

Ankara Metro Trenlerinde Katı ve Sıvı Yağlanmanın Tekerlek Aşınmasına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Sedat Özal

Ankara Metrosu, Bakım Onarım Atölyesi, Ankara,

Can Çoğun,

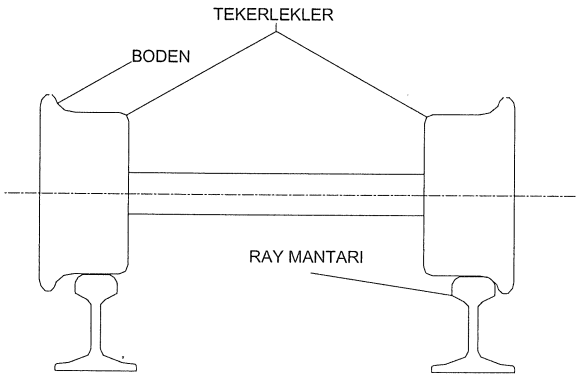
Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

Metro ve demiryolları işletmelerinde ray-tekerlek aşınmalarını azaltmak amacıyla yağlama yapılmaktadır. Günümüzde tekerlek boden yağlama sistemleri ve yağları için herhangi bir standart oluşturulmamış olup hangi yağlama sisteminin ve yağların hangi işletmelerde daha verimli olacağını denemeler yapmaksızın tespit etmek mümkün değildir. Bu çalışmada Ankara Metrosu trenlerinde tekerlek katı yağlama ile yağlamasız ve sıvı yağlama ile katı yağlama sistemleri karşılaştırılmış, tekerlek aşınmaları belirli bir süre gözlenmiştir. Yapılan ilk deneyde sabo frenleme sistemine sahip Ankara Metrosunda sıvı yağlamanın uygulanabilirliği testleri yapılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında tekerleklerine yağlama yapılmayan ve katı yağlama yapılan tren tekerlek aşınmaları yeraltı tekerlek tornasında ölçülerek karşılaştırılmıştır. Deneyin üçüncü aşamasında katı yağlama yapılan tren ile sıvı yağlama yapılan tren tekerlek aşınmaları fotoğraflarla ve yeraltı tekerlek tornasında yapılan ölçümlerle takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : katı yağlama, sıvı yağlama, boden yağlama, tekerlek aşınması

1. GİRİŞ

Modern demiryolu işletmeciliği yapan ülkelerde pahalı ve üstün teknoloji ürünü olan tekerlek ve raylarda meydana gelen aşınmaların azaltılması amacıyla tekerlek bodeni ile ray mantarlarının temasta olduğu kısımlar (Şekil 1) arasında yağ filmi oluşturma çalışmaları uzun yıllardır sürmektedir. Yapılan araştırmalar tekerleklerde oluşan aşınmaların en büyük kısmının trenlerin kurbdan (virajdan) geçerken boden ile ray arasındaki sürtünmeden dolayı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle yapılan bütün çalışmalar trenlerin kurlardan geçerken oluşan aşınmayı ve gürültüyü azaltmaya yönelik olmuştur.



Şekil 1. Kurlardan geçişlerde ray-tekerlek görüntüsü

Boden yağlama ilk olarak buharlı lokomotiflerle başlamış ve çubuk şeklindeki katı yağ susta basıncı ile tekerlek bodenine tatbik edilmiştir. Boden yağlamanın tekerlek aşınmasını önlemesi yanında özellikle dar kurplu kesimlerdeki ray aşınmalarını azaltarak ray ömrünü arttırması, tekerlek tornalamasının azaltılarak trenin servis dışı beklemesinin azaltılması, tekerlek ve ray ömrünün uzatılarak maliyetin düşürülmesi, sürtünmeden dolayı oluşan gürültünün önlenmesi ve tren tekerleklerinin sürtünmesinin azalması neticesinde enerji tasarrufu sağlanması gibi faydaları vardır. Türkiye ve dünyada kullanılan yağ ve yağlama sistemlerinde herhangi bir standart yoktur. Türkiye'deki metroların tümünde tekerlek yağlama sistemi mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, Ankara Metrosunda çalışan trenlerin farklı yağlama teknikleri için tekerlek aşınmasını deneysel olarak incelemektir. Yapılan bu çalışmada, katı yağlama ile yağlamasız ve sıvı yağlama ile katı yağlama sistemleri karşılaştırılmış, tren tekerleklerinde oluşan aşınmalar belirli kilometrelerde ölçülerek tekerlek aşınmaları gözlenmiştir. Bu çalışma ile sabo frenleme sisteminin uygulandığı metro trenlerinde, sıvı yağlama sisteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Her geçen gün Türkiye'de metro ağının genişlediği düşünülürse boden yağlama konusunda yapılacak bu çalışmanın sonuçlarından yeni metrolarda faydalanılabilecektir.

2. RAY VE TEKERLEK AŞINMASI

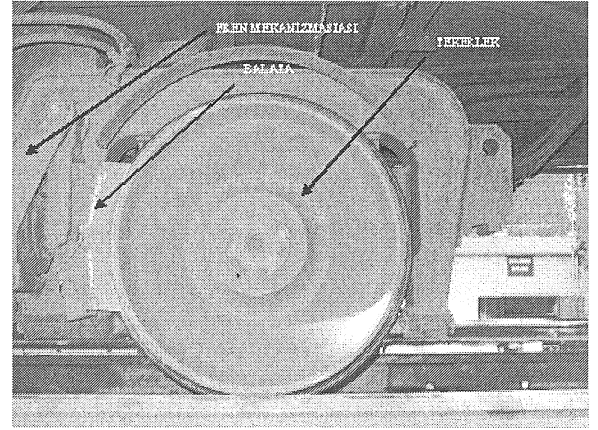
Raylı sistemlerde ray ve tekerlek değiştirilmesinin başlıca nedeni aşınmadır. Aşınma, ray mantarı ile tekerlek flanşının temas ettiği noktada yoğunlaşır. Tekerlek ömrünü tekerlek çapı, boden kalınlığı ya da boden yüksekliğindeki aşınmalar belirler.

Tekerlek/ray aşınması farklı aşınma mekanizmalarının (adhesive, abrasive, yorulma ve korozyon) karışımı olarak bilinmektedir. Yapılan ilk çalışmalarda, tekerlek ve rayda aşınma çeşitlerini görebilmek için özel test ekipmanları kurulmuştur [1, 2]. Tam lekli ve küçük ölçekli testler için eş-diskler kullanılmıştır [3-8]. Eş-disklerle yapılan ilk çalışmalarda, farklı aşınma miktarları oluşturan çeşitli aşınmaların en basit sınıflandırılması ‘‘yavaş aşınma’’ ve ‘‘aşırı aşınma’’ olarak tanımlanmıştır [5, 6]. Yapılan bir çalışmada yeni tekerlek malzemesi olan R8T kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ‘‘şiddetli aşınma’’nın olduğu nc bir aşınma ilerlemesi tanımlanmıştır [6, 9]. Aşınmanın ilerlemesi ile ilgili yapılan tanımlamalar, enerjinin değişimi ve tekerlek/ray yerine kullanılan disk ya da silindirlerde oluşan malzeme kayıplarının ağırlıklarının tartılması ile oluşturulmuştur. Yavaş aşınma, düşük kayma ve düşük yüklerde oluşan aşınmadır. Genelde oksitlenme sonucu ince bir aşınma tabakası oluşur. Çok küçük kırıntı şeklinde malzemenin kopması şeklinde karakterize edilmiştir [5, 6, 10]. Aşırı aşınma asıl tekerlek/ray aşınmasını oluşturur. Yük ve kaymanın artması ile oluşan aşınma türüdür. Bu aşınmada plastik deformasyon oluşur, kıymık şeklinde malzeme kopmasına rastlanır. şiddetli aşınmada ise, oluşan çatlaklar değişik yönlerde, paralel şekilde ilere doğru ilerleyerek derin çatlaklar oluşturur ve büyük miktarda malzeme kopması görülür.

3. TEKERLEK YAğLAMA SİSTEMLERİ VE TEKERLEK KAYMASI

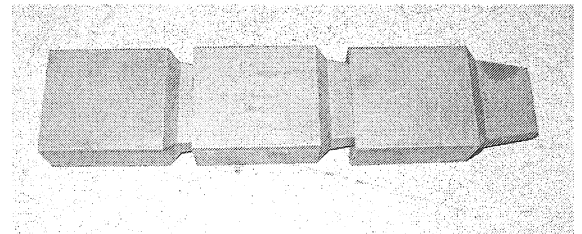
Tekerlek boden yağlama sistemleri genel olarak sıvı ve katı yağlama sistemleri olarak ikiye ayrılır. Kullanılan yağlama sisteminin seçiminde en önemli etken, trenlerde kullanılan frenleme sistemidir. Trenlerde iki türlü frenleme sistemi mevcuttur. Bunlardan biri sabo frenleme sistemi, diğeri ise disk frenleme sistemidir. Sabo frenleme sisteminde, hava kompresörü tarafından üretilen basınçlı havanın fren silindirleri vasıtasıyla balatayı iterek teker yüzeyine basması sağlanır (Resim 1). Bu frenleme sisteminde, balata teker yüzeyine direk temas ettiğinden dolayı sıvı yağlama sistemi genelde kullanılmaz. Kullanılması halinde, tekerlek kayması oluşma riski büyüktür. Disk frenleme sisteminde hava kompresörü tarafından üretilen basınçlı hava vasıtasıyla balataların aks üzerinde bulunan disklere

basması sağlanır. Disk frenleme sisteminde her iki yağlama sistemini de kullanmak mümkündür.



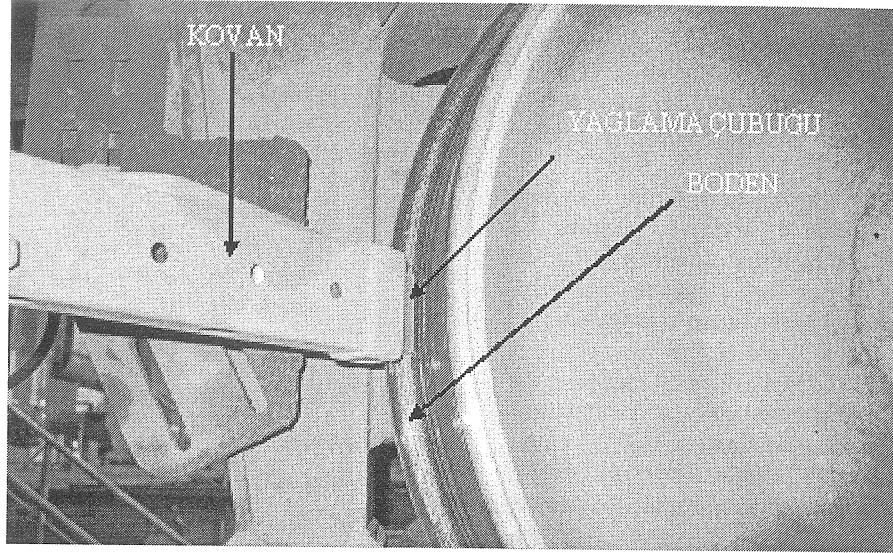
Resim 1. Ankara Metrosu sabo frenleme sistemi

Katı yağlama sistemi yağ çubuğu, çubuğun teker yüzeyine basmasını sağlayan yay ve bu iki parçayı tren gövdesine monte etmek için bir kovandan oluşan basit bir düzenekten oluşmaktadır (Resim 2 ve Resim 3). Bakım masrafı düşüktür. Sadece yağ çubuğu bittiğinde yenisiyle değiştirilir. Sıvı yağlama sistemi yağ tankı, pnömatik aksam ve nozullardan oluşan bir sistemdir (Resim 4). Yağlama kompresör tarafından oluşturulan basınçlı havanın sıvı yağı tekerlek yüzeyine püskürtmesi esasına dayanır. Bakımı katı yağlama sistemine göre daha zor ve kurulum maliyeti yüksektir. Tren kaportasına ve tren ekipmanlarına sıçrayan yağların devamlı temizlenmesi, nozulların kontrol edilmesi ve yağ değişiminin periyodik olarak yapılması gerekir.

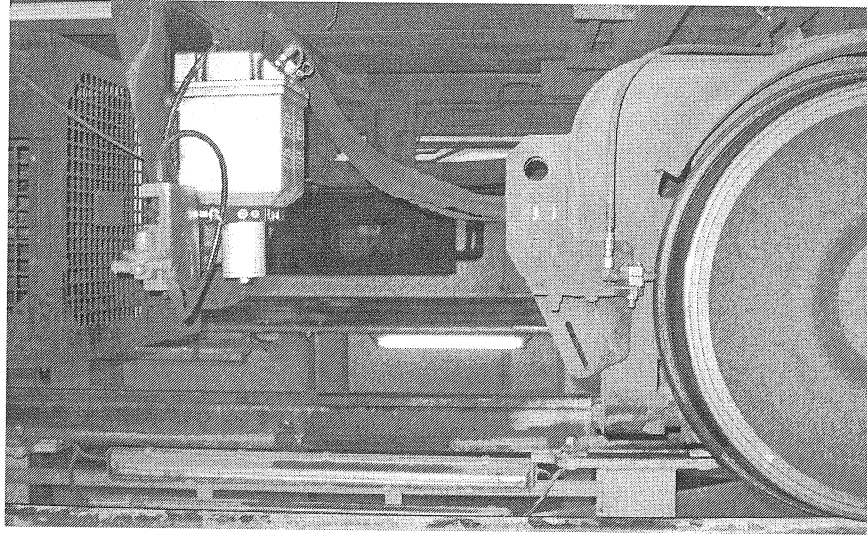


Resim 2. Yağlama ubuğu

Tekerlek kayması özellikle otomatik tren işletmesine sahip metrolarda büyük önem taşımaktadır. Metro trenleri ile işletme merkezi arasında lup kabloları ve telsizler aracılığı ile devamlı bir iletişim vardır. Tekerlerin, önceden belirlenen kritik bir sreden fazla kayması ile aradaki iletişim kopar ve tren otomatik olarak ani duruş (acil durum) yapar. Acil durum duruşlarında tekerlek ray arasında oluşan sürtünmeden dolayı tekerleklerde düzleşme olur. Bu durumdaki tekerlek torna edilmezse trende aşırı bir titreşim ve gürültü oluşur. Bu nedenle acil durum yapan tren tekerlekleri ölçülerek tornalanır. Böyle istisnai durumlarda tekerlerin ömrü hesaplanandan çok daha kısa olur.



Resim 3. Katı yağlama sistemi



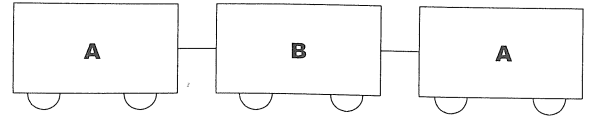
Resim 4. Sıvı yağlama sistemi

4. ANKARA METROSU İLE İLGİLİ BİLGİLER

Ankara Raylı Toplu Taşıma Sisteminde, bir üçlü tren iki motorlu araç (A araçları) ve bir treyler (B aracı) araçtan oluşmaktadır. Üçlü araçlar Ankara Metrosunda A-B-A şeklinde adlandırılırlar (Şekil 2). A araçlarında tren hareketlerini sağlayan motorlar, B araçlarında ise sistemin basınçlı hava gereksinimini sağlayan hava kompresörü bulunur. Her araç 3,12 m genişlik ve 22,87 m uzunluktadır.

Ankara Metrosunda katı yağlama sistemi mevcuttur. Her üçlü aracın ilk akslarında katı

yağlama çubukları mevcuttur. Yağlama sadece kurlarda değil bütün hat boyunca yapılmaktadır. Katı yağlama sisteminde en çok karşılaşılan problemler yağlama çubuklarının çok sık kırılması ve aşırı gürültünün oluşmasıdır.



Şekil 2. Ankara Metrosu tren konfigürasyonu

5. TEKERLEK YAĞLAMASI ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

TCDD'nin AR-GE bölümü tarafından tekerlek-ray aşınması ile ilgili bir araştırma yapılmıştır [11]. Çeşitli etkenler incelendikten sonra ray-tekerlek aşınmasında en önemli etkenin trenlerin kurlardan geçerken oluşturduğu aşınmalar olduğu sonucuna varılmıştır. Boden yağlama sistemleriyle ilgili TCDD'nin yapmış olduğu araştırmalar sonucunda; DE 22000 tipi lokomotiflerde Boden yağlama sistemi takılmadan önce tekerlek ömrü 200000 km, Boden yağlama sistemi takıldıktan sonra 600000 km; E 43000 tipi lokomotifler (Divriği-İskenderun hat kesiminde) Boden yağlama sistemi takılmadan önce tekerlek ömrü 150000 km, Boden yağlama sistemi takıldıktan sonra 560000 km; yolcu vagonları (Ankara-İstanbul hat kesiminde) Boden yağlama sistemleri kullanılmadan önce tekerlek ömrü 69000 km, Boden yağlama sistemleri kullanılmaya başlandıktan sonra 920000 km olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere TCDD tarafından yapılan çalışmalarda, yağlama yapan trenlerin yağlama yapmayan trenlere göre tekerlek ömürlerinin arttığı görülmektedir.

Dünya metrolarında Boden ve Ray Yağlaması ile ilgili çalışmalar: Tekerleklerde genelde 500 m'den düşük kurlarda aşınma 500-1000 m arasındaki yarıçaplı kurlara göre daha belirgindir [12]. Yağlamanın etkisiyle Ray tekerlek malzemesi önemini kısmen yitirmiştir. Steele ve Devine yaptıkları çalışmada 320 Brinel Ray sertliğindeki aşınmanın 399 Brinel sertliğine göre 6 kat azaldığını, gres yağlamada ise 2 kat azaldığını göstermiştir [13]. Uygun yağlama yanal kuvvetleri azaltırken aşınmayı da azaltmıştır. Diğer iki çalışmada yağlamalı ve yağlamasız, değişik iklim şartları incelenmiş olup iki farklı sertlikte Ray aynı kurlarda test edilmiştir. Ray yağlamasının küçük yarıçaplı kurlarda (300 m) aşınmayı 9 kat azalttığı rapor edilmiştir [14, 15]. 600-800 m yarıçaplı kurlarda aşınma kazanç miktarı yaklaşık olarak 4'tür. Yıllar arasında aşınma miktarı farkı değişen hava şartlarından dolayı oluşan doğal yağlamadan kaynaklanmaktadır. Waara'nın çalışmasında bütün bir yıl boyunca İsveç'te ağır yük trenleri uygulamalarında yapılan yağlamanın aşınmayı 3-6 kat azalttığı belirtilmiştir [16]. İspanya'da Cantara tarafından yapılan bir çalışmada tekerlere yerleştirilen yağlama sistemiyle flanş aşınma miktarının 4,5 kat azaldığı gösterilmiştir [17].

Aynı çalışmada kullanılan üst kalite çelikte Ray aşınmasının azaldığı gösterilmiştir. Bu etki iki farklı kalitede, UIC900A ve UIC 1100 Ray ile 300 m yarıçaplı kurlarda hem yağlamalı hem yağlamasız şekilde gösterilmiştir. Yağlamasız kurlarda testinde 900A ve 1100 kalite çelikleri arasındaki Ray aşınma oranı yaklaşık olarak 2'dir. Yağlamalı ve yağlamasız testler karşılaştırıldığında, kurlarda yağlama kazancı yaklaşık

olarak 9'dur. Ray başı (düşük kayma hızı ve temas basıncı) ve Ray temas yüzeyi (yüksek temas basıncı ve kayma hızı) arasındaki aşınma faktörü 10 olarak tespit edilmiştir [14].

Uluslararası araştırma kuruluşları ve demiryolu idarelerinin yapmış olduğu araştırmalara göre Boden yağlama cihazının yaygın şekilde kullanımı ile Ray ve tekerleğin daha az ısındığı, yüklü trenlerde % 9-15, boş trenlerde % 12-15 yakıt tasarrufu sağlandığı, boji (tren tekerleklerinin monteli olduğu sistem) gezintisi ve derayman (trenin raydan çıkması) hadiselerinin azaldığı, Ray ömrünün düz yolda % 45, kurlarda % 150 arttığı ve tekerlek ömrünün % 49-55 oranında arttığı tespit edilmiştir [11].

6. DENEYLER

1. Sabo frenlerde sıvı yağlamanın uygulanabilirliği testleri: Bu testler için bir trene sıvı yağlama yapan bir tertibat kurulmuştur. Tren normal servise verilerek iki ay hatta çalıştırılmıştır. Bu aşamada yapılan testler;

a) sadece kurb denilen bölgelerde tekerleğe sıvı yağlamanın yapılması,

b) sıvı yağlamanın tekerlek kaymasına sebebiyet vermediğinin gözlenmesidir.

"a"da belirtilen yağlamanın sadece kurlarda yapıldığını gözlemek için bir personel sıvı yağlama sisteminin bulunduğu araçta yolculuk etmiştir. Tren servisteyken hat boyunca sıvı yağlama sisteminin yağ püskürtme sesi dinlenmiştir. Ayrıca tren servisten alındıktan sonra tekerlekler incelenerek yağlamanın uygunluğuna yağın Boden hariç tekerin raya basan kısmını yağlayıp yağlamadığı ve yağın ne kadarlık bir kısmını çevreye sıçradığı kontrol edilerek karar verilmiştir. Testlerde "b"de belirtilen durum için trenin vermiş olduğu hata kayıtları incelenmiştir. Trenin tekerlek kayması sonucunda durması gereken noktada durmadığı an "tekerlek kayması (hata kodu B4)" oluşur.

2. Tekerlek aşınması testleri: a) Yağlama yapmayan, katı yağlama ve sıvı yağlama yapan referans trenler seçilmiş, b) trenlerin tekerlekleri tornalanarak, tekerlek aşınmaları sıfırlanmış, c) yapılan çalışmanın normal işletmeyi ve bakımları aksatmayacak şekilde trenler her 4000 km'de servisten alınarak tren tekerleklerindeki Boden bölgesinin fotoğrafları çekilmiş ve yeraltı tekerlek tornasında tekerlek ölçümleri yapılmıştır. Sabo fren (balata)'nın özellikleri (Şekil 3) aşağıda verilmiştir:

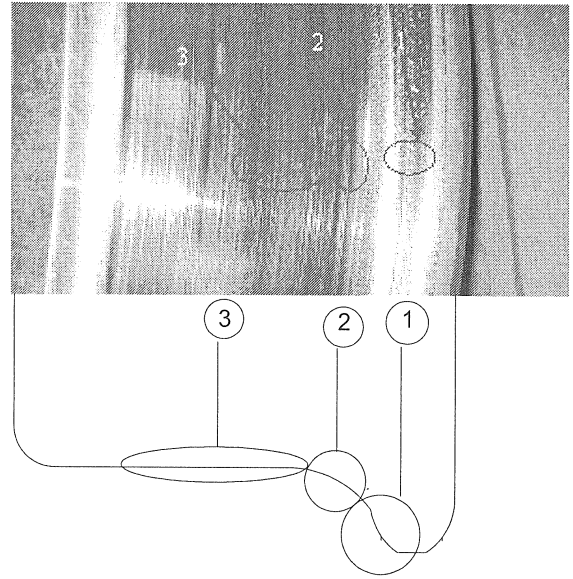
- Yoğunluk : 1,96 g/cm³
- Elastisite modülü : 1290 MPa
- Özel ısı kapasitesi : 1,029 KJ/kgK
- Isıl iletkenlik : 0,80 W/MK
- Fren baskısı (maks.) : 24,4 MPa

Çizelge 1. Ankara Metrosu kurb yarıçapları [19]

no	kurp yarıçapı (m)	no	kurp yarıçapı (m)
1	2000	20	550
2	1900	21	500
3	1800	22	450
4	1700	23	400
5	1600	24	375
6	1500	25	350
7	1400	26	325
8	1300	27	300
9	1200	28	275
10	1100	29	250
11	1000	30	225
12	950	31	200
13	900	32	180
14	850	33	160
15	800	34	140
16	750	35	120
17	700	36	90
18	650	37	80
19	600		

Tekerlek Aşınma Tipleri: Tekerlek aşınmasının, oluşan yükler ve temas alanlarına bağlı olarak tekerlek üzerinde üç bölgede incelenmiştir (Resim 5). Ray ile temasın çok az ya da olmadığı 1. bölgede tekerlek aşınması malzeme yorulması şeklinde ortaya çıkmaktadır (Resim 6). Bu bölgede oluşan aşınmalar, genellikle noktasal olarak başlamakta ve takiben genişlemektedir. Aynı çevresel hat üzerinde oluşan aşınmalarla birleşerek genişliği 2-4 mm arası çizgisel bir aşınma izi şeklini almaktadır (Resim 7). 2. bölgede ise, kuru sürtünmeden kaynaklanan aşınma daha etkilidir. Bu durumda kurbalarda oluşan temastan dolayı, yüklerinin, çevresel hızın ve arada oluşan partiküllerin etkisi ile abrasiv ve adhesiv aşınmalar kendini göstermektedir (Resim 8). 3. bölgede ise adhesiv ve abrasiv aşınma türleri etkilidir. Ezilme şeklinde plastik deformasyon oluşmuştur (Resim 9).

Tekerlek Aşınması Testleri: Tekerlekleri yağlanmayan tren 11, 3011 nolu araç ile ön iki tekerleği yağlanan tren 29, 3029 nolu araç (Şekil 5) tekerlek aşınmasının belirgin olarak görülebileceği ilk 15000 km'den sonra 15000 km'lik artışlarla tekerlek çap ölçümlerine tabi tutulmuştur. Bu trenlerin tekerlek aşınma karşılaştırması Şekil 6'da sunulmuştur. Şekillerden anlaşılacağı üzere; tren 29'un (katı yağlamalı tren) tekerlek aşınmaları tren 11'in (yağlama yapılmayan tren) tekerleklerine göre azdır. Bu aşınma farkının yaklaşık %75'lik tekerlek ömrü artışına karşı geleceği daha önceki atelye bakım verilerinden anlaşılmaktadır.



Resim 5. Aşınma bölgelerinin fotoğraf görüntüsü ve şematik aşınma bölgeleri

Sıvı Yağlama ve Katı Yağlamanın Karşılaştırılması: Bu testler için katı yağlama yapan tren 29, 3029 nolu araç ve sıvı yağlama yapan tren 11, 3011 nolu araç (Şekil 7) seçilmiştir. Her iki trenin tekerlek çaplarının çok yakın değerlere sahip olmasına dikkat gösterilmiştir. Teste başlamadan önce tren 11 ve tren 29'un tekerlekleri yeraltı BSD tekerlek tornasında tornalanmıştır. Böylelikle aşınma miktarları aynı zaman aralıklarında ve eş çaplı tekerleklerde takip edilmiştir. Aşınmaların aynı

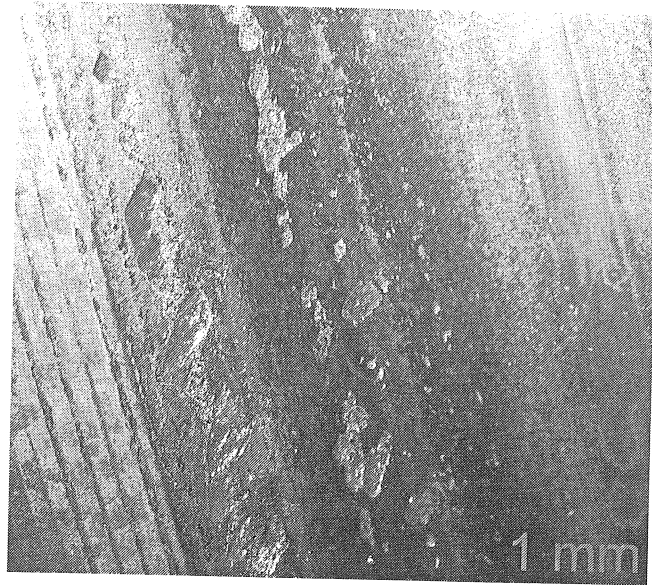
zaman periyodu içerisinde takip edilmesindeki amaç mevsimsel farklılıklardan dolayı oluşabilecek aşınma farklılıklarının en aza indirilmesidir. İki tren testler süresince mümkün olduğu kadar aynı günler ve saatler içerisinde servise verilmeye çalışılmıştır. Trenler belirli kilometrelerde servisten alınarak tekerlek aşınmalarının fotoğrafları çekilmiş ve yeraltı BSD tekerlek tornasında çap ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde yeraltı BSD tekerlek tornasında her bir

tekerlek için tekerlek çapı (TÇ), boden kalınlığı (BK) ve boden yüksekliği (BY) ölçümleri alınmıştır. Ölçümler dokuz ay boyunca sürdürülmüştür.

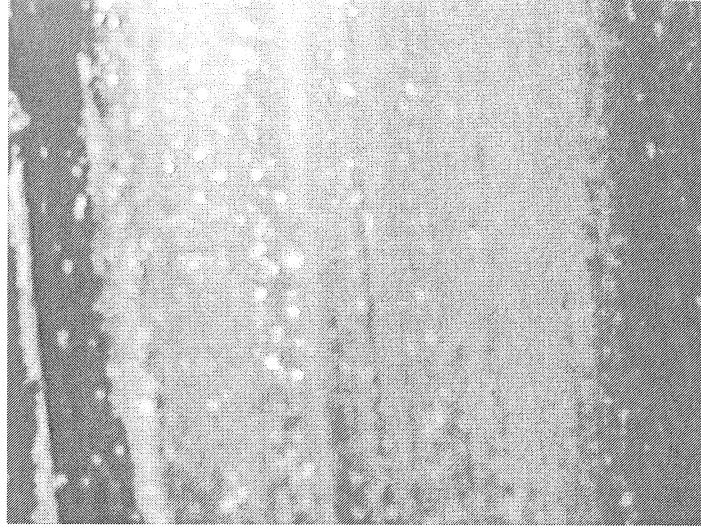
Şekil 8-13'den anlaşılacağı üzere, katı ve sıvı yağlamada tekerlek aşınmaları birbirine çok yakın değerlerdedir. Yapılan ölçümlerden tekerlek aşınması açısından sıvı yağlamanın katı yağlamaya belirgin bir üstünlüğü olmadığı tespit edilmiştir.



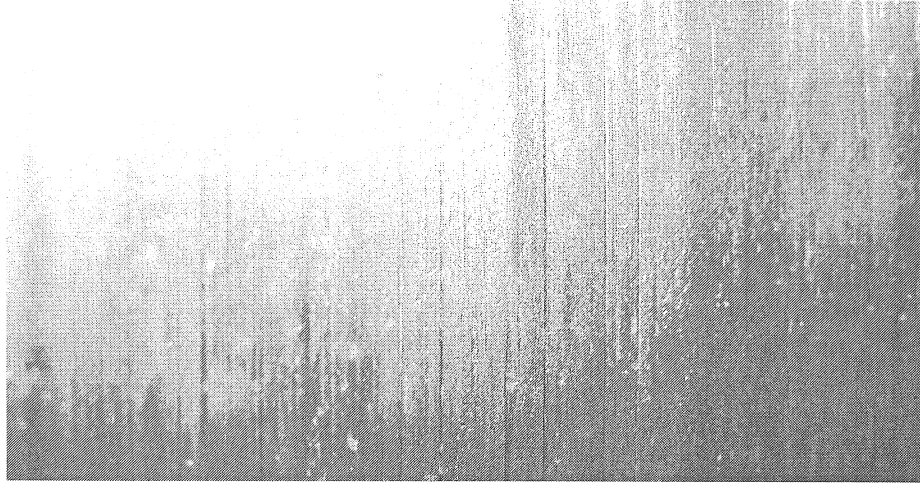
Resim 6. Malzeme yorulması a) Literatürde tanımlanan malzeme yorulma aşınması b) Ankara Metrosunda deneyler sonucu tespit edilen tekerlek aşınması



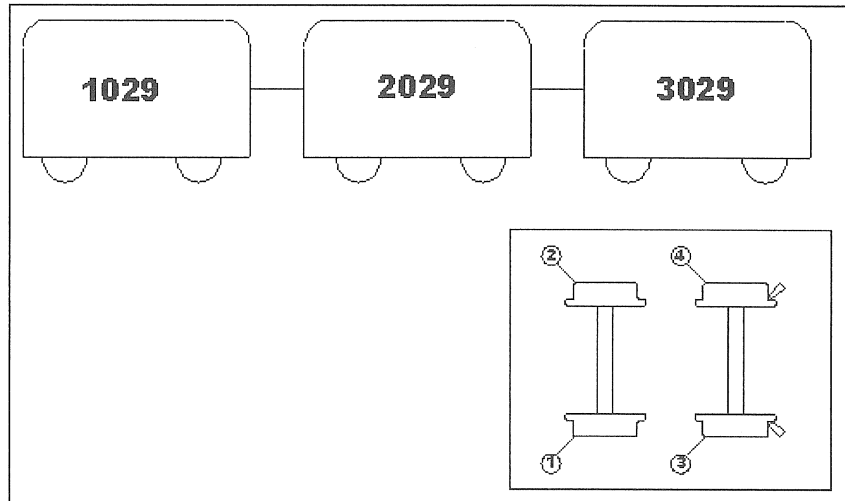
Resim 7. Bodende aşınmanın ilerleyişi



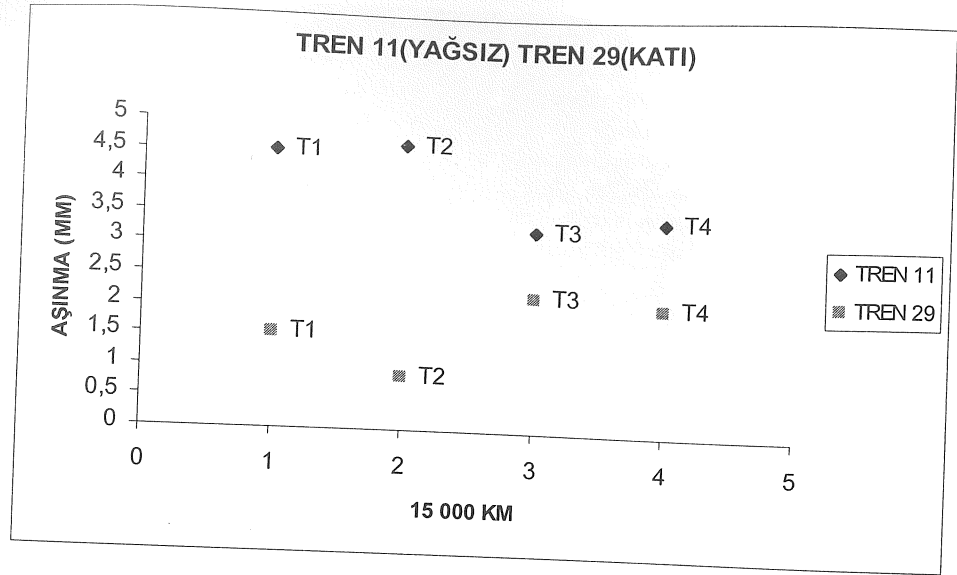
Resim 8. 2. bölgedeki aşınma



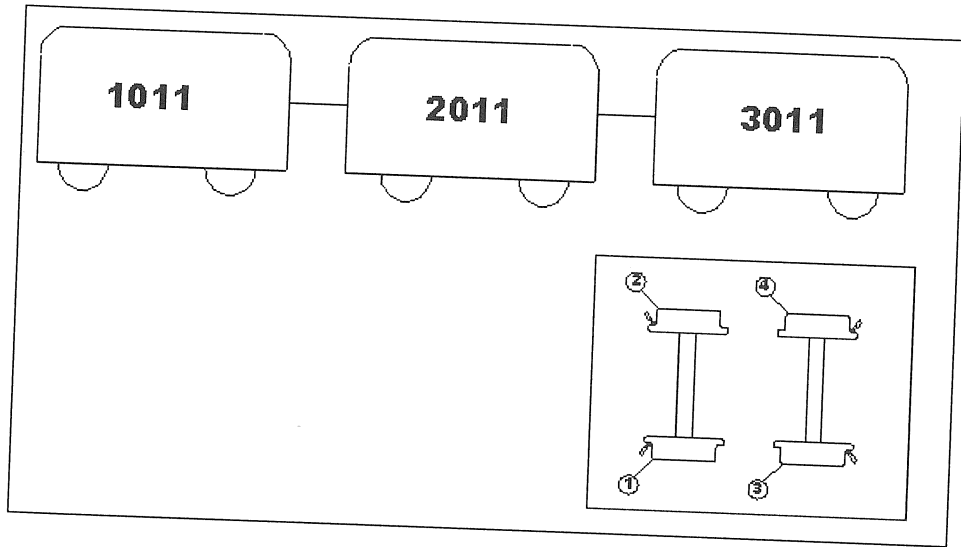
Resim 9. 3. bölgedeki aşınma



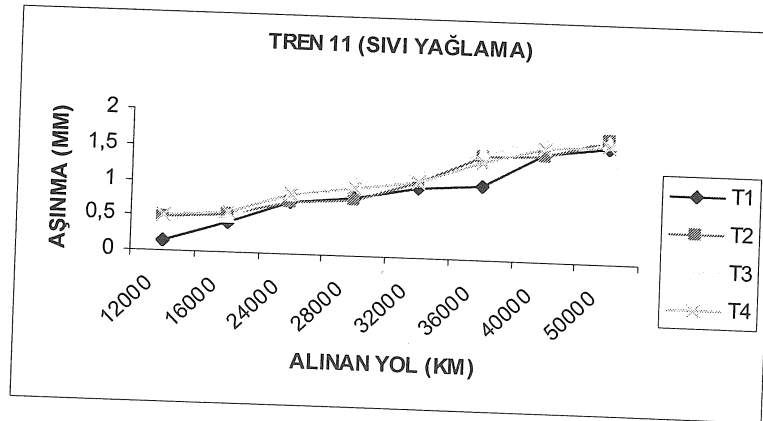
Şekil 5. Tekerlek aşınma testlerinde kullanılan 29 nolu tren konfigürasyonu ve tekerleklerin numaraları



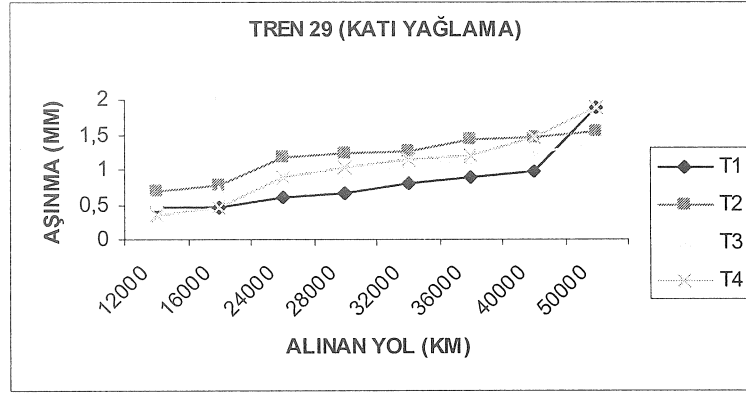
Şekil 6. Tren 11(yağsız) ile Tren 29 (katı)'un 15 000 km' de tekerlek aşınmaları



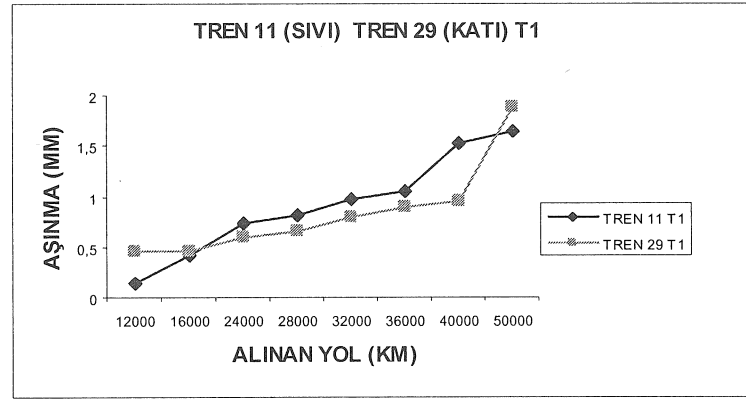
Şekil 7. Tren 11'de sıvı yağlama yapılan tekerlekler



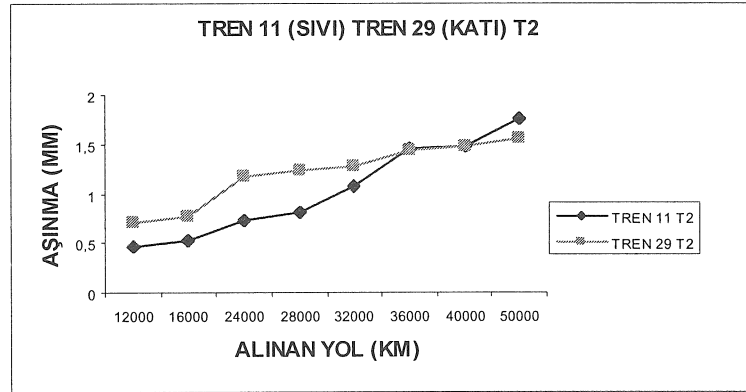
Şekil 8. Tren 11'e (sıvı yağlama) ait tekerlek aşınmaları



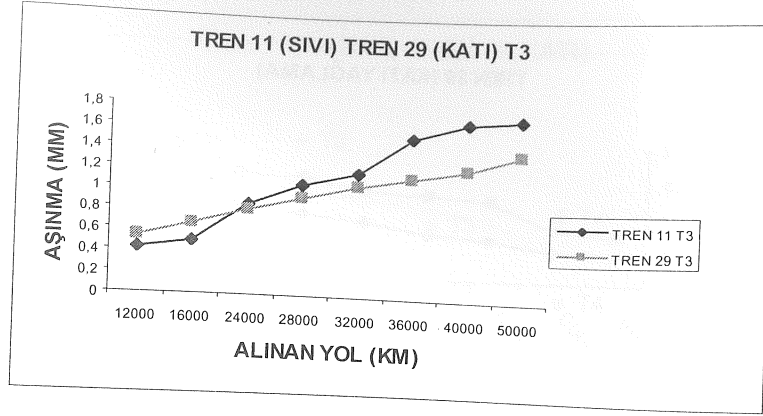
Şekil 9. Tren 29'a (katı yağlama) ait tekerlek aşınmaları



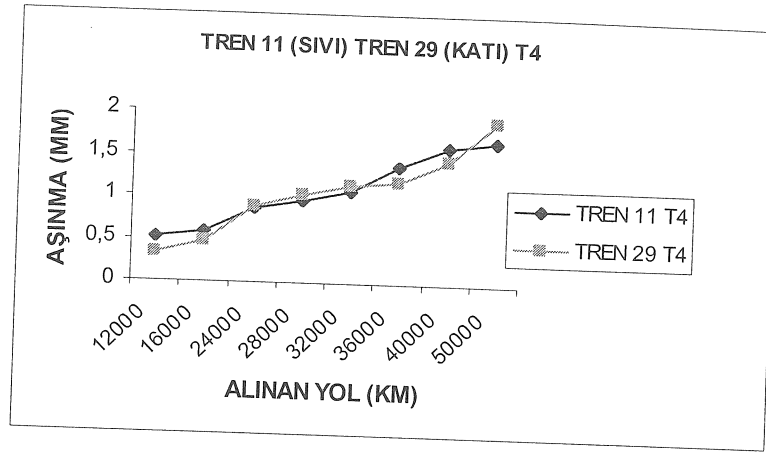
Şekil 10. Tren 11 ve tren 29'a ait 1 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 11. Tren 11 ve tren 29'a ait 2 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 12. Tren 11 ve tren 29'a ait 3 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 13. Tren 11 ve tren 29'a ait 4 nolu tekerleklerin aşınmalarının karşılaştırması

8. SONUÇ

Ankara Metrosu trenlerinde yapılan 12 ay süren gözlemler ve testler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Tekerlekleri kuru yağlanan tren ile yağlanmayan tren tekerlekleri arasındaki aşınmalar karşılaştırıldığında kuru yağlamalı tren tekerlerinde daha az aşınma tespit edilmiş olup bu aşınma farkı kuru yağlanan tren tekerleklerinde %75'lik bir tekerlek ömür artışına karşılık gelmektedir.

2) Sabo frenleme sisteminde uygulanan sıvı yağlamanın tekerlek kaymasına sebep olmadığı anlaşılmıştır. Bu da sabo frenleme sisteminin kullanıldığı trenlerde, sıvı yağlama sisteminin katı yağlama sistemiyle aynı etkinlikte kullanılabileceğini göstermiştir.

3) Katı ve sıvı boden yağlama sistemi ile yapılan deneyler sonucunda tekerlek boden bölgesi aşınma miktarları birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Bu sonuçlar iki yağlama sisteminin tekerlek aşınması açısından birbirine üstünlük sağlamadığını göstermektedir. Ancak diğer hususlar (maliyet,

bakım, kirlilik, gürültü vb.) işletmeler açısından önemli derecede sorun yaratıyorsa gerekli araştırmalar yapılarak sıvı yağlama sistemine geçiş yapılabilir. Ankara Metrosunda katı ve sıvı yağlama sistemlerinin kurulum ve işletim giderlerinde yapılan karşılaştırma, sıvı yağlamanın maliyetinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sıvı yağlamanın uygulanabilirliği ile ilgili olarak sürdürülen bu çalışmada sadece bir bojiye sıvı yağlama takılmıştır. Ankara Metrosunda bulunan toplam 216 adet bojiye sıvı yağlama sistemi takıldığında oluşabilecek sıvı yağlamanın tekerlek aşınmasına en çok sebebiyet veren tekerlek kaymasını arttırması ihtimali gözden kaçırılmamalıdır.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF SOLID AND LIQUID LUBRICATION ON WHEEL WEAR IN ANKARA METRO TRAINS

Lubrication is used in metro and railway systems to reduce rail-wheel wear. Today, no standard has been established for wheel flange lubrication systems and type of lubricants to be used and which lubrication

systems and lubricants are effectively used with which railway system can't be determined without tests on site. In this study, wheels with solid lubrication is compared with the ones without lubrication and liquid lubrication is compared with solid lubrication systems considering the wheel wears. In the first experiment, which is done in the Ankara Metro with the sabo braking system, the applicability tests of liquid lubrication were done. In the second part of the experiment, train without a lubrication system is compared with a train with solid lubrication by making the wheel wear measurements with the wheel lathe machine. In the third part of the experiment, the wheel wears with a solid lubrication system and with a liquid lubrication system were examined with the photographs and measurements taken on the wheel.

Keywords: solid lubrication, liquid lubrication, flange lubrication, wheel wear

Teşekkür: Yazarlar, bu çalışma süresince tesislerinin kullanmasına müsaade eden ve yardımlarını esirgemeyen Ankara Metrosu personeline teşekkürü borç bilirler.

KAYNAKÇA

1. Dearden, J., "The Wear of Steel Rails and Tyres in Railway Service", *Wear*, 3: 400-409 (1960).
2. Steele, R. K., "Observation of in Service Wear of Railroad Wheels and Rails Under Condition of Widely Varying Lubrication", *ASLE Transactions*, 25(3): 400-409 (1982).
3. McEwen, I. J., Harvey, R. F., "Full- scale Whell- on Rail Testing: Compasisions with Service Wear and Developing Theoretical Predictive Model", *Lubrication Engineering*, 41(2): 80-88 (1985).
4. Kumar, S., "Wheel- Rail Contact Wear Work and Lateral Force for Zero Angle of Attack – A Lobarotory Study", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transaction of The ASME*, 106: 319-326 (1984).
5. Beagley, T. M., "Severe Wear of Rolling/Siliding Contacts", *Wear*, 36: 317-335 (1976).
6. Bolton, P. J., Clayton, P., "Rolling- Sliding Wear Damage in Rail and Tyre Steels", *Wear*, 93: 145-165 (1984).
7. Krause, H., Poll, G., "Wear of Wheel-Rail Surfaces", *Wear*, 113: 103-122 (1986).
8. Garnham, J. E., Beynon, J. H., "Dry Rolling-Sliding Wear and Pearlitic Steels", *Wear*, 57: 81-109 (1992).
9. Telliskivi, T., Olofsson, U., "Contact Mechanics Analysis of Measured Wheel Rail Profiles Using the Finite Element Method", *Proceeding of the IMechE, Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, 215: 65-72 (2001).
10. Deters, L., Proksch, M., "Friction and wear of rail and wheel meterial", *Proceeding of CM2003, 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Göteborg, 1:175-181 (2003).
11. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, "Ray- Tekerlek Aşınmaları Araştırma Raporu", *TCDD raporu, Ankara*, 2-10 (1999).
12. Kapoor, A., Fletcher, D.I., Schmid, F., Sawley, K.J., Ishida, M., "Tribology of Rail Transport", *Modern Tribology Handbook*, ABD ,1271-1330 (2001).
13. Steele, R. K., Devine, T. J., "Wear of rail/whell systems" in *Proc. Int Symp. Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Kanada, 293-315 (1982).
14. Olofsson, U. and Telliskivi, T., "Wear, friction and plastic deformation of two rail steels-full scale test and laboratory study", *Wear*, 254: 80-93 (2002).
15. Nilsson, R., "Wheel Rail Wear and Surface Cracks", *Licentiate Thesis, KTH*, Stockholm, 1-10 (2003).
16. Waara, P., "Wear Reduction Performance of Rail Flange Lubrication", *Licentiate thesis LTU, Mechanical Engineering* (2000).
17. Cantara, F., "Investigation of wheel flange wear on the Santander FEVE rail – a case study" *Wear*, 162: 975-979 (1973).
18. Bombardier Inc. "Demiryolu Araçları" *ART Sistemi Tasarım El Kitabı TR 250 1-C 001, Bombardier*, Kanada, 5-6 (1993).
19. Bombardier Inc., "Geometrik Tasarım Kriterleri", *ART Sistemi Tasarım El Kitabı, Bombardier*, Kanada, 72 (1993).