



**T.C
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR YÜK VAGONUNUN FRENLENMESİ SONUCU TEKERLEĞİN
SÜRTÜNME YÜZEYİNDE OLUŞAN MAKSİMUM SICAKLIĞIN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**



DOKTORA TEZİ

**Nail KARAGÖZ
(201592092428)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Halil İbrahim ACAR

SIVAS

MART 2020

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.





Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Nail Karagöz, 2020

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

13.03.2020


Nail KARAGÖZ

ÖZET

BİR YÜK VAGONUNUN FRENLENMESİ SONUCU TEKERLEĞİN SÜRTÜNME YÜZEYİNDE OLUŞAN MAKSİMUM SICAKLIĞIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Nail KARAGÖZ

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halil İbrahim ACAR

2020, 68+xvi sayfa

16. yüzyılın ortalarında tahta raylar üzerinde taşımacılık yapan at arabaları, 19. yüzyılın başında buharlı makinaların icadı sonrası yerini buharlı lokomotiflere bırakmıştır. Günümüzde demiryolunun yük taşımacılığındaki payı azalsada, uzun mesafeli ağır yük taşımacılığında, demiryolu taşımacılığı en güvenli ve en ekonomik kara taşımacılığıdır.

Dünyadaki ekonomik ve ticari büyümeyle birlikte yük taşıma miktarının artması, demiryolu trafiğinin artmasını ve buda kazaların artmasını beraberinde getirmiştir. Tehlikeli maddelerin de taşındığı demiryolu taşımacılığında meydana gelen kazalar mal ve can kaybına, altyapıda oluşan hasarlar ise uzun süre taşımacılığın aksamasına sebep olmaktadır. Demiryolu güvenliğinin artırılması için altyapıda çeken ve çekilen araçlarda sürekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

Demiryolu güvenliğinin artırılması için demiryolu altyapısında ve çeken ve çekilen araçlarda sürekli iyileştirmeler yapılmalıdır. Fren sistemi ve yürüyüş aksamı, demiryolu güvenliği açısından yük vagonunun en önemli bileşenleridir. Yük vagonu fren sisteminde frenleme için gerekli fren kuvveti, fren silindirinde bulunan basınçlı hava ile oluşturulmaktadır. Manivelalarla fren pabucuna iletilen bu kuvvet, fren pabucu (sabo) ile tekerlek yuvarlanma yüzeyi arasında sürtünme kuvveti oluşturur.

Vagonların aşağı yönlü hareketinde vagon hızını kontrol amaçlı, uzun süreli “sürüklenme freni” yapılması gerekmekte, bu da tekerleklerde çok yüksek sıcaklıklar oluşmasına sebep olabilmektedir. Oluşan bu yüksek sıcaklıklar sebebiyle çok çeşitli tekerlek hasarları oluşabilmekte ve bu durum demiryolu güvenliğini azaltmaktadır [1].

Bu çalışmada, tekerlek ısınması sebebiyle tekerlek hasarlarının sıkça gözlemlendiği Gümüş-Yenice arasında (ortalama eğim ‰ 13,4 ve toplam uzaklık 94 km) çalışan tekerlek çapı farklı iki konteyner vagonunda seyrüsefer boyunca tekerlek yuvarlanma yüzeyinde oluşan sıcaklıklar, vagon hızı, tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı, fren silindirlerinde oluşan basınç verileri kaydedilmiştir.

Test için, tekerlek çapı büyük (919 mm) ve tekerlek çapı küçük (880 mm) olan iki test vagonu seçilmiştir. Tam dolu olan test vagonlarının bulunduğu katar, 2017 TÜDEMSAŞ üretimi TSI sertifikalı 12 adet Rgns vagonu ve DE 33000 dizel lokomotiften oluşturulmuştur. Yaklaşık 94 km uzunluğundaki yol 4 saat 30 dakikada kat edilmiş ve yaklaşık 1 saat 30 dakika ara istasyonlarda beklenmiştir. O bölgede halihazırda çalışan ve dinamik freni olmayan lokomotiflerin de kullanılması sebebiyle test sürecinde sıcaklığın en fazla olmasının beklendiği Hacıkırı - Durak istasyonları arasında lokomotifte bulunan dinamik fren devre dışı bırakılmış sadece hava freni kullanılmıştır.

Test sonucunda ispit kalınlığı azalmış olan küçük çaplı tekerlekte, büyük çaplı tekerleğe göre, yuvarlanma yüzeyi sıcaklığının frenleme ile birlikte daha fazla arttığı ve bekleme esnasında ise sıcaklığın daha hızlı düştüğü görülmüştür. En yüksek tekerlek yuvarlanma yüzey sıcaklığı, tekerlek başına 45,5 MJ frenleme enerjisinin uygulandığı ve ortalama hızın 32,3 km/h olduğu Hacıkırı- Durak arasında, 363,7 °C olarak ölçülmüştür (küçük çaplı tekerlekte). Ayrıca, konteyner vagonunda, rüzgarsız bir havada yapılan test esnasında, tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızının, vagon hızının yaklaşık 1/3'ü olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut işletme şartları göz önüne alındığında saha testinde en kötü senaryo gerçekleşmemiştir. Halihazırda bu bölgede kullanılan ve dinamik freni olmayan bir lokomotif test için seçilebilseydi, istasyonlarda bekleme süresi çok uzun olmasaydı, tekerlek çapı daha küçük olan bir tekerlek seçilebilseydi, frenlemede normal şartlarda beklendiği üzere tam fren (silindir basıncı 3,8 bar) uygulanabilseydi ve ortalama hız daha fazla olsaydı, Hacıkırı-Yenice istasyonları arasında çapı küçük olan tekerleğin yuvarlanma yüzeyinde daha yüksek sıcaklık değerleri beklenebilirdi. Ayrıca testten hemen önce yağmur yağması ve testin akşam saatlerinde yapılması da sıcaklığın daha büyük değerlere ulaşmasını engellemiştir.

Anahtar Kelimeler: Tekerlek Isınması, Frenleme, Yük Vagonu, Yuvarlanma Yüzeyi Sıcaklığı, Saha Testi .

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY OF THE MAXIMUM TEMPERATURE ON THE FRICTION SURFACE OF THE WHEEL AS A RESULT OF BRAKING OF A FREIGHT WAGON

Nail KARAGÖZ

Doctoral Thesis

Mechanical Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Halil İbrahim ACAR

2020, 68+xvi pages

Horse cart, which had performed transportation on wooden rails in the middle of 16th century, has left its place to steam locomotive after the invention of steam engine at the beginning of 19th century. At present, railway transportation is the safest and the most economical land transportation mode for long distance heavy cargo transportation [1].

In line with global economic growth, railway traffic has also increased and led to more railway accidents. Accidents that happen in railway transportation, where also dangerous goods are carried, result in loss of life and property, and damage in railway infrastructure causes disruption of transportation for a long time.

In order to increase railway safety, continuous improvements should be made in railway infrastructure and in tractive and trailing stock. The braking system and the running gear are the most important components of the freight wagon in terms of railway safety. The braking force required for braking the freight wagon is generated by compressed air in the brake cylinder. This force which is transmitted to the brake shoes by the brake levers creates a friction force between the brake shoes and the wheel rolling surfaces [1].

In downhill movement of the wagons, “drag brake” must be applied for a long time to control the wagon speed, which can lead to very high temperatures in the wheels. Due to these high temperatures, a wide variety of wheel damages can occur and this reduces railway safety [1].

In this study, temperature of the wheel rolling surface, wagon speed, wind speed to the wheel rolling surface and pressure of the brake cylinders were recorded in two container wagons with different wheel diameters running between Gümüş-Yenice where wheel damage was observed frequently due to wheel warming. Average inclination between Gümüş-Yenice is ‰ 13.4 and total distance 94 km.

To perform the test, two test wagons with a large wheel diameter (919 mm) and a small wheel diameter (880 mm) were selected. The fully loaded test wagons were composed of 12 TSI-certified Rgns wagons produced by TÜDEMSAŞ and a DE 33000 diesel locomotive. Approximately 94 km long road was covered in 4 hours and 30 minutes and halted at intermediate stations for about 1 hour and 30 minutes. Due to the fact that also the locomotives without dynamic brakes were currently used in that area, the dynamic brake in the locomotive was canceled and only the air brake was used between Hacıkırı-Durak stations where the temperature is expected to be the highest during the test.

At the end of the test, it was observed that the temperature of the rolling surface increased more as a result of braking and the temperature decreased faster during the waiting period at the smaller diameter wheel with reduced tyre thickness compared to the larger diameter wheel. The highest temperature at the wheel rolling surface was measured to be 363.7 °C (with smaller diameter wheel) between Hacıkırı and Durak, where 45.5 MJ braking energy was applied per wheel with an average speed of 32.3 km / h. Furthermore, on the container wagon it was discovered that the wind speed coming to the wheel rolling surface was approximately 1/3 of the wagon speed in a test conducted in calm weather with no wind.

With the current operating conditions, the worst-case scenario has not occurred in the field test. If a locomotive currently used in this area without a dynamic brake could be selected for the test, and if the waiting time at the stations had not been so long, and if a wheel with a smaller wheel diameter could be selected, and if full braking (cylinder pressure 3.8 bar) could be applied as expected under normal braking and if the average speed were higher, it would be expected that higher temperatures occur at the rolling surface of the smaller diameter wheel between Hacıkırı-Yenice stations. Besides, the fact that the weather was rainy just before the test and that the test was performed at the evening prevented the temperature from reaching higher values.

Key Words: Wheel Warming, Braking, Freight Wagon, Rolling Surface Temperature, Field Test.

TEŞEKKÜR

Doktora tez alışmalarımın her aşamasında bana yol gösteren, yardım ve emeğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Halil İbrahim ACAR'a teşekkür ederim.

Ayrıca değerli görüşleriyle bana rehberlik eden Yard. Doğ. Dr. Hacı Ali ERTAŐ ve Yard. Doğ. Dr. Halil ARSLAN'a, deney düzeneğini oluşturmamda yardımcı olan TÜDEMSAŞ Genel Müdür Yardımcısı Mahmut DEMİR'e, Daire Başkanı Eyyüp S.BARIŐ'a ve Zühtü ÇOPUR'a, saha testinde bana yardımcı olan Murat BEKTAŐ, Sefa YAZICILAR, Yavuz Fatih İNCEGZ ve Celal SAMYELİ'ne teőekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
İÇİNDEKİLER	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1.GİRİŞ	1
2. FREN SİSTEMİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	2
2.1 Yük Vagonlarında Fren	2
2.1.1 Endirekt Etkili Basınçlı Hava Freni	3
2.2 Lokomotif Fren Sistemi	6
2.3 Yük Vagonunda Hız Rejimi	8
2.4 Yük Vagonlarında Kullanılan Sabolar ve Sabo Yapısı	8
3. YÜK VAGONLARINDA KULLANILAN TEKERLEK SETİ	12
4. SEYİR ESNASINDA VAGONA ETKİ EDEN SÜRÜŞ DİRENÇLERİ	15
4.1 Hava Direnci	15
4.2 Yuvarlanma Direnci	16
4.3 Yerçekimi Direnci	18
5. TEKERLEKTE TAKIMI HASARLARI	189
5.1 Tekerleğe ve Raya Gelen Yükler	24
5.2 Dingil Isınması Sebebiyle Dingil Kırılması	24
5.3 Isıl Sebeplerle İlişkili Tekerlek Hasarları	24
5.3.1 Isıl Çatlaklar	24
5.3.2 Yuvarlanma Yüzeyinde Oyuk Oluşumu	26
5.3.3 Yuvarlanma Yüzeyinde Yığılma	26
5.3.4 Yuvarlanma Yüzeyinde Düzleşmiş Bölge	27
5.3.5 Yuvarlanma Yüzeyinin Dışa Yayılması	28
6. DEMİRYOLU TEKERLEKLERİNDE FREN TESTİ	29
6.1 Fren Dinamometresi ile Fren Testi	29
6.2 Sonlu Elemanlar Analizi İle Fren Testi İçin Temel Parametreler	32
7. BİR YÜK VAGONUNUN FRENLENMESİ SONUCU TEKERLEĞİN SÜRTÜNME YÜZEYİNDE OLUŞAN MAKSİMUM SICAKLIĞIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	37
7.1 Deneysel İncelemenin Arka Planı	37
7.2 Konu İlgili Saha Testlerini İçeren Literatür Taraması	37
7.3 Gümüş -Yenice İstasyonları Arasında Yapılan Saha Testi	39
7.3.1 Testin Amacı	39
7.3.2 Test Güzergahı	40
7.3.3 Test Vagonları	40
7.3.4 Testte Kullanılan Ölçüm Aletleri	41

	<u>Sayfa</u>
7.3.5 Test Vagonuna Test Düzeneginin Yerleştirilmesi	44
7.3.6 Test Güzergahı Coğrafi, Meterolojik ve Fiziki Veriler	46
7.3.7 Test Verileri.....	47
8. SONUÇ	57
9. SORUNUN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÖNERİLER.....	61
10. GELECEKTE YAPILMASI PLANLANAN ÇALIŞMALAR	64
KAYNAKLAR.....	65

ÖZGEÇMİŞ



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Direkt Etkili ve Endirekt Etkili Hava Freni Sistemi	3
Şekil 2.2 Distribütör Valfi ve Fren Silindiri	4
Şekil 2.3 Fren Hattı Basıncının Değişimi ile Silindirde Oluşan Basınç	4
Şekil 2.4 Vagonlarda G-P Konumu	5
Şekil 2.5 Reostatik Frenleme Sistemi	7
Şekil 2.6 Teker-Sabo Sürtünme Katsayısının Hıza Bağlı Değişimi	9
Şekil 2.7 COSID 810 ve JURID 816M - Hıza Göre Anlık Sürtünme Katsayısı	9
Şekil 2.8 P10 Pik Döküm Sabo Hıza Göre Anlık Sürtünme Katsayısı.....	10
Şekil 2.9 COSID 810 -Hıza ve Sabo Baskı Kuvvetine Bağlı Sürtünme Karakteristiği.....	10
Şekil 2.10 Zilina Üniversitesinde Bulunan Fren Dinamometresi ve Teknik Özellikleri.....	11
Şekil 2.11 Farklı Sabo-Tekerlek Konfrigasyonu	11
Şekil 3.1 Monoblok Tekerlek Bölgeleri	12
Şekil 3.2 Monoblok Tekerleğin Üretim Aşamaları	13
Şekil 3.3 Yük Vagonu Tekerlek Setinde Kullanılan Dingil.....	14
Şekil 4.1 Örnek Bir Tren Katarı İçin Hız-Hava Direnci Grafiği	16
Şekil 4.2 Tren Katarı Hız-Yuvarlanma Direnci Katsayısı	13
Şekil 4.3 Örnek Bir Tren Katarı İçin Hız-Yuvarlanma Direnç Kuvveti Grafiği	14
Şekil 4.4 Tren Katarında Hıza Bağlı Sürüş Direnci.....	18
Şekil 4.5 Lokomotiflerin Değişen Eğimlere Göre Maksimum Çekilen Yük Miktarı	18
Şekil 5.1 Demiryolu Kaza Sebeplerinin Dağılım Oranı	19
Şekil 5.2 Vagon Kaynaklı Deray Sebeplerinin Ülkelere Göre Dağılımı	20
Şekil 5.3 Deray Olayına Sebep Olan Tekerlek Takımı Hasarlarının Dağılımı.....	20
Şekil 5.4 Tekerleğe ve Raya Gelen Yükler.....	21
Şekil 5.5 Rulman Isınması Sonucu Turyon Kısmı Kopmuş Tekerlek (TÜDEMSAŞ).....	22
Şekil 5.6 Yeni Tekerlek ve Kullanılmış Tekerlek İçin Örnek Kalıntı Gerilim Değerleri.....	23
Şekil 5.7 Isıl Çatlaklar	24
Şekil 5.8 Tekerlekte Tipik Bir Kırılma	24
Şekil 5.9 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Derece Isıl Çatlaklar	25
Şekil 5.10 Tekerlekte 1. 2. 3. ve 4. Dereceden Oyuklanma.....	26
Şekil 5.11 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Dereceden Yığılma	27
Şekil 5.12 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Dereceden Apleti	27
Şekil 5.13 El Freni Çözülmemiş Vagonda Oluşan Tekerlek Hasarı.....	28
Şekil 5.14 Yuvarlanma Yüzeyinin Dışa Yayılması	28
Şekil 6.1 Zilina Üniversitesinde Bulunan Fren Dinamometresi ve Teknik Özellikleri.....	23
Şekil 6.2 Yeni ve Son Kullanım Sınırına Gelmiş Tekerlek Profili	30
Şekil 6.3 Dinamometre ile Yapılan Frenleme Testi.....	31
Şekil 6.4 Tekerlek-Ray Temas Yüzeyi Yaklaşık Ölçüleri.....	31
Şekil 6.5 Isıl Analiz İçin Tekerlek Seti Bölgeleri	32
Şekil.6.6 Tekerlek Takımına Ait Tekerlek , Dingil ve Kompozit Sabo	33
Şekil 6.7 Yeni Tekerlek ve Pik Döküm Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı	34
Şekil 6.8 Aşınmış Tekerlek ve Pik Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı.....	35
Şekil 6.9 Yeni Tekerlek ve Kompozit Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı.....	35
Şekil.6.10 Aşınmış Tekerlek ve Kompozit Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı	37
Şekil 7.1 Isıl Sebeplerle Kalıcı Şekil Değişimine Uğramış Tekerlek	35
Şekil 7.2 Zamana Bağlı Fren Gücü Sıcaklık Grafiği	38
Şekil 7.3 Zamana Bağlı Fren Gücü Sıcaklık Grafiği	39

Şekil 7.4 Rgns Vagonu ve Yükleme Yapısı.....	40
Şekil 7.5 Y25 Lsdi Kompakt Frenli Boji ve Bgu Sabo Yapısı	41
Şekil 7.6 İnfrared Sıcaklık Sensörü Teknik Özellikleri	42
Şekil 7.7 Fırın ve Test Parçası	42
Şekil 7.8 Rüzgar Hız Sensörü Teknik Özellikleri	43
Şekil 7.9 Basınç Sensörü Teknik Özellikleri	43
Şekil 7.10 Test Vagonlarını Belirlemek İçin Yapılan Çalışmalar.....	44
Şekil 7.11 Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Sensörlerinin Bojiye Yerleştirilmesi	44
Şekil 7.12 Basınç Sensörü ve Veri toplama Sisteminin Vagona Yerleştirilmesi.....	45
Şekil 7.13 Test Sistemi Yerleşim Planı.....	45
Şekil 7.14 Şasiye Göre Tekerlek ve Sabo Hareket Aralığı	46
Şekil 7.15 Vagonların Fren Sidirinin Basınçlarının Zamana Göre Değişim Grafiği.....	47
Şekil 7.16 Tekerlek Başına Düşen Frenleme Kuvvetinin(kN) Zamana (s) Göre Değişimi.....	48
Şekil 7.17 Hacıkırı Durak İstasyonları Arası Vagon Hız Grafiği	49
Şekil 7.18 Hacıkırı Yeice İstasyonları Arası Rüzgar ve Vagon Hız Grafiği	49
Şekil 7.19 Hacıkırı-Durak İstasyonları Arası Zamana Bağlı Fren Gücü Grafiği.....	50
Şekil 7.20 Hacıkırı Durak İstasyonları Arası Fren Gücü ve Tekerlek Sıcaklıkları Grafiği	52
Şekil 7.21 Durak İstasyonunda Bekleme Süresince Tekerleklerde Sıcaklık Değişimi.....	53
Şekil 7.22 İstasyonlarda Ölçülen Tekerlek Gövde Ortası Sıcaklıkları	54
Şekil 7.23 Hacıkırı-Durak ve Gümüş-Pozantı Arası Bir Tekerleğe Gelen Fren Gücü Grafiği	54
Şekil 7.24 Genel Sıcaklık Eğilimine Uymayan Anlık Sıcaklık Artış Grafiği.....	56
Şekil 9.1 Yüksek Isıya Maruz Kalmış Vagon Tekerleği ve Sabosu	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Vagonların ‘G-P’ Konumunda Fren Karakteristiği	5
Çizelge 2.2 Lokomotif ve Vagonların ‘G-P’ Konumu Ayarlama Kriteri	6
Çizelge 2.3 50 km/h Hızda Saboların Yaklaşık Kayma Sürtünme Katsayısı	9
Çizelge 3.1 ER7 Çeliğinde Bulunan Çeşitli Elementlerin Azami Yüzde Oranları.....	12
Çizelge 3.2 ER7 Çeliğinin Fiziksel Karakteristikleri.....	12
Çizelge 6.1 Tekerleğin Frenleme Testi İçin Referans Senaryo Değerleri	30
Çizelge 6.2 Fren Testi Kabul Kriterleri.....	31
Çizelge 6.3 Ortalama Sıcaklıklara Göre Taşınım ve İletim Katsayıları	34
Çizelge 6.4 Monoblok Tekerlekler İçin Bazı Fiziksel Değerler	34
Çizelge 6.5 Sonlu Elemanlar Analizi Sonucu- Maksimum Tekerlek Sıcaklıkları.....	34
Çizelge 7.1 İstasyonların Gümüş İstasyonuna Uzaklığı ve Rakım Değerleri.....	40
Çizelge 7.2 Test Güzergahı Coğrafi ve Meterolojik Verileri.....	46
Çizelge 7.3 Test Güzergahı Eğim ve Hız Verileri	47
Çizelge 7.4 Fren Kuvveti Belirleyen Parametreler	48
Çizelge 7.5 İstasyonlar Arası Ortalama Eğim Değerleri.....	51
Çizelge 7.6 Uygulanan Frenleme Enerjisi Karşılaştırması	55
Çizelge 9.1 DE33000 Lokomotifleri İçin Maksimum Brüt Tren Tonajı	62

KISALTMALAR DİZİNİ

COTIF	: Convention Concerning International Carriage by Rail- Uluslararası Demiryolu Taşımalarına İlişkin Sözleşme
DRS	: Trenlerin trafiğinin elektrikli sinyallerle yerel olarak idaresi sistemi
EMAT	: Electro-Magnetic Acoustic Transducer
EN	: European Norm (standard) Avrupa Normu (standardı)
ERRI	: European Railway Research Institute (Avrupa Demiryolları Araştırma Enstitüsü)
GCU	: General Contract of the Use for Wagons (Yük Vagonlarının Tek Tip Kullanım Sözleşmesi)
OTIF	: Intergovernmental Organization for International Carriage by Rail -Uluslararası Demiryolu Taşımalarına İlişkin Hükümetler Arası Örgüt
PET	: Piezo-Electric Transducer
RID	: Regulation Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail Tehlikeli Malların Demiryolu ile Uluslararası Taşımacılığa İlişkin Anlaşma
RIV	: Agreement Governing the Exchange and the Use of Wagons between Railways Undertaking (Demiryolu Kuruluşları Arasında Vagonların Değişimi ve Kullanılmasına İlişkin Anlaşma)
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü
TSİ	: Trenlerin trafiğinin elektrikli sinyallerle merkezden idaresi sistemi
TSE	: Turkish Standards Institute (Türk Standartları Enstitüsü)
TÜDEMSAŞ	: Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayi A.Ş
UIC	: International Union of Railways (Uluslararası Demiryolu Birliği)

1.GİRİŞ

Büyük kütleli ve hacimli yük taşımacılığında oldukça ekonomik olan demiryolu taşımacılığı, tehlikeli maddelerin taşınması hususunda da en güvenilir taşımacılık türüdür. Gelişen sanayi ile birlikte üretim ve tüketimin artması dünyada ticari taşımacılığın artmasına sebep olmuştur. Bu durum demiryolu taşımacılığını da gelişmeye zorlamış ve zamanla demiryolu taşımacılığında taşıma kapasitesi ve ortalama hız artmıştır. Demiryolu güvenliğini artırmak için altyapı, fren sistemi ve vagonların yürüyüş takımında da (boji, tekerlek takımı, süspansiyon sistemi) çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır.

Yük vagonlarında hızın ve taşıma kapasitesinin artmasıyla birlikte aşağı yönlü eğimin büyük olduğu uzun mesafelerde, vagon hızının kontrol edilebilmesi için uygulanan uzun süreli çekme freni, fren pabucunun (sabo) tekerlek yuvarlanma yüzeyine basması sebebiyle tekerlekler üzerinde ciddi ısıl yükler oluşturmaktadır. Tekerlek üzerindeki ısıl yük, bir çok tekerlek ve sabo hasarlarının oluşmasına sebebiyet verebilmektedir [1].

Bu çalışmada, sürekli aşağı yönlü hareketin olduğu, hızın kontrol edilebilmesi için çok sık fren yapılması sebebiyle tekerlek ısınma probleminin en sık görüldüğü, Gümüş-Yenice istasyonları arasında taşıma yapan vagonlarda, tekerlek yuvarlanma yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklıkların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla UIC onaylı K-tipi fren sabolarının kullanıldığı, tekerlek çapları farklı iki adet TSI sertifikalı Rgns konteyner vagonu üzerine gerekli test düzeneği yerleştirilmiştir. Tam yükleme yapılan vagonlarda yol boyunca tekerlek yuvarlanma yüzeyinde oluşan sıcaklıklar, fren silindirlerinde oluşan basınçlar, vagon hızları ve tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı kayıt altına alınmıştır. Ayrıca çevre sıcaklığı ve hava nem oranı da kaydedilmiştir. Test güzergahında dinamik freni olmayan lokomotiflerde olduğu için testin bir bölümünde lokomotifte bulunan dinamik fren devre dışı bırakılarak testlere devam edilmiştir.

2. FREN SİSTEMİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Demiryollarında güvenli ve kontrollü bir sürüş için genelde aşağı yönlü veya yatay harekette vagonun hız artışının kontrol altına alınması, yavaşlatılması ve durdurulması için fren mekanizması kullanılarak frenleme yapılır. Fren pabuçlarının (sabo) tekerlek yuvarlanma yüzeyine basması sonucu tekerlek ile fren pabucu arasında oluşan sürtünme kuvvetine fren kuvveti denir. Frenleme sonucu vagonun toplam enerjisinin bir kısmı tekerlek ve fren pabucu arasında oluşan ısıyla birlikte havaya verilir [1].

Türkiye de trenler TSI ve DRS bölgelerinde 1000 m, diğer bölgelerde 700 m mesafede emniyetle durabilmelerine yetecek kadar fren ağırlığı bulunacak şekilde hazırlanır [2]. TSI standardına göre 120 km/h hıza uygun vagonlarda maksimum frenleme mesafesi 700 m, minimum frenleme mesafesi 580 m olarak verilmiştir [3].

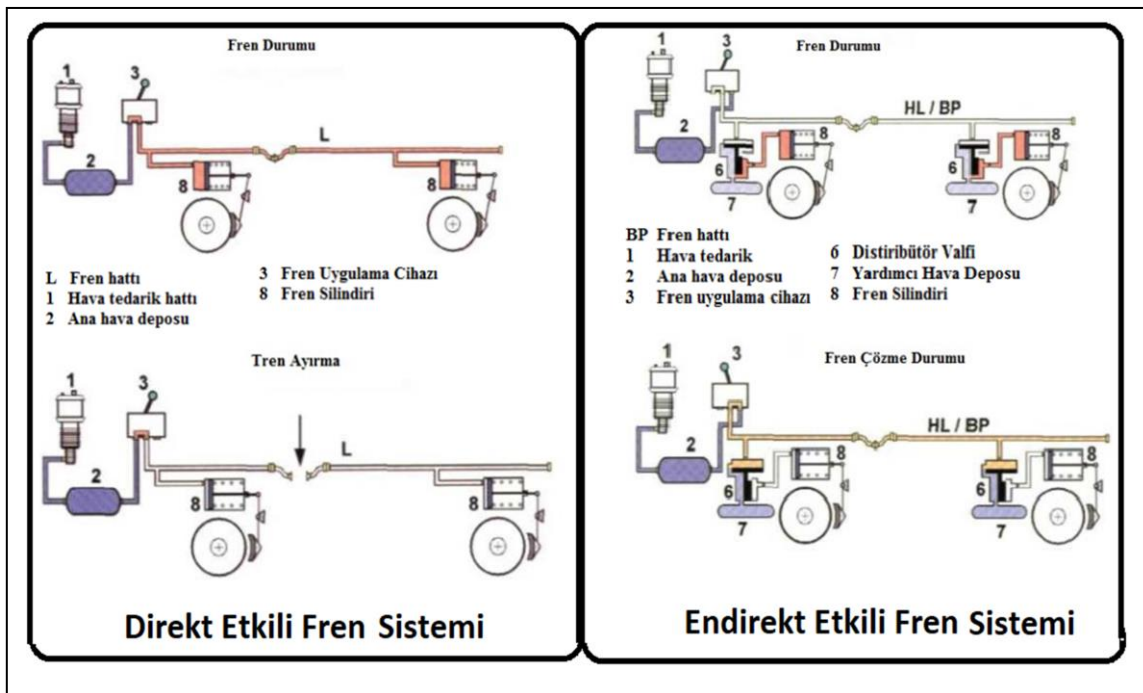
Vagonlarda bulunan el freni eğimli yollarda vagonun hareket etmemesini sağlamaktadır. El frenleri 0,12 seviyesinin üstünde olmayan bir tekerlek ray tutunma katsayısını esas alarak, % 40 eğimde vagonun hareket etmesine engel olacak bir fren kuvvetini oluşturacak şekilde dizayn edilmelidir [3].

2.1 Yük Vagonu Fren Sistemi

Yük vagonlarında fren momentinin tekerlek seti üzerinde uygulandığı adezyona bağımlı bir fren olan sürtünme freni uygulanır. Sürtünme frenleri ise ‘Sabo Freni’, ‘Disk Freni’ ve ‘Birleşik (Sabo/Disk) Freni’ olmak üzere üçe ayrılabilir [4]. Hızı maksimum 120 km/h olan yük vagonlarında ‘Sabo Freni’ kullanılır. Hızı 120 km/h üzerinde olan yük vagonlarında ise disk freni veya birleşik fren kullanılır [1]. Yük vagonlarının tamamına yakınında maksimum hız 120 km/h olduğu için sabo freni kullanılır. Sabo freni disk frenlere göre daha ekonomiktir ancak sabo freni sabo tekerlek yuvarlanma yüzeyine basarak frenleme kuvvetini oluşturduğu için tekerlek üzerinde ciddi ısı yükleri oluşmakta bu durum tekerlek hasarlarına sebep olabilmekte ve demiryolu seyir güvenliğini azaltabilmektedir.

Sabo freninde fren yapmak için gerekli kuvvet fren silindrinde bulunan basınçlı hava ile oluşturulur. Bu sebeple yük vagonlarında kullanılan fren sistemi hava freni olarak da adlandırılır. Basınçlı hava frenleri direkt etkili frenler ve indirekt etkili frenler olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt etkili fren sisteminde fren silindrine basınçlı hava doğrudan lokomotif

üzerinden gönderilir (Şekil 2.1). Endirekt etkili basınçlı hava freninde, fren silindirine basınçlı hava, vagonda bulunan yardımcı hava deposundan gelmektedir (Şekil 2.1) [5]. Seyir esnasında fren hattında herhangi bir kaçak olması durumunda direkt etkili basınçlı hava frenlerinin frenleme yapması olanağı kalmayacağı için aşağı yönlü harekette vagonlar durdurulamaz. Bu durum can ve mal kayıplarının yanında büyük çevre felaketlerine de sebep olabilir. Ancak endirekt etkili fren sisteminde, trenin fren hattındaki herhangi basınç düşmesi vagonda bulunan hava deposunda bulunan basınçlı havanın fren silindirine gönderilmesine ve fren sisteminin aktif hale gelmesine sebep olacaktır. Bu sebeple yük vagonlarında endirekt hava freni kullanılır [1].

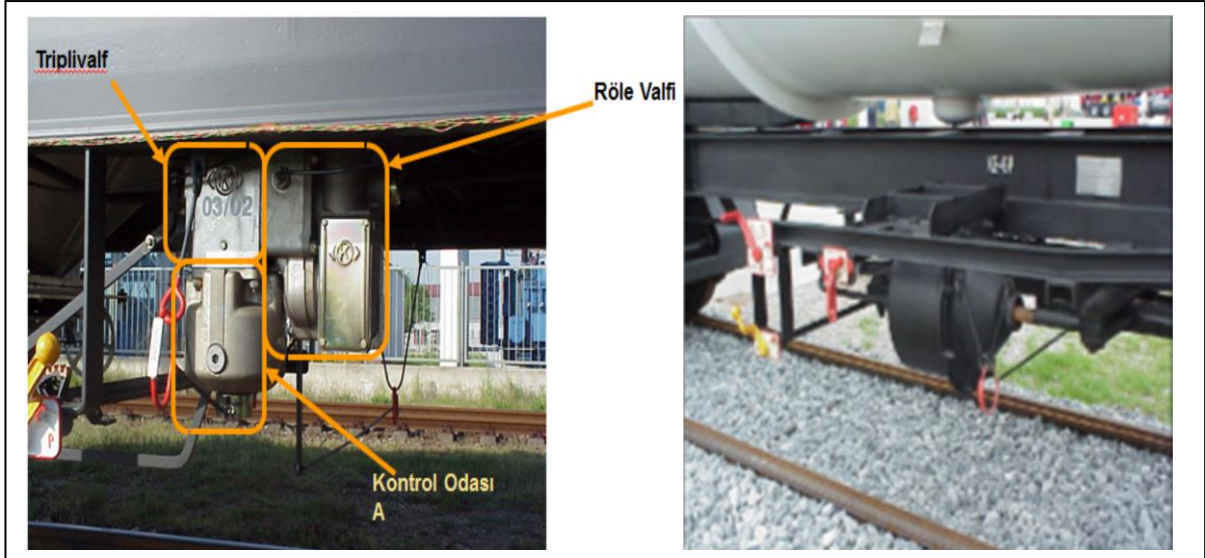


Şekil 2.1 Direkt Etkili ve Endirekt Etkili Hava Freni Sistemi [4]

Yük vagonları uluslararası yük taşımacılığında kullanılabilirdiği için Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC) ortak özelliklere sahip basınçlı hava frenlerinin şartlarını belirlemiştir [6].

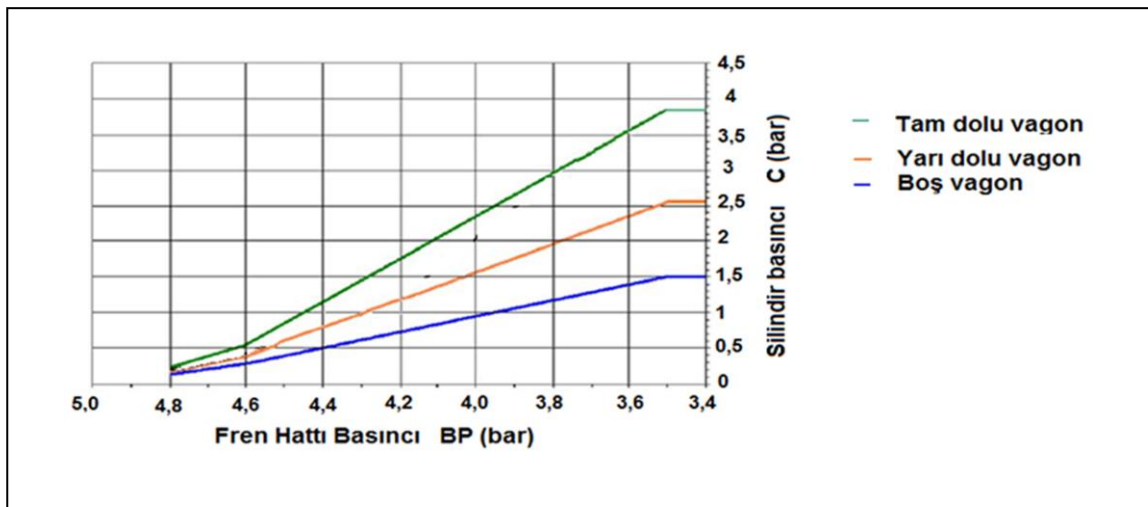
2.1.1 Endirekt Etkili Basınçlı Hava Freni

Lokomotiften gelen ve 5 bar basınçlı hava bulunan fren hattındaki basınçlı hava fren yapılmadığı durumlarda distribütör valfi tarafından yardımcı hava deposuna yönlendirilir ve yardımcı hava deposu 5 bar basıncındaki havayla dolar. Makinistin fren hattında (kondüvit) bulunan hava basıncını düşürmesiyle birlikte fren hattından distribütör valfine hava akışı durur. Distribütör valfi, yardımcı hava deposu ile fren silindiri arasındaki hattı açarak fren silindirine basınçlı havanın gelmesini ve frenlemenin başlamasını sağlar (Şekil 2.2) [1].



Şekil 2.2 Distribütör Valfi ve Fren Silindiri [7]

Lokomotiften gelen ana fren hattında (kondüvit) basınç normalde 5 bar'dır. Makinist tarafından bu basıncın fren hattında 3,5 bar seviyelerine düşürülmesi ile fren silindirinde görülebilecek en büyük basınç olan 3,8 bar oluşur ve en büyük fren kuvveti elde edilir [6]. Fren hattındaki basınç 3,5 barın altına düşürülse bile fren silindirinde oluşan basınç 3,8 barı geçmez ancak bu durum fren intikal hızını artırarak frene geçme süresini azaltır [4]. Fren hattındaki basıncın 4,8 bar ile 3,5 bar basınç aralığına getirilmesi durumunda silindir basıncı, fren hattındaki basınç düşme miktarı ile yaklaşık doğru orantılı bir şekilde artar (Şekil 2.3). Silindirde oluşan basınçlı havanın oluşturduğu kuvvet manivelalar yardımıyla sabolara iletilir. Bu şekilde frenleme yapılmış olur. Frenin çözülmesi için fren hattındaki basınç tekrar 5 bar seviyesine getirilir, distribütör valfi yardımıyla bir taraftan basınçlı hava tekrar yardımcı hava deposunu doldururken diğer taraftan fren silindirindeki hava boşaltılır [4].



Şekil 2.3 Fren Hattı Basıncının Değişimi ile Silindirde Oluşan Basınç [7]

Endirekt etkili hava freninde frenlemenin başlatılması için makinist fren hattındaki basıçlı havanın basıncını azaltır, distribütör valfi yardımıyla fren hattı ve hava deposu arası hat kapanır, rezervde bulunan basınçlı hava fren silindirine giderek frenleme başlar. Ancak uzun bir trende hava intikal hızının sınırlı olması sebebiyle fren hattındaki hava basıncını arkada bulunan vagonlar geç hissedecek dolayısıyla öndeki ve arkadaki vagonların frenlemesi eş zamanlı olmayacaktır. Öndeki vagonların daha erken frenleme başlamasıyla arkada bulunan vagonlar öndeki vagonlar kuvvet uygulayacak, frenlemenin iptali ile ise tam tersi bu durum oluşacaktır. Bu durum özellikle “S” tipi kurplu (viraj) yollarda rijit bojili vagonlarda tekerlek yük boşalması sebebiyle tekerlek yükselmesine ve deraya (raydan çıkma) sebep olabilir [4].

Yukarda belirtilen olumsuzlukların en aza indirilmesi için yük vagonlarında frene geçme hızını belirleyen ‘G’ ile gösterilen ‘Yavaş Etkili Fren’ ve ‘P’ ile gösterilen ‘Hızlı Etkili Fren’ konumu mevcuttur (Şekil 2.4). Vagonların yavaş ve hızlı etkili fren uygulaması sonrasında frene geçme ve fren çözme süreleri Çizelge 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.4 Vagonlarda G-P Konumu [4]

Çizelge 2.1 Vagonların ‘G-P’ Konumunda Fren Karakteristiği [6]

Yük Vagonlarında Fren Konumu (UIC 540)	Yavaş Etkili Fren Konumu ‘G’	Hızlı Etkili Fren Konumu ‘P’
Maksimum Hız (km/h)	90	100/120
Uygulama Süresi (saniye)	18-30	3-5
Çözme Süresi (saniye)	45-60	15-20

‘G-P’ konumunun tekerleklere uygulanan fren kuvvetine etkisi yoktur.

Çekilen yük miktarına bağlı olarak lokomotif ve vagonların G/P konumları UIC 421’de verilmiştir (Çizelge 2.2).

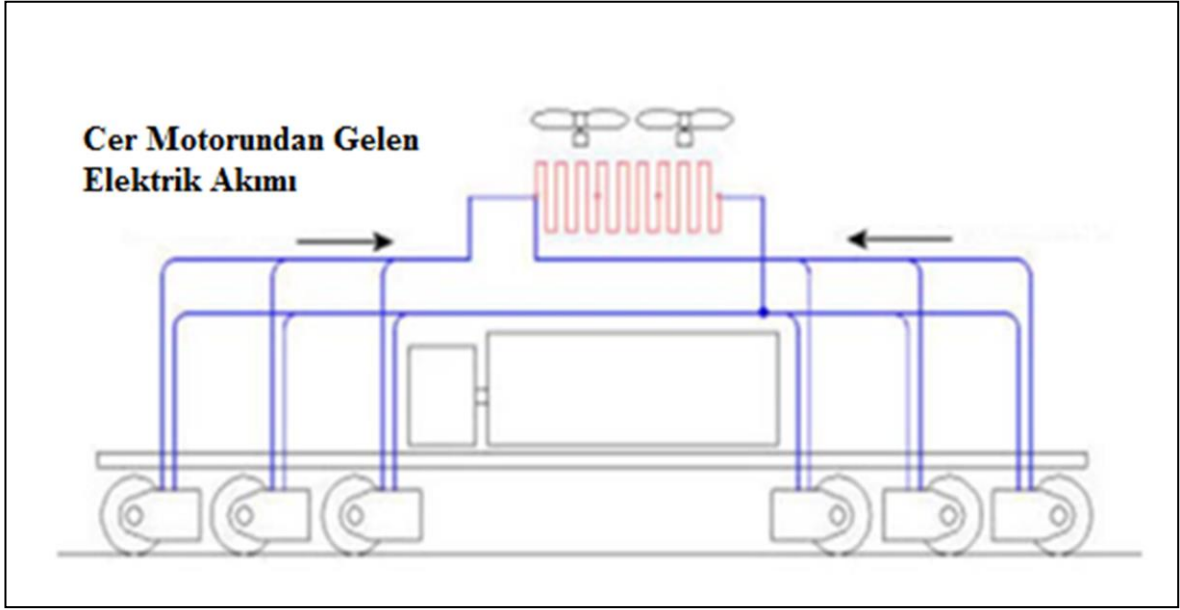
Çizelge 2.2 Lokomotif ve Vagonların ‘G-P’ Konumu Ayarlama Kriteri [8]

Çekilen Yük Miktarı “M” (ton)	Yavaş Etkili Fren Konumu ‘G’	Hızlı Etkili Fren Konumu ‘P’
M<800		Lokomotif ve tüm vagonlar
800<M<1200	Lokomotif	Tüm vagonlar
1200<M<1600	Lokomotif ve ilk beş vagon	Diğer vagonlar
1600<M<2500	Lokomotif ve tüm vagonlar	

Geleneksel vagonlarda hesaplanmış bir vagon ağırlığına kadar 1,5-1,8 bar maksimum silindir basıncını oluşturan, vagon ağırlığı daha fazla iken 3,8 bar maksimum silindir basıncını oluşturan dolu-boş kolu mevcuttur [7]. Son dönemde üretilen vagonlarda vagonun yük durumu, yük sensörleri tarafından algılanmakta ve yük sensöründen distribütör valfine gelen sinyal sayesinde vagon ağırlığı arttıkça frenleme esnasında fren silindirinde oluşan hava basıncıda artmaktadır. Bu basınç distribütör valf tarafından ayarlanmaktadır. Bu tür frenlere ‘Otomatik Yük Kontrollü Fren’ denir ve frenleme performansları geleneksel “dolu-boş” kolu kullanımına göre daha iyidir [1].

2.2 Lokomotif Fren Sistemi

Lokomotiflerde, depolanmış basınçlı hava yardımıyla frenlemeyi sağlayan direkt ve endirekt hava fren sistemi bulunmaktadır. Bu frenleme sistemlerine ek olarak lokomotiflerde dinamik frenleme sistemi de bulunabilmektedir. Ülkemizde yük vagonu taşımacılığında kullanılan lokomotiflerin önemli bir kısmında dinamik fren sistemi mevcuttur [9]. Dinamik frenin bulunduğu lokomotiflerde atalet momentine sahip olan tren katarının hızının azaltılması için cer motorları bir jeneratör gibi kullanılmakta ve böylece trenin kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Üretilen elektrik tekrar kullanılması için kataner hattına verilebilir (rejeneratif dinamik fren sistemi) veya dirençler üzerinde ısıya dönüştürülerek havaya verilir (reostatik dinamik fren sistemi) (Şekil 2.5). Ülkemizde yük taşımacılığında genelde reostatik dinamik fren sistemli lokomotifler kullanılmakla birlikte son dönemlerde rejeneratif frenleme kabiliyeti olan lokomotifler de ana hatlarda kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.5 Reostatik Frenleme Sistemi [10]

Makinist farklı amaçlarla, farklı durumlarda çeşitli fren uygulamaları yapabilir. Servis fren uygulaması, tam servis fren uygulaması, acil durum freni uygulaması en önemli fren uygulamalarıdır.

Servis fren uygulamasında kondüvitte ki basınç aşama aşama 5 bar'dan 3,5 bar'a düşürülür buna karşılık olarak fren silindirinde basınç aşama aşama artar. Daha konforlu bir frenleme yaparak durmak veya hız kontrolü yapmak için bu tür frenleme tercih edilebilir [4].

Bir tam servis fren uygulaması, makinist musluğu yardımıyla kondüvitteki basıncın 5 bar'dan 3,5 bar civarına düşürüldüğü bir servis fren uygulamasıdır. Bu şekilde yapılan frenlemede maksimum fren etkisi elde edilir [4]. Acil durum fren uygulamasında makinist, kondüvitteki basınçlı havayı tamamen ve hızlı bir şekilde boşaltır. Bu durumda en kısa zamanda maksimum fren etkisi elde edilir [4].

Yük vagonlarında fren hesapları tam servis fren uygulaması esas alınarak hesaplanmaktadır. Fren hesapları ülkelere göre değişebilen frenleme mesafesi esas alınarak yapılmaktadır. Ülkemizde trenler TSİ ve DRS bölgelerinde 1000 m, diğer bölgelerde 700 m uzaklıkta emniyetle durabilmelerine yetecek kadar fren ağırlığı bulunacak şekilde hazırlanır [3]. TSI standardına göre 120 km/h hızda gidebilen SS tipi vagonlarda maksimum frenleme mesafesi 700 m minimum frenleme mesafesi 580 m olarak verilmiştir [3]. UIC 544-1 fişinde fren hesapları hakkında gerekli bilgiler verilmiştir.

2.3 Yük Vagonunda Hız Rejimi

Yük vagonlarında ‘‘Yük Rejimi’’, ‘‘S-Rejimi’’ ve ‘‘SS Rejimi’’ olmak üzere  farklı hız rejimi uygulanmaktadır. Maksimum hızın 90 km/h olduğu ‘Yük Rejimi’ ne uygun vagon günümüzde üretilmemektedir. S-Rejimi’ne uygun vagonların maksimum hızı dolu iken 100 km/h boş iken 120 km/h’dir. SS-Rejimi’ne uygun vagonların maksimum hızı dolu ve boőta 120 km/h’ dir ancak 100-120 km/h arası hızla gidebilmesi için 22,5 ton dingil yüküne sahip bir vagona dingil yükü 18 ton’a indirilmelidir [1], [7].

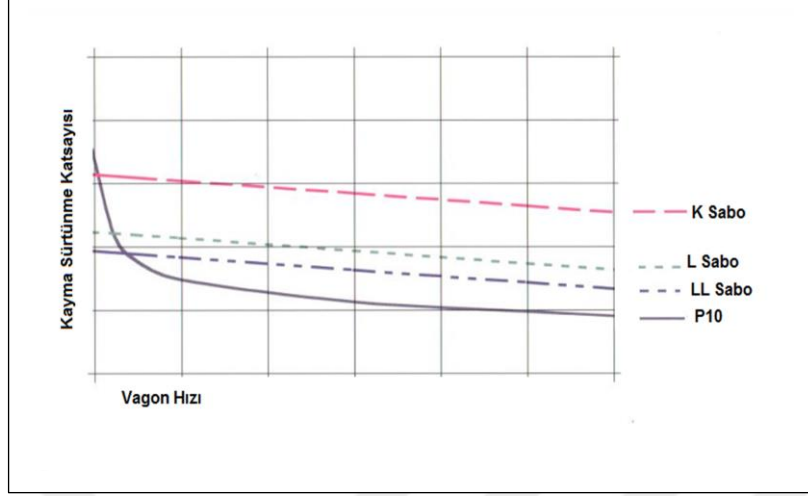
2.4 Yük Vagonlarında Kullanılan Sabolar ve Sabo Yapısı

Vagonların frenlenme işleminde yakın zamanlara kadar pik döküm (P10) sabolar Avrupada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmıştır. Pik döküm sabonun kullanımı sonucunda tekerlek yüzeyinde oluşan przli yüzey gürültüye sebep olmaktadır. 2006 yılında Avrupa’da gürültü sınır değerleri belirlenmiő 2012 yılında Avrupa Birliği ve OTIF dokümanlarıyla bu sınır değerler uygulanmaya başlanmıştır. Pik döküm sabo kullanımı ile bu sınır değerler sağlanamadığı için pik döküm sabo yerini kompozit sabolara bırakmıştır [11]. Kompozit sabo gürültü seviyesini yaklaşık 10 dB(A) azaltmaktadır. Gürültü seviyesinin 10 dB(A) azalması, gürültü Őiddetinin yaklaşık yarıya düőtüėünü göstermektedir [12]. Pik döküm sabonun yerine kullanılabilen LL-tipi kompozit saboların sürtünme katsayısı pik döküm sabonun sürtünme katsayısına yakın değerlerdedir. Ancak yeni üretilen yk vagonlarında sürtünme katsayısı yüksek olan K-tipi sabo kullanılmaktadır. Yolcu vagonlarında kullanılan L-Tipi kompozit saboların sürtünme katsayısı ise K-tipi sabo ile LL-tipi sabo arasındadır [1].

Pik döküm saboyla karőılaőtırıldıklarında kompozit saboların daha uzun ömürlü ve sürtünme katsayısının basınç ve hızın değişimine karşı daha dengeli olması, gürültü seviyesini düőürmesi, hafif olması, bakım onarımında kolaylık sağlaması gibi bazı önemli avantajları vardır. Ancak maliyetinin fazla olması, tekerleklerde daha büyük ısıl yükler oluőturması dikkate alınması gereken olumsuz yönleridir [1].

Frenleme kuvvetini sabo kuvveti ve sabo sürtünme katsayısı belirlemektedir. Pik döküm sabonun sürtünme katsayısı düşük hızlarda (durmaya yakın hız) ciddi oranlarda artmaktadır. Bu durum düşük hızlarda ve özellikle ray tekerlek arası sürtünme katsayısını düőüren etkenlerle birlikte (karlı, buzlu, kirli, yapraklı vb. ray yüzeyi) tekerlekte apleti (düzleşme) riskini artırmaktadır. Kompozit sabolarda ise kayma sürtünme katsayısının hıza bağımlılığı daha sınırlıdır (Şekil 2.6) [7]. Ayrıca sobalarda kuvvet arttıkça kayma sürtünme katsayısı bir

miktar azalmaktadır. Kompozit saboların içeriği ve sürtünme katsayıları firmalara göre değişebilmekte olup ortalama kayma sürtünme katsayıları Çizelge 2.2’ de verilmiştir [1].

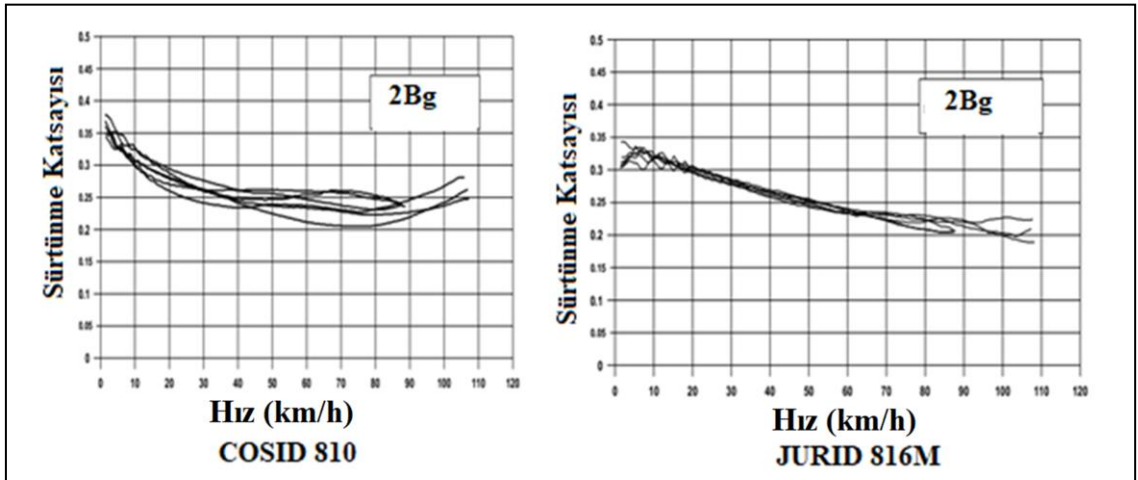


Şekil 2.6 Tekerlek-Sabo Sürtünme Katsayısının Hıza Bağlı Değişimi [7]

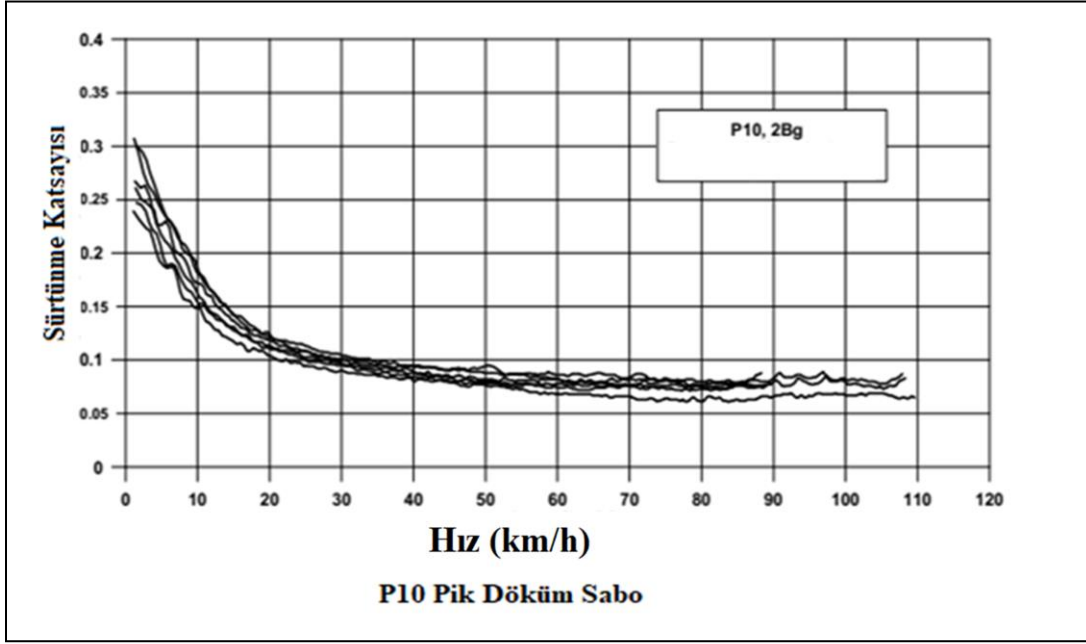
Çizelge 2.3 50 km/h Hızda Saboların Yaklaşık Kayma Sürtünme Katsayısı [13]

Sabo Tipi	Döküm Sabo	LL Tipi Sabo	K Tipi Sabo
50km/h Hızda Yaklaşık Kayma Sürtünme Kat Sayısı	0,19	0,17	0,30

Döküm saboların statik sürtünme katsayısı UIC 544-1 de 0,35 olarak verilmiştir. UIC tarafından onaylanan COSID 810 ve JURID 816M marka K-tipi kompozit sabo ve P-10 pik döküm sabonun testleri Zilina Üniversitesinde yapılmıştır. Testlerde 2Bg sabo yapısı kullanılmış, COSID 810 ve JURID 816M sabolarına 38 kN ve P10 saboya (pik döküm sabo) 60 kN baskı kuvveti uygulanmıştır. Test sonuçları Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 ‘de verilmiştir [14]. Sabo baskı kuvvetinin azalması sürtünme katsayılarını bir miktar artıracaktır.

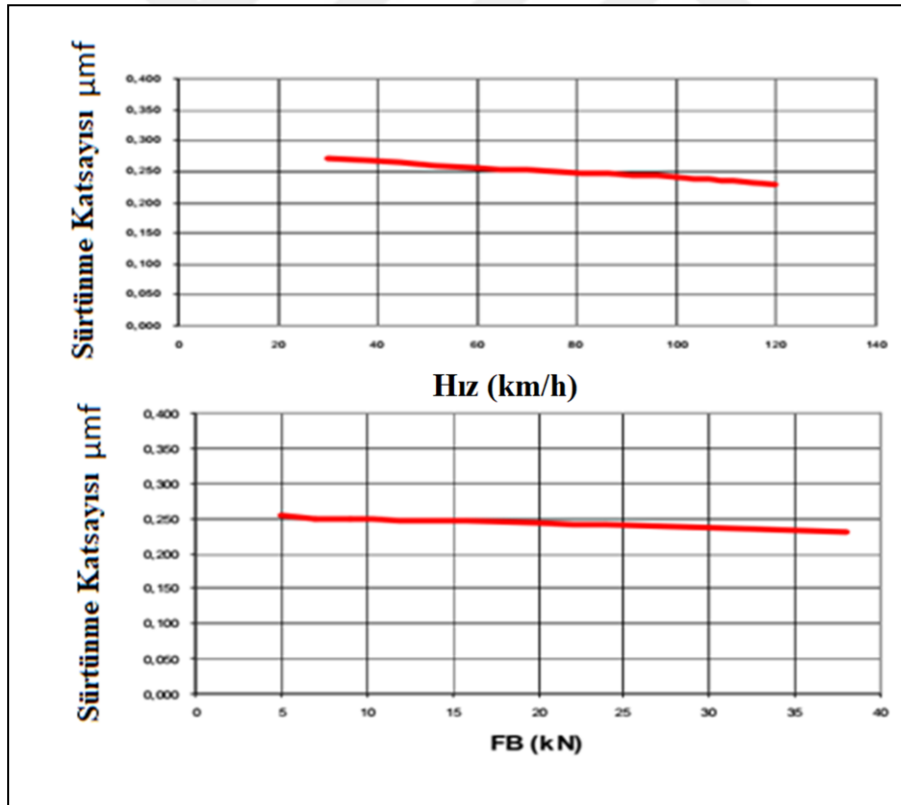


Şekil 2.7 COSID 810 ve JURID 816M - Hıza Göre Anlık Sürtünme Katsayısı



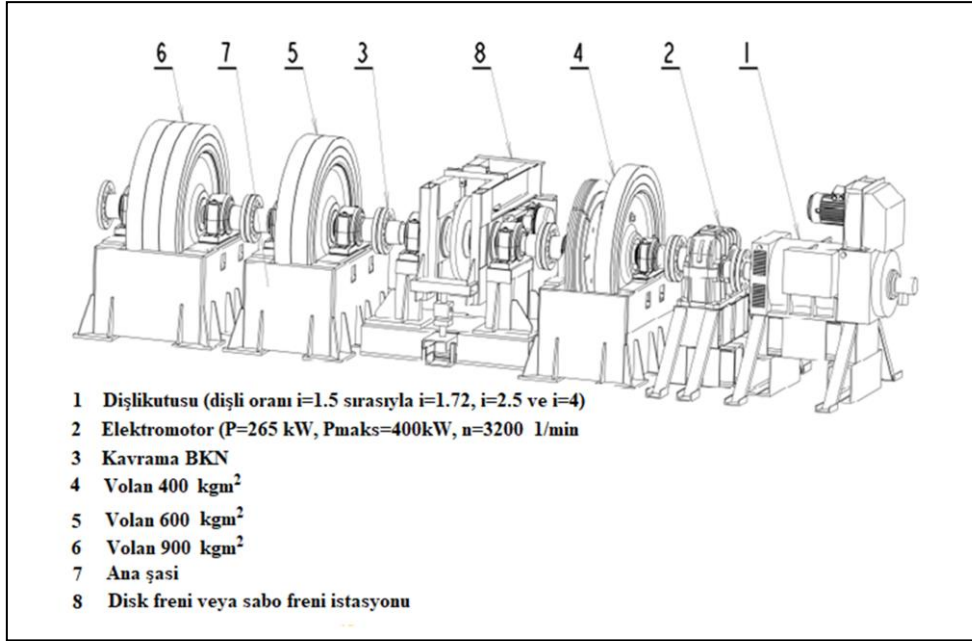
Şekil 2.8 P10 - Hıza Göre Anlık Sürtünme Katsayısı

Üretici firma tarafından COSID 810 sabonun hıza ve sabo baskı kuvvetine göre sürtünme karakteristiği Şekil 2.9’da verilmiştir.



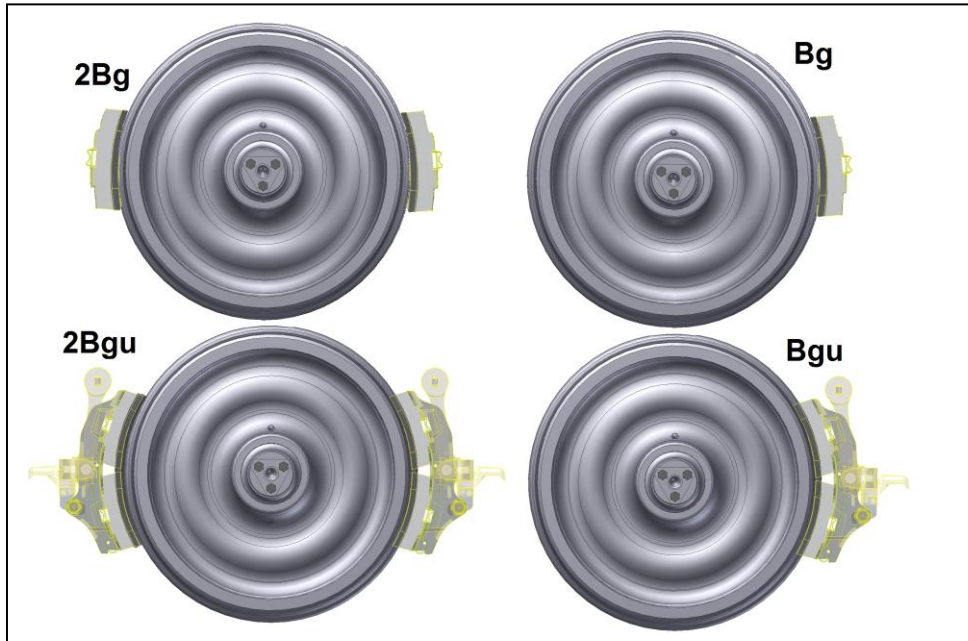
Şekil 2.9 COSID 810 - Hıza ve Sabo Baskı Kuvvetine Bağlı Sürtünme Karakteristiği

Saboların teknik olarak onaylanması için fren dinamometresinde sabolar test edilmelidir. Zilina Üniversitesinde bulunan fren dinamometresi ve teknik özellikleri Şekil 2.10’da görülmektedir [14].



Şekil 2.10 Zilina Üniversitesinde Bulunan Fren Dinamometresi ve Teknik Özellikleri

Vagonlarda dingil yükü ve kullanılan sabo tipine göre farklı sabo yapısı ile tekerleklere baskı uygulanmaktadır. UIC tarafından belirlenen sabo-tekerlek yapısı Şekil 2.11’de verilmiştir. Yeni üretilen vagonlarda yüksek sürtünme katsayısına sahip K-Tipi kompozit sabo ve konfrigasyon olarak ‘Bgu’ (tek taraftan ikişer sabo) veya ‘2Bg’ (iki taraftan tek sabo) yapısı kullanılmaktadır. Döküm sabo veya LL tipi kompozit sabonun kullanıldığı ‘SS’ hız rejimine sahip 22,5 ton dingil yükü olan vagonlarda ise ‘2Bgu’ (iki taraftan ikişer sabo) yapısı kullanılmaktadır [1]. ‘Bgu’ yapısında sürtünme yüzeyi alanı yaklaşık 400 cm² iken ‘Bg’ tipi sabonun yüzey alanı 256 cm² dir.



Şekil 2.11 Farklı Sabo-Tekerlek Biçimi

3. YÜK VAGONLARINDA KULLANILAN TEKERLEK VE DİNGİL

Tekerlek takımı iki monoblok tekerlek ve bir dingilden oluşmaktadır. Monoblok tekerlekler ER7 kalite çelikten dövme-haddeleme yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Tekerleklerin kimyasal içerikleri ve fiziksel özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir [1].

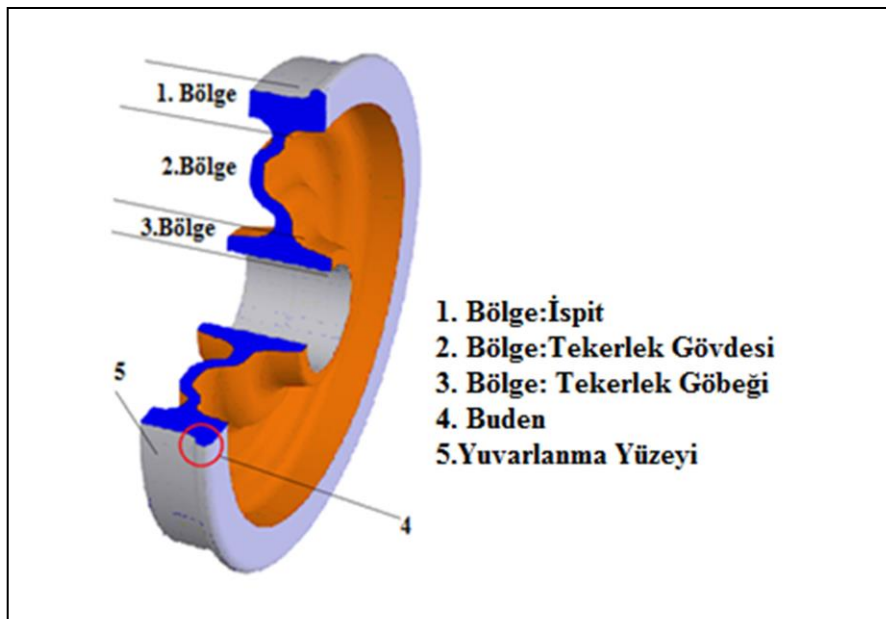
Çizelge 3.1 ER7 Çeliğinde Bulunan Çeşitli Elementlerin Azami Yüzde Oranları [15]

Çelik Kalitesi	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+Mo+Ni
ER7	0,52	0,40	0,80	0,02	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06	0,50

Çizelge 3.2 ER7 Çeliğinin Fiziksel Karakteristikleri [15]

R_{eH} (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	A_5 %	Brinell Sertlik Kategori 1	Brinell Sertlik Kategori 2
≥520	820/940	≥ 14	245	235

Monoblok tekerlek üç bölgeye ayrılabilir. Şekil 3.1’de verilen 1.bölge ‘İspit’, 2. Bölge ‘Tekerlek Gövdesi’ ve 3. Bölge ‘Tekerlek Göbeği’ olarak adlandırılır. İspit kısmının yuvarlanma yüzeyi ve buden kısmının profili vagon dinamiği açısından çok önemlidir. Tekerlekte aşınmalarla birlikte bu profil değişmekte ve sınır değerler ulaşıldığında torna edilerek profil düzeltilmektedir. Ülkemizde, anma çapı 1000 mm olan ve iki dingilli yük vagonlarında kullanılan tekerlekler 920 mm’ye kadar, anma çapı 920 mm olan ve boji yük vagonunda kullanılan tekerlekler ise 840 mm çap’a kadar kullanılabilir [1], [16].



Şekil 3.1 Monoblok Tekerlek Bölgeleri [18]

Üretim aşamasında tekerlekler ispit bölümünde basma kalıntı gerilimi olacak şekilde üretilir. Basma kalıntı gerilimi ve yüzey sertleştirme yorulmaya karşı direnci artırır [17]. Tekerlek ısınmasının azaltılması için bazı tekerleklerde tekerlek gövdesinin yüzey alanı artırılarak ısının havaya daha hızlı verilmesi sağlanır. Bu tür tekerlekler termostabil tekerlek olarak adlandırılır. Bakım onarım standardı (EN 15313) bu tür tekerleklerde kalıntı gerilim ölçümüne gerek görmemektedir. Monoblok bir tekerleğin üretim aşamaları Şekil 3.2’de verilmiştir [1].



Şekil 3.2 Monoblok Tekerleğin Üretim Aşamaları [19]

Tekerlek setinde bulunan dövme ve haddemeleme tekniğiyle üretilen mamul özellikleri TS EN 13261 standardında belirlenen dingil, vakumla gazı alınmış EA1N kalite çelikten imal edilmektedir (Şekil 3.3) [1].



Şekil 3.3 Yük Vagonu Tekerlek Setinde Kullanılan Dingil [18]

Mamul gerekleri TS EN 13260+A1 standardında verilen monoblok tekerlek sıkı geçme pres yöntemi kullanarak dingile montaj edilir.



4. SEYİR ESNASINDA VAGONA ETKİ EDEN SÜRÜŞ DİRENÇLERİ

Seyrüsefer esnasında eğimli yollarda vagona etkiyen yerçekimi kuvveti sebebiyle oluşan direnç kuvveti, tekerlek ray arasında oluşan yuvarlanma direnci kuvveti, vagonların geometrisi ile değişebilen hava direnç kuvveti, hızlanma ve yavaşlama durumunda atalet (eylemsizlik) direnç kuvveti, yanal hareketlerle ve kurplarda (viraj) merkez kaç kuvveti sebebiyle tekerlek budeni (flaş) ile ray arasında oluşan sürtünme direnç kuvveti vagona etki eden en önemli direnç kuvvetleridir [20],[1].

“Davis Denklemi”ne göre toplam direnç;

$$R = a + b \cdot (\text{hız}) + c \cdot (\text{hız})^2 + d \cdot (\text{viraj eğriliği-curvature}) + e \cdot (\text{eğim})$$

R=Toplam direnç

a=Yuvarlanma direnci (rulman tipi,aks sayısı aks yükü, ray-tekerlek arası sürtünme katsayısına bağlı)

b=Buden (flaş) direnci

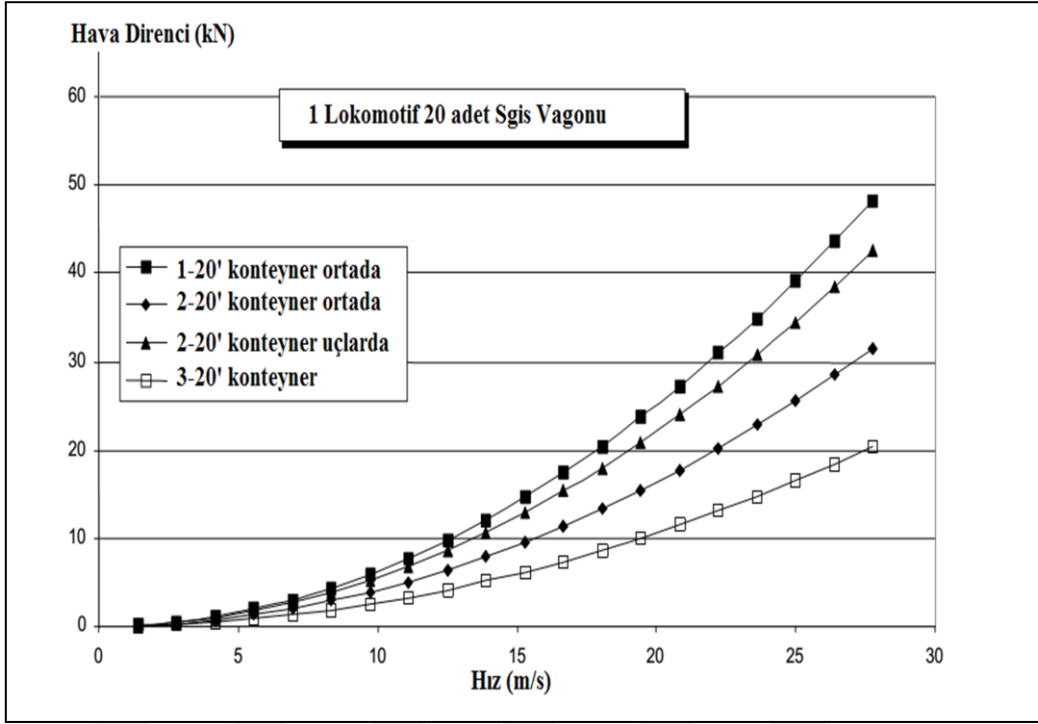
c=Hava-rüzgar direnci

d=Viraj direnci (viraj eğrilik yarıçapı ile ters orantılı)

e=Eğim direnci (ağırlığın yola paralel bileşkesiyle doğru orantılı) [20].

4.1 Hava Direnci

Özellikle yüksek hızlarda hava direnci çok etkilidir. Hava direnç kuvvetinin büyüklüğünü belirleyen en önemli etkenler arasında vagon hızı, hava yoğunluğu, vagon tipi ve yükleme durumu sayılabilir. Toplam hava direnç kuvveti vagonun dik kesit alanı ve hızın karesi ile doğru orantılıdır [21]. Erik Lindgreen ve Spencer C. Sorenson tarafından vagonlarda sürüş dirençleri konusunda yaptığı çalışmada, lokomotif ve 20 adet konteyner vagonunun (Sgis Vagonu) değişen yükleme şekillerine göre hıza bağlı hava direnç kuvvet değerleri deneysel yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.1’ de verilen sonuçlara göre konteyner vagonuna üç adet konteynerin yerleştirilme durumunda rüzgar konteynerler arasına girip türbülans oluşturmadığı için hava direnci en küçük değerlerini almıştır. Ancak iki konteynerin, vagonun uçlarına yerleştirilmesi ve vagonun ortasının boş kalması durumunda vagonun ortasında konteynerler arasında türbülans oluşması sebebiyle hava direnç kuvveti en büyük değerlerini almıştır [1], [21].



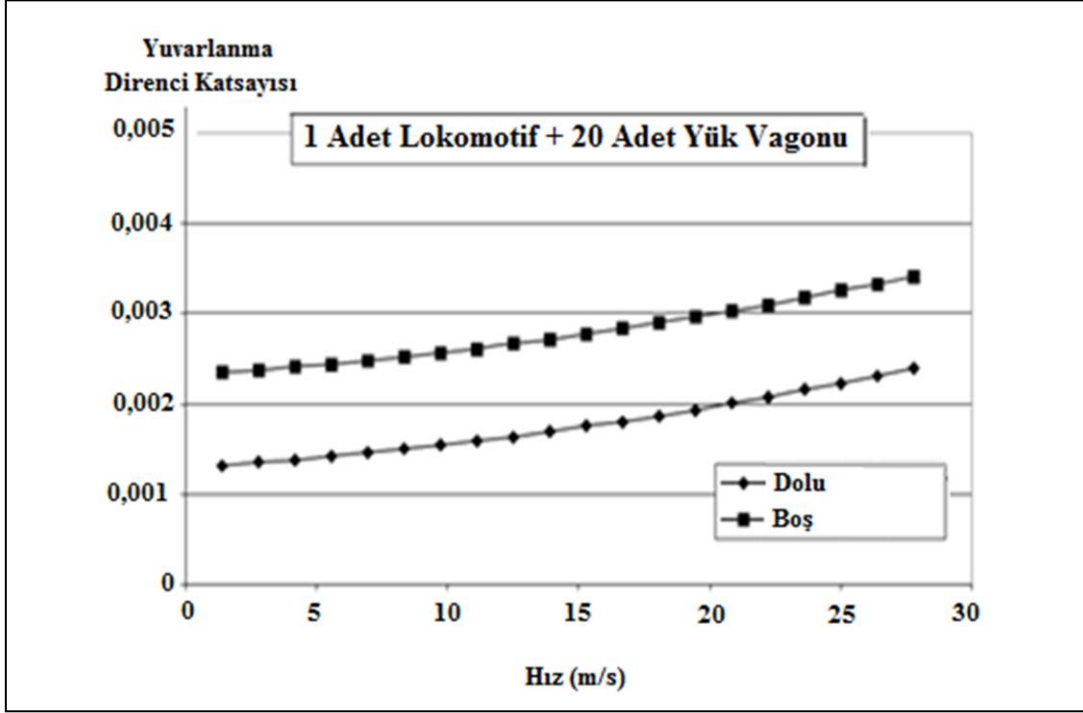
Şekil 4.1 Örnek Bir Tren Katarı İçin Hız-Hava Direnci Grafiği [21]

4.2 Yuvarlanma Direnci

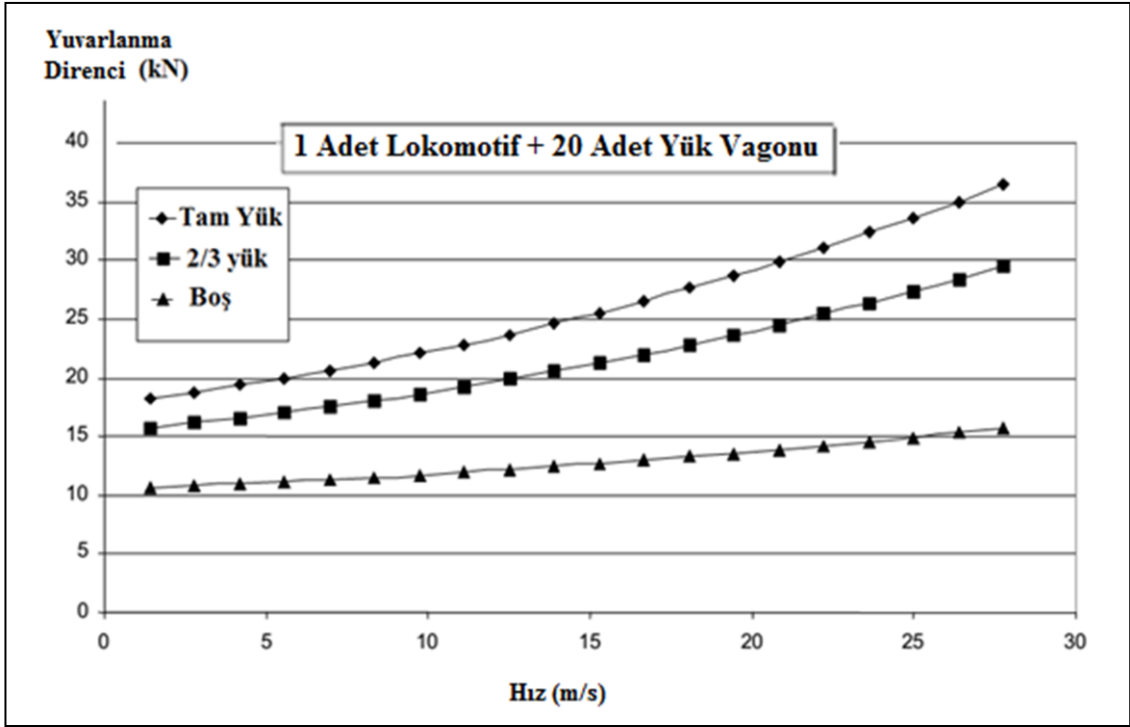
Tekerlekler ray üzerinde dönerken, tekerlek ray arası temas yüzeyinde yuvarlanma direnci oluşur. Tekerlek ray değme noktasındaki anlık hız, öteleme hızı ile dönme hızı arasındaki farka eşittir. Bu fark sebebiyle tekerlek-ray değme bölgesinin bir bölümünde mikro kaymalar görülür. Sabit hızla giden bir araçta yuvarlanma direncini, büyük oranda bu mikro kaymalar sebebiyle oluşan sürtünme kuvveti ve ray-tekerlek arasında oluşan elastik şekil değişimi belirler [22].

Erik Lindgreen ve Spencer C. Sorenson, vagonlarda sürüş dirençleri konusunda yaptığı çalışmada yuvarlanma direncini değerlendirmiştir. Bir lokomotif ve 20 adet konteyner yük vagonundan oluşan bir tren katarında vagonların dolu ve boş durumu için hıza bağlı yuvarlanma direnç değerleri Şekil 4.2'de ve yuvarlanma direnç kuvvetide Şekil 4.3'de verilmiştir [1], [21].

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi yuvarlanma direnç katsayısı vagon boşken daha yüksektir. Bunun sebebinin boş vagona yanal yönde salınım hareketinin daha çok olması şeklinde değerlendirilmektedir. Ayrıca Şekil 4.3'de tüm yükleme durumları için hız arttıkça yuvarlanma direncinin arttığı görülmektedir.

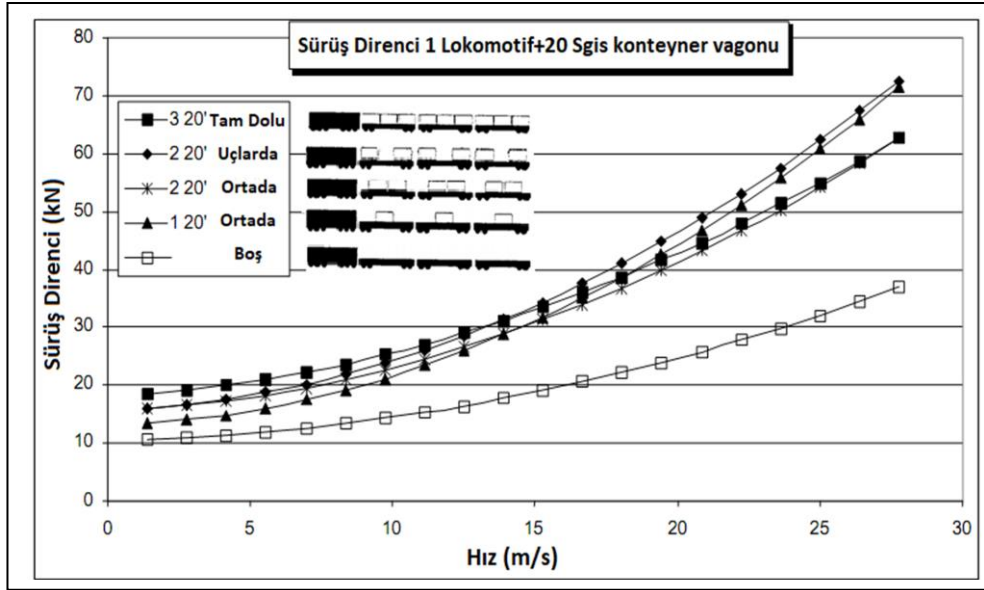


Şekil 4.2 Tren Katarı Hız-Yuvarlanma Direnci Katsayısı [21]



Şekil 4.3 Örnek Bir Tren Katarı İçin Hız-Yuvarlanma Direnci Grafiği [21]

Yine aynı çalışmada lokomotif ve 20 adet konteyner vagonundan oluşan bir tren katrında hava direncini ve yuvarlanma direncini içeren sürüş direncinin hıza bağlı değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir [1], [21].



Şekil 4.4 Tren Katarında Hıza Bağlı Sürüş Direnci [21]

4.3 Yerçekimi Direnci

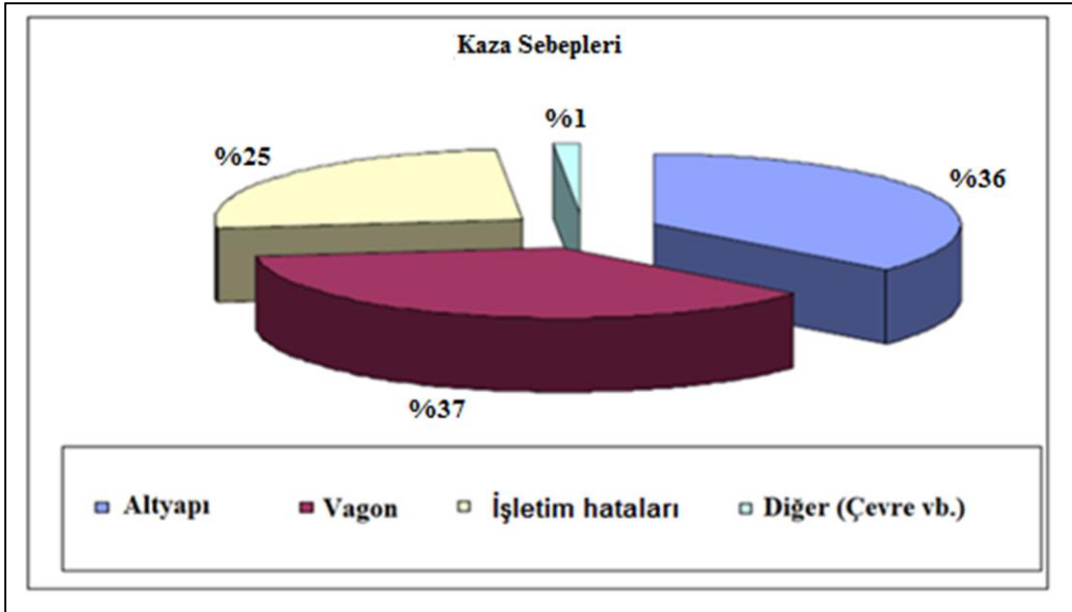
Yukarı yönlü bir harekette en önemli direnç yer çekimi direncidir. Demiryolunda % 40 'a kadar eğime izin verilmektedir. El freni hesabında % 40 eğimli bir yolda dolu vagonu durduracak fren kuvvetine ulaşmak esas alınmıştır [23]. Lokomotiflerin çekebileceği maksimum yükler eğimli yollarda çok ciddi oranlarda düşmektedir. Bazı lokomotiflerin yolların eğimlerinin değişmesi ile çekebilecekleri maksimum yük Şekil 4.5'de verilmiştir [24]. 2006-2010 TCDD istatistik yıllığına göre ülkemizde konvansiyonel demiryolu hattının yaklaşık %10 'unda yol eğimi % 15'den fazladır.

	Loko Ağırlığı (Ton)	Başlangıç Çekis Gücü (kN)	Eğim %	İzin Verilen Azami Brüt Ağırlık (Ton)
USA: GE ES44AC	188	880	0	22261
Europe: Co-Co	125	400	0	10079
Europe: Bo-Bo	85	300	0	7568
USA: GE ES44AC	188	880	4	11036
Europe: Co-Co	125	400	4	4977
Europe: Bo-Bo	85	300	4	3742
USA: GE ES44AC	188	880	12	5424
Europe: Co-Co	125	400	12	2426
Europe: Bo-Bo	85	300	12	1828
USA: GE ES44AC	188	880	18	3894
Europe: Co-Co	125	400	18	1730
Europe: Bo-Bo	85	300	18	1306

Şekil 4.5 Lokomotiflerin Değişen Eğimlere Göre Maksimum Çekebilecekleri Yük Miktarı

5.TEKERLEK TAKIMI HASARLARI

DNV (risk yönetimi için küresel bir servis sağlayıcı olan bağımsız bir danışmanlık firması) tarafından yapılan bir araştırmaya göre vagonların yoldan çıkma sebepleri arasında % 37 oranında vagon ve lokomotif, % 36 oranında altyapı ve % 25 oranında işletim hataları bulunmaktadır (Şekil 5.1). Aynı araştırmaya göre Avrupada her 10 milyar ton-km yük taşımacılığı için yaklaşık bir deray olayı gerçekleşmektedir ve bir yük treninin raydan çıkmasının ortalama maliyeti yaklaşık 1 milyon Avrodur [25]. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığına (2015) göre ülkemizde 15 milyar ton-km yük taşımacılığı için 28 deray olayı gerçekleşmiştir. Ülkemizde derayla sonuçlanan kazaların sebepleri hakkında her hangi bir detaylı çalışma bulunamamıştır.

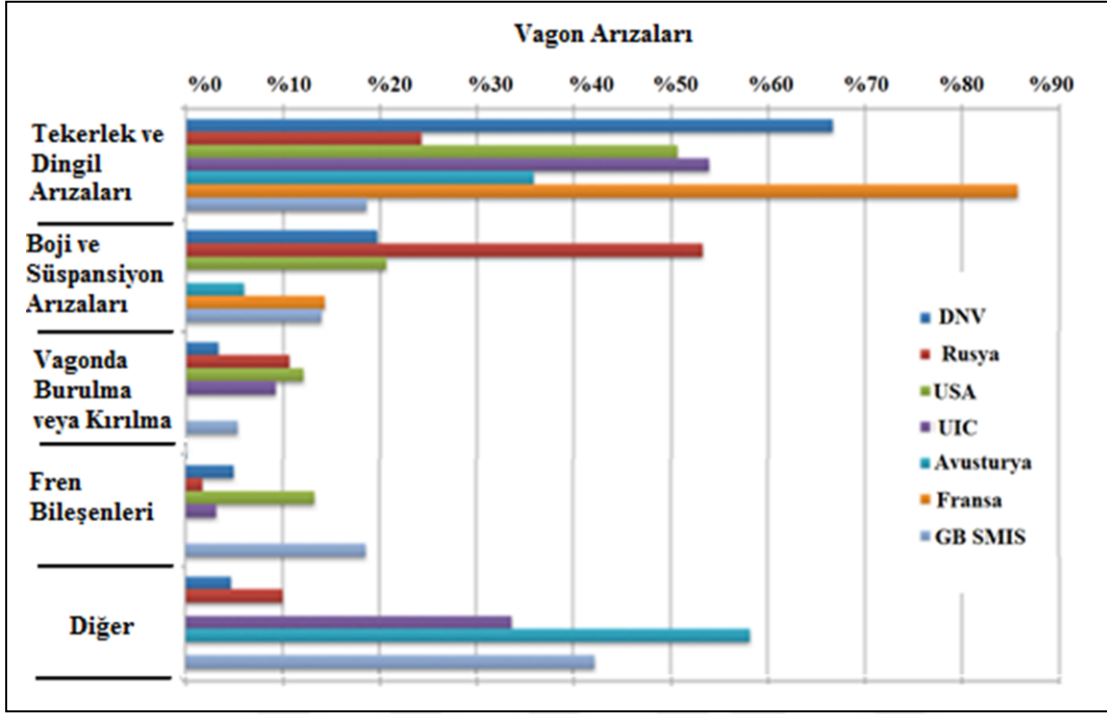


Şekil 5.1 Demiryolu Kaza Sebeplerinin Dağılım Oranı

Avrupa demiryolları için ekonomik ve sayısal yönü itibariyle vagonların yoldan çıkmasının (deray) sebepleri sırasıyla;

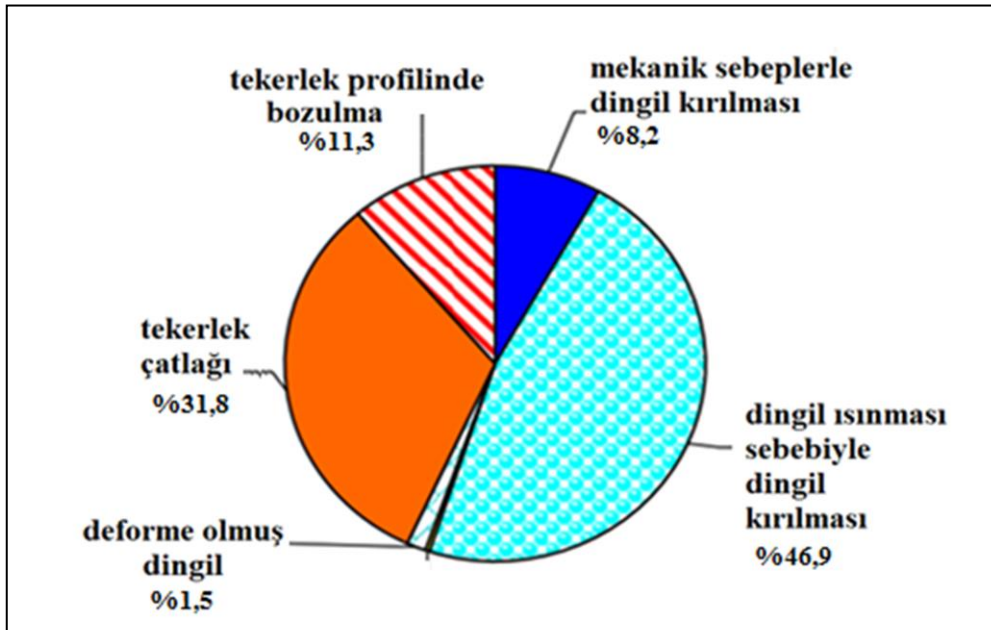
- Aks (dingil) kopması
- Ray açıklığının aşırı genişlemesi
- Tekerlek hasarı
- Dengesiz yükleme
- Raylarda aşırı bükülme
- Virajlı (kurplu) yollarda dever (dış rayın iç raydan yüksek olması) hatası
- Ray hasarları
- Süspansiyon arızalarıdır [25].

Vagon kaynaklı deray olayının en önemli iki sebebi tekerlek-aks arızaları ve boji-süspansiyon arızalarıdır. Bazı ülkeler için vagon kaynaklı deray olaylarının sebeplerini gösteren grafik Şekil 5.2’de verilmiştir [25].



Şekil 5.2 Vagon Kaynaklı Deray Sebeplerinin Ülkelere Göre Dağılımı

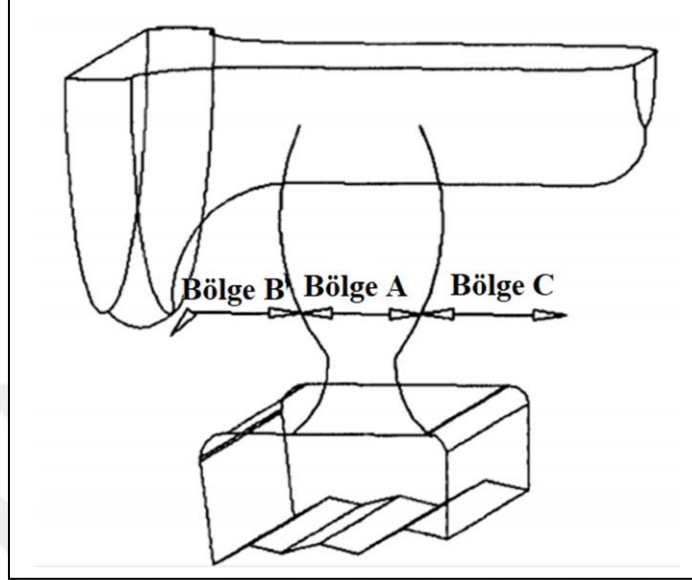
Tekerlek takımı hasarları sebebiyle gerçekleşen deray olaylarının en büyük iki sebebi dingil kopmasıyla sonuçlanabilen dingil ısınması (rulman sarması) ve tekerlek kırılması ile sonuçlanabilen tekerlek çatlaklarıdır. Deray olayına sebep olan tekerlek takımı hasarlarının yüzdeleri Şekil 5.3’de görülmektedir [26].



Şekil 5.3 Deray Olayına Sebep Olan Tekerlek Takımı Hasarlarının Dağılımı

5.1 Tekerleğe ve Raya Gelen Yükler

Aşınma göz önüne alındığında tekerlek ve ray 3 bölgeye ayrılabilir bu bölgeler Şekil 5.4’de verilmiştir [27].



Şekil 5.4 Tekerlek Ray Değme Bölgeleri [27]

Tekerleğin flanş kısmı ile rayın iç kısmı arasında (Bölge B) tekerlek-ray temas geriliminin tipik değerleri 3000 MPa civarındadır. Bu durum rayın iç başında kalıcı şekil değişimine sebep olur. Tekerleğin yuvarlanma yüzeyi ile rayın üst bölgesinde (Bölge A) bu değer 1300-1700 MPa civarına kadar gelebilmektedir (izin verilen maksimum dingil yükü ülkemiz ve Avrupa demiryolları için genelde 22,5 ton olmakla birlikte bazı hatlarda 30 ton’a kadar çıkmaktadır). Yuvarlanma yüzeyinde oyuklanma şeklindeki aşınmalar tekerlek ray temas gerilimini 6000 MPa kadar çıkarabilir [27].

5.2 Dingil (Aks) Isınması Sebebiyle Dingil Kırılması

Vagona gelen dikey yükler dingil (aks) kutusunda bulunan rulmanlardan tekerleklere aktarılır. Yetersiz veya fazla yağlama, kirlilik, aşırı yükler, yetersiz bakım, montaj hataları vb sebepler rulmanların ve dolayısıyla dingilin turyon kısmının ısınmasına sebep olur. Yapılan bir araştırmaya göre bu ısınmanın en önemli iki sebebi yağ içinde kalan su (% 38) ve dingil kutusunda kalan çapaklardır (% 35) [28]. 60 km/h hızla giden bir vagona sorunlu rulmanlar, dingilde dakikada 8 – 38 °C sıcaklık artışına sebep olabilir. 25 dakika içinde dingilin turyon (muylu) kısmında sıcaklık 266 °C ile 800 °C arasında değerlere ulaşabilir [28]. Zamanında

tespit edilememesi halinde bu durum dingil kopmasına dolayısıyla çok ciddi kazalara sebep olmaktadır. Şekil 5.5’de turyon kısmından kopmuş bir tekerlek dingili görülmektedir



Şekil 5.5 Rulman Isınması Sonucu Turyon Kısmı Kopmuş Tekerlek (TÜDEMSAŞ)

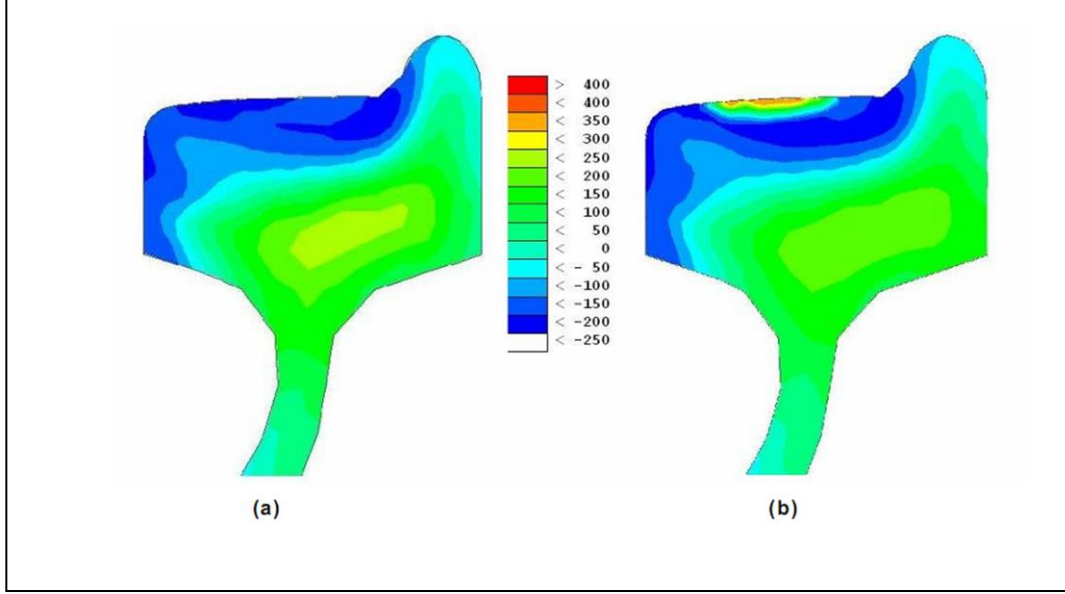
5.3 Isıl Sebeplerle İlişkili Tekerlek Hasarları

Demiryolu taşımacılığında seyrüsefer güvenliği açısından vagonun en kritik bileşeni tekerlek takımıdır (rulmanlar dahil). Uzun süreli frenleme sonucunda tekerleklere transfer edilen ısı yükü, tekerleklerde olumsuz kalıntı gerilmelere sebep olacak ve bu durum tekerlek hasarlarıyla sonuçlanacaktır [1].

Kalıntı gerilmeleri çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilmelerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısıl işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan kalıcı şekil değiştirmeler veya ısıl değişimler, kalıntı gerilme oluşmasındaki ana nedenlerdendir. Kalıntı gerilmeler parçanın içerisinde kaldığından kullanım sırasında dışarıdan uygulanacak olan gerilmeler, kalıntı gerilmelerle birlikte parçaya etki eder. Bu nedenle kalıntı gerilme içeren bir parçada, parçaya etkiyen gerçek yükleme durumu analiz/hesaplama sonucunda tahmin edilenden çok farklı olabilir [29].

Tekerlekler üretilirken ısıtma yuvarlanma yüzeyi bölümünde basma kalıntı gerilmesi olacak şekilde üretilir (Şekil 5.6 a). Basma yüzeyi ise sertleştirilir. Basma kalıntı gerilmesi ve yüzey sertleştirme, yorulmaya karşı direnci artırır [17]. Kullanılan tekerleklerde frenleme sonucu oluşan ısıdan dolayı yüzeydeki basma gerilmesi zamanla çekme gerilmesine dönüşmektedir

(Şekil 5.6 b). Bu durum yorulma çatlaklarının (ısıl çatlakların) oluşmasına, büyümesine sebep olabilmektedir [30]. Tekerleklerde oluşan kalıntı gerilmelerin büyüklükleri EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer), PET (Piezo-Electric Transducer) gibi ultrasonik gerilme ölçme aletleri ile tesbit edilebilir [1],[31].



Şekil 5.6 Yeni Tekerlek (a) ve Kullanılmış Tekerlek (b) İçin Örnek Kalıntı Gerilim Değerleri (MPa) [30]

Seyrüsefer esnasında frenlemeyle birlikte tekerleğin genel sıcaklığı artar ancak yuvarlanma yüzeyindeki sıcaklık çok daha fazla olur ve tekerleğin raya teması sonucu yuvarlanma yüzeyinde de sıcaklığı farklı bölgeler oluşabilir. Yüzey sıcaklığındaki 200 °C değişiklik yaklaşık 700 MPa kadar ısı gerilim oluşturabilir. Bu durum kalıcı şekil değişimine, kalıntı gerilime ve tekerlek yüzeyinde sertleşmeye sebep olabilir [27]. Ayrıca yüzey sıcaklık artışı ray ve tekerlekte aşınma oranını ciddi oranlarda artırmaktadır [27].

Monoblok tekerlek gövdeleri ısıya duyarlı bir boya sistemi ile 100 µm lik kuru tabaka olacak şekilde kaplanmalıdır. Isıya duyarlı boya ile kaplanmış tekerleklerin aşırı ısı yüküne maruz kalmaları halinde boyanın renginde değişiklikler olur ve durumun fark edilmesiyle gerekli önlemler alınabilir.

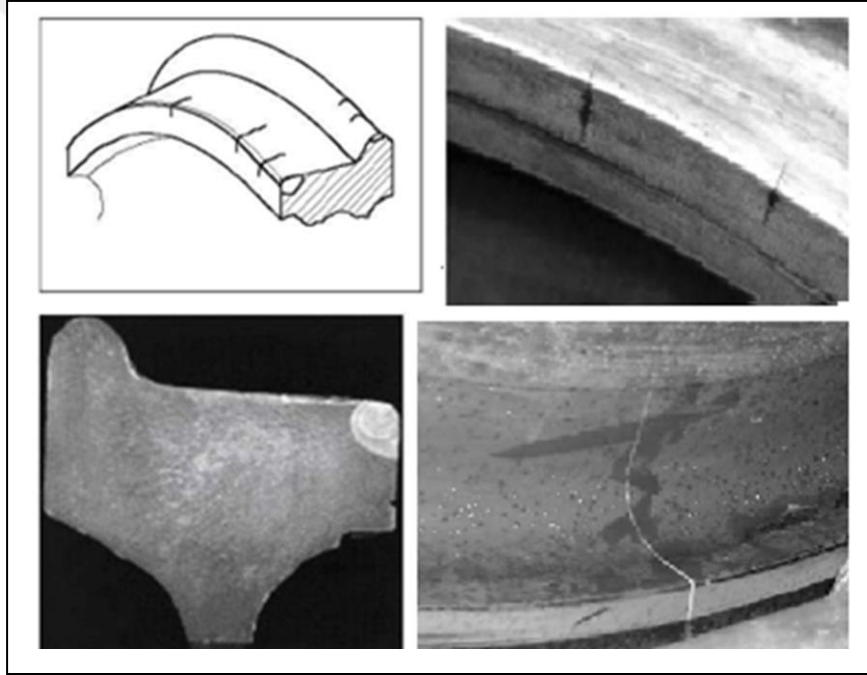
Aşırı ısı yüklenme belirtileri

- Tekerlek gövdesinde belirgin düzeyde birikmiş boya yanıkları
- Tekerlek ispitinde oksitlenme izleri
- Fren sabolarında erime ve metal yığılması
- Tekerlek arası mesafenin artmasıdır [32].

Tekerleklerde gözlemlenen hasarların büyük bir bölümü tekerleklerin aşırı ısınmasıyla alakalıdır. Isıl çatlaklar (yorulma çatlakları), tekerlek yüzeyinde oluşan oyuklanma ve yığılmalar, yuvarlanma yüzeyinde düzleşme (apletili yüzeyler), tekerlek yüzeyinde yanlara yayılma en çok gözlemlenen hasarlarıdır [1], [33].

5.3.1 Isıl Çatlaklar

Tekerlek yüzeyinde sıcaklığın 200 °C kadar artması ısıl basma gerilmesini o bölgede 700 MPa değerlerine getirebilir. Bu durum kalıcı şekil değişimine, kalıntı gerilimine ve yüzey sertleşmesine sebep olabilir [27]. Sürtünme sonucu aşırı ısıl yüke maruz kalan tekerlek yüzeyi ve ispitinde oluşan sıcaklık ostenitik sıcaklığı geçer ve yeterince hızlı bir şekilde soğursa martenzit oluşumu gerçekleşebilir. Bu durum tekerlekte ısıl çatlak oluşumunun ve tekerlek kırılmalarının önemli bir sebebidir. Şekil 5.7’de tipik ısıl çatlaklar görülmektedir [1], [34].



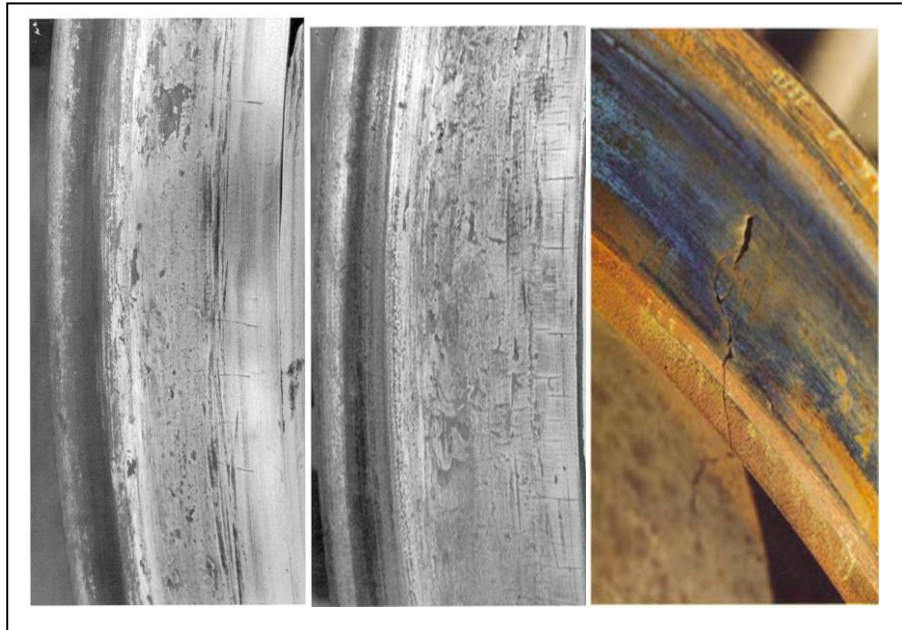
Şekil 5.7 Isıl Çatlaklar [35],[36]

Çelik malzemede sıcaklıkların 200 °C değişimi akma mukavemetini yaklaşık % 20 düşürmektedir [8]. Frenleme sonucu oluşan ısıl yükün büyük bölümü tekerlek üzerinden atılır. Döküm sabo yerine kompozit sabonun kullanılması bu oranı daha da artırmaktadır. Aşırı ısıl yükle yüklenmiş tekerlek hızlı bir şekilde soğuduğunda, tekerlekte kalıcı şekil değişimi ile birlikte kalıntı (residual) gerilimler oluşur. Yeterince büyük kalıntı gerilmeyle birlikte tekerlek yüzeyi köşesinde çatlak oluşumu başlar ve ilerleyerek tekerleğin kırılmasına sebep olabilir. Şekil 5.8’de tekerlekteki tipik bir kırılma görülmektedir.



Şekil 5.8 Tekerlekte Tipik Bir Kırılma (TÜDEMSAŞ)

Yüzeyde görülen çatlaklar 30 mm ile 40 mm arası olması durumunda, 3. dereceden ısı çatlak kabul edilir. Bu durumdaki yük vagonları tamire gönderilir. Yuvarlanma yüzeyinde görülen 40 mm den daha uzun çatlaklar veya ispitin buden kısmında ya da tekerleğin dış köşesine yakın bölgede uzunluğu 10 mm den fazla olan ısı çatlaklar 4. dereceden ısı çatlak kabul edilir. Bu durumdaki yük vagonlarının freni iptal edilerek düşük bir hızda (hız < 40 km/h) tamire gönderilir. Çatlak, ispit yüzeyinden tekerlek gövdesine doğru ilerlemiş ise 5. dereceden ısı çatlaktır. Bu durumda vagon hareket ettirilemez. Şekil 5.9’da bu tür çatlaklar görülmektedir [37], [1].



Şekil 5.9 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Derece Isıl Çatlaklar [37]

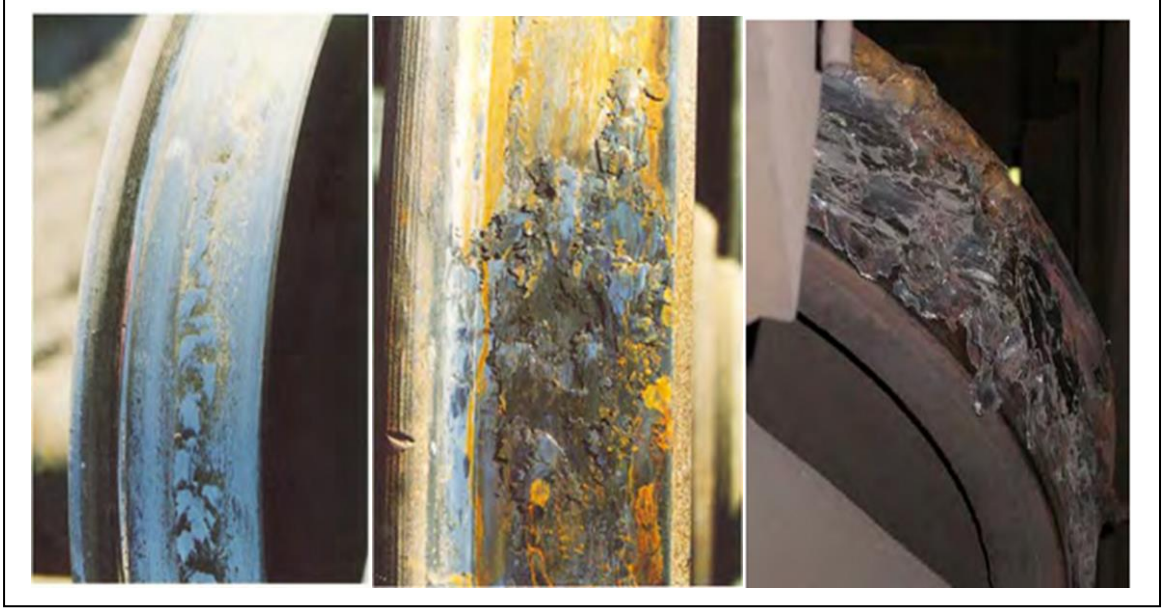
5.3.2 Yuvarlanma Yüzeyinde Oyuk Oluşumu

Tekerlek-ray veya tekerlek-pik döküm sabo arasında gerçekleşen sürtünme sonucunda temas yüzeylerinde oluşan küçük kaynakların kırılması sonucunda sürtünme yüzeylerinde oyuklar oluşur. Oyukların çapı 12 mm geçmiyor ve oyuklanmış bölge tekerlek yüzeyinin (budun hariç) en fazla % 10'u kadar ise 1. dereceden oyuklanma olarak kabul edilir. Oyuk çapı en fazla 25 mm olup oyuklanmış bölgenin kapladığı alan, yüzey alanının en fazla %20'si ise 2. dereceden oyuklanma olarak kabul edilir. Oyuk çapı 25 mm den fazla, oyuklanmış bölgenin kapladığı alan yüzey alanının en fazla %50'si ise 3. dereceden oyuklanma olarak kabul edilir ve bu durumdaki yük vagonu sefer sonrası servis dışına alınır. Tekerlek yüzeyi torna edilerek tamir edilir. Oyuklanmış bölgenin kapladığı alan yüzey alanının en fazla % 50'si ise veya budende oyuklanmalar mevcut ise 4. dereceden oyuklanma olarak kabul edilir ve bu durumdaki yük vagonu sefer sonrası servis dışına alınır. Vagon hızı 40 km/h geçemez. Şekil 5.10'da oyuklanmaların bulunduğu tekerlekler görülmektedir [1], [37] .



5.3.3 Yuvarlanma Yüzeyinde Yığılma

Frenleme esnasında fren kuvvetinin tekerlek ray arası sürtünme kuvvetinden fazla olması durumunda tekerlek ray üzerinde kayar. Kayma sonucu oluşan ısı sebebiyle tekerlek yüzeyinde malzemenin ileriye doğru akması ve yüzeyde bulunan toz veya yabancı maddelerle birleşip soğuması sonucunda yuvarlanma yüzeyinde metal yığılması oluşur. Metal yığılması yüksekliği 1 mm kadar ise 3. derecen bir yığılma, 1 mm ile 15 mm arası ise 4. dereceden yığılma, metal yığılması 15 mm'den fazla ise 5. dereceden yığılma olduğu kabul edilir. Şekil 5.11'de yüzeyinde yığılmalar olan tekerlekler görülmektedir [1], [37].



Şekil 5.11 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Dereceden Yığılma [37]

5.3.4 Yuvarlanma Yüzeyinde Düzleşmiş Bölge

Düzleşmiş yüzeyler (apleti) frenleme esnasında tekerleğin bloke olup dönmemesi sonucunda veya hareket halinde tekerleğin ray üzerinde kayması ile oluşan bir yüzey hasarıdır. Bir adet apleti var ve bunun uzunluğu 40 mm ile 60 mm arası ise 3. dereceden apleti vardır ve bu durumdaki vagon en fazla 40 km/h hızla tamiratı yapılacak yere kadar götürülebilir. Bir adet apleti var ve uzunluğu 60 mm ile 100 mm arası ise 4. dereceden apleti vardır ve bu durumda vagon en fazla 25 km/h hızla tamirat yapılacak yere kadar götürülebilir. Bir adet apleti var ve uzunluğu 100 mm'den fazla ise 5. dereceden apleti vardır ve bu durumdaki vagon hareket ettirilmez. Şekil 5.12'de apleti olmuş tekerlek yüzeyleri görülmektedir [1], [37].



Şekil 5.12 Tekerlekte 3. 4. ve 5. Dereceden Apleti [37]

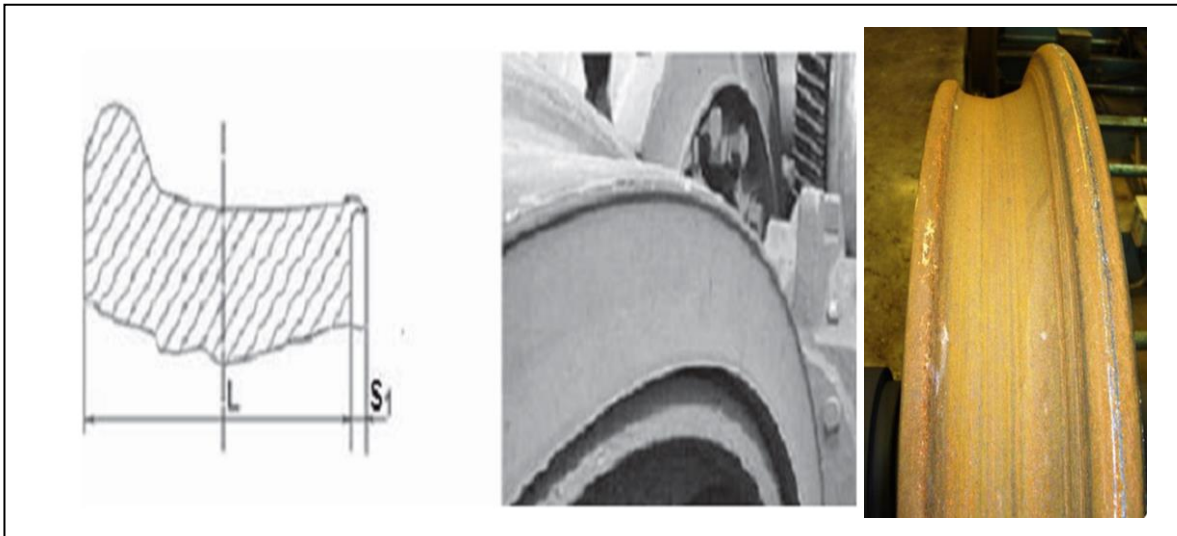
Şekil 5.13’de el freni sıkılı bir halde seyrüsefere dahil edilmiş yük vagonunda tekerlek takımında ve saboda oluşan kalıcı şekil değişimi görülmektedir (TÜDEMSAŞ Vagon Onarım Fabrikası).



Şekil 5.13 El Freni Çözülmemiş Vagona Oluşan Tekerlek Hasarı

5.3.5 Yuvarlanma Yüzeyinin Dışa Yayılması

Fren yapılan tekerleklerde oluşan ısı sebebiyle çeliğin akma mukavemeti düşer. Frenleme sonucunda tekerlek yüzeyi aşırı ısınır, bu yüzeyin raya değmesiyle birlikte dingil yüküne maruz kalması sonucu yüzey malzemesi yanlara doğru yayılabilir. Daha ileri durumlarda tekerleğin yan tarafında yeni bir buden oluşabilir [1]. Şekil 5.14’de dışa doğru yüzey yayılmasının olduğu tekerlekler görülmektedir .



Şekil 5.14 Yuvarlanma Yüzeyinin Dışa Yayılması [35]

6- DEMİRYOLU TEKERLEKLERİNDE FREN TESTİ

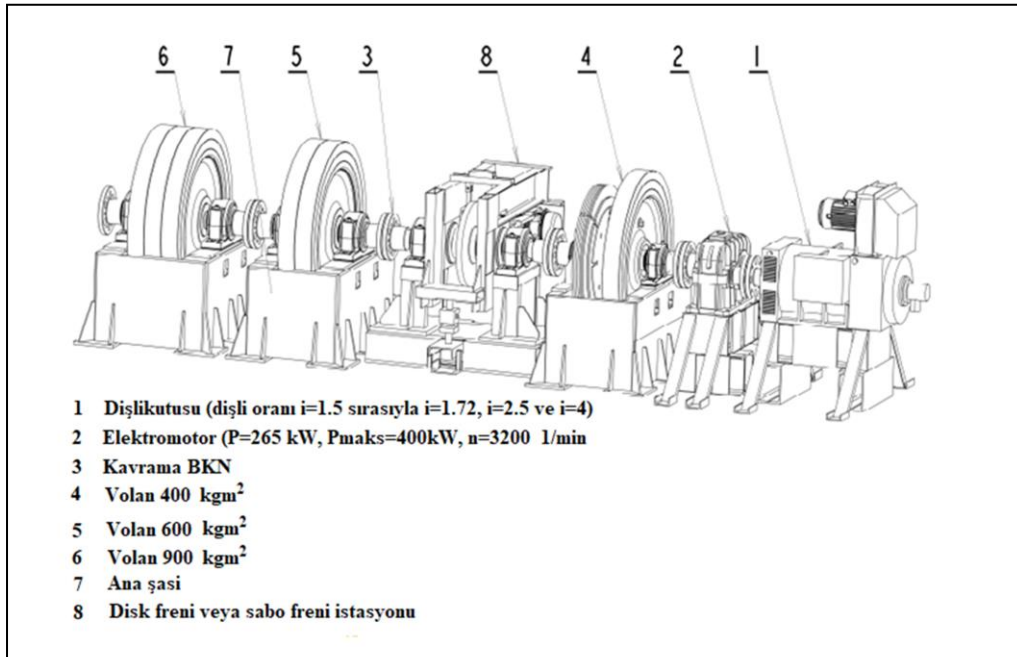
6.1 Fren Dinamometresi ile Fren Testi

Tekerlekte kalıcı şekil değişiminin kontrol altında tutulması ve frenlemenin tekerlek kırılmalarına yol açmaması için dövme ve haddeleme yöntemiyle üretilen tekerleklerin teknik onay işleminde yapılması gerekli testler TS EN 13979-1 standardında belirlenmiştir.

Tekerleklerin uygunluğunun belirlenmesi için tekerlekler fren testine (termomekanik test) tabi tutulur. İsviçrede bulunan aşağı yönlü uzun Gotthard rampasında bulunan Airola ile Biasco istasyonları arası yolda vagonların sabit hızda hareketinin simülasyonu bu test için temel alınmıştır [18].

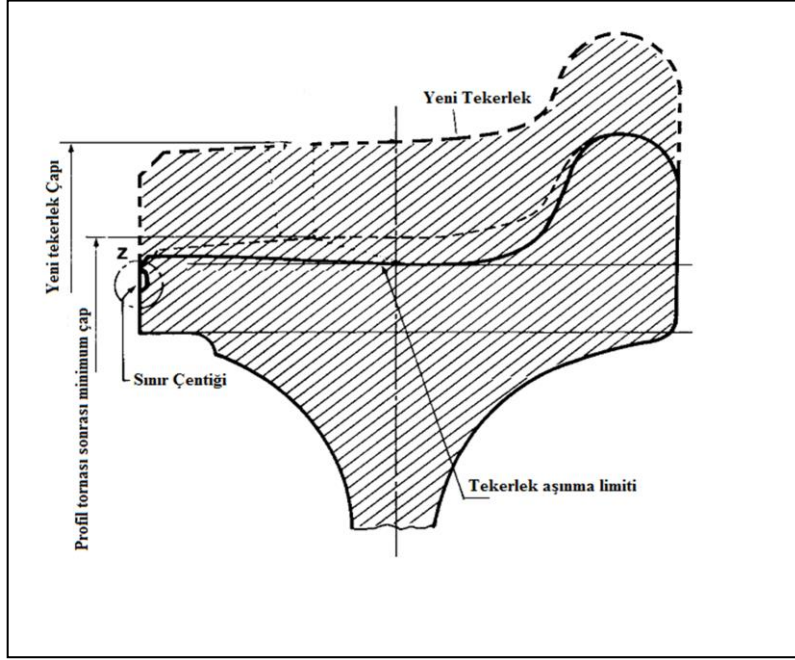
Aşağı yönlü harekette vagonların hızlanmaması, sabit hızda gitmesi için çekme freni uygulanır. Yükseklik farkı sebebiyle oluşan potansiyel enerji farkı kinetik enerjiye ve kinetik enerji ise frenleme esnasında tekerlek ve sabolarda ısıya dönüşmektedir. ERRI verilerine göre döküm sabo (fren pabucu) kullanılması halinde ısı enerjinin yaklaşık % 70'i tekerleğe % 30'u saboya geçmektedir [18], [38]. Sinterli kompozit sabo kullanıldığı takdirde tekerleğe geçen ısı enerjinin oranı yaklaşık % 90, organik kompozit sabo kullanılması halinde ise yaklaşık % 95 olmaktadır [1], [18], [39] .

Fren testi için fren dinamometresi kullanılmaktadır. Zilina Üniversitesinde bulunan fren dinamometresi ve teknik özellikleri Şekil 6.1'de verilmiştir [14].



Şekil 6.1 Zilina Üniversitesinde Bulunan Fren Dinamometresi ve Teknik Özellikleri

Testler, yeni ve son kullanım sınırına kadar tormalanmış tekerlekler için yapılmaktadır. 920 mm çaplı yeni tekerlek için tekerlek aşınma limit çapı 840 mm dir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Yeni ve Son Kullanım Sınırına Gelmiş Tekerlek Profili [16]

Dingil yükü 22,5 ton olan bir tekerlek takımının frenleme testi için kullanılan parametreler Çizelge 6.1’de verilmiştir [40].

Çizelge 6.1 Tekerleğin Frenleme Testi İçin Referans Senaryo Değerleri

Sembol	Tanım	Birim	Değer
m	Her Tekerleğe Düşen Araç Kütlesi	kg	22500/2=11250 kg
g	Serbest düşme ivmesi	m/s ²	9,80665 m/s ²
α	Hattın ortalama eğimi	%o olarak eğim	%o 21(binde 21)
ta	Zaman (deney süresi)	s	2700 s (45dak)
Va	Araç hızı	m/s	60 km/h
1,2xPa	Bir Tekerleğe Uygulanan Isıl Güç	kW	Pa=(m).(g).(Va).(α)
dt	Tekerlek Çapı (anma çapı 920 mm)	mm	Maks: 920 mm (yeni) Min: 840 mm (aşınma sınırı)
ks	Döküm Sabo Kalınlığı (2Bgu)	mm	Maks: 60 mm (yeni) Min: 15 mm (aşınma sınırı)
Vr	Rüzgar Hızı	m/s	Vr=Va/2 (30 km/h)

Tekerleklerin fren testi için belirlenen kabul kriterleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.2) [40].

Çizelge 6.2 Fren Testi Kabul Kriterleri

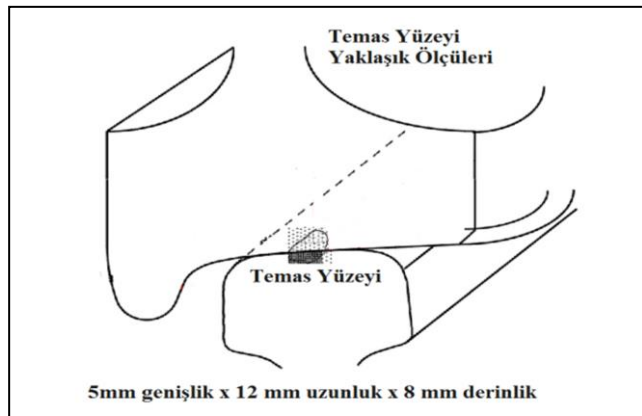
(ER6-ER7 kalite çelik tekerlek için)	Yeni Tekerlek	Aşınmış Tekerlek
Fren esnasında ıspitin maksimum yanal yer değiştirmesi (mm)	+3/-1	+3/-1
Soğoduktan sonra ıspitin maksimum yanal yer değiştirmesi (mm)	+1,5/-0,5	+1,5/-0,5
Soğumadan sonra ıspitte kalıcı gerilme (üç ölçüm ortalaması) (MPa)	≤ 200 (her bir ölçüm ≤ 250)	≤ 275 (her bir ölçüm ≤ 300)

Kompozit fren sabolarının onayı için gerekli olan UIC 541-4 de verilen frenleme senaryosuna göre yapılan frenleme testinden sonra, 920 mm çaplı yeni tekerleklerde, tekerleğin yuvarlanma yüzeyinin 9 mm altında maksimum sıcaklık değeri 600 °C'yi geçmemelidir (istisnai durumlar için standarda bakınız) [39], [41],[42]. Şekil 6.3 'de dinamometrede yapılan fren testi görülmektedir.



Şekil 6.3 Dinamometre ile Yapılan Frenleme Testi [42],[17]

Rayların soğutma etkisi ray tekerlek arası temas bölgesinin küçüklüğü sebebiyle her iki fren senaryosunda göz önüne alınmamıştır. Ancak uzun süreli frenlemelerde rayların soğutma etkisi dikkate alınmalıdır. Temas yüzey alanı yaklaşık 1 cm² alınabilir [1], [27]. Şekil 6.4'de yaklaşık ray tekerlek temas yüzeyi boyutları verilmiştir [43] .



Şekil 6.4 Tekerlek-Ray Temas Yüzeyi Yaklaşık Ölçüleri [1] ,[43]

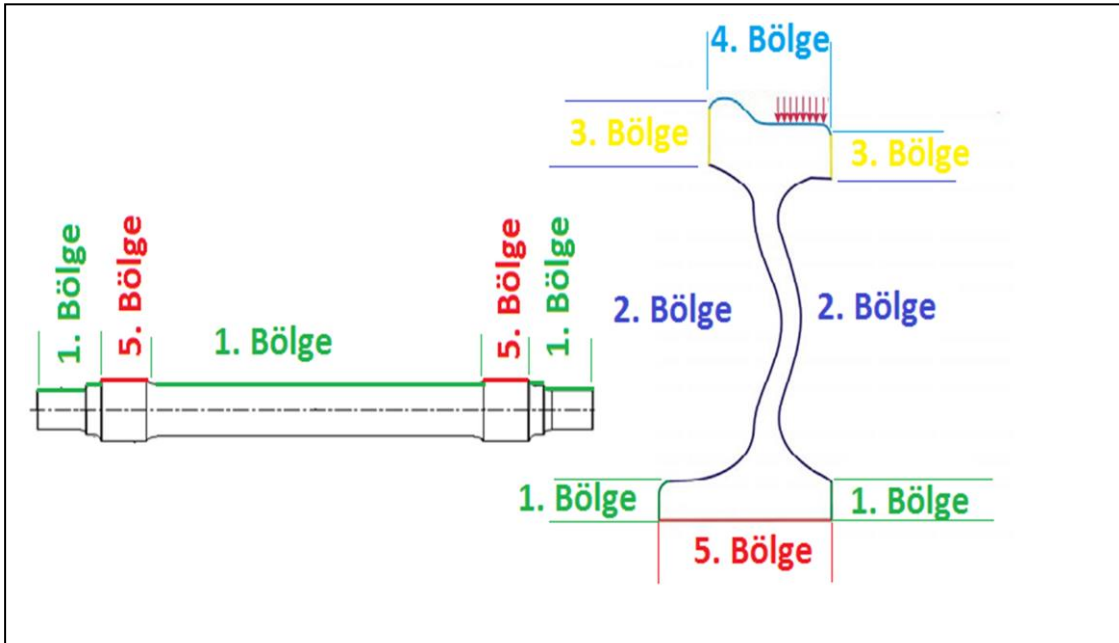
6.2 Sonlu Elemanlar Analizi İle Fren Testi İçim Temel Parametreler

Frenleme sonucu tekerlekte maksimum sıcaklıkların sonlu elemanlar analizi ile bulunabilmesi için ısı taşınım katsayısı, ısı iletim katsayısı ve ışıyım yayma katsayısı bilinmelidir. Isı taşınım katsayısı yüzey geometrisine, akışkan hareketinin türüne ve akışkanın termodinamik özelliklerine göre belirlenen sınır tabakadaki koşullara bağlıdır [1], [44].

Standartta belirtilen vagon hızı için tekerlek üzerinde oluşan türbülanslı akış, teorik analizle tekerlek üzerinde sıcaklık dağılımının bulunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle silindir üzerinden akışta teorik sonuçlardan çok deneysel sonuçlardan elde edilen ampirik bağıntılar kullanılır [1],[45].

Tekerlek bölgelerine göre ısı taşınım katsayısı, ısı iletim katsayısı ve ışıyım yayma oranı, ERRI (ORE) Rapor 169 da yayınlanmıştır [46]. Uzun yıllar boyunca yapılan çok sayıda deneysel sonuçlara göre hazırlanan bu raporda verilen değerlerin sonlu elemanlar analizinde kullanılması teorik hesaplara göre daha doğru sonuçlar verecektir [1].

Bu raporda, dingil yükü 22,5 ton ve tekerlek çapı 920 mm olan bir vagonun 60 km/h hızla aşağı yönlü hareketi, frenleme senaryosu olarak alınmıştır. Bu senaryoya göre tekerleklere etki eden hava hızı vagon hızının 0,6 katı ve fren gücü de 30 kW olarak alınmış, oluşan ısının % 70' nin tekerleğe geçtiği kabul edilmiştir. Frenleme süresi 2700 s dir [46]. ERRI Rapor 169' da, Şekil 6.5'de yer alan tekerlek bölgelerine göre verilen (dingil hariç) zorlanmış ısı taşınım katsayısı, ısı iletim katsayısı ve ışıyım yayma katsayısı Çizelge 6.3'de verilmiştir [1].



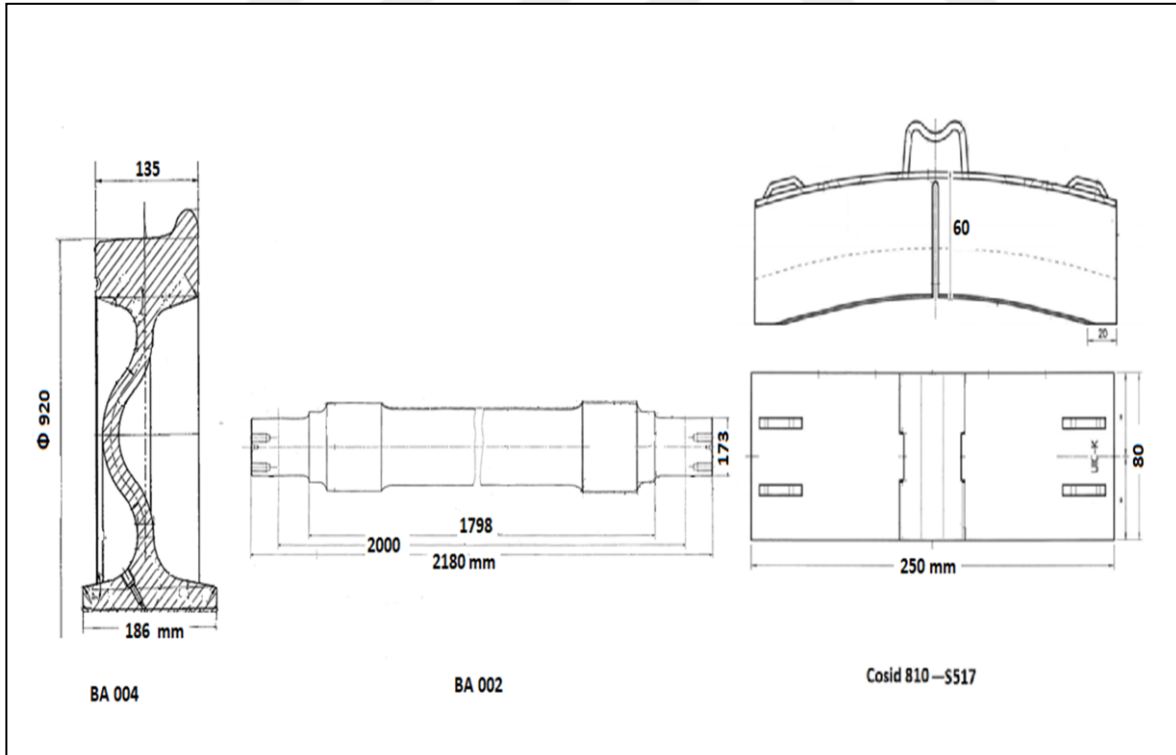
Şekil 6.5 Isıl Analiz İçin Tekerlek Seti Bölgeleri [1],[46],[47]

Çizelge 6.3 Ortalama Sıcaklıklara Göre Taşınım ve İletim Katsayıları[46],[47]

Ortalama Sıcaklığı	Taşınım Katsayısı (h)				İletim Katsayısı (k)
	W/(m ² .K)				
T (°C)	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge
0	17	17	37	31	47,3
100	23	23	42	39	45
200	27	27	50	43	44,1
400	43	43	70	62	
600	68	78	95	84	

İşinim yayma katsayısı paslı tekerlek seti için 0,80 [48] , yuvarlanma yüzeyi için (orta parlak yüzey) 0,67 alınabilir.

Test vagonunda kullanılan tekerlek takımı bileşenleri ve ana ölçüleri Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6 Tekerlek Takımına Ait Tekerlek, Dingil ve Kompozit Sabo

Analizi yapılacak olan yeni ve aşınma sınırına gelmiş BA 004 monoblok tekerleklerin fiziksel özellikleri ve analizde kullanılan bazı geometrik değerler Çizelge 6.4’ de verilmiştir.

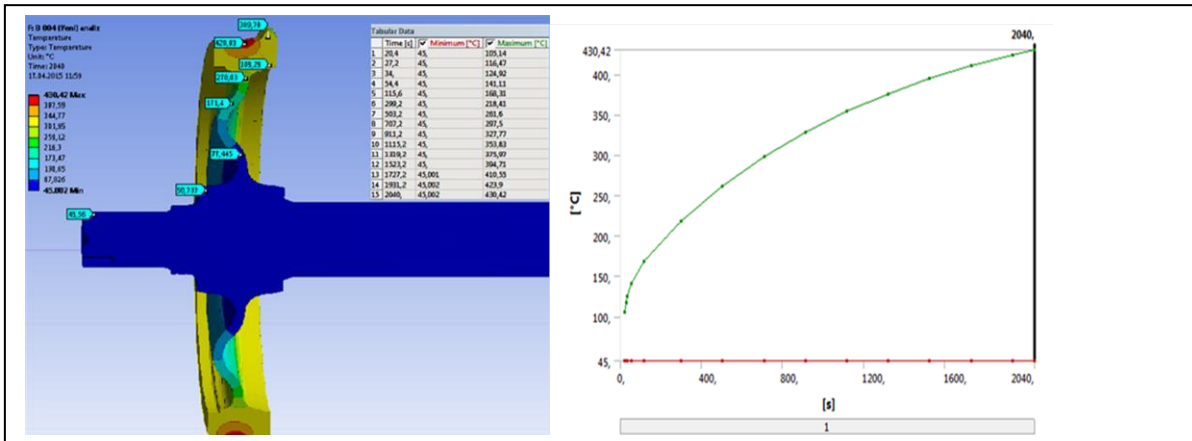
Çizelge 6.4 Monoblok Tekerlekler İçin Bazı Fiziksel Değerler

1 Adet Monoblok Tekerlek	Yeni (çap=920 mm) BA 004 Monoblok Tekerlek	Aşınmış (çap 840 mm) BA 004 Monoblok Tekerlek
Ağırlık (kg)	315	195
Hacim (mm ³)	40157663	24894679
Yüzey Alanı (mm ²)	2242126	1993319
Tekerlek-Dingil Temas Yüzey Alanı (mm ²)	110480	110480
Tekerlekte Sabo Süpürme Alanı (mm ²)	164160	148950

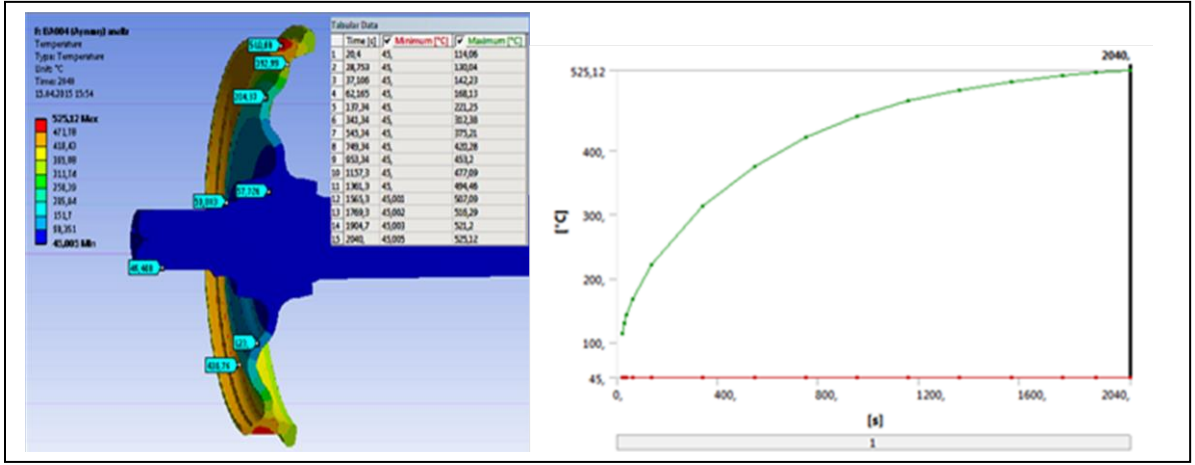
1Bgu (tekerleğe tek taraftan basan ikili sabo) yapısı için, K tipi kompozit saboda basma yüzeyi alan 400 cm² veya 2 Bg için 512 cm² (2x256) dir.

Karagöz N. (2015) tarafından yapılmış bir çalışmada BA 004 tipi yeni (çap 920 mm) ve aşınmış (kullanım sınırı 840 mm) olan iki tekerleğin yuvarlanma yüzeyine (sabo basma yüzeyi) ısıl gücün 34 dakika boyunca uygulanması senaryosu sonlu elemanlar analiziyle incelenmiştir. Pik sabo kullanımında uygulanan 45 kW ısıl gücün yaklaşık % 30'u pik döküm sabodan havaya iletilirken K tipi sabo kullanımında % 10'u sabo üzerinden havaya iletildiği kabul edilerek pik döküm kullanımında tekerleklere 31,5 kW ısıl güç (34 dakikada yaklaşık 64 MJ frenleme enerjisi) K tipi sabo kullanımında 40,5 kW ısıl güç (34 dakikada yaklaşık 83 MJ frenleme enerjisi) uygulanmıştır. Rüzgar ve rayon soğutma etkisi dikkate alınmamıştır [1].

Pik döküm sabo kullanımı durumunda yeni ve aşınmış tekerlekte sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir. Analiz sonucuna göre maksimum sıcaklık yeni tekerlekte 430 °C ve aşınmış tekerlekte 525 °C dir [1].

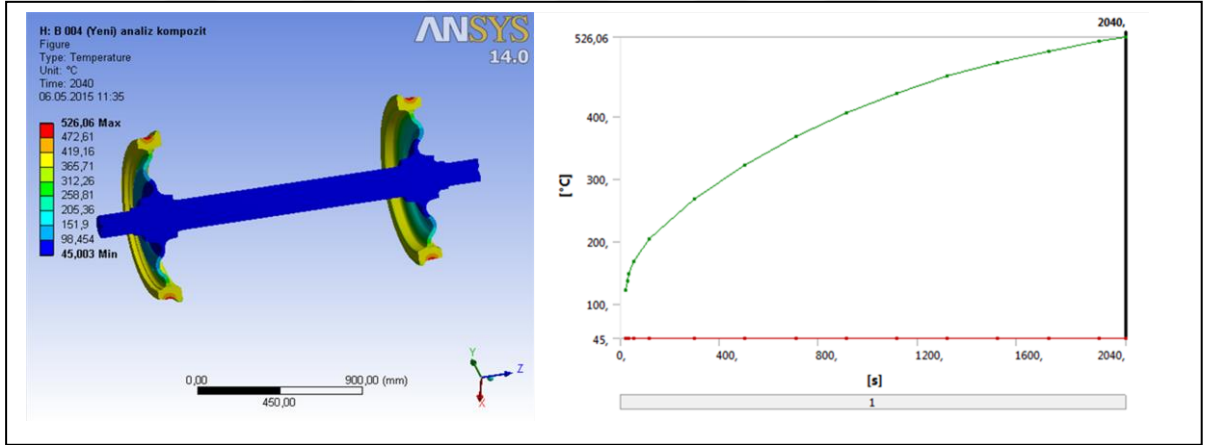


Şekil 6.7 Yeni Tekerlek ve Pik Döküm Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı [1]

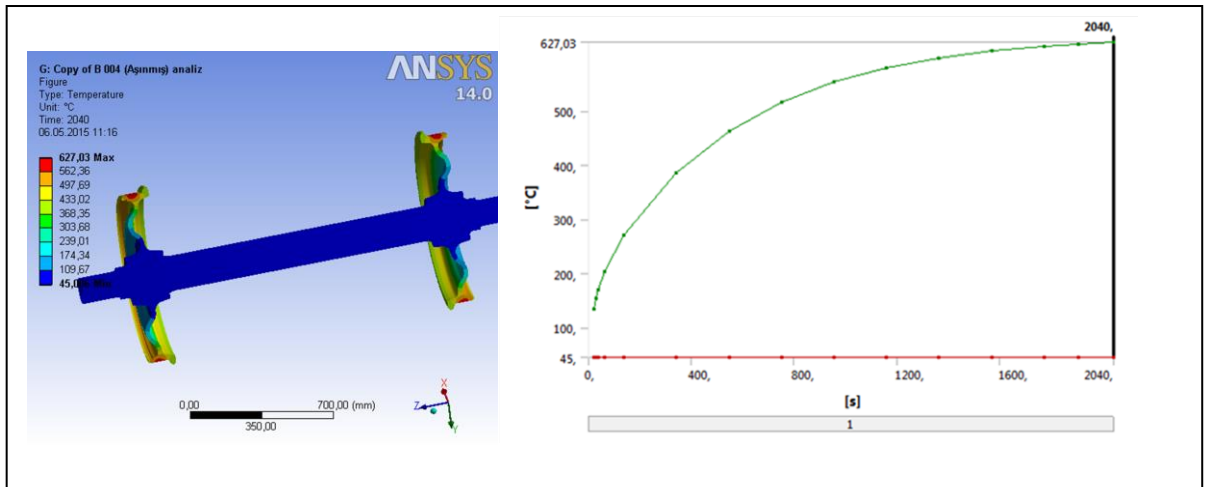


Şekil 6.8 Aşınmış Tekerlek ve Pik Döküm Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı

K-tipi kompozit sabo kullanımı için yeni tekerlekte ve aşınmış tekerlekte analizle bulunan sıcaklık dağılımı sırasıyla Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir. Analiz sonucuna göre maksimum sıcaklık yeni tekerlekte 526 °C ve aşınmış tekerlekte 627 °C dir [1].



Şekil 6.9 Yeni Tekerlek ve K-Tipi Kompozit Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı



Şekil 6.10 Aşınmış Tekerlek ve K- Tipi Kompozit Sabo İçin Tekerlekte Oluşan Sıcaklık Dağılımı [1]

Sonlu elemanlar analizi ile bulunan maksimum sıcaklıklar Çizelge 6.5’de verilmiştir

Çizelge 6.5 Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu - Maksimum Tekerlek Sıcaklıkları [1]

Maksimum Sıcaklık (°C)	Pik Döküm Sabo	K- Tipi Kompozit Sabo
Yeni tekerlek (çap 920 mm)	430	525
Aşınmış Tekerlek(çap 840 mm)	526	627

Yeni tekerlek ve pik döküm sabo için bulunan 430 °C sıcaklık değeri baz alınacak olursa, tekerleğin son kullanım sınırına gelmesinin ve ayrıca kompozit sabo kullanılmasının maksimum tekerlek sıcaklığında ayrı ayrı yaklaşık % 20 artışa sebep olduğu söylenebilir.



7. BİR YÜK VAGONUNUN FRENLENMESİ SONUCU TEKERLEĞİN SÜRTÜNME YÜZEYİNDE OLUŞAN MAKSİMUM SICAKLIĞIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

7.1 Deneysel İncelemenin Arka Planı

Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii (TÜDEMSAŞ) 1939 yılında kurulmuş, uluslararası standartlar ile Avrupa Birliği normları doğrultusunda yük vagonlarına ait imalat ve bakım-onarım alanında geçerli olan; Karşılıklı işletilebilirlik teknik şartnamesi ve bakımdan sorumlu fonksiyon şartları ile uyumlu olacak şekilde yönetim sistemlerini kurmuş bir kamu kuruluşudur (<http://www.tudemas.gov.tr>).

TÜDEMSAŞ'a bakıma onarıma gelen bir çok vagonunda ısıl kaynaklı tekerelek hasarlarına rastlanmaktadır. 2018 yılında, Gümüş (Niğde)-Yenice (Adana) istasyonları arası çalışan 14 adet Rgns tipi konteyner vagonunda ısıl sebeplerle oluşmuş tekerlek hasarları tespit edilmiş ve bu konuyla ilgili TÜDEMSAŞ Genel Müdürlüğü, 16.07.2018 tarihli ve 56095775-000 E.11569 sayılı yazı ekinde yer alan bir rapor hazırlamıştır. Hasarlı tekerleklerden biri Şekil 7.1'de görülmektedir. Bu çalışmada frenlenme sonucu tekerleğin sürtünme yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklığın saha testleri yapılarak deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğü 30614766-204.99-E.108793 sayılı yazısı ile testin yapılması için gerekli izni vermiştir.



Şekil 7.1 Isıl Sebeplerle Kalıcı Şekil Değişimine Uğramış Tekerlek

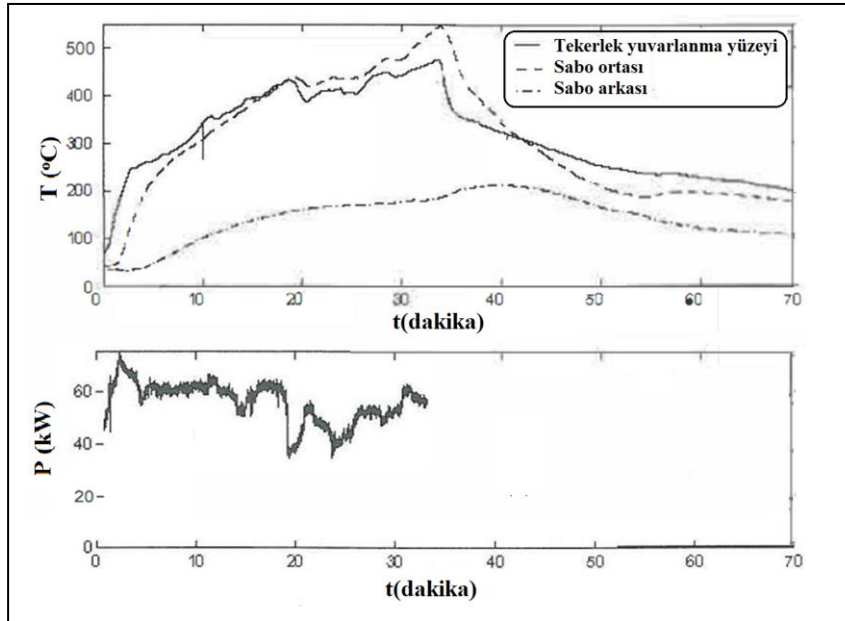
7.2 Konu İlgili Saha Testlerini İçeren Literatür Taraması

Tekerlekte frenleme sonrası oluşacak maksimum sıcaklıkların bulunmasında, tekerlek geometrisinin sıcaklığa etkisi, türbülanslı hava akışı, rayın soğutma etkisi, doğru frenleme senaryosu oluşturma zorluğu gibi sebeplerden dolayı matematiksel modelleme yönteminin kullanılması oldukça zor görünmektedir. Tekerleklerin teknik onay sürecinde, standartlara

göre tekerlekte maksimum sıcaklığın bulunması için labaratuvar deneyi (dinamometre testi) ve gerekirse saha testi yapılmalıdır. Dinamometre testinde genelde rayların soğutma etkisi dikkate alınmaz. Bu sebeple saha testlerinin sonuçları dinamometre test sonuçlarından farklı olabilmektedir. Durdurma frenlerinde rayların soğutma etkisi sınırlı olsada uzun süreli gerçekleştirilen çekme frenlerinde rayların soğutma etkisi dikkate alınmalıdır [39].

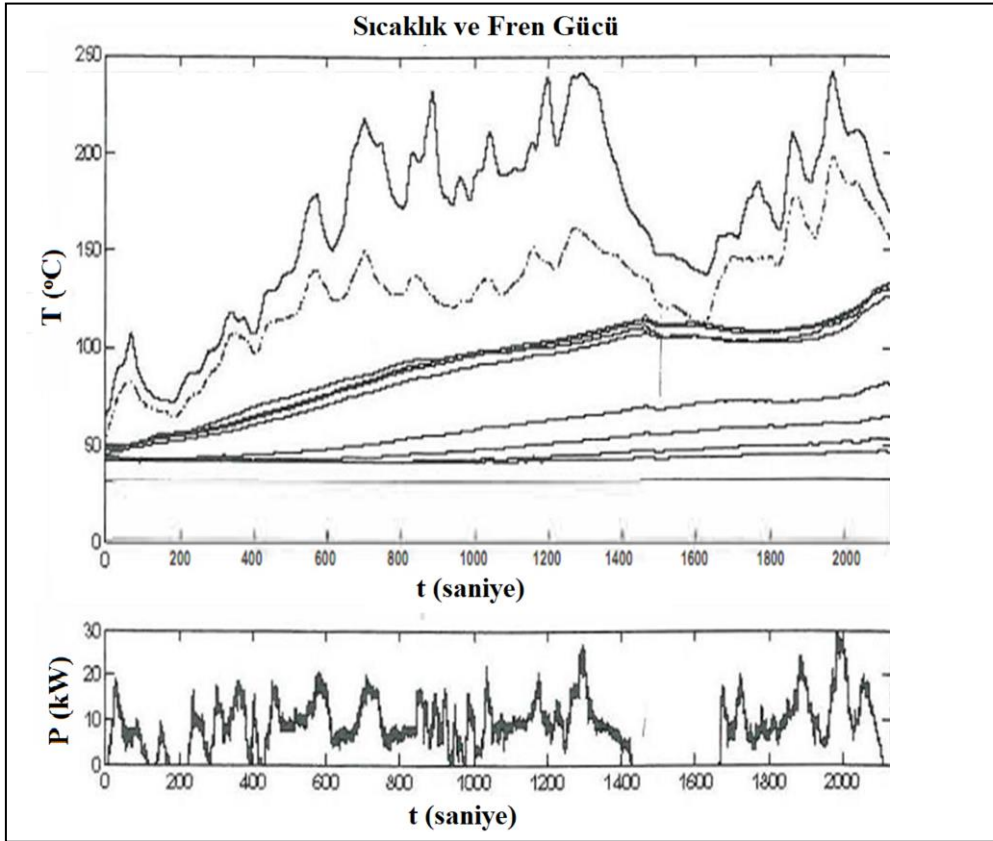
Gerek sonlu elemanlar analizi ile gerekse fren dinamometresi kullanılarak tekerlek ve saboda oluşan sıcaklıkların ölçüldüğü birçok çalışma mevcuttur. Ama bu konuyla alakalı sınırlı sayıda saha testine rastlanmıştır.

Fren sistemleri üreticisi SAB WABCO (yeni ismi Faiveley Transport) yeni bir fren sistemini denemek için 2004 yılında iki test yapmıştır [49]. Bu testlerde frenleme kuvvetiyle birlikte, tekerlek ve kompozit sabo sıcaklıklarında ölçülmüştür. İlk test Çekya-Velim’de bulunan test yolunda gerçekleştirilmiştir. SAB WABCO tarafından yapılan bu testte vagonun en önünde bulunan tekerlek takımına ait iki yeni (aşınmamış) tekerleğin yuvarlanma yüzeyi sıcaklıkları ve kompozit sabo sıcaklıkları termokupllar ile, tekerleklerin gövde sıcaklıkları ise tren durduktan sonra kızılötesi lazer termometre ile ölçülmüştür. Frenleme gücü, fren kuvveti ve hız yardımıyla hesaplanmıştır. Test sürecinde yaklaşık 34 dakika boyunca frenleme gücü yaklaşık 60 kW olan bir adet çekme freni ve birkaç kere durma freni gerçekleştirilmiştir. Test sürecinde oluşan maksimum sıcaklıklar tekerlek yuvarlanma yüzeyinde yaklaşık 450 °C, sabo ortasında 550 °C ve sabo arkasında 200 °C olarak ölçülmüştür. Test sonuçlarını içeren grafikler Şekil 7.2’de verilmiştir [49].



Şekil 7.2 Zamana Bağlı Fren Gücü Sıcaklık Grafiği

SAB WABCO ikinci saha testini Güney Afrika Cumhuriyetinde kömür taşınan bir demiryolu hattında yapmıştır. Test vagonun bojilerinde SAB WABCO tarafından üretilen kompakt fren kullanılmıştır. Tren 100 adet kömür vagonundan oluşturulmuş ve lokomotifte bulunan ve yardımcı bir fren olan dinamik fren devre dışı bırakılarak, frenleme işleminde sadece klasik hava freni kullanılmıştır. Test sürecinde frenleme işlemi makiniste bırakılmış ve normal bir seyrüsefer gerçekleşmiştir. Test vagonunda döküm tekerlekler kullanılmıştır. Fren gücü Çekya’da yapılan testlerdeki gibi yüksek değerlere ulaşmamıştır. Test sürecinde kaydedilen tekerlek sıcaklıkları ve tekerlek başına hesaplanan fren gücü Şekil 7.3’de verilmiştir [49].



Şekil 7.3 Zamana Bağlı Fren Gücü Sıcaklık Grafiği

Literatürde yapılan çalışmalara göre seyrüsefer esnasında tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklıklarının tipik değeri 204-316 °C aralığında değişmektedir [17] .

7.3 Gümüş - Yenice İstasyonları Arasında Yapılan Saha Testi

7.3.1 Testin Amacı

Bu çalışmada seyrüsefer esnasında birinde az aşınmış diğerinde ise çok aşınmış tekerlek takımı kullanılan tam yüklü iki vagona, tekerlek yuvarlanma yüzeyinde oluşan sıcaklık profilinin fren gücüne bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Tekerlekte oluşan sıcaklığı fren gücü, tekerleğin yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı ve çevre şartları gibi

parametreler belirlemektedir. Fren gücünün hesaplanması için silindir basıncı ve vagon hızı anlık olarak kaydedilmelidir.

7.3.2 Test Güzergahı

Rgns tipi konteyner vagonları ile kireç taşı taşımacılığının yapıldığı Gümüş istasyonunda (Niğde) başlayan ve Yenice (Adana) istasyonunda biten güzergah test güzergahı olarak belirlenmiştir.

İstasyonlar arası eğim % 7 ile % 23 arasında değişmektedir. Test güzergahı üzerinde bulunan istasyonların başlangıç noktasına uzaklığı ve rakım değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

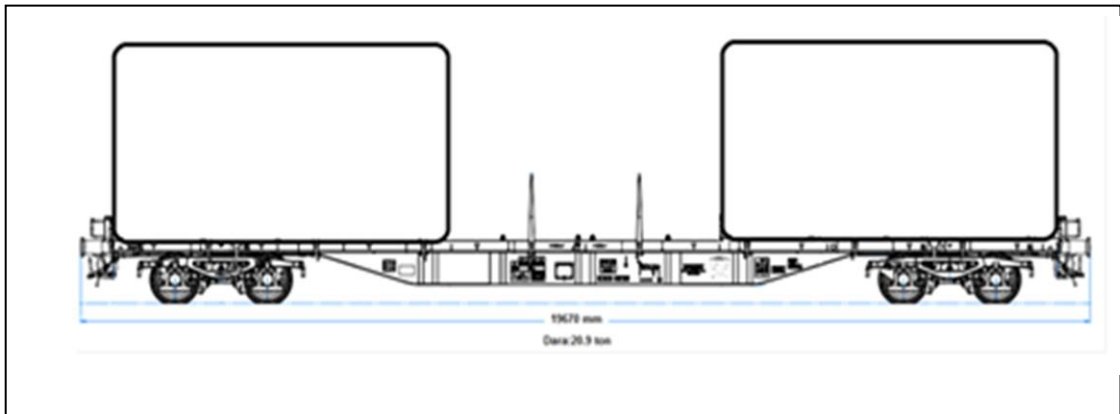
Çizelge 7.1 İstasyonların Gümüş İstasyonuna Uzaklığı ve Rakım Değerleri

Test Güzergahı	Gümüş	Çiftehan	Pozantı	Belemedik	Hacıkirı	Durak	Yenice
Gümüş İstasyonuna Uzaklık (m)	0	15077	30724	40388	55193	77171	93862
Rakım (m)	1293	949	778	703	600	250	34

Test için havanın en sıcak ve kurak olabileceği yaz ayları seçilmiştir. Testin 20.8.2019 tarihinde yapılması için gerekli izinler alınmıştır.

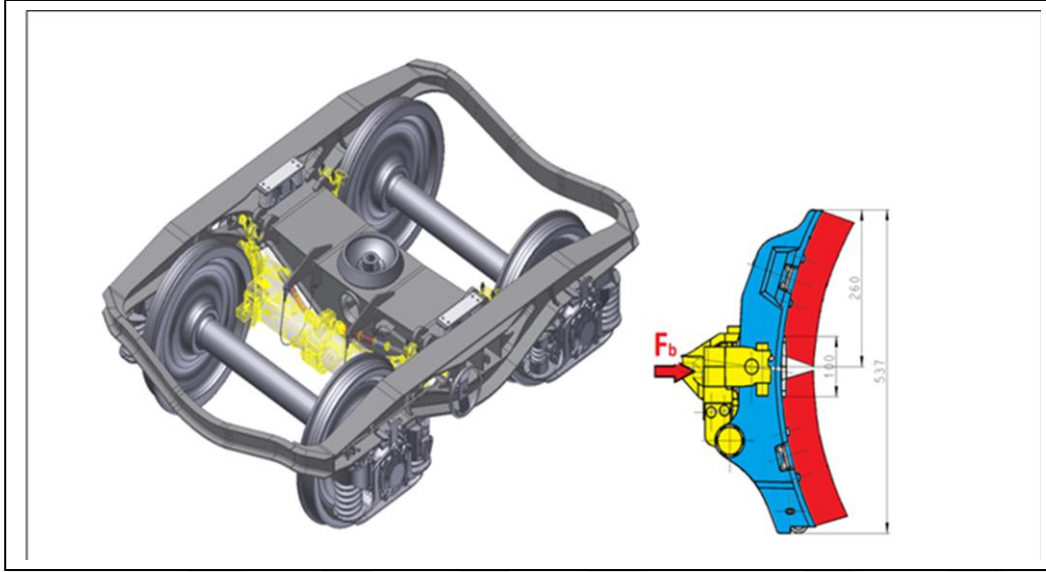
7.3.3 Test Vagonları

Test için belirlenen güzergahta kireç taşı taşımacılığında kullanılan Rgns tipi iki adet konteyner vagonu seçilmiştir. Bu vagonlardan birinin tekerleği az aşınmış diğeri çok aşınmış olacak şekilde seçilmiş ve vagonlar ardışık olarak bağlanmıştır. Şekil 7.4’de görüldüğü gibi her bir vagonun ön ve arka kısmında dolu iki konteyner bulunmaktadır.



Şekil 7.4 Rgns Vagonu ve Yükleme Düzeni

Rgns vagonları TÜDEMSAŞ tarafından 2016 yılında üretimi gerçekleştirilen TSI sertifikalı bir konteyner vagonudur. Vagonlarda kullanılan Y25 bojiler üzerinde kompakt fren sistemi (Knorr Bremse-CFCB) bulunmakta ve K-Tipi onaylı kompozit sabo (Cosid 810) kullanılmaktadır. Test vagonlarında bulunan boji ve kullanılan sabo Şekil 7.5’de görülmektedir. Bojide BA 004 tipi tekerlek takımı kullanılmaktadır. Test vagonlarının bulunduğu tren katarı, herbiri 90 ton ağırlığında 12 adet vagon ve bir dizel elektrikli lokomotiften oluşturulmuştur (yaklaşık 1200 ton).



Şekil 7.5 Y25 Lsdi Kompakt Frenli Boji ve Bgu Sabo Yapısı

7.3.4 Testte Kullanılan Ölçüm Aletleri

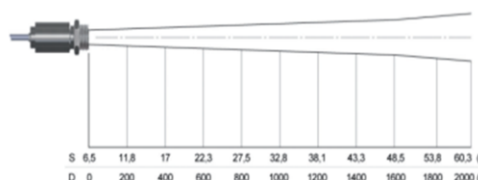


Tekerleklerin sıcaklıklarını ölçmek için temassız kızılötesi sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Mutlak sıfır (-273 °C) noktasının üzerinde sıcaklığa sahip her cisim kızılötesi radyasyon yayar. İnfrared radyasyon elektromanyetik bir enerjidir. İnfrared sensörler cismin yaydığı kızılötesi enerjiye dayanarak yüzey sıcaklığını ölçmektedir. Saha testlerinde MICRO-EPSİLON marka CTM-3SF33 model iki adet kızılötesi sıcaklık sensörü kullanılmıştır. 100-600 °C aralığında ölçüm yapmakta olan ve spektrum aralığı 2,3 µm olan bu sensör parlak yüzeyli metaller için de uygundur. Kızılötesi sıcaklık sensörünün teknik özellikleri Şekil 7.6’da verilmiştir.

Tekerlek sıcaklığının kızılötesi sıcaklık sensörüyle doğru ölçülebilmesi için sensöre uygun ışınım yayma katsayısı değeri girilmelidir. Bu değeri belirlemek için tekerleğin ispit kısmından bir parça kesilmiş, yuvarlanma yüzeyinin bir kısmı çalışan tekerlek yuvarlanma yüzeyi ile yakın parlaklık derecesine ulaşana kadar pastan arındırılmış ve yuvarlanma yüzeyine Şekil 7.7’de görüldüğü gibi siyah elektrik bandı yapıştırılmıştır. TÜDEMSAŞ

laboratuvarında bulunan kalibrasyonlu fırında test parçası çeşitli sıcaklıklara kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıklarda bir süre beklenmiştir. Siyah elektrik bandı için ışınım yayma katsayısı yaklaşık 0,96 olduğu bilinmektedir [50]. Sensörde ışınım yayma katsayısı 0,96 değerine ayarlandığında, fırın içinde bulunan test parçasının bantlı yüzeyinde sıcaklık sensörünün gösterdiği sıcaklık değeri ile fırının sıcaklık değeri yaklaşık aynıdır. Sensörde ışınım yayma katsayısı 0,671 değerine ayarlandığında fırın içindeki test parçasının paslı olmayan yüzeyindeki sensörle ölçülen sıcaklık değeri ile fırının sıcaklığının yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Her iki durumda da sıcaklık farkı %1'in altındadır. Literatür taramasında vagon tekerleği yuvarlanma yüzey sıcaklığının ölçümünde ışınım yayma katsayısı için yakın bir değerin kullanıldığı görülmüştür [27].

SICAKLIK SENSÖRÜ				
Model:	CTM-2SF75	CTM-2SF75H1	CTM-3SF22	CTM-3SF33
Sıcaklık aralığı:	385 ... 1600 °C	490 ... 2000 °C	50 ... 400 °C ¹	100 ... 600 °C ¹
Çalıştırma sıcaklığı:	Sensör	-20 ... 125 °C		-20 ... 85 °C
	Kontroler	0 ... 85 °C		
Spektrum aralığı:	1.6 μm		2.3 μm	
Optik çözünürlük:	75:1	75:1	22:1	33:1
Sistem hassasiyeti:	± (0.3 % T _{MESS} + 2 °C) ⁴			
Tekrarlanabilirlik:	± (0.1 % T _{MESS} + 2 °C) ⁴			
Sıcaklık katsayısı:	±0.05 K/K or ±0.05 %/K (whichever is greater)			
Sıcaklık çözünürlüğü:	0.1 °C ⁴			
Poz süresi (%90 sinyal):	1 ms ⁵			

D.S = 33:1






Şekil 7.6 İnfared Sıcaklık Sensörü Teknik Özellikleri [50]




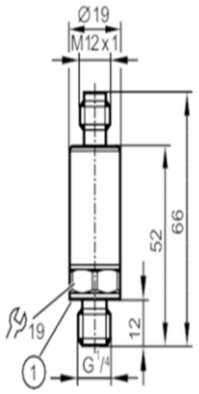
Şekil 7.7 Fırın ve Test Parçası

Yapılan saha testinde LAMBRECHT marka 14577 model bir adet rüzgar hız sensörü kullanılmıştır. Rüzgar hız sensörünün teknik özellikleri Şekil 7.8’de verilmiştir.

	Ölçme elemanı: Ölçüm aralığı/hassasiyet: Çözünürlük/Başlama değeri: Çıktılar: Boyutlar: Ağırlık:	(14577) Rüzgar Hız Sensörü 3-armed cup rotor • fail-safe 0.7...50 m/s • $\pm 2\%$ FS < 0.02 m/s • < 0.7 m/s 0(4)...20 mA = 0...50 m/s • max. load 600 Ω cup rotor \varnothing 95 mm · H 230 mm approx. 0.25 kg
	Ölçme prensibi: Uygulama aralığı:	Hall Sensor Array temperatures -30...+70 °C heated • wind speed 0...60 m/s

Şekil 7.8 Rüzgar Hız Sensörü Teknik Özellikleri [51]

Fren gücünün belirlenebilmesi için fren esnasında fren silindirinde oluşacak basıncın ve vagon hızının bilinmesine ihtiyaç vardır. Fren silindirinin basıncı, fren valfi üzerinde bulunan, basınç ölçüm noktasına yerleştirilen ” iFm” marka “PU8504” model basınç sensörü ile ölçülmüştür. Her iki vagona oluşan fren basınçlarının karşılaştırılabilmesi için iki adet basınç sensörü kullanılmıştır. Basınç sensörünün teknik özellikleri Şekil 7.9’da verilmiştir. Lokomotifin hız kayıt cihazında teknik bir arıza olduğu için lokomotifin hız kadranının video kaydı alınarak vagon hızı belirlenmiştir. Video kaydı kullanılarak hız zaman grafiği çizilmiş ve bu veriler kullanılarak bulunan yol uzunluğu ile resmi kayıtlar karşılaştırıldığında farkın % 1’in altında olduğu görülmüştür.

PU8504 Elektronik basınç sensörü PU-010-SEG14-C-DVG/US		
	Uygulama Uygulama Ortam Ortam sıcaklığı [°C] Basınç değeri [bar]	mobil uygulamalar için Sıvılar ve gazlar -40...125 25
Ölçüm / ayar aralığı		
Ölçme aralığı [bar]	0...10	
Doğruluk / sapma		
Tekrarlanabilirlik [aralığın % si]	$< \pm 0,05$; (sıcaklık dalgalanmaları < 10 K)	
Karakteristik sapma [aralığın % si]	$< \pm 0,8$; (vidalandığı zamanki sapma, sıfır ve aralık sapması, lineerlik hatası ve histeresiz dahil)	
Lineer sapma [aralığın % si]	$< \pm 0,25$ (BFSL) / $< \pm 0,5$ (LS)	
Histeresiz sapma [aralığın % si]	$< \pm 0,2$	
Tepki süresi		
Analog çıkış anlık cevap zamanı [ms]	2	

Şekil 7.9 Basınç Sensörü Teknik Özellikleri [52]

Test verilerini toplamak için "Nacionel Instrument" marka "NI USB 6002 ve NI USB 6211" model iki adet PC tabanlı Veri Toplama Kartı kullanılmıştır. Ayrıca her iki vagona da aksiyon kameraları yerleştirilmiş ancak test güzergahında yapılan yol çalışmaları sebebiyle testin akşam vakitlerinde yapılması nedeniyle sağlıklı bir kayıt alınmamıştır.

7.3.5 Test Vagonuna Test Düzeneginin Yerleştirilmesi

Şekil 7.10'da görüldüğü gibi Gümüş istasyonunda seyrüsefer için hazır bulunan tam dolu Rgns vagonları içinden, birinin tekerlek çapı büyük diğerinin tekerlek çapı küçük olacak şekilde iki vagon seçilerek peş peşe bağlanmıştır. Tekerleğin üç farklı noktasından çap ölçümü yapılarak bu değerlerin ortalaması tekerlek çapı olarak alınmıştır. Seçilen Rgns tipi 478-9 seri numaralı vagona ait tekerlek çapının 919 mm ve Rgns tipi 062-1 seri numaralı vagonun tekerlek çapının ise 880 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7-10 Test Vagonlarını Belirlemek İçin Yapılan Çalışmalar

Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'de görüldüğü gibi vagonlar belirlendikten sonra önceden hazırlanan düzenekler yardımıyla sıcaklık ve rüzgar hızı sensörleri vagon bojileri üzerine, basınç sensörleri fren valfleri üzerine ve veri toplama sistemi ise vagonların ortalarına yerleştirilmiştir.

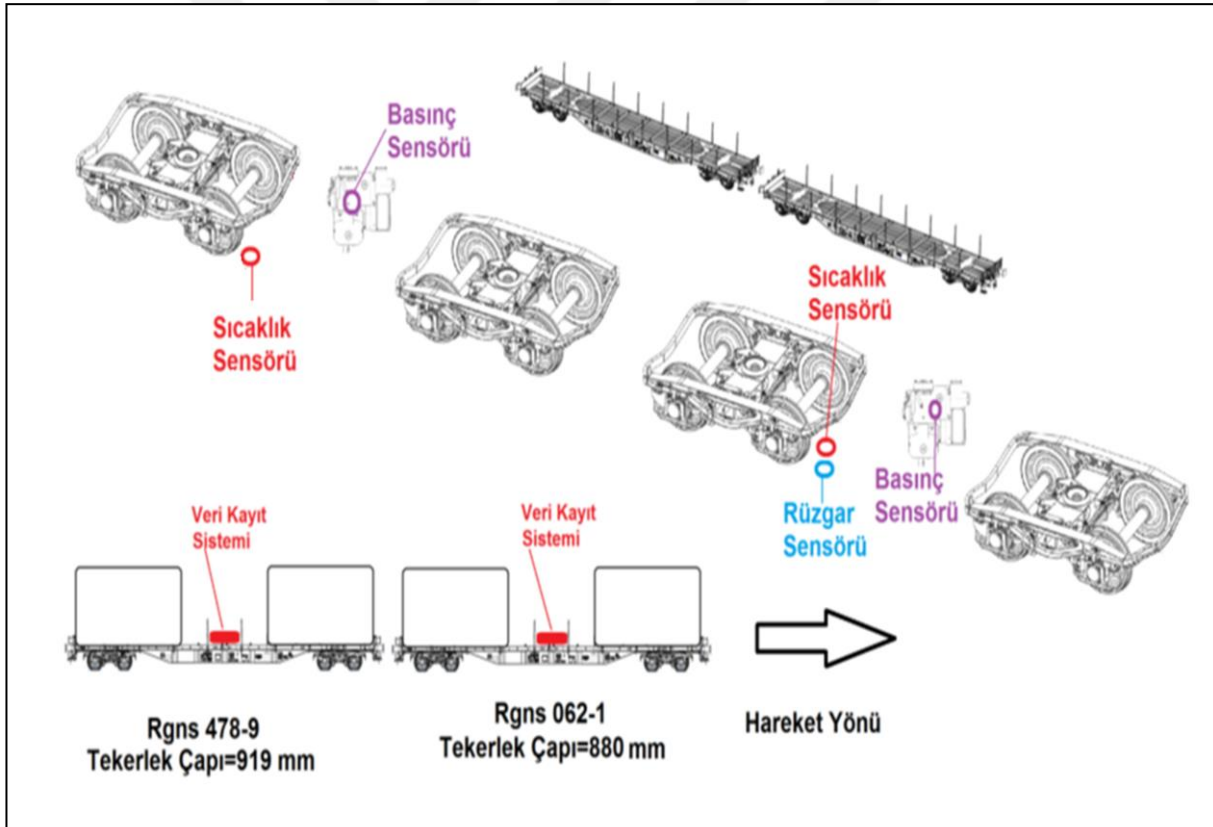


Şekil 7.11 Sıcaklık ve Rüzgar Hızı Sensörlerinin Bojiye Yerleştirilmesi



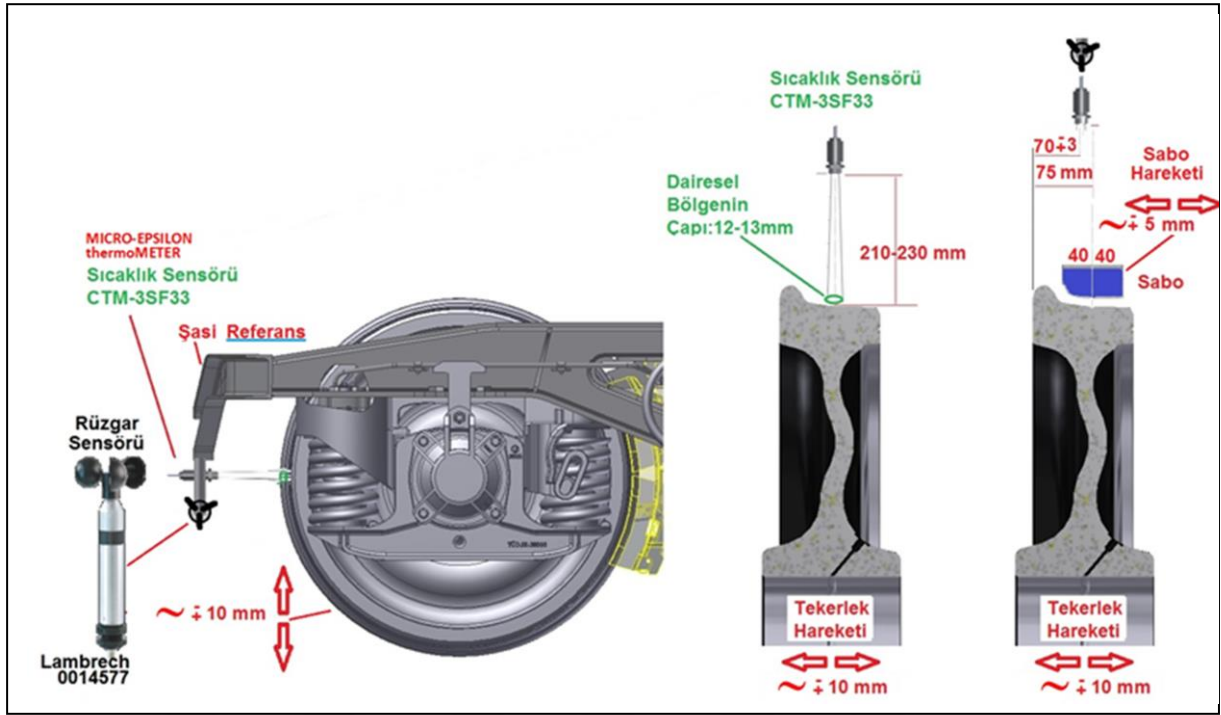
Şekil 7.12 Basınç Sensörü ve Veri Toplama Sisteminin Vagona Yerleştirilmesi

Sensör ve veri kayıt sisteminin vagon üzerindeki detaylı yerleşim planı Şekil 7.13’de verilmiştir. Basınç sensörü distribütör valfi üzerinde yer alan ve fren silindir basıncını veren test noktasına yerleştirilmiştir.



Şekil 7.13 Test Sistemi Yerleşim Planı

Sıcaklık ve rüzgar sensörü boji şasisine tekerlek yuvarlanma yüzeyini görecektir şekilde monte edilmiştir. Ancak boji şasisi referans alınırsa vagonun viraj ve düz yoldaki hareketi sebebiyle, tekerlek ve sabo sabit bir pozisyonda değildir. Sabo ve tekerleğin, şasiye göre dikey, yatay ve boyuna hareket edebileceği aralık Şekil 7.14’de verilmiştir.



7.3.6 Test Güzergahı Coğrafi, Meteorolojik ve Fiziki Veriler

Frenleme sonrası tekerlekte oluşacak maksimum sıcaklığın tespiti için kötü senaryo koşulları gereği yılın en sıcak ayları ve günün en sıcak saatlerinde testin yapılması planlanmıştır. Test belirlenen tarihte yapılmasına rağmen test başlangıcından takriben bir saat önce yağmur yağdığından hava sıcaklığı düşmüştür. Ayrıca demiryolu altyapı çalışmalarından dolayı test akşam saatlerinde yapılabilmmiştir. Test süresince herhangi bir yağış olmamış ve test rüzgarsız bir havada gerçekleşmiştir. Test güzergahı üzerinde bulunan istasyonlarda kaydedilen meteorolojik değerler, istasyonlar arası bazı coğrafi değerler, hareket ve bekleme süreleri, ortalama hız değerleri Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Test Güzergahı Coğrafi ve Meteorolojik Verileri

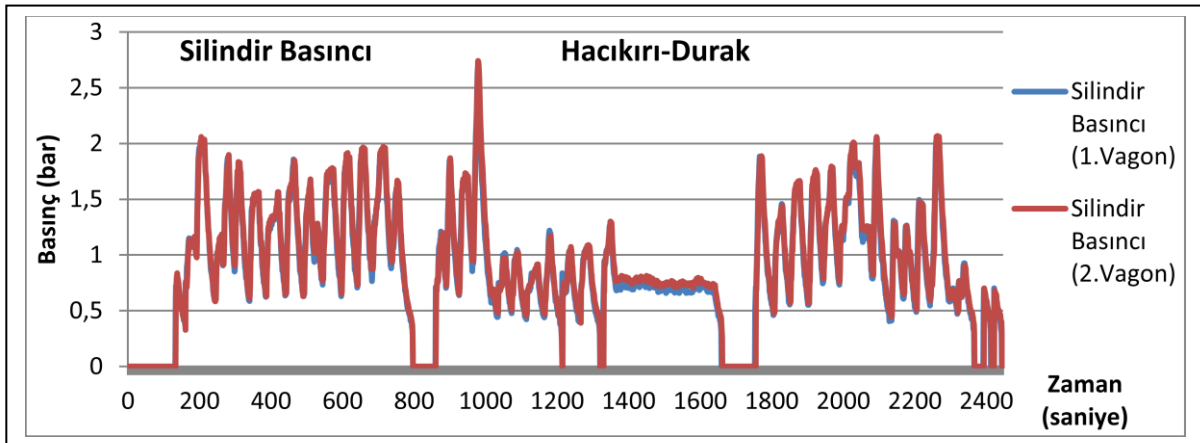
Test Güzergahı	Gümüş İstasyonuna Uzaklık (m)	Rakım (m)	Hava Sıcaklığı (°C)	Hava Nem Oranı (%)	Saat
20.08.2019					
Gümüş	0	1293	22	65	19:48:14
Çiftehane	15077	949	22	65	
Pozantı	30724	778	23	67	
Belemedik	40388	703	23	66	
Hacıkirı	55193	600	23	63	
Durak	77171	250	24	62	
Yenice	93862	34	24	61	23:53:03

Çizelge 7.3 Test Güzergahı Eğim ve Hız Verileri

Test Güzergahı 20.08.2019	Eğim (%)	Hareket Halinde Süre (s)	Bekleme Hariç Ortalama Hız (km/h)	Varışta Bekleme Süresi (s)	Bekleme Dahil Ortalama Hız (km/h)
Gümüş- Çiftehan	22,8	1468	37	0	
Çiftehan- Pozantı	10,9	1529	36,8	243	
Pozantı - Belemedik	7,8	930	36,2	2341	
Belemedik- Hacıkirı	7,0	1718	31,8	900	
Hacıkirı- Durak	15,9	2446	32,3	1919	
Durak-Yenice	12,9	1185	49,7	100	
Toplam Test Yolu İçin	13,4	9276	36,4	5403	23

7.3.7 Test Verileri

Yapılan saha testinde tekerlekte yuvarlanma yüzeyinde oluşan maksimum sıcaklıkların tespit edilmesinin yanında tekerlek çap farklarının tekerlek sıcaklığına etkisinin de görülmesi için tekerlek çapları farklı (çapları 919 mm ve 880 mm) iki vagon seçilmiştir. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için her iki vagona fren gücünün birbirine çok yakın olması gerekir. Fren gücünün belirlenebilmesi için fren kuvveti ve vagon hızının bilinmesi yeterlidir. Fren kuvveti, saboya gelen kuvvet ve sabo sürtünme katsayısına bağlıdır. Saboya gelen kuvveti silindir basıncı belirlemektedir. En yüksek tekerlek sıcaklıklarının ölçüldüğü Hacıkirı-Durak istasyonu arasında vagonların fren silindiri basıncının zamana göre değişimi Şekil 7.15’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi iki vagonunda hız ve fren silindir basınçları eşit olduğu için vagonlara uygulanan fren gücü eşit kabul edilebilir. Fren güçleri eşit olduğu için tekerlek çaplarındaki farklılığın maksimum sıcaklığa etkisi incelenebilecektir.



Şekil 7.15 Vagonların Fren Silindir Basınçlarının Zamana Göre Değişim Grafiği

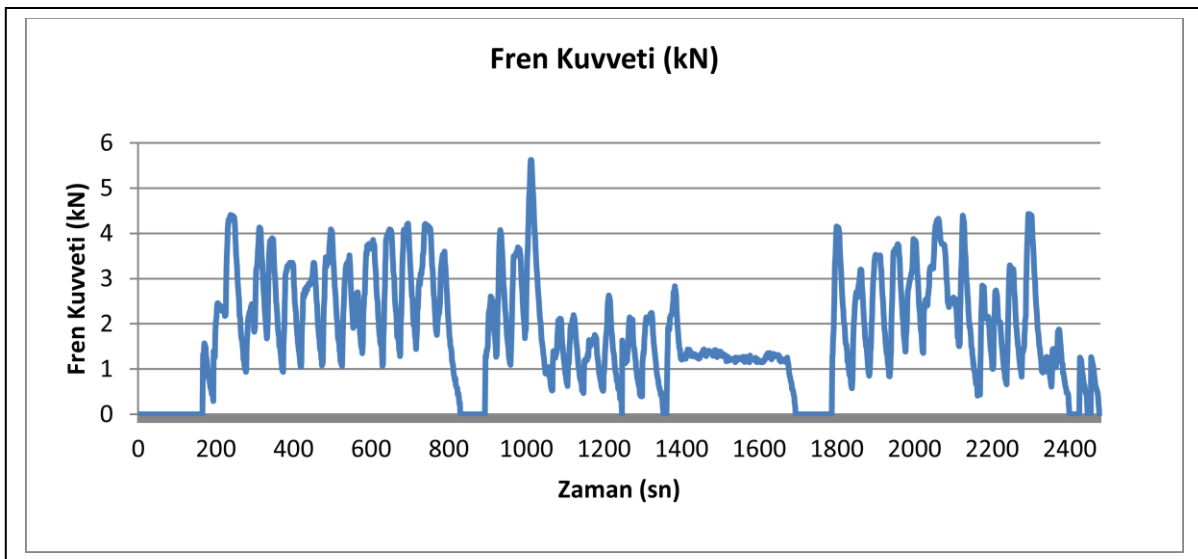
TÜDEMSAŞ tarafından üretilen Rgns vagonlarında Cosid 810 K tipi kompozit sabo kullanılmıştır. Bu vagon için Knorr Bremse firmasının hazırladığı fren hesabında yer alan silindir basıncına göre değişen sabo kuvveti, sürtünme katsayısı ve tekerlek başına düşen fren kuvveti Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Fren Kuvveti Belirleyen Parametreler

Silindir Basıncı p (bar)	Sabo Kuvveti Fs (kN)	Cosid 810 K -Tipi Sabo İçin Dinamik Sürtünme Katsayısı μ	Tekerlek Başına Düşen Fren Kuvveti (kN)
1,03	6,79	0,327	2,22
1,27	8,85	0,325	2,88
1,52	11	0,311	3,42
2,12	16,14	0,29	4,68
2,93	23,09	0,26	6,00
3,6	28,84	0,24	6,92

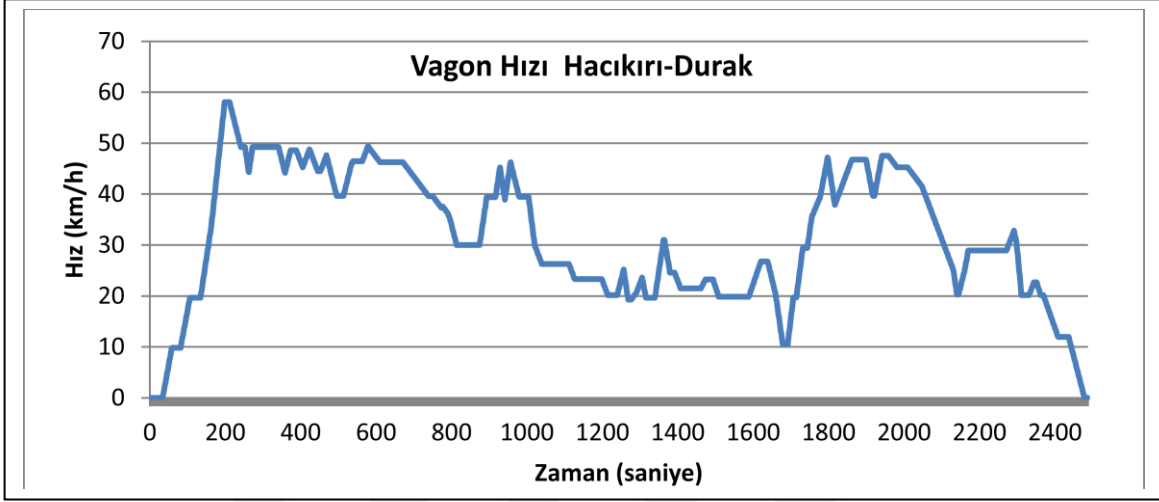
Çizelge 7.4’te yer alan verilere göre dinamik sürtünme katsayısının sabo kuvvetinin artmasıyla bir miktar düştüğü görülmektedir.

Silindir basıncına bağlı olan sabo kuvveti ile sabo dinamik sürtünme katsayısından faydalanarak tekerlek başına düşen frenleme kuvveti bulunabilir. Hacıkirı-Durak istasyonlar arası tekerlek başına düşen frenleme kuvvetinin zamana karşı değişimi Şekil 7.16’da verilmiştir.



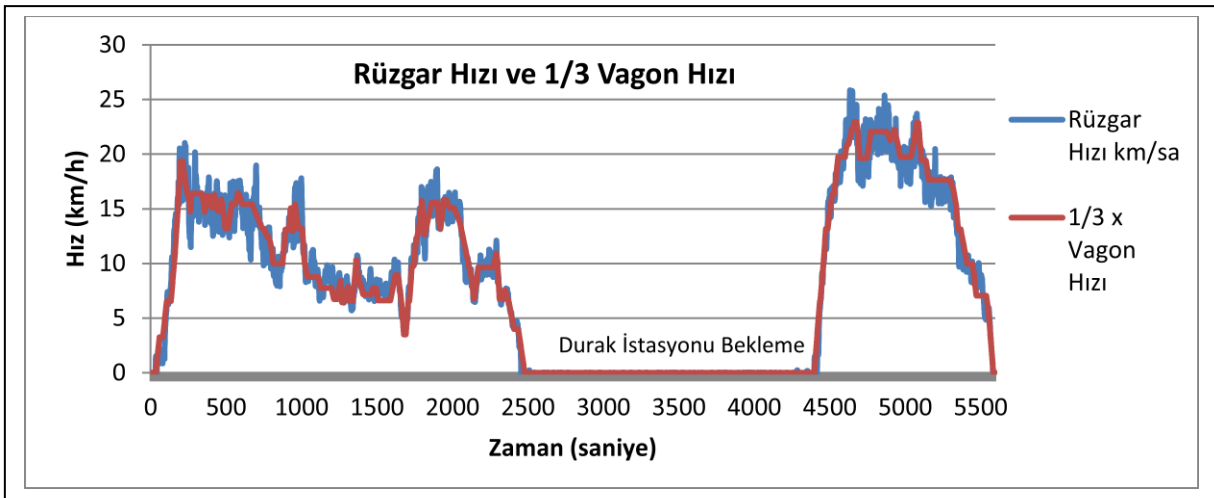
Şekil 7.16 Tekerlek Başına Düşen Fren Kuvvetinin Zamana Göre Değişimi

Lokomotifte hız kayıt cihazının arızalı olması sebebiyle lokomotifin hız kadranının video kaydı alınmış ve bu kayıttan yararlanarak hız zaman grafiği çıkarılmıştır. Hız zaman grafiğinden yararlanarak bulunan yol, istasyonlar arası uzaklığın verildiği demiryolu haritaları ile uyumlu olup fark % 1'den azdır. Hacıkırı-Durak istasyonları arası vagon hızının zamana göre değişimi Şekil 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.17 Hacıkırı Durak İstasyonları Arası Vagon Hız Grafiği

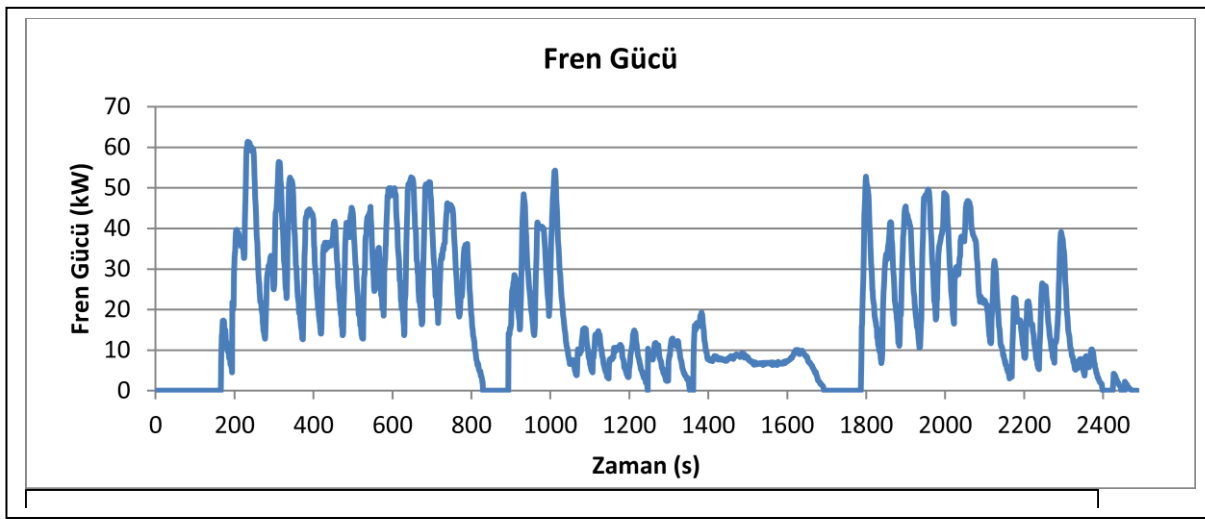
Test süresince havanın oldukça sakin olması sebebiyle, genel rüzgar hızının test sonuçlarına etkisinin olmadığı kabul edilebilir. Tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı ise vagon hızına ve tren katarı geometrisine bağlıdır. Rgns tipi konteyner vagonlarında iki konteyner uçlara yerleştirilmiş, vagonun ortası boş bırakılmıştır. Hacıkırı-Yenice arasında tekerleğin yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı ve vagon hızının 1/3'ünü gösteren grafik Şekil 7.18'de verilmiştir. Grafikte yer alan verilere göre tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı, vagon hızının 1/3'ü olarak kabul edilebilir. Durak istasyonunda bekleme esnasında rüzgar hızının sıfıra yakın olduğu, testin rüzgarsız bir havada gerçekleştiği grafikten görülmektedir.



Şekil 7.18 Hacıkırı Yenice İstasyonları Arası Rüzgar ve Vagon Hız Grafiği

Yaklaşık 22 km uzunluğundaki Gümüş-Yenice istasyonları arasında dinamik freni olmayan lokomotifler de çalışmaktadır. Dinamik freni olmayan lokomotiflerin bulunduğu trende vagon tekerleği yuvarlanma yüzey sıcaklığını bulmak ve dinamik fren kullanılması durumunda tekerlek üzerine uygulanan frenleme enerjisinin hangi oranlarda azaldığını tespit edilebilmek için Hacıkırı-Durak istasyonları arasında lokomotifin dinamik freni devre dışı bırakılarak sadece klasik hava freni kullanılmıştır.

Tekerlek sıcaklığını belirleyen en önemli parametre fren gücü ve uygulama süresidir. Fren kuvveti ve vagon hızının çarpılması ile fren gücü bulunabilir. Hacıkırı - Durak istasyonları arası fren gücünün zaman bağılı değişimi Şekil 7.19'da görülmektedir.



Şekil 7.19 Hacıkırı-Durak İstasyonları Arası Zamana Bağlı Fren Gücü Grafiği

Hacıkırı-Durak istasyonları arasında frenleme sebebiyle ısıya dönüşen enerji (fren gücü x zaman) tekerlek başına 45,5 MJ ve vagon başına (8 tekerlek için) yaklaşık 364 MJ ölçülmüştür. Bunun haricinde tekerlek ray arası sürtünme, hava direnci ve diğer dirençler sebebiyle de bir miktar ısıl enerji oluşmaktadır. Hacıkırı - Durak istasyonları arası rakım farkı 350 m dir. 90 ton kütleli bir vagon için bu istasyonlar arasındaki potansiyel enerji farkı yaklaşık 309 MJ değerindedir. Ancak vagonun potansiyel enerjisinin yanında lokomotif tarafından katarın hızını artırmak için sisteme dahil edilen kinetik enerji de vardır. 12 vagon ve bir dizel elektrikli lokomotiften oluşturulan (yaklaşık 1200 ton) tren katarında, toplam test güzergahı boyunca (Gümüş-Yenice, 94 km) yaklaşık 220 lt (\pm % 10) mazot kullanılmıştır.

Tekerleklerde oluşan sıcaklık, fren gücüne, frenleme süresine, hava şartlarına, tekerlek kütle ve geometrisine bağlıdır. Çizelge 7.5'de verilen istasyonlar ve ortalama eğimleri dikkate alındığında dinamik frenin kullanılmadığı ve istasyonlarda bekleme sürelerinin kısa olduğu bir tren seferi için tekerleklerde en fazla sıcaklık artışı eğimin en fazla olduğu Gümüş - Çiftahan

arasında beklenebilir. Ancak, testin başlangıcında ortam sıcaklığında olan tekerlekte zamanla ısı birikmesi olacak ve son istasyonlara doğru tekerleğin tüm yüzeyinde sıcaklık artacaktır. Bu sebeple en yüksek tekerlek sıcaklıkları eğimin de fazla olduğu son istasyonlar olan Hacıkırı - Durak ve Durak - Yenice istasyonları arasında görülebilir.

Çizelge 7.5 İstasyonlar Arası Ortalama Eğim Değerleri

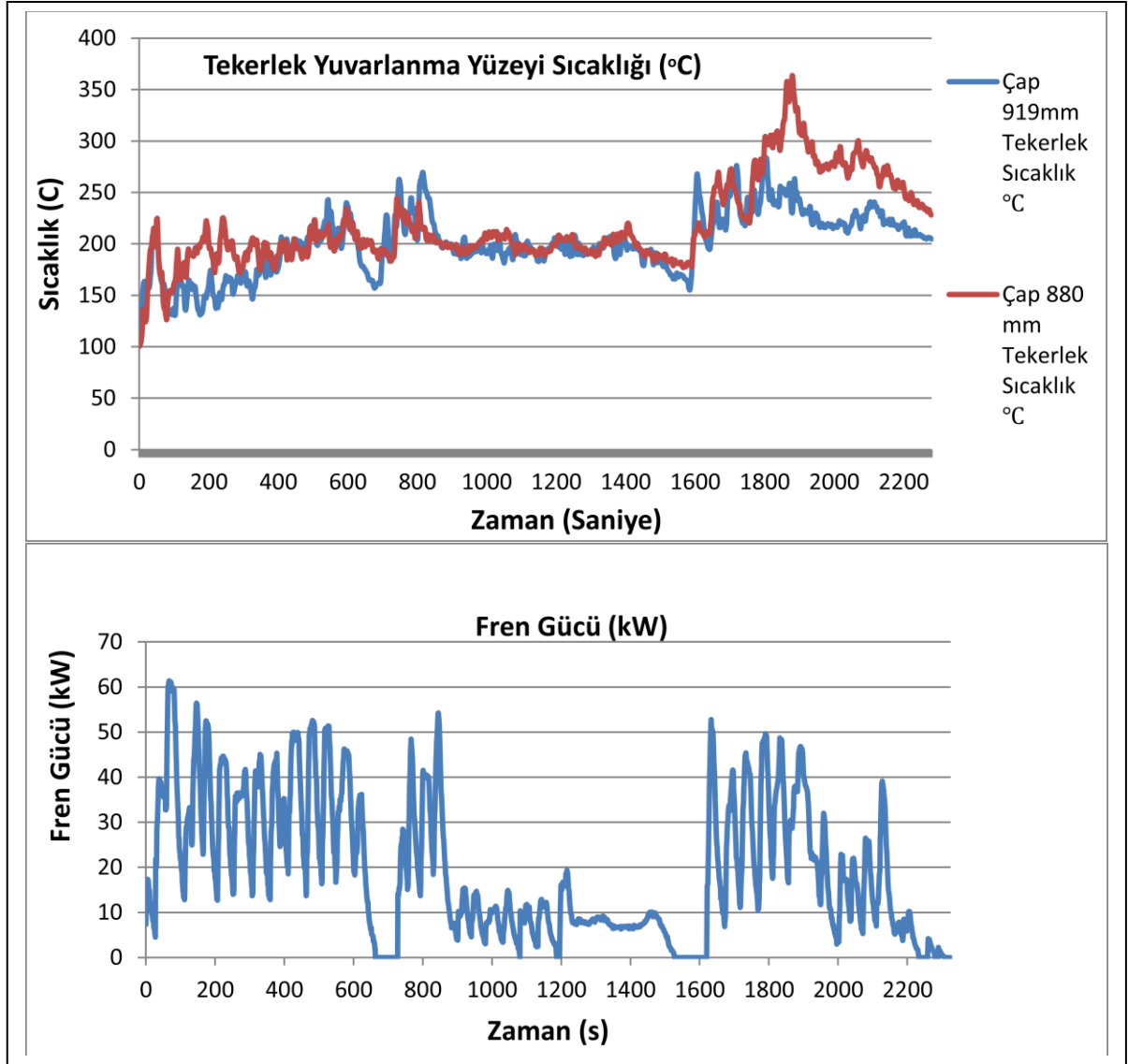
Test Güzergahı 20.08.2019	Gümüş- Çiftehan	Çiftehan- Pozantı	Pozantı - Belemedik	Belemedik- Hacıkırı	Hacıkırı- Durak	Durak- Yenice
Eğim (%)	22,8	10,9	7,8	7	15,9	12,9

Test süresince kızılötesi sıcaklık sensörü ile tekerlek yuvarlanma yüzeyinin 12-13 mm çaplı bir bölgesinden her saniye bir ölçüm alınmıştır. Tekerlekler hıza bağlı olarak saniyede 5 tura kadar dönebilmekte ve her dönüşte tekerlek ray arasında ısı iletimi gerçekleşmektedir. Tekerleğin yanal hareketi ve sabo çarığı hareketi sebebiyle frenleme esnasında sabo ve tekerleğin temas yüzeyi zaman içinde değişebilmektedir. Her frenlemede sabo tekerleğe ilk anda küçük bir yüzeyle temas etmekte ve daha sonra tüm basma yüzeyi tekerlekle örtüşmektedir. Tüm bu ve benzeri durumlar sebebiyle tekerlek yüzeyinde sıcaklık sensörü tarafından okunan ardışık sıcaklık değerlerinde dalgalanmalar olabilmektedir. Bu sıcaklık verilerinde ki dalgalanmaları azaltmak için herhangi bir andaki sıcaklık verisi olarak (kendisinden önce ve kendisinden sonra gelen sıcaklık verileri ile birlikte) ardışık üç verinin karelerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunan sıcaklık değeri kullanılmıştır. Bu şekilde hesaplanan tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklıkları Şekil 7.20’de verilmiştir.

Şekil 7.20’de görüldüğü gibi tekerleğin ispit kısmının yuvarlanma yüzeyindeki en yüksek sıcaklıklar küçük çaplı tekerlek için 363,7 °C ve büyük çaplı tekerlekte 289,0 °C olarak ölçülmüştür. Frenlemeyle birlikte sabonun tekerleğe ilk bastığı saniyeler içinde fren gücüyle doğru orantılı olarak ispit yuvarlanma yüzeyinde ani sıcaklık artışları olmaktadır. Ancak bu ani sıcaklık artışları sonrasında havaya, ispitin iç kısımlarına ve raya olan ısı transferi sebebiyle yuvarlanma yüzeyinde sıcaklık normal değerlere gelmektedir.

Hacıkırı - Durak istasyonları arasında silindir basıncı 0,7 bar ile 2,1 bar arasında olacak şekilde frenleme yapılmış ve frenlemelerden yalnızca birinde silindir basıncı 2,1 bar’ı geçmiştir (2,7 bar). Maksimum hızın 58 km/h olduğu testte maksimum fren gücü 61 kW olarak gerçekleşmiştir. Tam dolu yük vagonu 100 km/h hıza kadar çıkabilmektedir. Bu hızlarda iken tam fren yapılması durumunda (3,8 bar silindir basıncı) fren gücü 200 kW değerlerine ulaşabilmektedir. Eğer test esnasında bu fren gücü değerlerine ulaşılabilseydi maksimum tekerlek yüzey sıcaklığının çok daha yüksek olması beklenebilirdi. Ayrıca yol

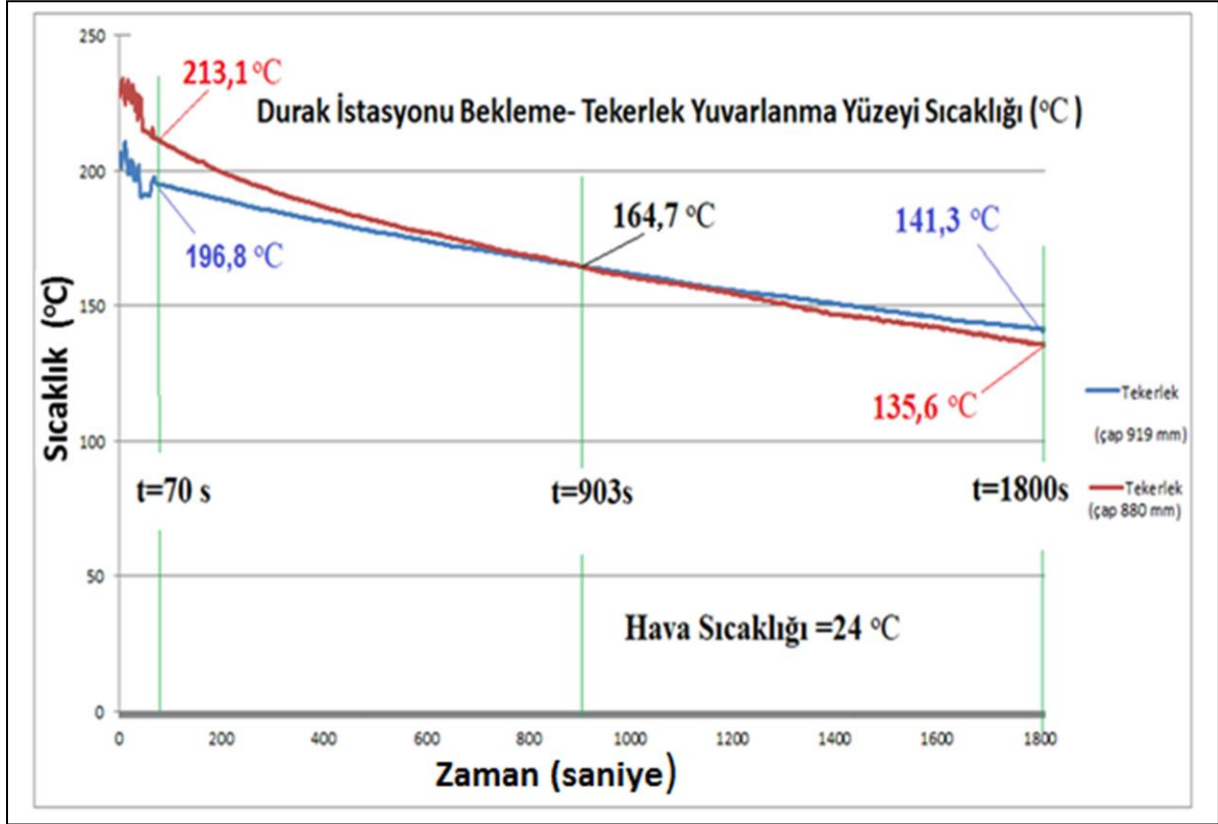
çalışmaları ve tren trafiği sebebiyle istasyonlarda çok uzun süre beklemek zorunda kalındığından bu bekleme süresinde tekerlekte biriken ısının önemli bir bölümü havaya transfer edilmiş ve bu durum daha yüksek tekerlek sıcaklığının görülmesini engellemiştir. Test öncesinde test süresi 3 saat olarak planlanmıştır. Ancak 94 km uzunluğundaki test yolu istasyonlarda bekleme süresinin (1,5 saat) fazla olması nedeniyle yaklaşık 4,5 saatte katedilmiştir. Testin planlanan süre içinde bitirilmesi mümkün olsaydı, muhtemelen daha yüksek tekerlek sıcaklıkları ölçülebilirdi.



Şekil 7.20 Hacıkırı Durak istasyonları Arası Fren Gücü ve Tekerlek Sıcaklıkları Grafiği

Tekerleklerde raya değen yuvarlanma yüzey profilinin zamanla aşınarak bozulması sebebiyle tekerlekler profil tornasına tabi tutulur. Bu durumda tekerleğin çapı, ispit kalınlığı düşer ve kütlesi azalır. Şekil 7.20’de görüldüğü gibi Hacıkırı istasyonunda tren dururken, hareket öncesi tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklıkları büyük çaplı tekerlekte 119,5 °C ve küçük çaplı

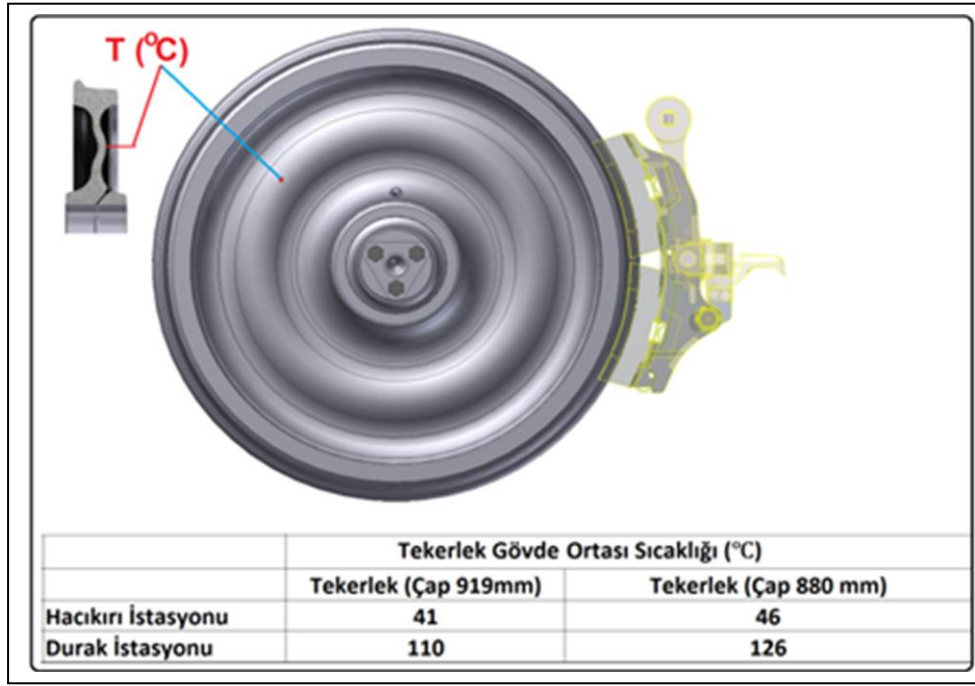
tekerlekte ise 100,5 °C, Durak istasyonuna gelidiğinde ise bu değerler sırasıyla 196,8 °C ve 213,1 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 7.21’de ise Durak istasyonunda bekleme süresi içinde tekerlek yuvarlanma yüzey sıcaklığının zamanla değişimi verilmiştir.



Şekil 7.21 Durak İstasyonunda Bekleme Süresince Tekerleklerde Sıcaklık Değişimi Grafiği

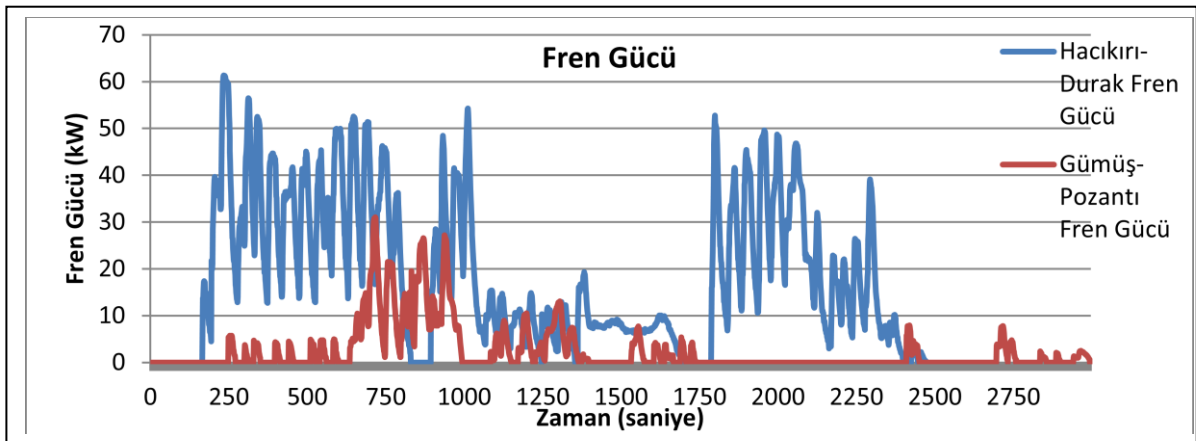
İlk bir dakika içinde her iki tekerlekte de hızlı sıcaklık düşüşleri görülmektedir. İspitin yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı, frenleme sebebiyle yüzeyin hemen altındaki bölge sıcaklığından daha yüksektir. Vagonun durması ve fren uygulamasının bitirilmesinden bir süre sonra (grafiğe göre yaklaşık 70 s) ispit yüzeyiyle daha alt bölgelerin sıcaklıkları birbirine yaklaşmakta ve tekerlek normal soğuma sürecine girmektedir. Grafiğe göre yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı küçük çaplı (çap 880 mm) tekerlekte büyük çaplı (919 mm) tekerleğe göre daha hızlı düşmektedir. Yaklaşık 30 dakika bekleme süresi sonunda sıcaklık düşme miktarı küçük çaplı tekerlek 80 °C, büyük çaplı tekerlekte 55 °C dir. Durak İstasyonunda hava sıcaklığı 24 °C olarak ölçülmüştür.

Hacıkırı ve Durak istasyonlarına varıştan yaklaşık iki dakika sonra el tipi lazer termometreyle ölçülen tekerlek gövde ortasının sıcaklıkları Şekil 7.22’de verilmiştir. Test sonunda sabolarda yapılan incelemelerde sabo yan yüzeyinde var olan çatlaklarda uzama ve sabonun birinde köşeden küçük parça kompası olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.22 İstasyonlarda Ölçülen Tekerlek Gövde Ortası Sıcaklıkları

Test güzergahında gerçek şartlarda dinamik freni olan DE22000, DE33000 tipi ve dinamik freni bulunmayan DE24000 tipi dizel lokomotifler kullanılmaktadır. Ülkemiz genelinde anahat lokomotiflerinin yaklaşık % 42'si dinamik freni bulunmayan DE24000 tipi lokomotiflerdir. Dinamik fren, hava freni kullanımını büyük oranda azalttığı için tekerleğe gelen ısıl yükde azalmaktadır. Testte dinamik fren bulunan DE33000 tipi lokomotif kullanılmıştır. Dinamik fren kullanımının tekerleğe gelen fren gücü ve dolayısıyla tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı üzerine etkisini araştırmak için Hacıkirı- Durak istasyonları (toplam yolun % 23,4'ü) arasında lokomotifin dinamik freni devre dışı bırakılmış, test güzergahının kalan kısmında dinamik fren kullanılmıştır. Şekil 7.23'de dinamik frenin kullanılmadığı Hacıkirı-Durak arasında bir tekerleğe gelen fren gücünün ve dinamik frenin kullanıldığı Gümüş-Yenice istasyonları arası bir tekerleğe gelen fren gücünün zamanla değişimi verilmiştir. Grafiğin altında kalan bölgenin alanı bir tekerleğe gelen frenleme enerjisini verecektir.



Şekil 7.23 Hacıkirı-Durak ve Gümüş-Pozantı Arası Bir Tekerleğe Gelen Fren Gücü Grafiği

Frenleme sebebiyle tekerlek başına ısıya dönüşen enerji Hacıkırı-Durak istasyonları arasında 45469 kJ (bir vagon için 363,7 MJ), Gümüş-Pozantı istasyonları arasında ise 7322 kJ (bir vagon için 58,6 MJ) olarak ölçülmüştür. Sürekli aşağı yönlü harekette toplam frenleme enerjisini etkileyen en önemli parametre iki istasyon arası yükseklik farkından kaynaklanan potansiyel enerjidir. Çizelge 7.6'da İstasyonlar arası bir vagon için potansiyel enerji farkı ve uygulanan frenleme enerjisi verilmiştir.

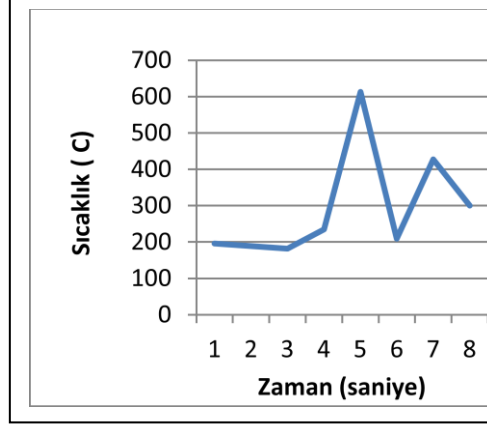
Çizelge 7.6 Uygulanan Frenleme Enerjisi Karşılaştırması

Test Güzergahı	Hacıkırı-Durak	Gümüş- Pozantı
Rakım farkı (m)	350	515
Bir Vagon İçin (90 ton) İstasyonlar Arası Potansiyel Enerji Farkı (MJ) (m.g.h)	308,7	454,7
Frenleme Enerjisi (MJ)	363,7	58,6
Frenleme Enerjisinin, Potansiyel Enerjisine Oranı (%)	117,8	17,5

Çizelge 7.6'da görüldüğü gibi bir vagon için dinamik frenin uygulanmadığı Hacıkırı-Durak istasyonları arasında frenleme enerjisi, istasyonlar arası potansiyel enerji farkının % 117,8'si iken dinamik frenin uygulandığı Gümüş Pozantı istasyonları arasında bu değer % 17,5'i dir. Grafikte verilmeyen dinamik frenin uygulandığı Durak-Yenice istasyonları arasında ise vagona uygulanan frenleme enerjisi, istasyonlar arası potansiyel enerji farkının % 12,9'u dur. Verilere göre dinamik fren kullanılması durumunda 1200 tonluk bir tren katarı için vagonlarda tekerleklere uygulanan frenleme enerjisinin % 85-89 oranında azaldığı söylenebilir.

Şekil 7.24'de görüldüğü gibi zaman zaman genel sıcaklık eğilimine uymayan tekil sıcaklık verileri (400 - 600 °C) kaydedilmiştir. Bu sıcaklıklar tekerlek yuvarlanma yüzeyi ortalama sıcaklık değerinin 2-3 katı aralığındadır. Bu durumun sebebi tam olarak anlaşılammakla birlikte, kompozit sabo içeriğinde bulunan bazı kimyasal maddelerin sürtünme sonucunda tekerlek ve sabonun küçük bir bölgesinde çevre bölgelerden farklı olarak aşırı ısı üretmesi veya frenleme esnasında sabonun basma yüzeyinin bir bütün olarak aynı anda basmaması, basmaya çok küçük bir yüzeyle başlaması gibi nedenlerin sıcak nokta oluşturabileceği şeklinde değerlendirilmektedir. Test sürecinde frenleme esnasında zaman zaman kıvılcımlar çıktığı da görülmüştür. Fec ve Şehitoğlu [39] sıcak nokta (hot spotting) sebebiyle oluşan termomekanik hasarlar üzerine yaptıkları çalışmada, sıcak noktayı hızın 22 m/s üzerinde olduğu ve yuvarlanma yüzeyinde sıcaklığın 450 °C'yi geçtiği küçük bölgeler olarak tanımlamaktadır. Tekerlek yuvarlanma yüzeyinde sıcak noktaların fren uygulamasının başında hızlı bir şekilde büyüdüğünü ve bu sıcak noktaların tekerleğin bir tur dönmesiyle

soğuduğunu, ve bu ısınma soğuma çevriminin tekerlekte oluşan ısıl çatlakların ana sebeplerinden biri olduğu belirtilmektedir.



Şekil 7.24 Genel Sıcaklık Eğilimine Uymayan Anlık Sıcaklık Artış Grafiği

8. SONUÇ

Yük vagonlarında sabonun (fren pabucu) tekerlek yuvarlanma yüzeyine baskı uygulaması ile frenleme gerçekleşmektedir. Demir yollarında aşağı yönlü eğimin fazla ve uzun olduğu güzergahlarda katarın hızının artmaması için uzun süreli yapılan frenleme sonucunda tekerlek yuvarlanma yüzeyinde yüksek sıcaklıklar oluşmakta ve bu durum çeşitli tekerlek hasarlarına sebep olmaktadır.

Frenleme sonucu aşırı ısınmadan dolayı tekerlek yuvarlanma yüzeyinde kalıcı şekil değiştirme problemlerinin çok sık gözleendiği güzergahlardan biri olan, eğimin fazla ve uzun olduğu Gümüş-Yenice istasyonları arasında çalışan iki adet Rgns tipi konteyner vagonu üzerinde saha testi yapılmıştır. Seyrüsefer esnasında frenlemeyle birlikte tekerlek sürtünme (yuvarlanma) yüzeyinde oluşan en yüksek sıcaklıklar tespit edilmiştir.

Yapılan test için kompakt frenli Y25 bojiye sahip, TSI sertifikalı, 2017 yılında üretimi TÜDEMSAŞ tarafından yapılan iki adet Rgns tipi konteyner vagonu seçilmiştir. Vagonların gidiş yönündeki ikinci bojilerinin aynı tarafta bulunan ilk tekerlekleri ölçüm için seçilmiştir. Tekerlek çapının tekerlek sürtünme (yuvarlanma) yüzeyinde oluşacak sıcaklıklara etkisini de görmek için tekerlek çapları arasında fark olacak şekilde vagonlar seçilmiştir (çap 919 mm ve çap 880 mm). Vagonların frenleme sisteminde UIC onaylı yüksek sürtünme katsayılı K-tipi kompozit sabo (Bgu yapısı) bulunmaktadır.

Tekerlek üzerinde sıcaklığın artmasına sebep olan parametreler fren gücü ve fren süresidir (tekerlek ray arası sürtünmenin tekerlek ısınmasına katkısı sınırlıdır). Fren gücü, vagon hızına ve fren kuvvetine bağlıdır. Bu sebeple frenleme sonrası vagonların fren silindrine gelen basınçlar, basınç sensörleri yardımıyla ölçülmüş ve her iki vagonda oluşan silindir basınçlarının çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Vagon hızlarında eşit olduğundan vagonlara uygulanan fren güçlerinin çok yakın olduğu kabul edilebilir. Tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklıkları kızılötesi sıcaklık sensörüyle ölçülmüştür. Ayrıca tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı da rüzgar hız sensörüyle ölçülmüştür. Test rüzgarsız bir havada ve yaz mevsiminde yapılmış, ilgili meteorolojik değerler kayıt altına alınmıştır.

Toplam test yolunun uzunluğu (Gümüş-Yenice) 94 km ve toplam test süresi 4,5 saattir. Bu sürenin 1,5 saati ara istasyonlarda trafik yoğunluğu sebebiyle bekleme süresidir. Testten önce testin havanın daha sıcak olduğu öğle vaktinde yapılması ve ara istasyonlarda bekleme süresi dahil toplam testin 3 saat civarında sürmesi planlanmıştır. Ancak yol çalışması sebebiyle

test akşam saatlerinde yapılabilmiş, testten bir saat önce yağmur yağmış ve test planlanandan daha uzun sürmüştür.

Yapılan testte hız ve frenleme tamamıyla makinistin insiyatifinde gelişmiştir. Gümüş - Hacıkırı istasyonları arasında vagonlara düşen frenleme yükünü azaltan, hava frenine yardımcı bir fren olan dinamik fren kullanılmıştır. Gerek son istasyonlar olması gerekse yol eğiminin ortalamanın üstünde olması nedeniyle tekerleklerde ısı birikiminin ve sıcaklığın en yüksek değerlere ulaşmasının beklendiği Hacıkırı-Durak istasyonları arasında lokomotifin dinamik freni devre dışı bırakılarak normal hava freni kullanılmıştır. Hacıkırı-Durak arasında lokomotifte bulunan dinamik frenin devre dışı bırakılmasının en önemli sebebi, o bölgede de kullanılan ve dinamik freni olmayan DE24000 tipi lokomotiflerin sayıca tüm anahat lokomotiflerinin yaklaşık % 42'si gibi yüksek sayıda olmasıdır (TCDD Taşımacılık 2018 istatistiği). Böylece hem lokomotifte dinamik freninin bulunmaması durumunda tekerlekte oluşacak en yüksek sıcaklıklar hem de, tekerleklerde oluşan frenleme yükünün azaltılmasında dinamik fren kullanımının etkisi incelenebilmiştir.

Hacıkırı istasyonundan seyrüsefere başlamadan hemen önce tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı büyük çaplı tekerlekte 119,5 °C ve küçük çaplı tekerlekte ise 100,5 °C olarak ölçülmüştür. Test süresince en yüksek sıcaklıklar Hacıkırı-Durak istasyonu arasında yapılan seyrüseferde kaydedilmiştir. En yüksek tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı küçük çaplı tekerlekte 363,7 °C ve büyük çaplı tekerlekte 289,0 °C dir. Yaklaşık 22 km uzunluğundaki Hacıkırı-Durak istasyonları arası seyrüseferde vagon başına 364 MJ frenleme enerjisi kullanılmıştır. Test süresince en yüksek fren gücü değeri Hacıkırı-Durak istasyonları arasında 61 kW olarak gerçekleşmiştir. En yüksek fren gücüne, test süresince görülen en yüksek hızda (58 km/h) ulaşılmıştır. Yapılan frenler kısmi frenler olup silindir basıncı 0,7-2,1 bar arasındadır. Vagonlar gidebileceği maksimum hıza (100 km/h) ulaşıyorsa ve tam fren uygulansaydı (silindir basıncı 3,8 bar) fren gücünün 200 kW civarında olması beklenirdi. Testte ölçülen en büyük fren gücü bu değer yaklaşık % 30'dur.

Durak istasyonuna geldikten bir dakika sonra büyük çaplı tekerlekte yuvarlanma yüzeyinde ki sıcaklık 196,8 °C ve küçük yarıçaplı tekerlekte ise 213,1 °C olarak ölçülmüştür. Hacıkırı - Durak istasyonları arası seyrüseferin başlangıcında ve bitiminde ölçülen sıcaklıklar dikkate alındığında büyük çaplı tekerlekte sıcaklık artışı 77,3 °C iken küçük çaplı tekerlekte 112,6 °C dir. Hava sıcaklığının 24 °C olduğu, rüzgarın olmadığı Durak istasyonunda yaklaşık 29 dakika bekledikten sonra büyük çaplı tekerlekte yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı 141,3 °C'ye düşerken

(azalma 55,5 °C) küçük çaplı tekerlekte yuvarlanma yüzey sıcaklığı 135,6 °C'ye kadar düşmüştür (azalma 77,5 °C). Küçük çaplı tekerlek yuvarlanma yüzeyi sıcaklığı büyük çaplı tekerleğe göre, frenleme sonrası belirgin bir şekilde daha hızlı artmakta ve serbest soğuma esnasında ise daha hızlı azalmaktadır.

İstasyonlarda bekleme süresi ortalama bekleme süresinden fazla olmasına rağmen Hacıkirı ve Durak istasyonlarında harekete başlamadan hemen önceki sıcaklıklar bakıldığında tekerlekte ısı birikmesi sebebiyle tekerleğin ispit kısmının sıcaklıklarında 25-30 °C artış olduğu söylenebilir. Bekleme süresi uzun olduğu için ispit ile yuvarlanma yüzeyi sıcaklıklarının birbirine çok yakın olduğu kabul edilebilir.

Veriler incelendiğinde frenlemenin başladığı ilk saniyelerde tekerlek yuvarlanma yüzey sıcaklığında ani artışlar olmakta ve akabinde bu sıcaklık bir miktar düşmektedir. Fren gücü 40-60 kW arasında iken ani sıcaklık yükseliş değerleri 50-100 °C aralığındadır.

Çalışmamızda dinamik fren uygulamasının tekerleklere gelen frenleme enerjisinin miktarına etkisi de incelenmiştir. Çizelge 7.6'da yer alan verilere göre dinamik fren uygulanmasın yapıldığı durumlarda tekerleklere gelen frenleme enerjisinin % 85-89 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 7.24'de görüldüğü gibi zaman zaman genel sıcaklık eğilimine uymayan tekil sıcaklık verileri (400 - 600 °C) kaydedilmiştir. Bu sıcaklıklar tekerlek yuvarlanma yüzeyi ortalama sıcaklık değerinin 2-3 katı aralığındadır. Bu durumun sebebi tam olarak anlaşılamamakla birlikte, kompozit sabo içeriğinde bulunan bazı kimyasal maddelerin sürtünme sonucunda tekerlek ve sabonun küçük bir bölgesinde çevre bölgelerden farklı olarak aşırı ısı üretmesi veya frenleme esnasında sabonun basma yüzeyinin bir bütün olarak aynı anda basmaması, basmaya çok küçük bir yüzeyle başlaması gibi nedenlerin sıcak nokta oluşturabileceği şeklinde değerlendirilmektedir. Test sürecinde frenleme esnasında zaman zaman kıvılcımlar çıktığı da görülmüştür.

Testte ayrıca tekerlek yuvarlanma yüzeyine gelen rüzgar hızı ölçülmüştür. Durgun bir havada tekerleğe gelen rüzgar hızı büyük oranda vagonun hızına ve tren katarının geometrisine bağlıdır. Testte kullanılan Rgns tipi dolu konteyner vagonları (iki uçta konteyner var orta boş) için rüzgar hızı vagon hızının 1/3' olarak ölçülmüştür. ORE (ERRI) Raporuna göre tekerleğin termomekanik testi için test düzeneğinde rüzgar hızı "0.6xVagon Hızı" olmalıdır. EN 13979 standardına göre ise frenleme tezgahı deney işlemlerinde, benzeştirilen rüzgar hızı

vagonun hızının yarısı kabul edilmiştir. Ancak frenleme sonucunda tekerlekte oluşacak maksimum sıcaklığı tespit etmek için yapılan dinamometre testi veya sonlu elemanlar analizinde tekerlek yüzeyine gelen rüzgar hızı olarak “ 0.6xVagon Hızı “ veya “ 0.5xVagon Hızı “ yerine “ 1/3xVagon Hızı” değerinin kullanılmasının, kötü senaryo şartlarının dikkate alınması açısından daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yapılan saha testinde en kötü senaryo gerçekleşmemiştir. En kötü senaryo gerçekleştirilerek bu saha testi yapılabilseydi; yani hali hazırda bu bölgede kullanılan ve dinamik freni olmayan bir lokomotif test için seçilebilseydi, istasyonlarda bekleme süresi normalin çok üstünde gerçekleşmemiş olsaydı, tekerlek çapı daha küçük olan bir tekerlek seçilebilseydi, frenlemede normal şartlarda beklendiği üzere tam fren (silindir basıncı 3,8 bar) uygulanabilseydi ve 36,4 km/h olan ortalama hız (bekleme süresi hariç) daha büyük değerlere ulaşabilseydi, tekerleklerde ısı birikmeleri sebebiyle Hacıkırı-Yenice istasyonları arasında çapı küçük olan tekerleğin yuvarlanma yüzey sıcaklığında daha büyük değerler görülmesi beklenebilirdi. Ayrıca testten hemen önce yağmur yağması ve testin akşam saatlerinde yapılması sıcaklığın daha büyük değerlere ulaşmasını engellemiştir. Mevcut işletme şartlarında hız 60 km/h ile sınırlandırılmıştır. Dinamik freni olmayan lokomotifin çektiği bir katarıda hızın daha fazla artırılması tekerleklerde ciddi aşınma ve kalıcı şekil değişimine ve sabo hasarlarına sebep olabilecektir. Test vagonunda kullanılan BA 004 tipi tekerlek termostabil bir tekerlektir. Termostabil tekerlek, ısının daha hızlı bir şekilde havaya iletilebilmesi için gövde bölgesinin alanı daha büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Halihazırda ülkemizde termostabil olmayan tekerleklere sahip vagonlar daha fazla kullanılmaktadır. Termostabil olmayan tekerleklerde daha yüksek sıcaklık değerleri görülmesi beklenebilir.

9. SORUNUN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÖNERİLER

Türkiyenin coğrafi şartları gereği, ülkemizde demiryolu eğimin fazla olduğu bir çok güzergah bulunmaktadır. Bu güzergahlarda çalışan trenlerde frenleme sonrasında tekerlek yuvarlanma yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklık kaynaklı tekerlek hasarları görülmekte bu durum demiryolu güvenliğini de azaltmaktadır.

2018 yılında, TÜDEMSAŞ Bakım Onarım Fabrikasına gelen, Gümüş (Niğde)-Yenice (Adana) istasyonları arası çalışan 14 adet Rgns tipi konteyner vagonunda ısı sebepleriyle oluşmuş tekerlek hasarları tespit edilmiş ve bu konuyla ilgili TÜDEMSAŞ Genel Müdürlüğü, bir rapor hazırlamıştır. Hasarlı tekerleklerden biri Şekil 7.1’de görülmektedir.

Seyrüsefer esnasında eğimin fazla ve uzun olduğu güzergahlarda frenlemeyle birlikte tekerleğin genel sıcaklığı artar, yuvarlanma yüzeyindeki sıcaklık çok daha büyük değerlere ulaşır ve tekerleğin raya değmesi sonucu yuvarlanma yüzeyinde de sıcaklığı farklı anlık bölgeler oluşabilir. Yüzey sıcaklığındaki 200 °C değişiklik yaklaşık 700 MPa kadar ısıl gerilim oluşturabilir. Bu durum kalıcı şekil değişimine, kalıntı gerilimine ve tekerlek yüzeyinde sertleşmeye, ısıl çatlaklara sebep olabilir [27]. Ayrıca çelik malzemede sıcaklığın 200 °C artması akma mukavemetini yaklaşık % 20 düşürmektedir [8]. Bu sebeple tekerlek yüzeyinde sıcaklığın fazla olması tekerlek ray temas bölgesinde oluşan yüksek gerilim sebebiyle yüzeyde kalıcı şekil değişimine dolayısıyla tekerlek profilinin bozulmasına sebep olabilir. Bununla birlikte tekerlek yüzeyinde gerçekleşen sıcaklık artışı tekerlekte aşınma oranını ciddi oranlarda artırmaktadır [27]. Üretim aşamasında tekerlekler ısıtma bölümünde basma kalıntı gerilimi olacak şekilde üretilir. Basma kalıntı gerilimi ve yüzey sertleştirme yorulmaya karşı direnci artırır. Yüksek sıcaklıklar tekerleklerde mevcut olan basma kalıntı gerilimini azaltarak veya çekme gerilimine dönüşerek tekerleklerin yorulmaya karşı direncini azaltır ve bu durum tekerlekte ısıl kaynaklı bazı hasarlara neden olur. Avrupada tekerlek takımı kaynaklı kazaların yaklaşık % 32’si tekerlek çatlaklarıdır (Şekil 5.3) [26].

Yapılan testte, çapı 880 mm olan tekerlekte sıcaklık yaklaşık 364 °C’ye kadar yükselmiştir. Testte dinamik frenli lokomotifin kullanılmış olması (yolun %23.4’ünde dinamik fren devre dışı bırakıldı) ve istasyonlarda bekleme süresinin ortalama süreden fazla olması daha yüksek sıcaklıkların görülmesini engellemiştir.

TCDD Taşımacılık 2018 istatistik yıllığı özetine göre, Türkiyede ana hatlarda yük ve yolcu taşımacılığında kullanılan toplam lokomotifin yaklaşık % 42’si dinamik freni olmayan

DE24000 tipi lokomotifdir [53]. Dinamik fren, trende hızı kontrol etmek için kullanılan yardımcı frendir. Test sonuçları değerlendirildiğinde lokomotiflerde bulunan dinamik frenin kullanılmasının küçük tonajlı (800-1200 ton) tren katarında oldukça etkili olduğu görülmektedir. Dinamik frenin kullanıldığı Gümüş-Pozantı ve Durak - Yenice arası alınan veriler ile dinamik frenin kullanılmadığı Hacıkırı - Durak istasyonları arasında alınan veriler karşılaştırıldığında, dinamik fren kullanımında tekerleklerde ısıya dönüşen frenleme enerjisinin % 85-89 oranında azaldığı görülmüştür (Çizelge 7.6).

Lokomotiflerin maksimum çekebileceği brüt tren tonajı yolun eğiminin artmasıyla azalır (Şekil 4.5). Çizelge 9.1 'de ülkemiz demiryolu hatlarında yer alan yol eğiminin en fazla olduğu ilk on bölge için DE33000 tipi lokomotifin çekebileceği maksimum brüt tren tonajı verilmiştir [54]. Isıl kaynaklı tekerlek ve sabo hasarlarının azaltılması için eğimin fazla olduğu bu hatlarda dinamik freni olmayan lokomotiflerin kullanımından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır.

Çizelge 9.1 DE33000 Lokomotifleri İçin Maksimum Brüt Tren Tonajı

No	Hat kesimi	Bölüm	Brüt (ton)
1	Samsun - Sivas	Demirciköy - Ladik	725
2	Gebze - Eskişehir	Bilecik - Karaköy	750
3	Bandırma - Alsancak	Bandırma - Kuşçenneti	880
4	Alsancak - Afyon	Alaşehir - Nohutova	880
5	Alsancak - Afyon	Oturak - Yıldırım Kemal	880
6	Yolçatı - Kurtalan	Uluova - Kürk	895
7	Kurtalan - Yolçatı	Maden - 409.km	910
8	Yenice - Konya	Yenice - Ulukışla	910
9	İskenderun - Fevzipaşa	Mamure- 501.km	930
10	Konya Yenice	Çakmak - Ulukışla	930

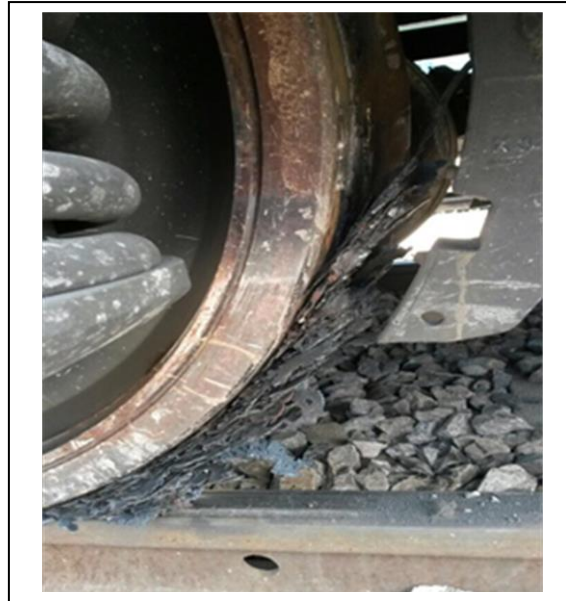
Özellikle dinamik freni olmayan lokomotiflerin bulunduğu katarlarda aşağı yönlü eğimin fazla ve uzun olduğu güzergahlarda bulunan istasyonlarda tekerlek sıcaklıklarının el tipi kızılötesi termometrelerle ölçülmesinin ve ısı birikiminin azaltılması için gerekirse istasyonlarda bekleme süresinin uzatılmasının olumlu etkileri olacaktır. Aşağı yönlü hareketlerde vagonun doğal hızlanması haricinde, vagonu gereksiz bir şekilde hızlandırarak sistemin toplam enerjisinin artması sebebiyle vagonlara düşen frenleme enerjisinin artırılmasından kaçınılmalıdır.

ERRI verilerine göre döküm sabo (fren pabucu) kullanılması halinde ısı enerjisinin yaklaşık % 70'i tekerleğe, % 30'u saboya geçmektedir [18], [38]. Sinterli kompozit sabo kullanıldığı takdirde tekerleğe geçen ısı enerjisinin oranı yaklaşık % 90, organik kompozit sabo

kullanılması halinde ise yaklaşık % 95 olmaktadır [18],[39]. Karagöz N. tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde yer alan sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre (Çizelge 6.5) pik sabo kullanılması durumunda 430 °C olan maksimum tekerlek sıcaklığının K-tipi kompozit sabo kullanılması durumunda 100 °C civarında arttığı görülmektedir [1]. Bu sebeple sürekli iniş yönünde taşımacılık yapılan eğimin fazla olduğu bölgelerde, özellikle dinamik freni olmayan lokomotiflerin çektiği vagonlarda pik döküm sabonun kullanılması ısıl kaynaklı tekerlek hasarlarını azaltacaktır.

Yüzey alanını artırarak üzerindeki ısıl yükü çevreye daha hızlı verebilen, termostabil tekerleklerin, tekerlek ısınması probleminin sık karşılaşıldığı bölgelerde kullanılması, sorunların azalmasına yardımcı olacaktır. Termostabil tekerlek kullanımını ülkemizde hızla artmaktadır. 2016 yılı sonrası üretilen yeni vagonlarda (test vagonunda da) kullanılan BA 004 tipi tekerlek ve KARDEMİR tarafından 2019 yılında üretimine başlanan BA 318 tipi tekerlek termostabil tekerleklerdir.

Şekil 9.1’de Gümüş-Yenice istasyonları arasında çalışan ve muhtemelen el freni sıkılı bir şekilde seyrüsefere dahil olan, yüksek ısıya maruz kalmış vagon tekerleği ve kalıcı şekil değişimine uğrayarak tekerleğe yapışmış kompozit sabo görülmektedir. El freninin sıkılı bir şekilde çalıştırılan vagonların silindir sayısına bağlı olarak tekerleklerinin tamamında veya yarısında büyük hasarlar oluşabilir. Oluşan hasarlar sebebiyle sonuçları çok ciddi olabilecek kazalar meydana gelebilir. Bu konuda ilave tedbirler alınmalı, el freninin sıkılı olup olmadığını gösteren ilave mekanizmalar geliştirilmelidir.



Şekil 9.1 Yüksek Isıya Maruz Kalmış Vagon Tekerleği ve Sabosu

10. GELECEKTE YAPILMASI PLANLANAN ÇALIŞMALAR

Aşağıdaki konularda çalışmalar yapılması planlanmıştır.

- Sabo ve tekerleğin mekanik özelliklerinin sıcaklıkla değişimi
- Sıcaklığın, sabo ile tekerlek arasındaki sürtünme katsayısına etkisi
- Sıcaklığın sabo ve tekerlek aşınmalarına etkisi
- Bakım onarımına gelen vagonlarda kalıntı gerilimin istatistiksel incelenmesi
- Tekerleklerde çift taraflı ve tek taraflı frenlemenin tekerlek ısınmasına etkisinin araştırılması.



KAYNAKLAR

- [1] **Karagöz N.** (2015). Bir Yük Vagonun Uzun Süreli Frenlenmesi Sonucu Açığa Çıkan Isının İki Farklı Tekerlek Seti Üzerindeki Dağılımının Sayısal Analiz Metodu İle İncelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.Yüksek Lisans Tezi.114s, Sivas.
- [2] **Anonim** (2003)Trenlerin Hazırlanması ve Trafikine Ait Yönetmelik. *TCDD*, Ankara.
- [3] **Anonim** (2013) *Official Journal of the European Union L104/46*, 12 Nisan 2013
- [4] **Gfatter,G., Berger P.,Vohla,G.,Krause G.**, (2002). Basics of BrakeTechnology, *Knorr-Bremse*.
- [5] **Seyrek,M.**,(1965). Demiryolu Taşıtlarının Fren Hesabı ve Fren Donanımı
- [6] **Anonim** (2006). UIC 540: Brakes-Air Brakes for Freight Trains and Passenger Trains.
- [7] **Gfatter G.,Berger P., Vohla G.,Metzner O.,Pietsch U., Henning M.,Teighbrodt T., Rychliw.** (2001). Brake System for Freight Cars, -*Knorr-Bremse*
- [8] **Anonim** (2016). Novel Rail Freight Vehicles, Capacity For Rail, *Project Received Funding From European Union's*,44p
- [9] **Anonim** (2011). Raylı Sistemler Teknolojisi, Çeken Araç Fren Sistemi. *Milli Eğitim Bakanlığı 49s*.Ankara.
- [10] **Neil Saville** (2017). Engineering Studies Train Braking Systems. Newcastle Division Education Committee.
- [11] **Akbayır,Ö.** (2012). Yük Vagonlarında Kullanılan Sabolar ve Karşılaştırması *1.Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı*. Karabük, Türkiye
- [12] **Anonim** (2013). Synthesis Paper on the Europe Train Operation with LL Brake Blocks *Final Report UIC International Union of Railways*.
- [13] **Anonim** (2004).UIC 544-1 Leaflet-Braking Power. *International Union of Railways*.
- [14] **Hrinak J., Novy F., Reznicek R., Kalıncak D.** (2012). Comparison of the Properties of Composite Organic Railway Brake Blocks of Type K with Cast Iron Brake Block P10. *Logistyka*.
- [15] **Anonim** (2012).TS EN 13262+A2:Demiryolu Uygulamaları - Tekerlek Takımları ve Bojiler - Tekerlekler - Mamul Özellikleri. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [16] **Anonim**(2014). UIC 510-2: Wheels and Wheelsets. Conditions Concerning the Use of Wheels of Various Diameters. *International Union of Railways*
- [17] **Anonim**(2006).Railway Investigation Report R06V0136: Runaway /Derailment - Canadian National Freight Train.
- [18] **Zıma R., Janos P.** (2012). Dvojkli Wheelsets. *Bonatrans Group*
- [19] **Anonim** (2015). Katalog. *KLW An Interpipe Brand*
- [20] **Nicolussi,ML.** (2000). A Brief Introduction to Locomotive Application.
- [21] **Lindgreen E., Sorenson S. C.**, (2005). Driving Resistance From Railroad Trains.
- [22] **Vollebregt E.A.H.** (2014).Vollebregt and Kalker's Rolling and Sliding Contact Model. *Vortech Computing*.
- [23] **Anonim** (2013).Usage Guidelines for Composite Brake Blocks. *UIC International Union of Railways*.
- [24] **Anonim**. Freight Locomotive Concept Study. *Ferrmed*.
- [25] **Robinson M.,Scott P., Lafaix B., Kozyr G., Zarembski A., Vasic G., Franklin F., Gilmartin B., Schoebel A., Ripke B.** (2012). Development of the Future Rail Freight System to Reduce the Occurrences and Impact of Derailment. *D.Rail-Collaborative Project*.
- [26] **Anonim** (2012). Final Report on The Results of The Joint Sector Group Activities Linked to The Action Plan Defined Under The Task Force Freight Wagon Maintenance. *Cer,Erfa,Uip ,Unife*

- [27] **Hernandez E.A.G** (2008). Wheel and Rail Contact Simulation Using a Twin Disc Tester. *Department of Mechanical Engineering The University of Sheffield*. Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy
- [28] **Lunys O., Dailydka S., Bureika G.**(2015). Investigation on Features And Tendencies of Axle-Box Heating. *Vilnius Gediminas Technical University, Transport Problems*.
- [29] **Yelbay H. İ.** (2008).Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı Gerilim Ölçümünde Gelişmeler. *3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Istanbul*.
- [30] **Anonim** (1999).Residual Stresses in Railroad Commuter Car Wheels- *US Federal Railroad Administration. US Department of Transportation Federal Railroad Administration*
- [31] **Lonsdale C., Demilly F., Del Fabbro V.**. Wheel Rim Residual Stress Measurements.
- [32] **Anonim (2012)**.VPI 04: Yük Vagonlarının Bakım Onarımı- Tekerlek Takımları. *VPI*.
- [33] **Chandra J. Harish S.** (2011). Hand Book for C&W. *North Central Railway.Jhansi*.
- [34] **Kennedy T.C, Gozales S., Harder R.F.**(2004). Finite Element Analysis of Martensite Formation in Railcar Wheels During Hertzian Sliding Conditions. *6th International Conference on Railway Bogies and Running Gears. Budapest*
- [35] **Anonim** (2010). TS EN_15313: Railway Applications - In-Service Wheelset Operation - Requirements in Service and Off-Vehicle Wheelset Maintenance. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [36] **Caprioli S., Vernersson T., Ekberg A.** Thermal Cracking of a Railway Wheel Tread due to Tread Braking Critical Crack Sizes and Influence of Repeated Thermal Cycles
- [37] **White S.,Uhlig M.**(2013). Engineering Standard Rolling Stock ESR0330 -Wheel Defect Manuel. *Engineering Standard Rolling Stock*.
- [38] **Anonim** (1987). ORE B 169/RP1 Limites Thermiques Des Roues et Des Sabots. *International Union of Railways*.
- [39] **Teimourimanesh S., Lunden R., Vernerson T.**. (2010). Braking Capacity of Railway Wheels. *16th International Wheelset Congress*
- [40] **Anonim** (2012). TS EN 13979-1+A2 :Demiryolu Uygulamaları - Tekerlek Takımları ve Bojiler Monoblok Tekerlekler-Teknik Onay Prosedürü - Dövme ve Haddelenmiş Tekerlekler *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*
- [41] **Anonim** (2007). UIC 541-4: General Conditions for Certification on Composite Brake Blocks. *International Union of Railways*
- [42] **Kim M.S.**,(2011). Dynamometer Tests of Brake Shoes under Wet Conditions for the High Speed Trains.International Journal of Systems Applications.*Engineering and Development Issue 2, Volume 5*
- [43] **Marich,S.** (2014).The Basics of Wheel Rail Interactions.Wheel Rail Dynamics Module 1 *Wheel/Rail Interface Forum- Brisbane*.
- [44] **Incropera F. P. , Dewitt D.P.**,(2010). Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri.
- [45] **Yüncü H., Kakaç S.**, (1999). Temel Isı Transferi
- [46] **Sitarz,M., Sladkowski ,A., Bizon,K., Chruzik K.**. Designing of Railway Wheels. Part1. Finite Element Method.
- [47] **Milutinovic,D., Radosavljevic A., Lucanin, V.** (2003).Temperature and Stress State of the Block Braked Solid Wheel in Operation on Yugoslav Railways.
- [48] **Modest Michael F.** (2013). Radiative Heat Transfer –Third Edition.
- [49] **Vernersson T., Lunden R.**(2005) Tread Braking of Railway Wheels - Wheel and Block Temperatures and The Influence of Rail Chill. *8th International Heavy Haul Conference, 2005*
- [50] **Anonim**. Katalog. Operating Instructions Thermometer CT. *Micro Epsilon*.
- [51] **Anonim**. Katalog.14577 Wind Speed technical Specification.*Lambrecht*.
- [52] **Anonim**. Katalog.PU8504 Elektronik Basınç Sebsörü Teknik Özellikleri. *iFm*.

[53] **Anonim** (2018). 2018 İstatistik Yıllığı Özeti.*TCDD Taşımacılık*.

[54] **Uysal O.** (2016). Türkiye Demiryolunun Kara Noktaları.*Rail Turkey*.(19.10.2016)
(<https://tr.railturkey.org/2016/10/19/turkiye-demiryollarinin-kara-noktalari/>)



ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Nail Karagöz
Doğum Yeri ve Tarihi	Berlin /Almanya, 01.12.1972
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	TCDD-TÜDEMSAŞ Ar-Ge Daire Başkanlığı, Sivas
E-posta Adresi	nailkaragoz@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Atatürk Lisesi, 1986-1989
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 1989-1995
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2012-2015
Doktora	Cumhuriyet Üniversitesi, 2016 - Halen

İş Tecrübesi

Özel Sektör	Muhtelif işler 1997-2012
TÜDEMSAŞ	Makine Mühendisi (Ar-Ge), 2012-Halen
TÜDEMSAŞ	A-Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, 2016
TÜDEMSAŞ	Tahribatsız Muayene-Gözle Muayene Uzmanı, 2016
TÜDEMSAŞ	Tahribatsız Muayene-Seviye 2 UT Uzmanı, 2017

Kongreler ve Bildiriler

Uluslararası	Pik Döküm Ve Kompozit Fren Pabucu Kullanılan Yük Vagonunda Uzun Süreli Frenlenme Sonucu Tekerlekte Açığa Çıkan Isının Sayısal Analiz Metodu İle İncelenmesi. 3rd International Symposium on Railway Systems Engineering- 13-15, 2016. Karabük Üniversitesi
--------------	--