

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Demir, Taş, Kul, Sür, Fren Bal, Üretim

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orkun Subaşı

2005

2
70
28

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİRYOLU TAŞITLARINDA KULLANILAN
SÜRTÜNMELİ FREN BALATALARININ ÜRETİMİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Orkun SUBAŞI

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)

İSTANBUL, 2005

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R 370-128

Kayıt No 2671
Geldiği Yer Fen Bilim Enst.
Tarih 17.10.05
Fiyat 4.45
Fatura No -
Ayniyat No 1/16
Ek

x1-89

DEMİRYOLU TAŞITLARINDA KULLANILAN SÜRTÜNMELİ FREN BALATALARININ ÜRETİMİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Orkun SUBAŞI

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)

Prof. Dr. Hüseyin Sönmez

Prof. Dr. Adem BAKKALCI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. FREN SİSTEMLERİ	2
2.1 Frenlerin Gelişimi	2
2.2 Tren Fren Sistemleri	3
2.2.1 Mekanik Fren Sistemleri	5
2.2.2 Seramik Partikül Sistemi	5
2.2.3 Ray Frenleri	5
2.3 Dökme Demir Fren Balataları	6
2.3.1 Dökme Demir Fren Balatalarının Üretimi	6
2.3.2 Demiryollarında Gürültü Problemi	7
2.3.3 Dökme Demir Fren Balatalarının Kompozit Fren Balataları İle Değiştirilmesi	7
3. KOMPOZİT FREN BALATASI ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER	9
3.1 Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	9
3.2 Kullanılan Bileşenlerin Sınıflandırılması	9
3.2.1 Aşındırıcılar	9
3.2.2 Sürtünme Düzenleyicileri	10
3.2.3 Dolgu Malzemeleri ve Güçlendiriciler	11
3.2.3.1 Dolgu Malzemeleri	12
3.2.3.2 Fiberler	13
3.2.3.3 Fiberlerin Genel Etkileri	15
3.2.3.4 Mahun Cevizi (Cashew) Partikülleri ve Potasyum Titanat	17
3.2.4 Bağlayıcı Malzemeler	18
3.2.4.1 Fenolik Reçine	19
3.2.4.2 Stiren Bütadien Kauçuğu	21
3.3 Asbestin Sürtünme Elemanlarında Kullanımı	23
3.3.1 Asbestin Zararları	23
3.3.2 Asbestin Yerine Kullanılabilecek Maddeler	24

4.	FREN BALATALARINDA MEYDANA GELEN PROBLEMLER.....	25
4.1	Isı Etkisi İle Sürtünme Katsayısının Değişimi	25
4.2	Nemin Frenleme Mesafesine Etkisi.....	25
4.3	Frenleme Sırasında Oluşan Tribolojik Etki	25
4.4	Sürtünme Film Tabakası.....	26
4.5	Kompozit Fren Balatalarında Aşınma	27
4.6	Isıl Deformasyon	28
5.	BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ÖRNEKLERİ.....	30
6.	BALATALARIN ÜRETİMİ	40
6.1	Balata Üretim Prosesi	40
7.	SÜRTÜNME MALZEMELERİNE UYGULANAN DENEYLER	42
7.1	Sürtünme Malzemelerinden İstenilen Genel Özellikler	42
7.2	Yoğunluk Ölçümü	42
7.3	Sertlik Ölçümü.....	43
7.4	Basma Elastisite Modülünün Belirlenmesi	43
7.5	İç Kesme Mukavemeti Deneyi	46
7.6	Basma Deneyi.....	46
7.7	Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi	46
7.7.1	Sürtünme Katsayısı Deneyinin Yapım Aşamaları.....	47
7.7.2	Kodlar	49
7.8	Balatanın Homojenlik Deneyi	50
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
8.1	Deneyde Kullanılan Kompozisyonun Hazırlanması	51
8.2	Balata Üretimi	52
8.3	Hazırlanan Kompozisyonlar Ve Sürtünme Katsayısı Deneyleri	52
8.4	Balatalara Yapılan Diğer Deneyler	70
8.4.1	Basma Deneyi.....	70
8.4.2	Basma Elastisite Modülünün Belirlenmesi	71
8.4.3	İç Kesme Mukavemeti Deneyi	72
8.4.4	Homojen Dağılım Deneyi.....	73
9.	SONUÇLAR.....	75
	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGE LİSTESİ

D	yoğunluk
M	kütle
V	hacim
E	basma elastisite modülü
d	numune çapı
h	numune yüksekliği
a	numune eni
b	numune boyu
Δh	numune boyunda meydana gelen kısalma
τ	iç kesme mukavemeti
F_{max}	uygulanan maksimum yük
σ_B	basma dayanımı
P_{max}	uygulanan en büyük basma yükü
μ	sürtünme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

TSE	Türk Standartları Enstitüsü	4
CER	Community of European Railways	4
SAE	Society of Automotive Engineers	4
SBR	Stiren Bütadien Kauçuğu	7
TGA	Termogravimetrik Analiz	14
Sekil 3.2	Seramik fiberler	14
Sekil 3.3	Karbon fiberler	14
Sekil 3.4	Çelik fiberler	15
Sekil 3.5	Bakır fiberler	15
Sekil 3.6	Mahun cevizi (cashew)	17
Sekil 3.7	Mahun cevizi (cashew) sürtünme tezu	18
Sekil 3.8	Fenol-formaldehid ekicalı	19
Sekil 3.9	SBR'ın neoklenler yapısı	21
Sekil 3.10	Bantları malzeme	22
Sekil 4.1	Aşınma miktarı ilişkisi	27
Sekil 4.2	Aşınma etkisinde bileşenler'deki yarıma kaybı	28
Sekil 4.3	Eten balatasında ısı etkileri	29
Sekil 5.1	Kar ileminin balata malzemesinin özelliklerine etkisi	30
Sekil 5.2	Redin prosesi	32
Sekil 5.3	Bileşenlerin transfer film kalınlığına etkileri	35
Sekil 5.4	Scrilik - porozite ilişkisi	36
Sekil 5.5	Porozite - sürtünme katsayısı ilişkisi	37
Sekil 5.6	Bileşenlerin sürtünme katsayısına etkileri	37
Sekil 5.7	Disk aşınmasının sürtünme katsayısına etkisi	38
Sekil 5.8	Bileşenlerin sürtünme katsayısı değişimine etkisi	38
Sekil 5.9	Bileşenlerin aşınmaya etkileri	39
Sekil 6.1	Üretim prosesi	40
Sekil 7.1	Metal üzeri metal değme alanı	44
Sekil 7.2	Metal üzeri keramik değme alanı	44
Sekil 7.3	Ennekme basıncına fremlenmeye olan etkisi	45
Sekil 7.4	Balataların ortamları ve ısı sürtünme katsayısı	47
Sekil 8.1	Üretim prosesi	52
Sekil 8.2	Deneme 1'in sürtünme katsayısı deney grafikleri	57
Sekil 8.3	Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deney grafikleri	60
Sekil 8.4	Deneme 3'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri	63
Sekil 8.5	Deneme 4'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri	66
Sekil 8.6	Deneme 5'in sürtünme katsayısı deney grafikleri	69
Sekil 8.7	Deneme 6'nın sürtünme katsayısı deney grafikleri	72
Sekil 8.8	Deneme 7'nin sürtünme katsayısı deney grafikleri	74
Sekil 8.9	Deneme 8'in sürtünme katsayısı deney grafikleri	76
Sekil 9.1	Karın balataların sürtünme katsayısı deney grafikleri	81
Sekil 9.2	Karın balataların sürtünme katsayısı deney grafikleri	81
Sekil 9.3	Sürtünme katsayısı deneyi 1. aşınma grafiği	83
Sekil 9.4	Sürtünme katsayısı deneyi 1. yarıma grafiği	83
Sekil 9.5	Sürtünme katsayısı deneyi 1. aşınma grafiği	84
Sekil 9.6	Sürtünme katsayısı deneyi 2. yarıma grafiği	84
Sekil 9.7	Sürtünme katsayısı deneyi 2. aşınma grafiği	85
Sekil 9.8	Sürtünme katsayısı deneyi 2. yarıma grafiği	85
Sekil 9.9	Sürtünme katsayısı deneyi 2. aşınma grafiği	86

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tekerlek frenleri.....	4
Şekil 2.2 Akstan bağlı disk frenler	4
Şekil 2.3 Tekerlekten bağlı disk frenler	4
Şekil 2.4 Dökme demir fren balatası üretim yöntemi	7
Şekil 3.1 Aramid hamur (pulp).....	14
Şekil 3.2 Seramik fiberler.....	14
Şekil 3.3 Karbon fiberler.....	14
Şekil 3.4 Çelik fiberler	15
Şekil 3.5 Bakır fiberler	15
Şekil 3.6 Mahun cevizi (cashew)	17
Şekil 3.7 Mahun cevizi (cashew) sürtünme tozu	18
Şekil 3.8 Fenol formaldehit eldesi.....	19
Şekil 3.9 SBR'nin moleküler yapısı	21
Şekil 3.10 Banburi mikser	22
Şekil 4.1 Aşınma sıcaklık ilişkisi	27
Şekil 4.2 Sıcaklık etkisinde bileşenlerdeki yanma kaybı	28
Şekil 4.3 Fren balatasında ısı etkileri	29
Şekil 5.1 Kür işleminin balata malzemesinin özelliklerine etkisi	30
Şekil 5.2 Üretim prosesi	32
Şekil 5.3 Bileşenlerin transfer film kalınlığına etkileri	35
Şekil 5.4 Sertlik – porozite ilişkisi	36
Şekil 5.5 Porozite – sıkıştırılabilirlik ilişkisi.....	37
Şekil 5.6 Bileşenlerin sürtünme katsayısına etkileri	37
Şekil 5.7 Disk sıcaklığının sürtünme katsayısına etkisi	38
Şekil 5.8 Bileşenlerin sürtünme katsayısı değişimine etkisi	38
Şekil 5.9 Bileşenlerin aşınmaya etkileri	39
Şekil 6.1 Üretim prosesi	40
Şekil 7.1 Metal üzeri metal değme alanı	44
Şekil 7.2 Metal üzeri kauçuk değme alanı	44
Şekil 7.3 Frenleme basıncının frenlemeye olan etkisi.....	45
Şekil 7.4 Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı.....	47
Şekil 8.1 Üretim prosesi	52
Şekil 8.2 Deneme 1'in sürtünme katsayısı deneyi grafikleri.....	57
Şekil 8.3 Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deneyi grafikleri.....	60
Şekil 8.4 Deneme 3'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri.....	63
Şekil 8.5 Deneme 4'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri.....	66
Şekil 8.6 Deneme 5'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri.....	69
Şekil 8.7 Deneme 4'ün x1000 büyütmede incelenmesi	73
Şekil 8.8 Deneme 4'ün x200 büyütmede incelenmesi	74
Şekil 9.1 Orijinal balatanın sürtünme katsayısı deney grafikleri	76
Şekil 9.2 Karşılaştırmalı özgül aşınma grafiği	81
Şekil 9.3 Sürtünme katsayısı deneyi 1. alıştırma grafiği.....	83
Şekil 9.4 Sürtünme katsayısı deneyi 1. yorma grafiği.....	83
Şekil 9.5 Sürtünme katsayısı deneyi 1. dinlendirme grafiği.....	84
Şekil 9.6 Sürtünme katsayısı deneyi 2. yorma grafiği.....	84
Şekil 9.7 Sürtünme katsayısı deneyi 2. dinlendirme grafiği.....	85
Şekil 9.8 Sürtünme katsayısı deneyi son alıştırma grafiği	85
Şekil 9.9 Sürtünme katsayılarının karşılaştırılması	86

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Fren balatalarının gelişimi.....	3
Çizelge 2.2 Demiryollarında kullanılan frenler.....	4
Çizelge 3.1 Aşındırıcılar ve genel özellikleri.....	10
Çizelge 3.2 Sürtünme düzenleyicileri ve genel özellikleri.....	11
Çizelge 3.3 Baritin özellikleri	12
Çizelge 3.4 Dolgu malzemeleri ve genel özellikleri	13
Çizelge 3.5 Fiberlerin balatanın özelliklerine etkileri	16
Çizelge 3.6 Fenolik reçine eldesi	19
Çizelge 3.7 Resol ve novalak tipi fenolik reçinelerin kullanım alanları	21
Çizelge 4.1 Bileşenlerin Mohs sertlikleri.....	27
Çizelge 5.1 Hazırlanan kompozisyon.....	30
Çizelge 5.2 Hazırlanan bileşim	31
Çizelge 5.3 Deneyde kullanılan kompozisyon	33
Çizelge 5.4 Hazırlanan kompozisyon.....	34
Çizelge 5.5 Hazırlanan kompozisyon.....	34
Çizelge 5.6 Hazırlanan kompozisyon.....	36
Çizelge 6.1 Üretim aşamasında yaş ve kuru proses parametreleri	40
Çizelge 7.1. Deney yapım aşamaları	49
Çizelge 7.2 SAE kodlar	50
Çizelge 8.1 Deneme A bileşimi.....	53
Çizelge 8.2 Deneme B bileşimi.....	54
Çizelge 8.3 Deneme C bileşimi.....	54
Çizelge 8.4 Deneme 1 bileşimi.....	55
Çizelge 8.5 Deneme 1'in sürtünme katsayısı deneyi sonuçları.....	56
Çizelge 8.6 Deneme 2 bileşimi.....	58
Çizelge 8.7 Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deneyi sonuçları.....	59
Çizelge 8.8 Deneme 3'ün bileşimi	61
Çizelge 8.9 Deneme 3'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları	62
Çizelge 8.10 Deneme 4 bileşimi.....	64
Çizelge 8.11 Deneme 4'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları	65
Çizelge 8.12 Deneme 5 bileşimi.....	67
Çizelge 8.13 Deneme 5'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları	68
Çizelge 8.14 Basma deneyi numune ölçüleri ve uygulanan maksimum kuvvet	70
Çizelge 8.15 Orijinal balata basma deneyi numune ölçüleri ve uygulanan maksimum kuvvet.....	70
Çizelge 8.16 Deneme 4 basma deneyi sonuçları	71
Çizelge 8.17 Orijinal balata basma deneyi sonuçları	71
Çizelge 8.18 Deneme 4 basma elastisite modülü deney sonuçları.....	71
Çizelge 8.19 Orijinal balata basma elastisite modülü deney sonuçları	72
Çizelge 8.20 Deneme 4'ün iç kesme mukavemeti deney sonuçları	72
Çizelge 8.21 Orijinal balata iç kesme mukavemeti deneyi sonuçları.....	72
Çizelge 9.1 Orijinal fren balatası sürtünme katsayısı deney sonuçları.....	75
Çizelge 9.2 Deneme 1 ve deneme 2'nin aşınma kaybı değerleri karşılaştırması	77
Çizelge 9.3 Deneme 1 ve deneme 2'nin sürtünme katsayısı yoğunluk ve sertlik değerleri.....	77
Çizelge 9.4 Deneme 3'ün aşınma, sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri.....	78
Çizelge 9.5 Deneme 4 ve deneme 5'in aşınma miktarları.....	79
Çizelge 9.6 Deneme 4 ve deneme 5'in sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri.....	79
Çizelge 9.7 Deneme 4 ve orijinal balatanın aşınma miktarları	79
Çizelge 9.8 Deneme 4 ve orijinal balatanın sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri.....	80
Çizelge 9.9 Orijinal balata, deneme4, deneme 5 ve deneme 3'ün özgül aşınma değerleri.....	80

Kompozit fren balatalarının gelişimi ülkemizde henüz gelişmekte olan bir konudur. Demiryollarında kullanılan dökme demir fren balatalarının yerini almaya başlayan bu kompozit fren balataları çok daha üstün özelliklere sahiptir. Bu çalışmada da kompozit fren balatalarının getirdiği avantajlar araştırılmıştır.

Bu çalışmayı yapmamda bana yol gösteren Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a, stajıma katkılarını deneylerini yapmamda ve analize benim konumda yardımcı olan BERKA BALAJI'ya, danışmanlarımdan dolayı Serap Hattas Dilekçi Sarı ve Dr. Lal. St. paçacı müd. Zeynep YILMAZ'a, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Fak. Malzeme Bilim ve Teknolojisi Bölümü ile birlikte çalıştığım arkadaşlarıma ve de benim hocam olan Doç. Dr. Ayhan KARASARAL'a ve de benim hocam olan Doç. Dr. Ayhan KARASARAL'a teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Kompozit fren balatalarının üretimi ülkemizde henüz gelişmekte olan bir konudur. Demiryollarında kullanılan dökme demir fren balatalarının yerini almaya başlayan bu kompozit fren balataları çok daha üstün özelliklere sahiptir. Bu çalışmada da kompozit fren balatalarının getirdiği avantajlar araştırılmıştır.

Bu çalışmayı yapmamda bana yol gösteren Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a, sürtünme katsayısı deneylerinin yapılmasında ve malzeme temini konusunda yardımcı olan BERKA BALATA San.'a, yardımlarından dolayı Serpa Hassas Döküm San. ve Tic. Ltd. Şti. genel müdürü Zafer YILMAZ'a, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü teknisyenlerine, hep yanımda olan Eylem KARASAKAL'a ve de bana her zaman destek olan aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Kompozit fren balataları hızla dökme demir fren balatalarının yerini almaktadır. Demiryolu kompozit fren balatalarında korozyon direnci, hafiflik, uzun ömürlülük, düşük ses, kararlı sürtünme katsayısına sahip olma, düşük aşınma oranı ve ekonomik özellikleri aranır. Kompozit fren balatalarında kullanılan bileşenler; aşındırıcılar, sürtünme düzenleyiciler, dolgu malzemeleri güçlendiriciler ve bağlayıcılar olarak dörde ayrılır. Kompozisyondaki bileşenlerin her birinin oranının % 1- 2 değiştirilmesi fren balatasının özelliklerini değiştirebilmektedir.

Bu araştırmada 8 değişik balata numunesi üretilmiştir. Üretimde karıştırma, sıcak presleme ve kür işlemi uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonunda demiryollarında kullanılmaya uygun fren balatası kompozisyonu araştırılmış ve hazırlanan numunelere başta sürtünme katsayısı ve aşınma olmak üzere, yoğunluk, sertlik, basma, basma elastisite modülü ve iç kesme mukavemeti deneyleri uygulanmıştır.

Ağırlıkça %10 demir yünü, %2 aramid hamur (pulp), %12 novalak tipi fenolik reçine, %10 PbS, %10 ZnS, %10 karbon, %8 sürtünme tozu, %25 barit, % 8 lastik tozu, %5 demir tozu içeren kompozisyon homojen olarak karıştırılmış, hazırlanan kompozisyon 16.6 Mpa basınç altında 200 °C'de 5 dakika preslenmiş ve son olarak numuneye hava sirküasyonlu bir etüvde 6 saat 200 °C'de kür işlemi uygulanmıştır. Sonuçta fren balatasının normal sürtünme katsayısı 0.384, sıcak sürtünme katsayısı 0.370, yoğunluğu 2.23 g/cm³ , sertliği 70-75 HRL, basma elastisite modülü 208.96 N/mm² , iç kesme mukavemeti 18.24 N/mm² , basma dayanımı 51.87 N/mm² olarak bulunmuştur. Bu balatanın deney sonuçları standartlara uydun bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Demiryolu fren balatası, kompozit, sürtünme katsayısı, aşınma

ABSTRACT

Composite railway brakes are replacing with cast iron brakes rapidly. Composite railway brakes must have, resistance to corrosion, light weight, long life, low noise, stable friction, low wear rate, and acceptable cost versus performance characteristics. Composite railway brake additives can be divide in four groups. These are abrasives, friction modifiers, fillers and reinforcements and binder materials. A difference of a percent or two of additive concentration can change the properties of the brake.

In this research 8 different composite railway brake pad produced. In production, mixing, hot moulding and curing processes are used. At the end of these experiments a railway brake pad which can be used in trains is investigated and friction coefficient, hardness, wear, compression strength, impact strength and compression elastic modulus tests are made to prepared samples.

Composition with %10 steel wool, %2 aramid pulp, %12 novalak type phenolic resin, %10 PbS, %10 ZnS, %10 carbon, %8 friction dust, %25 baryte, %8 rubber powder and %5 iron powder is mixed homogenly and the prepared composition is hot moulded under 16.6 MPa pressure at 200°C in 5 minutes. And the prepared sample is cured in an air circulated oven 6 hours at 200°C. Normal friction coefficient 0.384, hot friction coefficient 0.370, density 2.23g/cm³, hardness 70 – 75 HRL, compression elastic modulus 208.96 N/mm², impact strength 18.24 N/mm², compression strength 51.87 N/mm². The test results are suitable for standards.

Keywords: Railway brake pad, composite, friction coefficient, wear

1. GİRİŞ

Hızla gelişen demiryolu taşıtlarının fren sistemleri de gelişmektedir. Yeni dizayn edilen ve üretilen frenler yüksek hızlarda yol alan trenleri durdurabilecek özellikte olmalıdır. Eski tip fren balataları olan dökme demir fren balatalarında çeşitli problemlerle karşılaşilmektedir. Bunların başında gürültü problemi ve sürtünme katsayısındaki değişim problemleri gelmektedir. Fakat yeni geliştirilen kompozit fren balataları, daha hafiftir, daha uzun ömürlüdür, frenleme sırasında daha az gürültü açığa çıkartırlar, kararlı sürtünme katsayısına sahiptirler, düşük aşınma oranına sahiptirler ve fiyatları performansla oranlandığında daha düşüktür. Bütün bunlar göz önüne alındığında dökme demir fren balataları artık kompozit fren balatalarıyla değiştirilmektedir.

Öncelikle yapılan çalışmalar incelendi. Ve bileşenlerin sürtünme ve aşınma karakteristikleri ayrıca diğer fren balatası özellikleri incelenerek demiryollarına kullanılmaya uygun özelliklere sahip fren balatası kompozisyonu araştırıldı.

Yapılan deneylerde kompozisyon hazırlandıktan sonra sıcak presleme işlemi yapıldı ve son olarak hazırlanan numunelere kür işlemi uygulandı. Hazırlanan fren balatası numunelerine başta aşınma ve sürtünme katsayısı olmak üzere çeşitli deneyler uygulandı.

2. FREN SİSTEMLERİ

2.1 Frenlerin Gelişimi

1860'lı yıllarda İngiltere'de ekspres trenlerin 80 km hıza ulaşmasıyla fren sistemleri geliştirilmeye başlandı. Fakat bu sıralarda fren sistemi trenin bütün vagonlarında bulunmuyordu. Fren sadece lokomotif kısmında bulunmaktaydı. Ve fren yapılması gerektiğinde makinist fren yapılması için fren yapmakla görevli kişiye sinyal gönderiyor ve frenleme gerçekleştiriliyordu. Bu sistem demiryollarında birçok soruna sebep olmaktaydı. Yaklaşık 100 yıl önce demiryolu mühendisleri ve metalurjistler fren dizaynı ve üretimi ile ilgili çalışmalar yapmaya başlamıştır. 1960'lardan itibaren çelik bir arka plakaya bağlanan kompozit malzemelerden üretilmiş fren balataları geliştirilmeye başlandı. Yeni fren sistemleri yüksek hızlarda yol alan trenleri durdurmaya uygun olarak; yani çok yüksek miktardaki enerjiyi kısa zamanda dağıtabilecek biçimde tasarlanmaktadır (Blau, 2001).

Trenlerde fren mekanizması olarak mekanik, elektrikli, elektromanyetik frenleme gücünün kullanıldığı ray frenleri gibi çeşitli frenler kullanılır (Hasegawa ve Uchida, 1999).

Genelde demiryolu taşıtlarda tekerlek freni olarak sürtünmeli frenler kullanılmaktadır. Genel olarak doğrudan doğruya tekerleğe bağlı olan bu frenler iki ana fonksiyonu yerine getirirler.

1. Fren momentinin oluşturulması,
2. Enerji değişiminin gerçekleşmesi (kinetik veya potansiyel enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi ve bu ısının atılması) .

Fren malzemelerinin özel gereksinimleri vardır. Bunlar;

- korozyon direnci,
- hafiflik,
- uzun ömürlülük,
- düşük ses,
- karalı sürtünme katsayısına sahip olma,
- düşük aşınma oranı,
- performansla orantılı olarak kabul edilebilir fiyattır.

Frenlerden istenilen diğer özellikleri ise, istenilen frenleme aralığı içinde yavaş ve güvenli frenlemenin sağlanması, uzun süre kullanılabilirliktir. Genel olarak iki çeşit fren balatası vardır. Bunlar disk ve kampana frenler olarak ikiye ayrılabilir (Blau, 2001).

Tarihe bakıldığında günümüze kadar frenlerin yapımında çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Bulara örnek olarak ilk frenlerde kullanılan deri ve tahta ve hala kullanılmakta olan polimer ve fiberler gibi organik malzemeler sayılabilir. Tarihte ilk fren astarı Herbert Froot tarafından 1897’de bulundu. Bu astar pamuk bazlı bir malzemeydi ve ilk otomobil ve tren vagonlarında kullanıldı. İlk kullanılan fren astar malzemeleri kumaştı 1920’lerde ergimiş metallere ve asbest fiberlerden fren balatası üretilmeye başlandı. 1950’ler den itibaren reçineyle bağlanmış metalik astar malzemeleri kullanılmaya başlandı (Blau, 2001).

Çizelge 2.1 Fren balatalarının gelişimi.

Malzeme	Uygulama	Kullanım yılları
Çelik üzerine dökme demir	Demiryolu tekerlekleri	1870’ler
Kumaş	Vagonlarda	1897
Dokunmuş asbest ve pirinç ayrıca diğer performans artırıcı katkıları	Otomobil	1908
Kısa krizotil fiberlerle, pirinç parçalarıyla, ve az miktarda bitümlü kömür tozu ile biçimlendirilmiş astarlar	Otomobil	1926
Dökme demir fren blokları yerine kuru karıştırılmış ve şekillendirilmiş malzeme	Londra metrosu	1930
Daha karışık formülasyonlar için reçine	Fren astarları	1930
Reçine bağlayıcı metalik fren astarları	Endüstriyel ve uçak uygulamalarında	1950
Cam fiberler, mineral fiberler, metal fiberler, karbon ve sentetik fiberlerin kullanılması. Asbestten daha iyi özelliklere sahip semi-metalik malzemeler için.	Otomobil	1960
Asbestsiz malzemeler	Özel araçlarda	1980
Karbon fiberler	Otomobil	1991

2.2 Tren Fren Sistemleri

Trenlerde fren sistemini çizelge 2.2’de ki gibi ayırabiliriz.

Çizelge 2.2 Demiryollarında kullanılan frenler(Hasegawa ve Uchida, 1999)

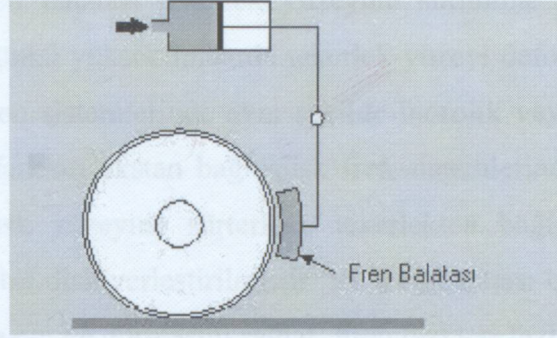
Adhezyonlu frenler

Mekanik frenler

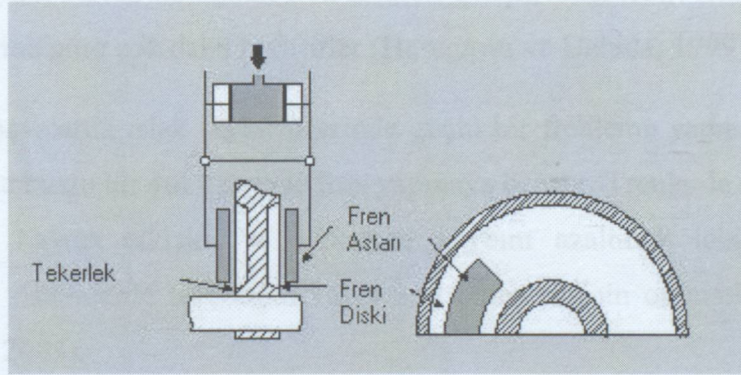
- 1) Tekerlek frenleri
- 2) Akstan bağlı disk frenler
- 3) Tekerlek bağlı disk frenleri

Adhezyonsuz frenler

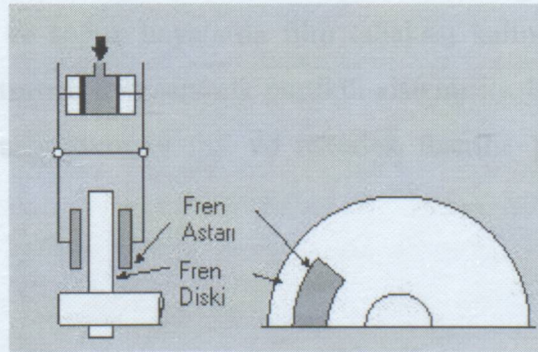
Seramik partikül frenleri
Ray frenleri



Şekil 2.1 Tekerlek frenleri (Hasegawa ve Uchida, 1999)



Şekil 2.2 Akstan bağlı disk frenler (Hasegawa ve Uchida, 1999)



Şekil 2.3 Tekerlekten bağlı disk frenler (Hasegawa ve Uchida, 1999)

2.2.1 Mekanik Fren Sistemleri

Demiryollarında genel olarak kullanılan fren sistemleri, tekerlek frenleri (şekil 2.1), akstan bağlı disk frenler (şekil 2.2), ve tekerlek bağlı disk frenlerdir (şekil 2.3). Bütün bu mekanizmalarda disk yüzeyine bir nesne ile sürtünme kuvveti uygulanır. Uygulanan basınç ile sürtünme kuvveti kontrol edilir(Hasegawa ve Uchida, 1999).

Tekerlek frenlerinde fren balatası tekerlek yüzeyine sürtünme uygular. Bu sistem hızlı trenlerde kullanılamaz çünkü yüksek hızlarda tekerlek yüzeyi deforme olur. Akstan bağlı ve tekerlekten bağlı disk fren sistemlerinde aynı şekilde hidrolik veya pnomatik bir sistem ile frenleme sağlanır. Tek farkları akstan bağlı disk fren sistemlerinde fren balatası tekerleğin yanında bulunan bir disk yüzeyine sürerken, tekerlekten bağlı disk fren sistemlerinde tekerleğin yan yüzeyine bir disk yerleştirilmiştir. Ve fren balatası bu disk yüzeyine sürtünme yaparak trenin yavaşlamasını ve durmasını sağlar. Fren diskleri fazladan ağırlıklar olduğu için daha hafif fren diskleri yapılmaktadır. Bunlara örnek olarak karbon kompozit, alüminyum kompozit ve silisyum karbür kompozit fren diskleri geliştirilmektedir. Bunlar çelik ve dökme demir fren disklerine göre çok daha hafiftirler (Hasegawa ve Uchida, 1999).

Yağışlı ve karlı havalarda ıslak raylar üzerinde güçlü bir frenleme yapmak imkansızdır. Bu aynı otomobillerde buzlu bir yol üzerinde fren yapmaya benzer. Trenlerde kullanılan yeni fren sistemlerinde bu kayma etkisini ve adhezyon kaybını azaltmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yeni sistemlerde tekerleğin kaymasını önlemek için otomatik olarak fren gücü azaltılır (Paukert, 2003).

2.2.2 Seramik Partikül Sistemi

Eğer tekerlek yüzeyi ve ray arasında su film tabakası oluşursa adhezyon kaybolur. Yüksek hızlarda giden trenlerde ve soğuk havalarda film tabakası kalınlığı artar. Tekerlek ve ray arasındaki adhezyonu arttırmak için seramik partikül sistemi ile 10 mikrometre çapında ince seramik partikülleri hava yardımıyla ray ve tekerlek üzerine püskürtülür (Hasegawa ve Uchida, 1999).

2.2.3 Ray Frenleri

Yüksek hızlarda tekerlek yüzeyi ve ray arasındaki adhezyon azalmaktadır ve bu yüzden yüksek hızlarda giden trenler için manyetik alanlar yardımıyla durma ve yavaşlamayı sağlayan manyetik ray frenleri geliştirilmiştir. (Hasegawa ve Uchida, 1999)

2.3 Dökme Demir Fren Balataları

Yüksek sürtünme katsayısı, iyi aşınma direnci, iyi dökülebilirlik özellikleri, ve şok absorblama gibi özellikleri nedeniyle geçmişte gri dökme demir fren balataları demir yollarında tercih edilmekteydi. Bu fren balatalarının dökümleri önceleri kuma döküm daha sonra ise basınçlı döküm yöntemiyle yapılmıştır (Paukert, 2003).

Dökme demir fren balatalarının sürtünme katsayıları sadece hıza bağlı değildir. Aynı zamanda frenleme esnasında fren balatasının tekerleğe uyguladığı kuvvete de bağlıdır.

Dökme demir fren balatalarında,

- 1 - Yüksek hızlarda sürtünme katsayısı azalır
- 2 - Tekerlek yüzeyine yüksek frenleme baskısı uygulandığında sürtünme katsayısı azalır.

Dökme demir fren balatalarının bu dezavantajlarına karşın bazı iyi yönlerde bulunmaktadır. Bunlar;

- 1 - Sürtünme katsayısı hava koşullarından çok az etkilenmektedir
- 2 - Frenleme esnasında ortaya çıkan ısının büyük bir bölümü fren balatası tarafından yayılmaktadır.
- 3 - Frenleme ile tekerlek yüzeyinin pürüzlenmesi tekerlek ve ray arasındaki adhezyonu artırır ve daha güvenli bir durma sağlanır (Paukert, 2003).

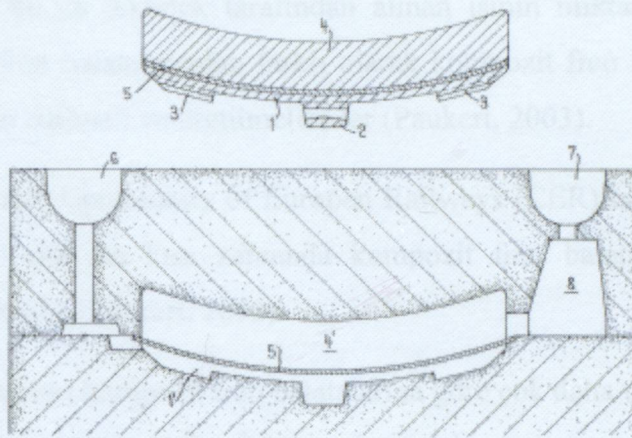
2.3.1 Dökme Demir Fren Balatalarının Üretimi

Şekil 2.4'de bir fren balatasının üretim yöntemi görülmektedir. Görüldüğü gibi döküm boşluğu iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi arka kısım için olan döküm boşluğu 1' ve ikincisi frenleme kısmı için olan döküm boşluğu 4' dür. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi 1' kısmı 1 için 4' kısmı ise 4 içindir.

Bu iki bölme arasında çelik bir şerit bulunmaktadır. Bu çelik levhanın görevi döküm sırasında iki döküm bölgesinin birbirine karışmamasıdır. Bu çelik levha şekil 2.4'de 5 numaralı parçadır. Arka kısmın döküm ağzı ve yolluğu (6) çelik plakanın alt kısmında kalmakta, frenleme kısmının döküm ağzı ve yolluğu (7,8) ise plakanın üst kısmında kalmaktadır. Bu ayırıcı plaka 1 – 2 mm kalınlığındadır ve kavisli bir şekli vardır.

Döküm işlemi iki kademededir. Önce arka kısım dökülür ve hemen ardından balatanın frenleme kısmı daha yüksek fosfor içeriğine sahip alaşımdan dökülür. Böylece plakada iki

parça arasında kaynamış olur (Mezger, 1994).



Şekil 2.4 Dökme demir fren balatası üretim yöntemi. (Mezger, 1994)

2.3.2 Demiryollarında Gürültü Problemi

Demiryolu taşıtlarında kullanılan dökme demir fren balatalarında frenleme sırasında istenmeyen gürültü ve toza neden olmaktadır. Bu gürültü ise demiryolu kenarlarına kurulan şehirlerde yaşayan insanlarda önemli ölçüde rahatsız etmektedir. (Velayutha, 1998; Blau, 2001)

Demiryollarında dökme demir fren balatalarının yerine kompozit fren balatalarının tercih edilmeye başlanmasının nedeninden biride dökme demir fren balatalarında frenleme esnasında meydana gelen gürültüdür. Trenlerden çıkan sesin birinci nedeni trenin tekerleklerinin ray üzerinde dönmesi ile açığa çıkar. Pürüzlü ve aşınmış yani yüzeyinde pürüzler oluşmuş bir tekerlekten elbette daha fazla gürültü çıkacaktır. Halen kullanılmakta olan dökme demir fren balatalarında fren balatasının tekerlek yüzeyine sürtünmesi sırasında ince metal parçaları tekerlek yüzeyine yapışır. Dökme demir fren balatalarının yerine kompozit fren balataları kullanılmaya başlanıldığında bu gürültüde önemli bir azalma olacaktır (Paukert, 2003).

2.3.3 Dökme Demir Fren Balatalarının Kompozit Fren Balataları İle Değiştirilmesi

Fakat kompozit fren balatalarının kullanılmaya başlanmasından önce bazı problemler çözülmelidir. Kompozit fren balatası mutlaka bütün hava koşullarında gerekli sürtünme katsayısını sağlamalı ve uygun duruş sağlamalıdır (Paukert, 2003).

Fren balatasının tekerleğe teması ile frenleme sırasında meydana gelen ısıнын yaklaşık %25 –

30'u dökme demir fren balataları tarafından dağıtılır. Geri kalan ısı ise tekerleğe yayılır. Kompozit fren balataları ise bilindiği gibi dökme demir balatalara göre çok daha az ısı iletkenliğine sahiptir. Bu da tekerlek tarafından alınan ısıнын miktarını arttırmaktadır. Bu yüzden dökme demir fren balatalarından farklı olarak kompozit fren balatalarıyla kullanılan tekerlekler farklı dizayn edilmeli ve üretilmelidirler (Paukert, 2003).

Ses problemlerini ele alan Community of European Railways (CER) bütün dökme demir fren balatalarının mümkün olan en kısa zamanda kompozit fren balataları ile değiştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Paukert, 2003).

Dökme demir fren balataları kompozit fren balatalarına göre çok daha ucuzdur fakat kompozit fren balataları daha uzun ömürlüdürler. Böylece hem daha az balata değişimiyle ve değişim sırasındaki ekstra masrafların azalmasıyla bu açık kapanır. Kompozit fren balataları daha uzun ömürlü ve güvenli hale gelmiş olur (Paukert, 2003).

3. KOMPOZİT FREN BALATASI ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

3.1 Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

Frenleme sistemlerinde kullanılan sürtünme malzemeleri değişen frenleme güçlerinde hızlarda, sıcaklıklarda ve nem koşullarında kararlı sürtünme katsayısı sağlanmalıdır. Sürtünme malzemeleri fren balatasına istenilen özellikleri katabilmek için birçok malzemenin kompozit olarak karıştırılmasıyla üretilir. Çünkü hiçbir malzeme tek başına istenilen özellikleri sağlayamaz. Bu kompozit malzemeler hazırlanırken yaklaşık 2000 değişik malzeme içinden seçim yapılır ve bunların kombinasyonları kullanılır. Bir kompozit fren balatası hazırlanırken bazen 10 ve daha fazla bileşen kullanılır. Kompozisyon kontrolü çok önemlidir, bu bileşenlerden her birini % 2 –3 oranında fazla yada eksik kullanmak sürtünme özelliklerini önemli ölçüde değiştirir (Kim ve Jang, 2000; Blau, 2001; Jang vd., 2000).

Geleneksel sürtünme malzemeleri (disk fren balataları, kampana fren astarları gibi); mineral fiberler, çeşitli dolgu malzemeleri, sürtünme ayarlayıcı malzemeler ve aşındırıcı olarak görev yapan metal tozları ve bileşenleri homojen şekilde bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı malzemelerden oluşur. Kullanılan fren balatalarının kompozisyonlarını literatürde açık olarak bulmak çok zordur (Jang vd., 2000; Blau, 2001).

3.2 Kullanılan Bileşenlerin Sınıflandırılması

Sürtünmeli fren balatalarında kullanılan bileşenleri dört kategoride inceleyebiliriz. Bunlar:

- 1 – Aşındırıcılar
- 2 – Sürtünme düzenleyiciler
- 3 – Dolgu malzemeleri ve güçlendiriciler
- 4 – Bağlayıcı malzemeler

3.2.1 Aşındırıcılar

Aşındırıcılar yüzeyin temizliğini ve sürtünen yüzeylerdeki film tabakasını kontrol ederler. Bunlar durma sırasında sürtünmeyi de artırırlar. Aşındırıcılar yüksek sıcaklıklarda sürtünme ve sürtünme dengesini arttırmaktadır. Bu yüzden fren diskleri için önemlidir. Performans ve analiz sonuçlarından elde edilen bilgilere göre kompozit fren balatası en az %5 aşındırıcı malzeme içermelidir. Ancak, bunlar disk aşınmasını da hızlandırırlar. Aşındırıcıların kompozisyonda seçimi çok önemlidir ve genelde bir kompozisyonda 2 – 3 çeşit aşındırıcı

kullanılır. Yanlış aşındırıcı ise ses problemlerine yol açar (Lotfipour, 1995; Jang vd., 2000; Blau, 2001).

Aşındırıcıların sürtünme katsayısını arttırma özelliğini yerine getirebilmesi için aşındırıcı malzemenin sertliğinin 5-6 mohs arasında olmalıdır (Eggleston, 2000).

En sık kullanılan aşındırıcı malzeme demir tozudur. Demir tozunu 1 – 180 μm arası seçmek yerinde olacaktır ama daha istenilir ölçüler 20 – 45 μm arasındır. Eğer 1 μm 'den düşük olursa üretim prosesi komplike ve yüksek maliyetli olacaktır. 180 μm 'den daha büyük metal tozları kullanıldığı zaman ise anlaşılamayan bir nedenden dolayı metal fiberler etkilerini kaybetmektedir. Partikül çapı 20 μm olması sürtünme malzemesinin ısıyı yaymasını sağlar. Yine partikül çapının 45 μm veya az olması sürtünen yüzeyin zarar görmesini önler. Partikül çapı 20 – 45 μm arası olması karıştırma ve malzeme fiyatları açısından uygundur (Okayama, 2003) .

Çizelge 3.1'de sık kullanılan aşındırıcı malzemeler ve genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Aşındırıcılar ve genel özellikleri (Blau, 2001)

Malzeme	Kullanım
Alüminyum oksit	Hidrat formu: aşınma dreni sağlar, Unhidrat formu: aşındırıcıdır, Fused alumina çok serttir ve en aşındırıcı halidir.
Demir oksitler	Hematit:az aşındırıcı, magnetit aşındırıcı
Kuartz	Ucuzdur aşındırıcıdır.
Silika	Orta derece aşındırıcıdır.
Zirkonyum silikat	İnce zirkon taneleri sayesinde aşınma azalır. Sürtünme katsayısı azalır. Frenleme gürültüsü azalır.

3.2.2 Sürtünme Düzenleyiciler

Bu katkı malzemeleri sürtünmeyi düzenler ve sürtünme katsayısını istenilen seviyede tutmaya yardımcı olur. Çizelge 3.2'de bazı örnek malzemeler ve özellikleri verilmiştir (Blau, 2001).

Asbestsiz fren balatalarında grafit, MoS_2 , Sb_2S_3 , ZnS , PbS ve ucuz olduğu için petrol koku ve karbon sürtünme düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Katı yağlayıcı olarak kullanılan bu bileşenler sürtünme film tabakasının oluşumuna yardımcı olur ve yüksek sıcaklıkta sürtünme katsayısını kararlı halde tutar ve aşınmayı azaltır. Sürtünme düzenleyicilerin dez avantajı kompozitin yük taşıma kapasitesini azaltırlar bu dezavantaj kompozisyona fiber ilavesiyle

azaltılır (Eggleston, 2000).

Çizelge 3.2 Sürtünme düzenleyicileri ve genel özellikleri (Blau, 2001)

Malzeme	Tanım
Antimon trisülfid	Sürtünme kararlılığını güçlendirir
Pirinç	%62Cu-%38Zn Sık kullanılır. Yaş sürtünme özelliklerini iyileştirir
Karbon	Ucuzdur ve sık kullanılır. Sürtünme seviyesi rutubetten ve yapıdan etkilenir
Seramik	Çok az miktarda demir ve TiO içeren alümina silika aşınmayı ve sürtünmeyi kontrol eder.
Bakır	Isı transferini kontrol eder. Sürtünme katsayısını düşürür.
Kurşun oksit	PbO sürtünme düzenleyicisi olarak kullanılır
Metal oksitler(çeşitli)	Magnetit soğuk sürtünmeyi geliştirir. Cr ₂ O ₃ sürtünmeyi artırır.
Metal sülfidler(çeşitli)	Sürtünme katsayısını şekillendirirler.Örneğin Sb: 0,47-0,49, PbS:0,40-0,47, Cu: 0,36-0,52 Cu-S için aşınma kötüdür PbS aşınmayı azaltır ve frenleme esnasında çıkan gürültüyü de azaltır. ZnS yüksek yük ve sıcaklıklarda tercih edilen düşük fiyatlı katı yağlayıcı malzemedir.
Petrol koku	Düşük fiyatlıdır, sürtünmeyi düşürür.

Frenlerde kullanılan kurşun miktarı da sağlık nedenleriyle önemlidir. (özellikle trafiğin yoğun olduğu tünellerde ve test yerlerinde) Pirinç ve bakır tozları sürtünme film tabakasını güçlendirir ve sıcaklık nedeniyle oluşan sürtünme kaybını azaltır (Ho vd., 2004). Seramik malzemeler termal kararlılıkları ve yüksek sertlikleri nedeni ile fren balatası malzemelerinde sıkça kullanılmaktadır.

3.2.3 Dolgu Malzemeleri ve Güçlendiriciler

Dolgu malzemeleri, tüm malzeme kompozisyonunda aynı sürtünme özelliklerini sağlamak için kullanılır (Blau, 2001). Aşınma dayanımı ve sürtünme katsayısı özelliklerinde kompozisyona eklenen fiberlerinde rolü önemlidir. Sürtünme malzemelerinin mekanik ve tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi için en önemli yöntemlerden biri yapıya fiber ekleme. Fiber takviye elemanlarının eklenmesiyle sürtünme malzemesinin mukavemet termal kararlılık, sürtünme bükülebilirliği özellikleri iyileştirilir (Morshed, 2004).

3.2.3.1 Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemelerinin de malzemelerinde kendi farklı özellikleri vardır. 10 - 15 yıl önce asbest en iyi bilinen takviye elemanı olup çok çeşitli ürünlerde ipliksi yapısından, yüksek sıcaklığa dayanıklılığından, düşük iletkenliği ve uygun fiyatından dolayı fazlaca kullanılmaktaydı. Ancak zamanla sağlık ve güvenlik nedenleri ile başka malzemeler ve malzeme karışımları mukavemet, tiksotropi, ateşe dayanıklılık ve izolasyon gibi özellikler sağlamak amacıyla değerlendirilmiştir. Sürtünme elemanlarında sürtünmeye karşı davranışı, mukavemeti, düşük pabuç ve disk aşınmasını, düşük gürültü seviyesi, ısıya dayanıklılığı ve asbestin sağladığı gibi kolay işlenme özelliklerini elde edebilmek için birçok malzemenin karışımını kullanmak gerekmektedir. Asbestin yerine kullanılabilecek temel yaklaşımlar (1) Asbest dışı organikler (2) Yarı metalikler (3) iki malzemenin özelliklerini birleştiren hibrid malzemelerdir (Lekili, 2002).

Dolgu maddeleri genellikle maliyetleri düşürmek için kullanılmaktadır. Fakat sürtünme elemanları söz konusu olduğu zaman dolgu maddelerinin bir takım özellikleri daha da geliştirmesi beklenmektedir. Barit geleneksel ve en çok kullanılan dolgu maddesi olup yarı metaliklerin kullanıldığı sürtünme elemanları formülasyonunda hacim olarak %5 ila %20 oranlarında kullanılmaktadır. Ağırlık bazında kullanım miktarı baritin yüksek yoğunluğundan dolayı doğal olarak daha yüksek oranlara ulaşır. Baritin dolgu maddesi olarak en önemli avantajları yüksek ısıya dayanıklılık, düşük veya orta derecede aşındırıcılık ve düşük yağ emme özellikleridir. Diğer birçok mineralden farklı olarak barit ısıtıldığı zaman kristallenme suyunu ve karbondioksiti kaybetmez ki bu sürtünme elemanları için çok önemlidir. Baritin düşük veya orta dereceli aşındırıcılığı sürtünme özellikleri ve aşınma yönünden doğal bir katkı maddesi olmasını sağlamaktadır. Sürtünme elemanları dolgu maddesi olarak kullanılan baritin kalsiyum karbonat (550°C 'den itibaren CO_2 verir) ve silika (aşınabilirliği etkiler) gibi safsızlıkların minimum miktarlarda olması istenir. Bağlayıcı gereksinimini azalttığı ve yüksek sıcaklıklarda sürtünme kaybını minimuma indirdiği için baritin tane ebadının iri veya orta incelikte (50 - 80 μm en büyük tane ebadı) olması istenir (Lekili, 2002).

Çizelge 3.3 Baritin özellikleri (Lekili, 2002)

Moleküler ağırlık (g/mol)	233.39
Yoğunluk (g/cm^3)	4.5
Ergime derecesi	1580
Mohs sertliği (20°C 'de)	3.25
Ph	4 – 9.6
Renk	Beyaz

Çizelge 3.4 Dolgu malzemeleri ve genel özellikleri

Malzeme	Tanım
Asbest	En çok kullanılan dolgu malzemesidir
Baryum sülfat	BaSO ₄ Sürtünme dayanımını artırır fakat yoğunlukta da artma gözlenir
Kalsiyum karbonat	CaCO ₃ yüksek sıcaklıklarda kararlı değildir.
Pamuk ipliği	Matris için güçlendirici fiber olarak kullanılmış
Ca(OH) ₂	Korozyonu önlemek için kullanılır Aşınma dayanımını artırır.
Potasyum titanat	Asbest yerine kullanılmaya başlanmıştır
Kauçuk	Polimer kompozit fren malzemelerinde aşınma direncini artırır. Gürültüyü azaltır. Proseste şekillendirilebilirliği artırır. Sürtünme katsayısını düşürür.
Aramid fiberler	Mekanik özellikleri güçlendirici fiberlerdir. Sürtünme katsayısını artırır.
Mahun cevizi (cashew)	Sürtünme kararlılığı sağlar soğukta aşınmayı düzenler. Sürtünme katsayısını düşürür.
MgO	Aşınmayı artırır sürtünme katsayısını artırır
ZnO	Aşınma direncini artırır

3.2.3.2 Fiberler

Aramid fiberler

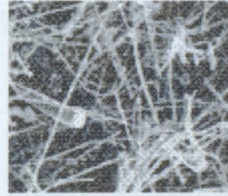
Yapılan çalışmalarda kullanılan aramid fiberlerin sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirmede önemli rolü olduğu gözlenmiştir. Aramid pulp aynı zamanda iyi bir dolgu malzemesi ve prosese işlenebilmeye yardımcı bir bileşendir. Hazırlanan sürtünme malzemesi kompozisyonlarında %2 – 10 arası aramid pulp sonuç ürüne iyi mekanik özelliklerin kazandırılması için kullanılır. Aramid fiberlerin balata kompozisyonuna katılması balatanın ısı direncini artırır. Fakat aramid fiber oranını %10'un üzerine çıkarmak sürtünme katsayısının kararlılığını etkilememektedir. Aramid fiber oranının artırılması sürtünme katsayısını arttırmaktadır (Kim ve Jang, 2000).



Şekil 3.1 Aramid hamur (pulp) (www.cardanol.be)

Aramid fiberler sertliği artırır ve kompozit malzemeyi güçlendirir. Demiryolu taşıtları gibi ağır araçların fren malzemelerinin aşınma oranlarının azaltılması için ağırlıkça %0.5 – 11 fiber, %66 – 81 dolgu malzemesi, %14 – 21 organik bağlayıcı malzemesi kullanılmaktadır (Ho vd., 2004).

Seramik fiberler

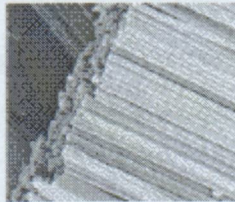


Şekil 3.2 Seramik fiberler (Ho vd., 2004)

Seramik fiberler iyi termal kararlılıkları ve sertlikleri nedeniyle kullanılır. Alumina ve silika içeren seramik fiberler aşınma direncini artırır ve yüksek sıcaklıklarda balatanın özelliklerini iyi yönde etkiler (Ho vd., 2004).

Demiryolu lokomotiflerinin fren balatalarının aşınma oranlarının azaltılması için %0.5 – 11 seramik fiber kullanılması önemli fayda sağlar.

Karbon fiberler



Şekil 3.3 Karbon fiberler (Ho vd., 2004)

Karbon fiberlerin sürtünme malzemelerine katılması termal iletkenliği artırır ve ısı dağıtım özelliklerini artırır. Sürtünmeli fren balatası malzemelerinde %0.5 – 29 (ağırlıkça) karbon fiber kullanılması ile iyi ısı direnci ve aşınma direnci elde edilir. Fren balatalarında ve astar malzemelerinde genellikle ağırlıkça %0.85 – 30 karbon fiber ve % 2 – 20 aramid fiber kullanılmaktadır (Ho vd., 2004).

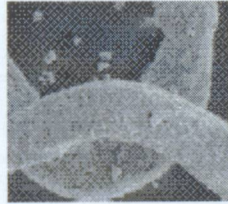
Çelik fiberler



Şekil 3.4 Çelik fiberler (Ho vd., 2004)

Sürtünme malzemelerinde en sık kullanılan metalik fiberler düşük karbonlu çelik fiberlerdir. Çelik fiberler sürtünme katsayısını en çok yükselten fiberlerdir. Fakat bunun yanında aşınmayı da en çok arttıran fiber türüdür (Ho vd., 2004).

Bakır fiberler



Şekil 3.5 Bakır fiberler (Ho vd., 2004)

Bakır fiberler aşınma dayanımını artırır. İyi bir ısı nedeniyle oluşan aşınma kaybı direnci sağlar (Ho vd., 2004).

3.2.3.3 Fiberlerin Genel Etkileri

Sürtünmeli fren balatalarının bileşiminde kullanılan diğer fiberlerin balata malzemesinin özelliklerine etkileri aşağıdaki çizelge 3.5’de verilmiştir. Çizelgede 1’den 4’e kadar olan numaralar etki sırasını göstermektedir. Örneğin 1 en çok etkiliyken 4 en az etkili demektir.

Fiber içermeyen kompozisyonlarla karşılaştırıldığında bakır ve pirinç fiberler içeren malzemeler en yüksek sıkıştırma (basma) direncine sahiptir. Çelik ve seramik fiber içerenler ise diğerlerinden daha az fakat iyi basma direnci gösterirken karbon fiber içerenler en az

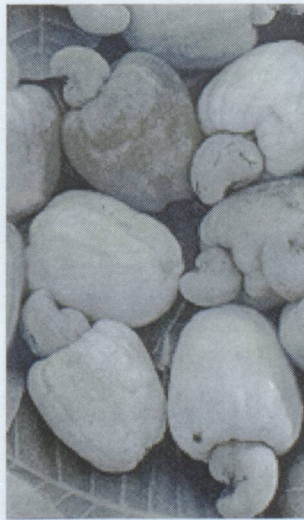
basma direncine sahiptir. Kür işleminden sonra çelik fiber içeren kompozisyonlar minimum ağırlık ve yoğunluk değişimi göstermiştir. Selüloz fiber içeren kompozisyonlar hariç diğerleri yüksek sürtünme katsayısına sahiptirler. Çelik ve karbon fiber içerenler ve en az sürtünme katsayısı değişimi göstermiştir. Bunun yanında çelik fiber içeren kompozisyonlar en yüksek aşınmaya karbon fiber içeren kompozisyonlar ise en yüksek ikinci aşınmaya sahiptir. Fibersiz kompozisyonlarla karşılaştırıldığında pirinç fiber içeren kompozisyonlar fibersiz kompozisyonlarla aynı aşınmaya sahiptir. Seramik fiber içeren kompozisyonlar ise daha az aşınmaya, bakır fiber içerenler ise en az aşınmaya sahiptir. Bu yüzden aşınma direncini arttırmada bakır fiberler önemli rol oynar (Ho vd., 2004).

Çizelge 3.5 Fiberlerin balatanın özelliklerine etkileri (Eggleston, 2000)

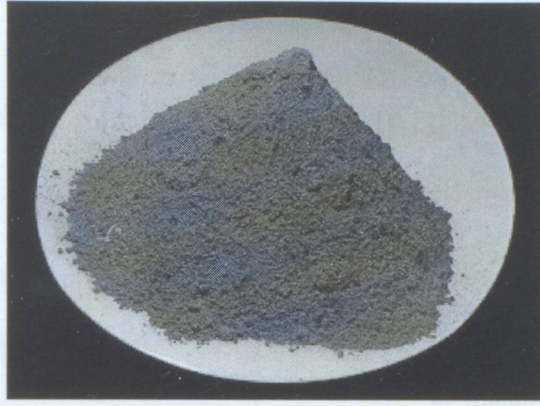
	Cam	Aramid	Potasyum Titanat	Karbon	Seramik	Bakır	Çelik	Asbest	Kaya yünü
Sürtünme katsayısı	2	2	2	3	2	2	2	2	2
Termal kararlılık	3	3	2	1	2	2	2	2	2
Aşınma	2	2	2	2	2	2	1	3	3
Malzeme mukavemeti	2	2	3	2	3	2	1	2	4
Ses	3	2	3	2	3	2	3	3	3
Termal iletkenlik	2	2	2	4	1	4	4	2	2
İşlemede kolaylık	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Ekonomiklik	2	3	3	4	3	3	2	1	1

3.2.3.4 Mahun Cevizi (Cashew) Partikülleri ve Potasyum Titanat

Seramik fiberler grubuna giren potasyum titanat fiberler ($K_2O \cdot 6TiO_2$) iyi termal kararlılığı ve bağlayıcı reçine ile iyi uyuma göstermesi yüzünden tercih edilir. Potasyum titanat fiberler yüksek ergime sıcaklıkları nedeni ile ($1250-1310^\circ C$) iyi termal dirence sahiptir (Kim vd., 2001). Mahun cevizi (cashew) partikülleri malzemenin sertliğini azaltır çünkü polimerik malzemeler kompozit malzemenin mukavemetinde önemli bir etkiye sahip değildir. Ayrıca potasyum titanat fiberlerin ve mahun cevizi (cashew) partiküllerinin bileşimdeki oranının artması diğer sertliği artıran malzemelerin oranının azaltacağından sertlikte düşme meydana gelir. Aramid fiberlerin, potasyum titanat fiberlerin ve mahun cevizi (cashew) partiküllerinin bileşimdeki oranlarının artması poroziteyi artırır. Bunun nedeni sıcak presleme esnasında bu bileşenlerin akışkan hale geçmemeleridir. Fren balatasının sertliği arttıkça porozite miktarı azalır ve porozite miktarı arttıkça sıkıştırılabilirlik artar (Cho vd., 2005). Bunun yanında mahun cevizi (cashew) partiküllerinin bağlayıcı malzeme olarak kullanılması sürtünme kararlılığını artırırken kauçuğun bağlayıcı olarak kullanılması frenleme esnasındaki gürültüyü azaltmaktadır. Mahun cevizi (cashew)'in yüksek oranda kullanımı sürtünme katsayısını artırır ve kauçuğun yüksek oranda kullanımı sürtünme katsayısını azaltır (Jang vd., 2001). Mahun cevizi (cashew) tozları sürtünme düzenleyicisi olarakta kullanılmaktadır. Mahun cevizi (cashew) partikülleri fren balatasının sürtünme katsayısının kararlılığını artırır, ıslak ortamlarda frenleme performansını güçlendirir, frenleme esnasında çıkan gürültüyü azaltır. Şekil 3.6'de Mahun cevizi (cashew)'in ilk hali ve şekil 3.7'da da işlem sonrası sürtünme tozu haline getirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 3.6 Mahun cevizi (cashew) (www.cardanol.be)



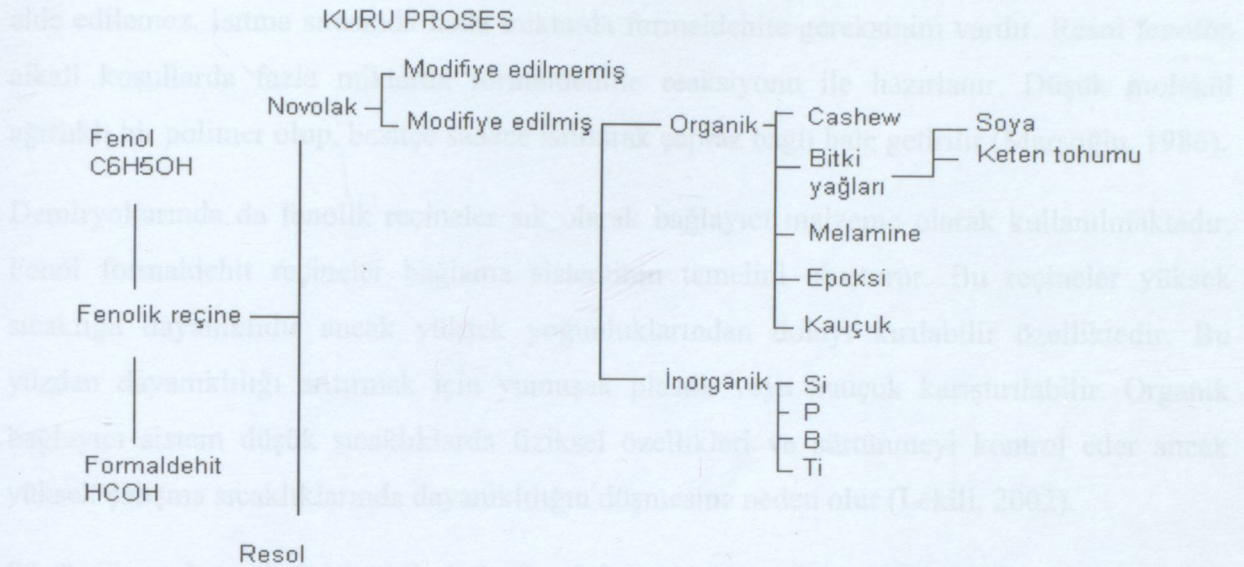
Şekil 3.7 Mahun cevizi (cashew) sürtünme tozu (www.cardanol.be)

3.2.4 Bağlayıcı Malzemeler

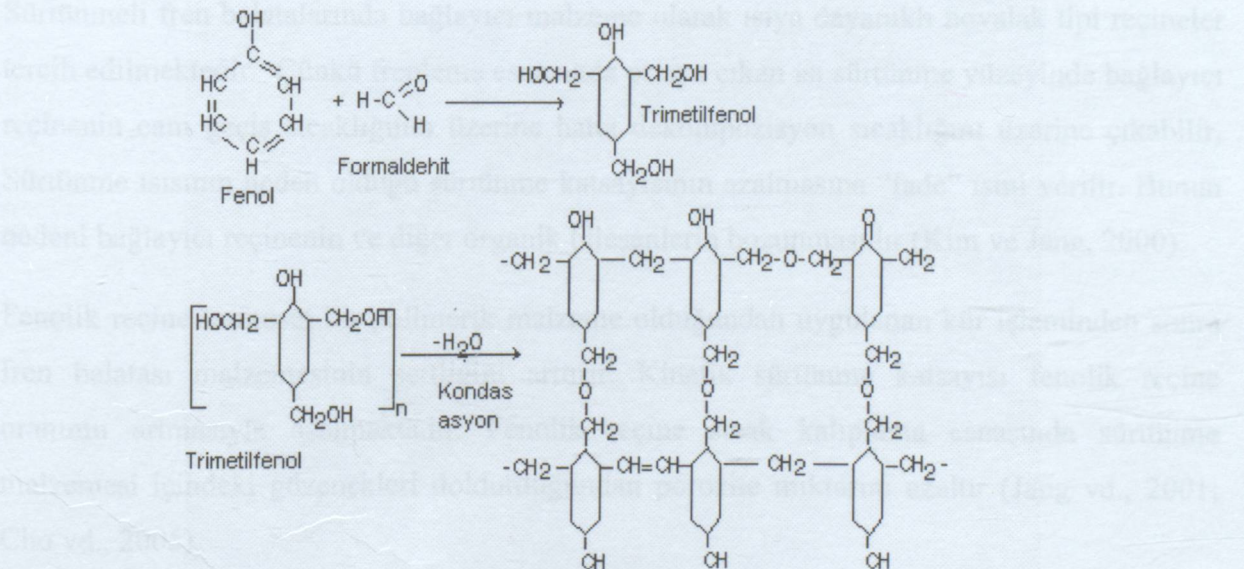
Bağlayıcı malzemeler kullanılan diğer bileşenler gibi sürtünme karakteristikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ve genelde fren malzemelerinde meydana gelen problemlerin nedeni bağlayıcı malzemedeki meydana gelen bozunmadır (Kim ve Jang, 2000). En sık kullanılan bağlayıcı malzeme genelde fenol – formaldehit reçinedir. Bunun yanında Reçine, Mahun cevizi (cashew) yada kauçuk da olabilir. Kauçukta bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilir. Örneğin, NR, NBR, SBR kauçuk ve fenolik reçinenin resol ve novalac gibi çeşitli kombinasyonları kullanılabilir (Sumira, 1980; Kim ve Jang, 2000).

3.2.4.1 Fenolik Reçine

Çizelge 3.6 Fenolik reçine eldesi (Eggleston, 2000)



YAŞ PROSES



Şekil 3.8 Fenol formaldehit eldesi (www.goldboard.com)

Fenolik reçineler fenol ile formaldehit arasında kondansasyon polimerizasyonu reaksiyonu ile üretilirler. Fenol katı bir malzeme olup kömür katranının destilasyonundan veya benzenden

sentetik olarak elde edilir. Formaldehit normal olarak gazdır. Suda çözülür ve metil alkolün oksidasyonu ile elde edilir. Novolak, formaldehitin fazla miktarda fenol ile asidik koşullarda reaksiyonu ile elde edilir. Düşük molekül ağırlıklı polimerlerde çapraz bağlar sadece ısıtılarak elde edilemez. Isıtma sırasında fazla miktarda formaldehite gereksinim vardır. Resol fenolün alkali koşullarda fazla miktarda formaldehit ile reaksiyonu ile hazırlanır. Düşük molekül ağırlıklı bir polimer olup, basitçe sadece ısıtılarak çapraz bağlı hale getirilir (Marşoğlu, 1986).

Demiryollarında da fenolik reçineler sık olarak bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fenol formaldehit reçineler bağlama sisteminin temelini oluşturur. Bu reçineler yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ancak yüksek yoğunluklarından dolayı kırılabilir özelliktedir. Bu yüzden dayanıklılığı arttırmak için yumuşak plastik veya kauçuk karıştırılabilir. Organik bağlayıcı sistem düşük sıcaklıklarda fiziksel özellikleri ve sürtünmeyi kontrol eder ancak yüksek çalışma sıcaklıklarında dayanıklılığın düşmesine neden olur (Lekili, 2002).

Sürtünme malzemelerinin üretiminde fenol formaldehit reçinelerin novalak ve resol tipleri kullanılmaktadır. Isı iletmemeye özelliği olan fenol – novalak tipi reçineler sürtünme malzemeleri üretiminde önemli rol oynarlar. Sürtünme malzemelerinin üretiminde ağırlıkça %5 –35 arası fenol formaldehit reçine kullanılmaktadır. Çizelge 3.7’de kullanılan fenolik reçine tipleri verilmiştir (Blau, 2001; TP Tech).

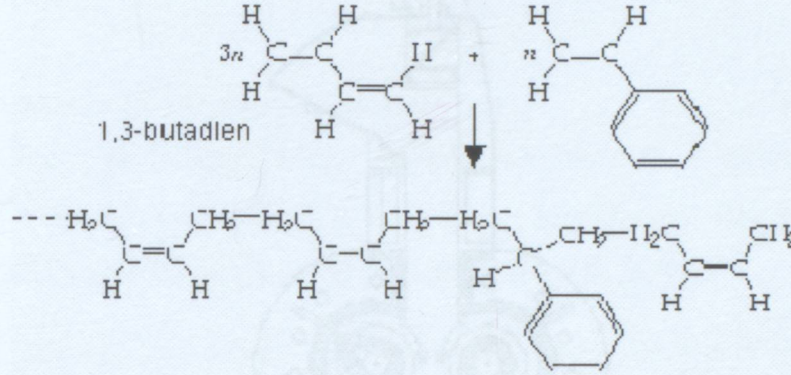
Sürtünmeli fren balatalarında bağlayıcı malzeme olarak ısıya dayanıklı novalak tipi reçineler tercih edilmektedir. Çünkü frenleme esnasında ortaya çıkan ısı sürtünme yüzeyinde bağlayıcı reçinenin cam geçiş sıcaklığının üzerine hatta dekompozisyon sıcaklığını üzerine çıkabilir. Sürtünme ısısının neden olduğu sürtünme katsayısının azalmasına “fade” ismi verilir. Bunun nedeni bağlayıcı reçinenin ve diğer organik bileşenlerin bozunmasıdır (Kim ve Jang, 2000).

Fenolik reçine termoset bir polimerik malzeme olduğundan uygulanan kür işleminden sonra fren balatası malzemesinin sertliğini artırır. Kinetik sürtünme katsayısı fenolik reçine oranının artmasıyla azalmaktadır. Fenolik reçine sıcak kalıplama esnasında sürtünme malzemesi içindeki gözenekleri doldurduğundan porozite miktarını azaltır (Jang vd., 2001; Cho vd., 2005).

Çizelge 3.7. Resol ve novolak tipi fenolik reçinelerin kullanım alanları (TP Tech.)

Form	Novolak	Resol
Toz	Genel uygulamalar	Özel uygulamalar
Sıvı	Özel uygulamalar	Genel uygulamalar

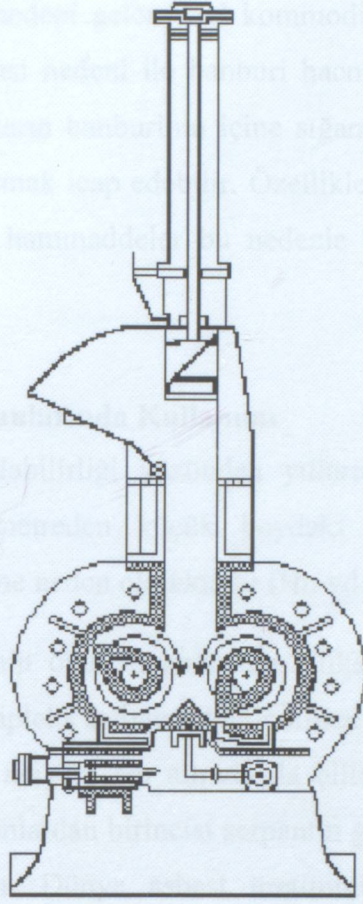
3.2.4.2 Stiren Bütadien Kauçuğu



Şekil 3.9 SBR'nin moleküler yapısı (www.elmhurst.edu)

SBR iki veya daha fazla monomerin polimerizasyonu ile elde edilirler.

SBR'nin bağlayıcı olarak kullanılması için Banburi mikserler kullanılmalıdır. Banburi sözcüğü aslında bu tip makinelerin ilkinin yapan F.H. Banbury'nin isminden gelmekte ve sadece onun tarafından tasarlanmış belli bir tip karıştırıcıyı tanımlamaktadır. Bu tip makineler aslında dahili karıştırıcı (internal mixer) denilmesi daha doğrudur. Ancak dilimizde banburi sözcüğü diğer tip dahili karıştırıcıları da içerecek şekilde kullanıldığı için banburi sözcüğü kullanılmıştır. Genel anlamda banburi, açık millere kıyasla kapalı bir hazne içinde ve üstten bir pistonun baskısı altında yüzeyi silindirik olmayan iki karıştırıcı mil ile karıştırma yapan bir mikserdir (www.kimekskimya.com).



Şekil 3.10 Banburi mikser (www.kimekskimya.com)

Banburide hamur karıştırma, 5 değişik yönteme göre yapılır:

- 1 Peşpeşe karıştırma
- 2 Paralel (yan yana) karıştırma
- 3 Ters yüz karıştırma
- 4 Mayalama ile karıştırma
- 5 Predisperse ( n karışım) karıştırma

En sık kullanılan karıştırma yöntemi peş peşe karıştırma yöntemidir. Bu yöntemde önce kauçuk; ardından tozlar; en son da sıvılar banburiye ayrı ayrı beslenir. Konvaksiyonel veya geleneksel metot olarak da adlandırılan bu yöntem, prensip olarak peş peşe katılımı öngörmekte ve uygulamada çeşitli varyasyonları bulunmaktadır. Burada esas kural, her bir cinsteki maddenin birbirinden ayrı ayrı ve peşpeşe banburiye beslenmesidir. Genelde önce kauçuk, sonra tozlar, en son sıvılar sıra ile ve bir çok kere her biri bir kaç partide beslenir.

Peşpeşe beslemenin en önemli nedeni geleneksel kommodite türü toz hammaddelerin kaba yoğunluklarının çok düşük olması nedeni ile banburi hacminin bir şarjlık tozu tek seferde almaya yeterli olmaması ve tozların banburinin içine sığamamasıdır. Bazen 200 litrelik bir banburiye 600 litrelik toz doldurmak icap edebilir. Özellikle karbon siyahı ve silika gibi çok hafif kaba yoğunluğu olan toz hammaddeler bu nedenle birkaç partide kauçuğa yedirilir (www.kimekskimya.com).

3.3 Asbestin Sürtünme Elemanlarında Kullanımı

Asbest düşük fiyatı ve kullanılabilirliği yüzünden yıllarca fiber takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Fakat 2 mikrometreden küçük boydaki asbest fiberler hava yolu ile solunduğunda sağlık problemlerine neden olmaktadır (Ho vd., 2004).

Asbest lifsi kristal yapısına sahip olan magnezyum silikat, kalsiyum-magnezyum silikat, demir-magnezyum silikat ve kompleks sodyum-demir silikat bileşimindeki bir grup mineralin adıdır. Bu hammadde piyasada amyant adı altında da bilinmektedir. Genel olarak iki ana asbest grubu daha çok bilinir. Bunlardan birincisi serpantin grubu veya yaygın adıyla Krizotil asbest olarak adlandırılmaktadır. Dünya asbest üretiminin yaklaşık %94'ü bu gruptan oluşmaktadır. İkinci grup ise amfibol asbest veya diğer adıyla hornblend asbest olup bu grupta tremolit asbest yanında en fazla kullanılan asbest çeşitleri "mavi asbest" denilen krosidolit ile amosit'tir. Asbest mineralleri bazik ve ultrabazik kayalarda çeşitli terörlerde bulunur. Dunit ve serpantinlere bağlı krizotil asbest yataklarında işletme tenörü %3'e kadar inmektedir. Amfibol asbest yataklarında bu oran daha yüksek olup birçok yatakta kayacın %25'ini asbest lifleri oluşturmaktadır. Lifler kayaç içinde damarlar, bazen tabakalar halinde, çoğu zaman ise stokverk (agsal) bir durumda ortaya çıkarlar (www.maden.org.tr).

3.3.1 Asbestin Zararları

Bu mineral batıda da yakın zamanlara kadar endüstride kullanılmaktaydı. Ancak kanser yaptığı anlaşıldıktan sonra buralardan kaldırılması yoluna gidilmiştir. Asbest chrysotile içerdiğinden kullanılmasında halk sağlığı açısından dikkatli olmak gerekmektedir. Asbest bileşikleri içinde özellikle amphibole'in kanser yaptığı bilinmektedir.

Ancak ABD asbest bileşikleri arasında ayırım yapmadan tüm asbest bileşiklerini aynı kategoriye sokmakta ve ne kadar yoğun solunursa o kadar çok kansere yol açtığını belirtmektedir Kimyasal ve sert bir madde olan asbestin kansere yol açması için ya bir temasın ya da solunumun olması gerekir, bu yüzden aynı şekilde asbest araç içinde bulunduğu

zamanda kansere yol açmaktadır.

Fakat artık örneğin Almanya kendi ülke sınırları içinde asbest kullanımını sıfırlamıştır. Asbestsiz fren balataları imali gibi bazı uygulamalar Türkiye'de de başlamıştır. Bu gelişmeler gelecekte asbestin kullanım alanlarında bazı değişiklikler olacağını göstermektedir. Zaten asbestin kullanımı bizde de yasaktı. 1993 tarihinde Resmi Gazete'de de yayınlanarak yasaklanan asbestin hayvanların barındığı yerlerde dahi kullanılması yasaklanmıştır (www.maden.org.tr).

3.3.2 Asbestin Yerine Kullanılabilecek Maddeler

Asbest minerallerini yoğun baskılar yüzünden başka maddelerle ikame etme çabaları kesin sonuç vermemiş ve bu maddeler asbestin kullanıldığı alanlarda tam manasıyla etkili olamamıştır. İkame maddesi kullanılan ürünlerin sağlamlığı, aşınma problemi, uzun ömürlülüğü ve asbestsiz frenlerde performans problemi imalatçıların başlıca tereddütlerini oluşturmaktadır. Bu problemlere rağmen eğilim asbest yerine geçebilecek maddeleri kullanma yönündedir. Çünkü imalatçılar asbest içermeyen maddelerin üretilmesi için baskı altında tutulmaktadır. Çoğu durumlarda yüksek maliyet ve düşük performans, asbestsiz ürünlere gösterilen taleple dengelenmektedir. Bazı ikame maddeleri asbestte olduğu gibi sağlık yönünden tartışma konusudur. Bununla birlikte asbest ikame maddeleri çeşitlilik gösterse de bu maddelerden hiçbirisi maliyet ve kullanım açısından asbestle yarışmamaktadır (www.maden.org.tr).

4. FREN BALATALARINDA MEYDANA GELEN PROBLEMLER

4.1 Isı Etkisi İle Sürtünme Katsayısının Değişimi

Fenolik reçine, aramid fiberler ve mahun cevizi (cashew) partiküllerinin gibi organik bileşenlerin 350°C üzerinde dekompozisyonu nedeni ile sürtünme de azalma oluşur. Diğer bir yandan potasyum titanat fiberler sürtünme film tabakasını güçlendirdiği için bu etkiyi azaltır. Bakırda iyi bir termal iletken olduğu için sürtünme ara yüzünde oluşan sıcak noktaları dağıtır ve bu etkiyi azaltır. Grafit de gaz halinde oksitlendiği için ısı etkisiyle meydana gelen sürtünme katsayısındaki azalmayı artırır (Ho vd., 2004).

4.2 Nemli Frenleme Mesafesine Etkisi

Kompozit fren balatalarının frenleme performansının nemli koşullar altında azaldığı ve frenleme mesafesinin uzadığı belirlenmiştir. Yüksek hızlarda ise nemin etkisi azalmıştır. Bunun nedeni sürtünme ısısının etkisidir. Düşük hızlarda ise balata çeşidine göre sürtünme katsayısının hissedilir şekilde düşüşüne önemli özen gösterilmelidir (Blau, 2001). Bunlardan anlaşılacağı gibi nemli koşullar frenleme performansı açısından çok önemlidir. Avrupa demiryolu araçlarında kullanılan fren balataları UIC kurallarına göre kuru koşullarda gösterdiği sürtünme katsayısının %85'ini ıslak koşullarda da göstermelidir. Aynı zamanda TSE 12465' e göre de nemli koşullarda ölçülen sürtünme katsayısı kuru ortamda yapılan sürtünme katsayısının %75'i olmalıdır (Lotfipour, 1995).

Kompozit fren balatalarında frenleme performansının nemli koşullar altında azaldığı ve frenleme mesafesinin uzadığı belirlenmiştir. Performans açısından değişik kompozisyonlardaki balatalar değişik performanslar göstermektedir. Yüksek hızlarda nemin etkisi azalmaktadır. Bunun nedeni sürtünme ısısının etkisidir. Düşük hızlarda ise balata çeşidine göre sürtünme katsayısının hissedilir şekilde düşmesine önemli özen gösterilmelidir (Paukert, 2003).

4.3 Frenleme Sırasında Oluşan Tribolojik Etki

Frenleme sırasında kinetik enerji ısıya dönüşür. Bu esnada fren balatası yüzeyi fren diskıyla sürekli etkileşim halindedir. Geleneksel balata malzemeleri yumuşak bir yapıya sahiptir. Bu yüzden balatanın bir kısmı tam olarak disk ile temas halindedir. Balata yüzeyinde çıplak gözle de görülebilen bazı çıkıntılar bulunur. Balatanın disk yüzeyiyle temas halindeki noktaları düşünüldüğünde balatanın tüm yüzeyine oranlanırsa bu alan daha azdır. Aşınma sırasında,

daha fazla aşınma dayanımı olan bileşenler frenleme yükünün büyük bir bölümünü taşır ve böylece balata aşınmaya karşı daha dayanımlı olur. Bu bileşenler sürtünme katsayısı özelliklerini önemli ölçüde değiştirir (Abbasi vd., 2000).

Frenleme sırasında oluşacak bölgesel ısınma rotoru bölgesel olarak yumuşatır. Bunlar rotor üzerinde yuvarlak şekilli oyuklar meydana getirir. Bu oyuklar sadece rotorun anormal şekilde aşınmasını değil aynı zamanda sürtünme malzemesinde kendini aşındırmasını sağlayacaktır. Bu nedenle de oyuklar yüzünden titreşimli bir frenleme ayrıca sürtünme katsayısında da düşüş meydana gelecektir. Bu etki basma elastisite modülü bölümünde daha detaylı açıklanacaktır.

4.4 Sürtünme Film Tabakası

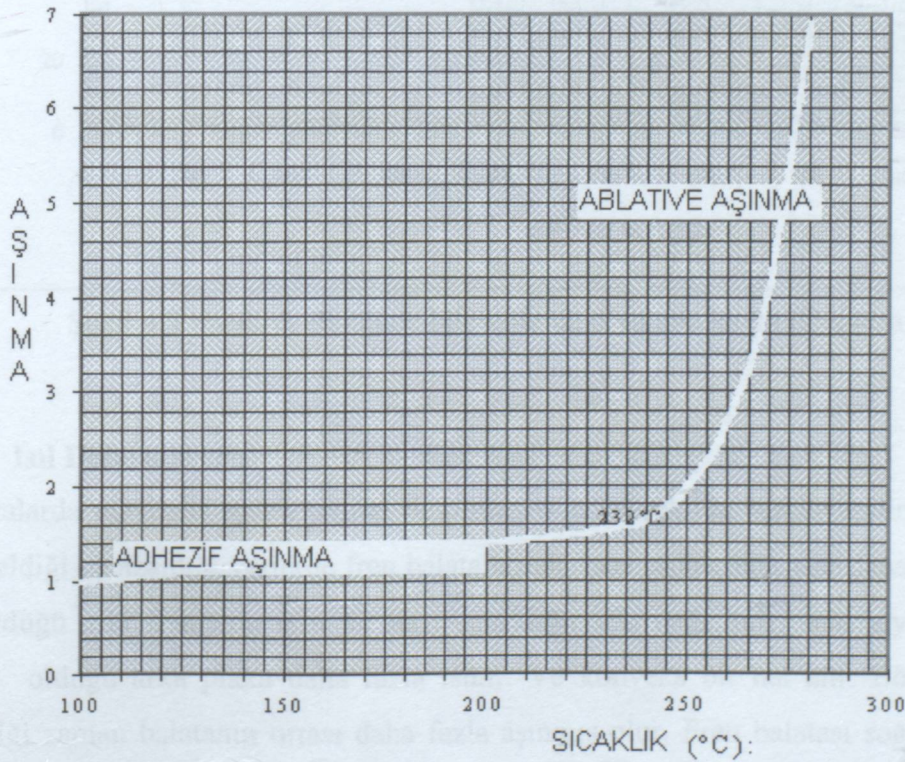
Sürtünen yüzeyler arasında oluşan transfer filminin sürtünme karakteristikleri üzerine etkileri yıllar boyu araştırılmıştır. Oluşan bu transfer filmi frenleme esnasında çıkan sese, ısının etkisiyle frenlemede meydana gelen değişime (fade), frenleme ile meydana gelen titreşime etki etmektedir. Normal frenleme koşullarında fren diski yüzeyinde 50 mikrometreden az bir transfer filmi oluşur. Oluşan transfer filmi ayrıca az miktarda sürtünme katsayısını ve aşınma oranlarını da etkilemektedir. Disk yüzeyinde oluşan transfer filmi adhezyon ve sürtünme sırasında aşınan parçaların toplanması ile oluşmaktadır. Transfer filminin kalınlığı ve yüzey özellikleri sıcaklığa, bileşenlerin kimyasal durumuna, uygulanan frenleme basıncına bağlıdır. Özellikle transfer filminin oluşumu disk yüzeyinin sıcaklığına ve frenleme süresine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda 200°C'de oluşan sürtünme katsayısının sürtünme katsayısı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Grafit ve MoS₂ gibi katı yağlayıcıların oranca fazla bulunduğu kompozisyonlarda sürtünme katsayısı azalmaktadır. Mohs sertliği ve bileşenlerin sürtünme katsayısı üzerine doğru orantılıdır. Çizelge 4.1'de en sık kullanılan bileşenlerin mohs sertlikleri verilmiştir. Sertliğin sürtünme katsayısı üzerine etkisi transfer film tabakası kalınlığından çok daha fazladır. Oluşan bu transfer film tabakasının kalınlığı değiştikçe sürtünme katsayısının kararlılığı da değişmektedir (Cho vd., 2001).

Çizelge 4.1 Bileşenlerin Mohs sertlikleri (Jang vd., 2001)

Bileşen	Mohs sertlik
Aramid	2.3
Çelik fiber	5.5
Grafit	1.5
MoS ₂	1.3
ZrSiO ₄	7.5
MgO	5.5
Mahun cevizi (cashew)	4
Ca(OH) ₂	4
Demir tozu	4.5
Ba(SO) ₄	3.5

4.5 Kompozit Fren Balatalarında Aşınma

Fren balatasının aşınma oranı, balatanın sürtünme katsayısına, ısıl drencine, porozitesine, balatadaki bağlayıcı malzemenin mekanik özelliklerine ve sıcaklığa bağlıdır (Kim vd., 2000). Aşınma sürtünen yüzeylerden malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır. Adhezif aşınmada yanal kuvvetlerin makaslama etkisi ile zayıf parçadan kopan malzeme yüksek mukavemetli parçaya transfer olur (Onaran, 1997).

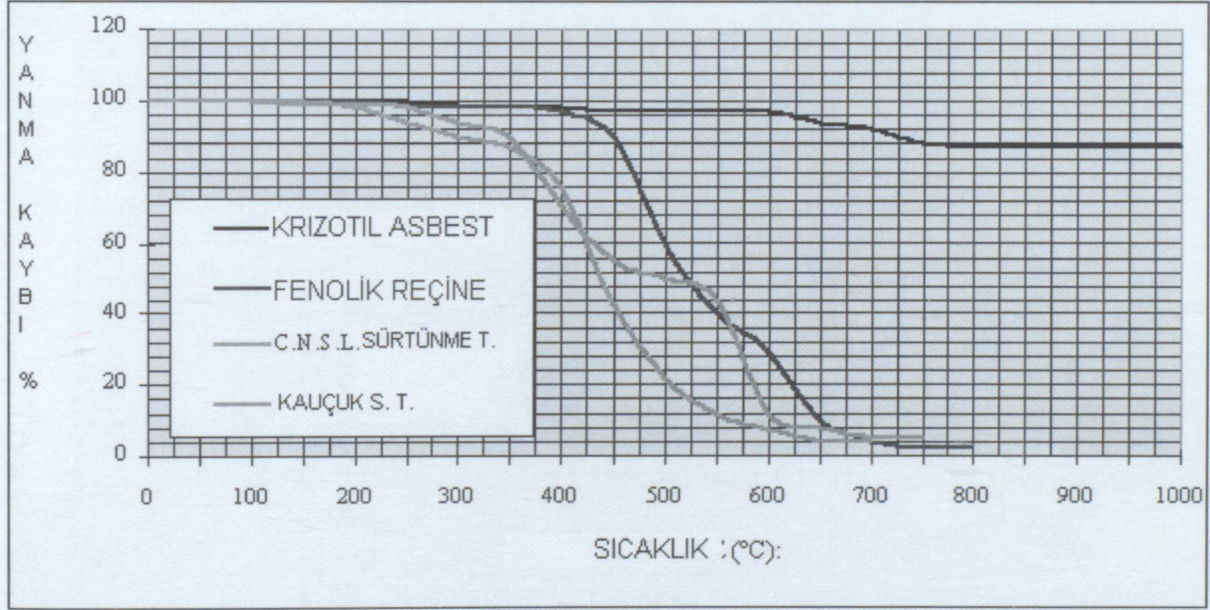


Şekil 4.1 Aşınma sıcaklık ilişkisi (Eggleston, 2000)

Aşınma katı parçaların katı yüzey ile teması sonucu oluşur. Aşınmanın meydana gelmesi için aşındırıcı yüzeyin sertliğinin mohs skalasına göre %10 fazla olması gerekir.

Ablative veya termal aşınma balataadaki bağlayıcı malzemenin dekompozisyonu ile başlar. Sürtünme yüzeyinde meydana gelen diğer mekanizmalardan farklı olarak ablative aşınma sıcaklık ile birlikte artar (Şekil 4.1).

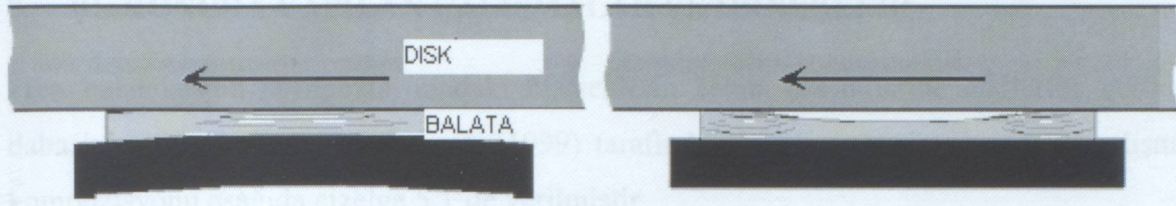
Ablative aşınma TGA ile araştırıldığında çoğu reçinenin 232°C'de termal bozunmaya uğramaya başladığı görülüyor (Şekil 4.2). Kullanılan çoğu reçine ise 700°C'de tamamen dekompoze olmaktadır. Geliştirilen modifiye edilmiş bağlayıcı malzemelerde ise ısı etkisiyle meydana gelen sürtünme kaybının azaltılması için 350°C'ye kadar dayanıklı reçineler geliştirilmektedir (Eggleston, 2000).



Şekil 4.2 Sıcaklık etkisinde bileşenlerdeki yanma kaybı (Eggleston, 2000)

4.6 Isıl Deformasyon

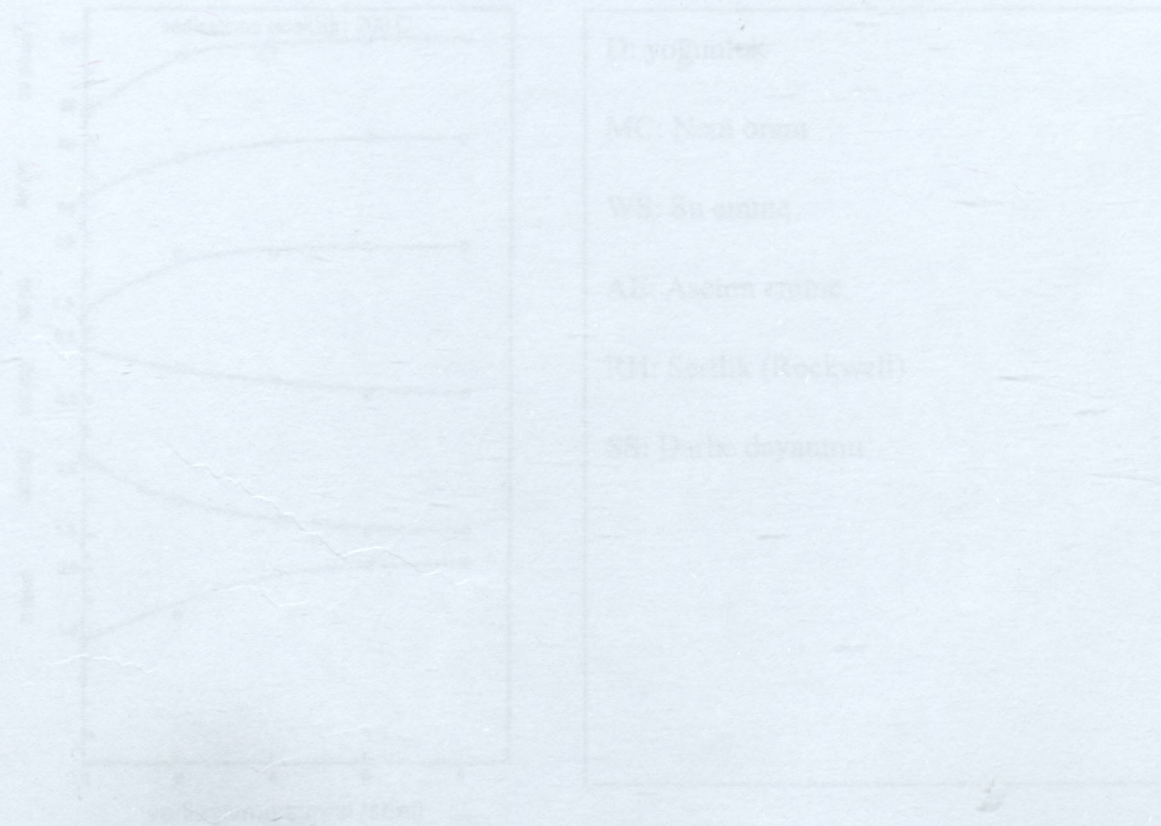
Balatalarda meydana gelen termal deformasyonu şu şekilde açıklayabiliriz. Sıcaklığın hızlı yükseldiği ve azaldığı yerlerde fren balatalarında bazı problemler meydana gelir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi frenleme ısısı ve hava sıcaklığındaki değişimler nedeniyle fren balatasının bağlı olduğu arka plaka daha fazla ısınır. Ve konveks bir hal alır. Böylece fren diskine değdiği zaman balatanın ortası daha fazla aşınmış olur. Fren balatası soğuyarak eski haline döndüğü zaman ise şekil 4.3'de görüldüğü gibi ortası eğik bir hal alır (Eriksson, 2002).



Şekil 4.3 Fren balatasında ısı etkileri (Eriksson, 2002)

Bileşen	% Ağırlık
Resin	100
Alümina	3
Sürtünme ajanı	70
Grafit	3
Karbon	1.5

Öretim şekli ise öncelikle hamdana karışım 140°C'de 2 dakika 450 kN/cm² basınçta kalıplandı ve 200°C'de 2, 4, 6, 8 saat bir sırada kur işlemi uygulandı. Yukarıdaki kompozisyon hazırlanarak yapılan deneyler sonucunda reçinenin kur işlemi sonucu sertleşme malzeme özelliklerine etkisi gözlemlenmektedir.



Şekil 3.1 Kırılma enerjisi balata malzemesinin özelliklerine etkisi (Jahan vd., 1999)

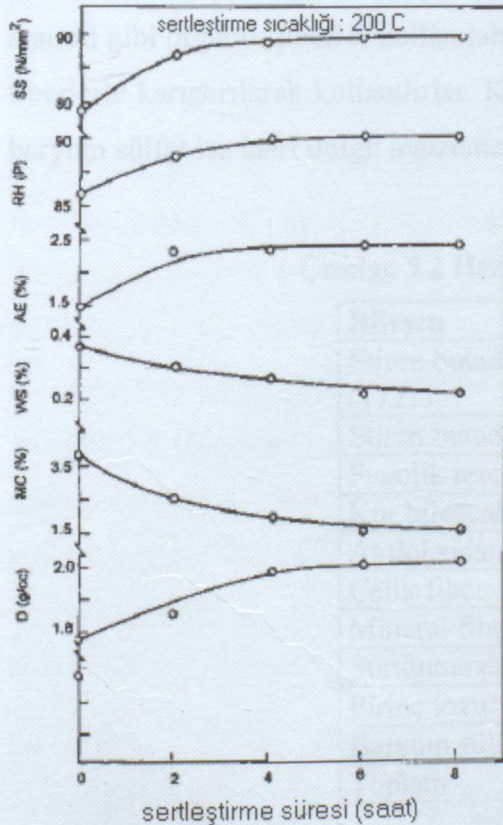
5. BU KONUDA YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ÖRNEKLERİ

Fren balatalarının kompozisyonndaki bileşenlerin balata özelliklerine etkilerine etkilerinin daha iyi anlaşılması için Jafari vd. (1999) tarafından yapılmış ve incelenen ilk çalışmanın kompozisyonu aşağıda çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hazırlanan kompozisyon (Jafari vd., 1999)

Bileşen	% Ağırlık
Reçine	100
Alümina	3
Sürtünme düzenleyici	20
Grafit	3
Karbon	1.5

Üretim şekli ise öncelikle hazırlana karışım 140°C’de 2 dakika 450 kg/cm² basınçta kalıplandı ve 200°C’de 2, 4, 6, 8 saat bir fırında kür işlemi uygulandı. Yukarıdaki kompozisyon hazırlanarak yapılan deneyler sonucunda reçinenin kür işlemi sonucu sürtünme malzemesi özelliklerine etkisi gözlenmektedir.



D: yoğunluk

MC: Nem oranı

WS: Su emme

AE: Aseton emme

RH: Sertlik (Rockwell)

SS: Darbe dayanımı

Şekil 5.1 Kür işleminin balata malzemesinin özelliklerine etkisi (Jafari vd., 1999)

Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi kür süresi arttıkça yoğunluk artmakta, sertlik artmakta, nem oranı azalmakta, aseton emme azalmakta, darbe dayanımı artmaktadır.

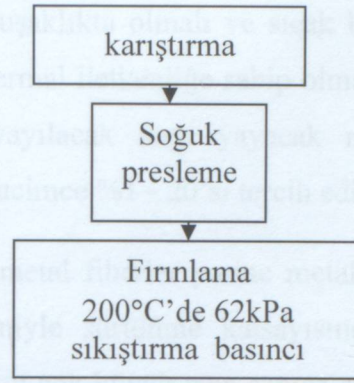
Sürtünmeli fren balatası kompozisyonunun daha iyi anlaşılması için Lotfipour (1995) tarafından yapılan çalışma incelenmiştir. Bu çalışmada fren balatası astarları polimerik malzeme matrisli fiber takviyesi ve fiber olmayan partikül malzeme (karbon, pirinç tozu, baryum sülfat) içermektedir. Bu partikül malzemeler sürtünme düzenleyici yada dolgu malzemesi olarak kullanılır. Asbest, çelik, mineral, cam, ısıya dayanıklı fiberlerin görevi ise sürtünme sırasında istenmeyen bükülme gibi deformasyonları engellemektir.

Bu fren balatası astarlarının kompozisyonu ıslak ve kuru ortamlarda gerekli sürtünme şartlarını sağlayacak seviyeye göre ayarlanır. Kompozisyon ayarlanırken seçilen bileşenlerin fren balatasının çok çabuk aşınmasına neden olmamasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda balatanın sürtünme yüzeyi olan disk yada kampanayıda aşındırmamasına dikkat edilmelidir.

Örnek bir kompozisyon olarak çizelge 5.2’de verilen bileşim denenmiştir. Elastomerik malzeme olarak sitiren butadien kauçuğu kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak da frenleme sırasında deformasyonun önlenmesi için fenolik reçinede kompozisyona katılmıştır. Kompozisyondaki fiberler metalik genelde çelik fiberlerdir. Alternatif olarak mineral, cam, aramid gibi organik fiberler kullanılabilir. Fakat bunların kullanım oranı düşüktür. Ve metalik fiberlerle karıştırılarak kullanılırlar. Kompozisyondaki pirinç tozu ısı ileten dolgu malzemesi baryum sülfat ise inert dolgu malzemesidir.

Çizelge 5.2 Hazırlanan bileşim. (Lotfipour, 1995)

Bileşen	% hacim
Stiren butadien kauçuğu (1721)	28.0
Stiren butadien kauçuğu)	16.0
Fenolik reçine	7.0
Kür bileşenleri	6.6
Antioksidant	3.4
Çelik fiber	12.0
Mineral fiber	6.0
Sürtünme düzenleyici	7.0
Pirinç tozu	7.0
Baryum sülfat	7.0
Toplam	100.0



Şekil 5.2. Üretim prosesi (Lotfipour, 1995)

Yukarıdaki bileşenler Banburi mikser ile karıştırıldı. Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi karıştırma işleminden sonra çelik bir plaka üzerine 46 Mpa basınç altında soğuk kalıplandı. Ve daha sonra 62 Kpa sıkıştırma basıncı altında 200°C de 4 saat bir fırında bekletildi. Üretilen test numunesinin kuru sürtünme katsayısı 0.35 ve ıslak ortamdaki sürtünme katsayısı ise 0.31 olarak bulundu.

Okayama (2003) tarafından yapılan çalışma bileşenlerin balata üzerine etkisinin daha iyi anlaşılması için incelenmiştir. Bu çalışmada çalışmada da Al matrisli ve sert malzemelerle güçlendirilmiş bir rotor ile çalışan sürtünme malzemesi araştırılmıştır. Sürtünme malzemesi, esas malzeme olarak organik fiberler, metal fiberler, inorganik fiberler ve partikül boyutu 1 den 180 μm değişen metal tozları içermektedir. Fakat bu çalışmada metal fiberler kompozisyona dahil edilmemiştir. Bunun nedeni metal fiberlerin sürtünmenin etkisiyle rotordan kopan Al parçaları ile temas eder ve buda yine sürtünme ısısı ile bölgesel sıcaklık artışına neden olur. Bu bölgesel ısınma rotoru bölgesel olarak yumuşatır. Rotor ve sürtünme malzemesi arası sürtünmeden, aşınan sürtünme malzemesi yüzeyinden kopan ince tozlar frenleme ısısının etkisiyle rotor yüzeyinde bir tabaka şeklinde toplanır. Sürtünme malzemesi genelde Al ile uyuşan metal fiberler içerir. Metal fiberler rotordan kopan Al parçaları ile temas eder ve buda sürtünme ısısı nedeniyle bölgesel sıcaklık artışlarına neden olur. Bölgesel ısınma rotoru bölgesel olarak yumuşatır. Bunlar rotor üzerinde yuvarlak şekilli oyuklar meydana getirir. Bu oyuklar sadece rotorun anormal şekilde aşınmasını değil aynı zamanda sürtünme malzemesinin de kendini aşındırmasını sağlayacaktır. Bu nedenle de oyuklar yüzünden titreşimli bir frenleme ayrıca sürtünme katsayısında da düşüş meydana gelecektir.

Yukarıda sözü edilen metal tozunun bakır tozu, demir tozu yada alüminyum tozu olarak seçilmesi tercih edilmektedir. En azından bakır alaşımlı , demir alaşımlı yada Al alaşımlı olmalıdır. Eğer metal tozu çok sertse sürtünen malzemeye zarar verebilmektedir. Bu yüzden

metal tozu istenilen yumuşaklıkta olmalı ve sıcak bölgelerin oluşmasını önlemek için ısıyı yayacak şekilde yüksek termal iletkenliğe sahip olmalıdır. Eklenecek metal tozu miktarı fren uygulanması sırasında yayılacak ısıyı yayacak miktar hesaplanarak bulunur. Genelde sürtünme malzemesinin hacimce %1 - 20'si tercih edilir.

Özellikle oyuk oluşumu metal fiberler yerine metal tozu ve inorganik fiberler kullanılarak aşılır. Termal etki nedeniyle sürtünme katsayısındaki azalma inorganik fiber ilavesiyle çözülebilir. Eğer metal tozu çok büyük tane çapına sahip ise etkisini kaybeder. Sonuç olarak, tane çapı 1 – 180 µm arası tercihen 20 – 45 µm arası olması gerekir. Eğer inorganik fiber çok sert ise sürtünen yüzeylere zarar verir. Bu yüzden inorganik fiberin sertliği 3- 5 mohs arası seçilmelidir. Malzemelerde bu seçimleri yapmak alüminyum alaşımından yapılmış bir rotorla uygun sürtünme sağlayacak sürtünme malzemesi yapımını olanaklı hale getirir.

Karışım 29.4 MPa basınç ile 10 dakika boyunca bağlayıcının sertleşme reaksiyonu gösterdiği 150°C' civarına kadar de ısıtılmış. Fren balatası kür işlemi için balata 225 °C'de 5 – 8 saat fırınında tutulmuş. Son olarak, sürtünme yüzeyi şekillendirilmiştir. Ve balata üretimi tamamlanmıştır. Bu araştırmada toplam 17 adet kompozisyon denenmiş ve hepsinin sürtünme katsayısı, aşınma özellikleri , balatanın genel durumu gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada en iyi sonuçlar çizelge 5.3'de verilen kompozisyonda gözlenmiştir. Bu kompozisyonun sürtünme katsayısı ısınmadan önce 0.37 ısınmadan sonra ise 0.35 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3 . Deneyde kullanılan kompozisyon (Okayama., 2003)

Tür	Bileşen	% Hacmen
Organik – fiber	Aramid fiber	%8
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	%22
Sürtünme ayarlayıcı	Molibdenyum disülfid	%3
	Grafit	%6
	Cashew	%16
Dolgu malzemesi	Baryum sülfat	%7
	Kalsiyum hidrit	%3
İnorganik tozlar	Mika ve zirkonyum silikat	%17
İnorganik fiber	Potasyum titanat	%15
Metal tozu	Demir tozu	%3
Toplam		%100

Çizelge 5.4 Hazırlanan kompozisyon (Jang vd. 2001)

Tür	Bileşen	% Hacim
Fiber	Aramid fiber	%8
	Çelik fiber	%4
	Kaya yünü	%10
Organik katkıları	Fenolik reçiye	%10
	Cashew partikülleri	%10
	Lastik tozu	%8
Aşındırıcı ve yağlayıcılar	Zirkon	%3
	Sb ₂ S ₃	%3
	Grafit	%10
Dolgu malzemesi	Barit	%25
	CaCO ₃	%8
	Ca(OH) ₂	%1
Toplam		%100

Jang vd. (2001) tarafından yapılan çizelge 5.4 'da bileşimi verilen sürtünme malzemesinin üretimi için önce bileşenler homojen olarak karıştırılmış. 34.3 MPa'da ön şekillendirme işlemi yapılmış ve ardından 160 °C'de 31.36 Mpa sıkıştırma basıncı altında 10 dakika sıcak kalıplama işlemi yapılmıştır. Hazırlana balata 210°C'de 6 saat hava sirkülasyonlu bir fırında kür edilmiştir.

Bu çalışmada bileşenlerden her biri $\pm$ %50 oranında değiştirilerek 29 fren balatası kompozisyonu denenmiş ve bileşenlerin sürtünme katsayısı özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda; sürtünme katsayısının çelik fiber, cashew partikülleri oranı arttıkça arttığı, kaya yünü, fenolik reçiye arttıkça ise azaldığı bulunmuştur. Aramid fiberler sürtünme katsayısı özelliklerine önemli bir etki göstermemiştir.

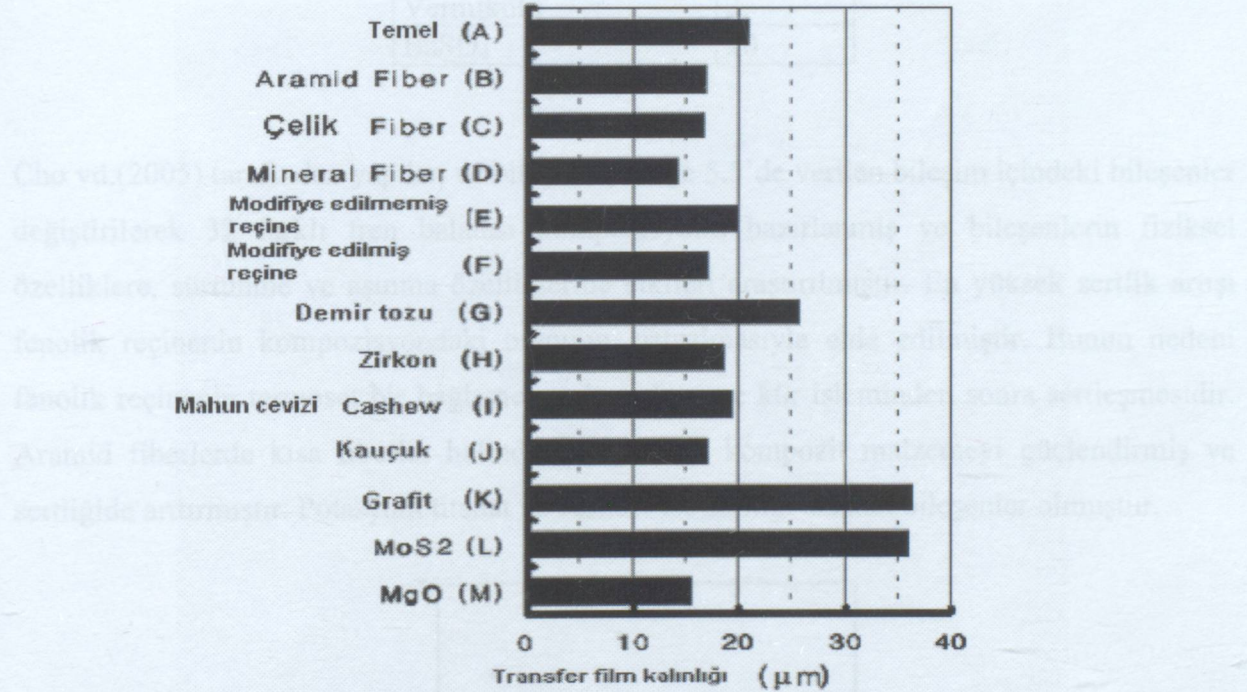
Çizelge 5.5 Hazırlanan kompozisyon (Cho vd., 2001)

Tür	Bileşen	% Hacim
Fiber	Kevlar, Çelik fiber, Mineral fiber	15
Bağlayıcı	Modifiye edilmemiş fenolik reçiye Epoksi modifiye edilmiş fenolik reçiye	12.4
Yağlayıcı	Grafit, MoS ₂	21
Aşındırıcı	ZrSiO ₄ , MgO	5
Sürtünme düzenleyici	Mahun cevizi (cashew), Sentetik kauçuk, Ca(OH) ₂ , Demir tozu, BaSO ₄ , Vermikülit	46.6

Transfer filmin sürtünme özelliklerine etkilerinin araştırılması için Cho vd. (2001) tarafından yapılan deneyler incelenmiştir. Yapılan çalışmada çizelge 5.5’de verilen bileşenlerden fren balatası üretilmiştir. Bu bileşenlerin her birinin oranları değiştirilerek bileşenlerin sürtünme katsayısı özelliklerine etkisi, bileşenlerin sürtünme film tabakası özelliklerine etkisi ve transfer film tabakası kalınlığının sürtünme film tabakası etkilerine etkisi araştırılmıştır.

Bileşenlerin transfer film tabakası oluşumuna etkisi şekil 5.3’de verilmiştir. Görüldüğü gibi grafit, MoS₂ gibi katı yağlayıcılar rotor yüzeyinde film tabakası oluşumunu artırır. Zirkon, MgO ve mineral fiberler sürtünme film tabakası oluşumunu engellemektedir.

Transfer film tabakası kalınlığı sürtünme katsayısı özelliklerine etki etmektedir. Şekil 5.3’de yapılan deneysel çalışmalar sonucunda her bileşenin oranının artırılmasıyla bileşenlerin transfer film tabakası kalınlığına etkilerine etkisi gözükmemektedir.



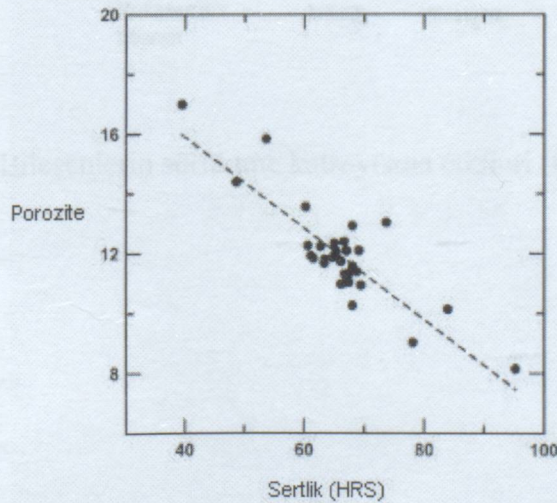
Şekil 5.3 Bileşenlerin transfer film kalınlığına etkileri (Cho vd., 2001)

Sürtünme katsayısının bileşenlerin mohs sertliğine bağlı olduğu daha öncede belirtilmişti. Bu çalışmada da aynı zamanda mohs sertliğinin sürtünme katsayısına etkileri araştırılmıştır. Şekil 5.3’de bileşenlerin transfer film katsayısı üzerine etkileri verilmiştir.

Çizelge 5.6 Hazırlanan kompozisyon (Cho vd., 2005)

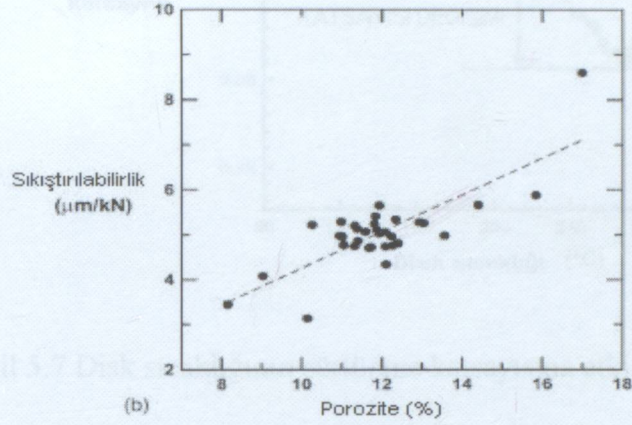
Bileşen	% Hacim
Aramid pulp	6
Kaya yünü	3
Potasyum titanat	9
Fenolik reçine	20
Grafit	5
MoS ₂	3
Sb ₂ S ₃	2
ZrSiO ₄	3
MgO	2
Mahun cevizi (cashew)	10
Kauçuk	3
Ca(OH) ₂	3
Fe ₃ O ₄	2
Cu	3
Vermikülit	3
BaSO ₄	20

Cho vd.(2005) tarafından yapılan ve bileşimi çizelge 5.5’de verilen bileşim içindeki bileşenler değiştirilerek 32 farklı fren balatası kompozisyonu hazırlanmış ve bileşenlerin fiziksel özelliklere, sürtünme ve aşınma özelliklerine etkileri araştırılmıştır. En yüksek sertlik artışı fenolik reçinenin kompozisyondaki oranının artırılmasıyla elde edilmiştir. Bunun nedeni fenolik reçinenin termoset bir bağlayıcı reçine oluşu ve kür işleminden sonra sertleşmesidir. Aramid fiberlerde kısa fiberler halinde olduğundan kompozit malzemeyi güçlendirmiş ve sertliğide arttırmıştır. Potasyum titanat ve cashew ise sertliği azaltan bileşenler olmuştur.

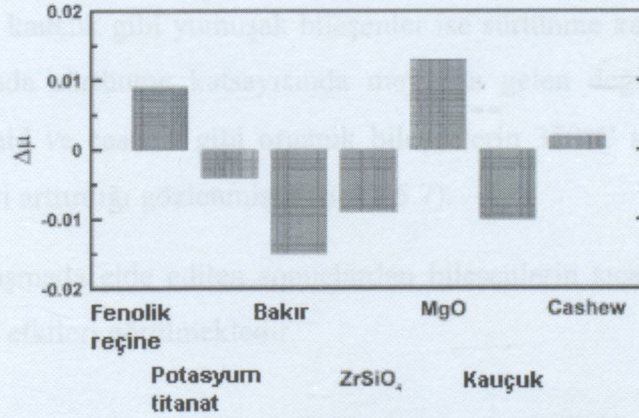


Şekil 5.4 Sertlik – porozite ilişkisi (Cho vd., 2005)

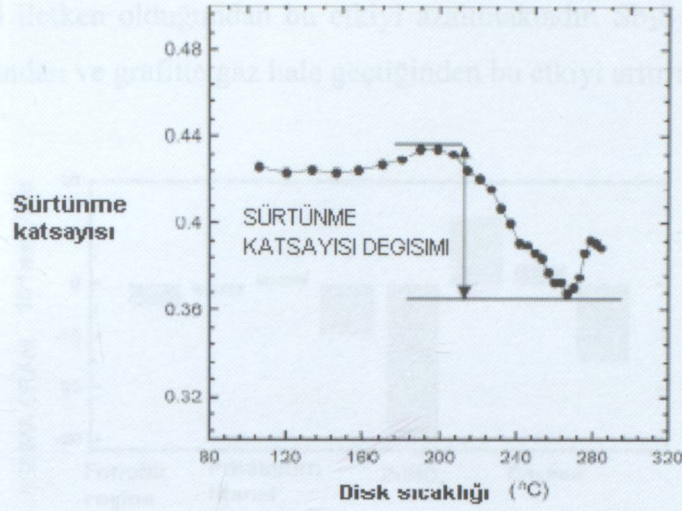
Fenolik reçine poroziteyi de azaltmaktadır çünkü sıcak kalıplama esnasında fenolik reçine sıvı hale geçmekte ve boşlukları doldurmaktadır. Sıkıştırılabilirlik de poroziteyle birlikte artmaktadır. Sertlik arttıkça ise porozite azalmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.5 Porozite – sıkıştırılabilirlik ilişkisi (Cho vd., 2005)



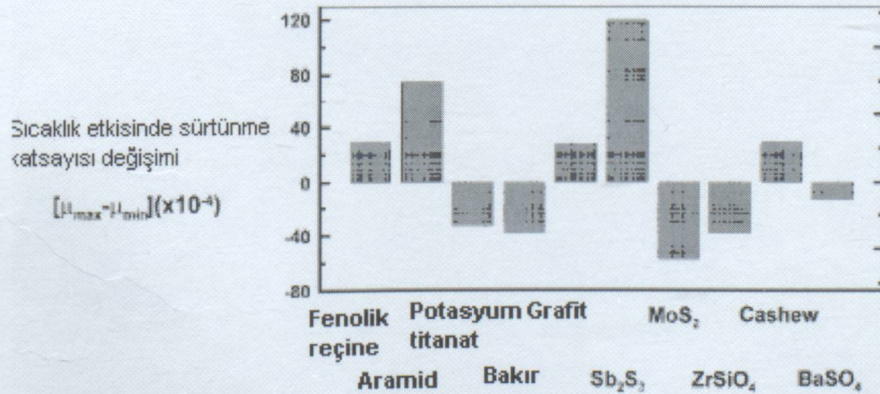
Şekil 5.6 Bileşenlerin sürtünme katsayısına etkileri (Cho vd., 2005)



Şekil 5.7 Disk sıcaklığının sürtünme katsayısına etkisi (Cho vd., 2005)

Bu çalışmada bileşenlerin sürtünme karakteristikleri üzerine etkileride araştırılmıştır. Deneyler sonucunda fenolik reçine, MgO, ve cashew'in sürtünme katsayısını arttırdığı ve potasyum titanat, bakır, zirkon ve kauçuğun sürtünme katsayısını azalttığı gözlenmiştir. Yani yüksek sertliğe sahip fenolik reçine, MgO ve cashew gibi bileşenler sürtünme katsayısını arttırmakta ve bakır kauçuk gibi yumuşak bileşenler ise sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Sıcaklık etkisi altında sürtünme katsayısında meydana gelen değişim araştırıldığında ise fenolik reçine, aramid ve cashew gibi organik bileşenlerin 350°C sıcaklıklarda dekompoze olduğundan bu etkiyi arttırdığı gözlenmiştir (Şekil 5.7).

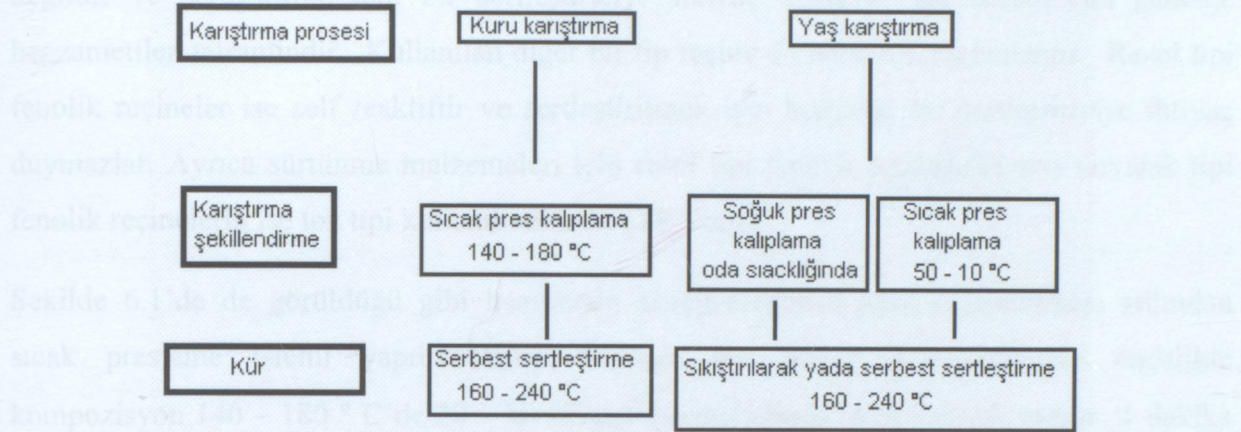
Şekil 5.8'de bu çalışmada elde edilen sonuçlardan bileşenlerin sıcaklık etkisinde sürtünme katsayısı değişimine etkileri görülmektedir.



Şekil 5.8 Bileşenlerin sürtünme katsayısı değişimine etkisi (Cho vd., 2005)

6. BALATALARIN ÜRETİMİ

6.1 Balata Üretim Prosesi



Şekil 6.1 Üretim prosesi (TP Tech)

Balatanın kompozisyonu hazırlanırken, kısaca dolgu malzemeleri bağlayıcı malzeme aşındırıcılar ve sürtünme ayarlayıcılar ile karışım oluşturulur. Karışım sıcaklık ve basınç altında şekillendirilir. Sıcaklık ve basınç altında reçinenin çapraz bağlanma reaksiyonu meydana gelir. Ve kompozisyonda ki bileşenler birbirine bağlanır. Sonuç olarak kalıbın şeklini almış blok yada balata elde edilir. Bu blokta yada balatada ısıtılmış bir fırında sertleştirilir. Bu işlemin nedeni reçineyi tamamen sertleştirmek ve kompozisyonda kalan nemi uzaklaştırmaktır. Son olarak kalıplanmış blok uygun balata yada kampana fren astarı şekline getirilmek için işlenir. Disk fren balataları genelde arka plaka olarak adlandırılan plakaya kalıplanır (Okayama, 2003). Kullanılan reçine tipine göre üretim şeklinde değişiklikler gözlenmektedir. (TP Tech))

Çizelge 6.1 Üretim aşamasına yaş ve kuru proses parametreleri (TP Tech)

Kuru karıştırma	Kalıplama: $T=140 - 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P = 20 - 80\text{ N/mm}^2$ $\frac{1}{2}$ -1 dakika kalıplama zaman her 1 mm kalınlık için	Kür: T başlangıç = $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ T son = $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ Süre: 4 – 20 saat
Yaş karıştırma	Kalıplama: Oda sıcaklığında $P= 100 - 250\text{ N/mm}^2$	Kür: Sadece sıkıştırılmış olarak T başlangıç: $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ T son: $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ Süre: 4 – 20 saat

Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi iki çeşit karıştırma işlemi yapılabilmektedir. Kullanılan reçine tipine göre üretim şeklide değişebilmektedir. Sürtünme malzemelerinin üretiminde fenolik reçine tiplerinden resol ve novalak tipleri kullanılmaktadır. Novalak reçineler self- reactive değildir ve sertleştirme için bir sertleştiriciye ihtiyaç duyarlar. Bu sertleştirici genelde hegzametilen tetramindir. Kullanılan diğer bir tip reçine de resol tipi reçinelerdir. Resol tipi fenolik reçineler ise self reaktiftir ve sertleştirilmek için herhangi bir sertleştiriciye ihtiyaç duymazlar. Ayrıca sürtünme malzemeleri için resol tipi fenolik reçinelerin sıvı novalak tipi fenolik reçinelerin ise toz tipi kullanılmaktadır (TP Tech).

Şekilde 6.1’de de görüldüğü gibi hazırlanan kompozisyonun kuru karıştırılması ardından sıcak presleme işlemi yapılmaktadır. Örneğin toz reçine kullanıldığında öncelikle kompozisyon $140 - 180^{\circ}\text{C}$ ’de $20 - 80\text{ N/mm}^2$ basınç altında mm kalınlık başına 1 dakika beklenerek presleme işlemi yapılır. Presleme işleminin ardından ise başlangıç sıcaklığı 80°C son sıcaklığı ise 280°C olan bir fırında $4 - 20$ saat bekletilir. Kompozisyonun hazırlanıp yaş karıştırma işleminde ise sıcak sertleştirme işlemi yoktur. $P = 100 - 250\text{ N/mm}^2$ ’de $50 - 80^{\circ}\text{C}$ arası soğuk sertleştirme işlemi yapılır. Fırında yapılan sertleştirme işlemi ise 80°C ’den 280°C ’ye ısıtılarak $4 - 20$ saat bekletilerek fakat sıkıştırılarak yapılır (TP Tech).

Fenolik reçine kullanılarak hazırlanan kalıplanmış malzemenin son olarak bir fırında sertleştirilmesi gerekmektedir. Bunun nedenleri:

- a) Sertleşme reaksiyonunun tamamlanması
- b) Boyutsal kararlılığın artırılması, sıcağa dayanım ve sürünme direncinin artırılması.
- c) Sıcak kalıplama esnasında elde edilen istenmeyenlerin uzaklaştırılması

Kür işlemi sırasında reçineden gaz açığa çıkar. Kür işlemi süresi arttıkça yoğunluk artmakta, sertlik artmakta, nem oranı azalmakta, aseton emme azalmakta, darbe dayanımı artmaktadır. Yoğunluktaki ve darbe dayanımındaki artışın nedeni katı hal polimerizasyonudur (solid-state polymerization). Katı hal polimerizasyonu sonucu $-\text{OH}$, $-\text{CH}_2\text{OH}$ gibi hidrolik grupların konsantrasyonları azalır, bu da yapıyı güçlendirir. Bu nedenle nem absorblama oranı azalır (Jafari vd. 1999). Bilindiği gibi kür işlemi ile novalak zincirleri metilen ve antimetilen bağlar nedeni ile üç boyutlu moleküller ahaline gelir. Bu üç boyutlu çapraz bağlı yapı özellikle yüksek sıcaklıklarda yapıyı güçlendirir. Kimyasal direnç, boyutsal kararlılık sağlar ve reçinenin diğer özelliklerini güçlendirir (Ho vd, 2004).

7. SÜRTÜNME MALZEMELERİNE UYGULANAN DENEYLER

7.1 Sürtünme Malzemelerinden İstenilen Genel Özellikler

Balata imalatında kullanılan kompozit malzeme homojen olmalı ve balata üzerinde kabarcık, çukurcuk, çatlak gibi yüzey kusurları bulunmamalıdır. Balata kompozit malzemesi disk sürtünme yüzeylerini olumsuz olarak etkilememeli veya yüzeyler üzerinde metal yığılmalarına neden olmamalıdır.

Balatalar tekerlek veya dingillere tespit edilmiş çelik döküm veya demir dökümden imal edilmiş fren diskleriyle birlikte çalışacak tarzda imal edilmelidir (TS 12465).

Balatalardan istenen genel özellikler şunlardır;

- Balataların özellikleri balatanın bütün kalınlığı boyunca aynı olmalıdır.
- Balatalar, fren diskinin yüzeylerinde ısı hasarlarının oluşmasına neden olmamalıdır. (ısı benekleşme, diskin kırılmasına sebep olabilecek çatlaklar gibi.)

Balata kompozit malzemesinin;

- Yoğunluk,
- Sertlik,
- Basma elastisite modülü,
- İç kesme mukavemeti,
- Basma dayanımı,
- Sürtünme katsayısı ve aşınma

Değerleri yapılan deneylerle kontrol edilir ve bu değerler imalatçı tarafından önceden belirtilen değerlere uygun olmalıdır.

Balatanın ortalama sürtünme katsayısı, hız, basınç, sıcaklık ve atmosfer şartlarından mümkün olduğunca etkilenmemelidir.

7.2 Yoğunluk Ölçümü

Numunenin kütlesi 1 mg hassasiyeti olan bir terazide tartılır. Boyutları ise, 50 µm hassasiyetle ölçülerek numune hacmi hesaplanır. Numunenin yoğunluğu (D), aşağıda verilen formül ile

hesaplanır.

$$D = \frac{M}{V} \quad (7.1)$$

D yoğunluk (g/cm^3)

M: kütle (g)

V: hacim (cm^3)

Deney numunesi, terazinin kancasına ince bir tel ile asılır. Numunenin havadaki kütlesi 1 mg hassasiyetle ölçülür. $18^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}$ aralığında olan su içerisine serbest olarak daldırılır ve bu konumda iken kütlesi tekrar ölçülür. Tartma işleminden önce numune yüzeyinde oluşan hava kabarcıkları giderilmelidir. Hava kabarcıklarının oluşmaması için su içerisine çok az miktarda deterjan ilave edilebilir. Yoğunluk aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanır.

$$d = \frac{\text{havadaki kütle}}{\text{havadaki kütle} - \text{sudaki kütle}} (\text{g/cm}^3) \quad (7.2)$$

Su yoğunluğu = 1 g/cm^3

7.3 Sertlik Ölçümü

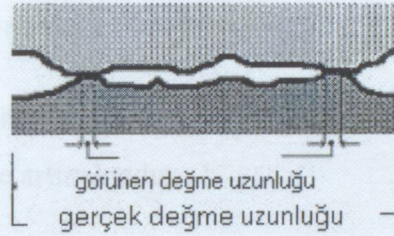
Sertlik ölçümü Rockwell sertlik cihazında yapılır. Ön yükleme 10 kg, toplam yük 100 kg'dır. Batıcı uç olarak $\frac{1}{4}$ " çelik bilya kullanılır. Sonuç Rockwell M Skalasına göre bulunur. Rockwell L skalasına göre yapılan deneylerde ise ön yük 10 kg, toplam yük 60 kg'dır.

7.4 Basma Elastisite Modülünün Belirlenmesi

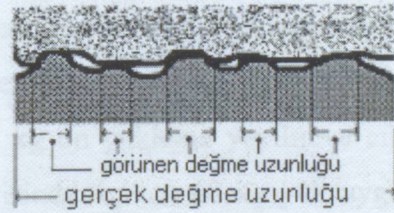
Araç durma sırasında kinetik enerji sürtünen yüzeyler arasında ısıya dönüşür. Sürtünen yüzeyler arasında oluşan bu ısı basma basıncına, sürtünme katsayısına, hıza, bağlıdır. Bu ısı sürtünme malzemesi içinden atmosfere ve araçtaki diğer elemanlara yayılır. Yayılan bu enerji (sürtünme ısısı) disk yüzeyinde ısının artmasına neden olur. Birçok frenleme koşulunda disk yüzeyindeki ısı yayılımı oluşan sıcak noktalar nedeniyle eşit olmaz. Oluşan kritik sıcak noktalar dökme demir disk yüzeyinde termal gerilmelere ve disk yüzeyinin hızlı soğuması esnasında martenzit oluşumuna neden olur. Bir sıcak noktada martenzit oluştuğu zaman, disk yüzeyinde termal gerilmeler ve mikro çatlaklar meydana gelir. Sıcak noktalar, aşınır ve yenileri oluşur. Sıcak noktalardaki yüksek sıcaklık termal malzemede yorgunluğa neden olur.

Sürtünme malzemesi ve dönen yüzey arasında gerçek sürtünme yüzeyi sözde temas alanından daha azdır. Balatalarla temas halinde olan disk yüzeyi aşınma nedeni ile basılır. Balata elastik olarak deformasyona uğrar ve bir dereceye kadar disk yüzeyinde uyum sağlar. Daha az rijit olan balara daha iyi uyum sağlayacaktır

Sürtünme yüzeyi arasındaki sıcaklığı düşük tutmak için temas alanı yeterince büyük olmalı ve malzeme yumuşak olmalıdır. Yani düşük basma elastisite modülüne sahip malzeme karşı yüzeyle daha iyi uyum gösterecektir. Böylece sürtünme ısısı daha kolay yayılır ve bir seviyeden daha fazla yükselmez. Eğer fren balatasının basma elastisite modülü yüksek ise fren balatasının termal iletkenliği ısının yayılabilmesi için yüksek olmalıdır. Şekil 7.1 ve şekil 7.2’de görüldüğü gibi metal üzerinde metal temasında metal üzeri kauçuğa göre daha az temas alanı vardır. (Abbasi vd., 2000).

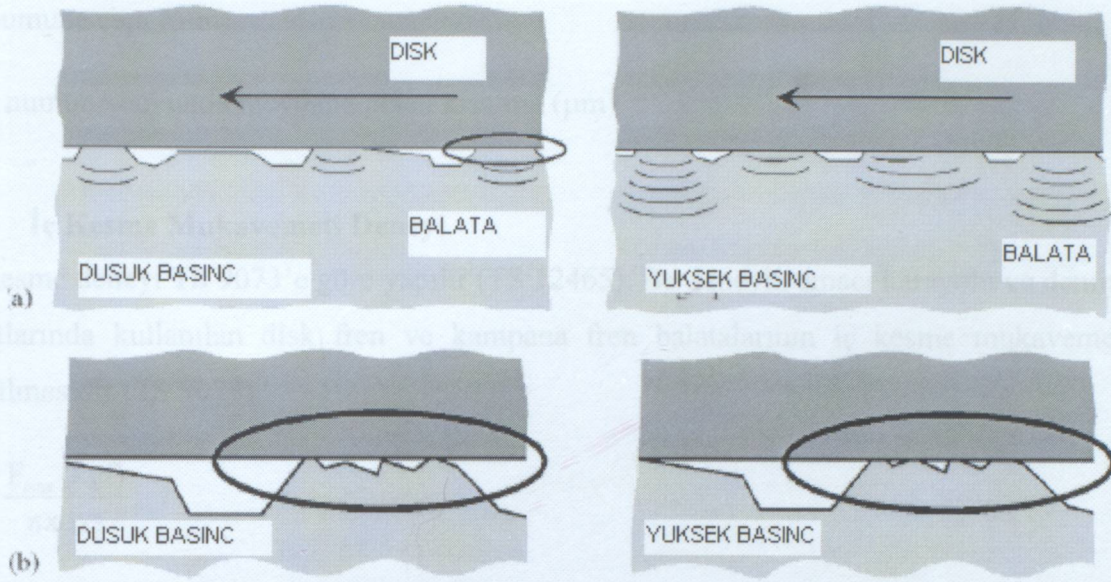


Şekil 7.1 Metal üzeri metal değme alanı (Abbasi vd., 2000)



Şekil 7.2 Metal üzeri kauçuk değme alanı (Abbasi vd., 2000)

Frenleme sırasında balata yüzeyi sürekli disk ile temas halindedir. Fakat balatanın tüm yüzeyi disk yüzeyine temas etmez. Balata yüzeyindeki pürüzler ve balata deformasyonu yüzünden sadece balatanın bir kısmı tam temas halinde olur. Balata ve disk arasındaki gerçek temas alanı, uygulanan basınç, değişen sıcaklık, deformasyon ve aşınmaya göre değişmektedir. Doğal olarak frenleme kuvvetinde meydana gelen bir değişim balatanın elastikliğini değiştirecektir (Eriksson vd., 2001).



Şekil 7.3 Frenleme basıncının frenlemeye olan etkisi (Eriksson vd., 2001)

Şekil 7.3’de de görüldüğü gibi basma kuvvetiyle temas alanı değişmektedir ve frenleme basıncı arttıkça temas yüzeyi de artmaktadır.

Basma elastisite modülü Rockwell sertlik ölçme cihazı yardımıyla belirlenir. Numunelerin çapı ve yüksekliği 10 mikrometre hassasiyetle ölçülür. Rockwell sertlik ölçme cihazının batıcı ucu yerine 13.3 mm çapında silindirik bir mandrel takılır. Ön yükleme 10 kg. toplam yük 60 kg dır. Deneye başlamadan önce deney numunesi olmadan en az ve en fazla yükler arasında deney cihazında meydana gelen şekil değişimi miktarı belirlenir. Numune mandrel altında merkezlenerek yerleştirilir. 10 kg ön yükleme yapılır ve cihazın göstergesi sıfır konumuna getirilir. Sonra, 10 saniye içerisinde toplam 60 kg yük uygulanır ve 45 saniye beklenir. 45 saniye beklendikten sonra, ilave yük kaldırılır ve numune üzerinde 10 kg’lık ön yükleme varken 10 saniye beklenir. Cihazın göstergesi tekrar sıfır konumuna getirilir ve toplam yük tekrar uygulanarak gösterge okunur. Okunan değerden cihazın daha önceden belirlenen şekil değişimi miktarı çıkartılır. Numunede meydana gelen net boy kısalmasının Δh μm olarak hesaplanması için, göstergeden okunan değer 2 ile çarpılır. Basma elastisite modülü N/mm^2 cinsinden aşağıdaki verilen formül yardımı ile hesaplanır (TS 12465).

$$E = \frac{(60 - 10) \times 9.81}{0.25 \times \pi \times d^2} \times \frac{h \times 1000}{\Delta h} (N/mm^2) \quad (7.3)$$

h: numune yüksekliği (mm)

d: numune çapı (mm)

Δh : numune boyunda meydana gelen kısalma (μm)

7.5 İç Kesme Mukavemeti Deneyi

İç kesme deneyi TS 9073'e göre yapılır (TS 12465). Bu deneyin amacı karayolu ve demiryolu taşıtlarında kullanılan disk fren ve kampana fren balatalarının iç kesme mukavemetinin ölçülmesidir (TS 9073).

$$\tau = \frac{F_{\max} \text{ (kgf)}}{\pi d s} \quad (7.4)$$

$F_{\max}$: Uygulanan maksimum yük (kgf)

d: çap (mm)

s: numune kalınlığı (mm)

7.6 Basma Deneyi

Basma deneyinde balata malzemesinin taşıdığı en büyük yükün ölçü uzunluğu içindeki başlangıç kesit alanına bölünmesi ile elde basma dayanımı değeri elde edilir. Deney sırasında parçanın biçim değiştirmesini sağlayan kuvvet, yavaş yavaş ve düzgün olarak ululanır. Basma sırasında çatlama, kırılma gibi bir hasar görmeyen malzemede basma dayanımı çatlama ve kırılmanın başladığı gerilme değeridir (TS 206).

Basma dayanımı,

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{S_0} \quad (7.5)$$

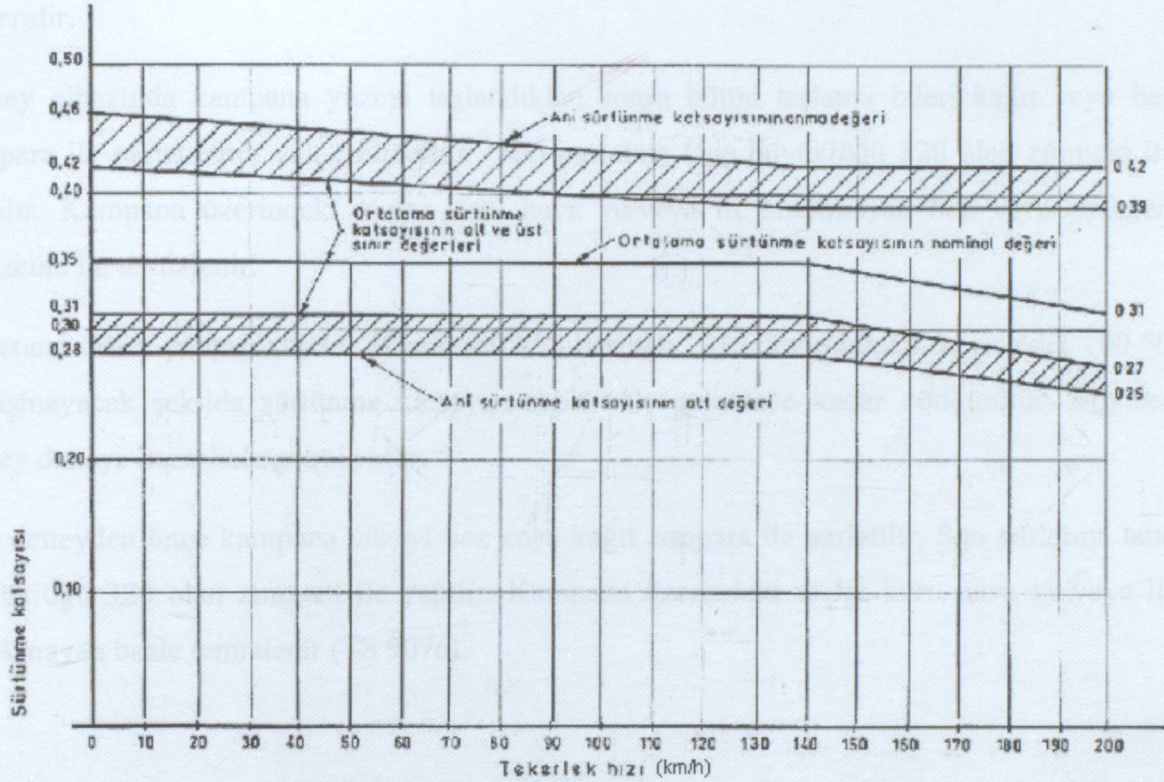
$P_{\max}$: Uygulanan en büyük basma yükü, kgf

S_0 : Basma doğrultusuna dik olan kesitin başlangıçtaki alanı, mm^2

7.7 Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi

Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı değeri Şekil 7.4'de verilen toleranslar arasında olmalıdır. Balataların ortalama sürtünme katsayısı kuru, yağışlı ve nemli hava şartlarında $\pm\%15$ 'ten fazla değişim göstermemelidir. $-40^\circ C$ ' ye kadar olan ortam sıcaklığında dahi

mekanik ve fiziksel özelliklerinde dahi önemli değişiklikler olmamalıdır. Sıcaklığın normal çalışma sıcaklığına ulaşmasından sonra balataların mekanik , fiziksel ve sürtünme özelliklerinde kalıcı bir değişiklik olmamalıdır. Balatanın ortalama sürtünme katsayısı değeri, disk yüzey sıcaklığı 400°C olduğu zaman diğer şartlar aynı kalmak şartıyla oda sıcaklığında ölçülen değerle karşılaştırıldığında $\pm \%15$ 'den fazla değişim göstermemelidir (TS 12465).



Şekil 7.4 Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı (TS 12465)

Sürtünme katsayısı deneyleri ve aşınma deneyleri Berka Balata San'da "Greening Test Machine" marka test cihazında yapıldı.

7.7.1 Sürtünme Katsayısı Deneyinin Yapım Aşamaları

Sıcaklık grubu A, 350°C' ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 1050 kPa basınçta yapılan aşınma deneyine bağlı şartlardır.

Sıcaklık grubu B, 400°C' ye kadar sınırlanmış sıcaklıkta ve 3000 kPa basınçta yapılan aşınma deneyine bağlı şartlardır.

Soğuk sürtünme aşınma deneyi esnasında 100°C , 150°C ve 200°C de ölçülen sürtünme

katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

Sıcak sürtünme aşağıda belirtilen sıcaklıklarda ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Bu ortalama, sıcaklık grubu A şartlarında 300°C ve 350 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında ve 300°C de yapılan dinlendirme deneyi esnasında veya sıcaklık grubu B şartlarında 350°C ve 400 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyi esnasında ve 350°C sıcaklıkta yapılan dinlendirme deneyi esnasında yapılan deneylerde alınan sonuç değeridir.

Deney cihazında kampana yüzeyi taşlandıktan sonra bütün taşlama izleri kağıt veya bez zımpara ile parlatılarak yok edilmelidir. Son parlatma tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile yapılır. Kampana üzerindeki tozlar kuru hava ve/veya lif bırakmayan bez veya eşdeğeri malzeme ile temizlenir.

Referans deney parçası sürekli olarak 700 kPa basınçta, 310 devir/dakika'da sıcaklık 100 °C yi aşmayacak şekilde sürtünme katsayısı sabit hale gelinceye kadar döndürülür. Böylece yüzey deneye hazır hale gelmiş olur.

Her deneyden önce kampana yüzeyi bez veya kağıt zımpara ile parlatılır. Son parlatma tane büyüklüğü 320 olan zımpara ile yapılır. Kampana üzerindeki tozlar kuru hava ve/veya lif bırakmayan bezle temizlenir (TS 9076).

7.7.2 Kodlar

Society of Automotive Engineers (SAE) bu sürtünme karakterizasyonu standardı geliştirmiştir. Bu testin amacı bir belirli bir sürtünme eğilimi ve "ölçülebilir" olarak adlandırılır. Chase Machine Test makinesinde katı bir testler 0.33 inç' den büyük bir çap ve 2.25 inç çapında 0.0005 inç' den küçük bir disk kullanılır. Kontrol şartları sağlamak için bu testler

Çizelge 7.1. Deney yapım aşamaları (TS 9076)

De ney No	Amaç	Fren uygulaması		Devir sayısı devir/dk	Basınç kPa	Sıcaklık °C		Süre
		Tip	Sayı			Ti	Te	
1	1.Alıştırma	Sürekli	-	310	700	200	-	-
2	2.Alıştırma	Aralıklı	20	420	1050	100 10	-	10 sn yüklü 20 sn yüksüz
3	1. Yorma	Sürekli (1)	-	420	1050	100	300	En çok 10 min. 20 sn yüksüz
4	1. Dinlendirm e	Aralıklı	3	420	1050	250	100	50 aralıklarla kademeli soğutma. Her soğutma kademesi 10s'lik frenlemed en sonra yapılmalıdır.
5	2.Yorma	Sürekli(1)	-	420	A:1050 B:3000	100	A: 350 B:400	-
6	2.Dinlendir me	Aralıklı	A:3 B:4	420	A:1050 B:3000	A:35 0 B:40 0	200	50 aralıklarla kademeli soğutma. Her soğutma kademesi 10s lik frenlemed en sonra yapılmalıdır.

7.7.2 Kodlar

Society of Automotive Engineers (SAE) bir sürtünme karakterizasyon standardı geliştirmiştir. Bu tanımlama iki harfli bir sistemden oluşur ve “edge codes” olarak adlandırılır. Chase Machine Test makinesinde kavisli şekillenen 6.53 cm² fren balatası numunesi ve 2.54 cm çapında dökme demir disk kullanılır. Kontrol şartlarını sağlamak için ise ısıtıcılar

soğutucular ve hava üfleme makineleri kullanılır. Chase machine sürtünme seviyelerini bulunmasında kullanılan bir araçtır. Test sonucunda “Edge Code”ları elde edilir ve bir sürtünme malzemesinin fren sisteminde nasıl bir etki göstereceği açısından hiçbir bilgi vermez. Ayrıca test numuneleri 1x1x1 boyutlarında olduğundan bütün balatanın özelliklerini aynen yansıtamaz(www.ifriction.com).

Bu kodlardaki ilk harf normal sürtünme katsayısını tanımlar ve j661 (Chase Machine) kullanılarak 93°C, 121°C, 148°C, ve 204°C de yapılan deneylerden elde edilen sonuçları yansıtır.. İkinci harf ise sıcak sürtünme katsayısını tanımlar ve aynı testin 232°C, 260°C, 287°C, 315°C ve 343° C de yapılması sonucunda elde edilen sürtünme katsayılarını tanımlar(www.ifriction.com).

SAE J866a kodları ve sürtünme katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.2 SAE kodlar (www.ifriction.com)

Kod	Sürtünme katsayısı
C	0.15
D	0.15-0.25
E	0.25-0.35
F	0.35-0.45
G	0.45-0.55
H	>0.55
Z	Sınıflandırılmamış

7.8 Balatanın Homojenlik Deneyi

Numune yüzeyi 600 numara zımpara kağıdı ile zımparalanır ve elmas pasta ile parlatılır. Işık mikroskopunda kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin yapı içinde homojen dağılıp dağılmadığı gözlenir (TS 12465).

8.2 Balata Üretimi

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Deneyde Kullanılan Kompozisyonun Hazırlanması

Fren balatasının özelliklerinin sağlanması açısından karıştırma işlemi çok önemlidir. Karıştırma işlemi sırasında kullanılan bileşenler uygun sıra ile konulmalı ve her konulan bileşenden sonra homojen karıştırma yapılmasına önem gösterilmelidir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan bileşenlerin karıştırılma sıraları aşağıdaki gibi yapıldı,

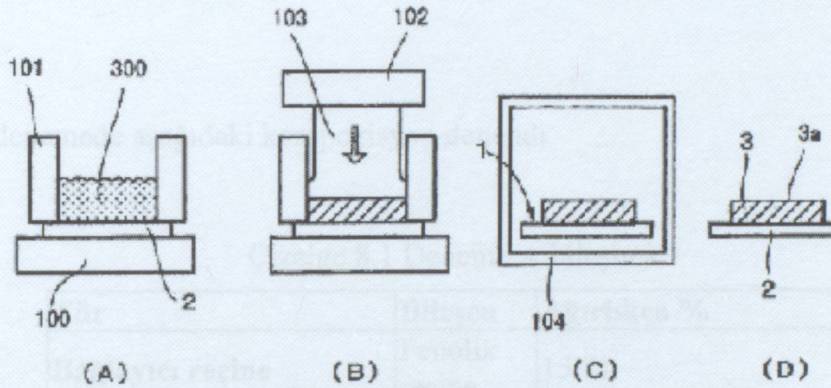
- 1- Fenolik reçine
- 2- Aramid hamur (pulp)
- 3- ZnS
- 4- PbS
- 5- Barit
- 6- Uçucu kül
- 7- Demir yünü
- 8- Sürtünme düzenleyici
- 9- Lastik tozu
- 10- Demir tozu
- 11- Karbon

Hazırlanan bütün kompozisyonlarda yukarıdaki bütün bileşenler kullanılmadı. Fakat tüm kompozisyonlarda aynı karıştırma sırası izlendi. Kullanılan bütün bileşenlerin karıştırma işlemi bir beher içerisinde yapıldı. Öncelikle fenolik reçinenin karıştırılmasının nedeni fenolik reçine bağlayıcı görevi gördüğünden tamamen toz haline gelmeli ve tüm kompozisyon içerisine yayılmalıdır. Daha sonra aramid hamur (pulp) ilave edildi ve aramid hamur (pulp) reçine ile karıştırıldı. ZnS ve PbS nin eklenmesi ile karıştırma işlemi kolaylaştı. Ve kalan bileşenler de sıra ile ilave edildi. Son olarak karbon da ilave edildikten sonra 5 dakika karıştırma işlemi devam etti.

8.2 Balata Üretimi

Deneysel çalışmalarda sıcak presleme işlemi için “sıcak monte” cihazı kullanıldı ve kür işlemi içinde hava sirkülasyonlu etüv kullanıldı.

Sıcak monte cihazının alt ve üst sıkıştırma tablaları çıkarılıp temizlendikten sonra içerisine hazırlanan kompozisyon konuldu. Sıcak monte cihazını çalıştırıldıktan ve ısınma işlemi tamamlandıktan sonra istenilen basınçta presleme işlemi yapıldı. Presleme işlemi sonunda sıcak monte cihazının su vanası açıldı ve cihaz içindeki numunenin soğuması sağlandı. Sıcak monte cihazından çıkarılan numune kür işlemine hazır halde elde ediliş oldu. Kısaca presleme işlemini şu şekilde gösterebiliriz (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Üretim prosesi (Okayama, 2003)

A kademesinde, bir disk fren balatasının(1), araka plakası(2) kalıbın tabanına yerleştirilmiştir(100). Sürtünme malzemesinin(3) şekliyle uyuşan bir metal kalıp(101) arka plakanın(2) üzerine yerleştirilir. Bu boşluk reçine içeren bir malzeme karışımı (300) ile doldurulur. B aşamasında karışım malzemesine şekil vermek için basınç ile bir üst punç(103) ile hareket eden bir üst kalıp(102) ok yönünde basınç uygular. Bu basınç uygulanırken, karışım malzemesi(300) bağlayıcının sertleşme reaksiyonu gösterdiği 200°C’ civarına kadar ısıtılır. Sıcak şekil verme işleminden sonra üst (102) ve alt (100) kalıpları sökülür. Disk fren balatası (1) alınır. C aşamasında, kalan bölgeleri de sertleştirmek için, disk fren balatası (1), 200 derecede 6 saat arası 200 C de fırınında (104) tutulur. D aşamasında, rotor ile sürtünen sürtünme yüzeyi (3a), şekillendirilir. Ve balata üretimi tamamlanır. (Okayama, 2003)

8.3 Hazırlanan Kompozisyonlar Ve Sürtünme Katsayısı Deneyleri

Deneysel çalışmalarda öncelikle bağlayıcı malzemenin seçimi için deneysel çalışmalar

yapıldı. Öncelikle stiren bütadien kauçuğu bağlayıcı malzeme olarak denedi. Bu deneyin yapılmasındaki amaç bütadien - Sitirenin bağlayıcılık özelliğinin gözlenmesiydi. Kullanılan stiren bütadien Kauçuğu Tüpraş 1720 Stiren Bütadien Kauçuk malzemeydi. Yapılan deneylerde stiren bütadien kauçuğunun sıcak presleme işlemiyle bağlayıcılık özelliği kazandığı gözlemlendi. Fakat stiren bütadien kauçuğu iyi bir bağlayıcı olmasına karşın karıştırma esnasında kauçuk malzemelerin karıştırılmasında kullanılan banburi mikserler gerekmektedir.

İkinci çalışmada ise frenleme malzemelerinde sıklıkla kullanılan Fenolik reçinenin bağlayıcılık özelliği araştırıldı. Bu deney için sürtünme malzemelerinde kullanılan özel olarak Rütaphen firması tarafından üretilen Rütaphen fenol novalak modifiye edilmiş reçine türü kullanıldı. Rütaphen reçinenin bağlayıcılık özelliği ise iyi bulundu.

Deneme A

Yapılan ilk denemede aşağıdaki kompozisyon denendi

Çizelge 8.1 Deneme A bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	15.71
Sürtünme düzenleyici	PbS	30.43
	ZnS	15.15
	Karbon	4.80
Dolgu malzemesi	Barit	9.19
Metal tozu	Demir tozu	24.71
		100

Hazırlanan kompozisyon 31.02 MPa basınç altında 25 dakika 200°C sıcaklık altında preslendi. Ve numuneye 200°C de hava sirkülasyonlu bir etüvde 6 saat kür işlemi uygulandı. Bu deney sonucunda numune ağırlıkça %15.71 yani hacimce %48.83 fenolik reçine içerdiğinden numune kür işleminden sonra çatladı. Fren balataları üretiminde %30'un üzerinde fenolik reçine kullanmak uygun değildir. Bu numuneye sürtünme katsayısı ve diğer deneyler uygulanmadı.

Deneme B

Çizelge 8.2 Deneme B bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	7.04
Sürtünme düzenleyici	PbS	22.45
	ZnS	12.48
	Karbon	7.73
Dolgu malzemesi	Uçucu kül	11.59
Organik fiber	Aramid hamur (pulp)	4.39
Metal tozu	Demir tozu	34.32
		100

Sıcak pres: 26.20 MPa / 200°C

Pres süresi: 25 dk.

Deneyde hacimce %9.98 yani ağırlıkça %4.39 oranında aramid hamur (pulp) kullanıldı. Fakat aramid hamur (pulp) miktarının %5'in üzerine çıkarılmasıyla karıştırma işlemi güçleşti. Presleme sonrası numunenin görsel özellikleri iyi olmadığından bu numuneye kür işlemi ve diğer deneysel çalışmalar uygulanmadı.

Deneme C

Çizelge 8.3 Deneme C bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
İnorganik dolgu malzemesi	Lastik tozu	2.32
Sürtünme düzenleyici	PbS	36.08
	ZnS	17.99
	Karbon	4.66
Dolgu malzemesi	Barit	11.27
Metal tozu	Demir tozu	27.68
		100

Sıcak pres: 31.02 MPa / 200°C

Pres süresi: 10 dk.

Bu denemede bağlayıcı olarak fenolik reçine yerine lastik tozu kullanıldı. Lastik tozunun yeterli oranda bağlayıcılık özelliği göstermediği gözlemlendi. Numunenin görsel özellikleri iyi olmadığından numuneye kür işlemi ve diğer deneyler uygulanmadı.

Deneme 1

Çizelge 8.4 Deneme 1 bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
Organik fiber	Aramid hamur (pulp)	2.19
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	6.99
Sürtünme düzenleyici	PbS	22.29
	ZnS	12.39
	Karbon	7.67
Dolgu malzemesi	Uçucu kül	14.38
Metal tozu	Demir tozu	34.08
		100

Sıcak pres: 26.20 MPa / 200°C

Pres süresi: 25 dk.

Kür işlemi: 6 saat / 200°C

Fren balatasının sürtünme katsayısı testlerinin sonuçları aşağıdaki çizelge 8.5’de verilmiştir.

Çizelge 8.5 Deneme 1'in sürtünme katsayısı deneyi sonuçları

	AĞIRLIK (Gr)	KALINLIK (mm)
TEST BAŞLANGICI	9,102	5,542
TEST BİTİŞ	8,085	4,978
AŞINAN KAYIP MİKTAR	1,017	0,564

1. ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	17	0,262
5	17	0,262
10	18	0,277
15	18	0,277
20	18	0,277

SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	21	0,323
5	21	0,323
10	22	0,338
15	22	0,338
20	23	0,354

1. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	20	0,308
0,5	120	20	0,308
1	135	21	0,323
1,5	150	23	0,354
2	170	25	0,385
2,5	185	26	0,400
3	200	27	0,415
3,5	215	28	0,431
4	230	28	0,431
4,5	245	28	0,431
5	260	28	0,431
5,5	275	26	0,400
6	290	24	0,369
6,5	305	23	0,354
7	315	23	0,354
7,5			
8			
8,5			
9			
9,5			
10	315°C		

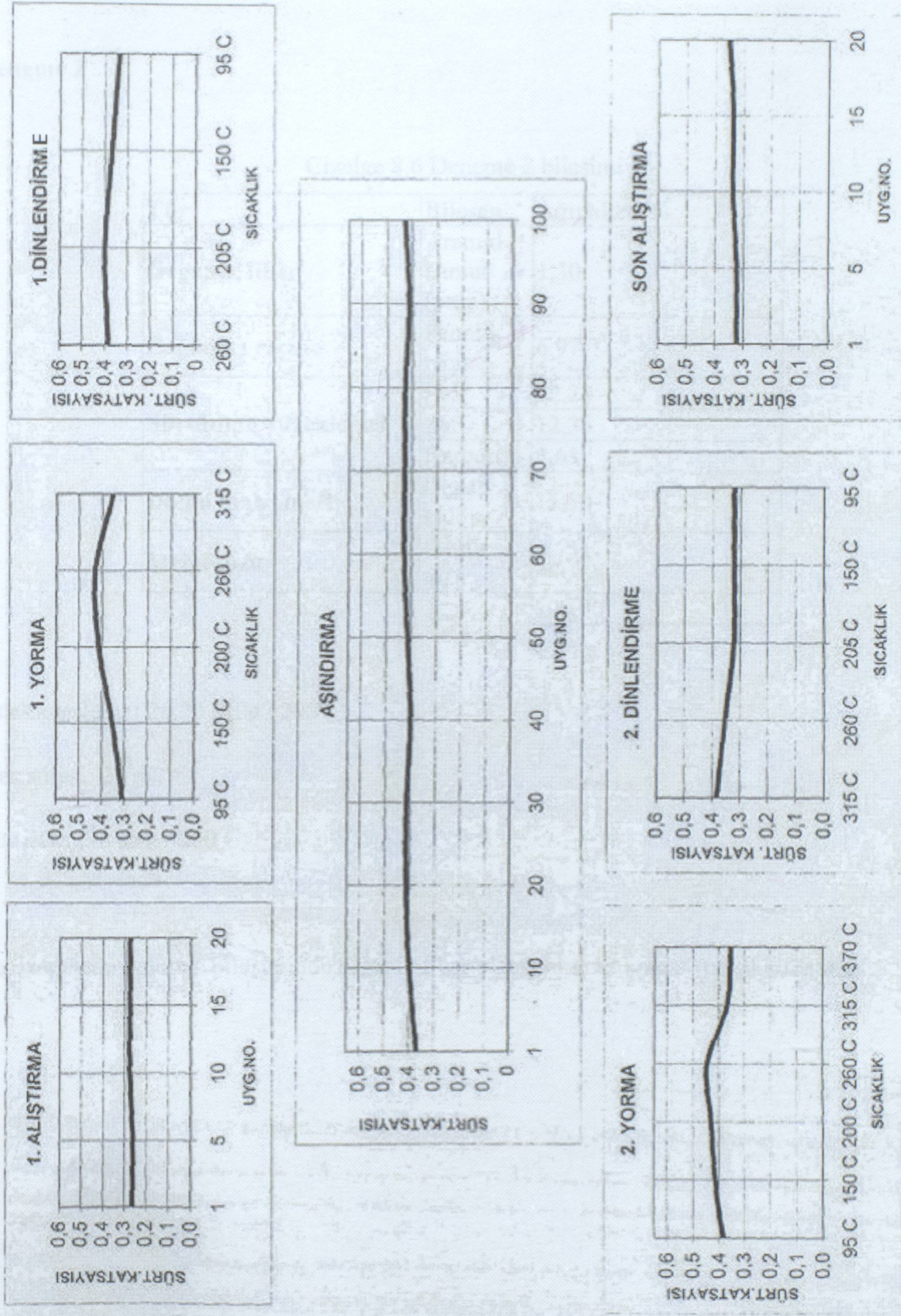
AŞINDIRMA		
UYG NO	GÖST DEĞR.	SÜRT. KATS.
1	24	0,369
10	26	0,400
20	27	0,415
30	27	0,415
40	26	0,400
50	27	0,415
60	28	0,431
70	28	0,431
80	28	0,431
90	27	0,415
100	28	0,431

N. SÜRT.KATS	0,407
S. SÜRT.KATS	0,378
Ö. SÜRT.KATS	0,323
SAPMA DEĞERİ	0,12
SINIFI	FF
YOĞUNLUK	2,754
SERTLİK (HRM)	75 - 85

2. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	25	0,385
0,5	120	26	0,400
1	135	26	0,400
1,5	150	27	0,415
2	170	28	0,431
2,5	185	28	0,431
3	200	28	0,431
3,5	215	28	0,431
4	230	28	0,431
4,5	245	29	0,446
5	260	29	0,446
5,5	275	27	0,415
6	290	27	0,415
6,5	305	26	0,400
7	315	24	0,369
7,5	325	24	0,369
8	335	23	0,354
8,5	345	23	0,354
9	355	23	0,354
9,5	365	23	0,354
10	370°C	23	0,354

1. DİNLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
260	25	0,385
205	26	0,400
150	24	0,369
95	22	0,338

2. DİNLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
315	25	0,385
260	23	0,354
205	21	0,323
150	21	0,323
95	21	0,323



Şekil 8.2 Deneme 1'in sürtünme katsayısı deneyi grafikleri

Çizelge 8.7 Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deneyi sonuçları

Deneme 2

Çizelge 8.6 Deneme 2 bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
Organik fiber	Aramid hamur (pulp)	1,30
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	6,97
Sürtünme düzenleyici	PbS	22,23
	ZnS	12,36
	Karbon	7,65
Dolgu malzemesi	Uçucu kül	15,50
Metal tozu	Demir tozu	33,99
		100,00

Sıcak presleme: 26.20 MPa / 200°C

Pres süresi: 25 dk.

Kür işlemi: 6 saat / 200 C

Bu denemede numune bileşiminde organik fiber olarak aramid hamur (pulp) kullanıldı.

Çizelge 8.7 Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deneyi sonuçları

	AĞIRLIK (Gr)	KALINLIK (mm)
TEST BAŞLANGICI	11,527	6,396
TEST BİTİŞ	10,313	5,734
AŞINAN KAYIP MİKTAR	1,214	0,662

1. ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	25	0,385
5	25	0,385
10	26	0,400
15	28	0,431
20	30	0,462

SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	20	0,308
5	20	0,308
10	21	0,323
15	22	0,338
20	23	0,354

1. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	32	0,492
0,5	120	33	0,508
1	135	33	0,508
1,5	150	33	0,508
2	170	33	0,508
2,5	185	32	0,492
3	200	32	0,492
3,5	215	32	0,492
4	230	32	0,492
4,5	245	31	0,477
5	260	31	0,477
5,5	275	30	0,462
6	290	30	0,462
6,5	305	30	0,462
7	315	29	0,446
7,5			
8			
8,5			
9			
9,5			
10	315°C		

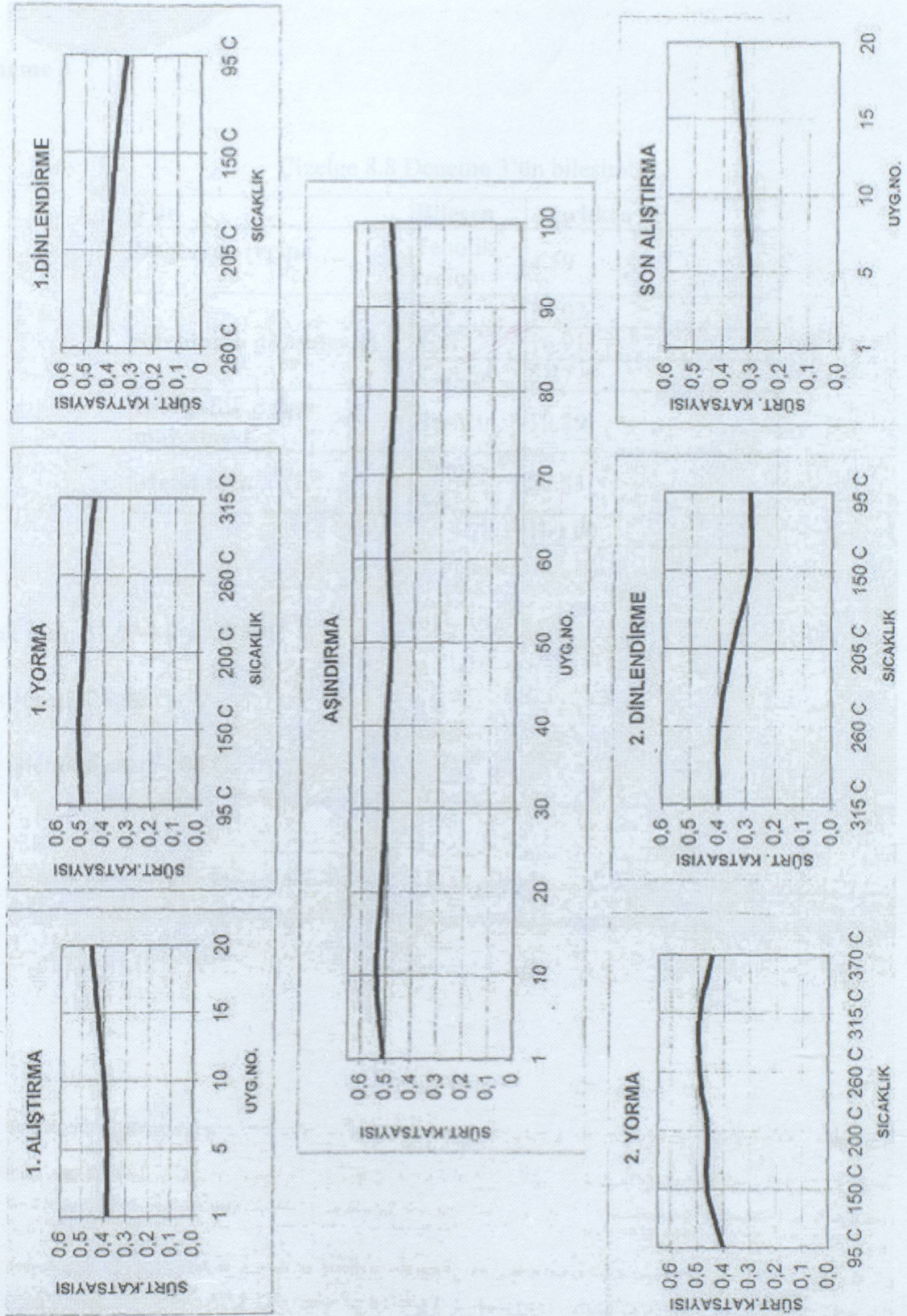
AŞINDIRMA		
UYG NO	GÖST DEĞR.	SÜRT. KATS.
1	33	0,508
10	35	0,538
20	34	0,523
30	33	0,508
40	33	0,508
50	32	0,492
60	33	0,508
70	33	0,508
80	32	0,492
90	32	0,492
100	33	0,508

N. SÜRT.KATS	0,426
S. SÜRT.KATS	0,424
Ö. SÜRT.KATS	0,292
SAPMA DEĞERİ	0,23
SINIFI	FF
YOĞUNLUK	2,870
SERTLİK (HRM)	70 - 80

2. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	25	0,385
0,5	120	26	0,400
1	135	29	0,446
1,5	150	30	0,462
2	165	29	0,446
2,5	180	28	0,431
3	200	30	0,462
3,5	215	32	0,492
4	230	33	0,508
4,5	245	34	0,523
5	260	32	0,492
5,5	275	32	0,492
6	290	32	0,492
6,5	305	32	0,492
7	315	32	0,492
7,5	330	32	0,492
8	340	31	0,477
8,5	350	31	0,477
9	360	30	0,462
9,5	370	29	0,446
10	370°C		

1. DINLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
260	29	0,446
205	26	0,400
150	24	0,369
95	21	0,323

2. DINLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
315	26	0,400
260	26	0,400
205	23	0,354
150	19	0,292
95	19	0,292



Şekil 8.3 Deneme 2'nin sürtünme katsayısı deneyi grafikleri

Çizelge 8.9 Deneme 3'ün sürtünme tabanlayıcı deney sonuçları

Deneme 3

Çizelge 8.8 Deneme 3'ün bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	4.59
	PbS	34.02
Sürtünme düzenleyici	ZnS	16.91
	Karbon	5.37
İnorganik dolgu malzemesi	Barit	10.29
Metal tozu	Demir tozu	28.83
		100,00

Sıcak pres: 31.02 MPa / 200°C

Pres süresi: 25 dk.

Kür işlemi: 6 saat / 200 C

Çizelge 8.9 Deneme 3'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları

	AĞIRLIK (Gr)	KALINLIK (mm)
TEST BAŞLANGICI	12,762	5,254
TEST BİTİŞ	11,895	4,908
AŞINAN KAYIP MİKTAR	0,867	0,346

1. ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	28	0,431
5	28	0,431
10	28	0,431
15	29	0,446
20	29	0,446

SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	25	0,385
5	26	0,400
10	26	0,400
15	27	0,415
20	28	0,431

1. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	29	0,446
0,5	120	30	0,462
1	135	30	0,462
1,5	150	29	0,446
2	170	28	0,431
2,5	185	29	0,446
3	200	29	0,446
3,5	215	29	0,446
4	230	28	0,431
4,5	245	26	0,400
5	260	24	0,369
5,5	275	22	0,338
6	290	20	0,308
6,5	305	20	0,308
7	315	20	0,308
7,5			
8			
8,5			
9			
9,5			
10	315°C		

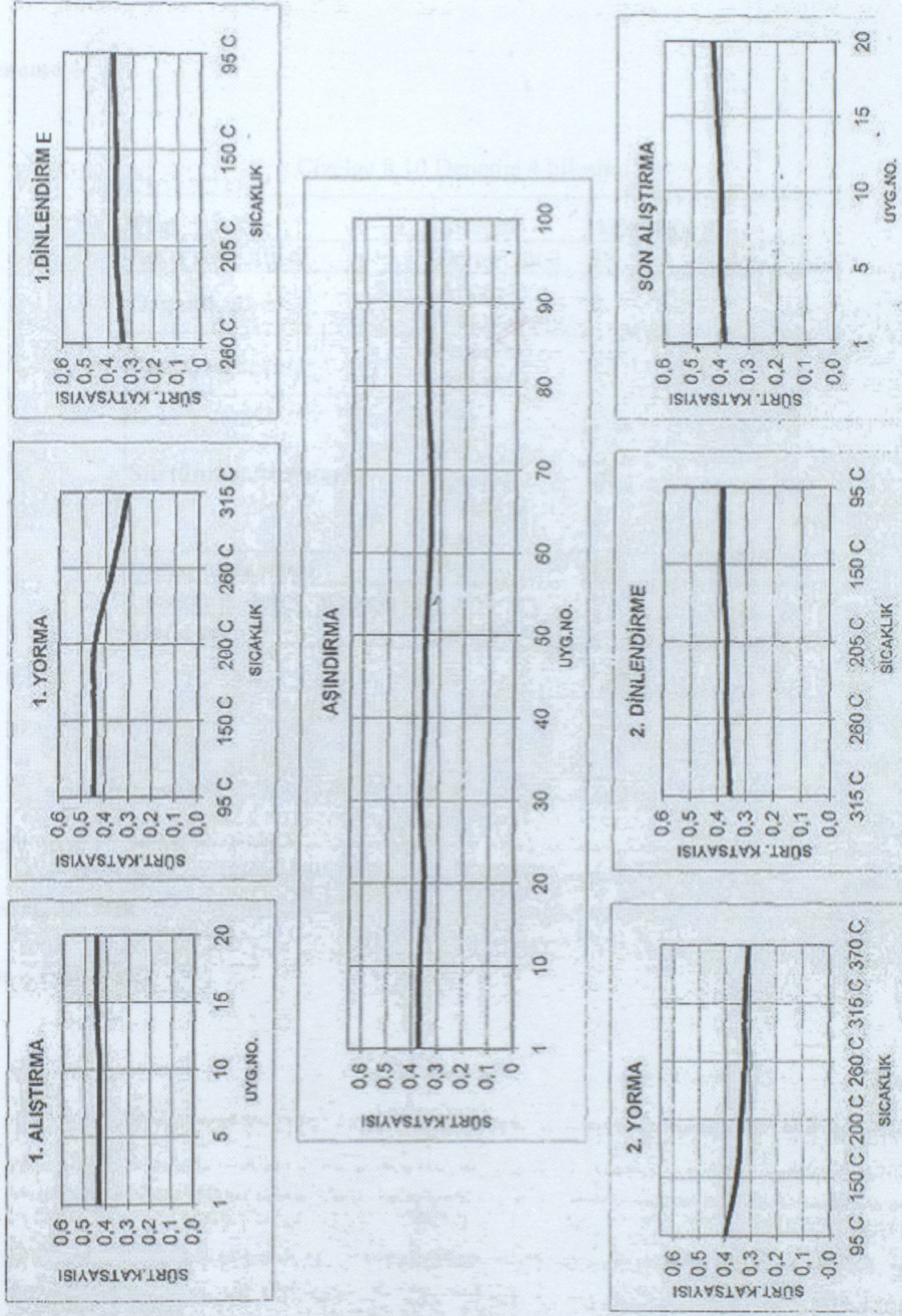
AŞINDIRMA		
UYG NO	GÖST DEĞR.	SÜRT. KATS.
1	24	0,369
10	24	0,369
20	23	0,354
30	24	0,369
40	23	0,354
50	23	0,354
60	22	0,338
70	22	0,338
80	23	0,354
90	23	0,354
100	23	0,354

N. SÜRT.KATS	0,372
S. SÜRT.KATS	0,347
Ö. SÜRT.KATS	0,307
SAPMA DEĞERİ	0,093
SINIFI	FE
YOĞUNLUK	4,083
SERTLİK (HRM)	70 - 78

2. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	26	0,400
0,5	120	26	0,400
1	135	25	0,385
1,5	150	23	0,354
2	170	22	0,338
2,5	185	22	0,338
3	200	22	0,338
3,5	215	22	0,338
4	230	22	0,338
4,5	245	22	0,338
5	260	21	0,323
5,5	275	21	0,323
6	290	21	0,323
6,5	305	21	0,323
7	315	21	0,323
7,5	325	21	0,323
8	335	20	0,308
8,5	345	20	0,308
9	355	20	0,308
9,5	365	20	0,308
10	370°C	20	0,308

1. DINLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
260	22	0,338
205	24	0,369
150	24	0,369
95	25	0,385

2. DINLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
315	23	0,354
260	24	0,369
205	24	0,369
150	25	0,385
95	25	0,385



Şekil 8.4 Deneme 3'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri

Çizelge 8.11 Deneme 4 bileşimi

Deneme 4

Çizelge 8.10 Deneme 4 bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
İnorganik fiber	Demir yünü	10
Organik fiber	Aramid hamur (pulp)	2
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	12
Sürtünme düzenleyici	PbS	10
	ZnS	10
	Karbon	10
	Sürtünme tozu	8
Dolgu malzemesi	Barit	25
İnorganik dolgu malzemesi	Lastik tozu	8
Metal tozu	Demir tozu	5
		100

Sıcak pres: 16.54 MPa / 200°C

Pres süresi: 5dk.

Kür işlemi: 5 saat / 200 °C

Çizelge 8.11 Deneme 4'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları

	AĞIRLIK (Gr)	KALINLIK (mm)
TEST BAŞLANGICI	9,026	6,552
TEST BİTİŞ	8,852	6,426
AŞINAN KAYIP MİKTAR	0,174	0,126

1. ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	24	0,369
5	24	0,369
10	24	0,369
15	25	0,385
20	25	0,385

SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	23	0,354
5	23	0,354
10	24	0,369
15	24	0,369
20	25	0,385

1. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	25	0,385
0,5	120	26	0,400
1	135	26	0,400
1,5	150	26	0,400
2	170	26	0,400
2,5	185	26	0,400
3	200	25	0,385
3,5	215	25	0,385
4	230	25	0,385
4,5	245	24	0,369
5	260	24	0,369
5,5	275	24	0,369
6	290	23	0,354
6,5	305	23	0,354
7	315	22	0,338
7,5			
8			
8,5			
9			
9,5			
10	315°C		

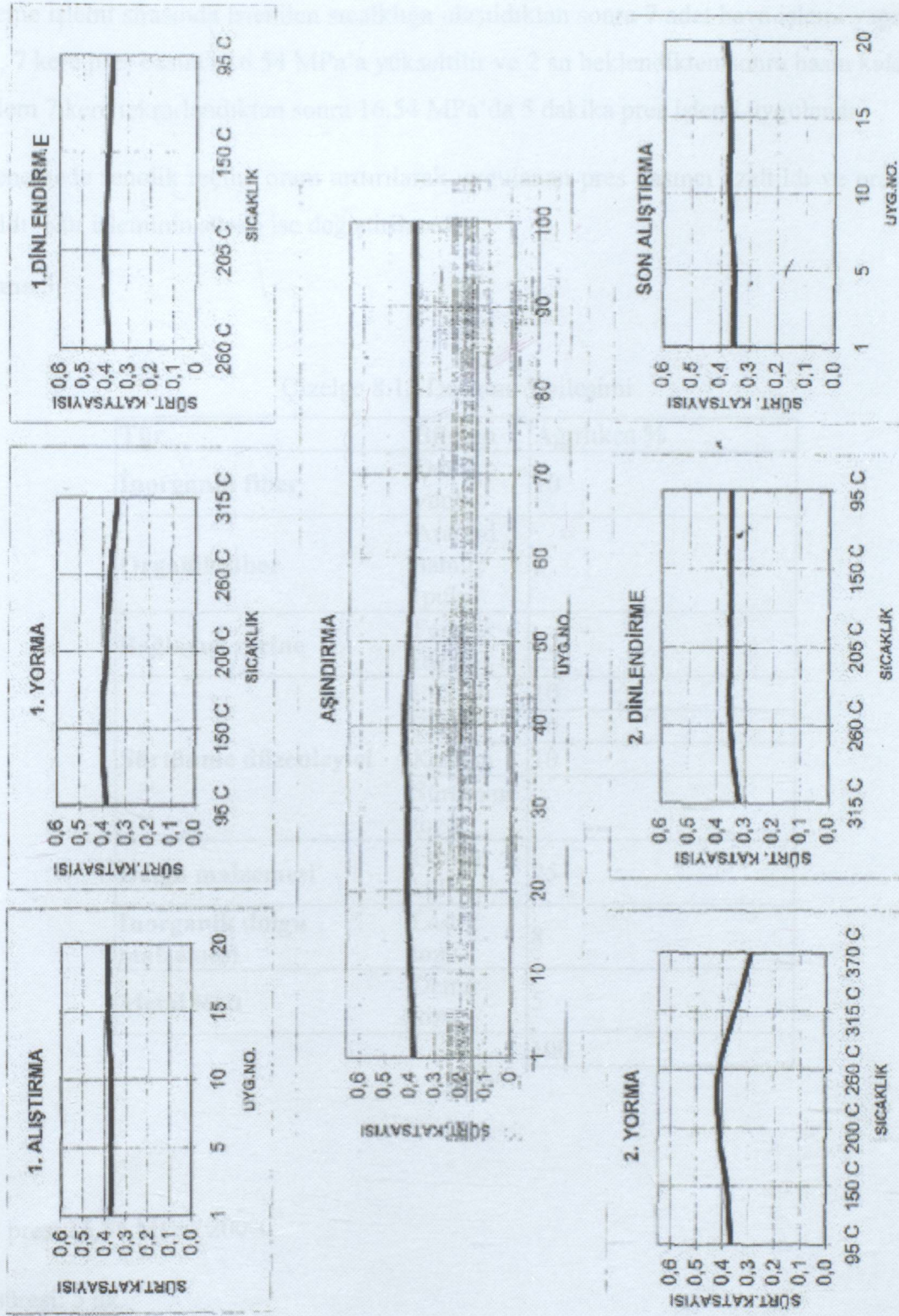
AŞINDIRMA		
UYG. NO	GÖST. DEĞR.	SÜRT. KATS.
1	25	0,385
10	26	0,400
20	27	0,415
30	27	0,415
40	28	0,431
50	27	0,415
60	26	0,400
70	26	0,400
80	26	0,400
90	26	0,400
100	26	0,400

N. SÜRT.KATS	0,384
S. SÜRT.KATS	0,370
Ö. SÜRT.KATS	0,292
SAPMA DEĞERİ	0,12
SINIFI	FF
YOĞUNLUK	2,225
SERTLİK (HRL)	70 - 75

2. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	24	0,369
0,5	120	25	0,385
1	135	25	0,385
1,5	150	25	0,385
2	165	25	0,385
2,5	180	26	0,400
3	200	27	0,415
3,5	215	27	0,415
4	230	27	0,415
4,5	245	27	0,415
5	260	27	0,415
5,5	275	26	0,400
6	290	25	0,385
6,5	305	24	0,369
7	315	23	0,354
7,5	325	23	0,354
8	335	22	0,338
8,5	345	21	0,323
9	355	21	0,323
9,5	365	20	0,308
10	370°C	19	0,292

1. DİNLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
260	25	0,385
205	26	0,400
150	25	0,385
95	24	0,369

2. DİNLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
315	21	0,323
260	23	0,354
205	23	0,354
150	23	0,354
95	23	0,354



Şekil 8.5 Deneme 4'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri

Presleme işlemi sırasında istenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra 7 adet hava işlemi yapıldı. Bu işlem, 7 kere pres basıncı 16.54 MPa'a yükseltir ve 2 sn beklendikten sonra basın kaldırılır. Bu işlem 7 kere tekrarlandıktan sonra 16.54 MPa'da 5 dakika pres işlemi uygulandı.

Bu denemede fenolik reçine oranı artırılarak uygulanan pres basıncı azaltıldı ve pres süresi azaltıldı. Kür işleminin süresi ise değiştirilmedi.

Deneme 5

Çizelge 8.12 Deneme 5 bileşimi

Tür	Bileşen	Ağırlıkça %
İnorganik fiber	Demir yünü	10
Organik fiber	Aramid hamur (pulp)	2
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	12
Sürtünme düzenleyici	PbS	10
	ZnS	10
	Karbon	10
	Sürtünme tozu	8
Dolgu malzemesi	Uçucu kül	25
İnorganik dolgu malzemesi	Lastik tozu	8
Metal tozu	Demir tozu	5
		100

Sıcak pres: 16.54 MPa / 200°C

Pres süresi: 5 dk.

Kür işlemi: 6 saat / 200°C

Bu denemede de bir önceki denemede kullanılan 7 adet hava ile presleme işlemi uygulandı.

Bu denemede dolgu malzemesi olarak barit yerine uçucu kül kullanıldı.

Çizelge 8.13 Deneme 5'ün sürtünme katsayısı deney sonuçları

	AGIRLIK (G)	KALINLIK (mm)
TEST BAŞLANGICI	7,559	6,564
TEST BİTİŞ	7,262	6,346
AŞINAN KAYIP MİKTAR	0,297	0,218

1. ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	26	0,400
5	26	0,400
10	27	0,415
15	27	0,415
20	27	0,415

SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	21	0,323
5	22	0,338
10	22	0,338
15	23	0,354
20	23	0,354

1. YORMA			
DAK.	SIC. °C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	27	0,415
0,5	120	28	0,431
1	135	29	0,446
1,5	150	31	0,477
2	170	32	0,492
2,5	185	32	0,492
3	200	31	0,477
3,5	215	30	0,462
4	230	28	0,431
4,5	245	26	0,400
5	260	24	0,369
5,5	275	22	0,338
6	290	19	0,292
6,5	305	17	0,262
7	310	15	0,231
7,5	315	13	0,200
8			
8,5			
9			
9,5			
10	315°C		

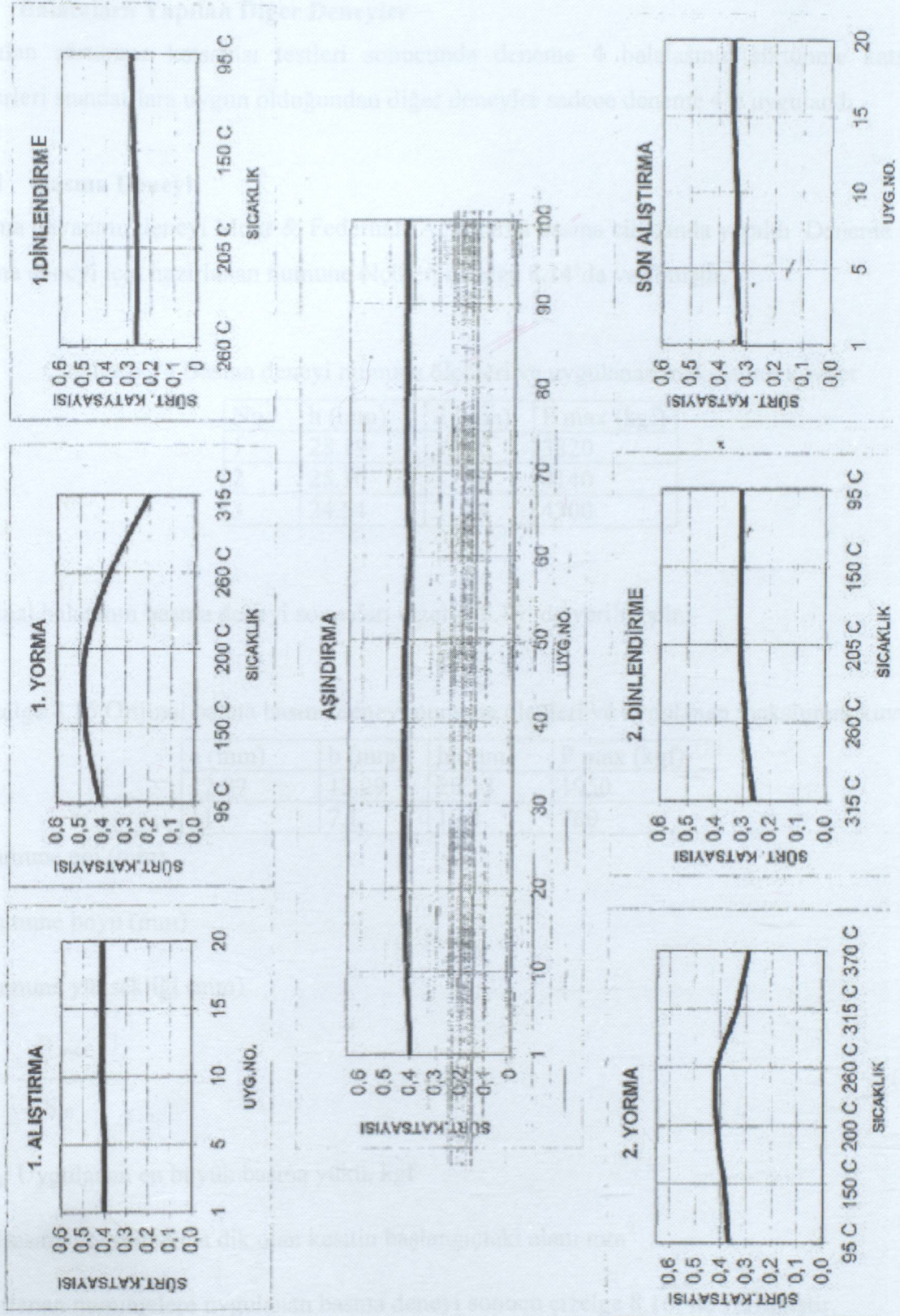
AŞINDIRMA		
UYG. NO	GÖST. DEĞR.	SÜRT. KATS.
1	26	0,400
10	27	0,415
20	28	0,431
30	28	0,431
40	28	0,431
50	28	0,431
60	27	0,415
70	28	0,431
80	28	0,431
90	28	0,431
100	28	0,431

N. SÜRT.KATS.	0,507
S. SÜRT.KATS.	0,288
Ö. SÜRT.KATS.	0,184
SAPMA DEĞERİ	0,36
SINIFI	GE
YOĞUNLUK	1,851
SERTLİK (HRL)	70 - 75

2. YORMA			
DAK.	SIC. °C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	24	0,369
0,5	120	25	0,385
1	135	25	0,385
1,5	150	25	0,385
2	165	25	0,385
2,5	180	26	0,400
3	200	27	0,415
3,5	215	27	0,415
4	230	27	0,415
4,5	245	27	0,415
5	260	27	0,415
5,5	270	26	0,400
6	280	25	0,385
6,5	290	24	0,369
7	300	23	0,354
7,5	310	23	0,354
8	315	22	0,338
8,5	320	21	0,323
9	325	21	0,323
9,5	330	20	0,308
10	335°C	19	0,292

1. DİNLENDİRME		
SIC. °C	GÖST.D.	S.KATS.
260	17	0,262
205	17	0,262
150	18	0,277
95	19	0,292

2. DİNLENDİRME		
SIC. °C	GÖST.D.	S.KATS.
315	17	0,262
260	19	0,292
205	20	0,308
150	20	0,308
95	20	0,308



Şekil 8.6 Deneme 5'ün sürtünme katsayısı deney grafikleri

8.4 Balatalara Yapılan Diğer Deneyler

Yapılan sürtünme katsayısı testleri sonucunda deneme 4 balatasının sürtünme katsayısı değerleri standartlara uygun olduğundan diğer deneyler sadece deneme 4'e uygulandı.

8.4.1 Basma Deneyi

Basma dayanımı deneyi Mohr & Federhaff AG marka basma cihazında yapıldı. Deneme 4'ün basma deneyi için hazırlanan numune ölçüleri çizelge 8.14'da verilmiştir.

Çizelge 8.14 Basma deneyi numune ölçüleri ve uygulanan maksimum kuvvet

No.	h (mm)	d (mm)	P max (kgf)
1	28.19	31.66	3820
2	25.10	31.26	4140
3	24.54	31.14	4300

Orijinal balatanın basma deneyi sonuçları çizelge 8.15' de verilmiştir.

Çizelge 8.15 Orijinal balata basma deneyi numune ölçüleri ve uygulanan maksimum kuvvet

a (mm)	b (mm)	h (mm)	P max (kgf)
12.87	13.29	20.13	1950
11	7.1	19.4	760

a: numune eni (mm)

b: numune boyu (mm)

h: numune yüksekliği (mm)

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{S_0} \quad (8.1)$$

$P_{\max}$: Uygulanan en büyük basma yükü, kgf

S_0 : Basma doğrultusuna dik olan kesitin başlangıçtaki alanı mm^2

Hazırlanan numunelere uygulanan basma deneyi sonucu çizelge 8.16' de verilmiştir.

Çizelge 8.16 Deneme 4 basma deneyi sonuçları

No.	h (mm)	P max (kgf)	S (mm ²)	σ_B (kgf/mm ²)	σ_B (N/mm ²)
1	28.19	3820	787	4.85	47.56
2	25.10	4140	767	5.39	52.85
3	24.54	4300	761	5.65	55.40
				5.29	51.87

Çizelge 8.17 Orijinal balata basma deneyi sonuçları

No.	h (mm)	P max (kgf)	S (mm ²)	σ_B (kgf/mm ²)	σ_B (N/mm ²)
Orijinal	20.13	1950	267.5	7.28	71.39
	19.4	760	78.1	9.73	95.41
				8.50	83.35

8.4.2 Basma Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Basma elastisite modülü deneyi Wilson marka Rockwell sertlik cihazına 13.3 mm mandrel takılarak yapıldı.

$$E = \frac{(60 - 10) \times 9.81}{0.25 \times \pi \times d^2} \times \frac{h \times 1000}{\Delta h} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (8.2)$$

h: numune yüksekliği (mm)

d: numune çapı

Δh : numune boyunda meydana gelen kısalma (μm)

Deneme 4'ün basma elastisite modülünün ölçülmesi için yapılan deney sonucu elde edilen değerler çizelge 8.18' de verilmiştir.

Çizelge 8.18 Deneme 4 basma elastisite modülü deney sonuçları

No.	d (mm)	h (mm)	Gösterge	Δh (μm)	E (N/mm ²)
1	22.8	27.58	68	136	243.63
2	22.8	20.57	59	118	209.42
3	22.8	20.48	59	118	208.51
Ortalama					208.96

Farklı balatalara yapılan deneyler sonucunda 1 numaralı numuneye yapılan deney sonucu diğer iki numuneye göre farklı olduğundan ortalamaya katılmadı

Orijinal balatanın elastisite modülü deney sonuçları çizelge 8.19' de verilmiştir.

Çizelge 8.19 Orijinal balata basma elastisite modülü deney sonuçları

No.	d (mm)	h (mm)	Gösterge	Δh (μm)	E (N/mm ²)
1	22.8	20.05	69	138	174.54
2	22.8	20.05	71	142	169.63
3	22.8	20.05	73	146	164.98
Ortalama					169.72

8.4.3 İç Kesme Mukavemeti Deneyi

Bu deneyin amacı karayolu ve demiryolu taşıtlarında kullanılan disk fren ve kampana fren balatalarının iç kesme mukavemetinin ölçülmesidir. İç kesme mukavemeti deneyi Mohr & Federhaff AG marka basma cihazına 8 mm çapına sahip bir mandrele sahip aparat takılması ile yapıldı.

$$\tau = \frac{F(kgf)}{\pi d s} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \quad (8.3)$$

d: çap (mm)

s: numune kalınlığı (mm)

Deneme 4'ün iç kesme mukavemetinin ölçülmesi için hazırlanan numune ölçüleri ve elden edilen sonuçlar çizelge 8.20'de verilmiştir.

Çizelge 8.20 Deneme 4'ün iç kesme mukavemeti deney sonuçları

No.	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	F (kgf)	τ (kgf/mm ²)	τ (N/mm ²)
1	5.24	8.4	250	1.80	17.65
2	5.26	8.4	240	1.72	16.86
3	4.7	8.4	230	1.85	18.14
4	6.3	8.4	335	2.01	19.71
5	5.56	8.4	265	1.80	17.65
6	6.1	8.4	315	1.95	19.12
Ortalama				1.86	18.24

Orijinal balatanın iç kesme mukavemeti deney sonuçları çizelge 8.21' de verilmiştir.

Çizelge 8.21 Orijinal balata iç kesme mukavemeti deneyi sonuçları

No.	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	F (kgf)	τ (kgf/mm ²)	τ (N/mm ²)
1	5,22	8,4	404	2.93	28.73
2	4,48	8,4	369	3.12	30.59
3	4,38	8,4	302	2.61	25.59
Ortalama				2.88	28.24

8.4.4 Homojen Dağılım Deneyi

Numune yüzeyi 600 numara zımpara kağıdı ile zımparalandı ve elmas pasta ile parlatıldı. Işık mikroskopunda kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin yapı içinde homojen dağılıp dağıldığı gözlemlendi.



Şekil 8.7 Deneme 4'ün x1000 büyütmede incelenmesi

Şekil 8.7'de demir tozu ve buğulu alanlarda lastik ve barit gözükmemektedir. Fenolik reçine bileşenleri bir arada tuttuğundan, bileşenlerin etrafına yayılmıştır. X1000 büyütmedeki bu fotoğrafta çelik fiberler rahat gözlenememektedir. Bu yüzden çelik fiberlerin daha rahat gözlenebilmesi için numunenin X200'de büyütülmüş görüntüsü şekil 8.8'de verilmiştir.



Şekil 8.8 Deneme 4'ün x200 büyütmede incelenmesi

9. SONUÇLAR

Sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi için orijinal fren balatasına uygulanan sürtünme katsayısı ve aşınma deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 9.1 Orijinal fren balatası sürtünme katsayısı deney sonuçları

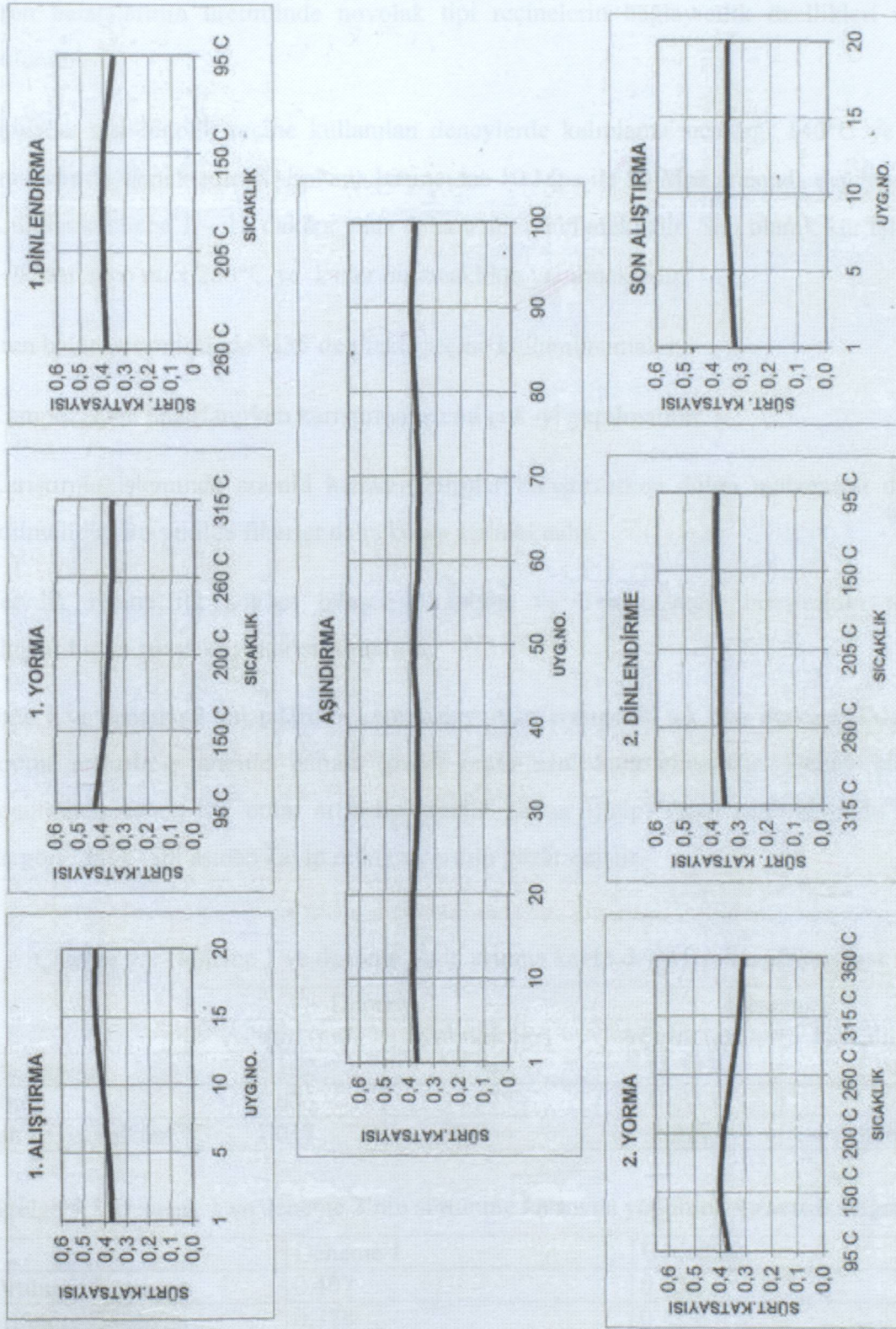
	AĞIRLIK (Gr)		KALINLIK (mm)	
TEST BAŞLANGICI	7,45		6,532	
TEST BİTİŞ	7,225		6,504	
AŞINAN KAYIP MİKTAR	0,225		0,028	

1. ALIŞTIRMA			SON ALIŞTIRMA		
UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.	UYG. NO	GÖST.D.	S.KATS.
1	24	0,369	1	21	0,323
5	25	0,385	5	22	0,338
10	27	0,415	10	23	0,354
15	29	0,446	15	23	0,354
20	29	0,446	20	23	0,354

1. YORMA				AŞINDIRMA			2. YORMA			
DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.	UYG. NO	GÖST. DEĞR.	SÜRT. KATS.	DAK.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
0	95	28	0,431	1	24	0,369	0	95	24	0,369
0,5	120	26	0,400	10	25	0,385	0,5	120	24	0,369
1	135	25	0,385	20	25	0,385	1	135	25	0,385
1,5	150	25	0,385	30	24	0,369	1,5	150	26	0,400
2	170	25	0,385	40	24	0,369	2	170	26	0,400
2,5	185	24	0,369	50	25	0,385	2,5	185	26	0,400
3	200	24	0,369	60	24	0,369	3	200	25	0,385
3,5	215	24	0,369	70	24	0,369	3,5	215	24	0,369
4	230	23	0,354	80	25	0,385	4	230	24	0,369
4,5	245	22	0,338	90	26	0,400	4,5	245	23	0,354
5	260	23	0,354	100	25	0,385	5	260	23	0,354
5,5	275	23	0,354				5,5	270	23	0,354
6	290	23	0,354				6	280	23	0,354
6,5	305	23	0,354				6,5	290	22	0,338
7	315	23	0,354				7	300	22	0,338
7,5							7,5	310	21	0,323
8							8	320	21	0,323
8,5							8,5	330	21	0,323
9							9	340	20	0,308
9,5							9,5	350	20	0,308
10	315°C						10	360°C	20	0,308

N. SÜRT.KATS	0,380
S. SÜRT.KATS	0,350
Ö. SÜRT.KATS	0,307
SAPMA DEĞERİ	0,093
SINIFI	FF
YOĞUNLUK	1,826
SERTLİK (HRM)	55 - 65

1. DINLENDİRME			2. DINLENDİRME		
SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.	SIC.°C	GÖST.D.	S.KATS.
260	25	0,385	315	20	0,308
205	26	0,400	260	21	0,323
150	26	0,400	205	23	0,354
95	23	0,354	150	22	0,338
			95	21	0,323



Şekil 9.1 Orijinal balatanın sürtünme katsayısı deney grafikleri

İncelenen ve yapılan deneyler sonucunda elde edilenler şöyle sıralanabilir:

- Fren balatalarının üretiminde novolak tipi reçinelerin bağlayıcılık özellikleri çok iyi bulundu
- Novalak tipi fenolik reçine kullanılan deneylerde kalıplama sıcaklığı 140°C ve 200°C arasında değişmektedir. Kalıplama basıncı ise 10 Mpa ile 50 Mpa arasında değişmektedir. Kalıplama süresi 1 – 15 dakika yada daha uzun olabilmektedir. Son olarak kür işlemi ise 2–6 saat arası max 280°C'ye kadar bir sıcaklıkta yapılmaktadır.
- Fren balatası üretiminde %35'den fazla reçine kullanılmamalıdır
- Kompozisyon hazırlanırken karıştırma işlemi çok iyi yapılmalıdır.
- Karıştırma işleminde aramid hamur (pulp)ler karıştırılırken dolgu malzemesi de ilave edilmelidir. Bu şekilde fiberler daha kolay açılmaktadır.
- Fenolik reçine ilk katılan bileşen olmalıdır ve fren balatası bileşiminin temelini oluşturduğundan çok iyi karıştırılmalıdır.

Deneme 1 ve deneme 2 balatalarının kompozisyonları arasındaki tek fark deneme 2'de uçucu kül oranı artırılmış aramid hamur (pulp) oranı azaltılmış olmasıdır. Deney sonuçları incelendiğinde uçucu kül oranı artırılıp aramid hamur (pulp) oranı azaltıldığında çizelge 9.2'de görüldüğü gibi aşınan kayıp miktarın arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 9.2 Deneme 1 ve deneme 2'nin aşınma kaybı değerleri karşılaştırması

	Deneme 1		Deneme 2	
	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)
Test başlangıcı	9.102	5.542	11.527	6.396
Test bitiş	8.085	4.978	10.313	5.734
Aşınan kayıp miktar	1.017	0.564	1.214	0.662

Çizelge 9.3 Deneme 1 ve deneme 2'nin sürtünme katsayısı yoğunluk ve sertlik değerleri

	Deneme 1	Deneme2
N. Sürtünme Katsayısı	0.407	0.426
S. Sürtünme Katsayısı	0.378	0.424
Sınıfı	FF	FF
Yoğunluk (g/cm ³)	2.754	2.870
Sertlik (HRM)	75 – 85	70 – 80

Sürtünme katsayısı değeri de uçucu kül oranı arttıkça artmaktadır.(Çizelge 9.3) Aramid hamur (pulp) deneme 2’de azalmasına rağmen aramid hamur (pulp)’in sürtünme katsayısına etkisi daha az olduğundan deneme 2’nin sürtünme katsayısı değeri daha yüksek çıkmıştır. Aşınma değerlerinin ve sürtünme katsayılarının incelenmesi sonucunda bu iki bileşimin demiryolu fren balatası olarak kullanılması uygun görülmedi.

Deneme 3’de başlangıç aşınma değeri çok yüksek bulunmuştur ve sıcak ortamdaki aşınma değeri ise aşırı yüksek bulunmuştur. Ayrıca deneme 3’ün sürtünme katsayısı değerleri standartlara yakındır. Fakat bileşimdeki barit gibi yoğunluğu yüksek bileşenlerin oranının fazla olmasından dolayı deneme 3’ün yoğunluğu yüksek çıkmıştır. Deneme 3 aşınma değerlerinin özellikle yüksek sıcaklıklarda fazla çıkması nedeniyle kullanıma uygun bir balata değildir.

Çizelge 9.4 Deneme 3’ün aşınma, sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri

	Deneme 3	
	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)
Test başlangıcı	12.762	5.254
Test bitişi	11.895	4.908
Aşınan kayıp miktar	0.867	0.346
N. Sürtünme Katsayısı	0.372	
S. Sürtünme Katsayısı	0.347	
Sınıfı	FE	
Yoğunluk (g/cm ³)	4.083	
Sertlik (HRM)	70 – 78	

Deneme 4 ve deneme 5 balataları karşılaştırıldığında ise şu sonuçlar bulundu. Bu iki balatanın kompozisyonları arasındaki tek fark deneme 4 ‘de dolgu malzemesi olarak barit, deneme 5’de ise dolgu malzemesi olarak uçucu kül kullanılmasıdır.

Deneme 4’ün hem aşınma oranları hemde sürtünme katsayısı değerleri standartlara uygun bulundu.

Aşınma değerleri bakımından deneme 5 yani uçucu kül içeren bileşim incelendiğinde aşınma değerleri açısından herhangi bir problem gözlenmemiştir. Fakat sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde normal sürtünme katsayısının çok yüksek, sıcak sürtünme katsayısının ise çok düşük olduğu görüldü. Balata malzemesinin en önemli özelliği sürtünme katsayısı olduğundan bu balatanın sonuçları uygun bulunmadı. Bu deneme sonucunda uçucu külün sürtünme katsayısını kararsızlaştırdığı görülmektedir.

Deneme 4 ve deneme 5'in aşınma değerlerinin karşılaştırıldığında aşağıdaki çizelge 'da görüldüğü gibi deneme 4'ün aşınma oranları çok daha düşüktür.

Sürtünme değerlerinin karşılaştırıldığı tablo incelendiğinde ise görülüyor ki barit içeren kompozisyon olan deneme 4 çok daha iyi sürtünme katsayısı değerlerine sahiptir.

Çizelge 9.5 Deneme 4 ve deneme 5'in aşınma miktarları

	Deneme 4		Deneme 5	
	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)
Test başlangıcı	9.026	6.552	7.559	6.564
Test bitiş	8.852	6.426	7.262	6.346
Aşınan kayıp miktar	0.174	0.126	0.297	0.218

Çizelge 9.6 Deneme 4 ve deneme 5'in sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri

	Deneme 4	Deneme 5
N. Sürtünme Katsayısı	0.384	0.507
S. Sürtünme Katsayısı	0.370	0.288
Sınıfı	FF	GE
Yoğunluk (g/cm ³)	2.225	1.851
Sertlik (HRL)	70 – 75	70 - 75

Deney sonuçları uygun bulunan deneme 4 ve orijinal balatanın aşınma değerleri karşılaştırıldığında deney başlangıç ve sonucu arasındaki fark olan aşınan kayıp miktarlarının birbirine yakın olduğu görüldü.

İki balatanın sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde ise iki balatanın sürtünme katsayısı değerleri birbirine çok yakın bulundu. Orijinal balatanın yoğunluğunun daha az çıkmasının nedeni ise yapısında bulunan pirinç ve kauçuktur.

Çizelge 9.7 Deneme 4 ve orijinal balatanın aşınma miktarları

	Deneme 4		Orijinal balata	
	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)	Ağırlık (gr)	Kalınlık (gr)
Test başlangıcı	9.026	6.552	7.450	6.532
Test bitiş	8.852	6.426	7.225	6.504
Aşınan kayıp miktar	0.174	0.126	0.225	0.028

Çizelge 9.8 Deneme 4 ve orijinal balatanın sürtünme katsayısı, yoğunluk ve sertlik değerleri

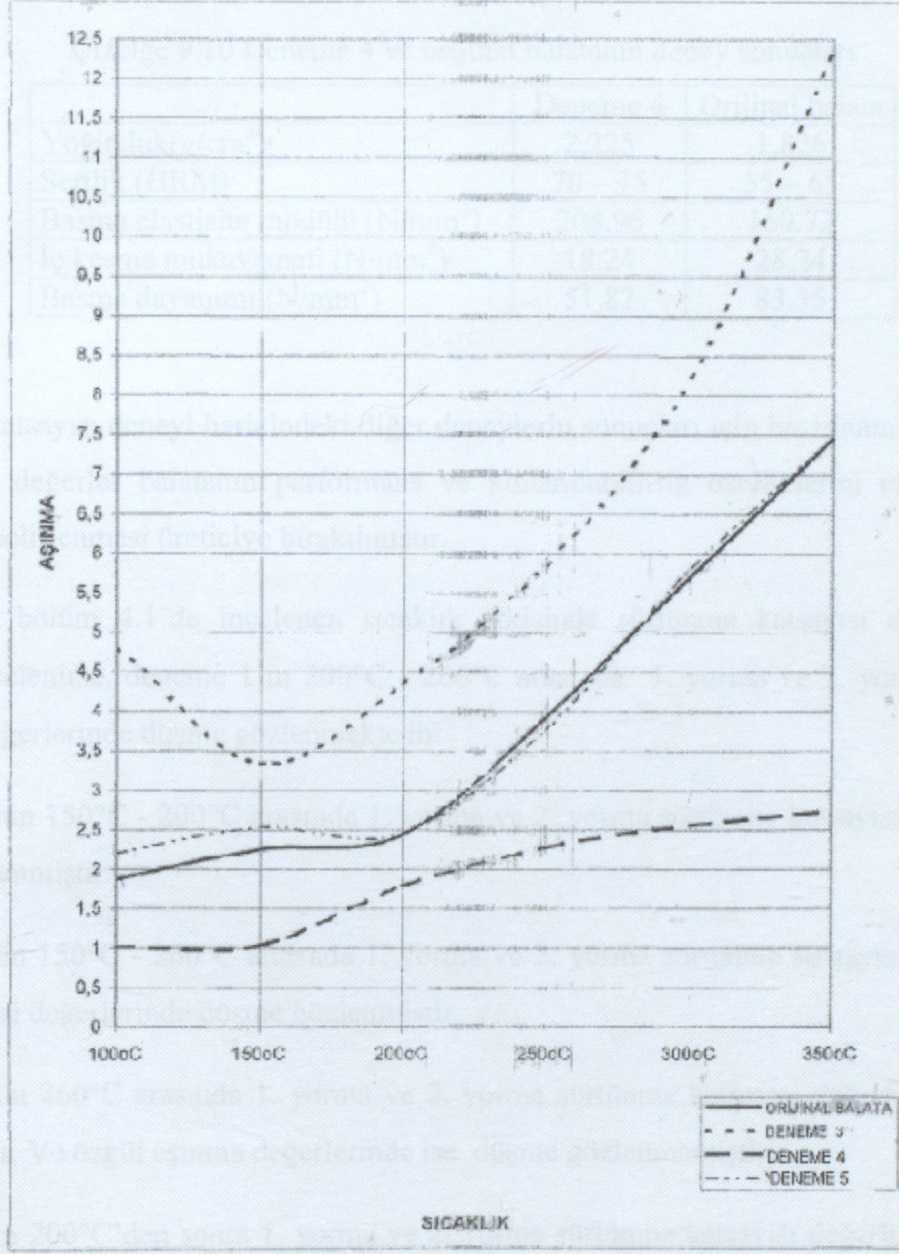
	Deneme 4	Orijinal balata
N. Sürtünme Katsayısı	0.384	0.380
S. Sürtünme Katsayısı	0.370	0.350
Sınıfı	FF	FF
Yoğunluk (g/cm ³)	2.225	1.826
Sertlik	70 – 75 (HRL)	55 – 65 (HRM)

Orijinal balata ve deneme 4 balatalarının özgül aşınma değerleri incelendiğinde deneme 4 balatasının özellikle yüksek sıcaklıklarda çok daha az aşınma değerlerine sahip olduğu görüldü. (Çizelge 9.9)

Çizelge 9.9 Orijinal balata, deneme4, deneme 5 ve deneme 3'ün özgül aşınma değerleri

				100C	150C	200C	250C	300C	350C
Özgül aşınma (cm ³ /N. m)	Orijinal balata	Kalınlık (x10 ⁻⁷)		0.13	0.75	1.18	-	2.24	7.46
		Ağırlık (x10 ⁻⁷)		1.88	2.26	2.44	3.93	5.72	6.46
	Deneme 4	Kalınlık (x10 ⁻⁷)		1.02	0.89	1.47	2.71	2.35	1.90
		Ağırlık (x10 ⁻⁷)		0.89	1.04	1.79	2.27	2.31	2.74
	Deneme 5	Kalınlık (x10 ⁻⁷)		1.67	2.62	2.28	3.78	4.82	4.53
		Ağırlık (x10 ⁻⁷)		2.21	2.53	2.46	3.78	5.82	7.47
	Deneme 3	Kalınlık (x10 ⁻⁷)		4.61	3.46	4.44	5.55	7.91	12.3
		Ağırlık (x10 ⁻⁷)		4.82	3.34	4.35	5.86	8.23	12.4

Bütün bu değerlerin daha iyi anlaşılması için özgün aşınma grafiğinde bu dört balatanın değerleri verilmiştir.



Şekil 9.2 Karşılaştırmalı özgül aşınma grafiği

Deneme 4 ve orijinal balataya yapılan diğer deneyler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çizelge 9.10'de da görüldüğü gibi deneme 4'ün yoğunluğu, sertliği ve basma elastisite modülü daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni orijinal balata malzemesinin kauçuk içermesinden kaynaklanmaktadır. İç kesme dayanımı orijinal balatanın daha yüksektir. Basma modülü olarak ise deneme 4 balatasının değerleri daha yüksektir.

Çizelge 9.10 Deneme 4 ve orijinal balatanın deney sonuçları

	Deneme 4	Orijinal balata
Yoğunluk(g/cm^3)	2,225	1,826
Sertlik (HRM)	70 – 75	55 – 65
Basma elastisite modülü (N/mm^2)	208.96	169.72
İç kesme mukavemeti (N/mm^2)	18.24	28.24
Basma dayanımı (N/mm^2)	51.87	83.35

Sürtünme katsayısı deneyi haricindeki diğer deneylerin sonuçları için hazırlanmış bir standart yoktur. Bu değerler balatanın performans ve kullanılabilirlik özelliklerini etkiler. Ve bu değerlerin belirlenmesi üreticiye bırakılmıştır.

Daha önce bölüm 4.1’de incelenen sıcaklık etkisinde sürtünme katsayısı değerlerindeki değişim incelenirse, deneme 1’in 200°C - 260°C arasında 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerlerinde düşme gözlenmektedir.

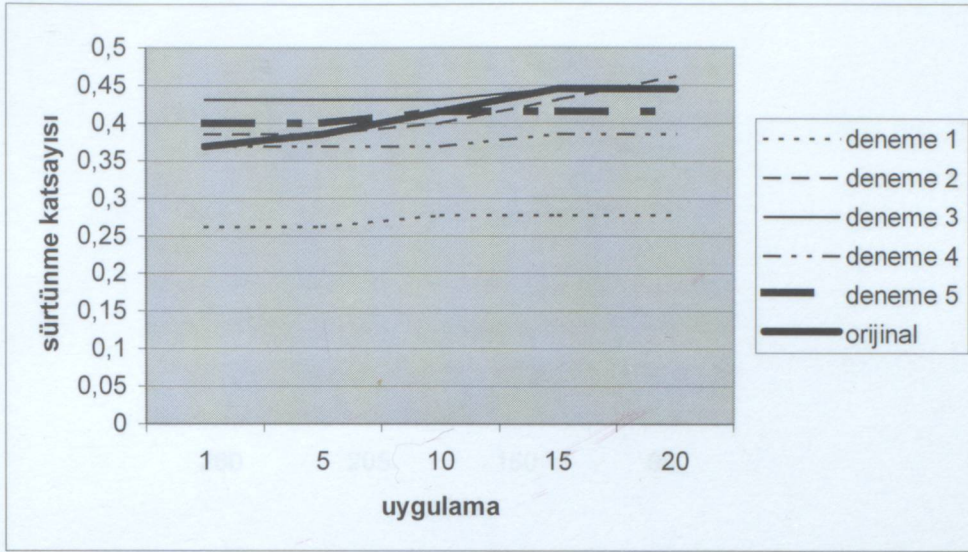
Deneme 2’nin 150°C - 200°C arasında 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerlerinde düşme gözlenmiştir.

Deneme 3’ün 150°C - 260°C arasında 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerleri ve özgül aşınma değerlerinde düşme gözlenmiştir.

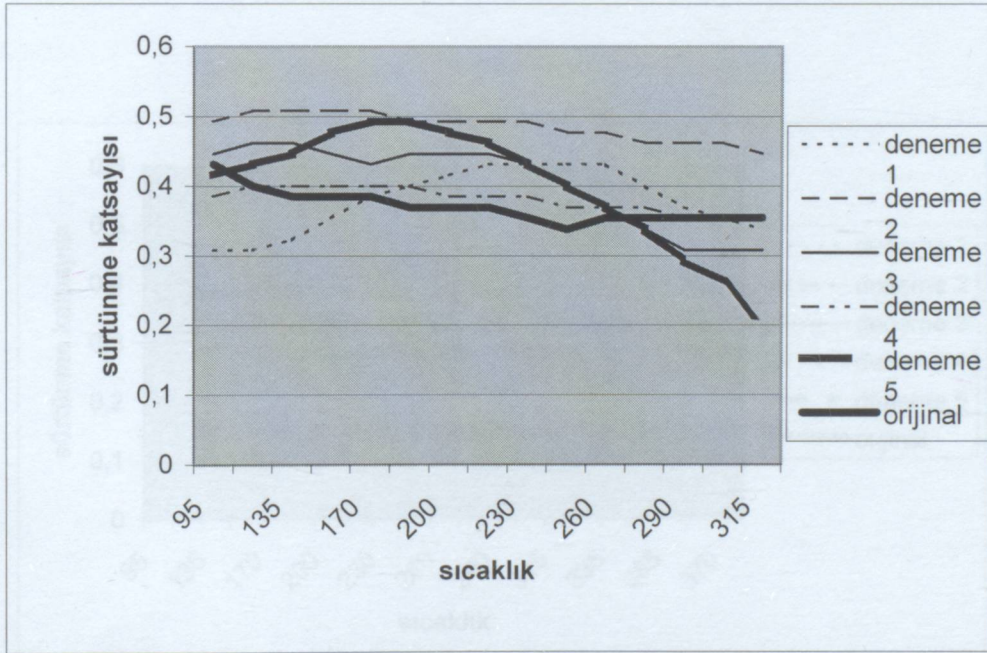
Deneme 4’ün 260°C arasında 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerlerinde düşme gözlenmiştir. Ve özgül aşınma değerlerinde ise düşme gözlenmemiştir.

Deneme 5’in 200°C ’den sonra 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerlerinde önemli bir düşme gözlenmiştir ve özgül aşınma değerlerinde ise 150°C - 200°C arasında hafif bir düşme gözlenmiştir.

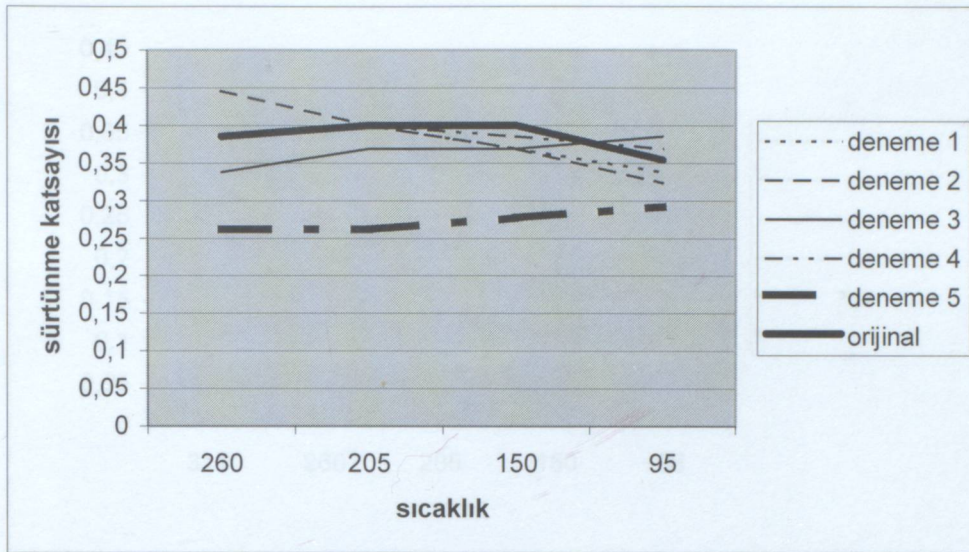
Orijinal balata 150°C ’den sonra 1. yorma ve 2. yorma sürtünme katsayısı değerlerinde sürekli ve hafif bir düşüş gözlenmiştir. ve özgül aşınma değerlerinde ise önemli bir düşme gözlenmemiştir.



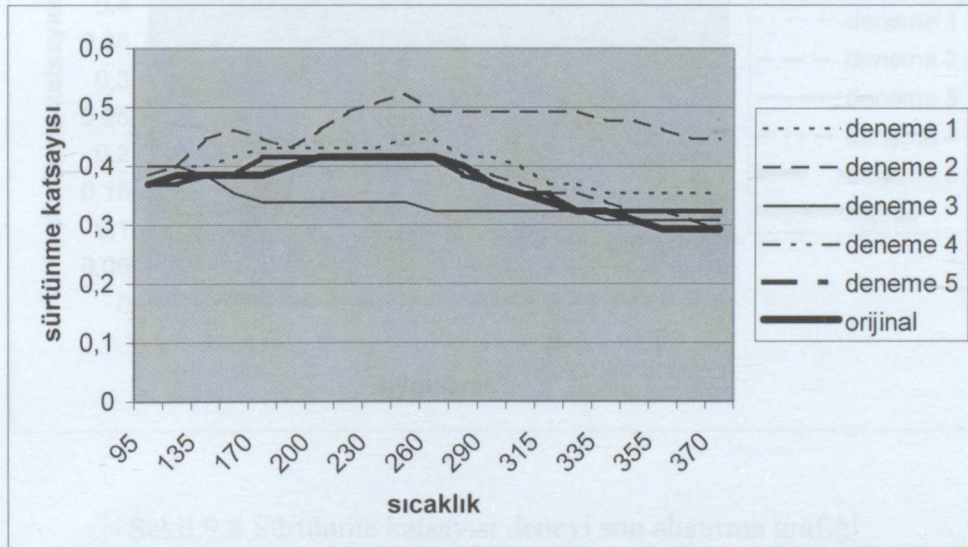
Şekil 9.3 Sürtünme katsayısı deneyi 1. alıştırma grafiği



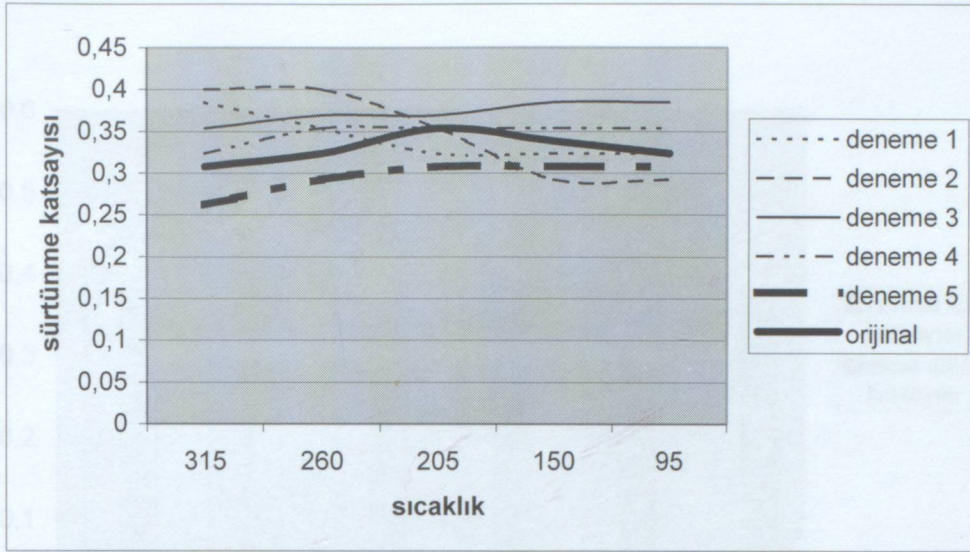
Şekil 9.4 Sürtünme katsayısı deneyi 1. yorma grafiği



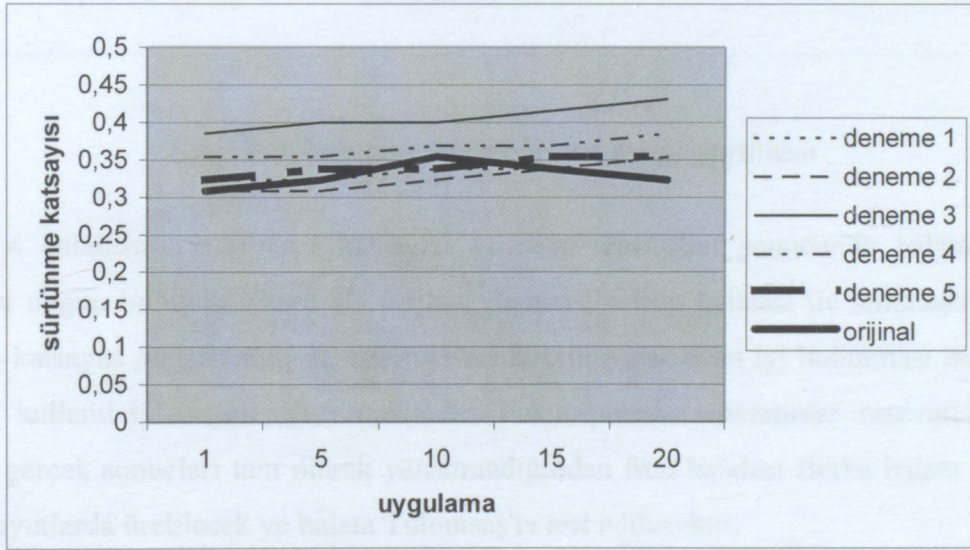
Şekil 9.5 Sürtünme katsayısı deneyi 1. dinlendirme grafiği



Şekil 9.6 Sürtünme katsayısı deneyi 2. yorma grafiği



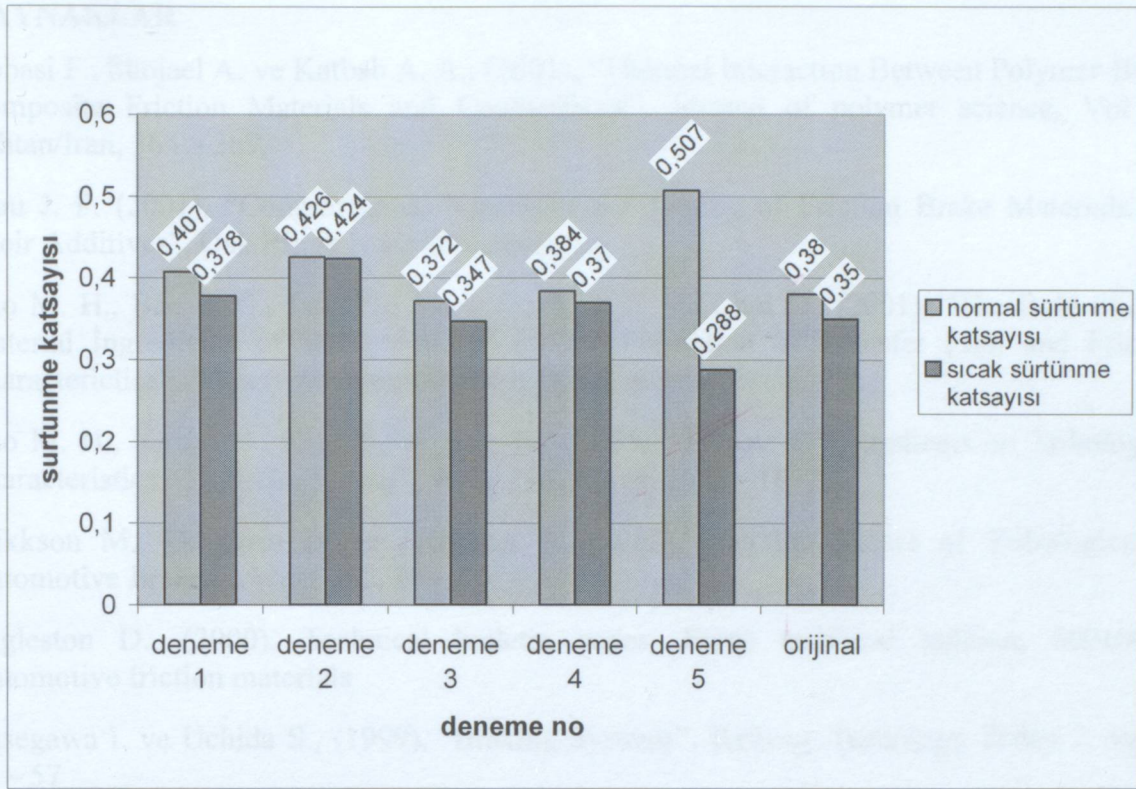
Şekil 9.7 Sürtünme katsayısı deneyi 2. dinlendirme grafiği



Şekil 9.8 Sürtünme katsayısı deneyi son alıştırma grafiği

Şekil 9.3, şekil 9.4, şekil 9.5, şekil 9.6, şekil 9.7 ve şekil 9.8’de sürtünme katsayısı deneyinin yapım aşamaları olan 1. alıştırma, 1. yorma, 1. dinlendirme, 2. yorma ve 2. dinlendirme, son alıştırma grafikleri, yapılan denemeler ve orijinal balata için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Şekil 9.9’da yapılan denemelerin normal ve sıcak sürtünme katsayıları verilmiştir.



Şekil 9.9 Sürtünme katsayılarının karşılaştırılması

Deneme 4 balatasının sürtünme katsayısı ve diğer deneyleri sonucunda balatanın bütün özellikleri uygun bulundu. Özellikle orijinal demiryolu fren balatası ile karşılaştırıldığında, sürtünme katsayısı değerlerinin ve aşınma özelliklerinin çok daha iyi bulunması bu balatanın trenlerde kullanılabileceğini göstermektedir. Fakat yinede labaratuvar ortamında yapılan deneyler gerçek sonuçları tam olarak yansıtmadığından fren balatası Berka balata tarafından gerçek boyutlarda üretilecek ve balata Tülomsaş'ta test edilecektir.

KAYNAKLAR

- Abbasi F., Shojael A. ve Katbab A. A., (2001), "Thermal Interaction Between Polymer-Based Composite Friction Materials and Counterfaces", Journal of polymer science, Vol 81, Tahtan/Iran, 364 – 369,
- Blau J. P. (2001), "Compositions, Functions and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives", Oak Ridge National Laboratory
- Cho M. H., Bae E. G., Jang H., Jeong G., Kim D. Ve Choi C., (2001), "The Role of Raw Material Ingredients of Brake Linings on the Formation of Transfer Film and Friction Characteristics", Society of automotive engineers, Korea
- Cho M. H., Kim S. J., Kim D. ve Jang H., (2005), "Effects of Ingredients on Tribological Characteristics of a Brake Lining", Wear 258, Korea, 1682 - 1687
- Eriksson M., Bergman F. ve Jacobson S., (2002), "On the Nature of Tribological in Automotive Brakes", Wear 252, 26 – 36
- Eggleston D., (2000), Technical bulletin series, Eurac technical bulletin, 00010433, Automotive friction materials
- Hasegawa I. ve Uchida S., (1999), "Braking Systems", Railway Tecnology Today 7, Japan, 52 – 57
- Ho S. C., Chern Lin J. H. ve Ju C. P., (2004), "Effect of Fiber Addition on Mechanical and Tribological Properties of a Copper/Phenolic-Based Friction Material", Wear 258, Korea, 861 – 869,
- Ho S. C., Chern Lin J. H. ve Ju C. P., (2004), "Effect of Carbonization on Mechanical and Tribological Behaviour of a Copper-Phenolic-Based Friction Material", Carbon 43, Korea, 491 – 502
- Jafari S. H., Fallahzadeh F. ve Rana A.K.,(1999), "Effect of Post – Curing on Frictional Behaviour of Non – Woven Phenolic Composite in Automobile Clutch Facing" Iranian Polymer Journal, Volunme 8, Number 3, Iran, 143 – 148
- Jang H., Lee J. S. ve Fash J. W., (2001), Compositional Effects of the Brake Frictional Material on Creep Grogan Phenomanena, Wear 251, Korea, 1477 – 1483
- Kim S. J., Cho M. H., Lim D. S. ve Jang H., (2001), "Synergistic Effects of Aramid Pulp and Potassium Titanate Whiskers in The Automotive Friction Material", Wear 251, Korea, 1484 - 1491
- Kim S. J. ve Jang H., (2000), "Friction and Wear of Friction Materials Containing Two Differnt Phenolic Resins Reinforced With Aramid Plup", Tribology International 33, Korea, 477 – 484
- Lekili M., (2002), "Dolgu Maddesi Kalitesinde Barit", Madencilik bülteni, sayı 63, İstanbul
- Lotfipour M., (1995), Brake Pad Friction Linings, United States Patent 5,460,250
- Mezger F., (1993), Brake Block Shoe and Method for Its Manufacture, United States Patent
- Marşoğlu M., (1986), Plastik malzemeler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

- Morshed M. M., (2004), Journal of materials processing technology 155 – 156, 1422 – 1427
- Onaran K., (1997), Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Basımevi, İstanbul
- Okayama K., (2003), Friction Material, United States Patent
- Sumira A., (1980), Friction Material, United States Patent
- TP Tech., Phenolic Resins, Resins for friction material industry
- TS 206, (1975), Basma deneyi metalik malzemede, TSE, Ankara
- TS 9073, (1991), Karayolu taşıtları, Balatalar, Sürtünmeli frenler, Deney metodları, İç kesme mukavemeti deneyi, TSE, Ankara
- TS 9076, (1991), Karayolu taşıtları – fren sistemleri – fren balataları – malzeme sürtünme özelliklerinin küçük deney parçaları ile değerlendirilmesi, Ankara
- TS 12465, (1998), Demiryolu taşıtları – Fren balatası – Kompozit malzemeli – Asbest ihtiva etmeyen, Ankara
- Velayutha R, (1998), Dual Type Composition Brake Block Specifically Designed For Use in Predetermined Type Brake Systems, United State Patents

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.maden.org.tr
- [2] www.kimekskimya.com
- [3] www.ifriction.com
- [4] www.goldboard.com
- [5] www.elmhurst.edu

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.04.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1991-1998 Eskişehir Anadolu Lisesi

Lisans 1998-2002 Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fak.
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı,
Malzeme Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-Devam ediyor Serpa Hassas Döküm San ve Tic Ltd. Şti

