

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOMPOZİT SÜRTÜNMELİ FREN BALATALARINDA YERLİ UÇUCU KÜL
KATKISININ RAYLI TAŞIT BALATA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN SAPTANMASI**

EYÜP AKAGÜNDÜZ

**DOKTORA TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET TOPUZ**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT SÜRTÜNMELİ FREN BALATALARINDA YERLİ UÇUCU KÜL
KATKISININ RAYLI TAŞIT BALATA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN SAPTANMASI**

Eyüp AKAGÜNDÜZ tarafından hazırlanan tez çalışması 09/09/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Dr. Mehmet GÜNEŞ
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Erdem DEMİRKESEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şerafettin EROĞLU
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Aygöl YEPREM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu doktora tez alışması, 110R012 numaralı “Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata zelliklerine Etkisinin İncelenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması” isimli 1001 projesi kapsamında Yıldız Teknik niversitesi ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Malzeme Enstitüsü laboratuvarları kullanılarak gerçekleşmiştir.

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmamın bütün aşamalarını titizlikle takip edip beni yönlendiren, emek veren, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmalarım sırasında sonuçların yorumlanması ve değerlendirilmesi sırasında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan çok değerli danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet TOPUZ'a ve Dr.Mehmet GÜNEŞ'e teşekkür eder, sonsuz şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarımın laboratuvar sürecindeki her aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarım TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım sırasında ve öncesinde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bana her zaman güvenen ve her konuda büyük moral kaynağım olan sevgili eşim Başak ÜNAL AKAGÜNDÜZ , sevgili oğlum Bilge Eren AKAGÜNDÜZ'e ve aileme çok teşekkür ederim.

Eylül, 2014

Eyüp AKAGÜNDÜZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Kompozit Balatalarda Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	4
2.1.1 Aşındırıcılar	5
2.1.2 Sürtünme Düzenleyiciler.....	5
2.1.3 Dolgu Malzemeleri ve Güçlendiriciler.....	6
2.1.4 Bağlayıcılar	8
2.2 Fren Balatalarında Meydana Gelen Problemler	9
2.2.1 Isı Etkisi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi	9
2.2.2 Nemin Frenleme Mesafesine Etkisi	9
2.2.3 Frenleme Sırasında Oluşan Tribolojik Etki	9
2.2.4 Sürtünme Film Tabakası.....	10
2.3 Fren Balatalarından Beklenen Özellikler	11
2.4 Fren Balata Malzemelerin Üretimi.....	17
2.4.1 Karıştırma	17

2.4.2	Kalıplama.....	18
2.4.2.1	Soğuk Şekillendirme	18
2.4.2.2	Sıcak Şekillendirme	18
2.4.3	Isıl İşlem (Kür İşlemi)	18
2.4.4	Balata Üretim Prosesi	19
2.5	Sürtünme Malzemelerine Uygulanan Deneyler	21
2.5.1	Yoğunluk ölçümü	21
2.5.2	Sertlik ölçümü	21
2.5.3	Basma elastisite modülünün belirlenmesi.....	22
2.5.4	İç kesme mukavemeti deneyi	24
2.5.5	Basma deneyi.....	24
2.5.6	Sürtünme katsayısının belirlenmesi.....	24
2.6	Uçucu Küller	25
2.6.1	Uçucu Küllerin Görünüş Özellikleri	27
2.6.2	Uçucu Küllerin Tane Boyutu.....	28
2.6.3	Uçucu Küllerin Özgül Ağırlığı.....	28
2.6.4	Uçucu Küllerin Karbon Miktarı.....	29
2.6.5	Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri.....	29
2.6.6	Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikler	30
2.6.7	Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	33
2.6.8	Uçucu Küllerin Çevreye Etkileri.....	35
2.6.9	Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	36
2.7	Uçucu Küllerin Kullanımlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar	36
2.8	Uçucu Kül ve Balatalarla İlgili Yerli ve Yabancı Standartlar.....	48
BÖLÜM 3		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		50
3.1	Ticari Balataların Fiziksel ve Kimyasal Analizleri	50
3.2	Uçucu Kül Analizleri	52
3.2.1	Kullanılacak Uçucu Kül tiplerinin Belirlenmesi Çalışmaları	57
3.2.2	Kullanılacak Reçinenin Seçimi Amaçlı Yapılan Çalışmalar.....	59
3.2.3	Formülasyon Çalışmaları ve Üretilen Numunelerin Testleri.....	60
3.3	Fenolik Reçinelerin Elde Edilmesi	65
3.3.1	Novolak Reçine	66
3.3.2	Resol Reçine	66
3.4	Deneyde Kullanılan Kompozisyonun Hazırlanması.....	72
3.5	Toz karışımların Sıcak Preste (citopress-10) Üretimi	72
3.6	Ticari Balataların Termoliz İşlemi.....	73
3.7	Yoğunluk ölçümü	74
3.8	SEM ve EDS analizleri	74
3.9	Formülasyon Çalışmaları ve Sürtünme Aşınma Testleri	75
3.10	Sürtünme Katsayısı Testleri	80
BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		96

KAYNAKLAR.....	98
EK-A.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	189

SİMGE LİSTESİ

δB	Basma dayanımı
E	Basma elastisite modülü
$^{\circ}$	Derece
g	Gram
V	Hacim
τ	İç kesme mukavemeti
kN	Kilonewton
MPa	Megapaskal
μm	Mikrometre
M	Kütle
N	Newton
d	Numune çapı
h	Numune yüksekliği
Δh	Numune boyunda meydana gelen kısalma
Pa	Paskal
Fmax	Uygulanan maksimum yük
Pmax	Uygulanan en büyük basma yükü
μ	Sürtünme katsayısı
D	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

CER	Community of European Railways
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Infared Spektroskopisi
JIS	Japanese Industrial Standards
SAE	Society of Automative Engineers
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TG/DTA	Termal Gravimetri/ Diferansiyel Termal Analiz
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜVASAŞ	Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi
UIC	Uluslar arası Demiryolu Birliği (Union Internationale des Chemins de fer)
XRD	X-Işını Difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1 Demiryollarında kullanılan kompozit balata örnekleri.....	2
Şekil 2. 1 Disk ve balata arasında temas durumunun şematik modeli [10].....	10
Şekil 2. 2 Balata üretim prosesi [27]	20
Şekil 2. 3 Disk balatanın arka destek plaka sacı	20
Şekil 2. 4 Metal üzeri metal değme alanı [29]	22
Şekil 2. 5 Metal üzeri kauçuk değme alanı [29]	22
Şekil 2. 6 Frenleme basıncının frenlemeye olan etkisi [30]	23
Şekil 2. 7 Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı [45]	25
Şekil 2. 8 Orhaneli termik santralden elde edilen uçucu kül SEM görüntüsü.....	26
Şekil 2. 9 Çeşitli uçucu küllerin görüntüleri.....	27
Şekil 2. 10 Uçucu kül içerisindeki farklı yoğunlukta tanecik yüzdesi [34]	28
Şekil 2. 11 Uçucu kül tipleri.....	32
Şekil 2. 12 Uçucu küllerin morfolojik yapısı [6].....	32
Şekil 2. 13 Termik santrallerde uçucu kül depo alanları [6].....	36
Şekil 2. 14 Uçucu kül ilavesinin eğme dayanımına etkisi [5].....	38
Şekil 2. 15 Uçucu kül ilavesinin elastisite modülüne etkisi [5]	38
Şekil 2. 16 Uçucu kül (%20) ilaveli kompozitlerin sürtünme davranışı [5].....	39
Şekil 2. 17 OEM fren balata malzemesinin sürtünme test sonuçları.....	42
Şekil 2. 18 Bir numaralı karışımın sürtünme test sonuçları	42
Şekil 2. 19 İki numaralı karışımın sürtünme test sonuçları	43
Şekil 2. 20 Üç numaralı karışımın sürtünme test sonuçları	43
Şekil 3. 1 Çatalağzı ve Tunçbilek numunelerin aşınma yüzey görüntüleri.....	63
Şekil 3. 2 Fenolik reçine eldesi [1].....	65
Şekil 3. 3 Laboratuar ortamında sentezlenen reçine.....	67
Şekil 3. 4 Shimadzu IR Prestige21 FTIR cihazı	67
Şekil 3. 5 Sıfır (0) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu	69
Şekil 3. 6 Bir (1) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu	69
Şekil 3. 7 İki (2) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu	70
Şekil 3. 8 Üç (3) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu	70
Şekil 3. 9 Bütün modifiye reçinelerin birlikte olduğu FTIR spektrumu	71
Şekil 3. 10 Laboratuar tipi karıştırıcı mikser.....	72
Şekil 3. 11 Laboratuar tipi sıcak pres (citopress-10)	73
Şekil 3. 12 Laboratuar tipi etüv	73
Şekil 3. 13 Bremskerl® ve Futuris® marka balataların termoliz sonrası fotoğrafları	74

Şekil 3. 14 TÜBİTAK MAM Jeol 6535f model taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	75
Şekil 3. 15 Demiryolu fren balata numunelerinin fotoğrafları.....	76
Şekil 3. 16 Laboratuvar ortamında hazırlanan reçineler	78
Şekil 3. 17 Laboratuvar ortamında sentezlenen reçine ile numunelerinin fotoğrafları.....	79
Şekil 3. 18 Numunelerin sürtünme-aşınma test sonra görüntüleri.....	82
Şekil 3. 19 Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi (TÜVASAŞ) TVS 2000 tipi vagon.....	85
Şekil 3. 20 TÜVASAŞ Y32 tipi boji	85
Şekil 3. 21 Prototip numune kalıbının ve arka destek sacın teknik resmi	86
Şekil 3. 22 Gerçek boyuttaki balata basılmasında kullanılan kalıp	87
Şekil 3. 23 Gerçek boyuttaki balata basılmasında kullanılan kalıp ve pres.....	88
Şekil 3. 24 Gerçek boyutta basılan fren balata numunelerinin fotoğrafları	89
Şekil 3. 25 Ticari ve laboratuvar ortamında üretilen balatalarının sürtünme test grafikleri.....	92
Şekil 3. 26 Ticari balataların SAE J661'e göre sürtünme grafikleri.....	93
Şekil 3. 27 Laboratuvar ortamında üretilen EA1, EA2 ve EA2-P prototipler disk balatalar.....	95

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Aşındırıcılar ve genel özellikleri [3]	5
Çizelge 2. 2 Sürtünme düzenleyicileri ve genel özellikleri [3]	6
Çizelge 2. 3 Dolgu malzemeleri ve güçlendiricilerin genel özellikleri [3]	7
Çizelge 2. 4 Fiber ve takviyelerin tribolojik özelliklerin karşılaştırılması [1]	8
Çizelge 2. 5 Jafari vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [18]	12
Çizelge 2. 6 Lotfipour çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [19]	12
Çizelge 2. 7 Okoyama vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [20]....	13
Çizelge 2. 8 Jang vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [21]	14
Çizelge 2. 9 Gurunath ve Bijwe karışımların kompozisyonları [22]	14
Çizelge 2. 10 Cho vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [23]	15
Çizelge 2. 11 Ertan ve Yavuz çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [4] .	16
Çizelge 2. 12 Farklı araştırmacılara göre üretim parametreleri [4]	19
Çizelge 2. 13 Ülkemizdeki termik santral uçucu küllerinin bileşimleri [37]	30
Çizelge 2. 14 C ve F tipi uçucu küllerin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık) [39]	34
Çizelge 2. 15 Uçucu küller ve bazı malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri [39]	35
Çizelge 2. 16 Malhotra vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [5] ...	38
Çizelge 2. 17 Mohanty ve Chugh kullandığı uçucu külün kimyasal bileşenleri [42]	40
Çizelge 2. 18 Mohanty ve Chugh karışımların kompozisyonları [42]	41
Çizelge 2. 19 Satapathy vd. çalışmada kullandıkları kompozisyonlar[47]	45
Çizelge 2. 20 Satapathy vd. kullandıkları proses şartları [47]	45
Çizelge 2. 21 Satapathy vd çalışmada kullandıkları kompozisyonlar[48]	46
Çizelge 2. 22 Kumar vd. çalışmada kullandıkları kompozisyonlar [49]	47
Çizelge 2. 23 Kumar vd. kullandıkları kompozisyonların proses şartları [49]	47
Çizelge 2. 24 Fren balatalarıyla ilgili yerli ve yabancı standartlar	48
Çizelge 3. 1 İncelenen ticari balata örnekleri	50
Çizelge 3. 2 Çizelge incelenen ticari balatalarda kullanılan bileşenler	51
Çizelge 3. 3 Ticari balataların sürtünme, sertlik, basma e. modül sonuçları	51
Çizelge 3. 4 Ticari balataların yoğunluk, yanma kaybı testlerinin sonuçları	52
Çizelge 3. 5 Ocak 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri	53
Çizelge 3. 6 Haziran 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri	54
Çizelge 3. 7 Haziran 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri	55
Çizelge 3. 8 Uçucu küllerin özgül ağırlık, tane boyutu, yüzey alanı özellikleri	56
Çizelge 3. 9 Uçucu küllerin özgül ağırlık, ortalama tane ve yüzey alanı özellikleri	56
Çizelge 3. 10 Uçucu kül, kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon	57
Çizelge 3. 11 125 °C’de 35 MPa basınçta 10 dakika süre ile kalıplanmış numuneler	58

Çizelge 3. 12 Çalışmalarda kullanılmak üzere seçilen F ve C sınıfı kül tipleri.....	59
Çizelge 3. 13 Reçinelerin asetonunda çözünen madde miktarlarının karşılaştırılması.....	59
Çizelge 3. 14 F129 reçinesinin asetonunda çözünen madde miktarının belirlenmesi.....	60
Çizelge 3. 15 Numunelere ait sürtünme-aşınma test sonuçları	61
Çizelge 3. 16 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri	62
Çizelge 3. 17 Uçucu kül, BaSO ₄ , kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon.....	63
Çizelge 3. 18 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri	64
Çizelge 3. 19 Uçucu kül, petrokok, kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon ..	64
Çizelge 3. 20 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri	65
Çizelge 3. 21 Demiryolu fren balata numuneleri için oluşturulan kompozisyonlar	75
Çizelge 3. 22 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 kürleme şartlı numuneler	76
Çizelge 3. 23 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler	77
Çizelge 3. 24 180 °C, 25 MPa, 10 dak. üretilen numunelerin sürtünme sonuçları	77
Çizelge 3. 25 Demiryolu fren balata numuneleri için oluşturulan kompozisyonlar	78
Çizelge 3. 26 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler	79
Çizelge 3. 27 180 °C, 25 MPa, 10 dak. numunelerin sürtünme test sonuçları	80
Çizelge 3. 28 Yüksek uçucu kül katkı kompozisyonlar.....	80
Çizelge 3. 29 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 saat şartlı numuneler.....	81
Çizelge 3. 30 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler	81
Çizelge 3. 31 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 Saat şartları numuneler	82
Çizelge 3. 32 F8, F9 ve F10 numunelerin JIS D 4411 göre sürtünme test sonuçları	83
Çizelge 3. 33 Futuris® ve Bremskerl® balatalarının JIS D 4411 sürtünme sonuçları.....	84
Çizelge 3. 34 Prototip balata numuneleri için kompozisyonlar	86
Çizelge 3. 35 Futuris® ve Bremskel® balatalarının JIS D 4411 sürtünme sonuçları	90
Çizelge 3. 36 Prototip balatalarının JIS D 4411 göre sürtünme sonuçları.....	91
Çizelge 3. 37 Ticari balataların SAE J661'e göre sürtünme değerleri	93

**KOMPOZİT SÜRTÜNMELİ FREN BALATALARINDA YERLİ UÇUCU KÜL
KATKISININ RAYLI TAŞIT BALATA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
VE KULLANILABİLİRLİĞİNİN SAPTANMASI**

Eyüp AKAGÜNDÜZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Eş Danışman: Dr. Mehmet GÜNEŞ

Fren balataları taşıtların en önemli emniyet ve performans parçalarından birisidir. Balata malzemeleri metalik, yarı metalik, kompozit ve karbon bazlı çeşitlere ayrılır. Pek çok fren balatası 10'dan fazla katkı malzemesi içeren kompozit fren balatalarıdır. Bu katkı maddeleri bağlayıcılar, takviye ediciler, sürtünme düzenleyiciler ve dolgu malzemeleridir. Balatalardan stabil sürtünme katsayısı, düşük aşınma hızı, çevreye zarar vermeme, hafiflik, uzun ömür, düşük ses, korozyon direnci, performans karakteristikleri ile uyumlu kabul edilebilir maliyet aranmaktadır. Fren balataları ile ilgili olarak başta otomotiv, demiryolu ve havacılıkta kullanılabilecek fren balatalarıyla ilgili 2000'in üzerinde yayın vardır. Kompozit fren balatalarında çok sayıda değişik katkı malzemesi ve karışım oranlarına göre denemeler yapılmış balata özelliklerinde çok farklı özellikler elde edilmiştir. En uygun karışım formülasyonu ve proses şartları sağlanarak optimum özellikte ve kabul edilebilir maliyette fren balatası üretimi önem arz etmektedir.

Özellikle son senelerde termik santrallerin atık bir malzemesi olan uçucu kül bileşimindeki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 'ün balata formülasyonlarında kullanıldığı dikkate alınarak, doğrudan balata malzemesine katılarak çevreye zararlı bir atığın maliyet

azaltıcı bir şekilde kullanılmasını sağlayacak çalışmalar yapılmaktadır. Ancak her termik santralde kullanılan kömür aynı olmadığı gibi uçucu kül bileşim ve miktarları da aynı değildir.

Bu tez kapsamında ilk olarak uçucu kül katkılı fren balatalarının testleri, standartları, formülasyonları ve üretim proses parametreleri konularında detaylı literatür incelemesi yapılmıştır. Ticari olarak kullanılan kompozit tren fren balatası örnekleri incelenmiştir. Termik santrallerden temin edilen uçucu küllerin karakterizasyonları yapılarak balatalara katılabilecek olan uçucu kül cinsleri belirlenmiştir. Yapılan tez kapsamında kütlece %5-40 uçucu kül içeren formülasyonlar oluşturularak bunlardan laboratuvar ölçekli numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere fiziksel, kimyasal, mekanik testlerin yanısıra sürtünme-aşınma testleri uygulanarak en uygun formülasyon ve optimum üretim proses parametrelerine belirlenmiştir. Tez çalışması sonucunda Yeniköy ve Kemerköy termik santrali'nin uçucu küllerinin kütlece %40 oranında dolgu olarak kullanıldığı formülasyonların incelenen ticari balatalara en yakın sürtünme-aşınma özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir.

Uygun balata bileşimi ağırlıkça %40 Yeniköy ve Kemerköy termik santrali külü, %20 novalak tip fenolik reçine, %5 aramid yünü , % 15 taş yünü, %10 grafit, %5 petrokok, %5 Sb_2S_3 olarak saptanmıştır. Bu bileşim homojen olarak karıştırılıp 25 Mpa basınç altında 150 °C'de 10 dakika preslenmiş ve son olarak numuneye hava sirküasyonlu bir etüvde 3 saat 180 °C'de kür edilerek prototip tren balatası üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Fren,Balata, Tren, Demiryolu, Sürtünme

ABSTRACT

FOR FRICTION COMPOSITE BRAKE PADS, THE DETERMINATION OF USAGE AND INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DOMESTIC FLY ASH CONTRIBUTION TO THE FEATURES OF FRICTION BRAKE PADS

Eyüp AKAGÜNDÜZ

Department of Metallurgical and Material Engineering

PhD. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Co-Advisor: Dr. Mehmet GÜNEŞ

Brake pad is one of the most important safety and performance parts for vehicles. Pad materials are categorized as metallic, semi-metallic, composite and carbon-based types. Many of brake pads are composite brake pads containing more than 10 additives. These additives include binders, rein forcefibers, friction modifiers and fillers. Pads are expected to have performance characteristics such as stable coefficient of friction, low wear rate, environmentally friend, light weight, long life, low noise, corrosion resistance along with acceptable costs. There are over 2000 publications regarding the brake pads mainly employed in automotive industry and aviation and railways. Many trials and experimentations have been carried out for composite brake pads with respect to many different additives and mixture ratios and different characteristics have been obtained at the end. It is important in the production of brake pads that optimal mixture formulation and process conditions for optimum functionality are applied for acceptable cost. Especially in recent years, regarding that the waste material “fly ash” from thermal power plants, which includes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 in its composition, are being used in the pad formulations, Studies have been carried out to employ the waste material hazardous to the environment by recycling it in the pads materials thus reducing the production costs. However, just like all the

coal types used in the thermal power plants are not similar, the composition and the quantity of fly ash types are not the same.

In this thesis first a detailed literature research was made in the topics of brake pads containing fly ash, characterization, testing, standards, formulation and process parameters. Commercial composite brake pad samples were investigated. Characterizations of fly ash samples obtained from different power plants were made and fly ash types which can be used in the production of brake pads were identified. In this thesis formulations that contain 5-40 %wt. fly ash were developed and samples were produced in laboratory scale. Physical, mechanical, chemical as well as tribological tests were applied to determine the optimum formulation and production terms. Result of thesis especially formulations which include Yeniköy and Kemerköy Power Plants fly ash 40 %wt. as filler exhibited the closest tribological properties to commercial brake pads.

Proper brake lining composition which 40% wt. Yenikoy and Kemekköy thermal power plant fly ash, 20% wt. novolac type phenolic resin, 5% wt. aramid wool, 15% wt. rock wool, 10% wt. graphite, 5% wt. petroleum coke, 5% wt. Sb₂S₃ has been determined. This compositions is mixed homogenly and the prepared composition is hot moulded under 25 MPa pressure at 150°C in 10 minutes and the prepared sample is post cured in an air circulated oven 3 hours at 180°C. Eventually prototype railway brake pads was produced.

Keywords: Fly Ash, Brake Pads, Train, Railway, Friction

1.1 Literatür Özeti

Fren balataları taşıtların en önemli emniyet ve performans parçalarından birisidir. Balata malzemeleri metalik, yarı metalik, kompozit ve karbon bazlı çeşitlere ayrılır. Pek çok fren balatası 10'dan fazla katkı malzemesi içeren kompozit fren balatalarıdır. Bu katkı maddeleri bağlayıcılar, takviye ediciler, sürtünme düzenleyiciler ve dolgu malzemeleridir. Balatalardan stabil sürtünme katsayısı, düşük aşınma hızı, çevreye zarar vermeme, hafiflik, uzun ömür, düşük ses, korozyon direnci, performans karakteristikleri ile uyumlu kabul edilebilir maliyet aranmaktadır [1].

Fren balataları ile ilgili olarak başta otomotiv, demiryolu ve havacılıkta kullanılabilecek fren balatalarıyla ilgili 2000'in üzerinde yayın vardır. Kompozit fren balatalarında çok sayıda değişik katkı malzemesi ve karışım oranlarına göre denemeler yapılmış balata özelliklerinde çok farklı özellikler elde edilmiştir [2],[3],[4].

En uygun karışım formülasyonu ve proses şartları sağlanarak optimum özellikte ve kabul edilebilir maliyette fren balatası üretimi önem arz etmektedir. Özellikle son senelerde termik santrallerin atık bir malzemesi olan uçucu kül bileşimindeki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 'ün balata formülasyonlarında kullanıldığı dikkate alınarak doğrudan balata malzemesine katılarak, çevreye zararlı bir atığın maliyet azaltıcı bir şekilde kullanılmasını sağlayacak çalışmalar yapılmaktadır [5].

Ancak her termik santralde kullanılan kömür aynı olamadığı gibi uçucu kül bileşim ve miktarları da aynı değildir [6].

Çalışmalarda araştırmacılar kendi ülkelerine ait olan termik santral külleri ile uygulama yapmışlardır. Literatürde bu konuda çok az yayın vardır. Bunlar da otomotiv balatalarıyla ilgilidir [7].

Demiryolu taşıtlarında kullanılan kompozit fren balatalarla ilgili literatürde yayın yok denecek kadar azdır. Ayrıca uçucu kül katkılı demiryolu taşıt balatalarıyla ilgili çalışmalar literatürde yer almamaktadır.

Demiryollarında kullanılan kompozit balata örnekleri Şekil 1. 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. 1 Demiryollarında kullanılan kompozit balata örnekleri

1.2 Tezin Amacı

Raylı taşıtlarda kullanılan kompozit sürtünmeli fren balatalarına yönelik, termik santrallerimizin atık bir malzemesi olan uçucu kül katkısının balata özelliklerine etkisinin incelenmesi ve maliyeti azaltıcı unsur olarak kullanılabilirliğinin saptanması tezin amacıdır. Bu tez kapsamında ülkemiz termik santral uçucu küllerinden kompozit fren balatası imalatında kullanılabilecek olanların belirlenerek balataya katkısının balata özelliklerine etkisi incelenip balata imalatında kullanılabilirlikleri ortaya konacaktır. Böylece yerli uçucu küllerin balataya katılımlarının sağlanması demiryolu taşıtlarında kullanılan kompozit fren balatalarının maliyetini azaltıp yerli üreticilere teknoloji transferi sağlanarak rekabet güçleri arttırılıp ülkemiz ekonomisine katkı sağlamak amaçlanmaktadır. Öte yandan yerli uçucu kül katkılı sürtünmeli fren balatarı konularında yapılacak bu çalışma bu konuda hiçbir yayına rastlanmayan raylı taşıt balataları konularındaki literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasının hipotezi ülkemizdeki 15 Termik Santral uçucu atık küllerinden kompozit sürtünmeli balata imalatında kullanılabilecek bileşim ve miktar içeren uçucu küllerin saptanması ile bunların karakterizasyonun incelenmesi üzerine kurgulanmıştır. Karakterizasyon sonrası aşamada uçucu kül katkılı kompozit sürtünmeli fren balatası formülasyonları yapıp bunların laboratuvar ölçekli üretim ve testleri yapılması öngörülmüştür. Optimum bileşim ve proses şartları belirlenerek prototip balata üretimi gerçekleştirilecektir. Bütün bu çalışmalar sonucunda yerli uçucu kül katkısının kompozit sürtünmeli fren balata özelliklerine etkisi, hangi santral uçucu küllerinin balata üretiminde maliyet azaltıcı bir unsur olarak kullanılabilirliği ortaya konulması öngörülmüştür.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 Kompozit Balatalarda Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

Frenlemenin yüksek bir verimle yapılabilmesi için en önemli kriterlerin başında disk-balata ara yüzeyinde minimum aşınmayı sağlayan yüksek ve kararlı sürtünme katsayısı yer almaktadır. Bu kriteri sağlayan en önemli faktörler ise balata malzemesinin kompozisyonu ve mikroyapısıdır [4].

Fren sistemlerinde kullanılan sürtünme elemanlarının malzemeleri geniş aralıklardaki pedal basınçlarında, farklı araç hızları, sıcaklık, nem ve diğer şartlar altında kararlı ve güvenilir bir sürtünme katsayısı göstermelidir. Tek bir malzemenin tüm bu özellikleri güvenli bir şekilde uzun süre sağlaması beklenemez. Bunun sonucu olarak fren balataları birçok farklı özellikteki malzenin belirli kompozisyonlarda karıştırılması ile kompozit olarak üretilir. Karışım içerisindeki malzemelerin türü ve kompozisyonları ampirik gözlemler sonucunda belirlenir. Kompozit fren balatasının içeriğinde reçine, matris, takviye edici fiberler, aşınma dayanımına sahip dolgu malzemeleri, sürtünme modifiye ediciler gibi birçok malzeme bulunur [2].

Balata malzemeleri genel olarak; aşındırıcılar, sürtünme düzenleyiciler, dolgu malzemeleri güçlendiriciler ve bağlayıcı malzemeler olarak 4 ana gruba ayrılırlar.

2.1.1 Aşındırıcılar

Temel görevleri disk-balata ara yüzeyinde yüksek ve kararlı bir sürtünme katsayısını sağlamaktır. Bunun yanında aşındırıcılar fren balatasında sürtünen yüzeylerin temiz olmasını ve aynı zamanda ara yüzey filminin oluşmamasını sağlar. Sürtünmeyi artırır, özellikle durmanın başlaması aşamasında etkilidirler. Kompozit fren disk balata karışımlarında aşındırıcı olarak Al_2O_3 , Hematit (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4), Kuvars, silika, ZrO_2 , $ZrSiO_4$ gibi malzemeler kullanılır. Çizelge 2. 1’de yaygın olarak kullanılan aşındırıcılar ve özellikleri verilmiştir [3].

Çizelge 2. 1 Aşındırıcılar ve genel özellikleri [3]

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

2.1.2 Sürtünme Düzenleyiciler

Sürtünmeyi düzenleyiciler kompozit disk balatalarda, kaydırıcı ve sürtünmeyi arttırıcı rol oynarlar. Oksijen ile reaksiyona girerek ara film oluşumunu kontrol ederler. Sb_2S_3 , karbon, alümina, silika oksit, titanyum oksit, bakır tozları, lastik esaslı sürtünme tozları, PbO , Cu_2S , PbS , MoS_2 petrol koku ve metal tozları sürtünme düzenleyici olarak kullanılır. Grafit (C), kaju (cashew) sürtünme tozu ve petrokok gibi malzemeler partikül dispersiyonuna katkı sağlar. Metal oksitler, Fe_3O_4 ve ZnO benzeri malzemeler sürtünmeyi geliştirir. MoS_2 ve petrokok benzeri katkılar sürtünmeyi azaltır. Çizelge 2. 2’de sürtünme düzenleyiciler ve özellikleri verilmiştir [3].

Çizelge 2. 2 Sürtünme düzenleyicileri ve genel özellikleri [3]

Malzeme	Tanım
Antimon trisülfid	Sürtünme kararlılığını güçlendirir.
Grafit	Ucuzdur ve sık kullanılır. Sürtünme seviyesi rutubetten ve yapıdan etkilenir.
Seramik tozları (çeşitli)	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 düzleneyicisi olarak kullanılır.
Metal oksitler(çeşitli)	Magnetit soğuk sürtünmeyi geliştirir. Cr_2O_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.
Petrokok	Düşük fiyatlıdır, sürtünmeyi düşürür.

2.1.3 Dolgu Malzemeleri ve Güçlendiriciler

Dolgu malzemeleri ve güçlendiriciler karışımın maliyetini düşürmek ve kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılırlar. Metal aramid ve cam fiber elyaf, Sb_2O_3 , mika, vermikulit, antioksidanlar, $BaSO_4$, $CaCO_3$, keten, fiber, silika, Al_2O_3 -MgO karışımı, $Ca(OH)_2$, potasyum titanat, lastik tozu, ZnO, kauçuk, kaju cevizi kabuğu ve taş yünü yaygın olarak kullanılan güçlendirici ve dolgu malzemeleridir. Çizelge 2. 3’de dolgu malzemeleri ve özellikleri, Çizelge 2. 4’de fiberlerin balatanın özelliklerine etkileri verilmiştir.

Çizelge 2. 3 Dolgu malzemeleri ve güçlendiricilerin genel özellikleri [3]

Malzeme	Tanım
Baryum sülfat	BaSO ₄ Sürtünme dayanımını artırır fakat yoğunlukta da artma gözlenir.
Kalsiyum karbonat	CaCO ₃ yüksek sıcaklıklarda kararlı değildir.
Cam Elyaf	Matris için güçlendirici fiber olarak kullanılır.
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 fiber	Mekanik özellikleri güçlendirici fiberlerdir. Sürtünme katsayısını artırır.
Kaju (cashew)	Sürtünme kararlılığı sağlar soğukta aşınmayı düzenler. Sürtünme katsayısını düşürür.
MgO	Aşınmayı artırır sürtünme katsayısını artırır.
ZnO	Aşınma direncini artırır.

Çizelge 2. 4 Fiber ve takviyelerin tribolojik özelliklerin karşılaştırılması [1]

	Cam	Aramid	Potasyum Titanat	Karbon	Seramik	Bakır	Çelik	Asbest	Kaya Yünü
Sürtünme katsayısı	2	2	2	3	2	2	2	2	2
Termal iletkenlik	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

1 = Mükemmel 2 = İyi 3 = Orta 4 = Kötü durumu simgelemektedir.

2.1.4 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, tüm bileşenleri bir arada tutmak ve kararlı bir matriks oluşturmak için kullanılır. Bu malzemeler polimer esaslı olduklarından yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar ve sürtünme malzemesinin içinde değişimi en az tahmin edilebilen bileşenlerdir. Bağlayıcı malzeme olarak genellikle epoksi, fenol formaldehit reçine ve modifiye reçineler kullanılmaktadır. Fenolik reçineler yüksek sıcaklık stabilitesine sahiptir ve alevlenmeye karşı dayanıklıdırlar. Bu yüzden kompozit fren balataalarında tercih edilirler [4].

2.2 Fren Balatalarında Meydana Gelen Problemler

2.2.1 Isı Etkisi ile Sürtünme Katsayısının Değişimi

Fenolik reçine, aramid fiberler ve kaju (cashew-mahun cevizi) 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 sürtünme katsayısını düşürür [3].

2.2.2 Nemin Frenleme Mesafesine Etkisi

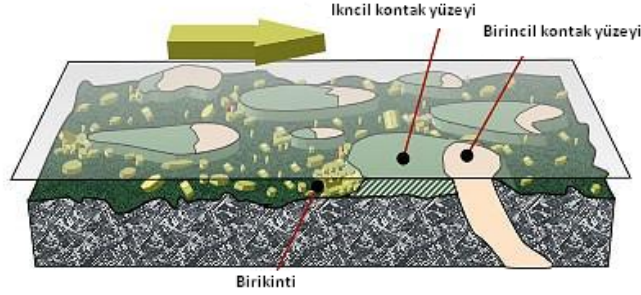
Kompozit fren balatalarının frenleme performansının nemli koşullar altında azaldığı ve frenleme mesafesinin uzadığı belirlenmiştir. Yüksek hızlarda ise nemin etkisi azalmıştır. Bunun nedeni sürtünme ısının etkisidir. Düşük hızlarda ise balata çeşidine göre sürtünme katsayısının hissedilir şekilde düşüşüne önemli özen gösterilmelidir [3]. Bunlardan anlaşılacağı gibi nemli koşullar frenleme performansı açısından çok önemlidir. Avrupa demiryolu araçlarında kullanılan fren balataları UIC (Union Internationale des Chemins de fer) kurallarına göre kuru koşullarda gösterdiği sürtünme katsayısının %85'ini ıslak koşullarda da göstermelidir. Aynı zamanda TS 12465' e göre de nemli koşullarda ölçülen sürtünme katsayısı kuru ortamda yapılan sürtünme katsayısının %85'i olmalıdır [45].

El-Tayeb ve Liew [8] ticari ve ticari olmayan balata malzemelerinde yağışlı ve nemli ortamlardaki sürtünme katsayısındaki değişimi su spreyleme yöntemiyle incelemiştir. 4 farklı balata malzemesi geliştirmiş, 2 tip ticari balata ile mukayeselerini yapmıştır. Bunların bileşimleri ıslak ve kuru durumda sürtünme kat sayısı değişimleri verilmiştir. ıslak durumda sürtünme katsayısında azalmalar vardır [8].

2.2.3 Frenleme Sırasında Oluşan Tribolojik Etki

Frenleme sırasında kinetik enerji ısıya dönüşür. Bu esnada fren balatası yüzeyi fren diskiyle 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 noktalar

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 [9]. Disk ve balata arasında temas durumunun şematik modeli Şekil 2. 1'dedir [10].



Şekil 2. 1 Disk ve balata arasında temas durumunun şematik modeli [10]

2.2.4 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 film tabakasının sürtünme katsayısı üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir [10].

Grafite ve MoS₂ gibi katı yağlayıcıların oranca fazla bulunduğu kompozisyonlarda sürtünme katsayısı azalmaktadır. Sertliğin sürtünme katsayısı üzerine etkisi transfer film tabakası kalınlığından çok daha fazladır. Oluşan bu transfer film tabakasının kalınlığı değiştikçe sürtünme katsayısının kararlılığı da değişmektedir [10]. Filip vd. [11] frenleme sırasında polimer matrisli kompozit malzemede sürtünme tabakası oluşumunu incelemişlerdir.

İnceledikleri balata bileşimi çelik partikül %7, bakır partikül %4, grafit %23, vermikulit %5, SBR lastik %11, MoS₂ %4, Sb₂S₃ %5, zirkon %7 ve gerisi fenolik reçinedir [11].

2.3 Fren Balatalarından Beklenen Özellikler

Balatalar, gösterdiği performansı geniş bir hız, basınç ve sıcaklık aralığında tüm şartlarda ve tekrar kullanıma bağlı olmaksızın yineleyebilmelidir. Sürtünme sırasında oluşan sıcaklık artışından dolayı oksitlenmeye, çatlama ve ısıl yorulmaya karşı dayanımı yüksek olmalıdır. Kullanım sırasında uygulanan basınç ve oluşan kesme dayanımına karşı dirençli, sürekli aynı kalitede üretime uygun olmalı ve ısı iletimi düşük olmalıdır [12],[13],[14],[15]. Balataların özellikleri balatanın bütün kesiti boyunca aynı olmalı ve ortalama sürtünme katsayısı, hız, basınç, sıcaklık ve atmosfer şartlarından mümkün olduğunca az etkilenmelidir. Balatalar, fren diskinin yüzeylerinde ısıl hasarların oluşmasına neden olmamalı (ısıl benekleşme, diskin kırılmasına sebep olabilecek çatlaklar gibi) ve tekerlek veya dingillere tespit edilmiş çelik döküm veya demir dökümden imal edilmiş fren diskleriyle birlikte çalışacak tarzda imal edilmelidir. Balata imalatında kullanılan kompozit malzeme homojen olmalı ve balata üzerinde kabarcık, çukurcuk, çatlak gibi yüzey kusurları bulunmamalıdır. Kompozit malzeme disk sürtünme yüzeylerini olumsuz olarak etkilememeli veya yüzeyler üzerinde metal yığılmalarına neden olmamalıdır. Demiryollarında kullanılan balatalar asbest, Pb, Zn içermemelidir. Sürtünme katsayıları kuru, yağışlı ve nemli hava şartlarında $\pm\%15$ 'den fazla, oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda da $\pm\%15$ 'den fazla fark göstermemelidir [12].

Bütün özelliklerin sağlanabilmesi amacıyla farklı özelliklere sahip malzemeler kullanılarak çoğunluğu patentli balata formülasyonları geliştirilmiştir [16].

Fren balatası üretimleri, belirlenen bileşimlerin belirli geometrilere sahip karıştırıcılarda değişik devir sayılarında karıştırılması, karışımların değişik sıcaklık ve basınçlar altında preslenmesi ile değişik sıcaklık ve sürelerde ısıl işlemi ile yapılır [17]. Fren balatalarında optik ve elektron mikroskopi (EDS dahil) incelemeler, yoğunluk, gözeneklilik, yanma kayıp testleri, aşınma, sürtünme katsayısı, sıcağa dayanım, ısı iletkenlik, ısıl genleşme testleri ve ses seviyesi ölçümleri, basma, kayma, sertlik, eğme dayanımı, çentik darbe testi, elastisite modülü, asetonda çözünen madde miktarı ve XRF testleri yapılır [12].

Jafari vd. [18] Çizelge 2. 5'deki kompozisyon ile 140 °C'de 2 dakika 450 kg/cm² basınç altında numune hazırlamışlar ve 200 °C'de kürleme (post curing) uygulamışlardır [18].

Çizelge 2. 5 Jafari vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [18]

Bileşen	% Hacim
Reçine	72.5
Alümina	2.1
Sürtünme düzenleyici	14.5
Grafit	2.1
Karbon	1.1
Su	7.7

Lotfipour [19] banbury mikser ile Çizelge 2. 6'daki kompozisyonla 46 MPa ile soğuk kalıplamayla numune hazırlamıştır. Numuneler 4 saatte 200 °C kürlenmiştir. Ortalama sürtünme katsayısını 0.35 bulunmuştur [19].

Çizelge 2. 6 Lotfipour çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [19]

Bileşen	% Hacim
Soğuk polimerize Stiren- butadien kauçuğu (%40)	28
Stiren butadien kauçuğu (%23)	16
Fenolik reçine	7
Kür bileşenleri	6.6
Antioksidant	3.4
Çelik fiber	12
Mineral fiber	6
Sürtünme düzenleyici	7
Pirinç tozu	7
Baryum sülfat	7

Okoyama vd. [20] Çizelge 2. 7'deki kompozisyonla değişik numuneler üretmişlerdir. Hazırlanan numunelerin sürtünme katsayıları 0.32 ile 0.40 arasında değişmektedir [20].

Çizelge 2. 7 Okoyama vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [20]

Tür	Bileşen	% Hacim
Organik – fiber	Aramid fiber	8-10
Bağlayıcı reçine	Fenolik reçine	20-22
Sürtünme düzenleyici	Molibdenyum disülfid	3
	Grafit	6
	Kaju (Cashew)	11-16
Dolgu malzemesi	Baryum sülfat	7-22
	Kalsiyum hidroksit	3
İnorganik tozlar	Mika ve zirkonyum silikat	8-17
İnorganik fiber	Potasyum titanat	10-15
Metal tozu	Demir tozu	3-12

Çizelge 2. 8'de Jang vd. [21] farklı oranlarda 12 değişik bileşenden oluşan kompozisyonla sürütünme katsayısı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Artan miktarda Zirkon, çelik fiber ve fenolik reçine sürtünme katsayısını arttırdığını bulmuşlardır. Sb_2S_3 , kaju partikülleri ve taş yünü ise sürtünme katsayısını azaltıcı etkisi olduğunu belirtmişlerdir [21].

Çizelge 2. 8 Jang vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [21]

Tür	Bileşen	% Hacim
Fiber	Aramid fiber	3.7-8
	Çelik fiber	3.7-4
	Kaya yünü	10-14.6
Organik katkıları	Fenolik reçiye	8-10
	Kaju partikülleri	10-12
	Lastik tozu	8
Aşındırıcı ve yağlayıcılar	Zirkon	1.5-3
	Sb ₂ S ₃	3-3.5
	Grafit	10-11
Dolgu malzemesi	Barit	25
	CaCO ₃	8
	Ca(OH) ₂	1

Çizelge 2. 9'da Gurunath ve Bijwe ticari fenolik reçiye ile laboratuarda kendi yaptıkları reçiyeyle kompozisyon hazırlanmışlardır. Laboratuarda hazırlanan reçiyeyle yapılan kompozisyonun tribolojik özelliklerinin daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [22].

Çizelge 2. 9 Gurunath ve Bijwe karışımların kompozisyonları [22]

Tür	Bileşen	% Hacim
Fiber	Kevlar, PAN, Çelik ve Bakır fiber, Mineral fiber	36
Bağlayıcı	Fenolik reçiye	10
Sürtünme düzenleyici	Grafit, Kaju (cashew), Alumina	17
Dolgu malzemesi	MgO, Ca(OH) ₂ , BaSO ₄ , Vermikülit	37

Cho vd. [23] 16 değişik bileşenden oluşan kompozisyonları Çizelge 2. 10'dadır. Fenolik reçine, MgO, potasyum titanat, bakır, zirkon sürtünme katsayısını artırırken kauçuk sürtünme katsayısını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Kaya yünü, zirkon, Ca(OH)_2 , fenolik reçine aşınma direncini arttırlar [23].

Çizelge 2. 10 Cho vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [23]

Bileşen	% Hacim
Aramid pulp	6
Kaya yünü	3
Potasyum titanat	9
Fenolik reçine	20
Grafit	5
MoS_2	3
Sb_2S_3	2
ZrSiO_4	3
MgO	2
Kaju (cashew)	10
Kauçuk	3
Ca(OH)_2	3
Fe_3O_4	2
Cu	3
Vermikülit	3
BaSO_4	20

Ertan ve Yavuz [4] Çizelge 2. 11'deki kompozisyonla çalışmalar yapmışlardır. Kompozisyonu oluşanlar bileşenlerin üretim parametreleri ve sürtünme performansları bakımından önemli olduğunu belirtmişlerdir [4].

Çizelge 2. 11 Ertan ve Yavuz çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [4]

Malzeme	% Hacim
Fenolik reçine	20
Aramid pulp	6
Seramik fiber	3
Bakır fiber	3
Baryum sülfat	20
Ca(OH) ₂	3
MoS ₂	3
Grafit	5
Sürtünme tozu	10
Vermikülit	3
Lastik partikülleri	3
Mika	3
Sb ₂ S ₃	2-6
ZrSiO ₄	2-6
Potasyum titanat	Yeterli miktarda

Saffar vd. [24] lastik esaslı kompozit sürtünme malzemelerinin aşınma, yorulma ve ısı özelliklerini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Bu çalışmada SBR1502 % 42 hacim oranında katılmış diğer bileşenler fenolik reçine, kömür tozu, kalsiyum karbonat, demir tozu, barit ve demir oksittir [24].

Shojaei vd. [25] demiryolu taşıtlarında kullanılan lastik esaslı sürtünme malzemelerinin ısı iletkenliği konusunda bir araştırma yapmıştır. Çalışmada %23 ağırlık oranında SBR1502 lastiği kullanılmış bunun dışında fenolik reçine, kömür tozu, çelik yünü, demir tozu, barit, kalsiyum

karbonat, demir oksitli bileşim seçilmiştir. Bu bileşenlere Cu katarak değişik bileşimlerde ısı iletkenlik değerlerini bulmuştur [25].

Solomon ve Berhan [26] hafif raylı taşımacılıkta kullanılan ticari balata ile yeni geliştirdiği sürtünmeli fren balatalarının SEM, TGA, XRD, sürtünme ve aşınma testleri ile mukayeselerini yapmıştır. 30 formülasyon denemiş 2 tanesi ticari balataya yakın değerler vermiştir. Elde edilen sürtünme katsayıları ticaride 0.332 kendi formülasyonlarında 0.316 ve 0.374 olarak bulunmuştur [26]. Kompozit fren balatalarında bileşen ve miktarlar çok değişik olabilmektedir [38], [56], [61].

2.4 Fren Balata Malzemelerin Üretimi

Fren balata malzemeleri çok ince tozlar halindeki metal veya metal dışı malzemelerin karıştırılması, istenilen formda preslenmesi ve kontrollü bir atmosfer altında belirlenen süre içerisinde ısı ışılemini (kür) kapsayan üretim prosesinden oluşmaktadır. Bu yöntem ile tek bir aşamada üretim yapmak mümkündür [27].

Fren balata üretimde bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni farklı özelliklere sahip karışım malzemelerinin özelliklerini yitirmeden üretiminin gerçekleştirilebilmesidir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı düşük olan lastik tozu, kauçuk, reçine gibi polimer esaslı malzemeler üretim esnasında yanarak özelliklerini yitirebilirler. Dolayısıyla fren balata malzemeleri yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen döküm gibi yöntemler ile üretilemez [27].

2.4.1 Karıştırma

Karıştırma işleminin tipi yoğunlukla karışımı oluşturan malzemelerin türüne bağlıdır. Özellikle yoğunlukları, partikül boyutları ve bazen yüzey karakteristikleri ve şekilleri önemli farklılıklar gösteren toz bileşenlerde karıştırma işlemi zor olabilmektedir [4].

Karıştırma işlemi segregasyonu önlemek açısından çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Segregasyonu önlemek için karışıma genellikle yağlayıcı (grafit gibi) eklenir ve düşük viskoziteye sahip olan toz veya sıvı (sıvı reçine gibi) bileşenlerin homojen karışması için karıştırıcı kollar ile kesici bıçakların birlikte karıştırma işlemini gerçekleştirmesi gerekir [4].

2.4.2 Kalıplama

Kalıplama işlemi, karıştırma işleminden sonra homojen olarak dağılmış olan toz partiküllerinin hidrolik veya mekanik preslerle bir kalıp içerisinde sıkıştırılması işlemidir. Kalıp içerisine tozlar doldurulduktan sonra, üst baskı plakası ile tek yönlü basma gerçekleşir. Uygulanan basınç arttıkça toz kütlesinin yoğunluğu artar, gözenek oranı azalır. Balatalarda kalıplama soğuk ve sıcak şekillendirme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilen bir prosestir [4].

2.4.2.1 Soğuk Şekillendirme

Karıştırma işleminden sonra belirli kompozisyona sahip olan karışımın bir kalıp içerisinde belirli basınçta yoğunlaştırılmasıdır. Bu işlem soğuk olarak gerçekleştirilmekte ve balatanın şeklini oluşturmak için 200-600 MPa basınç uygulanmaktadır [4].

2.4.2.2 Sıcak Şekillendirme

Bu proses genellikle kalıplamada yoğunluk ile yakından ilgilidir. Şekillendirme burada, balatanın son boyutlarına oldukça yakın hatların oluşması anlamındadır. İşlem yaklaşık 140-250 °C civarında ve 25-35 MPa basınç altında yapılmaktadır. Bazı balataların üretiminde ön ve sıcak şekillendirme işlemleri tek bir aşamada uygulanabilmektedir [4].

2.4.3 Isıl İşlem (Kür İşlemi)

Isıl işlem, yüksek sıcaklıklarda kontrollü atmosfer altında toz partiküllerinin kimyasal bağlanmasını sağlayan işlemdir. Özellikle, fren balatalarında ısı işlem koşulları (sıcaklık ve süre) reçine üreticileri tarafından belirlenir ve reçinenin yapısına zarar vermeyecek üretim parametrelerinde gerçekleşir. Ayrıca ısı işlem sıcaklığı, süresi ve atmosferi gözenekliliği de büyük oranda etkiler. Çünkü sıcaklıkla bağlayıcı reçinenin akıcılığı ve dolayısıyla gözeneklilik de değişir. Gözenekliliğin en önemli avantajı, ses ve vibrasyonu sönümleme özelliklerine sahip olmasıdır. Balata üretiminde kullanılan farklı araştırmacıların tespit ettikleri üretim parametreleri Çizelge 2. 12' de verilmiştir [4].

Çizelge 2. 12 Farklı araştırmacılara göre üretim parametreleri [4]

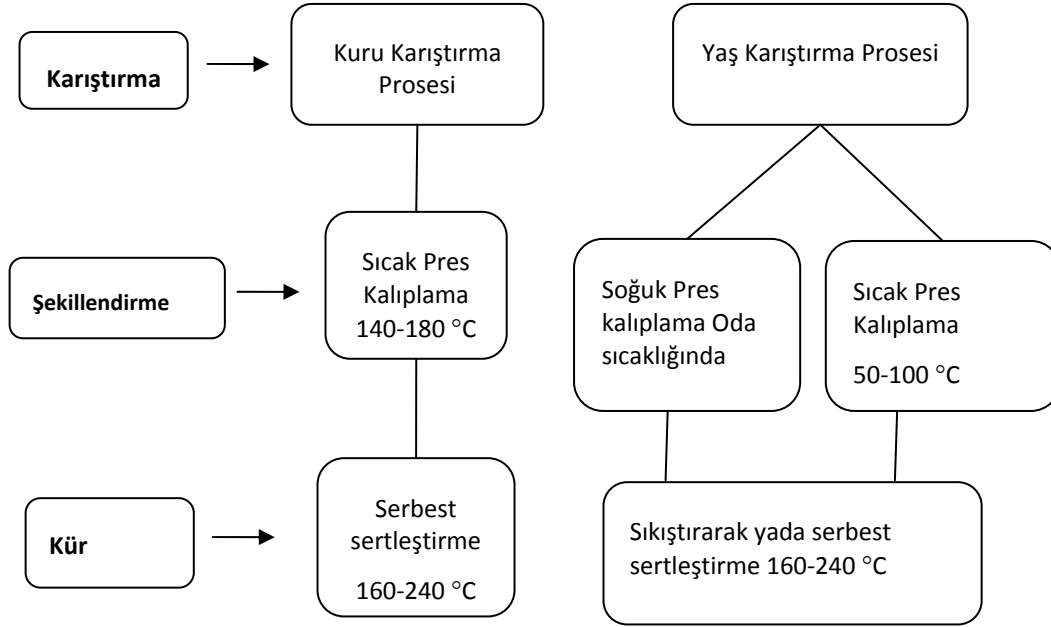
İşlemler	Üretim Parametreleri	Kim vd.[17]	Kim vd.[57]	Jang vd.[21]	Abbasi vd.[29]	Jang vd. [58]
Karıştırma	Zaman (dak) Yöntem	-	5 Kuru	-	-	1.10 Kuru
Soğuk Şekillendirme	Zaman (dak) Sıcaklık (°C) Basınç (MPa)	1 100 20	1 100 20	Oda sıc. 34.3	-	-
Sıcak Şekillendirme	Zaman (dak) Sıcaklık (°C) Basınç (MPa)	6 225 27	10 160 35	10 160 31.36	145 41.36	50 177
Isıl işlem	Zaman (dak) Sıcaklık (°C)	6 200	6 200	6 210	12 180	1 140

Ertan ve Yavuz [28] balata malzemelerinin tribolojik özelliklerine imalat parametrelerinin etkisini içeren deneysel bir çalışma yapmışlardır. %30 takviye edici, %10 bağlayıcı, %20 yağlayıcı, %15 aşındırıcı, %30 dolgu kullanarak hazırlanan bileşim 10 dakika blenderde karıştırılır. 125-200 °C aralığında 5-12.5 MPa basınç ve 3-9 dakika süre ile kalıplanmıştır. 150-195 °C de 10-16 saat ısıtılma tabi tutulmuştur. Kalıplama zamanı, sıcaklığı ve basıncın etkisi incelenmiştir. Isıl işlem sıcaklık ve zamanı incelenmiştir. 7.5 MPa, 5 dakika, 125 °C de kalıplanan 150 °C de 10 saat ısıtılma tabi tutulan numunede optimum değerler elde edilmiştir [28].

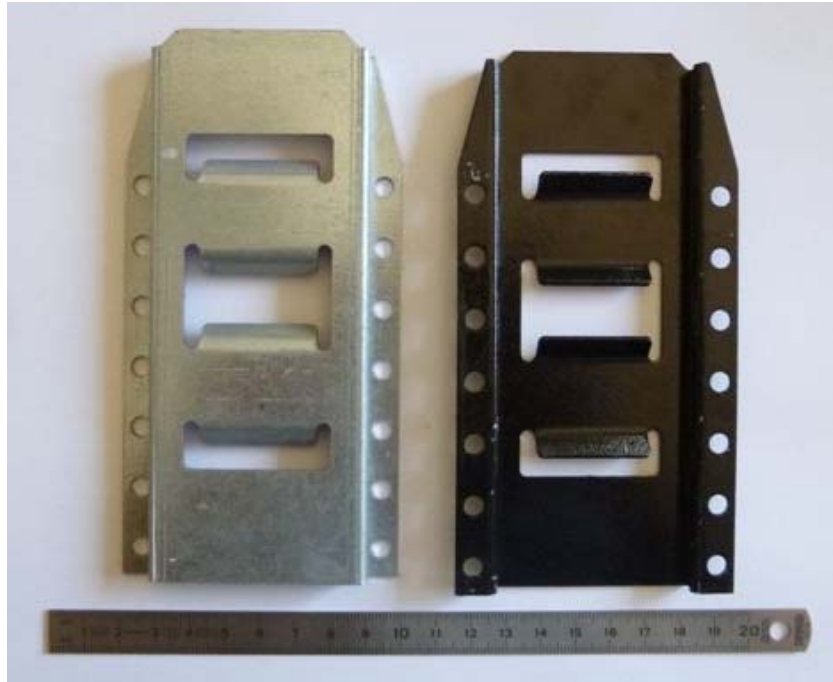
2.4.4 Balata Üretim Prosesi

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 Şekil 2. 3'de görüldüğü gibi arka destek plaka sacı olarak adlandırılan plakaya kalıplanır [20].



Şekil 2. 2 Balata üretim prosesi [27]



Şekil 2. 3 Disk balatanın arka destek plaka sacı

2.5 Sürtünme Malzemelerine Uygulanan Deneyler

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 [45].

2.5.1 Yoğunluk ölçümü

- Numunenin kütlesi 0,001 g hassasiyeti olan bir terazide tartılır. Boyutları ise, 50 µm hassasiyetle ölçülerek numune hacmi hesaplanır. Numunenin yoğunluğu (D), aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$D = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

D yoğunluk (g/cm³), M: kütle (gr), V: hacim (cm³)

- Deney numunesi, terazinin kancasına ince bir tel ile asılır. Numunenin havadaki kütlesi 0,001 g hassasiyetle ölçülür. 18°C – 24°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 [45].

$$d = \frac{\text{havadaki kütle}}{\text{havadaki kütle} - \text{sudaki kütle}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2.2)$$

Su yoğunluğu = 1 g/cm³

2.5.2 Sertlik ölçümü

Sertlik ölçümü Rockwell sertlik cihazında yapılır. Ön yükleme 10 kg, toplam yük 60 (ön yük+ana yük) kg'dır. Batıcı uç olarak ¼" çelik bilya kullanılır. Sonuç Rockwell HRL Skalasına göre bulunur [45].

2.5.3 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 ısı) 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 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. 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 ısı 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 2. 4 ve Şekil 2. 5’de görüldüğü gibi metal üzerinde metal temasında metal üzeri kauçuğa göre daha az temas alanı vardır [29].

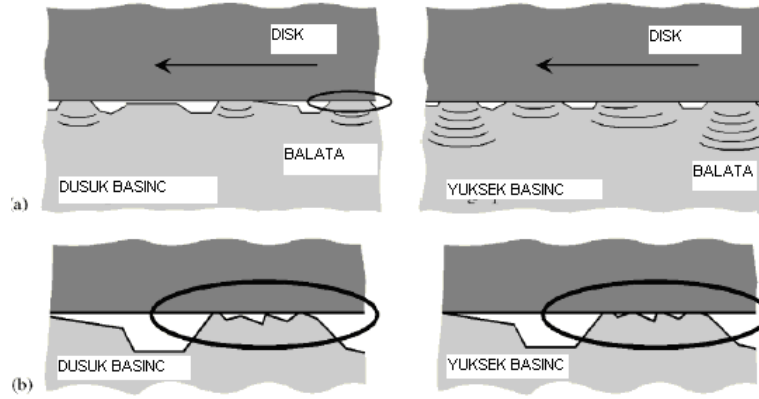


Şekil 2. 4 Metal üzeri metal değme alanı [29]



Şekil 2. 5 Metal üzeri kauçuk değme alanı [29]

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 elastik özelliğini değiştirecektir [30], [62].



Şekil 2. 6 Frenleme basıncının frenlemeye olan etkisi [30]

Şekil 2. 6'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 35 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 [45].

$$E = \frac{(35 - 10) \times 9.81}{0.25 \times \pi \times d^2} \times \frac{h \times 1000}{\Delta h} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2.3)$$

h: numune yüksekliği (mm), d: numune çapı (mm), Δh: numune boyunda meydana gelen kısalma (μm)

2.5.4 İç kesme mukavemeti deneyi

İç kesme deneyi TS 9073'e göre yapılır [31]. Bu deneyin amacı karayolu ve demiryolu taşıtlarında kullanılan disk fren ve kampana fren balatalarının iç kesme mukavemetinin ölçülmesidir [31].

$$\tau = \frac{F_{\max} \text{ (N)}}{\pi \cdot d \cdot s} \quad (2.4)$$

F_{max}: Uygulanan maksimum yük (N), d: çap (mm), s: numune kalınlığı (mm)

2.5.5 Basma deneyi

Basma deneyinde balata malzemesinin taşıdığı en büyük yükün ölçü uzunluğu içindeki başlangıç kesit alanına bölünmesi ile basma dayanımı değeri elde edilir. Deney sırasında parçanın biçim değiştirmesini sağlayan kuvvet, yavaş yavaş ve düzgün olarak uygulanır. Basma sırasında çatlama, kırılma gibi bir hasar görmeyen malzemede basma dayanımı çatlama ve kırılmanın başladığı gerilme değeridir [32], [59].

Basma dayanımı,

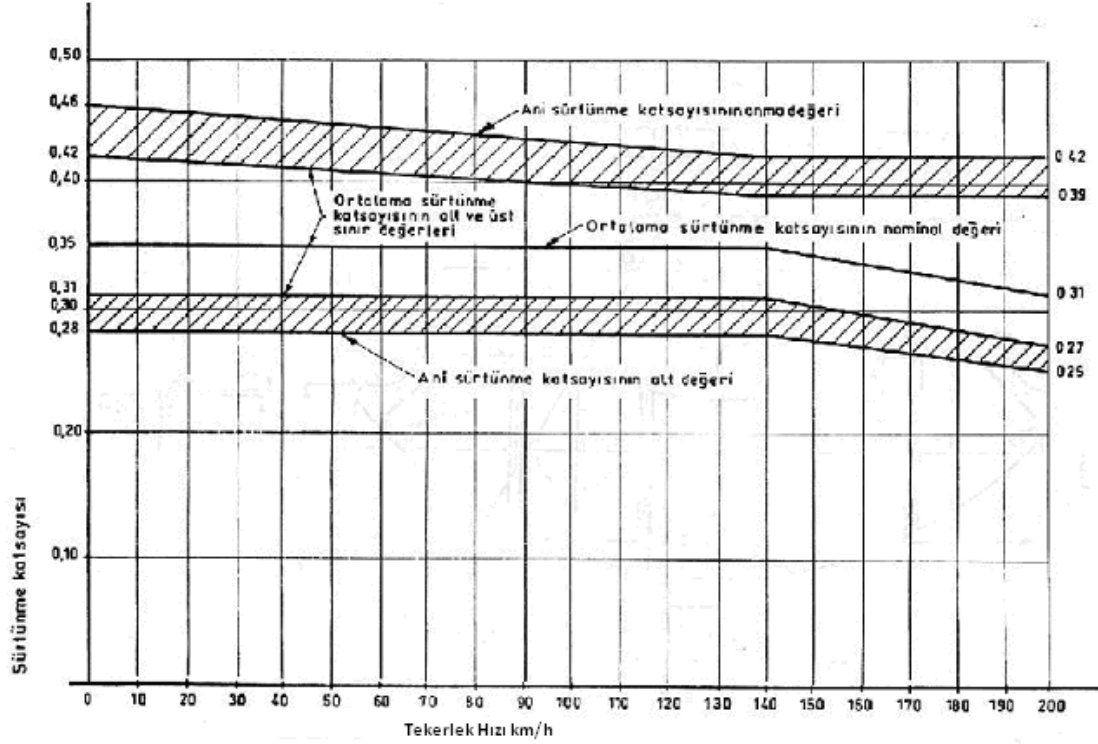
$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{S_0} \quad (2.5)$$

P_{max}: Uygulanan en büyük basma yükü (N), S₀: Basma doğrultusuna dik olan kesitin başlangıçtaki alanı (mm²)

2.5.6 Sürtünme katsayısının belirlenmesi

Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı değeri Şekil 2. 7'de verilen toleranslar arasında olmalıdır. Balataların ortalama sürtünme katsayısı kuru, yağışlı ve nemli hava şartlarında ± %15'ten fazla değişim göstermemelidir. -40°C' ye kadar olan ortam sıcaklığında dahi mekanik ve fiziksel özelliklerinde dahi önemli değişiklikler olmamalıdır. Sıcaklığın normal

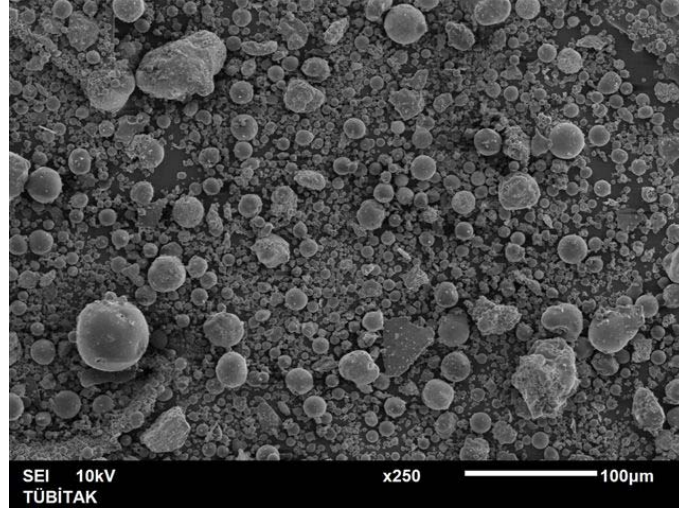
Çalışma sıcaklığına ulaşmasından sonra balataların mekanik, fiziksel ve sürtünme özelliklerinde kalıcı bir değişiklik olmamalıdır. Balatanın ortalama sürtünme katsayısı değeri, disk yüzey sıcaklığı 400°C olduğu zaman diğer şartlar aynı kalmak şartıyla oda sıcaklığında ölçülen değerle karşılaştırıldığında $\pm \%15$ 'den fazla değişim göstermemelidir [45].



şekil 2. 7 Balataların ortalama ve ani sürtünme katsayısı [45]

2.6 Uçucu Kller

Uçucu kül, termik santrallerde kömürün yakılması sonucu, bacadan çıkan gazla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kl parçacıklarıdır. Çok hafif olan bu uçucu küller, bacanın st kısmında elektrofiltre veya siklon adı verilen toz tutucularda elektrostatik tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınırlar. Baca gazları ile sürüklenen ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 1-150 μm arasında olup, aglomere ve küresel tanecikler şeklinde yapıya sahiptir [6].



Şekil 2. 8 Orhaneli termik santralden elde edilen uçucu kül SEM görüntüsü

Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kapsamaya başlar ve santral idaresi için bir problem olur. Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık yaklaşık 450 milyon tondur [6].

Türkiye'de halen Afşin-Elbistan A ve B, Çan, Çatalağzı, Çayırhan, Çolakoğlu 2, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma A ve B, Sugözü - İskenderun, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 15 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon ton kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir. Ülkenin enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltmanın bir yolu da, endüstrinin diğer kesimlerinde yararlanılamayan düşük kalorili linyit kömürlerini termik santrallerde kullanmaktan geçmektedir. Dolayısıyla yıllık uçucu kül miktarlarının gelecekte daha fazla artacağı düşünülmektedir [6].

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Bunların başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım bulur. Çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilebilir. Beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında dolgu olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kumtaşı blokların, endüstriyel seramik ve refrakterlerin, boyaların üretiminde, katı atıkların

stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanımları diğer kullanım alanları olarak sayılabilir [33].

Uçucu küllerin hafiflik, tane boyutu, amorf yapısı ve ucuzluk gibi özellikleri, bu malzemelerin kompozit malzemelerde kullanılmasına olanak vermektedir. Bu yapının yapay olarak üretilmesi için çok pahalı bir proses gerektirmektedir. Ancak uçucu külün endüstriyel bir atık için bir kullanım alanının oluşturulması çok faydalı olacaktır. Uçucu kül içerisinde fazla miktarda aktif halde silis ve alümina bulunmaktadır [34].

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur [33].

2.6.1 Uçucu Küllerin Görünüş Özellikleri

Uçucu kül çimentodan daha koyu renkte, çok küçük taneli, akıcı, elle dokunulduğunda yumuşak bir malzemedir. Mikroskopla bakıldığında çeşitli şekil ve büyüklükte, genellikle küresel, şeffaf, bazen de açık renkli, bir kısmı siyah, çok az esmer kırmızı renkte taneciklerden meydana gelir. Renginin koyuluğu, açıklığı elde edildiği kömüre ve yanış şekline bağlıdır. Linyit kömüründen elde edilen uçucu küller daha esmerdir. Ayrıca, iyi yanmış bir uçucu külden daha açık renktedir. Uçucu küle siyah renk veren ikinci özellik yanmamış karbondur [35].



Şekil 2. 9 Çeşitli uçucu küllerin görüntüleri

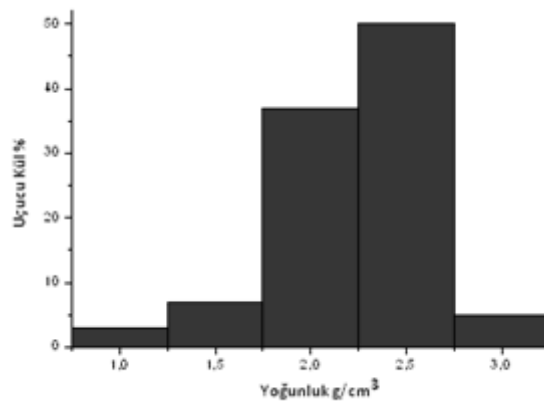
2.6.2 Uçucu Küllerin Tane Boyutu

Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütölme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taş kömürü uçucu küllerin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki eden ikinci faktör ise, tane boyutu küçük olan uçucu küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına engel olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan küller ne kadar iyi yakalanırsa, o oranda ince taneli küller elde edilmektedir. Elektrofiltrelerde daha ince uçucu küller tutulduğu için, elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulana göre daha küçüktür. Genel olarak uçucu küllerin tane boyutları 1-100 μm , yüzey alanları ise 0,1 – 0,5 m^2/g arasındadır [6].

2.6.3 Uçucu Küllerin Özgöl Ağırlığı

Uçucu küllerin ortalama özgül ağırlıkları 2,15 g/cm^3 'dür. Ancak küldeki kuvars, alumina, demir ve karbon miktarları özgül ağırlığı değiştirmektedir. Örneğin, uçucu külün demir oksit miktarı arttıkça özgül ağırlığı artmaktadır. Ayrıca, uçucu küllerin içerisinde değişik özgül ağırlıklara sahip farklı tanelerde bulunabilmektedir [33].

Şekil 2. 10'da uçucu kül içerisindeki farklı yoğunlukta tanecik yüzdesi görülmektedir.



Şekil 2. 10 Uçucu kül içerisindeki farklı yoğunlukta tanecik yüzdesi [34]

2.6.4 Uçucu Küllerin Karbon Miktarı

İyi yanma olan termik santrallerde karbon miktarı çok düşük olmaktadır. Eski tip santrallerde bu oran % 10'a yükselmekte, yenilerde % 3 'ün altında kalmaktadır. Uçucu küllerdeki karbon, yanıcı olmayan tanelerin yüzeyi üzerinde ince karbon tabakası veya aynı taneler olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki karbon tanelerinin tane boyutu çoğu zaman diğer tanelerden daha büyüktür [4].

2.6.5 Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama gibi) bağlıdır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon ve bunun yanı sıra titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunabilmektedir. Genelde bir taş kömürü uçucu külü, linyit uçucu külünden daha fazla toprak alkali metalleri içermektedir. Temel oksitler olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ' in miktarları, uçucu külün silissi veya kireçsi yapıda olmasına göre değişmektedir. Buna göre, uçucu külde SiO_2 % 25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 olarak ve CaO %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer oksitlerden MgO en fazla % 5.0, alkali oksitler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) %5.0'ın altında bulunmaktadır. SO_3^{2-} genellikle % 0.2-2.5 arasında değişmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre % 10'a kadar yükselmektedir. Ancak, standartlardan özellikle TS EN 450 standardı [36], SO_3^{2-} değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır. Ertürk vd. [37] yaptıkları çalışmalarda ülkemizdeki bazı termik santrallerdeki uçucu kül bileşimlerini belirlemiştir. Bunlar Çizelge 2. 13'de verilmiştir.

Çizelge 2. 13 Ülkemizdeki termik santral uçucu küllerinin bileşimleri [37]

Uçucu Kül						
Oksit	A-E	ÇA	SÖ	S	T	Y
SiO ₂	27.4	56.8	40.6	39.8	56.4	51.2
Al ₂ O ₃	12.8	24.1	9.1	22.3	23.0	22.9
Fe ₂ O ₃	5.5	6.8	7.7	4.4	10.1	7.8
CaO	47	1.4	19.9	5.4	2.1	13.0
MgO	2.5	2.4	8.1	1.9	3.3	2.8
SO ₃	6.2	2.9	10.6	4.8	0.4	0.3
Alkali	0,3	3.0	1.4	0.4	0.9	2.9
TiO ₂	0.7	1.1	-	0.6	-	0.9
Yanma kaybı (LOI - Loss on ignition)	2.4	0.6	1.4	0.4	1.1	0.4

A-E: Afşin-Elbistan Termik Santrali ÇA: Çatalağızı Termik Santrali

SÖ: Seyitömer Termik Santrali S: Soma Termik Santrali

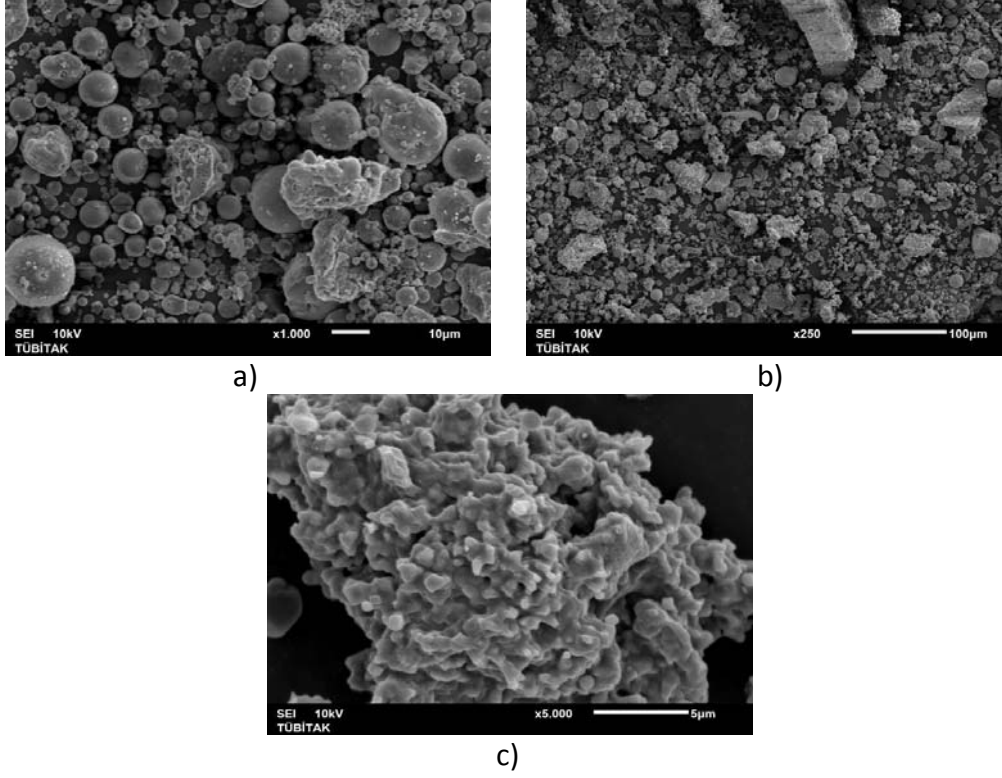
T: Tunçbilek Termik Santrali Y: Yatağan Termik Santrali

2.6.6 Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikler

Tanecik morfolojisi (şekli) ve büyüklük dağılımında, kömürün orijini ve uniform olması, kömürün pulverizasyon durumu yanma koşulları (sıcaklık ve oksijen seviyesi), yanmanın uniformluğu ve toz toplama sistemi tipi gibi prosese bağlı faktörler etkili olmaktadır. Uçucu külde, büyüklükleri 1 µm – 100 µm arasında değişen hem camsı küresel, hem de düzensiz şekilli tanecikler bulunmaktadır. Bu taneciklerin şekil ve büyüklük açısından farklılıkları, uçucu külün tipinden (düşük veya yüksek kireçli) kaynaklanmaktadır. Düşük kireçli küllerde, çoğunlukla camsı faza karşılık gelen, içi boşluksuz tam küresel tanecikler ve bunun yanısıra senosfer ve plerosferler bulunmakta olup; bu küller şekil dağılımı açısından genellikle homojen olan mikroyapıya sahiptirler. Yüksek kireçli küllerde, mikroyapı içinde hem küresel hem de köşeli, düzensiz şekilli taneciklerin bir arada bulunması sonucunda, homojen

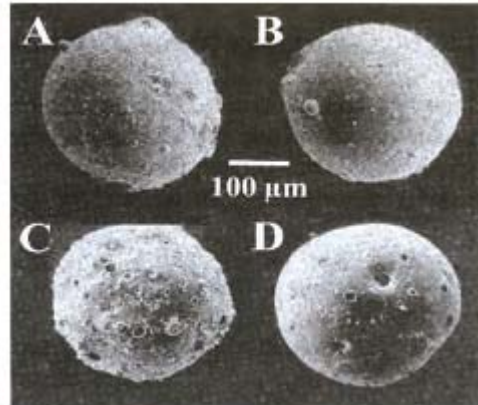
olmayan şekil dağılımı Şekil 2. 11’de görülmektedir. Ayrıca küresel taneciklerin yüzeyi de, düşük kireçli küller kadar düzgün değildir [6].

Uçucu külün granülometrik bileşiminin çoğunun $40\ \mu\text{m}$ 'nin altında olması ($10 - 20\ \mu\text{m}$) ve şeklinin de genelde küresel olması puzolanik aktiviteye olumlu etki etmektedir. Özellikle yüzeyi pürüzsüz ince küresel tanecikler, büyük yüzey alanına sahip olduğu için kireç-silikat reaksiyonlarına daha hızlı girmektedirler. Buna bağlı olarak yüksek kireçli külün aktivitesinde kristalize aktif fazlar (anhidrit, kireç) ve az camsı fazı rol oynamakta, düşük kireçli de ise taneciklerin şekli, büyüklük dağılımı ve camsı fazın fazlalığı önem taşımaktadır. Camsı küresel şekilli tanecikler, içi boşluksuz küresel yapılar (solid glassy sphere), boşluklu küreler (cenosphere, hollow spheres); büyük bir küre içinde, küçük küreler kümesi içeren yapılar (pleurosphere); yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları bulunan yapılar, yüzeyi kristal ile kaplanmış yapılar (dermasphere) deforme yapılar; yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar gibi çeşitli şekiller halinde bulunabilir. Şekil 2. 12’de bu yapılar görülmektedir. Küresel olmayan tanecikler, kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldispatlar gibi), düzensiz şekilli ve gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluşmaktadır [6].



Şekil 2. 11 Uçucu kül tipleri

- a) Yüksek silisli uçucu kül (pulverize uçucu kül),
b) ve c) Yüksek kireçli uçucu kül



Şekil 2. 12 Uçucu küllerin morfolojik yapısı [6]

- A)Yüzeyde birikintiler ve sıvı damlaları olan küresel tanecik
B)Camsı küresel tanecik
C)Yüzeyi düzensiz boşluklar içeren tanecik
D)Boşluklu küresel tanecik

2.6.7 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C 618 standardına göre uçucu küller, F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı uçucu küller, bitumlu kömürden üretilen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi % 70'den fazla olan ve CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılan küllerdir. Pozolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitumlu kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı % 50'den fazladır. CaO > %10 olduğu için de yüksek kireçli uçucu kül olarak adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, pozolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada ise uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (V) sınıfı uçucu küller, çoğunluğu pozolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının % 10'dan az, reaktif silis miktarının % 25'den fazla olması gerekmektedir. (W) sınıfı uçucu küller ise, hidrolik ve/veya pozolanik özellikleri olan esas olarak reaktif CaO, reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının % 10'dan fazla, reaktif silis miktarının da % 25'den fazla olması gerekmektedir. C ve F tipi uçucu küllerin kimyasal bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2. 14'de ve Çizelge 2. 15'de verilmiştir [39].

Çizelge 2. 14 C ve F tipi uçucu küllerin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık) [39]

Uçucu kül	C-Tipi	F-Tipi
SiO ₂	33-61	33-65
Al ₂ O ₃	8-26	11-33
Fe ₂ O ₃	4-10	3-31
CaO	14-37	0.6-13
MgO	1-7	0-5
K ₂ O	0.3-2.0	0.7-5.6
Na ₂ O	0.4-6.4	0-3.1
TiO	0.9-2.8	0.7-5.6
SO ₃	0.5-7.3	0-4
FeO/LOI*	0.2-1.4	1-12

* Yanma kaybı (Loss on ignition)

Çizelge 2. 15 Uçucu küller ve bazı malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri [39]

Malzeme	Gerçek yoğunluk (g/cm ³)	Ergime noktası (°C)	Poisson oranı	Elastiklik modülü (GPa)	Isıl iletkenlik [W/(m.K)]	Elektriksel direnç (Ω.cm)
Uçucu Kül içi dolu	1.6-2.7	>1300	--	143-310	0.06-0.16	10 ⁹⁻¹²
Uçucu Kül içi boş	0.4-0.6	--	--	--	0.07-0.35	--
Al ₂ O ₃	3.9	2250	0.25	380	100 ₍₂₎ 5-30 ₍₃₎	--
SiC	3.2	--	0.3	420	100 ₍₂₎ 4-20 ₍₃₎	1000
SiO ₂	2.6	1580 ₍₁₎	--	94	--	--
Mullit	3.2	1850	0.25	140	<5.9	--
Küresel cam 3M boş	0.15-0.4	589	--	--	--	6x10 ¹²
Küresel cam 3M dolu	2.45-2.5	--	--	68	1.5	-
Soda camı	2.5	4600 ₍₄₎	0.23	60-70	--	2.5x10 ⁶
Alüminyum	2.7	600	0.33	69-79	237	3.15x10 ⁻⁶

(1)yumuşama noktası (2)tek kristal (3)çok kristalli (4)maksimum servis sıcaklığı

2.6.8 Uçucu Küllerin Çevreye Etkileri

Uçucu küllerin çevreye etkileri tartışılmaz boyutlardadır. Linyit ve düşük kalite kömürlerin termik santrallerde yakılması sonucu oluşan kül, kükürt ve uranyum içeriği olan zehirli gazlar çevreyi olumsuz yönde etkileyici bir rol oynamaktadırlar. İnce partiküller olarak bilinen uçucu küllerin çevreyi kirletici etkilerinin önlenmesi için baca filtrelerinde toplanması, ve kül depo alanlarının yetersizliği, bu yetersizlik neticesinde toprak, yer altı ve sızıntı sularının kirletilmesi bilinen en büyük çevresel etkilerdendir [6].



Şekil 2. 13 Termik santrallerde uçucu kül depo alanları [6]

2.6.9 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Tuğla üretiminde, çimento ve beton üretiminde, seramik ve cam üretiminde, hafif agrega üretiminde, yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda, gaz beton üretiminde, harç yapımında, çözeltilerden fosfatın uzaklaştırılmasında, döküm kumu olarak, maden ocaklarında filtre olarak, yalıtım malzemesi olarak, metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde, metal ya da plastik matrisli kompozit malzeme üretiminde v.b. kullanılmaktadır [33,34,35].

2.7 Uçucu Küllerin Kullanımlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Kompozit sürtünmeli fren balatası çok sayıda bileşenden oluşur. Bazen 20 ve üzerinde farklı malzeme kullanılabilir. Karışım içerisindeki bileşenler genel olarak dört farklı grupta ifade edilir. Bunlar bağlayıcılar, fiberler, dolgu malzemeleri ve sürtünme katkılarıdır. Bağlayıcılar bileşenlerin birbirlerine bağlanmasını, yapısal elemanlar yapının dayanımını, dolgu malzemeleri maliyetin düşmesini ve karışımın hacminin artmasını, sürtünme modifiye ediciler ise balatanın sürtünme katsayısının stabil olmasını sağlarlar. Daha önce de değinildiği gibi tüm bu bileşenler kompozitin zorlu şartlar altında istenilen sürtünme değerini göstermesini, düşük gürültülü ve titreşimsiz çalışmasını ve daha düşük maliyetlerde üretilibilmelerini sağlamalıdır [1].

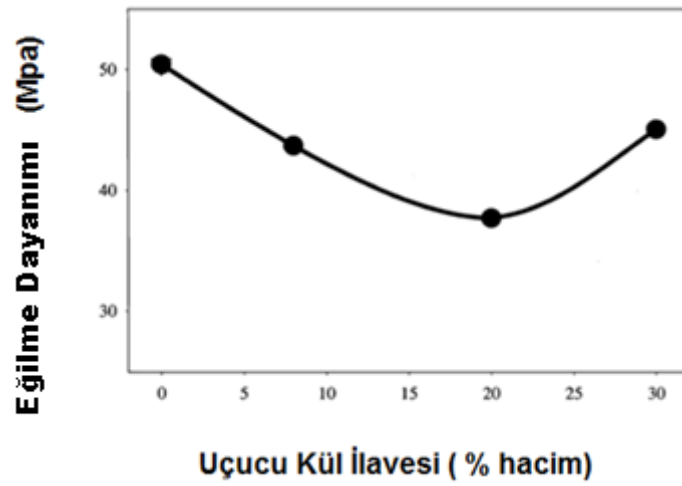
Uçucu küller üniform fiziksel ve mühendislik özellikleri gösteren ince partiküllerden oluşur. (10-100 μm). Uçucu küller balata karışımı içerisindeki diğer bileşenler ile kıyaslandığında düşük spesifik gravite gösterirler. Bu partiküller yüksek sıcaklıklarda (1000°C'nin yukarısında) oluşurlar. Bu açıdan bu malzemeler yüksek sıcaklıklarda stabilitelerini koruyabilirler. Ayrıca uçucu küller; silika, alumina, kalsiyum sülfat ve yanmamış karbon içerirler. Bu malzemelerin fren balatalarının üretilmesinde kullanıldığı bilinmektedir. Uçucu küllerin spesifik ısıları oldukça yüksektir (800 kJ/kgK). Bu durum uçucu küllerin, balata ile rotorun sürtünmesi sonucu oluşan yüksek ısının depolanabilmesine yardımcı olmasına olanak tanır. Uçucu küllerin düşük ısı iletim katsayısı, ortaya çıkan yüksek ısının balata sırtlıklarına rahat bir şekilde iletilmesini engeller ve böylece fren hidroliğinin buharlaşmasının önüne geçilebilir. Son olarak uçucu küller neredeyse bir maliyeti olmaksızın temin edilebilir. Tüm bu artıları düşünüldüğünde uçucu küllerin, kompozit fren disk balatalarının üretilmesi için son derece avantajlı olduğu görülmektedir [6].

Bu artılarının yanında uçucu küllerin en büyük eksisi, üretildikleri santrallere göre farklı bileşim mineralojik özellikler göstermeleridir. Ancak tek bir santralden üretilen uçucu küller çok fazla değişiklik göstermemektedir. Tek bir termik santralden üretilen uçucu külün fren balatası üreten bir tesisin tüm uçucu kül ihtiyacını karşılayabileceği düşünüldüğünde, bu durumun uygulamada bir sorun yaratmayacağı sonucuna varılabilir [40].

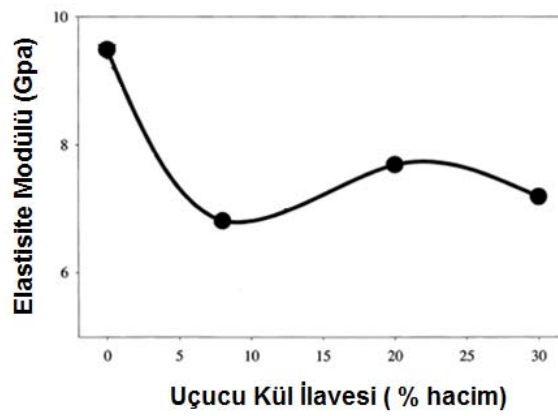
Malhotra vd. [5] sürtünme elemanı olarak kullanılan kompozit bileşimlerine uçucu kül ilavesinin etkilerini incelemişlerdir [5]. Çizelge 2. 16'da hazırlamış oldukları karışımların kompozisyonları verilmiştir. Tabloda verilen karışımlar ile üretilen kompozitler üzerinde mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2. 14'de kül ilavesi ile eğme dayanımının değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde kütlece % 20 uçucu kül ilavesinin eğme dayanımını düşürdüğü, ancak sonrasında uçucu kül oranının arttırılması ile dayanımın iyileştiği görülmektedir. Şekil 2. 15'de uçucu kül oranının elastisite modülüne etkisi verilmiştir. Karışım içerisindeki uçucu kül oranındaki değişiminin, elastisite modülünde de benzer bir etkiye neden olduğu görülmektedir. Şekil 2. 16'da sürtünme katsayısının zamana göre değişimi görülmektedir.

Çizelge 2. 16 Malhotra vd. çalışmada kullandıkları karışımların kompozisyonları [5]

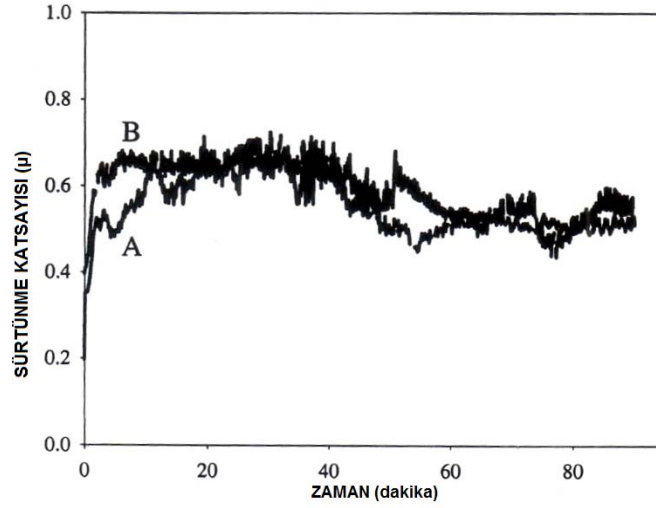
Kompozit No	Fenolik Bağlayıcı (Hacim %)	Fiber (Hacim %)	Sülfürce zengin çamur (Hacim %)	Uçucu Kül (Hacim %)
Temel yapı	45	22	33	-
FA-8	42	20	30	8
FA-20	40	15	25	20
FA-30	32	14	24	30



Şekil 2. 14 Uçucu kül ilavesinin eğme dayanımına etkisi [5]



Şekil 2. 15 Uçucu kül ilavesinin elastisite modülüne etkisi [5]



Şekil 2. 16 Uçucu kül (%20) ilaveli kompozitlerin sürtünme davranışı [5]

Malhotra vd. [5] uçucu kül kullanımının kompozit fren balatalarında sürtünme değerlerini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca yaptıkları çalışmalarda, uçucu küllerin yapı içerisinde, Al_2O_3 , Cr_2O_3 ve SiC gibi diğer aşındırıcı partiküllere benzer karakterde davranış gösterdiklerini saptamışlardır [5].

Mohanty ve Chugh [42] %50'nin üzerinde uçucu kül içeren fren balatası karışımları hazırlamışlardır. Ürettikleri kompozit fren balatalarının yüksek homojenite ve buna bağlı olarak iyi frenleme performansı göstermesini amaçlamışlardır. Çizelge 2. 17'de kullandıkları uçucu külün bileşimi verilmiştir [42].

Çizelge 2. 17 Mohanty ve Chugh kullandığı uçucu külün kimyasal bileşenleri [42]

Kimyasal bileşim	Ağırlık %
SiO ₂	31.3
Al ₂ O ₃	10.6
Fe ₂ O ₃	8.3
SO ₃	12.8
CaO	20.9
MgO	0.4
Yanmamış karbon	12.55
Nem	0.11
Na ₂ O	0.4
K ₂ O	1.1
Diğerleri (TiO ₂ +P ₂ O ₅ +SrO+BaO)	0.83

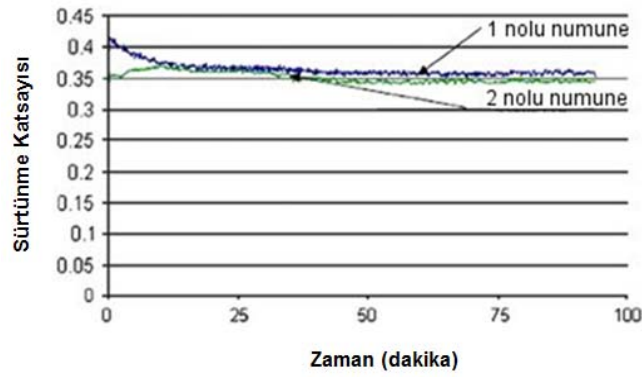
Mohanty ve Chugh [42] uçucu kül kullanarak hazırladıkları bileşimler Çizelge 2. 18’de verilmiştir.

Çizelge 2. 18 Mohanty ve Chugh karışımların kompozisyonları [42]

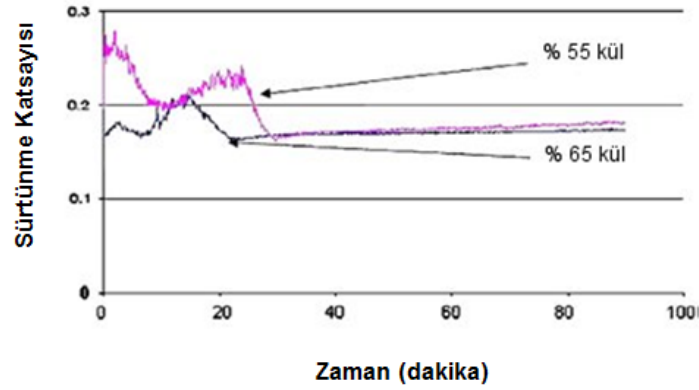
İçerik	Kütlece %
1 nolu karışım	
Uçucu Kül	55-65
Fenolik Reçine	20
Cam Fiber	15-25
Aluminyum Fiber	0-10
2 nolu karışım	
Uçucu Kül	52-60
Fenolik Reçine	20
Aramid Pulp	3-8
Potasyun Titanat	4-10
Grafit	0-10
3 nolu karışım	
Uçucu Kül	50-60
Fenolik Reçine	20
Aramid Pulp	3-8
Potasyum Titanat	4-10
Grafit	5-10
Fiber Bakır / Toz Bakır	5-10

Hazırlanan karışımların sürtünme katsayılarının değişimleri, FAST® sürtünme deney cihazı ile analiz edilmiştir. Numuneler 90 dakika süresince 7 m/s hızda dönen perlitik gri dökme demir diskler üzerinde normal yükler uygulanarak test edilmiştir. Numunelerin sürtünme katsayıları, normal ve kayma gerilmelerinin deney süresince her 5 saniyede bir ölçülmesiyle

hesaplanmıştır. Şekil 2. 17’de ticari olarak kullanılan fren balata malzemelerinin FAST® test sonuçları verilmiştir.

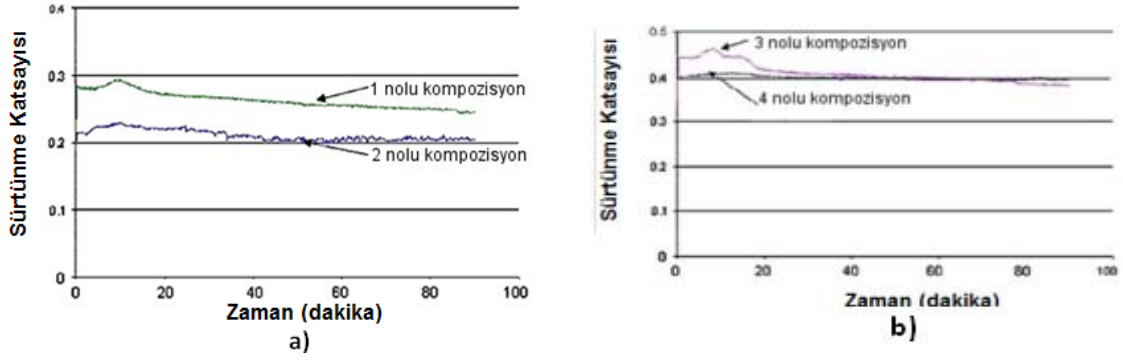


Şekil 2. 17 OEM fren balata malzemesinin sürtünme test sonuçları



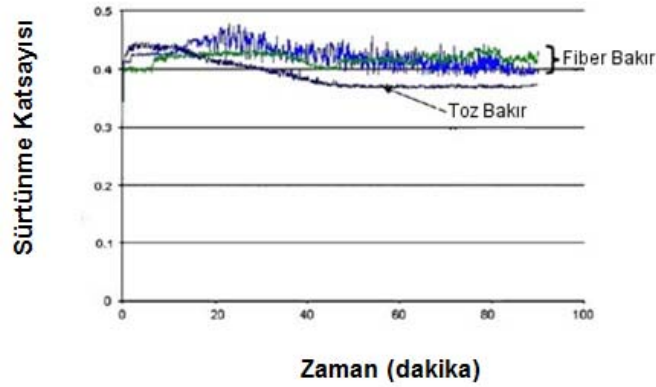
Şekil 2. 18 Bir numaralı karışımın sürtünme test sonuçları

Şekil 2. 18’de bir nolu karışımın FAST® test sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde % 55 uçucu kül içeren karışımın daha iyi performans gösterdiği görülmüştür ve bu karışımın ileride gerçekleştirilecek modifikasyonlar için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki kompozit için 90 dakikalık test sonrasında toplam aşınmanın çok yüksek olduğu belirlenmiştir (%52 kütlece). Düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma oranı 1 numaralı karışım içeriğinin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 2. 19 İki numaralı karışımın sürtünme test sonuçları

Şekil 2. 19’de iki numaralı karışımın test sonuçları verilmiştir. Çizelge 2. 18’deki kompozisyonlar grafit içermemektedir. Bu durumda, sürtünme katsayısının 0.2-0.3 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. Aşınma oranları ise %12-14 aralığındadır. 1 numaralı karışım ile kıyaslandığında bu karışımın daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Çizelge 2. 18’de 2 numaralı karışım içerisine grafit ilavesi ile sürtünme katsayısının 0.4’ ün üzerine çıktığı görülmektedir. Aşınma oranı %14-17 aralığında değişmektedir. Bir önceki numuneler ile kıyaslandığında tüm kompozisyonların daha iyi bir performans verdiği söylenebilir.



Şekil 2. 20 Üç numaralı karışımın sürtünme test sonuçları

Şekil 2. 20’da üç numaralı karışımın sonuçları görülmektedir. Sürtünme katsayısının 0.4 olduğu ve çok fazla değişmediği belirlenmiştir. Toplam aşınma oranının ise %5-9 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Mohanty ve Chugh [42] gerçekleştirmiş oldukları tüm bu çalışmalar sonucunda; uçucu küllerin termal dayanımlarının oldukça yüksek olduğu ve böylece frenleme sıcaklıklarında yapının ayrışmasına yol açmadıklarını, cam fiber ve alüminyum fiber içeren karışımların, istenilen sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarını sağlayamadığını, aramid pulp ve potasyum titanat kullanımı ile yüksek oranda uçucu kül içeren karışımda istenilen dayanımın sağlanabildiğini, karışım içerisine grafit ilavesinin stabil sürtünme performansının sağlanmasına katkıda bulunduğunu, ancak grafit nedeniyle oluşan yağlayıcı tabakanın yapıdan uzaklaştırılması için bakır fiber veya toz bir bileşenin karışım içerisine ilave edilmesi gerektiği, bakır tozu içeren karışımda, bakır fiber içeren karışıma nazaran daha düşük titreşim görüldüğü belirlenmiştir. Üç numaralı karışımın ticari olarak kullanılan balata malzemeleri ile aynı aşınma özellikleri göstermesinin yanında, bu malzemelere göre %50-60 daha hafif olduğu görülmüştür. Bu durum konu ile ilgili yoğun bir şekilde çalışılması gerektiğini göstermektedir. Ancak yapılacak çalışmalarda kullanılacak olan uçucu küllerin karakteristiği büyük önem taşımaktadır [42].

Satapathy vd. [43] %55 ve %75 uçucu kül içeren 8 değişik formülasyonlu kompozit fren balatası üretmiştir. 0.269 ila 0.386 arasında sürtünme katsayısı elde etmişlerdir [43]. Bu çalışmada %60 SiO₂, %30 Al₂O₃, %6.35 Fe₂O₃ ve %1 CaO içeren uçucu kül kullanılmıştır. Diğer bileşenler değişik oranda fenolik reçine, kevlar lapinus fiberleridir.

Dadkar vd. [44] %65-80 uçucu kül içerikli Novalak tipi fenolik reçine ve aramid fiber kullanarak 4 tip balata malzemesi üretmişlerdir. % 70'in üzerinde uçucu kül içerenlerde sürtünme katsayısı 0.34-0.36 , %70'in altında uçucu kül içerenlerde 0.45-0.46 bulunmuştur. Diğer bileşenler %60 SiO₂, %30 Al₂O₃, %6,35 Fe₂O₃ ve %1 CaO içeren uçucu küldür [44]. Hee ve Filip [7] kütlece % 25 oranında uçucu kül içeren fren balatalarının, gerçekleştirilen otomotiv dinamometre testlerinde ticari olarak kullanılan fren balatalarının performanslarının üzerine çıktıklarını belirlemişlerdir [7]. Dadkar vd. [46] uçucu kül ve kaya yünü kombinasyonlu 5 tip kompozit sürtünmeli fren balatasının performans özelliklerini incelemiştir [46].

Satapathy vd. [47] F sınıfı uçucu kül katkılı balatalarda vermikülitin sürtünme performansına etkisi araştırmışlardır. Kullanılan bileşenlerin özellikleri, kompozisyonları ve üretim şartları Çizelge 2. 19 ve Çizelge 2. 20'deki gibidir [47].

Çizelge 2. 19 Satapathy vd. çalışmada kullandıkları kompozisyonlar[47]

% Ağırlık	Kompozisyon			
	FV-1	FV-2	FV-3	FV-4
Fenolik Reçine	15	15	15	15
Uçucu Kül	70	65	60	55
Aramid (Kevlar) Pulp	5	5	5	5
Kaya Yünü	10	10	10	10
Vermikülit	0	5	10	15

Çizelge 2. 20 Satapathy vd. kullandıkları proses şartları [47]

İşlem	Şartlar
Karıştırma	Toplam 10 dakika: Besleyici devri 300 devir/dk, Bıçak devri 3000 devir/dk
	Sıra: (a) toz bileşenler, (b) vermikülit, (c) pulp ve fiberler
Kalıplama	155 °C sıcaklık, 15 MPa basınç, 15 dk.
Kürleme	165 °C sıcaklık, 5 saat

Özet olarak mekanik özelliklerde sertliğin vermikülit ilavesiyle birlikte azaldığı, sıkıştırılabilirlik ve kesme dayanımının ise hemen hemen etkilenmediği söylenebilir.

Vermikülitin ağırlıkça %5-10 ve uçucu külün ağırlıkça %60-65 gibi değerlerde olması optimum yorulma (fade) performansı göstermektedir. Diğer önemli sürtünme özelliklerinin umut edici yönde olmasına rağmen, uçucu kül ile birlikte orta derecede vermikülit katkısı düşük aşınma direncine yol açmaktadır.

Satapathy vd. [48] bu çalışmada doğrusal olmayan regresyon optimizasyonu tekniği kullanılarak uçucu kül katkılı kompozit fren balata malzemelerinin belirli performans özellikleri hedeflenerek bu özellikler çerçevesinde formülasyonlarda iyileştirme çalışmaları

yapılmış ve bunların pratikte ne kadar ulaşılabilir olduğu araştırılmıştır. Uçucu kül kullanımının yanında “Cenosphere” olarak adlandırılan uçucu külün yanmamış karbon esaslı kalıntılardan arındırılmış formu olan içi boş silikat küreler içeren kompozisyonlar da test edilerek ham uçucu kül katkılı malzeme özellikleri ile karşılaştırılmıştır [48]. Kullanılan kompozisyonlar aşağıdaki Çizelge 2. 21’deki gibidir.

Çizelge 2. 21 Satapathy vd çalışmada kullandıkları kompozisyonlar[48]

	Kompozisyon (% Ağırlık)			
Bileşen	FA-1	FA-2	CS-1	CS-2
Fenolik Reçine	15	22.5	15	22.5
Uçucu Kül	72	72.5	-	-
Cenosphere	-	-	72	72.5
Aramid (Kevlar)	5	5	5	5
Kaya Yünü	8	-	8	-

Farklı uçucu kül partiküllerinin kullanıldığı bu iki çeşit kompozit sürtünme malzemeleri karşılaştırıldığında cenosphere partiküllerinin gelişmiş bir yorulma-toparlanma (fade-recovery) performansı sunduğu görülmektedir. Genel performans ve dayanıklılık açısından lapinus ile birlikte etkileşim içerisinde. Ham uçucu kül katkısının sürtünme katsayısını, yorulma sürtünme katsayısının ve toparlanma sürtünme katsayısını cenosphere partiküllerininkine göre arttırdığı, $\mu_{max}-\mu_{min}$ değerinin ise benzer kaldığı söylenebilir. Ayrıca cenosphere katkısı etkili bir aşınma azaltıcı etkiye yol açmaktadır [48].

Kumar vd. [49] kompozit fren balatalarında potasyum titanat ve aramid fiber etkileşiminin sürtünme özelliklerine etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Kullanılan sürtünme malzemesi kompozisyonları ve üretim şartları Çizelge 2. 22 ve Çizelge 2. 23’dedir [49].

Çizelge 2. 22 Kumar vd. çalışmada kullandıkları kompozisyonlar [49]

% Ağırlık	Kompozisyon			
	TC1	TC2	TC3	TC4
Fenolik Reçine	15	15	15	15
BaSO ₄	50	50	50	50
Kevlar Pulp	2.5	5	7.5	10
Potasyum Titanat	27.5	25	22.5	20
Grafit	5	5	5	5

Çizelge 2. 23 Kumar vd. kullandıkları kompozisyonların proses şartları [49]

İşlem	Şartlar
Karıştırma	Toplam 15 dakika: Besleyici devri 150 devir/dk, Bıçak devri 3000 devir/dk
	Sıra: (a) kevlar pulp, (b) potasyum titanat 5 dak. (c) diğer toz bileşenlerin ilavesi sonrası 10 dak.
Kalıplama	153 °C sıcaklık, 15 MPa basınç, 15 dak.
Kürleme	170 °C sıcaklık, 5 saat

Kompozisyonları verilen malzemeler sürtünme oluşumu, pik sürtünme ve sürtünme azalması olarak 3 ayrı aşamaya göre incelenmiştir. Bu aşamaların geneline bakıldığında aramid pulp içeriğinin ağırlıkça $\geq$ %7.5 olduğu bileşimlerin daha kararlı olduğu görülmüştür. Aramid içeriğinin artışı ile birlikte kalınlık kaybı yönünden aşınma düşme eğilimindedir. Ağırlık kaybı yönünden aşınmada ise %5 aramid içeriğine kadar yükselme, bu noktadan sonra ise düşme eğilimi gözlemlenmiştir.

2.8 Uçucu Kül ve Balatalarla İlgili Yerli ve Yabancı Standartlar

Uçucu kül ile demiryolu fren balataları konularındaki yerli ve yabancı standartların incelenmesini kapsamaktadır. Bu standartlardan balata özellikleri ve balatalara uygulanan testler incelenmiştir. İncelenen standartlar aşağıdaki Çizelge 2. 24’de verilmiştir.

Çizelge 2. 24 Fren balatalarıyla ilgili yerli ve yabancı standartlar

Standart No	Standart Adı
TS 639	Uçucu Küller
TS 555	Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri- Balatalar- Sürtünmeli Frenler İçin
TS 7964	Karayolu Taşıtları-Sürtünmeli Frenler - Balatalar - Deney Metotları - Kesme Deneyi
TS 9073	Karayolu Taşıtları- Fren Sistemleri- Fren Balataları- İç Kesme Mukavemeti Deneyi
TS 9075	Karayolu Taşıtları- Fren Sistemleri- Fren Balataları- Su, Tuzlu Su, Yağ ve Fren Sıvısına Dayanım Deneyi
TS 9076	Karayolu Taşıtları- Fren Sistemleri- Fren Balataları- Malzeme Sürtünme Özelliklerinin Küçük Deney Parçaları ile Değerlendirilmesi
TS 12464	Demiryolu Taşıtları-Fren Pabucu - Kompozit Malzemeli - Asbest İhtiva Etmeyen
TS 12465	Demiryolu Taşıtları-Fren Balatası-Kompozit Malzemeli-Asbest İhtiva Etmeyen
UIC 541-1	Fren Komponentlerinin Tasarımı ile İlgili Kurallar (Uluslararası Demiryolları Birliği Standartları / Brakes - Regulations Concerning The Design Of Brake Components)
UIC 541-3	Disk Frenler ve Uygulamaları – Fren Balatalarının Onayı İçin Genel Koşullar (Uluslararası Demiryolları Birliği Standartları / Brakes – Disk Brakes and Their Application – General Conditions For The Approval Of Brake Pads)
UIC 541-4	Kompozit Fren Bloklarının Sertifikasyonu İçin Genel Koşullar (Uluslararası Demiryolları Birliği Standartları / Brakes – Brakes With Composite Brake Blocks – General Conditions For Certifications Of Composite Brake Blocks)

UIC 544-1	Frenleme Gücü (Uluslararası Demiryolları Birliği Standartları / Brakes – Braking Power)
SAE J661	Brake Lining Quality To Evaluate the Characteristics of Brake Test Procedure, Society of Automotive Engineers, USA
TS EN ISO 6508-1	Rockwell Sertlik Deneyi
JIS D 4411	Brake Linings And Pads For Automobiles (FOREIGN STANDARD)

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Ticari Balataların Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Bu tez çalışmasında mevcut durumda ticari olarak kullanılan yüksek ömür ve performans değerlerine sahip demiryolu kompozit fren balataları piyasa araştırması ile tespit edilmiştir. Bunun nedeni değişik formülasyon ve proses şartları ile üretilmiş yüzlerce fren balatası mevcuttur. Standartlarda bunların genel bazı tip ve özellikleri dışında ne bir formülasyon ne de proses şartları vardır. Yukarıdaki nedenlerle yüksek ömür ve performans değerlerine sahip kompozit fren balatalarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenerek tez konumuz olan uçucu kül katkılı fren balatalarının bu özelliklerde ya da daha iyi olmasını sağlamak amaçlanmıştır. İncelenen Avusturalya kökenli Futuris® ve Almanya kökenli Bremskerl® marka balata örnekleri Çizelge 3. 1’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 İncelenen ticari balata örnekleri

Ticari Marka	Kullanıldığı Araç	Fren Sistemi
Bremskerl®	Tren (Y32 tipi boji)	Disk
Futuris®	Tren (Y32 tipi boji)	Disk

Tarama elektron mikroskobu EDS incelemeleri ile Çizelge 3. 1’de verilen kompozit fren balatalarının bileşenleri belirlenmiştir. Mevcut balataların farklı fazlarından elde edilen ayrıntılı analiz sonuçları **EK-1** verilmiştir. Analiz sonuçları ve literatür bilgileri ile ticari

balatarın hangi bileşenlerden oluşabilecekleri tespit edilmiştir. Bu bileşenlerin neler oldukları Çizelge 3. 2’ de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Çizelge incelenen ticari balatalarda kullanılan bileşenler

Balata Markası	Çelik Fiber	BaSO ₄	Karbon (grafit, aramid, reçine)	CaCO ₃	Sb ₂ S ₃	Kaya Yünü
Bremskerl®	√	√	√	√	√	√
Futuris®	√	√	√	√		√

√:İncelenen balatanın içinde bulunduğu anlamındadır.

Ticari balatalarda kullanılan dolgu takviye edici ve sürtünme düzenleyici malzemelerin neler oldukları belirlenmiştir. İncelenen ticari balataların tamamında çelik fiber, BaSO₄ ve karbon mevcuttur. Uçucu kül katkısına rastlanmamıştır. Bu ticari balatalar üzerine yapılan test sonuçları toplu halde Çizelge 3. 3 ve Çizelge 3. 4’de verilmiştir. Ticari balataların ayrıntılı sürtünme aşınma test sonuçları **EK-2’**de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Ticari balataların sürtünme, sertlik, basma e. modül sonuçları

Balata	Sürtünme Katsayısı		Tür (TS 555)		Aşınma (%)		Sertlik (HRR)	Basma Elastisite Modülü (MPa)
	Normal	Sıcak	Normal	Sıcak	Kütle	Kalınlık		
Bremskerl®	0,467	0,491	G	G	17,4	15,7	65	316
Futuris®	0,467	0,448	G	F	14,60	16,00	55	321
Frenoplast®	0,533	0,472	G	G	27,2	16,30	-	-
Becorit®	0,593	0,529	G	G	28,8	26,50	-	-

Çizelge 3. 4 Ticari balataların yoğunluk, yanma kaybı testlerinin sonuçları

Ticari Balata	Yoğunluk (g/cm³)	Yanma Kaybı (%)	Asetonda Çözünen Madde Miktarı (%)
Bremskerl®	2,08	25,84	1,65
Futuris®	2,3	26,26	2,2

Sertlik, kalınlaşma, genleşme, yanma kaybı, yoğunluk ve eğilme dayanımı TS 555'e [52] ve onun öngördüğü standartlara; iç kesme dayanımı TS 9073'e [31]; su, tuzlu su, yağ sıvılarına dayanım TS 9075'e [53], asetonda çözünen madde miktarı ve basma elastisite modülü TS 12465'e [45], sürtünme ve aşınma değerleri SAE J661'e [60] göre belirlenmiştir.

3.2 Uçucu Kül Analizleri

Ülkemizdeki Tunçbilek, Yatağan, Çatalağzı, Seyitömer, Orhaneli, Çayırhan, Kemerköy, Afşin Elbistan A, Soma ve Yeniköy termik santrallerinden Ocak 2011 ve Haziran 2011'de temin edilen uçucu küller analiz edilmiştir. Analizler XRF cihazı ile YTÜ'de ve TÜBİTAK MAM'da yapılmıştır. Çizelge 3. 5'de Ocak 2011'de yapılan analiz sonuçları 0111 koduyla, Çizelge 3. 6'da ve Çizelge 3. 7'de Haziran 2011'de yapılanlar 0611 koduyla verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Ocak 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri

Bileşen (%)	Tunçbilek 0111	Yatağan 0111	Çatalağzı 0111	Seyitömer 0111	Orhaneli 0111
SiO₂	59	48,8	56,3	58,1	51,7
Al₂O₃	22	22,8	27,3	19	26,5
Fe₂O₃	9,51	7	6,91	10,56	10,34
CaO	2,52	14,3	2,13	3,46	4,15
MgO	3,5	2	2	4,2	2,5
K₂O	1,47	2,06	3,8	1,2	2,07
Na₂O	-	-	-	1	1
TiO₂	0,86	0,81	1,14	0,74	0,68
SO₃	0,52	1,6	0,22	0,59	0,54
PbO	-	0,2	-	0,2	0,3
ZnO	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
CuO	0,03	0,02	0,03	0,036	0,03
Cr₂O₃	0,13	0,052	0,05	0,16	0,084
NiO	0,19	-	0,02	0,24	0,093
MnO	0,15	0,06	0,085	0,05	0,065
S+A+F	90,51	78,6	90,51	87,66	88,54

Çizelge 3. 6 Haziran 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri

Bileşen (%)	Tunçbilek 0611	Yatağan 0611	Çatalağzı 0611	Seyitömer 0611	Orhaneli 0611
SiO ₂	55,01	42,77	53,84	52,26	54
Al ₂ O ₃	20,99	19,9	28,66	20,33	28,7
Fe ₂ O ₃	10,23	6,97	6,09	10,12	9,05
CaO	2,63	18,53	1,6	4,69	4,04
MgO	5,02	3,45	2,69	6,01	-
K ₂ O	1,79	2,28	4,21	1,97	2,1
Na ₂ O	0,14	0,36	0,31	0,42	-
TiO ₂	0,59	0,55	0,86	0,51	0,55
SO ₃	2,06	4,32	0,69	2,7	1,1
PbO	0,01	0,12	0,02	0,01	-
ZnO	0,03	0,02	0,02	0,02	-
CuO	0,03	0,02	0,02	0,02	-
Cr ₂ O ₃	0,13	0,03	0,02	0,1	0,049
NiO	0,24	0,02	0,02	0,19	0,03
MnO	0,18	0,06	0,08	0,09	0,04
S+A+F	86,23	69,64	88,59	82,71	91,75

Çizelge 3. 7 Haziran 2011’de temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri

Bileşen (%)	Çayırhan 0611	Kemerköy 0611	Afşin-El. A 0611	Soma 0611	Yeniköy 0611
SiO ₂	49,68	27,39	26,27	46	29
Al ₂ O ₃	14,09	15,57	12,87	24,4	15,5
Fe ₂ O ₃	6,99	5,39	6,55	3,83	4,1
CaO	12,73	30,04	32,04	19,5	35,2
MgO	6,52	2,43	3,25	-	-
K ₂ O	2,38	1,9	0,85	1	1,03
Na ₂ O	1,8	0,42	0,17		
TiO ₂	0,38	0,46	0,56	0,55	0,52
SO ₃	3,77	15,51	16,23	2,5	12,5
PbO	0,02	0,02	-	-	-
ZnO	0,01	0,02	0,02	-	-
CuO	0,05	0,01	0,01	-	-
Cr ₂ O ₃	0,04	0,03	0,08	0,03	0,049
NiO	0,05	0,02	0,03	-	-
MnO	0,09	0,03	0,04	0,04	0,106
S+A+F	70,76	48,35	45,69	74,23	48,6

Ocak 2011 ve Haziran 2011 tarihlerinde aynı termik santralden alınan uçucu küllerin analizlerinde önemli bir farklılık yoktur. YTÜ’de yapılan XRF sonuçları ile TÜBİTAK MAM’da yapılan yarı kantitatif analiz sonuçları birbirleri ile uyumludur. Yeniköy, Afşin Elbistan A, Kemerköy termik santrallerine ait uçucu küller C sınıfıdır. Diğerleri F sınıfıdır. Uçucu küllerin özgül ağırlık, ortalama tane boyutu, yüzey alanı, por hacmi değerleri Çizelge 3. 8 ve Çizelge 3. 9’da verilmiştir.

Çizelge 3. 8 Uçucu küllerin özgül ağırlık, tane boyutu, yüzey alanı özellikleri

Bileşen (%)	Tunçbilek 0611	Yatağan 0611	Çatalağzı 0611	Seyitömer 0611	Orhaneli 0611
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,17	2,94	2,13	1,69	1,69
Ortalama Tane Boyutu (µm)	30,501	96,103	63,942	166,399	142,725
Yüzey Alanı (m ² /g)	2,022	1,655	1,706	11,985	6,709
Por Hacmi (cm ³ /g)	0,001	0,001	0,001	0,013	0,005

Çizelge 3. 9 Uçucu küllerin özgül ağırlık, ortalama tane ve yüzey alanı özellikleri

Bileşen (%)	Çayırhan 0611	Kemerköy 0611	Afşin-El. A 0611	Soma 0611	Yeniköy 0611
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,56	2,63	2,38	2,44	3,03
Ortalama Tane Boyutu (µm)	43,208	57,638	154,722	159,55	68,011
Yüzey Alanı (m ² /g)	1,988	0,694	4,638	3,731	1,308
Por Hacmi (cm ³ /g)	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004

Uçucu küller üzerinde yapılan diğer bir analiz TGA/DTA ve DSC analizleridir. Bu analizlerin ayrıntı sonuçları **EK-3'**de verilmiştir. Yatağan, Tunçbilek, Kemerköy, Çatalağzı, Afşin Elbistan A, külleri üzerinde yapılmıştır. Bu küllerin seçilme nedeni Çatalağzı'nın taşkömürü kullanması,

Kemerköy ve Afşin Elbistan A'nın C sınıfı, Tunçbilek ve Yatağan'ın F sınıfı uçucu küllere örnek teşkil etmesidir.

Organik esaslı kompozit fren balatalarında maksimum sıcaklık 400 °C olarak verilmektedir. DTA eğrilerinden 400 °C'nin altında ekzotermik ya da endotermik bir reaksiyon görülmemektedir. Benzer şekilde TGA eğrilerinde önemli bir kütle kaybı yoktur.

Ayrıca Seyitömer, Çatalağzı, Tunçbilek, Orhaneli ve Yatağan Termik Santralleri'nden temin edilen küllerin toz tane şeklinin belirlenmesi amacı ile SEM görüntüleri çekilmiştir. Buna göre Seyitömer'e ait küllerin toz tane şekli düzensizken, diğer santrallerinkinin (az miktarda düzensiz şekilde partiküller içerse de) genel olarak küresel olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Seyirömer'e ait küllerin daha büyük boyutta olduğu ve topaklanmadığı görülmektedir. SEM görüntüleri **EK-4'**de verilmiştir.

3.2.1 Kullanılacak Uçucu Kül tiplerinin Belirlenmesi Çalışmaları

İncelenen literatür ışığında Çizelge 3. 10'de belirlenen kompozisyon ve üretim şartları sabit tutularak temin edilen tüm uçucu kül örneklerinden numuneler üretilip bunların yanma kaybı, sertlik, yoğunluk, basma elastisite modülü, kesme dayanımı ve sıvılara dayanım testleri yapılmıştır.

Çizelge 3. 10 Uçucu kül, kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon

Bileşen	Kütle Oranı (Ağırlıkça %)
Bağlayıcı Fenolik reçine	15
Fiber Kaya yünü, aramid pulp	20
Dolgu Uçucu kül	65

Numunelerin üretimi sırasıyla karıştırma, sıcak kalıplama ve kütleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numune üretimi için Frentek firmasından temin edilen fenolik reçine kullanılmıştır.

Üretim parametreleri 125 °C'de 35 MPa basınçta 10 dakika kalıplama ve ardından 180 °C'de 4 saat kürlenmiştir. Test sonuçları Çizelge 3. 11'da verilmiştir.

Çizelge 3. 11 125 °C'de 35 MPa basınçta 10 dakika süre ile kalıplanmış numuneler

Külün Temin Edildiği Termik Santral	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)
			Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda		
Catalağzı	101	1,62	28	14	29	10	505	24
Catalağzı*	102	1,59	20	23	45	22	491	24
Tunçbilek	97	1,81	26	16	32	43	492	24
Tunçbilek*	102	1,72	32	29	31	28	505	24
Yatağan	99	1,71	34	24	16	27	491	24
Yatağan*	96	1,71	34	25	35	39	552	24
Orhaneli	94	1,64	25	25	21	27	536	24
Orhaneli*	103	1,60	34	29	37	51	491	24
Çayırhan	98	1,83	42	32	22	45	491	24
Çayırhan*	109	1,79	36	34	40	44	505	23
Kemerköy	106	1,88	34	39	17	43	536	24
Kemerköy*	108	1,83	42	45	29	37	505	23
Afşin-Elb. A	99	1,79	51	14	21	46	536	27
Afşin-Elb. A*	99	1,77	29	25	24	37	505	24
Soma	98	1,68	28	19	10	37	552	23
Soma*	97	1,64	24	28	10	26	536	23
Yeniköy	108	1,92	24	26	15	48	552	23
Yeniköy*	107	1,86	36	44	43	58	505	23

*180 C'de 4 saat kürlenmiş

Afşin-Elbistan A (155 µm) ve Soma (160 µm) termik santrallerinden elde edilen uçucu küller ortalama tane boyutu büyüklüğünün fazla olması nedeniyle diğer balata bileşenleri ile

homojen olarak karıştırılamamaktadır. Ayrıca aynı sebepten Seyitömer (166 µm) santralinden temin edilen köllerden numune üretilmemiştir.

Çizelge 3. 12 Çalışmalarda kullanılmak üzere seçilen F ve C sınıfı kül tipleri

F Sınıfı Köller	
Çatalağzı	Taş Kömürü, Düşük CaO içeriği (%1,6)
Tunçbilek	Linyit, Düşük CaO içeriği (%2,63)
Yatağan	Linyit, Orta CaO içeriği (%18,53)
Çayırhan	Linyit, Orta CaO içeriği (%12,73)
C Sınıfı Köller	
Kemerköy	Linyit, Yüksek CaO içeriği (%30,04)
Yeniköy	Linyit, Yüksek CaO içeriği (%35,2)

3.2.2 Kullanılacak Reçinenin Seçimi Amaçlı Yapılan Çalışmalar

Fenolik reçinelerden Çizelge 3. 10'de belirtilen kompozisyonlarda Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü kullanılarak numuneler üretilip asetonda çözünme testine tabi tutulmuştur. Asetonda çözülen madde miktarı test sonuçları Çizelge 3. 13'dedir.

Çizelge 3. 13 Reçinelerin asetonda çözünen madde miktarlarının karşılaştırılması

Reçine Kodu	Kalıplama Sıcaklığı (°C)	Kalıplama Süresi	Asetonda Çözünen Madde Miktarı (%)
Fers F129® (Ticari marka)	125	10 dak.	2,84
	180		1,38
Fers FB8109® (Ticari marka)	125		3,85
	180		1,62
Frentek® temin edilen ticari fenolik reçine	125		3,00
	180		1,62

Asetonda çözülen madde miktarı en düşük F129 kodlu reçine bulunmuştur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu tipin kullanılması kararlaştırılmıştır.

F129 kodlu reçinenin optimum kalıplama ve kür şartlarını belirlemek amacıyla 125-180 °C sıcaklık, 25-35 MPa basınç aralığı ve kürleme işlemlerinin asetonda çözünen madde miktarına etkisi araştırılmıştır.

Çizelge 3. 14 F129 reçinesinin asetonda çözünen madde miktarının belirlenmesi

Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Kalıplama Süresi (dak)	Kürleme	Asetonda Çözünen Madde Miktarı (%)
180	35	10	-	1,38
180	25		-	1,97
180	25		180 °C, 4 saat	1,43
125	35		-	2,84
125	35		180 °C, 4 saat	1,30

Çizelge 3. 14’de belirtilen sonuçlar yüksek sıcaklık-düşük basınç ya da düşük sıcaklık-yüksek basınç ve sonrasında kürleme işlemlerinin asetonda çözünen madde miktarının en aza indirilebildiğini göstermektedir. Üretilen numunelerde şartlar sabit olarak kalmak üzere 180 °C ve 25 MPa basınçta 10 dakika süre ile sıcak kalıplama ve ardından 180 °C’de 4 saat kürleme şartları seçilmiştir.

3.2.3 Formülasyon Çalışmaları ve Üretilen Numunelerin Testleri

Çizelge 3. 12’da seçilen küller Çizelge 3. 10’de belirtilen formülasyonda denenerek sürtünme-aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Testler SAE J661 standardına göre yapılmıştır. Test sonuçları Çizelge 3. 15’de verilmiştir.

Çizelge 3. 15 Numunelere ait sürtünme-aşınma test sonuçları

Numune Kodu	Külün Temin Edildiği Termik Santral	Sürtünme Katsayısı		TS 555'e Göre Türü		Aşınma (%)	
		Normal	Sıcak	Normal	Sıcak	Kütle(mm)	Kalınlık (g)
CAK	Çatalağzı	0,57	0,535	H	G	23,59	22,31
CAK-X*		0,566	0,512	H	G	24,96	23,19
TAK	Tunçbilek	0,625	0,547	H	G	19,85	18,66
TAK-X*		0,665	0,569	H	H	19,88	18,35
YAK	Yatağan	0,592	0,459	H	G	18,23	17,19
YAK-X*		0,592	0,471	H	G	15,97	15,45
CaAK	Çayırhan	0,596	0,441	H	F	21,97	19,51
CaAK-X*		0,639	0,468	H	G	20,91	19,59
KAK	Kemerköy	0,596	0,585	H	H	13,36	14,13
KAK-X*		0,629	0,574	H	H	13,53	12,83
YeAK	Yeniköy	0,588	0,535	H	G	9,50	8,98
YeAK-X*		0,577	0,566	H	H	11,73	11,15

*180 C'de 4 saat kürlenmiş

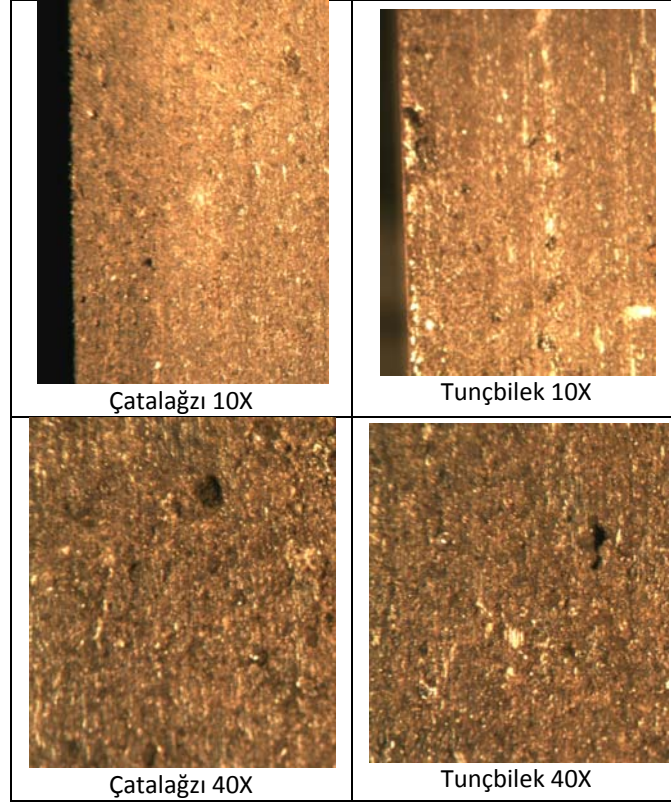
Bu numunelere ayrıca sertlik, basma elastisite modülü, kesme dayanımı, sıvılara dayanım, yoğunluk ve yanma kaybı testleri uygulanmıştır. Çizelge 3. 16'de bu testlerin sonuçlarını göstermektedir.

Sertlik, yanma kaybı ve yoğunluk TS 555'e [52]; iç kesme dayanımı TS 9073'e [31]; su, tuzlu su, yağ sıvılarına dayanım TS 9075'e [53], asetonda çözünen madde miktarı ve basma elastisite modülü TS 12465'e [45] göre belirlenmiştir.

Çizelge 3. 16 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri

Numune Kodu	Külün Temin Edildiği Termik Santral	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)
				Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda		
CAK	Çatalağzı	106	1,64	34	28	36	31	442	23
CAK-X*		108	1,63	44	42	36	47	430	22
TAK	Tunçbilek	96	1,77	32	20	39	49	411	24
TAK-X*		108	1,78	38	34	31	38	421	25
YAK	Yatağan	106	1,77	50	27	27	39	442	22
YAK-X*		105	1,78	30	42	43	45	411	21
CaAK	Çayırhan	106	1,77	36	34	37	39	421	23
CaAK-X*		110	1,76	42	30	46	40	421	23
KAK	Kemerköy	105	1,84	45	34	30	63	491	24
KAK-X*		110	1,83	45	37	45	41	505	24
YeAK	Yeniköy	106	1,9	39	39	27	50	442	21
YeAK-X*		111	1,89	44	45	22	59	389	21

*180 C'de 4 saat kürlenmiş



Şekil 3. 1 Çatalağzı ve Tunçbilek numunelerin aşınma yüzey görüntüleri

Çizelge 3. 15'deki aşınma değerlerinin yüksek çıkması nedeniyle uçucu külden farklı bir dolgu olarak $BaSO_4$ kullanılarak bu durumun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Proses şartları, 180 °C sıcaklık, 25 MPa basınçta 10 dakika kalıplama ve bazı numunelerde ise 180 °C'de 4 saat kürlemedir.

Çizelge 3. 17 Uçucu kül, $BaSO_4$, kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon

Bileşen	Kütle Oranı (%)
Bağlayıcı Fenolik reçine	15
Fiber Kaya yünü, aramid pulp	20
Dolgu Uçucu kül, $BaSO_4$	65

Çatalağzı ve Yatağan santrallerinden elde edilen uçucu kül ve $BaSO_4$ katkılı numunelerin mekanik test sonuçları Çizelge 3. 18'da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 18 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri

Numune Kodu	Külün Temin Edildiği Termik Santral	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı MPa				Basma Elastisite Modülü (Mpa)	Yanma Kaybı (%)
				Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda		
CBAK	Çatalağzı	110	2,18	51	33	32	40	465	29
CBAK-X*		118	2,1	47	38	43	37	631	29
YBAK	Yatağan	115	2,3	47	49	39	50	589	26
YBAK-X*		117	2,18	44	64	39	34	631	25

*180 C'de 4 saat kürlenmiş

BaSO₄ katkılı numunelerin sertlik ve sürtünme katsayısının yüksek olması nedeniyle sürtünme-aşınma testi gerçekleştirilememiştir.

Farklı bir çalışma olarak sürtünme düzenleyici içeren bir formülasyon oluşturulmuştur. %5 petrokok içeriğinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Petrokoklu kompozisyon Çizelge 3. 19'de verilmiştir. Mekanik testleri sonuçları Çizelge 3. 20'dedir.

Çizelge 3. 19 Uçucu kül, petrokok, kaya yünü, aramid ve reçine içeren kompozisyon

Bileşen	Kütle Oranı (%)
Bağlayıcı Fenolik reçine	15
Fiber Kaya yünü, aramid pulp	20
Dolgu Uçucu kül	60
Sürtünme Düzenleyici Petrokok	5

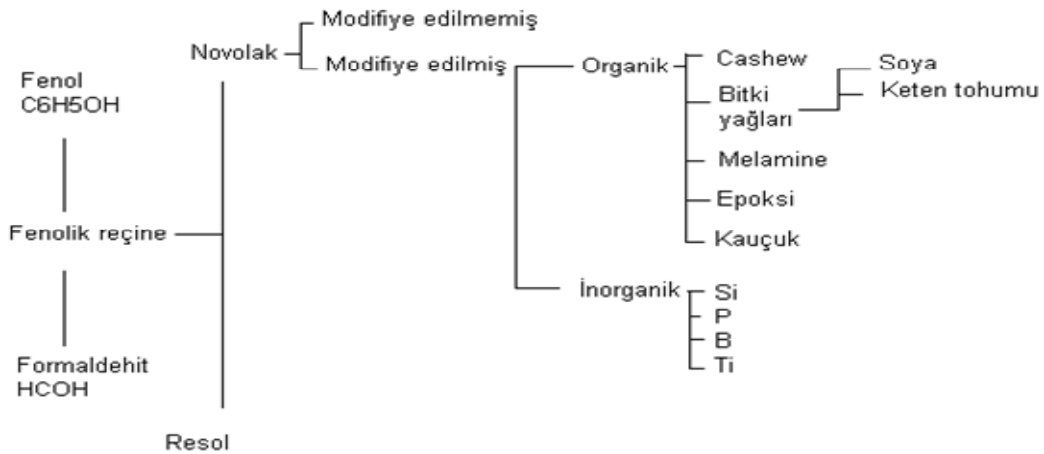
Çizelge 3. 20 Sertlik, yoğunluk, iç kesme dayanımı ve yanma kaybı değerleri

Numune Kodu	Külün Temin Edildiği Termik Santral	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)
				Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda		
CAKP	Çatalağzı	106	1,83	32	35	32	35	520	29
CAKP-X*		107	1,82	44	39	34	34	552	32
YAKP	Yatağan	98	1,78	43	51	34	39	491	26
YAKP-X*		102	1,71	48	36	50	38	570	26

*180 C'de 4 saat kürlenmiş

3.3 Fenolik Reçinelerin Elde Edilmesi

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 [50].



Şekil 3. 2 Fenolik reçine eldesi [1]

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 dayanıklılıklarını 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 [51], [63], [64].

Frenleme esnasında ortaya çıkan ısı sürtünme yüzeyinde bağlayıcı reçinenin camsı 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 [2], [65].

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 [41].

Fenolik reçine termoset bir polimerik malzeme olduğundan uygulanan kür işleminden sonra fren balatası malzemesinin sertliğini artırır. Sürtünme katsayısı fenolik reçine oranının artmasıyla azalmaktadır. Fenolik reçine sıcak kalıplama esnasında sürtünme malzemesi içindeki gözenekleri doldurduğundan porozite miktarını azaltır [21], [23], [66], [67].

3.3.1 Novolak Reçine

Formaldehit'in Fenol'e eklenmesiyle oluşan bir reçine türüdür. Katalizörü inorganik asitler veya kuvvetli organik asitlerdir. Fenol- Formaldehit mol karışım oranları: $(1:<1) \Rightarrow 1:0,4-0,9$ Novolaklar genellikle katı formdadır yumuşama noktaları $40-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Mol ağırlığı $250-900\text{ g/mol}$, $= 3 - 9$ Fenol ünitesi. Novolaklar ısıyla sertleşmez, sertleşmesi için “hegza metilen tetra amin” ilave edilmesi gerekmektedir [41].

3.3.2 Resol Reçine

Bazık ortamda Fenol'e Formaldehit'in eklenmesiyle oluşan bir reçine türüdür. Katalizörleri LiOH, NaOH, KOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vb. Fenol : Formaldehit'in mol karışım oranları: $(1:>1) \Rightarrow 1:1-3$ Resol'ler deki “Metilol grupları” oda sıcaklığında bile belirli bir oranda yavaş yavaş ısıyla

sertleşmektedir, yani birbiriyle reaksiyona girmektedir, dolayısıyla bu tür ürünlerin başlıca belirli bir raf ömrü vardır [41].

Şekil 3. 3’de görülen ve laboratuvar ortamında sentezlenen reçinelerden 4 formülasyon geliştirilmiştir. Sentezlenen reçinelerin Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spektrumları Şekil 3. 4’deki Shimadzu IR Prestige21 marka cihazla elde edilmiştir.



Şekil 3. 3 Laboratuvar ortamında sentezlenen reçine

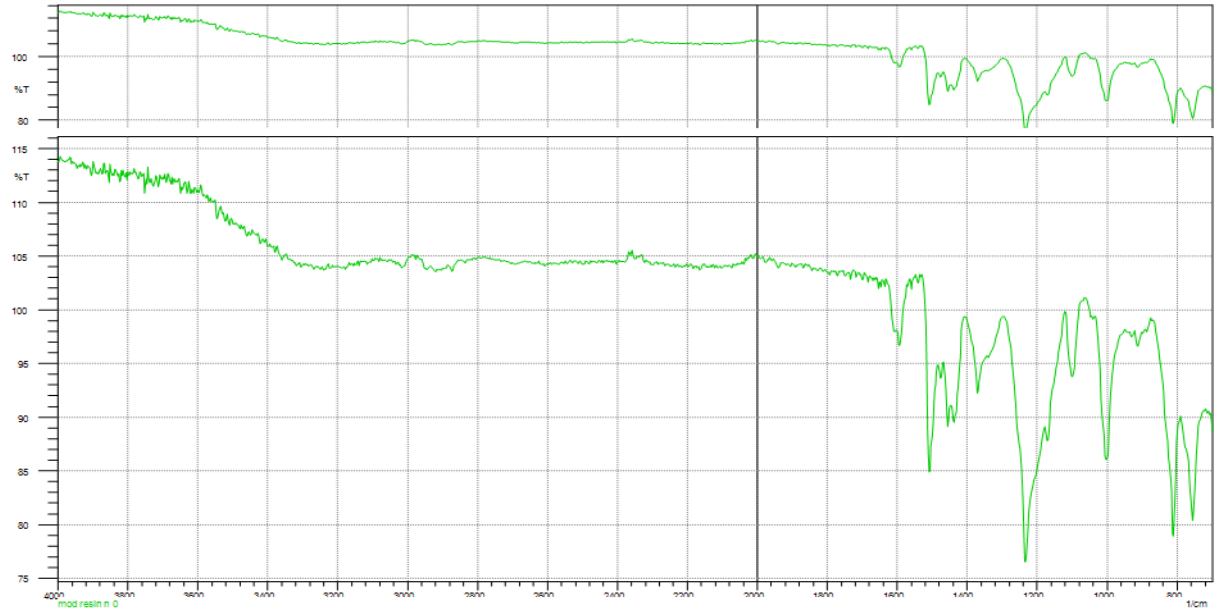


Şekil 3. 4 Shimadzu IR Prestige21 FTIR cihazı

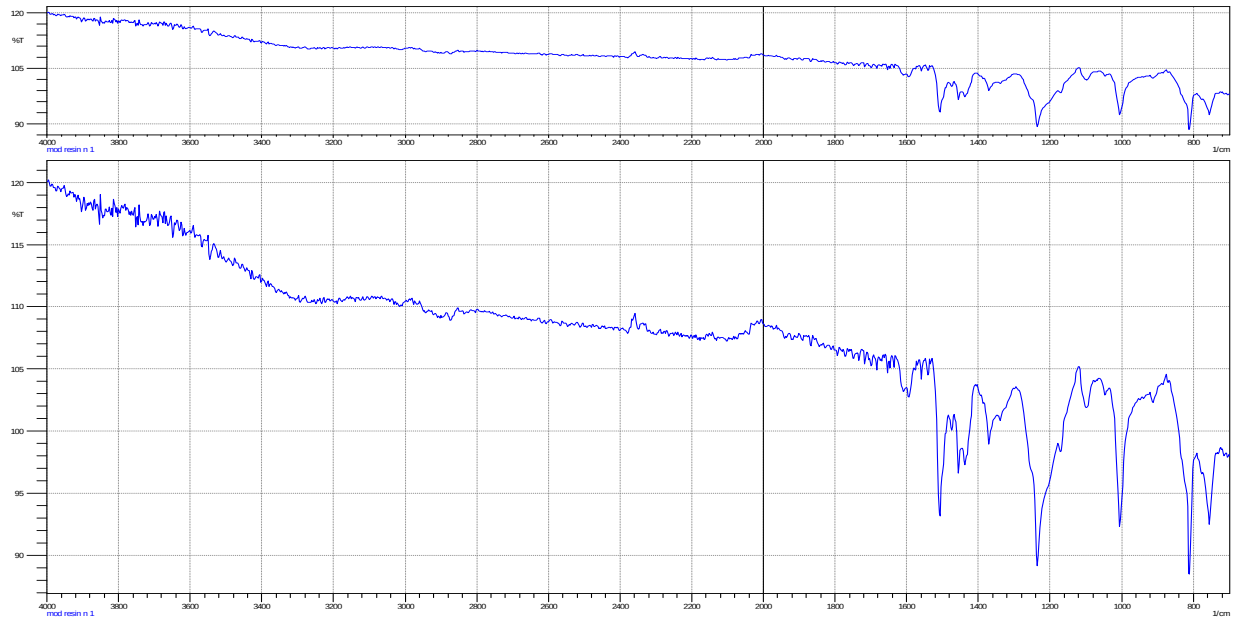
Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir; IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Matematiksel Fourier dönüşümü spektroskopisinde ışıma şiddeti, zamanın bir fonksiyonu olarak alınır. Her dalga boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilir. FTIR matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga

sayısını ölçen bir kimyasal analitik yöntemdir. FTIR Spektrum Cihazı organik bileşiklerin tanımlanmasında kullanılır. Çeşitli organik moleküller için Fourier Dönüşümlü Infrared Spektroskopisi ile fonksiyonel grup analizi gerçekleştirilir. Optik izomerler dışında bütün bileşiklerin IR spektrumu birbirinden farklıdır. IR bölgesi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi ile mikro dalga bölgesi arasında yer alır. Bu bölge $4000-450\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu arasındadır. IR spektrumu organik maddenin strüktürü ile ilgili direkt bilgiler sağlar. Bir molekülün infrared ışımasını absorplayabilmesi için dipol momentinde net bir değişim olması gerekmektedir. Molekülün üzerine gönderilen infrared ışığının frekansı, molekülün titreşim frekansına eşit olduğu zaman ancak bir absorpsiyon söz konusu olabilir. $\text{O}_2, \text{N}_2, \text{Cl}_2$ gibi homonükleer moleküllerde titreşim ve dönme hareketleri sırasında net bir dipol moment değişimi olmadığı için bu moleküller infrared ışığını absorplayamazlar. IR spektroskopisinde, amaç herhangi bir bileşiğin yapısı hakkında bilgi sahibi olmak veya yapısındaki değişiklikleri incelemektir. Bileşiğin alınan IR spektrumu ile yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri, yapının aromatik veya alifatik olduğuna dair bir bilgi edinmektir [55].

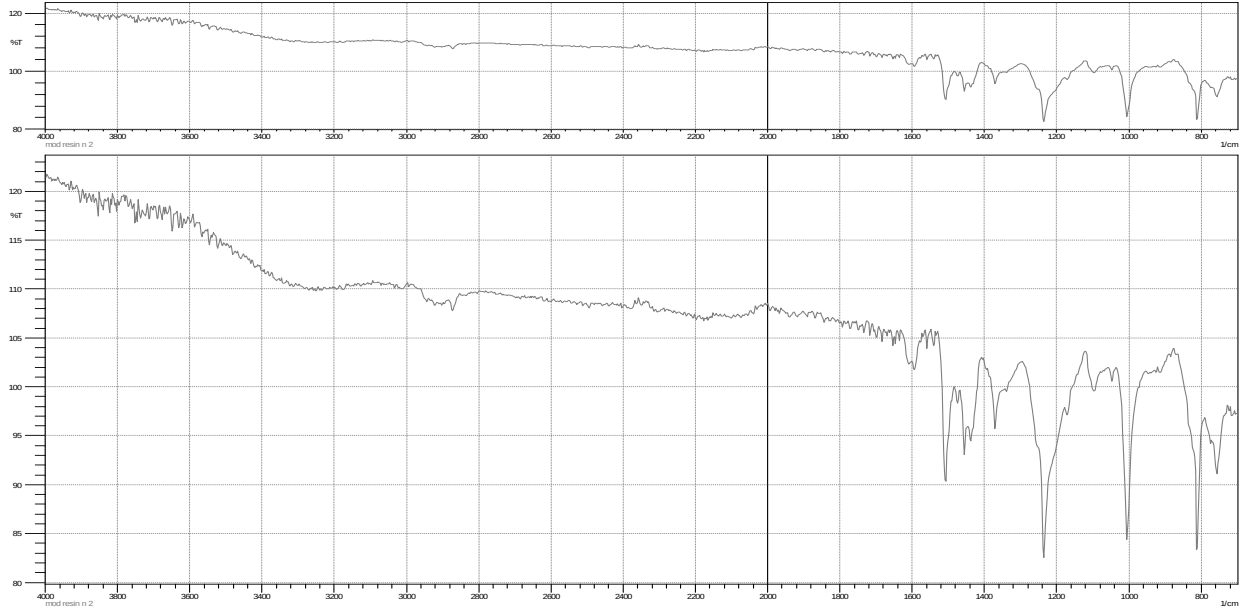
Demiryolu balataları için laboratuvar ortamında reçine sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada reçinenin saf halini, modifiye etmeden önceki halini, değerlendirmek için yapılmış bir reçinedir. Bu geliştirilen reçine türü iki aşamadan oluşan bir reçine türüdür. Birinci aşamada novolak türü reçine sentezlenmiştir, ikinci aşamada reçine resol tipi bir reçineye dönüştürülmüştür. Laboratuvar ortamında sentezlenen modifiye reçinelerin birbirinden farkı içerdikleri artan miktardaki poliol oranlarıdır. Laboratuvar ortamında sentezlenen modifiye reçinelere ait FTIR spektrumları Şekil 3. 5, Şekil 3. 6, Şekil 3. 7, Şekil 3. 8’de ve hepsinin tek spektrumda olduğu görüldü Şekil 3. 9’dadır. Sentezlenen reçinelerin birbirinden farkı oransal olarak değişmesidir.



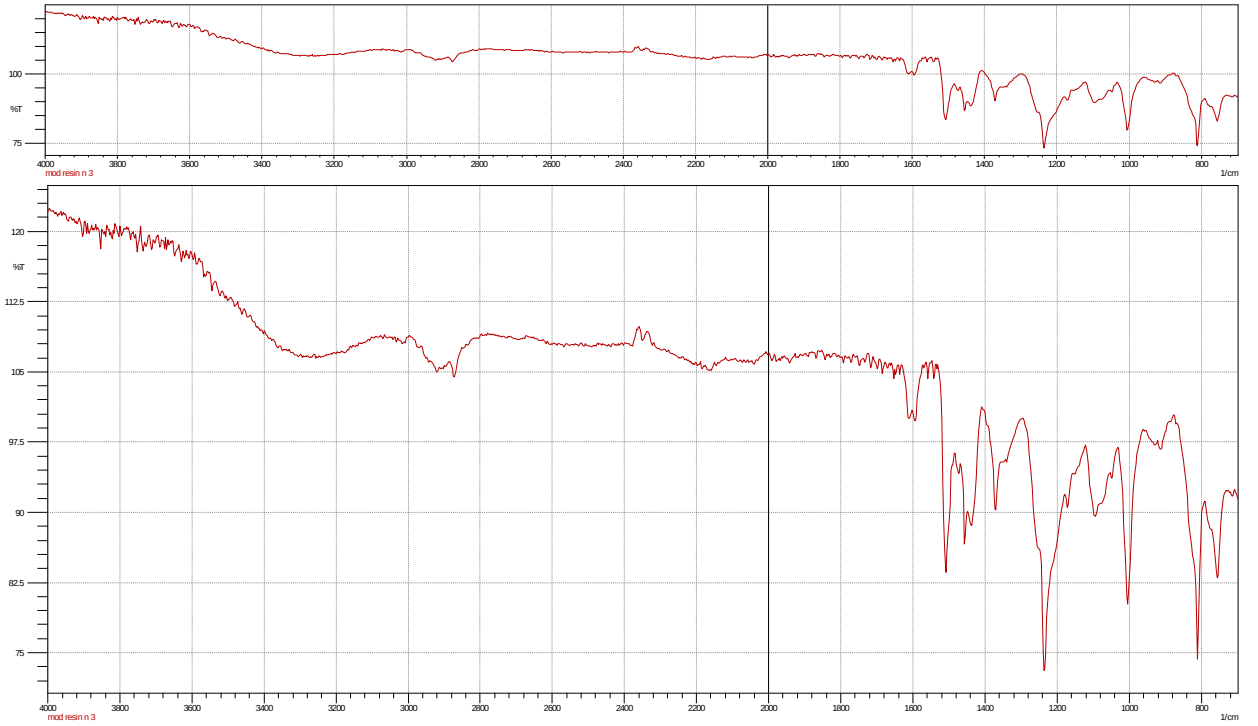
Şekil 3. 5 Sıfır (0) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu



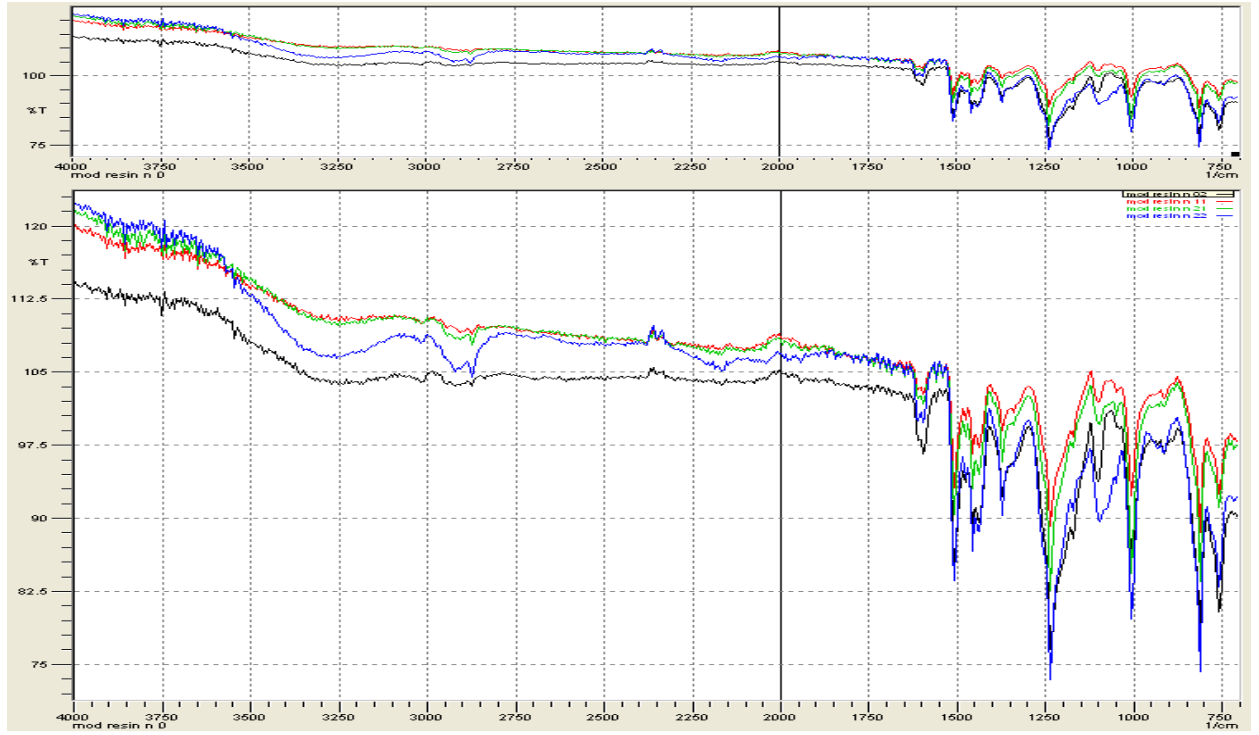
Şekil 3. 6 Bir (1) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu



Şekil 3. 7 İki (2) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu



Şekil 3. 8 Üç (3) kodlu modifiye reçine numunenin FTIR spektrumu



Şekil 3. 9 Bütün modifiye reçinelerin birlikte olduğu FTIR spektrumu

3.4 Deneyde Kullanılan Kompozisyonun Hazırlanması

Fren balatasının özelliklerinin sağlanması açısından homojen 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 malzemeler aşağıda verilmiştir.

Fenolik reçine, Aramid, Barit, Uçucu kül, Sürtünme düzenleyiciler, Lastik tozu, Demir tozu, Karbon, Grafit, Petrokok, Cam elyaf, Magnezyum oksit, Kalsiyum hidroksit, Kalsiyum karbonat, Vermikulit, Seramik elyaf, Toz kauçuk nbr, Pan fiber, Zirkonyum silikat

Hazırlanan bütün kompozisyonlarda yukarıdaki bileşenlerden bazıları kullanılmıştır. Kullanılan bütün bileşenlerin karıştırma işlemi bir metal kap içerisinde ve özel karıştırıcı uç ile Şekil 3. 10'daki mikserle yapıldı.



Şekil 3. 10 Laboratuar tipi karıştırıcı mikser

Formülasyonu oluşturan bileşenler belirli bir sıra ile kaba konarak en yüksek devirde 15 - 30 dakika karıştırma işlemi yapılmıştır.

3.5 Toz karışımların Sıcak Preste (citopress-10) Üretimi

Deneysel çalışmalarda sıcak presleme işlemi için Şekil 3. 11' daki "citopress-10®" cihazı kullanıldı ve kür işlemi içinde Şekil 3. 12'daki hava sirkülasyonlu etüv kullanıldı.



Şekil 3. 11 Laboratuvar tipi sıcak pres (citopress-10)



Şekil 3. 12 Laboratuvar tipi etüv

Nunumuler toz halde üretildikten sonra 180 °C 10 dakika ve 250 barda pişirilme işlemi yapılmıştır. Ayrıca başka bir proses şartı olan 150 °C 10 dak ve 150 barda pişirilen işlemlere 200 °C de kür işlemi uygulanmıştır. 180 °C 10 dakika ve 250 barda pişirme prosesi daha seri ve ekonomiktir.

3.6 Ticari Balataların Termoliz İşlemi

Kompozit balata 10 ila 20 adet bileşen malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzelerin bazıları organik bazılarıda inorganiktir. Organik ve organik madde miktarı bulmak için TCDD'den temin edilen Bremskerl® ve Futuris® marka balatalara termoliz işlemi uygulanmıştır. Bu işlem 475 °C de yaklaşık 3 saat ve 650 °C 6 saat fırın içerinden oksijenli yanma sonucu balatalardan organik kısmı uzaklaştırılmıştır. İlk ve son tartım değerleri ölçülerek % olarak organik ve inorganik madde miktarı hesaplanmıştır. Futuris® marka balatada bu değer 475 °C 3 saat beklemede % 22.7 kayıp ve 650 °C 6 saat de % 4,94 kayıp meydana gelmiştir. Bremskerl marka balatada 475 °C 3 saat beklemede % 29 kayıp

olurken 650 °C 6 saat de % 0 kayıp meydana gelmiştir. Bu oranların farklı olması tamamen kullanılan balatalardaki bileşenlerden kaynaklıdır. Bu değerler baz alınarak deneysel çalışmada oluşturulacak formülasyonların organik ve inorganik madde oranları belirlenmiştir. Termoliz sonrası Bremskerl® ve Futuris® marka ticari balataların termoliz sonrası fotoğrafları Şekil 3. 13’ de görülmektedir.

Bremskerl® ve Futuris® marka balataların balataların bileşimleri için SEM-EDS sistemi ile analizler yapılmış, bileşimlerinde olabilecek katkı maddeleri ile bu balatalara ait yoğunluk, yanma kaybı, asetonda çözünen madde miktarı, sertlik, basma elastisite modülü, sürtünme katsayısı ve aşınma değerleri ölçülerek Çizelge 3. 2, Çizelge 3. 3 ve Çizelge 3. 4’de belirtilmiştir.



Şekil 3. 13 Bremskerl® ve Futuris® marka balataların termoliz sonrası fotoğrafları

3.7 Yoğunluk ölçümü

Bremskerl® ve Futuris® marka balataların yoğunlukları ölçülmüştür [45]. Futuris® marka balatanın yoğunluğu ortalama 2,3 g/cm³ iken Bremskerl®’de bu oran ortalama 2,08-2,3 g/cm³ olarak bulunmuştur. Hedef olarak uçucu katkılı demiryollar balatalarında bu oranlar göz önüne alınacaktır.

3.8 SEM ve EDS analizleri

Termoliz öncesi ve termoliz sonrası Bremskerl® ve Futuris® marka balatalara hem Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde hem de TÜBİTAK MAM’da yapılan testlerin ayrıntılı sonuçları **EK-1’**de verilmiştir.



Şekil 3. 14 TÜBİTAK MAM Jeol 6535f model taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.9 Formülasyon Çalışmaları ve Sürtünme Aşınma Testleri

Termoliz ve bileşim analizleri ile literatür verilerine dayalı olarak formülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Demiryolu disk fren balata numunelerinin üretiminde uçucu kül katkısı olarak Orhaneli Termik Santrali'ninki kullanılmıştır. Reçine tipi fenol formaldehit tipi Fers marka F129'dur. Oluşturulan formülasyonlar Çizelge 3. 21'de ve üretilen numunelerin resimleri Şekil 3. 15'dedir.

Çizelge 3. 21 Demiryolu fren balata numuneleri için oluşturulan kompozisyonlar

Bileşen	Kütle Oranı %			
	F1	F2	F3	F4
Bağlayıcı Fenolik reçine	18	18	17	15
Fiber Cam fiber, aramid pulp	9	6	6	6
Dolgu Uçucu kül, BaSO ₄ , CaCO ₃	51	57	62	63
Sürtünme Düzenleyici (Petrokok, grafit)	22	19	15	16



Şekil 3. 15 Demiryolu fren balata numunelerinin fotoğrafları

Demiryolu fren balata numuneleri ile ilgili yapılan çalışmalarda iki tip üretim proses şartı denenmiştir. Bunlardan biri 180 °C'de 25 MPa basınçta 10 dakika kalıplama; diğeri ise 150 °C'de 15 MPa basınçta 10 dakika kalıplama ve akabinde 200 °C'de 20 saat kürlleme işlemleridir. Bu iki ayrı şartta üretilen numunelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal test sonuçları Çizelge 3. 22 ve Çizelge 3. 23'de belirtilmiştir.

Çizelge 3. 22 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 kürlleme şartlı numuneler

Numune Kodu	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)	Asetonda Çözünen madde miktarı (%)
			Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda			
F1	100	2,44	46	44	40	51	384	29,9	1,45
F2	101	2,31	21	23	36	31	402	32,5	1,18
F3	98	2,12	21	54	36	36	491	39,7	-
F4	100	2,15	34	70	17	26	453	41,0	-

Çizelge 3. 23 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler

Numune Kodu	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)	Asetonda Çözünen madde miktarı (%)
			Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda			
F1	114	2,61	45	41	67	57	491	29,3	2,08
F2	108	2,46	33	49	50	42	491	31,4	4,01
F3	77	2,31	44	26	30	46	411	39,0	-
F4	84	2,29	25	46	13	39	442	41,8	-

Bu iki proses şartından seri ve ekonomik olması nedeniyle 180 °C, 25 MPa basınçta 10 dakika kalıplama seçilmiştir. Bu şekilde üretilen numunelerin sürtünme-aşınma test sonuçları Çizelge 3. 24’dadır. Sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı sonuçları **EK-5’**dedir.

Çizelge 3. 24 180 °C, 25 MPa, 10 dak. üretilen numunelerin sürtünme sonuçları

Numune Kodu	Sürtünme Katsayısı		TS 555’e Göre Türü		Aşınma %	
	Normal	Sıcak	Normal	Sıcak	Kütle	Kalınlık
F1	0,392	0,412	F	F	7,39	6,57
F2	0,300	0,308	E	E	3,01	-3,24
F3	0,442	0,441	F	F	2,95	6,67
F4	0,380	0,410	F	F	3,11	-4,12

Termoliz ve bileşim analizleri ile literatür verilerine dayalı olarak formülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Demiryolu disk fren balata numunelerinin üretiminde uçucu kül katkısı olarak daha düşük aşınma değerleri sağlanan Orhaneli, Yeniköy ve Kemerköy Termik Santrali’ninki kullanılmıştır.

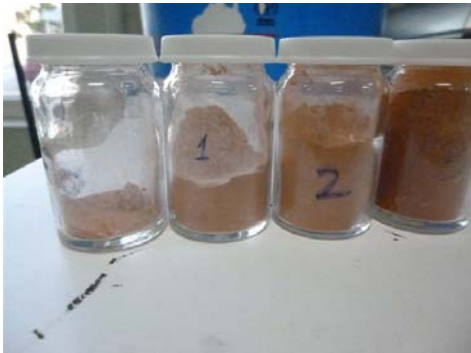
Reçine tipi fenol formaldehit tipi Fers marka F129 ve F617E7 reçine kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 3. 17’de görülen numune 0, numune 1, numune 2, numune 3 kodlu numunelerde Şekil 3. 16’deki TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü laboratuvarında sentezlenen reçineler

kullanılmıştır. Bu reçinelerin birbirinden farkı içerdikleri poliöl grubu oranlarıdır. Oluşturulan formülasyonlar Çizelge 3. 25’dedir.

Çizelge 3. 25 Demiryolu fren balata numuneleri için oluşturulan kompozisyonlar

Bileşen	Kütle Oranı %			
	Numune 0	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Bağlayıcı Fenolik reçine (Laboratuarda sentezlenen)	18	18	18	18
Fiber Cam fiber, aramid pulp vd	6	6	6	6
Dolgu (Uçucu kül, BaSO ₄ , CaCO ₃ vd)	57	57	57	57
Sürtünme Düzenleyici (Petrokok, grafit vd)	19	19	19	19

Demiryolu fren balata numuneleri ile ilgili yapılan çalışmadaki üretim proses şartı 180 °C’de 25 MPa basınçta 10 dakika kalıplamadır. Bu şartta üretilen numunelerin yoğunlukları Çizelge 3. 26’de belirtilmiştir.



Şekil 3. 16 Laboratuar ortamında hazırlanan reçineler



Şekil 3. 17 Laboratuarda sentezlenen reçine ile numunelerinin fotoğrafları

Çizelge 3. 26 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)
Numune 0	2,41
Numune 1	2,37
Numune 2	2,31
Numune 3	2,30

Bu şekilde üretilen numunelerin sürtünme-aşınma test sonuçları Çizelge 3. 27'dedir.

Çizelge 3. 27 180 °C, 25 MPa, 10 dak. numunelerin sürtünme test sonuçları

Numune Kodu	Sürtünme Katsayısı		TS 555'e Göre Türü		Aşınma (%)	
	Normal	Sıcak	Normal	Sıcak	Kütle (g)	Kalınlık (mm)
Numune 0	0,458	0,376	G	F	7,30	3,80
Numune 1	0,507	0,425	G	F	5,70	3,00
Numune 2	0,272	0,385	E	F	5,81	-16,00
Numune 3	0,315	0,310	E	E	5,1	-17,30

Numune 0,1,2,3 ait Sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı sonuçları **EK-6**'dadır.

3.10 Sürtünme Katsayısı Testleri

110R012 numaralı “Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması” isimli 1001 projesi kapsamında JF-151 sürtünme-aşınma test cihazı alınmıştır. Alınan cihaz, JIS-D 4411 standartlarına göre test yapmaktadır. 100-150-200-250-300-350 °C kademelerinde sabit hızda sürtünme testleri yapıp sürtünme katsayısı grafikleri ve aşınma oranları tespit edilmektedir. Ek olarak 300 °C'den soğutma yaparak toparlanma grafiği de çizilmektedir. Şekil 3. 18'de numunelerin sürtünme-aşınma test sonra görüntüleri verilmektedir.

Çizelge 3. 28 Yüksek uçucu kül katkılı kompozisyonlar

Bileşen	Kütle Oranı %					
	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Uçucu kül (Kemerköy ve Orhaneli)	5	10	20	40	40	40
Bağlayıcı Fenolik reçine (F129 ve F617E7)	18	18	18	18	18	18
Fiber Cam fiber, aramid pulp vd	6	6	6	6	6	6
Dolgu (BaSO ₄ , CaCO ₃ vd)	52	47	37	17	17	17
Sürtünme Düzenleyici (Petrokok, grafit vd)	19	19	19	19	19	19

Çizelge 3. 29 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 saat şartlı numuneler

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)
F5	2,41
F6	2,43
F7	2,32
F8	2,21
F9	1,79
F10	2,18
F5+	2,28
F6+	2,24
F7+	2,18
F8+	2,07
F9+	1,92
F10+	2,03

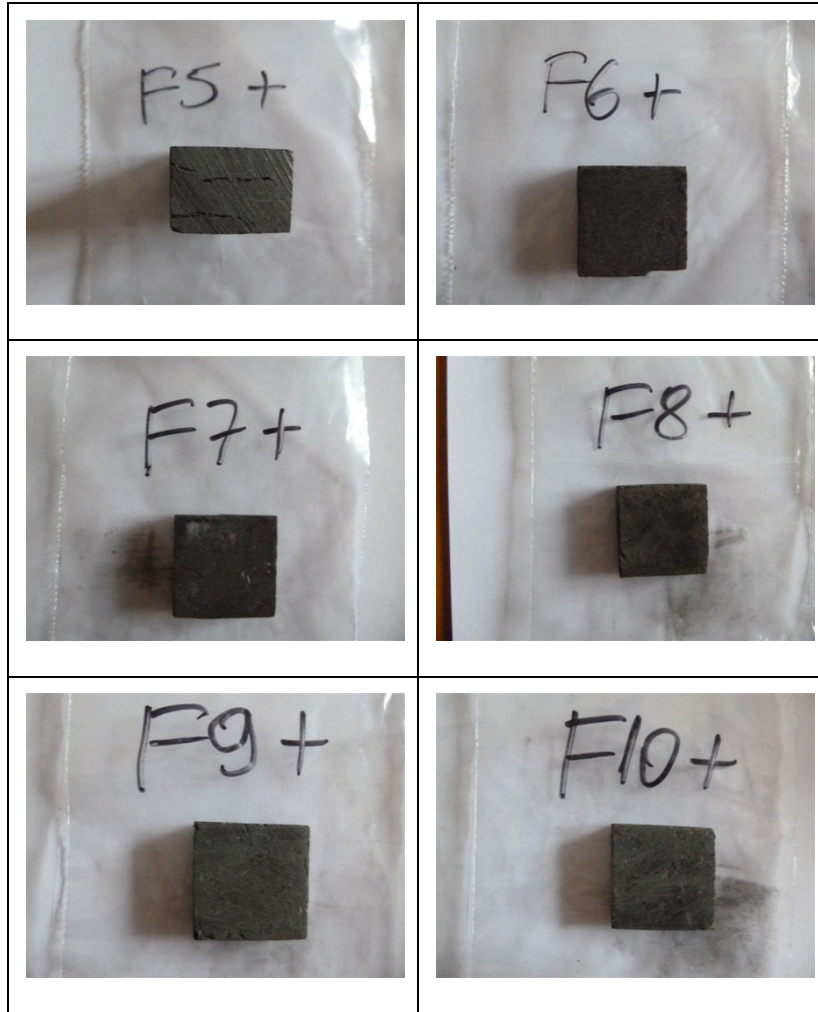
Çizelge 3. 30 180 °C, 25 MPa, 10 dak. şartlarında üretilen numuneler

Numune Kodu	Sertlik (HRL)	Yoğunluk (g/cm ³)	İç Kesme Dayanımı (MPa)				Basma Elastisite Modülü (MPa)	Yanma Kaybı (%)
			Normal	Suda	Tuzlu Suda	Yağda		
F9	107	1,79	15	3	10	16	376	33
F10	112	2,18	46	0,43	19	14	448	33

Çizelge 3. 31 150 °C, 15 MPa, 10 dak. - 200 °C, 20 Saat şartları numuneler

Numune Kodu	Sürtünme Katsayısı		TS 555'e Göre Türü		Aşınma %	
	Normal	Sıcak	Normal	Sıcak	Kütle (g)	Kalınlık (mm)
F5+	Post curing işleminde numunede hasar meydana geldi					
F6+	0,442	0,527	F	G	3.5	7.3
F7+	0,508	0,552	G	G	5.0	9.0
F8+	Sürtünme değeri çok yüksek çıktığı için cihaz tarafından ölçüm alınamadı.					
F9+	Sürtünme değeri çok yüksek çıktığı için cihaz tarafından ölçüm alınamadı.					
F10+	Sürtünme değeri çok yüksek çıktığı için cihaz tarafından ölçüm alınamadı.					

Numune F6+ ve F7+ ait sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı sonuçları **EK-7'**dedir.



Şekil 3. 18 Numunelerin sürtünme-aşınma test sonra görüntüleri

Çizelge 3. 32 F8, F9 ve F10 numunelerin JIS D 4411 göre sürtünme test sonuçları

Numune Kodu	F8	F9	F10
Sürtünme Katsayısı Aralığı			
100 °C	0,410-0,432	0,421-0,436	0,389-0,406
150 °C	0,295-0,251	0,357-0,368	0,385-0,432
200 °C	0,248-0,215	0,270-0,265	0,425-0,467
250 °C	0,206-0,191	0,197-0,177	0,452-0,468
300 °C	0,191-0,178	0,170-0,177	0,364-0,361
350 °C	0,177-0,170	0,146-0,145	0,299-0,259
Aşınma Hızı (cm³/Nm*10⁻⁷)			
100 °C	0,111	0,159	0,061
150 °C	0,242	0,473	-0,056
200 °C	0,471	0,641	-0,025
250 °C	0,831	0,976	0,072
300 °C	1,089	1,807	0,398
350 °C	1,624	2,010	0,637

Numune F8, F9 ve F10 ait Sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı raporları **EK-8'**dedir.

Bundan sonraki çalışmalar için orijinal Futuris® ve Bremskerl® tren balatalarının sürtünme test sonuçlarını yapılan formülasyonlarla ile karşılaştırmak için JF-151 (JIS D 4411 göre) sürtünme test cihazında testleri yapılmıştır.

Çizelge 3. 33 Futuris® ve Bremskerl® balatalarının JIS D 4411 sürtünme sonuçları

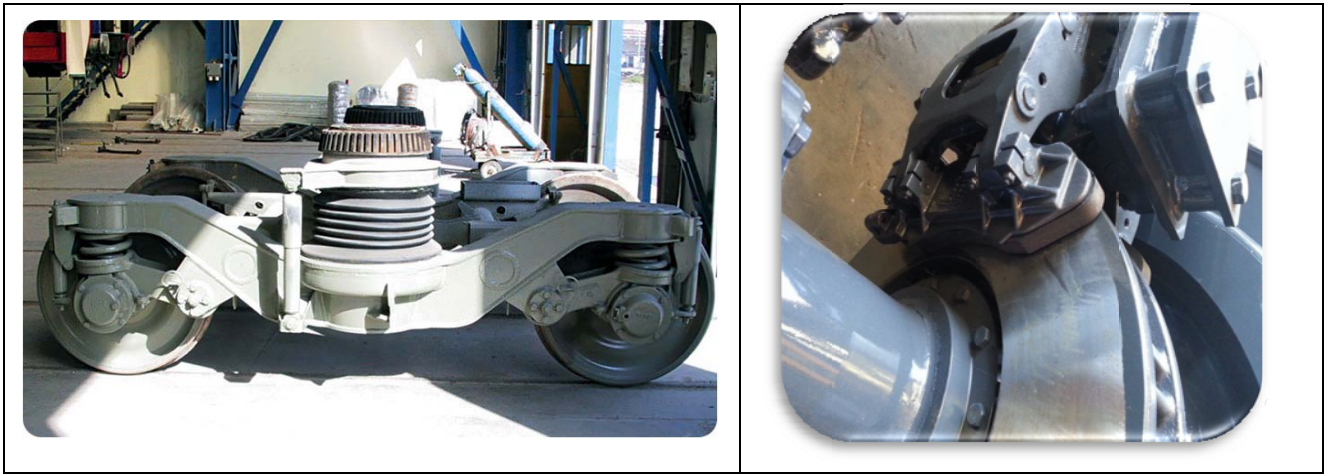
Numune Kodu	Futuris®	Bremskerl®
Sürtünme Katsayısı Aralığı		
100 °C	0,381-0,404	0,423-0,457
150 °C	0,366-0,341	0,484-0,506
200 °C	0,335-0,294	0,489-0,494
250 °C	0,289-0,284	0,435-0,412
300 °C	0,269-0,265	0,378-0,344
350 °C	0,262-0,249	0,348-0,33
Aşınma Hızı (cm³/Nm*10⁻⁷)		
100 °C	0,204	0,118
150 °C	0,278	0,210
200 °C	0,756	0,296
250 °C	1,244	0,872
300 °C	1,998	1,478
350 °C	1,157	1,967

Orijinal Futuris® ve Bremskerl® tren balatalarının JF-151 (JIS D 4411 göre) sürtünme test cihazına göre sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı raporları **EK-9'**dadır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalar ışığında en uygun kompozisyon ve üretim parametreleri belirlenerek “TTŞ 290 Y32 tipi bojiye ait kompozit disk fren balatası teknik şartnamesi” ile laboratuvar ortamında prototip üretim gerçekleştirilmiştir. Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi (TÜVASAŞ) TVS 2000 tipi vagon ve TÜVASAŞ Y32 Tipi Bojinin resmi Şekil 3. 19 ve Şekil 3. 20’dedir.



Şekil 3. 19 Türkiye Vagon Sanayii Anonim Şirketi (TÜVASAŞ) TVS 2000 tipi vagon



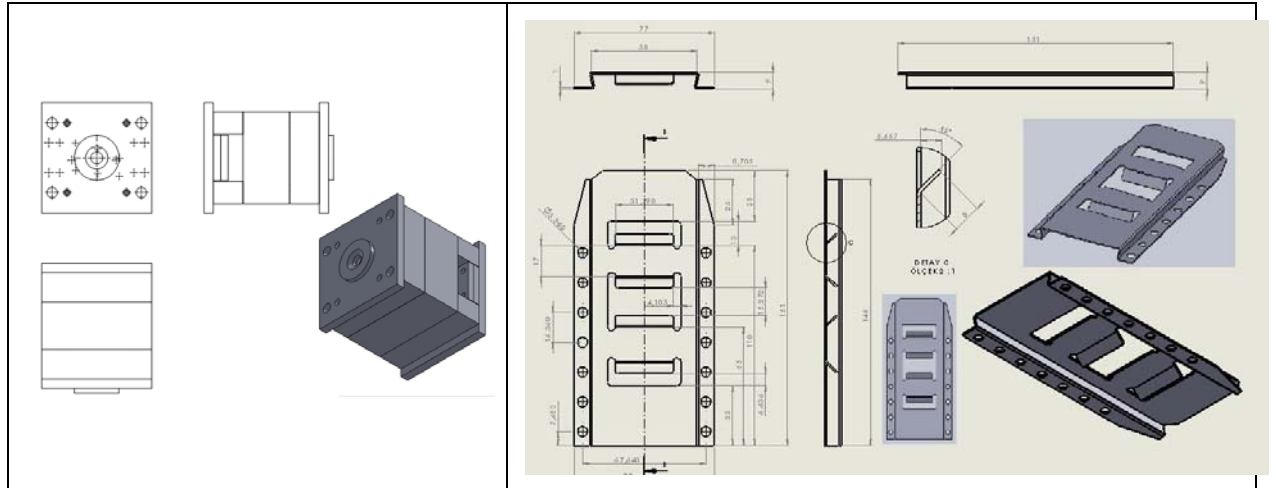
Şekil 3. 20 TÜVASAŞ Y32 tipi boji

Prototip numune hazırlamak için Yenibosna-Bahçelievler/İSTANBUL da Tüzünoğlu Kalıpta TTŞ 290 Y32 tipi bojiye ait kompozit disk fren balatası teknik şartnamesi göre kalıp ve balata arka destek sacı temin yaptırılmıştır. Prototip üretiminde kullanılan pres ve kalıbın resmi Şekil 3. 21, Şekil 3. 22 ve Şekil 3. 23'dedir.

Çizelge 3. 34 Prototip balata numuneleri için kompozisyonlar

Bileşen	Kütle Oranı %			
	EA1	EA1-P Post Curing	EA2	EA2-P Post Curing
Bağlayıcı Fenolik reçine (F129)	20	20	20	20
Fiber Kaya yünü (taşyünü), aramid pulp vd	20	20	20	20
Dolgu (Uçucu kül, Yeniköy, Kemerköy)	40	40	40	40
Sürtünme Düzenleyici (Petrokok, grafit vd)	20	20	20	20

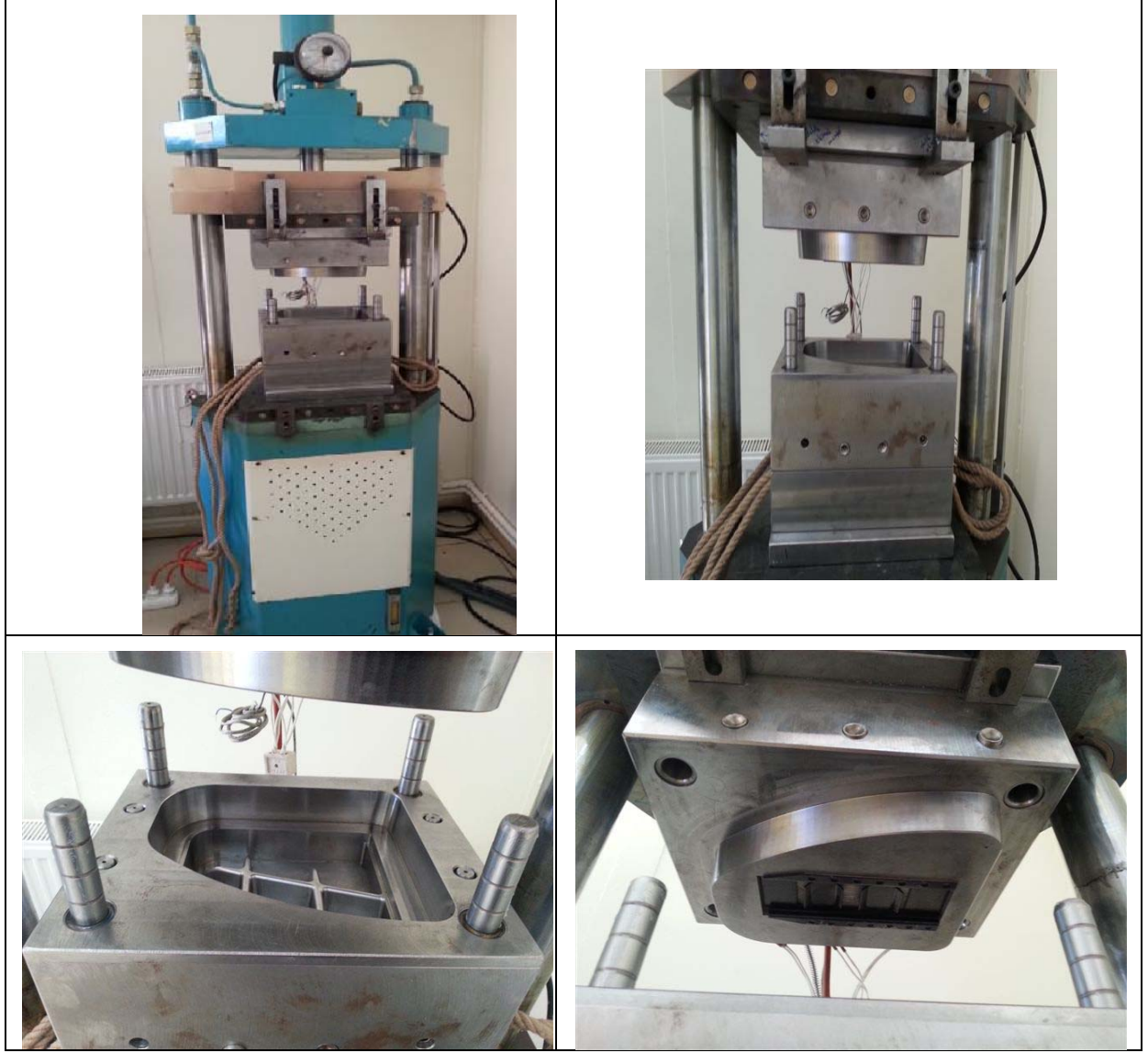
Prototip demiryolu fren balata numuneleri ile ilgili yapılan çalışmadaki üretim proses şartı 150 °C'de 250 Bar basınçta 30 dakika kalıplamadır. Prototip balatalara 180 °C'de 3 saat post curing yapılmıştır.



Şekil 3. 21 Prototip numune kalıbının ve arka destek sacın teknik resmi

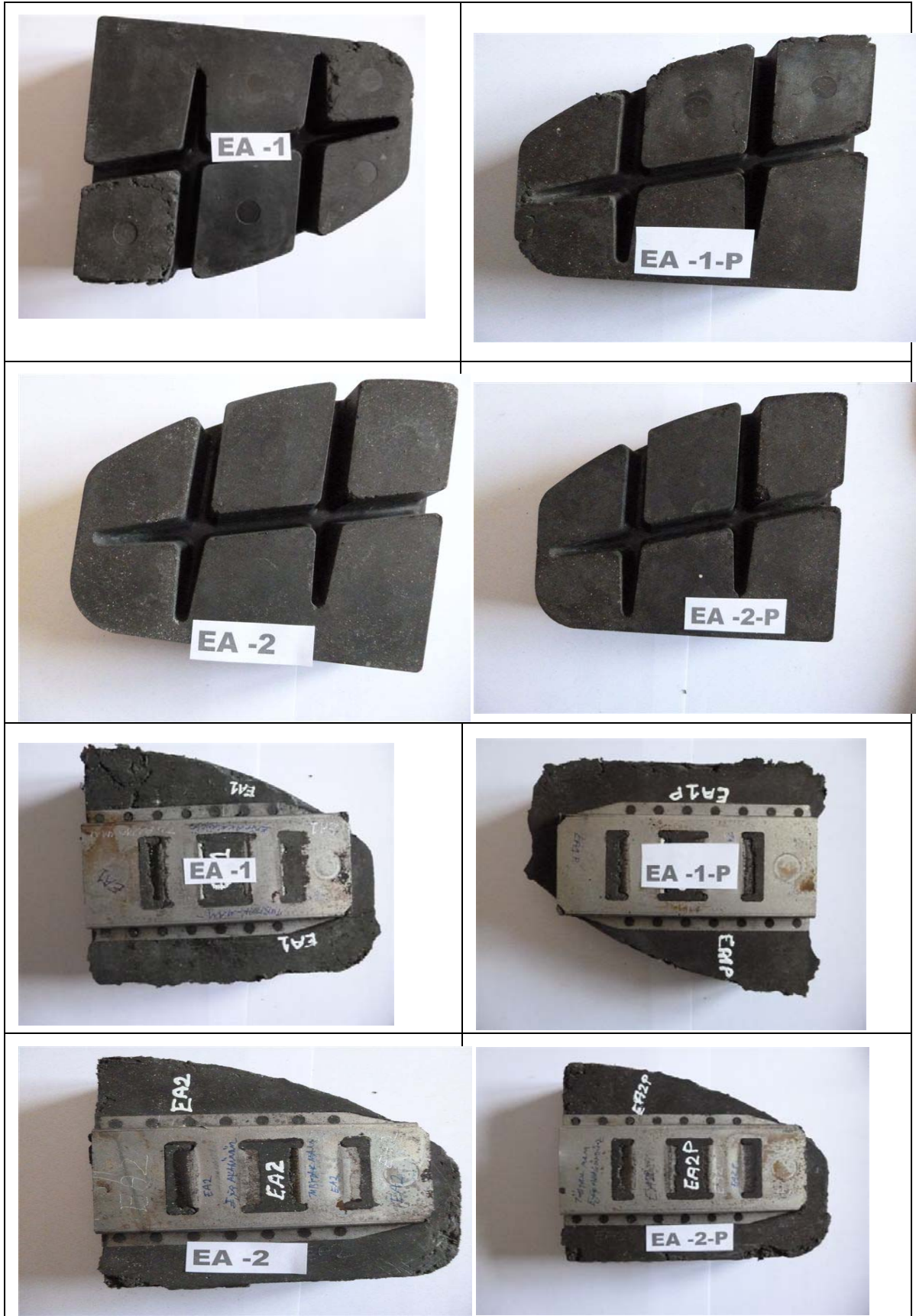


Şekil 3. 22 Gerçek boyuttaki balata basılmasında kullanılan kalıp



Şekil 3. 23 Gerçek boyuttaki balata basılmasında kullanılan kalıp ve pres

Presten çıkan gerçek boyuttaki prototip balataların resimleri Şekil 3. 24'dedir. Balata presleme öncesinde bir ön şekillendirmeye tabi tutulmuştur.



Şekil 3. 24 Gerçek boyutta basılan fren balata numunelerinin fotoğrafları

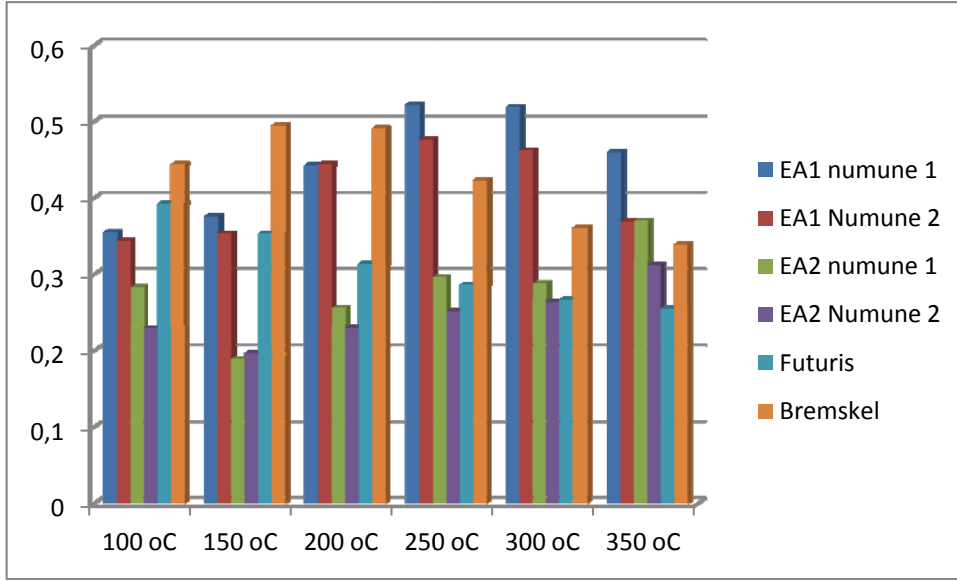
Çizelge 3. 35 Futuris® ve Bremskel® balatalarının JIS D 4411 sürtünme sonuçları

Numune Kodu	Futuris®	Bremskel®
Sürtünme Katsayısı Aralığı		
100 °C	0,381-0,404	0,423-0,457
150 °C	0,366-0,341	0,484-0,506
200 °C	0,335-0,294	0,489-0,494
250 °C	0,289-0,284	0,435-0,412
300 °C	0,269-0,265	0,378-0,344
350 °C	0,262-0,249	0,348-0,33
Aşınma Hızı (cm³/Nm*10⁻⁷)		
100 °C	0,204	0,118
150 °C	0,278	0,210
200 °C	0,756	0,296
250 °C	1,244	0,872
300 °C	1,998	1,478
350 °C	1,157	1,967

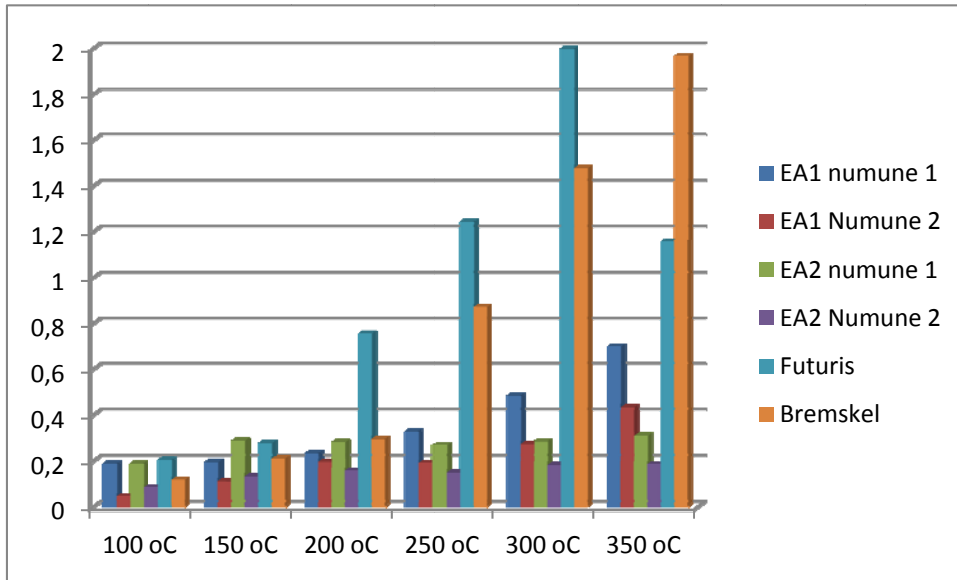
Çizelge 3. 36 Prototip balatalarının JIS D 4411 göre sürtünme sonuçları

Numune Kodu	EA1 numune 1	EA1-P Numune 2	EA2 numune 1	EA2-P Numune 2
Sürtünme Katsayısı Aralığı				
100 °C	0,357-0,354	0,328-0,336	0,287-0,279	0,229-0,230
150 °C	0,366-0,386	0,347-0,360	0,180-0,199	0,196-0,199
200 °C	0,426-0,460	0,430-0,458	0,245-0,267	0,219-0,241
250 °C	0,500-0,543	0,454-0,499	0,281-0,312	0,246-0,259
300 °C	0,500-0,538	0,459-0,465	0,291-0,286	0,250-0,278
350 °C	0,457-0,463	0,390-0,349	0,363-0,378	0,302-0,322
Aşınma Hızı (cm³/Nm*10⁻⁷)				
100 °C	0,188	0,046	0,189	0,085
150 °C	0,195	0,112	0,289	0,132
200 °C	0,234	0,196	0,282	0,158
250 °C	0,329	0,191	0,269	0,150
300 °C	0,485	0,274	0,2852	0,182
350 °C	0,700	0,433	0,310	0,186

Prototip tren balatalarının JF-151 sürtünme test cihazına göre (JIS D 4411) Sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı raporları **EK-10'**dadır.



Sürtünme Katsayısı Aralığı

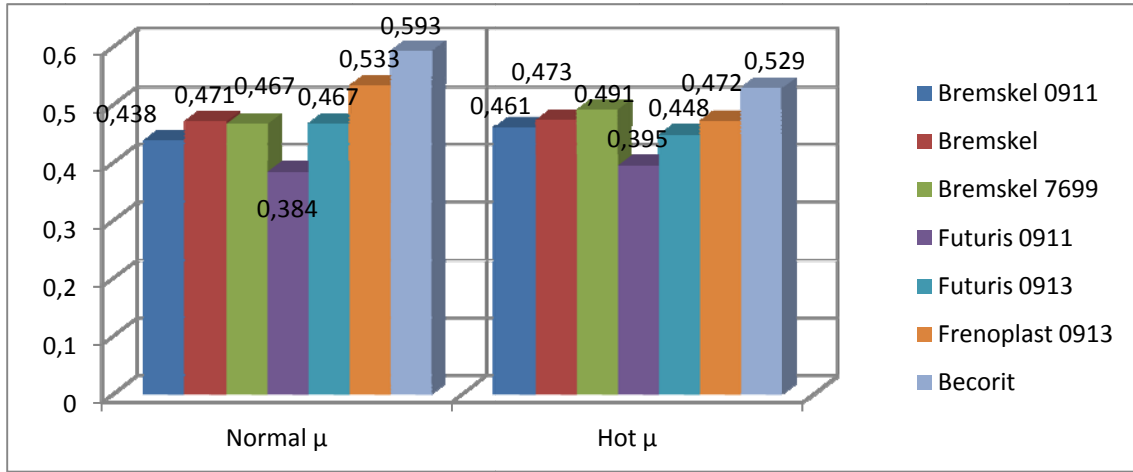


Aşınma Hızı ($\text{cm}^3/\text{Nm} \cdot 10^{-7}$)

Şekil 3. 25 Ticari ve laboratuarda üretilen balatalarının sürtünme test grafikleri

Çizelge 3. 37 Ticari balataların SAE J661'e göre sürtünme değerleri

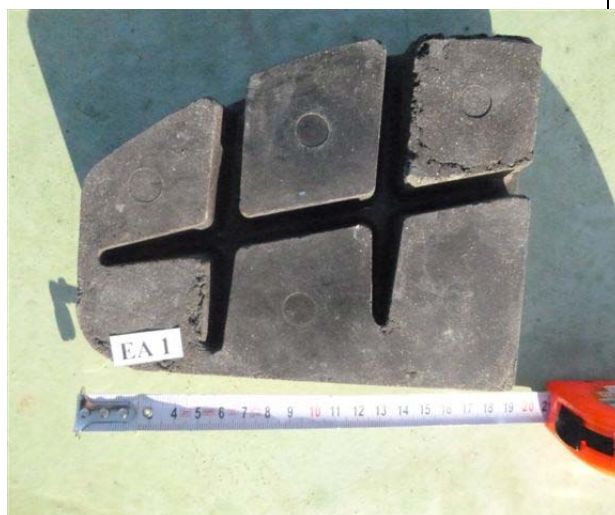
Ticari Balatalar	Normal μ	Hot μ
Bremskel® 0911	0,438	0,461
Bremskel®	0,471	0,473
Bremskel® 7699	0,467	0,491
Futuris® 0911	0,384	0,395
Futuris® 0913	0,467	0,448
Frenoplast® 0913	0,533	0,472
Becorit®	0,593	0,529



Şekil 3. 26 Ticari balataların SAE J661'e göre sürtünme grafikleri

Ticari tren balatalarının (Bremskerl®,Futuris®,Frenoplast®,Becorit®) SAE J661'e göre sürtünme ve aşınma değerlerinin ayrıntılı raporları **EK 2'**dedir.

Tez kapsamında laboratuarda üretilen EA1, EA2 ve EA2-P prototipler disk balatalar, esas uygulama alanında gerçek koşullarda malzeme davranışı ve problemlerin gözlemlenebilmesi için TCCD Ankara'da tren üzerinde saha testine tabi tutulmuştur. Test sonrası prototipler disk balatalar ve ticari disk balatanın yüzey görüntüleri aşağıdaki Şekil 3. 27'da verilmektedir.





Şekil 3. 27 Laboratuarda üretilen EA1, EA2 ve EA2-P prototipler disk balatalar

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ülkemizdeki termik santral uçucu küllerinin kompozit sürtünmeli balata imalatında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla 15 değişik termik santralden uçucu kül temin edilerek uçucu küller karakterizasyon edilmiştir. Karakterize edilen uçucu küllerle laboratuvar ölçekli kompozit sürtünmeli fren balatası formülasyonları hazırlanmış ve testleri yapılmıştır.

Yapılan testler sonucunda; kimyasal kompozisyon yönünden değerlendirildiğinde incelenen küllerin hepsinin fren balatalarında kısmen kullanılabileceği söylenebilir. Ancak hepsi dolgu malzemesi olarak ağırlıkça %40 gibi yüksek oranlarda kullanılmaya uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Uçucu küller üzerinde yapılan TG/DTA analizleri yapılan Yatağan, Tunçbilek, Kemerköy, Çatalağzı, Afşin Elbistan A küllerinde balataların maksimum çalışma sıcaklık aralığı olan 400-450 °C'de herhangi bir reaksiyon veya dönüşüm gözlenmemiştir.

Afşin-Elbistan A (155 µm), Seyitömer (166 µm) ve Soma (160 µm) termik santrallerinden elde edilen uçucu küller ortalama tane boyutu büyüklüğünün fazla olması nedeniyle diğer balata bileşenleri ile homojen olarak karışmadığı tespit edilmiştir.

Asetonda çözünme testine göre kullanılacak olan fenolik reçine belirlenmiştir. Optimun sonuçlar Fers® marka F129 kodlu reçine ile sağlanmıştır.

Balataların üretim prosesleri için sıcaklık,zaman ve basınç parametleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Optimum üretim parametreleri 180 °C ve 25 MPa basınçta 10 dakika süre ile sıcak kalıplama ve akabinde 180 °C'de 4 saat kürleme (post curing) olarak bulunmuştur.

Aşınma oranları bakımından Yeniköy ve Kemerköy külleri ile üretilen numuneler diğerlerine göre daha düşük aşınma değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. S+A+F (SiO₂ , Al₂O₃ , Fe₂O₃) içeriğinin artması aşınmanın da arttığı gözlenmiştir.

Kütlece %40 uçucu kül ilavesi ile üretilen numunelerin mekanik özellikleri ticari balatalara göre daha yüksek çıktığı bununla beraber yoğunlukları daha düşük olduğu ölçülmüştür.

Uygun balata bileşimi ağırlıkça %40 Yeniköy ve Kemerköy termik santrali külü, %20 novalak tip fenolik reçine, %5 aramid yünü , % 15 taş yünü, %10 grafit, %5 petrokok, %5 Sb₂S₃ olarak saptanmıştır. Bu bileşim homojen olarak karıştırılıp 25 Mpa basınç altında 150 °C'de 10 dakika preslenmiş ve son olarak numuneye hava sirküasyonlu bir etüvde 3 saat 180 °C'de kür edilerek prototip tren balatası üretilmiştir.

Tez kapsamında çalışılan kompozit disk tren balataları TCDD tarafından kullanılmaktadır. TCDD sarf gideri en yüksek kalemlerden olan balataların maliyetide çok önemlidir. Sadece TCDD'nin yıllık ithal ettiği kompozit disk fren balata sayısı ortalama yaklaşık yıllık 100.000 adettir. Bu rakamlara İstanbul, Eskişehir, Adana ve Ankara'daki hafif raylı sistemlerinde (metro,tramvay vb.) kullanılan kompozit disk balatalar dahil değildir. Hafif raylı sistemlerin yaygınlaştırılması bu rakamların artmasına neden olacaktır. Türkiye'nin 2023 vizyonu kapsamında artacak olan vagon sayısı ile yıllık yaklaşık 300.000 adet balata ihtiyacı söz konusu olacaktır. Bir adet balatanın yurtdışı fiyatının yaklaşık 20 \$ olduğu düşünüldüğünde yıllık 14.000.000 TL tutar ithalata gidecektir. Bu balataların yerli olarak ülkemizde üretilmesiyle ithalatın önüne geçilecektir.

Bu tez kapsamında kompozisyon içerisine %40 yakın oranda uçucu kül kullanılmasıyla balata üretim maliyetlerde yaklaşık olarak %13 azalacağı aynı zamanda termik santrallerden ortaya çıkan çevreye olumsuz etki veren yerli uçucu küller için yeni bir kullanım alanı oluşturulacağı ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Eggleston D., (1995). "Automotive Friction Materials", Eurac Technical Bulletin 00010433, 3-12.
- [2] Seong, J. K. ve Ho J., (2000). "Friction and Wear of Friction Materials Containing Two Different Phenolic Resins Reinforced With Aramid Pulp", Tribology International, 33(7): 477–484.
- [3] Blau, P. J., (2001). "Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives", U.S. Department of Energy, Assistant Secretary for Energy Efficiency and Renewable Energy Office of Transportation Technologies, Technic Report, 7-24.
- [4] Ertan, R. ve Yavuz, N., (2006). "Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine, 47(553): 24-30.
- [5] Malhotra, V. M. ve Valimbe, P. S. ve Wright, M. A., (2002). "Effects of Fly Ash and Bottom Ash on The Frictional Behaviour of Composites", Fuel, 81(2): 235-244.
- [6] Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., ve Yeğınobalı, A., (2004). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Fersa, 975-8136-18-6, Ankara.
- [7] Hee, K.W. ve Filip, P., (2005). "Performance of Ceramic Enhanced Phenolic Matrix Brake Lining Materials For Automotive Brake Linings", Wear, 259(7-12): 1088-1096.
- [8] El-Tayeb, N.S.M. ve Liew, K.W. (2008). "Effect of Water Spray on Friction and Wear Behavior of Noncommercial and Commercial Brake Pad Materials", Journal of Materials Processing Technology 208(1): 135-144.
- [9] Abbasi, F., Shojael, A. ve Katbab, A. A., (2001). "Thermal Interaction Between Polymer-Based Composite Friction Materials and Counterfaces", Journal of Polymer Science, 81(2): 364-369.
- [10] 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 (SAE), USA.
- [11] Filip, P., Weiss, Z. ve Rafaja, D. (2002). "On Friction Layer Formation in Polymer Matrix Composite Materials For Brake Applications", *Wear*, 252(3-4): 189-198.
 - [12] Bijwe, J., (1997). "Composites as a Friction Material: Recent Developments in Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials A Review", *Polymer Composites*, 18(3): 378-396.
 - [13] Stocks, A. I., Giezendanner, H. R., Van-Der-Hurk, H., (1985). "Asbestos-Free Clutches and Brakes Reinforced with Kevlar-Aramid Fibers", *International Journal of Vehicle Design*, 6(4-5): 483-487.
 - [14] Fazan, P., Giezendanner, H. R., Van-Den-Hurk, H., (1988). "Engineering Products of Kevlar Para-Aramid Pulp for High Performance Brake Linings", Society of Automotive Engineers (SAE), USA.
 - [15] Yamaguchi, Y., (1990). "Tribology of Plastic Materials," Volume 16, Elsevier, Netherlands.
 - [16] Smales, H.,(1995). "Friction Materials-Black Art or Science", *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Journal of Automotive Engineering*, 209(3): 151-157.
 - [17] Kim, S. J., Kim, K. S. ve Jang, H., (2003). "Optimization of Manufacturing Parameters for A Brake Lining Using Taguchi Method", *Journal of Materials Processing Technology*, 136(1-3): 202-208.
 - [18] Jafari, S. H., Fallahzadeh, F. ve Rana S.K. (1999). "Effect of Post Curing on Frictional Behaviour of Non Woven Phenolic Composite in Automobile Clutch Facing" *Iranian Polymer Journal*, 8(3): 143-148
 - [19] Lotfipour, M., (1995). "Brake Pad Friction Linings", United States Patent, 5.460.250, October.
 - [20] Okayama K., Yamashita Y. ve Fujikawa H., (2003). "Friction Material", United States Patent, 6.620.860, September.
 - [21] Jang, H., Lee, J. S. ve Fash, J. W., (2001). "Compositional Effects of The Brake Frictional Material on Creep Groan Phenomena", *Wear*, (251): 1477-1483
 - [22] Gurunath, P.V. ve Bijwe, J. (2007). "Friction and Wear Studies on Brake-Pad Materials Based on Newly Developed Resin", *Wear*, 263: 1212-1219.
 - [23] Cho, M. H., Kim, S. J., Kim, D. ve Jang, H., (2005). "Effects of Ingredients on Tribological Characteristics of A Brake Lining", *Wear*, 258(11-12): 1682-1687.
 - [24] Saffar, A., Shojaei, A. ve Arjmand, M., (2010). "Theoretical And Experimental Analysis of The Thermal, Fade And Wear Characteristics of Rubber-Based Composite Friction Materials", *Wear*, 269(1-2): 145-151.
 - [25] Shojaei, A., Fahimian, M. ve Derakhshandeh, B., (2007). "Thermally Conductive Rubber-Based Composite Friction Materials For Railroad Brakes-

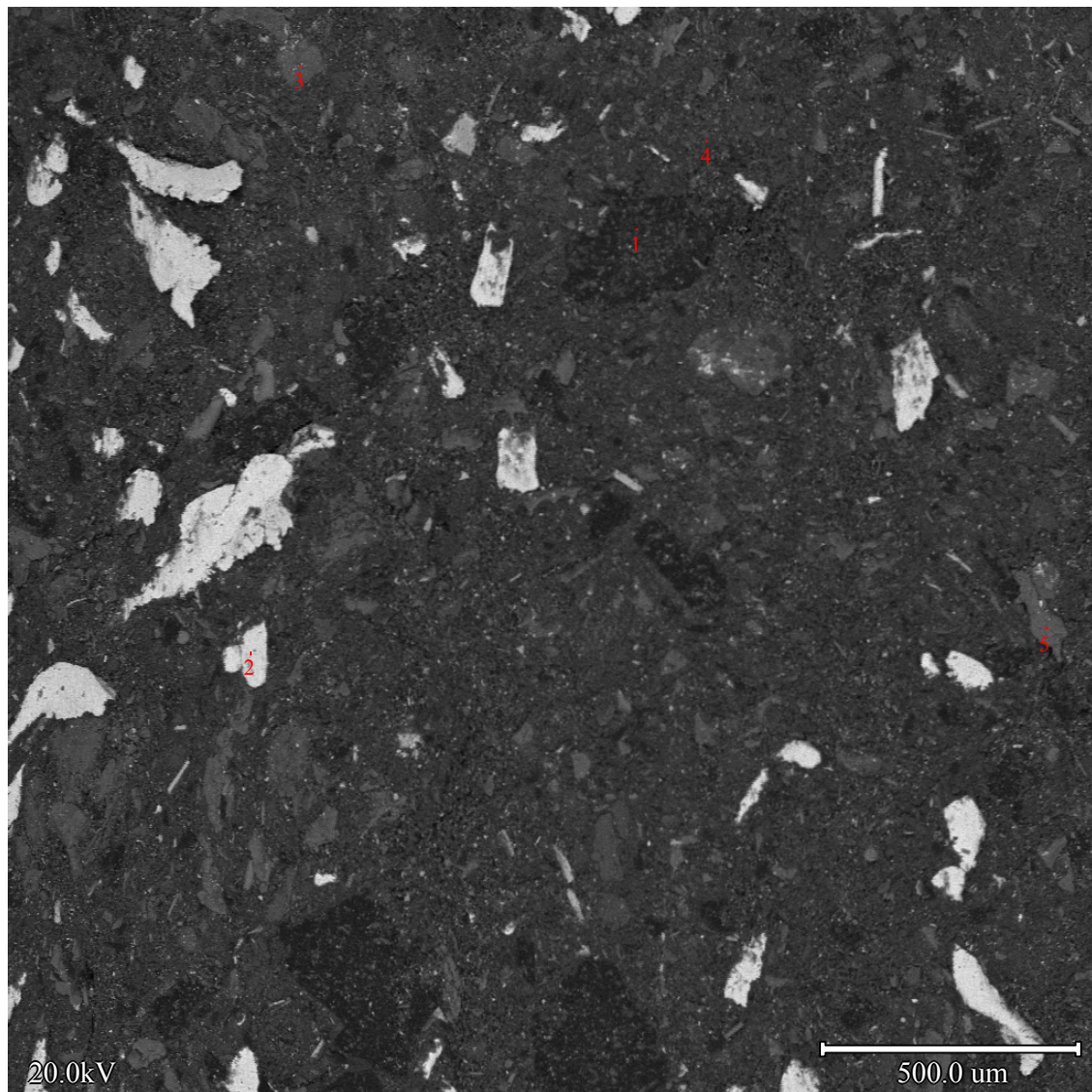
- Thermal Conduction Characteristics”, Composite Science and Tecnology, 67(13): 2665-2674.
- [26] Solomon, D. G. ve Berhan, M. N., (2007). “Characterization of Friction Material Formulations For Brake Pads”, Proceedings of the World Congress on Engineering, 2: 1358-1362.
- [27] Subaşı, O. (2005). Demiryolu Taşıtlarında Kullanılan Sürtünmeli Fren Balatalarının Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] Ertan R. ve Yavuz N., (2010). “An Experimental Study on The Effects of Manufacturing Parameters on The Tribological Properties of Brake Lining Materials”, Wear, 268(11-12): 1524-1532.
- [29] Abbasi, F., Shojael, A. ve Katbab, A. A., (2001). “Thermal Interaction Between Polymer-Based Composite Friction Materials And Counterfaces”, Journal of Polymer Science, 81(2): 364-369.
- [30] Eriksson, M., Bergman, F. ve Jacobson, S., (2002). “On The Nature of Tribological In Automotive Brakes”, Wear, 252(1-2): 26-36.
- [31] TS 9073, (1991). Karayolu Taşıtları- Fren Sistemleri- Fren Balataları- İç Kesme Mukavemeti Deneyi, TSE, Ankara.
- [32] TS 206, (1975). Basma Deneyi-Metalik Malzemede, TSE, Ankara.
- [33] Özdemir, O., (2007). Uçucu Külün Yapı Malzemelerinde Bağlayıcılığa Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [34] Yıldız, T., (1998). Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Değişik Kombinasyonlarda Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [35] Akın, E., (2007). Mermer Tozları ve Uçucu Kül İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [36] TS EN 450-1+A1, (2008). Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- [37] Ertürk, Ş., Yılmaz, Ş., Günay, V., ve Özkan, O. T., (1995). “Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Karakterizasyonları-Seramik ve Cam Hammaddesi Olarak Kullanım Potansiyelleri”, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran 1995, İstanbul.
- [38] 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”, 43(3): 491-502.
- [39] Rohatgi, P. K., (1994). “Low Cost, Fly Ash-Containing Aluminium Matrix Composites”, JOM Journal of the Minerals Metals and Materials Society, 46(11): 55-59.

- [40] Öztürk, A. Ç., (2001). Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Lambla, M., Vo, V., (1986). "Optimization of Phenolic Resin for Friction Materials", Polymer Composites, 7(5): 262-273.
- [42] Mohantyi, S. ve Chugh, Y. P., (2007). "Development of Fly Ash-Based Automotive Brake Lining", Tribology International, 40(7): 1217-1224.
- [43] Satapathy, B.K., Majumdar, A., ve Tomar, B.S., (2010). "Optimal Design of Fly Ash Filled Composite Friction Materials Using Combined Analytical Hierarchy Process And Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solutions Approach", Materials and Design 31(4): 1933-1944.
- [44] Dadkar, N., Tomar, B. S., ve Satapathy B.K., (2009). "Evaluation of Flyash-Filled and Aramid Fibre Reinforced Hybrid Polymer Matrix Composites (PMC) For Friction Braking Applications", Materials and Design, 30(10): 4369-4376.
- [45] TS 12465, (1998). Demiryolu Taşıtları-Fren Balatası-Kompozit Malzemeli Asbest İhtiva Etmeyen, TSE, Ankara.
- [46] Dadkar, N., Tomar, B. S., Satapathy, B. K., ve Patnaik, A., (2010). "Performance Assessment of Hybrid Composite Friction Materials Based on Fly Ash-Rock Fibre Combination", Materials and Design, 31(2): 723-731.
- [47] Satapathy, B. K., Patnaik, A., Dadkar, N., Kolluri, D. K. ve Tomar, B.S., (2011). "Influence of Vermiculite on Performance of Flyash-Based Fibre-Reinforced Hybrid Composites As Friction Materials" Materials and Design, 32(8-9): 4354-4361.
- [48] Satapathy, B. K., Majumdar, A., Jaggi, H.S., Patnaik, A. ve Tomar, B. S., (2011). "Targeted Material Design of Fly Ash Filled Composites For Friction Braking Application By Non-Linear Regression Optimization Technique" Computational Materials Science, 50(11): 3145-3152.
- [49] Kumar, M., Satapathy, B.K., Patnaik, A., Kolluri, D. K. ve Tomar, B. S. (2011), "Hybrid Composite Friction Materials Reinforced With Combination Of Potassium Whiskers and Aramid Fibre Assessment of Fade and Recovery Performance", Tribology International, 44(4): 359-367.
- [50] Marşoğlu, M., (1986), Plastik malzemeler, Arbaz Matbacılık Tesisleri, İstanbul.
- [51] Lekili, M., (2002). "Dolgu Maddesi Kalitesinde Barit", Madencilik Bülteni, 63: 28-30.
- [52] TS 555, (1991). Karayolu taşıtları-Fren sistemleri- Balatalar- Sürtünmeli Frenler için, TSE, Ankara.
- [53] TS 9075, (1991). Karayolu Taşıtları- Fren Sistemleri- Fren Balataları- Su, tuzlu su, yağ ve fren sıvısına dayanım deneyi, TSE, Ankara.
- [54] Amira, S., Mohamed, K., Riadh, E., Anne L.C., ve Yannick D. (2014). "Study of The Interaction Between Microstructure Mechanical and Tribo-Performance of a Commercial Brake Lining Material" Materials & Design, 59: 84–93.

- [55] Petit, S., Madejova, J., (2013). "Fourier Transform Infrared Spectroscopy" Handbook of Clay Science, 5: 213-231.
- [56] Bahadur, S., (2013). "The Effect Of Nanoparticle Fillers On Transfer Film Formation And The Tribological Behaviors" Friction and Wear of Bulk Materials and Coatings, 1:23-48.
- [57] 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, 251:1484-1491.
- [58] Jang, H., Kim, S.J. (2000). "The Effects Of Antimony Trisulfide Sb_2S_3 And Zirconium Silicate $ZrSiO_4$ in The Automotive Brake Friction Material On Friction Characteristics" Wear, 239:229–236.
- [59] TS 6936 EN 24506, (2001), Sert Metaller- Basma Deneyi, TSE, Ankara.
- [60] SAE J661, (2012), Brake Lining Quality To Evaluate the Characteristics of Brake Test Procedure, Society of Automotive Engineers, USA.
- [61] Hammerström, L., (2006). Mechanisms and Phenomena in Braking and Gripping, Doctoral thesis, Uppsala University Department of Engineering Sciences and Technology, Sweden.
- [62] Erikson, M., Lord, J., Jacobson S., (2001). "Wear And Contact Conditions of Brake Pads: Dynamical in Situ Studies Of Pad On Glass", Wear, 249: 272–278.
- [63] Jang, H., Ko, K., Kim, S. J., Basch, R.H., Fash, J.W. (2004). "The Effect of Metal Fibers On The Friction Performance Of Automotive Brake Friction Materials", Wear, 256(3): 406-414.
- [64] Österle, W., Kloß, H., Urban, I., Dimitriev, A., (2007). "Towards A Better Understanding of Brake Friction Materials", Wear, 263(7): 1189-1201.
- [65] Satapathy, B.K., Bijwe, J., (2005). "Fade And Recovery Behavior Of Non-Asbestos Organic (NAO) Composite Friction Materials Based On Combinations Of Rock Fibers And Organic Fibers", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 24: 563–577.
- [66] Tang, C. F., Lu, Y., (2004). "Combinatorial Screening of Ingredients For Steel Wool Based Semimetallic And Aramid Pulp Based Nonasbestos Organic Brake Materials", Journal of Reinforced Plastics and Composites, 23(1): 51-63.
- [67] Uyyuru, R.K., Surappa, M.K., Brusethaug, S., (2006). "Effect of Reinforcement Volume Fraction And Size Distribution On The Tribological Behavior of Al-Composite/Brake Pad Tribo-Couple", Wear, 260 (11): 1248-1255.

EK- 1

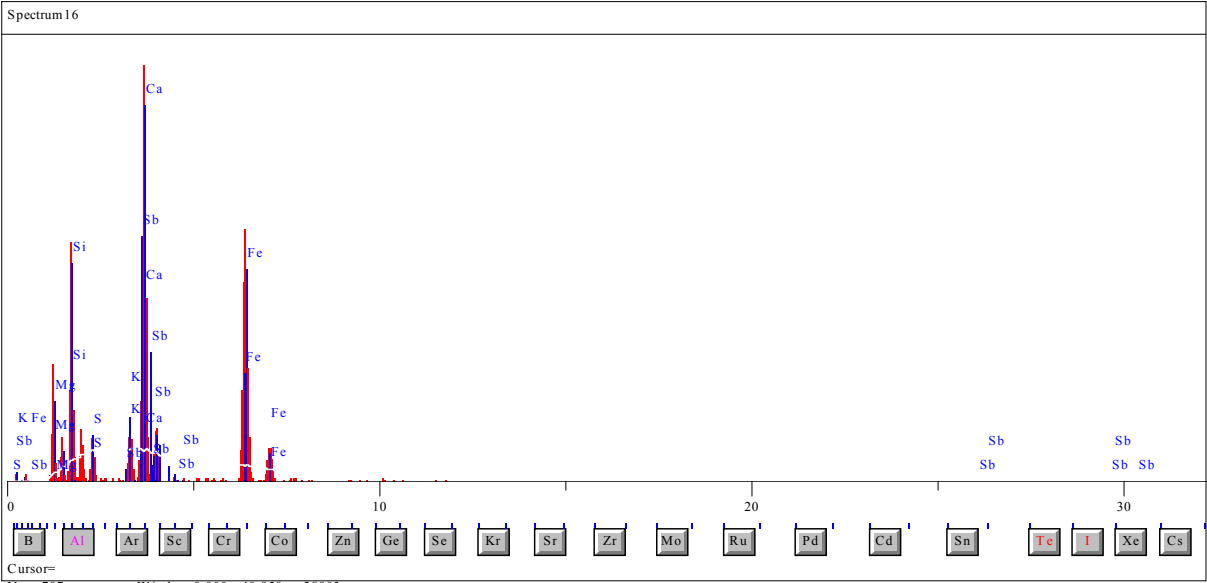
BREMSKERL



X50 BSE Compo

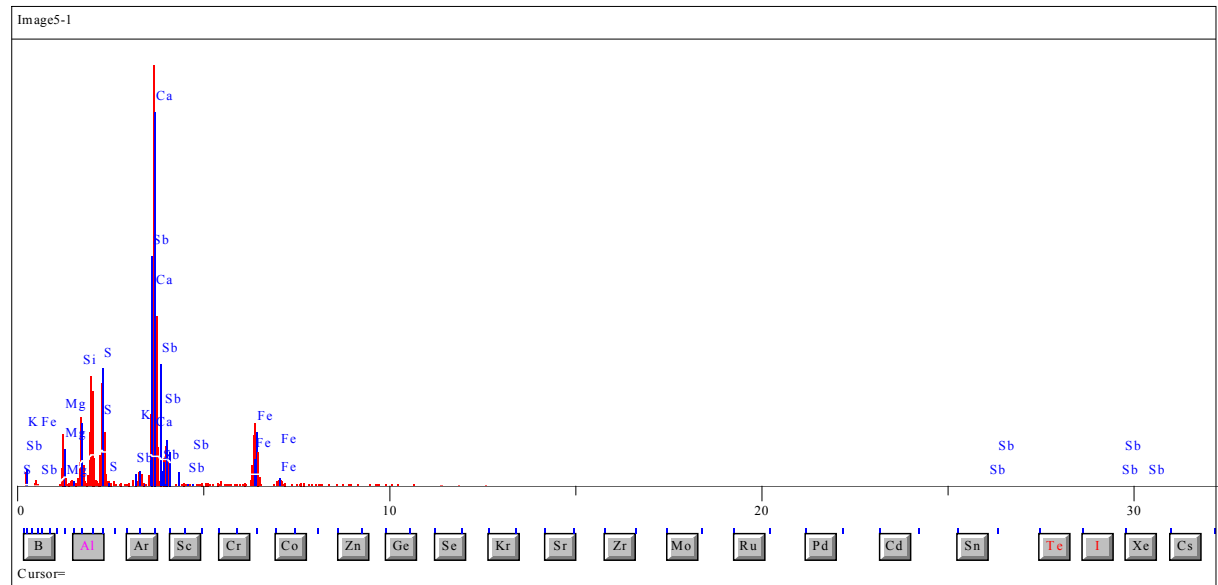
BREMSKERL GENEL ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
C	Ka	1.53	14.193	wt.%	
Mg	Ka	37.93	4.497	wt.%	
Al	Ka	20.65	2.122	wt.%	
Si	Ka	112.20	10.085	wt.%	
S	Ka	28.51	2.378	wt.%	
K	Ka	41.48	3.452	wt.%	
Ca	Ka	262.70	23.949	wt.%	
Ti	Ka	29.677	0.593	wt.%	
Fe	Ka	195.38	38.731	wt.%	
Sb	La	0.00	0.000	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



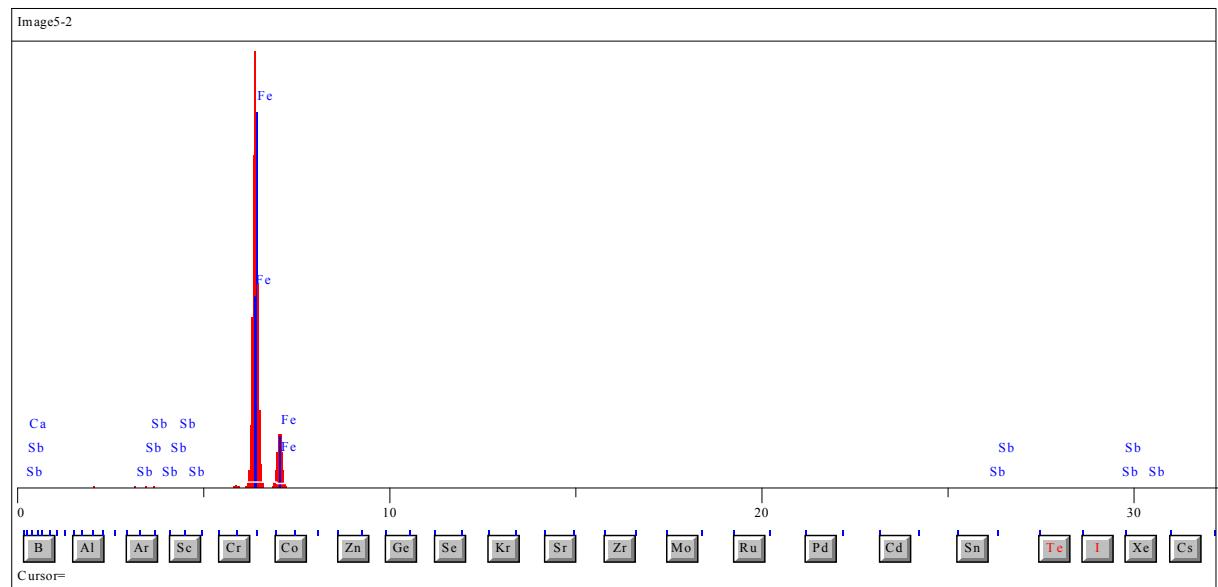
BREMSKERL NOKTA 1 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
C	Ka	1.31	22.534	wt.%
Mg	Ka	15.38	3.405	wt.%
Al	Ka	3.56	0.693	wt.%
Si	Ka	29.72	5.075	wt.%
S	Ka	52.18	8.399	wt.%
K	Ka	10.24	19.851	wt.%
Fe	Ka	41.70	18.279	wt.%
Sb	La	0.00	0.000	wt.%
			100.000	wt.%
				Total



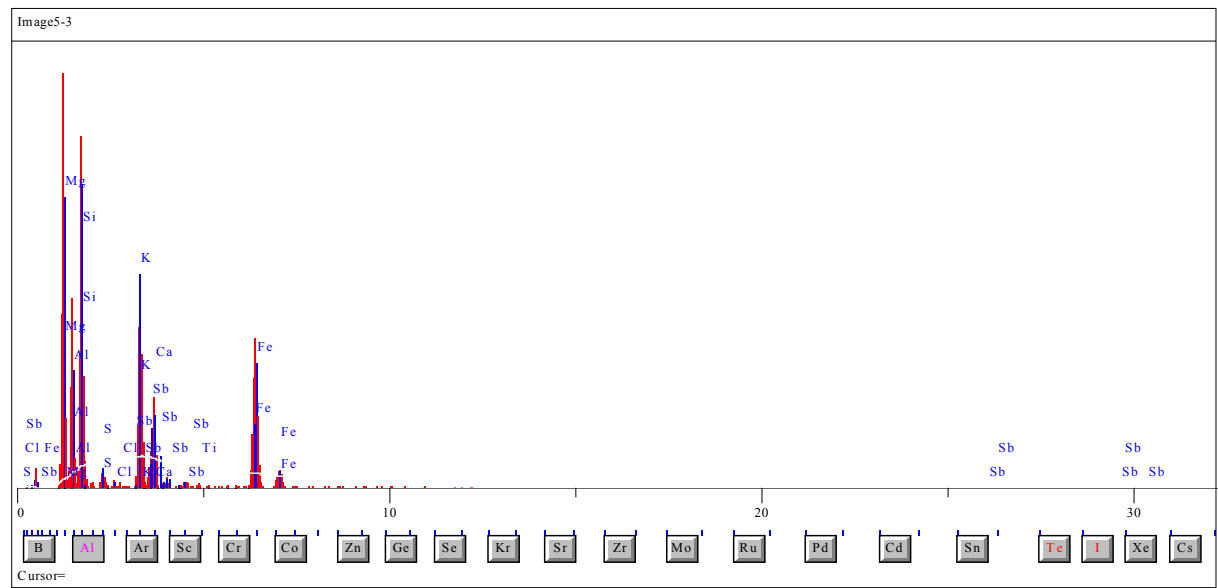
BREMSKERL NOKTA 2 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc			
Ca	Ka	4.81		.159	wt.%	
Fe	Ka	1367.06	99.725	wt.%		
Sb	La	1.38		0.116	wt.%	
				100.000	wt.%	Total



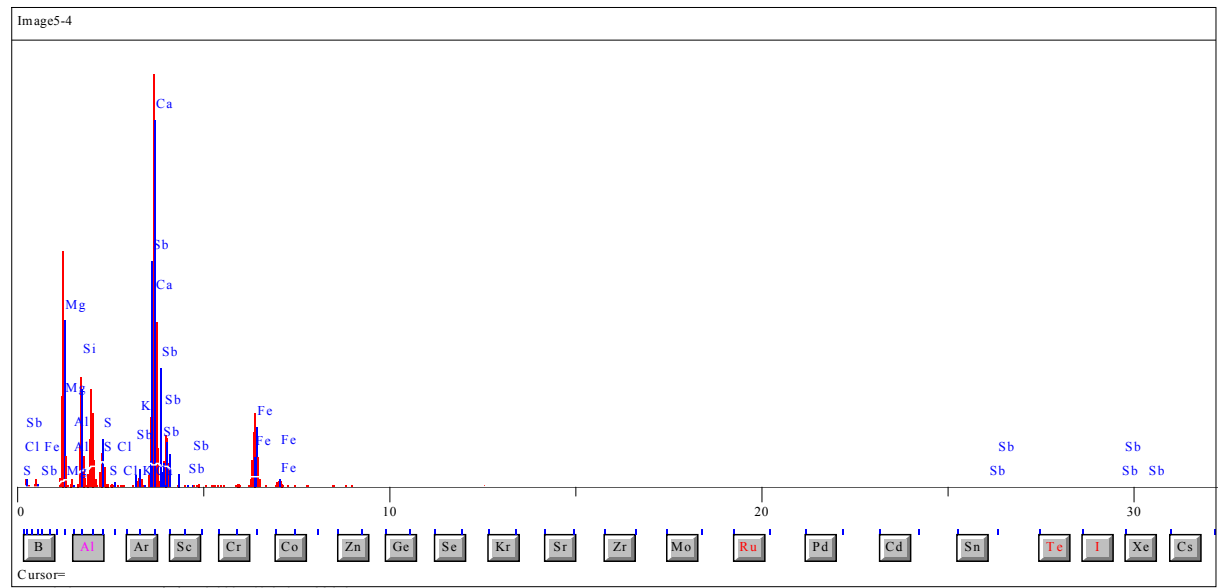
BREMSKERL NOKTA 3 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
O	Ka	2.65	1.870	wt.%
Mg	Ka	128.24	14.166	wt.%
Al	Ka	85.21	9.514	wt.%
Si	Ka	183.27	19.511	wt.%
S	Ka	15.82	1.620	wt.%
Cl	Ka	5.97	0.597	wt.%
K	Ka	147.55	14.707	wt.%
Ca	Ka	57.47	6.346	wt.%
Ti	Ka	8.30	1.131	wt.%
Fe	Ka	135.74	29.461	wt.%
Sb	La	2.74	1.077	wt.%
			100.000	wt.%
				Total



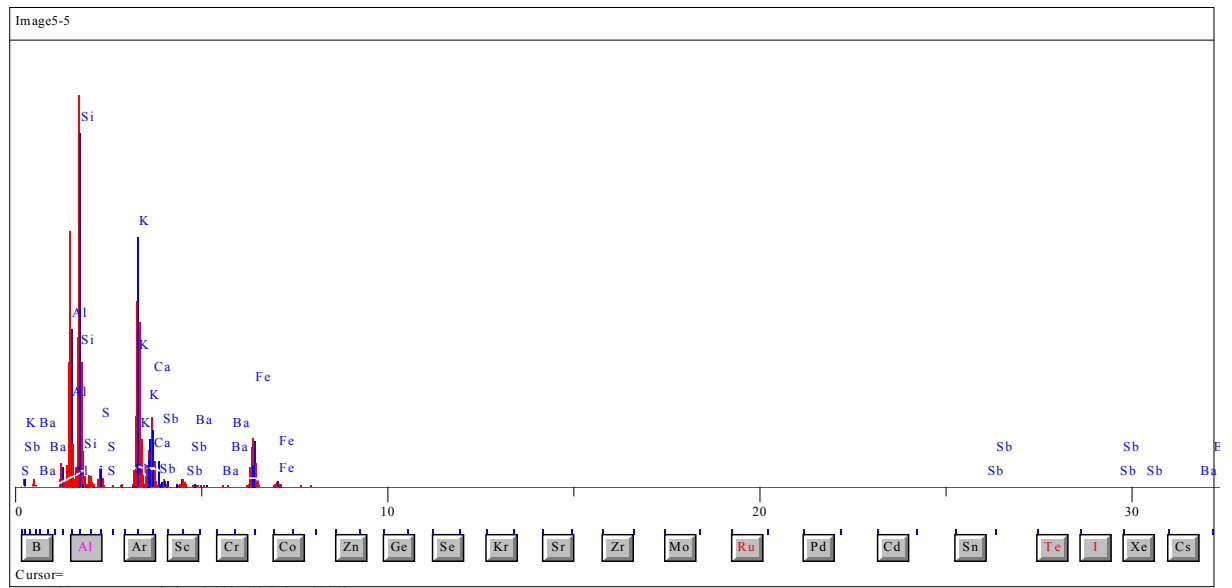
BREMSKERL NOKTA 4 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
C	Ka	1.70	16.914	wt.%
O	Ka	2.67	3.768	wt.%
Mg	Ka	75.12	9.785	wt.%
Al	Ka	3.84	0.478	wt.%
Si	Ka	70.86	7.619	wt.%
S	Ka	33.77	3.403	wt.%
Cl	Ka	4.49	0.463	wt.%
K	Ka	14.18	1.457	wt.%
Ca	Ka	323.32	37.593	wt.%
Fe	Ka	71.40	18.520	wt.%
Sb	La	0.00	0.000	wt.%
			100.000	wt.%
				Total



BREMSKERL NOKTA 5 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
C	Ka	2.03	32.466	wt.%
O	Ka	2.66	2.071	wt.%
Mg	Ka	18.42	1.383	wt.%
Al	Ka	143.43	9.699	wt.%
Si	Ka	253.89	17.962	wt.%
S	Ka	18.92	1.395	wt.%
K	Ka	205.73	15.735	wt.%
Ca	Ka	54.41	4.724	wt.%
Fe	Ka	59.30	10.359	wt.%
Sb	La	1.80	0.607	wt.%
Ba	La	8.12	3.598	wt.%
		100.000	wt.%	Total



Project 1

Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 2.826 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

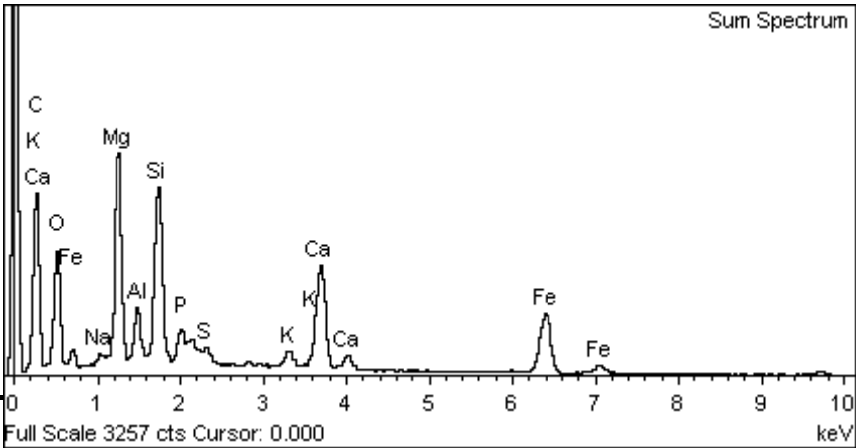
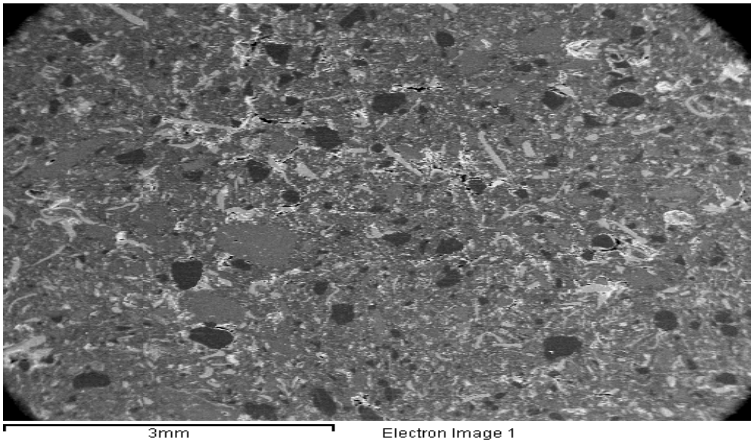
P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM

K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
C K	45.19	61.07
O K	23.39	23.73
Na K	0.38	0.27

Comment: Bremskerl

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 1.475, 2.842 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

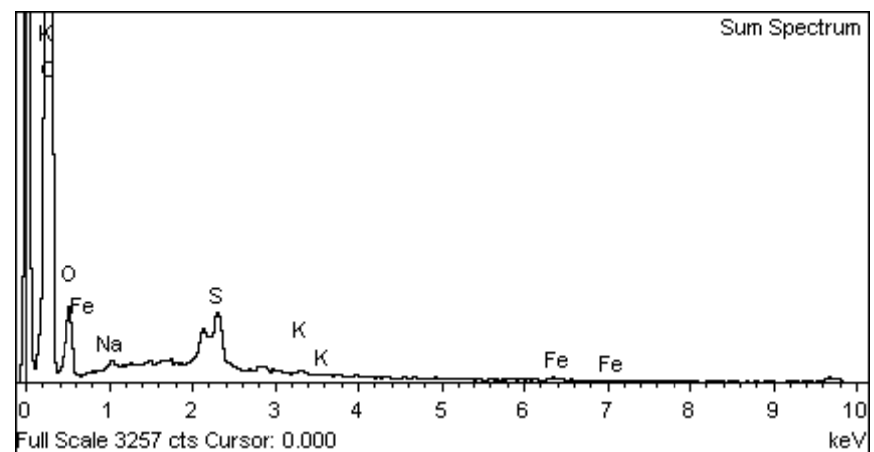
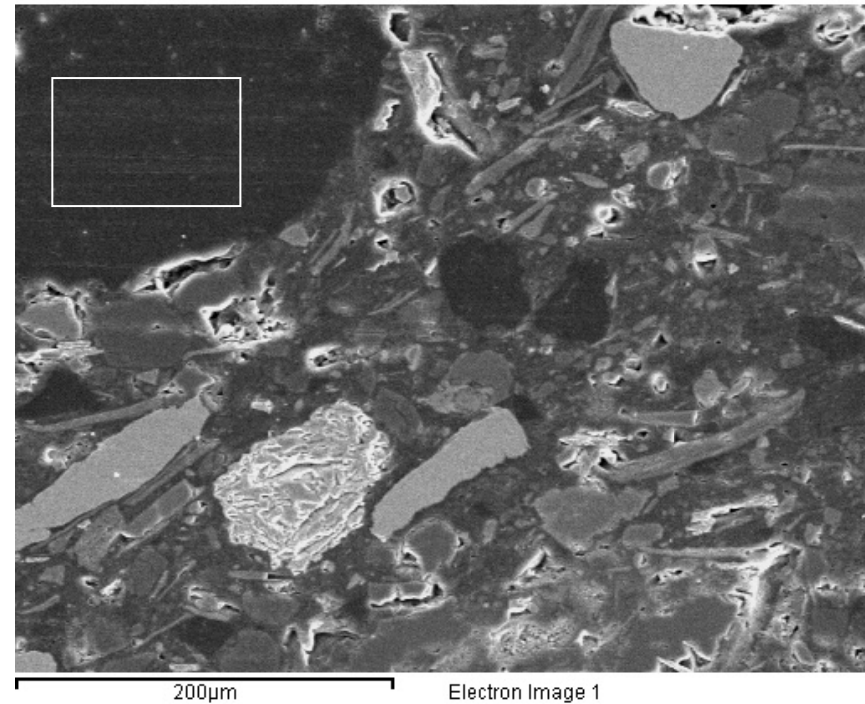
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	84.14	88.24
O K	14.06	11.07
Na K	0.24	0.13
S K	1.16	0.46
K K	0.13	0.04
Fe K	0.27	0.06

Comment: Bremskerl



Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 2.139, 2.854 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

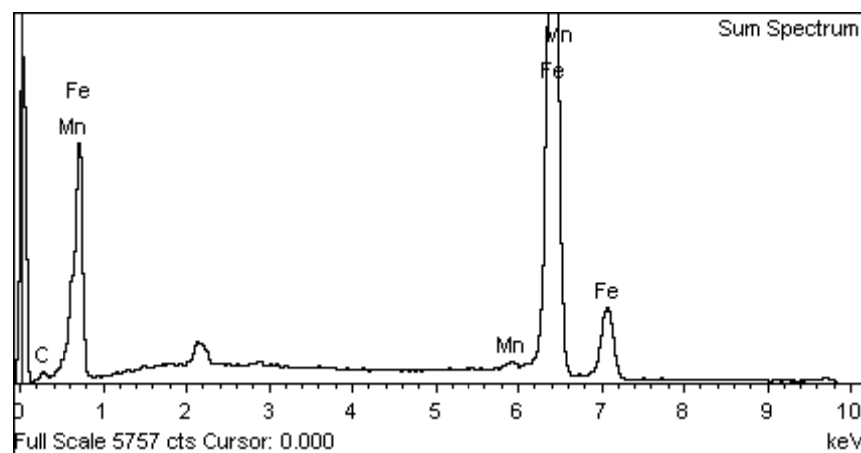
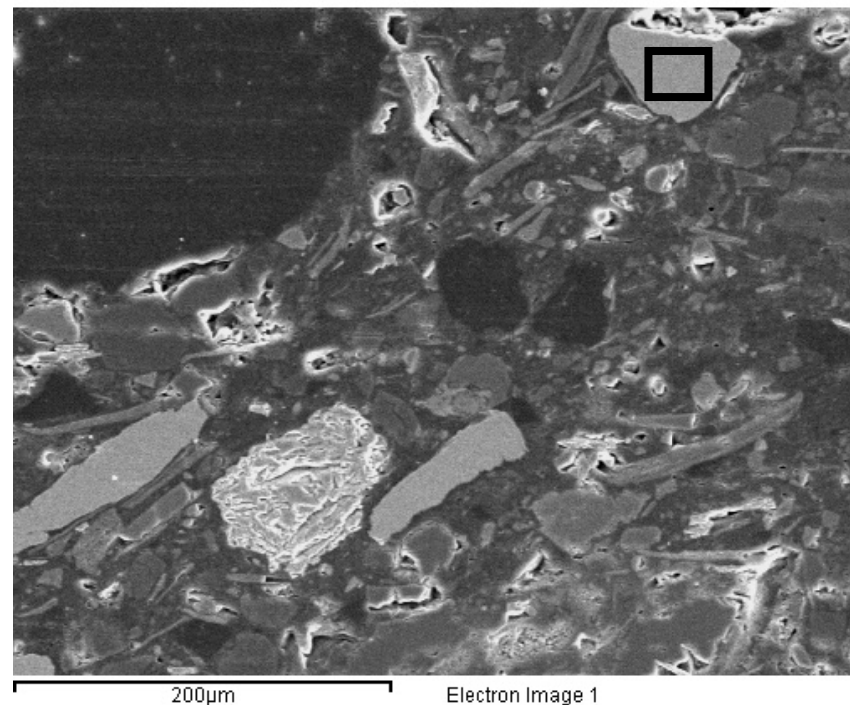
Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	2.40	10.28
Mn K	1.03	0.96
Fe K	96.56	88.76
Totals	100.00	



Comment: Bremskerl

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 2.140, 2.825, 3.330 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

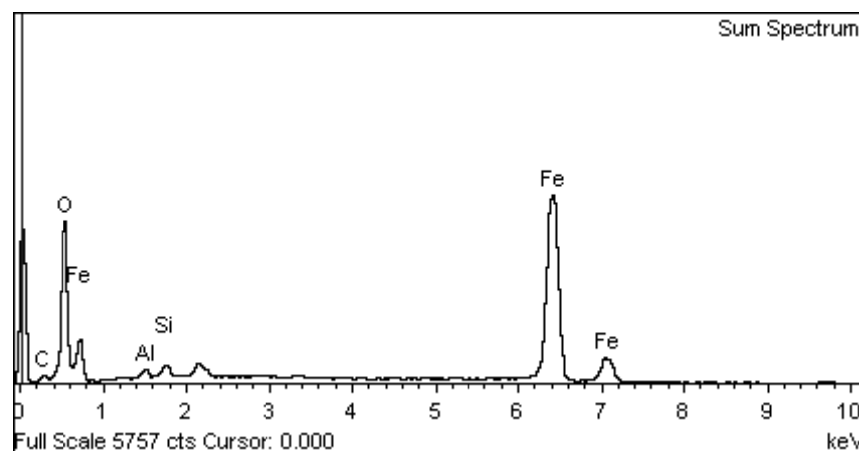
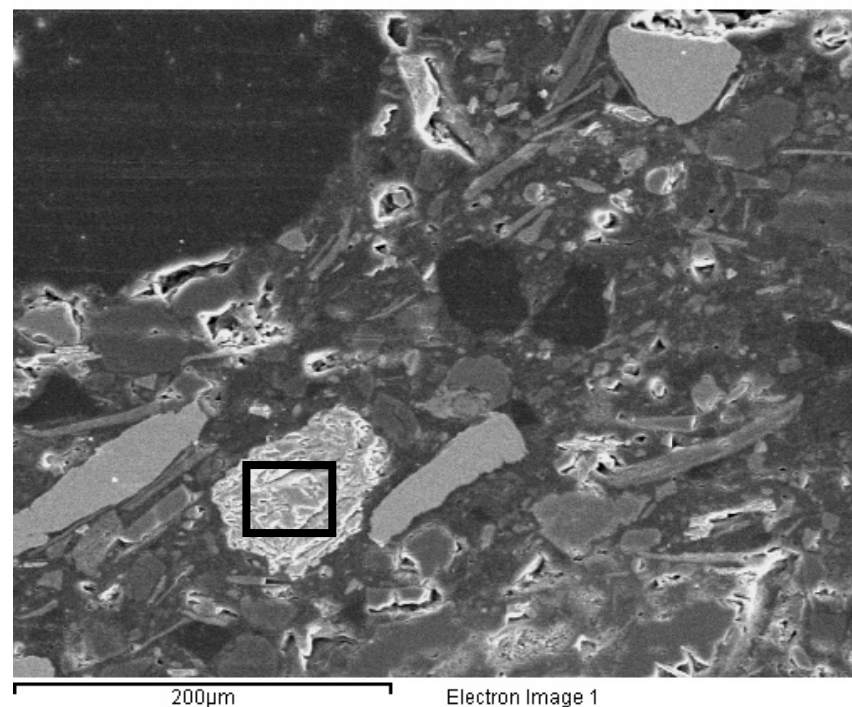
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	3.30	8.49
O K	26.70	51.58
Al K	0.95	1.08
Si K	1.17	1.28
Fe K	67.88	37.57
Totals	100.00	

Comment: Bremskerl



Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 2.136 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

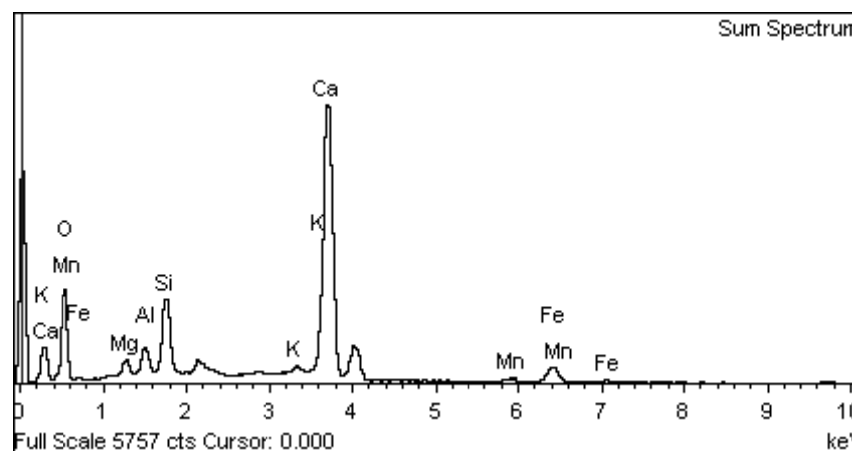
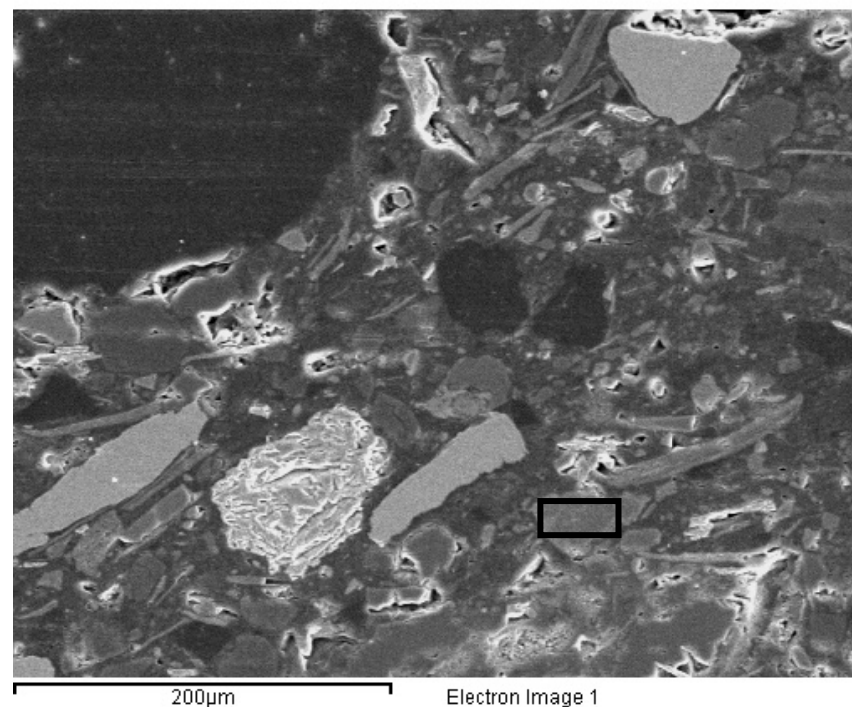
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	47.64	68.32
Mg K	1.57	1.48
Al K	2.14	1.82
Si K	6.24	5.10
K K	0.70	0.41

Comment: Bremskerl



Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

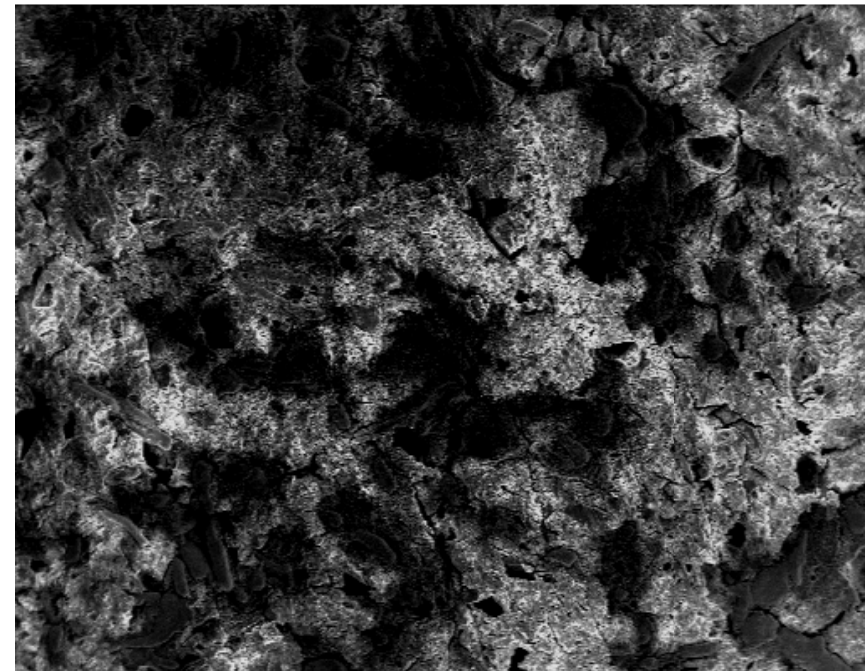
K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

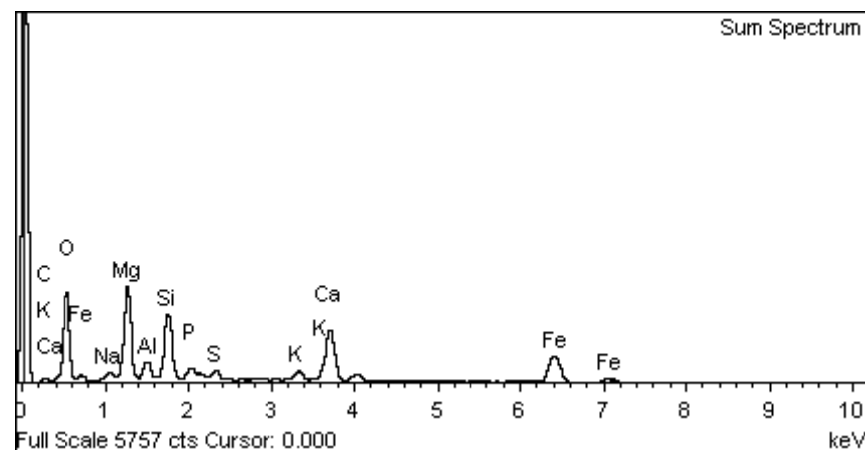
Element	Weight%	Atomic%
C K	3.55	6.52
O K	40.99	56.46
Na K	1.29	1.24

Comment:475 C sonrasi Bremskerl



2mm

Electron Image 1



115

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 2.133, 2.815 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

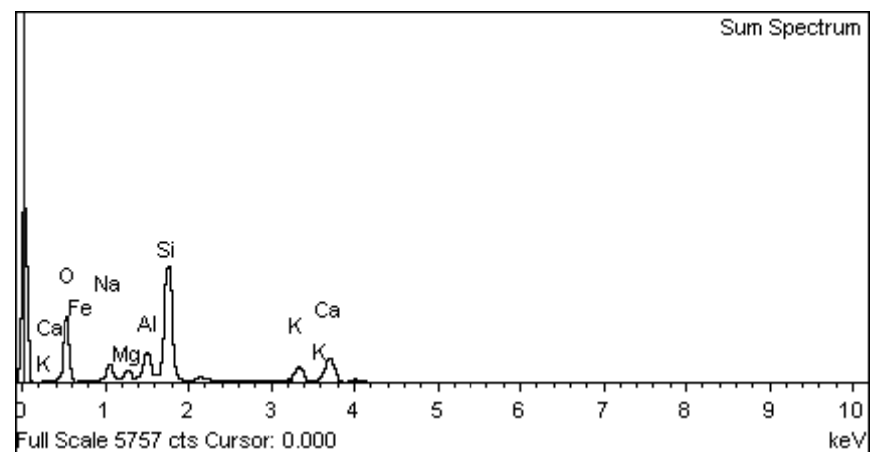
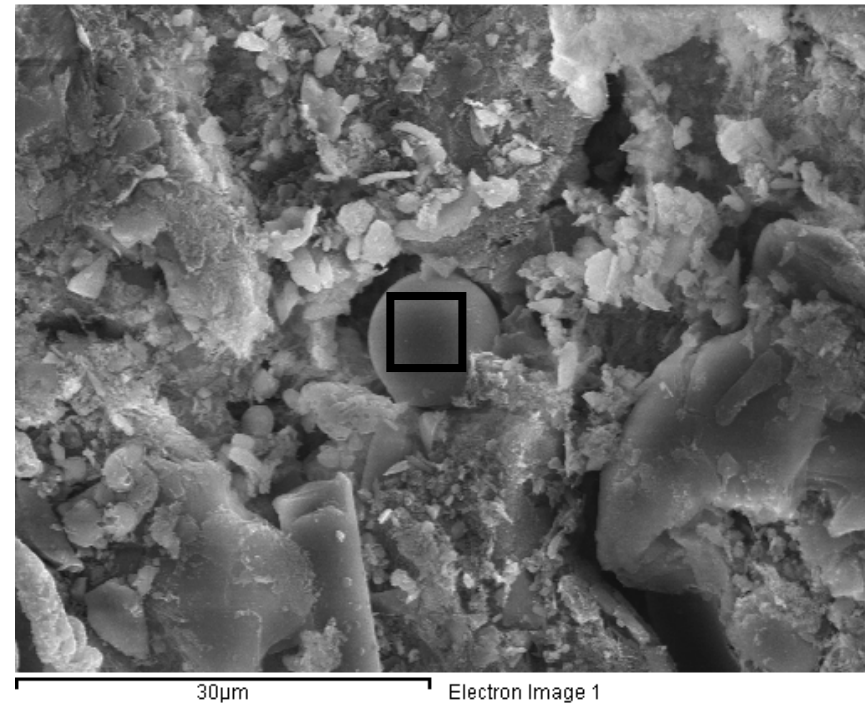
K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	51.80	66.64
Na K	4.44	3.98
Mg K	1.89	1.60
Al K	4.93	3.76
Si K	23.33	17.09

Comment: 475 C sonrasi Bremskerl



Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 2.149 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

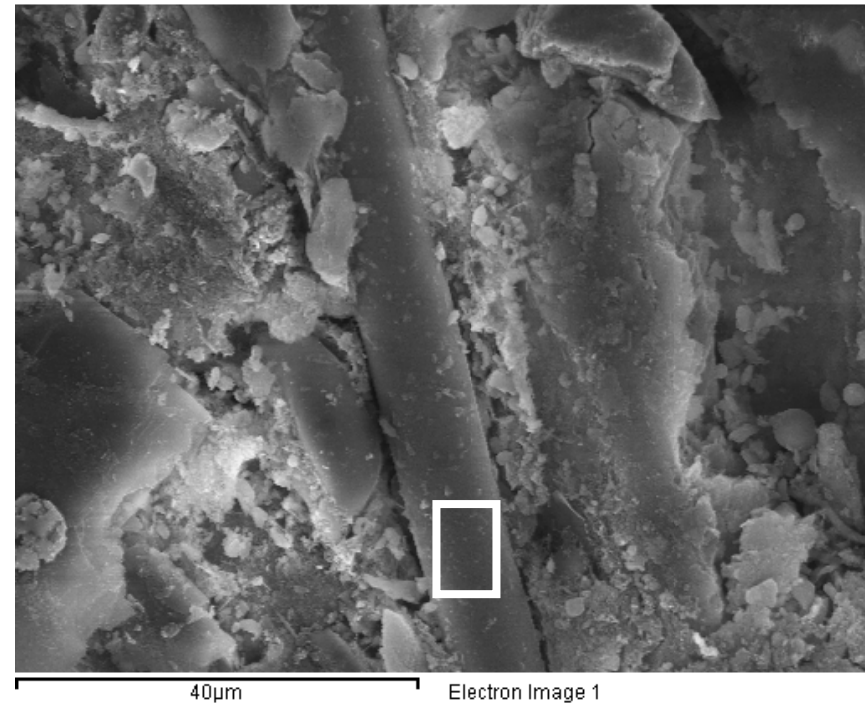
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

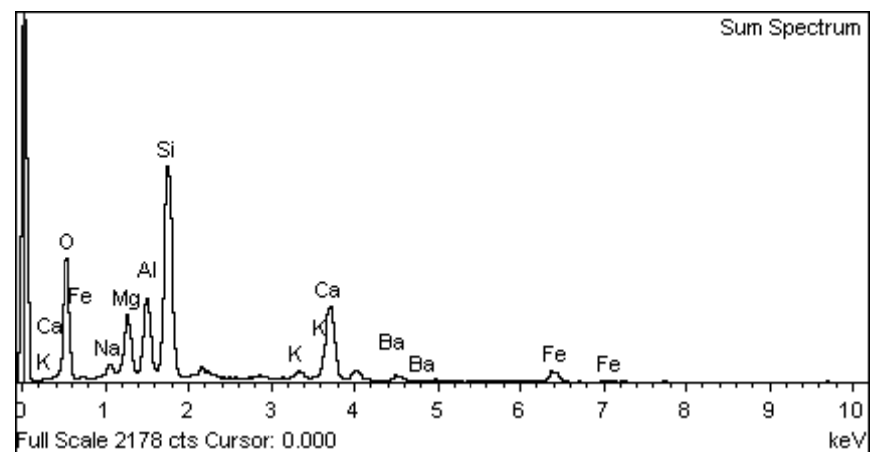
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Ba BaF₂ 1-Jun-1999 12:00 AM



Element	Weight%	Atomic%
O K	46.65	63.07
Na K	1.51	1.42
Mg K	5.87	5.22
Al K	6.82	5.47

Comment: 475 C sonrasi Bremskerl



Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 2.835 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

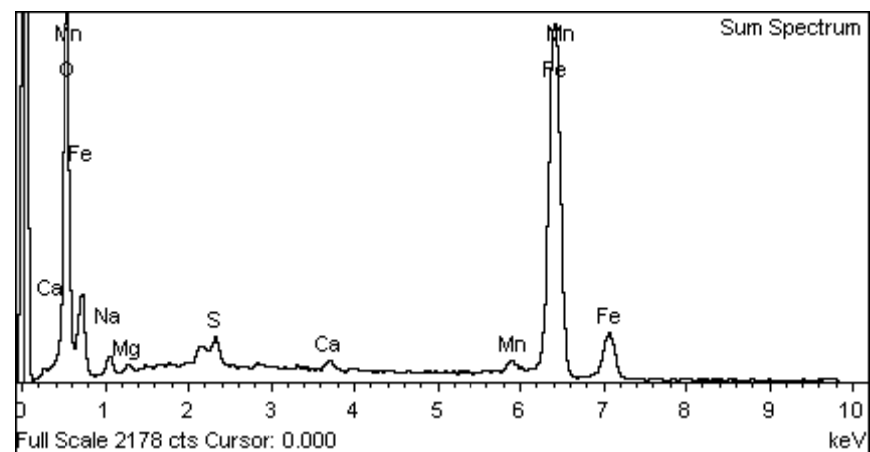
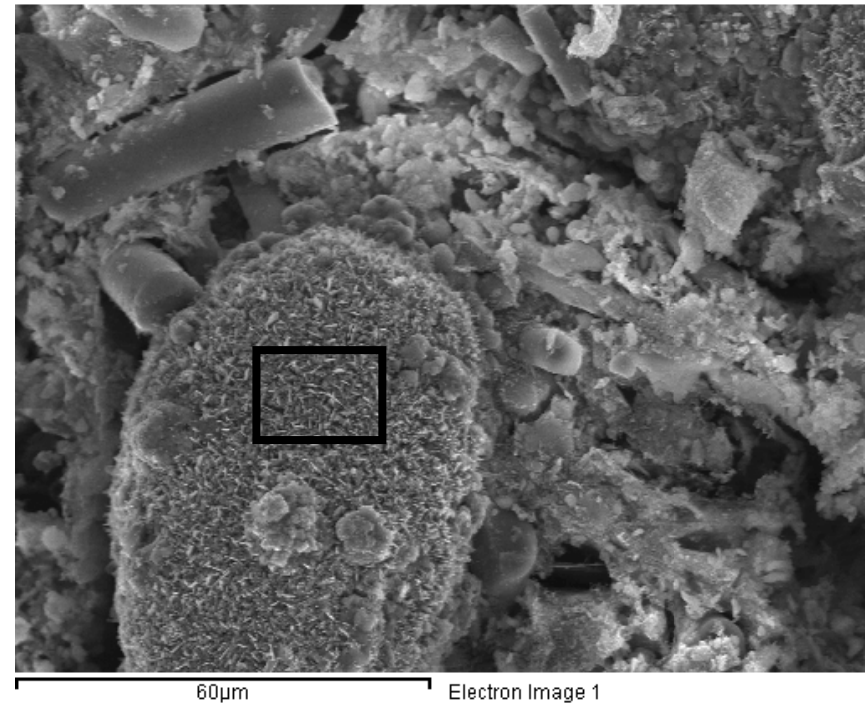
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM

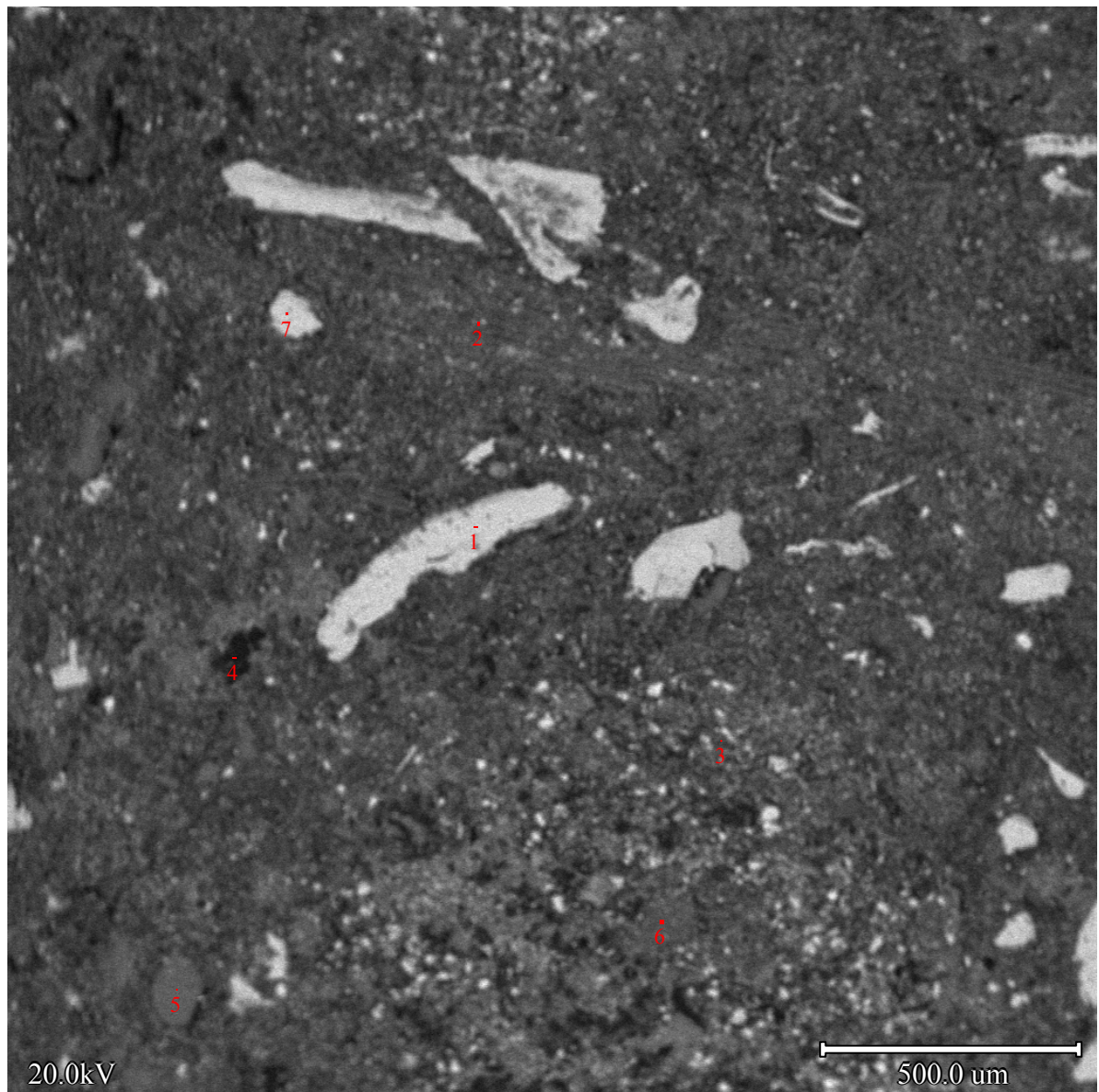
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	29.61	57.72
Na K	2.36	3.20
Mg K	0.62	0.79
S K	1.13	1.10
Ca K	0.66	0.51
Mn K	1.85	1.05

Comment: 475 C sonrasi Bremskerl



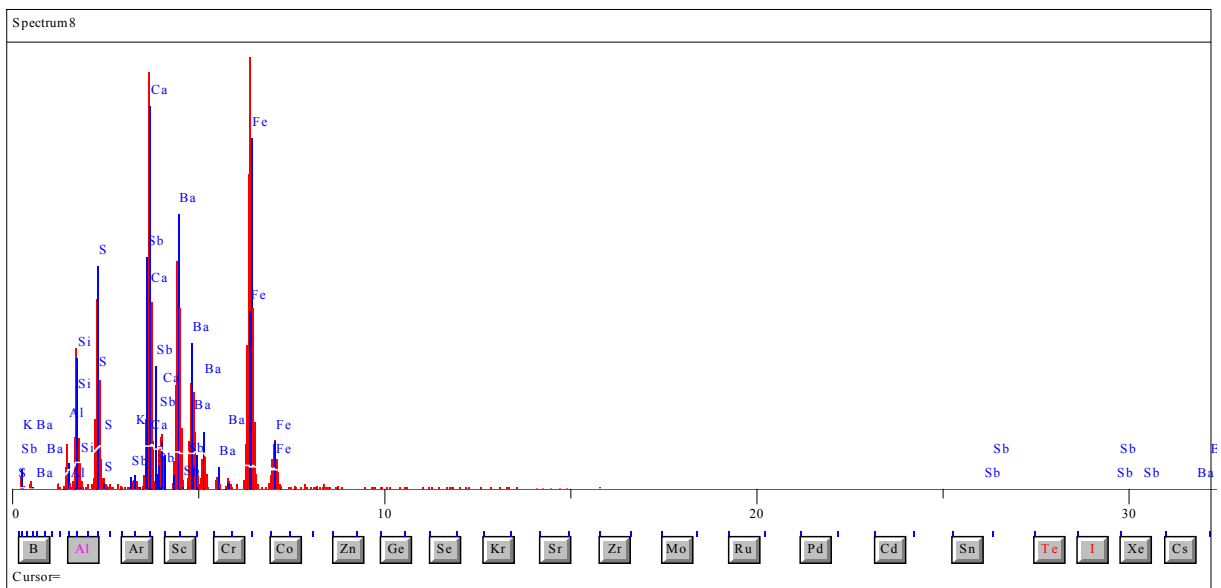
FUTURiS



X50 BSE Compo

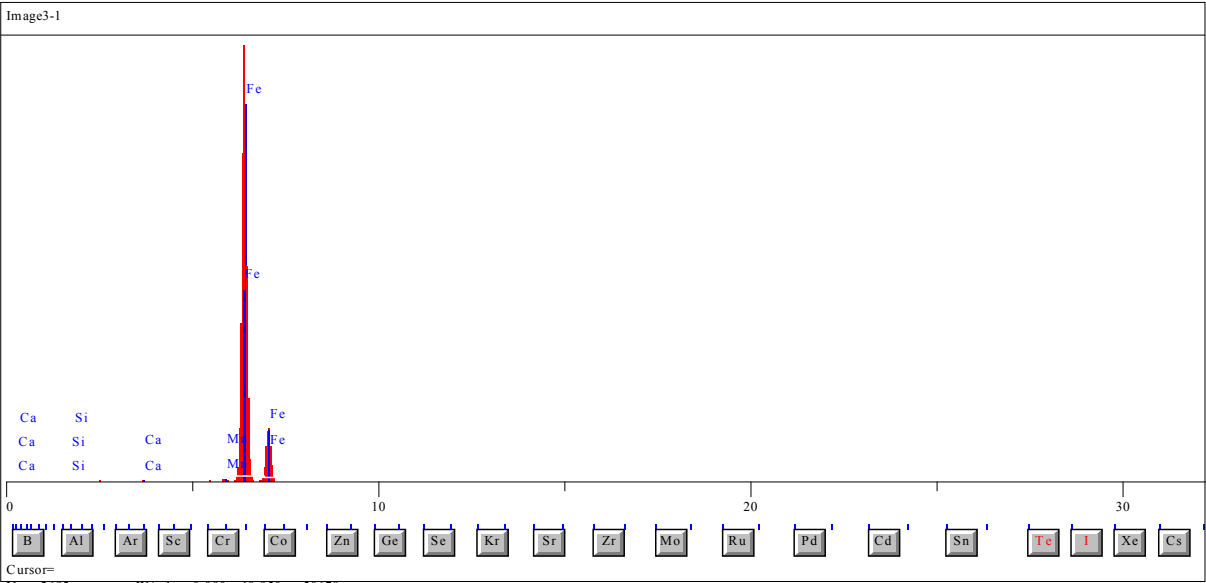
FUTURİS GENEL ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
C	Ka	1.99	8.654	wt.%	
O	Ka	1.91	0.632	wt.%	
Al	Ka	14.60	1.245	wt.%	
Si	Ka	55.52	4.254	wt.%	
S	Ka	86.38	5.482	wt.%	
K	Ka	6.91	0.431	wt.%	
Ca	Ka	188.51	12.212	wt.%	
Fe	Ka	217.48	30.993	wt.%	
Sb	La	0.00	0.000	wt.%	
Ba	La	116.85	36.096	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



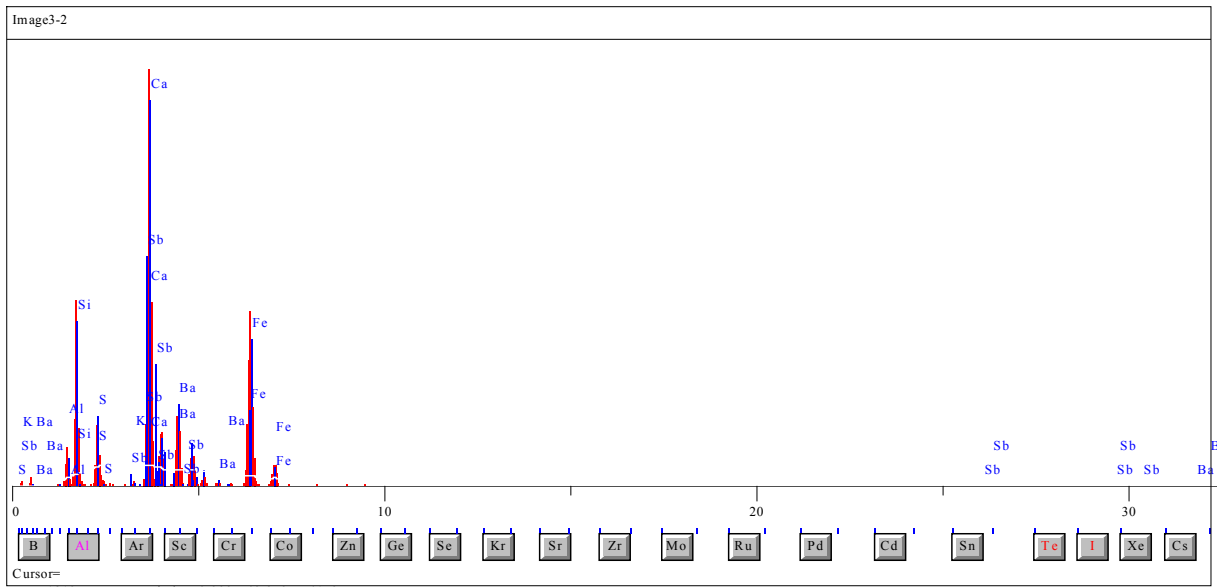
FUTURİS NOKTA 1 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
Si	Ka	3.26	0.152	wt.%	
Ca	Ka	4.93	0.172	wt.%	
Mn	Ka	10.07	0.453	wt.%	
Fe	Ka	1287.52	99.224	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



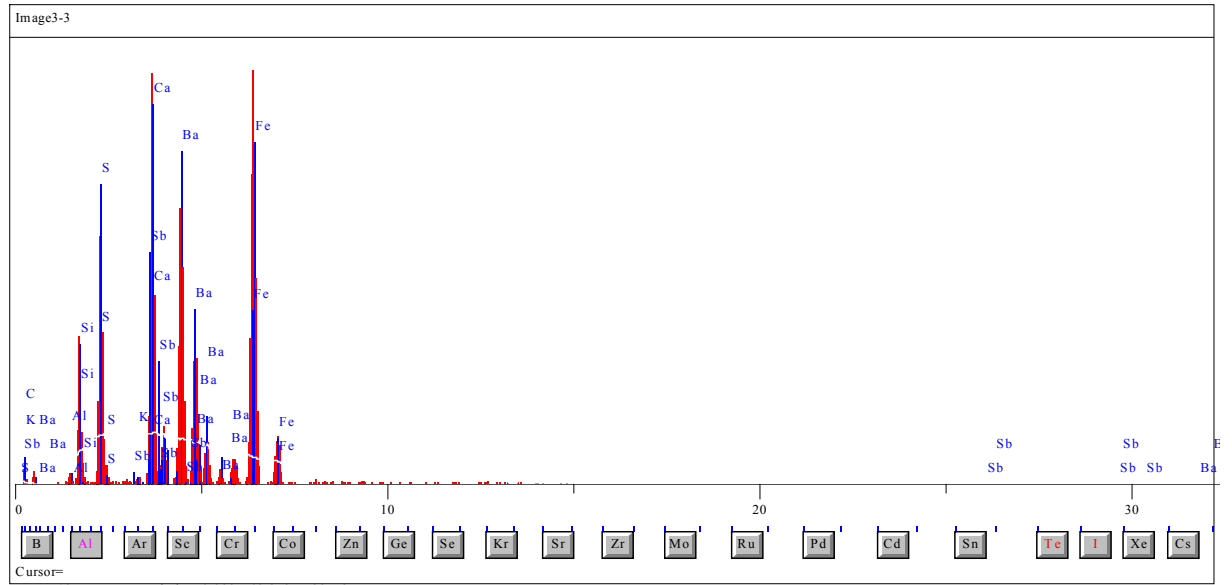
FUTURİS NOKTA 2 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
O	Ka	2.40	0.950	wt.%	
Mg	Ka	3.10	0.265	wt.%	
Al	Ka	35.20	2.600	wt.%	
Si	Ka	145.40	9.719	wt.%	
S	Ka	69.31	4.036	wt.%	
K	Ka	5.34	0.299	wt.%	
Ca	Ka	435.93	25.901	wt.%	
Fe	Ka	223.48	29.294	wt.%	
Sb	La	0.00	0.000	wt.%	
Ba	La	88.86	26.935	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



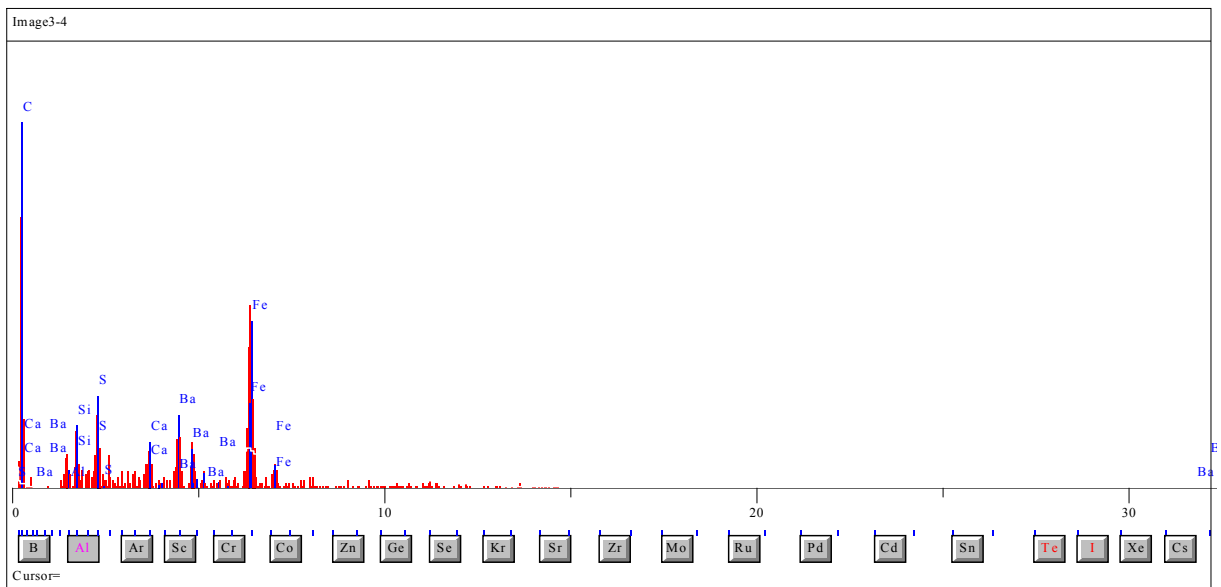
FUTURİS NOKTA 3 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
C	Ka	3.13	10.718	wt.%	
O	Ka	3.49	0.919	wt.%	
Al	Ka	5.81	0.405	wt.%	
Si	Ka	60.69	3.796	wt.%	
S	Ka	123.26	6.370	wt.%	
K	Ka	4.98	0.255	wt.%	
Ca	Ka	199.08	10.536	wt.%	
Fe	Ka	233.08	27.186	wt.%	
Sb	La	0.00	0.000	wt.%	
Ba	La	154.39	39.815	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



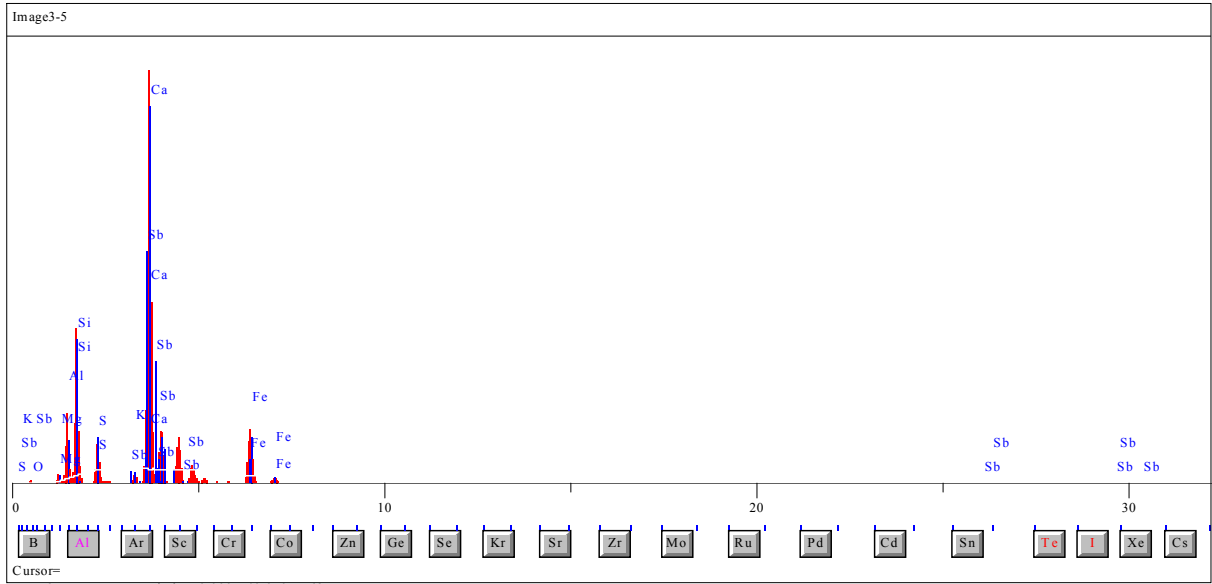
FUTURİS NOKTA 4 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
C	Ka	5.16	58.768	wt.%
Al	Ka	5.19	1.356	wt.%
Si	Ka	9.37	2.259	wt.%
S	Ka	12.54	2.741	wt.%
Ca	Ka	8.23	2.057	wt.%
Fe	Ka	35.40	19.973	wt.%
Ba	La	11.64	12.846	wt.%
			100.000	wt.%
				Total



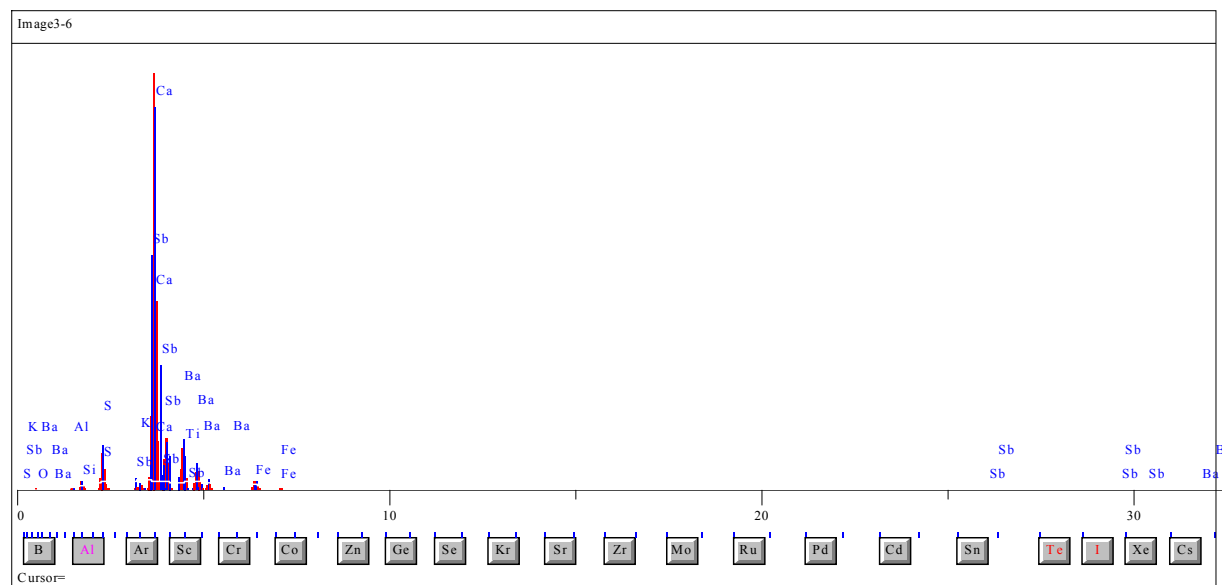
FUTURİS NOKTA 5 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc	
O	Ka	2.39	1.759	wt.%
Mg	Ka	16.84	1.072	wt.%
Al	Ka	113.36	6.124	wt.%
Si	Ka	277.91	14.087	wt.%
S	Ka	95.57	4.748	wt.%
K	Ka	25.27	1.232	wt.%
Ca	Ka	931.99	51.815	wt.%
Fe	Ka	155.16	19.164	wt.%
Sb	La	0.00	0.000	wt.%
			100.000	wt.%
				Total



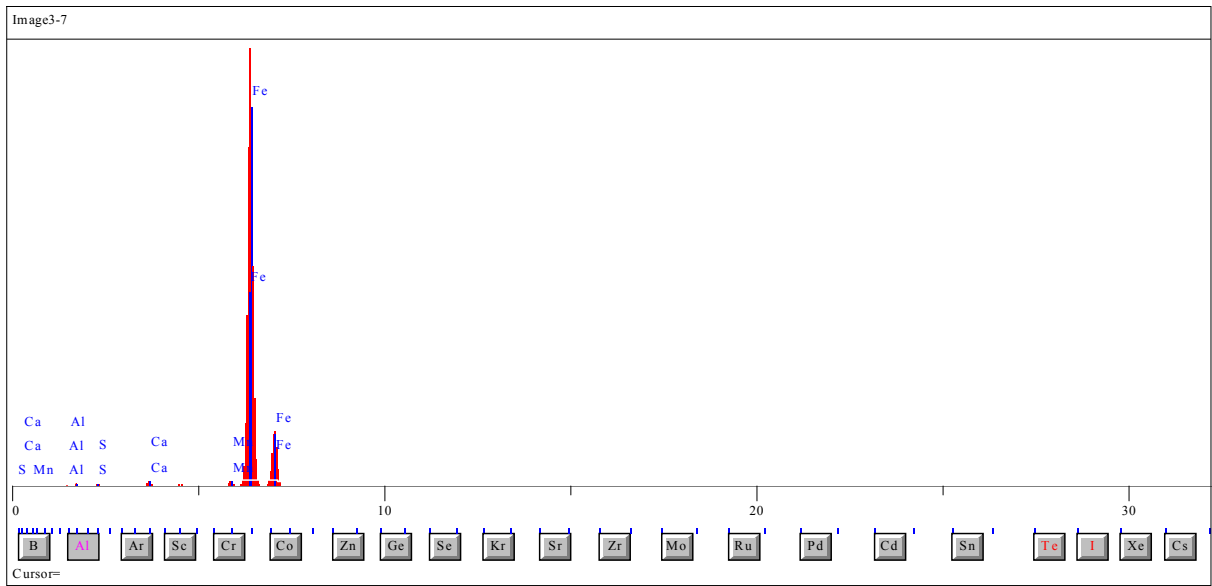
FUTURİS NOKTA 6 ANALİZİ

El.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
C	Ka	1.03		2.136	wt.%
O	Ka	2.33		0.924	wt.%
Al	Ka	7.62		0.386	wt.%
Si	Ka	30.34		1.388	wt.%
S	Ka	111.27		4.202	wt.%
K	Ka	25.66		0.941	wt.%
Ca	Ka	1149.35	47.037	wt.%	
Ti	Ka	0.00		0.000	wt.%
Fe	Ka	41.38		3.919	wt.%
Sb	La	0.00		0.000	wt.%
Ba	La	145.98		39.068	wt.%
				100.000	wt.%
					Total



FUTURİS NOKTA 7 ANALİZİ

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Conc		
Al	Ka	3.33	0.171	wt.%	
Si	Ka	7.13	0.299	wt.%	
S	Ka	6.38	0.211	wt.%	
Ca	Ka	17.13	0.540	wt.%	
Mn	Ka	14.29	0.586	wt.%	
Fe	Ka	1412.12	98.193	wt.%	
			100.000	wt.%	Total



Project 1

Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM

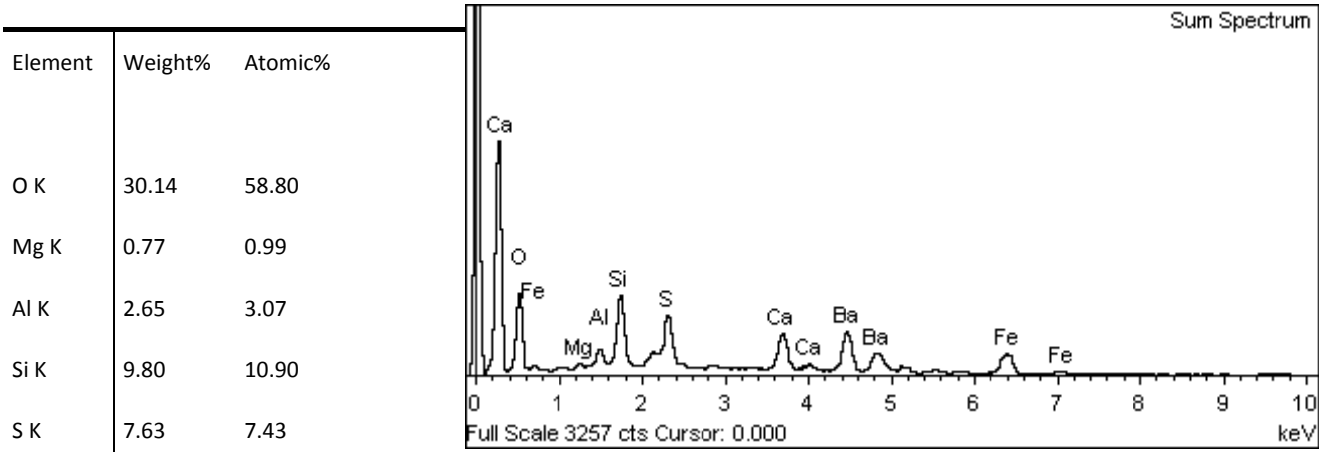
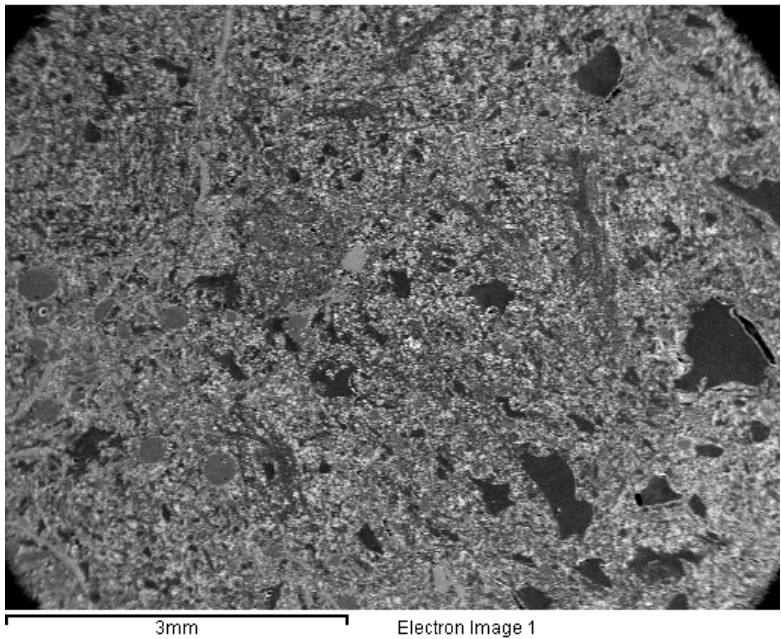
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM

Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Ba BaF2 1-Jun-1999 12:00 AM



Comment:Futuris

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 0.520, 2.835 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 10

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

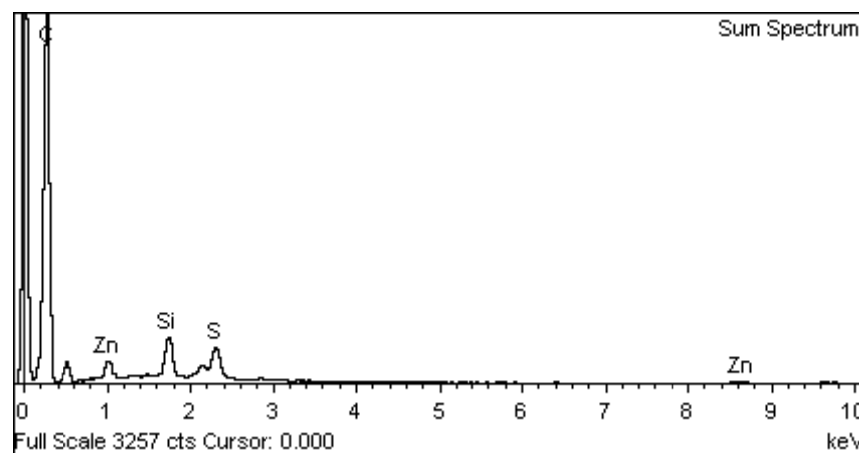
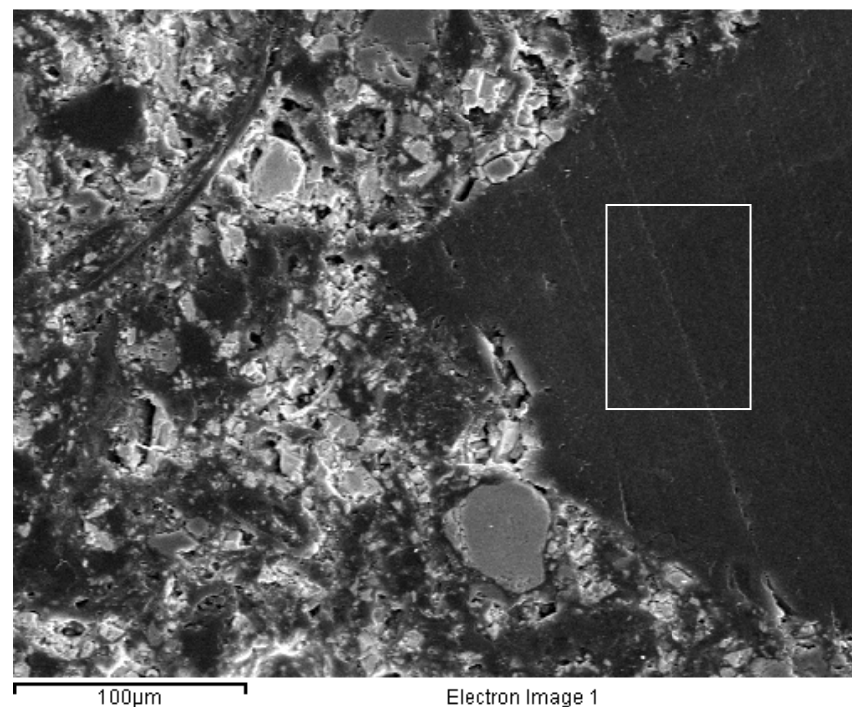
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	92.09	97.26
Si K	2.84	1.28
S K	2.36	0.93
Zn K	2.70	0.52
Totals	100.00	

Comment: Futuris



Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 1.271, 2.131, 4.485 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

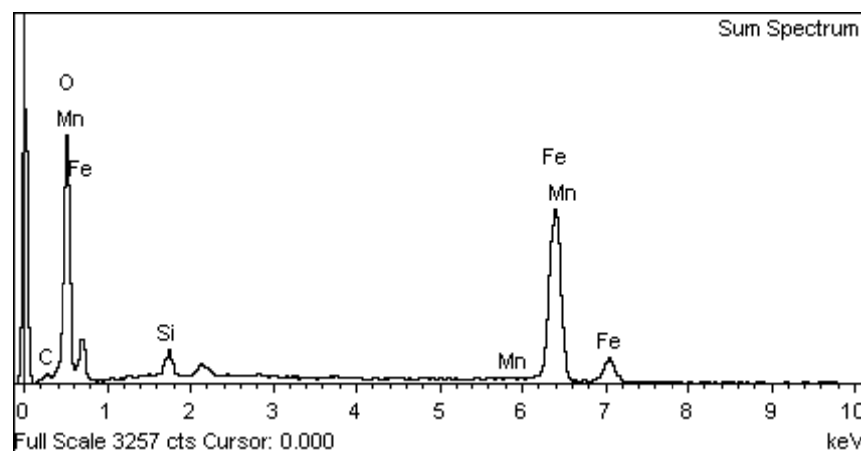
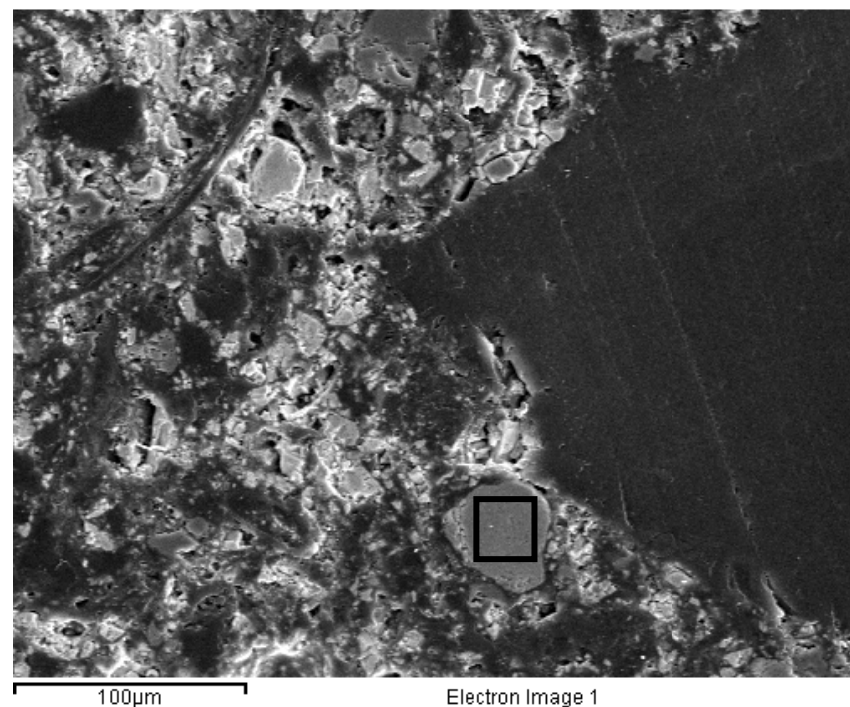
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	2.96	6.78
O K	36.25	62.24
Si K	2.21	2.17
Mn K	0.46	0.23
Fe K	58.11	28.58
Totals	100.00	

Comment: Futuris



Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 3

Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

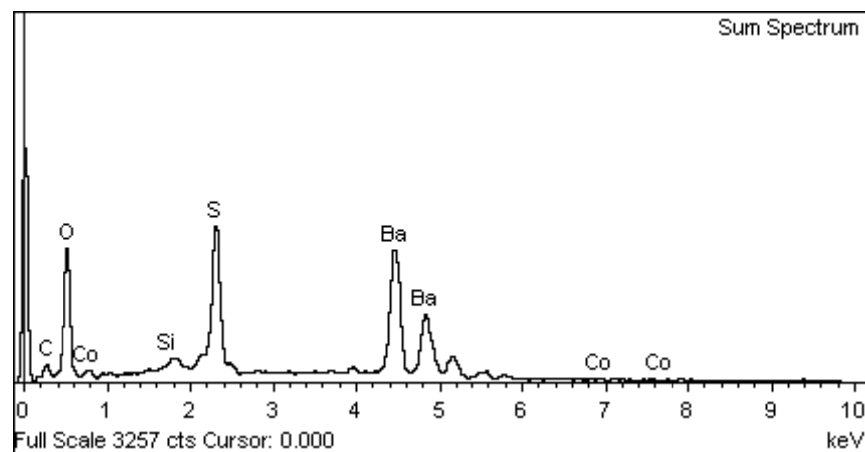
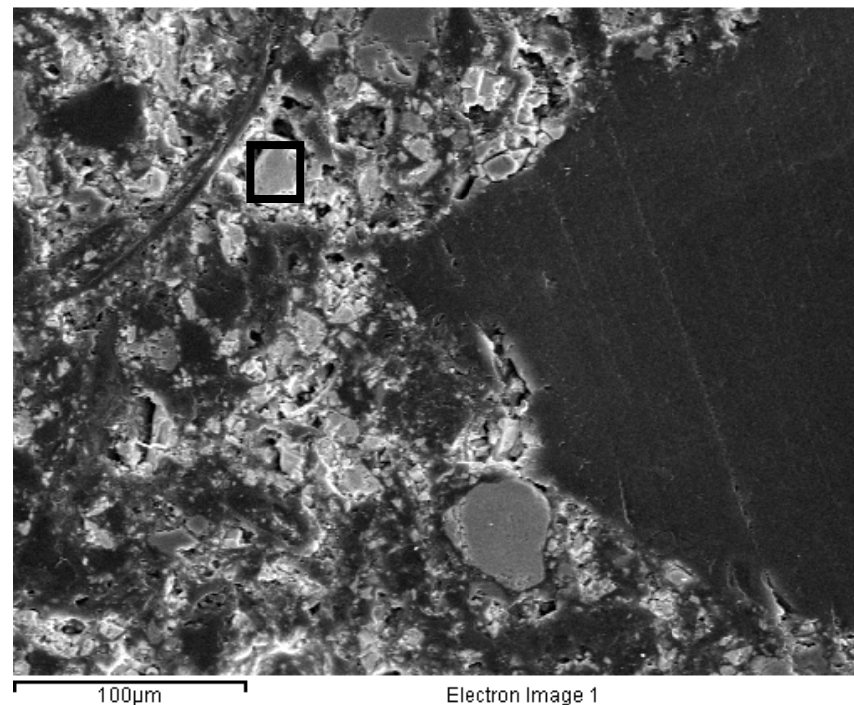
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM

Ba BaF₂ 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	6.97	19.54
O K	25.51	53.72
Si K	0.05	0.06
S K	12.49	13.13
Co K	0.17	0.10
Ba L	54.81	13.45

Comment: Futuris



Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 2.820 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 5

Standard :

C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM

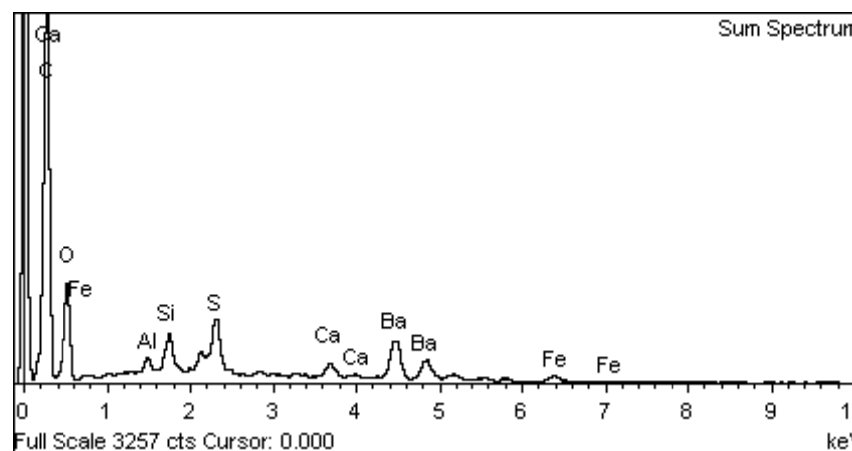
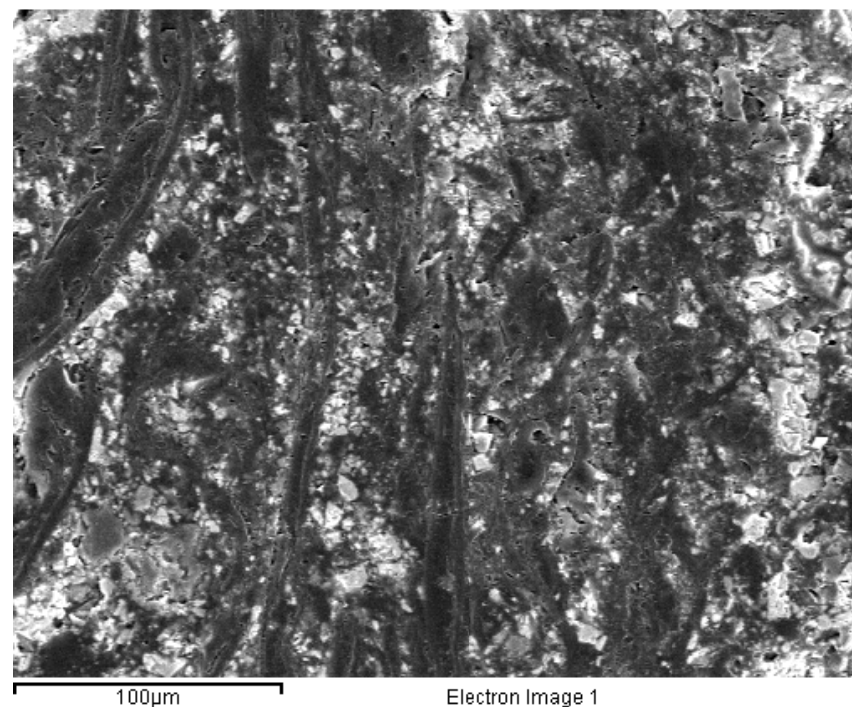
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM

Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Ba BaF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	58.22	73.31
O K	23.82	22.52
Al K	0.58	0.33
Si K	1.50	0.81
S K	2.41	1.14

Comment: Futuris®



EK-2 Ticari balataların ayrıntılı sürtünme test sonuçları

BREMSKERL®

EREN BALATA																																																										
SAE J661 Test Report Friction Coefficient Test Rig																																																										
Login Details <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Test Name</td> <td>250913-1</td> <td>Lot</td> <td>Bremskerl</td> </tr> <tr> <td>Part No</td> <td>2.20</td> <td>Customer</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grade</td> <td>Railway Pad</td> <td>Operator</td> <td>onr</td> </tr> <tr> <td>Batch No</td> <td></td> <td>Test Date</td> <td>TCDD</td> </tr> </table> Load=68Kg		Test Name	250913-1	Lot	Bremskerl	Part No	2.20	Customer		Grade	Railway Pad	Operator	onr	Batch No		Test Date	TCDD																																									
Test Name	250913-1	Lot	Bremskerl																																																							
Part No	2.20	Customer																																																								
Grade	Railway Pad	Operator	onr																																																							
Batch No		Test Date	TCDD																																																							
Baseline-1 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>App No</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>1</td><td>33.0</td><td>0.485</td></tr> <tr><td>5</td><td>34.0</td><td>0.500</td></tr> <tr><td>10</td><td>36.0</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>15</td><td>40.0</td><td>0.574</td></tr> <tr><td>20</td><td>40.0</td><td>0.588</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.535</td></tr> </table> Fade-1 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>T°C</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>93</td><td>40.0</td><td>0.588</td></tr> <tr><td>121</td><td>39.0</td><td>0.574</td></tr> <tr><td>149</td><td>39.0</td><td>0.574</td></tr> <tr><td>177</td><td>37.0</td><td>0.552</td></tr> <tr><td>205</td><td>36.0</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>233</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td>261</td><td>34.0</td><td>0.493</td></tr> <tr><td>289</td><td>34.0</td><td>0.500</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.541</td></tr> </table>		App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	1	33.0	0.485	5	34.0	0.500	10	36.0	0.529	15	40.0	0.574	20	40.0	0.588	Average:		0.535	T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	93	40.0	0.588	121	39.0	0.574	149	39.0	0.574	177	37.0	0.552	205	36.0	0.529	233	35.0	0.515	261	34.0	0.493	289	34.0	0.500	Average:		0.541						
App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
1	33.0	0.485																																																								
5	34.0	0.500																																																								
10	36.0	0.529																																																								
15	40.0	0.574																																																								
20	40.0	0.588																																																								
Average:		0.535																																																								
T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
93	40.0	0.588																																																								
121	39.0	0.574																																																								
149	39.0	0.574																																																								
177	37.0	0.552																																																								
205	36.0	0.529																																																								
233	35.0	0.515																																																								
261	34.0	0.493																																																								
289	34.0	0.500																																																								
Average:		0.541																																																								
Recovery-1 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>T°C</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>261</td><td>35.0</td><td>0.507</td></tr> <tr><td>205</td><td>37.0</td><td>0.544</td></tr> <tr><td>149</td><td>38.0</td><td>0.559</td></tr> <tr><td>93</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.531</td></tr> </table> Wear <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>App No</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>1</td><td>36.0</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>10</td><td>37.0</td><td>0.544</td></tr> <tr><td>20</td><td>36.0</td><td>0.537</td></tr> <tr><td>30</td><td>36.0</td><td>0.544</td></tr> <tr><td>40</td><td>36.0</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>50</td><td>36.0</td><td>0.529</td></tr> <tr><td>60</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td>70</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td>80</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td>90</td><td>34.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td>100</td><td>35.0</td><td>0.515</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.526</td></tr> </table>		T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	261	35.0	0.507	205	37.0	0.544	149	38.0	0.559	93	35.0	0.515	Average:		0.531	App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	1	36.0	0.529	10	37.0	0.544	20	36.0	0.537	30	36.0	0.544	40	36.0	0.529	50	36.0	0.529	60	35.0	0.515	70	35.0	0.515	80	35.0	0.515	90	34.0	0.515	100	35.0	0.515	Average:		0.526
T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
261	35.0	0.507																																																								
205	37.0	0.544																																																								
149	38.0	0.559																																																								
93	35.0	0.515																																																								
Average:		0.531																																																								
App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
1	36.0	0.529																																																								
10	37.0	0.544																																																								
20	36.0	0.537																																																								
30	36.0	0.544																																																								
40	36.0	0.529																																																								
50	36.0	0.529																																																								
60	35.0	0.515																																																								
70	35.0	0.515																																																								
80	35.0	0.515																																																								
90	34.0	0.515																																																								
100	35.0	0.515																																																								
Average:		0.526																																																								
Recovery-2 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>T°C</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>317</td><td>32.0</td><td>0.464</td></tr> <tr><td>261</td><td>33.0</td><td>0.500</td></tr> <tr><td>205</td><td>34.0</td><td>0.500</td></tr> <tr><td>149</td><td>32.0</td><td>0.471</td></tr> <tr><td>93</td><td>29.0</td><td>0.426</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.472</td></tr> </table> Baseline-2 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>App No</th> <th>Friction Force(Kg)</th> <th>Fric (μ)</th> </tr> <tr><td>1</td><td>29.0</td><td>0.412</td></tr> <tr><td>5</td><td>31.0</td><td>0.449</td></tr> <tr><td>10</td><td>33.0</td><td>0.471</td></tr> <tr><td>15</td><td>33.0</td><td>0.485</td></tr> <tr><td>20</td><td>33.0</td><td>0.485</td></tr> <tr><td colspan="2">Average:</td><td>0.46</td></tr> </table>		T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	317	32.0	0.464	261	33.0	0.500	205	34.0	0.500	149	32.0	0.471	93	29.0	0.426	Average:		0.472	App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	1	29.0	0.412	5	31.0	0.449	10	33.0	0.471	15	33.0	0.485	20	33.0	0.485	Average:		0.46															
T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
317	32.0	0.464																																																								
261	33.0	0.500																																																								
205	34.0	0.500																																																								
149	32.0	0.471																																																								
93	29.0	0.426																																																								
Average:		0.472																																																								
App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)																																																								
1	29.0	0.412																																																								
5	31.0	0.449																																																								
10	33.0	0.471																																																								
15	33.0	0.485																																																								
20	33.0	0.485																																																								
Average:		0.46																																																								
Wear Data <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th></th> <th>Mass(gm)</th> <th>Thick(mm)</th> </tr> <tr><td>Initial</td><td>9.270</td><td>7.55</td></tr> <tr><td>Final</td><td>7.990</td><td>6.61</td></tr> <tr><td>WearLoss</td><td>1.280</td><td>0.94</td></tr> <tr><td>Wear %</td><td>17.400</td><td>15.70</td></tr> </table> Normal Mu N 0.467 Hot Mu H 0.491 G G RATING			Mass(gm)	Thick(mm)	Initial	9.270	7.55	Final	7.990	6.61	WearLoss	1.280	0.94	Wear %	17.400	15.70																																										
	Mass(gm)	Thick(mm)																																																								
Initial	9.270	7.55																																																								
Final	7.990	6.61																																																								
WearLoss	1.280	0.94																																																								
Wear %	17.400	15.70																																																								

EREN BALATA																	
SAE J661 Graph Friction Coefficient Test Rig																	
Login Details <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Test Name</td> <td>250913-1</td> <td>Lot</td> <td>Bremskerl</td> </tr> <tr> <td>Part No</td> <td>2.20</td> <td>Customer</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Grade</td> <td>Railway Pad</td> <td>Operator</td> <td>onr</td> </tr> <tr> <td>Batch No</td> <td></td> <td>Test Date</td> <td>TCDD</td> </tr> </table> Load=68Kg		Test Name	250913-1	Lot	Bremskerl	Part No	2.20	Customer		Grade	Railway Pad	Operator	onr	Batch No		Test Date	TCDD
Test Name	250913-1	Lot	Bremskerl														
Part No	2.20	Customer															
Grade	Railway Pad	Operator	onr														
Batch No		Test Date	TCDD														
Baseline-1 Fade-1 Recovery-1																	
Wear Fade-2 Recovery-2 Baseline-2																	



EREN BALATA

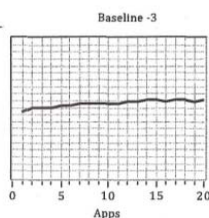
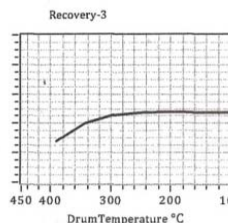
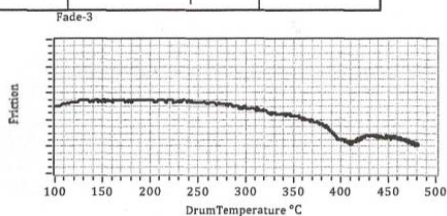
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-1	Lot	Bremskerl
Part No	2.20	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	33.0	0.500
150	36.0	0.552
200	37.0	0.544
250	37.0	0.544
300	34.0	0.500
350	29.0	0.448
400	20.0	0.294
450	18.0	0.265
482	15.0	0.217

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	19.0	0.279
350	28.0	0.400
300	32.0	0.456
250	32.0	0.471
200	33.0	0.478
150	32.0	0.471
100	32.0	0.471

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	32.0	0.471
5	35.0	0.515
10	36.0	0.529
15	38.0	0.559
20	38.0	0.559

FUTURIS



EREN BALATA

SAE J661 Test Report

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-2	Lot	Futuris
Part No	d=2.20	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	TCDD

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	31.0	0.456
5	33.0	0.485
10	34.0	0.493
15	34.0	0.500
20	35.0	0.515

Average: 0.49

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	35.0	0.507
121	34.0	0.515
149	34.0	0.500
177	33.0	0.485
205	33.0	0.485
233	32.0	0.471
261	31.0	0.456
289	27.0	0.397

Average: 0.477

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	34.0	0.493
205	34.0	0.500
149	34.0	0.500
93	33.0	0.485

Average: 0.494

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	34.0	0.500
10	32.0	0.471
20	31.0	0.456
30	31.0	0.456
40	32.0	0.471
50	32.0	0.464
60	33.0	0.485
70	33.0	0.485
80	33.0	0.485
90	33.0	0.485
100	34.0	0.500

Average: 0.478

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	27.0	0.397
121	34.0	0.500
149	34.0	0.500
177	33.0	0.485
205	32.0	0.471
233	33.0	0.485
261	33.0	0.464
289	30.0	0.441
317	27.0	0.391
345	21.0	0.309

Average: 0.444

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	26.0	0.377
261	32.0	0.456
205	34.0	0.493
149	30.0	0.441
93	25.0	0.368

Average: 0.427

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	25.0	0.368
5	31.0	0.456
10	35.0	0.515
15	35.0	0.515
20	33.0	0.485

Average: 0.468

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.030	7.46
Final	7.970	6.50
WearLoss	1.060	0.96
Wear %	14.600	16.00

Normal Mu N 0.467

Hot Mu H 0.448

G F
RATING

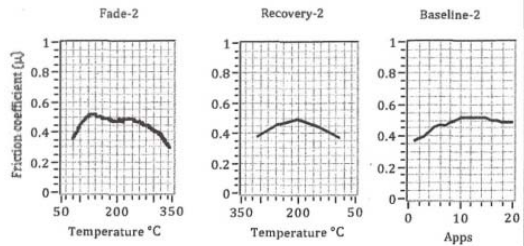
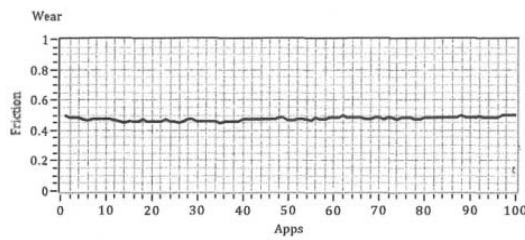
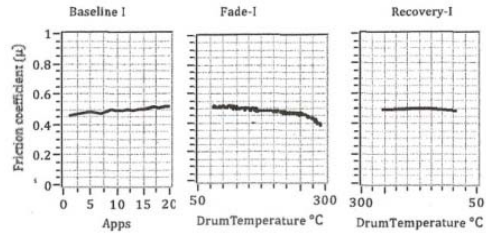
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-2	Lot	Futuris
Part No	d=2.20	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	TCDD

Load=68Kg



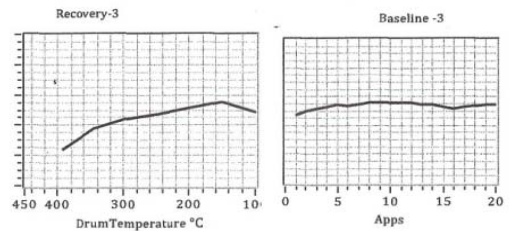
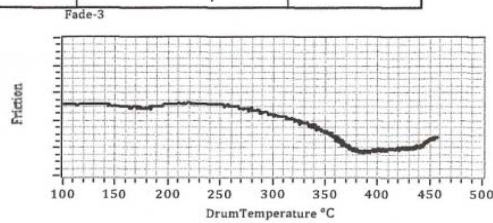
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-2	Lot	Futuris
Part No	d=2.20	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	35.0	0.500
150	35.0	0.515
200	34.0	0.500
250	35.0	0.515
300	30.0	0.463
350	24.0	0.353
400	12.0	0.174
450	15.0	0.206
458	19.0	0.265

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	15.0	0.235
350	27.0	0.377
300	31.0	0.441
250	32.0	0.471
200	35.0	0.515
150	37.0	0.552
100	33.0	0.485

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	32.0	0.471
5	37.0	0.544
10	38.0	0.559
15	36.0	0.529
20	37.0	0.544

FRENOPLAST



EREN BALATA

SAE J661 Test Report Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-3	Lot	Frenoplast
Part No	d=2.43	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	TCDD

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	34.0	0.507
5	34.0	0.507
10	36.0	0.529
15	37.0	0.529
20	37.0	0.544
Average:	0.523	

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	38.0	0.544
121	35.0	0.515
149	34.0	0.485
177	32.0	0.485
205	30.0	0.426
233	30.0	0.426
261	31.0	0.441
289	31.0	0.441
Average:	0.47	

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	34.0	0.500
205	35.0	0.515
149	37.0	0.522
93	38.0	0.559
Average:	0.524	

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	36.0	0.529
10	34.0	0.493
20	34.0	0.500
30	35.0	0.515
40	36.0	0.529
50	37.0	0.544
60	37.0	0.544
70	37.0	0.544
80	38.0	0.559
90	38.0	0.559
100	38.0	0.559
Average:	0.534	

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	31.0	0.456
121	38.0	0.559
149	39.0	0.574
177	39.0	0.574
205	37.0	0.544
233	35.0	0.515
261	33.0	0.485
289	30.0	0.441
317	26.0	0.388
345	22.0	0.324
Average:	0.486	

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	19.0	0.275
261	28.0	0.412
205	36.0	0.529
149	41.0	0.588
93	33.0	0.485
Average:	0.458	

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	35.0	0.515
5	39.0	0.574
10	39.0	0.574
15	38.0	0.559
20	40.0	0.588
Average:	0.562	

Wear Data

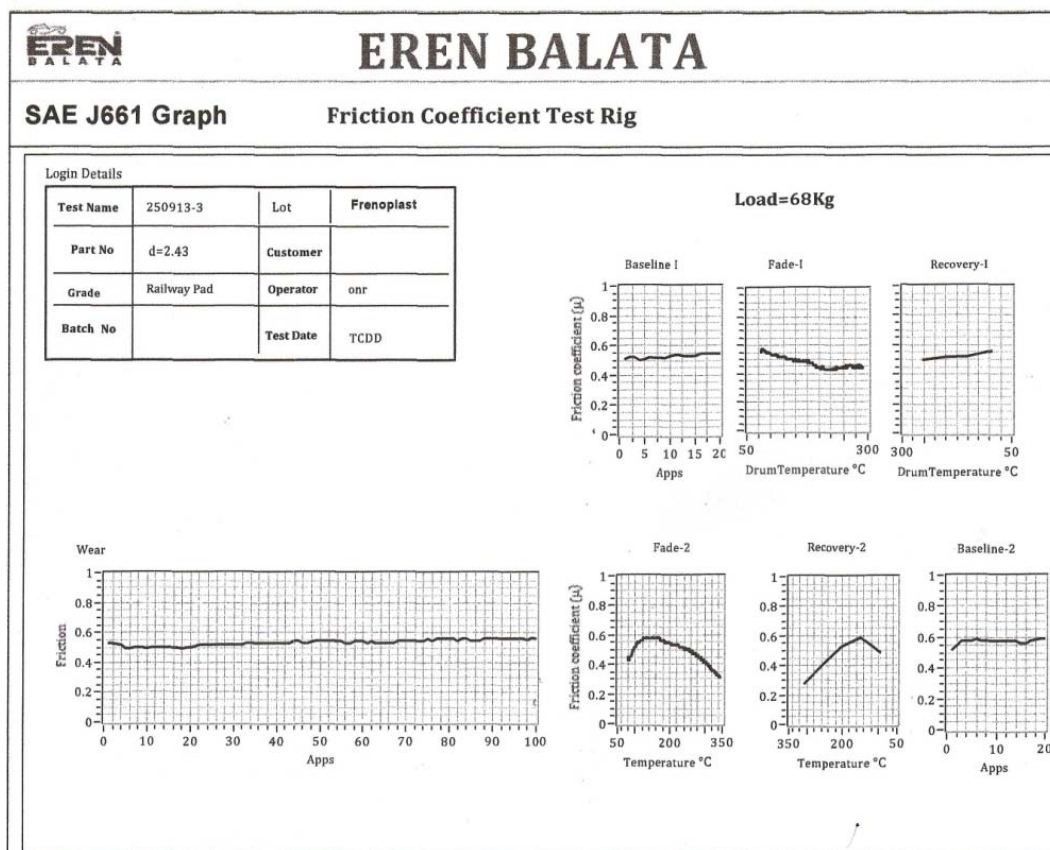
	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	10.110	7.32
Final	7.860	6.34
WearLoss	2.250	0.98
Wear %	27.200	16.30

Normal Mu N 0.533

Hot Mu H 0.472

G G

RATING



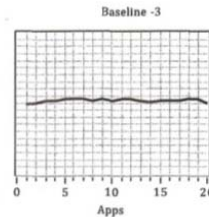
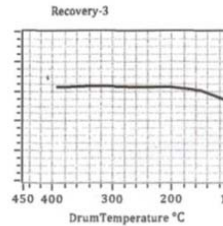
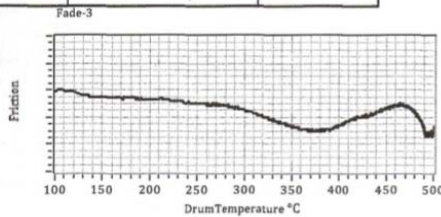
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	250913-3	Lot	Frenoplast
Part No	d=2.43	Customer	
Grade	Railway Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	41.0	0.603
150	37.0	0.544
200	37.0	0.529
250	34.0	0.500
300	32.0	0.471
350	24.0	0.358
400	21.0	0.309
450	30.0	0.441
500	19.0	0.279

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	42.0	0.627
350	43.0	0.632
300	43.0	0.632
250	42.0	0.627
200	41.0	0.627
150	40.0	0.603
100	36.0	0.529

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	32.0	0.493
5	36.0	0.529
10	35.0	0.515
15	35.0	0.515
20	34.0	0.500

BECORIT

SAE J661 Test Report

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	231213-1	Lot	BECORIT
Part No	Railway	Customer	
Grade	Disc Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	23.12.2013

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	31.0	0.456
5	33.0	0.485
10	35.0	0.515
15	37.0	0.544
20	37.0	0.544
Average:	0.509	

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	36.0	0.529
121	36.0	0.537
149	36.0	0.537
177	36.0	0.537
205	33.0	0.493
233	29.0	0.418
261	25.0	0.394
289	23.0	0.343
Average:	0.474	

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	24.0	0.353
205	29.0	0.426
149	35.0	0.515
93	38.0	0.559
Average:	0.463	

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	34.0	0.500
10	44.0	0.657
20	45.0	0.672
30	44.0	0.657
40	45.0	0.672
50	46.0	0.687
60	46.0	0.687
70	43.0	0.657
80	42.0	0.627
90	40.0	0.597
100	41.0	0.627
Average:	0.64	

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	36.0	0.537
121	41.0	0.612
149	41.0	0.612
177	41.0	0.612
205	41.0	0.612
233	41.0	0.612
261	40.0	0.621
289	38.0	0.585
317	34.0	0.523
345	27.0	0.409
Average:	0.573	

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	31.0	0.463
261	34.0	0.500
205	37.0	0.544
149	38.0	0.559
93	37.0	0.559
Average:	0.525	

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	38.0	0.552
5	35.0	0.515
10	36.0	0.537
15	34.0	0.507
20	37.0	0.552
Average:	0.533	

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.140	7.45
Final	7.020	5.86
WearLoss	2.120	1.59
Wear %	28.800	26.50

Normal Mu N 0.593
Hot Mu H 0.529

G G
RATING

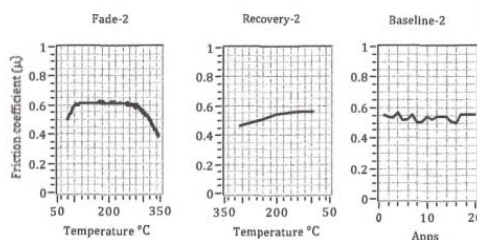
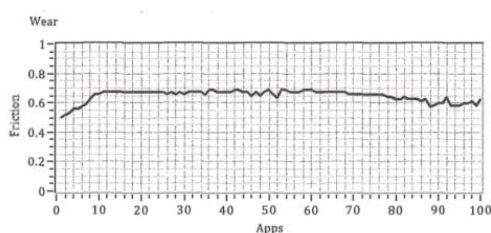
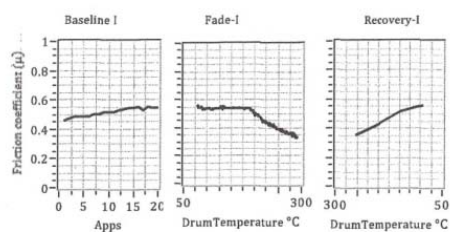
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	231213-1	Lot	BECORIT
Part No	Railway	Customer	
Grade	Disc Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	23.12.2013

Load=68Kg



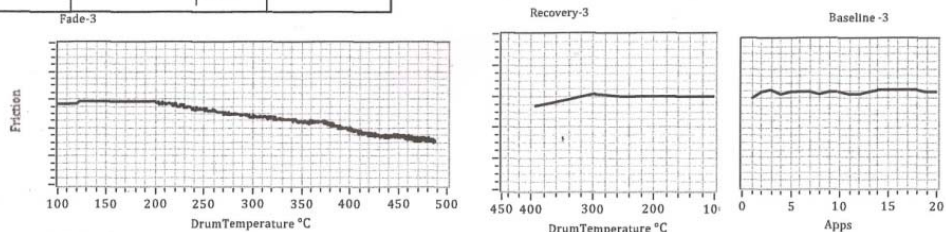
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	231213-1	Lot	BECORIT
Part No	Railway	Customer	
Grade	Disc Pad	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	38.0	0.567
150	39.0	0.582
200	39.0	0.582
250	35.0	0.545
300	32.0	0.485
350	30.0	0.455
400	26.0	0.394
450	23.0	0.348
487	21.0	0.294

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	38.0	0.536
350	40.0	0.574
300	41.0	0.612
250	40.0	0.597
200	40.0	0.597
150	40.0	0.597
100	40.0	0.597

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	40.0	0.597
5	43.0	0.642
10	42.0	0.642
15	44.0	0.657
20	43.0	0.642

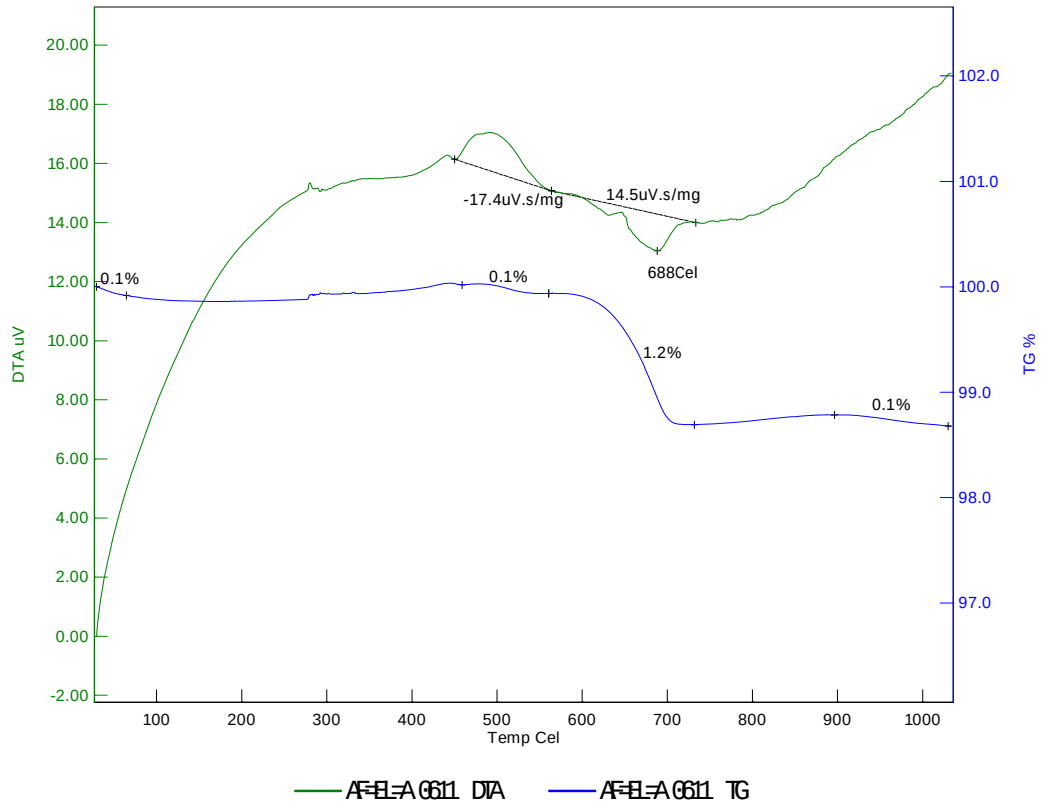
EK-3 Uçucu küller üzerinde yapılan TGA/DTA ve DSC analizleri

Module: TG/DTA
Data Name: AF=EL=A 0611
Measurement Date: 9/5/2011
Sample Name: AF=EL=A 0611
Sample Weight: 28.085 mg
Reference Name: Pt bos
Reference Weight: 0.000 mg

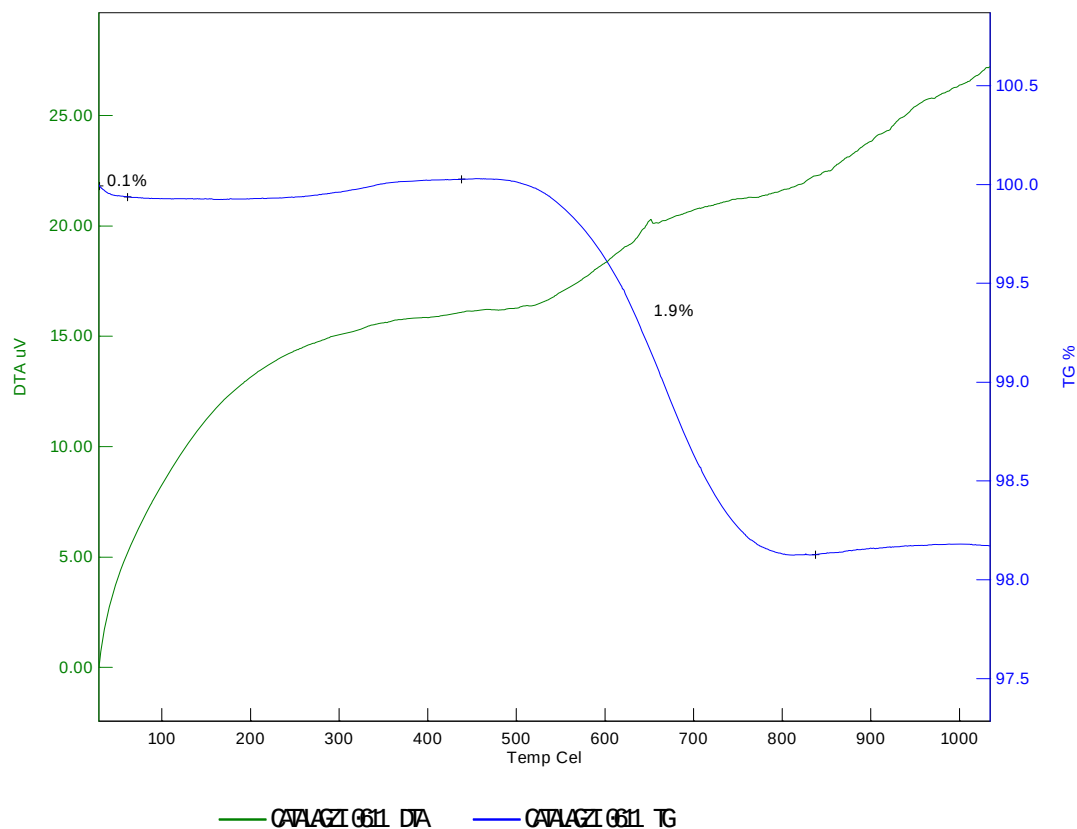
Temperature Program:

	Cel	Cel	Cel/min	min	s
1*	29	1020	10	0	1.0

Comment:
Operator: DCE
Gas1: Azot
Gas2: Oksijen
Pan: Pt

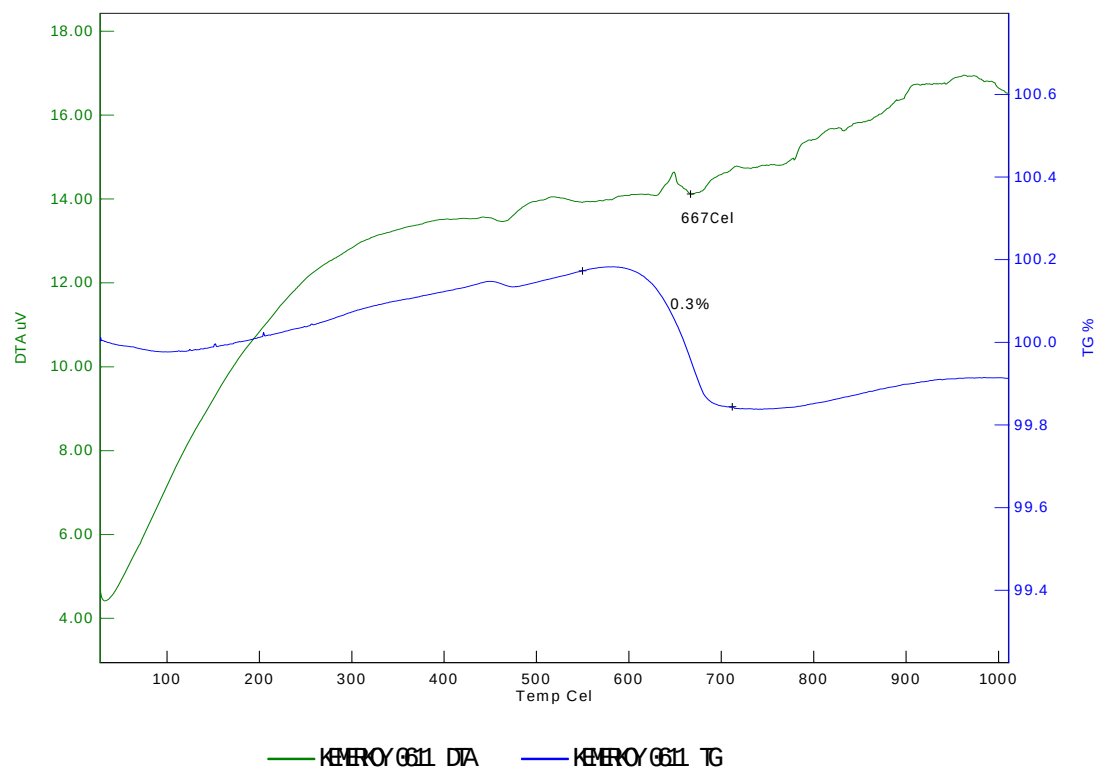


Module:	TG/DTA	Temperature Program:						
Data Name:	CATALAGZI 0611	Cel	Cel	Cel/min	min	s		
Measurement Date:	8/26/2011	1*	29	1020	10	0	1.0	
Sample Name:	CATALAGZI 0611							
Sample Weight:	18.489 mg							
Reference Name:	Pt bos							
Reference Weight:	0.000 mg							
		Comment:						
		Operator: DCE						
		Gas1: Azot						
		Gas2: Oksijen						
		Pan: Pt						



Module: TG/DTA
Data Name: KEMERKOY 0611
Measurement Date: 8/23/2011
Sample Name: KEMERKOY 0611
Sample Weight: 37.524 mg
Reference Name: Pt bos
Reference Weight: 0.000 mg

Temperature Program:
Cel Cel Cel/min
min s
1* 27 1000 10
0 1.0
Comment:
Gas1: Azot
Gas2: Oksijen
Pan: Pt

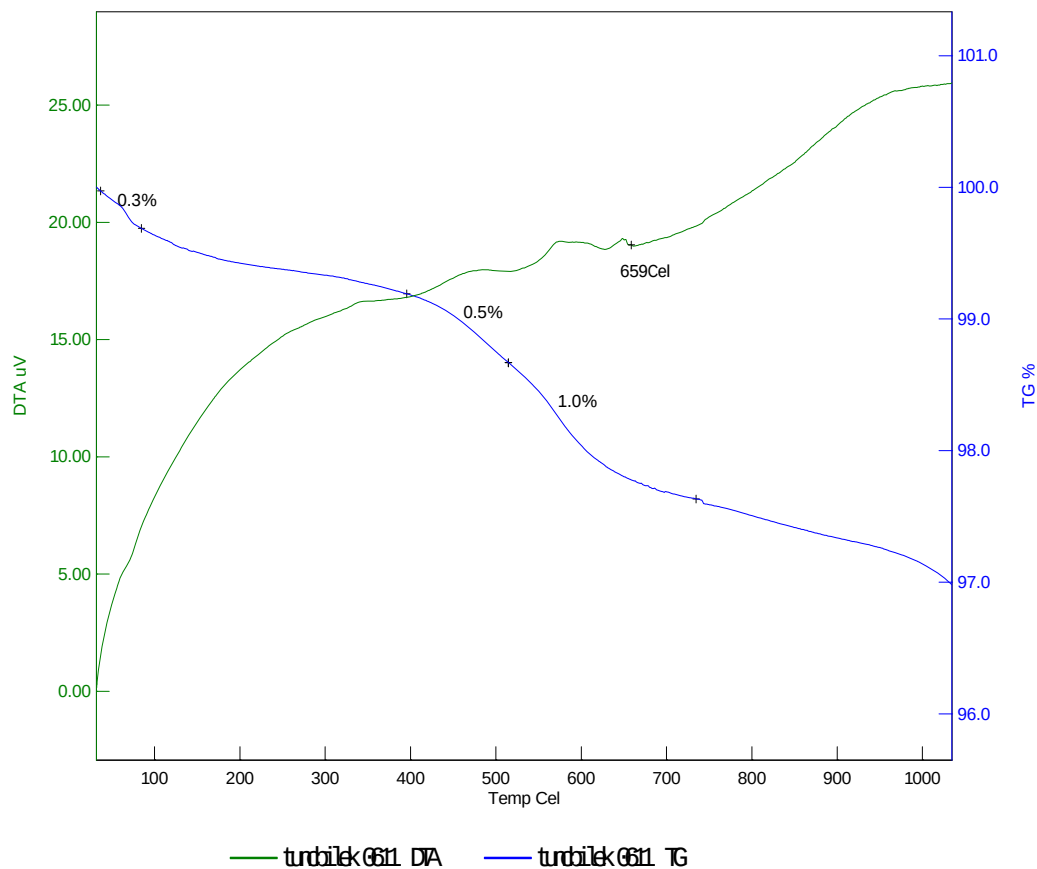


Module: TG/DTA
 Data Name: tuncbilek 0611
 Measurement Date: 9/5/2011
 Sample Name: tuncbilek 0611
 Sample Weight: 19.036 mg
 Reference Name: Pt bos
 Reference Weight: 0.000 mg

Temperature Program:

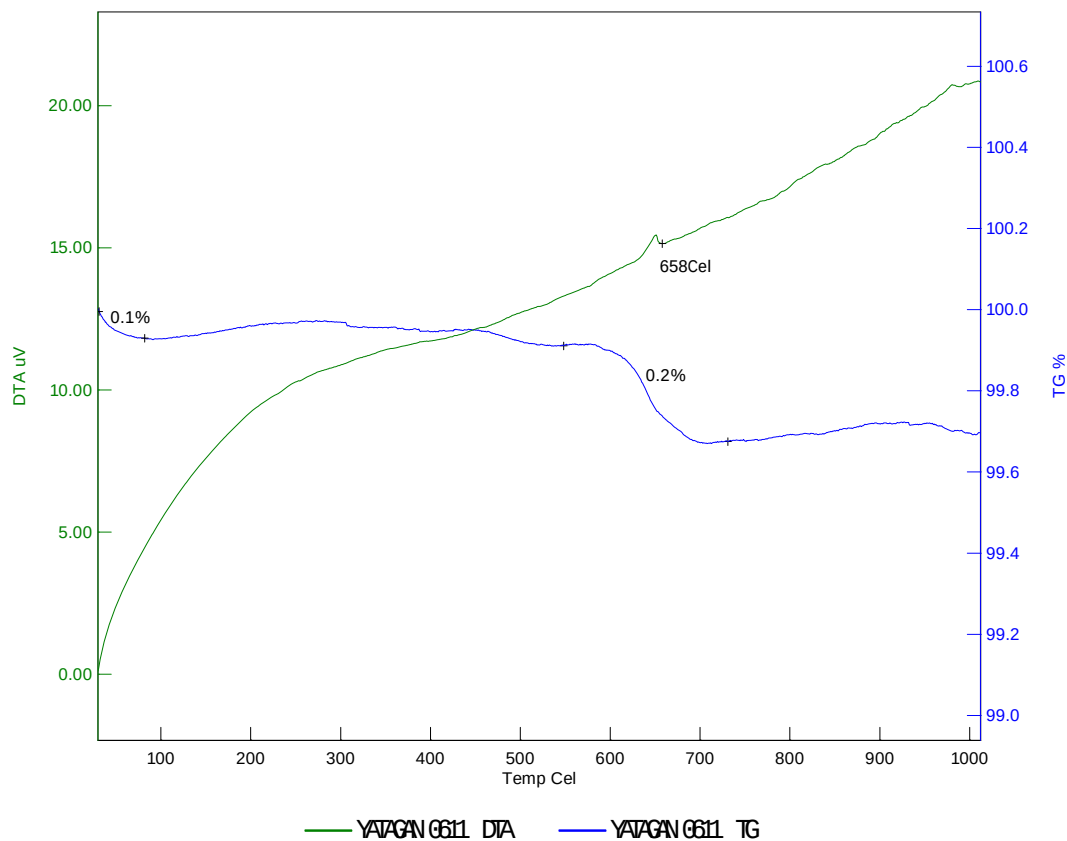
Cel	Cel	Cel/min	min	s
1*	32	1020	10	

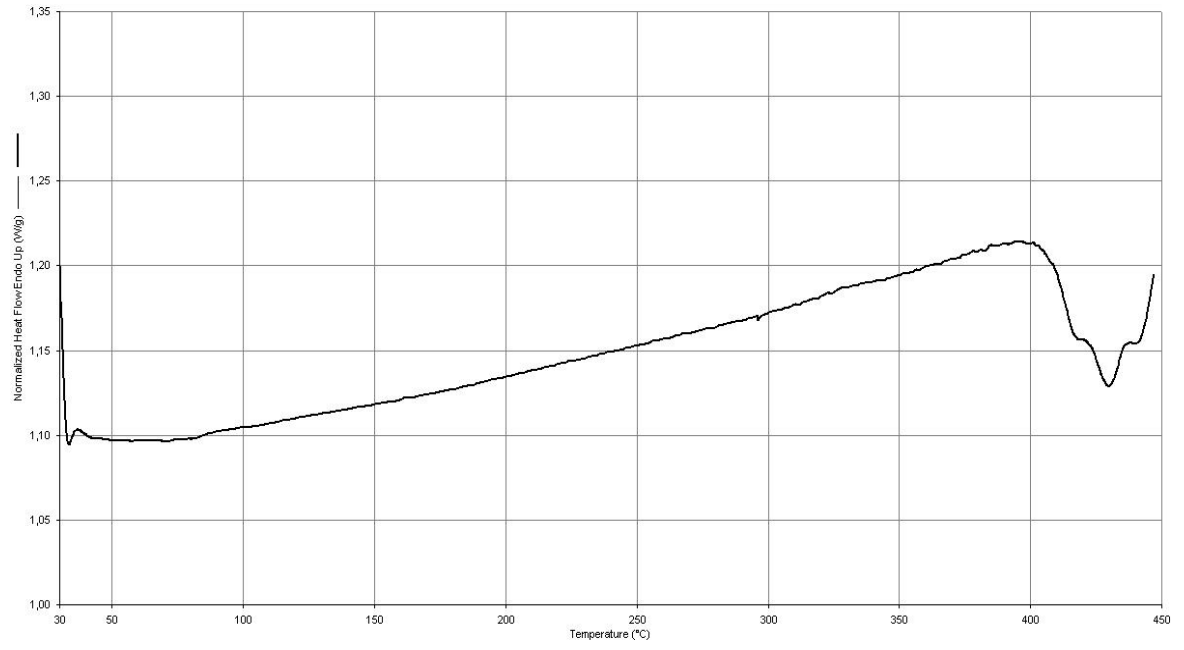
 Operatör: YI
 Gas1: Azot
 Gas2: Oksijen
 Pan: Pt



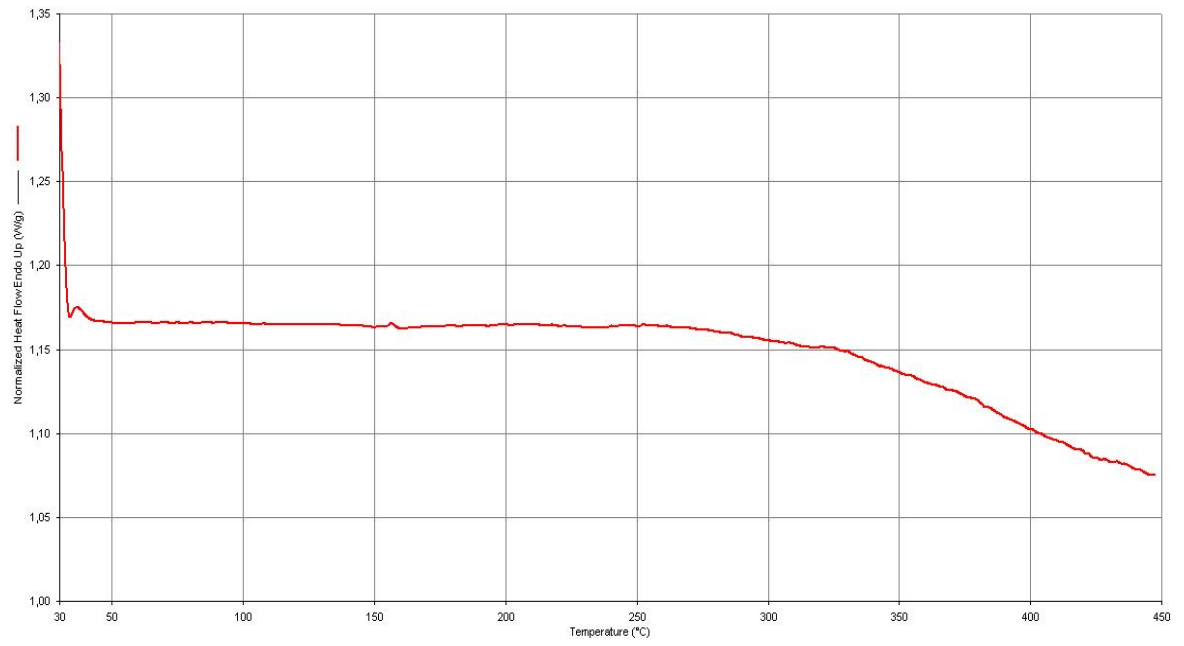
Module: TG/DTA
 Data Name: YATAGAN 0611
 Measurement Date: 8/23/2011
 Sample Name: YATAGAN 0611
 Sample Weight: 10.299 mg
 Reference Name: Pt bos
 Reference Weight: 0.000 mg

Temperature Program:
 Cel Cel Cel/min min s
 1* 30 1000 10 0 1.0
 Comment:
 Gas1: Azot
 Gas2: Oksijen
 Pan: Pt

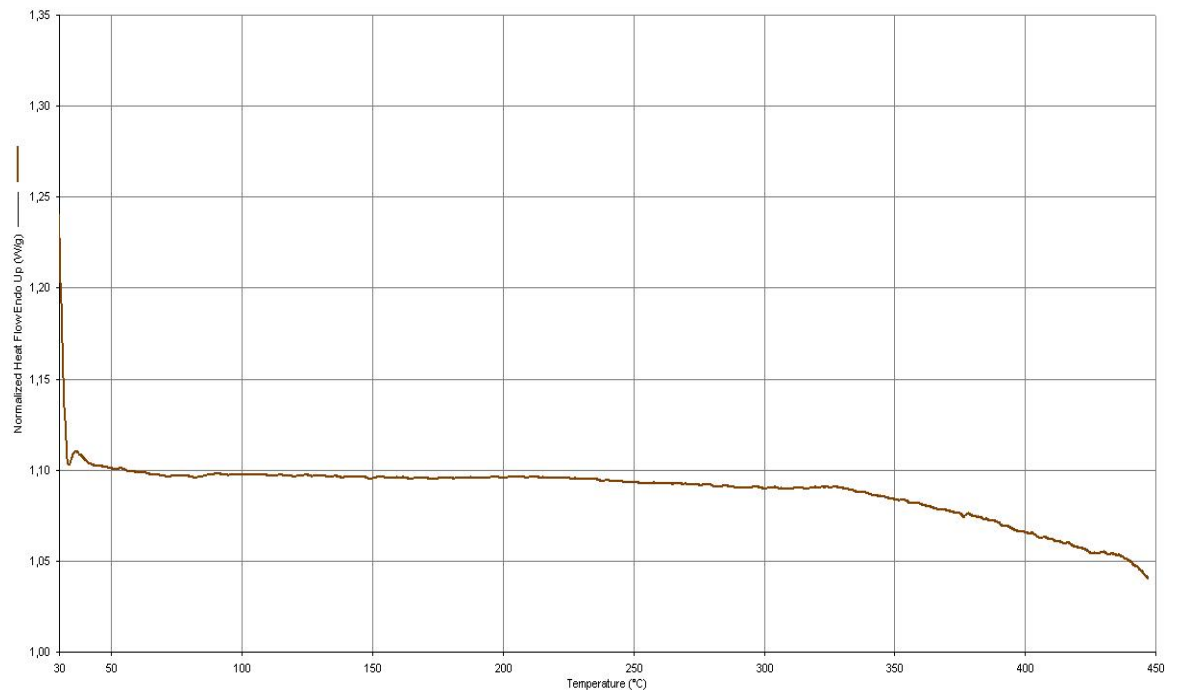




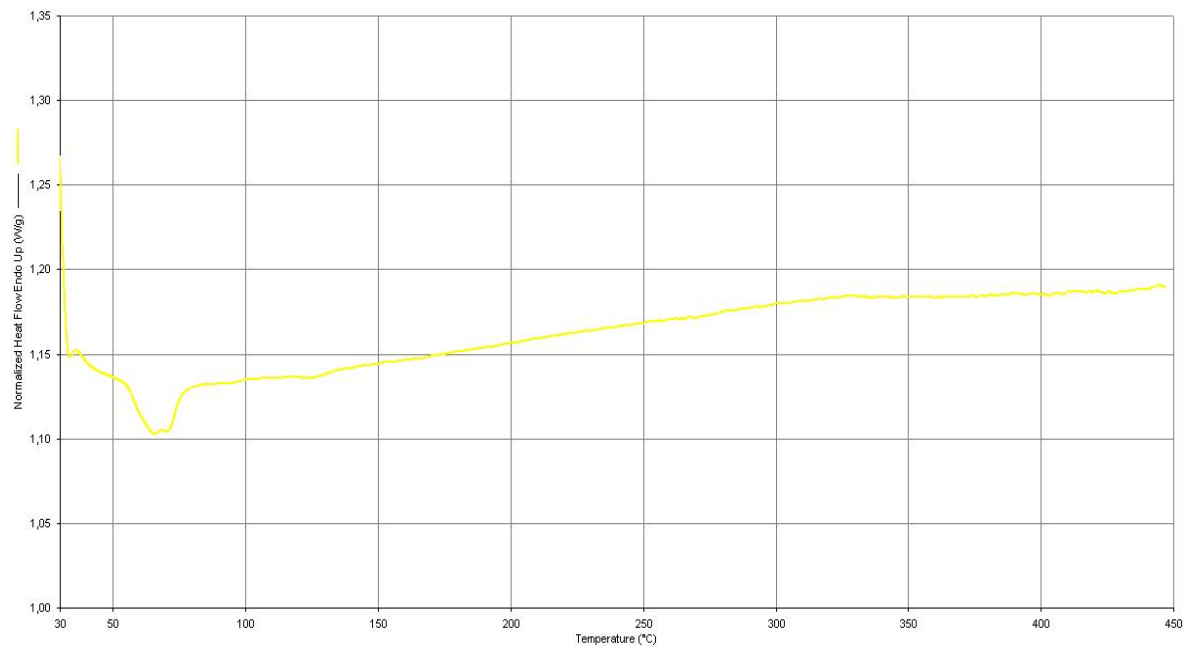
DSC Afşin-Elbistan A



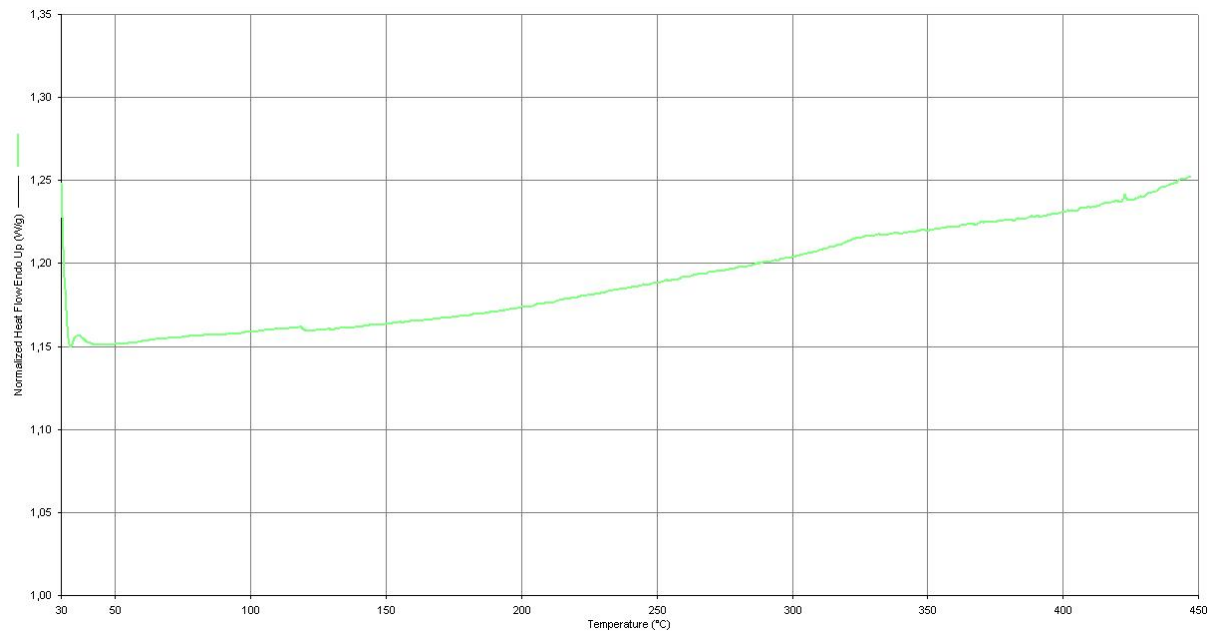
DSC Çatalağzı



DSC Kemerköy



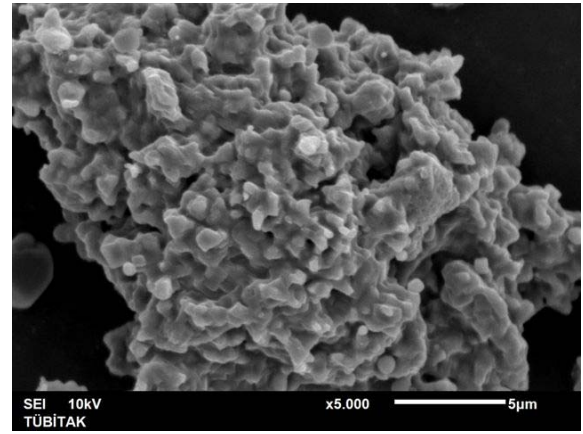
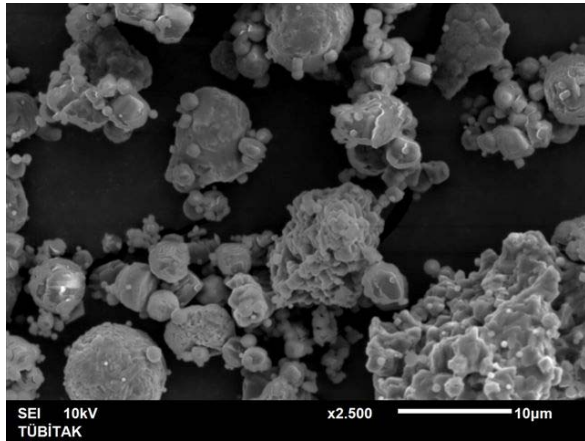
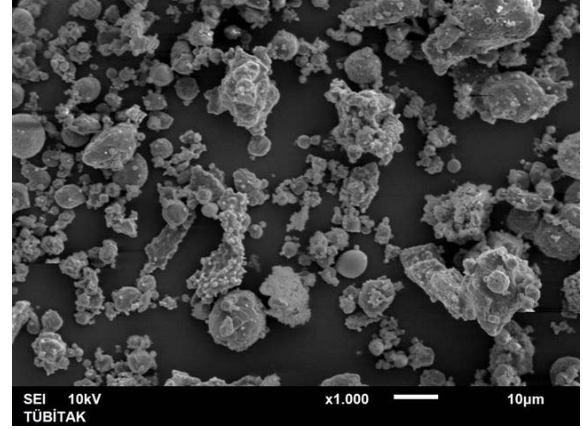
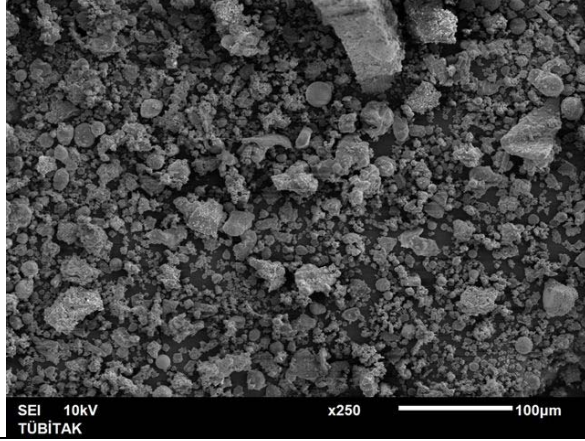
DSC Tunçbilek



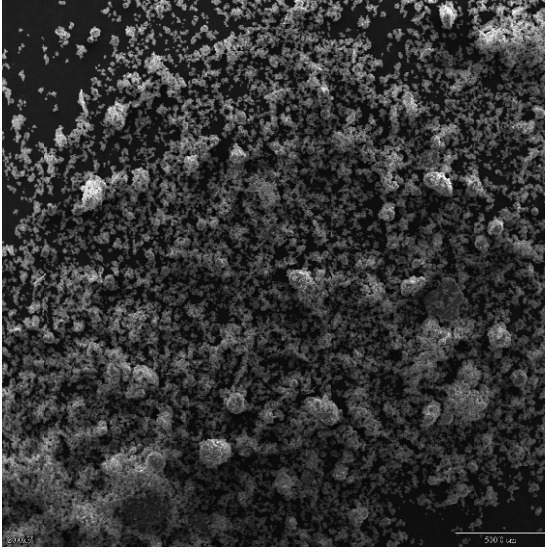
DSC Yatağan

EK-4 Uçucu küllere ait SEM görüntüleri

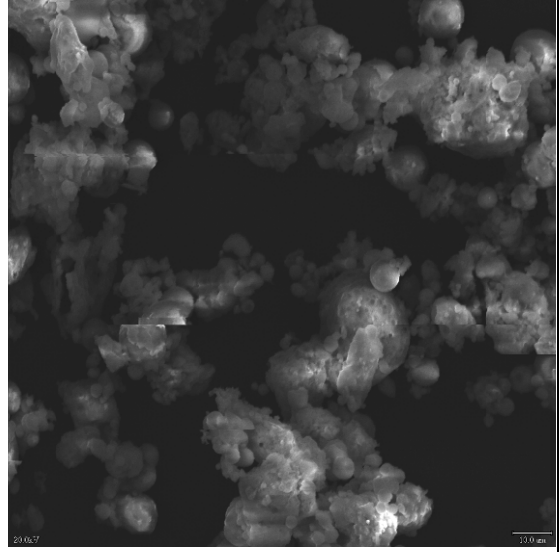
KEMERKÖY



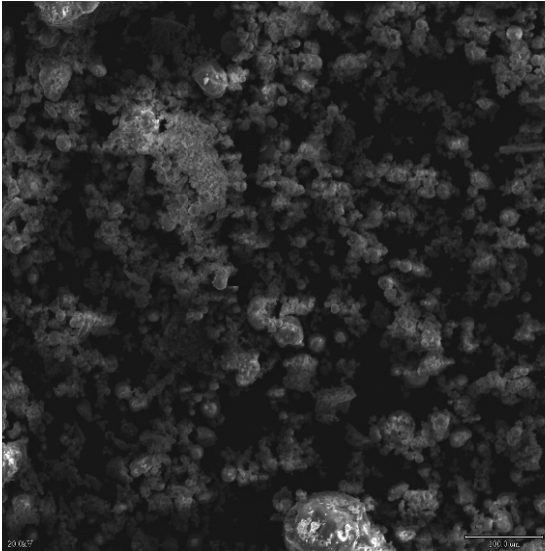
TUNÇBİLEK



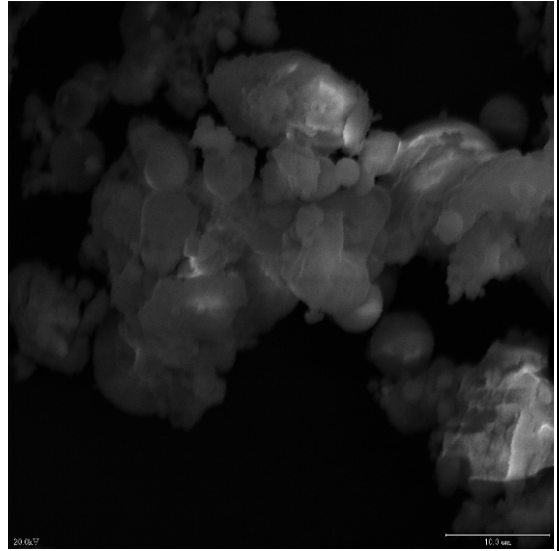
X35



X150

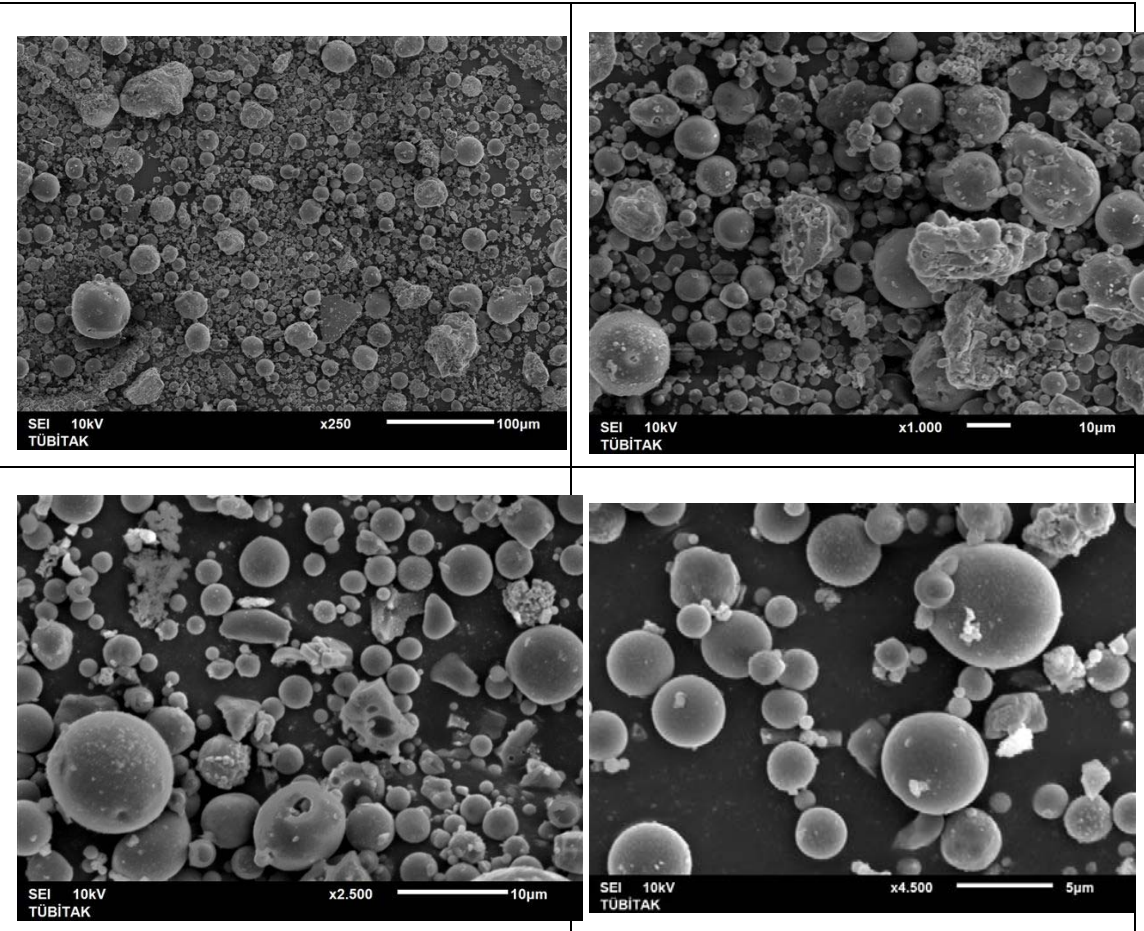


X750



X2000

ORHANELİ



EK-5 Numune F1,F2, F3, F4 ait SAE J661'e göre sürtünme aşınma test sonuçları

DATE						2012-02-23	
Friction Coefficient Test Rig							
J661 Test Report - Log Sheet							
Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
220212 1			TUBITAK	F1			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

Initial Mass gms	Final Mass gms	Loss gms	Loss %
10.83	10.03	0.80	7.39

Initial Thick mm	Final Thick mm	Loss mm	Loss %
2.13	1.99	0.14	6.57

BASELINE-I

No	Force Kg	Friction μ
1	18.4	0.275
5	18.9	0.281
10	19.4	0.289
15	19.4	0.288
20	19.2	0.286

WEAR

No	Force Kg	Friction μ
1	28.0	0.415
10	31.8	0.477
20	33.5	0.503
30	33.5	0.501
40	32.8	0.489
50	31.7	0.474
60	31.2	0.468
70	32.0	0.481
80	30.7	0.459
90	28.8	0.429
100	28.6	0.428

FADE-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	23.4	0.350
121	25.2	0.375
149	26.0	0.390
177	28.4	0.419
205	30.3	0.454
233	31.4	0.469
261	30.7	0.456
289	29.5	0.441
317	27.1	0.405
345	24.8	0.368

FADE-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	18.7	0.280
121	19.3	0.290
149	22.6	0.341
177	23.6	0.352
205	22.5	0.335
233	21.2	0.316
261	21.7	0.325
289	21.1	0.317

RECOVERY-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
261	22.7	0.336
205	22.9	0.343
149	22.5	0.335
93	21.6	0.326

RECOVERY-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
317	28.4	0.424
261	28.7	0.430
205	29.2	0.438
149	28.9	0.436
93	24.5	0.368

BASELINE-II

No	Force Kg	Friction μ
1	23.6	0.354
5	23.2	0.347
10	22.3	0.332
15	21.5	0.321
20	21.4	0.317

RATING

Normal List μ	Hot List μ
0.454	0.335
0.390	0.343
0.375	0.368
0.350	0.405
	0.430
	0.436
	0.438
	0.441
	0.456
	0.469
Normal μ	Hot μ
0.392	0.412

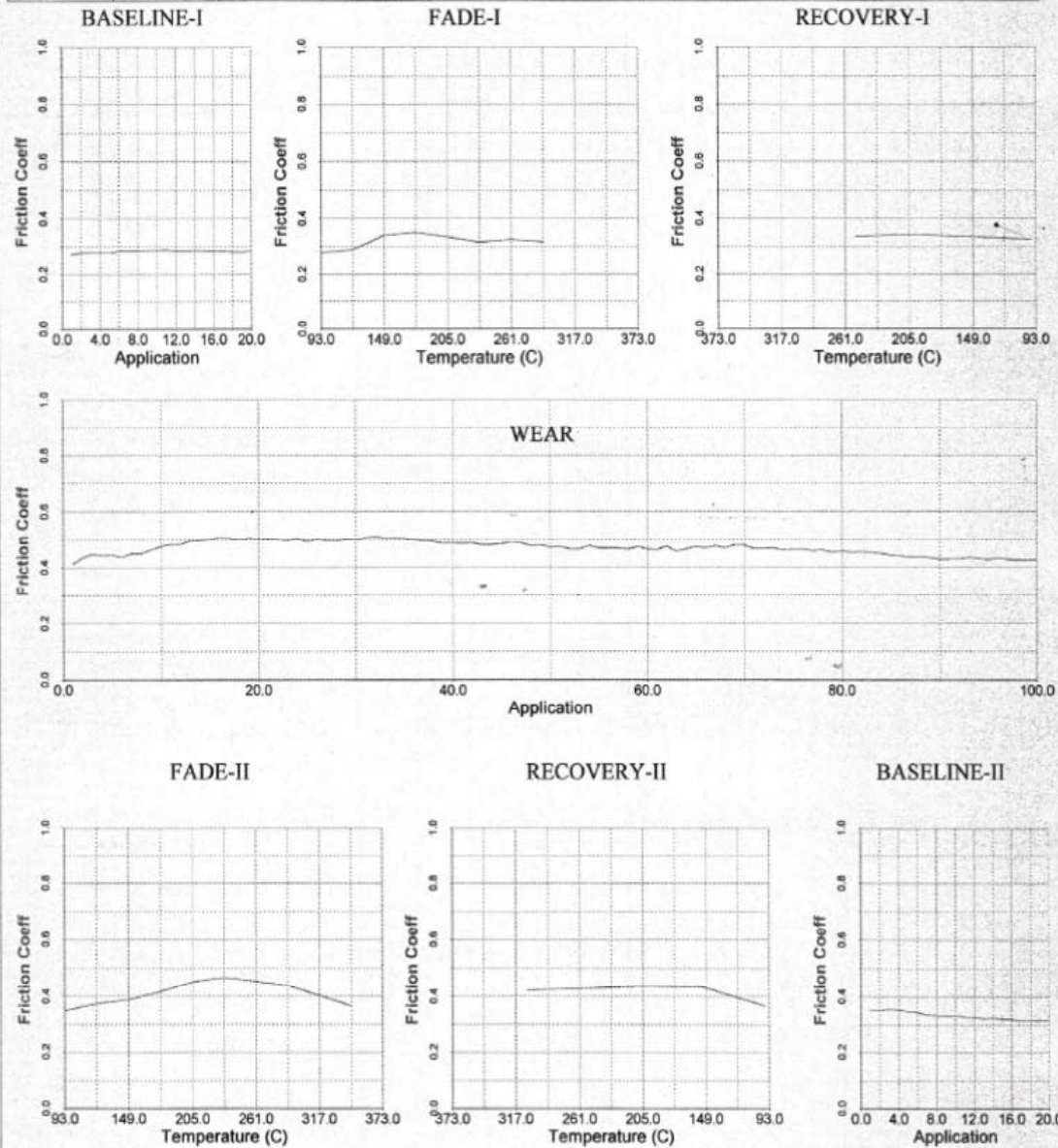
F	F
---	---

Remarks:
 Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)
 Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
220212 1	F	□□□KATE	TUBITAK	F1			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt



Remarks:

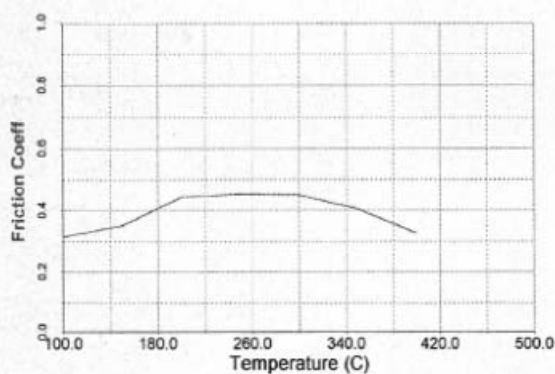
Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

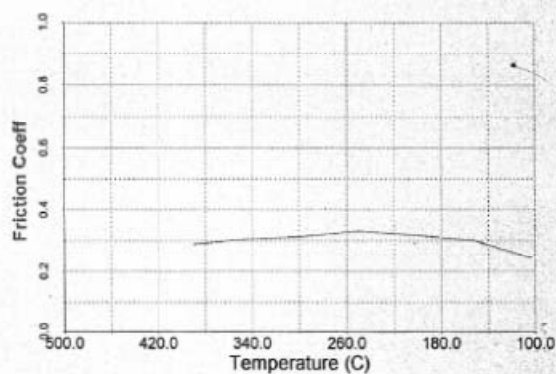
J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
220212_1	s	Exclusive	TUBITAK	F1			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

FADE-III



RECOVERY-III



FADE-III

Temp C	Force Kg	Friction
100	21.5	0.316
150	23.9	0.352
200	30.2	0.443
250	30.5	0.452
300	30.3	0.449
350	27.4	0.405
400	22.2	0.328

RECOVERY-III

Temp C	Force Kg	Friction μ
400	19.7	0.290
350	20.8	0.307
300	21.5	0.315
250	22.6	0.333
200	21.6	0.319
150	20.3	0.302
100	16.5	0.244

Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
230212_I			TUBITAK	F2			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

Initial Mass gms	Final Mass gms	Loss gms	Loss %
10.29	9.98	0.31	3.01

Initial Thick mm	Final Thick mm	Loss mm	Loss %
2.16	2.23	-0.07	-3.24

BASELINE-I

No	Force Kg	Friction μ
1	14.2	0.213
5	14.5	0.216
10	14.6	0.218
15	14.8	0.219
20	14.9	0.221

WEAR

No	Force Kg	Friction μ
1	18.4	0.277
10	20.5	0.307
20	21.3	0.317
30	21.6	0.325
40	21.9	0.324
50	21.6	0.322
60	21.4	0.319
70	21.4	0.318
80	21.1	0.317
90	21.0	0.313
100	20.9	0.312

FADE-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	19.7	0.294
121	20.2	0.300
149	20.2	0.302
177	20.3	0.303
205	20.5	0.304
233	20.7	0.310
261	21.1	0.315
289	21.3	0.320
317	21.6	0.324
345	21.6	0.322

FADE-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	15.2	0.226
121	14.8	0.222
149	14.8	0.220
177	14.7	0.220
205	14.5	0.215
233	14.1	0.211
261	13.9	0.208
289	15.3	0.229

RECOVERY-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
317	21.9	0.325
261	21.2	0.317
205	21.1	0.316
149	20.8	0.309
93	20.4	0.303

RECOVERY-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
261	15.5	0.233
205	17.7	0.270
149	18.2	0.273
93	16.3	0.244

Normal List μ
0.304
0.302
0.300
0.294

Hot List μ
0.270
0.273
0.309
0.310
0.315
0.316
0.317
0.320
0.322
0.324

Normal μ
0.300

Hot μ
0.308

RATING

E

E

BASELINE-II

No	Force Kg	Friction μ
1	20.6	0.305
5	21.1	0.314
10	22.1	0.328
15	22.6	0.334
20	21.9	0.325

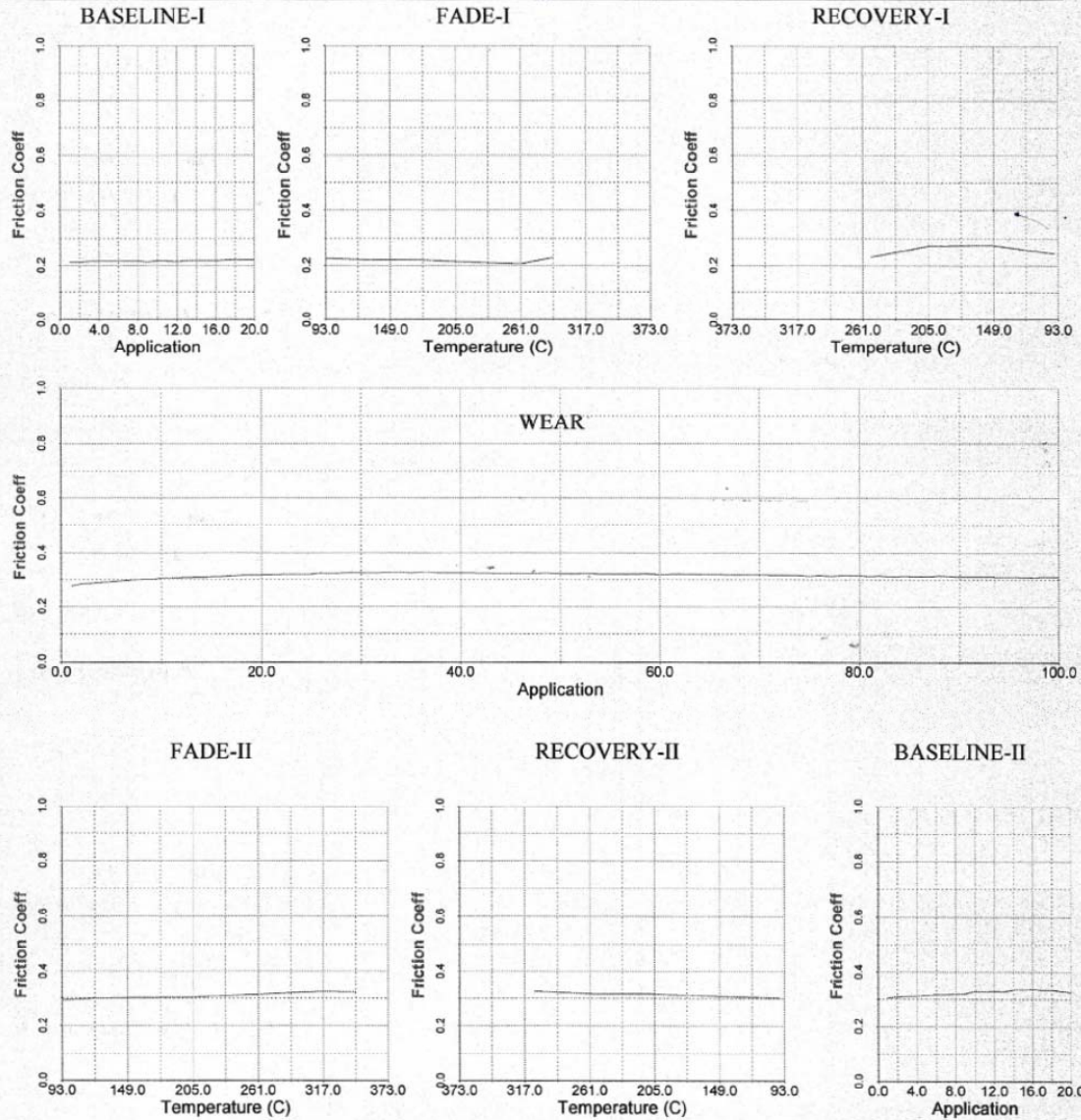
Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
230212_1	E	□□□KATE	TUBITAK	F2			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt



Remarks:

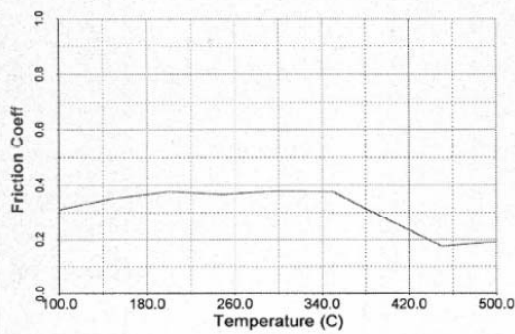
Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

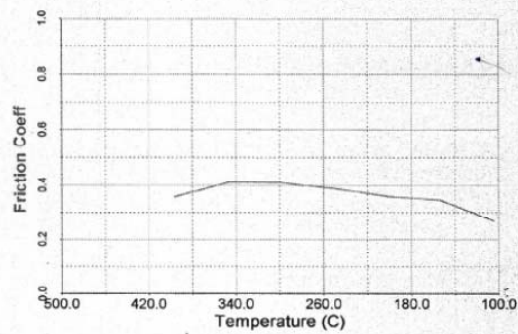
J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
230212_1	s	Exclusive	TUBITAK	F2			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

FADE-III



RECOVERY-III



FADE-III

Temp C	Force Kg	Friction
100	21.4	0.314
150	24.0	0.353
200	25.5	0.377
250	24.9	0.367
300	25.9	0.380
350	25.5	0.376
400	19.0	0.278
450	12.0	0.176
500	13.1	0.192

RECOVERY-III

Temp C	Force Kg	Friction μ
400	24.1	0.358
350	27.6	0.410
300	28.1	0.410
250	26.1	0.390
200	24.6	0.361
150	23.7	0.346
100	18.5	0.271

Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
150312 2		onr	F3	A.Topuz			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

Initial Mass gms	Final Mass gms	Loss gms	Loss %
9.49	9.21	0.28	2.95

Initial Thick mm	Final Thick mm	Loss mm	Loss %
2.10	1.96	0.14	6.67

BASELINE-I

No	Force Kg	Friction μ
1	18.1	0.273
5	19.0	0.281
10	20.0	0.296
15	20.7	0.308
20	21.3	0.317

WEAR

No	Force Kg	Friction μ
1	22.6	0.338
10	26.4	0.396
20	27.9	0.415
30	28.2	0.423
40	28.5	0.424
50	28.9	0.432
60	29.1	0.434
70	29.4	0.439
80	30.0	0.445
90	30.9	0.459
100	31.2	0.466

FADE-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	30.0	0.446
121	29.4	0.441
149	29.6	0.437
177	29.5	0.439
205	29.5	0.442
233	29.9	0.445
261	30.4	0.453
289	31.0	0.463
317	32.0	0.478
345	32.7	0.491

FADE-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	20.9	0.316
121	21.3	0.317
149	19.3	0.288
177	17.9	0.269
205	17.6	0.262
233	18.2	0.272
261	19.3	0.290
289	20.9	0.314

Normal List μ
0.442
0.437
0.441
0.446

Hot List μ
0.329
0.334
0.445
0.453
0.463
0.476
0.478
0.491
0.501

RECOVERY-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
317	33.9	0.506
261	33.7	0.501
205	31.9	0.476
149	29.5	0.445
93	29.0	0.432

RECOVERY-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
261	21.8	0.324
205	22.1	0.329
149	22.4	0.334
93	19.8	0.296

BASELINE-II

No	Force Kg	Friction μ
1	29.4	0.437
5	29.3	0.437
10	28.7	0.427
15	27.7	0.409
20	27.5	0.409

RATING

Normal μ	Hot μ
0.442	0.441
F	F

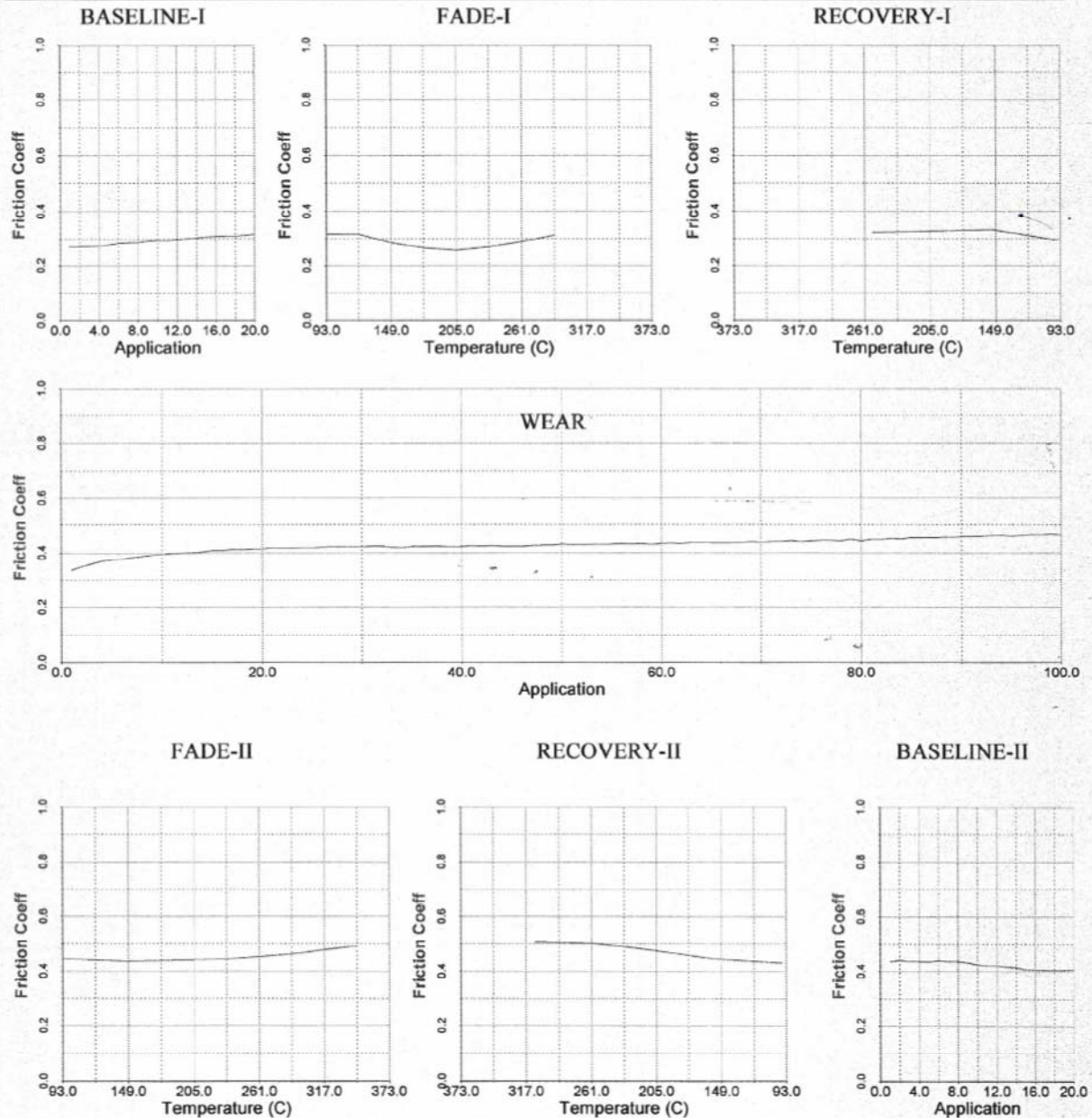
Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
150312_2	F	onr	F3	A.Topuz			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt



Remarks:

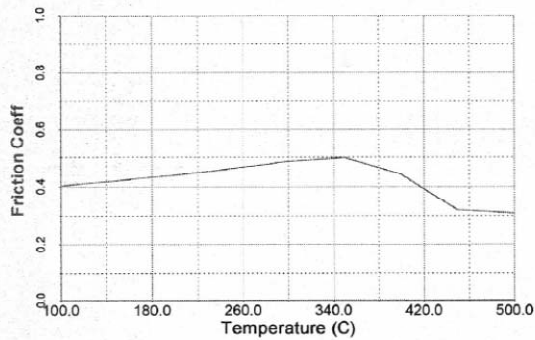
Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

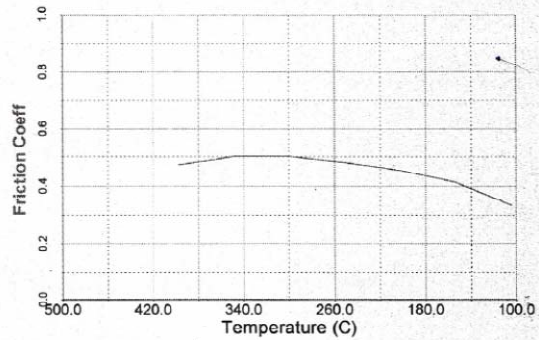
J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
150312_2	s	onr	F3	A.Topuz			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

FADE-III



RECOVERY-III



FADE-III

Temp C	Force Kg	Friction
100	27.4	0.405
150	28.6	0.422
200	30.2	0.441
250	31.6	0.463
300	33.1	0.488
350	34.4	0.500
400	30.5	0.444
450	21.8	0.321
500	21.2	0.311

RECOVERY-III

Temp C	Force Kg	Friction μ
400	32.1	0.474
350	34.5	0.502
300	34.0	0.502
250	32.7	0.482
200	31.1	0.455
150	28.0	0.416
100	22.6	0.336

Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
190312_1		onr	F4	A.Topuz			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

Initial Mass gms	Final Mass gms	Loss gms	Loss %
9.31	9.02	0.29	3.11

Initial Thick mm	Final Thick mm	Loss mm	Loss %
1.94	2.02	-0.08	-4.12

BASELINE-I

No	Force Kg	Friction μ
1	15.6	0.232
5	15.2	0.226
10	14.4	0.215
15	14.6	0.217
20	14.6	0.216

WEAR

No	Force Kg	Friction μ
1	19.5	0.290
10	22.4	0.332
20	25.6	0.382
30	26.0	0.386
40	26.3	0.394
50	26.8	0.400
60	27.7	0.411
70	27.9	0.417
80	28.1	0.419
90	28.1	0.419
100	28.1	0.419

FADE-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	24.4	0.364
121	25.3	0.378
149	25.5	0.380
177	26.2	0.393
205	26.8	0.400
233	28.2	0.421
261	28.9	0.429
289	29.5	0.442
317	30.2	0.450
345	30.4	0.451

FADE-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
93	14.5	0.218
121	14.8	0.220
149	14.3	0.214
177	14.1	0.210
205	14.0	0.208
233	14.1	0.210
261	14.2	0.212
289	15.4	0.229

RECOVERY-I

Temp C	Force Kg	Friction μ
261	18.1	0.266
205	19.3	0.285
149	19.0	0.285
93	16.9	0.252

Normal List μ
0.400
0.380
0.378
0.364

Hot List μ
0.285
0.380
0.404
0.421
0.429
0.431
0.442
0.450
0.451

RECOVERY-II

Temp C	Force Kg	Friction μ
317	30.3	0.446
261	29.4	0.431
205	27.5	0.404
149	25.8	0.380
93	23.1	0.339

BASELINE-II

No	Force Kg	Friction μ
1	22.9	0.335
5	24.1	0.357
10	25.0	0.370
15	24.5	0.362
20	24.8	0.365

RATING

Normal μ	Hot μ
0.380	0.410
F	F

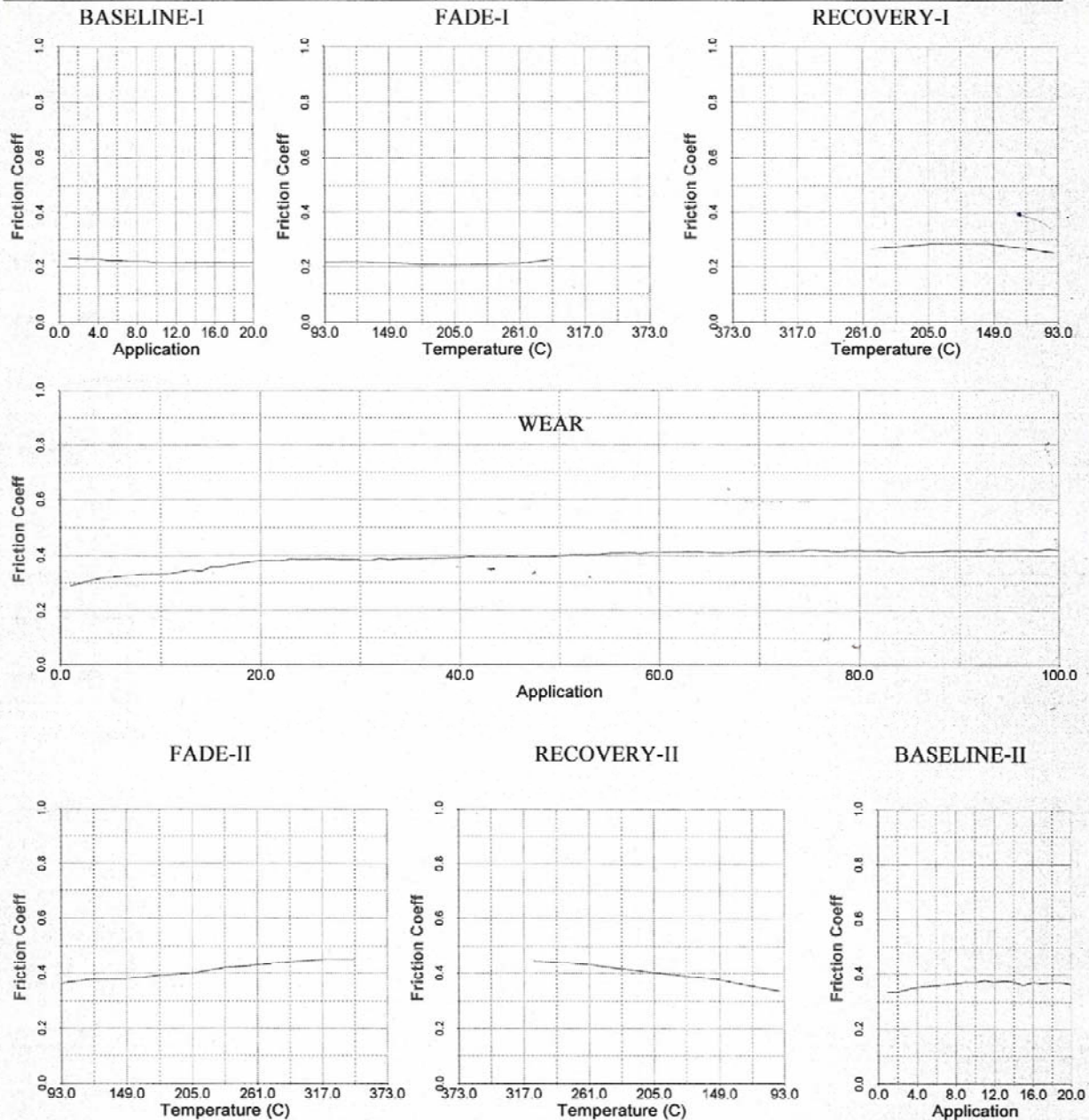
Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
190312 1	F	onr	F4	A.Topuz			C:\fctr2004\sched j661 3f.txt



Remarks:

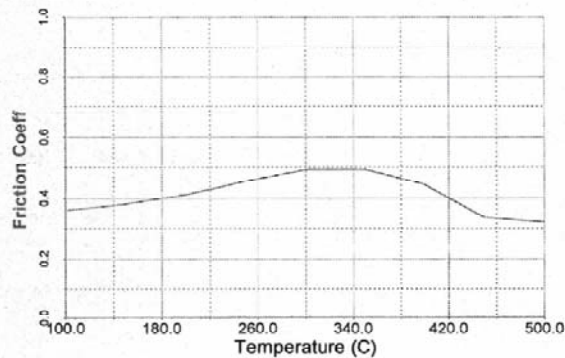
Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

Friction Coefficient Test Rig

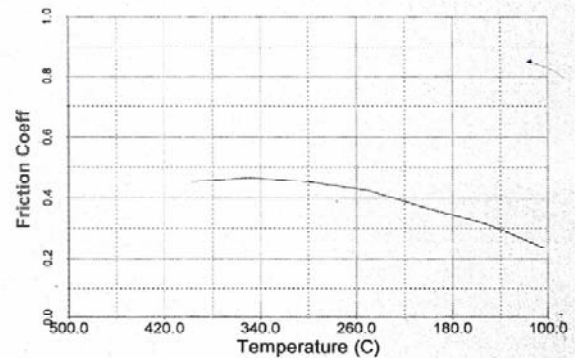
J661 Test Report - Log Sheet

Test ID	Date	Operator	Material	Lot	Ref	Job	Schedule
190312_1	s	onr	F4	A.Topuz			C:\fctr2004\sched_j661_3f.txt

FADE-III



RECOVERY-III



FADE-III

Temp C	Force Kg	Friction
100	24.6	0.362
150	26.1	0.383
200	28.0	0.413
250	31.0	0.456
300	33.5	0.494
350	33.9	0.495
400	30.4	0.446
450	23.0	0.339
500	22.0	0.323

RECOVERY-III

Temp C	Force Kg	Friction μ
400	31.6	0.454
350	32.3	0.467
300	31.6	0.453
250	29.7	0.427
200	25.5	0.369
150	22.1	0.318
100	16.4	0.236

Remarks:

Normal μ values taken from FADE-II (93°C, 121°C, 149°C, 205°C)Hot μ values taken from RECOVERY-I (205°C, 149°C) FADE-II (233°C, 261°C, 289°C, 317°C, 345°C) RECOVERY-II (261°C, 205°C, 149°C)

EK-6 Laboratuarda sentezlenen reçine ile yapılan numune 0,1,2,3 ait SAE J661'e göre sürtünme-aşınma test sonuçları



EREN BALATA

SAE J661 Test Report Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	010812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 0	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	13.0	0.206
5	14.0	0.209
10	14.0	0.221
15	14.0	0.206
20	14.0	0.203
Average:		0.209

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	14.0	0.206
121	15.0	0.221
149	17.0	0.232
177	16.0	0.217
205	15.0	0.217
233	16.0	0.250
261	18.0	0.261
289	19.0	0.275
Average:		0.235

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	21.0	0.300
205	22.0	0.319
149	21.0	0.309
93	19.0	0.254
Average:		0.295

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	22.0	0.324
10	29.0	0.441
20	34.0	0.493
30	35.0	0.507
40	38.0	0.536
50	39.0	0.565
60	40.0	0.580
70	40.0	0.580
80	38.0	0.551
90	37.0	0.536
100	36.0	0.522
Average:		0.512

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	23.0	0.329
261	28.0	0.406
205	28.0	0.412
149	26.0	0.377
93	21.0	0.304
Average:		0.366

Baseline-2

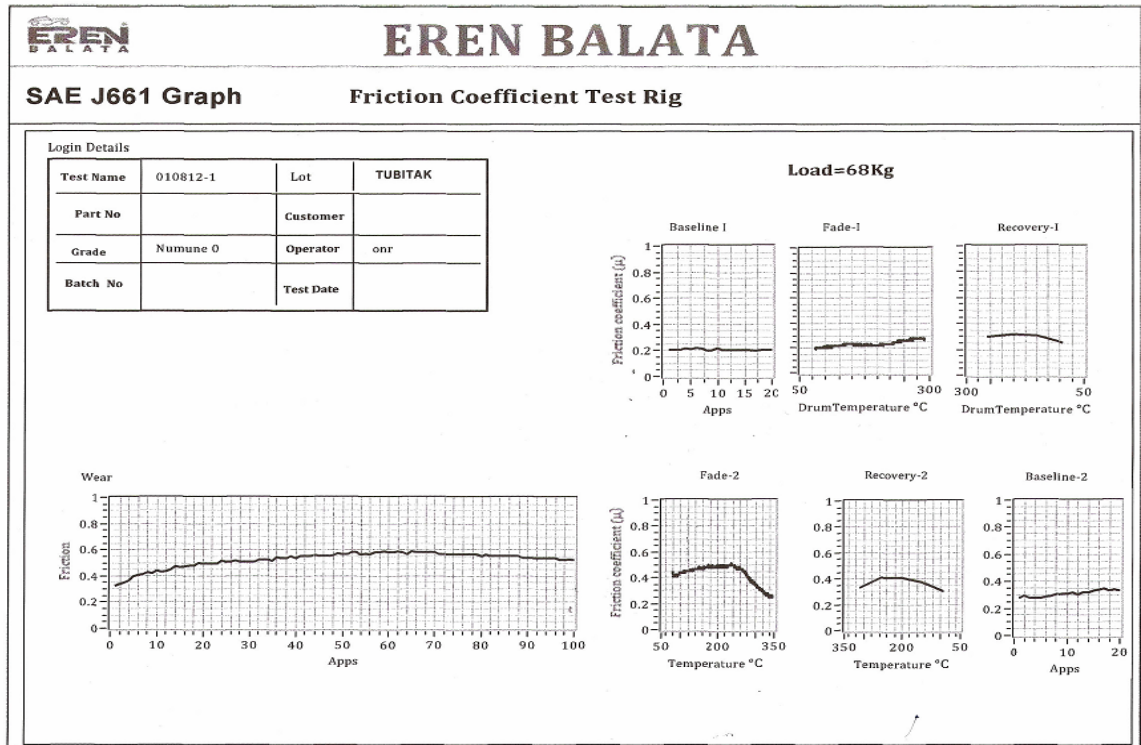
App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	20.0	0.275
5	19.0	0.275
10	21.0	0.309
15	23.0	0.333
20	23.0	0.333
Average:		0.305

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.630	7.71
Final	9.080	7.48
WearLoss	0.550	0.23
Wear %	7.300	3.80

Normal Mu N 0.458
Hot Mu H 0.376

G F
RATING



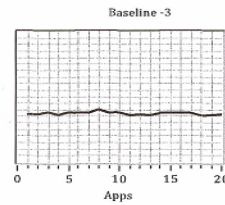
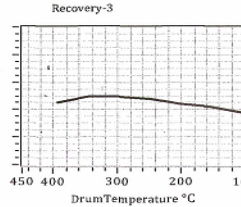
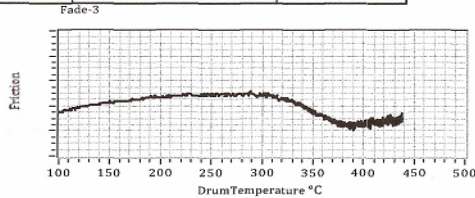
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	010812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 0	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	23.0	0.353
150	29.0	0.420
200	32.0	0.464
250	33.0	0.478
300	33.0	0.485
350	26.0	0.397
400	17.0	0.246
439	21.0	0.294

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	32.0	0.449
350	34.0	0.493
300	34.0	0.493
250	33.0	0.478
200	31.0	0.441
150	29.0	0.420
100	26.0	0.377

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	24.0	0.368
5	26.0	0.382
10	26.0	0.382
15	26.0	0.377
20	24.0	0.368

SAE J661 Test Report

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	020812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 1	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	14.0	0.209
5	15.0	0.221
10	16.0	0.232
15	16.0	0.217
20	16.0	0.229

Average: 0.222

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	16.0	0.229
121	16.0	0.232
149	17.0	0.250
177	17.0	0.250
205	18.0	0.265
233	19.0	0.275
261	20.0	0.275
289	20.0	0.275

Average: 0.256

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	22.0	0.324
205	22.0	0.324
149	21.0	0.328
93	22.0	0.319

Average: 0.324

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	22.0	0.319
10	27.0	0.412
20	29.0	0.441
30	32.0	0.449
40	33.0	0.478
50	33.0	0.500
60	35.0	0.507
70	37.0	0.522
80	37.0	0.536
90	38.0	0.551
100	38.0	0.551

Average: 0.479

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	33.0	0.478
121	34.0	0.493
149	36.0	0.522
177	37.0	0.522
205	37.0	0.536
233	38.0	0.551
261	38.0	0.536
289	36.0	0.522
317	31.0	0.456
345	22.0	0.304

Average: 0.492

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	26.0	0.377
261	31.0	0.435
205	29.0	0.406
149	27.0	0.391
93	24.0	0.333

Average: 0.388

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	22.0	0.324
5	24.0	0.353
10	26.0	0.377
15	27.0	0.371
20	28.0	0.406

Average: 0.366

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.780	7.63
Final	9.340	7.45
WearLoss	0.440	0.18
Wear %	5.700	3.00

Normal Mu N 0.507

Hot Mu H 0.425

G F
RATING

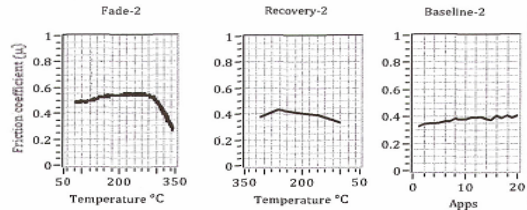
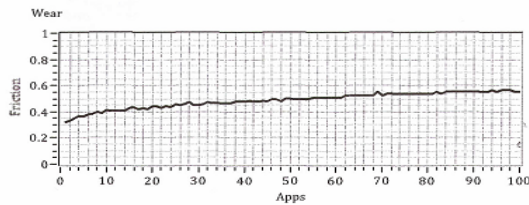
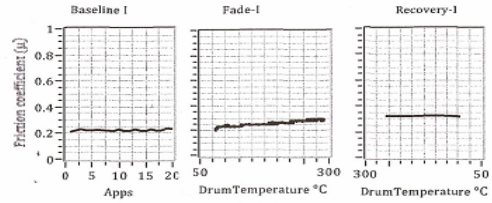
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	020812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 1	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



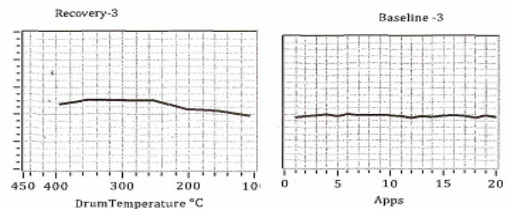
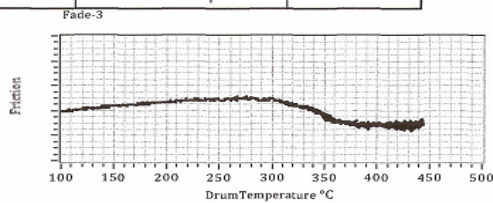
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	020812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 1	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	27.0	0.412
150	30.0	0.435
200	32.0	0.464
250	34.0	0.493
300	34.0	0.493
350	27.0	0.412
400	19.0	0.279
450	19.0	0.288
443	23.0	0.296

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	31.0	0.471
350	35.0	0.507
300	36.0	0.500
250	34.0	0.500
200	31.0	0.435
150	29.0	0.426
100	27.0	0.391

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	27.0	0.377
5	27.0	0.391
10	26.0	0.397
15	27.0	0.391
20	26.0	0.382

SAE J661 Test Report Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-2	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 2	Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	13.0	0.191	93	13.0	0.191
5	13.0	0.191	121	15.0	0.221
10	13.0	0.206	149	17.0	0.232
15	14.0	0.206	177	18.0	0.284
20	14.0	0.206	205	21.0	0.309
Average:		0.2	233	21.0	0.304
			261	22.0	0.319
			289	23.0	0.319
			Average:		0.272

Fade-1

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	23.0	0.388
205	20.0	0.294
149	19.0	0.279
93	13.0	0.176
Average:		0.272

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	21.0	0.324
10	27.0	0.412
20	29.0	0.426
30	30.0	0.441
40	29.0	0.448
50	26.0	0.382
60	27.0	0.397
70	27.0	0.397
80	25.0	0.368
90	26.0	0.382
100	25.0	0.368
Average:		0.395

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	12.0	0.176
121	15.0	0.221
149	22.0	0.324
177	25.0	0.368
205	25.0	0.368
233	25.0	0.388
261	26.0	0.382
289	27.0	0.397
317	30.0	0.426
345	31.0	0.456
Average:		0.351

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	32.0	0.471
261	29.0	0.448
205	28.0	0.412
149	26.0	0.368
93	15.0	0.221
Average:		0.384

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	14.0	0.206
5	15.0	0.221
10	15.0	0.221
15	15.0	0.221
20	15.0	0.217
Average:		0.217

Wear Data

	Mass(qm)	Thick(mm)
Initial	7.860	4.68
Final	7.280	5.64
WearLoss	0.580	NaN
Wear %	5.800	-16.00

Normal Mu N 0.272

Hot Mu H 0.385

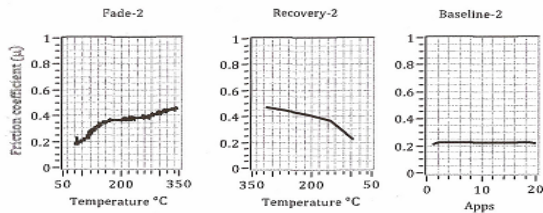
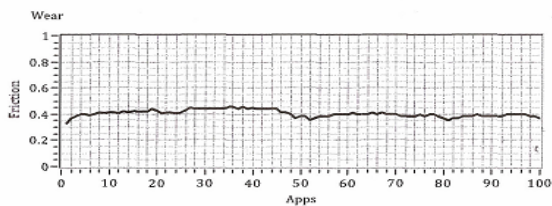
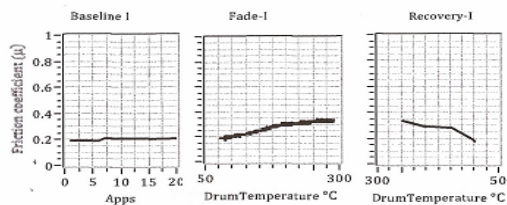
E F
RATING

SAE J661 Graph Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-2	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 2	Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



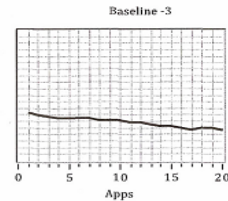
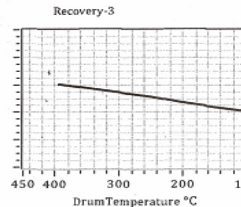
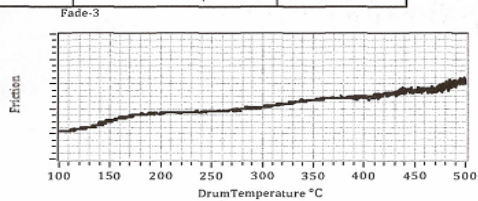
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-2	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 2	Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	14.0	0.221
150	18.0	0.265
200	25.0	0.353
250	26.0	0.382
300	28.0	0.412
350	31.0	0.456
400	33.0	0.471
450	37.0	0.544
500	41.0	0.627

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	41.0	0.603
350	40.0	0.574
300	37.0	0.544
250	35.0	0.515
200	32.0	0.471
150	30.0	0.441
100	27.0	0.412

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	25.0	0.368
5	22.0	0.324
10	21.0	0.309
15	18.0	0.265
20	16.0	0.235

SAE J661 Test Report

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 3	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	18.0	0.265
5	19.0	0.290
10	19.0	0.294
15	19.0	0.275
20	19.0	0.261
Average:	0.277	

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	18.0	0.265
121	18.0	0.265
149	18.0	0.246
177	18.0	0.257
205	17.0	0.250
233	15.0	0.235
261	16.0	0.235
289	16.0	0.232
Average:	0.248	

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	19.0	0.275
205	21.0	0.300
149	20.0	0.290
93	19.0	0.261
Average:	0.281	

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	25.0	0.368
10	25.0	0.382
20	27.0	0.377
30	27.0	0.386
40	27.0	0.412
50	26.0	0.394
60	28.0	0.412
70	28.0	0.406
80	28.0	0.406
90	28.0	0.406
100	29.0	0.426
Average:	0.398	

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	25.0	0.343
121	17.0	0.250
149	20.0	0.304
177	24.0	0.333
205	25.0	0.362
233	26.0	0.382
261	27.0	0.391
289	26.0	0.362
317	22.0	0.319
345	19.0	0.257
Average:	0.33	

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	19.0	0.261
261	20.0	0.290
205	19.0	0.294
149	15.0	0.217
93	14.0	0.203
Average:	0.253	

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	14.0	0.206
5	15.0	0.217
10	15.0	0.217
15	15.0	0.224
20	15.0	0.217
Average:	0.216	

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.690	5.58
Final	9.160	6.62
WearLoss	0.530	NaN
Wear %	5.100	-17.30

Normal Mu N 0.315

Hot Mu H 0.310

E E
RATING

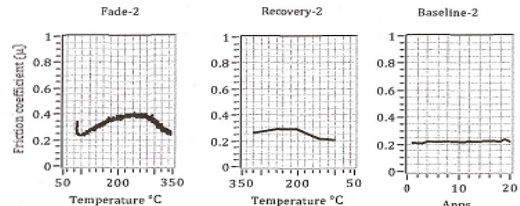
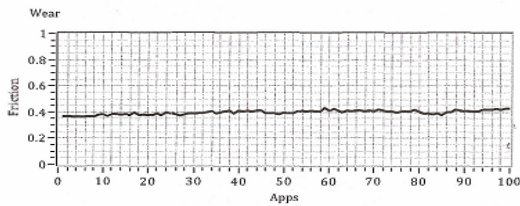
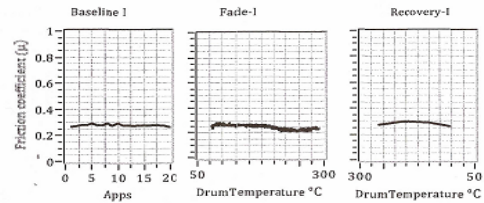
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 3	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



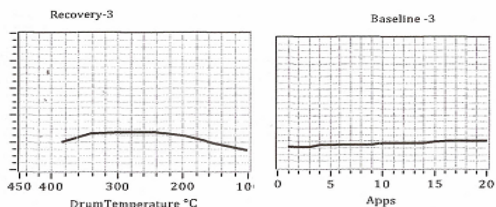
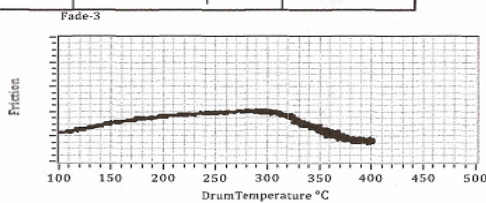
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	060812-1	Lot	TUBITAK
Part No		Customer	
Grade	Numune 3	Operator	onr
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	15.0	0.235
150	19.0	0.290
200	24.0	0.353
250	27.0	0.377
300	28.0	0.406
350	20.0	0.275
400	10.0	0.152
403	11.0	0.162

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	14.0	0.206
350	17.0	0.265
300	20.0	0.275
250	19.0	0.279
200	18.0	0.246
150	13.0	0.191
100	11.0	0.145

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	11.0	0.162
5	12.0	0.176
10	13.0	0.188
15	14.0	0.200
20	14.0	0.206

EK-7 Numune F6+ ve F7+ ait SAE J661'e göre sürtünme-aınma testlerinin ayrıntılı raporları

Login Details		Test Name		Lot	F6+
Part No		Customer			
Grade		Operator			
Batch No		Test Date			

Load=68Kg

Baseline-1			Fade-1			Recovery-1			Wear			Fade-2				
App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)		
1	20.0	0.288	93	23.0	0.354	261	37.0	0.545	1	34.0	0.515	N	93	24.0	0.358	
5	20.0	0.292	121	26.0	0.388	205	34.0	0.523	10	37.0	0.561	N	121	28.0	0.453	
10	23.0	0.348	149	29.0	0.439	149	30.0	0.455	20	34.0	0.515	N	149	31.0	0.470	
15	25.0	0.379	177	31.0	0.470	93	26.0	0.394	30	31.0	0.470	N	177	32.0	0.500	
20	23.0	0.348	205	31.0	0.470	Average: 0.479	40	35.0	0.530	40	35.0	0.530	N	205	32.0	0.485
Average: 0.331			233	33.0	0.500		50	33.0	0.515	50	33.0	0.515	H	233	34.0	0.515
			261	32.0	0.492		60	34.0	0.515	60	34.0	0.515	H	261	36.0	0.554
			289	32.0	0.492		70	33.0	0.500	70	33.0	0.500	H	289	37.0	0.569
			Average: 0.451				80	33.0	0.500	80	33.0	0.500	H	317	37.0	0.578
							90	35.0	0.530	90	35.0	0.530	H	345	35.0	0.554
							100	35.0	0.530	100	35.0	0.530		Average: 0.504		
							Average: 0.516									

Recovery-2			Baseline-2		
T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)	App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	39.0	0.591	1	24.0	0.358
261	37.0	0.576	5	26.0	0.394
205	33.0	0.515	10	25.0	0.391
149	30.0	0.433	15	27.0	0.394
93	25.0	0.379	20	28.0	0.424
Average: 0.499			Average: 0.392		

Wear Data		
	Mass(qm)	Thick(mm)
Initial	9.570	4.19
Final	9.090	3.75
WearLoss	0.480	0.44
Wear %	3.500	7.30

Normal Mu N 0.442
Hot Mu H 0.527

F G
RATING

Login Details		Test Name		Lot	F6+
Part No		Customer			
Grade		Operator			
Batch No		Test Date			

Load=68Kg

Baseline 1

Fade-1

Recovery-1

Wear

Fade-2

Recovery-2

Baseline-2

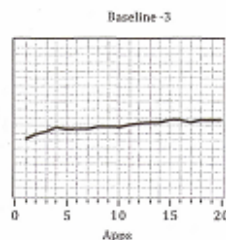
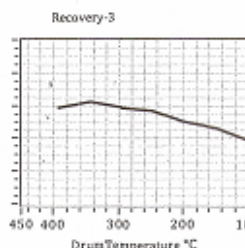
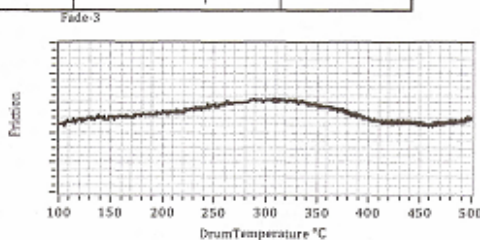
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	311012-1	Lot	F8+
Part No		Customer	
Grade		Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	29.0	0.455
150	33.0	0.485
200	35.0	0.523
250	37.0	0.569
300	40.0	0.615
350	38.0	0.585
400	33.0	0.508
450	31.0	0.462
500	31.0	0.477

Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	37.0	0.585
350	41.0	0.621
300	38.0	0.585
250	37.0	0.569
200	34.0	0.500
150	31.0	0.463
100	25.0	0.394

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	24.0	0.364
5	28.0	0.424
10	29.0	0.439
15	32.0	0.485
20	32.0	0.485

SAE J661 Test Report

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	311012-3	Lot	F7+
Part No		Customer	
Grade		Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg

Baseline-1

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	21.0	0.323
5	23.0	0.333
10	24.0	0.364
15	26.0	0.415
20	26.0	0.400

Average: 0.367

Fade-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	28.0	0.424
121	32.0	0.485
149	37.0	0.545
177	38.0	0.585
205	38.0	0.585
233	38.0	0.585
261	36.0	0.562
289	33.0	0.516

Average: 0.536

Recovery-1

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
261	34.0	0.523
205	34.0	0.538
149	37.0	0.569
93	29.0	0.446

Average: 0.519

Wear

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	36.0	0.538
10	38.0	0.585
20	38.0	0.600
30	37.0	0.569
40	38.0	0.585
50	38.0	0.585
60	40.0	0.615
70	40.0	0.606
80	39.0	0.600
90	38.0	0.585
100	37.0	0.569

Average: 0.585

Fade-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
93	28.0	0.439
121	32.0	0.492
149	36.0	0.554
177	36.0	0.545
205	36.0	0.545
233	37.0	0.569
261	37.0	0.569
289	37.0	0.569
317	36.0	0.562
345	35.0	0.547

Average: 0.539

Recovery-2

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
317	36.0	0.554
261	35.0	0.515
205	35.0	0.538
149	37.0	0.545
93	29.0	0.446

Average: 0.52

Baseline-2

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	28.0	0.424
5	29.0	0.446
10	29.0	0.455
15	30.0	0.462
20	30.0	0.448

Average: 0.447

Wear Data

	Mass(gm)	Thick(mm)
Initial	9.110	3.71
Final	8.380	3.17
WearLoss	0.730	0.54
Wear %	5.000	9.00

Normal Mu N 0.508

Hot Mu H 0.552

GG
RATING

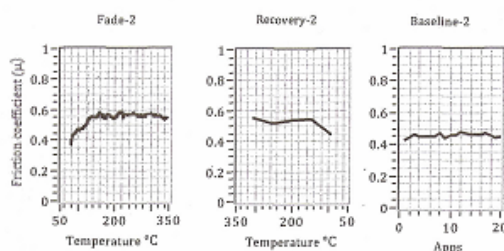
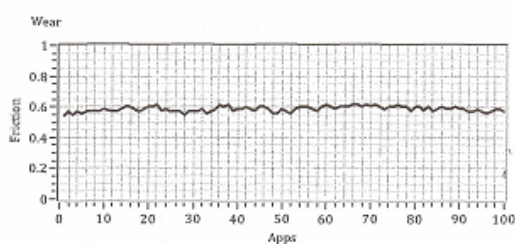
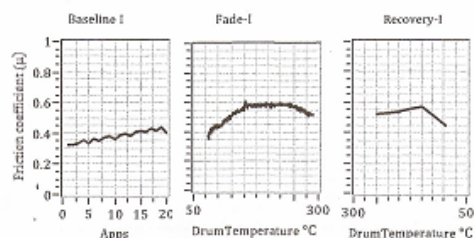
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	311012-3	Lot	F7+
Part No		Customer	
Grade		Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



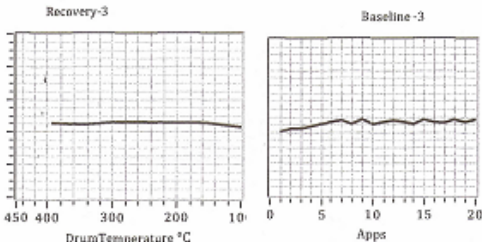
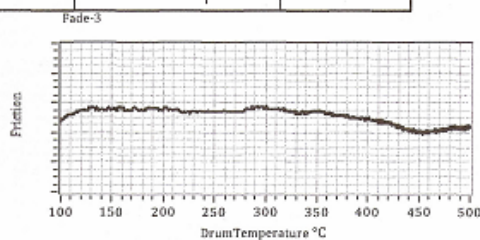
SAE J661 Graph

Friction Coefficient Test Rig

Login Details

Test Name	311012-3	Lot	F7+
Part No		Customer	
Grade		Operator	
Batch No		Test Date	

Load=68Kg



Fade-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
100	29.0	0.462
150	36.0	0.545
200	37.0	0.561
250	35.0	0.538
300	36.0	0.578
350	34.0	0.531
400	32.0	0.500
450	27.0	0.422
500	26.0	0.433

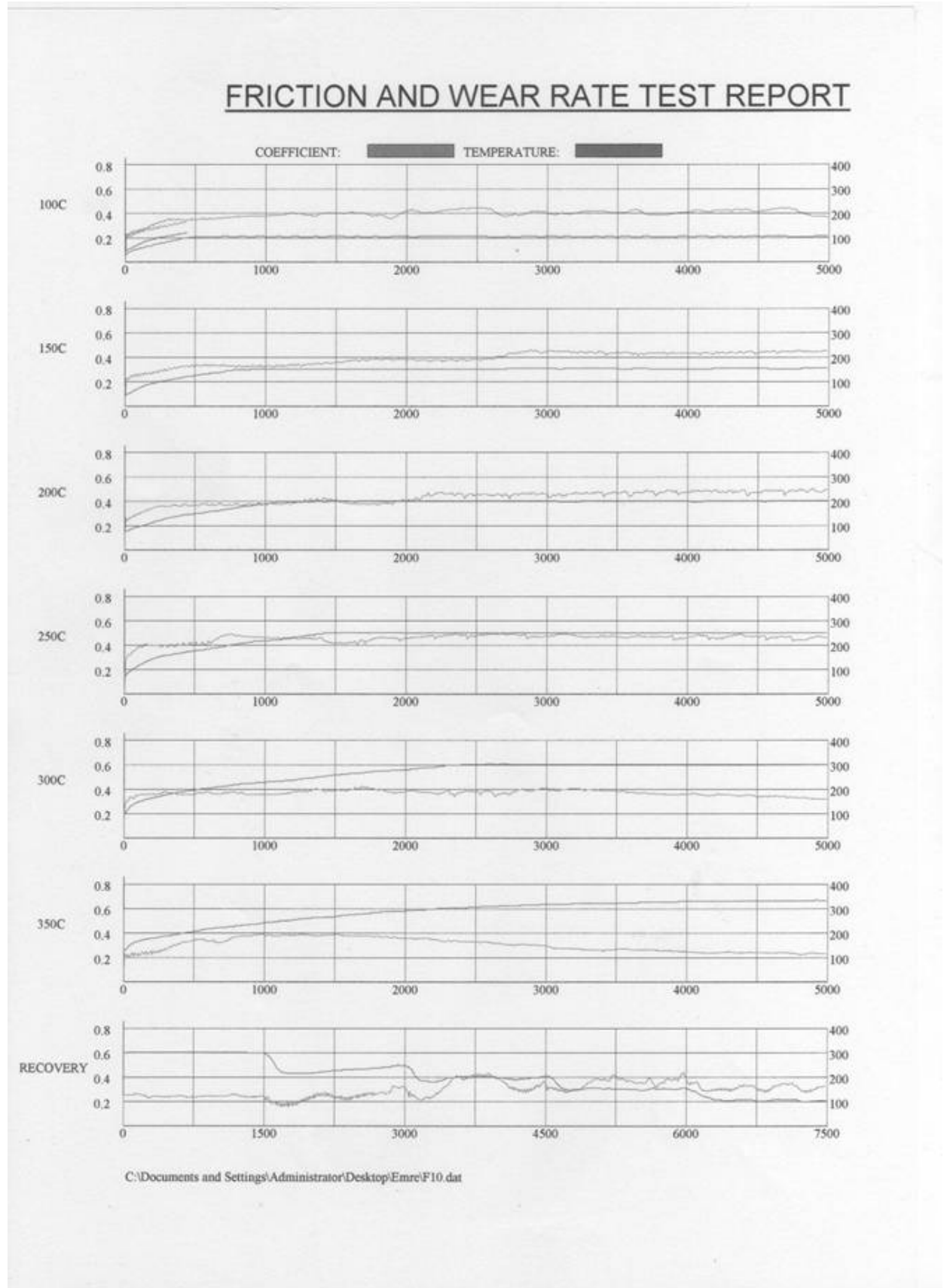
Recovery-3

T°C	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
400	30.0	0.455
350	28.0	0.446
300	29.0	0.462
250	30.0	0.462
200	30.0	0.455
150	30.0	0.455
100	28.0	0.431

Baseline-3

App No	Friction Force(Kg)	Fric (μ)
1	27.0	0.403
5	30.0	0.455
10	30.0	0.455
15	33.0	0.485
20	32.0	0.485

EK-8 Numune F8, F9 ve F10 ait JIS D 4411'e göre sürtünme-aınma testlerinin ayrıntılı raporları



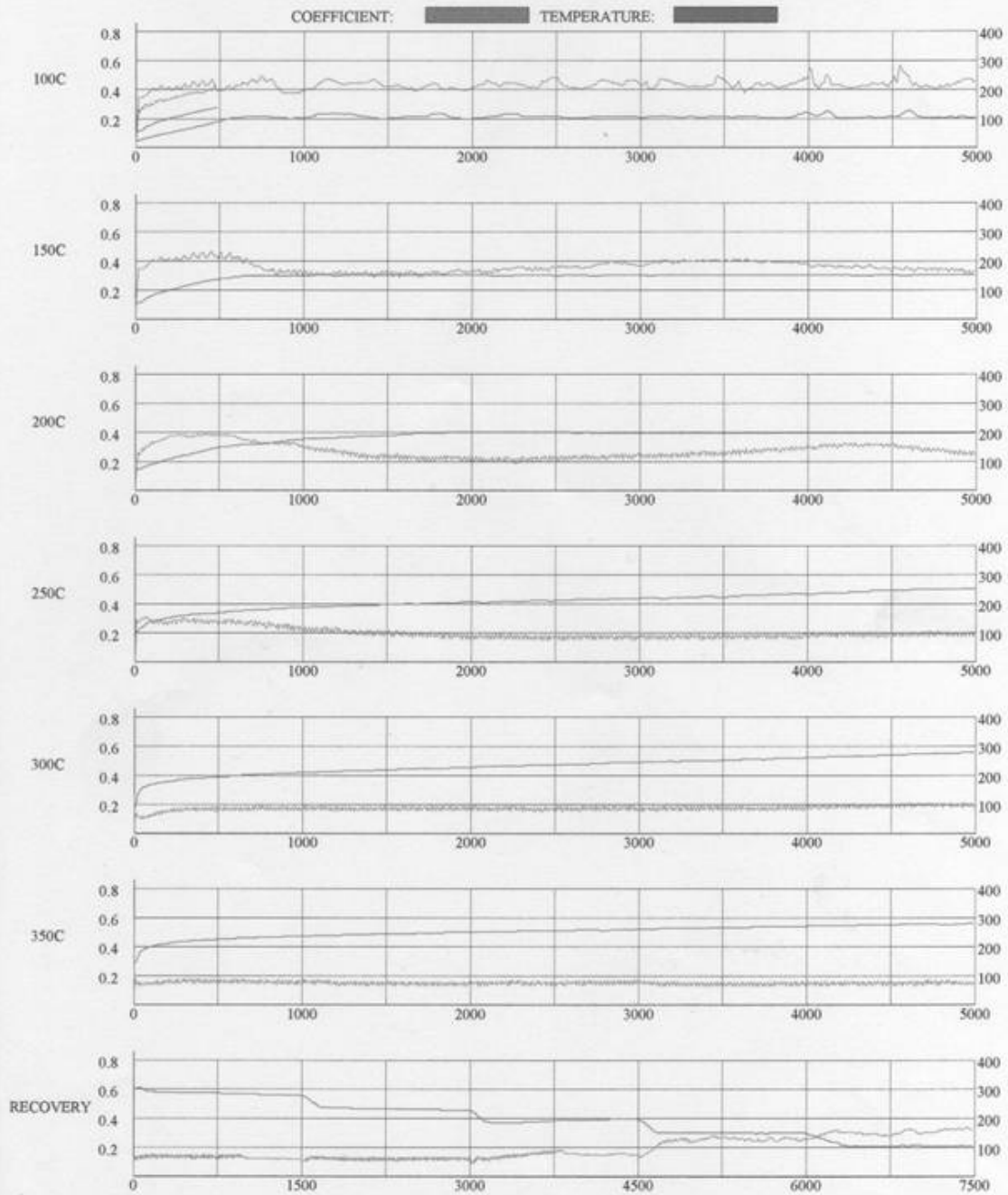
FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	F10	SPEED	480 r/min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm*3	TESTED BY	
DATE	25.09.2012	LOAD	0.98MPa		

T (C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.389	0.406	0.311	0.309	6.340	6.400	6.250	6.200	6.300	6.200	6.200	6.030	6.020	6.090	10.740	10.730	0.011	0.061
					6.340	6.400	6.230	6.180	6.280	6.180	6.200	6.020	6.020	6.070	10.700	10.700		
					0.000	0.000	0.020	0.020	0.020	0.020	0.000	0.010	0.000	0.020	0.040	0.030		
150	0.385	0.432	0.349	0.367	6.340	6.400	6.230	6.180	6.280	6.180	6.200	6.020	6.020	6.070	10.700	10.700	-0.010	-0.056
					6.370	6.430	6.240	6.190	6.290	6.190	6.200	6.010	6.020	6.080	10.640	10.650		
					-0.030	-0.030	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	0.000	0.010	0.000	-0.010	0.060	0.050		
200	0.425	0.467	0.327	0.348	6.370	6.430	6.240	6.190	6.290	6.190	6.200	6.010	6.020	6.080	10.640	10.650	-0.005	-0.025
					6.400	6.430	6.230	6.180	6.320	6.180	6.200	6.030	6.000	6.100	10.560	10.580		
					-0.030	0.000	0.010	0.010	-0.030	0.010	0.000	-0.020	0.020	-0.020	0.080	0.070		
250	0.452	0.468	0.235	0.260	6.400	6.430	6.230	6.180	6.320	6.180	6.200	6.030	6.000	6.100	10.560	10.580	0.015	0.072
					6.360	6.410	6.200	6.120	6.290	6.170	6.180	6.040	6.020	6.130	10.450	10.490		
					0.040	0.020	0.030	0.060	0.030	0.010	0.020	-0.010	-0.020	-0.030	0.110	0.090		
300	0.364	0.361	0.240	0.240	6.360	6.410	6.200	6.120	6.290	6.170	6.180	6.040	6.020	6.130	10.450	10.490	0.067	0.398
					6.300	6.370	6.120	6.070	6.240	6.100	6.150	5.950	5.920	6.030	10.320	10.350		
					0.060	0.040	0.080	0.050	0.050	0.070	0.030	0.090	0.100	0.100	0.130	0.140		
350	0.299	0.259			6.300	6.370	6.120	6.070	6.240	6.100	6.150	5.950	5.920	6.030	10.320	10.350	0.088	0.637
					6.230	6.300	6.030	5.970	6.150	6.010	6.040	5.850	5.830	5.960	10.190	10.210		
					0.070	0.070	0.090	0.100	0.090	0.090	0.110	0.100	0.090	0.070	0.130	0.140		

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\F10.dat

FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\F9.dat

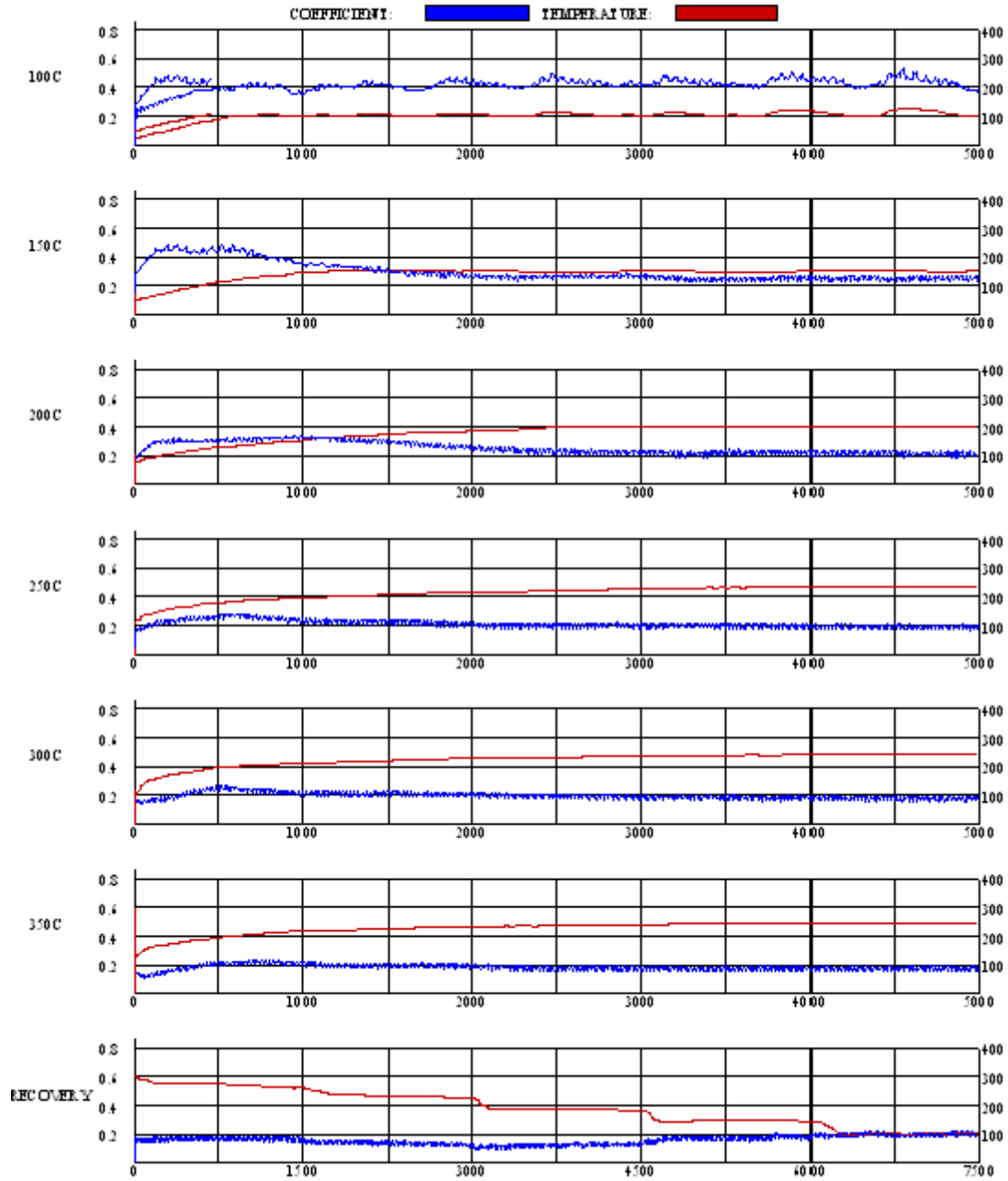
FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	F9	SPEED	480 r/min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE	26.09.2012	LOAD	0.98MPa		

T (C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm ³ /Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.421	0.436	0.297	0.307	6.680	6.710	6.720	6.640	6.760	6.130	6.200	6.040	5.990	6.090	7.970	8.240	0.031	0.159
					6.640	6.680	6.680	6.630	6.740	6.100	6.170	6.010	5.950	6.050	7.920	8.200		
					0.040	0.030	0.040	0.010	0.020	0.030	0.030	0.030	0.040	0.040	0.050	0.040		
150	0.357	0.368	0.239	0.252	6.640	6.680	6.680	6.630	6.740	6.100	6.170	6.010	5.950	6.050	7.920	8.200	0.078	0.473
					6.590	6.620	6.610	6.530	6.650	6.040	6.070	5.910	5.860	5.990	7.830	8.090		
					0.050	0.060	0.070	0.100	0.090	0.060	0.100	0.100	0.090	0.060	0.090	0.110		
200	0.270	0.265	0.143	0.150	6.590	6.620	6.610	6.530	6.650	6.040	6.070	5.910	5.860	5.990	7.830	8.090	0.080	0.641
					6.510	6.530	6.520	6.450	6.570	5.960	6.030	5.820	5.780	5.900	7.720	7.980		
					0.080	0.090	0.090	0.080	0.080	0.080	0.040	0.090	0.080	0.090	0.110	0.110		
250	0.197	0.177	0.117	0.118	6.510	6.530	6.520	6.450	6.570	5.960	6.030	5.820	5.780	5.900	7.720	7.980	0.089	0.976
					6.410	6.450	6.400	6.320	6.480	5.880	5.980	5.770	5.690	5.800	7.570	7.830		
					0.100	0.080	0.120	0.130	0.090	0.080	0.050	0.050	0.090	0.100	0.150	0.150		
300	0.170	0.177	0.126	0.121	6.410	6.450	6.400	6.320	6.480	5.880	5.980	5.770	5.690	5.800	7.570	7.830	0.142	1.807
					6.250	6.300	6.270	6.210	6.350	5.730	5.820	5.600	5.570	5.660	7.410	7.670		
					0.160	0.150	0.130	0.110	0.130	0.150	0.160	0.170	0.120	0.140	0.160	0.160		
350	0.146	0.145			6.250	6.300	6.270	6.210	6.350	5.730	5.820	5.600	5.570	5.660	7.410	7.670	0.136	2.010
					6.120	6.120	6.190	6.130	6.240	5.550	5.700	5.440	5.370	5.540	7.230	7.480		
					0.130	0.180	0.080	0.080	0.110	0.180	0.120	0.160	0.200	0.120	0.180	0.190		

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\F9.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\FrictRateTest

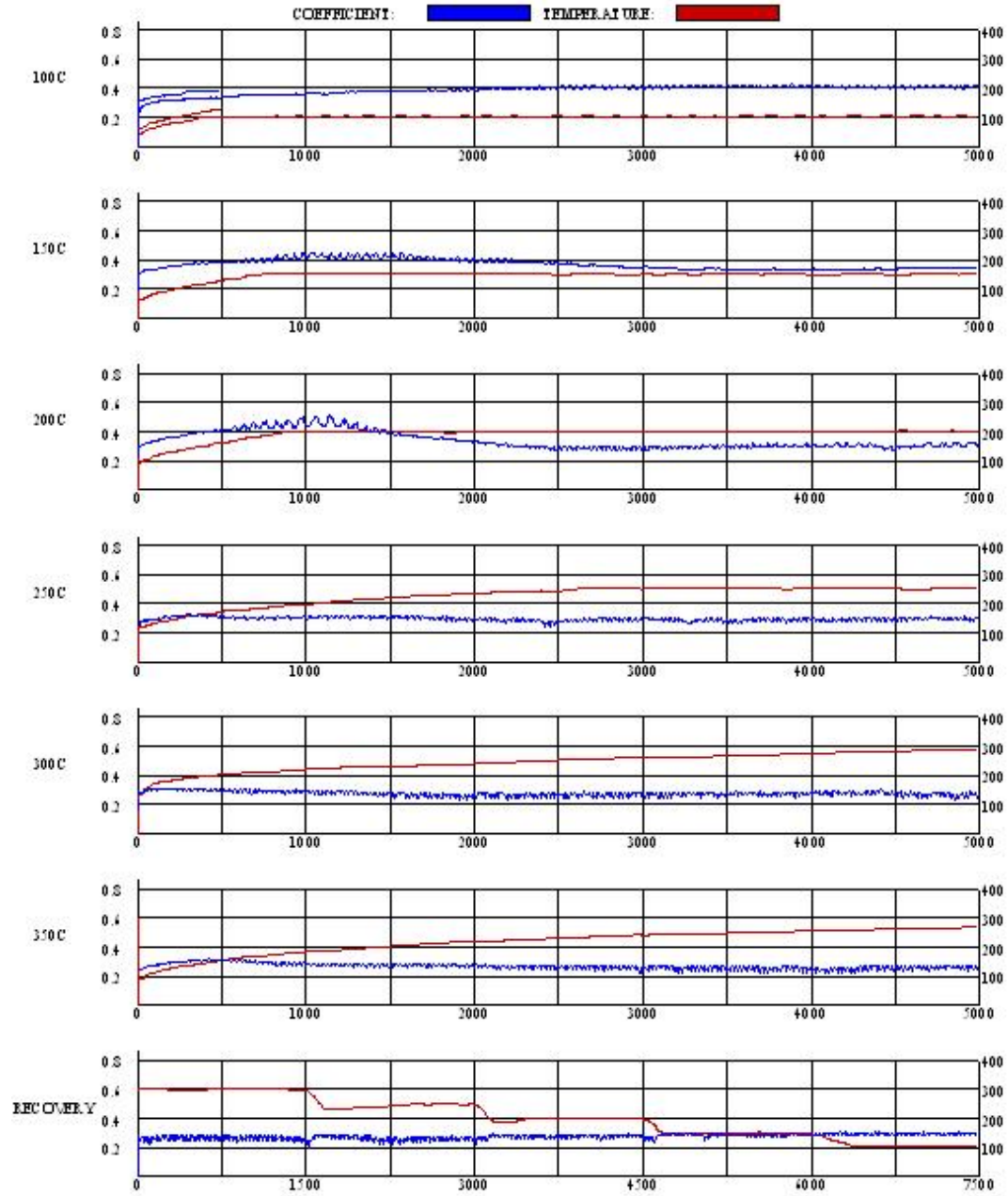
FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	F8	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE	05.10.2012	LOAD	0.98MPa		

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm ³ /Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.410	0.432	0.195	0.197	4.970	5.070	5.240	5.130	5.120	5.890	5.780	5.610	5.720	5.750	6.700	7.380	0.021	0.111
					4.970	5.040	5.220	5.130	5.100	5.840	5.760	5.600	5.690	5.720	6.650	7.330		
					0.000	0.030	0.020	0.000	0.020	0.050	0.020	0.010	0.030	0.030	0.050	0.050		
150	0.295	0.251	0.167	0.173	4.970	5.040	5.220	5.130	5.100	5.840	5.760	5.600	5.690	5.720	6.650	7.330	0.033	0.242
					4.930	4.990	5.170	5.090	5.080	5.770	5.730	5.600	5.660	5.720	6.560	7.230		
					0.040	0.050	0.050	0.040	0.020	0.070	0.030	0.000	0.030	0.000	0.090	0.100		
200	0.248	0.215	0.119	0.125	4.930	4.990	5.170	5.090	5.080	5.770	5.730	5.600	5.660	5.720	6.560	7.230	0.054	0.471
					4.870	4.930	5.100	5.060	5.050	5.700	5.650	5.520	5.620	5.700	6.460	7.080		
					0.060	0.060	0.070	0.030	0.030	0.070	0.080	0.080	0.040	0.020	0.100	0.150		
250	0.206	0.191	0.137	0.130	4.870	4.930	5.100	5.060	5.050	5.700	5.650	5.520	5.620	5.700	6.460	7.080	0.079	0.831
					4.810	4.840	5.040	5.000	4.970	5.600	5.600	5.450	5.480	5.620	6.340	6.910		
					0.060	0.090	0.060	0.060	0.080	0.100	0.050	0.070	0.140	0.080	0.120	0.170		
300	0.191	0.178	0.164	0.164	4.810	4.840	5.040	5.000	4.970	5.600	5.600	5.450	5.480	5.620	6.340	6.910	0.096	1.089
					4.730	4.740	4.950	4.930	4.900	5.500	5.480	5.360	5.340	5.520	6.200	6.750		
					0.080	0.100	0.090	0.070	0.070	0.100	0.120	0.090	0.140	0.100	0.140	0.160		
350	0.177	0.170			4.730	4.740	4.950	4.930	4.900	5.500	5.480	5.360	5.340	5.520	6.200	6.750	0.133	1.624
					4.600	4.630	4.820	4.800	4.800	5.340	5.370	5.190	5.170	5.400	6.050	6.570		
					0.130	0.110	0.130	0.130	0.100	0.160	0.110	0.170	0.170	0.120	0.150	0.180		
																		C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\F8.dat

**EK-9 Orijinal Futuris ve Bremskerl tren balatalarının JIS D 4411 göre sürtünme-
aşınma testlerinin ayrıntılı raporları**

FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT



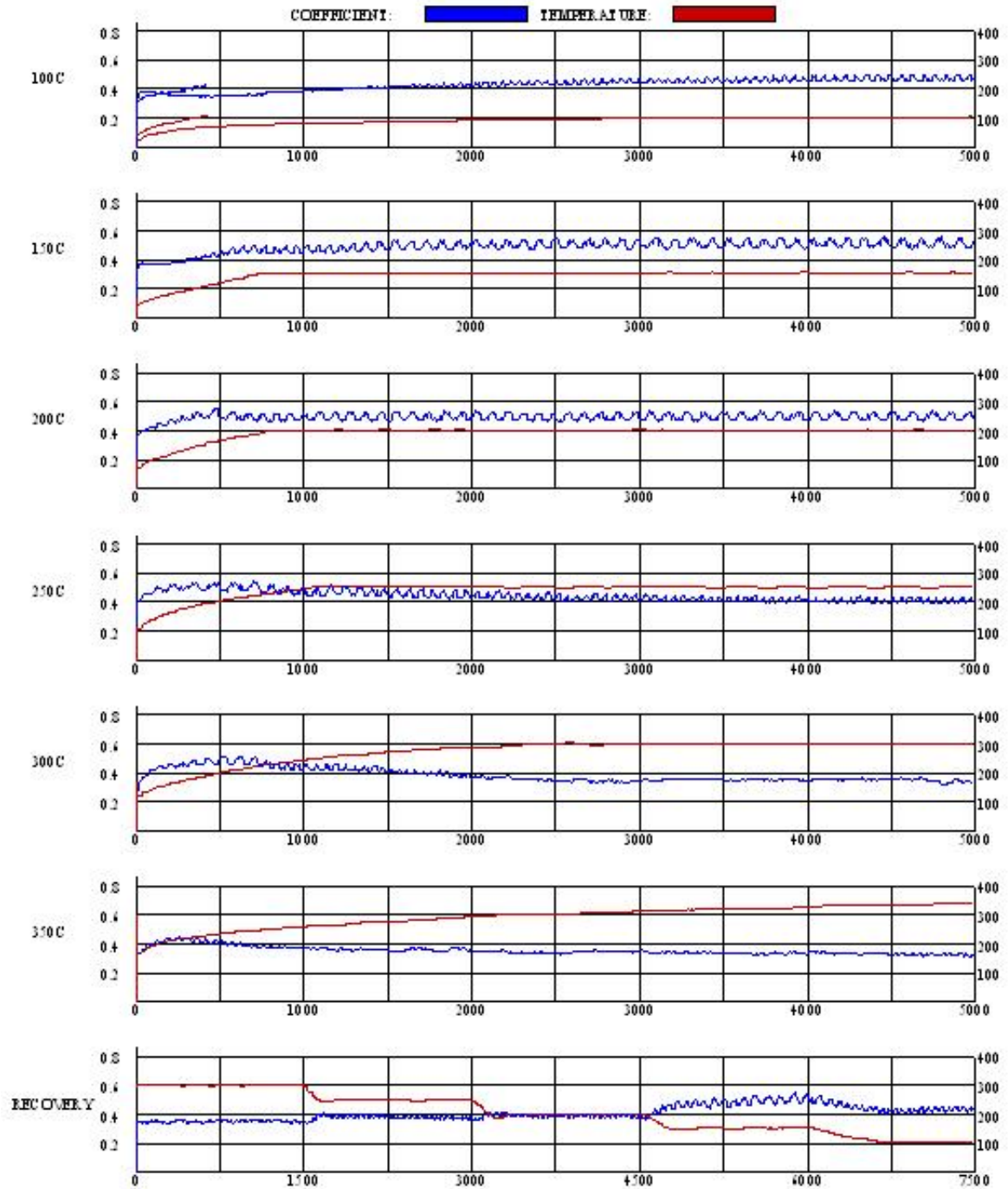
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Futuris.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	Frtrk	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE	18.10.2012	LOAD	0.98MPa		

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.381	0.404	0.294	0.294	5.860	5.850	5.750	5.750	5.760	6.880	6.830	6.810	6.850	6.830	7.660	9.200	0.036	0.204
					5.850	5.820	5.690	5.630	5.760	6.850	6.820	6.780	6.800	6.810	7.610	9.160		
					0.010	0.030	0.060	0.120	0.000	0.030	0.010	0.030	0.050	0.020	0.050	0.040		
150	0.366	0.341	0.281	0.284	5.850	5.820	5.690	5.630	5.760	6.850	6.820	6.780	6.800	6.810	7.610	9.160	0.047	0.278
					5.780	5.770	5.620	5.630	5.700	6.790	6.770	6.730	6.760	6.790	7.520	9.060		
					0.070	0.050	0.070	0.000	0.060	0.060	0.050	0.050	0.040	0.020	0.090	0.100		
200	0.335	0.294	0.273	0.275	5.780	5.770	5.620	5.630	5.700	6.790	6.770	6.730	6.760	6.790	7.520	9.060	0.117	0.756
					5.660	5.670	5.500	5.530	5.570	6.710	6.670	6.500	6.610	6.750	7.340	8.840		
					0.120	0.100	0.120	0.100	0.130	0.080	0.100	0.230	0.150	0.040	0.180	0.220		
250	0.289	0.284	0.260	0.256	5.660	5.670	5.500	5.530	5.570	6.710	6.670	6.500	6.610	6.750	7.340	8.840	0.166	1.244
					5.530	5.500	5.290	5.340	5.430	6.500	6.520	6.430	6.420	6.550	7.100	8.570		
					0.130	0.170	0.210	0.190	0.140	0.210	0.150	0.070	0.190	0.200	0.240	0.270		
300	0.269	0.265	0.261	0.260	5.530	5.500	5.290	5.340	5.430	6.500	6.520	6.430	6.420	6.550	7.100	8.570	0.248	1.998
					5.310	5.310	5.060	5.070	5.210	6.240	6.280	6.150	6.100	6.300	6.790	8.240		
					0.220	0.190	0.230	0.270	0.220	0.260	0.240	0.280	0.320	0.250	0.310	0.330		
350	0.262	0.249			5.310	5.310	5.060	5.070	5.210	6.240	6.280	6.150	6.100	6.300	6.790	8.240	0.140	1.157
					5.220	5.200	4.910	4.900	5.090	6.070	6.100	5.990	6.010	6.140	6.590	7.990		
					0.090	0.110	0.150	0.170	0.120	0.170	0.180	0.160	0.090	0.160	0.200	0.250		
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\Frtrk.dat																		

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Friction\losses\loss17199.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	5 remskerl7699	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE	12.10.2012	LOAD	0.98MPa		

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm ³ /Nm *10 ⁻⁷)	
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
	AA	BA	AA	BA															
100	0.423	0.457	0.443	0.428	4.650	4.630	4.370	4.420	4.530	4.700	4.500	4.320	4.540	4.480	5.970	5.840	0.023	0.118	
					4.620	4.630	4.370	4.390	4.510	4.630	4.450	4.320	4.510	4.480	5.930	5.800			
					0.030	0.000	0.000	0.030	0.020	0.070	0.050	0.000	0.030	0.000	0.040	0.040			
150	0.484	0.506	0.468	0.491	4.620	4.630	4.370	4.390	4.510	4.630	4.450	4.320	4.510	4.480	5.930	5.800	0.047	0.210	
					4.580	4.570	4.300	4.350	4.440	4.580	4.440	4.280	4.440	4.460	5.870	5.730			
					0.040	0.060	0.070	0.040	0.070	0.050	0.010	0.040	0.070	0.020	0.060	0.070			
200	0.489	0.494	0.387	0.386	4.580	4.570	4.300	4.350	4.440	4.580	4.440	4.280	4.440	4.460	5.870	5.730	0.067	0.296	
					4.520	4.490	4.260	4.270	4.420	4.470	4.350	4.210	4.340	4.440	5.770	5.630			
					0.060	0.080	0.040	0.080	0.020	0.110	0.090	0.070	0.100	0.020	0.100	0.100			
250	0.436	0.412	0.376	0.374	4.520	4.490	4.260	4.270	4.420	4.470	4.350	4.210	4.340	4.440	5.770	5.630	0.176	0.872	
					4.370	4.350	4.070	4.090	4.250	4.260	4.160	4.040	4.150	4.270	5.560	5.380			
					0.150	0.140	0.190	0.180	0.170	0.210	0.190	0.170	0.190	0.170	0.210	0.250			
300	0.378	0.344	0.345	0.348	4.370	4.350	4.070	4.090	4.250	4.260	4.160	4.040	4.150	4.270	5.560	5.380	0.258	1.478	
					4.090	4.110	3.820	3.810	3.960	3.990	3.950	3.870	3.860	3.970	5.180	4.990			
					0.280	0.240	0.250	0.280	0.290	0.270	0.210	0.170	0.290	0.300	0.380	0.390			
350	0.348	0.330			4.090	4.110	3.820	3.810	3.960	3.990	3.950	3.870	3.860	3.970	5.180	4.990	0.316	1.967	
					3.790	3.830	3.550	3.540	3.680	3.630	3.580	3.490	3.550	3.630	4.800	4.520			
					0.300	0.280	0.270	0.270	0.280	0.360	0.370	0.380	0.310	0.340	0.380	0.470			

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre\bremskerl7699.dat

EK-10 Prototip tren balatalarının JIS D 4411'e göre sürtünme test cihazına göre sürtünme-aşınma testlerinin ayrıntılı raporları

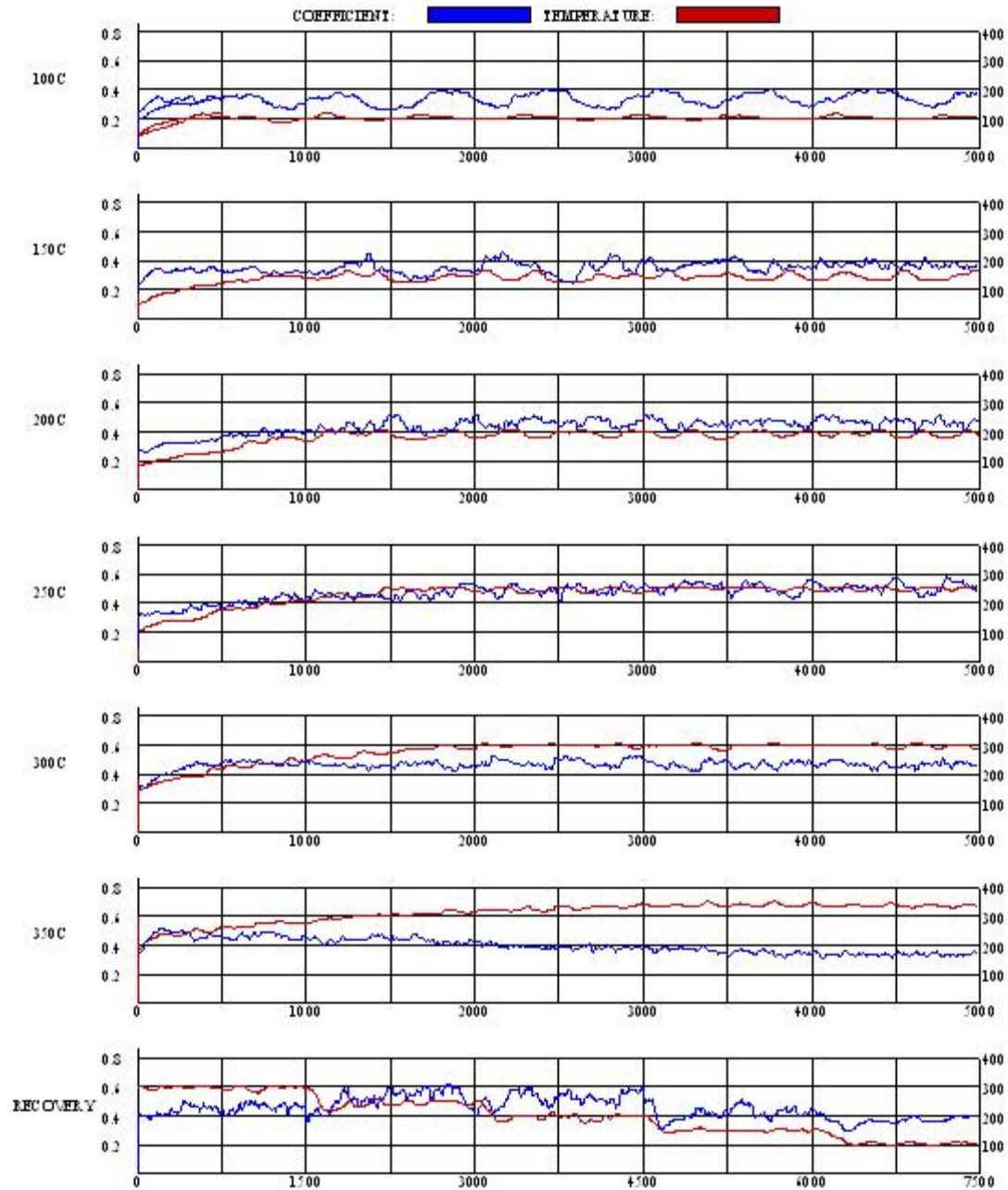
FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME	DEMİR YOLU	STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	B 1-B2	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	B 1-B2
QUALITY	B 1-B2	SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	B 1-B2
DATE	14.03.2013	LOAD	0.98MPa		

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm ³ /Nm) *10 ⁻²
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.328	0.336	0.366	0.375	6.770	6.730	6.570	6.590	6.660	6.890	6.860	6.990	6.990	6.960	7.539	8.423	0.007	0.046
					6.760	6.730	6.560	6.570	6.650	6.880	6.850	6.990	6.990	6.960	7.519	8.403		
					0.010	0.000	0.010	0.020	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020		
150	0.347	0.360	0.417	0.429	6.760	6.730	6.560	6.570	6.650	6.880	6.850	6.990	6.990	6.960	7.519	8.403	0.018	0.112
					6.740	6.720	6.540	6.560	6.600	6.860	6.840	6.970	6.990	6.940	7.488	8.375		
					0.020	0.010	0.020	0.010	0.050	0.020	0.010	0.020	0.000	0.020	0.031	0.028		
200	0.430	0.458	0.518	0.529	6.740	6.720	6.540	6.560	6.600	6.860	6.840	6.970	6.990	6.940	7.488	8.375	0.039	0.196
					6.700	6.710	6.500	6.490	6.560	6.820	6.820	6.940	6.930	6.900	7.430	8.324		
					0.040	0.010	0.040	0.070	0.040	0.040	0.020	0.030	0.060	0.040	0.058	0.051		
250	0.464	0.499	0.517	0.550	6.700	6.710	6.500	6.490	6.560	6.820	6.820	6.940	6.930	6.900	7.430	8.324	0.041	0.191
					6.650	6.700	6.440	6.430	6.500	6.800	6.800	6.870	6.880	6.890	7.363	8.253		
					0.050	0.010	0.060	0.060	0.060	0.020	0.020	0.070	0.050	0.010	0.067	0.071		
300	0.459	0.465	0.445	0.456	6.650	6.700	6.440	6.430	6.500	6.800	6.800	6.870	6.880	6.890	7.363	8.253	0.058	0.274
					6.610	6.650	6.390	6.370	6.430	6.770	6.770	6.790	6.790	6.810	7.271	8.158		
					0.040	0.050	0.050	0.060	0.070	0.030	0.030	0.080	0.090	0.080	0.092	0.095		
350	0.390	0.349			6.610	6.650	6.390	6.370	6.430	6.770	6.770	6.790	6.790	6.810	7.271	8.158	0.078	0.433
					6.530	6.570	6.310	6.260	6.370	6.700	6.740	6.700	6.690	6.730	7.169	8.055		
					0.080	0.080	0.080	0.110	0.060	0.070	0.030	0.090	0.100	0.080	0.102	0.103		

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\yakıya\ID.YOLLARI-2.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\ANALYSIS\COLLAR.F2.dat

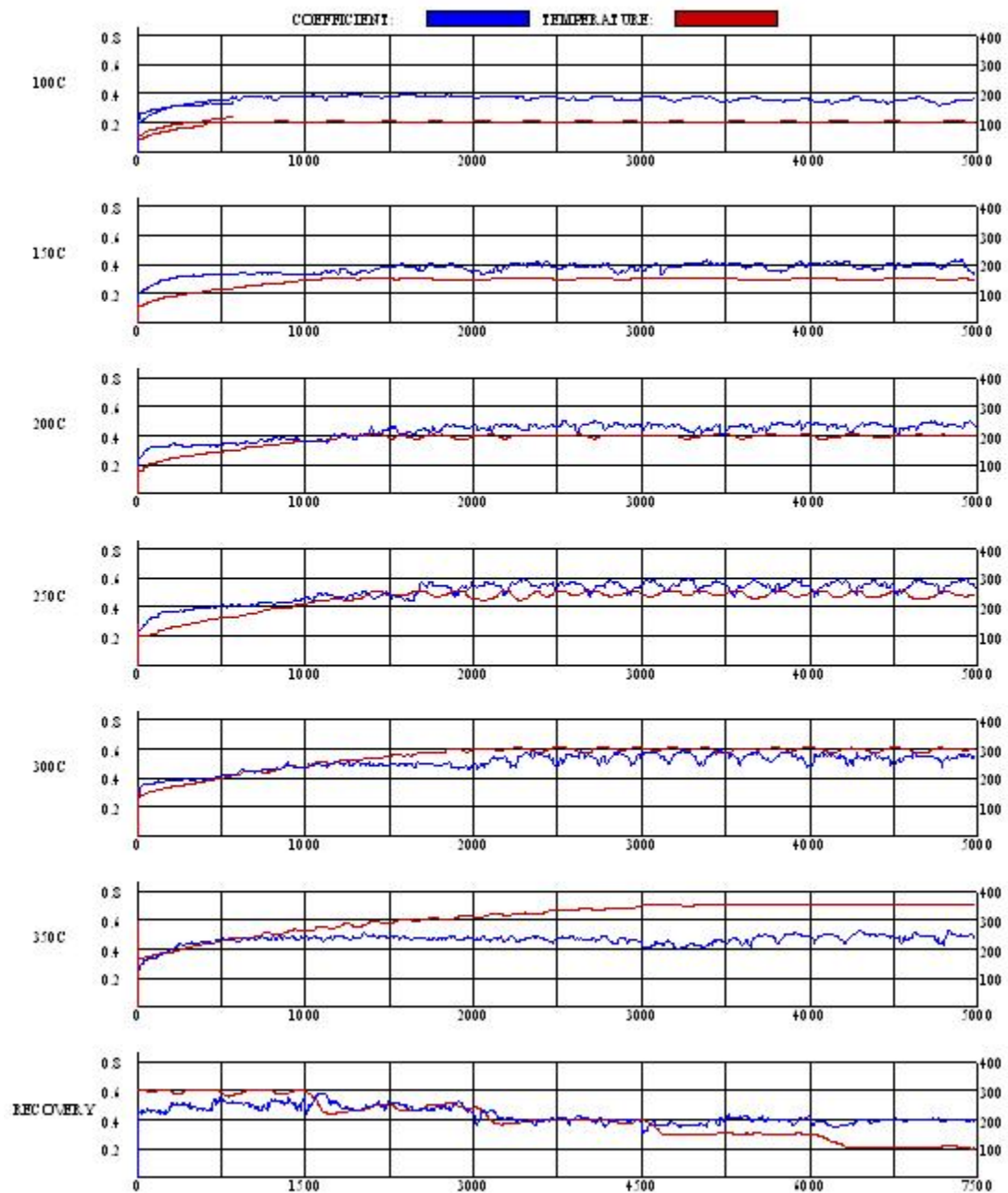
FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME	demiriyolu	STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER													
HP NO.	A1-C1	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER A1-C1														
QUALITY		SIZE	25X25X5mm*3	TESTED BY		A1-C1												
DATE	14.03.1013	LOAD	0.98MPa															

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.357	0.354	0.385	0.393	6.120	6.060	5.930	5.930	5.980	5.700	5.670	5.760	5.790	5.790	6.737	4.818	0.031	0.188
					6.090	6.050	5.890	5.910	5.960	5.660	5.650	5.730	5.740	5.740	6.708	4.795		
					0.030	0.010	0.040	0.020	0.020	0.040	0.020	0.030	0.050	0.050	0.029	0.023		
150	0.366	0.386	0.381	0.401	6.090	6.050	5.890	5.910	5.960	5.660	5.650	5.730	5.740	5.740	6.708	4.795	0.033	0.195
					6.080	6.040	5.850	5.880	5.930	5.610	5.620	5.690	5.680	5.710	6.668	4.750		
					0.010	0.010	0.040	0.030	0.030	0.050	0.030	0.040	0.060	0.030	0.040	0.045		
200	0.426	0.460	0.400	0.395	6.080	6.040	5.850	5.880	5.930	5.610	5.620	5.690	5.680	5.710	6.668	4.750	0.046	0.234
					6.050	6.010	5.840	5.840	5.900	5.550	5.590	5.610	5.600	5.640	6.616	4.678		
					0.030	0.030	0.010	0.040	0.030	0.060	0.030	0.080	0.080	0.070	0.052	0.072		
250	0.500	0.543	0.491	0.482	6.050	6.010	5.840	5.840	5.900	5.550	5.590	5.610	5.600	5.640	6.616	4.678	0.076	0.329
					5.980	5.970	5.780	5.790	5.840	5.470	5.550	5.500	5.440	5.550	6.550	4.540		
					0.070	0.040	0.060	0.050	0.060	0.080	0.040	0.110	0.160	0.090	0.066	0.138		
300	0.500	0.538	0.491	0.507	5.980	5.970	5.780	5.790	5.840	5.470	5.550	5.500	5.440	5.550	6.550	4.540	0.112	0.485
					5.920	5.870	5.720	5.740	5.780	5.320	5.470	5.320	5.190	5.420	6.475	4.354		
					0.060	0.100	0.060	0.050	0.060	0.150	0.080	0.180	0.250	0.130	0.075	0.186		
350	0.457	0.463			5.920	5.870	5.720	5.740	5.780	5.320	5.470	5.320	5.190	5.420	6.475	4.354	0.148	0.700
					5.850	5.840	5.660	5.690	5.720	5.060	5.300	5.100	4.830	5.220	6.389	4.103		
					0.070	0.030	0.060	0.050	0.060	0.260	0.170	0.220	0.360	0.200	0.086	0.251		

C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\yaliya\Writted.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



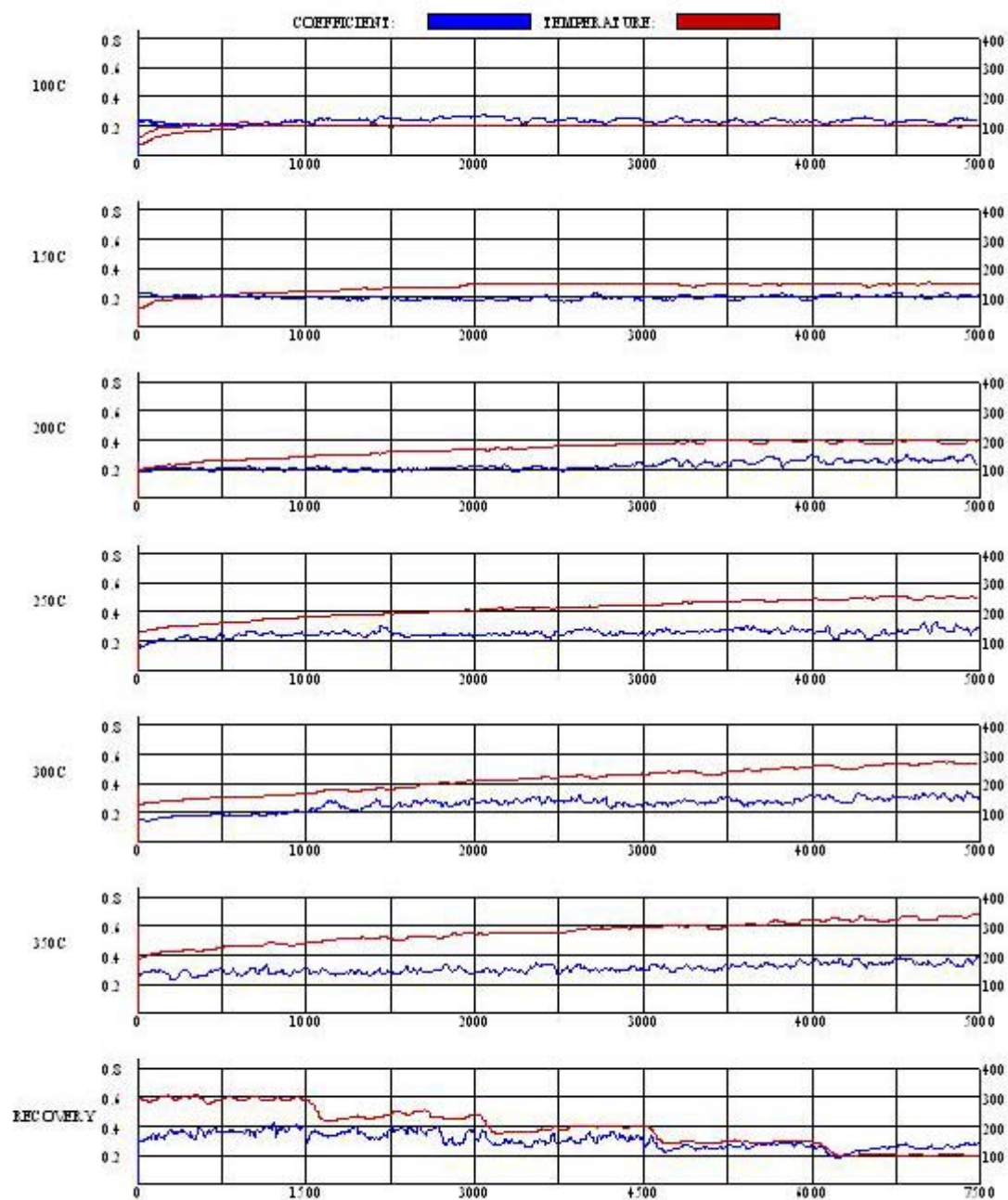
C:\Documents and Settings\Adrian\test\Dev\16\graphs\Untitled.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME	DEMİR YOLU-2	STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.	B1-B2	SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	B1-B2
QUALITY	B1-B2	SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	B1-B2
DATE	20.03.2013	LOAD	0.98MPa		

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.229	0.230	0.245	0.259	6.470	6.410	6.240	6.290	6.360	6.870	6.710	6.750	6.910	6.860	7.858	8.256	0.009	0.065
					6.470	6.400	6.220	6.280	6.360	6.860	6.710	6.740	6.890	6.850	7.842	8.240		
					0.000	0.010	0.020	0.010	0.000	0.010	0.000	0.010	0.020	0.010	0.016	0.016		
150	0.196	0.199	0.261	0.269	6.470	6.400	6.220	6.280	6.360	6.860	6.710	6.740	6.890	6.850	7.842	8.240	0.012	0.132
					6.460	6.400	6.220	6.250	6.350	6.840	6.700	6.720	6.880	6.840	7.827	8.220		
					0.010	0.000	0.000	0.030	0.010	0.020	0.010	0.020	0.010	0.010	0.015	0.020		
200	0.219	0.241	0.304	0.315	6.460	6.400	6.220	6.250	6.350	6.840	6.700	6.720	6.880	6.840	7.827	8.220	0.016	0.158
					6.450	6.390	6.200	6.250	6.340	6.840	6.700	6.700	6.840	6.790	7.805	8.194		
					0.010	0.010	0.020	0.000	0.010	0.000	0.000	0.020	0.040	0.050	0.022	0.026		
250	0.246	0.259	0.343	0.346	6.450	6.390	6.200	6.250	6.340	6.840	6.700	6.700	6.840	6.790	7.805	8.194	0.017	0.150
					6.440	6.380	6.180	6.230	6.350	6.820	6.680	6.670	6.800	6.780	7.777	8.165		
					0.010	0.010	0.020	0.020	-0.010	0.020	0.020	0.030	0.040	0.010	0.028	0.029		
300	0.250	0.278	0.355	0.371	6.440	6.380	6.180	6.230	6.350	6.820	6.680	6.670	6.800	6.780	7.777	8.165	0.021	0.182
					6.430	6.370	6.160	6.210	6.300	6.800	6.670	6.650	6.770	6.760	7.750	8.135		
					0.010	0.010	0.020	0.020	0.050	0.020	0.010	0.020	0.030	0.020	0.027	0.030		
350	0.302	0.322			6.430	6.370	6.160	6.210	6.300	6.800	6.670	6.650	6.770	6.760	7.750	8.135	0.025	0.186
					6.410	6.350	6.130	6.160	6.250	6.790	6.660	6.630	6.740	6.730	7.708	8.095		
					0.020	0.020	0.030	0.050	0.040	0.010	0.010	0.020	0.030	0.030	0.042	0.040		
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\yakiya BALATA\DEMİR YOLU-2-B1-B2.dat																		

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



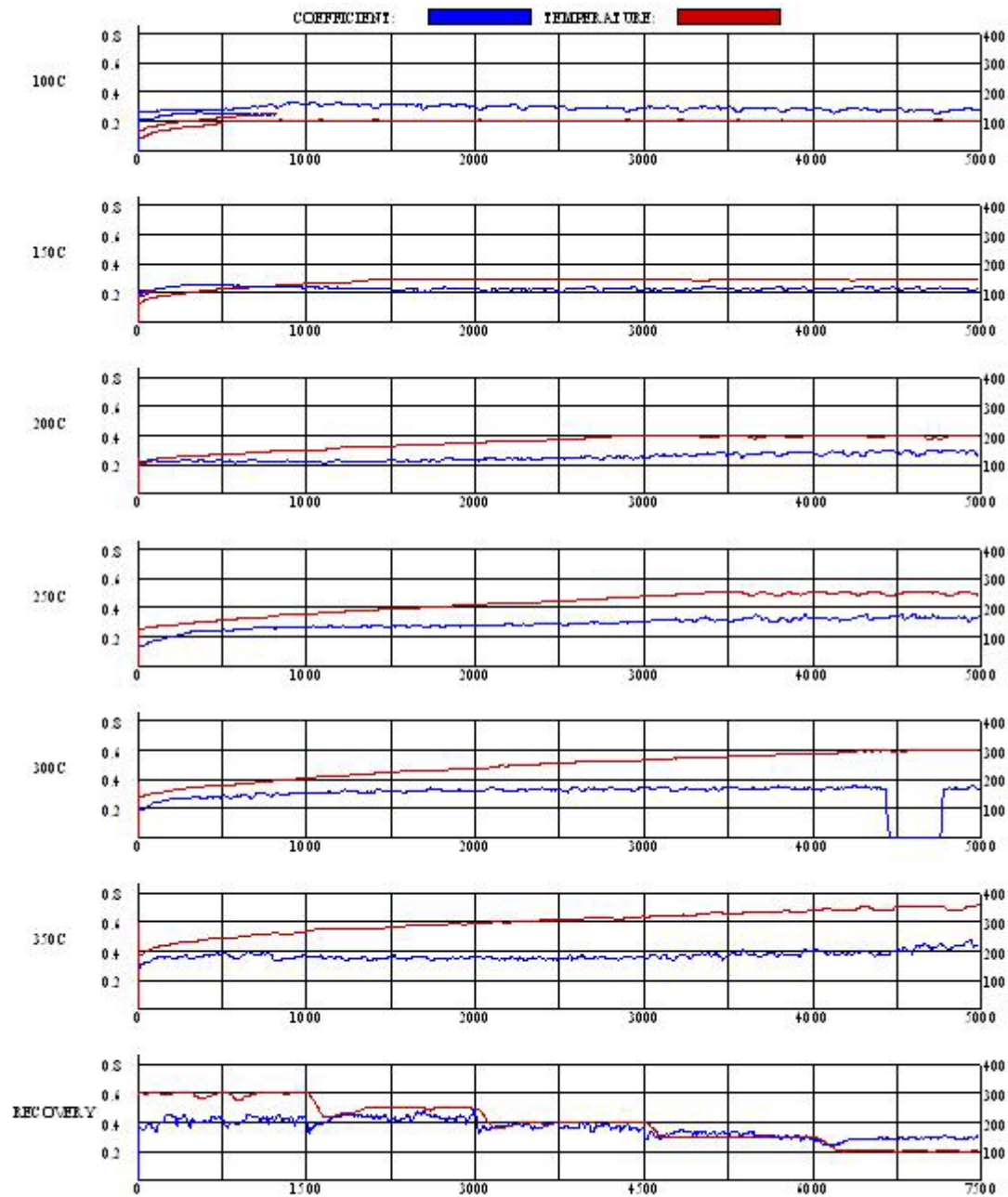
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\yalya BALAJA\TEMP. YOLU-2-B1-B2.dat

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME	demiryolu 2		STANDARD	JIS D 4411		EQUIPMENT		CONSTANT SPEED FRICTION TESTER									
HP NO.	A1-C 1		SPEED	480 rpm		MANUFACTURER A1-C 1											
QUALITY	A1-C 1		SIZE	25X25X5mm*3		TESTED BY		A1-C 1									
DATE	20.03.2013		LOAD	0.98MPa													

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.287	0.279	0.283	0.293	6.540	6.290	6.270	6.500	6.440	6.800	6.600	6.550	6.770	6.700	5.974	7.694	0.025	0.189
					6.520	6.260	6.240	6.460	6.410	6.780	6.600	6.540	6.740	6.660	5.952	7.669		
					0.020	0.030	0.030	0.040	0.030	0.020	0.000	0.010	0.030	0.040	0.022	0.025		
150	0.180	0.199	0.314	0.306	6.520	6.260	6.240	6.460	6.410	6.780	6.600	6.540	6.740	6.660	5.952	7.669	0.024	0.289
					6.490	6.240	6.210	6.430	6.380	6.760	6.590	6.500	6.710	6.660	5.916	7.647		
					0.030	0.020	0.030	0.030	0.030	0.020	0.010	0.040	0.030	0.000	0.036	0.022		
200	0.245	0.267	0.369	0.363	6.490	6.240	6.210	6.430	6.380	6.760	6.590	6.500	6.710	6.660	5.916	7.647	0.032	0.282
					6.460	6.210	6.170	6.380	6.330	6.750	6.580	6.470	6.670	6.630	5.861	7.623		
					0.030	0.030	0.040	0.050	0.050	0.010	0.010	0.030	0.040	0.030	0.055	0.024		
250	0.281	0.312	0.427	0.433	6.460	6.210	6.170	6.380	6.330	6.750	6.580	6.470	6.670	6.630	5.861	7.623	0.035	0.269
					6.410	6.170	6.100	6.330	6.270	6.750	6.580	6.470	6.630	6.590	5.786	7.592		
					0.050	0.040	0.070	0.050	0.060	0.000	0.000	0.000	0.040	0.040	0.075	0.031		
300	0.291	0.286	0.409	0.415	6.410	6.170	6.100	6.330	6.270	6.750	6.580	6.470	6.630	6.590	5.786	7.592	0.038	0.282
					6.360	6.130	6.040	6.260	6.200	6.730	6.570	6.450	6.600	6.580	5.696	7.562		
					0.050	0.040	0.060	0.070	0.070	0.020	0.010	0.020	0.030	0.010	0.090	0.030		
350	0.363	0.378			6.360	6.130	6.040	6.260	6.200	6.730	6.570	6.450	6.600	6.580	5.696	7.562	0.052	0.310
					6.250	6.060	5.970	6.190	6.130	6.710	6.570	6.420	6.560	6.540	5.555	7.520		
					0.110	0.070	0.070	0.070	0.070	0.020	0.000	0.030	0.040	0.040	0.141	0.042		
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\yakiya - BALATA\DEMIR YOLU -2-A1-C 1.dat																	

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Balaiahemmi YULU-2-A1-C1.dat

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Eyüp AKAGÜNDÜZ
Doğum Tarihi ve Yeri	:15.06.1982-Siverek
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:eyupakagunduz@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	GYTE	2008
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Koceli Üniversitesi	2005
Lise	Fen-Matematik	19 Mayıs Lisesi	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2006	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü	Araştırmacı

YAYINLARI

Makale

1. Akagündüz, E., Topuz, A., Güneş, M., (2014). "Effects of Fly Ash Additive On The Properties of Railway Composite Disc Brake Linings", Journal of Engineering and Natural Sciences, 32: 321-332.
2. Akagündüz, E., Güneş, M., Yücel, Z., (2013). "Brakes-The Most Significant Invention After The Engine", Railway Turkey Suppliers Magazine, 2: 47-53.

Bildiri

1. Akagündüz, E., Yücel, Z., Sınmazçelik, T., Günay, V., (2007). "Partikül Erozyon İle Oluşturulan Isıl İşlemli Ti6Al4V Alaşımının Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi", 18.Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi, 26-29 Ağustos 2007, Eskişehir.
2. Akagündüz, E., Yücel, Z., Sınmazçelik, T., Günay, V., (2008). "Isıl İşlem Görmüş Ti6Al4V Alaşımlarının Mikro Yapılarının ve Yüzey Çizilme Dayanımlarının İncelenmesi", 14. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 16-18 Ekim 2008, İstanbul.
3. Yücel, Z., Akagündüz, E., Sınmazçelik, T., Günay, V., (2007). "Ti6Al4V Alaşımının Partikül Erozyonu İle Oluşturulan Yüzey Pürüzlüklerinin Elektron Mikroskobu İle Karakterizasyonu", 18.Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi, 26-29 Ağustos 2007, Eskişehir.

Proje

1. Raylı Taşıtlar için Kompozit Disk Fren Balatası 2013-2015
2. Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması 2010-2012
3. Kompozit Fren Papucunun Yerli Yapılabilirlik Araştırması 2007-2010
4. Mobilya Üretiminde Açığa Çıkan Atık Ürünlerin Yeniden Değerlendirilerek Kullanılabilir Ürünler Elde Edilebilirliğinin Araştırılması 2011-2012

5. Titanyum Hassas Döküm Teknolojisi 2006-2007

6. Kompozit İlave (Add-On) Zırh ve Koruma Sistemleri Teknolojisi Geliştirme ve Uygulamalar 2006-2007

ÖDÜLLERİ

1. Kompozit Fren Pabucunun Yerli Yapılabilirlik Araştırması isimli proje ile TÜBİTAK MAM 2010 yılı A Kategorisi Başarı Teşvik Ödülü - 2010

2. Kocaeli Üniversitesi Onur Öğrencisi 2003

3. Kocaeli Üniversitesi Onur Öğrencisi 2004

4. Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölüm birincisi ile aynı diploma notu 2005

