



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

[RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK DÜZLEŞMESİNİN TESPİTİ]

Abdurrahim ÇELİK

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Yener TAŞKIN**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

Ocak, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdurrahim ÇELİK tarafından, **Doç. Dr. Yener TAŞKIN** danışmanlığında hazırlanan "**RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK DÜZLEŞMESİNİN TESPİTİ**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **05/01/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

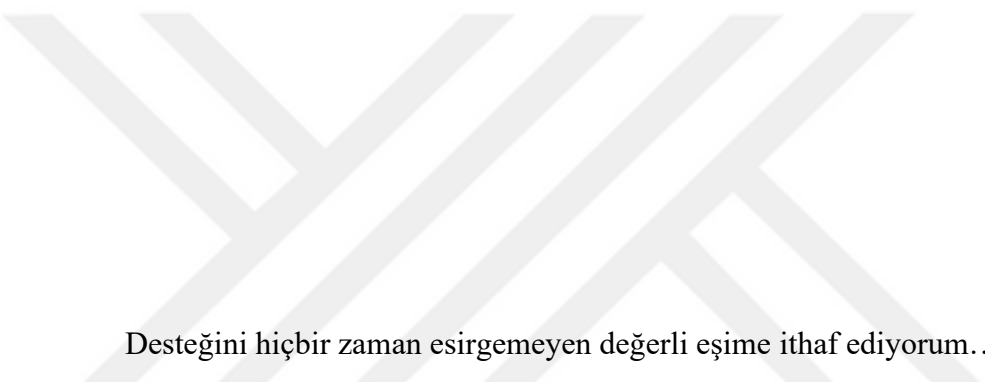
Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Doç. Dr. Yener TAŞKIN	☒
	İstanbul-Cerrahpaşa	Kabul
	Üniversitesi	☐
	Mekatronik Anabilim Dalı	Ret
ÜYE	Doç. Dr. Meral BAYRAKTAR	☒
	Yıldız Teknik Üniversitesi	Kabul
	Makine Teorisi Sistem Dinamiği	☐
	ve Kontrolü Anabilim Dalı	Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Erdem DAMCI	☒
	İstanbul-Cerrahpaşa	Kabul
	Üniversitesi	☐
	Yapı Anabilim Dalı	Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Abdurrahim ÇELİK



Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eğime ithaf ediyorum...

BÜTÇE DESTEKLERİ

[RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK DÜZLEŞMESİNİN TESPİTİ]

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın fikir aşamasında, planlanmasında ve yürütülmesinde, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Yener TAŞKIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim, kıymetli ailem, annem Fatma ÇELİK, babam Ramis ÇELİK en büyük teşekkürü size borç bilirim.

Son olarak, bana karşı olan sabrı, güveni, desteği ve hayatıma kattıkları için kıymetli eşim Esra ÇELİK'e sonsuz teşekkür ederim. |

Ocak 2023

Abdurrahim ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. TEKERLEK DÜZLEŞMESİNİN TESPİT YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	3
3. YÖNTEM	9
3.1. MASTAR İLE TESPİT YÖNTEMİ	9
3.2. SENSÖR İLE TESPİT YÖNTEMİ	11
3.3. TEKERLEKLERE SENSÖR MONTAJI YAPILARAK TESPİT YÖNTEMİ	12
3.4. APLETİNİN GEÇ TESPİTİ VE TEKERLEK PROFİLLENDİRİLMESİ	13
3.5. TEKERLEK ÖMRÜ HESABI	17
3.6. YENİ GELİŞTİRİLEN TESPİT YÖNTEMİ	17
4. BULGULAR	18
4.1. ÖRNEK RAY TESPİTİ İÇİN YAPILAN TESTLER	19
4.1.1. Ondülasyon Kontrolü	19
4.1.2. Ray Pürüzlülük Testi.....	22
4.1.3. Ray Bağlantı Elemanı Testi.....	28
4.2. TEKERLEK PÜRÜZLÜLÜK TESTİ	34
4.3. TEKERLEK DÜZLEŞMESİ YENİ TESPİT YÖNTEMİ.....	40
4.3.1. Tekerlek Düzleşmesi tespit yöntemi testi.....	41

5. TARTIŞMA.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER	59
EK 1. Apleti Sorunu Sebebiyle Talaş Kaldırma Ömür Hesabı.....	59
EK 2. Ondülasyon Hesapları	60
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	62
ETİK KURUL İZİN YAZISI	63
KURUM İZNİ YAZILARI.....	64
PATENT HAKKI İZNİ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Tekerlek Hasar Sınıfları [2]	3
Şekil 2.2: Tekerlek Yuvarlanma Yüzeyindeki Düzleşme [3]	3
Şekil 2.3: 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Analiz Modeli [4]	5
Şekil 2.4: Dikey Eksende Araç-Ray Etkileşim (dinamik) Modeli [5]	5
Şekil 2.5: Üzerine monte edilmiş izleme sistemi ile testler sırasında kullanılan araç [9]	6
Şekil 2.6: FBG Sensörlerinin Raya Montajı [13]	7
Şekil 2.7: Kamera ve Aydınlatma Montajı [15]	7
Şekil 2.8: Apletli Tekerleğin Örnek Raydaki Titreşimi	8
Şekil 3.1: Apleti Olmuş Tekerlek	9
Şekil 3.2: S1002 Tekerlek Profili	10
Şekil 3.3: (a) Profil Mastarı, (b) Master Kullanımı	10
Şekil 3.4: Sensör ile Tekerlek Profil Ölçümü	11
Şekil 3.5: Sensör ile Tekerlek Profil Ölçüm Sonucu	11
Şekil 3.6: Yöntemin Çalışma Prensibi	12
Şekil 3.7: Hattaki Titreşimleri Algılayan Kablosuz Sensör	12
Şekil 3.8: Teker Profillendirme Akış Şeması	13
Şekil 3.9: Teker Profillendirme İşleminin Yapıldığı Torna Yolu	14
Şekil 3.10: Yeraltı Tekerlek Tornası Cihazına Trenin Bağlanması	15
Şekil 3.11: (a) Aks Yükünün Bağlantı Çenelerine Verilmesi, (b) Roller Bağlantısı	15
Şekil 3.12: (a) Kumanda Paneli, (b) Talaş Kaldırma	16
Şekil 3.13: (a) EMA, (b) Tren ile EMA'nın Kuplajlanması	16
Şekil 3.14: Talaş Kaldırma İşlemi Fark Toleransları	17

Şekil 4.1: Yeni Geliştirilmiş Apleti Tespiti Akış Şeması	19
Şekil 4.2: Deforme Olan Ray Yüzeyi	20
Şekil 4.3: UIC54 Mantar Ray Profili	20
Şekil 4.4: Ondülasyon Tespit Cihazı.....	21
Şekil 4.5: Ondülasyon Tespit Cihazı Ölçüm Noktaları.....	21
Şekil 4.6: Ray Taşlama İşlemi	22
Şekil 4.7: ISO 3381 Standartta Belirtilen Değerler.....	23
Şekil 4.8: Ray ölçümü CAT4, SN 892047 kurulumu	23
Şekil 4.9: CAT4 Yazılım Kontrol Paneli	24
Şekil 4.10: Tanımlanan parametreleri gösteren örnek [17].....	25
Şekil 4.11: Standarta Göre Ölçüm Yapılacak Noktalar (Sol Ray-Sağ Ray).....	26
Şekil 4.12: Ray Pürüzlülüğü-Standart Karşılaştırma Grafiği.....	27
Şekil 4.13: EN 15461:2011 Standartına Göre varsayılan alt limit eğriler [19].....	28
Şekil 4.14: EN 15461:2008'e Göre İvmeölçerlerin Ray Kesiti Üzerindeki Konumu [19].....	31
Şekil 4.15: Sabit Tepkime Noktasına Göre Uyarma Noktaları Konum Ağı [19]	31
Şekil 4.16: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Dikey).....	32
Şekil 4.17: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Yatay).....	33
Şekil 4.18: ISO 3381 Standartta Belirtilen Değerler[18]	34
Şekil 4.19: Tekerlek Ölçüm TriTops SN 120907005 montajı ve sensör pozisyonları	35
Şekil 4.20: Ölçüm Yapılan Tekerlekler	36
Şekil 4.21: Ölçülen Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi	40
Şekil 4.22: Referans Noktasına Göre Sensörlerin Montaj Noktaları	41
Şekil 4.23: Ölçüm Noktalarına Göre İvme Ölçerin Örnek Raya Montajı.....	42
Şekil 4.24: Veri Toplama Ekipmanının Kurulumu	42
Şekil 4.25: Veri Toplama Programında Ayarlanan Sınır Değerler	43
Şekil 4.26: Z Eksen Koordinatına Göre Konumlandırılan İvme Ölçerler	44
Şekil 4.27: (a) 1.Aks Sağ Tekerlek, (b) 2.Aks Sağ Tekerlek	45

Şekil 4.28: Apletli Tekerleğe Sahip Trenin Sensörler Üzerinden Geçirilmesi	45
Şekil 4.29: Yeni Profillendirilmiş Tekerleklerle	46
Şekil 4.30: Apletisiz Trenin Sensörler Üzerinden Geçirilmesi	46
Şekil 4.31: 1. (kırmızı) ve 2. (yeşil) Ölçüm Noktalarındaki İvme-Zaman Grafiği	47
Şekil 4.32: 2. Ölçüm Noktasındaki Frekans-Zaman Grafiği	48
Şekil 4.33: 1. (kırmızı) ve 2. (yeşil) Ölçüm Noktalarındaki İvme-Zaman Grafiği	49
Şekil 4.34: MC1 Araç 1. ve 2. Sağ Tekerlekler	50
Şekil 4.35: 2. Ölçüm Noktasındaki Frekans-Zaman Grafiği	50
Şekil 5.1: İvme Değerinin $0,69 \text{ m/s}^2$ 'den Yüksek Olduğu Değerler	51
Şekil 5.2: Ölçüm Noktalarına Göre Ölçülen İvme Değeri Farkları	52
Şekil 5.3: Örnek Ray İçin Seçilen Bölge	53
Şekil 5.4: Bağlantı Elemanı Gevşemesi Kaynaklı Sese Sebep Olan ODD Ekipmanı	54
Şekil 5.5: Ondülasyon Kontrolü.....	54
Şekil 6.1: (a) Yüksek Derece Apleti, (b) Orta Derece Apleti, (c) Kriter Dışı Apleti.....	55
Şekil 6.2: OCC (Kumanda Merkezi).....	56

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1: Ray Pürüzlülüğü Değerleri.....	26
Tablo 4.2: Kullanılan Test Ekipmanları	29
Tablo 4.3: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Dikey).....	32
Tablo 4.4: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Yatay)	33
Tablo 4.5: MC (motorlu ve kabinli) Vagonu Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi	36
Tablo 4.6: M (motorlu) Vagon Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi.....	37
Tablo 4.7: T (taşıyıcı) Vagon Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi	38
Tablo 4.8: Trenin Ortalama Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi	39

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
MC	: Motorlu Kabinli Araç
M	: Motorlu Araç
T	: Taşıyıcı Araç
EMA	: Elektrikli Manevra Aracı
GoA4	: Sürücüsüz Otomasyon Derecesi
ODD	: Engel Algılama Cihazı
FBG	: Fiber Bragg Grating
OCC	: Kumanda Merkezi

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[RAYLI SİSTEMLERDE TEKERLEK DÜZLEŞMESİNİN TESPİTİ]

[Abdurrahim ÇELİK]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Programı

[Danışman : Doç. Dr. Yener TAŞKIN]

Raylı sistemlerde, "Tekerlek Düzleşmesi" ifadesi, "Apleti" terimi ile ifade edilir. Tekerlek düzleşmesi: tren tekerleklerinin dairesel profil yapısını kaybederek yuvarlanma yüzeyinde düzleşmelerin meydana gelmesi olayıdır. Tekerlek düzleşmesi; hattın nemlilik durumundan, rayda veya tekerleklerde bulunan yağ miktarının fazla olmasından, ani frenleme ile yüksek hızlarda trenin durdurulmasından, Tren üzerinde bulunan hız sensörlerinin arızalanması durumlarından kaynaklı frenlemede tekerleklerin ray üzerinde kaymasından kaynaklı meydana gelmektedir. Tekerlek düzleşmesi, tekerleklerde dairesel profil kaybının yaşanmasından dolayı, titreşim/ses oluşturarak seyir konforunu etkiler ve ray profilinin bozulmasına sebep olur. Bulunan yeni bir yöntemle, tekerlek düzleşmesi tespiti yapılarak apleti tespitinin daha hızlı ve hassas yapılması amaçlanmıştır.

Giriş bölümünde raylı sistemlerde bu çalışmaya neden ihtiyaç duyulduğu, çalışmanın diğer yöntemlerden avantajları, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilecektir.

Yöntem bölümünde raylı sistemlerde tekerlek-hat etkileşimi arasındaki bağlantı incelenecektir. Kullanılmakta olan tespit yöntemleri detaylı olarak anlatılarak aralarındaki avantaj ve dezavantajlar belirtilecektir.

Bulgular kısmında ise ray profili, bağlantı durumunu ve tekerlek yüzey durumunu

gözlemlemek adına yapılan testler anlatılmaktadır. Tekerlek ve ray arasındaki titreşim değişikliğine göre tekerlekteki düzleşmenin (apleti) nasıl tespit edilebileceği gösterilecektir. Yeni geliştirilen tespit yöntemi ile apleti tespitinin daha hızlı ve hassas yapılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonuç kısmında bulgular değerlendirilerek ortaya konan sonuçların raylı sistemler açısından yararları ve çalışmanın ilerleyen evreleri için öneriler sunulacaktır. |

Ocak 2023 , |82| sayfa.

Anahtar kelimeler: |Raylı Sistemler, Tekerlek Düzleşmesi, Apleti |



ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

[DETECTION OF WHEEL FLATTENING IN RAIL SYSTEMS]

[ABDURRAHİM ÇELİK]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Programme of Mechanical Engineering

[Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yener TAŞKIN]

In rail systems, the expression "Wheel Flattening" is denoted by the term "Apleti". Wheel flattening: It is the occurrence of flattening on the rolling surface by losing the circular profile structure of the train wheels. wheel flattening; It is caused by the humidity of the line, the excess amount of oil on the rail or the wheels, the stopping of the train at high speeds with sudden braking, the failure of the speed sensors on the train, and the slipping of the wheels on the rail during braking. Wheel flattening, due to the loss of circular profile in the wheels, creates vibration/sound, affects the ride comfort and causes the rail profile to deteriorate. With a new method, it is aimed to make wheel flattening detection faster and more sensitive.

In the introduction, information will be given about why this study is needed in rail systems, the advantages of the study over other methods, the purpose and scope of the study.

In the method section, the connection between wheel-track interaction in rail systems will be examined. The detection methods used will be explained in detail and the advantages and disadvantages between them will be stated.

In the findings section, the tests performed to observe the rail profile, connection condition and wheel surface condition are explained. It will be shown how the flattening (aplet) of the wheel can be detected according to the vibration change between the wheel and the rail. With the newly developed fixation method, it is aimed to make aplet fixation faster and more sensitive.

In the conclusion part of the study, the findings will be evaluated and the benefits of the results in terms of rail systems and suggestions for the further stages of the study will be presented. |

January 2023, |82| pages.

Keywords: | Railway, Wheel Flat, Aplet |

1. GİRİŞ

Raylı sistemlerde, "Tekerlek Düzleşmesi" ifadesi, "Apleti" terimi ile ifade edilir. Tekerlek düzleşmesi: tren tekerleklerinin dairesel profil yapısını kaybederek yuvarlanma yüzeyinde düzleşmelerin meydana gelmesi olayıdır. Tekerlek düzleşmesi; hattın nemlilik durumundan, rayda veya tekerleklerde bulunan yağ miktarının fazla olmasından, ani frenleme ile yüksek hızlarda trenin durdurulmasından, Tren üzerinde bulunan hız sensörlerinin arızalanması durumlarından kaynaklı frenlemede tekerleklerin ray üzerinde kaymasından kaynaklı meydana gelmektedir. Apleti sebebiyle sesten kaynaklı seyir konforu etkilenmektedir. Apletinin geç tespiti, tekerleğin yeniden profillendirme işleminde talaş kaldırma miktarının artması kaynaklı tekerlek kullanım ömrünü etkiler. Ayrıca hattın yanlış tespit yapılarak alınması tren sebebiyle enerji tüketimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuz etkileri önlemek adına apleti durumunun olabildiğince erken ve doğru tespiti önem arz etmektedir.

Günümüzde; demiryolu raylı sistem araçlarında görülen tekerlek düzleşmesinin (apleti) tespitinde mastar ve sensörlerle yapılan farklı yöntemler kullanılmaktadır [1]. Bu yöntemler; periyodik olarak atölye personellerinin tespitiyle ya da tren seyir halinde iken tren sürücüsü tarafından, araç içerisindeki apletinin sebep olduğu gürültünün tespit edilmesi ile uygulanmaktadır. Hatta seyir halinde iken tren sürücüsü tarafından yapılan tespitler araç altında bulunan diğer ekipmanlardan kaynaklı gürültü olabileceğinden, yanıltıcı olabilmektedir, bu durumda hattın gereksiz yere tren çekilmesine ve enerji tüketimine sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca gelişmekte olan teknolojiyle birlikte sürücüsüz metro hatlarının kurulumu yaygınlık kazanmaktadır. Sürücüsüz metro hatlarında, araç içerisindeki gürültü seviyesinden apletiyi tespit edecek personel bulunmadığı için apleti tespiti sadece periyodik bakımlarda atölye personelleri tarafından yapılmaktadır. Bu durumda apleti tespitinin erken teşhisini güç duruma sokmaktadır.

Bu çalışma ile yeni bir apleti tespit yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemle ray tarafındaki bozukluklardan kaynaklı titreşimi engellemek için belirlenmiş ray üzerinde testler yapılarak örnek ray elde edilmiştir. Bu örnek raya ivme ölçer sensörlerinin montajı yapıldıktan sonra ilgili raydan sabit hızda apletli tekerleklere sahip tren ve yeni profillendirilmiş tekerleklere sahip başka bir tren geçirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak apleti durumu incelenmiştir. Bu yöntemle tespitinin insandan bağımsız olarak

apletin daha hızlı ve hassas bir şekilde yapılabileceği gösterilmiştir. Özellikle sürücüsüz metro hatlarında bu yöntemin kullanılması seyir konforunu, tekerlek ömrünü ve enerji tüketimini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.



Tekerlek düzleşmesinde görülen bu profil değişimi üzerinde yapılan detaylı çalışmalarla denklemler elde etmiştir [3].

$$K = 1 + \sqrt{2h/X_s \cdot \left(1 + \frac{4.v.\sin\frac{\theta}{2}}{\theta.r} \cdot \sqrt{\frac{r}{g}}\right)} \quad (2.1)$$

K : Yük faktörü

X_s : Hattaki statik yer değiştirme

h : Düzleşme derinliği

θ : Düzleşmenin merkez açısı

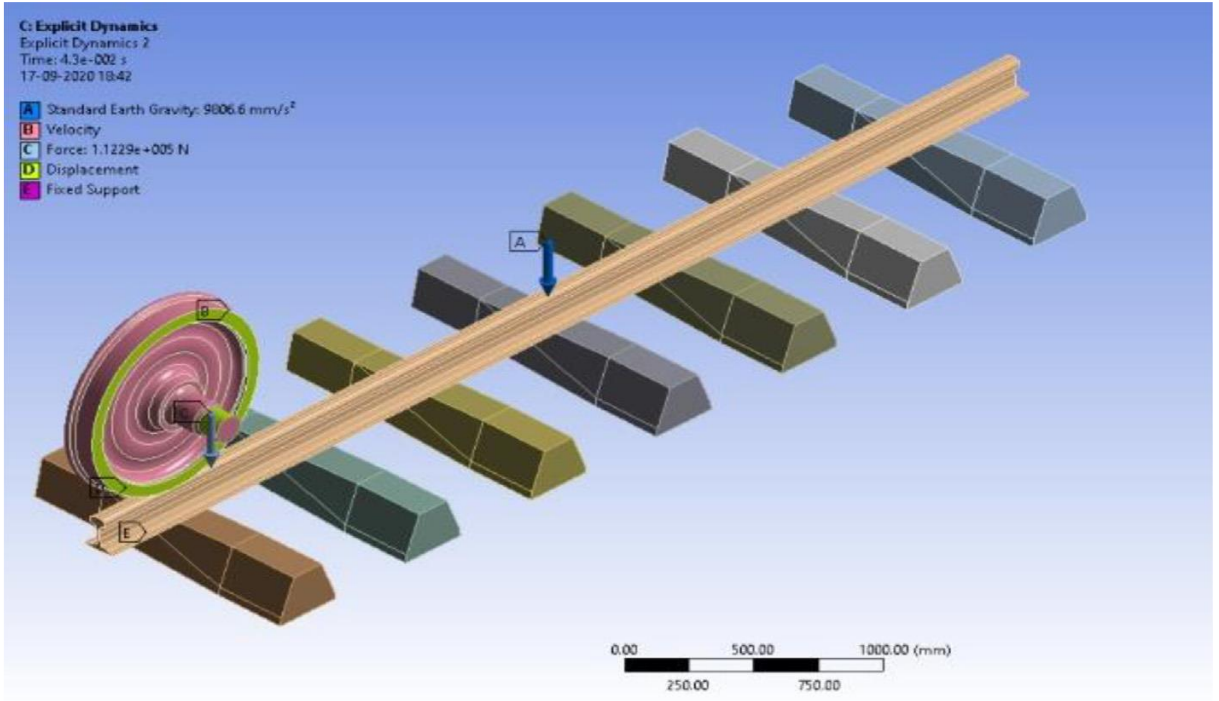
v : Çizgisel hız

g : Yerçekimi ivmesi

r : Tekerlek yarıçapı

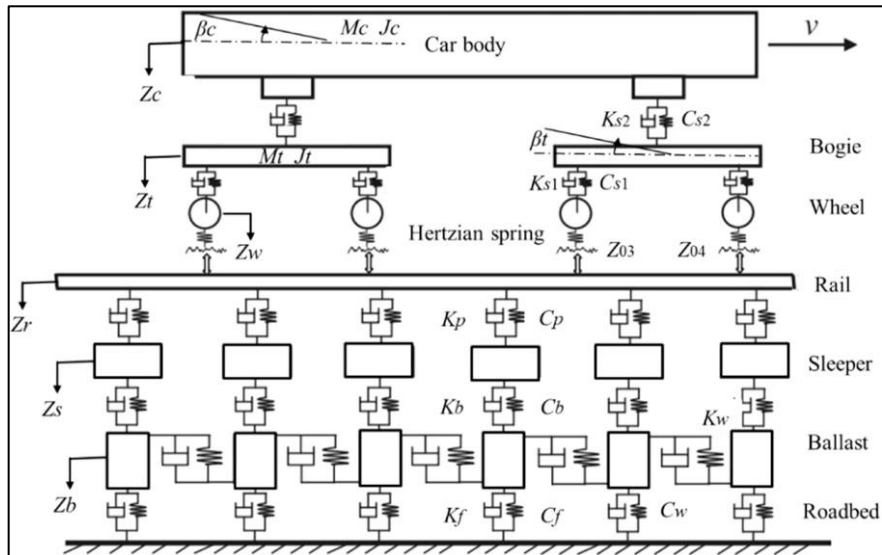
Burada K (yük faktörü) tespit edilerek raya etkiyen yük hesabına göre rayda meydana gelen kuvvet değişimleri hesaplanabilir [3].

Yapılan çalışmalarda şekil 2.3'te görüldüğü gibi 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz modeli hazırlanarak teker ve ray arasındaki basınç değişimi ve darbe kuvvetinden kaynaklanan stres incelenir. Bu değişimler ışığında apleti durumunun tespitinin yapılması amaçlanır [4].



Şekil 2.3: 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Analiz Modeli [4]

Yapılan bazı çalışmalarda da [5, 6, 7, 8] araç-ray'a ait dikey ekseninde etkileşim modelini (interaction model) çıkartarak etkiyen kuvvetlerdeki frekans değişimine göre apleti hakkında bilgi alınmak amaçlanmıştır. Şekil 2.4'te etkileşim (dinamik) modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Dikey Ekseninde Araç-Ray Etkileşim (dinamik) Modeli [5]

Apleti tespiti ile ilgili yapılan diğ er bir çalışmalarda [9, 10, 11, 12] şekil 2.5'te görüldüğü gibi raylı sistem aracı üzerine ivme ölçer sensörleri yerleştirilerek, belirli hızlarda ve belirli apleti boyutlarında testler yapılarak veriler alınmıştır. Alınan bu veriler ışığında algoritmalar geliştirilerek apleti tespiti yapılıması amaçlanmıştır.



şekil 2.5:  zerine monte edilmiş izleme sistemi ile testler sırasında kullanılan araç [9]

Bu tür tren üzerine monte edilen sensörlerle apleti tespiti yapılıması ile ilgili çalışmalar, tren üzerindeki tüm aks kutularına sensör montajı gerektirdiğ  için yüksek bir maliyete sebep olacaktır. Ayrıca bakım ve arıza durumlarında işçilik süresine olumsuz etkileri olabilir.

Bu ve buna benzer sebeplerden dolayı bazı çalışmalar [13, 14] araç üzerindeki titreşimlerdeki değ şim üzerine değ l, ray hattındaki titreşimlerdeki değ şim üzerine yapılmıştır. şekil 2.6'da ray  zerine FBG (fiber Bragg grating) sensörün montajı yapılarak apleti tespiti yapılıması amaçlanmıştır.



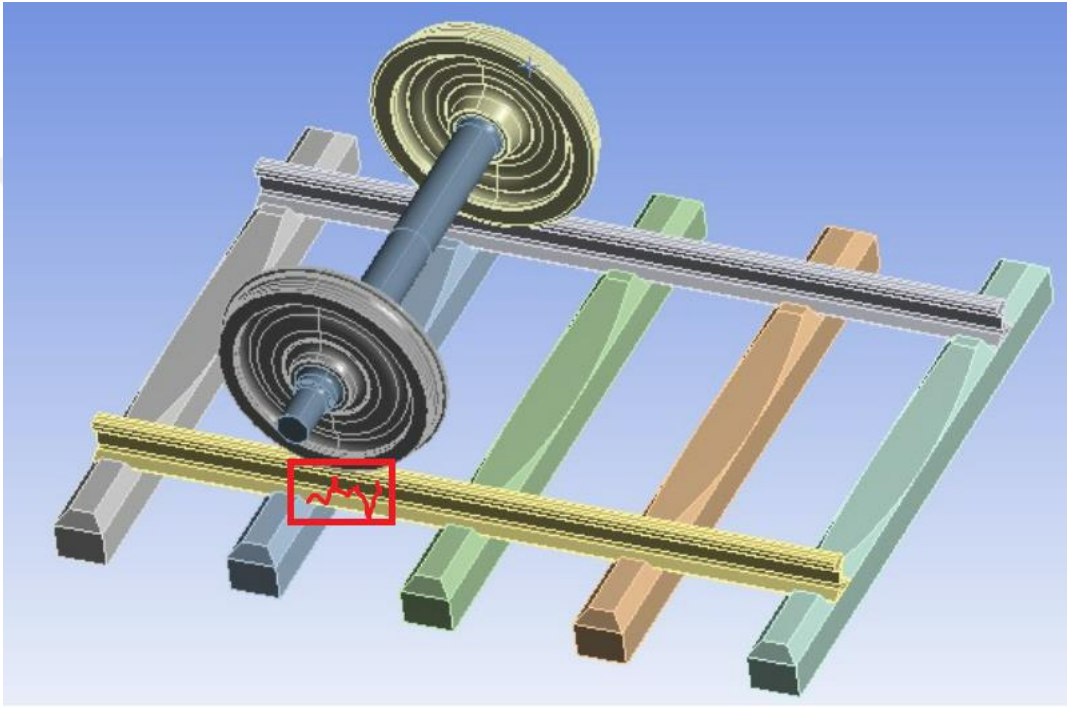
Şekil 2.6: FBG Sensörlerinin Raya Montajı [13]

Bazı çalışmalarda ise şekil 2.7’de gösterildiği gibi tekerlek yüzeyindeki apletiyi tespit etmek için ray hattının yakınlarına aydınlatma ve kamera montajı yapılarak tekerleğin tüm yüzeyinin kayıt altına alınması ve sorunsuz tekerleklerle karşılaştırılması yapılmıştır [15].



Şekil 2.7: Kamera ve Aydınlatma Montajı [15]

Bu çalışmada anlatılan, yeni geliştirilen apleti tespit yönteminde, şekil 2.8’de görüldüğü gibi tekerlekte meydana gelen düzleşmenin rayda meydana getirdiği titreşim incelenmiştir. Rayda yapılan testler sonucunda örnek bir ray bölgesi seçilir ve titreşime sebep olabilecek ray faktörü ortadan kaldırılarak titreşim sebebinin tekerdeki bozulmalardan kaynaklı olduğu sonucuna varılır. Örnek raya ivme ölçerler monte edilerek, örnek ray üzerinden yeni profilendirilmiş tekerlek geçirilir ve alınan veriler ışığında örnek ray üzerinden geçen tekerleklerde apleti tespiti yapılır.



Şekil 2.8: Apletli Tekerleğin Örnek Raydaki Titreşimi

3. YÖNTEM

Raylı sistemlerde apleti sıkça görülen bir durumdur. Şekil 3.1’de apleti meydana gelmiş tekerlek örnek olarak gösterilmiştir.



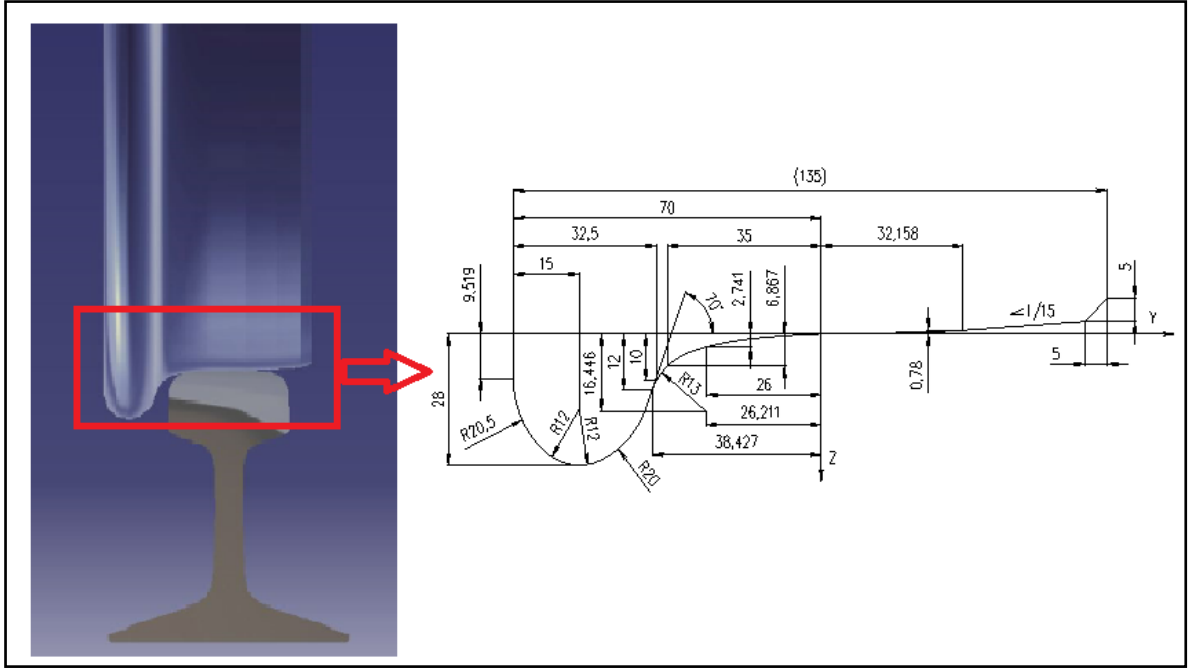
Şekil 3.1: Apleti Olmuş Tekerlek

Apleti durumunun farklı tespit yöntemleri vardır bu yöntemler aşağıdaki başlıklar altında anlatılacaktır.

3.1. MASTAR İLE TESPİT YÖNTEMİ

Genel olarak kullanılan bu yöntemde trenin periyodik bakımları (20.000km’de bir) sırasında atölye personelleri tarafından görsel olarak tekerlek profil mastarı yardımıyla tren tekerlekleri kontrol edilir. Tekerlek profiline (**S1002** profili) göre özel olarak üretilen bu mastar tekerleğe temas ettirilir ve ölçü aleti olan sentil ile arasındaki boşluk değeri ölçülür ve aşağıdaki tolerans değerlerine göre yeniden profillendirme yapılıp/yapılmamasına karar verilir ;

- i) Her bir hasarın tekerlek çevresi yönünde uzunluğu ≤ 50 mm.
- (ii) Düzlük derinliği ≤ 0 mm.



Şekil 3.2: S1002 Tekerlek Profili



(a)

(b)

Şekil 3.3: (a) Profil Mastarı, (b) Master Kullanımı

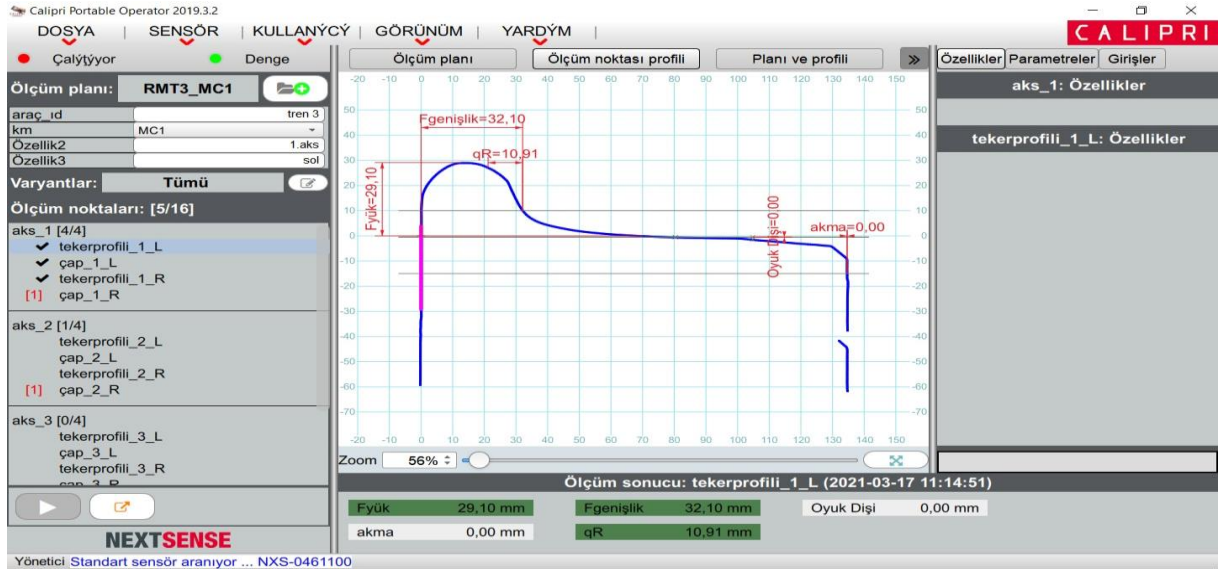
Bu yöntemde apleti tespiti belirli bir periyodik bakım periyodunda yapıldığı için apleti boyutu hassas bir şekilde tespit edilememektedir ve bu durumda tekerlek tornalamasında talaş kaldırma miktarını arttırmaktadır.

3.2. SENSÖR İLE TESPİT YÖNTEMİ

Bu yöntemde trenin periyodik bakımları (60.000km'de bir) sırasında atölye personelleri tarafından apleti tespiti sensör yardımı ile yapılmaktadır. Atölye bölgesine alınan trenin tüm tekerlekleri, tekerlek profil ölçümü için özel olarak üretilen bir sensör (lazer ve kamera) yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.4: Sensör ile Tekerlek Profil Ölçümü



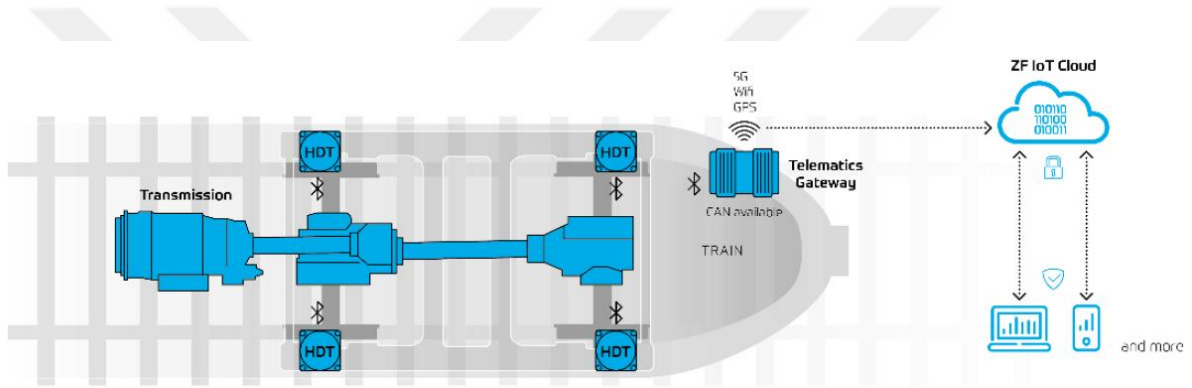
Şekil 3.5: Sensör ile Tekerlek Profil Ölçüm Sonucu

Bu yöntemde de apleti tespiti belirli bir periyodik bakım periyodunda yapıldığı için apleti boyutu erken bir şekilde tespit edilememektedir ve bu durumda tekerlek tornalamasında talaş

kaldırma miktarını arttırmaktadır. Fakat tespit doğruluğu master ile tespit yönteminden daha hassas (hata oranı 0.1mm) bir şekilde yapılmaktadır.

3.3. TEKERLEKLERE SENSÖR MONTAJI YAPILARAK TESPİT YÖNTEMİ

Bu yöntemde tren tekerleklerine hattaki titreşimi algılaması için ivme ölçer sensör montajı yapılarak apleti tespiti yapılmaktadır. Öncelikle ilgili hattın tekerlek ve ray arasındaki titreşim diyagramı çıkartılmaktadır sonrasında tren tekerleklerine montajlanan kablosuz ivme ölçer sensörler ile tren hareketi sırasında hattaki titreşim diyagramı kılavuz alınarak bu değerler dışındaki titreşimler apleti olarak Telematik Ağ Geçidi yardımı ile kumanda merkezine (OCC) iletilmektedir.



Şekil 3.6: Yöntemin Çalışma Prensibi



Şekil 3.7: Hattaki Titreşimleri Algılayan Kablosuz Sensör

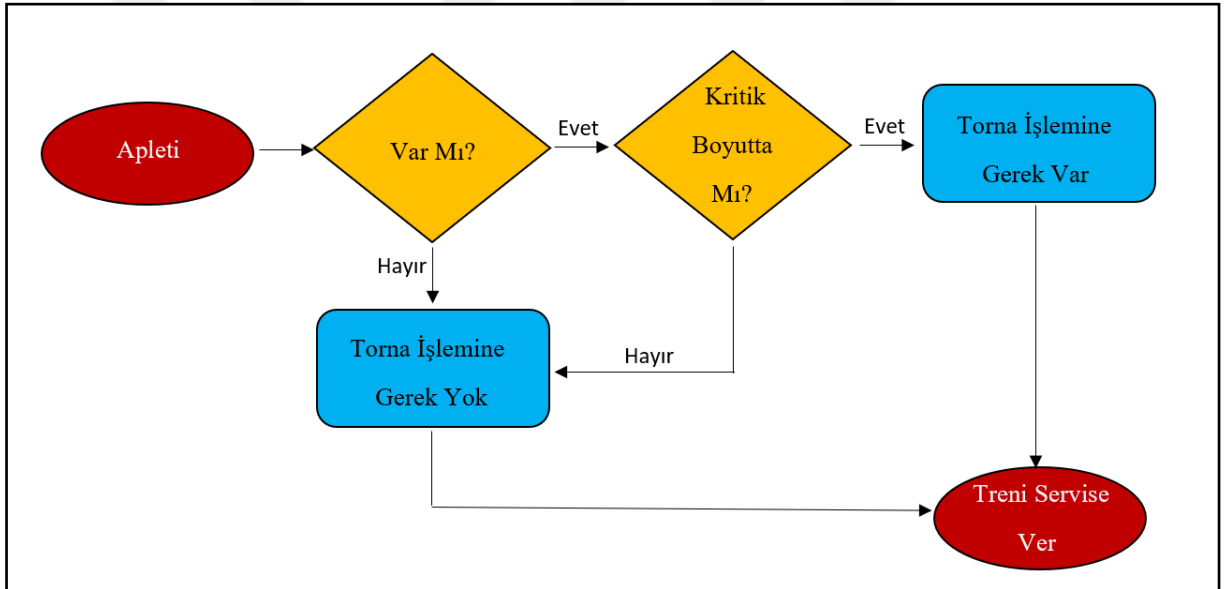
Bu yöntemde tren seyir halinde ve kişilerden (tren sürücüsü, bakım personeli vb.) bağımsız olarak apleti tespiti yapıldığı için doğruluk seviyesi yüksek, apleti boyutu düşük

olmaktadır. Bu durumda tekerlek tornalama işleminde tekerlekten talaş kaldırma (çap düşürme) miktarı az olacaktır dolayısı ile tekerlek kullanım ömrünü arttıracaktır ancak ilgili sensörün tüm tekerleklerle ayrı ayrı montajı yapılması gerektiğinden bu yöntemin uygulanması maliyet olarak yüksektir.

Apleti sorununun düzeltilmesi için tekerleğin yeniden profilendirilmesi gerekmektedir. Aşağıdaki başlıklarda tekerleğin ve rayın yeniden profilendirme işlemleri anlatılmaktadır.

3.4. APLETİNİN GEÇ TESPİTİ VE TEKERLEK PROFİLENDİRİLMESİ

Apleti tespitinin yapılması ve tekerleğin yeniden profilendirme işleminin anlatıldığı akış şeması şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Teker Profillendirme Akış Şeması

Apleti tespiti yapıldığında eğer apleti boyutu aşağıdaki tekerleğin yeniden profilendirme kriterlerini sağlıyorsa;

- i) Her bir hasarın tekerlek çevresi yönünde uzunluğu ≤ 50 mm.
- (ii) Düzlük derinliği ≤ 0 mm

İlgili trenin apletli tekerlekleri CNC yeraltı torna tezgahında yeniden profilendirilir. Apletinin erken tespiti tekerleğin yeniden profilendirme esnasında talaş kaldırma (çap düşürme) miktarını doğrudan etkilediği için önemlidir. Master ve sensör ile apleti tespit yöntemleri belirli bir periyotta yapıldığı için tekerlek yüzeyindeki düzleşme tespiti erken yapılamamaktadır. Bu durumda tekerleğin kullanım ömrünü olumsuz etkilemektedir.

CNC yeraltı torna tezgahında teker profilendirme işlemi öncelikle şekil 3.9.'da görüldüğü gibi ilgili trenin torna yoluna alınması ve şekil 3.10'da bağlantı çeneleri ile CNC torna tezgahına bağlanması gerekmektedir.

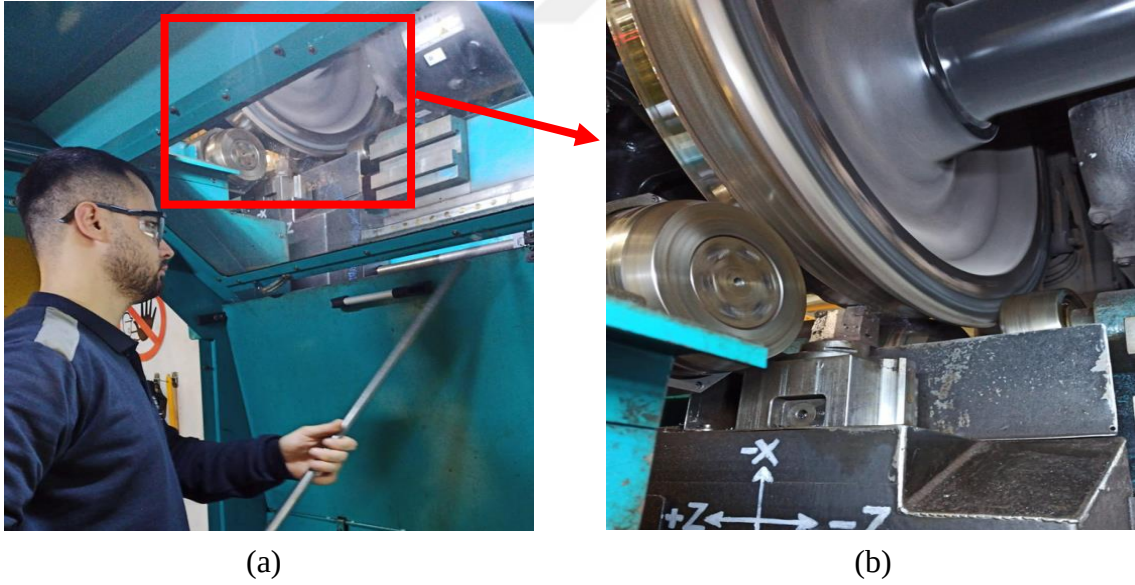


Şekil 3.9: Teker Profilendirme İşleminin Yapıldığı Torna Yolu



Şekil 3.10: Yeraltı Tekerlek Tornası Cihazına Trenin Bağlanması

Cihaza bağlanan trenin aks yükü bağlantı çenelerine verilir ve şekil 3.11’de görüldüğü gibi roller (döndürücü) yardımı ile aks döndürülebilir.

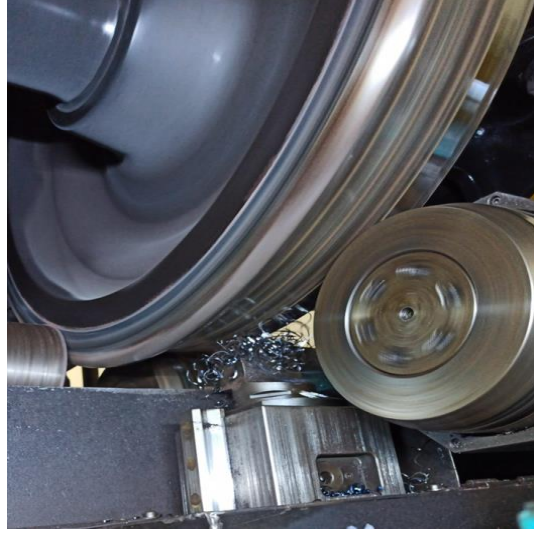


Şekil 3.11: (a) Aks Yükünün Bağlantı Çenelerine Verilmesi, (b) Roller Bağlantısı

Roller bağlantıları yapılmış tekerlerde şekil 3.12’de görüldüğü gibi kumanda panelinde ilgili teker profili (S1002) seçilerek kesici uç ile otomatik olarak talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir.



(a)



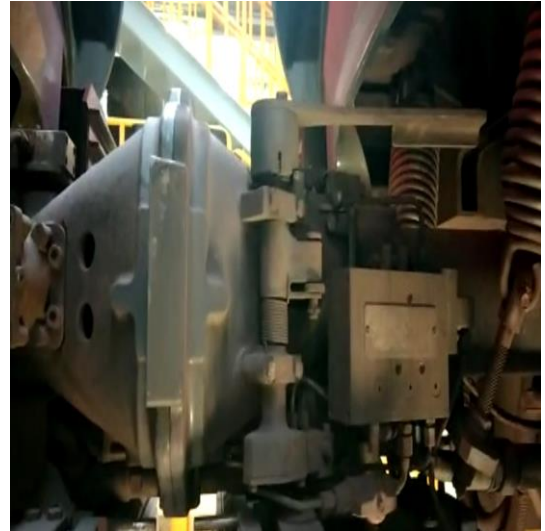
(b)

Şekil 3.12: (a) Kumanda Paneli, (b) Talaş Kaldırma

Bir aksta teker profilendirme işlemi tamamlandığından bağlantı çenesi ve roller bağlantıları kaldırılır ve EMA (elektrikli manevra aracı) trene kuplajlanarak (bağlanarak) ilgili trenin diğer tekerlerinin de profilendirilmesi için tren hareket ettirilir. Bu işlem bütün sorunlu tekerler için tekrarlanır.



(a)

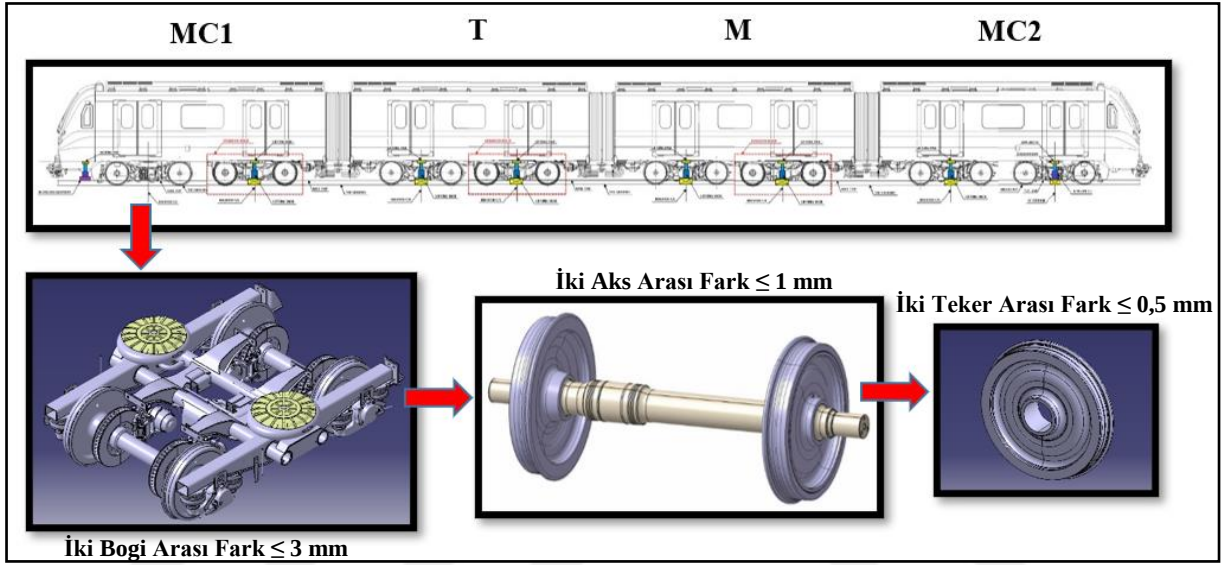


(b)

Şekil 3.13: (a) EMA, (b) Tren ile EMA'nın Kuplajlanması

3.5. TEKERLEK ÖMRÜ HESABI

Yeni bir S1002 profilene sahip tekerlek 850-770 mm aralığında kullanıldığı için 80 mm'lik talaş kaldırma işlemi yapılabilir. Apleti olan tekerlekten talaş kaldırma işlemi yapıldığında talaş kaldırma miktarına göre diğer tekerleklerden de talaş kaldırma işlemine gerek duyulabilir. Şekil 3.14'de Tekerlekler arası, akslar arası ve bogiler arası toleranslar gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Talaş Kaldırma İşlemi Fark Toleransları

Detaylı yapılan ömür hesapları ve apleti kaynaklı talaş kaldırma işlemi sonuçları Ekler kısmında Ek 1.'de verilmiştir.

3.6. YENİ GELİŞTİRİLEN TESPİT YÖNTEMİ

Bu yöntemde, rayda yapılan testler sonucunda örnek bir ray bölgesi seçilir ve titreşime sebep olabilecek ray faktörü ortadan kaldırılarak, titreşim sebebinin tekerleklerdeki bozulmalardan kaynaklı olduğu sonucuna varılır. Örnek raya ivme ölçerler monte edilerek, örnek ray üzerinden yeni profilendirilmiş tekerlek geçirilir ve alınan veriler ışığında örnek ray üzerinden geçen tekerleklerde apleti tespiti yapılır.

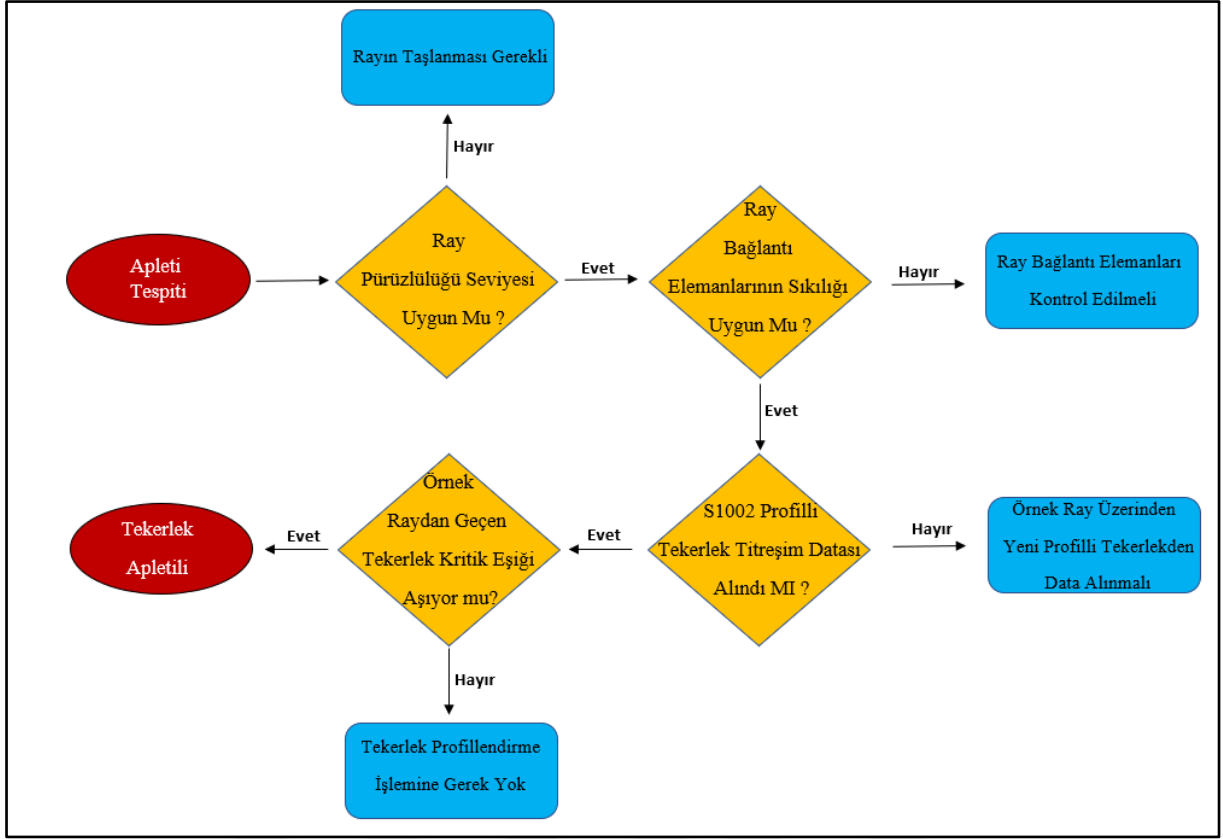
Yeni geliştirilen bu yöntem detaylı olarak bulgular kısmında açıklanmaktadır.

4. BULGULAR

Raylı sistemlerde tekerlek düzleşmesinin tespitini, açıklanan yöntemlerden farklı olarak ray hattına montajlanan sensörlerle (ivmeölçer) tekerlek ve ray arasındaki titreşimin algılanarak, elde edilen sonuçlar ışığında apletli tekerleklerin tespitinin yapılması için bir yöntem tasarlanmıştır. Öncelikle örnek rayda (sensörlerin montajlandığı ray), ondülasyon kontrolü, ray bağlantı elemanı testi ve pürüzlülük testlerinin yapılması gerekmektedir. Bu testlerin yapılmasındaki amaç, ray tarafında gürültüye sebep olacak yüzey pürüzlülüğünün olmaması ve ray bağlantı elemanlarının montajlarının standartlara uygun yapıldığının teyidi için gereklidir. Örnek rayda yapılan testler sonucunda, tekerlek ve ray arasındaki oluşan titreşimde ray tarafı etken olmazsa oluşacak titreşim değişikliklerinin tekerlek tarafındaki düzleşmelerden kaynaklandığı, sonucuna varılabilir. (paragraf arası sıkışık)

Kısaca yeni geliştirilen apleti tespit yönteminin aşamaları şu şekildedir:

Öncelikle ondülasyon kontrolü, ray pürüzlülük testi ve ray bağlantı testi yapılarak titreşime sebebiyet vermeyecek durumda olan bir örnek ray belirlenir. Sonrasında yeniden profilendirilmiş tekerleklerde pürüzlülük testi yapılarak yeraltı torna tezgahının yüzey işleme kalitesi test edilir ve yeraltı torna tezgahı kaynaklı yüzey pürüzlülüğünde sorun olmadığı yapılan bu test ile belirlenir. Örnek rayda ivme ölçer sensörleri yerleştirilir ve örnek raydan sabit hızda (5 km/sa) yeni profilendirilmiş tekerleklere sahip tren geçirilerek alınan veriler apletli tekerleklerle karşılaştırılma yapılabilmesi için kriter kabul edilecektir. Yeni geliştirilen apleti tespit yöntemine ait akış şeması şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Yeni Geliştirilmiş Apleti Tespiti Akış Şeması

4.1. ÖRNEK RAY TESPİTİ İÇİN YAPILAN TESTLER

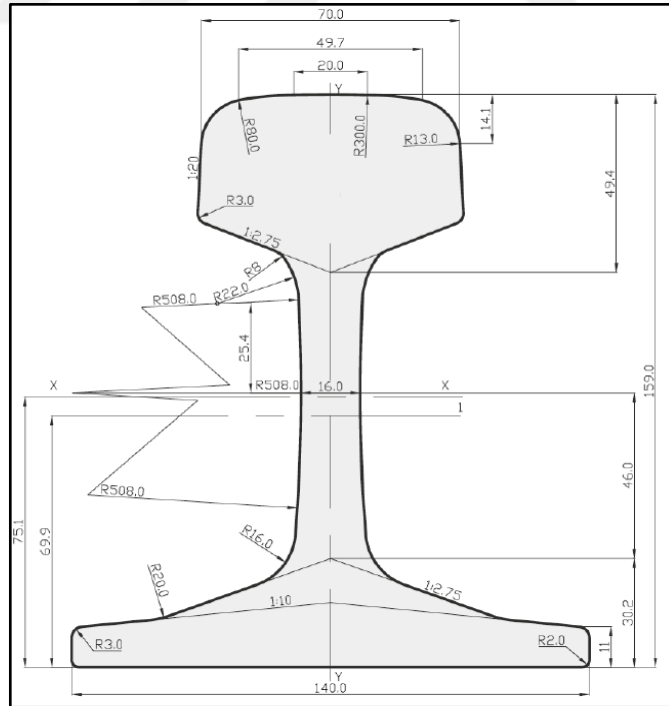
4.1.1. Ondülasyon Kontrolü

Metro hatlarında genel olarak şekil 4.3'te gösterildiği gibi mantar ray tipi UIC54 profile sahip ray kullanılmaktadır. Mantar rayların yüzeyinde periyodik olarak düzlemsel bozukluklara ondülasyon adı verilir. Bu ondülasyon durumuna örnek olarak şekil 4.2'de ray yüzeyi gösterilmiştir. Raylarda oluşan ondülasyonlar treninin geçişi esnasında yol üstyapısında, trenlerde ve çevre yapılarda gürültü ve titreşime neden olmaktadır.



Şekil 4.2: Deforme Olan Ray Yüzeyi

Ondülasyonu tespit etmek için **EN 13231-3** standarttı esas alınarak ölçüm yapan bir cihaz kullanılır [16]. Bu cihaz yardımıyla hatta kullanılan **UIC54** profil tipi mantar rayda kusurlar tespit edilerek yeniden profillendirme için ilgili ray bölgesine taşlama işlemi uygulanır.

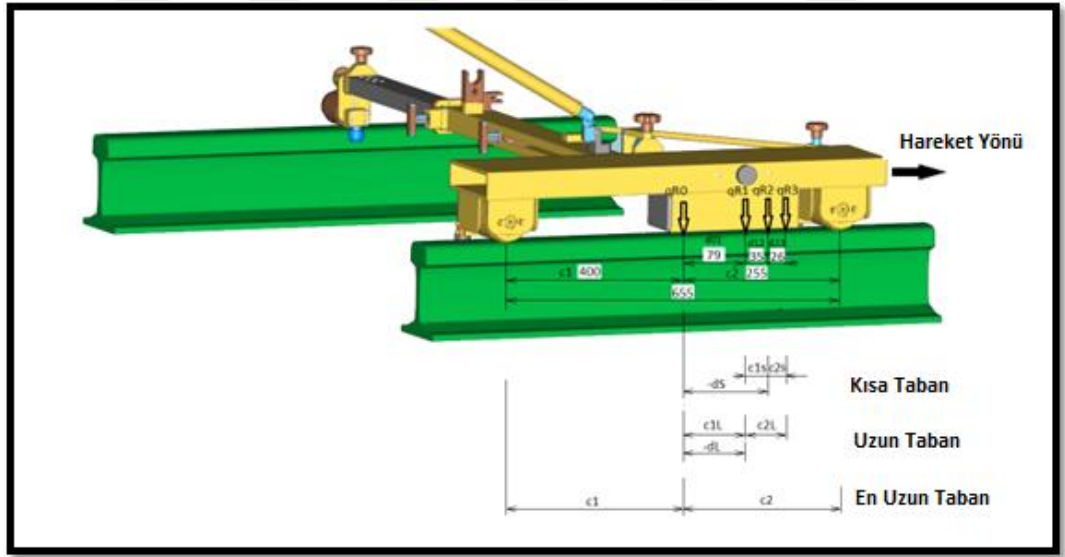


Şekil 4.3: UIC54 Mantar Ray Profili

Şekil 4.4 ve şekil 4.5’de gösterilen ondülasyon tespit cihazları ile rayda kusurlu bölgelerin tespiti yapılır.



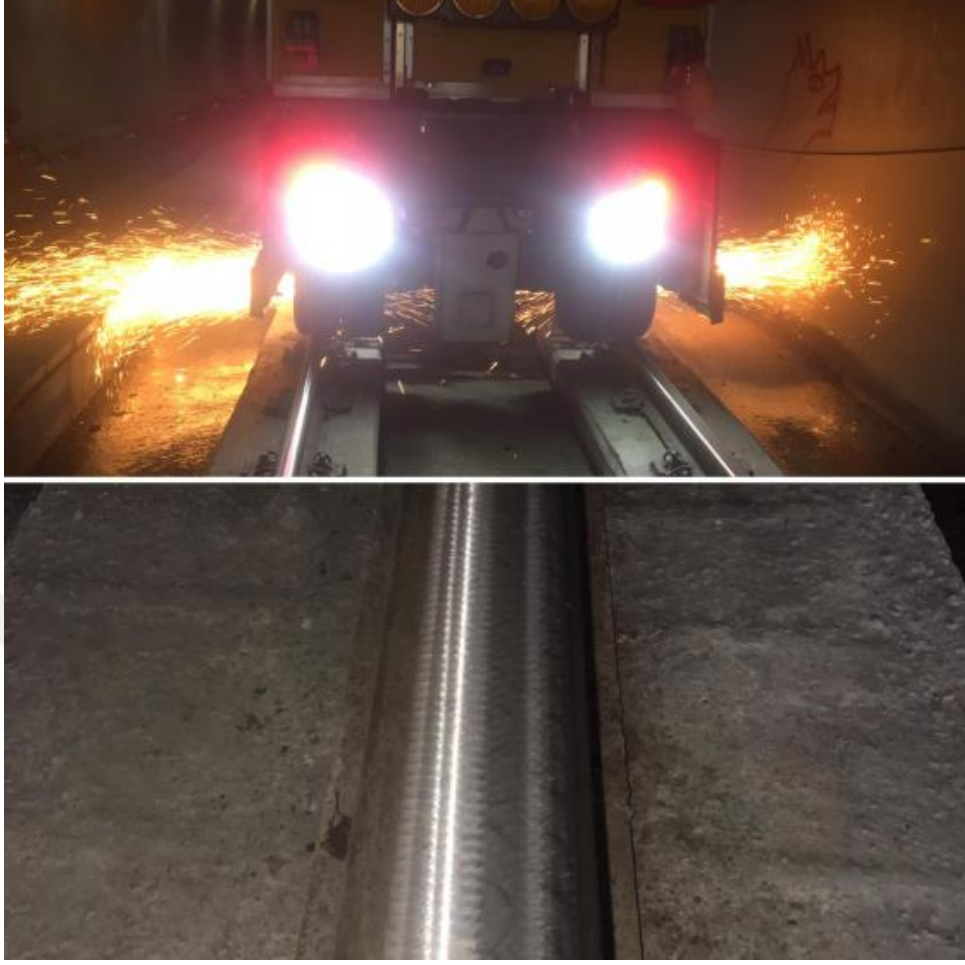
Şekil 4.4: Ondülasyon Tespit Cihazı



Şekil 4.5: Ondülasyon Tespit Cihazı Ölçüm Noktaları

Ondülasyon tespiti hakkında detaylı açıklamalar ekler kısmında Ek 2.’de verilmiştir.

Ondülasyonlu bölgenin, gürültü ve konforu etkilememesi için taşlanarak tekrar profilendirilmesi gerekmektedir. Taşlama işlemi şekil 4.6’da gösterilmiştir.

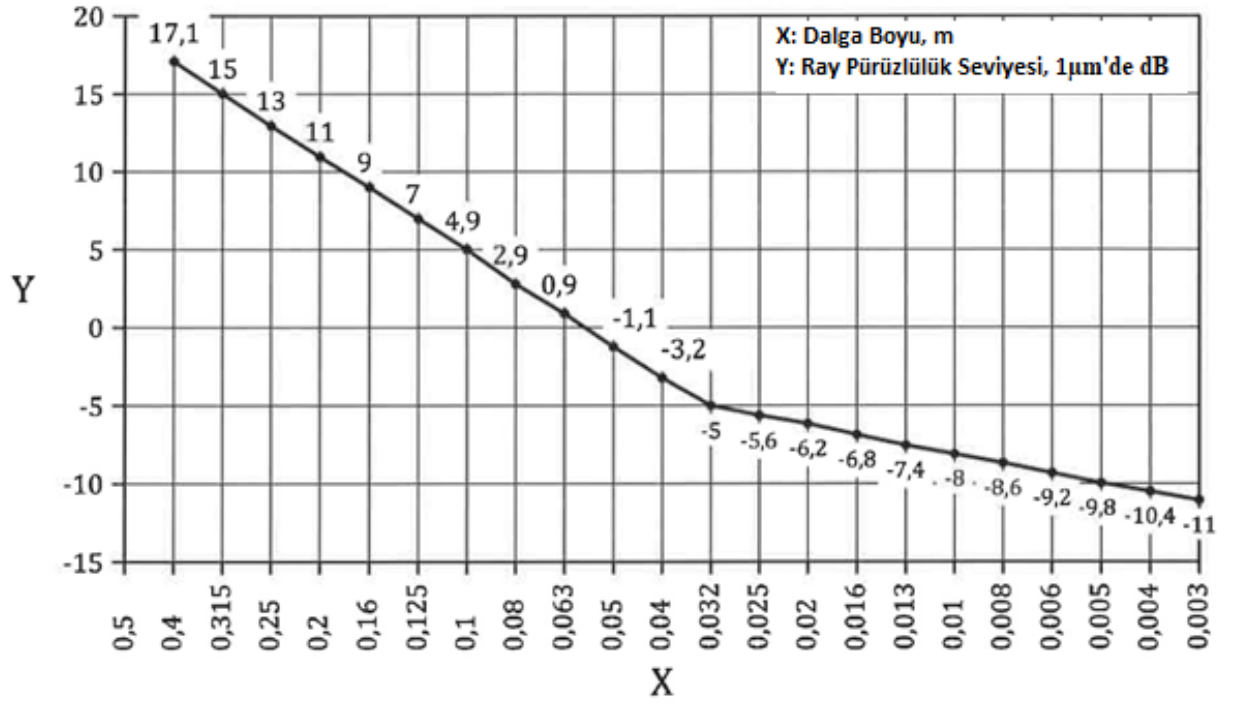


Şekil 4.6: Ray Taşlama İşlemi

4.1.2. Ray Pürüzlülük Testi

Ray kafasının pürüzlülüğü gürültüye yol açacak şekilde araç ve hattın titreşimine neden olur. Akustik ray pürüzlülüğü, gürültü seviyesi ile doğrusal bir ilişki ortaya koyar.

Akustik ray pürüzlülüğü **EN 15610:2009**'a göre değerlendirilmiştir [17]. Test hattının ray pürüzlülüğü, Şekil 4.7'de gösterildiği gibi **ISO 3381**'de belirtilen değerlerden düşük olmalıdır [18].



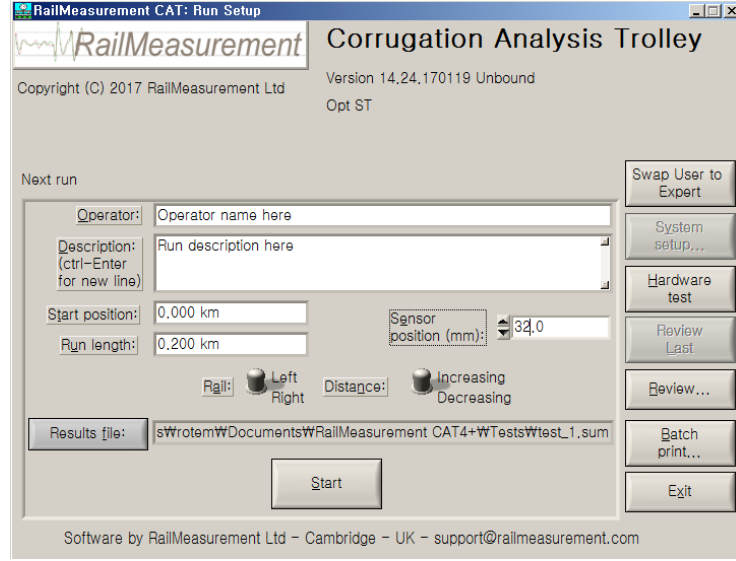
Şekil 4.7: ISO 3381 Standartta Belirtilen Değerler

Ray pürüzlülük testi için kullanılan test ekipmanı şekil 4.8’de gösterilmiştir. Cihaz ray yüzeyinde test bölgesi boyunca ilerletilerek raydaki pürüzlülük değerini ölçmektedir.



Şekil 4.8: Ray ölçümü CAT4, SN 892047 kurulumu

Şekil 4.9’da görülen kontrol paneli yardımıyla raydaki pürüzlülük değerleri kayıt altına alınmaktadır.



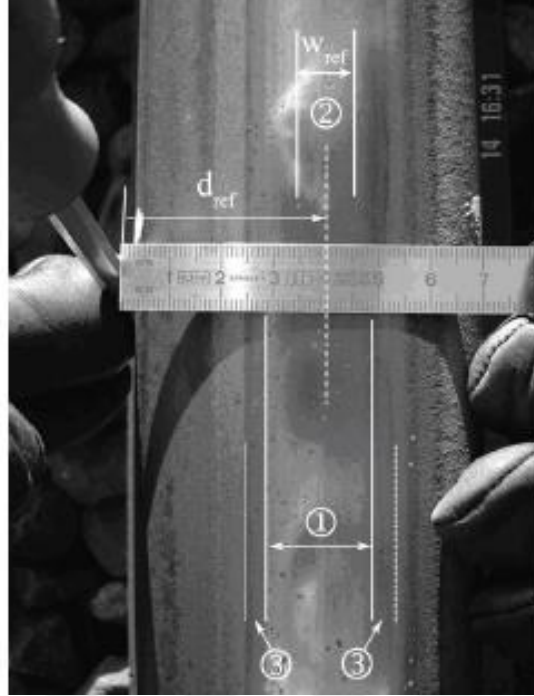
Şekil 4.9: CAT4 Yazılım Kontrol Paneli

Akustik pürüzlülük ölçümü, transdüserin (CAT) doğrudan ray yüzeyine uygulanması ile ölçülür. Böylece ray pürüzlülüğü, tekerlek hareket yüzeyi pürüzlülüğünden ve tekerlek-ray etkileşiminin her türlü etkisinden bağımsız olarak ölçülür. Boyuna test kesiti minimum 110m (80km/h=22m/s, 22m/s*5 s (dahili gürültü ölçüm süresi) =110m) olarak kabul edilir.

Yanal numune alma, Wref (referans yüzeyinin genişliği 20 mm'den geniş ve 30 mm'den dar olduğu için) her biri 10 mm aralıklı üç hat olarak seçilmiştir.

- a) $w_{ref} \leq 20$ mm: hat üzerinden ölçüm;
- b) $20 \text{ mm} < w_{ref} \leq 30$ mm: her biri birbirinden 5 mm açıkta olan üç hattın ölçümü;
- c) $w_{ref} > 30$ mm: her biri birbirinden 10 mm açıkta olan üç hattın ölçümü;

Ölçülen her pürüzlülük seviyesi, sol ve sağ hat pürüzlülük seviyelerini elde etmek için ortalaması alınan değerdir.

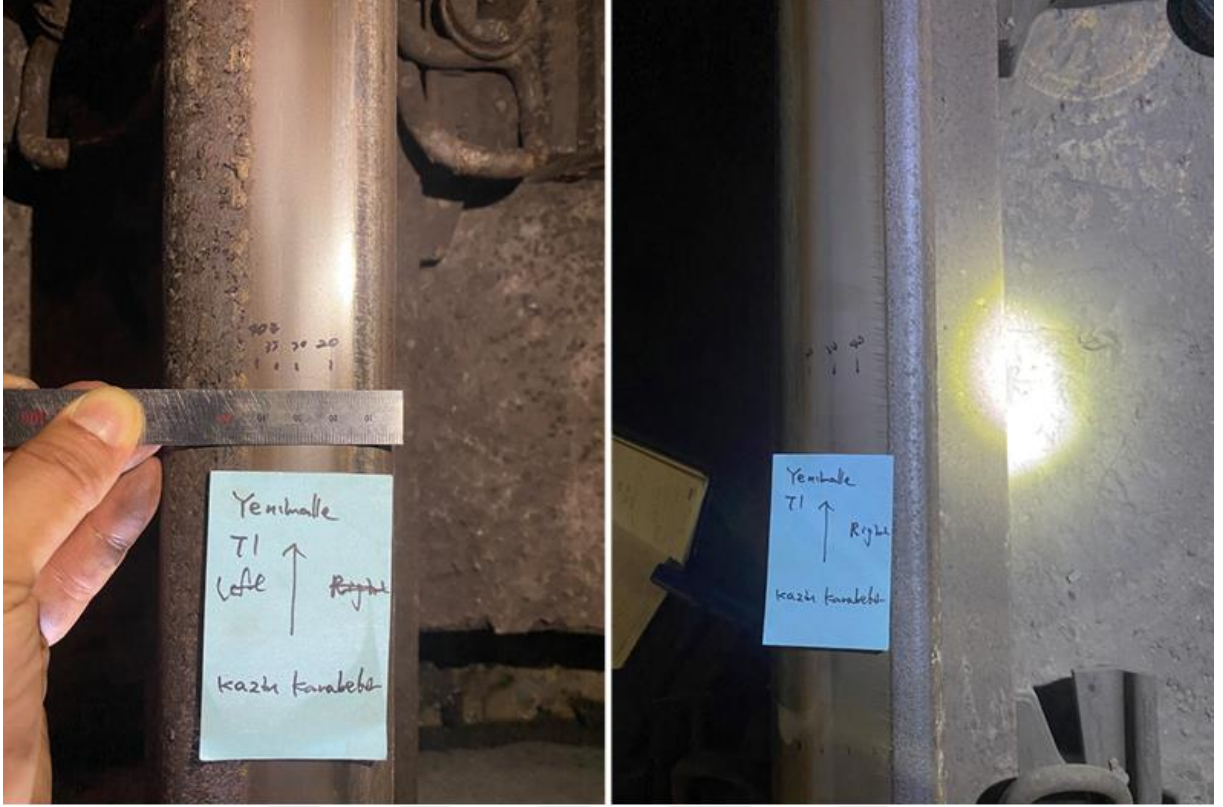


1 işletme bandı

2 referans yüzey

3 Kısmi düzeltilmiş yüzey

Şekil 4.10: Tanımlanan parametreleri gösteren örnek [17]



Şekil 4.11: Standarta Göre Ölçüm Yapılacak Noktalar (Sol Ray-Sağ Ray)

d) Sensör pozisyonu: Sol ray - 20mm, 30mm, 35mm; Sağ ray - 20mm, 30mm, 40mm

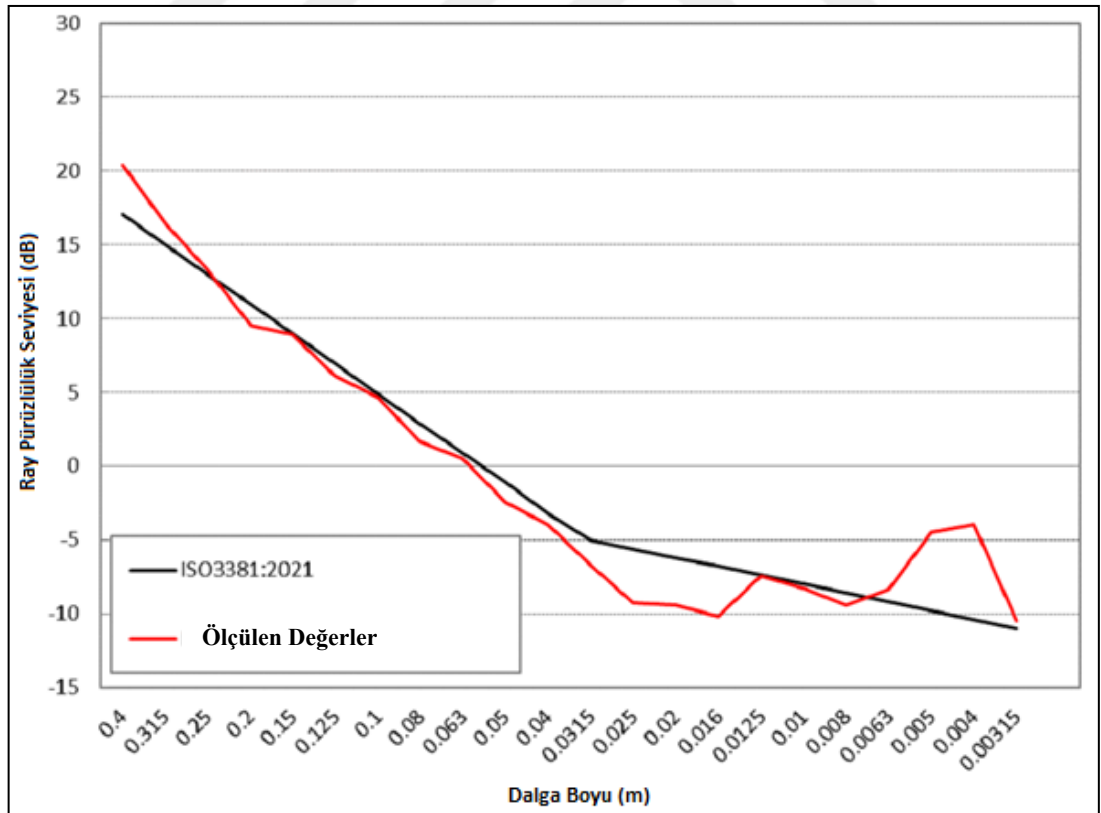
Test tamamlandıktan sonra alınan sonuçlar tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Ray Pürüzlülüğü Değerleri

Dalgaboyu (m)	ISO 3381:2013 (dB)	Sol Ray (dB)				Sağ Ray (dB)				Toplam
		20mm	30mm	35mm	Enerji ort. (Sol) (dB)	20mm	30mm	40mm	Enerji ort. (Sağ) (dB)	Enerji ort. (Toplam) (dB)
0.4	17.1	20.6	22.7	22.2	21.9	15.3	18.3	19.6	18.1	20.4
0.315	15.0	17.2	18.5	17.7	17.8	12.0	14.9	15.5	14.4	16.4
0.25	13.0	14.0	14.9	15.0	14.7	10.3	11.0	11.9	11.1	13.2
0.2	11.0	9.5	11.1	10.8	10.6	8.1	8.2	8.7	8.3	9.6
0.16	9.0	8.7	10.5	10.1	9.8	7.6	7.3	8.3	7.7	8.9
0.125	7.0	6.5	7.5	7.4	7.2	5.3	4.2	5.0	4.8	6.1
0.1	4.9	5.1	5.9	5.5	5.5	4.7	3.1	2.9	3.6	4.7
0.08	2.9	2.2	3.3	3.0	2.9	0.3	-0.1	-0.3	0.0	1.7
0.063	0.9	1.8	2.2	1.6	1.9	-0.9	-1.8	-1.9	-1.5	0.5
0.05	-1.1	-1.8	-1.3	-1.6	-1.5	-2.3	-4.3	-4.5	-3.6	-2.4

0.04	-3.2	-3.9	-3.6	-4.3	-3.9	-1.7	-5.6	-6.0	-4.0	-4.0
0.032	-5.0	-7.4	-6.2	-5.7	-6.4	-5.0	-8.2	-8.8	-7.0	-6.7
0.025	-5.6	-10.1	-10.2	-8.5	-9.5	-6.2	-10.7	-12.9	-9.0	-9.3
0.02	-6.2	-11.6	-11.0	-7.9	-9.8	-6.7	-10.3	-11.5	-9.0	-9.4
0.016	-6.8	-12.8	-11.4	-9.0	-10.8	-7.8	-10.4	-11.9	-9.7	-10.2
0.013	-7.4	-10.9	-8.1	-6.0	-7.9	-4.9	-6.9	-12.2	-7.1	-7.5
0.01	-8.0	-9.7	-10.0	-6.3	-8.3	-6.1	-8.3	-12.2	-8.2	-8.3
0.008	-8.6	-11.3	-11.6	-8.7	-10.3	-6.4	-9.2	-12.7	-8.7	-9.4
0.006	-9.2	-10.3	-10.4	-7.3	-9.1	-5.4	-8.5	-11.6	-7.8	-8.4
0.005	-9.8	-4.0	-6.2	-4.1	-4.7	-2.0	-5.4	-6.9	-4.3	-4.5
0.004	-10.4	-3.2	-3.9	-4.6	-3.9	-2.4	-4.8	-5.5	-4.0	-3.9
0.003	-11.0	-11.1	-12.4	-10.9	-11.4	-8.3	-8.9	-13.5	-9.7	-10.5

Ölçüm tablosundan enerji ortalaması toplamı değerleri alınarak ISO 3381:2013 standartındaki değerler ile karşılaştırılır. Şekil 4.12’de bu karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 4.12: Ray Pürüzlülüğü-Standart Karşılaştırma Grafiği

Test bölgesi kesiminin ray pürüzlülük seviyesi ölçüldü. Şekil 4.12’den de görüleceği üzere 0.005m ve 0.004m’de ISO standardını aşan zirveler görüldü. Bununla birlikte, büyük dahili gürültü spektrumu 1000 Hz civarında baskındır. Dalga boyunu aşan pürüzlülük, genel gürültü seviyesine etki etmez. Sonuç olarak, Test bölgesi kesitindeki ray pürüzlülük spektrumu, ray pürüzlülüğü açısından yapılacak test için uygundur.

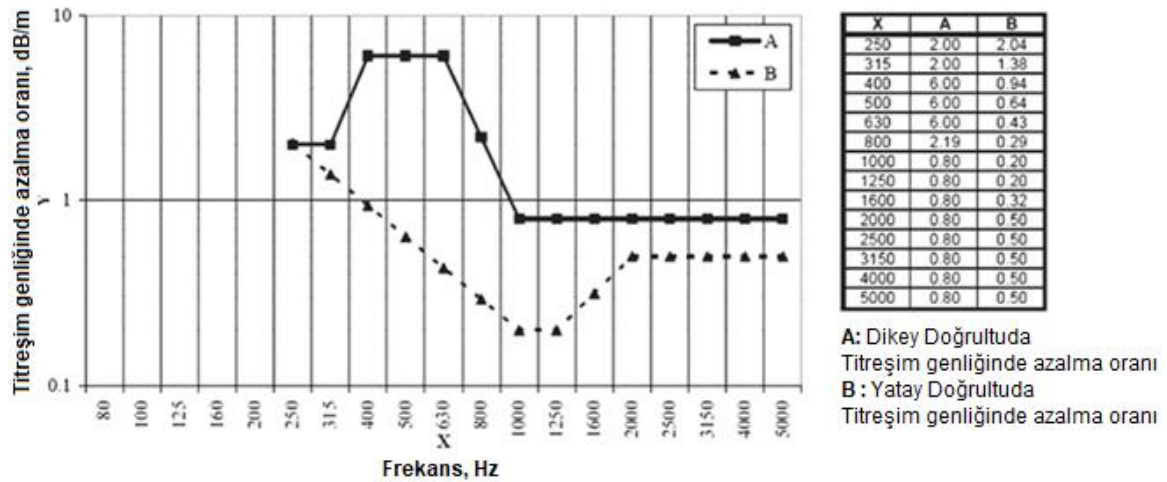
4.1.3. Ray Bağlantı Elemanı Testi

Ray bağlantı elemanı testinde, ray boyunca mesafenin bir fonksiyonu olarak rayın dikey veya enine bükülme dalgalarının titreşim genliği azalma oranı bakılır. Metre başına desibel (dB/m) cinsinden ifade edilen ve bozulmayı mesafenin bir fonksiyonu olarak temsil eden, titreşim genliğinde azalma oranı değerlerinin üçte bir oktav bant spektrumu ile temsil edilir.

Bu değer ray bağlantı elemanlarının uygun şekilde montajlandığını ve ray tarafından gürültüye sebebiyet vermediğini göstermektedir.

Titreşim genliğinde azalma oranı (başka bir deyişle, yolun dinamik özellikleri) EN 15461:2011’e göre değerlendirilmelidir. [19]

Şekil 4.13’te verilen dikey ve yanal yol bozulma hızlarının varsayılan alt limitleri geçerli olacaktır (ölçülen değerler limitten yüksek olmalıdır).



Şekil 4.13: EN 15461:2011 Stantartına Göre varsayılan alt limit eğriler [19]

Yapılacak test için kullanılan ivmeölçerler, veri toplama ekipmanı ve darbe çekici tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Kullanılan Test Ekipmanları

Madde	Model	Şekil	Fonksiyon
İvmeölçer	PCB 352C33		Gürültü Ölçümü
Veri toplama ekipmanı	Siemens SCADA S XS		Sinyal İşleme
Darbe Çekici	B&K Tipi 8206		Darbe kaynağı

PCB 352C33 İvmeölçerinin Özellikleri;

- Hassasiyet: ($\pm 10\%$) 100 mV/g (10,2 mV/(m/s²))
- Ölçüm Aralığı: ± 50 g adet (± 490 m/s² adet)
- Geniş Bant Çözünürlüğü: 0,00015 g rms (0,0015 m/s² rms)
- Frekans Aralığı: ($\pm 5\%$) 0,5 ila 10000 Hz.
- Algılama Elemanı: Seramik.
- Ağırlık: 0,20 ons (5,8 gr)

İvmeölçer, rayın uzunlamasına eksenine, tercihen ray kafasına dikey yönde sabitlenmelidir. Bu mümkün değilse, rayın flanşına sabitlenmelidir(ler). İvmeölçerler, ray kafasının dış yüzüne enine (yanal) yönde sabitlenecektir.

İvmeölçerlerin boyuna kesitteki konumu aşağıdaki koşullarda dikkate alınır:

- a) Test kesitinin merkezinden en az 20 m uzakta, test kesitinin merkezinde yer almalıdır;
- b) Traversler arasındaki orta boşluk noktasında bulunacaktır;
- c) İvmeölçer olağandışı bir durumda ray desteklerinin yakınına yerleştirilmemelidir; özellikle:

- 1) ivmeölçer konumundan 3 metreden daha az bir pompa traversi bulunmayacaktır;
- 2) ölçüm ivmeölçer konumuna doğrudan bitişik olan desteklerde eksik veya hasarlı sabitleme klipsi (veya gerekirse başka bir türde sabitleme) bulunmamalıdır;
- 3) ivmeölçer, ray kaynağından 5 m'den daha yakın bir mesafede yer almamalıdır;
- 4) ivmeölçer, ray genişleme derzinden 40 m'den daha yakın mesafede yer almamalıdır.

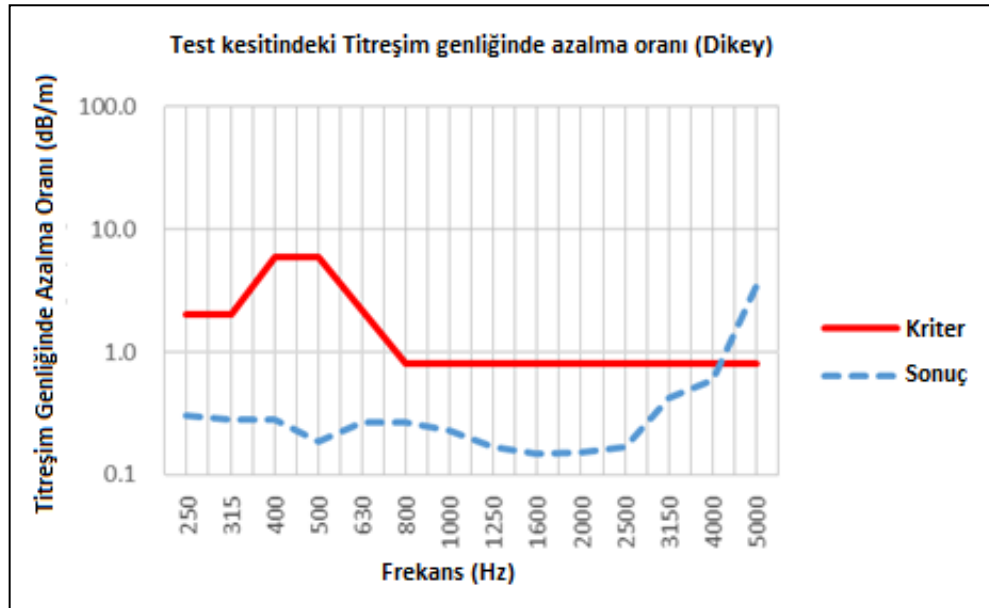
Kuvvetin iyi kalitede bir ölçümünü ve ilgilenilen bir frekans aralığında tepkiyi sağlamak için, yeterli sertlikte uç ile teçhiz edilmiş aletli bir çekiç ile ray başlığına dikey ve enine yönlerde darbe uygulanır.

Şekil 4.15'de açıklanan uyarma konumları grubu için ray üzerinde oluşturulan darbelere karşılık gelen ivmeölçer konumundaki tepki ölçümlerini kapsamalıdır.

Tablo 4.3: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Dikey)

Frekans (Hz)	Kriter (dB/m)	Test sonucu (dB/m)
250	2.00	0.31
315	2.00	0.28
400	6.00	0.28
500	6.00	0.19
630	6.00	0.26
800	2.19	0.27
1000	0.80	0.23
1250	0.80	0.17
1600	0.80	0.15
2000	0.80	0.15
2500	0.80	0.17
3150	0.80	0.42
4000	0.80	0.58
5000	0.80	3.50

EN 15461:2011 standartına göre ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması şekil 4.16'daki grafikte gösterilmiştir.

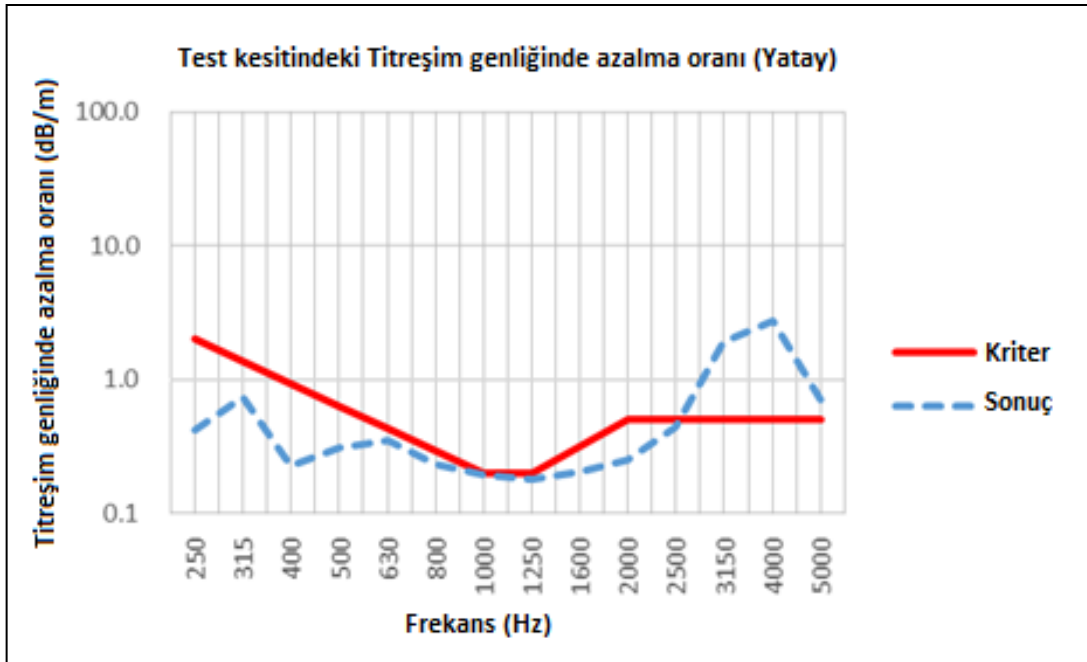
**Şekil 4.16: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Dikey)**

Yatay yöndeki ölçüm sonuçları tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Yatay)

Frekans (Hz)	Kriter (dB/m)	Test sonucu (dB/m)	Düzeltilme tayfı $\Delta L_{\text{lateral}}$ (dB)
250	2.04	0.42	6.9
315	1.38	0.74	2.7
400	0.94	0.23	6.1
500	0.64	0.31	3.2
630	0.43	0.35	0.9
800	0.29	0.23	0.9
1000	0.20	0.20	0.1
1250	0.20	0.18	0.5
1600	0.32	0.20	1.9
2000	0.50	0.25	3.0
2500	0.50	0.44	0.6
3150	0.50	1.93	0.0
4000	0.50	2.77	0.0
5000	0.50	0.70	0.0

EN 15461:2011 standartına göre ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması şekil 4.17'deki grafikte gösterilmiştir.



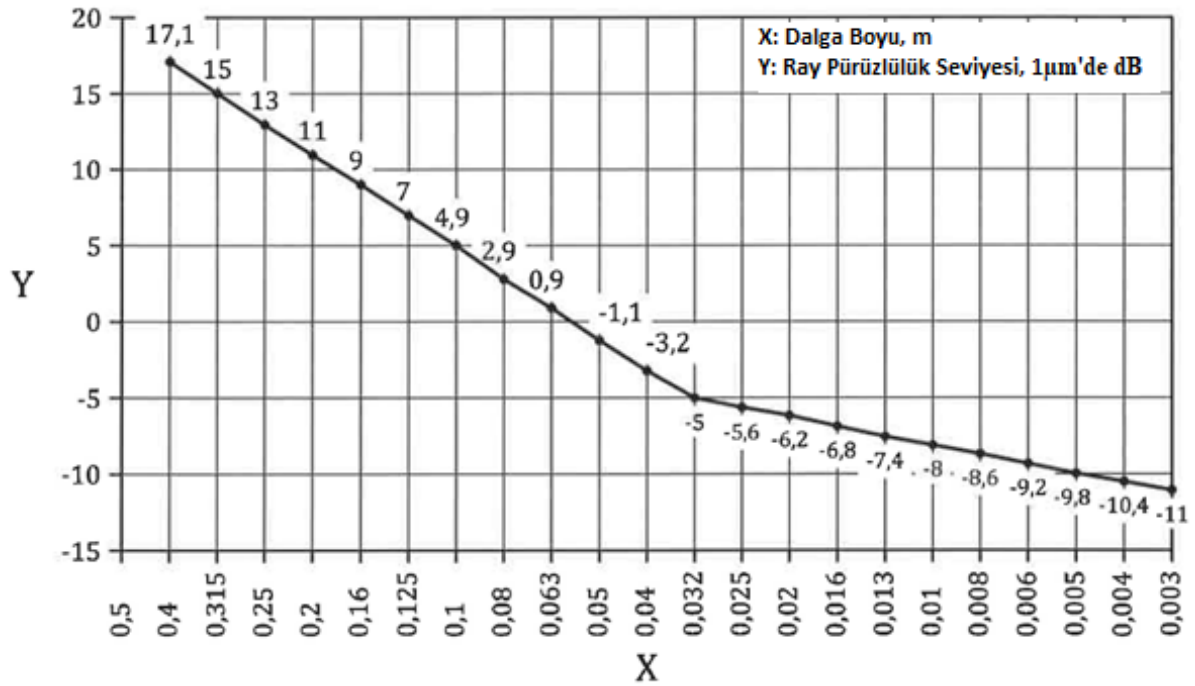
Şekil 4.17: Test kesitindeki Titreşim genliğinde azalma oranı (Yatay)

Test bölgesi kesiminin ray pürüzlülük seviyesi ölçüldü. EN 15461 standardına göre aşan zirveler görüldü. Bununla birlikte, aşan bölgelerin 2500Hz-5000Hz aralığında olduğu görüldü. Bu değer aralıkları genel gürültü seviyesine etki etmez. Sonuç olarak, Test bölgesi kesitindeki ray bağlantı elemanlarının titreşim genliğinde azalma oranının uygun olduğu görülmüştür.

Örnek ray tespiti yapıldıktan sonra yeniden profilendirilen tekerlek yüzeyinin kalitesini tespit etmek için tekerlek pürüzlülük testi yapılmalıdır. Tezgahın işleme kalitesini değerlendirmek için bu test önem arz etmektedir.

4.2. TEKERLEK PÜRÜZLÜLÜK TESTİ

Tekerlek yuvarlanma yüzeyi, düzlükler gibi gürültü üreten düzensizliklerden mümkün olduğunca arındırılmış olmalıdır. Tekerlek pürüzlülüğü, Şekil 4.17'de gösterildiği gibi ISO 3381:2021'de belirtilen değerlerden düşük olmalıdır.



Şekil 4.18: ISO 3381 Standartta Belirtilen Değerler[18]

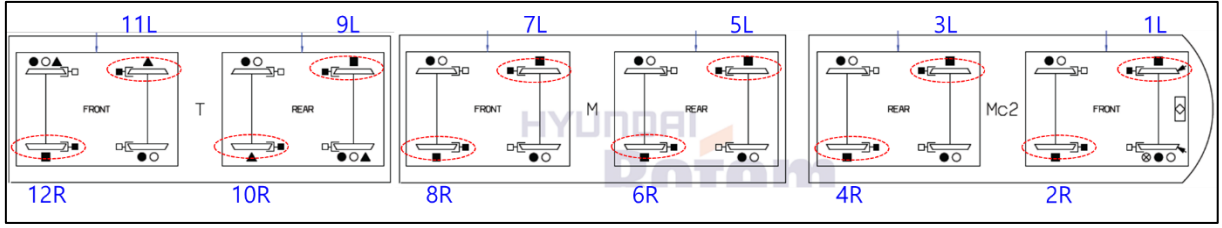
Tren mobil kriko yardımı ile kaldırılarak tekerlekler serbest bırakılır ve tekerlek düşük hızlarda döndürülür. Yuvarlanma yüzeyine temas ettirilen sensörlerle (mesafe ölçer) teker pürüzlülük ölçümü yapılır. Test için kullanılan test ekipmanı ve kullanımı şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Tekerlek Ölçüm TriTops SN 120907005 montajı ve sensör pozisyonları

Ölçüm aşamaları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır;

- a) Ölçümü yapılacak tekerlek takımı, her iki taraftaki raylardan hafifçe kaldırılır.
- b) Ray üzerine TriTops’ ları yerleştirin.
- c) Merkez dönüştürücü, ölçümü yapılacak tekerlek çalıştırma bandının ortasına yerleştirilir.
- d) Mandalı geçerek mıknatıs serbest bırakma kolunu çekerek parçayı raya kilitleyin
- e) 4 tam tur atacak şekilde tekerlek takımını döndürün.
- f) Test, şekil 4.19’da görüleceği üzere, 3 vagon (MC, M, T) ile yapılmış ve vagon başına 4 tekerlekten 2'sinden numune alınmış ve değerlendirilmiştir.



Şekil 4.20: Ölçüm Yapılan Tekerlekler

MC (motorlu ve kabinli) araç için ölçüm sonuçları tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.5: MC (motorlu ve kabinli) Vagonu Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi

80km/h işletmede frekans [Hz]	Dalga boyu [m]	ISO3381: 2021 üst limit [dB]	Tekerlek pürüzlülük seviyesi (MC) [dB]				
			1L	2R	3L	4R	MC Ortalama
50	0.4	17.1	31.4	23.7	33.1	20.2	29.7
63	0.315	15	22.6	18.9	26.5	18.2	22.9
80	0.25	13	13.7	10.6	25.7	14.9	20.4
100	0.2	11	13.9	6.5	18.2	9.7	14.2
125	0.16	9	8.7	4.7	8.9	6.0	7.4
160	0.125	7	3.8	1.6	5.4	4.3	4.0
200	0.1	4.9	2.6	0.3	5.7	1.9	3.1
250	0.08	2.9	1.3	-0.8	5.2	3.5	2.9
315	0.063	0.9	1.8	0.9	1.0	2.5	1.6
400	0.05	-1.1	0.2	-0.2	0.4	1.1	0.4
500	0.04	-3.2	0.3	-2.5	-0.5	-0.6	-0.7
630	0.032	-5	-2.3	-4.2	-2.1	-2.8	-2.8
800	0.025	-5.6	-4.6	-5.5	-3.1	-4.5	-4.3
1000	0.02	-6.2	-6.1	-6.5	-4.1	-6.3	-5.6
1250	0.016	-6.8	-7.6	-7.5	-5.2	-7.2	-6.8
1600	0.013	-7.4	-8.4	-9.3	-6.2	-8.2	-7.9
2000	0.01	-8	-9.1	-10.6	-7.3	-8.8	-8.8
2500	0.008	-8.6	-9.9	-10.9	-7.7	-9.4	-9.3
3150	0.006	-9.2	-11.0	-11.5	-8.8	-9.9	-10.2
4000	0.005	-9.8	-11.7	-13.2	-9.0	-10.5	-10.9
5000	0.004	-10.4	-12.2	-13.6	-9.5	-10.7	-11.2
6300	0.003	-11	-	-	-	-	-

M (motorlu) araç için ölçüm sonuçları tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.6: M (motorlu) Vagon Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi

80 km/h işletmede frekans [Hz]	Dalga Boyuna [m]	ISO3381: 2021 üst limit [dB]	Tekerlek pürüzlülük seviyesi (M) [dB]				
			5L	6R	7L	8R	M_Ort.
50	0.4	17.1	17.7	32.8	31.5	30.7	30.5
63	0.315	15	16.6	30.0	24.6	28.3	27.0
80	0.25	13	27.7	29.3	26.6	23.9	27.3
100	0.2	11	19.7	20.3	21.1	18.1	19.9
125	0.16	9	20.3	19.4	14.8	12.9	17.9
160	0.125	7	16.5	12.2	8.6	7.7	12.7
200	0.1	4.9	17.3	9.4	9.7	10.7	13.2
250	0.08	2.9	9.9	7.6	7.4	7.4	8.2
315	0.063	0.9	7.6	3.9	2.3	4.8	5.1
400	0.05	-1.1	8.1	3.2	0.0	1.8	4.4
500	0.04	-3.2	3.3	1.5	1.3	0.1	1.7
630	0.032	-5	0.7	0.4	1.0	0.1	0.6
800	0.025	-5.6	-4.0	-1.1	0.3	-0.3	-1.0
1000	0.02	-6.2	-4.4	-1.8	-0.8	-1.3	-1.9
1250	0.016	-6.8	-5.3	-2.9	-1.9	-3.3	-3.2
1600	0.013	-7.4	-6.1	-3.7	-3.5	-4.5	-4.3
2000	0.01	-8	-8.6	-4.6	-4.4	-5.7	-5.5
2500	0.008	-8.6	-9.8	-5.4	-6.1	-6.7	-6.7
3150	0.006	-9.2	-10.6	-6.0	-7.1	-7.7	-7.5
4000	0.005	-9.8	-11.4	-6.6	-8.7	-8.4	-8.5
5000	0.004	-10.4	-11.6	-7.1	-9.8	-8.9	-9.1
6300	0.003	-11	-	-	-	-	-

T (taşıyıcı) araç için ölçüm sonuçları tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.7: T (taşıyıcı) Vagon Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi

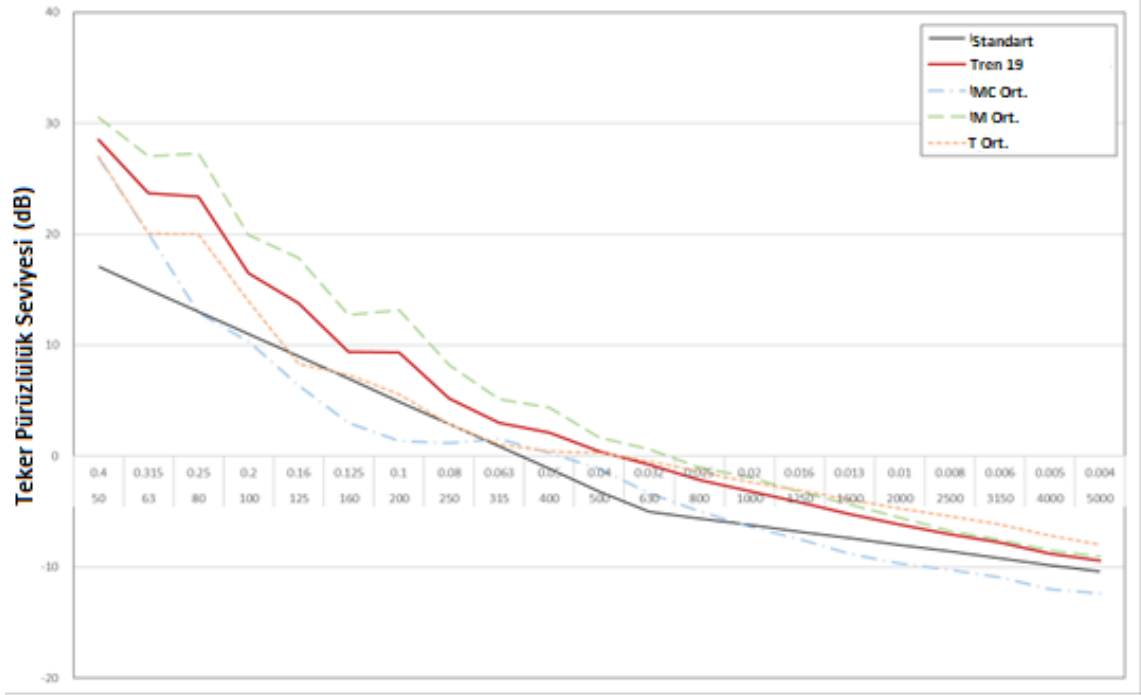
80 km/h işletmede frekans [Hz]	Dalga Boyü [m]	ISO3381: 2021 üst limit [dB]	Tekerlek pürüzlülük seviyesi (M) [dB]				
			9L	10R	11L	12R	T_Ort.
50	0.4	17.1	19.7	17.9	24.8	32.0	27.0
63	0.315	15	20.4	16.3	17.3	22.9	20.0
80	0.25	13	25.2	10.9	14.1	14.2	20.0
100	0.2	11	18.2	12.4	9.8	8.8	14.0
125	0.16	9	11.9	7.6	4.0	5.4	8.3
160	0.125	7	10.0	7.4	2.0	6.6	7.3
200	0.1	4.9	9.1	4.6	1.3	3.4	5.6
250	0.08	2.9	6.1	1.7	0.1	0.5	2.9
315	0.063	0.9	4.1	0.0	-1.8	-0.7	1.0
400	0.05	-1.1	3.7	0.2	-4.3	-2.0	0.4
500	0.04	-3.2	3.6	0.2	-4.4	-2.5	0.3
630	0.032	-5	2.6	-0.5	-4.0	-3.4	-0.5
800	0.025	-5.6	1.3	-0.8	-4.6	-4.1	-1.4
1000	0.02	-6.2	-0.1	-1.8	-4.8	-4.5	-2.4
1250	0.016	-6.8	-1.3	-2.4	-4.7	-5.1	-3.1
1600	0.013	-7.4	-2.1	-3.2	-5.7	-5.8	-3.9
2000	0.01	-8	-2.7	-4.3	-6.3	-6.8	-4.7
2500	0.008	-8.6	-3.3	-5.4	-7.0	-7.2	-5.4
3150	0.006	-9.2	-3.8	-6.0	-8.4	-7.9	-6.1
4000	0.005	-9.8	-4.4	-7.3	-10.3	-9.0	-7.2
5000	0.004	-10.4	-4.9	-8.3	-11.8	-10.0	-8.0
6300	0.003	-11	-	-	-	-	-

T (taşıyıcı) araç için ölçüm sonuçları tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Trenin Ortalama Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi

80 km/h işletmede frekans [Hz]	Dalga boyu [m]	ISO3381: 2021 üst limit [dB]	Tekerlek pürüzlülük seviyesi [dB]			
			MC	M	T	Ort.
50	0.4	17.1	26.9	30.5	27.0	28.5
63	0.315	15	20.1	27.0	20.0	23.7
80	0.25	13	12.9	27.3	20.0	23.4
100	0.2	11	10.3	19.9	14.0	16.5
125	0.16	9	6.4	17.9	8.3	13.8
160	0.125	7	3.0	12.7	7.3	9.4
200	0.1	4.9	1.4	13.2	5.6	9.4
250	0.08	2.9	1.2	8.2	2.9	5.2
315	0.063	0.9	1.6	5.1	1.0	3.0
400	0.05	-1.1	0.3	4.4	0.4	2.1
500	0.04	-3.2	-1.2	1.7	0.3	0.4
630	0.032	-5	-3.3	0.6	-0.5	-0.8
800	0.025	-5.6	-5.0	-1.0	-1.4	-2.1
1000	0.02	-6.2	-6.4	-1.9	-2.4	-3.1
1250	0.016	-6.8	-7.5	-3.2	-3.1	-4.2
1600	0.013	-7.4	-8.8	-4.3	-3.9	-5.2
2000	0.01	-8	-9.7	-5.5	-4.7	-6.2
2500	0.008	-8.6	-10.2	-6.7	-5.4	-7.0
3150	0.006	-9.2	-10.9	-7.5	-6.1	-7.8
4000	0.005	-9.8	-12.0	-8.5	-7.2	-8.8
5000	0.004	-10.4	-12.4	-9.1	-8.0	-9.4
6300	0.003	-11	-	-	-	-

Alınan bu ölçüm sonuçlarındaki MC, M, T ve Trenin ortalama değerlerinin ISO 3381:2021 standartına göre karşılaştırıldığı grafik şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Ölçülen Tekerlek Pürüzlülük Seviyesi

Genel olarak, tekerlek pürüzlülük seviyeleri, frekans bantlarında ISO standardını aşmaktadır. İşletme hızlarında (80km/sa) vagonlar arasındaki tekerlek pürüzlülük seviyesi nedeniyle gürültü seviyesi yaklaşık 2~3 dBA arasında değişebilir. Fakat hatta 1000km'den fazla işletme ile yüzey pürüzlülüğünü stabilize edilebilir. Yapılacak test için hızımız 5km/sa olacağı için tekerlek pürüzlülüğü uygundur.

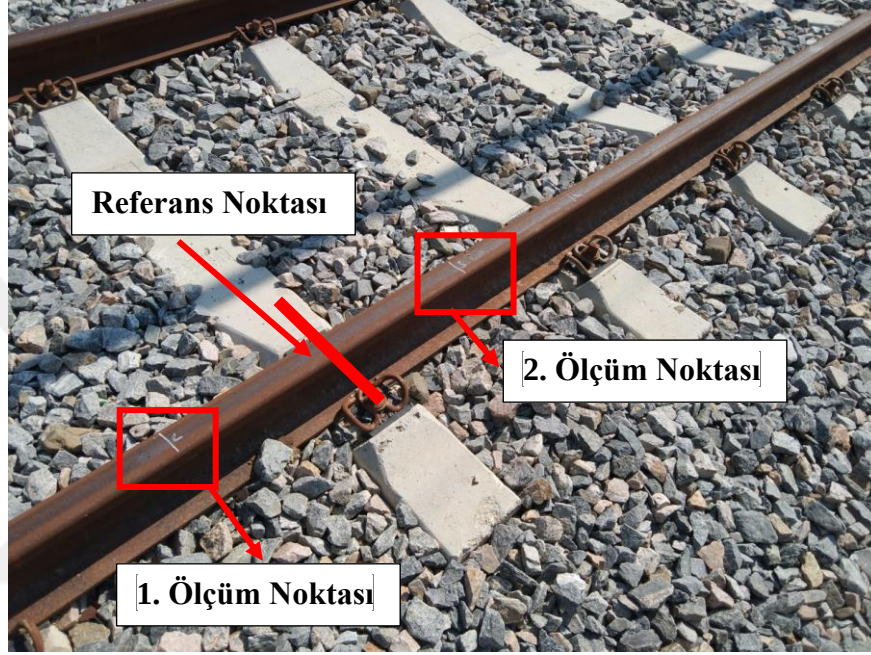
Yapılan bu testlerden sonra tekerlek düzleşmesi tespit yöntemiyle ilgili testler yapılabilir.

4.3. TEKERLEK DÜZLEŞMESİ YENİ TESPİT YÖNTEMİ

Ray pürüzlülük testi, ray bağlantı elemanı testi yapılarak örnek ray bölgesi belirlenmiştir ve tekerlek pürüzlülük testi yapılarak tekerlek tornası kalitesi tespit edilmiştir. Bölüm 4.1.1-4.1.3 ve 4.2’de yapılan testler sonrasında tekerlek düzleşmesi tespit yöntemi için test düzeneği kurulmuştur.

4.3.1. Tekerlek Düzleşmesi tespit yöntemi testi

Yeni bir tekerleğin çevresi uzunluğu boyunca belirlenen örnek raya şekil 4.21 ve şekil 4.22’de görüldüğü gibi 2 noktadan ivme ölçer sensörleri yerleştirilmiştir. Sabit hızda hareket eden, (5 km/sa) apletli ve apletisiz tekerleklerle sahip olan iki farklı tren bu örnek raydan geçirilmiştir. Örnek ray üzerinde oluşan ivme değişimleri ile apleti olan tekerlekler ve apleti sorunu olmayan tekerlekler belirlenmiştir.



Şekil 4.22: Referans Noktasına Göre Sensörlerin Montaj Noktaları

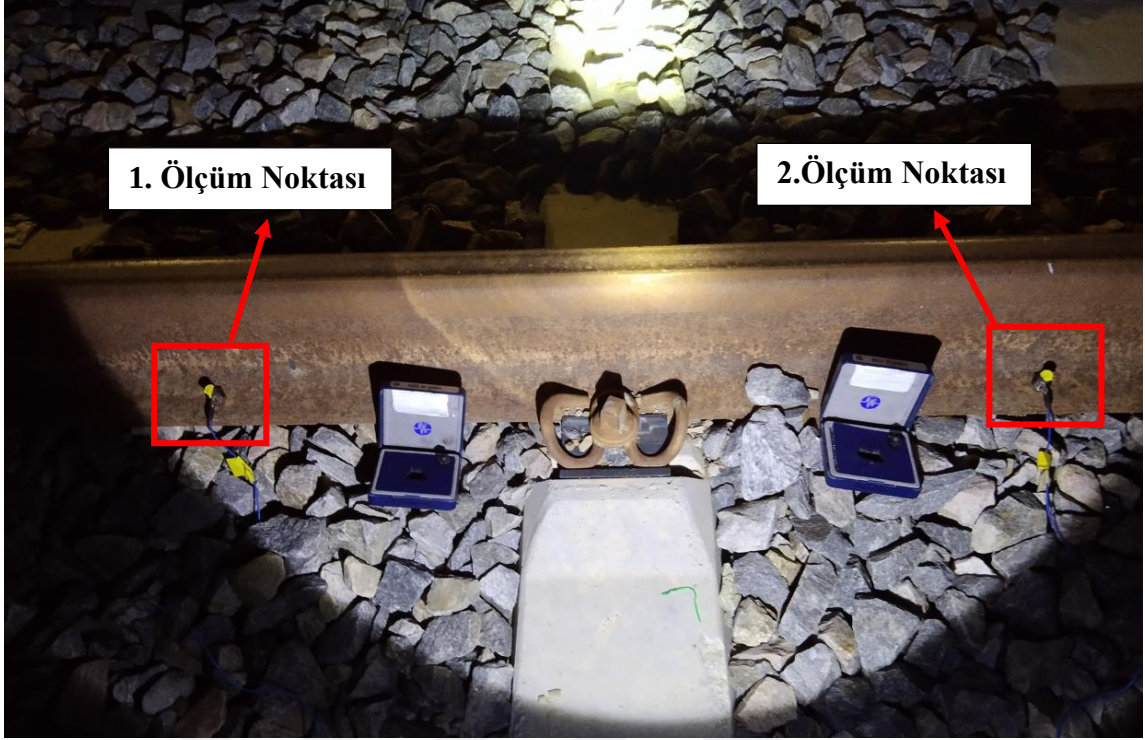
Yeni tekerleğin çapı = 850 mm’dir. Buradan örnek ray uzunluğu ;

Örnek Ray Uzunluğu = $2.\pi.r = \pi.d = \pi.850(\text{mm}) = 2.670,35 \text{ mm} \approx \mathbf{2.675 \text{ mm}}$ alınmıştır.

Ölçüm noktaları ;

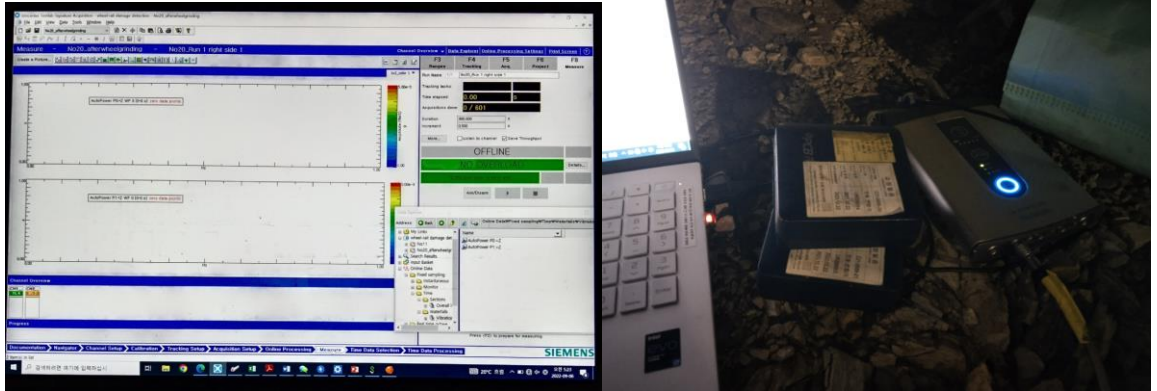
1 . Ölçüm Noktası = -535 mm

2 . Ölçüm Noktası = 535 mm



Şekil 4.23: Ölçüm Noktalarına Göre İvme Ölçerin Örnek Raya Montajı

Sensörlerin montajı tamamlandıktan sonra şekil 4.23'te gösterilen veri toplama ekipmanının kurulumu yapılmıştır.



Şekil 4.24: Veri Toplama Ekipmanının Kurulumu

Program arayüzünde şekil 4.24'te görüldüğü gibi bant genişliği, grafik formatı vb. sınır değerlerin ayarlamaları yapılmıştır.

The screenshot displays two windows of a software interface. The top window has a 'Bandwidth' dropdown set to '1024 Hz'. Below it are two tabs: 'F9 FS' and 'F10 RTO', with 'F10 RTO' selected. Under the 'F10 RTO' tab, there is a checked box for 'Fixed Sampling', a 'Resolution' dropdown set to '0.5 Hz', and a 'Freq. lines' dropdown set to '2048'. The bottom window is titled 'Compute Fixed Sampled Data' and contains several settings: 'Function' is 'AutoPowers Linear', 'Window' is 'Hanning', 'Final weighting' is 'No change', 'First bins to clear' is '0', 'Output format' is 'No change', and 'Save waterfalls' is checked. On the right side of this window, 'Format' is 'RMS', 'References' is 'No ref ch selected', 'Reference window' is 'Hanning', 'Phase referenced spectra' is unchecked, 'Estimation method' is 'H1', 'Estimation mode' is 'Single reference', and 'Number of Poles' is '5'.

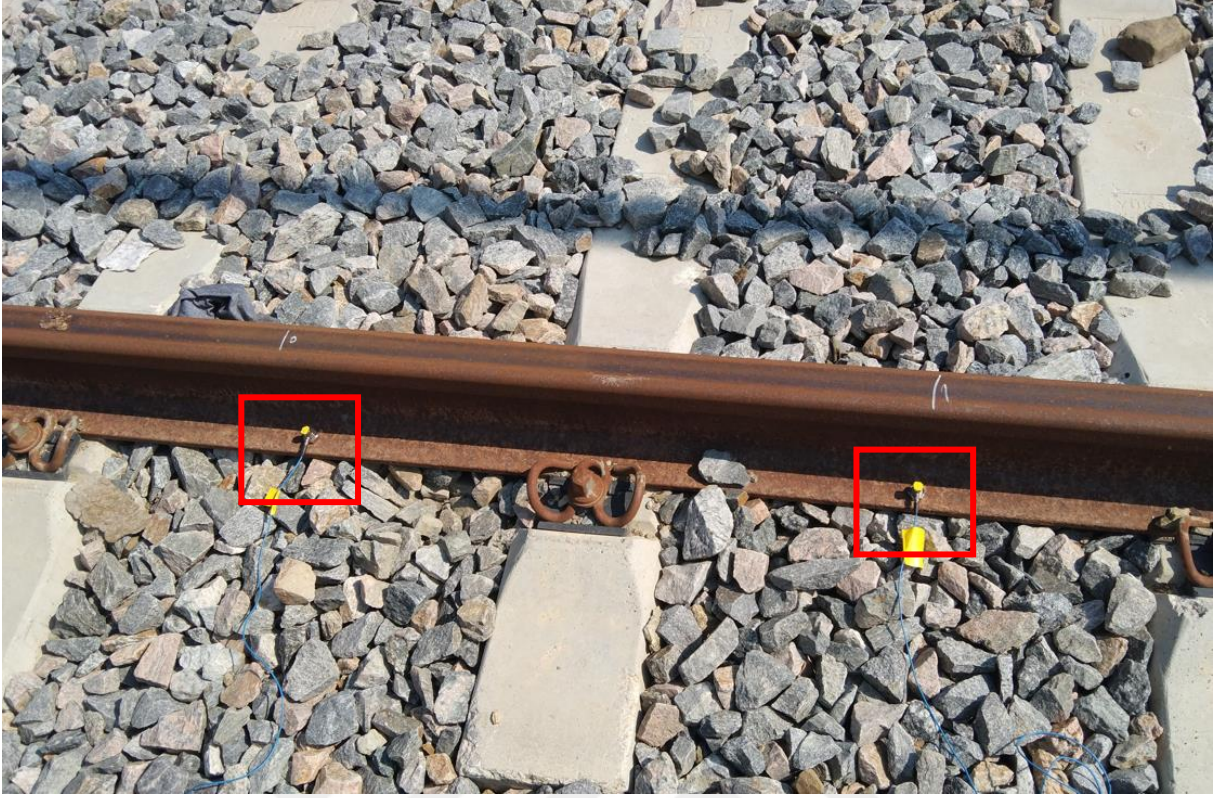
Şekil 4.25: Veri Toplama Programında Ayarlanan Sınır Değerler

Test ekipmanı olarak tablo 4.2’de belirtilen PCB 352C33 model ivmeölçer ve veri toplamak için Siemens SCADAS XS kullanılmıştır.

PCB 352C33 Özellikleri ;

- Hassasiyet: ($\pm 10\%$) 100 mV/g ($10,2 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$)
- Ölçüm Aralığı: $\pm 50 \text{ g}$ adet ($\pm 490 \text{ m/s}^2$ adet)
- Geniş Bant Çözünürlüğü: 0,00015 g rms ($0,0015 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$)
- Frekans Aralığı: ($\pm 5\%$) 0,5 ila 10000 Hz.
- Algılama Elemanı: Seramik.
- Ağırlık: 0,20 ons (5,8 gr)

Örnek rayda belirlenen konumlara göre PCB 352C33 sensörleri yerleştirilir. Apletli tekerleğe sahip ve yeni profilendirilmiş tekerleğe sahip iki farklı tren sabit hızda (5 km/s) örnek raydan geçirilir. Örnek rayda oluşan titreşimler karşılaştırılarak apletli tekerleğin tespiti yapılmış olur.



Şekil 4.26: Z Eksenli Koordinatına Göre Konumlandırılan İvme Ölçerler

Örnek ray üzerinden geçirilen şekil 4.26'daki apletli tekerleklerin;

MC1 araç 1. aks sağ tekerlek için ;

Her bir hasarın tekerlek çevresi yönünde uzunluğu = 70 mm.

Düzlük derinliği = 1,5 mm.

MC1 araç 2. aks sağ tekerlek için ;

Her bir hasarın tekerlek çevresi yönünde uzunluğu = 60 mm.

Düzlük derinliği = 2 mm.

Değerleri ölçülerek sayfa 9'da belirtilen apleti kriter değerlerini aştığı görülmüştür.

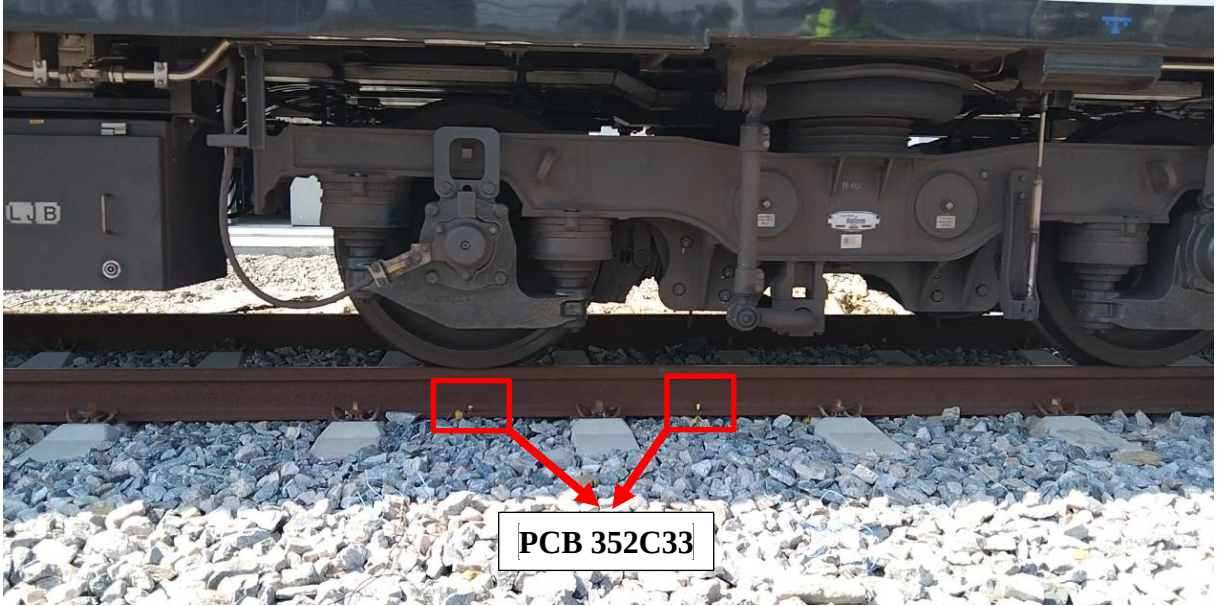


(a)

(b)

Şekil 4.27: (a) 1.Aks Sağ Tekerlek, (b) 2.Aks Sağ Tekerlek

Apletli tekerleklere sahip trenin örnek raydan geçirilişi şekil 4.27’de gösterilmiştir.

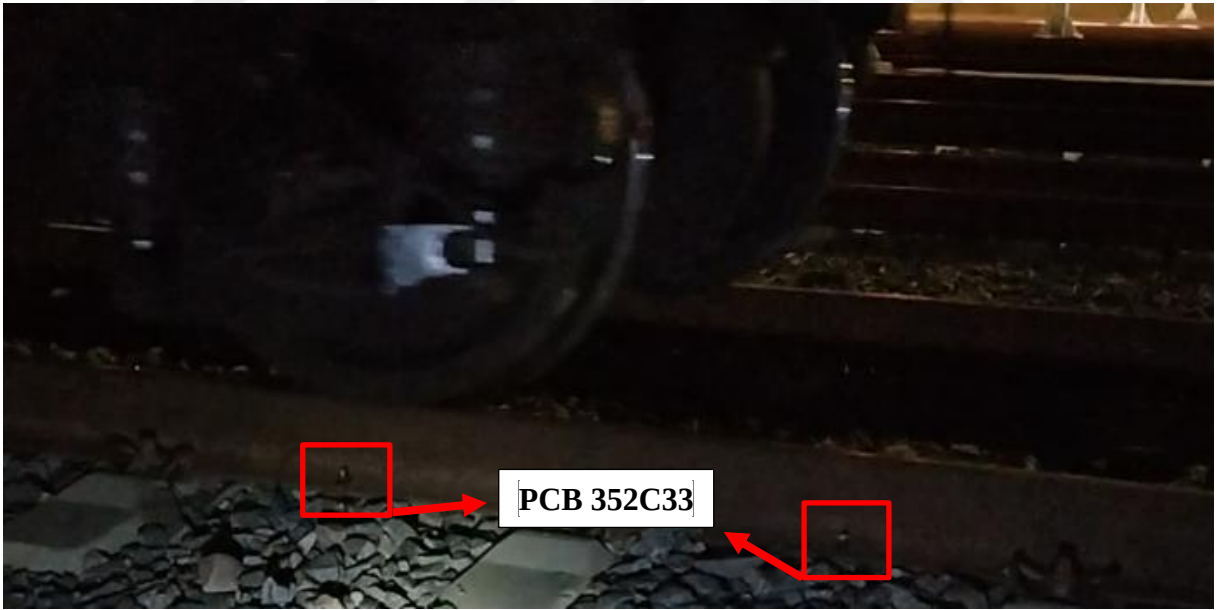


Şekil 4.28: Apletli Tekerleğe Sahip Trenin Sensörler Üzerinden Geçirilmesi



Şekil 4.29: Yeni Profillendirilmiş Tekerleklere

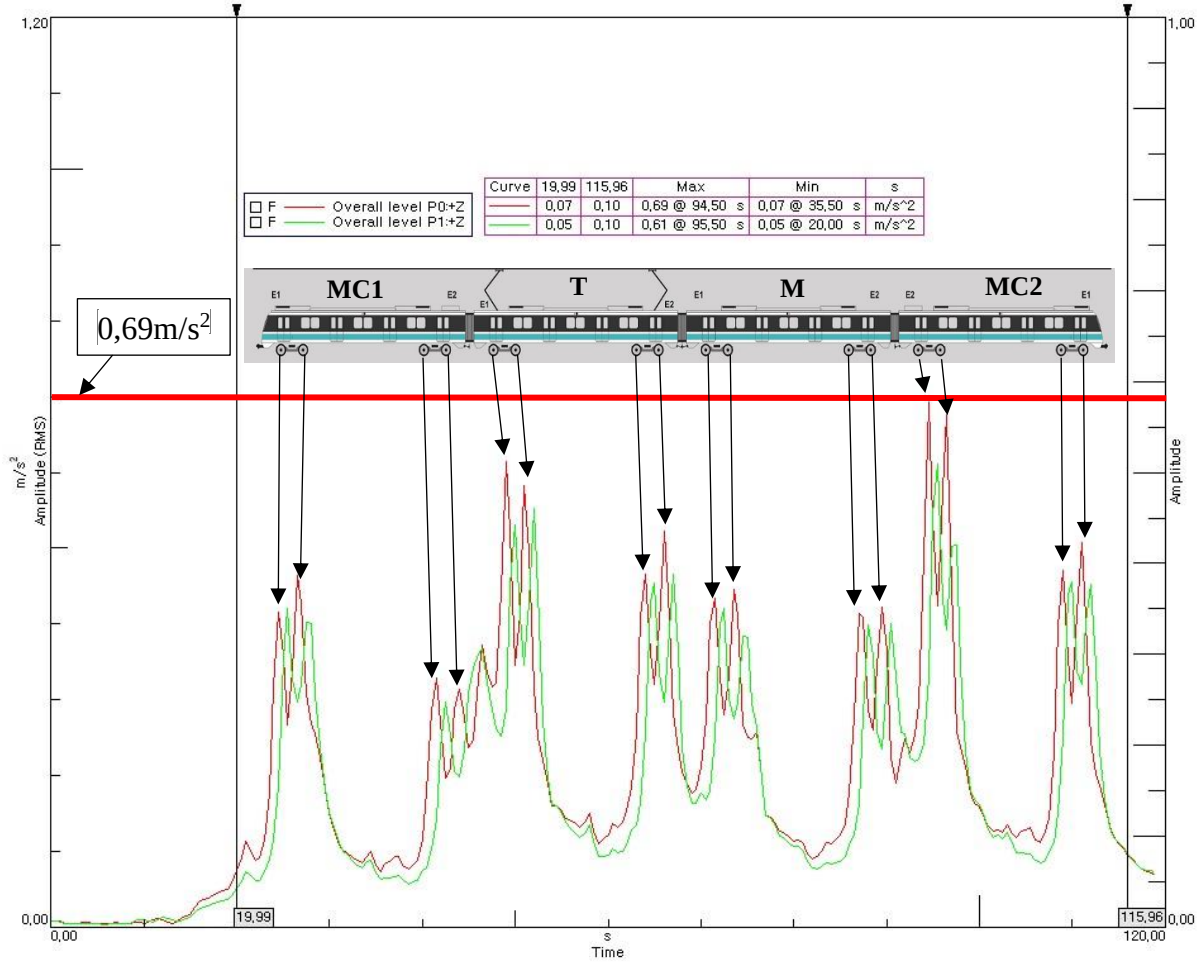
Apletli tekerleklere sahip trenin örnek raydan geçirilişi Şekil 4.29’de gösterilmiştir.



Şekil 4.30: Apletisiz Trenin Sensörler Üzerinden Geçirilmesi

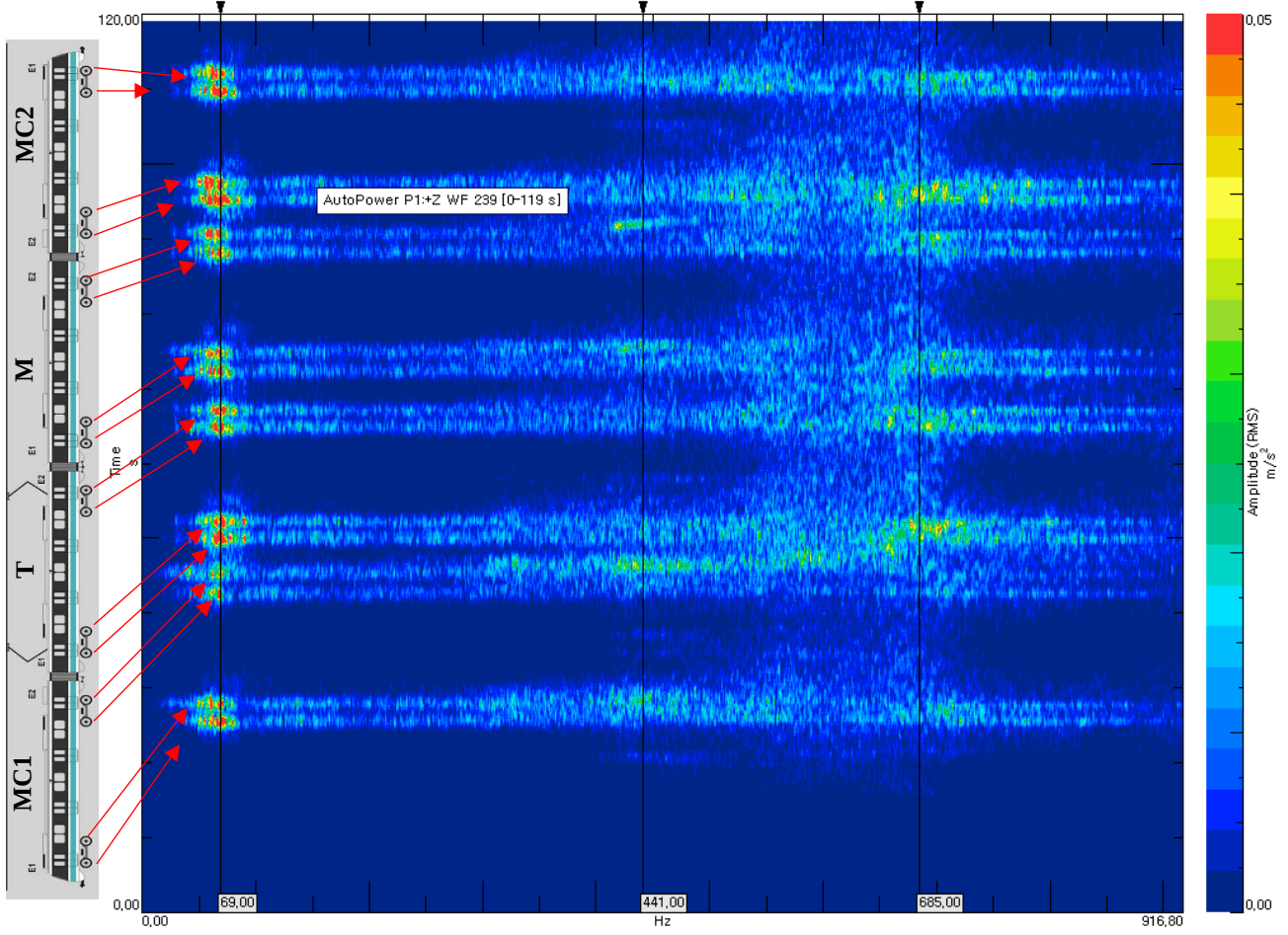
Yapılan bu testler sonucunda ölçümler alınmıştır. Apletli tekerleklere sahip ve yeni profilendirilmiş tekerleklere sahip trenler için aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.

Yeni Tornalanmış trenden alınan ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir;



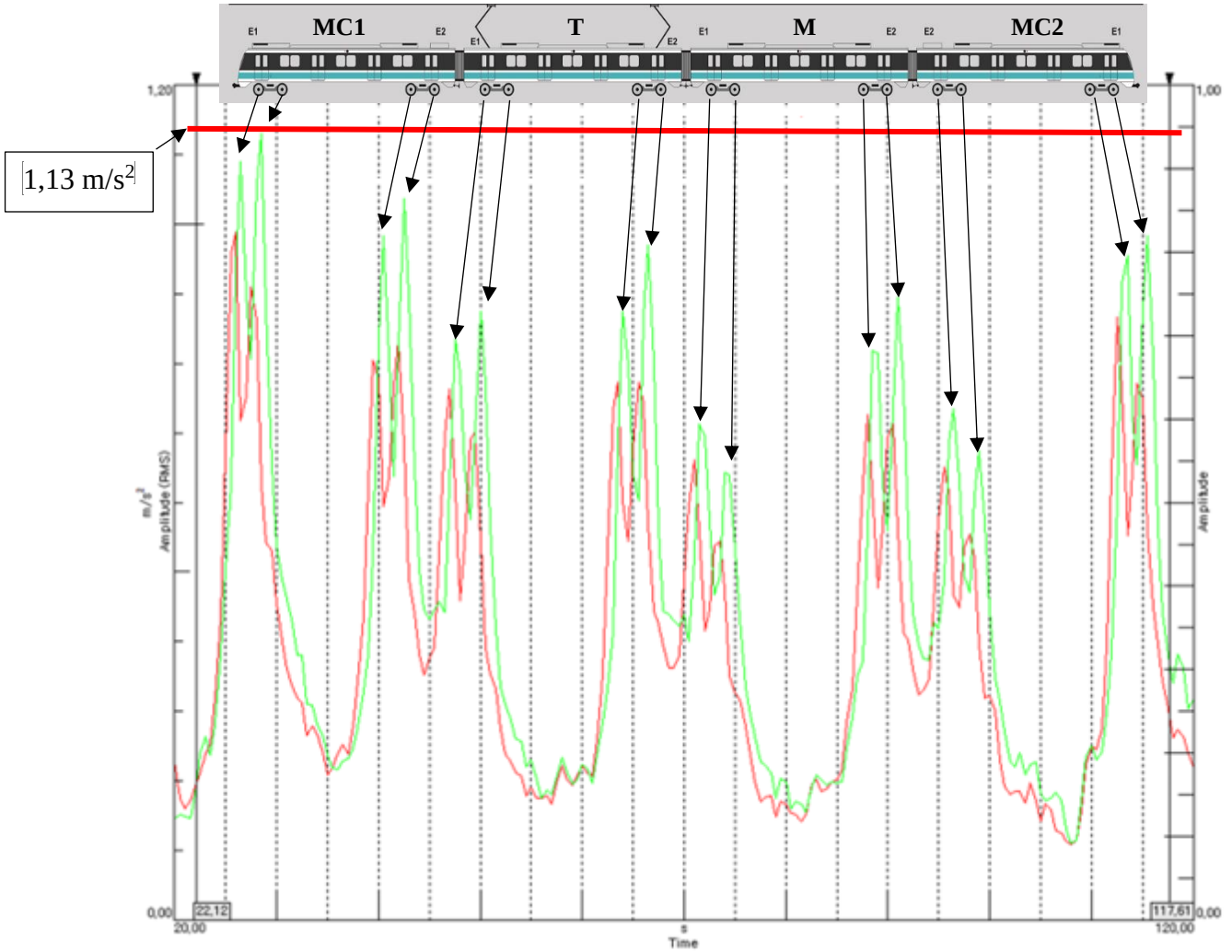
Şekil 4.31: 1. (kırmızı) ve 2. (yeşil) Ölçüm Noktalarındaki İvme-Zaman Grafiği

Örnek raydan 5 km/sa hızla geçirilen, yeni profilendirilmiş tekerleklere sahip trene ait İvme-Zaman grafiği incelendiğinde en yüksek ivme değerinin MC2 araç 3. ve 4. sağ tekerlerde $0,69\text{m/s}^2$ olduğu görülmektedir. İlgili grafikten ayrıca 1. ölçüm noktasındaki ivme değerleri ile 2. ölçüm noktasındaki ivme değerleri arasında çok fazla farkın olmadığı görülmektedir bu durumda yeni profilendirilmiş tekerlekte bütün yüzeyin aynı profile olduğu sonucunu çıkartabiliriz. (paragraf sıkışık)



Şekil 4.32: 2. Ölçüm Noktasındaki Frekans-Zaman Grafiği

Apletli trenden alınan ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir ;

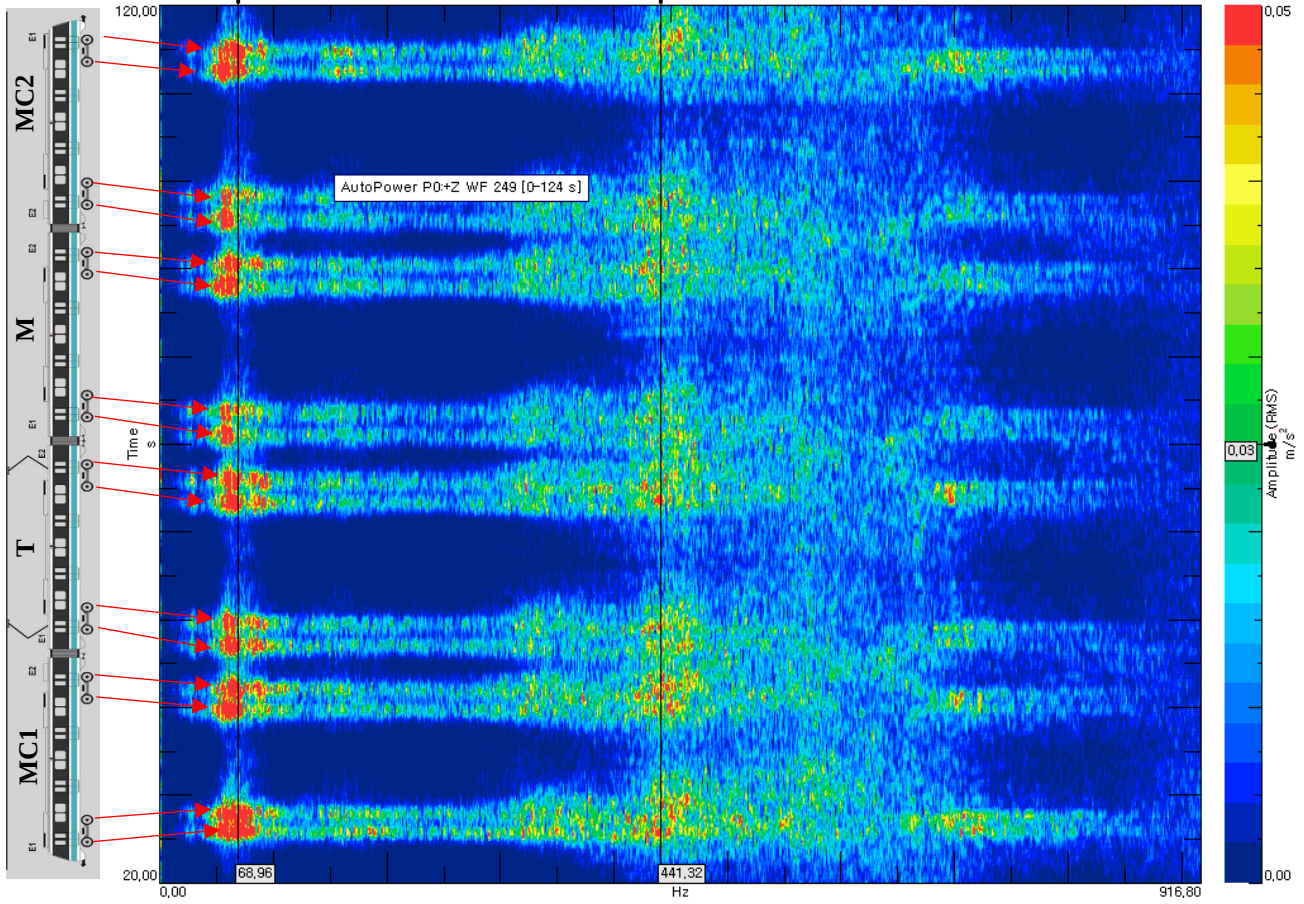


Şekil 4.33: 1. (kırmızı) ve 2. (yeşil) Ölçüm Noktalarındaki İvme-Zaman Grafiği

Örnek raydan 5 km/sa hızla geçirilen, yeni profilendirilmiş tekerleklere sahip trene ait İvme-Zaman grafiği incelendiğinde en yüksek ivme değerinin MC1 araç 1. ve 2. sağ tekerlerde $1,13 \text{ m/s}^2$ olduğu görülmektedir. Şekil 4.32’de görüldüğü gibi bu tekerlekler apleti boyutunun en yüksek olduğu tekerleklerdir. İlgili grafikten ayrıca 1. ölçüm noktasındaki ivme değerleri ile 2. ölçüm noktasındaki ivme değerleri arasında çok fazla farkın olduğu görülmektedir bu durumda tekerlek yüzeylerinin aynı profilde olmadığı sonucunu çıkartabiliriz.



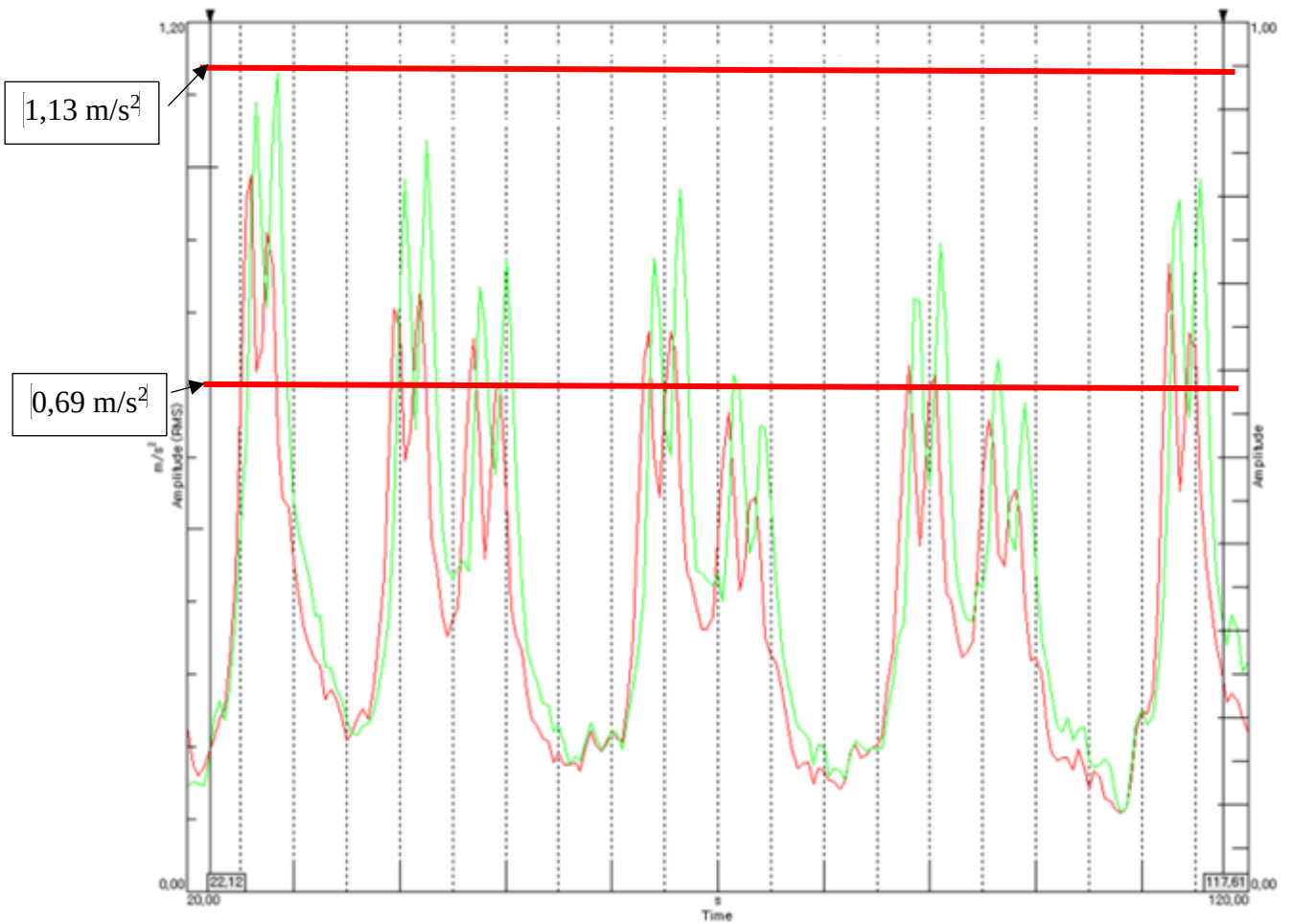
Şekil 4.34: MC1 Araç 1. ve 2. Sağ Tekerlekler



Şekil 4.35: 2. Ölçüm Noktasındaki Frekans-Zaman Grafiği

5. TARTIŞMA

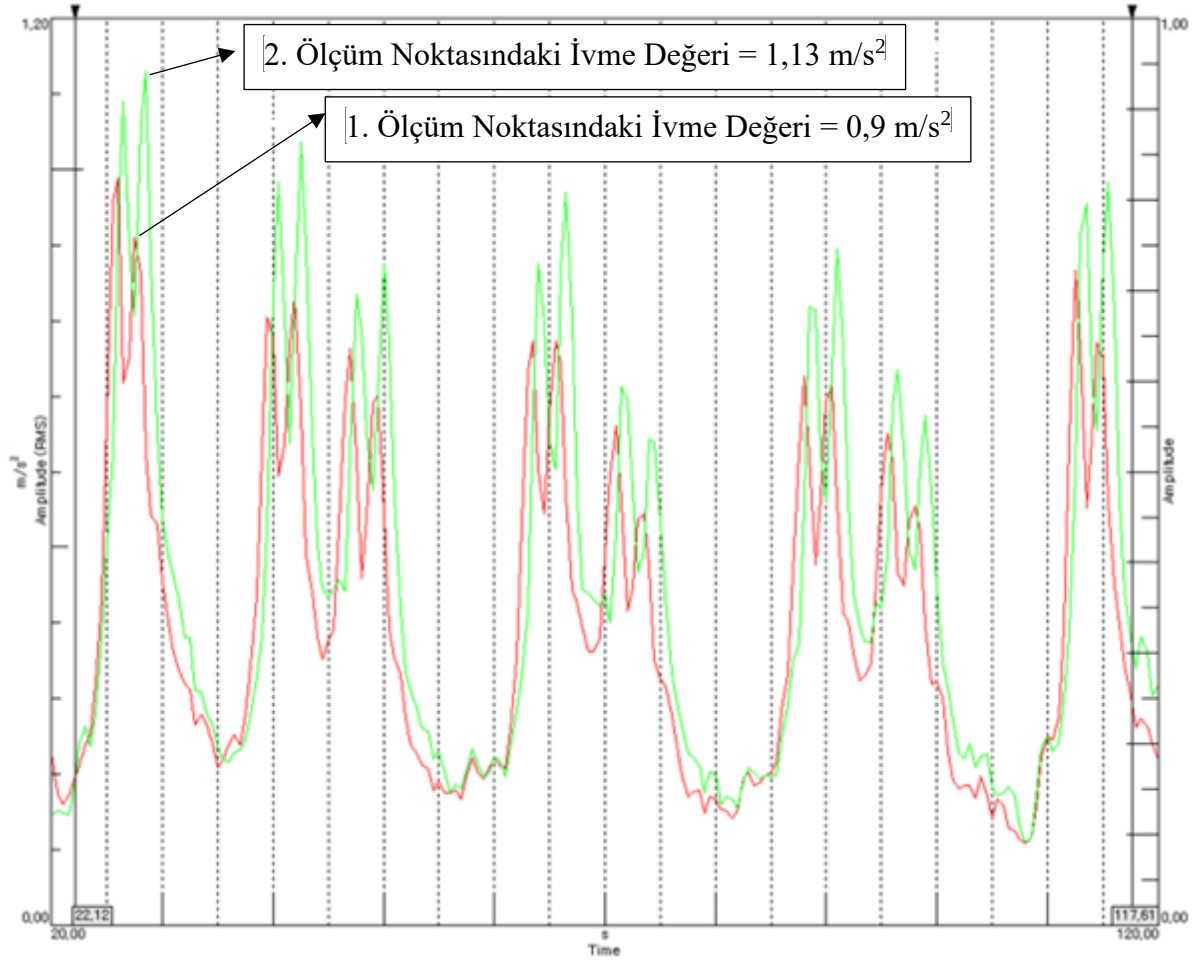
Apletli ve apletisiz tekerleklerden alınan sonuçlar karşılaştırıldığında Apletisiz tekerleklerin $0.1-0.7 \text{ m/s}^2$ ivme değeri aralığında olduğu apletli tekerleklerin $0.7-1.13 \text{ m/s}^2$ ivme değeri aralığında olduğu görülmüştür. Şekil 5.1’de şekil 4.30 ve şekil 4.32’deki İvme-Zaman grafikleri karşılaştırılarak apleti kriter aralığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.1: İvme Değerinin 0,69 m/s²'den Yüksek Olduğu Değerler

Bu sonuçlardan da çıkartılacağı üzere örnek ray üzerinden geçirilen apletli ve apletisiz tekerleklerde ivme değerleri karşılaştırılarak apleti durumu tespiti yapılabilmektedir.

Şekil 5.2.'de örnek olarak gösterilen 1.Ölçüm noktasındaki değer ve 2.ölçüm noktasındaki değer arasındaki fark, tekerlek yüzeyinin her bölgede aynı profil ölçülerine sahip olmadığını göstermektedir. Apleti tespitinde bu değerlerden en büyüğüne göre apleti durumu değerlendirilmelidir.



Şekil 5.2: Ölçüm Noktalarına Göre Ölçülen İvme Değeri Farkları

Örnek ray bölgesi dış ortam etkilerinden en az etkilenecek şekilde, trenlerin depo sahasından anahatta sevk edildiği bölgede seçilerek, şekil 5.3'de gösterildiği gibi anahatta alınan trenlerin tekerleklerinin apleti kontrolünün yapılarak işletmeye alınması sağlanabilir.



Şekil 5.3: Örnek Ray İçin Seçilen Bölge

Test düzeneğinde apletli tekerlek ve apletisiz tekerlek için aynı ortam şartları sağlanmıştır. Bu çalışma ile yeni bir apleti tespit yöntemi belirlenmiştir. Bu yöntemin avantajlarından biri apleti tespitinin personel (atölye personeli, tren sürücüsü) ihtiyacına gerek duyulmadan hızlı ve hassas bir şekilde yapılabilmesidir. Ayrıca anahatta gürültü seviyesi kaynaklı apleti şikayetlerinde, araç altında gürültüye sebebiyet verebilecek çok fazla ekipman olduğundan dolayı, yanlış tespit yapılabilmektedir. Bu durumda gereksiz enerji tüketimine sebep olmaktadır. Şekil 5.4'te örnek olarak araç altında bulunan ve gevşek montajdan kaynaklı sese sebep olan ODD (engel algılama cihazı) ekipmanı görülmektedir.



Şekil 5.4: Bağlantı Elemanı Gevşemesi Kaynaklı Sese Sebep Olan ODD Ekipmanı

Trenlerin örnek ray üzerinden sabit ve düşük hızlarda (5 km/sa'nın altında) geçmesi sağlanmalıdır. Bu durum sağlansa dahi zamanla örnek ray profilinde bozulmalar meydana gelebilir. Örnek ray üzerinde şekil 5.5'de olduğu gibi ara ara ölçümler yapılarak ray yüzeyinde bölüm 4.1.1'deki ondülasyon kontrolü yapılmalıdır. Bu yapılan ölçümler ışığında uygun bir ölçüm periyodu belirlenebilir.



Şekil 5.5: Ondülasyon Kontrolü

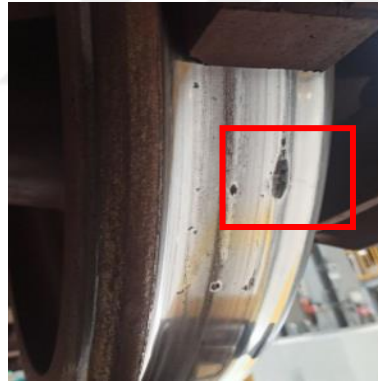
6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, önerilen yeni yöntemle raylı sistemlerde tekerlek düzleşmesinin tespiti elde edilmiştir. Bunun için önerilen yaklaşımda yeniden profilendirilmiş tekerlek örnek ray üzerinden geçirilerek, ivme değerleri ile referans büyüklükler elde edilmiş ve aynı şartlarda örnek ray üzerinden apletli tekerlek geçirilerek titreşim değerleri elde edilmiştir. Bu ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasında görülen fark ile apleti durumunun etkisi ortaya konmuştur.

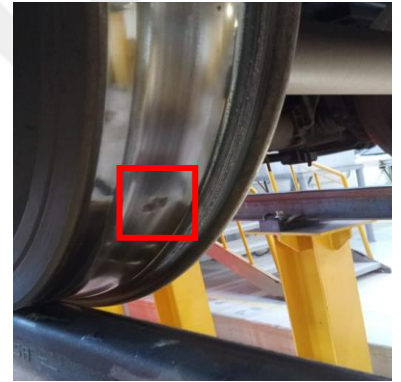
İleride yapılacak çalışmalarda apleti kriterlerini daha hassas tespit etmek için aynı koşullarda farklı apleti boyutlarında tekerlekler örnek ray üzerinden geçirilerek ilgili veriler karşılaştırma için kayıt altına alınabilir. Kayıt altına alınan bu değerler ile apleti boyutu renk skalasına göre yüksek derece apleti boyutu (kırmızı), orta derece apleti boyutu (sarı) ve kriter dışı apleti boyutu (yeşil) olacak şekilde arayüz programına tanımlanabilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.1: (a) Yüksek Derece Apleti, (b) Orta Derece Apleti, (c) Kriter Dışı Apleti

Yine ileride yapılacak çalışmalarda örnek ray üzerine aks sayıcı düzeneğin eklenmesi ile bir arayüz programı tasarlanarak, anahatta verilecek trenlerin tekerlek durumlarının Şekil 6.1’de gösterildiği gibi OCC (kumanda merkezi) tarafından gözlemlenmesi sağlanabilir.



Şekil 6.2: OCC (Kumanda Merkezi)

KAYNAKLAR

- [1] Brizuela, J., Fritsch, C., Ibanez, A., 2011, Railway wheel-flat detection and measurement by ultrasound, *Transportation Research Part C*, 19 (2021) 975-984
- [2] Kumagai, N., et al., Factors of wheel flats occurrence and preventive measures, *WEAR*, vol 144, Issues 1-2, sayfa 277-287, Nisan 1991.
- [3] Bezgin, N.Ö., 2018, Application of a new concept and a method to estimate the vertical impact forces on railway tracks due to track profile irregularities, 97th. Transportation Research Board Meeting, Washington DC, ABD, vol.18-00037,
- [4] Prasad, A., Jafferson J.M. ,2021, Finite element model of wheel – Rail impact due to flat spot, *Materials Today: Proceedings*, 46, 1221–1228
- [5] Tao, H., Zhang, P., 2022, Characterization and mitigation of wheel-rail impact at a singular rail defect, *Journal of Vibration and Control*, 0(0) 1–11
- [6] Chen, S., Wang K., Chang, C., Xie, B., Zhai, W., 2020, H., Zhang, P., 2022, A two-level adaptive chirp mode decomposition method for the railway wheel flat detection under variable-speed conditions, *Journal of Sound and Vibration*, 498 (2021) 115963
- [7] Zhou, Z., Chen, Z., Spiriyagin, M., Arago, E.B., Wolfs, P., Cole, C., Zhai, W., 2021, Dynamic response feature of electromechanical coupled drive subsystem in a locomotive excited by wheel flat, *Engineering Failure Analysis*, 122 (2021) 105248
- [8] Steisunas, S., Dizo, J., Bureika, G., Zuraulis, V., 2017, Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters, *Procedia Engineering*, 187 (2017) 235 – 241
- [9] Bosso, N., Gugliotta, A., Zampieri, N., 2018, Wheel flat detection algorithm for onboard diagnostic, *Measurement*, 123 (2018) 193–202

- [10] Li, Y., Zuo, M., Lin, J., Liu, J., 2017, Fault detection method for railway wheel flat using an adaptive multiscale morphological filter, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 84(2017) 642–658
- [11] Yang, J., Zhao, Y., Wang, J., Liu, C., Bai, Y., 2022, Influence of wheel flat on railway vehicle helical gear system under Traction/Braking conditions, *Engineering Failure Analysis*, 134 (2022) 106022
- [12] Silva-Rodriguez, J, Salvador, P., Naranjo, V., Insa, R., 2022, Supervised contrastive learning-guided prototypes on axle-box accelerations for railway crossing inspections, *Expert Systems With Applications*, 207 (2022) 117946
- [13] Mishra, S., Sharan, P., Saara, K., 2022, Real time implementation of fiber Bragg grating sensor in monitoring flat wheel detection for railways, *Engineering Failure Analysis*, 138 (2022) 106376
- [14] Wu, N., Li, S., Wang, Z., Xia, L., Li, W., 2023, Quasi-distributed FBG interrogation based on coherent wavelength-to-time mapping using mode-locked laser and pseudo-random barcode, *Optics and Laser Technology*, 159 (2023) 108988
- [15] Xing, Z., Zhang, Z., Yao, X., Qin, Y., Jia, L., 2022, Rail wheel tread defect detection using improved YOLOv3, *Measurement*, 203 (2022) 111959
- [16] EN 13231-3 Railway applications - Track - Acceptance of works - Part 3: Acceptance of reprofiling rails in track
- [17] EN 15610, Railway applications - Acoustics - Rail and wheel roughness measurement related to noise
- [18] ISO 3381 Railway applications - Acoustics Noise measurement inside railbound vehicles generation
- [19] EN15461 Railway Applications - Noise Emission - Characterization of the Dynamic Properties Of

EKLER

EK 1. Apleti Sorunu Sebebiyle Talaş Kaldırma Ömür Hesabı

Bir yılda tren toplam 120.000km yapmaktadır.

150.000km'de 5mm'lik tekerlek çapından talaş kaldırılır.

Tekerlekte kullanım talaş kaldırma miktarı $850\text{mm}-770\text{mm}=80\text{mm}$

Toplam talaş kaldırma sayısı : $80\text{mm}/5 = 16$ adet

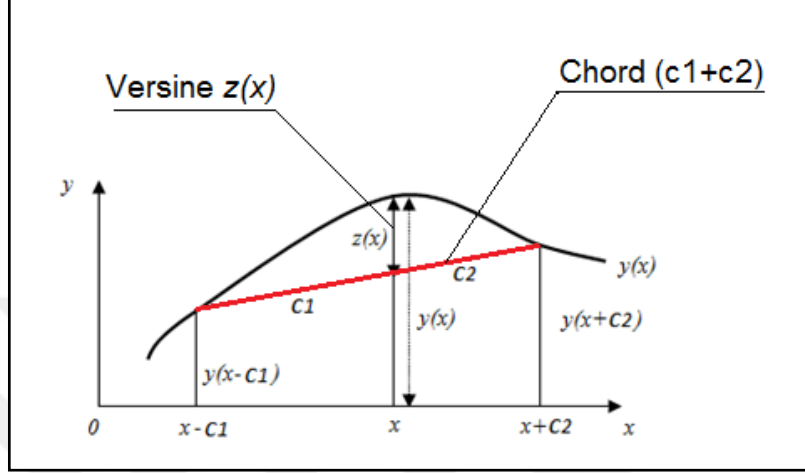
Toplam ömür km'si : $150.000 \times 16 = 2.400.000\text{km}$

Tahmini yıl hesabı : $2.400.000\text{km}/120.000\text{km/yıl} = 20$ yıl

Apleti boyutuna göre talaş kaldırma miktarı 2mm-10mm arasında değişkenlik göstermektedir.

Apleti sorunu olmadan, sadece periyodik profilendirme yapılan tekerlek ömrü 20 yıldır. Apleti sorunun boyutuna göre tekerlekte ömrü 10 yıla kadar düşebilir.

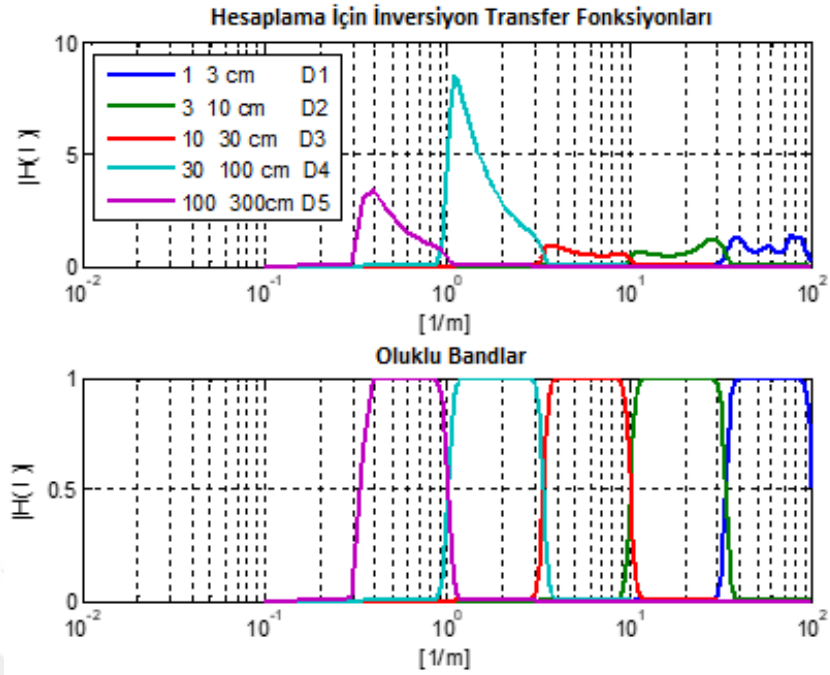
EK 2. Ondülasyon Hesapları



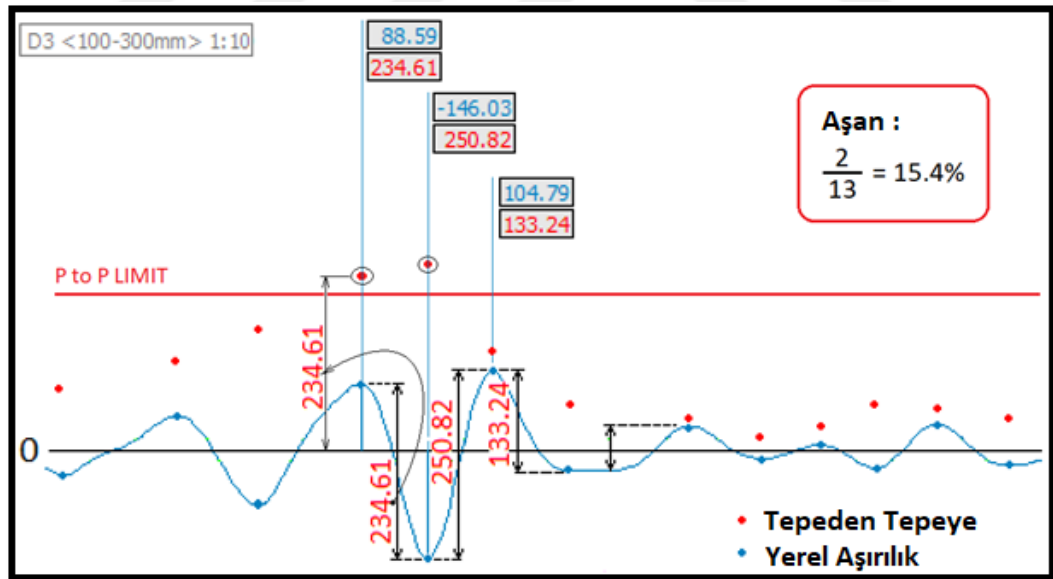
$$z(x) = y(x) - \left[\frac{c_2}{c_1+c_2} y(x-c_1) + \frac{c_1}{c_1+c_2} y(x+c_2) \right] = y(x) - k_1 y(x-c_1) - k_2 y(x+c_2) \quad (3.5)$$

Cihazın ölçüm ilkesi yukarıdaki (3.5) formülasyona dayanmaktadır. Cihaz üzerindeki lazer kaynağı bir nokta oluşturur ve bilinmeyen $z(x)$ denklemi hesaplanır.

Ölçüm sonuçları **EN 13231-3** Standardına göre D1, D2, D3, D4 ve D5 dalga bantlarında verilir.



Standartta belirtilen dalga boylarında tepeden-tepeye verilen limitlerin aşıldığı noktalar ondülasyona sebep olmaktadır. Aşağıdaki grafikte iki noktanın bu sınırı aştığı görülmektedir.



ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- ☐ Etik Kurul izni gerekmektedir.
- ☒ Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Abdurrahim ÇELİK



KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Abdurrahim ÇELİK

