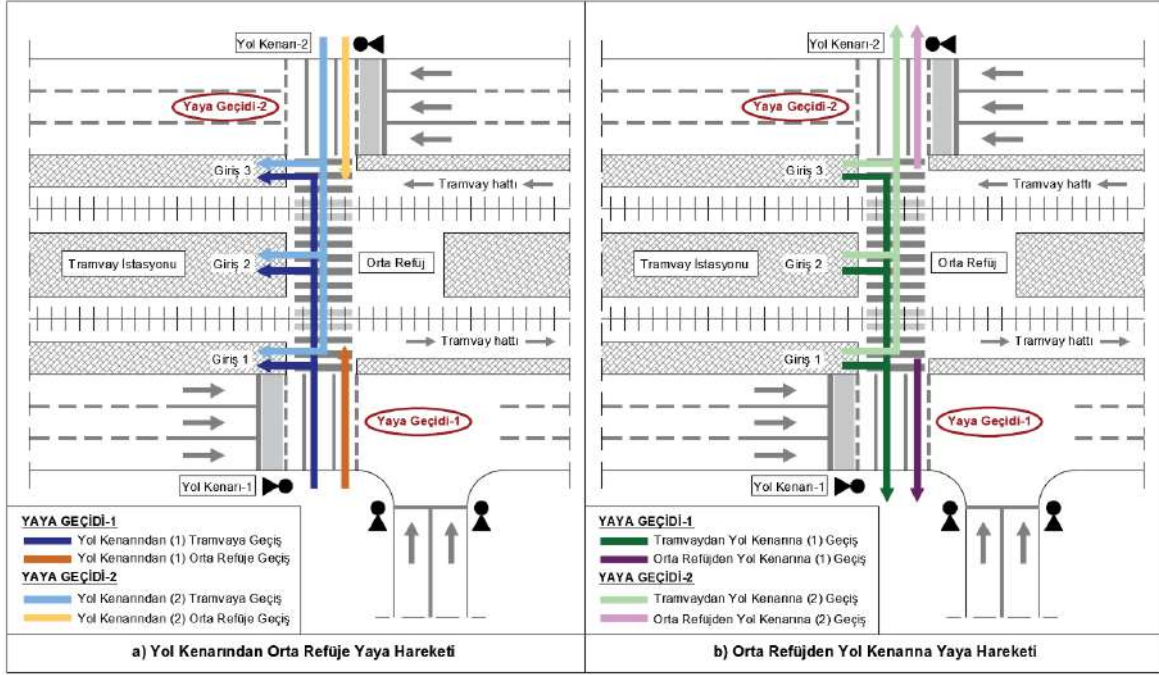
Yöntem bölümü; çalışma alanının tanıtılması, kullanılan yöntem ve akış diyagramı olmak üzere üç alt başlıkta incelenmiştir.

3.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

Saha çalışması İstanbul Üniversitesi Çapa Kampüsünün güneyinde, Turgut Özal Millet Caddesi üzerinde yer alan yaya geçitlerinde gerçekleştirilmiştir. Gözlemlenen yaya geçitlerinin bulunduğu karayolu kesiminde, trafik çift yönlü akmakta ve T1 (Kabataş-Bağcılar) tramvay istasyonuna ait hemzeminde, iki yöne giden yolculara hizmet veren iki adet tramvay hattı bulunmaktadır. Karayolunda her yönde 3 şerit bulunmaktadır. Yaya geçidinin batısında bulunan tramvay hattına ait Çapa-Şehremini istasyonu, cadde ortasında kenar

ve orta peron uygulamalı ve alçak peron düzeninde işletilmektedir [26]. İstasyonun başı ve sonunda olmak üzere iki yönde de yolcu giriş ve çıkışı bulunmaktadır. Çalışmanın yapıldığı yaya geçitlerine ve yaya hareketlerine ait kroki Şekil 1'de verilmiştir. Yaya geçitlerinin 2023 yılı Ağustos ayında, hafta içi bir günde saat 10:00-12:00 aralığında video görüntüleri alınmış, sonrasında yaya geçişleri görüntüler üzerinden izlenerek analiz edilmiştir. Her iki yaya geçidinde de 15 devre boyunca yayalar incelenmiştir. İki yaya geçidinin ışıkları da aynı anda koordineli olarak çalışmaktadır. Yayalar; yol kenarından

tramvaya, yol kenarından orta refüje (diğer yol kenarına gidenler), tramvaydan yol kenarına ya da orta refüjden (diğer yol kenarından gelenler) yol kenarına doğru hareket etmektedir (Şekil 1). Yaya hareketleri yön açısından iki gruba ayrılmıştır. Karayolu üzerinde yer alan yaya geçitlerindeki yaya geçiş yönlerinin tramvay yolcusu olan ya da olmayan yayalar için her iki grupta da benzer olduğu görülmektedir. Buna göre, Şekil 1a'da yol kenarından orta refüje yaya hareketleri, Şekil 1b'de orta refüjden yol kenarına yaya hareketleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı yaya geçitleri ve yaya hareketleri

3.2 Kullanılan Yöntem

Çalışmada, yayaların ışıklı yaya geçidi ihlal durumları ikili lojit model kullanılarak incelenmiştir. İkili lojit modelde her bir seçeneğin faydası U_i olarak kabul edilirse fayda fonksiyonunun genel hali Eşitlik 1'deki gibidir. Bireyler faydası en yüksek olan seçeneği en büyük olasılıkla seçmektedir [27].

$$U_i = v_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

v_i : Deterministik (Gözlemlenebilen fayda)

ε_i : Rassal (Gözlemlenemeyen fayda)

Bir seçeneğin seçilme olasılığı Eşitlik 2'de verilmiştir [28].

$$P_i = \Pr(v_i + \varepsilon_i \geq v_j + \varepsilon_j, i \in C, j \in C, i \neq j) \\ = \Pr(v_i - v_j \geq \varepsilon_j - \varepsilon_i) \quad (2)$$

C : Bir seçim kümesi;

P_i : i ve j olan iki seçenek arasında i 'nin seçilme olasılığı

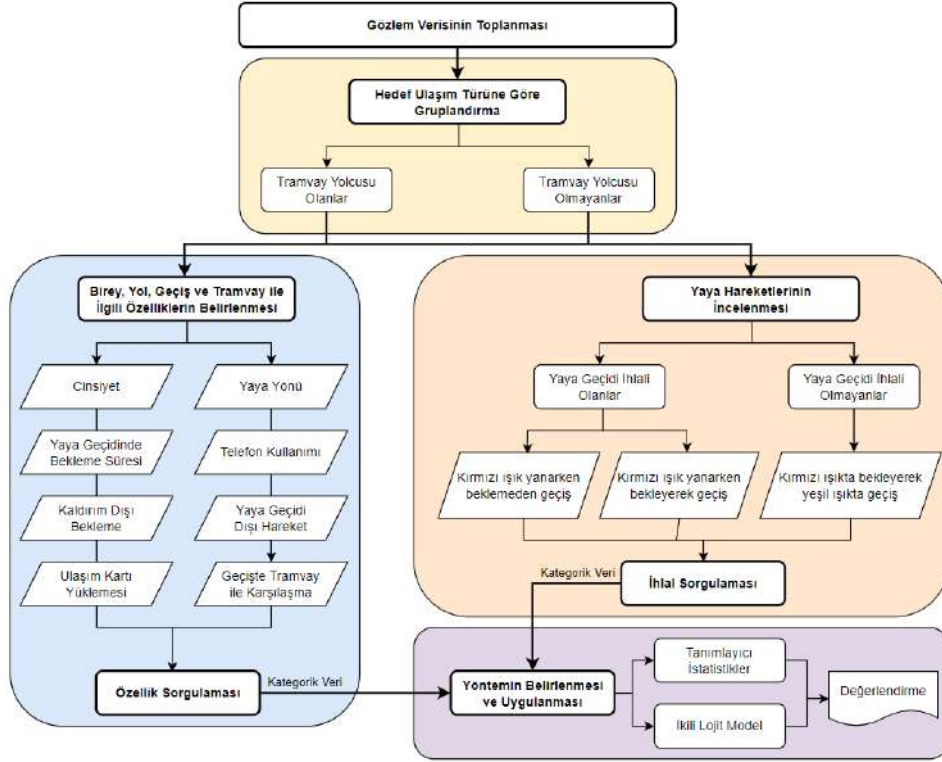
Eşitlik 2'de yer alan gözlemlenemeyen faydaların (rassal) farkının lojistik dağılıma uyduğu kabul edilirse, i ve j olan iki seçenekten i seçeneğinin seçilme olasılığını Eşitlik 3 vermektedir [27].

$$P_i = \frac{e^{v_i}}{e^{v_i} + e^{v_j}}, i \in C, j \in C, i \neq j \quad (3)$$

Yöntem kapsamında, tahmin edilen lojit modelin katsayılarının işaret ve büyüklüklerinden yararlanılarak, yaya davranışı analiz edilmiştir.

3.3 Akış Diyagramı

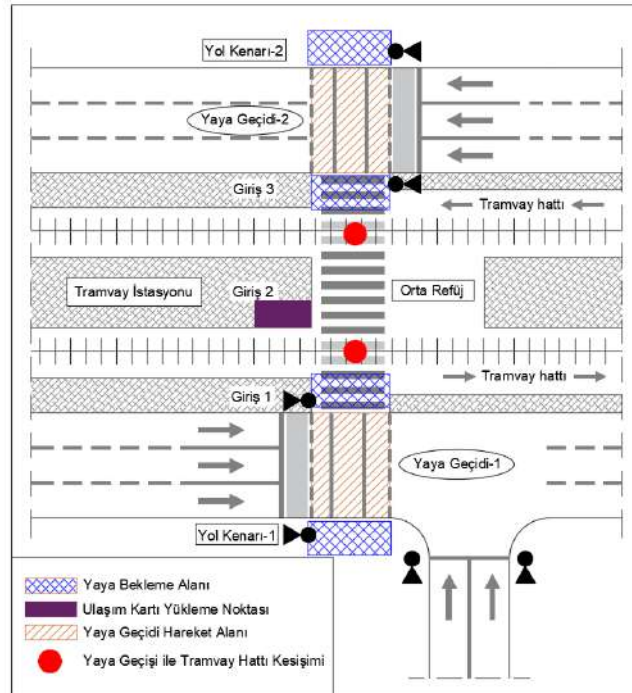
Gözlemlerden elde edilen veri setinin analiz süreci ayrıntılı olarak Şekil 2'deki akış diyagramında gösterilmiştir. Analiz sürecinde yayalar iki ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; belirlenen ışıklı yaya geçitlerini kullanan tramvay yolcuları ve diğer yayalardır. Bu çerçevede, ilk olarak tanımlayıcı istatistikler oluşturulmuş, sonrasında yaya geçidi ihlal durumu ile birey, yol, geçiş ve tramvay ile ilgili özellikler arasındaki ilişki ikili lojit yöntemi ile modellenerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Akış Diyagramı

Çalışma kapsamında, yaya geçidi ihlalinde etkili olması beklenen değişkenler sekiz adet olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerden bazılarının daha iyi anlaşılması için; yaya bekleme alanı, ulaşım kartı yükleme noktası, yaya geçidi hareket alanı ve yaya geçidi ile tramvay hattı kesişimi unsurlarının görseli Şekil 3'te verilmiştir. Çalışma alanında geçiş yapan her bir yaya için yapılan gözlemlerden yararlanılarak; yaya bekleme alanı dışında yol üstündeki bekleme; kaldırım dışı bekleme, yaya geçidi hareket

alanı dışındaki geçişler; yaya geçidi dışı hareket, ulaşım kartı yükleme noktasına uğrayanlar; ulaşım kartı yükleme yapan, yaya geçidi ile tramvay hattı kesişiminde tramvay ile denk gelenler; geçişte tramvay ile karşılaşan olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yaya yönü ile ilgili görsel de çalışma alanının tanıtılması bölümünde Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre, yaya yönü; yol kenarından orta refüje ve orta refüjden yol kenarına olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.



Şekil 3. Yaya Geçitlerindeki Belirlenen Unsurlara ait Görsel

4. BULGULAR

Çalışmada, ışıklı yaya geçidi ihlalinde etkili olabilecek birey, yol, geçiş ve tramvay ile ilgili unsurlar tramvay yolcusu olma durumu da dikkate alınarak analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, analizler tanımlayıcı istatistikler ve ikili lojistik model başlıklarında irdelenmiştir.

4.1 Tanımlayıcı İstatistikler

Sahadaki iki adet ışıklı yaya geçidinde yapılan gözlemler sonucunda toplam 654 yaya geçişine ait veri toplanmıştır. Bu yaya geçişleri 4 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; kırmızı ışık yanarken beklemeden geçiş (133 yaya, %20), kırmızı ışık yanarken bekleyerek geçiş (155 yaya, %24), kırmızı ışıkta bekleyerek yeşil ışıkta geçiş (171 yaya, %26), yeşil ışık yanarken geçiş (195 yaya, %30) şeklindedir. Yeşil ışık yanarken gözlemlenen yaya geçişleri, yayanın bekleme

yapmasının gerekmemesi ve geçiş tercihinde bireyin kararının etkili olmaması nedeniyle veri setinden çıkarılmıştır. Sonuç olarak, incelenen veri setinde 459 adet yaya geçişi gözlem verisi bulunmaktadır. Bu veri setine ait tanımlayıcı istatistikler bireylerin tramvay yolcusu olma durumu da dikkate alınarak Tablo 1’de verilmiştir. Tüm veri seti için gözlemlenen yayalarda erkek ve orta yaş grubu bireyler daha fazladır. Gözlemlenen yayaların hareketlerine bakıldığında, yol kenarından orta refüje geçenlerin orta refüjden yol kenarına geçenlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Yaya geçidinde bekleme süresi ortalaması da 20,8 s olarak hesaplanmış olup, yaya geçidinde hiç bekleme yapmayanların oranı ise %29’dur. Ayrıca yaya geçidi ihlalinde etkili olabilecek unsurların oranları; telefon kullanımı %7, kaldırım dışı bekleme %30, yaya geçidi dışı hareket %37, ulaşım kartına yükleme yapılması %8, geçişte tramvay ile karşılaşma %10 şeklindedir.

Tablo 1. Yayalara Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Grup	Değişken	Tramvay Yolcusu Olan Yayalar		Tramvay Yolcusu Olmayan Yayalar		Tüm Yayalar	
		Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
		241	53	218	47	459	100
Cinsiyet	Erkek	162	67	122	56	284	62
	Kadın	79	33	96	44	175	38
Yaş	30 ve altı	101	42	74	34	175	38
	31-60	120	50	124	57	244	53
	60+	20	8	20	9	40	9
Yaya Yönü	YK-OR*	163	68	143	66	306	67
	OR-YK**	78	32	75	34	153	33
Yaya Geçidinde Bekleme Süresi (s)	0	62	26	71	32	133	29
	1-10	49	20	43	20	92	20
	11-20	33	14	18	8	51	11
	21-30	25	10	23	11	48	11
	30+	72	30	63	29	135	29
Telefon Kullanımı	Evet	16	7	17	8	33	7
	Hayır	225	93	201	92	426	93
Kaldırım Dışı Bekleme	Evet	80	33	58	27	138	30
	Hayır	161	67	160	73	321	70
Yaya Geçidi Dışı Hareket	Evet	78	32	90	41	168	37
	Hayır	163	68	128	59	291	63
Ulaşım Kartı Yükleme	Evet	30	12	5	2	35	8
	Hayır	211	88	213	98	424	92
Geçişte Tramvay ile Karşılaşma	Evet	16	7	32	15	48	10
	Hayır	225	93	186	85	411	90

* YK-OR: Yol kenarından orta refüje

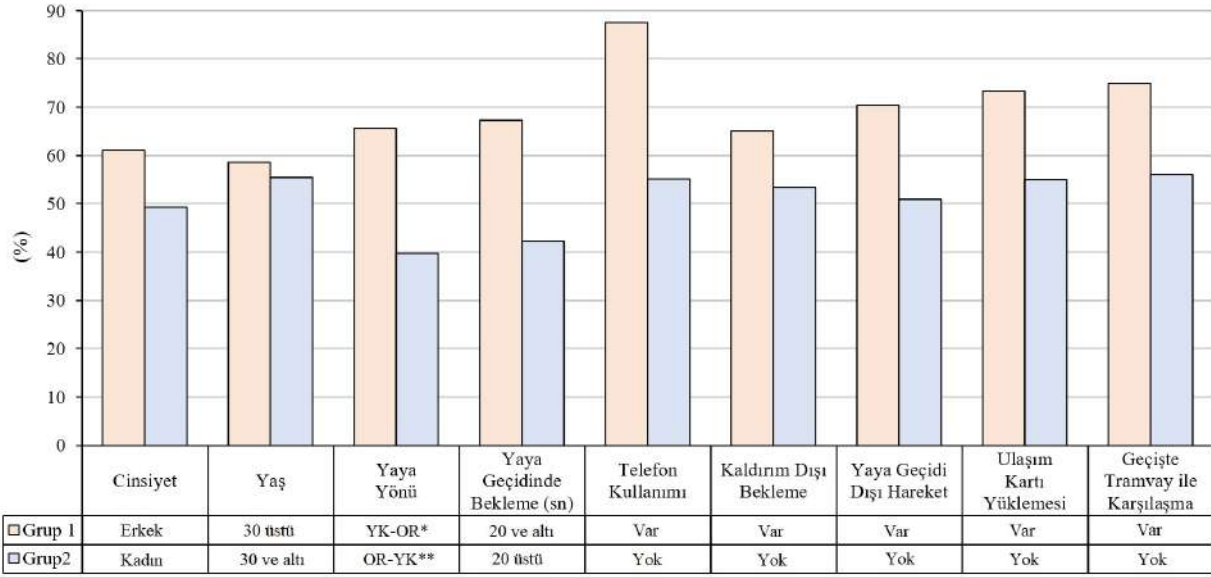
** OR-YK: Orta refüjden yol kenarına

Tramvay yolcusu olan yayalara ait geçişlerin (%53) diğer yaya geçişlerine (%47) yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, tramvay durağının önemli bir çekim noktası olduğunun bir göstergesidir. Her iki gruptaki yol kenarından orta refüje geçiş ve orta refüjden yol kenarına geçiş oranları birbirine yakındır. Yaya geçidinde bireylerin ortalama bekleme süresi, tramvay yolcusu olan yayalarda 21,4 s, diğer yayalarda 20,1 s olarak hesaplanmıştır. Yaya geçidinde hiç bekleme yapmayanların oranı, tramvay yolcusu olan yayalara göre diğer yayalarda daha yüksektir. Ek olarak, yaya geçidi ihlalinde etkili olabilecek unsurlardan; kaldırım dışı beklemenin ve ulaşım kartına yükleme yapmanın tramvay yolcusu olan yayalarda; yaya geçidi dışı hareketin ve geçişte tramvay ile karşılaşmanın ise diğer yolcularda daha yüksek olduğu görülmektedir. Telefon kullanımının ise her iki grupta da benzer değerlerde olduğu görülmüştür.

Gözlemlenen ışıklı kavşaklardaki yaya geçidi ihlal oranı %63'tür. Bununla birlikte, yaya geçidi ihlal oranı tramvay yolcusu olan yayalarda %57, diğer yayalarda %69'dur. Özetle, yaya geçidi ihlalinin diğer yayalarda, tramvay yolcusu olan yayalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, yaya geçidi ihlali yapanların yaya

geçidinde ortalama bekleme süresi, tramvay yolcusu olan yayalarda 14,8 s, diğer yayalarda 15,6 s olarak hesaplanmıştır. Buna göre, yaya geçidi ihlali yapanların bu kararlarını kısa sürede verdiği görülmektedir.

Tramvay yolcusu olan bireylere ait yaya geçidi ihlallerinin daha ayrıntılı incelenmesi için, belirlenen unsurlara göre yaya geçidi ihlal oranlarının değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre, yaş aralığı (30 ve altı %55, 30 üstü %59) değişkeninde yaya geçidi ihlal oranının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca, erkek olan (%61), yol kenarından tramvaya hareket eden (%66), yaya geçidinde kısa süreli bekleyen (%67), telefon kullanan (%88), kaldırım dışında bekleyen (%65), yaya geçidi dışı hareket eden (%71), ulaşım kartı yüklemesi yapan (%73) ve geçişte tramvay ile karşılaşan (%75) bireylerde yaya geçidi ihlal oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu unsurların içerisinde; telefon kullanımının, yol kenarından tramvaya hareket etmenin ve yaya geçidinde kısa süreli beklemenin yaya geçidi ihlalindeki oransal değişim üzerine etkisi daha yüksektir. Diğer taraftan, yaşın ve kaldırım dışı beklemenin yaya geçidi ihlalindeki oransal değişim üzerine etkisinin daha düşük olduğu görülmektedir.



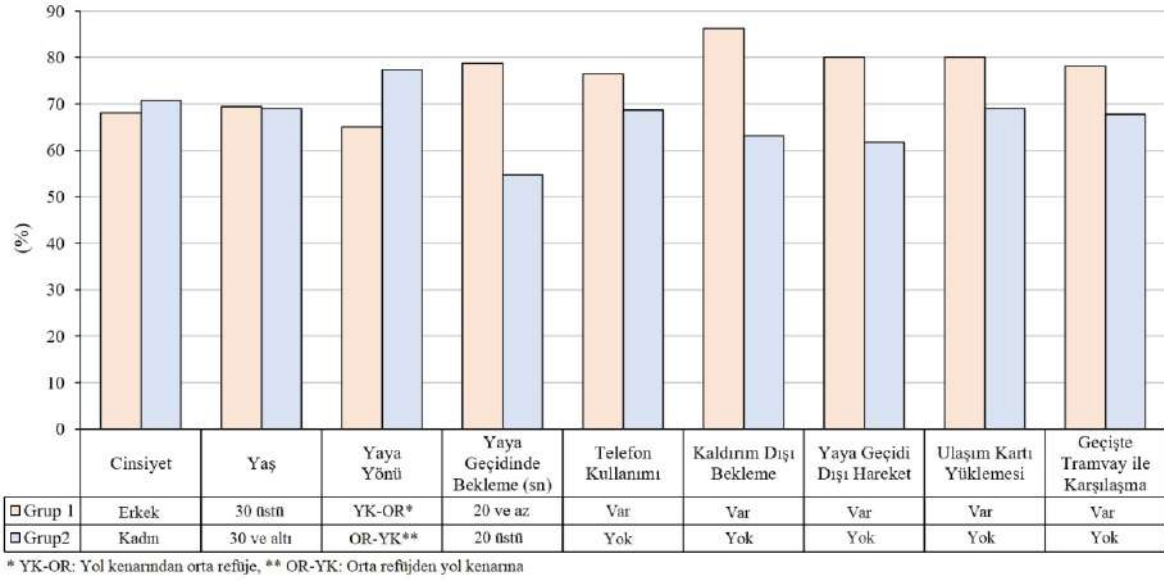
* YK-OR: Yol kenarından orta refüje, ** OR-YK: Orta refüjden yol kenarına

Şekil 4. Tramvay Yolcularının Yaya Geçidi İhlal Oranları

Tramvay yolcusu olmayan bireylerin yaya geçidi ihlallerinin daha ayrıntılı incelenmesi için de belirlenen unsurlara göre yaya geçidi ihlal oranlarının değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Yaya geçidi ihlal oranının cinsiyet (erkeklerde %68, kadınlarda %71) ve yaş aralıkları (her iki yaş aralığında %69) için birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, orta refüjden yol kenarına hareket eden (%77), yaya geçidinde kısa süreli bekleyen (%79), telefon kullanan (%76), kaldırım dışında bekleyen

(%86), yaya geçidi dışı hareket eden (%80), ulaşım kartı yüklemesi yapan (%80) ve geçişte tramvay ile karşılaşan (%78) bireylerde yaya geçidi ihlal oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sayılan unsurlar arasında, kaldırım dışı ve yaya geçidinde kısa süreli beklemenin yaya geçidi ihlalindeki oransal değişim üzerine etkisi daha fazladır. Öte yandan, cinsiyetin, yaşın ve ulaşım kartı yüklemesinin yaya geçidi ihlalindeki oransal değişim üzerine etkisinin göreceli olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir.

RAYLI SİSTEMLER KONGRE VE SERGİSİ



Şekil 5. Tramvay Yolcusu Olmayanların Yaya Geçidi İhlal Oranları

4.2 İkili Lojit Model

Çalışmada, bağımlı değişken, yaya geçidi ihlal durumu için ‘İhlal var’ ve ‘İhlal yok’ olmak üzere iki grupta temsil edilmiştir. Bağımsız değişkenler ise toplam sekiz adet olup; erkek olma, yol kenarından orta refüje geçiş, yaya geçidinde bekleme süresi, telefon kullanımı, kaldırım dışı bekleme, yaya geçidi dışı hareket, ulaşım kartı yükleme ve geçişte tramvay ile karşılaşma şeklindedir. Tanımlayıcı istatistiklerin incelendiği kısımda yaya yaşlarının yaya geçidi ihlal oranlarını önemli düzeyde değiştirmedikleri görülmüştür. Bu yüzden, yaş, analizlerde bağımsız değişken olarak kullanılmamıştır. Literatürde, yaş ile ilgili bu görüşü destekler çalışmaların [22] yanında karşıt çalışmalar da bulunmaktadır [20, 21]. Yaya geçidinde bekleme süresi

değişkeninin ise hesaplanan ortalama bekleme süresi (20,8 s) dikkate alınarak gruplandırılması (20 s ve az, 20 s üstü) ve bu şekilde modele dahil edilmesi uygun görülmüştür. Bu doğrultuda, analizlerde belirtilen değişkenler kullanılmış, tramvay yolcusu olan ve tramvay yolcusu olmayan yayalar için ayrı ayrı olmak üzere, ikili lojit model yardımıyla yaya ihlali üzerine davranış modeli üretilmiştir. Fayda fonksiyonu için referans olarak ‘İhlal yok’ seçeneği belirlenmiş ve model için bir fayda fonksiyonu geliştirilmiştir. Her iki yaya grubu için tahmin edilen katsayılar, t-istatistikleri, modellerin log olabilirlik LL(β) ve sanal belirlilik katsayısı (Pseudo R² ya da ρ^2) değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. İkili Lojit Model Sonuçları

Değişkenler	Tramvay Yolcusu Olan Yayalar		Tramvay Yolcusu Olmayan Yayalar	
	Katsayı	t-istatistiği	Katsayı	t-istatistiği
Yaya Geçidi İhlali Var				
Erkek	0,56	1,74*	-0,28	-0,84
Yol kenarından orta refüje geçiş	1,29	3,83**	-0,86	-2,26**
Yaya geçidinde bekleme (20 s ve az)	0,95	3,08**	1,32	3,78**
Telefon kullanımı	1,56	1,94*	0,22	0,34
Kaldırım dışı bekleme	0,29	0,87	1,75	3,71**
Yaya geçidi dışı hareket	1,13	3,15**	0,16	0,42
Ulaşım kartı yükleme	0,92	1,97**	0,32	0,27
Geçişte tramvay ile karşılaşma	1,10	1,70*	0,90	1,81*
Sabit Terim	-2,18	-5,03**	0,24	0,59
Gözlem Sayısı	241		218	
LL(β)	-164,50		-134,50	
LL(M)	-136,32		-114,54	
-2LL	56,36		39,92	
ρ^2	0,17		0,15	

* %90 güven aralığında anlamlı (1,645)

** %95 güven aralığında anlamlı (1,960)

Yaya geçidi ihlali üzerine geliştirilen ikili lojit modellerde tüm değişkenler için anlamlı bulunan sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır.

- Geliştirilen ikili lojit modellerin sonuçlarına göre, -2LL test istatistiğinin %95 güven aralığında sabit katsayı hariç 8 serbestlik derecesinde 15,51 olan kritik χ^2 değerinin ve sabit katsayı dahil edilerek 9 serbestlik derecesinde 16,92 olan kritik χ^2 değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu değer, tramvay yolcusu olan yayalarda 56,36 iken, tramvay yolcusu olmayan yayalarda 39,92'dir. Yaya geçidi ihlal davranışı için geliştirilen modeller temel modele göre gelişmiş bir yapıdadır.
- *Erkek olma:* Tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile erkek olma değişkeni arasındaki ilişkinin %90 güven aralığında anlamlı ve katsayısının pozitif işaretli olduğu görülmüştür. Bu durum, erkeklerin tramvaya gidişte ve tramvaydan dönüşte yaya geçidi ihlaline daha eğilimli olduklarını göstermektedir. Buna karşın, tramvay yolcusu olmayan diğer yayalar için yaya geçidi ihlali yapılmasında cinsiyetin anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Tramvay yolcuları için çıkan sonuca paralel şekilde yapılan çalışmalarda, yaya geçitlerinde erkeklerin kadınlara kıyasla trafik kurallarını ihlal etme düzeyinin daha yüksek olduğu görülmüştür [18, 19, 23].
- *Yol kenarından orta refüje geçiş:* Tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile yol kenarından orta refüje geçiş değişkeni arasındaki ilişkinin %95 güven aralığında anlamlı ve katsayısının pozitif işaretli olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, tramvay istasyonuna geçiş yapan yayaların taşıtı kaçırmama ya da taşıta yetişme amacıyla yaya geçidi ihlaline daha yatkın hale geldiklerini ortaya koymaktadır. Singapur'da gerçekleştirilen bir çalışmada, bu davranış kalıbını destekler nitelikte sonuçlar elde edilmiş ve ışıklı yaya geçitlerinde toplu taşıma duraklarının olduğu yöne doğru hareket eden yayaların daha fazla ışık ihlali yaptığı görülmüştür [25]. Diğer taraftan, tramvay yolcusu olmayan yayalar için yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile yol kenarından orta refüje geçiş değişkeni arasındaki ilişki %95 güven aralığında anlamlı ve katsayısı negatiftir. Bu da diğer yayalarda, orta refüjden yol kenarına geçiş yapanların yaya geçidi ihlaline daha açık olduğunu göstermektedir. Her iki yaya grubunun da son hedef noktalarına geçiş yapmak için yaya geçidi ihlali yaptıkları görülmektedir.
- *Yaya geçidinde bekleme (20 s ve az):* Tramvay yolcusu olan ya da olmayan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile yaya geçidinde bekleme değişkeni arasındaki ilişki %95 güven aralığında anlamlı ve katsayısı pozitif işaretlidir. Buna göre, yaya geçidinde kısa süreli bekleme yapanlar yaya geçidi ihlaline daha eğilimlidir. Tramvay yolcusu olmayan yayalar için değişken katsayısı daha yüksek olduğundan, yaya geçidinde kısa süreli beklemenin yaya geçidi ihlali

üzerine etkisi de daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bu ilişki, literatürün aksine [15], yaya geçidi ihlaline eğilimi olan yayaların uzun bekleme sonunda değil, yaya geçidine geldikleri andan itibaren kısa sürede ihlal kararını verdiklerini göstermektedir.

- *Telefon kullanımı:* Tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile telefon kullanımı değişkeni arasındaki ilişkinin %90 güven aralığında anlamlı ve katsayısının pozitif işaretli olduğu saptanmıştır. Bu değişken, katsayı büyüklüğü açısından da ilk sıradadır ve yaya geçidi ihlalinde etkisi diğer unsurlar içinde, göreceli olarak daha yüksektir. Bu sonucu destekler şekilde, Hindistan'da yapılan bir çalışmada da cep telefonu kullanımının ışıklı yaya geçidinde ihlal yapma durumunu artırdığı görülmüştür [24]. Öte yandan, tramvay yolcusu olmayan diğer yayalar için yaya geçidi ihlali yapılmasında telefon kullanımının anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, yaya geçişinde birçok olumsuz etken bir araya geldiğinde (telefon kullanımı, ışıklı yaya geçidi geçişi, tramvay yetişme isteği) yaya geçidi ihlali yapılmasının önü açıldığı görülmektedir.
- *Kaldırım dışı bekleme:* Tramvay yolcusu olmayan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile kaldırım dışı bekleme değişkeni arasındaki ilişki %95 güven aralığında anlamlı ve katsayısı pozitif işaretlidir. Buna göre, tramvay yolcusu olmayan yayaların kaldırım dışı beklemesinin yaya geçidi ihlalini artırdığı görülmektedir. Buna karşın, tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidi ihlali yapılmasında kaldırım dışı beklemenin anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Özellikle tramvay yolcusu olan yayalar, görüş alanlarında yer alan tramvay istasyonundaki taşıt varlığını kontrol edebilmekte ve geçiş kararlarını buna göre verebilmektedir. Bu yüzden, uygun bir alanda bekleme yapmasalar bile, bu durum bireylerin yaya geçidi ihlali yapma kararında etkili olmamaktadır.
- *Yaya geçidi dışı hareket:* Tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile yaya geçidi dışı hareket değişkeni arasındaki ilişkinin %95 güven aralığında anlamlı ve katsayısının pozitif görülmüştür. Buna göre, tramvay yolcusu olan yayaların yaya geçidi dışı hareketi yaya geçidi ışık ihlalini artırmaktadır. Bu durum, tramvay yolcusu olan yayaların hem yaya geçidi alan ihlali hem de kırmızı ışık ihlalini beraber yapmaya ve ayrıca, tramvaya yetişmek veya erişmek için herhangi bir yerden karşıya geçme çabası içinde olmaya eğilimli olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde literatürde yapılan bir çalışmada, yaya geçidinde ışık ihlali yapan bireylerin %61'nin yaya geçidi alan ihlali de yaptığı bulunmuştur [25]. Özellikle, tramvay istasyonuna erişimde taşıta yetişme amacıyla yaya geçidi alan ve kırmızı ışık ihlali yapan yayaların trafik ve yol güvenliği olumsuz etkilediği görülmektedir. Öte yandan, tramvay yolcusu olmayan yayalarda, yaya geçidi ihlali yapılmasında yaya geçidi dışı hareketin anlamlı bir

etkisinin olmadığı saptanmıştır. Tramvay yolcusu olmayan yayaların ise hedeflerinde karşıdan karşıya geçiş olduğu düşünüldüğünde, yaya geçidi alan ihlali yaparken kırmızı ışık ihlali yapmadıkları durumlara daha sık rastlanılması doğaldır.

- *Ulaşım kartı yüklemesi:* Tramvay yolcusu olan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile ulaşım kartı yüklemesi değişkeni arasındaki ilişki %90 güven aralığında anlamlı ve katsayısı pozitif işaretlidir. Bu durum, ulaşım kartı yüklemesi yapanların yaya geçidi ihlaline daha eğilimli olduklarını göstermektedir. Kart dolum cihazının istasyon girişinde yer aldığı düşünüldüğünde, cihaz yer değişikliğinin ya da çevrimiçi kart yükleme yöntemlerinin teşvik edilmesinin yaya geçidi ihlallerinin azaltılmasında önemli etkileri olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan, tramvay yolcusu olmayan yayalar için yaya geçidi ihlali yapılmasında ulaşım kartı yüklemesinin anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.
- *Geçişte tramvay ile karşılaşma:* Tramvay yolcusu olan ya da olmayan yayalarda, yaya geçidinde ihlal yapma durumu ile geçişte tramvay ile karşılaşma değişkeni arasındaki ilişkinin %90 güven aralığında anlamlı ve katsayısının pozitif işaretli olduğu belirlenmiştir. Buna göre, yaya geçidi ihlali yapanların tramvay ile karşılaşma ihtimalinin yüksek olduğu görülmektedir. Tramvay yolcusu olan yayalar için değişken katsayısı daha yüksek olduğundan tramvay ile karşılaşma ihtimali de daha fazladır. Bu durum aslında, tramvay yolcusu olan yayaların geçit ihlal kararının, istasyona giriş ya da çıkış yapan tramvay hareketlerinden etkilendiğini göstermektedir. Sonuçta, yaya geçidi ihlali yapanların hem karayolu taşıtı hem de tramvayla karşılaşması söz konusu olduğundan, bu durum trafik ve yol güvenliği açısından üzerinde düşünülmesi gerekli bir konudur.

5. SONUÇLAR

Genel olarak, belirlenen yollardaki yaya geçidi ihlal oranı %63'tür. Hindistan'da yapılan bir çalışmada, benzer şekilde kırmızı ışıkta yaya geçidine gelen bireylerde, yaya geçidi ihlal oranı %64,6 olarak belirlenmiştir [12]. Bu durum, yaklaşık olarak kırmızı ışıkta gelen her 3 yayadan 2'sinin yaya geçidi ihlali yaptığını göstermektedir. Yaya geçidi ihlal oranı tramvay yolcusu olan yayalarda %57, diğer yayalarda %69'dur. Buna göre, yaya geçidi ihlali diğer yayalarda, tramvay yolcusu olan yayalara göre daha yüksektir. Yaya geçidinde, yayalar için ortalama bekleme süresi 20,8 s'dir. Yaya geçidi ihlali yapan ve tramvay yolcusu olan yayalarda ortalama bekleme süresi 14,8 s, diğer yayalarda 15,6 s olarak belirlenmiştir. Bu durum, yaya geçidi ihlali yapanların ihlal kararını kısa sürede verdiğini göstermektedir.

Çalışmada, yaya geçidi ihlali ile birey, yol, geçiş ve tramvay ile ilgili özellikler arasındaki ilişki yayaların

tramvay yolcusu olma durumu da dikkate alınarak ikili lojit model ile ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Tramvay yolcusu olan bireylerin yaya geçidi ihlalinde etkili değişkenler erkek olma, yol kenarından orta refüje geçiş, yaya geçidinde bekleme, telefon kullanımı, yaya geçidi dışı hareket, ulaşım kartı yüklemesi, geçişte tramvay ile karşılaşma şeklinde belirlenmiştir. Burada, yaya geçidi ihlalini artıran kısa süreli bekleyerek geçiş, yaya geçidi dışı hareket ve telefon kullanımı unsurları bireylerin trafik kurallarına uyma eğiliminin düşük olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, özellikle bireylere erken dönemlerde verilecek eğitimlerle trafik kurallarına uyma disiplininin geliştirilmesi ve trafik kurallarına uymayanların denetimler ile belirlenerek gerekli yaptırımların yapılması zorunluluk haline gelmektedir. Öte yandan, yaya geçidi ihlalini artıran diğer unsurlardan yol kenarından tramvaya geçiş, ulaşım kartı yüklemesi ve geçişte tramvay ile karşılaşma; taşıt, tramvay ve yaya hareketliliğinin yoğun olduğu bölgelerde koordinasyon açısından gerekli tedbirlerin alınmasını gündeme getirmektedir. Öncelikle bu kesimlerde yaya butonu uygulaması ya da devre sürelerinin tramvay geliş zamanları ile koordineli hale getirilmesi ile yaya ile tramvay ve taşıt kesişimini en aza indirmek hedeflenmelidir. Ayrıca, kart dolum cihazının yeri yaya geçidi ihlaline izin vermeyecek şekilde konumlandırılmalı ve çevrimiçi kart yükleme yöntemlerinin teşvik edilmelidir.

Tramvay yolcusu olmayan bireylerin yaya geçidi ihlalinde etkili değişkenler ise orta refüjden yol kenarına geçiş, yaya geçidinde bekleme, kaldırım dışı bekleme ve geçişte tramvay ile karşılaşmadır. Burada, yaya geçidi ihlalini artıran kısa süreli bekleyerek geçiş ve geçişte tramvay ile karşılaşma unsurları tramvay yolcusu olan yayalarla benzerdir. Diğer taraftan, tramvay yolcusu olmayan bireylerde orta refüjden yol kenarına geçişler yaya geçidi ihlalini artırmaktadır. Bu yayaların geçişteki nihai noktasının yol kenarı olduğu düşünüldüğünde, hedefe hızlı varmak için ihlal yaptıkları görülmektedir. Ayrıca, kaldırım dışı beklemelerin yaya geçidi ihlalinde en etkili unsur olduğu görülmüştür. Bu yüzden, tramvay hattı ve taşıt yolu arasındaki ile yol kenarı yaya bekleme alanları yaya sayısına yetecek boyutta ve güvenli olarak tasarlanmalı, kaldırımdan yol seviyesine verilen rampalar uzun tutulmamalıdır.

Yaya geçidi ihlali üzerine etkili olabilecek etkenler arasında yoldaki taşıt varlığı (yol kesimindeki trafik hacmi, yaya geçişinde yaklaşan taşıtın varlığı, hızı, mesafesi), yayanın devre süresinin hangi noktasında geldiği (koruma süresi, kırmızı ışığın başı, ortası, sonu), tramvay istasyonunun niteliği (başlangıç-son, ara durak), kendinden önce yapılan ihlallerden etkilenme durumu gibi birçok değişken bulunmaktadır. İlerleyen çalışmalarda değişkenlerin sayısı ve örneklem büyüklüğünün artırılarak, çalışmada iyileştirmeler yapılması önerilmektedir.

6. REFERANSLAR

- [1] Resmi Gazete, Karayolları Trafik Kanunu, 2918, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2918.pdf>, Son erişim tarihi: 13.09.2023.
- [2] İ. Küçükali, "Understanding Pedestrian Road Crossing Behavior" The Graduate School of Social Sciences Of Özyeğin University, 2020 s.1-71.
- [3] A. R. Faisal "Kent Merkezi Ana Arter ve Kavşak Yaklaşımında Yaya Geçiş Davranışının İncelenmesi" Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019 s.1-60.
- [4] M. Saphioğlu, A. R. Faisal "Sinyal Kontrollü ve Kontrolsüz Kesimlerde Yayaların Karşidan Karşıya Geçiş Davranışlarının Değerlendirilmesi" Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 10(2) 2020 s.309-320.
- [5] J. Hatfield, R. Fernandes, R. F. S. Job, K. Smith "Misunderstanding of Right-Of-Way Rules at Various Pedestrian Crossing Types: Observational Study and Survey" Accident Analysis & Prevention, Cilt 39(4) 2007 s.833-842.
- [6] A. Afshari, E. Ayati, M. Barakchi "Evaluating the Effects of External Factors on Pedestrian Violations at Signalized Intersections (A Case Study of Mashhad, Iran)" IATSS Research, Cilt 45(2) 2021 s.234-240.
- [7] G. Zhang, Y. Tan, R.C. Jou "Factors influencing traffic signal violations by car drivers, cyclists, and pedestrians: A case study from Guangdong, China" Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Cilt 42(1) 2016 s.205-216.
- [8] L. Wang, H. Zhong, W. Huang, W. Ma "Pedestrian Spatial Violation Analyses for Urban Roadways" Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, Cilt 146(11) 2020 s. 1-6.
- [9] D. Mukherjee, S. Mitra 2020 "A Comprehensive Study on Factors Influencing Pedestrian Signal Violation Behaviour: Experience from Kolkata City, India" Safety Science, Cilt 124 2020 s.1-17.
- [10] Ş. Sülüoğlu "Tramvay Kazalarının Nedenleri İle Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri İle Belirlenmesi: Bir Büyükşehir Belediyesi Uygulaması" Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021 s.1-172.
- [11] L. Hell, J. Sprenger, M. Klusch, Y. Kobayashi, C. Müller, "Pedestrian Behavior in Japan and Germany: A Review," IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Nagoya, Japan, 2021, s. 1529-1536.
- [12] R. Raoniar, A. K. Maurya "Pedestrian red-light violation at signalised intersection crosswalks: Influence of social and non-social factors" Safety Science, Cilt 147 2022.
- [13] Maciej Kruszyna, Jeremi Rychlewski, Influence of approaching tram on behaviour of pedestrians in signalised crosswalks in Poland, Accident Analysis & Prevention, Cilt 55 2013, Pages 185-191.
- [14] B. Cambon de Lavalette, C. Tijus, S. Poitrenaud, C. Leproux, J. Bergeron, J.P. Thouez, "Pedestrian crossing decision-making: a situational and behavioral approach". Safety Science, Cilt 47(9) 2009 s.1248-125.
- [15] G. Tiwari, T. Bangdiwala, A. Saraswat, S. Gaurav "Survival Analysis: Pedestrian Risk Exposure at Signalized Intersections" Transportation Research Part F, Cilt 10(2) 2007 s.77-89.
- [16] H. Guo, W. Wang, W. Guo, X. Jiang, H. Bubb "Reliability Analysis of Pedestrian Safety Crossing in Urban Traffic Environment" Safety Science, Cilt 50 2012 s.968-973.
- [17] S. Marisamynathan, P. Vedagiri "Modeling Pedestrian Crossing Behavior and Safety at Signalized Intersections" Transportation Research Record, Cilt 2672(31) 2018 s.76-86.
- [18] A. Tom, M.A. Granie "Gender Differences in Pedestrian Rule Compliance and Visual Search at Signalized and Unsignalized Crossroads" Accident Analysis and Prevention, Cilt 43(5) 2011 s.1794-1801.

- [19] T. Rosenbloom, D. Nemrodov, H. Barkan "For Heaven's Sake Follow the Rules: Pedestrians Behavior in an Ultra-Orthodox and A Non-Orthodox City" Transportation Research Part F, Cilt 7(6) 2004 s.395-404.
- [20] C. Holland, R. Hill, "The Effect of Age, Gender and Driver Status on Pedestrians Intentions to Cross the Road in Risky Situations" Accident Analysis and Prevention, Cilt 39(2) 2007 s.224-237.
- [21] M. Brosseau, S. Zangenehpour, N. Saunier, L. Miranda-Moreno, "The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal" Transportation Research Part F, Cilt 21 2013, s. 159-172.
- [22] B. J. Russo, E. James, C. Y. Aguilar, E. J. Smaglik "Pedestrian Behavior at Signalized Intersection Crosswalks: Observational Study of Factors Associated with Distracted Walking, Pedestrian Violations, and Walking Speed" Transportation Research Record, Cilt 2672(35) 2018 s.1-12.
- [23] J. Cooper, R. Schneider, S. Ryan, S. Co "Documenting Targeted Behaviors Associated with Pedestrian Safety" Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, Cilt 2299 2012 s.1-10.
- [24] D. Mukherjee, S. Mitra "The Role of Built Environment on Pedestrian Safety and Pedestrian Activity at Urban Signalized Intersections" Transportation in Developing Economies, Cilt 8(33) 2022 s.1-19.
- [25] P.P. Koh, Y.D. Wong, P. Chandrasekar "Safety evaluation of pedestrian behaviour and violations at signalised pedestrian crossings" Safety Science, Cilt 70 2014 s.143-152.
- [26] E. Kasımoğlu "Tramvay İstasyonlarında Tasarım ve Güvenlik Esaslarının Araştırılması İstanbul T1 Tramvay Hattı İncelemesi" İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015 s.1-137.
- [27] D. McFadden "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. Frontiers in Economics", P. Zarembka, ed., Academic, New York, 1974 s. 105-142.
- [28] J.D. Ortuzar, L.G. Willumsen "Modelling Transport", John Wiley & Sons, Chichester, UK. 2001.

7. ÖZGEÇMİŞ

Dr. Hüseyin Onur Tezcan, doktoraasını 2009 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda tamamlamıştır. İTÜ'de 2004 yılında araştırma görevlisi, 2010 yılında doktor öğretim üyesi olarak çalışmıştır. 2017 yılından günümüze İTÜ'de doçent olarak çalışmaktadır. Çalışma alanını ulaşım planlaması konuları oluştururken Dr. Tezcan özellikle ulaştırmada tercih modelleri üzerine çalışmaktadır. İnşaat Mühendisleri Odası Sicil No: 49359

Gürcan Sarısoy, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda doktora öğrencisidir. 2014-2018 yılları arasında İTÜ'de araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2018 yılından günümüze Yalova Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. İnşaat Mühendisleri Odası Sicil No: 91716

Ayşe Polat, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Ulaştırma Mühendisliği Programı'nda doktora öğrencisidir. 2014-2018 yılları arasında İTÜ'de araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2018 yılından günümüze Yalova Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TREN ARIZALARININ DEMİRYOLU İŞLETME PERFORMANSLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Pelin Boyacıoğlu¹, Kadir Berkhan Akalın²

¹Imperial College London, Londra, İNGİLTERE

Tel: +44(0)2075895111 E-Posta: p.boyacioglu@imperial.ac.uk

²Penn State University, State College, Pensilvanya, ABD

Tel: +18143215901 E-Posta: kba5465@psu.edu

Özet- Demiryolunda trenlerin performansı, işletmeyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bunlar çeşitli kazalar ve olaylar nedeniyle işletmede gecikmelere ve hizmet kalitesinin düşmesine yol açabilirler. Bu tür problemleri azaltmak, sistemin güvenliğini ve güvenilirliği artırmak ve daha iyi bir hizmet sunmak amacıyla, demiryolları işletmecileri bu tür sorunları ve işletmenin performansını gösterilmesine yardımcı olabilecek daha çok çeşitli parametreleri ana performans göstergeleri altında kaydetmektedir. Özellikle Amerika ve Avrupa'daki birçok sisteme ait bu veriler uluslararası kuruluşlar ve açık veri portalları aracılığıyla kamuoyuna sunulur. Bu sayede, karşılaştırmalar yapmak ve çeşitli istatistiksel ve ekonometrik modeller kullanarak iyi performans seviyelerini belirlemek ve gelecekteki performansları tahmin etmek için bu verileri kullanmak mümkündür. Bu çalışmada, New York'un güneydoğusundaki Long Island (LIRR: Long Island Rail Road) ve kuzey bölgesindeki Metro North (MNR: Metro North Railroad) demiryolu işletmeleri özelinde analizler gerçekleştirilmiştir. Her iki işletme de günlük olarak yaklaşık 250.000 yolcuya hizmet vermektedir. Açık veri portallarında yayınlanan performans göstergeleri verileri kullanılarak bu demiryolu işletmelerinde toplanan trenlerle ilgili ana performans göstergelerinin işletmenin genel performansına olan etkileri incelenmiştir. Farklı tren sayılarına göre tren arıza sayıları, trenlerden kaynaklanan gecikmeler ve iptal edilen hizmetin yüzdesi göstergelerine göre tam zamanlılık (dakiklik) açısından işletmelerin hizmet performansı İkili Lojit Model yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Tren arızaları, demiryolu işletme performansı, tren gecikmeleri, tedariklik, lojit model.

1. GİRİŞ

Demiryolu altyapısında, trenlerde, sinyalizasyon ve katener gibi diğer alt sistemlerde oluşan arızalar, işletmede arzu edilen güvenlik seviyelerinin azalmasına ve böylece kazalara ve gecikmelere sebep verebilmektedir. Bu nedenle; meydana gelen arızalar, kazalar ve olaylar çeşitli yöntemler ve araçlar kullanılarak ölçülüp ana performans göstergeleri altında kaydedilerek belirli zaman aralıklarında demiryolu performansının değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Ana performans göstergeleri, güvenlik başta olmak üzere konfor, ekonomi, tedariklik (sağlanan ya da tedarik edilen servis veya hizmet), güvenilirlik (tam zamanlılık veya dakiklik) ve çevresel unsurlar gibi farklı kategorilerde çeşitli ölçümler ve analizler yardımıyla hesaplanmaktadır. Örneğin, yolculuk alanında işletme yoğunluğunu ve kapasite kullanımını ölçmek amacıyla yıllık toplam yolcu sayısı ile işletmedeki bütün demiryolu araçlarının kat ettiği toplam mesafe gibi göstergelere bakılmaktadır. Güvenlik alanında ise, trenlerde meydana gelen toplam arıza sayıları ile işletmedeki toplam olay ve kaza sayıları ile ilgili gecikmeler nedeniyle kaybedilen süreler bu alanda kullanılan bazı göstergelerdendir.

Güvenlik performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de kıyaslama (benchmarking) uygulamasıdır. Burada, farklı demiryolları tarafından paylaşılan ana performans göstergeleri birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi performans seviyeleri ve buna etki eden belli başlı faktörler bulunmaya çalışılmaktadır [1]. Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC: International Union of Railways) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı (USDOT: United States Department of Transportation) Federal Demiryolu İdaresi (FRA: Federal Railway Administration) gibi kurumlarca çeşitli ülkelerden ve demiryolu işletmecilerinden

toplanan ana performans göstergeleri verilmektedir [2] ve kıyaslama yöntemi kullanılarak hazırlanan yıllık raporlarla yayımlanmaktadır [3]. Ayrıca, çeşitli demiryolları ve ilgili kamu kurumları ana performans göstergelerini açık veri portallarında paylaşmaktadırlar. Bu tür çalışmalar, demiryolu güvenliği ve performanslarının iyileşmesinde önemli rol oynamaktadır [4].

Akademide ise demiryolu güvenlik ana performans göstergeleri istatistiksel ve ekonometrik analiz yöntemleri kullanılarak detaylı olarak çalışılmaktadır. Örneğin, farklı metro işletmecilerinden toplanan bulunabilirlik ve araç kaza sayıları bakım maliyetlerine olan etkileri araştırıldığında bu göstergelerdeki %10'luk artışların ilgili değişkenler için sırasıyla %5 ve %1 oranlarında maliyeti artıracak hesaplanmıştır [5]. Farklı araştırmalarda ise yaşanan arızaların ve bakım çalışmalarının hat bulunabilirliğine ve demiryolu verimliliğine etkileri Monte Carlo Yöntemi ve özel olarak oluşturulan Bağlantı ve Etki Modeli (LinkEM: Link and Effect Model) kullanılarak incelenmiştir [6, 7].

Amerika Birleşik Devletleri'nin New York eyaletinde faaliyet gösteren iki demiryolu banliyö işletmesi Long Island Rail Road (LIRR) yaklaşık 1200 ve Metro North Railroad (MNR) ise yaklaşık 1100 araç kapasitesi ile günlük 250.000 yolcuya hizmet vermektedir. Hizmet kalitelerini artırmak ve ayrıca, toplumsal şeffaflığı ve hesap verilebilirliği teşvik etmek amacıyla ana performans göstergelerini açık veri portallarında paylaşmaktadır [8].

Bu çalışmada öncelikle yukarıda bahsi geçen iki banliyö işletmesi tanıtılıp, belirli ana performans göstergeleri olan tren arızaları, gecikmeler ve iptal edilen (tedarik edilemeyen) hizmet yüzdesinin tam zamanlılığa etkileri İkili Lojit Model yöntemi ile araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

LIRR ve MNR demiryolları işletmeleri sırasıyla New York'un güneydoğu ve kuzey bölgelerinde faaliyet göstermektedir. LIRR; Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en eski banliyö demiryolu işletmecilerinden olup, New York'un Manhattan bölgesinin yaklaşık 190 km doğusuna uzanan Long Island adasında faaliyet göstermektedir. Toplamda 11 demiryolu hattı ve 125 istasyondan oluşan LIRR'nin bütün hatlarının birleşme noktası Jamaica İstasyonu'dur. MNR ise en büyük demiryolu işletmecilerinden bir tanesi olup, toplamda 5 hat ve 124 istasyonda hizmet vermektedir. Bu istasyonlardan üçü, Hudson Nehri'nin doğusunda yer alırken, ikisi nehrin batısında yer almaktadır.

Şekil 1'de LIRR (a) ve MNR (b) demiryolları ağları haritaları verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Demiryolu işletmelerinin ağ haritaları: a) LIRR hatları için, b) MNR hatları için

İşletmelerdeki mevcut durumu açıklamak amacıyla temel bazı ana performans göstergeleri olan yıllık toplam yolcu sayıları, güzergah ve hat uzunlukları Tablo 1'de karşılaştırılmıştır. 2022 yılı yolcu sayıları incelendiğinde her iki işletmede de Covid-19 salgını öncesi duruma göre yaklaşık %65 oranında azalma olduğu görülmektedir. LIRR'nin daha fazla yolcunun taşınmasının sebebi toplam güzergah uzunluğunun fazla olmasıdır. Hat uzunlukları açısından incelendiğinde ise MNR'nin güzergah uzunluğu LIRR'ye göre daha kısa olmasına karşın, mevcut çoklu hat yerleşiminin daha fazla olması sebebiyle toplam hat uzunluğu 128 km daha fazladır. Hem hat uzunluğu hem de maksimum servis sıklığının daha fazla olması sebebiyle MNR'de kat edilen araç mesafesi LIRR'ye göre 4,3 milyon km daha fazladır. Her iki demiryolunun benzer istasyon sayısına sahip olması ve günde 24 saat hizmet vermesine rağmen, LIRR'nin MNR'ye kıyasla 1.308 daha fazla çalışmanı bulunmaktadır.

Tablo 1. LIRR ve MNR demiryollarının temel ana performans göstergeleri

	LIRR	MNR
Yıllık Yolculuk Sayısı	2022 Yılı: 35,0 Milyon Covid-19 salgını öncesi: 91,1 Milyon	2022 Yılı: 26,5 Milyon Covid-19 salgını öncesi: 85,0 Milyon
Filo Büyüklüğü	1.273 araç (%85'i elektrikli)	1.125 araç (%77'si elektrikli)
İstasyon Sayısı	125	124
Güzergah Uzunluğu	516 km	439 km
İşletmedeki Hat Uzunluğu	1.138 km	1.266 km
Tam Zamanlı Çalışan Sayısı	7.481	6.173
Maksimum Servis Sıklığı	41 tren/saat (Zirve saatte ana istasyona 4 hat kullanarak)	51 tren/saat (Zirve saatte ana istasyona 4 hat kullanarak)
Günlük İşletme Süresi	24 saat	24 saat
Yıllık Toplam Araç Mesafesi	100,85 Milyon km	105,15 Milyon km

Filoları karşılaştırıldığında, LIRR'nin hem 68 adet daha fazla araca sahip olduğu hem de elektrikli tren yüzdesinin (%85) daha yüksek olduğu görülmektedir. LIRR'nin dizel tren filusunda 134 adet iki katlı Kawasaki C3 (1997-1999 model) araçları ile 45 adet EMD DE30AC (1997-1999 model) ve EMD DM30AC (1997-1999 model) dizel lokomotifleri bulunmaktadır. Lokomotiflerin yarısı çift modlu (hem elektrikli hem dizel) olup, dizel lokomotiflerin yasak olduğu Penn İstasyonu'na giden tünellerden geçmek için üçüncü raydan güç çekmektedirler. Elektrikli tren filosu ise temel olarak 142 adet Budd M3 (1984-1986 model) araçları ile 836 adet Bombardier M7 (1999-2006 model) araçlarından oluşmaktadır. LIRR tren vagonlarının en yeni nesli olan Kawasaki M9 araçları ise 2019 yılında hizmete girmeye başlamış olup, Aralık 2021 yılı itibariyle toplamda 116 adet olmak üzere hizmet vermektedir. Bu süreç tamamlandığında M9 araçların M3 araçlarının yerini alması ve aynı zamanda gelecekte sağlanan hizmetin genişlemesine katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

MNR filusunun yaklaşık %77'sini elektrikli araçlar oluşturmaktadır. Dizel filusunda toplam 207 vagon ile 43 adet GE P32AC-DM (1995-2001 model) ve Brookville BL20GH (2008 model) lokomotif işletilmektedir. Bu lokomotiflerin yaklaşık %75'i çift modlu olup üçüncü raydan güç alabilmekte ve doğrudan Grand Central Terminal İstasyonu'nda çalışmasına olanak tanınmaktadır. Elektrikli tren filusunda ise Bombardier M7 (2004-2006 model) ve Kawasaki M8 (2009-2015 model) araçları

ağırlıklı olarak bulunurken, ayrıca 138 adet Budd M3 (1983-1985 model) araçları da hizmet vermektedir. Şekil 2'de LIRR ve MNR'de hizmet veren bazı dizel ve elektrikli tren setleri gösterilmiştir.



Şekil 2. LIRR ve MNR demiryollarındaki bazı dizel ve elektrikli tren setleri

New York Büyükşehir Ulaştırma Müdürlüğü, LIRR ve MNR demiryolları ana performans göstergelerini açık veri portallarında aylık olarak yayımlamaktadır [8]. Bu göstergelerden bazıları yolculuk sayısı, hizmet tedariklik oranları, gecikmeler, kaza ve olay sayıları, tam zamanlılık ve kaybedilen zaman şeklinde sıralanabilir. Tren arızaları trenlerde kaydedilen öncül arıza sayılarıyla, tren gecikmeleri trenlerde oluşan problemlerden kaynaklı olarak trenlerin varış noktalarına 6 dakikadan daha fazla geç vardıkları durumları göstermektedir. İptal edilme yüzdesi ise işletmede gerçekleştirilemeyen servis sayılarının planlanan toplam servis sayılarına oranı şeklinde açıklanabilir. Tam zamanlılık veya başka deyişle dakiklik ise trenlerin varış noktalarına 6 dakikadan daha kısa süre gecikmeyle varması durumlarını ifade etmektedir.

Trenlerde meydana gelen arızalar, her iki demiryollarında ortak olarak Temmuz 2021 tarihinden itibaren mevcut olup, performans karşılaştırması yapabilmek amacıyla farklı araç tipleri altında oluşan arızalar, araç sayılarına bölünerek normalleştirilmiştir. Şekil 3'te LIRR ve MNR için dizel lokomotif, vagon ve elektrikli vagon arıza sayılarının toplam araç sayılarına oranlarının aylara dağılımları verilmiştir. Her iki demiryollarında da en fazla sayıdaki arızalar dizel lokomotiflerde gerçekleşmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar her iki demiryolu sisteminde de birbirlerine yakındır. Covid-19 salgını sırasında alınan tedbirler nedeniyle çalışanların işe gelmelerindeki aksaklıklar ve ekiplerde limitli sayıda çalışan bulundurma zorunluluğu trenlerde yeterli bakımların yapılmamasına sebep olmuş ve böylelikle MNR'de Haziran ve Temmuz 2022'de

arızalar zirve yapmış ancak ilerleyen zamanlarda azalma göstermiştir. Dizel vagon arızaları ise MNR’de daha düşük olup, elektrikli trenler en az sayıda arızanın gerçekleştiği araçlar olarak dikkat çekmektedir. Her iki demiryolu sisteminde de elektrikli araçlar için benzer arıza oranlarının olduğu görülmektedir.

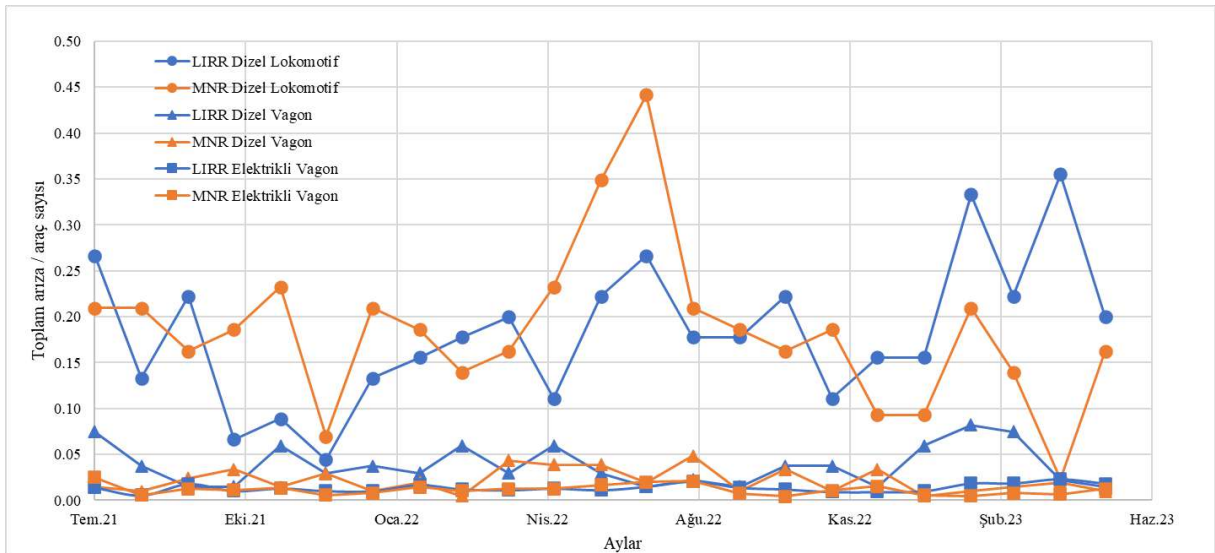
Şekil 4’te LIRR ve MNR için temel performans göstergelerinin aylara dağılımı grafikleri verilmiştir. Burada, tren arıza sayıları ve trene bağlı gecikmeler ilgili işletmenin filosunda bulunan toplam araç sayılarına oranlanarak normalize edilmiştir. Bu sayede, her iki servis sağlayıcının performansı birbiriyle anlamlı bir şekilde kıyaslanabilecektir. İptal edilen servis oranları ve tam zamanlılık her iki işletme için de toplam sağlanan servise oranlandığı için ayrıca araç sayılarına göre oranlanmamıştır.

Her iki demiryolundaki ana performans göstergeleri zamana bağlı olarak değişse de ortalama değerler birbirlerine oldukça yakındır. Örneğin, MNR için 0,20 olan tren arıza sayısının filosundaki toplam araç sayısına oranı, LIRR için 0,05 daha fazla olup buna bağlı olarak trene bağlı gecikmeler LIRR için yine daha fazladır. Fakat LIRR’de MNR’ye göre iptal edilen servis oranı değerleri daha iyi olup, her iki demiryolundaki tam zamanlılık performansı (%95,4-%95,6 arasında) birbirine oldukça yakındır. Bu durum, her iki demiryolunda Tablo 1’de verilen temel bazı ana göstergelerin benzer değerlere sahip olmasıyla açıklanabilir. Örneğin, tren filosunun büyüklüğü ve toplam güzergah uzunluğu arasında da çok büyük farklar bulunmamaktadır.

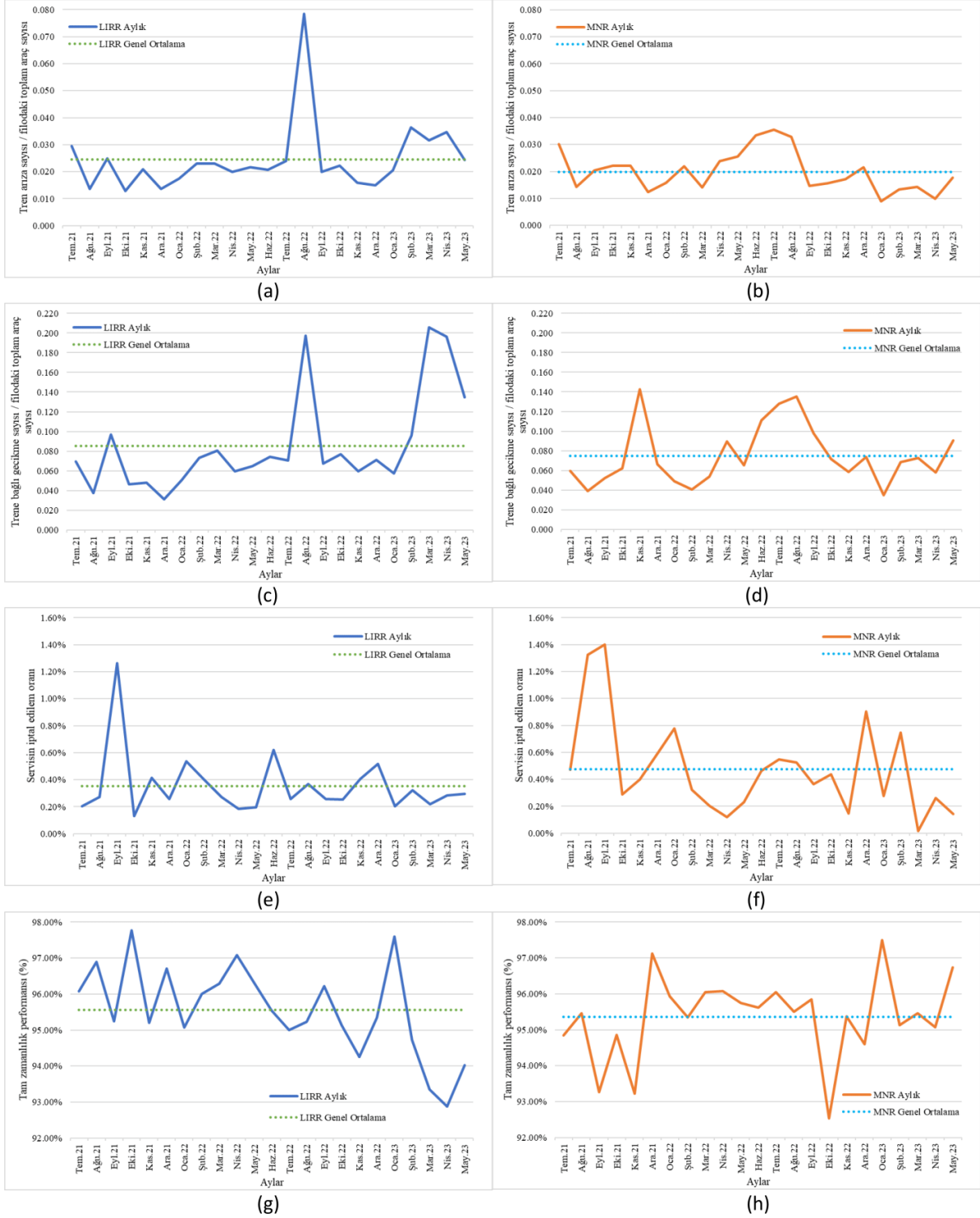
Temmuz 2022 ve Şubat 2023’te LIRR’de meydana gelen yüksek arıza oranları aynı zaman dilimlerindeki gecikmeleri de artırmıştır. Burada, Şubat 2023’te yaşanan arıza oranının büyüklüğü Temmuz 2022’teki değerlere oranla daha az olsa da benzer oranda gecikmelere sebep olmuş ve tam zamanlılık değerini fazlasıyla düşürmüştür. Temmuz 2022’de yaşanan arızalar ve gecikmeler ise tam zamanlılığı aynı oranda etkilememiştir. Bütün bunlar dikkate alındığında, tren arızalarının tedarik edilebilirliğinin azalmasında veya iptal edilme yüzdesinin artmasında başlıca unsur olmadığı görülmektedir. Yaşanan tren arızaları gecikmelere sebep olurken tren iptallerine sebep olmadığı anlaşılmaktadır.

MNR için de Temmuz 2022’de tren arıza oranları ve gecikmelerin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum iptal edilme için belli ölçüde artmalara sebep olurken, aynı oranda tam zamanlılık değerlerinde azaltmaları meydana getirmemektedir.

Tren arızaları beklenildiği üzere ilgili gecikme oranlarına daha fazla etki etmekteyken, iptal edilmelere ve tam zamanlılığa aynı oranda etki etmediği görülmektedir. Tren arızalarının dışında işletmelerinin genel performanslarına çeşitli faktörlerin etki edebileceği unutulmamalıdır. Örneğin, sürücülerin ve diğer çalışanların yokluğu iptal edilme seviyelerine ve istasyonlardaki yolcu inme ve binmelerinde yaşanan çeşitli aksaklıkların da tam zamanlılığa daha fazla etki edebilmektedir.



Şekil 3. LIRR ve MNR demiryollarında meydana gelen tren arızalarının araç sayılarına oranlarının aylara dağılımı



Şekil 4. Aylara göre tren arıza sayısı / filodaki toplam araç sayısı oranı değişimi grafikleri: a) LIRR için, b) MNR için; trene bağlı gecikme sayısı / filodaki toplam araç sayısı oranı değişimi grafikleri: c) LIRR için, d) MNR için; servisin iptal edilme oranı değişimi grafikleri: e) LIRR için, f) MNR için; tama zamanlılık oranı değişimi grafikleri: g) LIRR için, h) MNR için

3. METOT

Çalışma kapsamında etkili parametrelerin tahminlenmesinde, makine öğrenmesi tekniklerinin temellerinden bir tanesi olan İkili Lojit (Binary Logit) Modeli tercih edilmiştir. İkili Lojit Modeli, seçim kümesinde yalnızca iki seçeneğin bulunduğu

özel bir senaryo üzerine odaklanmaktadır. Hata terimlerinin farklarının lojistik bir dağılıma sahip olduğu temel bir varsayım altında, Seçenek 1'in seçilme olasılığı, Eşitlik 1'de gösterildiği gibi hesaplanır. Bu bağlamda, bir seçeneğin seçilme olasılığının artması, ilgili seçeneğin belirleyici

bileşenin artmasına ve diğer seçeneğin belirleyici bileşenin azalmasına dayanmaktadır [10-13].

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} = \frac{1}{1 + e^{V_2 - V_1}} \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}} = \frac{1}{1 + e^{V_1 - V_2}}$$

P_1, P_2 : Seçenek 1 ve 2'nin seçilme olasılığı;
 V_1, V_2 : Seçenek 1 ve 2'nin fayda fonksiyonlarının belirleyici bileşenleri.

İkili Lojit Modeli'nde, seçeneklere ilişkin fayda fonksiyonlarının temel bileşenleri, bağımsız değişkenlerle temsil edilen öznelikler ve tahmin edilmesi gereken katsayılar ile oluşturulur (Eşitlik 2) [10-13].

$$V_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \beta_j \cdot X_j \quad (2)$$

V_i : Seçenek i 'nin fayda fonksiyonunun belirleyici bileşeni; X_j : Bağımsız değişkenler; β_0, β_j : Sırasıyla, tahmin edilecek sabit terim ve bağımsız değişkenlerin katsayıları.

Lojit modelinin parametrelerini tahmin etmek için en yaygın kullanılan yöntem, En Büyük Olabilirlik (Maximum Likelihood) yöntemidir. Gözlemler bağımsız olduğundan, olabilirlik fonksiyonu, her bireyin gerçekte seçtikleri alternatif ile modelin tahmini olasılıkları çarpımı olarak ifade edilir. Katsayıların tahmin edilmesi için, pratik hesaplama kolaylığı ve aynı optimum sonuçları vermesi nedeniyle olabilirlik fonksiyonunun yerine doğal logaritması olan ve Eşitlik 3'te verilen log-olabilirlik (log-likelihood) fonksiyonu en büyüklenir [10-13].

$$LL(\beta) = \ln(L(\beta))$$

$$= \ln \left(\prod_{\forall m \in M} \prod_{\forall j \in J} (P_{jm}(\beta))^{\delta_{jm}} \right) \quad (3)$$

$$= \sum_{\forall m \in M} \sum_{\forall j \in J} \delta_{jm} \times \ln(P_{jm}(\beta))$$

Model performanslarının değerlendirilmesi için katsayıların işaretlerinin incelenmesi, katsayıların anlamlılığı testi, olabilirlik oranı testi ve uyum iyiliği gibi testler uygulanarak modelin uygunluğu ve en uygun modelin seçimi gerçekleştirilebilir. Katsayıların işaretlerinin anlamlı olduğu modeller için, korelasyon katsayısına benzer şekilde, uyum iyiliği testi öncelikli olarak modelin performansı hakkında güçlü ipucu vermektedir. Bu amaçla,

bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenlerle açıklanabilme performansı ρ^2 ile değerlendirilir. Bu değer ayrıca sanal belirlilik katsayısı (Sanal R^2) olarak da anılmaktadır (Denklem 4). Değerler genellikle 0,2 ile 0,4 arasında ise modelin uyum iyiliği yeterli kabul edilirken 0,4'ün üzerindeki değerler için tahmin modelinin uyum iyiliği açısından çok iyi performans gösterdiği söylenebilir [10-13].

$$Sanal_R^2 = \rho^2 = 1 - \frac{LL_{tahmin}}{LL_{referans}} \quad (4)$$

LL_{tahmin} : tahmin edilen model için hesaplanan log-olabilirlik değeri; $LL_{referans}$: bütün katsayıları 0 olarak tahmin edilen (boş) model için hesaplanan log-olabilirlik değeri.

Çalışmada tam zamanlılık oranı %96 ve daha büyük olan veriler "İyi", %96'dan daha küçük olanlar "Yetersiz" olacak şekilde bağımlı değişken iki kategoride değerlendirilmiştir. Bu eşik değer her iki demiryolundaki yaklaşık ortalama değer olması açısından belirleyici olarak seçilmiştir (bkz. Şekil 4 (g) ve (h)). Bağımsız değişkenlerin tamamı sayısal veriler olmak üzere; aylık tren arıza sayısının araç sayısına oranı (x_1), aylık trene bağlı gecikmelerin araç sayısına oranı (x_2), aylık iptal edilen (sağlanamayan) servis oranı (x_3) verilerinden oluşmaktadır. Her iki tren işletmesi için aynı yaklaşım kullanılarak ayrı ayrı modeller geliştirilmiştir ve yorumlanmıştır.

4. ANALİZ SONUÇLARI

Benzer yapıdaki fayda fonksiyonları kullanılarak, LIRR ve MNR için ayrı ayrı gerçekleştirilen İkili Lojit modellerinin parametre tahmin sonuçları ve performans verileri Tablo 2'de verilmiştir. Her iki sistemin dakiklik açısından performanslarının değerlendirilmesi için belirlenen eşit değerlere göre dakiklik performansının İyi (≥ 96) olması durumu için fayda fonksiyonları üretilmiş Yetersiz (< 96) olması durumu referans (0) olarak alınmıştır. Her iki demiryolu sistemi için geliştirilen modellere ait tahmin edilen katsayılar, t-istatistikleri ve modellerin log-olabilirlik değerleri, sanal belirlilik katsayıları ilgili tabloda gösterilmiştir. LIRR modeli için uyum iyiliği performansının çok iyi olduğu görülürken MNR için modelin yeterli açıklayıcılık sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Buradaki model performanslarındaki farklılık tam zamanlılık performansının yalnızca ilgili değişkenler tarafından etkilenmesinin haricinde, modele yerleştirilmeyen veya tahmin edilemeyen farklı parametrelerden etkilenebildiğini de göstermektedir.

Tablo 2. LIRR ve MNR için İkili Lojit modellerinin sonuçları

Değişkenler	LIRR		MNR	
	Katsayı	t-istatistiği	Katsayı	t-istatistiği
İyi Performans Gösterme Durumu				
$U_{\geq \%96}^i = Sabit + \beta_1 * x_1^i + \beta_2 * x_2^i + \beta_3 * x_3^i$				
Sabit terim	9,93	2,053**	0,90	1,787*
Aylık tren arıza sayısının araç sayısına oranı	-35,74	-0,193	-18,67	-1,7550*
Aylık trene bağlı gecikmelerin araç sayısına oranı	-50,63	-1,806*	-6,41	-0,773
Aylık olarak iptal edilen (sağlanamayan) servis oranı	-1834,56	-2,162**	-272,93	-2,285**
$U_{< \%96}^i = 0$ (referans)				
Performans göstergeleri				
$LL_{referans}$	-15,94		-15,94	
LL_{model}	-6,65		-12,02	
$-2LL$	18,58		7,84	
χ_{kritik}^2 (GA = %90)(sd = 4)	7,78		7,78	
ρ^2	0,58		0,25	

*%90 güven aralığında anlamlı (t= 1,645)
 **%95 güven aralığında anlamlı (t= 1,960)

Model performansları açısından değerlendirildiğinde her iki modelde de $-2LL$ değerleri %90 güven aralığında 4 serbestlik derecesinde kritik χ^2 değerinden daha büyük olması nedeniyle geliştirilen modellerin referans modellere göre daha gelişmiş olduğu söylenebilir. Her iki modelde de katsayıların işaretleri açısından uygunluğu incelenmiş ve uygun olduğu görülmüştür. LIRR modeli için sabit terim ve iptal edilme oranı değişkenleri %95 güven aralığında, gecikme oranı ise %90 güven aralığında anlamlı çıkmıştır. MNR modeli için sabit terim ve iptal edilme oranı değişkenleri %95 güven aralığında, arıza oranı ise %90 güven aralığında anlamlı çıkmıştır. LIRR modeli için arıza oranı, MNR modeli için gecikme oranı istatistiksel olarak belirlenen güven aralıklarında anlamlı olmasa dahi işaretlerinin uygun olması ve her iki modelin benzer yapıya sahip olmasının sağlanması amacıyla modellerden çıkarılmamıştır.

Analiz sonuçları tablosu LIRR için değerlendirildiğinde, diğer bütün bağımsız değişkenler sabit kalmak üzere; arıza oranındaki 0,01 (%1) birimlik azalma tam zamanlılık açısından iyi performans gösterme olasılığını %43 oranında artırmaktadır. Benzer şekilde, gecikme oranındaki 0,01 (%1) birimlik azalma tam zamanlılık açısından iyi performans gösterme olasılığını 1,66 kat artırmaktadır. Sağlanan hizmetin 0,001 (%01) birimlik azalması ise performansı %84 oranında azaltacaktır [10, 14-19]. Burada bahsedilen olasılıklardaki artış ya da azalışlar Odds oranlarındaki artışları ifade etmektedir. Odds, bir

durumun olma olasılığının olmaması olasılığına oranı olarak ifade edildiği düşünüldüğünde iki Odds oranı Eşitlik 5'te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır. İlgili değişken için n birimlik farkın Odds oranına olan etkisi ise Eşitlik 6'daki gibi hesaplanabilir.

$$Odds Oranı = \frac{Odds_j}{Odds_i} = \frac{P_j/(1-P_j)}{P_i/(1-P_i)} \quad (5)$$

$$e^{(n*\beta)} \quad (6)$$

Parametrelerin etkilerinin anlaşılması için sistem ortalamalarının yaşandığı örnek bir durum ele alınırsa; arıza oranının 0,03, gecikme oranının 0,070 ve iptal edilme oranının ise 0,002 olduğu durumda sistemin İyi performans göstermesine ait fayda fonksiyonu 1,65 ve olasılığı ise %83,8 (Eşitlik 7) olarak hesaplanacaktır. Diğer bütün değerler aynı kalmak üzere, arıza oranı 0,02 değerine düşürülebilirse, İyi performans durumu için fayda fonksiyonu 2,00 ve olasılık ise %88,1 (Eşitlik 8) olarak hesaplanacaktır. Odds oranı incelendiğinde ise arıza oranındaki 0,01'lik azalmanın İyi performans göstermesi durumuna 1,43 oranında katkı sağlayacağı görülmektedir (Eşitlik 9). Burada dikkat edilmesi gereken başka bir unsur ise tahmin edilen katsayıların boyutlarının değişkenlerin etkileri hakkında doğrudan fikir vermiyor olmasıdır. Değişkenler senaryo analizlerine uygun yapıda olabilmeleri için standartlaştırılmadan modele yerleştirildiği için tahmin katsayılarının büyüklükleri de değişkenlerin yapılarına göre yorumlanmalıdır.

$$P_{\geq\%96}^1 = \frac{e^{1.65}}{e^{1.65} + e^0} = \%83,8 \quad (7)$$

$$P_{\geq\%96}^2 = \frac{e^{2.00}}{e^{2.00} + e^0} = \%88,1 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Odds\ oranu &= \frac{P_{\geq\%96}^2 / (1 - P_{\geq\%96}^2)}{P_{\geq\%96}^1 / (1 - P_{\geq\%96}^1)} \\ &= e^{(-0.01 * (-35.74))} = 1,43 \end{aligned} \quad (9)$$

MNR için değerlendirme yapılırsa, arıza oranındaki 0,01 (%1) birimlik azalma tam zamanlılık performansını %21 oranında iyi hale getirmektedir. Gecikme oranındaki 0,01 (%1) birimlik azalma ise performansı %7 oranında daha iyi hale getirirken, sağlanan hizmetin 0,001 (%01) birimlik azalması ise performansı %24 oranında azaltacağı görülmüştür.

5. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nin New York eyaletindeki LIRR ve MNR banliyö tren işletmeleri tanıtılıp, açık veri portallarından elde edilen performans göstergeleri verilmiştir. Örneğin, LIRR işletmecisinin güzergah uzunluğu ve tren filosu daha büyük olmasına karşın, MNR'deki çoklu hatlardan ötürü hat uzunluğu daha fazla olup daha sık sefer aralığı ile servis sağlaması yıllık toplam araç mesafesini arttırmıştır. Fakat her iki demiryolunda da çok büyük farklılıklar olmayıp, çalışmada kıyaslama yöntemi kullanılarak her iki demiryolunun özellikle tren performansları ve bunların genel işletme performanslarına etkileri karşılaştırıldı. Burada işletmelerin filusunda bulunan toplam araç sayılarına oranlanarak normalize edilerek birim değerler hesaplandı. Her iki demiryolunda da dizel araçlarda elektrikli araçlara oranla daha fazla arızalar kaydedilmiştir. Fakat LIRR'de MNR'ye oranla toplam arıza sayısının filodaki tren araç sayısına oranı daha fazla olup, buna bağlı gecikmeleri de daha büyük oranda etkilediği görülmüş ve tam zamanlılık performansının azalmasına da yol açmıştır.

Daha sonrasında, tren arızaları, gecikmeler ve servis iptallerinin işletmelerin tam zamanlılık performansına etkisi İkili Lojit Model yöntemiyle incelenmiştir. Model sonuçlarından; arıza oranlarındaki 0,01 (%1) birimlik azalmanın, diğer bütün bağımsız değişkenler sabit kalmak üzere, tam zamanlılık performansını LIRR için %43 oranında, MNR için %21 oranında iyileştireceği görülmüştür. Gecikme oranındaki 0,01 (%1) birimlik azalmanın yine dakiklik açısından performansı LIRR için %66 oranında, MNR için %7 oranında iyileştireceği hesaplanmıştır. Sağlanan servisin iptal edilme oranı açısından değerlendirildiğinde ise, 0,001 (%01)

birimlik artışın tam zamanlılık performansını, LIRR için %84 oranında, MNR için %24 oranında azaltacağı görülmektedir.

Her iki işletmede de sunulan servisin iptal edilmesi kendi içerisinde dakiklik üzerinde en büyük etkiyi yarattığı anlaşılmaktadır. Trene bağlı gecikmelerin ise dakiklik performansı üzerinde en büyük etkiyi yaratmayabileceği görülmektedir.

Analiz sonuçlarından da görüleceği üzere, modellerin performanslarının oldukça iyi olmasına karşın benzer değişkenlerdeki değişimler için tam olarak benzer çıktılar vermemektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, tam zamanlılık; tren arızaları, trene bağlı gecikmeler ve servisin iptal edilmesi haricinde, işletmenin hizmet verdiği şehrin yapısına, sürücülerin performansına, istasyonlarda inen-binen yolcuların sayısına ve demografik özelliklerine bağlı olarak da değişiklik gösterebilir.

Çalışma kapsamında, elde edilen kısıtlı aylık verilerle ilgili demiryolu işletmelerinin dakiklik performansını etkileyen parametreler değerlendirilmiş ve benzer yapıdaki şehirlerde benzer filoya sahip işletmelerin performanslarının iyileştirilebilmesi için analiz sonuçlarıyla ışık tutulmuştur. Sonraki çalışmalar açısından, farklı değişkenlerle genişletilmiş ve günlük olarak elde edilen daha fazla sayıdaki veri setiyle, varsa değişkenler arasındaki çoklu iç ilişkilerin üstesinden gelinerek geliştirilmiş modellerle incelenmesi uygun olabilir.

6. REFERANSLAR

- [1] K.Bhutta, F.Huq. "Benchmarking–best Practices: An Integrated Approach" in Benchmarking: An International Journal, vol. 6, no. 3, pp. 254–268, 1999.6(3), 254-268.
- [2] Federal Railroad Administration (FRA), "Accident Data as Reported by Railroads" <https://railroads.dot.gov/accident-and-incident-reporting/overview-reports/accident-data-reported-railroads>, Son erişim tarihi: 09.09.2023.
- [3] International Union of Railways (UIC), "UIC Safety Report 2020" 2020, Paris.
- [4] United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP), "Intergovernmental agreement on the Trans-Asian Railway Network" 2017, Bangkok.
- [5] M.Blumenfeld, C.Y.Lin, A.Jack, U.T.Abdurrahman, T.Gerstein, C.P.Barkan, "Towards Measuring National Railways' Safety Through a Benchmarking Framework of Transparency and Published Data" in Safety Science, vol. 164, pp. 106188, 2023.
- [6] R.Brage-Ardao, D.Graham, R.Anderson, "Determinants of Rolling Stock Maintenance Cost in Metros" in Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, vol. 230, no. 6, pp. 1487–1495, 2016.
- [7] C.Stenstrom, A.Parida, U.Kumar, "Measuring and Monitoring Operational Availability of Rail Infrastructure" in Proceedings of the Institution of

- Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, vol. 230, no. 5, pp. 1457–1468, 2016.
- [8] T.Åhren, "Maintenance Performance Indicators (MPIs) for Railway Infrastructure: Identification and Analysis for Improvement" Doktora Tezi, Luleå Tekniska Universitet, 2008.
- [9] Metropolitan Transport Authority (MTA), "MTA Performance Metrics" <https://metrics.mta.info/>, Son erişim tarihi: 09.09.2023.
- [10] T.Domencich, D.McFadden, "Urban Travel Demand & A Behavioral Analysis" North&Holland," 1975.
- [11] J.Dios Ortuzar, L.Willumsen, "Modelling Transport" John Wiley & Sons, 2011.
- [12] K.B.Akalın, "Yolculuk Üretim ve Çekim Modellerinin Rastgele Pişmanlık Minimizasyonu ve Rastgele Fayda Maksimizasyonu Yöntemleri ile Geliştirilmesi" Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2021.
- [13] K.B.Akalın, "Tramvay Kaza Şiddetine Etki Eden Faktörlerin Çok Terimli Lojit Model Yöntemi ile Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2016.
- [14] UCLA: Statistical Consulting Group, "Logit Regression | R Data Analysis Examples" <https://stats.oarc.ucla.edu/r/dae/logit-regression/>, Son erişim tarihi: 01.10.2023.
- [15] UCLA: Statistical Consulting Group, "Faq: How Do I Interpret Odds Ratios in Logistic Regression?" <https://stats.oarc.ucla.edu/other/mult-pkg/faq/general/faq-how-do-i-interpret-odds-ratios-in-logistic-regression/>, Son erişim tarihi: 01.10.2023.
- [16] P.Dalgaard, "Introductory statistics with R" Springer, 2008.
- [17] M.Ben-Akiva, "Travel Demand Modeling" Ders Notları, Transportation System Analysis: Demand & Economics, Massachusetts Institute of Technology (MIT) Press, s.1-39.
- [18] M.Ben-Akiva, S.Lerman, "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand" MIT Press, 1985.
- [19] A.Kassambara, Machine Learning Essentials: Practical Guide in R. STHDA, 2018.

7. ÖZGEÇMİŞ

Dr. Pelin Boyacıoğlu, 2006 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Geomatik Bölümü'nden birincilikle ve 2008 yılında YTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünden onur derecesi ile mezun olmuştur. 2011 yılında Boğaziçi Üniversitesi'nden onur derecesi ile Ulaştırma ve Trafik Mühendisliği alanında yüksek lisans derecesi, 2018 yılında The University of Huddersfield'den Demiryolu Güvenliği ve Standartları alanında doktora derecesi almıştır. Dr. Boyacıoğlu, demiryolu işletmeciliği ve bakımı konularında sorunlar, nedensel faktörler ve çözüm önerileri sunan projeler yürütmüştür. Ayrıca yeni demiryolu altyapısı ve demiryolu taşıtları için güvenlik sertifikasyon değerlendirmelerine ve birçok bilimsel çalışmaya katkı sağlamıştır. Marmaray Projesi ile başladığı demiryolu sektöründeki 10 yılı aşkın tecrübesiyle kariyerine Imperial College London Ulaştırma Strateji Merkezi'nde Araştırmacı ve Demiryolu Varlık Yönetimi Uzmanı olarak devam etmektedir.

Dr. Kadir Berkhan Akalın, 2013 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden fakülte birincisi derecesiyle mezun olmuştur. 2016 yılında ESOĞÜ'den onur derecesi ile Raylı Sistemler Yol Mühendisliği ve Trafik Güvenliği alanında yüksek lisans, yine onur derecesi ile 2022 yılında Ulaştırma Planlaması ve Kesikli Tercih Modelleri alanında doktora derecesi almıştır. ESOĞÜ'de 2013 yılından 2017 yılına kadar Raylı Sistemler Anabilim Dalı'nda, 2017 yılından 2022 yılına kadar Ulaştırma Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak hizmet vermiştir. 2022 yılından itibaren Araştırma Görevlisi Dr. olarak temel mühendislik ve ulaştırma mühendisliği alanlarında bir lisansüstü düzeyde ve yedi farklı lisans düzeyinde dersler vermiştir. Bugüne kadar birçok bilimsel araştırma, ar-ge ve kamu işbirliği projesinde görev almış ve onlarca ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmaya yazar ve hakem olarak katkı sağlamıştır. Dr. Akalın, kariyerine Eylül 2023 tarihinden itibaren Penn State University'de Doktora Sonrası Araştırmacı olarak devam etmektedir. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Sicil No: 116592*

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

TREN TEKERLEK YATAKLARINDA ONLINE TİTREŞİM ANALİZ SİSTEMLERİ

Özgün Yakar¹, Cem Alaybeyoğlu²

¹Resonance Institute İstanbul TÜRKİYE

Tel: 532 605 12 86 E-Posta ozgun.yakar@resonanceinstitute.co

²WiserSense Bilgi Teknolojileri Ankara TÜRKİYE

Tel: 533 661 19 00 E-Posta cem.alaybeyoglu@wisersense.io

Günümüzde raylı sistemlerin güvenli çalışması, yolcuların ve yüklerin emniyetli bir şekilde taşınması için büyük önem taşımaktadır. Bu amaca ulaşmak için, tren vagonları tekerlek yataklarının, motorların ve aktarma organlarının sağlık durumlarının sürekli olarak izlenmesi, kusurların tespiti ve önlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, raylı sistemlerdeki kritik kusurların tespiti için online ve tam zamanlı titreşim sensörleri ile yapılan analizlere odaklanılmıştır. Tekerlek yataklarında veya tekerlerde, motor ve redüktörlerde hatta raylar boyunca oluşabilecek kırık veya çatlak gibi potansiyel kusurların şiddetini ve lokasyonunu belirlemek, güvenliği artırmak ve bakım süreçlerini optimize etmek açısından büyük önem taşımaktadır.

Sensörlerin sürekli olarak tekerlek yataklarının ve aktarma organlarının titreşim seviyelerini izlemesi sayesinde, olası kusurların erken tespiti mümkün hale gelmektedir. Bu sayede, önleyici bakım faaliyetleri daha etkili bir şekilde planlanabilir ve ani arızaların ve ciddi kazaların riski azaltılabilir. Ayrıca, sensörler aracılığıyla elde edilen veriler, veri analitiği yöntemleriyle işlenerek anlamlı bilgiler elde edilmesine yardımcı olur. Hatta toplanan veriler saklanabildiği için dijital ikiz için veri toplanması da sağlanmış olur.

Bu çalışmanın sonuçları, raylı sistemlerin işletme güvenliğini artırmada ve bakım süreçlerini optimize etmede yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Online titreşim sensörlerinin kullanımı, gelecekte raylı sistemlerin daha güvenli ve verimli çalışmasına katkı sağlayacak potansiyele sahiptir.

1. EKİPMAN SAĞLIĞI İZLEME PROSESİ

Makine sağlığı izleme çalışmaları uzun yıllardır yapılmakta ve bu sayede makine elemanlarının durumu izlenerek bakım planlama çalışmaları yapılabilmektedir. Özellikle son yıllarda sensör teknolojisinde yaşanan gelişmeler, ekipman sağlığı

izleme platformlarını daha da kullanışlı ve erişilebilir kılmaktadır. Piezoelektrik kristalli ivmeölçer sensörlerinin uzun yıllardır hizmet ettiği titreşim ölçüm ve analiz sektörü, yeni geliştirilen MEMS (Micro-electromechanical systems) sensör türleriyle tanışmış, bu durum ekipman sağlığı izleme sistemlerinin sıklıkla tercih edilmesini sağlamıştır.

MEMS sensörler ile elde edilen ham veri, işleme proseslerine sokularak, teşhis için gerekli toplam değer (overall vibration values) ve spektrum gibi analiz parametreleri elde edilebilmektedir. Özellikle titreşim spektrumu ve zaman dalga formu (time waveform) üzerinden türetilen frekans bandı verileri, trend grafikleri halinde izlenebilmekte, arızaya ait semptomlar bu şekilde takip edilebilmektedir. Önceden bir standart ya da deneyime dayalı oluşturulan alarm seviyelerine göre karşılaştırılan bu parametreler, arızanın ilerleyip ilerlemediği hakkında analizcilere ya da otomatik teşhis yazılımlarına bilgi vermektedir.

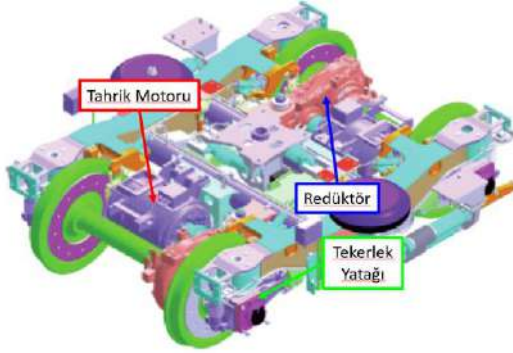
Sensör dünyasında yaşanan gelişmeler ile birlikte ekipman sağlığı izleme yazılımlarında da büyük gelişmeler yaşanmıştır. Artık daha da kullanıcı dostu olan izleme platformları, yapısına yapay zeka (AI) algoritmalarını da katarak, kullanıcı girdisi ile arıza tiplerini öğrenebilmekte ve sonradan yaşana arızalar hakkında erken uyarı verebilmektedir.

WiserSense izleme platformlarının geliştirdiği izleme ekranları ile tren tahrik sistemleri üzerinde tespit edilebilecek arıza tipleri ve bunun için gerekli ölçüm ayarları makale devamında paylaşılmıştır.

2. TREN TAHRİK SİSTEMLERİ VE ÖLÇÜM NOKTALARI

Şekil 1'de görülmekte olan tahrik sistemi elemanları olan tahrik motoru, dişli kutusu ve

tekerlek yatakları, izlenecek makineler/makine elemanları olarak seçilmiştir.

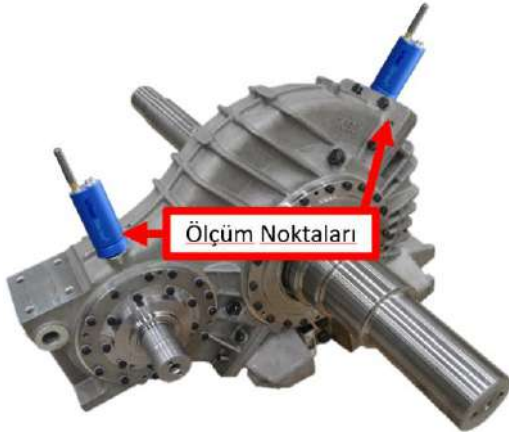


Şekil 1. Tren tahrik sistemi

Sensörler, motor ve redüktör yatakları üzerinden veri alacak şekilde yerleştirilebilir. Örnek bir yerleşim Şekil 2-a ve 2-b'de görülmektedir. Sensör yerleştirilecek yataklar arası mesafe 75cm'den kısa ise o zaman tek bir yatağa sensör yerleştirilebilir. Motor ön-arka yataкта ve redüktör yataklarında genelde farklı rulman tipleri kullanıldığı için rulman arızalarının titreşim analizi yoluyla tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Aynı tipte rulman kullanılması halinde her yatağa sensör yerleştirilmesi uygun olacaktır.

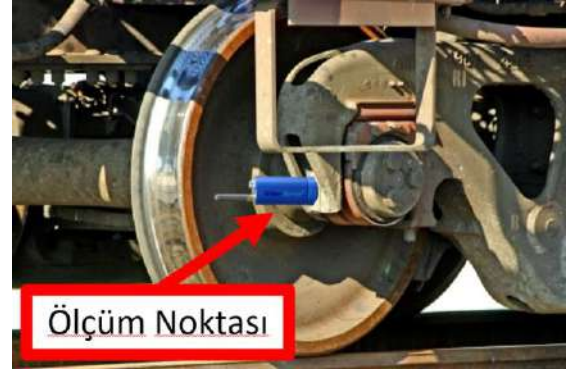


Şekil 2-a. Tahrik motoru ölçüm noktaları



Şekil 2-b. Redüktör ölçüm noktaları

Motor ve redüktör dışında, tekerlek yataklarından da titreşim, sıcaklık ve ultrasonik gürültü (akustik emisyon) ölçümleri alınması, tekerlek rulman arızalarının önceden tespit edilebilmesini sağlayacaktır. Bu ölçümlerin alınabilmesi için seçilen noktalar Şekil 3'te görüldüğü gibidir. Bu ölçüm noktasından alınan titreşim verileri, rulman sağlığının izlenmesi dışında, özel geliştirilen algoritmalar ile ray sağlığının da izlenmesini sağlayacaktır. Seyir sırasında toplanan üç eksenli titreşim ve ultrasonik gürültü verileri ile, ray üzerinde ve ray destek elemanlarındaki hasarlar izlenebilir. Titreşim ve ultrasonik gürültü verilerine ek olarak toplanan GPS verisi ile raydaki bu hasarın lokasyonu tespit edilip, sonradan yapılacak kontroller amacıyla kaydedilebilir. Her trende uygulanan ekipman sağlığı online izleme sistemi ile, aynı rota üzerinde periyodik kontroller bu sayede yapılmış olur. Her seferde toplanan veriler ile ray sağlığı trend grafikleri ile izlenebilir.



Şekil 3. Tekerlek yatağı ölçüm noktası

3.İZLEME PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜM AYARLARI

Alınacak titreşim ölçümlerine ait ölçüm parametreleri, yapılacak analizin kalitesini ve izleme programının başarısını etkilemektedir. Bu nedenle ölçüm parametrelerinin düzgün bir şekilde seçilmesi oldukça önemlidir. İzleme parametrelerinden ilki ve belki de en önemlisi, tahrik sistemi şaftlarına ait devir bilgileridir. Devir bilgisi, direkt elektrik motoru çıkış şaftından devir sensörü ile alınabileceği gibi, tren hızı bilgisinin, tekerlek çapı ve dişli bilgileri ile işlenmesi sonucunda da elde edilebilir. Devir bilgisi arıza frekanslarının nerede olacağını belirleyeceği için sürekli bir şekilde izlenmelidir. Sistem devir bilgisi ile her şafta ait mertebe normalizasyonunu otomatik olarak yaparak spektrumları normalize bir şekilde sunabilmektedir. Bunun yanında devir bilgisini kullanarak, veri toplama işlemine başlanabilmesi için gerekli minimum devir bilgisi sisteme tanımlanabilir. Böylece belli bir devir değeri (örneğin 1000 RPM) üzerinde veri toplama

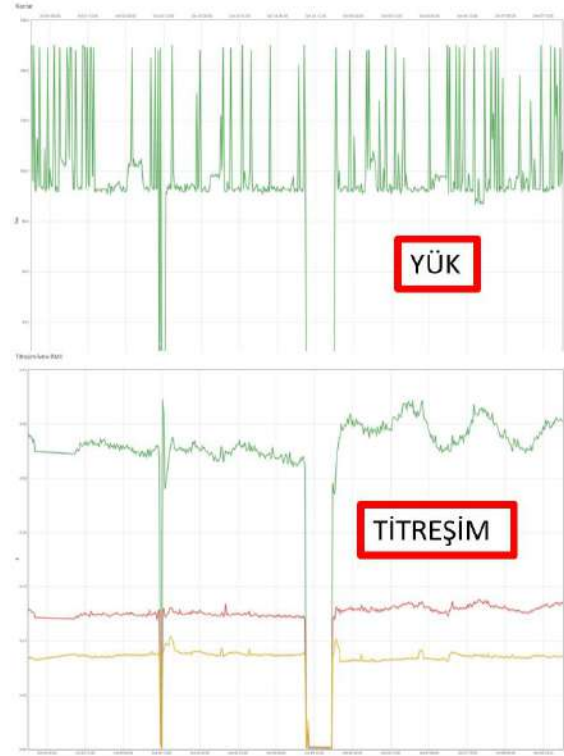
işlemine izin verilerek, gereksiz veri alınması önlenir.

Sensörlerden alınan üç eksenli ham titreşim verisi, Fmax (spektrum maksimum frekans değeri) değeri en az 3,5x GMF (diş birleşme frekansı) olacak şekilde seçilmelidir. Bu değer pratikte 1000-2000 Hz civarında seçilebilir. Bu frekans bandı, elektrik motoru rulman arızalarını, dişli kutusu rulman ve dişli arızalarını ve tekerlek yatakları rulman arızalarını yakalayabilecek kabiliyette olacaktır. Bu arızalar genel olarak yüksek frekanslarda oldukları için Fmax parametresini doğrudan etkilemektedir. Ölçüm birimi olarak hem Hız [mm/s RMS], hem de İvme [g 0-Pk] kullanılmalıdır. Hız biriminde düşük-orta frekans bölgesinde kendisini gösteren arızalar, ivme biriminde de yüksek frekanslı arızalar izlenebilecektir. Titreşim verilerinin rahat bir şekilde analiz edilebilmesi için spektrum frekans artırımının (dF parametresi) 0,25Hz olacak şekilde seçilebilir. Bu değer, ölçüm süresinin 4s olacağını göstermektedir. 4s'lik bir zaman dalga formu ölçümü, dişli-rulman arızalarını rahat bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlayan spektrum frekans çözünürlüğünü sunmaktadır. Ortalama türü olarak lineer ortalama seçilebilir ve 3-4 ortalama sayısı seçilebilir. Ortalama işlemi, ray bağlantı noktalarından geçerken oluşan periyodik darbelerin oluşturduğu gürültünün etkisini azaltmak için kullanılacaktır. Ray geçişlerinde oluşan darbelerin frekansı, toplanan devir bilgisi ile hesaplanıp analiz bölümüne eklenebilir. Bu darbelerin oluşturduğu etkiler (ray geçiş frekansı tepeleri) titreşim spektrumlarından filtrelenerek çıkarılabilir.

Bir diğer teşhis parametresi olan ultrasonik gürültü verisi de rulman ve dişli arızalarının teşhisi için kullanılabilir. Maksimum ultrasonik gürültü frekansı 40kHz seçilmeli, böylece anlık oluşan periyodik rulman-dişli darbeleri yakalayabilmektedir. Ultrasonik ölçüm süresi de periyodik darbeleri ultrasonik zaman dalga formunda görebilecek uzunlukta olmalıdır. Ölçüm süresi için pratikte yine 3-4s seçilebilir.

Manyetik akı parametresi kullanılarak, tahrik motorlarındaki rotor-stator problemleri tespit edilebilir. Bu değer trend grafikleri ile izlenerek elektriksel problemlerin ilerleme durumu takip edilebilir. Bunun yanında manyetik akı zaman dalga formu ve spektrumu ile bu elektriksel problemler ayrıntılı bir şekilde teşhis edilebilir. Ultrasonik gürültü sensörlerinden elde edilen verilerin bir diğer uygulama alanı da elektrik besleme hatlarında/kablolarında oluşan anlık ark oluşumlarının takip edilmesidir. Ark oluşumları ultrasonik frekansta gürültü oluşturmakta böylece ultrasonik bölgede ölçüm alan sensörler ile izlenebilmektedir.

Sensörler ile toplanan bu verilere ek olarak GPS verisinin de kaydedilmesi, ileride anlatılacak ray sağlığı ve elektrik besleme kablo arızalarının izleme algoritmasına destek olmaktadır. Trenlerin seyir esnasında toplanan diğer parametrelerin arıza teşhisine yardımcı olacağı düşünülmekte ise makine/rau sağlığı izleme sistemine dahil edilmelidir. Örneğin vagon başına ağırlık verisi toplanarak, motor, redüktör ve tekerlek üzerindeki yük miktarı izlenebilir. Bu durum online izleme sırasında oluşan titreşim genliklerinin, yük bağlı normalize edilmesini sağlayacaktır. Farklı yük değerlerinde oluşan farklı genlikteki titreşimlerin ayrı sınıflara ayrılarak izlenmesi, teşhis aşamasına destek olmakta ve alarm seviyelerinin yük sınıfına bağlı olarak değiştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Vagon başına düşen ağırlık miktarı ölçülemiyorsa, motor akım değerleri de yük parametresi olarak değerlendirilebilir. Şekil-4'te örnek bir yük-titreşim toplam değer trend grafiği görülmektedir. Yük değerlerinin değişimine göre titreşim değerlerindeki değişimler net bir şekilde görülmektedir.

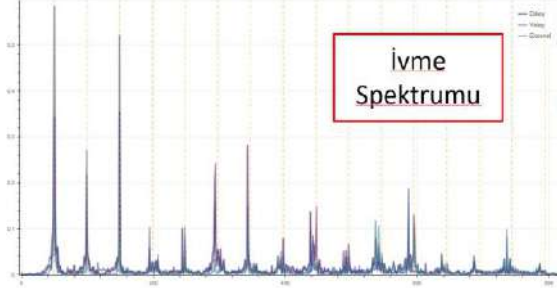


Şekil 4. Yük ve Titreşim trendleri

4.TEŞHİS EDİLEBİLECEK ARIZA TÜRLERİ

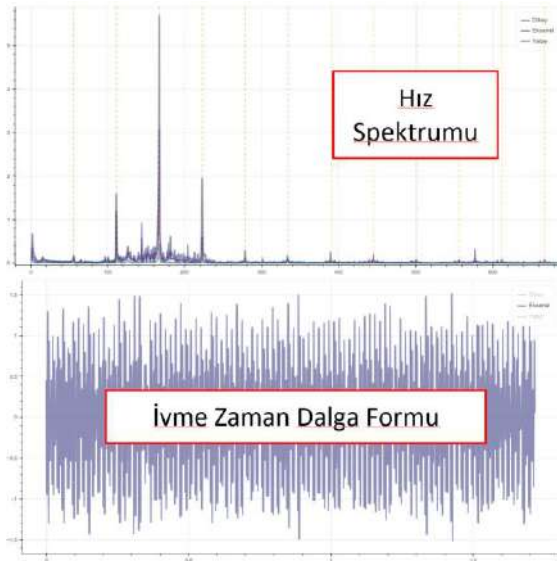
Tahrik sistemi elemanları olan motor, redüktör ve tekerlek yatakları üzerinden alınan titreşim ölçümleri yardımıyla, çok sayıda arıza türü teşhis edilebilir. Titreşim verilerine destek olacak şekilde alınan ultrasonik veriler yardımıyla rulman ve dişli arızaları tespit edilebilir.

Aşağıda Şekil-5'te görülen spektrum, örnek bir yatak gevşekliliği ve rulman arızası kombinasyonunu göstermektedir. Periyodik darbeler ve genlik modülasyonu durumu yatakta boşluk ve iç bilezik rulman arızasının varlığını kanıtlamaktadır.



Şekil 5. Yatak gevşekliliği ve rulman arızası belirtileri

Bunun yanında özellikle dişli kutularında sık karşılaşılan dişli aşınması problemi de tahrik redüktöründe karşılaşılabilecek arızalar arasındadır. Bu arıza türüne ait örnek bir spektrum da Şekil 6'da paylaşılmıştır. Görüldüğü gibi dişli aşınması sonucunda oluşan titreşim genlikleri, 180Hz bölgesindeki bir rezonans nedeniyle artış göstermiştir. Zaman dalga formunda da diş birleşme frekansında (GMF) periyodik darbeler görülmektedir.



Şekil 6. Dişli aşınması problemi belirtileri

5.SONUÇ

Tren tahrik sistemleri sağlığı ve ray sağlığı izleme platformları sayesinde oluşabilecek arızalar erken teşhis edilebilir, bu sayede plansız duruşların önüne geçilebilir. Yataklardan alınan veriler hem rulman, dişli problemlerinin teşhisi için kullanılabilir hem de özel algoritmalar yardımıyla ray sağlığının izlenmesi amacıyla kullanılabilir.

6. REFERANSLAR

- [1] Y.Zou, Y.Zhang, H.Mao "Fault diagnosis on the bearing of traction motor in high-speed trains based on deep learning" Alexandria Engineering Journal Nov 2020
- [2] W. Yang, D. He, T.Chen, Z. Yao, "Fault Diagnosis of Locomotive Wheel-bearing Based on Wavelet Packet and MCA" Advances in Engineering Research, volume 185 2019
- [3] ISO 18436 Mobius Institute eğitim notları
- [4] R. C. Eisenmann, Sr., P.E., "Machinery Malfunction Diagnosis and Correction"
- [5] P.Avitabile, "Modal Testing A Practitioner's Guide" WILEY

6. ÖZGEÇMİŞ

Özgün Yakar

Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra titreşim ve akustik alanında çalışmaya başladı. Kariyerine endüstriyel titreşim alanında başlayan Yakar, çalışmalarına Ford Otosan bünyesinde Titreşim-Akustik Araştırma ve Geliştirme Mühendisi olarak devam etti. Bir ARGE mühendisi olarak çalışırken, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Makine Dinamiği, Titreşim ve Akustiği alanında yüksek lisans derecesini tamamladı ve 2012 yılında Titreşim-Akustik alanında dünya çapında geçerli ISO 18436 CAT II sertifikasını aldı. 2022 yılında, titreşim analizinde en ileri seviye olan ISO 18436 CAT IV sertifikasını alarak Türkiye'de bu seviyeye sahip ilk kişi oldu.

Sektörde iz bırakan daha fazla çalışma yapmak, dünyadan farklı teknolojileri endüstriye getirmek ve teknik bilgiyi paylaşmak ve yaymak amacıyla 2022 yılında Resonans Enstitüsü'nü kurdu.

M. Cem Alaybeyoğlu

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojileri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans ve Anadolu Üniversitesi İşletme Yüksek Lisanslarını tamamlayan Alaybeyoğlu, Lisans eğitimini tamamladıktan sonra YTÜ'de 3 yıl Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Demir Çelik ve Maden sektörlerinin Türkiye'de ve dünya çapında en bilindik firmalarında 19 yıl yatırım, bakım ve varlık yönetimi konularında mühendislikten direktörlüğe farklı seviyelerde yöneticilik yapmıştır. Son 1,5 yıldır Türkiye'nin makine sağlığı izlemede yazılım ve donanımı yerleştiren ilk firması olan WiserSense'de Ülke Müdürü olarak görev yapmaktadır.

TREN TEKERLEKLERİNİN KONIKLIK GEREKSİNİMLERİNİN HAT VE ARAÇ GEOMETRİK DEĞERLERİ İLE İLİŞKİSİNİN ANALİTİK İRDELENMESİ

Recep Bilal Sıkar¹, Ahmet Kerem Özdemir², Niyazi Özgür Bezgin³

¹ İnşaat Mühendisliği/ Mühendislik Fakültesi/İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa

E-Posta: recep.sikar@iuc.edu.tr

^{2,3} İnşaat Mühendisliği/ Mühendislik Fakültesi/İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa

Özet- Bu çalışma içerisinde demiryolu araç tekerleklerinin koniklik değerlerinin gerekliliği analitik olarak incelenmektedir. Tekerlek koniklik değerinin dönemeç yarıçapı, ekartman genişliği ve tekerlek çapı ile olan geometrik ilişkisi detaylı bir şekilde analitik geometri yardımı ile incelenmektedir. Merkezci kuvvetlerin etkileriyle, dönemeç eğrisine dik doğrultuda gerçekleşen yatay hareket sonucunda, tekerlek konikliğinin etkisi ile dış ray ve iç ray boyunca yuvarlanan tekerleklerin çaplarında farklılık oluşmakta ve bu sayede de dış ray üzerindeki tekerleklerin sürüklenmesinin önlenmesi amaçlanmaktadır. Ancak, bir hat boyunca farklı yarıçaplarda dönemeçler yer alabilirken, koniklik değeri ise sabittir. Bu nedenle, koniklik gereksinimi bakımında, tekerlek konikliği ile hat yarıçapı arasında mükemmel bir çözümün var olduğu düşünülmemelidir. Bu çalışma içerisinde, kentiçi ve kentler arası çağdaş demiryolu güzergahlarında kullanılan farklı dönemeç yarıçap değerleri dikkate alınarak, mevcut koniklik değerleri ve kullanımda olan tekerlek yarıçap değerleri ile birlikte ray ve tekerlek ilişkisi incelenecektir. Son olarak, özellikle düşük yarıçaplı kurbalarda ray sürtünme düzenleyicilerinin kullanım alanları ve tipleri irdelenecektir.

Anahtar sözcükler: Tekerlek konisitesi, tren tekerlek çapı, ray genişliği, kurp yarıçapı

1. GİRİŞ

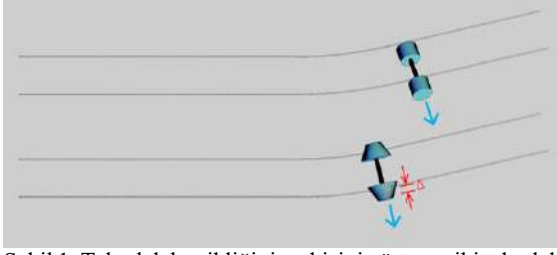
Çoğu tren tekerlek takımı, bir aks üzerine sert bir şekilde bağlı olan iki tekerlektir. Bu tekerlekler, aks üzerinde sabit bir şekilde tutulur ve birbirleriyle bağımsız hareket etmez, birlikte dönerler. Bu düzenleme, trenin düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlar ve raylara daha iyi uyum sağlar. Tekerlekler genellikle dayanıklı ve güçlü olması için dövme çelikten üretilir. Dövme çelik, yüksek mukavemeti ve sertliği sayesinde ağır yükleri taşımak için uygundur. Tekerleklerin uzun ömürlü

olmasını sağlar ve aşınmayı en aza indirir. Ancak, şehir içi demiryollarında kullanılan bazı tekerlek takımları farklı bir tasarıma sahiptir. Bu tekerlekler genellikle esnek bir yapıya sahiptir ve iki parçadan oluşurlar. Aralarında bir amortisör tabakası bulunur. Bu tasarım, şehir içi demiryolu sistemlerindeki titreşimleri ve gürültüyü azaltmaya yardımcı olur. Amortisör tabakası, tekerleklerin raylara daha yumuşak bir şekilde temas etmesini sağlar. Bu da hem yolcuların daha konforlu bir seyahat deneyimi yaşamasını sağlar hem de demiryolu altyapısına daha az zarar verir.

Tren tekerlekleri, diğer kara taşımacılığı araçlarından farklı olarak konik şekle sahiptir. Bu konik şekil, tekerleklerin rayla dikey temas noktasındaki yarıçaplarının tren eğriye girdikçe değişmesini sağlar. Tekerleklerin konik olması, eğri hatlarda sert bir şekilde bağlı olan tekerleklerin farklı bir yuvarlanma çapı geliştirmesini sağlar. Bir trenin dönmesi sırasında, iç ve dış tekerleklerin farklı mesafeler kat etmesi gerekmektedir. Bu nedenle, merkezci kuvvetin reaksiyonuyla tekerlek takımı yanlamasına bir hareket yapar ve yuvarlanma çapında bir fark oluşur. Bu farklı yuvarlanma çapı sayesinde, dış tekerlekler iç tekerleklerden daha fazla mesafe kat eder ve eğriyi takip ederken kaymadan ilerler. Tekerleklerin konik olması, trenin eğri hatlarda stabil bir şekilde seyahat etmesini ve tekerleklerin raylara tam temasını sağlar. Bu tasarım, trenlerin eğri hatlarda daha güvenli ve etkili bir şekilde seyahat etmelerine yardımcı olur.

Şekil 1'de konik tekerlek takımının virajdan geçerken yanıl kaymasını göstermektedir; burada tekerleklerin, sabit tutan merkezci kuvvete gösterdiği tepki nedeniyle tekerlek takımı eğri merkezinden Δ miktarı kadar yanıl olarak uzağa itilir. Tekerlekler ve raylar arasındaki sürtünme, merkezci kuvveti sağlamak için yeterlidir. İç tekerleklerin yuvarlanma çapı küçüldükçe, dış tekerleklerin yuvarlanma çapı artar ve böylece aynı

sayıda tekerlek dönüşü ile farklı yuvarlanma mesafeleri elde edilir. Silindirik tekerlekler, koniklik olmaması nedeniyle virajı geçemez ve doğrudan raydan çıkar.



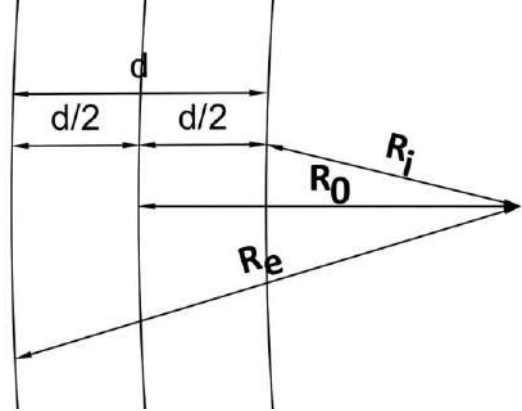
Şekil 1. Tekerlek konikliğinin etkisini gösteren iki tekerlek takımının plan görünümü

Şekil 1'deki tekerlek takımları, tekerlekler eğrileri aşarken eğriliğin etkisini belirgin bir biçimde görselleştirmek amacıyla ölçeğin dışında seçilmiştir. Tekerlek konikliği, rayın geometrisine ve trenin kinematiğine bağlı olarak önemli bir tasarım parametresidir. Mevcut deformasyonlara sahip gerçek demiryolu hatlarında çalışan trenler için çok fazla koniklik, her ikisi de tren hizmet kalitesi ve güvenliği için zararlı olan, önce Klingel hareketine ve ardından Hunting hareketine yol açan yanal tren salınımlarına neden olur. Klingel hareketi, rayda raydan çıkmaya neden olabilecek büyük yanal kuvvetlere neden olabilen birincil Hunting hareketine yol açabilir [1]. Ahmadian, M. ve Yang, S.'ye göre, tekerlek takımı bir tarafa kaydırıldığında bu durum iki tekerleğin dönme yarıçapları arasında bir fark oluşmasına sebep olmaktadır [2]. Söz konusu Klingel'in tek bir tekerlek takımının küçük salınımları için hazırladığı modelinin 1883 yılında "Über den Lauf von Eisenbahnwagen auf gerader Bahn"da yayınlandığı da ifade edilmektedir [3].

2. METODOLOJİ VE AÇIKLAMA

Koniklik ve eğri yarıçapı arasındaki ilişkileri anlamak için geometrik kavramları anlamak önemlidir. Tren tekerleklerinin konik olması, yani tekerleklerin dış yüzeylerinin merkeze doğru hafifçe eğimli olması, demiryolu hatlarındaki eğrilerde daha iyi performans sağlar. Tren tekerleklerinin konik olması, yanal yer değiştirmenin (yatay hareketin) daha iyi kontrol edilmesine ve daha az aşınmaya yol açar. Daha yüksek bir koniklik, tekerleklerin eğriyken daha düzgün bir şekilde hareket etmesine ve tekerleklerin ray üzerinde daha iyi oturmasına yardımcı olur. Eğri yarıçapı, demiryolu hatlarında güzergah geçişlerinin yumuşaklığını belirtir. Daha büyük eğri yarıçapları, daha nazik eğrilerdir ve bu tür eğrilerde tekerleklerin dönmek için daha az zorlandığı ve daha az yanal yer değiştirme gerektiği anlamına gelir. Doğru koniklik seviyesini belirlemek, farklı tren tipleri ve demiryolu hatları için önemlidir. Farklı trenlerin hızı, yükü, tasarımı ve yol şartları gibi faktörler göz önünde bulundurularak

uygun koniklik düzeyi seçilmelidir. Aynı şekilde, demiryolu hatlarındaki eğri yarıçapları da hız sınırlamaları, güvenlik standartları ve tren trafiğine bağlı olarak belirlenmelidir. Tüm bu faktörlerin dikkate alınması, daha güvenli ve verimli bir demiryolu taşımacılığı sisteminin sağlanmasına yardımcı olur. Şekil 2 ve şekil 3, bir eğrinin plan geometrisini ve iki raylı tekerlek takımı temasının profil geometrisini tanımlar.



Şekil 2. Hat genişliği ve karp yarıçapı ilişkisi

Şekil 2'de eğrinin merkez hattı yarıçapı R_0 , iç yarıçapı R_i , dış yarıçapı R_e ile ifade edilmektedir. Aliymanda tekerleğin yuvarlanma çapı d_0 , iç tekerleğin yuvarlanma çapı d_i , ve dış tekerleğin yuvarlanma çapı d_e . Rayların merkez çizgileri arasındaki mesafe d 'dir. Geometri ile elde edilen eşitlik (1), eşitlik (2), eşitlik (3) ve eşitlik (4) aşağıda listelenmiştir.

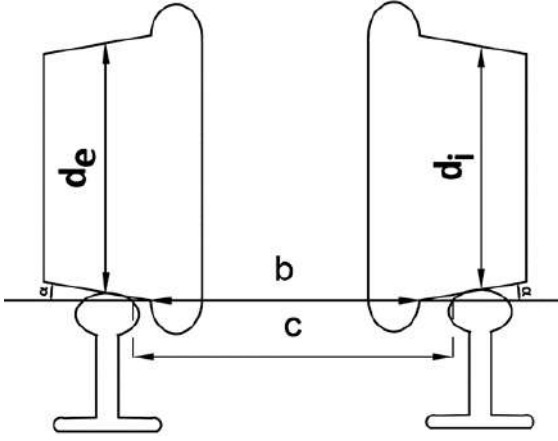
$$R_e = R_0 + \frac{d}{2} \quad (1)$$

$$R_i = R_0 - \frac{d}{2} \quad (2)$$

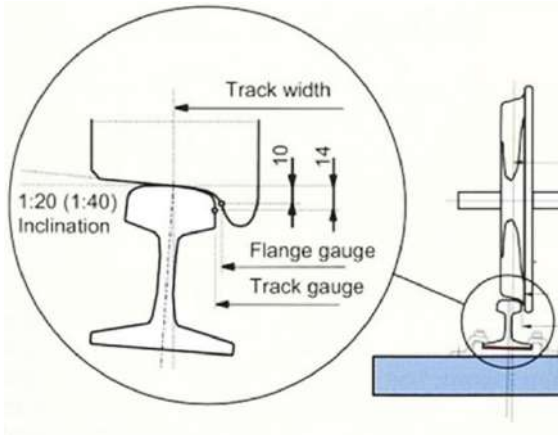
$$d_e = d_0 + h \quad (3)$$

$$d_i = d_0 - h \quad (4)$$

R_e eşitlik (1)'de, R_i eşitlik (2)'de ifade edilmiştir. d_e eşitlik (3)'te, d_i ise eşitlik (4)'te ifade edilmiştir. h büyük yuvarlanma çapı ile küçük yuvarlanma çapı arasındaki mesafedir. Şekil 3 ve şekil 4 koniklik gerekliliklerinin analizi ile ilgili tekerlek takımı ve hat profili boyutlarını açıklamaktadır. $1/n$ koniklik olarak da ifade edilebilmektedir. Yanal hareket kullanılabilirliği (c-b) farkı ile ifade edilir. Şekil 4'te hat genişliği (c) ve tekerlek genişliği (b) detaylı bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 3. Ray üzeri tekerlek seti profili



Şekil 4. Hat ve tekerlek genişlikleri [4]

$$\tan(a) = \frac{h}{(c - b)} \quad (5)$$

$$h = \frac{(c - b)}{n} \quad (6)$$

$$\frac{d_e}{d_i} = \frac{R_e}{R_i} \quad (7)$$

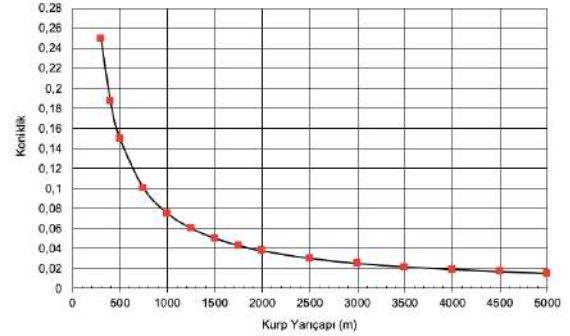
$$\begin{aligned} & \left[d_0 + \frac{(c - b)}{n} \right] / \left[d_0 - \frac{(c - b)}{n} \right] \\ & = \left[R_0 + \frac{d}{2} \right] / \left[R_0 - \frac{d}{2} \right] \quad (8) \end{aligned}$$

$$n * d_0 * d = 2 * R_0 * (c - b) \quad (9)$$

Sonuç olarak eşitlik (10)'da kurba yarıçapı, tekerlek ve hat genişlikleri yanı sıra tüm geometrik parametreler ile ilişkilendirilmektedir.

$$R_0 = \frac{n \cdot d_0 \cdot d}{2 \cdot (c - b)} \quad (10)$$

Eşitlik (10)'da kullanılan $c=1435$ mm, $b=1425$ mm, $d=1500$ mm ve $d_0=1000$ mm dir. Bu durumda tren tekerleklerinde izin verilen yanal hareket mesafesi $c-b=10$ mm dir. Şekil 5'te farklı kurba yarıçaplarına karşılık gelen koniklik değerleri sunulmuştur. Tabloda da görüldüğü gibi makul koniklik değerleri 0.02 ile 0.04 aralığında oluşmakta, gerekli kurba yarıçapı değerleri de 1500 mm ile 3500 mm aralığında değişmektedir. Verilen değerler için daha küçük kurba yarıçapı değerleri tekerlek ile ray başlığı arasında olumsuz etkiler oluşturacaktır.



Şekil 5. Kurba yarıçapı ile tekerlek konikliği arasındaki ilişki

Koniklik, bir rayın eğriliğini ifade eden bir terimdir. Raylı taşımacılık hatlarında, raylar eğrilerde belli bir yarıçapa sahip olacak şekilde döşenirler. Ancak, bazı durumlarda düşük yarıçaplı eğrilerin olması gerekebilir ve bu durumda, raylar daha fazla koniklikle döşenmelidir. Fakat, konikliğin de bir sınırı vardır ve çok fazla koniklik yol kalitesini olumsuz etkileyebilir.

Düşük yarıçaplı eğrilerde yanal kayma olasılığı artar. Bu yanal kayma, tekerleklerin raylar üzerinde yana doğru kaymasına neden olabilir ve bu durum yol güvenliğini tehlikeye atar. Bu nedenle, düşük yarıçaplı eğrilerde yol ve tekerlek açıklığı arasındaki fark artırılarak yanal kayma sorunları azaltılabilir.

Yol ve tekerlek açıklığı arasındaki farkın artırılması için "hat genişliği genişletme" adı verilen bir yöntem kullanılır. Bu yöntemle, rayların arasındaki mesafe genişletilir ve tekerleklerin daha geniş bir alana yayılması sağlanır. Bu da yanal kayma sorunlarını azaltır ve düşük yarıçaplı eğrilerde daha güvenli bir geçiş sağlar.

650 m'den daha az yarıçapa sahip eğrilerde ray aşınması daha yaygın olarak görülür. Rayların eğrilerde dönme hareketi, zamanla rayların aşınmasına neden olur. Özellikle ray başlarında yan aşınma, bu tür eğrilerde sıkça görülen bir aşınma şeklidir. Aşınma, ray çeliğinin metalürjisi, palet tonajı ve tekerlek ve ray temas profili gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir.

Ray aşınmasının kontrol altında tutulması ve düşük yarıçaplı eğrilerde güvenli bir geçiş sağlamak için rayların periyodik olarak bakımı ve gerekli durumlarda değiştirilmesi önemlidir. Ayrıca, uygun malzeme seçimi ve tekerlek profilinin doğru tasarımı da ray aşınmasını minimize etmeye yardımcı olabilir.

3.RAY SÜRTÜNME DÜZENLEYİCİLERİ

Demiryolu taşımacılığında, düşük yarıçaplı kurbalar raylarda önemli ölçüde sürtünme ve yanal kuvvetlerle mücadele sorunu oluşturmaktadır. Sürtünme ile birlikte yuvarlanma temas kuvvetleri aşınmaya sebep olmaktadır. Çekiş ve frenleme işlemleri, tekerleklerin kaymasına yol açarak tekerlek yüzeyinde aşınmaya neden olabilir. Bu aşınma, istenmeyen faz dönüşümlerine ve aşırı ısınmaya yol açabilir, bu nedenle tekerlek yüzeyinde çatlaklar oluşabilir [5]. Ray sürtünme düzenleyicileri, tren tekerlekleri ve raylar arasındaki sürtünmeyi optimize ederek, raylardaki aşınmayı azaltabilir ve virajlarda daha düzgün bir geçiş sağlamaktadır. Farklı tipte ray sürtünme düzenleyiciler bulunmaktadır:

Kaydırmaz Kaplamalar: Rayların yüzeyine kaydırmaz bir kaplama uygulanarak tekerleklerin raylarla teması artırılır ve kaymalar engellenir.

Aktif Sürtünme Kontrolü: Bu sistemler, tekerleklerin raylarla olan temas kuvvetini ayarlayarak optimum sürtünmeyi sağlamaya çalışır. Bu genellikle elektronik kontrollere ve sensörlerle gerçekleştirilir.

Tekerlek Tasarımı: Tekerleklerin tasarımı, raylarla temas ve sürtünme üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Özel olarak tasarlanmış tekerlek profilleri, daha iyi bir tutuş sağlayabilmektedir.

Yanal Kılavuzlar: Kritik kurbalarda aracın yanal olarak yer değiştirmesini kontrol etmek için yanal kılavuzlar kullanılmaktadır.

Aktif Yönlendirme Sistemleri: Bazı durumlarda, aracın tekerleklerini aktif olarak yönlendiren sistemler, virajlarda daha hassas ve dengelemeli bir hareket sağlayabilmektedir.

Yanal Stabilizasyon Sistemleri: Araçların yanal dengesi sağlamak için aktif olarak çalışan sistemler, düşük yarıçaplı kurbalarda stabilize edici bir etki oluşturmaktadır.

Ray sürtünme düzenleyicileri, araçların verimli, güvenli ve pürüzsüz bir şekilde hareket etmelerine yardımcı olabilir. Ancak, her uygulama için en uygun çözümün ne olduğunu belirlemek için dikkatli bir mühendislik ve tasarım süreci gereklidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonuçları, demiryolu tekerlek konikliği ile tekerlek ve hat geometrisi arasındaki ilişkiyi analitik olarak incelediğini ve gerekli formüllerin aşama aşama türetildiğini göstermektedir. Bu analiz, uygun tekerlek konikliği seçiminin farklı çapta kurplar için nasıl elde edilmesi gerektiğini açıklamaktadır. Ayrıca, tekerlek konikliğinin eksikliği veya fazlalığının demiryolu sistemine potansiyel dezavantajlarını incelemiş bulunmaktayız. Bu noktada, ray sürtünme düzenleyicilerinin rolüne ve çeşitli tiplerine de odaklandık. Sonuç olarak, bu çalışma demiryolu sistemlerinin optimize edilmesi ve güvenliği için önemli bir katkı sağlamaktadır. Gelecekteki araştırmalarda, tekerlek konikliği ile ilgili daha fazla ayrıntılı analizlerin yapılması ve ray sürtünme düzenleyicilerinin daha da geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

5. REFERANSLAR

- [1] Ahmadian, M., Yang, S.: Hopf bifurcation and hunting behaviour in a rail wheelset with flange contact. *Nonlinear Dyn.* 15, 15–30 (1998). DOI: doi.org/10.1023/A:100827871
- [2] Daniel Baldovin, Simona Baldovin; The Influence of The Wheel Conicity on The Hunting Motion Critical Speed of The High Speed Railway Wheelset With Elastic Joints; *Rev. Roum. Sci. Techn. – Méc. Appl.*, Tome 56, N° 1, P. 11–19, Bucarest, 2011.
- [3] Klingel, J.: Über den Lauf von Eisenbahnwagen auf gerader Bahn. *Organ Fortsch. Eisenbahnwes.* 38, 113–123 (1883)
- [4] Esveld, C. *Modern Railway Track.* MRT Productions. 2001
- [5] Shevtsov, I. Y. (2008). Wheel/rail interface optimisation.

6. ÖZGEÇMİŞ

Recep Bilal SIKAR

1994 yılında Sakarya'da doğdu. 2018 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2023 yılında Sakarya Üniversitesi Ulaştırma Mühendisliği yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2023 yılında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'da doktora eğitimine başladı. 2021 yılından itibaren İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Ulaştırma mühendisliği alanında çalışmalarına devam etmektedir.

Ahmet Kerem ÖZDEMİR

1999 yılında İstanbul'da doğdu. 2018 yılında İnşaat Mühendisliği eğitimine İstanbul Üniversitesinde başlayıp 2022 yılında mezun olmuştur. Mezun

olmadan önce demiryolu alanında yoğunlaşmıştır. Altyapı ve üst yapı projelerinde çalışmalarına devam etmektedir.

Niyazi Özgür BEZGİN

16 Nisan 1977 yılında Ankara'da doğmuştur. 1994 senesinde Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezuniyetinin ardından Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği'nde başladığı mühendislik eğitimine, 1999 senesinde New York'ta bulunan Polytechnic University, Brooklyn İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde devam ederek 2001 yılında şeref derecesiyle mezun olmuştur. Yapı ve zemin mekaniği konularında, Rutgers, the State University of New Jersey inşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2002'de ve 2005'te tamamladığı Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarının ardından 2005-2007 yılları arasında New York'ta bulunan Langan Engineering and Environmental Services isimli firmada Tasarım Mühendisi olarak çalışarak 2007 senesinde Türkiye'ye dönmüştür. 2007 yılında Araştırma ve Geliştirme Sorumlusu olarak çalıştığı Yapı Merkezi Prefabrikasyon AŞ'den 2012 yılının sonunda ayrılarak İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ulaştırma yapıları üzerine araştırmalar yapmak üzere Öğretim Üyesi olarak akademik çalışmalarına başlamıştır. Doç. Dr Niyazi Özgür Bezin, demiryolu mühendislik mekaniği alanında çalışarak, uluslararası demiryolu mühendisliği literatürüne Ankara Hipotezi, Bezin Yöntemi, Kapsamı Genişletilmiş Bezin Denklemleri, Bezin – Kolukırık Denklemi, Balcı – Bezin Fonksiyonları çalışmaları ile katkıda bulunmuştur.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

TÜRKİYE’DE BULUNAN ŞEHİR İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

Mine Sertsöz

Ulaştırma MYO, Eskişehir Teknik Üniversitesi 26140, Eskişehir/Türkiye
TEL: 0222 224 13 91 E-Posta: msertsoz@eskisehir.edu.tr

Özet- Raylı sistemlerde güneş enerjisinden faydalanmak; yenilenebilir enerji kaynaklarının yaşamın her alanına entegre edilmesi gerekliliğinden payını almış ve son yıllarda üzerinde birçok araştırma yapılan konulardan biridir. Bunun için dünyada Hindistan başta olmak üzere birçok ülke "yeşil demiryolu" kapsamında bu konuya eğilmektedir. Ancak güneş enerjisinin konvansiyonel ve yüksek hızlı tren hatlarında kullanımı, hafif raylı taşımacılığa göre biraz daha meşakkatlidir. Uygulamaların amortisman süresinin nispeten kısalığı ve uygulama kolaylığından dolayı genellikle güneş enerjisi şehir içi raylı sistemlerde tercih edilmektedir.

Türkiye’de şehir içi raylı sistem kullanan illerimiz Adana, Ankara, Antalya, Bursa, Eskişehir, Gaziantep, İstanbul, İzmir, İzmit, Kayseri, Konya ve Samsun olmak üzere toplam 12 adettir. Ankara, Bursa, İstanbul ve İzmir’de birden fazla tip raylı sistem kullanılırken, Adana’da sadece metro; Antalya, Eskişehir, Gaziantep, İzmit, Kayseri, Konya ve Samsun’da sadece tramvay tercihi mevcuttur.

Bu çalışma için Adana, Eskişehir, İstanbul, İzmir ve Samsun illeri seçilmiş ve ardından güneş enerjisi faydalanma oranları Global Solar Atlas kullanılarak simüle edilmiştir. Bu simülasyonda yerleştirilecek panellerin eğim açıları dört farklı mevsime göre ayarlanarak elde edilecek enerji miktarları kıyaslanmıştır. Dört farklı mevsim seçilmesindeki amaç; farklı bölgelerde bulunan illerimizin global güneş ışınım değerlerinde mevsimsel farklılıkların olmasıdır. Sonuç olarak şehir içi raylı sistemde kullanılmak üzere hangi ilimize hangi eğim açısıyla panel yerleştirilmesi gerektiği bu mevsimsel farklara göre bulunmuş; sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler- Şehir içi Raylı Sistemler, Güneş Enerjisi, Yeşil Demiryolu, Enerji Verimliliği.

1. DÜNYADA BULUNAN RAYLI SİSTEMLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

Tüm dizel, dizel-elektrikli, elektrikli trenlerde güneş paneli sistemi kurulabilir. Temin edilen bu enerji, trenin hareket enerjisini karşılayabilecek büyüklükte olmasa da yardımcı güç ekipmanlarına destek olarak kullanılabilir. Ancak elektrikli trenlerde katenerlere erişimi engellemeyecek şekilde bir kurulum gerektirmektedir.

Güneş enerjisi tarlası şeklinde veya gar çatıları gibi büyük alanlara bu sistemler kurulacaksa trafo merkezlerine yakın olması durumunda iletimden kaynaklanan enerji kayıpları düşeceğinden daha verimli bir sistem olacaktır.

Dünya’nın birçok yerinde raylı sistemlerde güneş enerjisi kullanımı ile ilgili çalışmalar ve projeler yapılmaktadır. Bu çalışmalardan belli başlı çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Dizel-elektrikli bir tren seti için yapılan çalışmada [1] vagonların üzerine güneş panelleri döşenmesi planlanmıştır. Sonuç olarak güneş panellerinin geri ödeme süresi 2,5 yıl ile 9,1 yıl arasında değişirken; CO₂ emisyon azaltımından kaynaklı gelir değerleri vagon başına yıllık 460 ile 998 ABD Doları arasında değişmektedir.

Çin’de yapılan bir çalışmada ise raylı sistem alanlarının güneş panelleri ile kaplanması sonucunda 239.6 TWh’lik bir elektrik enerjisi potansiyeli olduğu bulunmuştur. Bu sayede 2030 yılında hem çevre hem de enerji ihtiyacına ciddi bir katkı sağlayacağına değinilmiştir [2].

Yapılan başka bir çalışmada [3] Mumbai ve Ahmedabad arasında bulunan yüksek hızlı tren 221 km uzunluktaki hatta güneş paneli döşenmesi ile yıllık 58 milyon tasarruf edileceği bulunmuştur.

Bunun gibi raylı sistem ağı geniş olan ve güneş alan ülkelerde raylı sistemler için güneş enerjisinden

faaydalanıldığı gibi daha soğuk ve daha k¼¼k olan ¼¼kelerde de bu enerjiden faydalanılmıştır. Mesela Antwerp, Belçika yakınlarındaki bir demiryolu t¼¼nelinin ¼¼zerinde 3,3 GWh/yıl g¼¼neř enerjili santral kurulmuştur [4]; ¼¼ok g¼¼neřli iklim olmamasına rağmen (900 saat / yıl), yatırımların geri d¼¼n¼ř¼¼n¼¼n 9 yıl i¼¼inde ger¼¼ekleřmesi beklenmektedir.

Macaristan'da 9,9 m² g¼¼neř panelleri ile dar ¼¼l¼¼lt¼¼ turist rayb¼¼s¼¼ Vili işletilmektedir [5]. Demiryolları trafik g¼¼venliđi sistemlerine g¼¼c vermek i¼¼in İsvi¼¼re'de PV piller kullanılmaktadır.

İtalya'da beş yolcu vagonu, iki lokomotif ve ¼¼c y¼¼k vagonu ¼¼zerinde amorf silikon mod¼¼lleri kurulmuştur [6].

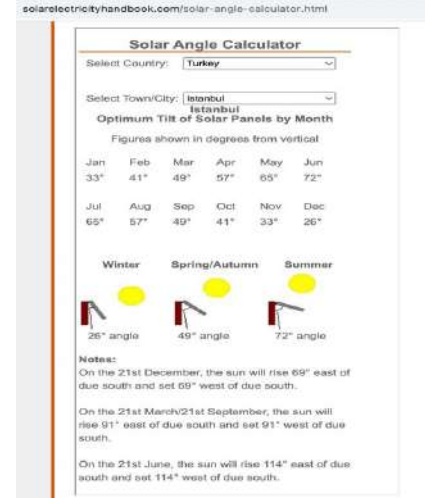
Bunun gibi daha bir¼¼ok ¼¼alıřma mevcuttur. T¼¼rkiye'de hen¼¼z bu şekilde bir proje ger¼¼ekleřtirilmiř olmasa da akademik ¼¼alıřmalar mevcuttur. Bu ¼¼alıřmalardan birinde Ankara-Eskişehir hızlı trenin elektrik enerjisi ihtiyaçının Polatlı Garının ¼¼zerine monte edildiği varsayılan g¼¼neř panelleri ile karşılanabilmesi i¼¼in gerekli matematiksel ve optimizasyon y¼¼ntemleri kullanılmış; bu şekilde mevsime bağlı olarak %30 seviyelerine kadar elektrik enerjisinin g¼¼neř enerjisinden karşılanabileceği bulunmuştur [7]. Bir başka ¼¼alıřmada 61 farklı dağılım fonksiyonu kullanarak yine y¼¼ksek hızlı trenin elektrik enerjisi ihtiyaçını g¼¼neř enerjisinden karşılayabilecek optimum modeller belirlenmiştir [8].

Ancak yapılan bu ¼¼alıřmayı diğerlerinden ¼¼zg¼¼n kılan, g¼¼neř panellerinin yerleşim a¼¼asının mevsimsel olarak değiştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi ¼¼retimine ne kadar katkı sağlayacağı ve bu katkı ile bir tramvayın işletilmesi i¼¼in gereken enerji teminin ne kadarlık bir kısmını sağlayabildiğini bulmasıdır.

2. METOD

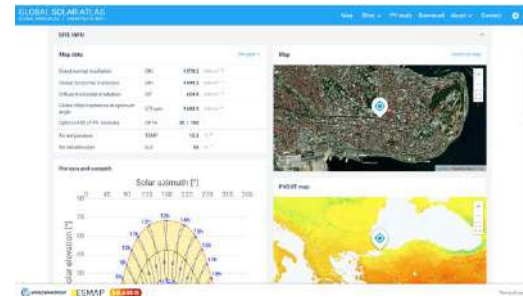
Yapılan ¼¼alıřmada T¼¼rkiye'den beş farklı il se¼¼ilmiř ve bu illerden g¼¼neř panellerinin yerleştirme a¼¼ası ¼¼nce mevsimlere g¼¼re ayarlanarak sonrasında da senelik olarak optimum g¼¼neř enerjisinden faydalanan tek bir a¼¼aya getirilerek hesaplamalar yapılmıştır. Panel yerleştirme a¼¼aları bulunurken Solar Electricity Handbook [9]'dan faydalanılmış; bu farklı a¼¼alara g¼¼re enerji ¼¼retim oranları da Global Solar Atlas Sim¼¼lasyon Programı [10] kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak bu ¼¼alıřmalar yapılırken ilk bahar ve son bahar aylarındaki a¼¼alarda bazı d¼¼zeltmeler yapılarak maksimum g¼¼neř enerjisini ¼¼reten a¼¼alar ile hesaplama tekrarlanmıştır. Detaylar, ¼¼rnek ¼¼alıřma kısmında verilmiştir. Aşağıda bu iki ara y¼¼ze ait g¼¼rseller paylaşılmıştır:

şekil 1'de Solar City Handbook Ara y¼¼z¼¼ verilmiş olup, ¼¼lke ve ardından şehir se¼¼ilerek farklı mevsimlere g¼¼re optimum panel yerleştirme a¼¼ değerleri g¼¼r¼¼lmektedir.



şekil 1. Solar City Handbook Ara y¼¼z¼¼

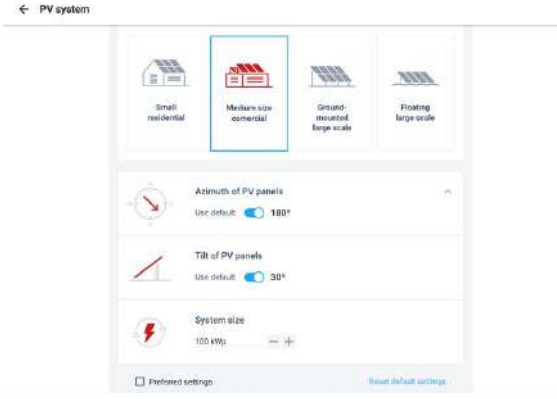
şekil 2'de Global Solar Atlas Ara y¼¼z¼¼ verilmiş olup; şehir se¼¼ildikten sonra panel se¼¼imi yapılarak ne kadar elektrik enerjisi ¼¼retilebileceđi, azimut değerleri gibi bir¼¼ok sim¼¼lasyon sonu¼¼ları elde edilebilmektedir. Burada bir¼¼ok farklı etmeni (lokaysan, panel yerleşim a¼¼ası, panel b¼¼y¼¼kl¼¼đ¼¼ vs.) değiştirerek elektrik enerjisi ¼¼retim miktarındaki değişimleri g¼¼zlemlemek m¼¼mk¼¼nd¼¼r.



şekil 2. Global Solar Atlas Ara y¼¼z¼¼

3. ¼¼RNEK ¼¼ALIřMA

Aşağıda şekil 3'te yapılan ¼¼alıřma i¼¼in se¼¼ilen g¼¼neř enerjisi sistemi paylaşılmıştır. G¼¼neř enerjisinin raylı sistemlerde kullanılacağı d¼¼ř¼¼n¼¼ld¼¼đ¼¼nden orta b¼¼y¼¼kl¼¼kte bir sistem se¼¼ilmiřtir. Bu sistemde sistem boyutu 100kWp'dir.



Şekil 3. Raylı Sistemlerde Kullanılmak Üzere Tasarımı Yapılan Güneş Paneli Sistemi

Mevsimplere göre ve yıllık optimum panel yerleştirme açısı ile beş farklı il için yapılan çalışmaların simülasyon sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2’de paylaşılmıştır. Bu tablolarda önce panelin yerleştirilmesi gereken eğim açısı verilmiş sonra da bu değere göre üretilen günlük elektrik enerjisi miktarı kWh cinsinden verilmiştir.

Tablo 1’de sarı ile gösterilen kısım; Solar City Handbook’un ilk bahar ve son bahar mevsimleri için vermiş olduğu panel eğim açısının maksimum elektrik enerjisi üretimini gerçekleştirmediği birçok simülasyon sonucunda görülmüştür; bu sebeple de bu mevsimler için yıllık optimum açı değeri kullanılarak revize edilmiştir.

Tablo 1. Mevsimlere Göre Ayarlanmış Panel Yerleşim Açılarına Göre Günlük Elektrik Üretim Miktarları

	Kış (kWh)	İ.Bahar/S.Bahar (kWh)	İ.Bahar/S.Bahar (Revize Edilmiş) (kWh)	Yaz (kWh)
Adana	60°/1003	37°/ 2623	32°/ 2632	24°/1625
Eskişehir	64°/774	40°/2505	33°/2520	26°/1644
İstanbul	64°/632	41°/2178	30°/2209	28°/1563
İzmir	62°/873	38°/2558	30°/2574	24°/1687
Samsun	64°/656	41°/2034	32°/2058	28°/1438

Tablo 2’de Tablo 1’den farklı olarak tek bir panel yerleşim açısı kullanılmıştır:

Tablo 2. Yıllık Optimum Panel Yerleşim Açılarına Göre Günlük Elektrik Üretim Miktarları

	Kış (kWh)	İ.Bahar/S.Bahar (kWh)	Yaz (kWh)
Adana	32°/963	32°/ 2632	32°/1563
Eskişehir	33°/771	33°/2520	33°/1590
İstanbul	30°/626	30°/2209	30°/1549
İzmir	30°/841	30°/2574	30°/1639
Samsun	32°/652	32°/2058	32°/1412

4. BULGULAR

Yapılan çalışmada mevsimsel olarak panel açısının değiştirilmesinin, sürekli olarak optimum bir yerleştirme açısıyla panel kurulumu yapılmasından daha fazla elektrik enerjisi üreteceği bulunmuştur. Tablo 3’te iki farklı tasarımın elektrik üretim değerleri ve aralarındaki farklar kWh ve yüzdesel olarak verilmiştir:

Tablo 3. İki Farklı Tasarımın Elektrik Üretim Miktarları

	Toplam Mevsimsel Yerleşim (kWh)	Toplam Yıllık Yerleşim (kWh)	Üretilen Enerji Farkı (kWh)	Yüzdesel Katkı (%)
Adana	5260	5158	102	1,977
Eskişehir	4938	4881	57	1,167
İstanbul	4404	4384	20	0,456
İzmir	5134	5054	80	1,582
Samsun	4152	4122	30	0,72

Tablo 3’te dikkat edilecek olursa farklı bölgelerde bulunan iller için panel eğim açılarının mevsimlere göre değiştirilmesi gerekirken bazı iller için bu seçenek çok da gerekli görülmemektedir. Bu değişim oranının en fazla olduğu il Adana, en az olduğu il de İstanbul olarak gözükmemektedir.

Bu değerlerle, lokasyona göre güneş enerjisi üretim miktarı fazla olan yerde fazla; az olan yerde az diye bir varsayımda bulunmak da mümkün gözükmemektedir. Çünkü İstanbul’un güneş enerjisi üretimi Samsun’dan fazla olmasına rağmen mevsimsel olarak panel açısının değiştirilmesinden Samsun’dan daha az etkilenmektedir.

Bu sonucu raylı sistemler açısından da değerlendirmek mümkündür. Metro İstanbul'dan alınan verilere göre bir Bombardier aracının 3 setli olarak 19.3 km yolculuğu esnasında yaklaşık 10 kWh (T1:Kabataş-Bağcılar) harcamaktadır. Böylelikle Adana için yıllık ortalama günlük 10,2; Eskişehir için 5,7; İstanbul için 2; İzmir için 8; Samsun için 3 seferin enerji tüketimlerinin sadece panellerin açılarının değiştirilmesi ile gerçekleştirilebileceği bulunmuştur. Bu değerler farklı araç tipleri, yolcu sayısı, güzergahla vs. değişebilir.

5. SONUÇLAR

Önümüzdeki on yıllık süreç, küresel ısınmayı minimum düzeye indirmek adına yoğun çalışmaların yapılacağı önemli bir zaman dilimidir. Çünkü önümüzdeki on yıllık süreçte yapacaklarımız, önümüzdeki yüzyılda küresel ısınmanın 1,5° sınır değerinin üzerine çıkmasını engelleyecektir. Bu sebeple küresel enerji tüketiminin neredeyse %30'luk payına sahip olan ulaştırma sektöründe yapılacak çalışmalar son derece önemlidir. Bu çalışmanın amacı; Raylı sistemlerde güneş enerjisinin önemi ve en verimli şekilde nasıl kullanılabileceğine dikkate çekmektir.

Raylı sistem kullanan beş farklı bölgede 100 kWp'lik bir sistemle yapılan simülasyon sonuçlarında günlük olarak Adana'da 5158, Eskişehir'de 4881, İstanbul'da 4384, İzmir'de 5054 ve Samsun'da 4122 kWh elektrik enerjisi üretimi yapılabileceği bulunmuştur. Bu değerler, 10 kWh enerji tüketen bir tramvay hattı için en az 41,22 en çok 51,58 sefer yapılabileceği anlamına gelmektedir.

Tüm bu değerlere ek olarak mevsimsel olarak panellerin yerleşim açılarının değiştirilmesi ile günlük olarak en az 2, en fazla da 10,2 seferin ekstra olarak gerçekleştirilebileceği bulunmuştur. Sonuç olarak güneş panellerinin kurulumu tüm raylı sistem kullanan illerde gerekli olarak gözükmeyle birlikte panel açılarının değiştirilmesine yapılacak hesaplamalar sonucunda karar verilmesi gerektiği bu çalışmanın önemli çıktılarından biridir.

6. REFERANSLAR

- [1] F. Ahmad, H. Ibrahim, A. Ilinca, S. S. Karganroudi, and M. Issa. 2022. "Energy Efficiency Improvement of Diesel-Electric Trains Using Solar Energy: A Feasibility Study" *Applied Sciences* 12, no. 12: 5869. <https://doi.org/10.3390/app12125869>
- [2] L. Jia, J. Ma, P. Cheng and Y. Liu, "A perspective on solar energy-powered road and rail transportation in China" *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 760-771, Dec. 2020, doi: 10.17775/CSEEJPES.2020.02040.
- [3] C.P. Nazir, "Solar energy for traction of high speed rail transportation: a techno-economic analysis"

Civil Eng. J., 5 (2019), pp. 1566-1576.

[4] Solar power for trains dawns in rainy Belgium, <http://www.reuters.com/article/usbelgium-solar-trains-idUSTRE77B2KD20110812> [ziyaret tarihi: 08.08.2023].

[5] F. Joo, "Solar-powered rail vehicle ready for service" *International Railway Journal*, Simmons-Boardman Publishing Inc., 2013.

[6] M. Trentini, "Photovoltaic systems for railways in Italy", Tenth E.C. Photovoltaic solar energy conference, http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-3622-8_211, 4:826-829, Lisbon, Portugal, 1991.

[7] M. Sertsoz, 2018. "Raylı Sistemlerde Güneş Enerjisi Destekli Yenilikçi Enerji Modellemesi, Optimizasyonu Ve Analizi" Ph.D. thesis, Bilecik Şeyh Edebali University, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Bilecik, Turkey.

[8] M. Fidan and M. Sertsöz, "Determination of Solar Energy Usage Rate, Reliability, and Efficiency for Different Trips of High-Speed Train" *Demiryolu Mühendisliği*, vol. 0, no. 16, pp. 116-127, Jul. 2022, doi:10.47072/demiryolu.1128853

[9] <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>

[10] <https://globalsolaratlas.info/map>

7. ÖZGEÇMİŞ

Dr. Öğr. Üyesi Mine Sertsöz

17 Kasım 1984'de Bilecik'in Pazaryeri ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini Pazaryeri'nde, lise eğitimini Kütahya Fen Lisesi'nde tamamladı. Yüksek öğretiminde; Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinden mezun oldu. Yüksek Lisansını Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde, Doktora eğitimini ise Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde tamamladı. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksek Okulu Raylı Sistemler Elektrik Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmakta ve yine aynı alanda akademik çalışmalarına, projelere devam etmektedir. Evli ve iki çocuk annesidir.

E-Posta: msertsoz@eskisehir.edu.tr

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

UIC406 YÖNTEMİYLE DEMİRYOLU HAT KAPASİTESİ HESABI: MALATYA-NARLI ÖRNEĞİ

Serhan Urhan¹, İsmail Şahin²

¹Eyüpsultan Belediyesi, Nişancı Mah. Eyüpsultan Bulvarı, İstanbul TÜRKİYE
Tel: 538 061 13 26 E-Posta serhan.urhan@gmail.com

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE
Tel: 212 383 51 80 E-Posta sahin@yildiz.edu.tr

Özet- Demiryollarında altyapı ve işletim planlaması, kapasite tüketim düzeyini belirleyen uygulamaları içermelidir. Hizmet kalitesiyle birlikte kapasite tüketim düzeyini artırmak demiryolu yönetimlerinin öncelikli hedefleri arasındadır. Bu çalışmada, ağırlıklı olarak yük trenlerinin işletildiği Malatya-Narlı tek hatlı demiryolunun kapasitesi araştırılmış ve mevcut işletim düzeninde kapasitenin yetersiz olduğu gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Demiryolu ilk yatırım maliyeti yüksek ancak sürdürülebilir bir ulaştırma türüdür. Özellikle altyapı ve taşıt yatırımları nedeniyle demiryollarında ilk yatırım maliyetleri görece yüksektir. Yolcu başına enerji tüketim ve arazi kullanım oranı görece düşük olduğu için, demiryolları sürdürülebilir ulaştırma türü olarak kabul edilir. Bu olumlu ve olumsuz özellikler demiryolu altyapısının verimli kullanılması gereğini işaret etmektedir. Hat kapasitesinin tüketim düzeyi verimlilik ile doğrudan ilgilidir. Demiryollarında altyapı ve işletim planlaması çalışmaları, kapasite tüketim düzeyini belirleyen uygulamaları içermelidir. Hizmet kalitesiyle birlikte kapasite tüketim düzeyini artırmak demiryolu yönetimlerinin öncelikli hedefleri arasındadır. Demiryolu hat kapasitesini belirlemek için bugüne kadar çeşitli yaklaşımlar ortaya konulmuş ve yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemin amacına bağlı olarak sade veya kapsayıcı (karmaşık) uygulamalardan söz edilebilir. Kapasite, deterministik veya stokastik (olasılığa dayalı) yaklaşımlarla modellenebilir. Bu modelleri çözmek için analitik veya parametrik yöntemler yanında optimizasyon veya simülasyon teknikleri de kullanılabilir. Artan trafik talepleriyle birlikte demiryolu altyapı kapasitesinin analizi yeniden güncel bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada, ağırlıklı olarak yük trenlerinin işletildiği Malatya-Narlı tek hatlı demiryolunun kapasitesi araştırılmıştır. Hesaplarda Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından yayımlanan UIC 405R Analitik Yöntem ve bunun geliştirilmiş hali UIC 406 Sıkıştırma Yöntemi kullanılmıştır. Hattın kabul edilebilir bir hizmet seviyesinde işletilebilmesi

amacıyla yapılabilecek iyileştirmeler ve öneriler sunulmuştur.

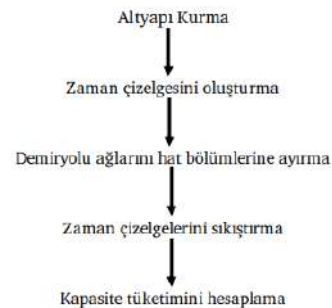
1.1. Kapasite Analizi için Yaklaşımlar

UIC 405R 1979 yılında Uluslararası Demiryolları Birliği tarafından yayımlanmıştır. Bu yöntem 1970’li yıllarda Alman demiryolları için geliştirilmiş analitik bir yaklaşıma dayanmaktadır. Bu yöntem Türkiye’de ilk olarak İstanbul’daki Haydarpaşa-Gebze çift hatlı demiryolunun kapasite hesabında uygulanmıştır [1]. UIC 2000’li yılların başlarında hizmet düzeyi kavramını öne çıkaran UIC 406 “sıkıştırma yöntemi” adı verilen yaklaşımı yayımlamıştır. Bu yaklaşım birçok demiryolları tarafından uygulanmıştır [2].

2. UIC 406 SIKIŞTIRMA YÖNTEMİ

Zaman çizelgesi (orer) sıkıştırma yöntemi, özellikle planlanmış zaman çizelgeleri bulunan koridorlarda kapasite tüketim seviyelerini iyileştirmek için Avrupa’da kullanılan temel analitik yaklaşımlardan biridir [3].

UIC 406 yönteminin genel iş akışı Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. UIC 406 yöntemi genel iş akışı [4]

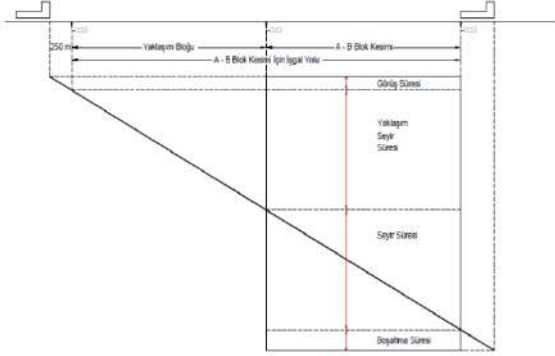
3.3. İşgal Süresi Basamaklarının Analizi

Trafiğin idaresi, CTC (Centralized Traffic Control) sinyalizasyon sistemiyle sağlanan Malatya-Narlı güzergâh kesimindeki bütün sinyaller blok sinyali olarak çalışabilmektedir. Böylece, yoğun olarak işletilen hattaki yük trafiğinin akıcılığını sağlamak sistemin otomatik işletmeye alınmasıyla mümkün olabilmektedir. Buna göre, hesap kesimi Kapıdere-Kumlu istasyonları arasında işletilen model trenlerin blok giriş ve çıkış sinyallerindeki zamanlarına göre işgal süresi basamakları Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur.

Her işgal süresi basamağını oluşturan sürelerin tanımları şöyledir.

Görüş süresi: Yaklaşım blok sinyalinin 250 metre gerisinden başlayıp bu sinyale kadar olan süredir.

Yaklaşım seyir süresi: İşgal merdiveni çizilecek trenin, işgal süresi basamağı oluşturulacak bloktan önceki bloktaki seyir süresi (Yaklaşım bloğu seyir süresi).

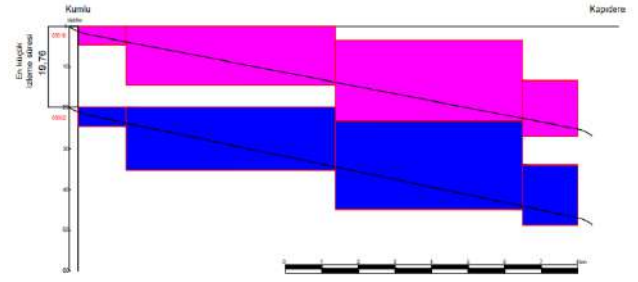


Şekil 2. Otomatik blok sinyal sisteminde bir trenin işgal yolu ve işgal süresi basamağı [1]

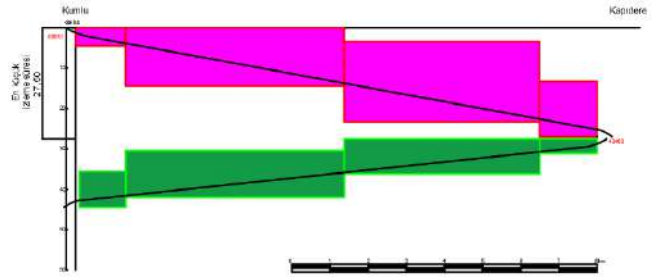
Seyir süresi: İşgal merdiveni çizilecek trenin, işgal süresi basamağı oluşturulacak bloktaki (A-B blok kesimi) seyir süresi.

Boşaltma süresi: İşgal merdiveni çizilecek trenin, uzunluğuna bağlı olarak, işgal süresi basamağı oluşturulacak bloğu terk etme süresi.

Model trenlerin tümü için işgal süresi basamaklarının alt ve üst sınır değerleri hesaplanarak, mevcut bütün izleme durumları için ilgili trenlerin işgal süresi merdivenleri, birbirine değinceye kadar kaydırılmıştır. Her bir izleme durumu için ardışık trenler arasındaki en küçük izleme süresi, önde giden trenin hattı ilk işgal süresi başlangıcından onu izleyen trenin hattı ilk işgal süresinin başlangıcına kadar olan zaman dilimi olarak alınmıştır. Malatya-Narlı güzergahında (Kapıdere-Kumlu kesiminde) hareket eden öncül ve artçıl trenler için işgal süresi merdivenlerinin ve en küçük izleme süresinin gösterimi Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Öncül tren 63610 ile aynı yöndeki artçıl tren 63602 arasındaki izleme durumu



Şekil 4. Öncül tren 63610 ile zıt yöndeki artçıl tren 43403 arasındaki izleme durumu

3.4. Ortalama En Küçük İzleme Süresi Hesabı

Tek hatlı demiryollarının kapasite hesabında ortalama en küçük izleme süresi \bar{z} orerden bağımsız yöntemle göre ağırlıklı ortalamayla hesaplanır. Bu yöntemde model trenler arasındaki tüm izleme durumları diğer bir ifadeyle tüm izleme kombinasyonları dikkate alınır. Hesap, model trenlerin sayıları ve tüm izleme durumları için geçerli en küçük izleme sürelerinden yararlanılarak aşağıdaki gibi yapılır (Tablo 3 ve Denklem 1).

Hesap kesimindeki tren izleme durumlarının ağırlığı, çizelgeden bağımsız yöntem kullanıldığı için, model tren grubundaki tren sayıları çarpılarak elde edilmiş ve en küçük izleme süresi tablosunun (a) satırına işlenmiştir (Tablo 3).

Hesaplanan en küçük izleme süreleri (dakika), tablonun (b) satırına işlenmiştir (Tablo 3).

Sonuç olarak, trenler arasındaki ortalama en küçük izleme süresi, Denklem 1'de 19,03 dakika/tren olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. En küçük izleme süreleri matrisi

		Artçıl Tren						
		63610 KU→KA	63602 KU→KA	43403 KA→KU	53521 KA→KU			
Öncül Tren	63610 KU→KA	12	a	144	132	216	192	684,00
			b	19,89	19,77	27,50	27,50	
			c	2864,16	2609,64	5940,00	5280,00	16693,80
	63602 KU→KA	11	a	132	121	198	176	627,00
			b	21,71	21,59	29,50	29,50	
			c	2865,72	2612,39	5841	5192	16511,11
	43403 KA→KU	18	a	216	198	324	288	1026,00
			b	17,50	17,50	11,48	11,33	
			c	3780	3465	3719,52	3263,04	14227,56
	53521 KA→KU	16	a	192	176	288	256	912,00
			b	19,50	19,50	13,35	13,19	
			c	3744,00	3432,00	3844,8	3376,64	14397,44

$$\bar{z} = \frac{\sum(c)}{\sum a} = \frac{\sum(Z_{ij} * n_i * n_j)}{\sum n_i * n_j} \quad (1)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum(c)}{\sum a} = \frac{55460,88}{2916j} = 19,03 \text{ dak/tren}$$

3.5. Kapasite Tüketiminin Hesaplanması

Kapasite tüketim değerleri, işletmenin kabul edilebilir kalite sınır koşullarını tanımlamak ve kötüleşen işletim kalitesini iyileştirmek amacıyla karar vermek için bir gösterge olarak kullanılabilir.

Kapıdere-Kumlu arasında (hesap kesimi), 24 saat (1440 dak) boyunca iki yönde işletilen 57 adet trenin işgal süresi basamakları sıkıştırılmış ve minimum işgal süresi 1052,78 dak. ($\approx 17,55$ saat) bulunmuştur. Buna göre işgal süresi oranı %73 olarak hesaplanmıştır (Denklem 2).

$$\text{İşgal süresi oranı (\%)} = \frac{\text{İşgal süresi}}{\text{İşletme süresi}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{İşgal süresi oranı (\%)} = \frac{1052,78}{1440} * 100 = 73 (\%)$$

UIC 406 belgesinde karma nitelikteki bir hat için gün boyunca referans işgal süresi oranı %60 olarak verilmiştir [5]. Buna göre, hattın işgal oranı önerilen orandan büyük olduğu için kapasite aşımı vardır.

Tampon süre için kalan toplam süre 387,22 dak ($\approx 6,45$ saat) olarak hesaplanmıştır. Kalan süre işletilen tren sayısına bölünerek trenlerin arasındaki ortalama tampon sürenin büyüklüğü tahmin edilmektedir. Buna göre, gecikme aktarımının kısmen veya tamamen önlenmesi amacıyla, trenler arasında bırakılabilecek ek süre en çok 6,79 dakikadır. Bu sürenin yeterli olup olmadığı da önerilen UIC oranı kullanılarak değerlendirilebilir.

Hat içerisinde kabul edilebilir bir hizmet kalitesine ulaşmak için işgal süresine eklenecek ek sürenin aşağıdaki denklem ile hesaplanması gerekmektedir (Denklem 3) [5].

$$\text{Ek süre oranı} = [(100/\text{işgal süresi}) - 1] * 100 \quad (3)$$

$$\text{Ek süre oranı} = [(100/73) - 1] * 100 = \%37$$

Kabul edilebilir bir hizmet kalitesine ulaşmak için işgal süresine eklenecek ek süre oranının tavsiye edilen değeri ise karma nitelikteki bir hat için gün boyunca %67 olmaktadır [5]. Hesaplanan %37 ek süre oranı önerilen %67'den küçük olduğundan, mevcut işgal oranıyla, beklenen hizmet kalitesi için gecikme aktarımlarını sınırlayabilecek yeterli düzeyde ek süre kullanılması mümkün görünmemektedir. Diğer bir deyimle, UIC, trenlerin arasında en az ortalama izleme süresinin %67'si kadar, yani 12,74 dakika ek süre kullanılmasını önermektedir. Halbuki, kullanılabilecek ek süre yukarıda hesaplandığı gibi 6,79 dakikadır.

Kapasite tüketimi (%), tanımlanan demiryolu hat kesimlerinin altyapı ve işletim özelliklerini yansıtmaktadır. Kapasite tüketimi, aynı zamanda, temel kapasite kavramını yansıtır ve bu nedenle darboğazları belirlemek için kullanılır. Buradan hareketle, kapasite tüketim oranı (KTO) Denklem 4'e göre değerlendirilir [6].

$$\text{KTO} = \frac{\text{İşgal Süresi} * (1 + \text{Ek süre oranı})}{\text{Hattın işletme süresi}} * 100 \quad (4)$$

$$\text{KTO (\%)} = \frac{1052,78 * (1 + 0,67)}{1440} * 100 = 122 (\%)$$

Buna göre, hizmeti kaliteli sunabilmek için UIC tarafından önerilen ek süre oranı dikkate alınır, mevcut koşullarda kapasite tüketim oranı %100'ün üzerine çıkmakta ve %122 olmaktadır. Öyleyse, Kapıdere ve Kumlu arasındaki kesim Malatya-Narlı arasındaki demiryolu hattı için bir "darboğaz" oluşturmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malatya-Narlı hattında işletilen trenlere ilişkin gecikme analizinde (bu çalışmada sunulmadı), trenlerin neredeyse çizelgeden bağımsız şekilde hareket ettikleri görülmektedir. Bunun en önemli sebebi hat boyunca seyreden trenlerin çoğunun yük treni olması ve bu trenlerin planlanan zamanlara uymamasıdır. Bu durum da hat kapasitesinin verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır.

Kabul edilebilir hizmet kalitesi, %100'e kadar olan kapasite tüketim değerleri ile temsil edilmektedir. %100'ün ötesindeki kapasite tüketim değerleri bir darboğazı temsil etmektedir. Bu durum, düşük hizmet kalitesi sunumu anlamına geldiğinden, zaman çizelgesine (tren performansı ve kompozisyonu) ve altyapıya (hat, sayding ve sinyalizasyon sistemi) yönelik iyileştirme önlemlerine başvurulmalıdır.

Ulaştırma yapılarında gecikme aktarımını sınırlamak için yolların kapasitelerinin altında çalıştırılmaları gerekir.

Malatya-Narlı hattı ise hat kapasitesinin üzerinde bir tüketime (%122) sahiptir.

Bu durumda hattın kabul edilebilir bir hizmet düzeyinde çalışması için birtakım iyileştirmeler gerekmektedir.

Bu iyileştirmelerin ilki çizelgeye uygun bir işletimin benimsenmesidir. Bu sürecin iyi yönetilmesi hattın verimli kullanımını bakımından önemlidir.

Bunun haricinde sinyalizasyonla ilgili iyileştirmeler yapılabilir. Blok uzunlukları kısaltılarak veya tren hızları artırılarak kullanılan kapasite artırılabilir.

Bir diğer iyileştirme seçeneği hat sayısının artırılmasıdır. Bu seçenek, diğerlerine göre daha büyük kapasite artışı sağlayabilmektedir.

Kapasite artırmak amacıyla belirlenen seçeneklerin biri veya birkaçı için fayda-maliyet analizi ile değerlendirme yapmak uygun bir yaklaşım olacaktır.

5. REFERANSLAR

- [1] Şahin, İ. (1987). Bir Demiryolu Güzergahının Hat Kapasitesinin Deterministik Yöntemle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi. <http://yordam.ktp.yildiz.edu.tr/tezpdf/0010307.pdf> adresinden alındı.
- [2] Landex, A., Kaas, A., Schittenhelm, B., Schneider-Tilli, J. (2006). "Evaluation of Railway Capacity." Annual Transport Conference at Aalborg University.
- [3] Pouryousef, H., Lautala, P., & White, T. (2015). Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. Journal of Modern Transportation, 30-42. doi:<https://doi.org/10.1007/s40534-015-0069-z>
- [4] Landex, A. (2008). Methods to estimate railway capacity and passenger delays. Doktora Tezi. Technical University of Denmark.
- [5] UIC. (2013, Haziran). UIC Code 406. Capacity Brochure. International Union of Railways.
- [6] Černá, L., Eupták, V., Šulko, P., & Blaho, P. (2018). Capacity of Main Railway Lines – Analysis of Methodologies for its Calculation. Naše More", 4(64), 213:217. doi:10.17818/NM/2018/4SI.9.

6. ÖZGEÇMİŞ

Serhan Urhan, 13.07.1993 tarihinde Niğde’de doğdu. Lisans eğitimini Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. Yüksek Lisans eğitimine Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Ulaştırma Programında halen devam etmektedir. Halen Eyüpsultan Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde mühendis kadrosunda çalışmaktadır.

İsmail Şahin, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesidir. Halen Ulaştırma lisansüstü programlarının yürütücülüğünü yapmaktadır. Ulaştırma sistemlerinin planlama ve işletim sorunları ile ilgilenmektedir. İMO Sicil Numarası :73804

**Y32 BOJİSİNE ETKİ EDEN GERİLMELERİN DENEYSEL VE SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**Gülüstan Tuğçe Alvalı^{*1} , Abdulkadir Orak² , M. Hüseyin Çetin³ ¹ Anova Ar-Ge Teknolojileri San. ve Tic. Aş., Ankara, Türkiye, tugcealvali@gmail.com² Yalova.Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye,
abdulkadir.orak@yalova.edu.tr³ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Konya, Türkiye, mhcetin@ktun.edu.tr

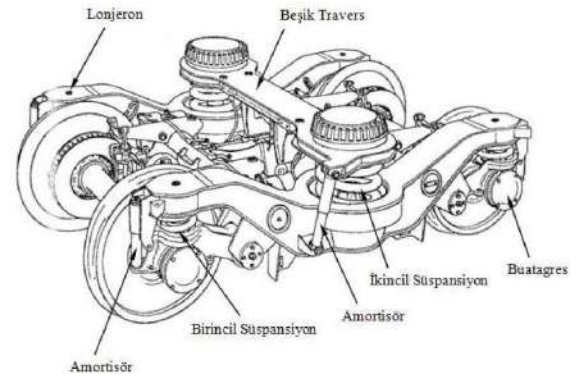
Özet- Son yıllarda demiryolu ulaşımında araç seyahat güvenliği ile yolcu konforunun sağlanması ve geliştirilmesi üzerine çalışmalar artmaktadır. Bu çalışmada, demiryolu araçlarının konforlu ve güvenli seyahatini sağlamak için kullanılan en önemli komponentlerden biri olan boji üzerindeki gerilmeler incelenmiştir. Yolcu vagonlarında en çok tercih edilen Y32 bojisinde meydana gelen gerilmeler, hem 1/5 ölçekli deney ünitesi üzerine yerleştirilen sensörler hem de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deney test ünitesi üzerinde belirlenen üç bölgeye bağlanan gerinim ölçer sensörleri ile gerinim değerleri elde edilmiş ve bu değerlere bağlı olarak gerilim değerleri hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi için SolidWorks programında çizimi yapılan boji, ANSYS programına aktarılmış ve analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel sonuçlar arasında ortalama %4 fark olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Y32 boji, Gerilme, Deneysel ölçüm, Sonlu elemanlar yöntemi

1. GİRİŞ

Demiryolu araçlarının yürüyen aksamını oluşturan ve vagon ile tekerlek arasındaki bağlantıyı sağlayan makine ekipmanına boji denir. Bojilerin görevi vagon ile tekerlek arasındaki bağlantıyı sağlamanın yanı sıra vagonun aktarılan yükleri güvenli bir şekilde taşımaktır. Raylı sistem araçlarının güvenliği kullanılan bojiye bağlıdır. Bojilerin güvenliği ise, öncelikli olarak raylı sistem aracının taşıdığı yük miktarına; ikinci olarak da raylı sistem taşıtlarının kullandıkları yol geometrisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dünyada genel olarak yolcu vagonlarında Y32 bojisi, yük vagonlarında ise Y25 bojisi kullanılmaktadır.

Y32 bojisi Y25 bojisine göre ekstra ekipmanlara sahip olduğundan dolayı yolcu vagonlarındaki konforu sağlamak amacıyla Y32 bojileri tercih edilmektedir. Y32 yolcu vagonu bojisinde, Y25 yük vagonu bojisinde bulunan birincil süspansiyon sistemleri, akslar ve fren mekanizması ekipmanlarının yanı sıra ikincil süspansiyon sistemleri de bulunmaktadır (Şekil 1). Vagon ve boji şasisi arasındaki bağlantıyı sağlayan ikincil süspansiyon sistemleri bojiden gelen kuvvetlerin ve bu kuvvetlere bağlı olarak oluşan titreşimin ilk sönümlendiği bölümdür. Bu sebeple ikincil süspansiyon sistemlerinde kullanılan yaylar hem yolcu konforu hem de sürüş konforu açısından kritik öneme sahiptir [1].



Şekil 1. Y32 yolcu vagon bojisi [2]

Özsoy [2] yüksek lisans tez çalışmasında Y32 bojisinin statik ve dinamik davranışlarını incelemiştir. CAD programı ile tasarımını gerçekleştirdiği Y32 bojisine UIC 515-4 standardına göre etki edecek en ağır kuvvetleri uygulamıştır. İlk olarak ANSYS programı yardımı ile statik analizleri gerçekleştirilen bojinin dinamik davranışını incelemek için ise serbest halde model analizini yapmıştır. Her iki durumda da Y32 bojisinin güvenli aralıkta olduğu sonucuna varmıştır. Mızrak ve Esen [3] farklı ivmelenme

değerlerine bağlı olarak titreşim değerlerindeki değişimi simülasyon programı ile analiz etmişlerdir. Çalışma kapsamında 1/5 ölçekli dinamik test ünitesinin titreşim analizi için üç farklı ivme değerinde (10 rad/s^2 , 15 rad/s^2 , 20 rad/s^2) birincil ve ikincil süspansiyonlara etki eden titreşim grafikleri elde edilmiş ve genlik değerlerindeki değişim araştırılmıştır. Ek olarak 120 m/s ve 150 m/s hız değerleri için farklı ivme değerlerinde titreşim genliklerinin değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre hız arttıkça titreşim genliğinin arttığı ve bu durumun ulaşım verimliliğine etki eden parametreleri olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Arisoy vd. [4] tarafından yapılan çalışmada ise, Y32 bojisinin statik analizi ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Statik analiz neticesinde bojide maksimum gerilmenin 105 MPa değerinde olduğu görülmüştür. Kim ve Yoon [5] tarafından yapılan çalışmada ise, kompozit bir boji şasisinin yapısal güvenliği statik test ve nümerik analiz ile araştırılmıştır. Kirişlerin bağlantı bölgelerine etki eden dikey ve torsiyon yüklerinin gerilim ve gerinim dağılımına etkisi sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Goodman diyagram yöntemi kullanılarak yapılan yapısal güvenlik analiz sonuçlarına göre, boji çerçevesinin mukavemet açısından güvenli bölgede olduğu tespit edilmiştir. Guo vd. [6] bojide oluşan iç kuvvetlerin boji iskeletinin servis ömrüne etkisini nümerik ve deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma kapsamında yüksek hızlı boji için burulma-titreşim modeli oluşturulmuş ve doğrusal olmayan iç uyarım kuvvetinin etkisi analiz edilmiştir. Deneysel analiz için iç uyarım kuvvetinin uygulandığı ve uygulanmadığı koşullarda dikey-yanal yük ve ivme grafikleri elde edilmiş ve yorulma deneyleri ile servis ömrü belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel analizin yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi ile kümülatif hasar analizi gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçlara göre iç uyarım kuvvetinin uygulandığı ve uygulanmadığı koşullar için kümülatif hasar değeri sırasıyla 0,86 ve 0,44, yorulma ömrü 12,6 milyon km ve 24,5 milyon km olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, iç uyarım kuvvetinin servis ömrüne önemli oranda etki ettiğini ve yapılan analizlerde bu kuvvetin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Gerinim, malzemenin bir özelliğidir ve malzemenin yük altındayken içerisinde biriktirdiği enerji yoğunluğunu temsil etmektedir. Genel olarak bir cismin gerilimsiz uzunluğunun, gerilimli uzunluğuna oranı ile hesaplanmaktadır. Bir malzemenin gerinimi gerinim ölçer (strain gauge) sensörleri ile ölçülmektedir. Gerinim ölçer sensörlerindeki dirençte meydana gelen değişikliklerin ölçülmesi ile gerilim değeri hesaplanmaktadır. Xiu vd. [7] demiryolu araçlarının

boji iskeletinin yorulma ömrü analiz yöntemlerini literatür çalışmalarından yararlanarak araştırmışlardır. Literatür çalışmalarının incelenmesi sonucunda belirlenen yöntemler ölçüm ve simülasyon ile elde edilmesine göre kategorize edilmiştir. Ölçüm yöntemlerinde çekiş ve fren kuvveti değerleri dikkate alınarak yorulma ömrünün belirlenebildiği fakat çatlak yayılımının belirlenemediği, uzun bir süreç gerektirdiği ve maliyetinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Simülasyon yönteminde ise çekiş ve fren kuvvetlerinin dikkate alınmaması sebebiyle eksikliklerin olduğu ve bu durumun araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Leite vd. [8] tekerleklerin sabitlendiği bir lokomotif bojisi üzerinde simülasyon programının güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada karmaşık sistem davranışlarını simüle edebilen Ayrık Olay Simülasyonu (Discrete Event Simulation) yöntemi kullanılmıştır. Farklı durumlarda dingil kutusu, boji şasisi, fren, cer motoru, süspansiyon ve tekerlek takımı için simülasyon programından elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuç olarak, bu modelleme yöntemi ile trenin yürüyen aksamı için farklı durumlarda güvenilir sonuçlar elde edilebildiği belirlenmiştir. Bougherara vd. [9] iki farklı (modüler ve monoblok) kalça implantını mekanik açıdan nicel olarak incelemişlerdir. Monoblok modele 700 N ve 2000 N, modüler modele 2000 N aksel yük uygulanmış ve mekanik performansı sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin güvenilirliğinin analizi için her iki implantın sertlik, gerilim ve gerinim değerleri elde edilmiş, mekanik testlerden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yönteminin sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre modüler tasarımın monoblok tasarıma kıyasla 3 ile 4,5 kat arasında daha sert olduğu, her iki tasarımın da 2000 N'lük yükü güvenilir şekilde taşıyabildiği belirlenmiştir. Deneysel sonuçlarla sonlu elemanlar modelinden elde edilen sonuçların uyumluluk gösterdiği ve sonuçlar arasında ortalama yaklaşık %3 oranında farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Cardoso vd. [10] 2015 yılında yaptıkları çalışmada ise, gerinim ölçer ve sonlu eleman analizlerini kullanarak üç farklı malzemedeki yapılmış abutmentler ile implantların etrafında oluşan stres iletimini karşılaştırmışlardır. Gerinim ölçer ve sonlu eleman analizleri ile belirlenen stres dağılımları arasında hiçbir fark görülmediği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Y32 bojisinin statik yükler altında oluşan gerilme değerleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bir boji simülatörü üzerinden gerçek gerilmelerin belirlenmesi ve bu değerlerin sonlu elemanlar yöntemi ile doğrulanması, literatür için tektir. Boji şasisine uygulanan yükler sonucu oluşan gerilme değerleri, ölçülen gerinim değerlerine bağlı olarak hesaplanmış ve sonuçlar nümerik analiz

sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Oluşturulan test düzeneğinin doğruluğu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışma, masif yükler altında çalışan boji'lere etkiyen gerilmelerin belirlenmesi ve kritik parçaların bilgisayar ortamında güvenilir bir şekilde tespit edilebilmesi için önem taşımaktadır.

2. METOT

2.1. Y32 bojisi üzerinde oluşan gerilmelerin ölçümü

Deney, Y32 bojisinin 1/5 oranında küçültülmüş dinamik test ünitesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu test ünitesine tahrik sistemleri ve hareketli yük model ünitesi de montaj edilmiştir. Sistem 1 kW'lık motorla tahrik edilmekte ve sürücü kontrolü ile devir sayısı ayarlanabilmektedir. Çalışma kapsamında statik koşulda analiz gerçekleştirildiği için sistem kapalı konumda tutulmuş, sadece bojinin üstündeki taşıyıcı kirişe ağırlık uygulanmıştır.

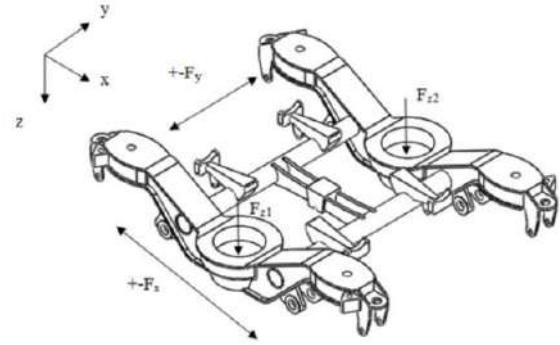


Şekil 2. Y32 bojisi deney düzeneği

Y32 bojisinin deneysel analizleri gerinim ölçerler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Gerinim değerlerinin belirlenebilmesi için öncelikli olarak boji üzerinde ölçümlerin yapılacağı yerler belirlenmiştir. Boji gövdesini oluşturan taşıyıcı kiriş üzerindeki üç farklı noktada ölçüm yapılmıştır. Yükün uygulandığı noktadan yataklamının yapıldığı noktaya kadar olan mesafedeki üç nokta seçilerek kiriş mesafesince analiz gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Simetrik model kullanıldığı için kirişin yarı bölgesinde analizler gerçekleştirilmiştir. Dumitriu vd. [11] dikey titreşimler ve hız parametrelerinin aks ve boji şasisindeki ivmelenmeye etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Üç farklı frenleme hızında (35 km/h, 70 km/h ve 100 km/h) gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen ivme değerlerini sabit hızda (137 km/h) elde edilen ivme değerleriyle kıyaslayarak analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre sabit hızda akstaki ivmenin boji

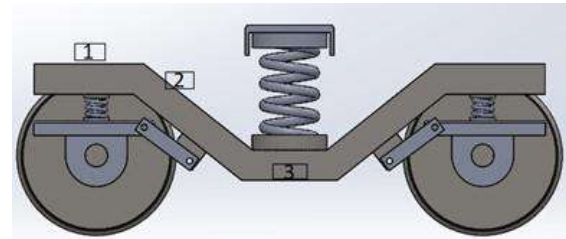
şasisindeki ivmenin yaklaşık iki katı olduğu, yüksek frenleme hızlarında boji şasisindeki ivmelenmenin aksın ivmelenmesi kıyaslanabilir seviyede olduğu, düşük frenleme hızlarında ise sabit hızlarda elde edilen ivme değerlerine yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen ivme değerlerinin tekerleklerin yuvarlanma yüzeylerine etkisi görsel olarak analiz edilmiş, dalgalı aşınma ve eksantriklik kusurları oluştuğu belirlenmiştir.

Bir boji seyir halindeyken raylarda oluşan bozulmalardan, aracın içindeki tonaj miktarından ve yoldaki eğimlerden dolayı hem statik hem de dinamik kuvvetlere maruz kalır [12]. Bojiye etkiyen bu kuvvetler Şekil 3'te gösterilmiştir.

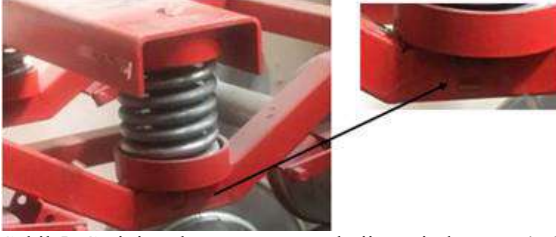


Şekil 3. Boji üzerinde oluşan statik ve dinamik kuvvetler [12]

Şekil 4'te Y32 bojisinde gerinim ölçerlerin yapıştırıldığı bölgeler çizim üzerinde gösterilmiştir. Gerinim ölçerlerin yapıştırıldığı bölgenin orta noktası kalem ile işaretlenmiş ve yüzeydeki pürüzler ince zımpara taşı ve zımpara kâğıdı ile giderilmiştir. Zımpara işleminden sonra gazlı bez ile yüzeydeki tortular temizlenmiştir. Gerinim ölçer sensörlerinin yapıştırıldığı bölgelerden 3 numaralı bölge Şekil 5'te gösterilmiştir. Gerinim ölçer sensörleri bant ile belirlenen yüzeye yapıştırılmıştır (Şekil 6). Yapıştırma işleminden sonra üç telli kablo ile çeyrek konfigürasyon modeli oluşturulmuştur. Bir ayağa kırmızı tel, diğer ayaklara ise birleştirilmiş siyah ve beyaz tel gelecek şekilde lehimleme işlemi yapılmıştır. Lehimleme işleminden sonra her kablo çiftinin ucundan direnç ölçümü yapılarak deney sistemi kontrol edilmiştir.



Şekil 4. Y32 bojisine yapıştırılan gerinim ölçerlerin yerleri



Şekil 5. Gerinim ölçer sensörünün boji üzerinde gösterimi (3 numaralı nokta)



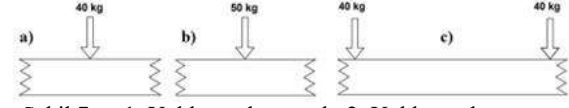
Şekil 6. Gerinim ölçer sensörünün tel ile birleştirilmesi

Sun vd. [13] metro araçlarında boji iskeletlerinde yorulma kırılmasını deneysel olarak ve sonlu elemanlar analizi ile araştırmışlardır. Çalışmada deneysel analiz için boji iskeleti dinamik gerilme, titreşim geçirgenlik testlerine tabi tutulmuş ve tekerlek yuvarlaklığı ölçülmüş, simülasyon analizi için ise boji iskeletinin esnekliği ve tekerlek-ray temasının doğrusal olmama durumunu dikkate alarak çok gövdeli sistem modeli oluşturulmuştur. Uygulamalı testler ve çok gövdeli sistem modeli ile hız ve titreşim değişimine bağlı olarak gerilme değişiminin analiz edildiği grafikler elde edilmiş, deneysel ve simülasyon analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre simülasyon ve deney sonuçlarının uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir.

Gerinim ölçümlerinin yapılabilmesi için öncelikli olarak malzeme özellikleri ve sensörler sisteme tanıtılmıştır. Gerinim ölçerler yardımı ile alınan direnç değişimi veri toplama cihazına aktarılmıştır. Y32 bojisine 3 farklı değerde kuvvet uygulanmış (40 kg, 50 kg, 40+40 kg) ve 3 numaralı gerinim ölçer için 3 farklı uzama verisi elde edilmiştir. Farklı yükleme durumlarını gösteren şematik çizimler Şekil 7'de verilmiştir. Cihazın ölçtüğü maksimum değer Hooke (Eşitlik 1) formülü üzerinden gerilim değerine dönüştürülerek parçada yük altında meydana gelen gerilme değeri belirlenmiştir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Denklemden ifade edilen E değeri malzemenin elastisite modülünü, ε ifadesi birim uzamayı ve σ ifadesi ise gerilme değerini ifade etmektedir.



Şekil 7. a. 1. Yükleme durumu b. 2. Yükleme durumu c. 3. Yükleme durumu

2.2. Y32 bojisinin nümerik analizinin yapılması

Suresh vd. [14] FIAT yolcu vagonu bojisinin titreşim modlarına bağlı olarak doğal frekansını simülasyon yöntemi ile araştırmışlardır. Solidworks programı ile geometrik tasarımı yapılan boji serbest titreşim etkisindeki birincil ve ikincil süspansiyonlar, yay, amortisör elemanlarının ANSYS programında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen değerlerin literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu ve konfor açısından demiryolu standartlarında belirlenen aralıkta olduğu sonucuna varılmıştır. Pehlivan [15] yüksek maliyetli olan, raylı sistem araçlarının dinamik test sistemlerinin elektrik-mekanik analogi metoduyla simüle edilmesi üzerinde çalışmıştır. Çalışma kapsamında kütle-yay-damper sistemi, pasif süspansiyon sistemi ve farklı serbestlik dereceli raylı araç modellerinin titreşimi mekanik eşdeğer elektrik devreleri oluşturularak deneysel olarak analiz edilmiştir. Deneysel çalışmaların yanı sıra transfer fonksiyonu ve MATLAB-Simulink programı ile matematiksel model elde edilmiştir. Deneysel ve simülasyon programından elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre deneysel sonuçlar, transfer fonksiyonu ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Konez vd. [16] Y32 yolcu vagonu bojisinin statik kuvvet etkisindeki mekanik performansını simülasyon programı ile analiz etmişlerdir. Statik analiz için Solidworks programında katı modellemesi gerçekleştirilen Y32 bojisi, TS EN 13749 standardında belirtilen sınır koşullar dikkate alınarak aşırı yükleme koşullarında ANSYS programı ile yapısal analize tabi tutulmuştur. Analiz, farklı aşırı yükleme koşullarında maksimum eşdeğer gerilme değerlerinin elde edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları gerilme değerleri ve deformasyonların belirlenmesi için elde edilen görsellerin analizi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar TS EN 13749 standardı ile kıyaslanmıştır. Orta kirişe etki eden gerilme değerinin (360 MPa) standartta belirtilen akma dayanımı (325 MPa) değerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun plastik deformasyona sebebiyet vereceği öngörüldüğü için çözüm olarak plaka kalınlığı artırılarak kirişe etki eden gerilme değeri (250 MPa) azaltılmıştır.

Y32 bojisinin nümerik analizinin yapılabilmesi için ilk olarak bojinin tasarımı yapılmıştır. Y32 bojisinin tasarımı SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Tasarımı yapılan Y32 bojisi analiz işlemlerinin yapılabilmesi için ANSYS sonlu elemanlar programına aktarılmıştır (Şekil 8). Analiz işlemlerine başlamadan önce ilk olarak Y32 bojisinde kullanılan malzeme tipi ANSYS programında tanımlanmıştır. Boji malzemesinde UIC standartlarına uygun olarak orta karbonlu çelik malzemeler kullanılmaktadır [17]. Bu çalışmada Y32 boji malzemesi olarak St52 çelik malzemesi tercih edilmiştir. Belirlenen boji malzemesi ve süspansiyonlar için yay katsayısı değerleri ANSYS sonlu elemanlar programına tanımlanmıştır. Birincil ve ikincil süspansiyonlar için belirlenen yay katsayısı değerleri Tablo 1’de verilmiştir. [1]. Modelin mesh örgüsü yapılmış ve gerilme değerleri maksimum eşdeğer gerilme (von-Misses) hipotezine göre belirlenmiştir. Analizin güvenilirliğini arttırabilmek için yoğun ağ örgüsü tercih edilmiştir (47344 eleman için 100788 ağ örgü noktası). Y32 bojisinin meshli görüntüsü Şekil 8’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Süspansiyon yay katsayısı değerleri [1]

Parametreler	Değerler
Birincil süspansiyon dikey eksen direngenlik (MN/m)	0,8
İkincil süspansiyon dikey eksen direngenlik (MN/m)	0,4
Birincil süspansiyon sönüm (kNs/m)	0,16
İkincil süspansiyon sönüm (kNs/m)	0,64



Şekil 8. Y32 bojisinin meshli görüntüsü

Mesh işlemi tamamlandıktan sonra Y32 bojisi tekerlek bölgelerinden sabitlenmiş ve 3 farklı durum için kuvvet uygulanmıştır. 3 numaralı gerinim ölçer sensörünün bulunduğu noktada kuvvete bağlı oluşan simülasyon görüntüleri üç farklı durum için Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil 9.a’da oluşan pozisyon değişimi ihmal edilebilir seviyededir. Yükün artırılmasına ve yük pozisyonunun değiştirilmesine göre beşik traversinde oluşan şekil değişimleri Şekil 9.b (50 kg

yüklemeye) 9.c’de (40+40 kg yüklemeye) gösterilmiştir. Elde edilen gerilme değerleri Tablo 2’de verilmiştir. 1 ve 2 numaralı (Şekil 4) noktalarda oluşan gerilme değerleri 3 numaralı noktada oluşan gerilme değerlerinden düşük çıktığı için bu noktalar hem sayısal hem de deneysel analizlerde dikkate alınmamıştır.



Şekil 9. Kuvvetin etki ettiği bölgeler a. Birinci durum (40 kg) b. İkinci durum (50 kg) c. Üçüncü durum (40+40 kg)

Tablo 2. Analiz sonuçları

Analiz sırası	Analiz değerleri (MPa)
1	0,6486
2	0,9596
3	0,8446

3. BULGULAR

Nümerik ve deneysel analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Nümerik analiz ile deneysel analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması

Deney Numarası	Nümerik Sonuçlar	Deneysel Sonuçlar	% Fark
1	0,63 MPa	0,6486 MPa	1,86
2	1,05 MPa	0,9596 MPa	9,04
3	0,84 MPa	0,8446 MPa	0,46

Demiryolu araçlarında kullanılan Y32 bojisinde oluşan gerilmeler 1/5 ölçekli dinamik test ünitesinden ve sonlu elemanlar modelinden elde edilerek karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, dinamik test ünitesinde yapılan deneysel analiz sonuçları ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen nümerik analiz sonuçlarının birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Analiz sonuçlarının birebir aynı çıkmaması, sonlu elemanlar yönteminde oluşturulan mesh örgüsünden kaynaklanmaktadır. Özel ve bölgesel mesh atama işlemi yapıldığında nümerik analiz sonuçlarıyla dinamik test ünitesinden alınacak sonuçların arasındaki farkın daha az olacağı düşünülmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile boji üzerinde meydana gelen gerilmelerin doğru bir şekilde hesaplanabileceği tespit edilmiştir. Gerçek bir boji sistemi için de sonlu elemanlar yöntemiyle gerçek sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Gerçek bir bojinin bu çalışmada kullanılmamasının sebebi, gerinim ölçer sensörlerinin çok hassas parçalar olmasından

dolayı gerçek yükleme şartlarında kullanılabilirliklerinin mümkün olmamasıdır. Kullanılsa bile bojinin çalışma süresince oluşacak aşırı gürültü faktörleri sebebiyle verilerin güvenilirliği azalacaktır. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçların deneysel olarak yapılan çalışmalarla eş değer sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Y32 bojisine etkiyen gerilmeler deneysel ve sonlu elemanlar analiziyle tespit edilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Bojinin üç kritik bölgesinden ölçüm yapılmıştır. Maksimum gerilmeler taşıyıcı kirişin orta noktasında olduğu için gerilme analizlerinde orta nokta dikkate alınmıştır.
- Kirişin orta bölümünde maksimum gerilme nümerik olarak 1,05 MPa, deneysel olarak 0,96 MPa olarak elde edilmiştir.
- Gerçek ölçüm sonuçları ile sonlu elemanlar analizi sonuçları arasında maksimum %9,04 fark olduğu görülmüştür.

Analiz sonuçlarına göre sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumluluk gösterdiği ve boji üzerinde oluşan gerilmeler için simülasyon yöntemi ile güvenilir sonuçlar elde edilebildiği belirlenmiştir.

5. REFERANSLAR

[1] C. Mızrak, "Orta hızlı çalışan raylı sistem bojilerinin titreşimlerinin modellenmesi ve optimizasyonu", Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2015.
 [2] M. İ. Özsoy, "Y32 bojisinin bilgisayar destekli statik ve dinamik analizi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2008.
 [3] C. Mızrak ve İ. Esen, "1/5 Ölçekli boji dinamik test ünitesi ile farklı ivmelenme değerlerinde düşey titreşim analizi", ISERSE'13 2nd International Symposium on Railway Systems Engineering, (pp. 277-283), Türkiye, (Ekim 2013).
 [4] D. O. Arisoy, O. Ahan, K. Müderrisoğlu ve M. Bayraktar, "Static and dynamic analysis of railway wagon trailer bogie in computer environment", 1. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWRSE'12), 11-13 Ekim 2012, Karabük, Türkiye.

[5] J. S. Kim ve H. J. Yoon, "Structural behaviors of a GFRP composite bogie frame for urban subway trains under critical load conditions", *Procedia Engineering*, 2011, c. 10, ss. 2375-2380. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.391.
 [6] F. Guo, S. C. Wu, J. X. Liu, W. Zhang, Q. B. Qin, ve Y. Yao, "Fatigue life assessment of bogie frames in high-speed railway vehicles considering gear meshing", *Int J Fatigue*, c. 132, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.105353.
 [7] R. Xiu, M. Spiryagin, Q. Wu, S. Yang ve Y. Liu, "Fatigue life assessment methods for railway vehicle bogie frames", *Engineering Failure Analysis*, c. 116. Elsevier Ltd, Eki. 01, 2020. doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104725.
 [8] M. Leite, M. A. Costa, T. Alves, V. Infante, ve A. R. Andrade, "Reliability and availability assessment of railway locomotive bogies under correlated failures", *Eng Fail Anal*, c. 135, May. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106104.
 [9] H. Bougherara vd., "A biomechanical assessment of modular and monoblock revision hip implants using FE analysis and strain gage measurements", *J Orthop Surg Res*, c. 5, s. 34, 2010.
 [10] M. Cardoso, P. H. Corazza, C. A. de Assis Claro, A. L. S. Borges, M. A. Bottino, ve L. Nogueira, "Stress distribution around implants with abutments of different materials: A comparison of photoelastic, strain gage and finite element analyses", *Revista Odonto Ciencia*, c. 30, sy 4, ss. 132-137, 2015, doi: 10.15448/1980-6523.2015.4.14816.
 [11] M. Dumitriu, M. A. Ghei, ve I. C. Cruceanu, "Experimental analysis of the vertical vibration of the railway bogie during braking", *Procedia Manufacturing*, 2020, c. 46, ss. 49-54. doi: 10.1016/j.promfg.2020.03.009.
 [12] İ. Esen ve C. Mızrak, "Y32 boji gövdesinin statik ve dinamik yükleme analizleri", *Technology*, 14(4), 123-128, (2011).
 [13] Y. Sun, L. Wei, C. Liu, H. Dai, S. Qu, ve W. Zhao, "Dynamic stress analysis of a metro bogie due to wheel out-of-roundness based on multibody dynamics algorithm", *Eng Fail Anal*, c. 134, Nis. 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106051.
 [14] B. S. Suresh, C. Prithvi, ve S. Ramachandracharya, "Modal analysis of FIAT Bogie of LHB railway coach", *Materials Today: Proceedings*, Oca. 2020, c. 27, ss. 1889-1893. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.817.
 [15] F. Pehlivan, "Raylı sistem araçlarının titreşimlerinin elektrik-mekanik analoji ile modellenmesi ve simülasyonu", Doktora Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2020.
 [16] O. Konez, M. Metin ve Ö. Demir, "Y32 Bojisinin Yapısal Analizleri, Bölüm 1: Statik Analizler", *European Journal of Science and Technology*, ss. 366-387, Ara. 2019, doi: 10.31590/ejosat.604855.
 [17] G. T. Alvalı, "Raylı sistem araç teknolojilerine mühendislik ve ekonomi yaklaşımlarının uygulanması: yük vagonu bojisi örneği", Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2019.

6. ÖZGEÇMİŞ

Gülüstan Tuğçe Alvalı

1993 yılında Çorlu'da doğmuştur. Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini Karabük Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Doktora eğitimine Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi'nde devam etmektedir. Uluslararası hakemli dergilerde 1, ulusal hakemli dergilerde 4 adet olmak üzere toplamda 5 adet makalesi bulunmaktadır.

E-Posta: tugcealvali@gmail.com

Abdulkadir Orak

1995 yılında Ankara'da doğmuştur. Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini Karabük Üniversitesinde tamamlamıştır. Doktora eğitimine Yalova Üniversitesi'nde devam etmektedir. Yalova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Uluslararası hakemli dergilerde 1, ulusal hakemli dergilerde 1 adet olmak üzere toplamda 2 adet makalesi bulunmaktadır.

E-Posta: abdulkadir.orak@yalova.edu.tr

Muhammet Hüseyin Çetin

1986 yılında Konya'da doğmuştur. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Gebze Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimini bitirmiştir. Doktora eğitimini Karabük Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Uluslararası hakemli dergilerde 21, ulusal hakemli dergilerde 6 adet olmak üzere toplamda 27 makalesi bulunmaktadır. Triboloji ve nano-malzemeler üzerine çalışmaktadır.

E-posta: mhçetin@ktun.edu.tr

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

YENİ GELİŞTİRİLEN LAMİNE CFRPU DONATILI BETON DEMİRYOLU TRAVERSLERİNİN ÜRETİM PROSELERİ, DONATI MALİYETİ, STATİK VE DİNAMİK PERFORMANSI BAKIMLARINDAN ÖNGERİLMELİ TRAVERSLE İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Ferhat Çeçen¹, Bekir Aktaş²

¹TCDD 4. Bölge Müdürlüğü, Yol Servis Müdürlüğü, Merkez/Sivas, TÜRKİYE
Tel: 346 346 00 00, E-Posta: ferhatcecen@tcdd.gov.tr

²Erciyes Üniversitesi, İnşaat Müh. ABD Başkanlığı, Talas/Kayseri, TÜRKİYE
Tel: 352 207 66 66, E-Posta: baktas@erciyes.edu.tr

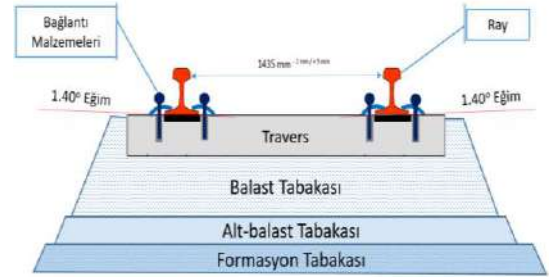
Özet- Öngerilmeli beton traversler, sağladığı birçok avantajla, günümüz demiryollarında en yaygın kullanılan travers tipidir. Bununla birlikte, düşük sönümlenme oranı, yüksek rijitlik, içerdiği çelik donatıların korozif, iletken ve manyetik olması gibi çeşitli dezavantajları da söz konusudur. Nitekim çeşitli hat kesimlerinde tercih edilmemekte ve/veya planlanan 40-50 yıllık servis ömrüne ulaşmadan deforme olabilmektedir. Öte taraftan, ülkemizde son yıllarda, korozyon riski taşımayan, elektriksel olarak yalıtkan, manyetik olarak nötr, karbon fiber takviyeli poliüretan (CFRPU) malzemeler kullanılarak yeni beton travers modelleri geliştirilmiştir. TS EN 13230-2/3 statik test koşullarını sağlayan bu traversler, modal test sonuçlarına göre %50 düzeyinde daha yüksek dinamik sönümlenme oranı sergilemekte, ayrıca yüksekte kütle düşürmeli tekrarlı darbe testlerinde %80 daha düşük kapasite kaybına uğramaktadır. Bu çalışmada, söz konusu yeni tip traverslerin üretim prosesleri ve donatı maliyetleri, konvansiyonel traverslerle karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak, donatı maliyeti bakımından, konvansiyonel traverslerle yaklaşık eşit olan bu yeni tip traverslerin; gerek Karosel, gerekse uzun-hat metoduyla üretimlerinin mümkün olduğu, ayrıca işçilik, ekipman ve enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar sağlayabileceği öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: B70 tipi öngerilmeli beton travers; Karbon fiber donatılı demiryolu traversi; Donatı korozyonu; Modal sönümlenme; Darbe testi

1. GİRİŞ

Klasik balastlı demiryollarının bileşenleri, üstyapı ve altyapı olarak kategorize edilmektedir. Şekil 1'de görülen raylar, traversler ve bağlantı

malzemeleri üstyapı; balast, alt-balast, formasyon tabakası ve çeşitli sanat yapıları ise altyapı bileşenleridir [1]. Balast tabakasını üstyapı kategorisi içerisine alan kaynaklar da mevcuttur [2]. Traversler, diğer birçok görevinin [3] yanı sıra, raylardan aldığı yük ve titreşimleri, güvenli bir şekilde karşılayarak, diğer demiryolu bileşenlerine ve çevreye sönümleyerek aktarmakta ve hat geometrisini korumakta büyük öneme sahiptir [4].



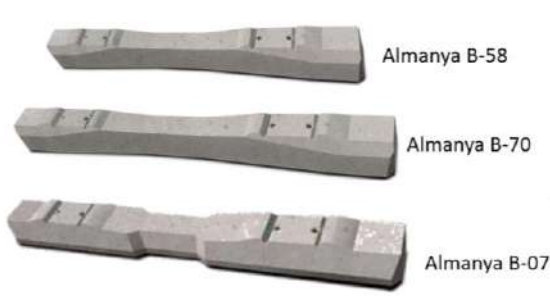
Şekil 1. Klasik balastlı demiryolu hattı bileşenleri

Balastlı demiryollarında geçmişte ahşap ve çelik traversler yaygın olarak kullanılmış olsa da, günümüzde, dünya genelinde en çok tercih edilen, Şekil 2'de görülen beton traverslerdir [4-6].



Şekil 2. Balastlı demiryolu hatlarında en yaygın kullanılan alanına sahip beton travers çeşitleri [7]

Beton traversler, donatılarının aktif veya pasif rol almasına bağlı olarak; öngerilmemiş ve öngerilmeli olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Öngerilmemiş beton traversler günümüze kadar genellikle, Şekil 2’de görüldüğü üzere, iki betonarme bloğun ortalarından geçen metal profil(ler)le bağlandığı ve kısaca “ikiz-blok” olarak adlandırılan geometrik formlarda üretilmiştir. Öngerilmeli beton traversler ise günümüze kadar genellikle, Şekil 2’de örneği görülebilen ve kısaca yekpare (mono-blok) olarak adlandırılan, tek bir bloktan oluşan geometrik formlarda üretilmiştir [8]. Şekil 2’de örnekleri sunulan bu iki tip beton travers arasında ise, balastlı demiryolu hatlarında günümüze kadar dünyada en çok kullanım alanı bulan, öngerilmeli yekpare beton traverslerdir [5]. (Son yıllarda kullanımı artan kesintisiz döşeme tipi uygulamalar (slab track vb.) bu sınıflandırmanın dışında tutulmuştur.) Bu istatistik ülkemizde de geçerli olup, TCDD ana hatlarında, günümüze kadar kullanılan beton traverslerin neredeyse tamamı, öngerilmeli yekpare tasarımlar olmuştur. Günümüzde dünya genelinde birçok ülkenin onlarca öngerilmeli yekpare beton travers patenti veya faydalı modeli bulunmaktadır. Şekil 3’te TCDD ana hatlarında günümüze kadar kullanılan bazı öngerilmeli beton traverslerin görselleri sunulmaktadır. Belirtilen travers tiplerinin kod numaraları verilirken, Almanca “betonschwelle (beton travers)” ifadesinin ilk harfi ile dizayn yılının son iki rakamı (B58 için 1958 vb.) kullanılmıştır [8]. Görüldüğü üzere, ülkemizde üretimi gerçekleştirilen demiryolu travers modellerinin tamamı, yurt dışında dizayn edilmiş olup, günümüze kadar ülkemiz adına patentli ve UIC kabul listesine giren herhangi bir ana hat travers modeli mevcut değildir.



Şekil 3. TCDD hatlarında günümüze kadar kullanılan bazı öngerilmeli yekpare beton travers modelleri [8]

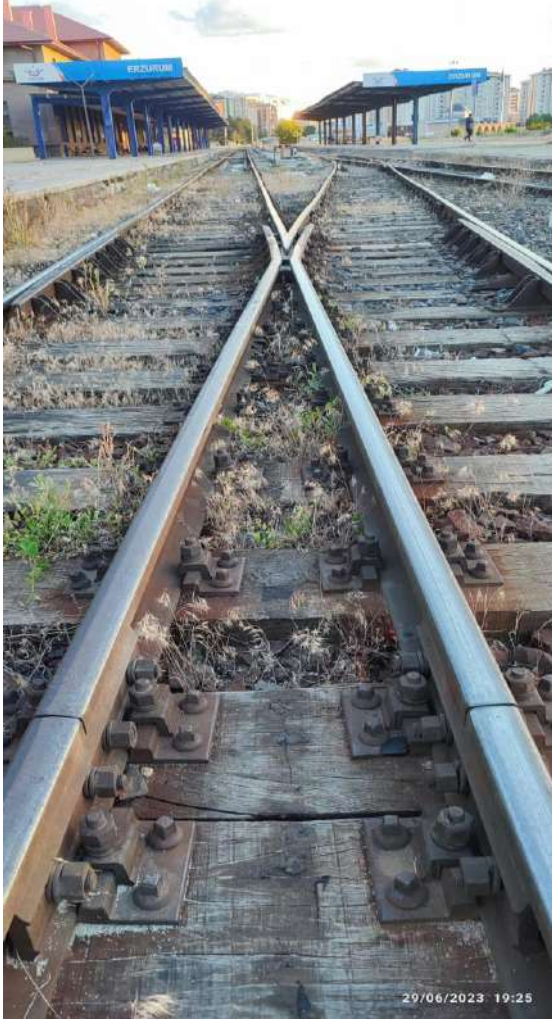
Öngerilmeli traverslerin bu yaygın kullanımında sahip olduğu birçok avantaj rol oynamıştır. Bu avantajlardan en ön planda olanı; ilk çatlak oluşma yükünün öngerilmemiş rakiplerine göre çok daha yüksek olmasıdır [9]. Bu traversler, ayrıca, öngerilmemiş betonarme traverslere göre daha düşük miktarda donatı kullanımı da sağlamaktadır [5, 9]. Ancak, öngerilmeli traverslerin keşfedilip (1928, Freyssinet) II. Dünya Savaşı sonrası (1950-60’lı yıllar itibarıyla) yaygınlaşması ardından geçen

yaklaşık 50-60 yıllık süreç boyunca demiryolu işletim şartları oldukça değişmiştir. Günümüz raylı ulaşım sistemleri, geçmişten çok daha yüksek hızlar, dingil yükleri ve işletim sıklığı ile karşı karşıyadır. Üstelik bakım ve tamirat işlemleri için ayrılacak süreler, geceleri birkaç saatle kısıtlı kalmıştır. Dolayısıyla bu popüler travers tipi de, modern işletim şartları altında giderek “demode” olmaya ve yerini “yeni-nesil” çözümlere bırakmaya başlamıştır [4].

Öngerilmeli yekpare beton traverslerin, erken dönem kullanım sürecinde sunduğu bazı avantajlara rağmen, özellikle orta ve ileri dönem servis ömründe (işletim sıklığına bağlı olarak 5-20 yıl akabinde) ortaya çıkan sorunların “kök-nedenleri” güncel literatürde daha fazla dile getirilmeye başlamıştır. Bunlardan ilki, ilk zamanlar “tam öngerilmeli tasarım” hâlinde olan öngerilmeli beton traverslerin, zamanla değişen demiryolu işletim koşulları altında, “kısmi öngerilmeli tasarım” hâline dönüşmesidir. Bu iki tasarım arasındaki temel fark ise, kısmi öngerilmeli olanların, “dekompresyon kapasitesini” aşan yük sayısının artması ile “erken yorulma” hasarlarına uğramasıdır. Bu konu hakkında detaylı bilgi literatürde mevcuttur [3, 8]. Güncel literatürde geçen diğer kök-nedenler ise, öngerilmeli beton traverslerin düşük sönümleme performansları ve rezonans zafiyetleri [6, 9], gereğinden yüksek eğilme rijitlikleri [10], çeşitli iklimsel etkiler altında öngerilme kapasitelerinin değişkenlik göstermesi [11] ve çelik donatılarının korozyon riski taşımasıdır [5]. Bu ve benzeri dezavantajlar nedeniyle, günümüzde, bu popüler traverslerin de her yıl en az %2-5’inin (hedeflenen 40-50 yıllık servis ömrüne ulaşmadan) erken süreçte değiştirilmesi gerektiği ve bu maliyetin demiryolu bakım masraflarının yaklaşık %12’sine denk geldiği belirtilmektedir [12].

Öngerilmeli traverslerin fiili kullanım sürelerini etkilemeyen ancak üretim ve kullanım aşamalarında karşılaşılan çeşitli sorunlar da mevcuttur. Örneğin üretimleri, öngerilmemiş traverslere göre daha hassas prosesler gerektirmektedir. Uygulanan öngerilme işlemi için özel ekipmanlar, ekstra işçilikler (gerdirme, enjeksiyon, izolasyon vb.) ve materyaller (ankraj sistemleri vb.) gerektiği gibi, daha yüksek kalitede hammadde (beton, çelik vb.) kullanılması da gerekmektedir [8]. Ayrıca, öngerilmeli beton dökümünden kısa süre sonra uygulanması nedeniyle yüksek sıcaklıkta ısı kürrü uygulanmakta [13] olup, üretim süreci farklılıkları ilerleyen bölümlerde daha detaylı incelenecektir. Klasik öngerilmeli ve öngerilmemiş beton traverslerin ortak bir dezavantajı ise, çelik donatılarının (ve profillerin) yüksek elektriksel iletkenliği nedeniyle, çeşitli iklimsel etkenlerle birleşerek, sinyalizasyon (elektrikli güvenlik sistemleri) hatalarına neden olabilmesidir [14].

Öngerilmeli beton traverslerin buraya kadar aktarılan çeşitli dezavantajları nedeniyle, Şekil 4’te görülebilen ahşap traversler, genel kullanımı birçok ülkede terk edilmiş olsa da, özellikle bazı kritik lokasyonlarda (makas, tünel, köprü vb.) hâlen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3, 4, 8, 10].



Şekil 4. Sönümlenme düzeyi ve rezonans direnci gibi karakteristiklerin daha fazla önem kazandığı kritik hat kesimlerinde (bu örnekteki makas sistemi gibi), ahşap traverslerin hâlen yaygın kullanılmasına dair bir örnek

Ahşap traverslerin temininde yaşanan zorluklar, maliyet artışları ve çevresel etkenler düşünülerek, son yıllarda çeşitli kompozit traversler geliştirilmiş ve Şekil 5’te örneği verildiği üzere, özellikle kritik lokasyonlarda (makas, tünel, köprü vb.) kullanılmaya başlamıştır. Ancak literatürde detayları verilen çeşitli dezavantajları [3, 4, 8, 10, 15], bu traverslerin diğer hat kesimlerinde yaygınlaşmasını engellemektedir. Bunlardan ilki, oldukça yüksek maliyetleridir. Bu maliyet farklılığının düzeyini belirleyen unsurlardan ilki, reçine tipidir (geri dönüştürülmüş plastik, LDPE, HDPE, Foamed-Urethane, vb.). Diğer etkenler ise kullanılan elyaf takviyelerin tipi (cam elyaf vb.), boyutu (kısa/uzun), dozajı ve yönüdür (tek/çift

eksenli). Bu etkenler, mekanik dayanım ve çevresel dayanıklılığı da belirlemekte olup, düşük maliyetli modeller, standart ahşap ve beton traverslerden önemli düzeyde daha düşük eğilme, kesme, yorulma dayanımına ve çevresel dayanıklılığa sahiptir. Bir diğer dezavantajları, beton traverslerden yaklaşık %60 daha düşük kütleleri olup, bu yüzden kompozit traversli hatların stabilitesi nispeten daha düşük kalmaktadır.



Şekil 5. Günümüzde kritik hat kesimlerinde kullanımı artan kompozit traverslere dair bir örnek (FFU-tipi) [16]

Sonuç olarak, günümüzde, raylı ulaşım sistemleri, geçmişten çok daha yüksek hızlar, dingil yükleri ve işletim sıklığı ile karşı karşıyadır. Üstelik bakım ve tamirat işlemleri için ayrılabilecek süreler, geceleri birkaç saatle kısıtlı kalmıştır. Öte taraftan, öngerilmeli yekpare beton traverslerin keşfedilip yaygınlaşması ardından geçen uzun süreç akabinde, bu popüler travers tipi de, modern işletim şartları altında yetersiz kalmaya başlamış ve yerini çeşitli ülkelerde geliştirilen “yeni-nesil” çözümlere bırakmaya başlamıştır. Dolayısıyla ülkemizde de, çağımızın ve geleceğin demiryolu işletmeciliği şartları gözetilerek, yerli, katma değeri yüksek ve ileri fonksiyonel hammaddelerle üretilecek yeni demiryolu traversi modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla ülkemizde yürütülen çeşitli Ar-Ge çalışmaları mevcut olup, bu bildiri kapsamında ülkemizde son yıllarda geliştirilmeye alınan ve tamamen yerli hammaddelerle üretilen, lamine karbon fiber takviyeli poliüretan (L-CFRPU) donatılı beton traversler ele alınacaktır. TÜBİTAK ARDEB Dairesi Başkanlığı tarafından Ulusal Yeni Fikirler ve Ürünler Araştırma Destek Programı’nın 1005/120M403 kodlu projesi ile desteklenen bu proje sonucunda birçok makale yayımlanmış [17-21] ve bir doktora tezi [8] de ortaya konulmuştur. Bu bildiri kapsamında ise, yeni tip traverslerin 3 farklı üretim metodu kullanan travers fabrikasında (tam döngüsel Karosel, yarı döngüsel Karosel ve uzun-hat) nasıl üretilbileceği konusu araştırılacak, ayrıca yeni tip traverslerin üretim proseslerinin ve donatı maliyetlerinin dünyada mevcut diğer beton traversler ile karşılaştırmalı analizleri sunulacaktır.

2. YENİ TİP TRAVERSlerin ÜRETİM AŞAMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Öngerilmeli yekpare beton traverslerin günümüzde dünya genelinde uygulanan en yaygın üretim yöntemleri Şekil 6'da özetlenmiştir. Görüldüğü üzere, öngerilmeli traversler (pre-stressed concrete sleepers), üretimleri esnasında uygulanan öngerilme işleminin, beton dayanım kazanmadan önce veya sonra uygulanmasına bağlı olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Birinci sınıftaki ard-germeli traverslerde, öngerilme işlemi, beton dayanım kazandıktan sonra uygulanmaktadır (post-tensioned pre-stressed sleeper). İkinci sınıfı oluşturan ön-germeli traverslerde ise, öngerilme işlemi, beton dayanım kazanmadan önce uygulanmaktadır (pre-tensioned pre-stressed sleeper). Bu tip üretimde, ilk aşamada betonla birlikte kür gören çelik kalıplar tarafından taşınan öngerilme kuvveti, beton dayanım kazandıktan sonra serbest bırakılarak, ankraj plakaları ve/veya donatı nervürleri üzerinden betona aktarılmaktadır. Günümüzde en yaygın öngerilmeli beton travers üretim metodu değinilen bu "ön-germeli" üretim metodudur [8].

Şekil 6'da geçen "Karosel üretim yöntemi" ile öngerilmeli traversler, hem ön-germeli, hem de ard-germeli proseslerle üretilebilmektedir. Daha yeni bir teknoloji olan, **Ön-germeli Karosel Üretim Yönteminde** (Tam Döngüsel), beton döküm işleminden önce çelik donatılara öngerilme kuvveti uygulanmakta ve beton dayanım kazanıncaya kadar öngerilme kuvveti, kalıplar tarafından taşınmaktadır (late demoulding system). Bu yöntemde traversler kalıplarla birlikte küre sokulduğu için yüksek sayıda ve öngerilme kuvvetini taşıyabilecek nitelikte çelik kalıp temini gerekmektedir. Bu durum fabrika ilk yatırımı ve bakım maliyetleri bakımından önemli bir artışa neden olmaktadır. Bu yöntemde aşağıda maddeler halinde özetlenen tam

döngüsel bir proses yürütüldüğünden, Karosel (carousel, atlıkarınca) adı verilmiştir [8]:

- Travers kalıplarının temizliği
- Plastik dübellerin kalıplara montajı
- (Ankraj sistemli) donatıların yerleştirilmesi
- Öngerilme (ön-germe) işlemi
- Betonun kalıplara vibrasyonla yerleştirilmesi
- Beton kür işlemleri (kalıpla birlikte, ~55 °C)
- Öngerilme kuvvetinin serbest bırakılması
- Döndürmeli kalıptan sökme işlemi (kür sonrası kalıptan sökme, late demoulding)
- Nihai izolasyon işlemleri (opsiyonel)
- Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı
- Kalıp temizliği (döngü başlangıcı)

Ard-germeli Karosel Üretim Yönteminde (Yarı Döngüsel) ise sıfır çökme (zero-slump) kıvamında üretilen taze beton, özel kalıplar içerisine, güçlü titreşim masaları kullanılarak yerleştirildikten hemen sonra, beton henüz priz almadan, kalıptan, döndürme usulüyle çıkarılmaktadır (immediately/instant demoulding). Ard-germeli üretim sisteminde, ön-germeli sistemin aksine, yüksek sayıda çelik kalıp teminine ihtiyaç yoktur. Ancak üretimde kullanılan sıfır çökme sınıfında beton, hassas üretim teknikleri ve ekstra işlemler gerektirmektedir. Bu yöntemin işçi-yoğun üretim felsefesi, üretim maliyeti yüksekliği, üretim kalitesinin düşük ve fire oranının yüksek kalabilmesi gibi nedenlerle, üretimlerinin yapıldığı fabrikaların sayısı giderek azalmaktadır. Bu yöntemde, aşağıda maddeler halinde özetlenen yarı döngüsel bir proses yürütülmektedir [8]:

- Travers kalıplarının temizliği
- Plastik dübellerin kalıplara montajı
- Ard-germe donatılarının geçirileceği boşlukları sağlayan matrislerin ve ankraj plakalarının kalıp içinde konumlandırılması



Şekil 6. Öngerilmeli beton demiryolu traversi üretim metodları

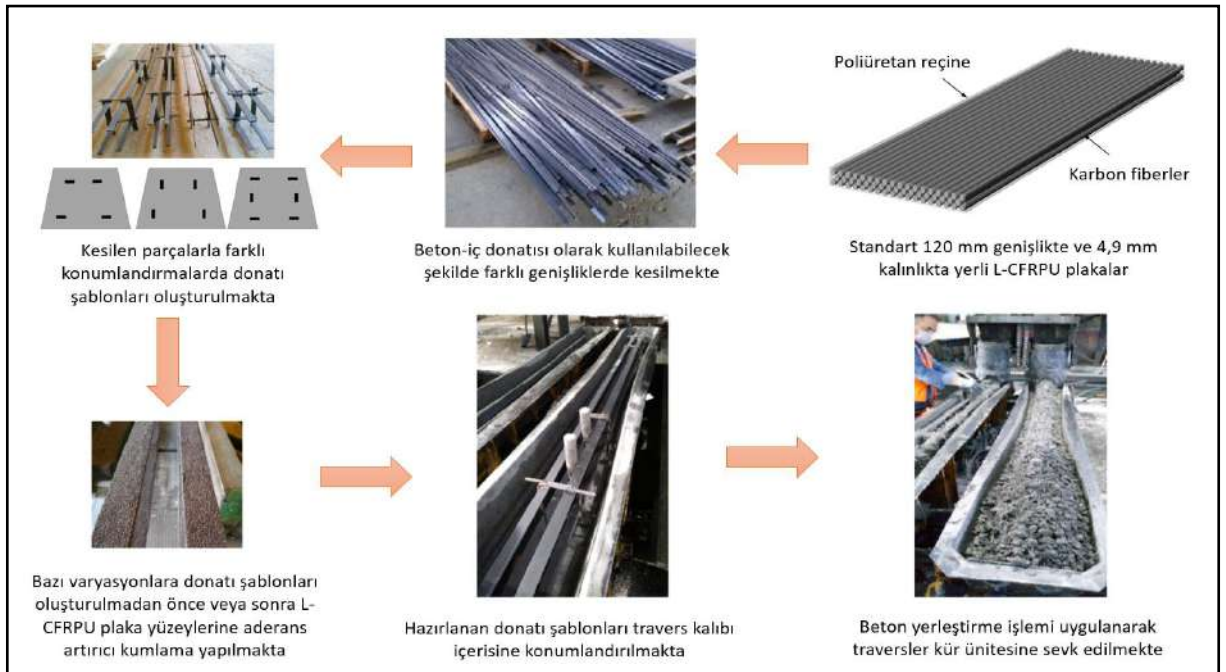
- d. Sıfır-çökme sınıfındaki betonun kalıplara güçlü vibrasyon masalarıyla yerleştirilmesi
- e. Döndürmeli kalıptan sökme işlemi (beton priz almadan kalıptan sökme, immediately/instant demoulding)
- f. Beton kür işlemleri (kalıpsız hâlde, özel taşıyıcı tavalar üzerinde, ~60 °C) (kalıplama ünitesini kapsayan döngünün bitişi)
- g. Kür işlemi biten (donatısız, boşluklu) yarı-mamul ürünlere, ard-germe donatılarının ve ankraj somunlarının takılması
- h. Öngerilme (ard-germe) işlemi uygulanması
- i. Ard-germe donatıları ile yarı-mamul ürün arasında kalan boşlukların çimento pastası enjeksiyonu ile doldurulması,
- j. Ard-germe işleminin yapılabilmesi için yarı-mamullerin iki başında bırakılan (çapraz ve dörtlü başlık) boşluklarının çimento harcı ile doldurulması
- k. Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı
- l. Nihai izolasyon işlemleri (travers başlarına su itici-buharlaştırma önleyici kaplamalar sürülerek yapılan bu işlem zorunludur)

Şekil 6'da geçen **Uzun-hat Üretim Yönteminde**, kalıptan ayırma işlemi, yan plakaların bağlantı noktalarından sökülmesi suretiyle veya vakumlama ile yapılmaktadır. Bu farklılığın sağladığı kolaylıkla, yarı trapez veya dikdörtgen kesitler de dâhil, istenilen en kesitlerde travers üretimi mümkün olmaktadır. Karosel sisteminde ise ters döndürülen kalıplanmış yarı mamul, kendi ağırlığı ile bir nevi silkeleme yapılarak söküldüğü için trapez kesit kullanım zorunluluğu söz konusudur. Bu zorunluluk ise, traverslerin basınç lobunda en kesit düşüşlerini beraberinde getirmektedir. Uzun hat yönteminin bir diğer avantajı, üretilen

metrelerce uzunluktaki beton bloklar (fabrika kapasitesine bağlı olarak bir veya birkaç yüz metre uzunlukta), istenilen ara boylarda kesilebilmekte, bu sayede, Karosel sisteminin aksine, farklı boylarda ve değişken bağlantı malzemesi konumlu traversler içeren makas travers setlerinin üretimi mümkün ve pratik olmaktadır. Ancak Şekil 6'dan da görülebileceği üzere; öngerilme kuvvetinin, onlarca metre uzunluğundaki üretim hattı boyunca yeterli güçte ve dengeli bir şekilde sağlanması için daha yüksek kapasiteli öngerilme ekipmanına ve (termal etkileri de içerecek şekilde) özel dikkate ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde, genel hatlarıyla, aşağıda maddeler halinde sunulan, döngüsel olmayan bir proses yürütülmektedir [8]:

- a. Uzun-hat kalıp plakalarının temizliği
- b. Plastik dübellerin kalıplara montajı
- c. Metrelerce uzunluğundaki ön-germe halatlarının (veya çubuklarının) uzun-hat üretim yöntemi kalıp sistemine serilmesi
- d. Öngerilme (ön-germe) işlemi (metrelerce uzunluktaki donatıların yüksek kapasiteli ekipmanlarla gerdirilmesi)
- e. Betonun kalıplara vibrasyonla yerleştirilmesi
- f. Beton kür işlemleri (kalıpların üzeri örtülerek, nispeten daha düşük sıcaklıkta)
- g. Öngerilme kuvvetinin serbest bırakılması
- h. Kalıp plakalarının (kalıpla döndürme gerektirmeksizin) sökülmesi
- i. Traverslerin istenilen ebatlarda kesilmesi
- j. Nihai izolasyon işlemleri (opsiyonel)
- k. Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı

Yeni geliştirilen, yerli lamine karbon fiber takviyeli poliüretan (L-CFRPU) donatılı beton traverslerin çeşitli üretim aşamaları ise Şekil 7'de özetlenmiştir.



Şekil 7. Yeni tip L-CFRPU donatılı beton traverslerin üretim aşamaları [8]

Şekil 7’de görüldüğü üzere, yeni tip traverslerde, karbon fiber takviyeli polimer fabrikalarının standart ebatlarda ürettiği (50-150 mm aralığında genişliğe, 0,5-5 mm aralığında kalınlığa ve sonsuz uzunluğa sahip) plaka (lamine) formdaki kompozit ürünler kullanılmaktadır. Bu plakalar, yeni proseste, inşaat mühendisliği yapılarında yakın zamanda kullanılmaya başlanan ikincil güçlendirme donatısı (dıştan yapıştırma, mantolama vb.) uygulamaları yerine, çelik donatılar hiç kullanılmaksızın, başlıca beton iç-donatısı (preliminary interior reinforcement) olarak kullanılmaktadır. Söz konusu geniş ölçülere sahip plakaların beton materyal içerisinde iç donatı formunda kullanılabilmesi için ise mermer kesimi yapan bir atölyede çeşitli ara boyutlara (20, 25 ve 30 mm genişliklerde ve 2,5 metre uzunlukta) kesilmiştir. Ayrıca bazı varyasyonlarda, mevcut yüzey pürüzlülüğüne ilaveten, aderans artışının sağlayacağı potansiyel faydalara ulaşabilmek için kumla kaplama (sand coating) işlemi uygulanmış ve öngerilmesiz vaziyette, pratik bir şekilde kullanılabilir, yüksek dayanım ve durabilite sağlayan, alternatif bir beton donatısı elde edilmiştir [8].

Şunu belirtmek gerekir ki; Şekil 7’de tasvir edilen ve yukarıdaki paragrafta izah edilen L-CFRPU plaka kesim ve kumlama işlemleri, bu dünyada-ilk uygulama için ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü söz konusu plakalar, dünyada inşaat mühendisliği yapılarında, yalnızca depreme karşı tarihi yapıların veya korozyon hasarına uğramış betonarme/çelik yapıların vb. güçlendirilmesi için kullanıldığından, iç donatı formunda kullanımı için daha küçük boyutlarda ve kumlama opsiyonu ile birlikte üretimi yoktur/yaygınlaşmamıştır. Ancak bu ve benzeri projelerin başarı ile sonuçlanması ve yeterli miktarda talep ortaya çıkması halinde, söz konusu işlemler, lamine CFRPU üretimlerinin yapıldığı fabrikalarda üretim esnasında veya akabinde kolayca uygulanabilecek basit proseslerdir [8]. Öte taraftan, belirtilen donatı hazırlama prosesleri, klasik öngerilmeli/öngerilmesiz beton traverslerde kullanılan çelik donatılar için de geçerlidir. Örneğin ard-germeli traverslerde kullanılan nervürlü çelik çubuklar, travers donatısı olarak kullanılmadan önce, dış açma ve soğuk bükme (firkete hâline getirme) işlemlerine tabi tutulmaktadır. Dolayısıyla “hammadde (donatı/beton) hazırlık süreçleri” gerek daha önce sunulan klasik öngerilmeli beton traverslerde, gerekse bu aşamada sunulacak yeni tip traverslerde, travers üretim adımları arasında sayılmamıştır.

Yeni tip traverslerin üretim prosesleri oldukça esnek olup, bu bildiri kapsamında yalnızca 3 metot incelenecektir. İlk metotta, “Ön-germeli Tam Döngüsel Karosel Üretim Yöntemini” kullanan fabrikalarda yürütülen prosesler kullanılmış olup, yeni tip traverslerde ön-germe işlemi

uygulanmadığından ve L-CFRPU plakaların korozyon riski bulunmadığından, ilgili proseslere (ön-germe, izolasyon) gerek kalmamıştır. Sonuçta, üretim adımları genel hatlarıyla şu şekildedir:

- Travers kalıplarının temizliği
- Plastik dübellerin kalıplara montajı
- L-CFRPU plakaların yerleştirilmesi
- Betonun kalıplara vibrasyonla yerleştirilmesi
- Beton kür işlemleri (kalıpla birlikte, ön-germeli sistem aksine 30-35 °C sıcaklıkta kür fazlasıyla yeterli olacaktır)
- Döndürmeli kalıptan sökme işlemi (kür sonrası kalıptan sökme, late demoulding)
- Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı
- Kalıp temizliği (döngü başlangıcı)

Yeni tip traverslerin sıfır-çökme sınıfında betonla ani-kalıptan çıkarma metodu kullanılarak (ard-germeli Karosel üretim sistemi kullanılan fabrikalarda) üretilmesi halinde ise, ihtiyaç duyulacak üretim adımları genel hatlarıyla aşağıda maddeler halinde sunulmuş olup, görüldüğü üzere ard-germe işlemi uygulanmadığı ve enjeksiyon-sıva-izolasyon işlemlerine ihtiyaç duyulmadığı için üretim prosesleri neredeyse yarı yarıya azalmış ve yarı-döngüsel yapı, tam-döngüsel hale dönüşmüştür:

- Travers kalıplarının temizliği
- Plastik dübellerin kalıplara montajı
- L-CFRPU plakaların yerleştirilmesi
- Sıfır-çökme sınıfındaki betonun kalıplara güçlü vibrasyon masalarıyla yerleştirilmesi
- Döndürmeli kalıptan sökme işlemi (beton yerleştirme işleminden hemen sonra (priz almadan) kalıptan sökme, immediately/instant demoulding)
- Beton kür işlemleri (kalıpsız hâlde, özel taşıyıcı tavalarda üzerinde) (ard-germeli sistem aksine 30-35 °C sıcaklıkta kür fazlasıyla yeterli olacaktır)
- Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı
- Kalıp temizliği (döngü başlangıcı)

Yeni tip traverslerin uzun-hat metodu kullanılarak üretilmesi halinde ise, ihtiyaç duyulacak üretim adımları genel hatlarıyla şu şekilde olacaktır:

- Uzun-hat kalıp plakalarının temizliği
- Plastik dübellerin kalıplara montajı
- Metrelerce uzunluğundaki L-CFRPU plakaların uzun-hat üretim yöntemi kalıp sistemine serilmesi
- Betonun kalıplara vibrasyonla yerleştirilmesi
- Beton kür işlemleri (opsiyonel)
- Kalıp plakalarının (kalıpla döndürme gerektirmeksizin) sökülmesi
- Traverslerin istenilen ebatlarda kesilmesi
- Travers-ray bağlantı malzemelerinin montajı

Görüldüğü üzere, gerek ön-germeli, gerekse ard-germeli travers üretim adımları, yeni L-CFRPU donatılı öngerilmemiş beton travers üretim adımlarına göre çok daha fazla sayıda ve önemli miktarda fazladan işçilik/ekipman/enerji/maliyet gerektirmektedir. Öte taraftan, ön-germeli sistemde öngerilme kuvvetinin serbest bırakılması, ard-germeli sistemde ise ard-germe işlemi, beton dökümünden ortalama 8-12 saat sonra uygulanmaktadır. Bu yüzden üretimde kullanılan beton bileşenlerinin hızlı kür almaya uygun olması (örneğin CEM I sınıfı yüksek dozajlı çimento kullanılması) ve nem kontrollü ısı kür uygulanması gerekmektedir. Ayrıca öngerilme işleminin tüm donatılarda homojen olacak şekilde (örneğin donatılar arası farklılık 0,7 kN'u aşmayacak şekilde) uygulanması gerekmektedir. Bu işlemler esnasında farklı ortam koşulları (sıcaklık, nem, vb.) ve donatı elastisite modülü değişkenlikleri de gözletilmektedir. Bir diğer husus, öngerilme kuvvetinin yeterli kademelerle ve uygun hızda uygulanması gereklidir. Kullanım sürecini de içine alan bir diğer husus, uygulanan öngerilme kuvvetinin çeşitli etkenler (ankraj sistemi, relaksasyon, sünme, vb. [3]) nedeniyle kaybının önlenmesine dikkat edilmesi gerekmektedir. Öngerilmeli travers üretiminin bir diğer önemli dezavantajı, öngerilme kuvveti ile yüklenen donatı ve betonların olası problemler nedeniyle sürekli ani kopma/kırılma riski taşıması ve iş kazalarına sebebiyet verebilmesidir. Bu açıdan emek yoğun konvansiyonel üretim metotları daha yüksek risk taşıırken, otonom robotlar kullanılan en modern üretim tesislerinde dahi iş kazaları ve ramak kala olaylar kayda geçmiş durumdadır. Dolayısıyla yeni tip traverslerin, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı açısından, risklerin kaynağında elimine edilmesi bakımından, avantaj sergilemesi de söz konusudur.

3. YENİ TİP TRAVERSİN DONATI MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, yeni L-CFRPU donatılı traverslerin donatı hammadde maliyetleri, dünyada mevcut benzer beton traverslerle karşılaştırılacaktır. Bu amaçla hazırlanan analiz sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'in ikinci satırında, dünya genelinde mevcut onlarca öngerilmeli yekpare beton travers modellerinden biri olarak, ülkemizde de yaygın kullanım alanı bulmuş, B-70 tipi öngerilmeli yekpare beton traverslerin, 8 adet 7 mm çapında, nervürsüz donatı kullanılan modelinin ortalama çelik hammadde kullanım miktarları baz alınmıştır [8]. Öngerilmeli traverslerde kullanılan donatılar yüksek çekme dayanımına (>1350 MPa) sahip olup, ülkemizde çoğunlukla ithal edilmekte ve dayanımları gibi maliyetleri de klasik yapısal çeliklerden fazla olmaktadır. Neticede bu traverslerde kullanılan çelik hammadde maliyetinin yaklaşık olarak 15 \$/travers olduğu hesaplanmıştır.

Tablo 1'in üçüncü satırında, dünya genelinde mevcut onlarca öngerilmemiş ikiz-blok betonarme travers modellerinden biri olarak, Avrupa Hızlı Tren Hatlarında yaygın kullanım alanı bulmuş, U41 (B450) tipi öngerilmemiş ikiz-blok beton traverslerin ortalama çelik hammadde (donatı ve bağlantı profilleri dâhil) kullanım miktarları baz alınmıştır [8]. Tablo 1'den görüldüğü üzere, öngerilmemiş traverslerde kullanılan toplam çelik hammadde miktarı (yaklaşık 20,86 kg), öngerilmeli traverslerden (yaklaşık 7,77 kg) kayda değer düzeyde daha fazladır. Ancak, dayanım sınıfı daha düşük donatılar kullanıldığından ve hesaplamalarda yerli donatı fiyatları baz alındığından, hesaplama sonuçları, öngerilmeli traverslerle yaklaşık eşit olarak 16 \$/travers olarak sonuçlanmıştır.

Tablo 1. Çeşitli beton traverslerin donatı hammadde maliyetlerinin kıyaslanması [8]

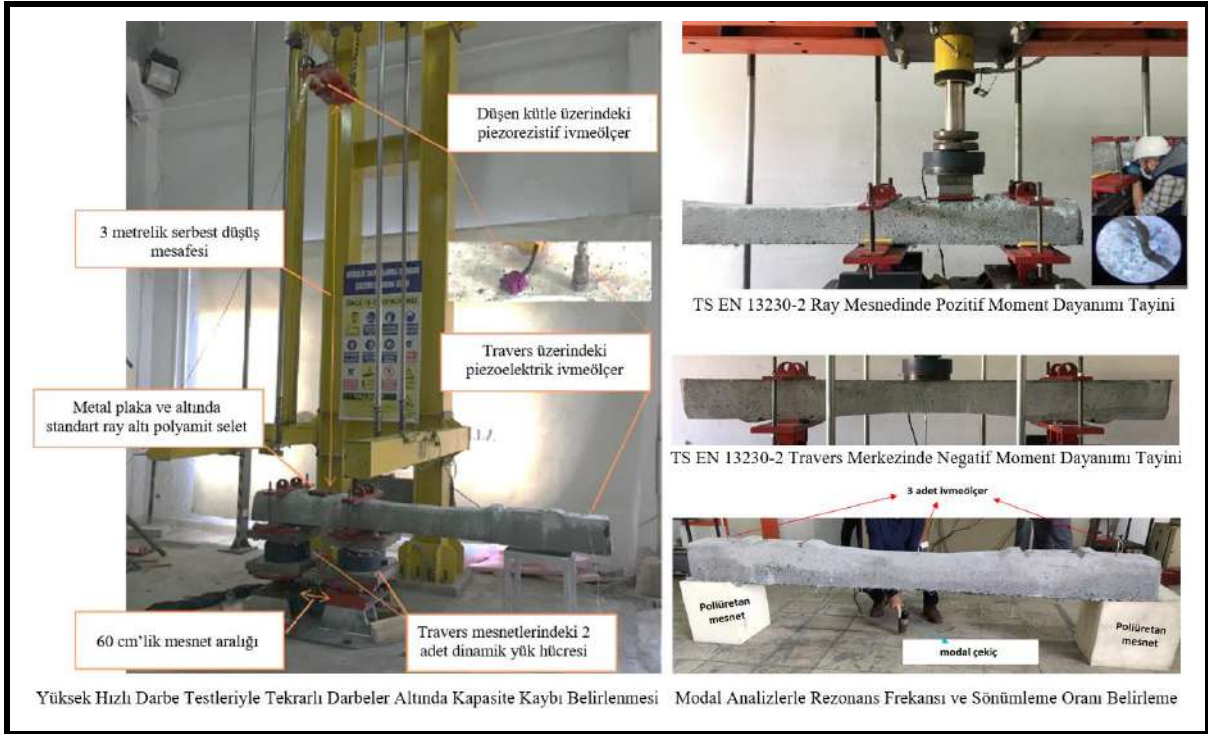
Beton Travers Tipi	En Kesit Boyutları (mm)	Uzunluğu (m)	Ağırlığı (Kg)	Maliyeti (\$)
Yekpare Öngerilmeli Travers <i>Öngerilme donatısı (HTS-çelik)</i> <i>Ankraj ekipmanı (yapısal çelik)</i>	- 8 x Ø7 -	- 2,60 -	7,77 6,24 1,53	15
İkiz-Blok Öngerilmemiş Travers <i>Çekme donatısı (yapısal çelik)</i> <i>Basınç donatısı (yapısal çelik)</i> <i>Etriye (yapısal çelik)</i> <i>Spiral takviye (yapısal çelik)</i> <i>Bağlantı profili (yapısal çelik)</i>	- 10 Ø10 8 Ø6,5 10 Ø6,5 4 Ø6,5 L 70x70x6	- 0,65 0,61 0,90 0,475 2,00	20,86 3,98 1,26 2,33 0,49 12,80	16
Klasik CFRP Donatılı Travers <i>Dairesel CFRP Donatı</i>	- 4-6 adet Ø11,7	- 2,50 -	- 2,35 -	36-54
Yeni Tip Travers <i>Lamine L-CFRPU Donatı</i>	- 4-6 adet 4,9 x 22	- 2,50 -	- 2,35 -	16-24

Tablo 1'in dördüncü satırında, yeni tip traverslerin L-CFRPU en kesit alanıyla eşdeğer en kesit alanına sahip dairesel CFRP donatılar içeren travers modelleri için hesaplama yapılmıştır. Dairesel CFRP donatılar konvansiyonel çelik donatılarla benzer geometriye sahip olmakla birlikte, betonla temas eden yüzey alanı, lineer olmayan gerilme dağılımı ve üretim zorluğu (pultrüzyon ile seri üretiminin maliyetinin yüksek kalması) gibi nedenlerle maliyeti daha yüksek sonuçlanmaktadır [8, 13]. Ayrıca ülkemizde dairesel CFRP üretimi yapan fabrika mevcut olmadığından ithal edilmektedir. Neticede klasik dairesel CFRP donatılar kullanılarak üretilecek beton traverslerin donatı maliyetleri 36-54 \$/travers aralığında kalmakta olup, bu değerler klasik öngerilmeli ve öngerilmemiş beton traverslerden çok daha fazladır.

Tablo 1'in son satırında ise, bu bildiri kapsamında incelenen, yeni geliştirilen L-CFRPU donatılı beton traverslerin donatı hammadde maliyetleri analiz edilmektedir. Bu analizde, TÜBİTAK projesi kapsamında üretilen en düşük (4 adet 4,9 x 22 mm)

ve en yüksek (6 adet 4,9 x 22 mm) L-CFRPU donatı en kesit alanına sahip varyasyonlar kullanılmıştır. Buna göre yeni tip traverslerin donatı hammadde maliyetleri 16-24 \$/travers aralığında değişmektedir. Bu değerler ise klasik öngerilmeli ve öngerilmemiş çelik donatılı traverslere oldukça yakındır. L-CFRPU donatıların klasik dairesel CFRP donatılardan mali olarak çok daha avantajlı olması ise, yerli olmaları (ithal edilmemeleri) ve lamine geometrinin pultrüzyon ile seri üretime daha uygun olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 8'de yeni tip traverslerde bugüne değin gerçekleştirilen çeşitli testlerin görselleri verilmekte olup, Tablo 2'de B70-tipi öngerilmeli traverslerle karşılaştırmalı test ve analiz sonuçları sunulmaktadır. Görüldüğü üzere, yeni tip traversler, TS EN 13230-2/3'teki statik test koşullarını sağladığı gibi, modal test sonuçlarına göre %50 düzeyinde daha yüksek sönümlenme oranı (modal damping ratio) sergilemekte, 330 kN'luk yükün 50 kez tekrarlandığı darbe testlerinden sonra ise %80 daha düşük kapasite kaybına uğramaktadır.



Şekil 8. Öngerilmeli beton demiryolu traversi üretim [8]

Tablo 2. Yeni tip traversler üzerinde yürütülen deney ve analizlerin karşılaştırmalı sonuçları

Test Parametresi	Standart B70	Yeni Tip Travers
Ray mesnedi, $F_{r0,05}$ Yüğü (kN)	270	330
Ray mesnedi, F_{rB} yüğü (kN)	380	400
Tek aşamalı statik testte kırılma yüğü (kN)	393	439
Tekrarlı darbe sonrası tek aşamalı statik testte kırılma yüğü (kN)	360	425
Travers merkezi, $F_{c0,05}$ yüğü (kN)	125	155
Travers merkezi, F_{cb_n} yüğü (kN)	135	170
İlk rezonans frekansı sönümlenme oranı (%)	0,994	1,493
Tekrarlı darbe testi sonrası sönümlenme (%)	1,013	3,718

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yürütülen test ve analizler sonucunda elde edilen bazı önemli sonuçlar maddeler halinde şu şekilde sunulmuştur:

- Yeni tip traverslerin üretim prosesleri oldukça esnek olup, günümüzde beton travers üretiminde uygulanan her 3 metotla da (tam veya yarı döngüsel Karosel sistemi veya uzun-hat metoduyla) üretimlerinin gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.
- Çalışma sonucunda, gerek ön-germeli, gerekse ard-germeli tipteki önerilmeli beton travers üretim proseslerinin, yeni L-CFRPU donatılı önerilmesiz beton travers üretim proseslerine göre çok daha hassas olduğu ve önemli miktarda fazladan işçilik, ekipman, enerji ve maliyet gerektirdiği belirlenmiştir.
- Yeni tip traverslerin, önerilmesiz üretim metodu sayesinde, üretim adımlarını sadeleştirerek pratiklik ve ekonomiklik sağlamasının yanı sıra, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı açısından, risklerin kaynağında elimine edilmesi bakımından da, avantaja sahip olduğu belirlenmiştir.
- Yeni geliştirilen karbon fiber takviyeli poliüretan lamine (L-CFRPU) donatılı traversler, TS EN 13230'e göre TCDD beton travers teknik şartnamelerinde istenilen statik başarı ölçütlerinin tamamını sağlamaktadır.
- Tekrarlı darbe testi sonuçlarına göre, B70 tipi önerilmeli yekpare beton traverslerin 50 adet 330 kN'luk darbe yüküne tabi tutulması ardından statik kırılma yükü kapasitesinin yaklaşık %8 oranında düştüğü görülmüştür.
- Yeni tip traverslerde ise bu kapasite kaybı sırasıyla %3 ve %0,5 mertebesinde kalmıştır. Yeni tip traversler, yalnızca 50 adet tekrarlı darbe uygulanmasına rağmen, klasik önerilmeli yekpare beton traverslere göre ortalama %80 daha düşük kapasite kaybına uğramış ve dünyada en yaygın kullanılan travers tipi olan önerilmeli beton traverslerden, pozitif olarak ayrışmayı başarmıştır.
- Modal test ve analiz sonuçları incelendiğinde, yeni tip traverslerin klasik önerilmeli beton traverslerden %50'ye varan düzeyde daha yüksek performans sergilediği görülmektedir. Dolayısıyla yeni tip traversler, yüksek frekans bileşenleri içeren demiryolu yükleri altında, bu denli daha az genlikte titreşim gösterecek, ortaya bu denli daha düşük gerilmeler çıkacak ve traverslerin servis ömrü bu doğrultuda önemli düzeyde artacaktır. Bunun gibi, çevreye yayılan titreşim ve yükler de daha fazla sönümleneceği için, diğer demiryolu bileşenlerinin de servis ömürleri artacaktır. Sonuç olarak hem üretim

esnasında hem de kullanım esnasında zararlı çevresel etkiler önemli düzeyde bertaraf edilecek, ayrıca önemli bir mali avantaj da sağlayabilecektir.

- B70 tipi standart traversler ve yeni tip traversler, 50 adet 330 kN'luk darbe yükleme prosesi akabinde modal analizler tekrarlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre yeni tip traverslerin sönümleme oranı B70 tipi traverslere göre %274 daha yüksek çıkmıştır. Buna göre, yeni tip traversler, ilk kullanım anında sağladıkları üstün performansları, kullanım müddetince artırarak devam ettirmekte, klasik önerilmeli traversler ise ilk kullanım anında sahip oldukları sönümleme zafiyetini kullanım müddetince sürdürmeye devam etmektedirler.

Günümüze kadar dünyadaki küçük büyük birçok ülke tarafından, sahip oldukları madeni ve endüstriyel kaynaklara ve demiryolu işletme koşullarına uygun olarak, onlarca çeşit travers modeli geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Ülkemiz demiryollarında günümüze kadar kullanılan travers modellerinin tamamı yurt dışında dizayn edilmiştir. Günümüze kadar ülkemiz adına patentlenen veya UIC (Dünya Demiryolu Birliği) kabul listesine sokulmuş herhangi bir ana hat travers modeli ne yazık ki söz konusu değildir. Dolayısıyla, ülkemizde, çağımızın ve geleceğin demiryolu işletmeciliği şartları da gözetilerek, yerli, katma değeri yüksek ve ileri fonksiyonel hammaddelerle üretilecek yeni demiryolu traversi modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar günümüze kadar üretimleri gerçekleştirilen travers modelleri de bir yere kadar faydalı hizmetler sürdürmüş olsa da, yeni geliştirilecek milli travers modelleri, gerek iç ihtiyacı daha sürdürülebilir bir şekilde karşılamak, gerekse yurt dışına fikir ve ürün ihraç etmek bakımından önemli sosyo-ekonomik faydalar sağlayabilecektir. Bu buluşlar, ayrıca geçmişten günümüze demiryollarında söz sahibi olan ülkemiz adına önemli bir prestijel katkı da sağlayacaktır.

Dolayısıyla, bu bildiri kapsamında sunumu gerçekleştirilen karbon fiber takviyeli poliüretan lamine (L-CFRPU) donatılı beton demiryolu traversi modelinin UIC (Dünya Demiryolu Birliği) kabul listesine sokulması ve Ülkemiz açısından sağlayacağı faydalara bir an önce erişilebilmesi için üretim-test-uygulama aşamalarına geçilmesi önerilir.

5. REFERANSLAR

- [1] F. Çeçen, B. Aktaş "Progressive failure analysis of partially pre-stressed concrete railway sleepers" Journal of Innovative Transportation, 2022, cilt 3, s. 16-28
- [2] A. M. Remennikov, S. Kaewunruen, "A review of loading conditions for railway track structures due to

train and track vertical interaction” Structural Control and Health Monitoring, 2008, cilt 15, s. 207-234

[3] F. Çeçen, “Karbon – Fiber Donatıyla Öngerilmemiş Monoblok Demiryolu Beton Traversi Geliştirilmesi” Gazi Osman Paşa Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2019, 156 sayfa

[4] F. Çeçen, B. Aktaş, “Yeni nesil demiryolu traversleri ve yerli FRP donatı kullanımının deneysel araştırması” Demiryolu Mühendisliği, 2021, cilt 13, s. 53-64

[5] J. Taherinezhad, M. Sofi, P. A. Mendis, T. A. Ngo, “Review of behaviour of prestressed concrete sleepers” Electronic Journal of Structural Engineering, 2013, cilt 13, s. 1-16

[6] F. Çeçen, B. Aktaş, “Modal and harmonic response analysis of new CFRP laminate reinforced concrete railway sleepers” Engineering Failure Analysis, 2021, cilt 127, ID 105471

[7] Oloron-Bedous sur la voie, Creloc, Available [Online]: <http://creloc.intermodalite.com/actu10/9-rvb/rvb09.htm>, Accessed: 09.08.2023

[8] F. Çeçen, “Demiryolu traverslerinde yerli lamine CFRPU donatı kullanımının deneysel ve sayısal incelenmesi” Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, 2023, 176 sayfa

[9] C. Esveld, “Modern Railway Track” MRT-Productions, 2014, 446 s.

[10] F. Çeçen, B. Aktaş, “Yeni LCR tipi traverslerin demiryolu hat rijitliğine etkisinin araştırılması” Demiryolu Mühendisliği, 2022, cilt 16, s. 36-50

[11] N. Ö. Bezzin, “Öngerilmeli beton traverslerde gözlenen zamana bağlı kısalmalarının değerlendirilmesi” Demiryolu Mühendisliği, 2018, cilt 9, s. 17-27

[12] W. Ferdous, A. Manalo, “Failures of mainline railway sleepers and suggested remedies – Review of current practice” Engineering Failure Analysis, 2014, cilt 44, s. 17-35

[13] F. Çeçen, B. Aktaş, A. Özbayrak, “Decarbonization of the concrete railway sleeper production: bringing the low-dosage pozzolanic cement usage in the sleeper production via novel laminated CFRPU reinforcement technique” Materials Today Sustainability, cilt 23, ID 100455

[14] S. Li, “Railway sleeper modelling with deterministic and non-deterministic support conditions” KTH Royal Institute of Technology, Yüksek Lisans Projesi, 2012, 59 sayfa

[15] W. Ferdous, A. Manalo, G. Van Erp, T. Aravinthan, S. Kaewunruen, A. M. Remennikov, “Composite railway sleepers – recent developments, challenges and future prospects” Composite Structures, 2015, cilt 134, s. 158–168

[16] G. Koller, “FFU synthetic sleeper installed on second track in Ashford” Available [Online]: <https://www.linkedin.com/pulse/ffu-synthetic-sleeper-technology-got-final-from-nwr-2017-koller/>, Accessed: 09.08.2023

[17] F. Çeçen, B. Aktaş, H. Öztürk, İ. Ş. Öztürk, M. B. Navdar, “Karbon-fiber plaka donatılı traverslerin, B70-tipi öngerilmeli beton traverslerle karşılaştırmalı incelenmesi” Demiryolu Mühendisliği, 2022, cilt 15, s. 97-110

[18] F. Çeçen, B. Aktaş, H. Öztürk, İ. Ş. Öztürk, M. B. Navdar, “Comparison of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers with LUR tests” Construction and Building Materials, 2022, cilt 321, ID 126414

[19] F. Çeçen, B. Aktaş, H. Öztürk, M. B. Navdar, İ. Ş. Öztürk, “Behaviour of new LCR and ordinary prestressed concrete railway sleepers under repeated impact loads” Construction and Building Materials, 2022, cilt 319, ID 126151

[20] F. Çeçen, B. Aktaş, H. Öztürk, M. B. Navdar, İ. Ş. Öztürk, “Comparison of prestressed concrete railway sleepers and new LCR concrete sleepers with experimental modal analysis” Engineering Failure Analysis, 2022, cilt 131, ID 105821

[21] F. Çeçen, B. Aktaş, H. Öztürk, İ. Ş. Öztürk, M. B. Navdar, “Comparative modal analysis of B70 and LCR-6 type railway sleepers after repeated impact loads” Construction and Building Materials, 2022, cilt 336, ID 127563

6. ÖZGEÇMİŞ

Dr. Müh. Ferhat ÇEÇEN: TCDD’nin çeşitli birimlerinde hizmet veren yazar, doktora eğitimini Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ABD, Ulaştırma Bilim Dalında tamamlamıştır. Günümüze kadar 3 adet demiryolu traversi patentinde Buluşçu olarak rol alan yazarın, raylı ulaşım sistemleri hakkındaki ar-ge çalışmalarını devam ettirmektedir.

Prof. Dr. Bekir AKTAŞ: Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim dalında öğretim üyesidir. Karayolu ve Demiryolu mühendisliği alanında çalışmaları devam etmekte olup yerli ve yabancı dergilerde yayımlanan birçok makalesi bulunmaktadır.

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası, İnşaat Mühendisleri Odası, Makina Mühendisleri Odası
Raylı Sistemler Kongre ve Sergisi
02-03-04 Kasım 2023 / ESKİŞEHİR

YÜKSEK HIZLI TREN KAYNAKLI ÇEVRESEL YER TİTREŞİMLERİNİN AZALTIKMASI: AÇIK HENDEKLERDE PREFABRİKE PANEL KULLANIMI

Ayşenur Subaşı^{1}, Erkan Çelebi², Berna İstegün³, Osman Kırtel⁴, Fatih Göktepe⁵, Muhammet
Burhan Navdar⁶, Abdullah Can Zulfikar⁷*

^{1*}Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: +902642956937 e-posta: aysenursubasi@sakarya.edu.tr

²Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: +902642955731 e-posta: ecelebi@sakarya.edu.tr

³Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: +902642956937 e-posta: bernaistegun@sakarya.edu.tr

⁴Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: +902646160230 e-posta: okirtel@subu.edu.tr

⁵Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın, TÜRKİYE
Tel: +903785011000 e-posta: fgoktepe@bartin.edu.tr

⁶Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE
Tel: +902642954293 e-posta: navdar@sakarya.edu.tr

⁷Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, TÜRKİYE
Tel: +902626053307 e-posta: can.zulfikar@gmail.com

Özet- Elverişsiz zeminlerde yüksek hızlı trenlerin ürettiği yer titreşimleri, hat kenarında yaşayanların konforunu bozabilir, yapısal bileşenlerin hizmet ömrünü etkileyebilir ve hassas çalışan ekipmanlara zarar verebilir. Bu çalışmanın amacı, yüksek hız trenlerinin yakın çevrede oluşturduğu konfor bozucu ve hasar yapıcı titreşimleri doğal saha koşullarında belirlemek ve bu titreşimlerin azaltılması için bir pasif dalga yalıtım modeli uygulamaktır. Dinamik kaynak ile korunacak yapı arasına kurulan hendek tipi dalga bariyerlerinin titreşim yalıtım performansları oldukça yüksektir; ancak yanal stabilite sorunu hendek çukurlarının iç yüzeylerden desteklenmesini gerektirmektedir. İstinat duvarı gibi zemini destekleyecek; fakat çok rijit olmayan yani ince cidarlı ve düşük empedanslı bir malzemenin kullanılması, dalga mekaniği dikkate alındığında ilerleyen dalga karakteristiğinin değişmemesi bakımından dikkate alınması gereken bir konudur. Düşük empedanslı duvar malzemesi; titreşim dalgaları zeminden bariyere geçerken, ortamdaki değişimi hissetmeyecek şekilde seçilmelidir. Bu amaçla hendek içine yerleştirilmek üzere düşük empedanslı özel prefabrike paneller üretilmiştir. İnce gaz beton duvarlı açık hendek uygulaması; yarım dalga boyu kazı derinliğinde 8

desibele kadar önemli bir titreşim soğurma performansı sağlamıştır.

1. GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra hızla büyüyen ticari, ekonomik ve teknolojik gelişmeler; hammadde, ürün ve insan taşımacılığında kullanılan lokomotif ve demiryolu sistemlerinde önemli gelişmeler sağlamıştır. Hammaddelerin ve yolcuların raylı sistemlerle güvenli bir şekilde taşınabiliyor olması ülkelerin gelişimine hız kazandırmıştır. Teknolojinin gelişimiyle 1960'lı yılların başında saatte 320 km hıza ulaşan hızlı demiryolu taşımacılığı, insanlığa muazzam bir zaman tasarrufu ve konfor sağlamıştır. Dünyadaki bu gelişmelerle birlikte Türkiye'de de 2009 yılında yüksek hızlı tren işletmeciliğine başlanmış ve bugün 1200 km hat uzunluğu ile ortalama 200-300 km/sa seyahat hızlarına ulaşmıştır [1]. Yerleşim yerlerinin oldukça yakınlarından geçen yüksek hızlı demiryolu hatları seyahat ve ticaret faaliyetlerini kolaylaştırırken, elverişsiz zeminlerde kritik çevresel sorunlara yol açmaktadırlar. Yüksek hızlı trenlerin ürettiği zemin kaynaklı titreşimler, yerleşim yerleri yakınlarındaki yapıların hizmet

ömrünü etkileyebilir, tarihi yapılara hasar verebilir, hat boyunca yaşayanlarda konfor bozucu rahatsızlıklara yol açabilir ve kimyasal, radyolojik ve biyolojik maddeler içeren bilimsel araştırma merkezlerinde ya da kliniklerde bulunan hassas cihazlarda ciddi hasarlara neden olabilir. Bu sebeple, yüksek hızlı tren hattı ile korunacak yapı-sistem-bölge arasına uygun bir yalıtım aracı yerleştirmek pratik ve etkili bir çözüm olabilir. Zemin kaynaklı titreşim etkilerini azaltabilecek çeşitli yalıtım araçlarının araştırılması, daha önce de önemli çalışmaların konusu olmuştur. Ahmad vd. [2] ağır makine temellerinden kaynaklanan yer hareketlerinin yakın çevrede titreşime duyarlı aletler üzerinde oluşturdukları olumsuz etkilerini azaltmak için açık hendek tipi dalga bariyer modelini önermişlerdir. Forchap ve Verbic [3] titreşim etkilerinin yayılma alanında azaltılması için arazi deneyleri yaparak zemin içerisinde ana kaya özelliğini taşıyan bir yapay taban kaya modeli önermişlerdir. Çalışmalarında, rijit tabanlı tek tabakalı zemin ortamının temel frekansının dış yükün frekans değerlerinden küçük olması durumunda dalga yayılışının gerçekleşmediğini göstermişlerdir. Çelebi vd. [4] tarafından elektrodinamik bir cihaz vasıtasıyla üretilen temel titreşimlerinin oluşturduğu dalga genliklerinin azaltılması için açık hendek, su dolu hendek, bentonit dolgulu hendek ve beton dolgulu hendek tipleri test edilmiştir. Bu çalışmanın en dikkat çekici sonucu topraktan daha yumuşak malzeme ile doldurulan hendeğin pasif izolasyon durumunda aktif izolasyona göre daha etkili yalıtım performansı göstermesidir. Alzawi ve El Naggar [5] tarafından harmonik yük üretebilen mekanik bir osilatör kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada makine temellerinin sebep olduğu yerinde titreşimlerin azaltılması için açık hendek ve geofoam dolgulu hendek uygulamalarının dalga bariyeri olarak koruyucu etkinliği tam ölçekli deneysel bir çalışma ile araştırılmış ve geofoam dolgulu bariyer uygulamasının dalga yalıtımı konusunda %68'e varan performans sağladığı sonucuna varılmıştır. Ülgen ve Toygar [6] tarafından yapılan arazi çalışmasında, yapay bir darbe çekicinin meydana getirdiği enerji dalgalarının yayılma yoluna 4.5 m derinliğinde hendek açılarak aktif ve pasif yalıtım durumları incelenmiştir. Deney sahasının zemin profili çok sert kil üzerine oturan killi kumdan oluşmakta olup açık hendek, su dolu hendek ve geofoam dolgulu hendek tipleri test edilmiş (Şekil 1.) ve geofoam dolgulu bariyer etkinliğinin diğer iki tip bariyere kıyasla daha elverişli olduğu ifade edilmiştir. Coulier vd. [7] İspanya'da zayıf zemin üzerine konuşlandırılmış bir demiryolu hattı boyunca yerinde tam ölçekli arazi deneyleri gerçekleştirmiş ve zemine göre daha rijit bir dalga bariyerini test etmeyi hedeflemişlerdir. İlgili bariyerin inşa edilebilmesi için öncelikle zemin jet grout yöntemiyle güçlendirilmiş ve üst üste binen jet

grout kolonlarından oluşan 7.5 m derinlik, 1 m genişlik ve 55 m uzunluğundaki rijit bariyerin titreşim genliklerini azaltma performansı deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır.



Şekil 1. Titreşim yalıtımı için dalga bariyer modelleri: açık hendek, su dolu hendek ve geofoam dolu hendek

Naghizadehroknı vd. [8] maksimum dinamik kuvvet genliği 15 kN olan bir yük kaynağı aracılığıyla oluşturulan titreşimlerin azaltılmasında dikdörtgen prizması ve üçgen biçiminde farklı tipteki hendeklerin aktif ve pasif yalıtım durumlarında ideal derinlik, genişlik ve uzunluklarını nümerik olarak araştırmışlar ve sonuçları frekans tanım alanında sunmuşlardır. Ayrıca zemini kum-çakıl karışımı olan bir test sahasında geofoam dolgulu bir hendeği deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil 2.). Deney sonuçlarına göre hem aktif hem de pasif yalıtımda bariyer derinliğinin dalga boyunun en az 0.6 katı kadar olması gerektiğini bildirmişlerdir.



Şekil 2. Kum-çakıl karışımı test sahasında geofoam dolgulu hendek uygulaması

Önceki çalışmalar incelendiğinde hem yüksek seyhat hızı hem de yumuşak zemin koşulları göz önünde bulundurularak tren kaynaklı zemin titreşimlerinin azaltılmasını ele alan az sayıda deneysel çalışma bulunduğu görülmüştür. Bu çalışmada; yüksek hızlı trenlerin ürettiği zemin titreşimlerini azaltmak üzere, elverişsiz zemin koşullarında kazılan hendeğin yanıl stabilizasyonu sağlamak için düşük empedanslı özel prefabrike hafif paneller üretilmiştir. Hendeğin kenarlarında yanıl destek malzemesi olarak kullanılan bu paneller düşük empedanslı seçilerek bulunduğu zeminle uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Özellikle alüvyon zemin koşullarında böyle bir

uyumlaştırma uygulamasının mühendislik pratiğine etkisinin ortaya konulması için ince gaz beton duvarlı açık hendek tipi dalga bariyerinin titreşim sönümleme performansı incelenmiştir.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

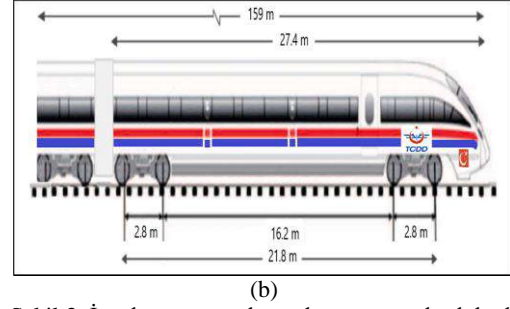
Deneylerin gerçekleştirildiği test sahasının zayıf zemin koşulları göz önüne alındığında, 2 metre derinlikte kazılan zeminde stabilite sorunu ortaya çıkmakta ve bu sorun açık hendek tipi dalga bariyerinin iç yüzeylerden desteklenmesini gerektirmektedir. Zemini istinat duvarı olarak destekleyen bariyer malzemesinin empedansı, yüzey dalgasının yayıldığı zemin tabakasının empedansı ile örtüşecek şekilde seçilmiştir. Böylece gelen yüzey dalgalarının zeminden bariyere geçerken, zemin bölgesinin devamı niteliğinde bir ortama iletilmesi ve sönümleme mekanizmalarının bozulmaması amaçlanmıştır.

2.1 Yüksek Hızlı Demiryolu Hattının Özellikleri

Yüksek hızlı demiryolu taşımacılığına sahip birçok Avrupa ülkesinde olduğu gibi Türkiye'de de yolcu taşımacılığında kullanılan trenlerin trafik akış hızları ve dingil yükleri artırılarak önemli yatırımlar yapılmıştır. Azami tren hızının 250 km/sa ile 300 km/sa arasında olması planlanan Türkiye Yüksek Hızlı Demiryollarında yolcu trenleri 6 vagon oluşmaktadır. İhtiyaç halinde vagon sayısı 22.5 tona kadar eksenel kuvvet yükü ile 8'e çıkarılabilmektedir. Yolcu vagonlarını çeken lokomotif 27.4 metre uzunluğunda olup, tekerlekler arası mesafe 2.8 metredir. Deneysel ölçümler için dikkate alınan HT65000 YHT (yüksek hızlı tren) seti, TCDD tarafından yüksek hızlı demiryolu yolcu taşımacılığı için kullanılmakta olup yaklaşık 159 m uzunluğundadır ve maksimum 419 kişilik yolcu kapasitesine sahiptir (Şekil 3.). Bu tren seti 36 m'lik UIC-60 ray altında ön-germeli, ön-çekmeli monoblok B70 traversler üzerinde hareket etmektedir. [9].



(a)



(b)

Şekil 3. İncelenen test sahasından geçen yüksek hızlı tren: (a) önden görünüşü, (b) HT65000 yüksek hızlı tren setinin boyutları

2.2 Test Sahasının Geoteknik Özellikleri

Bu çalışma kapsamında, yüksek hızlı tren trafiği tarafından üretilen yer titreşimlerinin etkilerini azaltmak için bir dizi saha ölçümü yapılmıştır. Bu amaçla, İstanbul-Ankara YHT hattı üzerinde bulunan Sakarya-Pamukova bölgesi hedef test alanı olarak seçilmiştir. Sakarya-Pamukova lokasyonundan geçen yüksek hızlı tren hattı düz bir geçiş koridoruna sahip olması nedeniyle tren seyahat hızı en yüksek değerlere (200-250 km/sa aralığında) ulaşmaktadır. Seçilen test sahası trenin hareket hızını düşürdüğü Arifiye ve Bilecik gibi iki komşu istasyona yeterli uzaklıktadır (Şekil 4.). Bununla birlikte seçilen bölge, demiryolu hattının geçtiği güzergahlar arasında ilgili deprem yönetmeliği EC8'e [10] göre yapılaşma ve dalga yayılımı sorunları açısından en elverişsiz jeoteknik koşullara sahip sahalardan biridir. Test arazisinde çok derin alüvyal çökeller mevcut olup, zemin yüzey katmanlarını çoğunlukla taşıma kapasitesi zayıf siltli kumlu kil birimleri oluşturmaktadır.



Şekil 4. Ölçüm sahasının konumu [9]

Test sahası olarak seçilen Pamukova/Yenice bölgesindeki zemin ortamının dinamik özellikleri, elastik parametreleri ve jeolojik yapısıyla ilgili iki adet Sismik Refraksiyon (Kırılma) ve MASW (Çok Kanallı Yüzey dalgası) etüdü yapılmıştır. İnceleme alanında yapılan sismik ölçümden zemin tabakaları için elde edilen dinamik ve elastik parametrelerin ortalama değerleri ve sınıfları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Zemin tabakalarının dinamik ve elastik parametrelerinin ortalama değerleri

MAKİNA TİPİ - SARADOREMİ (12 KANALLI)			ORTALAMA	
Zemin	SEMBOL	BİRİMİ	I.	II.
Dinamik Elastik Parametreleri			TABAKA	TABAKA
Sıkışma Dalgası Hızı	V_p	m/s	410	1806
Sökülebilirlik	derece	birimsiz	Çok Kolay	Zor
Kayma Dalga Hızı	V_s	m/s	125	233
30 Metrede Derinlik İçin Ort. Kayma Dalgası Hızı	$(V_s)_{30}$	m/s	187.5	
Ort. Tabaka Kalınlığı	h	m	7.34	-
Hız Oranı	V_p/V_s	birimsiz	3.3	7.8
Yoğunluk	d	g/cm ³	1.73	2.02
Kayma Modülü	G	kg/cm ²	272	1094
Elastisite Modülü	E	kg/cm ²	781	3263
Poisson Oranı	μ	birimsiz	0.439	0.492
Bulk Modülü	K	kg/cm ²	2475	64774
Zemin H. Titreşim Periyodu	T_0		0.97	
Zemin H. Titreşim Aralığı	T_a-T_b	sn	0.65	1.45

2.3 Prefabrike Panel Destekli Açık Hendek ile Saha Deneyleri

Uygun jeoteknik koşullarda açık hendek uygulaması, tren kaynaklı zemin yüzeyi titreşimlerini azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yumuşak zemin üzerine kurulu yoğun nüfuslu bölgelerde yanal destek olmaksızın derin hendeklerin kullanılması mühendislik fizibilitesi açısından pratik değildir. Bununla birlikte, rijit dalga bariyerlerinin titreşim izolasyon etkinliği, yüksek empedansı nedeniyle beklenen düzeyde değildir. Dalga bariyerinin malzemesinin rijitliği yüksek olduğunda titreşim enerjisini soğurma kapasitesinin düşük olduğu önceki çalışmalardan iyi bilinmektedir [11]. Bariyerin cidar malzemesinin empedansı, yüzey dalgasının yayıldığı zemin katmanının empedansı ile örtüşecek şekilde seçilerek söz konusu cidar ile zemin bölgesinin devamı gibi davranan bir ortam oluşturulmaya çalışılmış ve böylelikle yayılan dalga karakterinin korunabilmesi amaçlanmıştır. Buna bağlı olarak 400 t/m²s empedans değerine sahip özel olarak tasarlanmış prefabrike ince paneller üretilmiş ve bariyerin inşası için test sahasına nakledilmiştir (Şekil 5.).



Şekil 5. Prefabrike gazbeton paneller

Düşey duvar panelleri fabrika, alışveriş merkezi, depo ve iş merkezi gibi sanayi ve ticari yapılar ile konutların dış ve iç duvar yapımında kullanılmaktadır. Betonarme veya çelik taşıyıcı yapıya dıştan veya kolon aralarına monte edilebilen elemanlar A1 sınıfı yanmaz özellikte, hafif ve montaja hazır, düzgün yüzeyli çevre dostu bloklardır. İlgili gaz beton elemanlara dair malzeme özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Gaz beton panellerin malzeme özellikleri

Malzeme Özelliği	Birim	Değer
Ortalama Elastisite Modülü	MPa	1749
Isıl İletkenlik Katsayısı	W/Mk	0.15
Kuru Birim Hacim Ağırlık	kg/m ³	500
Basınç Dayanımı	MPa	3.5
Akma Dayanımı	MPa	500
Çekme Dayanımı	MPa	550
Yangına Tepki Sınıfı	-	A1

Dalga bariyerinin, titreşim üreten dinamik kaynaktan uzağa, korunacak bölgenin yakınına yerleştirilmesi pasif izolasyonu ifade eder. Bu tür uzak alan izolasyonunda korunan bölgeye inşa edilecek dalga bariyerinin etkili olabilmesi için yüksek hızlı tren geçişlerinin ürettiği Rayleigh yüzey dalgalarının yeterli yayılma mesafesine sahip olması gerekmektedir. Konuyla ilgili yapılan araştırmalar, özellikle küçük titreşim kaynaklarının neden olduğu dalga yayılımı problemlerinde pasif izolasyon uygulamalarının etkili olabilmesi için bariyerin yük kaynağına olan mesafesinin en az 1.5-2 Rayleigh dalga boyu (λ =dalga boyu) olması gerektiğini göstermektedir [2]. Bariyerin konumunu belirlemek için kullanılan yüzey dalga boyu, titreşim kaynağının baskın frekansına ve zemin sahasının dinamik parametrelerine bağlı olarak 4-6 m aralığında hesaplanmıştır. Hendek konumu, demiryolu hattından en az 3λ uzaklıkta olacak şekilde planlanmış ve dinamik yük kaynağından 23.6 m uzaklıkta açılmıştır. Optimum dalga bariyeri boyutlarına göre oluşturulan pasif izolasyon modeli için kazılan hendek çukurunun uzunluğu 4.8 m, genişliği 0.60 m ve derinliği 2 m'dir (Şekil 6.).



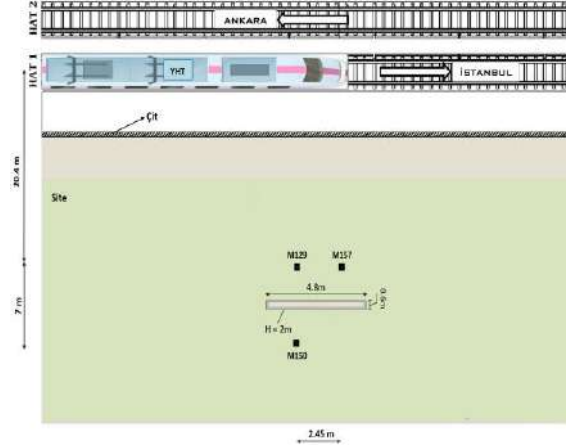
Şekil 6. Gazbeton panellerin yerleştirileceği hendek açılması

Test sahasının alüvyon zemin koşulları göz önüne alındığında 2 m derinlikte kazılan zeminde yanal stabilite sorunu ortaya çıkmakta ve bu sorun hendek tipi dalga bariyerinin iç yüzeylerden desteklenmesini gerektirmektedir. Açık hendek dalga bariyeri, stabilitesinin sağlanması için iç yüzeylerden prefabrike gaz beton duvar panelleri ile dikey olarak desteklenmiştir (Şekil 7.). Paneller yerleştirilmeden önce su yalıtımını sağlayabilmek amacıyla hendek içerisine membran bir örtü serilmiş ve panel elemanları kullanılarak gaz beton cidarlı açık hendek tipi dalga bariyeri oluşturulmuştur. Panellerin kalınlığı 10 cm'dir.



Şekil 7. Gaz beton cidarlı açık hendek tipi dalga bariyerinin inşaatı

Çalışmanın ilk aşamasında, bariyersiz saha koşullarında 3 adet ivmeölçer tren hattına dik yerleştirilerek İstanbul-Ankara seferlerini yapan yüksek hızlı tren geçişleri esnasındaki serbest yüzey hareketleri kayıt altına alınmıştır. Şekil 8'de görüldüğü üzere M129, M150 ve M157 kodlu ivmeölçerler serbest zemin titreşimlerini analiz etmek için, daha sonra inşa edilecek dalga bariyeri dikkate alınarak belirlenen alanın önüne ve arkasına yerleştirilmiştir. Böylece titreşim genliklerinin bariyerli ve bariyersiz durumlarla doğrudan karşılaştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 8. Test sahasının şematik görünümü ve ölçüm noktaları

Saha çalışmaları kapsamında YHT geçişlerinin ürettiği çevresel titreşimleri ölçmek için, üç eksenli Capacitive Force Micro-machined sensörlerle çok düşük gürültü seviyelerinde zayıf titreşim hareketlerini ölçebilen, DAC-3HDG tipi 32 bit yüksek çözünürlüklü AREL marka ivmeölçerler kullanılmıştır (Şekil 9.). Kullanılan ivmeölçerler saniyede 200 ($\Delta t=1/200=0.005$ s) veri kaydedecek şekilde ayarlanmıştır. İvmeölçerler ile ölçülen titreşim kayıtları, sensörler tüm gün açık olduğu için çok uzun veriler içermektedir. Her bir YHT geçişine ait titreşim verilerine ulaşabilmek için ilgili tren geçişine ait zaman bilgisi kullanılarak ayrıştırma yapılmıştır. Ayrıştırılmış ham ivme verilerindeki eksen kaymalarını düzeltmek ve gürültü gibi istenmeyen titreşim etkilerini ortadan kaldırmak için bir dizi sinyal işleme uygulanmıştır. Bu işlemler SeismoSignal yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Veri analizleri zaman ve frekans ortamında yapılmıştır. İvme verisi ilk olarak sıfır çizgisine (Baseline Correction) hizalanmıştır. Sıfır çizgisine getirilen titreşim kayıtlarının Fourier genlik spektrumları incelendiğinde, dinamik yükün baskın frekans aralığı 10 ile 100 Hz aralığında olduğu saptanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda kayıtlarda olabilecek düşük frekanslı titreşim etkileri ve darbe vb. yüksek frekanslı titreşim etkilerini ayıklamak için filtreleme işlemi uygulanmıştır. Filtreleme işleminde 4. dereceden Butterworth Band geçişli filtreleme fonksiyonu kullanılmış olup 10-100 Hz aralığında Bandpass filtreleme seçilmiştir. Söz konusu işlemler tüm titreşim kayıtları için ayrı ayrı uygulanmıştır. İvme-zaman kayıtlarına integrasyon işlemi uygulanarak hız-zaman ilişkileri hesaplanmıştır. Filtrelenmiş titreşim kayıtları için tepki spektrumları %5 sönüm oranı için çizdirilmiştir. Hız spektrum eğrilerinden elde edilen maksimum hız verileri ile V_{RMS} ve L_v değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 9. Saha ölçümlerinde kullanılan deney seti

V_{RMS} (Root Mean Square-mm/s) ve L_v (Hız seviyesi-dB) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir sinyalin RMS'si, genliğinin karesinin ortalamasıdır ve tipik olarak 1 s'lik bir aralık üzerinden hesaplanmaktadır. L_v ise desibel cinsinden hız seviyesini ifade etmektedir. V_{RMS} ve L_v değeri aşağıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilmektedir.

$$V_{RMS,i} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt} \quad (1)$$

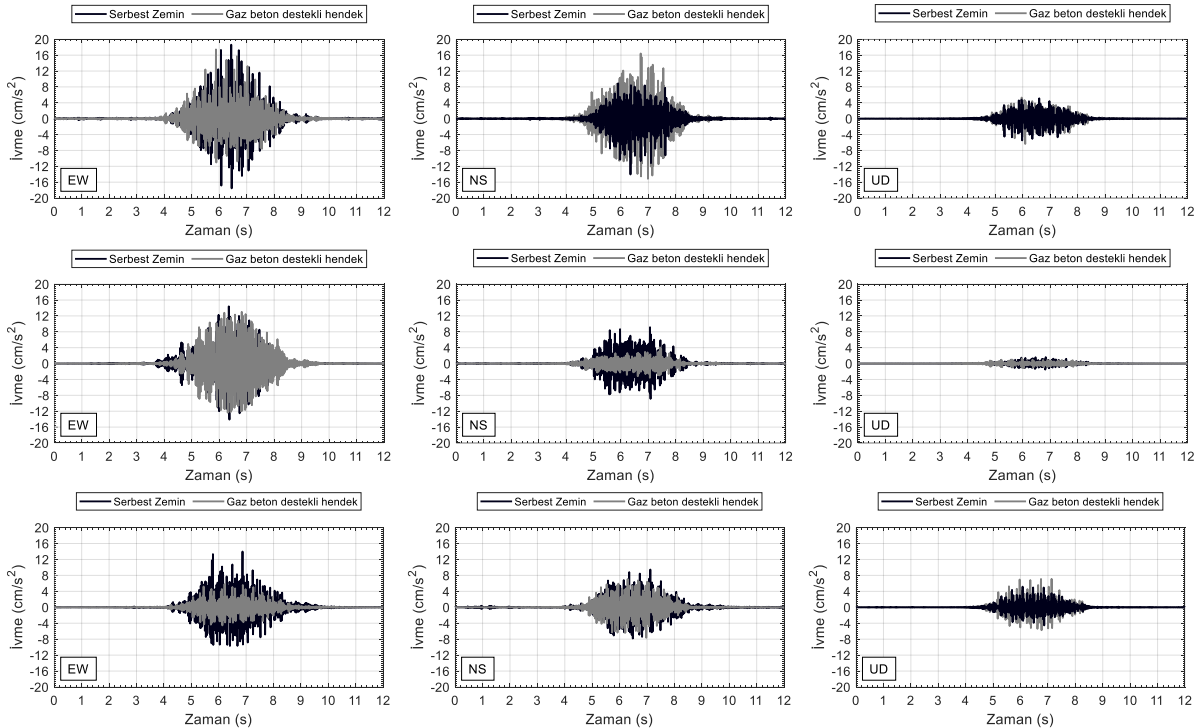
$$L_{v,i} = 20 \cdot \log \left(\frac{V_{RMS,i}}{V_{ref}} \right) \quad (2)$$

Burada T periyodu, t_0 başlangıç zamanını, V hız genliklerini, V_{RMS} maksimum RMS genliğini ve

2.4 Saha Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tüm kayıtların ayrıklaştırılması ve veri analizleri aşamaları ile elde edilen ivme-zaman eğrilerine integrasyon işlemi uygulanarak, hız-zaman eğrileri oluşturulmuştur. Hız-zaman verileri, V_{RMS} ve L_v değerlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Hızlı tren geçişleri esnasında ölçülen titreşim verilerinin, insan algısı ve hassas cihazların çalışabilirliği açısından değerlendirilebilmesi için

V_{ref} ise referans hız değerini ifade etmekte olup 1×10^{-8} m/s olarak alınmaktadır. M129, M150 ve M157 ivmeölçer kayıtları, trenin geçişinden kaynaklanan serbest zemin titreşimleri olarak değerlendirilmiştir. Şekil 8'de gösterildiği gibi, M129 ve M157 ivmeölçerler tren hattından 20.4 m uzaklıkta, M150 ivmeölçer ise tren hattından 27.4 m uzaklıkta yer almaktadır. Serbest zemin titreşim verileri, gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendeğin varlığındaki tren geçişlerinden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Serbest zemin (hendeksiz) ve gaz beton destekli hendek durumlarında M129, M150 ve M157 cihazlarının üç bileşenindeki kayıtların karşılaştırıldığı ivme-zaman eğrileri Şekil 10'da ve bu kayıtlardan elde edilen tepe değerleri ile V_{RMS} ve L_v değerleri Tablo 3'te sunulmaktadır.



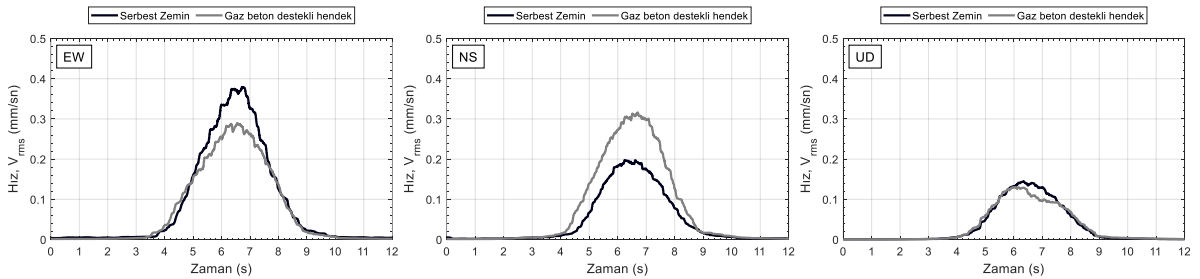
Şekil 10. Serbest zemin (hendeksiz) ve gaz beton destekli hendek durumlarında sırasıyla M129, M150 ve M157 cihazlarının üç bileşenindeki ivme-zaman kayıtlarının karşılaştırılması

Tablo 3. Üç farklı ivmeölçerden alınan maksimum yer ivmelerinin ve maksimum hız verilerinden elde edilen V_{RMS} ve L_v değerlerinin karşılaştırılması

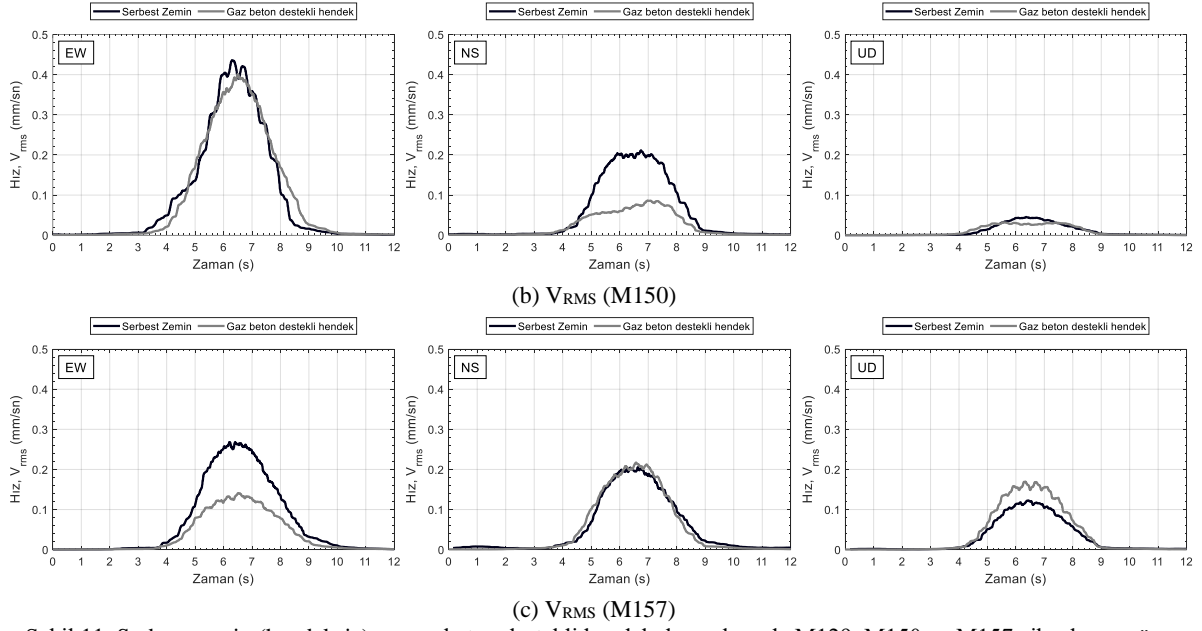
Durum	YÖN	Mak. Yer İvmesi (cm/s^2)			Hız, V_{RMS} (mm/s)			Hız, L_v (dB)		
		M129	M150	M157	M129	M150	M157	M129	M150	M157
Serbest Zemin	EW	18.64	14.41	13.99	0.380	0.436	0.268	91.6	92.8	88.6
	NS	14.07	9.16	9.47	0.198	0.212	0.206	85.9	86.5	86.3
	UD	5.48	1.63	5.18	0.145	0.045	0.123	83.2	73.2	81.8
Gaz Beton Destekli Hendek	EW	17.45	13.02	5.81	0.289	0.401	0.141	89.2	92.1	83.0
	NS	16.43	4.09	7.67	0.316	0.086	0.217	90.0	78.7	86.7
	UD	6.38	1.27	7.12	0.130	0.032	0.169	82.3	70.2	84.6

Serbest zemin durumunda M129 ve M150 ivmeölçerler dikkate alındığında, mesafeye bağlı olarak ivme genliğinin azaldığı açıkça görülmektedir. Tren hattına paralel EW yönünde bu azalma yaklaşık %25 iken, tren hattına dik NS yönünde yaklaşık %35, düşey yönde ise yaklaşık %70'tir. Tren hattına aynı mesafede bulunan M129 ve M157 ivmeölçerlerinde kaydedilen titreşimler incelendiğinde, özellikle EW ve NS yönlerinde ivme genlikleri arasında belirgin bir fark gözlenmektedir. İvmeölçerler demiryolu hattına eşit mesafede yerleştirilmiş olmasına rağmen, ivme değerlerindeki farklılıklar, hat boyunca ray pürüzlülüğünün rastgele doğası, balast alt yapı sertliğinin homojen olmaması ve üst toprak tabakasının mekanik özelliklerinin bir noktadan diğerine değişmesi ile açıklanabilir. Benzer koşullara sahip noktalarda kaydedilen titreşimler arasındaki fark daha yüksek frekanslarda daha belirgin hale gelir. Bunun nedeni, yüksek frekanslarda dalga boyunun çok küçük olması ve zemin özelliklerindeki yerel değişikliklerin dalga tarafından tanımlanmasıdır. Gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek varlığındaki durumda ise, M129 ve M150 cihazlarından elde edilen ivme genlikleri karşılaştırıldığında, genliklerde EW, NS

ve UD yönlerinde sırasıyla %25, %75 ve %80 azalma gözlenmiştir. Paralel konumlu M129 ve M157 cihazlarının ivme genlikleri karşılaştırıldığında yine bariyersiz durumda olduğu gibi genliklerde azalma gözlenmektedir. İvme genlikleri EW ve NS yönlerinde sırasıyla %67 ve %53 oranında azalmıştır. Ancak UD yönünde yaklaşık %12'lik bir artış görülmektedir. Bariyerin izolasyon etkisini gözlemlemek için, bariyerin arkasında yer aldığı için M150 cihazındaki kayıtlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek varlığının; hendeksiz (serbest zemin) duruma kıyasla genlikleri azalttığı açıkça görülmektedir. Bariyerin hemen arkasındaki M150 cihazından elde edilen veriler serbest zemin verileriyle karşılaştırıldığında ivme genliklerinde EW, NS ve UD yönlerinde sırasıyla %10, %55 ve %22 oranında azalma gözlenmiştir. Pasif izolasyonun etkisinin değerlendirilmesinde ivme genlikleri parametrelerinin yanı sıra V_{RMS} parametreleri de dikkate alınmıştır. Serbest zemin durumu (hendeksiz), gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek durumu için elde edilen V_{RMS} parametreleri Şekil 11'te grafiksel olarak gösterilmiş ve ilgili tepe değerleri de Tablo 3'te verilmiştir.



(a) V_{RMS} (M129)



Şekil 11. Serbest zemin (hendeksiz) ve gaz beton destekli hendek durumlarında M129, M150 ve M157 cihazlarının üç bileşenindeki hız verilerinden elde edilen V_{RMS} eğrilerinin karşılaştırılması

Bariyerin hemen arkasındaki M150 cihazından elde edilen hız verileriyle hesaplanan V_{RMS} parametresi ile yapılan değerlendirmelerde, gaz beton destekli açık hendek durumunun serbest zemin durumuna göre EW, NS ve UD yönlerinde sırasıyla %8, %60 ve %29 oranında izolasyon etkisi sağladığını ortaya koymuştur. Desibel cinsinden hız seviyesi için L_v parametresi ile yapılan değerlendirmede ise, gaz beton destekli açık hendek durumunda, hendeksiz duruma göre EW yönündeki titreşimlerde 0.7 desibellik bir düşüş yaşandığı görülmüştür. NS yönünde ise yaklaşık 8 desibellik bir azalış ile oldukça iyi bir yalıtım performansı gözlenmiştir.

3. SONUÇ

İstanbul-Ankara demiryolu güzergahının Sakarya-Pamukova bölgesinde, en elverişsiz geoteknik koşullarda yüksek hızlı tren geçişlerinin ürettiği titreşimleri azaltmak için gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek uygulaması gerçekleştirilmiş, yalıtım performansını değerlendirebilmek bir dizi tam ölçekli saha deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada, elverişsiz zeminlerde kazılan açık hendeklerde oluşan yanal stabilite problemlerine bir çözüm olarak hendeğe yerleştirilmek üzere düşük empedansa sahip özel prefabrike paneller üretilmiştir. İnce gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek tipi dalga bariyerinin izolasyon etkinliği incelenmiştir. Yapılan saha deneylerinde 250 km/sa hızla hareket eden trenler için serbest zemin yüzey titreşimleri değerlendirilmiştir. Gaz beton panellerle desteklenmiş açık hendek tipi titreşim bariyerinin,

alt zemin ile yanal destek malzemesi arasındaki empedans farkını en aza indirerek açık hendek uygulamasına benzer izolasyon etkisi sağladığı sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada, hendeğin kenarları için seçilen yanal destek malzemesinin empedansı, alt zeminin empedansı ile uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır. Diğer hafif malzemeli panellerle karşılaştırıldığında, bu panel zamana bağlı zemin koşullarına maruz kaldığında tasarlanan empedansını değiştirmeden yüksek yanal toprak basıncına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Harmonik titreşime dayalı deneyler, izolasyonun hendeklerin hemen arkasındaki serbest alanın yüzey titreşim genliklerinde %80'e varan azalma sağladığını göstermiştir [12-14]. Bu izolasyon performansı, tüm titreşim yönleri dikkate alınarak hesaplandığında yaklaşık 24 desibele karşılık gelmektedir. Saatte 250 km hızla sahip trenlerin geçişinden kaydedilen yerinde ölçümler, insan algısı ve titreşime duyarlı tesisler için hız seviyesi açısından değerlendirildiğinde gaz beton panellerle desteklenen açık hendek uygulamasının yaklaşık 8 desibellik bir azalış ile oldukça iyi bir yalıtım performansı sağladığını ortaya konmuştur.

4. REFERANSLAR

- [1] TCDD Yüksek Hızlı Tren Projesi. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD), <http://www.tcdd.gov.tr/>; 2017.
- [2] Ahmad, S., Al-Hussaini, T. M., & Fishman, K. L. "Investigation on active isolation of machine foundations by open trenches" Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122(6), 454-461.

- [3] Forchap, E., & Verbic, B. "Wave propagation and reduction of foundation vibrations" Berg-Verlag GmbH, Bochum, 1994, 165-178.
- [4] Çelebi, E., Fırat, S., Beyhan, G., Çankaya, İ., Vural, İ., Kırtel, O. "Field experiments on wave propagation and vibration isolation by using wave barriers" Soil dynamics and earthquake engineering, 2009, 29(5), 824-833.
- [5] Alzawi, A., El Naggar, M. H. "Full scale experimental study on vibration scattering using open and in-filled (GeoFoam) wave barriers" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2011, 31(3), 306-317.
- [6] Ulgen, D., Toygar, O. "Screening effectiveness of open and in-filled wave barriers: a full-scale experimental study" Construction and Building Materials, 2015, 86, 12-20.
- [7] Coulier, P., Cuéllar, V., Degrande, G., Lombaert, G. "Experimental and numerical evaluation of the efficiency of a stiff wave barrier in the soil" In Proceedings of the 5th International Conference On Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2015, (pp. 49-65).
- [8] Naghizadehroki, M., Ziegler, M., Sprengel, J. "A full experimental and numerical modelling of the practicability of thin foam barrier as vibration reduction measure" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2020, 139, 106416.
- [9] Çelebi, E., Kırtel, O., İstegün, B., Göktepe, F., Navdar, M. B., Subaşı, A., & Zülfikar, A. C. "Mitigation of high-speed train induced surface vibrations by open trench with aerated concrete panel walls" Construction and Building Materials, 2023, 400, 132771.
- [10] British Standards Institution. BS EN 1998-1:2004. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance: general rules, seismic actions and rules for buildings. London: BSI; 2004.
- [11] Massarsch, K. R. "Vibration isolation using gas-filled cushions" In Soil dynamics symposium in honor of professor Richard D. Woods, 2005, (pp. 1-20).
- [12] Woods, R. D. "Screening of surface wave in soils. Journal of the soil mechanics and foundations division" 1968, 94(4), 951-979.
- [13] Dolling, H. J. "Abschirmung von erschütterungen durch bodenschlitze" Die Bautechnik, 1970, 5, 151-158.
- [14] Haupt, W. A. "Wave propagation in the ground and isolation measures" In Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 1995, (1981: April 2-7; St. Louis, Missouri).

5. ÖZGEÇMİŞ

Ayşenur Subaşı

Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans eğitimini aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda tamamlayan yazar doktora eğitimine devam etmektedir. Yazarın araştırma konuları yığma yapıların güçlendirilmesi, zeminlerde dalga yayılımı, geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi ve titreşim azaltıcı dalga bariyerlerinin tasarımı üzerinedir.

Erkan Çelebi

Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Yüksek

lisans ve doktora eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği'nde tamamlayan yazar halen Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi'nde Profesör unvanında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Yazarın araştırma konuları betonarme yapılar, geoteknik deprem mühendisliği, yapı dinamiği, yapı-zemin dinamik etkileşimi, yer titreşimleri, yer tepki analizleri, sonlu elemanlar yöntemi, titreşim dalgalarının azaltılması ve yüksek hızlı demiryolu trafiği kaynaklı zemin titreşim ölçümleri üzerinedir.

Berna İstegün

Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans eğitimini aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda tamamlayan yazar doktora eğitimine devam etmekte olup aynı zamanda Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yazarın araştırma konuları yığma yapıların güçlendirilmesi, zeminlerde dalga yayılımı, geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi ve titreşim azaltıcı dalga bariyerlerinin tasarımı üzerinedir.

Osman Kırtel

Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Yüksek lisans ve doktora eğitimini Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği'nde tamamlayan yazar halen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi'nde Dr.Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Yazarın araştırma konuları betonarme yapılar, deprem mühendisliği, yapı dinamiği, yapı-zemin dinamik etkileşimi, patlama etkileri, çevresel titreşimler, sonlu elemanlar yöntemi, titreşim dalgalarının azaltılması ve yüksek hızlı demiryolu trafiği kaynaklı zemin titreşim ölçümleri üzerinedir.

Fatih Göktepe

Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans ve doktora eğitimini aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Bilim Dalı'nda tamamlayan yazar halen Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi'nde Doçent unvanında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Yazarın araştırma konuları zemin dinamiği, zeminlerde dalga yayılımı, yapı- zemin dinamik etkileşimi, hareketli yüklerin modellenmesi, geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi, doğal afetler ve titreşim azaltıcı dalga bariyerlerinin tasarımı üzerinedir.

Muhammet Burhan Navdar

Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda tamamlayan yazar doktora eğitimine aynı üniversitede devam etmektedir. Ayrıca Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yazarın araştırma konuları dijital sinyal işleme, titreşim analizi, dinamik analiz, yapı sağlığı izleme, deprem mühendisliği, yapı-zemin etkileşimi, betonarme yapılar ve güçlendirilmesi üzerinedir.

Abdullah Can Zülfikar

Lisans eğitimini Yıldız teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Yüksek Lisans Eğitimini Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalında, Doktora Eğitimini Japon Milli Eğitim Bakanlığı (Monbusho) burslusu olarak Okayama Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Halen Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları Deprem Mühendisliği, Kuvvetli Yer Hareketi, Zemin Davranış Analizi, Tren titreşimleri, Deprem Tehlike ve Risk Analizi üzerinedir.



DRIVE

Demiryolu yük taşımacılığını yeniden hayal etmek Drive New Ways

Taşımacılıktaki istikrarlı artış hacmi, lojistik hizmetlere olan talebi de artırmaktadır. Demiryolu, ancak rekabetçi çözümlere cevap verirse, çevre dostu bir ulaşım aracı olma imajını yerine getirebilir. Demiryolu yük taşımacılığına yönelik çözümlerimiz, işte bu imajın oluşmasını sağlamaktadır. Dijital sistemler ve yenilikçi ürünler ile yalnızca raylı araç operatörlerinin operasyonlarının verimliliğini artırmakla kalmıyor, aynı zamanda özel olarak yük treni taşımacılığı performansını da geliştiriyoruz. Çözümlerimiz verimlilik, sürdürülebilirlik ve ticari başarıyı bir araya getirdiği için, demiryolu yük taşımacılığını yeniden şekillendiriyoruz.

voith.com

VOITH