

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



AĞIR YÜK KAMYONLARINDA
KOMPOZİT FREN BALATALARININ GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

EMRE BAYRAM

İSTANBUL, 2021

T.C.
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



AĞIR YÜK KAMYONLARINDA
KOMPOZİT FREN BALATALARININ GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

EMRE BAYRAM

İSTANBUL, 2021

ÖZET

**AĞIR YÜK KAMYONLARINDA KOMPOZİT FREN BALATALARININ
GELİŞTİRİLMESİ
DOKTORA TEZİ
EMRE BAYRAM
İSTANBUL AREL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(DANIŞMAN: PROF. DR. AHMET TOPUZ)**

İSTANBUL, 2021

Fren balatalarından istenen birtakım temel özelliklerin yanında; her çalışma şartında sabit sürtünme performansı, sürtünme katsayısındaki değişimin az olması, yüksek aşınma mukavemeti istenmektedir. Bu tez çalışmasında bu özelliklerin etkisi araştırılmıştır. Ağır yük kamyonlarında kullanılmak üzere; standart, uçucu kül ve sisal fiber olmak üzere üç farklı bileşimde fren balata numuneleri üretilmiş ve ticari balata ile karşılaştırılmıştır. Kompozisyonlar homojen olarak karıştırılmış, farklı basınç ve sıcaklık derecelerinde sıcak kalıplanmıştır. Numunelerin bir kısmına kütleme uygulanmıştır.

Üretilen numunelerin yoğunlukları, sertlikleri ölçülmüş, JF151 sürtünme test cihazında JISD 4411 standardına göre sürtünme katsayıları ve aşınma oranları tespit edilmiştir. TGA testleri ile yüksek sıcaklık derecelerinde oluşabilecek kütle kayıpları belirlenmiştir. SEM analizi ile test edilen numunelerin aşınma ve normal yüzeyleri incelenmiş, iç kesme ve basma dayanımları test edilmiştir. Saha dinamometre testi ile de uygun numune gerçek şartlarda üretilerek testleri tamamlanmıştır.

Tez çalışması sonucunda uçucu kül kullanarak 180°C-30MPa kütlemez olarak üretilen numunelerin ağır yük kamyonu balatasına en yakın aşınma-sürtünme özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir. Bu numuneye ait TGA test sonuçlarında ticari balata ile benzer şekilde bozunma sıcaklığı 450°C olarak görülmüştür. Bu içerikte %40 uçucu kül, %20 reçine, %20 kaya yünü, %10 grafit, %5 MoS₂, %5 cashew kullanılmış ve ağır yük kamyonlarında kullanımı için en uygun alternatif olarak önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kamyon kompozit fren balatası, sürtünme, aşınma, uçucu kül, sisal

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF COMPOSITE BRAKE LININGS IN HEAVY DUTY TRUCKS

PH.D THESIS

EMRE BAYRAM

GRADUATE SCHOOL, ISTANBUL AREL UNIVERSITY

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. AHMET TOPUZ)

İSTANBUL, 2021

Materials for friction used in brakes should fulfill many requirements, such as stable friction performance in all conditions, lower change in the friction coefficient, high wear resistance and low wear rate. In this study, three different compositions were produced to investigate the effects of each composition and its manufacturing parameters. Three different compositions, which are called standard, fly ash and sisal fiber mixture, were produced to be compared with existing commercial heavy duty truck brake lining. These compositions were homogeneously mixed and hot molded at different pressures and temperatures. The post-curing effect was also investigated in some of the samples.

The density and hardness of the samples were analyzed, the wear and friction tests were performed according to the JISD 4411 standard in a JF151 friction tester. Weight losses at high temperatures were determined by TGA tests. The abrasion and normal surfaces were examined by SEM analysis, internal shear strength and compression strengths were measured. With the field dynamometer test, the appropriate sample was produced under real conditions and tested on a dynamometer.

The results showed that, fly ash samples that produced 180°C - 30MPa without curing provided the closest wear-friction properties with the heavy load truck lining. In the TGA test results of this sample, the decomposition temperature was found as 450°C which also similar to the commercial lining. This fly ash composition has 40% fly ash, 20% phenolic resin, 20% rockwool, 10% graphite, 5% MoS₂, 5% cashew and it is highly recommended as the most suitable alternative for use in heavy-duty trucks.

Key Words: Composite truck brake linings, friction, wear, fly ash, sisal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
1 GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu, Amacı, Kapsam ve Sınırları.....	1
1.2 Tezin Yöntemi.....	2
2 FREN SİSTEMİ ve BALATA MALZEMELERİ.....	3
2.1 Fren Sistemi	3
2.1.1 Diskli Fren Sistemi.....	4
2.1.2 Kampanalı Fren Sistemi.....	4
2.1.3 Disk ve Kampana Fren Sisteminin Karşılaştırılması	5
2.2 Balata Elemanları	6
2.3 Balata Malzemeleri	6
2.3.1 Bağlayıcı Malzemeler	6
2.3.2 Yapısal Malzemeler	7
2.3.3 Sürtünme Düzenleyiciler.....	8
2.3.4 Abrasivler.....	9
2.3.5 Dolgu Malzemeleri.....	9
3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	10
4 BALATALARDAN İSTENEN ÖZELLİKLER ve TESTLER	22
4.1 Fren Balatalarından İstenen Özellikler.....	22
4.2 Balata Standartları	22
5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	24
5.1 Ticari Balata SEM-EDS Analizi	24
5.2 Numune Hazırlama	28
5.3 Testler.....	32
5.3.1 Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü	33
5.3.2 Aşınma ve Sürtünme Testleri.....	35
5.3.2.1 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri	37
5.3.2.2 Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri ...	41
5.3.2.3 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri ...	44
5.3.2.4 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Sonuçlar	48
5.3.2.5 Tüm Karışımlara Ait Özgül Aşınma Değerleri.....	51
5.3.2.6 Tüm Karışımlara Ait Sürtünme Katsayısı Stabilitesi	52
5.3.3 TGA Testleri	63
5.3.3.1 Ticari Balata TGA Testi	63
5.3.3.2 Standart Karışım TGA Testleri.....	64
5.3.3.3 Uçucu Kül Karışımı TGA Testleri.....	66
5.3.3.4 Sisal Fiber Karışımı TGA Testleri.....	70
5.3.3.5 TGA Testleri Genel Sonuçları	72
5.3.4 SEM Analizi.....	74

5.3.5	İç Kesme Dayanımı.....	87
5.3.6	Basma Deneyi	89
5.3.7	Dinamometre Testleri.....	91
6	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
7	KAYNAKLAR	99
8	EKLER.....	102
	EK A Aşınma ve Sürtünme Test Raporları.....	102
9	ÖZGEÇMİŞ.....	112



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Hidrolik Fren Sistemi.....	3
Şekil 2.2 Ağır Yük Kamyonlarında Diskli Fren Sistemi	4
Şekil 2.3 Ağır Yük Kamyonlarında Kampanalı Fren Sistemi.....	5
Şekil 2.4 Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası	6
Şekil 3.1 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonucu (Baklouti ve diğerleri, 2015).....	11
Şekil 3.2 Literatür Sürtünme Katsayısı Sonuçları (Hee ve Filip, 2005)	12
Şekil 3.3 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Cho ve diğerleri, 2005)	14
Şekil 3.4 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Xin ve diğerleri, 2007)	15
Şekil 3.5 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Lee ve Filip, 2013)	17
Şekil 3.6 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Mohanty ve Chugh, 2007).....	20
Şekil 3.7 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Malhotra ve diğerleri, 2002).....	20
Şekil 3.8 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Dadkar ve diğerleri, 2009).....	21
Şekil 5.1 Ağır Yük Kamyon Balatası SEM Analizi-1	24
Şekil 5.2 Ağır Yük Kamyon Balatası SEM Analizi-2	26
Şekil 5.3 Balata Kompozisyonunda Kullanılan Hammaddeler.....	28
Şekil 5.4 Metkon Ecopress-100 laboratuvar tipi pres cihazı.....	30
Şekil 5.5 Sıcak Kalıplama Parametreleri	31
Şekil 5.6 Protherm Kütleme Cihazı	32
Şekil 5.7 Aşınma ve Sürtünme Testleri için Numune Ölçüleri.....	32
Şekil 5.8 Hassas Terazî	33
Şekil 5.9 Sertlik Ölçüm Cihazı.....	34
Şekil 5.10 JF151 Sürtünme Test Cihazı.....	36
Şekil 5.11 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	39
Şekil 5.12 Standart Karışım Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri.....	39
Şekil 5.13 Standart Karışım Kalınlıkça Aşınma Oranı Değerleri	40
Şekil 5.14 Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	42

Şekil 5.15 Uçucu Kül Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranları	43
Şekil 5.16 Uçucu Kül Karışımı Kalınlıkça Aşınma Oranları.....	43
Şekil 5.17 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	46
Şekil 5.18 Sisal Fiber Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri.....	47
Şekil 5.19 Sisal Fiber Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri.....	47
Şekil 5.20 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Sürtünme Katsayısı Değerleri	49
Şekil 5.21 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri	50
Şekil 5.22 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Kalınlıkça Aşınma Oranı Değerleri	50
Şekil 5.23 Numune No:1 Standart 180°C 30MPa – Kürlemesiz // Numune No: 4 Standart 125°C 30MPa – Kürlemesiz	53
Şekil 5.24 Numune No:2 Standart 180°C 25MPa – Kürlemesiz	54
Şekil 5.25 Numune No:3 Standart 180°C 25MPa – Kürlemeli.....	55
Şekil 5.26 Numune No:15 Ticari Balata // Numune No:5 Uçucu Kül 180°C 30MPa – Kürlemesiz	56
Şekil 5.27 Numune No:6 Uçucu Kül 180°C 25MPa – Kürlemesiz	57
Şekil 5.28 Numune No:7 Uçucu Kül 180°C 25MPa –Kürlemeli // Numune No:12 Sisal 180°C 25MPa – Kürlemeli.....	58
Şekil 5.29 Numune No:8 Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kürlemesiz	59
Şekil 5.30 Numune No:9 Uçucu Kül 125°C 30MPa –Kürlemeli // Numune No:14 Sisal 125°C 30MPa – Kürlemeli.....	60
Şekil 5.31 Numune No:10 Sisal 180°C 30MPa –Kürlemesiz // Numune No:11 Sisal 180°C 25MPa – Kürlemesiz.....	61
Şekil 5.32 Numune No:13 Sisal 125°C 30MPa – Kürlemesiz.....	62
Şekil 5.33 Ticari Balata - TGA Testi	63
Şekil 5.34 TGA - Standart 180°C 30MPa – Kürlemesiz.....	64
Şekil 5.35 TGA - Standart 180°C 25MPa – Kürlemeli.....	64
Şekil 5.36 TGA - Standart 125°C 30MPa – Kürlemesiz.....	65
Şekil 5.37 TGA - Standart 125°C 30MPa – Kürlemeli.....	65
Şekil 5.38 Standart Karışım – TGA Eğrileri Karşılaştırması.....	66
Şekil 5.39 TGA – Uçucu Kül 180°C 30MPa – Kürlemesiz.....	67
Şekil 5.40 TGA - Uçucu Kül 180°C 25MPa – Kürlemeli.....	67
Şekil 5.41 TGA - Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kürlemesiz.....	68
Şekil 5.42 TGA - Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kürlemeli.....	68
Şekil 5.43 Uçucu Kül Karışımı – TGA Eğrileri Karşılaştırması	69
Şekil 5.44 TGA – Sisal 180°C 25MPa – Kürlemesiz	70
Şekil 5.45 TGA – Sisal 125°C 30MPa – Kürlemeli.....	70
Şekil 5.46 TGA – Sisal 125°C 30MPa – Kürlemesiz	71

Şekil 5.47 Sisal Karışımları – TGA Eğrileri Karşılaştırması.....	71
Şekil 5.48 Ticari Balata ile Karşılaştırmalı TGA Eğrileri.....	73
Şekil 5.49 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	74
Şekil 5.50 Standart Numune Yüzey SEM görüntüleri.....	76
Şekil 5.51 Standart Numune Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri	77
Şekil 5.52 Uçucu Kül Numunesi Yüzey SEM görüntüleri	79
Şekil 5.53 Uçucu Kül Numunesi Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri.....	80
Şekil 5.54 Sisal Fiber Numunesi Yüzey SEM görüntüleri	82
Şekil 5.55 Sisal Fiber Numunesi Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri.....	83
Şekil 5.56 Ticari Balata Yüzey SEM görüntüleri	85
Şekil 5.57 Ticari Balata Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri.....	86
Şekil 5.58 İç Kesme Dayanımı Deney Cihazı.....	87
Şekil 5.59 Basma Deneyi Test Cihazı.....	89
Şekil 5.60 Standart numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri	90
Şekil 5.61 Uçucu kül numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri	90
Şekil 5.62 Sisal numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri.....	91
Şekil 5.63 Karışım Mikseri	91
Şekil 5.64 Numune Pres Cihazı	92
Şekil 5.65 Numune Hazırlama Fırını	92
Şekil 5.66 Balata Numuneleri	93
Şekil 5.67 Dinamometre.....	93
Şekil 5.68 Balata bölgesel aşınma değerleri	95

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Literatür Balata Kompozisyonu (Baklouti ve diğerleri, 2015).....	10
Tablo 3.2 Literatür Balata Kompozisyonu (Hee ve Filip, 2005)	11
Tablo 3.3 Literatür Balata Kompozisyonu (Ertan, Yavuz, 2010).....	12
Tablo 3.4 Literatür Balata Kompozisyonu (Cho ve diğerleri, 2005)	13
Tablo 3.5 Literatür Balata Kompozisyonu (Xin ve diğerleri, 2007).....	14
Tablo 3.6 Literatür Balata Kompozisyonu (Martinez ve Echeberria, 2016).....	15
Tablo 3.7 Literatür Balata Kompozisyonu (Lee ve Filip, 2013).....	16
Tablo 3.8 Literatür Balata Kompozisyonu (Aleksendric, 2010).....	17
Tablo 3.9 Literatür Balata Kompozisyonu (Mohanty ve Chugh, 2007)	19
Tablo 3.10 Literatür Balata Kompozisyonu (Dadkar ve diğerleri, 2009)	21
Tablo 4.1 Balata Standartları.....	22
Tablo 5.1 Balata Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası SEM Analizi-1.....	25
Tablo 5.2 Balata Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası SEM Analizi-2.....	26
Tablo 5.3 Ağır Yük Kamyonu Ticari Fren Balatası Muhtemel Kompozisyon.....	27
Tablo 5.4 Balata Kompozisyonları	28
Tablo 5.5 Numunelerin Üretim Parametreleri	29
Tablo 5.6 Rockwell Skalası (TS 555, 1992)	34
Tablo 5.7 Üretilen Numunelerin Yoğunluk ve Sertlik Değerleri.....	35
Tablo 5.8 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri	37
Tablo 5.9 Standart Karışım Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları.....	38
Tablo 5.10 Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri .	41
Tablo 5.11 Uçucu Kül Karışımları Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları	42
Tablo 5.12 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri .	44
Tablo 5.13 Sisal Fiber Karışımları Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları.....	45
Tablo 5.14 Ticari Balata Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Oranı Değerleri.....	48
Tablo 5.15 Ticari Balata Karşılaştırmalı Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları.....	48
Tablo 5.16 Özgül Aşınma Değerleri	51
Tablo 5.17 TGA Kütle Kaybına Göre % Kütle Kayıpları	72
Tablo 5.18 İç Kesme Dayanımı Değerleri	88
Tablo 5.19 Basma Dayanımı Değerleri.....	89
Tablo 5.20 Dinamometre Sürtünme Katsayısı Sonuçları.....	94

Tablo 5.21 Balata Aşınma Değerleri.....	95
---	----



KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ

μ	: Sürtünme Katsayısı
t	: Zaman
ρ	: Yoğunluk
ΔW	: Aşınma Oranı
f_m	: Ortalama Sürtünme Kuvveti
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
MPa	: Mega Paskal
$^{\circ}\text{C}$	: Derece selsiyus
d/dk	: Devir/dakika
km/h	: Kilometre/saat
N	: Newton

ÖNSÖZ

Otomotiv sektöründe son yıllarda yaşanan hızlı gelişmeler, çevreye zararlı atıkların da mümkün mertebe en aza indirilmesini hedef olarak ana sanayilere sunmaktadır. Fren balatalarının içerisinde de birçok malzeme kullanılmakta ve birçok üretici de rekabet nedeniyle kullandıkları kompozisyonu açıklamamaktadır. Ağır yük kamyonlarında da yüksek sıcaklıklarda kullanım nedeniyle fren balataları aşınma sonucu en fazla değiştirilen parçalardan birisidir.

Doktora tezi kapsamında farklı fren balatası kompozisyonları belirlenerek testleri yapılmış ve ağır yük kamyonlarında kullanılmak üzere alternatif olarak önerilmiştir.

Bu tezi gerçekleştirmemde bana her türlü desteği verip, engin birikimiyle yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Ahmet Topuz'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarım esnasındaki katkılarından dolayı İstanbul Arel Üniversitesi laboratuvar personeline ve Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Doktora tezini iş hayatı ile eş zamanlı yapabilmeye sunduğu imkân ve referanslar için Mercedes-Benz Türk A.Ş. kurumuna teşekkür ederim.

Bu süreçte desteklerini her zaman hissettiğim çok kıymetli ailem; anneme, babama, eşim Semiha Bayram'a ve kızım Zehra Elif Bayram'a özel olarak teşekkürlerimi sunarım.

19.02.2021

EMRE BAYRAM



1 GİRİŞ

Otomotivde dünyada ve ülkemizde önümüzdeki yıllarda çevreye zararlı etkisi bulunan CO₂ gibi gazların emisyonunun azaltılması gibi kısıtlamalar beklenmektedir. Bu hedefe yönelik olarak fren balatalarının içerdiği çevresel malzemelerden oluşan kompozisyon da önemli rol oynamaktadır.

Kompozit esaslı sürtünme malzemelerinin istenen sürtünme ve aşınma davranışlarını sağlaması ve frenleme performansını artırması amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Günümüzde de çok geniş bir yelpazede balata formülü geliştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında öncelikle birçok araştırmacının farklı kompozisyonları ve üretim parametreleri incelenmiştir. Bir sonraki aşamada seride kullanılan ağır yük kamyonlarının disk fren tiplerinde kullanılan balata incelenmiş ve referans olarak belirlenmiştir. Bu fren balatası seride kullanılan ve müşteri şikâyetinin gelmediği balata seçilmiştir. Teorik araştırma ve pratikteki sonuçlar birleştirilerek hedef balata kompozisyonları oluşturulmuştur. Üretilen numune balatalar aşınma-sürtünme testleri ve TGA testlerine tabi tutularak ticari balata ile karşılaştırılmıştır.

1.1 Tezin Konusu, Amacı, Kapsam ve Sınırları

Tezin konusu; ağır yük kamyonlarında kullanılan kompozit fren balatalarının geliştirilmesidir. Ağır yük kamyonlarında kullanılan ve diskli fren sistemine ait balatalar referans alınarak, teorik balata yapısının bileşenleri ile karşılaştırılarak her iki balata yapısının pozitif etkileri alınarak optimum bir balata bileşeni oluşturularak üretilmesidir.

Tezin amacı; ağır yük kamyon balatalarında oluşan yüksek sürtünme, sıcaklık ve aşınma değerlerinin iyileştirilmesi ve çevresel faktörlerin göz önüne alındığı balata üretilbilmesidir. Alternatif olarak mevcut seride kullanılan balata ile benzer özelliklere sahip olması durumunda daha uygun maliyetlerle üretilbilmesidir.

Referans olarak Mercedes-Benz ağır yük kamyonlarında mevcut seride kullanılan disk fren sistemine ait balata referans alınmıştır. Yine Türkiye iç pazarına

özgü 32 tonluk 8x2 aracı baz alınmıştır. Ancak referans alınan balata Türkiye ve yurt dışı üretimi diğer kamyon tiplerinin birçoğunu da kapsamaktadır.

1.2 Tezin Yöntemi

Tez çalışmasında öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Benzer kapsamda özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar taranmış, bu kısımda balata malzemelerinde sonuçlar çıkarılmıştır. Çevreye zararlı etkisi olabilecek malzemeler tespit edilerek yerlerine alternatif malzemeler tercih edilmiştir.

Pratikte kullanılan ağır yük kamyon balatası temin edilerek içeriği çıkarılmıştır. Bu numune teze konu olan numuneler ile karşılaştırma amaçlı aynı testlere tabi tutulmuştur.

Balata üretimi ve kütleme, İstanbul Arel Üniversitesi malzeme laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. İlgili kısımda detayları anlatılacak üretimde belirli kalıplama basınç ve sıcaklık değerlerinde balata üretimi tamamlanmıştır. Üretilen numunelerin sertlik ve yoğunluk değerleri çıkarılarak TS 555 standardına uygunluğu teyit edilmiştir.

Uygun numuneler aşınma ve sürtünme test cihazı için istenilen ölçülere torna ve freze tezgâhları yardımıyla getirilmiştir. Bu işlemler Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Fabrikası'nda tamamlanmıştır. Sonrasında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde JISD 4411 standardına göre aşınma-sürtünme testlerine tabi tutulmuştur.

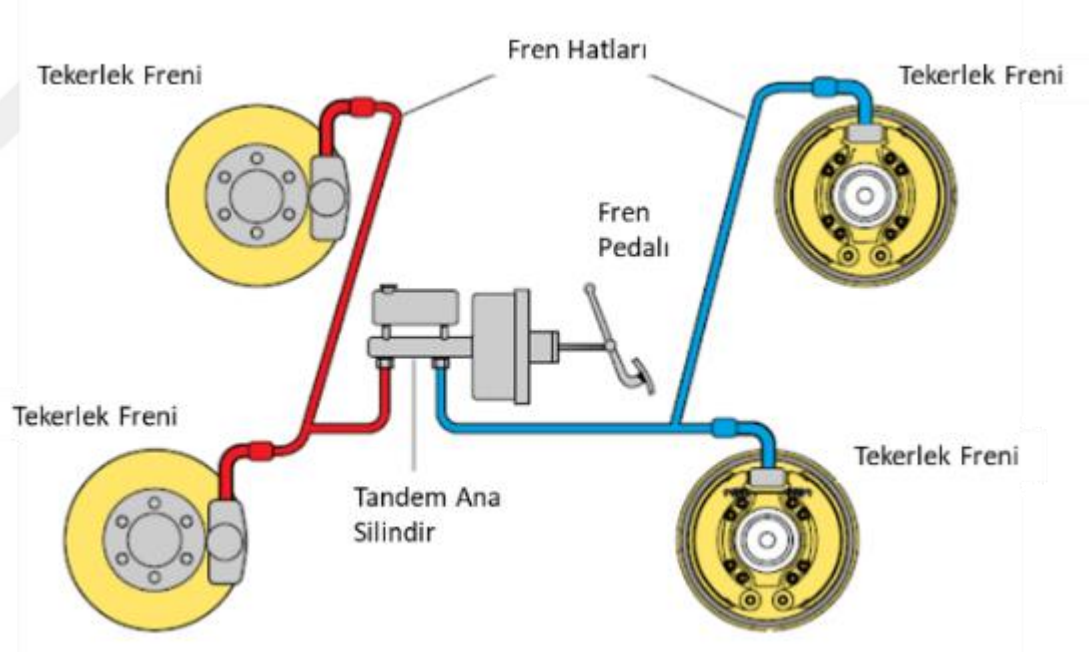
Bu sonuçlardan sonra ArelPotkam Merkezi'nde TGA testlerine tabi tutulmuştur. Ticari balataya en yakın sürtünme katsayısı ve aşınma değeri veren uçucu kül katkılı örnekten prototip ölçekte balata üretilerek Kale Balata firmasında 8,5 bar basınçta ve değişik hız ve sıcaklıklarda dinamometre testi yapılmıştır. Tüm bu testler sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda çalışma açısından yorumlanarak ağır yük kamyonlarında kullanımının mümkün olup olmadığı araştırılmıştır.

2 FREN SİSTEMİ VE BALATA MALZEMELERİ

2.1 Fren Sistemi

Frenleme, bir aracın hareketine karşı kuvvetlerin üretildiği tüm mekanizmaları ifade eder. Amaç, yokuş aşağı sürerken istenmeyen ivmeyi önlemek, gerekirse belli bir noktada duruncaya kadar hızı azaltmak ve gerektiğinde aracın durmasını sağlayan sürüş kontrol sistemidir.

Şekil 2.1’de hidrolik fren sistemi ile çalışan ticari taşıt fren sistemine ait çalışma şeması gösterilmektedir (MAN, 1998). Buna göre fren pedalına basıldığında merkez silindirinden gelen basınçlı hidrolik, kalipere geçerek silindirin içerisine dolar. Pistonlara itme kuvveti uygulayarak pistonları açar. Pistonlar pabuçları ve üzerlerindeki balataları diske doğru iterler ve diski sıkımaya çalışır. Böylece disk iki pabuç arasında sıkılarak frenleme sağlanır (MEB, 2013).



Şekil 2.1 Hidrolik Fren Sistemi

2.1.1 Diskli Fren Sistemi

Diskli fren sistemi sabit bir kaliper ve bu kaliper üzerine yerleştirilen balata, fren hidrolik silindiri ve pistonlarından oluşur. Şekil 2.2’de ağır yük kamyonlarında kullanılan diskli fren sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Ağır Yük Kamyonlarında Diskli Fren Sistemi

Fren diski, cıvatalar yardımıyla tekerlek göbeğine bağlıdır ve birlikte dönmektedir. Taştın yavaşlaması veya durması sırasında balatalar arasında sıkıştırılan fren diski frenlemeyi sağlar. Fren disklerinin iki yüzeyi de iyi frenleme sağlamak amacıyla hassas işlenmiştir. Aynı zamanda frenleme sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerine ve aşırı ısıya karşı dayanıklı malzemeden yapılmıştır (MEB, 2013).

Diskli frenler yüksek fren torkları uygulanabilmesi sayesinde kısa fren yolu ve yüksek trafik emniyeti sağlar. Hızlı fren etkisi ve eşit oranlı fren tepkisi sayesinde sürücüye yardımcı olur (Mercedes-Benz Product Information Tool, Anonim, b.t).

2.1.2 Kampanalı Fren Sistemi

Ön ve arka aksta kampanalı fren kullanımı genellikle tüm aksları tahrikli araçlarda ve kötü zeminli yollarda kullanılan araçlarda kullanılır. Kampana, fren tekerlek silindiri, iki adet pabuç, fren siper tablası ve balatalardan oluşmaktadır.

Fren yapıldığında pabuç tarafından desteklenen balatalar kampananın iç yüzeyine sürtünerek tekerlerin dönüşünü yavaşlatarak frenleme sağlar. (Topuz ve diğerleri, 2013)



Şekil 2.3 Ağır Yük Kamyonlarında Kampanalı Fren Sistemi

Avrupa’da ağır yük kamyonlarında kampanalı fren sisteminin kullanımı azalma eğilimi göstermektedir.

2.1.3 Disk ve Kampana Fren Sisteminin Karşılaştırılması

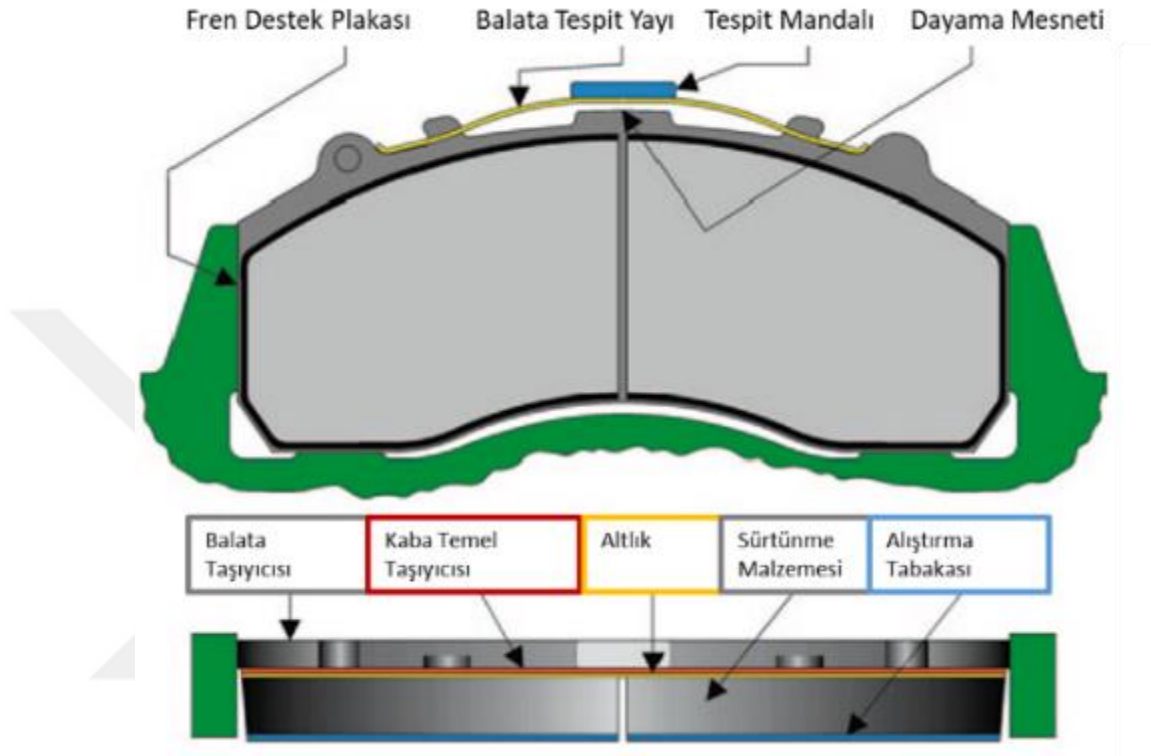
Ağır yük kamyonlarında müşteri tercihine göre ön aks diskli, arka aks kampanalı fren sistemi kullanımı da mümkündür.

Diskli ve kampanalı fren sistemleri arasında aşağıdaki farklar mevcuttur.

- Diskli frenlerde balata, daha dar bir yüzeye sahiptir. Bu bakımdan üzerine gelen büyük frenleme kuvvetlerinin miktarı fazladır. Bunun için diskli fren balatalarının daha yüksek bir sürtünme katsayısına ve dayanıma sahip olması gerekir.
- Diskli frenler havayla temas halinde olduğundan frenleme anında daha kısa sürede soğur.
- Servo çalışması olmadığından diskli frenler yüksek hızlardaki frenlemelerde tutukluk ya da fren kapması yapmaz.
- Disk ısındıktan sonra pabuçlara doğru açılarak otomatik ayarlayıcılara yardımcı olur.
- Diskli frenlerin bakımı daha kolay ve servis zamanı daha azdır (MEB, 2013).

2.2 Balata Elemanları

Ağır yük kamyonlarına ait fren balatası alt elemanları ile beraber Şekil 2.4’de gösterilmiştir (Breuer ve Bill, 2012). Bu tez çalışmasına konu olan kısım sürtünme malzemesi kısmıdır.



Şekil 2.4 Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası

2.3 Balata Malzemeleri

Günümüzde fren balatalarının üretiminde yüzlerce farklı çeşit bileşen kullanılmaktadır. Kullanılan bu bileşenler genel olarak beş ana gruba ayrılır. Bunlar; bağlayıcılar, takviye elemanları, sürtünme düzenleyiciler, abrasivler ve dolgu malzemeleri şeklindedir (Öztürk, 2018).

Bu çalışmada beş grup altında numune üretimi için uygun malzemeler ve oranları belirlenmiştir.

2.3.1 Bağlayıcı Malzemeler

Bağlayıcı malzemeler, balatayı oluşturan bileşenleri bir arada tutmak ve kararlı bir matris oluşturmak amacıyla kullanılırlar (Öztürk, 2018).

Reçine: Bağlayıcı olarak en sık kullanılan malzemedir. Polyester, fenolik, polikarbonat, poliamid, epoksi, poliüretan ve silikon reçine gibi çeşitleri mevcut olmasına karşın bu teze konu olan balata malzemeleri içerisinde en sık kullanılan reçine tipi yüksek mekanik dayanım, ısıya karşı direnç, yüksek esneklik ve düşük maliyetli olmalarından dolayı fenolik reçinedir. (Mindivan ve Gürses, 2020).

Literatürde reçine katıldığında sürtünme katsayısının arttığı ve aşınma direncinin iyileştiği tespit edilmiştir (Cho ve diğerleri, 2005). Ancak polimer esaslı olduğundan yüksek sıcaklıklara dayanıksızdırlar. Frenleme esnasında oluşan çok yüksek sıcaklıklar polimerin yapısını bozarak kimyasal bağların yanmasına ve bağlayıcılık özelliğini yitirmesine neden olur ve balata-disk arasındaki sürtünme kuvvetlerinde büyük bir düşüş meydana gelir. Bu açıdan reçine konsantrasyonunun düşük olması fiziksel özelliklerin zayıf olmasına, yüksek olması ise yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısının düşmesine neden olur (Ertan ve Yavuz, 2006).

2.3.2 Yapısal Malzemeler

Takviye ediciler farklı tür elyaflar olup, balataya istenen mekanik dayanım, termal kararlılık, aşınma direnci ve sürtünme sağlarlar (Öztürk, 2018).

Çelik Yünü: Çelik elyaf uygun takviye etme özelliği, iyi ısı ve sürtünme kararlılığı, ekonomik oluşu ve karıştırma esnasında parçalanmaya karşı direnci sayesinde en çok kabul gören alternatif malzemelerden biridir. Korozyon dezavantajına rağmen yumuşak çelik elyaf daha kolay işlenebilir ve ucuz olması sayesinde tercih edilmektedir (Toros, 2011).

Kaya Yünü: Isıl direnç yönünden oldukça dayanıklı bir malzemedir. 1000°C'ye kadar katı halini koruyabilir. Lif halinde üretilip bağlayıcı eklenerek yün haline getirilir. Fren sesini absorbe etme yeteneğine sahiptir (Topuz ve diğerleri, 2013).

Yine kaya yününün aşınma direncini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Cho ve diğerleri, 2005).

Pirinç: Pirinç bakır-çinko alaşımıdır ve balatanın ısı iletkenliğini ve yüzey basıncı yükseltmektedir (Topuz ve diğerleri, 2013). Bu çalışmada çevreye zararı tespit edilen ve bazı ülkelerde yasaklanmış olan Cu (bakır) yerine tercih edilmiştir.

Sisal Fiber: Sisal elyaf, selüloz yapılı bir tür bitki elyafıdır. Bir sisal fiber parçası karbon veya cam gibi tek bir filament değildir. Altıgen içi boş hücrelerden oluşan hücresel bir demettir (Barkakaty, 1976)

Literatürde sisal fiber kullanımı sürtünme katsayısının stabil olmasında etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle asbestin yerine ideal bir malzeme potansiyeli olduğu belirtilmiştir (Xin ve diğerleri, 2007).

2.3.3 Sürtünme Düzenleyiciler

Sürtünme düzenleyiciler, balatanın sürtünme ve aşınma özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılırlar. Balatalarda yüksek sıcaklıklarda sürtünme katsayısını stabilize etme, aşınma miktarını kontrol etme, gürültüyü azaltma ve titreşim sönümlüme amacıyla kullanılmaktadır (Öztürk, 2018).

Grafit: Literatürde grafit'in aşağıdaki balata içeriğinde aşağıdaki faydaları tespit edilmiştir.

- Gürültü ve aşınmanın azaltılmasında pozitif etkisi vardır (Gilardi ve diğerleri, 2012).
- Sürtünme katsayısını ve frenleme konforunu iyileştirmiştir (Graphite for Friction, Anonim, b.t).
- Grafitin özgün bir özelliği sıcaklık arttıkça dayanımının artmasıdır (Toros, 2011)

Sürtünme malzemelerinde önemli yer tutan grafitin, balatalarda yüzde miktarı uygun değerlerde tutularak, sürtünme katsayısı dağılımının istenilen düzeyde olması sağlanır (Toros, 2011).

MoS₂: Yaygın olarak kullanılan bir yağlayıcıdır. İnsan sağlığına zararlı bir etkisi bulunamamıştır. Literatürde frenleme performansında gösterdiği özellikler

nedeniyle fren balatalarında kullanılabilmektedir. (Cho ve diğerleri, 2005; Zhang ve diğerleri, 2020).

Cashew: Literatürde Cashew'in sürtünme katsayısını artırdığı tespit edilmiştir (Cho ve diğerleri, 2005). Organik esaslı bir malzemedir ve genellikle yüksek sıcaklıklarda sürtünme dayanımını ve soğuk aşınmayı iyileştirmek için kullanılır. Bağlayıcı sistemin elastikiyetini artırır, kesikli sürtünme ve buna bağlı olarak oluşan gürültü ve vibrasyonu azaltır (Cashew Friction Dust, Anonim, b.t)

2.3.4 Abrasivler

Aşındırıcılar, balataya yüksek ve kararlı bir sürtünme katsayısı sağlamak için katılırlar (Öztürk, 2018).

ZrSiO₄: Zirkonyum silikat kullanımı ile literatürde aşınma direncini iyileştirdiği görülmüştür. Zirkon tanecikleri sürtünme seviyesini kontrol etmek amacıyla kullanılır (Cho ve diğerleri, 2005). Yüksek miktarlarda kullanılması ise sürtünme katsayısını dengesizleştirir. Bu durum sürtünme tabakasının kalkmasına neden olduğundan istenmez (Ertan ve Yavuz, 2006).

2.3.5 Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, öncelikle maliyeti azaltmak amacıyla balatada boşluk doldurucu olarak görev yaparlar (Öztürk, 2018).

BaSO₄: BaSO₄ kullanımında yüksek sıcaklıklarda dahi sürtünme katsayısı kararlılığını koruduğu, ancak aşınma oranının önemli derecede arttığı gözlenmiştir (Ertan ve Yavuz, 2006).

Uçucu kül: Uçucu kül, pulverize kömürün tek başına termik santral kazanlarında yakılması sırasında baca gazlarındaki taneciklerin elektro filtrelerde tutulmasıyla oluşur. Termik santrallerin çevreyi kirleten atık bir malzemesidir ve kompozit fren balatası üretiminde diğer dolgu malzemeleriyle benzer özellikler gösterdiği için maliyet azaltıcı bir unsur olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir. (Topuz ve diğerleri, 2013)

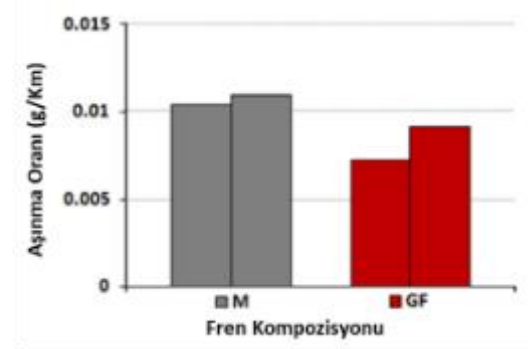
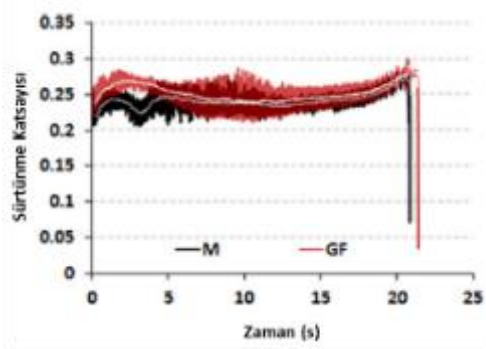
3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Doktora tez konusuna söz konusu olan içeriğin belirlenmesinde öncelikle benzer kapsamda yapılan çalışmalar hakkında literatür taraması gerçekleştirilmiş, bunların içerdiği kompozisyonlar ve sonuçları aşağıda gibi özetlenmiştir.

Baklouti, Cristol, Desplanques ve Elleuch (2015) çalışmalarında cam elyaf kullanımının etkisini araştırmıştır. Tablo 3.1’de gösterildiği üzere; iki farklı karışımda fenolik reçine, barite, kaya yünü, grafit, kauçuk ve alümina kullanmış, ikinci karışımda cam elyaf ekleyerek etkisi gözlemlenmiştir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, cam elyaf kullanımıyla ısıl özelliklerin iyileştiği, sürtünme katsayısının 0,24’ten 0,25’e çıkarak az bir oranda iyileşme gösterdiği, aşınma oranının ise 0,011g/km’den 0,007 g/km’ye düşerek yine iyileşme gösterdiğini tespit etmişlerdir (Baklouti ve diğerleri, 2015).

Tablo 3.1 Literatür Balata Kompozisyonu (Baklouti ve diğerleri, 2015)

Malzeme Grubu	Malzeme	M (%)	GF (%)
Bağlayıcılar	Fenolik reçine	14	14
Yapısal Malzemeler	Kaya Yünü	22	22
	Cam Elyaf	-	4
Sürtünme Düzenleyici	Grafit	10	10
	Kauçuk	7	7
Abrasiv	Alumina	2	2
Dolgu Malzemeleri	Barite	45	41



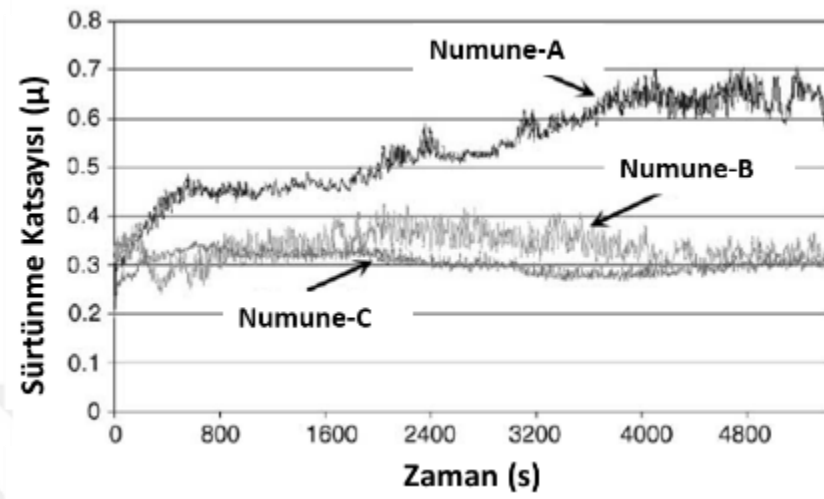
Şekil 3.1 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonucu (Baklouti ve diğerleri, 2015)

Hee ve Filip (2005) çalışmalarında Tablo 3.2’de gösterildiği üzere; fenolik reçine, SBR (Styrene butadiene rubber), barit, twaron, çelik yünü, uçucu kül, fiberfraks elyaf, demir tozu, grafit, potasyum titanat kullanmıştır. Orijinal Ford Crown Victoria balatası referans alınarak, 180⁰C 15 dakika sıcak kalıplama ile numuneler basmış ve 4 saat kürleme uygulamıştır. Sonuçta Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, aşınma performansının en iyi olduğu karışımın içeriğinde potasyum titanate olan C numunesi olduğunu tespit etmişlerdir. Yine seramik eklenen B numunesi karışımının sabit bir sürtünme katsayısı gösterdiği görülmüştür (Hee ve Filip, 2005).

Tablo 3.2 Literatür Balata Kompozisyonu (Hee ve Filip, 2005)

Malzeme Grubu	Malzeme	Numune-B (%)	Numune-C (%)
Bağlayıcılar	Fenolik reçine SBR	25	20
Yapısal Malzemeler	Twaron Çelik yünü Pulvarize mineral elyaf Fiberfraks elyaf (seramik elyaf) Bakır Demir tozu Uçucu kül	47	47
Sürtünme Düzenleyici	Grafit Antimon trisülfür Kok Potasyum titanat Magnezyum oksit	19	24

Dolgu Malzemeleri	Barit	9	9
----------------------	-------	---	---



Şekil 3.2 Literatür Sürtünme Katsayısı Sonuçları (Hee ve Filip, 2005)

Ertan ve Yavuz (2010) çalışmalarında kalıplama süresi, kalıplama sıcaklığı, basıncı ve kürleme süresi, sıcaklığı gibi üretim parametrelerine odaklanmıştır. Tablo 3.3'deki gibi standart bir karışım kullanmış ve içeriğinde bakır, kaya yünü, aramid pulp, fenolik reçine, grafit, ZnS, ZrSiO₄, Al₂O₃, cashew, BaSO₄, CaCO₃ kullanmıştır. Optimum üretim parametrelerini 5 dakika kalıplama zamanı, 125°C kalıplama sıcaklığı, 7.5 MPa kalıplama basıncı, 10 saat kürleme süresi ve 150°C kürleme sıcaklığı olarak tespit etmişlerdir. Yine kürleme süresinin tribolojik özelliklerde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna ulaşmıştır (Ertan, Yavuz, 2010).

Tablo 3.3 Literatür Balata Kompozisyonu (Ertan, Yavuz, 2010)

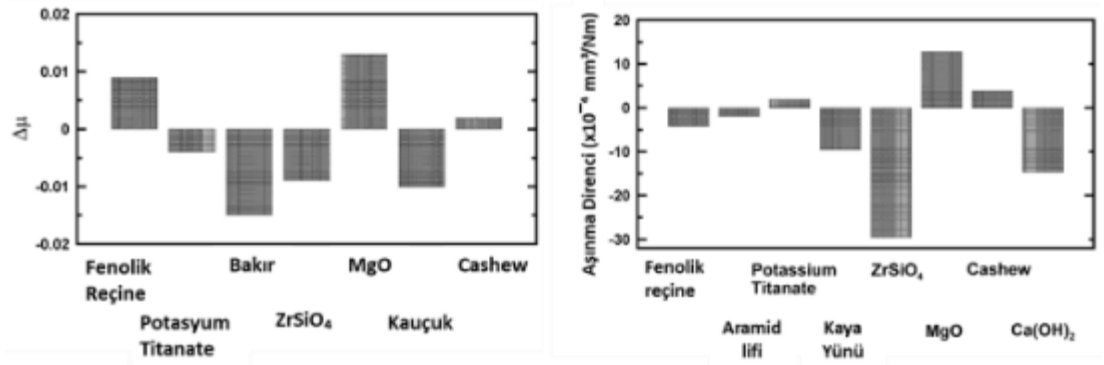
Malzeme Grubu	Malzeme	Numune (%)
Bağlayıcılar	Fenolik reçine	10
Yapısal Malzemeler	Bakır	30
	Kaya yünü	
	Aramid pulp	

Sürtünme Düzenleyici	Grafit ZnS	20
Abrasivler	ZrSiO ₄ Al ₂ O ₃ Cashew	10
Dolgu Malzemeleri	BaSO ₄ CaCO ₃ Wollastonite	30

Cho, Kim ve Jang (2005) araştırmalarında Tablo 3.4'te belirtilen 16 ayrı malzemenin sürtünme katsayısı, aşınma direnci ve gürültü özelliklerine olan etkisini araştırmış ve sonuçlarını Şekil 3.3'deki gibi çıkarmışlardır. Sürtünme katsayısı fenolik reçine, MgO, cashew katıldığında artmakta, potasyum titanat, ZrSiO₄, bakır ve kauçuk katıldığında azalmaktadır. Aşınma direnci fenolik reçine, ZrSiO₄, aramid pulp, kaya yünü, Ca(OH)₂ katıldığında iyileşmekte, potasyum titanat, cashew eklendiğinde ise negatif bir etki oluşturmaktadır. Gürültü, ses özellikleri ise cashew ile birlikte iyileşmekte ancak fenolik reçine, kaya yünü, ZrSiO₄, MgO, Ca(OH)₂ katıldığında ise kötüleşmektedir (Cho ve diğerleri, 2005).

Tablo 3.4 Literatür Balata Kompozisyonu (Cho ve diğerleri, 2005)

Malzeme	(%)	Malzeme	(%)
Aramid lifi	6	MgO	2
Kaya Yünü	3	Cashew	10
Potasyum titanat	9	Kauçuk	3
Fenolik reçine	20	Ca(OH) ₂	3
Grafit	5	Fe ₃ O ₄	2
MoS ₂	3	Bakır	3
Sb ₂ S ₃	2	Vermikülit	3
ZrSiO ₄	3	BaSO ₄	20

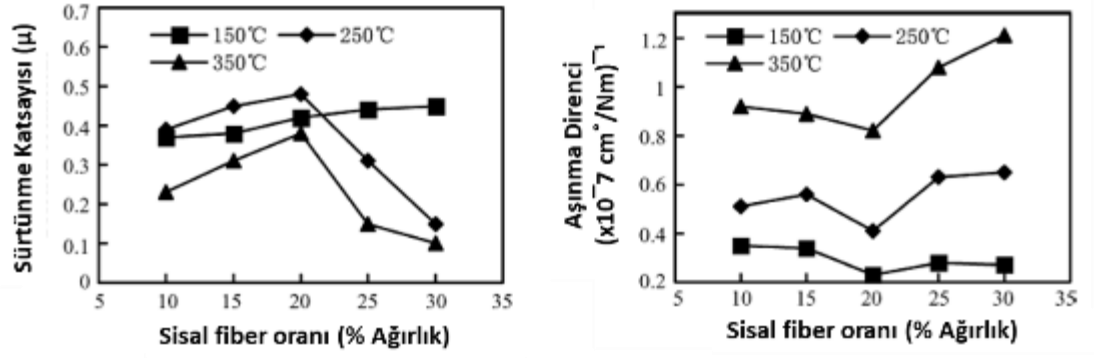


Şekil 3.3 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Cho ve diğerleri, 2005)

Xin, Xu ve Qing (2007) sisal fiber malzemesine odaklanmıştır. Tablo 3.5’da belirtilen fenolik reçine, sisal fiber, bakır, barite, ZnO, Sb₂S₃ malzemelerinin kullanıldığı bir karışımda, Şekil 3.4’te gösterildiği üzere reçine/sisal fiber oranının 3:4 oranında kullanıldığı karışımın sürtünme katsayısı ve aşınma direnci yönünden optimum nokta olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca ticari balatalarda kullanılan cam elyaf, çelik yünü ile sisali karşılaştırmış ve sisal kullanılan karışımın stabil bir sürtünme katsayısı yönünden en iyi performansı gösterdiğini tespit etmiştir. Tüm bu göstergelerden sonra sisalin fren balatalarında kullanımı için ideal bir elyaf malzeme olduğu sonucuna varmıştır (Xin ve diğerleri, 2007).

Tablo 3.5 Literatür Balata Kompozisyonu (Xin ve diğerleri, 2007)

Sembol	Reçine	Fiber	Bakır	Barit	Felspar	ZnO	Sürtünme düzenleyici	Sb ₂ S ₃	Clay
S1	15	10	10	15	10	3	5	2	
S2	15	15	10	15	10	3	5	2	
S3	15	20	10	15	10	3	5	2	
S4	15	25	10	15	10	3	5	2	
S5	15	30	10	15	10	3	5	2	



Şekil 3.4 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Xin ve diğerleri, 2007)

Martinez ve Echeberria (2016) farklı metal tozlarının (Cu, Sn, Fe, Zn) sürtünme katsayısına olan etkilerini araştırmış ve Sn kullanılan karışımda sürtünme katsayısındaki düşüşün en yüksek olduğunu belirlemiştir. Araştırmasında kullandığı karışım malzemeleri ve oranları Tablo-3.6'da gösterilmiştir (Martinez ve Echeberria, 2016).

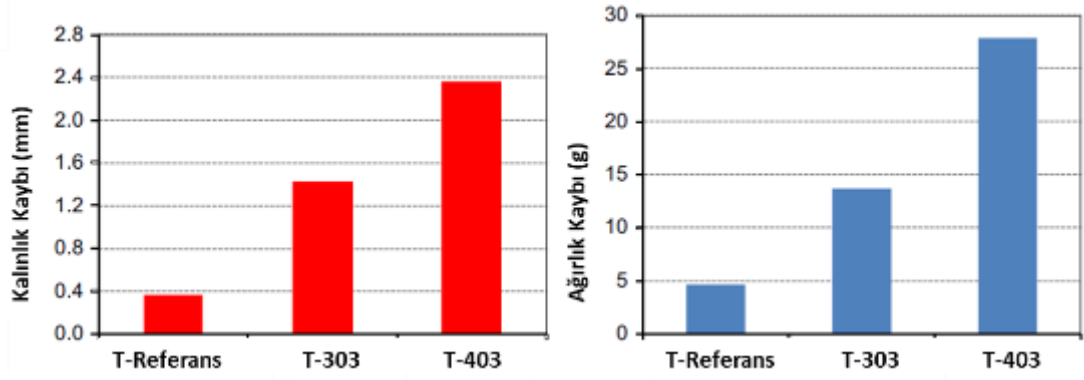
Tablo 3.6 Literatür Balata Kompozisyonu (Martinez ve Echeberria, 2016)

Malzeme	F1	F2	F3	F4	F5
Bağlayıcı (Fenolik reçine)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Sürtünme Düzenleyici	28	28	28	28	28
(Alumina, Mg, grafit, kok, demir oksit)	26	26	26	26	26
Yapısal Malzeme (Çelik yünü, Aramid fiber)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
Dolgu Malzemesi (NBR tozu, barit)	6	6	6	6	6
Sb ₂ S ₃	10				10
Bakır		10			
Sünger Demir			10		
Sn				10	6
Zn (kaba)					4
Zn (ince)					
Karbon fiber					

Lee ve Filip (2013) araştırmasında balatalarda Amerika’da bakır oranının 01/2021 itibariyle %5 ve 01/2023 itibariyle %0,5 ile sınırlandırıldığını belirtmiştir. Buna istinaden çevresel zararlı etkilerinden dolayı bakır (Cu) ve antimon (Sb) kullanılmadan oluşturulan karışımın sürtünme katsayısı ve aşınma direncine olan etkilerini araştırmıştır. Tablo 3.7’de gösterildiği üzere bakır içeren referans balataya alternatif olarak bakır ve antimon trisülfür içermeyen örnekler ile karşılaştırma yapmıştır. Sonuçta Cu ve Sb kullanılan mevcut ticari balatada, Cu ve Sb kullanılmayan numunelere göre sürtünme katsayısı ve aşınma direnci düşük çıkmıştır. Aşınma dirençlerini kalınlık ve ağırlık kayıplarını karşılaştırarak Şekil 3.5’teki gibi sonuçlara yansıtılmışlardır (Lee ve Filip, 2013).

Tablo 3.7 Literatür Balata Kompozisyonu (Lee ve Filip, 2013)

Malzeme	Ağırlık Oranı (%)		
	T-referans	T30-3	T40-3
Bakır	8	0	0
Antimon Trisülfür (Sb_2S_3)	3.6	0	0
Fenolik Reçine	9.5	6.6	5.7
Geopolimer	0	2.9	3.8
Kevlar elyaf	3.4	1.7	1.7
Kenevir	0	1.7	1.7
Yağlayıcı	75.5	87.1	87.1
Abrasiv 1	0	3.3	3.3
Organik 1	5.4	2.7	2.7
Organik 2	2.6	1.3	1.3
Seramik 1	19.5	23.5	23.5
Abrasiv 2	7.8	7.8	7.8
Seramik 2	1	1	1
Seramik 3	5.2	8.2	8.2
Seramik 4	0	3.6	3.6
Dolgu	25.3	27	27



Şekil 3.5 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Lee ve Filip, 2013)

Tiwari, Jaggi, Kachhap, Satapathy, Maiti ve Tomar (2014) çalışmalarında dolgu malzemesi olarak kullanılan cenosphere ve baryum sülfatın etkilerini araştırmıştır. Örnek karışımlarında bu iki maddenin toplam oranını % 55-60 mertebelerinde tutmuş, kalanında ise fenolik reçine, vermikülit, grafit, cam elyaf ve kevlar kullanmıştır. Baryum sülfat kullanılan karışımlarda sürtünme katsayısının yüksek ($\mu \sim 0.38$) olduğunu tespit etmiştir. Cenosphere kullanımında ise aşınma direncinin iyileştiği görülmüş, yine cam elyaf ile hafif bir iyileşme gözlemlenmiştir. (Tiwari ve diğerleri, 2014)

Aleksendric (2010) çalışmasında Tablo 3.8’de gösterilen 18 farklı malzemeyi farklı üretim şartlarında denemiştir. Sonuçta balata kompozisyonundaki fenolik reçine, özellikle aramid pulp olmak üzere diğer fiber malzemelerin oranı düştükçe aşınma oranının arttığını tespit etmiştir. Yine barite oranı arttıkça da aşınma oranının arttığını gözlemlemiştir. Çalışmasında kalıplama ve kürleme süresi düştükçe de aşınma oranı artmıştır (Aleksendric, 2010).

Tablo 3.8 Literatür Balata Kompozisyonu (Aleksendric, 2010)

Malzeme	F1-F7	Ağırlık Oranı (%)		
		FT1	FT2	FT3
Fenolik Reçine	17-25	25	17	20
Demir Oksit	3-7	5	3	5
Barit	26-15	15	26	25
Kalsiyum karbonat	1-3	3	1	2

Pirinç	1-3	3	1	2
Aramid	2-6	6	2	1
Mineral elyaf	10-16	10	9	14
Vermikülit	4-8	8	4	6
Çelik yünü	4-1	1	4	2
Cam elyaf	2-4	4	2	2
Pirinç tozu	1-2	2	1	2
Bakır tozu	1-3	3	1	2
Grafit	8-3	3	7	4
Sürtünme tozu	5-2	2	5	5
Molibdenyum disülfid	1-3	3	1	1
Aluminyum oksit	2-3	3	2	2
Silika	1-2	2	1	1
Magnezyum oksit	8-2	2	8	4

El-Tayeb ve Liew (2009) araştırmasında çelik yünü, fenolik reçine, cashew, grafit, zirkon, aramid, CaCO_3 , pirinç ve barit kullanmıştır. %15 çelik yünü, %20 fenolik reçine kullandığı karışımda en iyi aşınma performansına ulaşmış, buna karşılık % 20 çelik yünü, %15 fenolik reçine kullandığı karışımda ise en yüksek sürtünme katsayısı performansına ulaşmıştır (El-Tayeb ve Liew, 2009).

Bijwe, Kumar, Gurunath, Desplanques, Degallaix (2008) çalışmalarında pirinç katılmasıyla oluşan tribolojik etkileri incelemiş ve pirinç oranının artırılmasıyla (% 0-4-8-12) sürtünme katsayısının arttığını tespit etmiştir. Yine kullanılan kompozisyonda fenolik reçine, alumina, grafit, vermikülit, cashew, aramid, cam elyaf, barite kullanmıştır (Bijwe ve diğerleri, 2008).

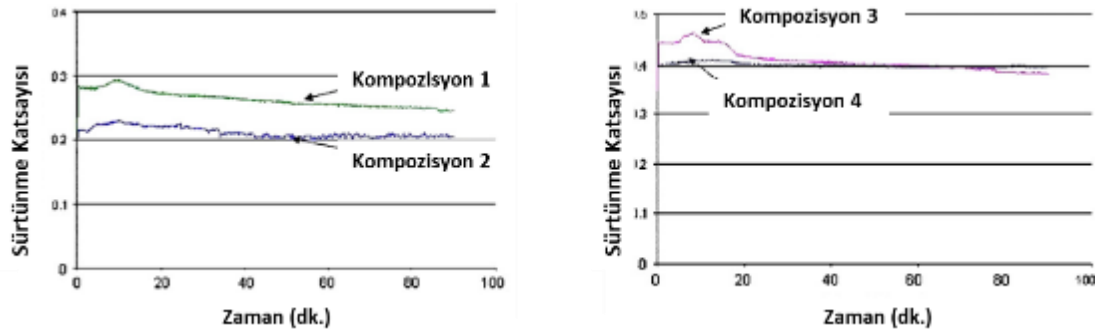
Aranganathan ve Bijwe (2015) bakır kullanımına alternatif olarak karışım içerisindeki grafit oranlarını değiştirerek (%5 – 10 – 15) etkilerini araştırmıştır. %10 oranında kullanılan grafit karışımı en yüksek aşınma direnci ve en yüksek sürtünme katsayısı değerini vererek en iyi performansı göstermiştir. %5 grafit içerikli karışım ise en düşük değerleri vermiş, sonuçlar yetersiz bulunmuştur (Aranganathan ve Bijwe, 2015).

Mohanty ve Chugh (2007) fren balataalarında uçucu kül kullanımının etkilerini araştırmıştır. Uçucu kül ile birlikte farklı oranlarda Tablo 3.9’da belirtildiği üzere fenolik reçine, cam elyaf, aramid, grafit, bakır kullanmıştır (Mohanty ve Chugh, 2007).

Tablo 3.9 Literatür Balata Kompozisyonu (Mohanty ve Chugh, 2007)

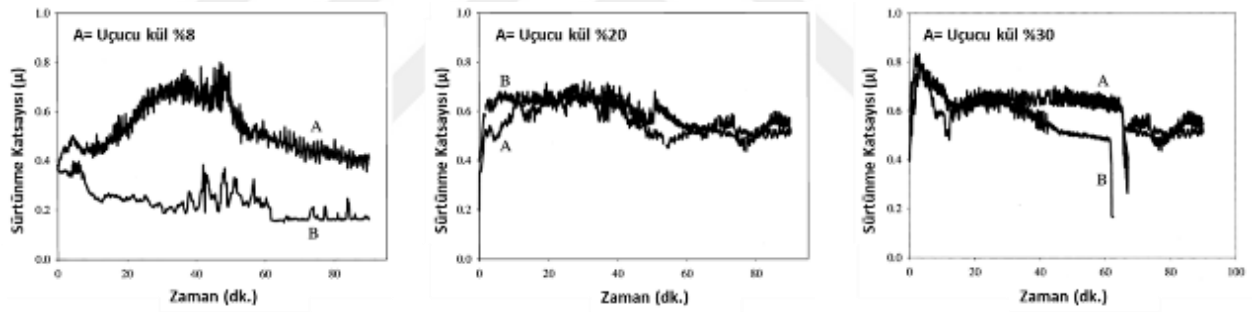
Malzeme	Ağırlık %
1. no.lu karışım	
Uçucu Kül	55-60
Fenolik reçine	20
Cam yünü	15-25
Aluminyum fiber	0-10
2. no.lu karışım	
Uçucu Kül	52-60
Fenolik reçine	20
Aramid pulp	3-8
Potasyum titanat	4-10
Grafit	0-10
3. no.lu karışım	
Uçucu Kül	50-60
Fenolik reçine	20
Aramid pulp	3-8
Potasyum titanat	4-10
Grafit	5-10
Bakır fiber / toz	5-10

Tablo 3.9’daki 1 no.lu karışım düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma oranı nedeniyle geliştirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.6’da 2 numaralı karışımdan elde edilen dört farklı kompozisyonun sonuçları görülmektedir. Cam yünü ve alüminyum fiber kullanılan karışımda sürtünme katsayısı ve aşınma direnci sonuçları istenildiği ölçüde çıkmamıştır. Aramid pulp ve potasyum titanatın uçucu kül partikülleriyle karışımında yapısal güçlendirme sağladığı tespit edilmiştir. Grafitin eklenmesi yine sürtünme katsayısının stabil hale gelmesine etki etmiştir (Mohanty ve Chugh, 2007).



Şekil 3.6 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Mohanty ve Chugh, 2007)

Malhotra, Valimbe ve Wright (2002) uçucu külün etkisine yoğunlaşmış ve farklı oranlarda fenolik reçine, slag fiber ve atık malzemeler ile balata kompozisyonlarını denemiştir. Sonuçta Şekil 3.7’de gösterilen sürtünme katsayısı grafiklerini çıkarmış ve uçucu külün %20’yi geçmeyecek şekilde otomotiv fren balatalarında sürtünme katsayısını stabilize edilmesi amacıyla kullanılabileceği sonucuna ulaşmıştır (Malhotra ve diğerleri, 2002).



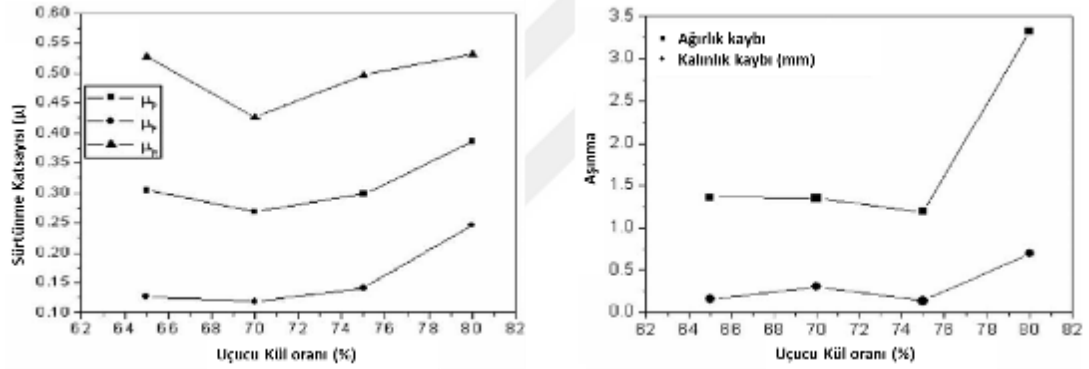
Şekil 3.7 Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Malhotra ve diğerleri, 2002)

Dadkar, Tomar ve Satapathy (2009) aramid fiber kullandığı karışımlarında farklı oranlarda uçucu kül kullanarak etkisini araştırmışlardır. Tablo 3.10’da verilen karışımda %95 uçucu kül-reçine karışımı için %5 oranında aramid fiber kullanmıştır. Numuneleri 155°C sıcaklık ve 15 MPa basınç ile 15 dakika kalıplama süresinde üretmiş, 165°C ve 5 saat kütleme uygulamışlardır (Dadkar ve diğerleri, 2009).

Tablo 3.10 Literatür Balata Kompozisyonu (Dadkar ve diğerleri, 2009)

Karışım No	Uçucu Kül %	Reçine %	Aramid fiber %
FP-1	80	20	%5
FP-2	75	25	%5
FP-3	70	30	%5
FP-4	65	35	%5

Sürtünme katsayısı ve aşınma sonuçlarını Şekil 3.8'deki göstermiş ve uçucu kül katkısının en fazla olduğu karışımdaki sürtünme katsayısını en yüksek değerde tespit etmişlerdir. Aşınma direnci ise uçucu kül katkısının en yüksek olduğu karışımda en düşük çıkmıştır (Dadkar ve diğerleri, 2009).

**Şekil 3.8** Literatür Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Sonuçları (Dadkar ve diğerleri, 2009)

4 BALATALARDAN İSTENEN ÖZELLİKLER ve TESTLER

4.1 Fren Balatalarından İstenen Özellikler

Fren balatalarından literatürde aşağıdaki özellikleri sağlaması beklenir.

- Her çalışma şartlarında sabit sürtünme performansı,
- Sürtünme katsayısının sıcaklık, fren basıncı ve hızdan bağımsız olması veya sürtünme davranışındaki değişimin az olması,
- Yüksek sıcaklık direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- İyi korozyon direnci,
- Yüksek mekanik mukavemet,
- Düşük gürültü seviyesi,
- Hava koşullarından etkilenmeme,
- Balata malzemesinin sağlığa zararsız olması.
- Yüksek aşınma mukavemeti ve karşı malzemede düşük aşınma. (MEB Motorlu Araçlar Teknolojisi, 2013)

4.2 Balata Standartları

Fren balatalarından istenen mekanik özellikler, yoğunluk, sürtünme ve aşınma özellikleri ve hangi aralıklarda olması gerektiği Tablo 4.1'deki standartlarda tanımlanmıştır.

Tablo 4.1 Balata Standartları

Standart No	Standart Adı
TS 555	Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin
TS 7963	Karayolu Taşıtları-Sürtünmeli Frenler-Balatalar-Deney Metotları-Sıkıştırılabilirlik
TS 7964	Karayolu Taşıtları-Sürtünmeli Frenler-Balatalar-Deney Metotları-Kesme Deneyi

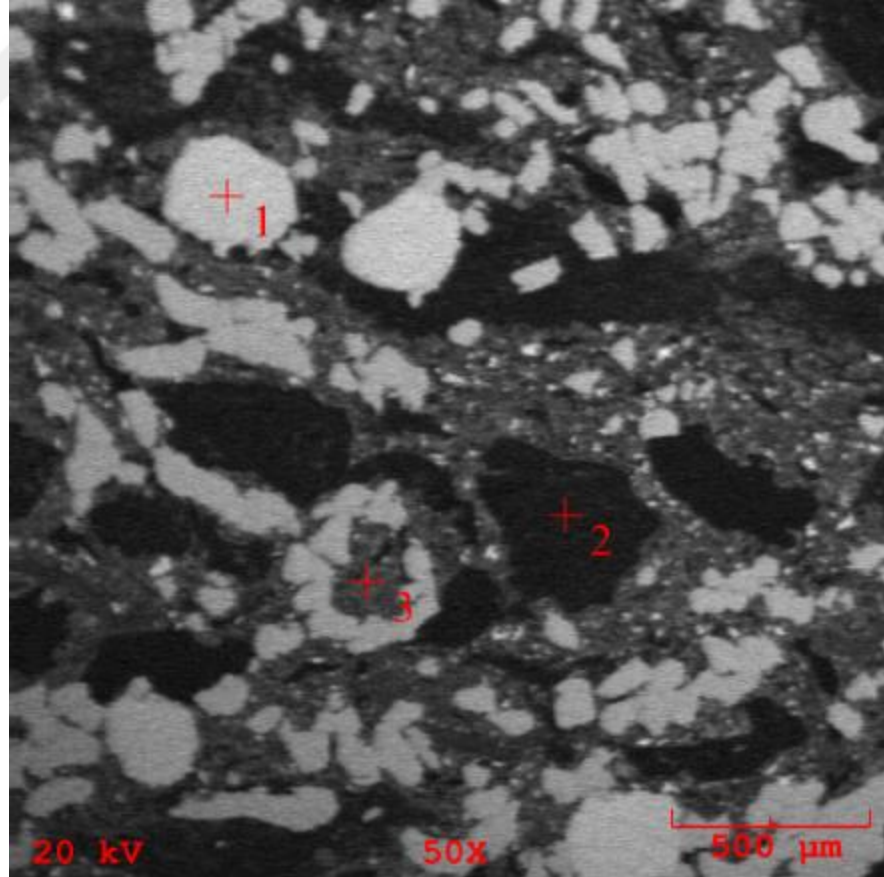
TS 7965	Karayolu Taşıtları-Sürtünmeli Frenler-Balatalar-Deney Metotları-Korozyon Sebebiyle Demir Yüzeylere Tutunma
TS 9073	Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-İç Kesme Mukavemeti Deneyi
TS 9074	Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Disk Balatalarını Biçim ve Boyutları Üzerindeki Isı Etkisinin Tayini 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 9077	Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-Isıl İletkenliğinin Tayini-Korumalı Sıcak Plaka Cihazları ile
JISD 4411	Otomobiller için Fren Balataları (Japon Standartları)

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında ağır yük kamyonlarında kullanılabilecek kompozit fren balatalarına alternatif kompozisyonunda balata numune üretimleri yapılarak ilgili aşınma ve sürtünme testleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 Ticari Balata SEM-EDS Analizi

Söz konusu karışımlar tespit edilirken literatür çalışması yanında seride kullanılan ağır yük kamyon balatası da incelenmiş ve İstanbul Arel Üniversitesi Potkam Araştırma Merkezi'nde SEM (Scanning Electron Microscope) analizine tabi tutulmuştur. SEM odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir taramalı elektron mikroskobu tipidir. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler içeren farklı sinyaller üretir. (Taramalı Elektron Mikroskobu, Anonim, b.t)



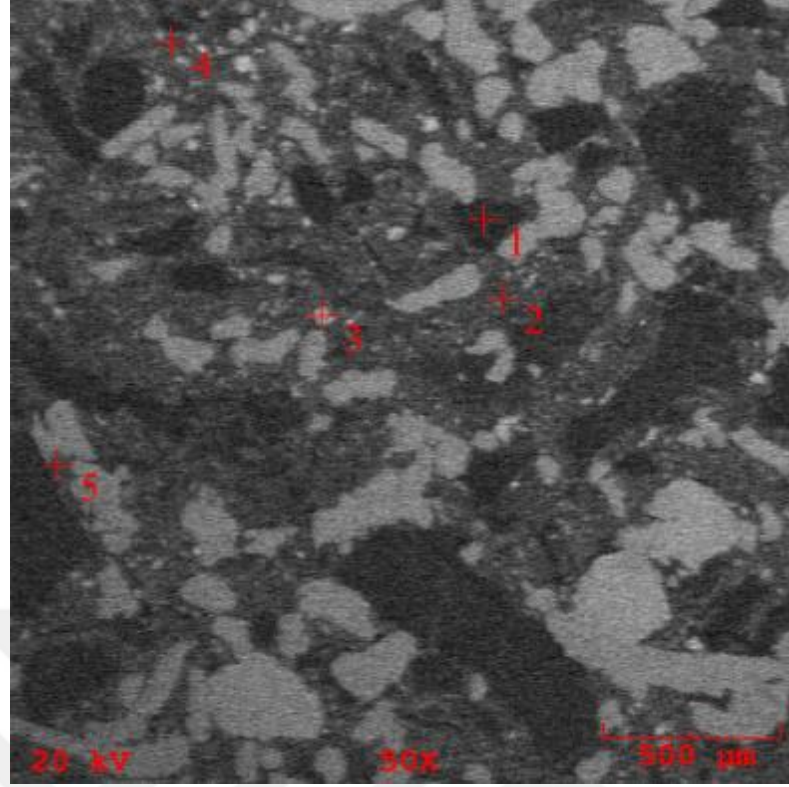
Şekil 5.1 Ağır Yük Kamyon Balatası SEM Analizi-1

Şekil 5.1’de ticari balatanın referans noktasının genel analizi ve 1,2,3 no.lu noktaların bölgesel analizi yapılmış ve içerisindeki elementler ve yüzde oranları Tablo 5.1’teki gibi tespit edilmiştir.

Tablo 5.1 Balata Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası SEM Analizi-1

Nokta	Element	Oran (c/s)	Oran (2-sig)	Oran (wt. %)	Toplam (wt%)
Şekil 4.1 Genel Analiz	C	2.81	0.612	35.338	% 100
	Mg	2.03	0.520	3.628	
	Al	3.80	0.711	5.781	
	Si	2.43	0.569	3.495	
	S	2.03	0.521	2.515	
	K	0.31	0.204	0.410	
	Ca	2.20	0.541	2.995	
	Fe	14.80	1.405	45.839	
Nokta-1	Al	0.61	0.285	1.050	% 100
	S	0.12	0.127	0.127	
	Cu	28.46	1.948	98.823	
Nokta-2	C	3.03	0.635	93.033	% 100
	Na	0.23	0.173	1.984	
	S	0.87	0.342	4.983	
Nokta-3	C	0.11	0.122	36.432	% 100
	Mg	0.65	0.294	5.451	
	Al	4.08	0.738	36.618	
	Si	0.82	0.331	12.071	
	S	0.71	0.307	9.428	

Şekil 5.2’de balatanın diğer referans noktasının genel analizi ve 1,2,3,4,5 no.lu noktaların bölgesel analizi yapılmış ve içerisindeki elementler ve oranları Tablo 5.2’teki gibi tespit edilmiştir.



Şekil 5.2 Ağır Yük Kamyonu Balatası SEM Analizi-2

Tablo 5.2 Balata Ağır Yük Kamyonu Fren Balatası SEM Analizi-2

Nokta	Element	Oran (c/s)	Oran (2-sig)	Oran (wt. %)	Toplam (wt%)
Şekil 4.2 Genel Analiz	C	0.00	0.000	0.000	% 100
	Mg	0.20	0.163	3.777	
	Al	0.63	0.291	10.062	
	Si	0.40	0.231	6.043	
	S	0.63	0.291	8.001	
	Ca	0.67	0.299	8.906	
	Fe	2.19	0.541	63.210	
Nokta-1	C	0.32	0.207	100	% 100
Nokta-2	Mg	0.36	0.219	8.251	% 100
	Al	1.20	0.401	29.421	
	Si	0.95	0.355	32.209	
	K	0.19	0.158	6.337	
	Ca	0.65	0.294	23.782	
	Fe	0.00	0.000	0.000	

Nokta-3	S	2.80	0.611	18.342	% 100
	Fe	0.00	0.000	0.000	
	Sb	2.42	0.568	81.658	
Nokta-4	Mg	0.15	0.143	9.325	% 100
	Al	1.16	0.394	90.675	
Nokta-5	Mg	0.46	0.246	26.979	% 100
	Si	0.86	0.339	73.021	

Bölgesel ve noktasal analizler sonucunda ticari balatanın muhtemel kompozisyonu ve oranları Tablo 5.3'teki gibi tespit edilmiştir. Karışım oranları SEM analizinde tespit edilen element oranları referans alınarak tahmin edilmiştir.

Tablo 5.3 Ağır Yük Kamyonu Ticari Fren Balatası Muhtemel Kompozisyon

Malzeme Grubu	Element	Malzeme	Ticari Balata Tahmini Oran (%)
Bağlayıcılar	-	-	%25
Yapısal Malzemeler	Fe	Çelik yünü	%15
	Cu-(Zn)	Pirinç	%10
Sürtünme Düzenleyici	Sb-S	Sb ₂ S ₃	%11
	K	Potasyum Titanat	%2
Abrasiv	(Zr)-Si	ZrSiO ₄	%9
	Al	Al ₂ O ₃	%12
Dolgu Malzemeleri	Mg	MgO	%5
	Ca-C	CaCO ₃	%5

5.2 Numune Hazırlama

Literatür araştırması ve seride kullanılan ağır yük ticari balata incelemesine göre standart karışım, uçucu kül ve sisal fiber olmak üzere 3 grup kompozisyon Tablo 5.4'deki gibi belirlenmiştir.

Kullanılan hammaddeler görsel olarak Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Balata Kompozisyonunda Kullanılan Hammaddeler

Tablo 5.4 Balata Kompozisyonları

Malzeme Grubu	Malzeme	Standart Oran (%)	Uçucu Kül Oran (%)	Sisal Fiber Oran (%)
Bağlayıcılar	Fenolik reçine	%20	%20	%20
Yapısal Malzemeler	Çelik yünü	%15	-	%15
	Kaya Yünü	%18	%20	-
	Pirinç	%8	-	%8
	Sisal Fiber	-	-	%18
Sürtünme Düzenleyici	Grafit	%9	%10	%9
	MoS ₂	%5	%5	%5
	Cashew	%5	%5	%5

Abrasiv	ZrSiO ₄	%5	-	%5
Dolgu Malzemeleri	BaSO ₄ Uçucu Kül	%15 -	- %40	%15 -

Uçucu küllerde CaO oranının yüksek, tane büyüklüğünün ise küçük olması istenir. Tane büyüklüğünün fazla olması durumunda diğer balata bileşenleri ile homojen olarak karıştırılamamaktadır ve numune yüzeyinde yüksek oranda gözenek oluşmaktadır.

Referans olarak gösterilen diğer bir tez çalışmasında Yeniköy Termik Santrali'ne ait uçucu küllerin ortalama tane boyutu 100 µm'nin altında ve CaO içeriği %35,2 olarak bulunmuştur. Yine bu termik santralden temin edilen küllerin kullanıldığı numunelerde daha düşük aşınma değerleri sağlandığı tespit edilmiş ve otomotiv taşıtlarında kullanılabilirliği ortaya konmuştur. (Topuz ve diğerleri, 2013)

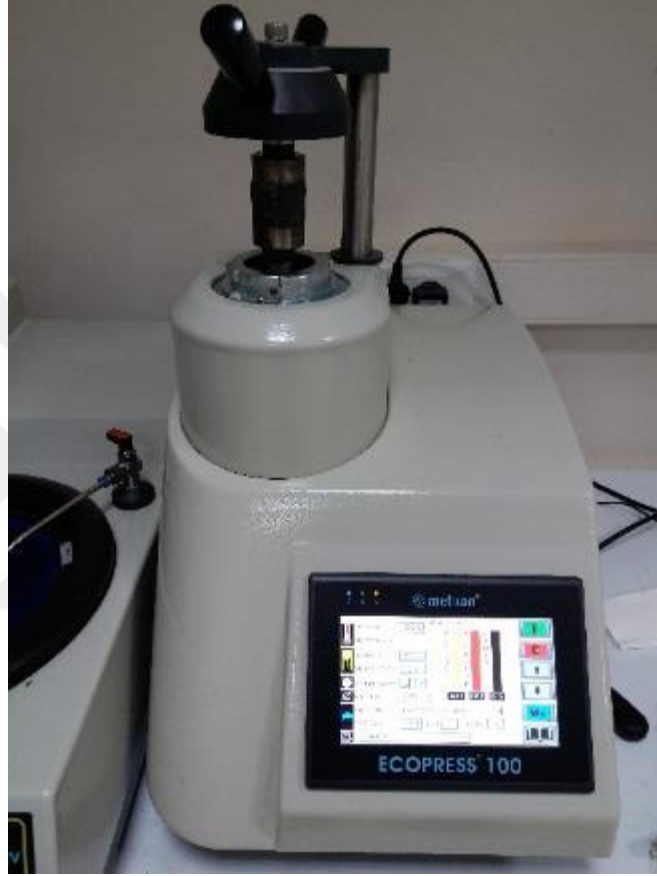
Bu açıdan bu tez çalışmasında bu bilgi doğrudan kullanılarak uçucu kül malzemesi yine bu termik santralden temin edilmiştir.

Kompozisyon oranları belirlendikten sonra kalıplama sıcaklığı, kalıplama basıncı ve kürleme bilgileri Tablo 5.5'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 5.5 Numunelerin Üretim Parametreleri

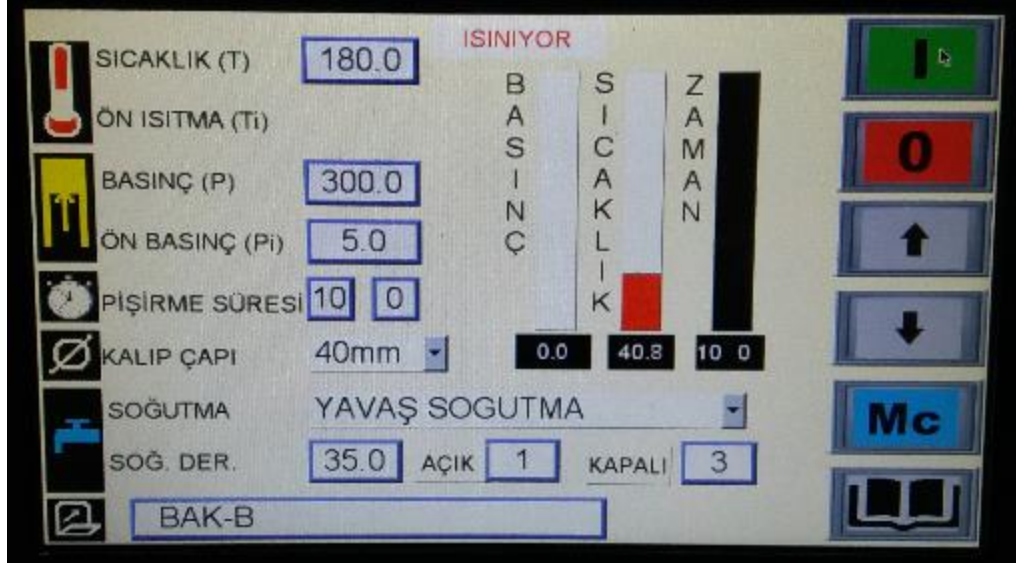
Number	Kalıplama Sıcaklığı	Kalıplama Basıncı	Kalıplama Süresi	Kürleme Sıcaklığı ve Süresi
1	180 ⁰ C	30 MPa	10 dk.	-
2	180 ⁰ C	25 MPa	10 dk.	-
3	180 ⁰ C	25 MPa	10 dk.	180 ⁰ C / 4 saat
4	125 ⁰ C	30 MPa	10 dk.	-
5	125 ⁰ C	30 MPa	10 dk.	180 ⁰ C / 4 saat

Sıcak kalıplama işlemi için Şekil 5.4’de gösterilen ve İstanbul Arel Üniversitesi malzeme laboratuvarında yer alan Metkon marka Ecopress-100 laboratuvar tipi pres cihazı kullanılmıştır. Cihaz herhangi bir hava bağlantısına ihtiyaç duymayan hidrolik basınç ile numune almaya imkân sağlar niteliktedir. Numune ölçüleri 40 mm çapında, 18-20 mm yüksekliğinde üretilebilmektedir. Kalıplama sıcaklığı 125°C – 180°C ve kalıplama basıncı 25-30 MPa değerlerinde baskılar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4 Metkon Ecopress-100 laboratuvar tipi pres cihazı

Kalıplama süresi olarak tüm numuneler için 10 dakika ve yavaş soğutma seçilmiştir. Şekil 5.5’de numune üretimi esnasında cihaza ait ekran görüntüsü görüntülenmektedir.



Şekil 5.5 Sıcak Kalıplama Parametreleri

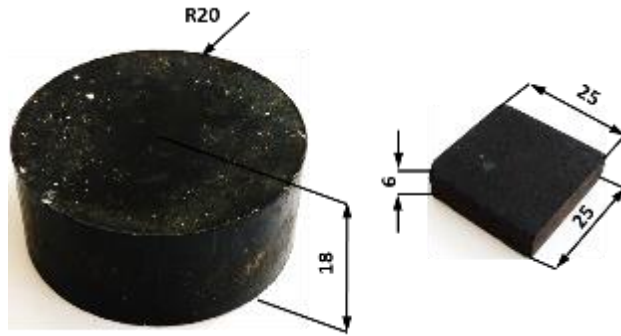
Balata üretiminde homojen karışım önemli bir rol oynamaktadır. Homojen karışımın sağlanması için karıştırma işlemi sırayla yapılmıştır. Öncelikle fiber malzemeler reçine, kaya yünü, çelik yünü kendi arasında karıştırılmıştır. Daha sonra fiber karışımına diğer toz malzemeler eklenerek homojen bir karıştırma işleminin gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Kürleme: Belirlenen numunelerde kürleme işlemi Şekil 5.6’da gösterilen Protherm marka cihazda yapılmıştır. Fırın düşük dış ısıdan korunmak ve yüksek iç ısı stabilizasyonu için çift kat kaplama kullanılarak üretilmiş ve ön taraftan yüklenebilmektedir. Kürleme işlemi 180°C sıcaklıkta 4 saat süre ile yapılmıştır. Cihazın 180°C’ye ulaşması için 30 dakika seçilmiştir.



Şekil 5.6 Protherm Kürleme Cihazı

Aşınma ve sürtünme testi için silindir halindeki numuneleri cihaza adapte edilebilmesi için torna ve freze tezgâhları yardımıyla 25mm x 25mm x 6mm ölçülerine getirilmiştir. ( ekil 5.7)



Şekil 5.7 Aşınma ve Sürtünme Testleri için Numune  l  leri

Bu iřlemlerden sonra numuneler testler için hazır hale getirilmiştir.

5.3 Testler

Numune  retimi tamamlandıktan ve parçalar aşınma-sürtünme testi için hazır hale getirildikten sonra ilgili testler yapılmıştır.

5.3.1 Yoğunluk ve Sertlik Ölçümü

Yoğunluk, yapısal bütünlüğün sağlanması açısından üretimde kontrol edilmesi gereken en önemli parametredir. Üretim sırasındaki presleme basıncı ve malzemeyi oluşturan bileşenlerin partikül özellikleri yoğunluğa doğrudan etki etmektedir. Yoğunluğun yüksek olması, yapısal bütünlüğü sağladığından balatanın fiziksel dayanımını artırmaktadır. (ASM, 2001)

Homojen karışımı sağlanan numunelerin ağırlığı Şekil 5.8’da görülen hassas terazi ile ölçülmüştür. Parça ölçülerinin kumpas yardımıyla ölçülmesi ile de numunelerin yoğunluğu Tablo 5.9’daki gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.8 Hassas Terazi

Malzemelerin sertlik deneyi temel olarak kendisinden daha sert bir malzemedan yapılmış olan bir batıcının malzeme yüzeyine batırılmasıyla yapılır. Batıcının bıraktığı iz derinliği esas alınarak sertlik değeri belirlenir. Sertlik değeri ile malzemelerin mukavemeti hakkında bilgi edinilebilir.

Sertlik testi TS 555’te tarif edildiği üzere Rockwell sertlik tayinine göre yapılmıştır. Rockwell skalasına göre numunenin Rockwell sertliği 40-90 arasında olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu açıdan Tablo 5.6’de gösterildiği üzere Rockwell skalasına göre P skalası seçilmiştir.

Tablo 5.6 Rockwell Skalası (TS 555, 1992)

Scale	Bilye Çapı (mm)	Yük (N)
R	12,7	600
L	6,35	600
M	6,35	1000
P	6,35	1500
K	3,175	1500

Sertlik ölçümü İstanbul Arel Üniversitesi malzeme laboratuvarında bulunan Şekil 5.9’da görülen sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 5.9 Sertlik Ölçüm Cihazı

Aşınma ve Sürtünme testleri öncesinde parçaların yoğunluk ve sertlik ölçümleri Tablo 5.7’deki gibi ölçülmüştür.

Tablo 5.7 Üretilen Numunelerin Yoğunluk ve Sertlik Değerleri

Numune No	Karışım	Kalıplama Sıcaklığı	Kalıplama Basıncı	Kalıp Süresi (dk)	Kürleme	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik (HRP)
1	Standart	180°C	30 MPa			2,25	85,9
2	Standart	180°C	25 MPa			2,27	87,5
3	Standart	180°C	25 MPa		X	2,21	80,9
4	Standart	125°C	30 MPa			2,23	74,6
5	Uçucu Kül	180°C	30 MPa			1,80	84,5
6	Uçucu Kül	180°C	25 MPa			1,80	82,5
7	Uçucu Kül	180°C	25 MPa	10	X	1,87	84,5
8	Uçucu Kül	125°C	30 MPa			1,91	87,9
9	Uçucu Kül	125°C	30 MPa		X	1,92	79,6
10	Sisal Fiber	180°C	30 MPa			2,11	75,3
11	Sisal Fiber	180°C	25 MPa			1,89	66,6
12	Sisal Fiber	180°C	25 MPa		X	1,99	72,9
13	Sisal Fiber	125°C	30 MPa			2,02	72,3
14	Sisal Fiber	125°C	30 MPa		X	2,03	74,9
15	Ticari	-	-			3,02	85,5

5.3.2 Aşınma ve Sürtünme Testleri

Numunelerin sürtünme performansı Şekil 5.10'de gösterilen ve Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji laboratuvarında bulunan, Çin makine üreticisi Jinlin Wanda Mechanical Co. Ltd tarafından üretilmiş JF151 sürtünme test cihazında test edilmiştir. Aşınma ve sürtünme testleri JISD 4411 standartına göre yapılmıştır. Cihaz 480 devir/dakika sabit hızda ve 0.98 MPa sabit yükte dönen disk ile çalışmaktadır. Disk dökme demirden yapılmış ve numune ölçüleri 25 mm x 25 mm x 6 mm dir. İki numune aynı anda test edilebilmektedir. 5000 devir sonunda aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C ve son olarak 350°C ye kadar ölçülebilmektedir. Bu çalışmada maximum ulaşılan sıcaklık olarak 250°C ve 300°C

seçilmiştir. Son ulaşılan sıcaklık derecesinden 50°C aşağıdan yani 250°C ve 200 °C den başlayarak 100°C'ye kadar recovery yapılmaktadır.



Şekil 5.10 JF151 Sürünme Test Cihazı

Sürünme katsayısı (μ) ve aşınma oranı (ΔW) bilgisayar yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Aşınma oranı (ΔW) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\Delta W = 1.06 \times A (d_1 - d_2) / N \times f_m$$

$$A = \text{Numune yüzey alanı (25x25=625 mm}^2\text{)}$$

$$d_1 - d_2 = \text{Test öncesi ve test sonrası numune kalınlıkları (mm)}$$

$$N = \text{Diskin dönme sayısı (N=5000)}$$

f_m =Ortalama sürtünme kuvveti (N)

Sürtünme katsayısı (μ) sürtünme kuvveti/normal kuvvet arasındaki orandır ve birimi yoktur.

TS 555'e göre normal ve sıcak sürtünme katsayıları 0,25-0,55 aralığını sağlamalıdır. Normal sürtünme katsayısı 100°C-150°C-200°C test sıcaklığındaki değerlerin ortalamasıdır. Sıcak sürtünme katsayısı 250°C-300°C test sıcaklığında ölçülen sürtünme katsayılarının ortalamasıdır. Normal-sıcak sürtünme katsayıları arasındaki farkın %15'i geçmemesi istenmektedir.

Aşınma değerleri ağırlık azalması ve kalınlıktaki değişim yönünden değerlendirilmiştir. Yüzde olarak aşınma oranı kayıpları ağırlık ve kalınlık açısından tespit edilerek sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. TS 555'e göre aşınma değerindeki değişimin %10'u geçmemesi istenmektedir.

5.3.2.1 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri

Standart karışım için sürtünme katsayısı ve ağırlıkça aşınma değerleri Tablo 5.8'dedir. Tablodaki μ sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Aşınma değeri gram cinsinden test sonrası numunenin ağırlık değerindeki değişimi göstermektedir.

Tablo 5.8 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri

Standart Karışım	180°C / 30MPa Kürlemesiz		180°C / 25MPa Kürlemesiz		180°C / 25MPa Kürlemeli		125°C / 30MPa Kürlemesiz	
Test Sıcaklığı	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)
100°C	0.344	0.170	0.366	0.170	0.296	0.220	0.353	0.170
150°C	0.329	0.160	0.328	0.100	0.260	0.260	0.325	0.110
200°C	0.271	0.090	0.268	0.110	0.247	0.370	0.253	0.100

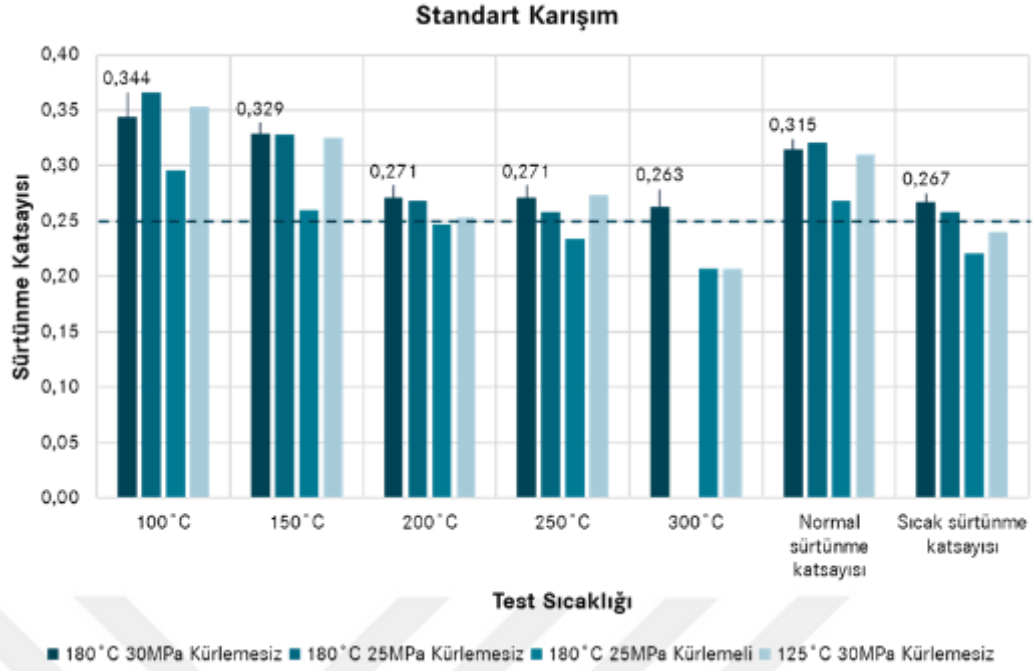
250°C	0.271	0.100	0.258	-	0.234	0.540	0.273	0.100
300°C	0.253	-	-	-	0.207	-	0.260	-
250°C- Recovery	0.270	0.230	-	-	0.201	0.890	0.273	0.200
200°C- Recovery	0.257	-	0.260	0.150	0.217	-	0.253	-
150°C- Recovery	0.301	-	0.283	-	0.221	-	0.303	-
100°C- Recovery	0.324	-	0.299	-	0.222	-	0.330	-

Bu değerler Tablo 5.9’da normal ve sürtünme katsayıları verilmiş ve aralarındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki farkın en düşük olduğu değer “180°C / 30MPa Kürlemesiz” numunesidir.

Tablo 5.9 Standart Karışım Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları

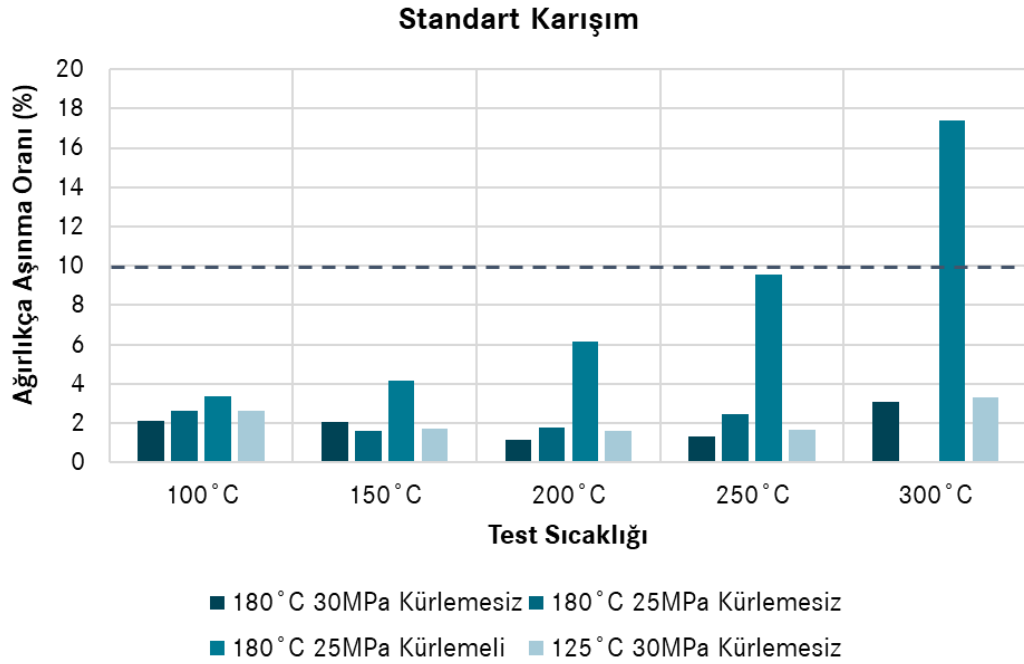
Standart Karışım	180°C / 30MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemeli	125°C / 30MPa Kürlemesiz
Normal sürtünme katsayısı	0.315	0.321	0.268	0.310
Sıcak sürtünme katsayısı	0.267	0.258	0.221	0.240
Normal-sıcak Fark (%)	16,7	19,5	17,6	22,7

Bu iki tablodaki standart karışım numunelerine ait sürtünme katsayısı değerleri Şekil 5.11’de karşılaştırma amacıyla grafik ile gösterilmiştir.

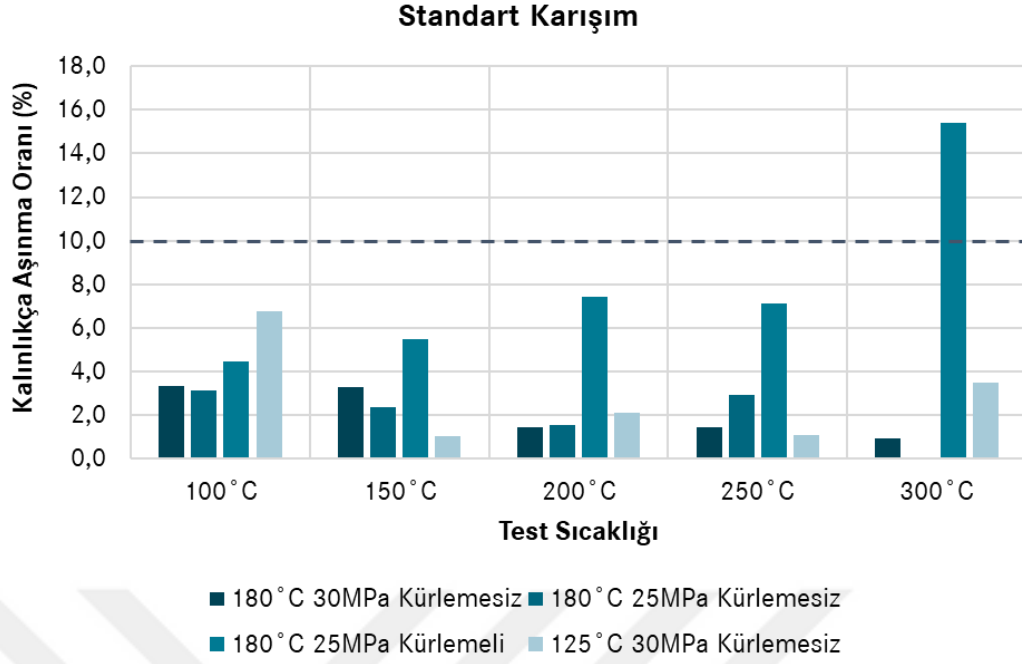


Şekil 5.11 Standart Karışım Sürtünme Katsayısı Değerleri

Standart karışımlarda tüm numunelerde normal sürtünme katsayısı TS 555'te istenilen 0,25-0,55 aralığını sağlamaktadır. Sıcak sürtünme katsayısı da göz önüne alındığında en uygun numune «180°C - 30 MPa kürlemesiz» olarak belirlenmiştir. Kürleme yapılan numunede sürtünme katsayısı değerleri en düşük çıkmıştır.



Şekil 5.12 Standart Karışım Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri



Şekil 5.13 Standart Karışım Kalınlıkça Aşınma Oranı Değerleri

Şekil 5.12’te ağırlık açısından aşınma oranları, Şekil 5.13’te ise kalınlık açısından aşınma oranı değerleri karşılaştırma açısından grafikler ile verilmiştir. Kalınlık değerlerinde en fazla aşınma ölçülen nokta referans alınmıştır. Tüm noktalara ait kalınlık değerlerindeki değişim tezin sonunda Ek A kısmında verilmiştir. Her iki grafikteki azalma nispeten benzer yöndedir. Ağırlıkça fazla kayıp olan numunede kalınlık değerleri de benzer oranda fazla tespit edilmiştir.

Aşınma oranı grafiklerine bakıldığında, kürlenmesiz standart karışım numuneleri kendi içlerinde benzer değerler göstermiştir. Ancak kürlenme yapılan numunede aşınma oranı çok daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla standart karışımda kürlenme aşınma performansına negatif bir etki gösterdiği görülmüştür.

TS 555’e göre aşınma değerindeki değişim %10’un altında olmalıdır. Kürlenmeli hariç tüm numuneler %10’un altında bir aşınma göstermiştir. Sürtünme katsayısı değerleri yüksek çıkan “180°C - 30 MPa kürlenmesiz” numunesi aşınma oranı açısından da standart karışımlar içerisinde en iyi performansı göstermiştir. Bu açıdan ticari balata ile karşılaştırmada standart karışım grubundan bu numune referans alınmıştır.

5.3.2.2 Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri

Uçucu kül karışımları için sürtünme katsayısı ve aşınma değerleri Tablo 5.10'dedir. Tablodaki μ sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Aşınma değeri gram cinsinden test sonrası numunenin ağırlık değerindeki değişimi göstermektedir.

Tablo 5.10 Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri

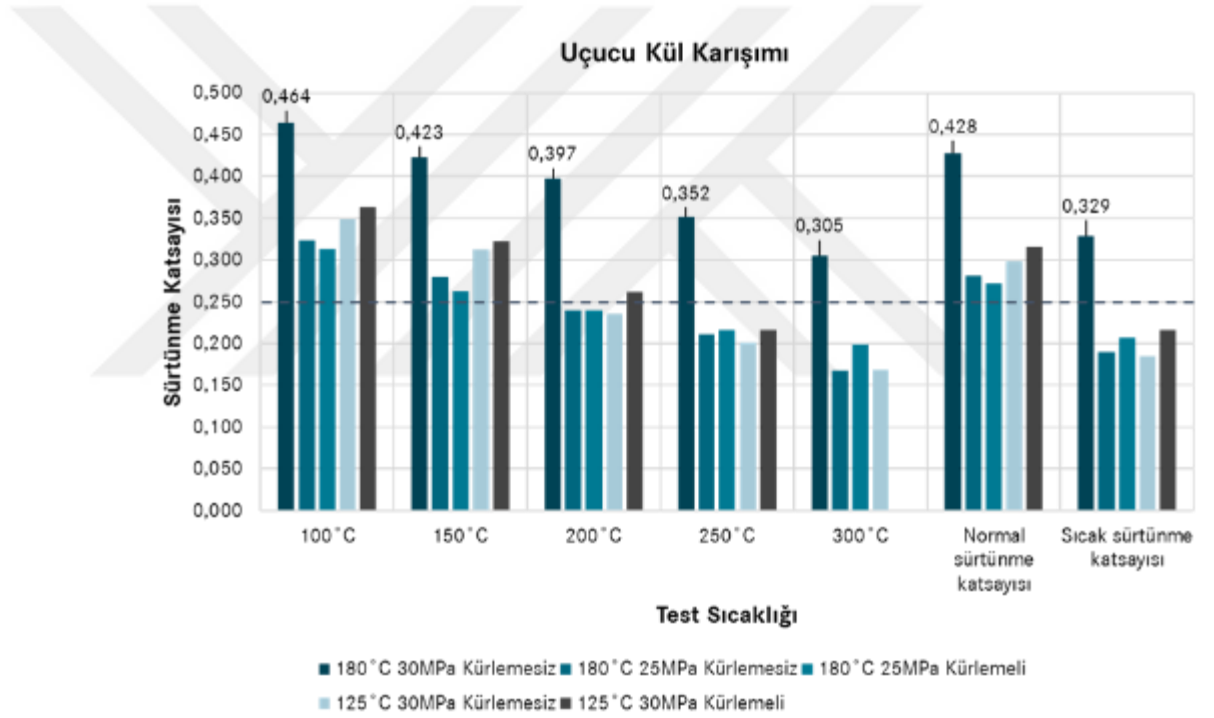
Uçucu Kül	180°C / 30MPa kürlemesiz		180°C / 25MPa kürlemesiz		180°C / 25MPa kürlemeli		125°C / 30MPa kürlemesiz		125°C / 30MPa kürlemeli	
	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)
100°C	0.464	0.150	0.323	0.060	0.313	0.110	0.349	0.070	0.363	0.120
150°C	0.423	0.210	0.280	0.080	0.263	0.150	0.312	0.070	0.322	0.180
200°C	0.397	0.280	0.240	0.060	0.240	0.170	0.235	0.090	0.262	0.290
250°C	0.352	0.350	0.211	0.090	0.216	0.180	0.201	0.070	0.216	-
300°C	0.305	-	0.168	0.100	0.199	-	0.169	0.060	-	-
250°C- Recovery	0.340	0.670	-	-	0.189	0.250	-	-	-	-
200°C- Recovery	0.375	-	-	-	0.217	-	-	-	0.185	0.370
150°C- Recovery	0.381	-	-	-	0.217	-	-	-	0.206	-
100°C- Recovery	0.400	-	-	-	0.252	-	-	-	0.253	-

Bu değerler Tablo 5.11'de normal ve sürtünme katsayıları olarak verilerek aralarındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki farkın yüzde olarak en düşük olduğu değer "180°C / 30MPa Kürlemesiz" numunesidir.

Tablo 5.11 Uçucu Kül Karışımları Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları

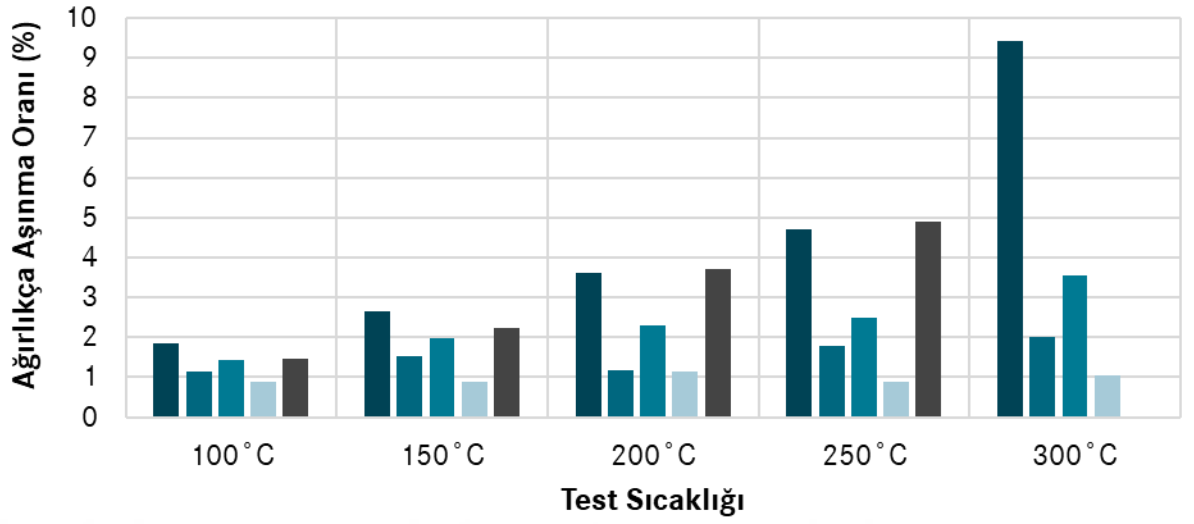
Uçucu Kül Karışımları	180°C / 30MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemeli	125°C / 30MPa Kürlemesiz	125°C / 30MPa Kürlemeli
Normal sürtünme katsayısı	0,428	0,281	0,272	0,299	0,316
Sıcak sürtünme katsayısı	0,329	0,190	0,208	0,185	0,216
Normal-sıcak Fark (%)	23,2	32,6	23,7	38,1	31,6

Her iki tablodaki uçucu kül karışım numunelerine ait sürtünme katsayısı değerleri Şekil 5.14’te karşılaştırma amacıyla grafik ile gösterilmiştir.

**Şekil 5.14** Uçucu Kül Karışımı Sürtünme Katsayısı Değerleri

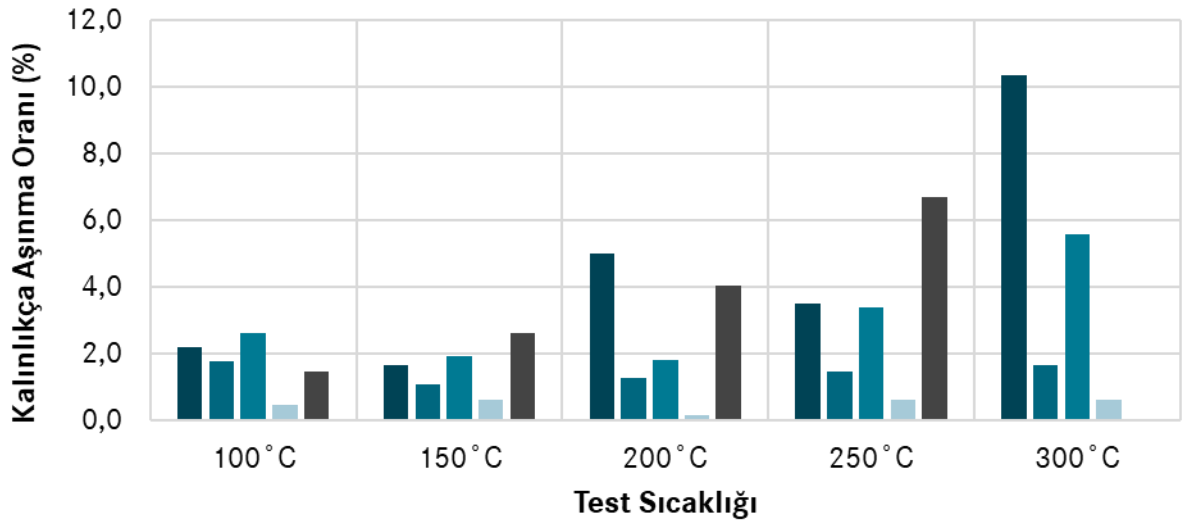
Grafiğe bakıldığında uçucu kül numuneleri için tüm sıcaklık ve basınç değerlerinde üretilen numunelere ait normal sürtünme katsayısı değerleri 0,25’in üzerinde çıkmıştır. Sıcak sürtünme katsayısı için ise sadece “180°C - 30MPa kürlemesiz” numunesi 0,25’in üzerinde 0,329 olarak tespit edilmiştir.

Uçucu Kül Karışımı



Şekil 5.15 Uçucu Kül Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranları

Uçucu Kül Karışımı



Şekil 5.16 Uçucu Kül Karışımı Kalınlıkça Aşınma Oranları

Şekil 5.15'te uçucu kül için ağırlık açısından aşınma oranları, Şekil 5.16'te ise kalınlık açısından aşınma oranı değerleri karşılaştırma açısından grafikler ile verilmiştir. Kalınlık değerlerinde en fazla aşınma ölçülen nokta referans alınmıştır. Her iki grafikteki azalma nispeten benzer yöndedir. Ağırlıkça fazla kayıp olan numunede kalınlık değerleri de benzer oranda fazla tespit edilmiştir.

Aşınma oranı grafiklerine bakıldığında aşınma oranı tüm numuneler için %10'un altındadır. Sürtünme katsayısı değerleri en yüksek çıkan "180°C - 30MPa kürlemesiz" numunesinde aşınma oranı %10'un altında gözlemlendiği için ticari balata ile karşılaştırmada uçucu kül grubundan bu numune referans alınmıştır.

"180°C - 30MPa kürlemesiz" haricindeki uçucu kül numunelerinde küreme yapılanlarda aşınma oranı nispeten daha fazladır. Bu açıdan kürlemenin uçucu küllerde aşınma açısından negatif bir etkisi olduğu söylenebilir.

5.3.2.3 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Değerleri

Sisal fiber karışımları için sürtünme katsayısı ve ağırlıkça aşınma değerleri Tablo 5.12'dedir. Tablodaki μ sürtünme katsayısını ifade etmektedir. Aşınma değeri gram cinsinden test sonrası numunenin ağırlık değerindeki değişimi göstermektedir.

Tablo 5.12 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Direnci Değerleri

Sisal	180°C 30MPa kürlemesiz		180°C 25MPa kürlemesiz		180°C 25MPa kürlemeli		125°C 30MPa kürlemesiz		125°C 30MPa kürlemeli	
Test Sıcaklığı	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)
100°C	0.228	0.100	0.223	0.120	0.301	0.120	0.251	0.050	0.360	0.100
150°C	0.217	0.100	0.222	0.110	0.243	0.100	0.227	0.070	0.304	0.120
200°C	0.219	0.110	0.233	0.110	0.222	0.120	0.202	0.110	0.240	0.160

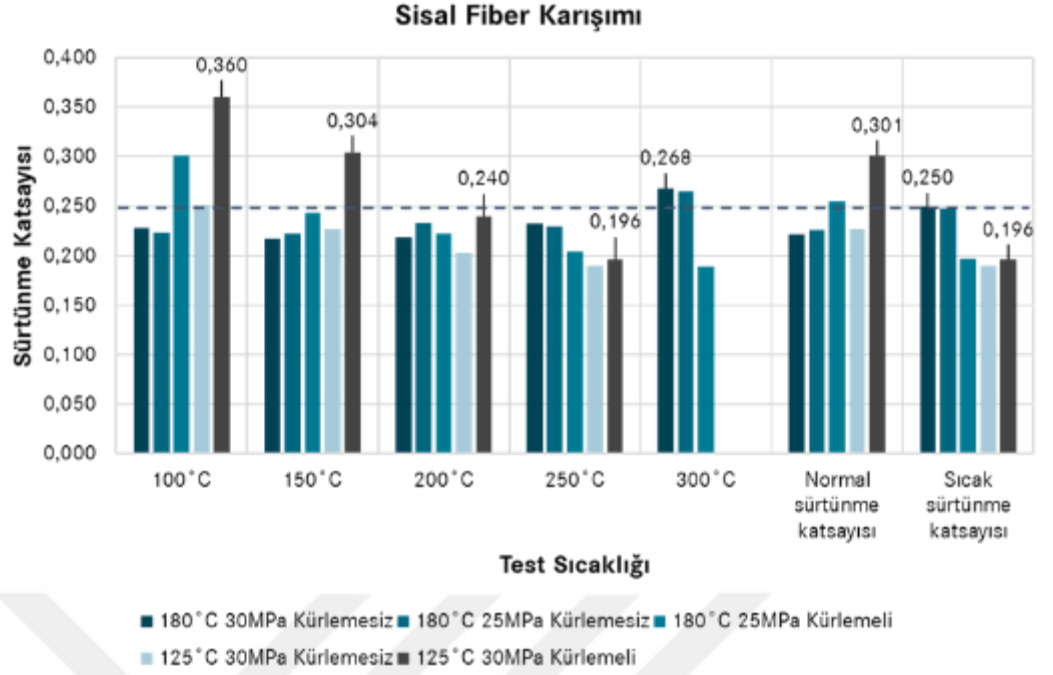
250°C	0.232	0.100	0.230	0.140	0.204	0.130	0.190	-	0.196	-
300°C	0.268	-	0.265	-	0.189	-	-	-	-	-
250°C- Recovery	0.352	0.320	0.365	0.370	0.194	0.150	-	-	-	-
200°C- Recovery	0.326	-	0.344	-	0.227	-	0.267	0.110	0.194	0.180
150°C- Recovery	0.278	-	0.283	-	0.227	-	0.289	-	0.212	-
100°C- Recovery	0.247	-	0.243	-	0.263	-	0.229	-	0.262	-

Bu değerler Tablo 5.13’de normal ve sürtünme katsayıları verilmiş ve aralarındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu iki değer arasındaki farkın yüzde olarak en yüksek olduğu değer “125°C / 30MPa kürlemeli” numunesinde normal sürtünme katsayısı değerleri de yüksek çıkmıştır.

Tablo 5.13 Sisal Fiber Karışımları Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları

Sisal Karışımları	180°C / 30MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemesiz	180°C / 25MPa Kürlemeli	125°C / 30MPa Kürlemesiz	125°C / 30MPa Kürlemeli
Normal sürtünme katsayısı	0,221	0,226	0,255	0,227	0,301
Sıcak sürtünme katsayısı	0,250	0,248	0,197	0,190	0,196
Normal-sıcak Fark (%)	-13,0	-9,5	23,0	16,2	35,0

Her iki tablodaki sisal fiber karışım numunelerine ait sürtünme katsayısı değerleri Şekil 5.17’te karşılaştırma amacıyla grafik ile gösterilmiştir.



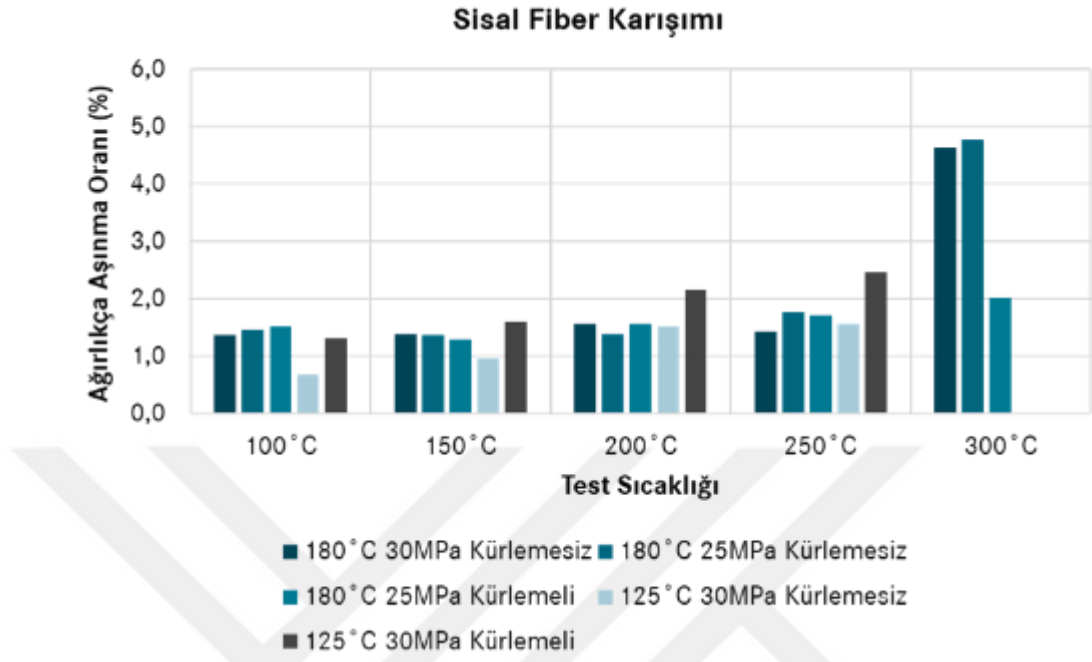
Şekil 5.17 Sisal Fiber Karışımı Sürtünme Katsayısı Değerleri

Sisal karışımlarında hem normal hem de sıcak sürtünme katsayısının 0,25 üzerinde gerçekleştiği bir numune olmamıştır. En yüksek değeri “125°C-30 MPa kürlemeli” numunesi 0,301 ile sağlamıştır. Kürleme yapılan numunelerde normal sürtünme katsayısı 0,25’in üzerinde tespit edilmiştir. Bu açıdan kürlemenin sisal karışımları için sürtünme katsayısına olumlu bir etkisinin olduğu söylenebilir. Yine bazı numunelerde sıcak sürtünme katsayısı normal sürtünme katsayısından fazla çıkmıştır. Bu da sisalin yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir.

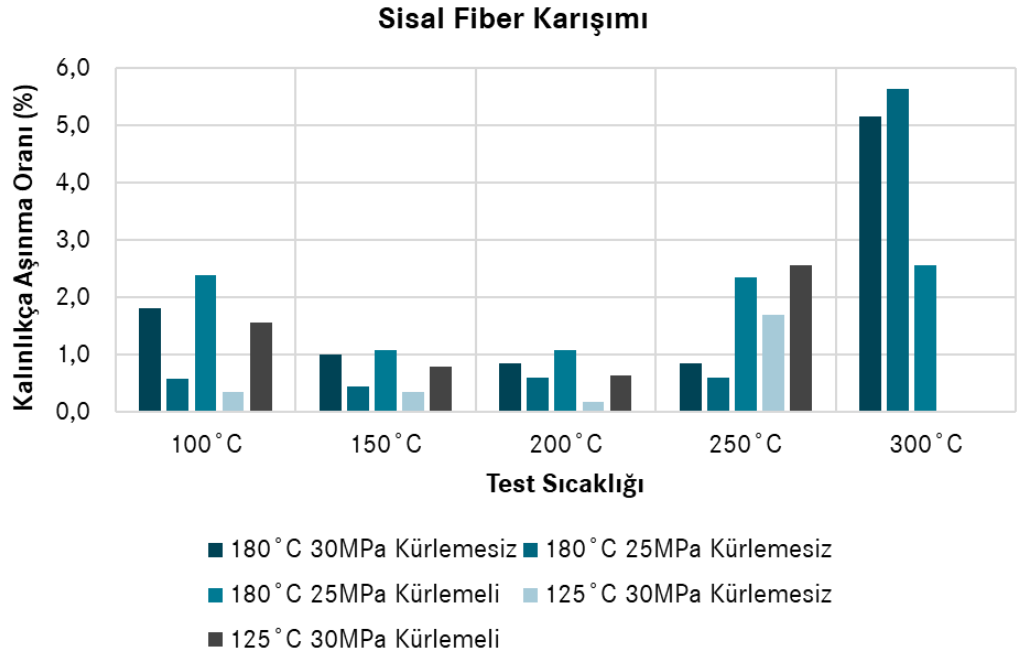
Şekil 5.18’te sisal karışımları için ağırlık açısından aşınma oranları, Şekil 5.19’te ise kalınlık açısından aşınma oranı değerleri karşılaştırma açısından grafikler ile verilmiştir. Kalınlık değerlerinde en fazla aşınma ölçülen nokta referans alınmıştır. Her iki grafikteki azalma benzer yöndedir. Ağırlıkça fazla kayıp olan numunede kalınlık değerleri de benzer oranda fazla tespit edilmiştir.

Tüm sisal numunelerinde aşınma oranı %5’in altında gözlemlenmiştir. Sıcak sürtünme katsayısı yüksek çıkan numunelerde aşınma oranı daha yüksek çıkmıştır. Sürtünme katsayısı değerleri ve aşınma oranları birlikte değerlendirildiğinde “125°C-

30 MPa kürlemeli” numunesi ticari balata ile karşılaştırma açısından sisal grubu için referans alınmıştır.



şekil 5.18 Sisal Fiber Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri



şekil 5.19 Sisal Fiber Karışımı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri

5.3.2.4 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Sonuçlar

Her numune grubundan en iyi sonuçları veren numuneler ve ticari balataya ait sürtünme katsayısı ve ağırlıkça aşınma oranı değerleri Tablo 5.14’te verilmiştir.

Tablo 5.14 Ticari Balata Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Oranı Değerleri

Test Sıcaklığı	Standart 180°C / 30MPa Kürlemesiz		Uçucu Kül 180°C / 30MPa Kürlemesiz		Sisal 125°C / 30MPa Kürlemeli		Ticari Balata	
	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)	μ	Aşınma (g)
100°C	0.344	0.170	0.464	0.150	0.360	0.100	0.461	0.330
150°C	0.329	0.160	0.423	0.210	0.304	0.120	0.430	0.390
200°C	0.271	0.090	0.397	0.280	0.240	0.160	0.400	0.510
250°C	0.271	0.100	0.352	0.350	0.196	-	0.363	0.680
300°C	0.253	-	0.305	-	-	-	0.330	-
250°C-Recovery	0.270	0.230	0.340	0.670	-	-	0.346	1.380
200°C-Recovery	0.257	-	0.375	-	0.194	0.180	0.371	-
150°C-Recovery	0.301	-	0.381	-	0.212	-	0.378	-
100°C-Recovery	0.324	-	0.400	-	0.262	-	0.394	-

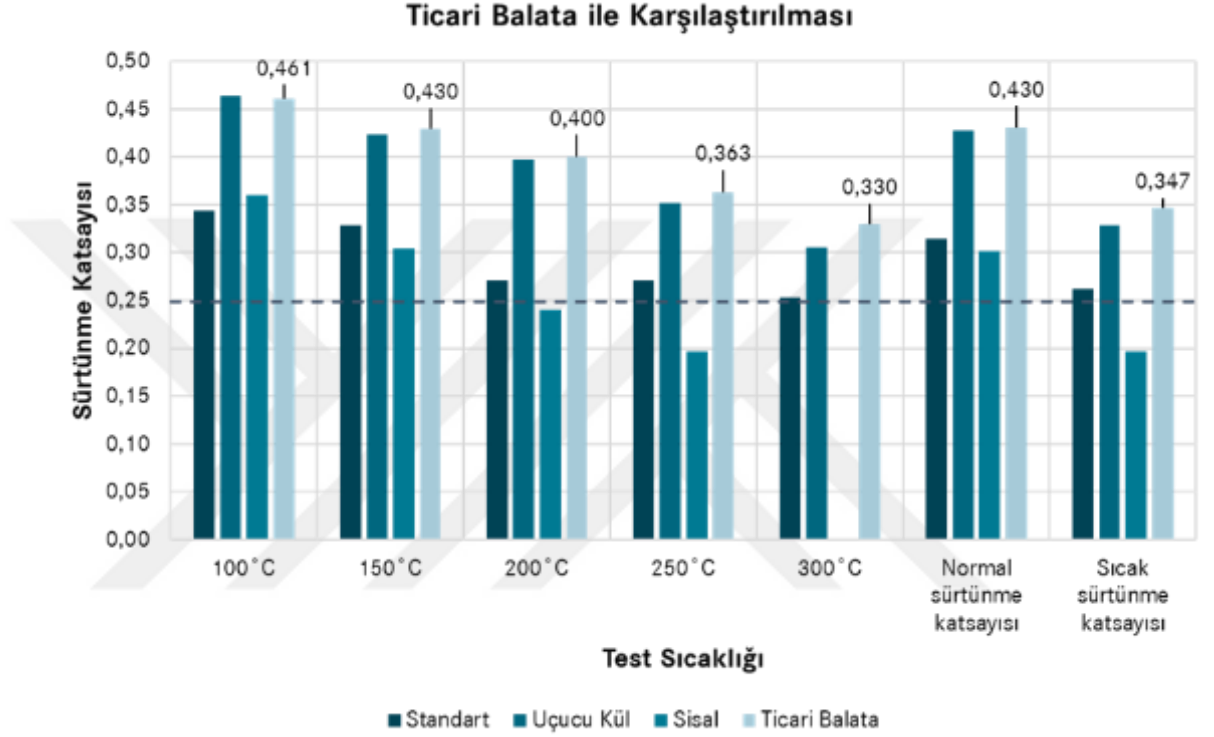
Bu değerler Tablo 5.15’de normal ve sürtünme katsayıları olarak verilmiş ve aralarındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.15 Ticari Balata Karşılaştırmalı Normal/Sıcak Sürtünme Katsayıları

	Standart 180°C / 30MPa Kürlemesiz	Uçucu Kül 180°C / 30MPa Kürlemesiz	Sisal 125°C / 30MPa Kürlemeli	Ticari Balata
Normal sürtünme katsayısı	0,315	0,428	0,301	0,430

Sıcak sürtünme katsayısı	0,262	0,329	0,196	0,347
Normal-sıcak Fark (%)	16,7	23,2	35,0	19,5

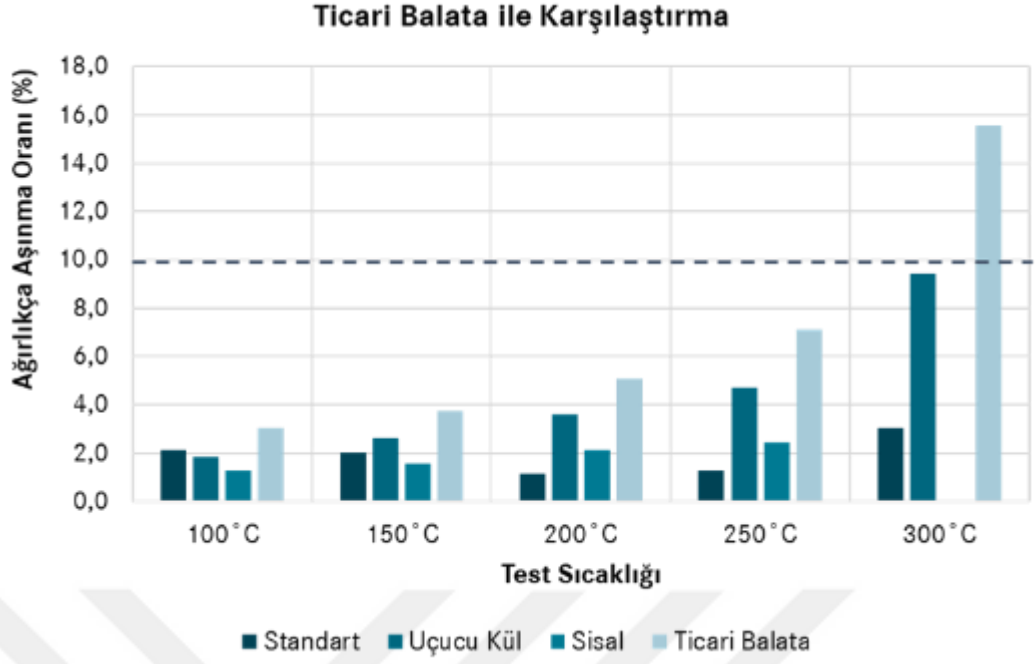
Her iki tablodaki sürtünme katsayısı değerleri karşılaştırma amacıyla Şekil 5.20’de grafiğe aktarılmıştır.



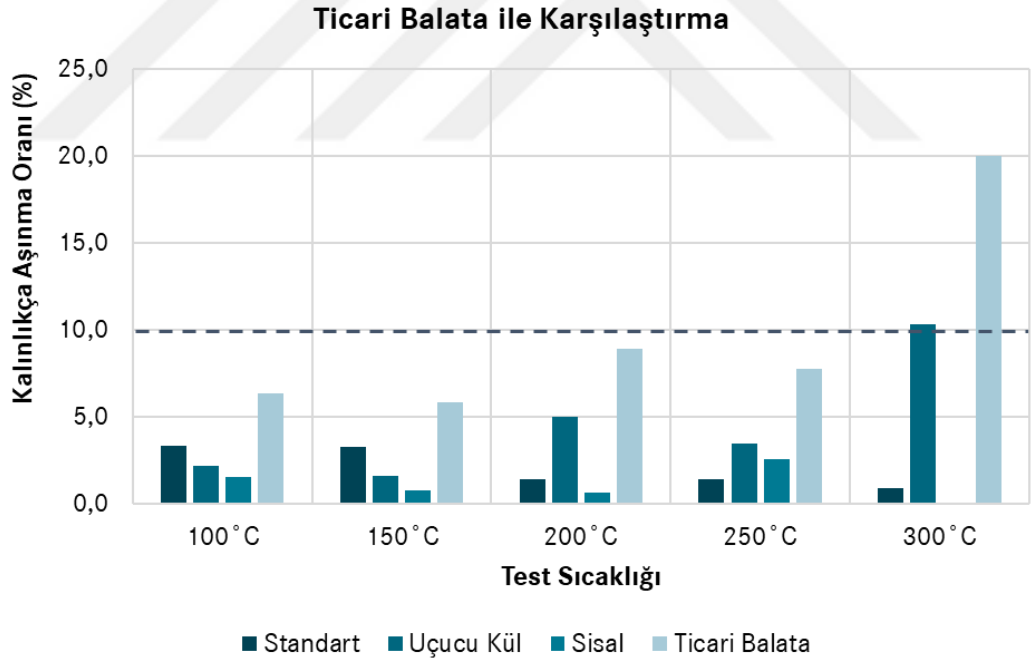
Şekil 5.20 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Sürtünme Katsayısı Değerleri

Sisal sıcak sürtünme katsayısı hariç, tüm numuneler için normal ve sıcak sürtünme katsayısı değerleri 0,25’in üzerindedir.

Şekil 5.21’te tüm karışımlar için ağırlık açısından aşınma oranları, Şekil 5.22’de ise kalınlık açısından aşınma oranı değerleri karşılaştırma açısından grafikler ile gösterilmiştir. Kalınlık değerlerinde en fazla aşınma ölçülen nokta referans alınmıştır. Her iki grafikteki değişim benzer yöndedir. Ağırlıkça fazla kayıp olan numunede kalınlık değerleri de benzer oranda fazla tespit edilmiştir.



Şekil 5.21 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Ağırlıkça Aşınma Oranı Değerleri



Şekil 5.22 Ticari Balata ile Karşılaştırılmalı Kalınlıkça Aşınma Oranı Değerleri

Şekil 5.20, Şekil 5.21 ve Şekil 5.22 numaralı grafikler birlikte değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Standart karışım sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında; ağır yük kamyonlarında kullanımının mümkün olduğu ancak ticari balata ile karşılaştırıldığında optimizasyon potansiyeli olduğu görülmektedir. Aşınma oranı açısından standart karışım ticari balata ile karşılaştırıldığında ise çok daha iyi bir performans gözlemlenmiştir.

Sonuçlar “uçucu kül 180°C – 30 MPa kurlemesiz” numunesinin sürtünme katsayısı değerlerinde ticari balata ile çok yakın değerler sağladığını göstermiştir. Bu numunede aşınma değerlerindeki değişim %10 mertebesinde ve ticari balata ile karşılaştırıldığında çok daha düşük çıkmıştır. Bu açıdan “uçucu kül 180°C – 30 MPa kurlemesiz” şartlarında üretilen numunenin ağır yük kamyonlarında kullanımı için çok iyi bir alternatif olduğu net bir şekilde görülmüştür.

Sisal karışımlarında sürtünme katsayısı açısından diğer numunelere ve ticari fren balatasına göre daha düşük değerler tespit edilmesine rağmen, yine diğer numune ve ticari balataya kıyasla en iyi aşınma performansı gerçekleşmiştir. Bu açıdan sisal fiberin her çalışma koşulunda aşınma oranını stabilize etmek için fren balatasında belirli oranda kullanılabileceği görülmüştür.

5.3.2.5 Tüm Karışımlara Ait Özgöl Aşınma Değerleri

Özgöl aşınma değerleri tüm örnekler için TS 555’in öngördüğü 5×10^{-7} $\text{cm}^3\text{Nm}'\text{yi}$ geçmemiştir. Bunun sebebinin balata bileşenleri içerisinde yer alan sürtünme düzenleyicilerin oranı olduğu söylenebilir. Aşınma hızı ortalama değerleri Tablo 5.16’de gösterildiği gibi test cihazı tarafından otomatik hesaplanmıştır.

Tablo 5.16 Özgöl Aşınma Değerleri

V (cm^3Nm)x 10^{-7}	Standart 180°C 25MPa kurlemesiz	Standart 180°C 25MPa kurlmeli	Uçucu Kül 180°C 25MPa kurlemesiz	Uçucu Kül 125°C 30MPa kurlemesiz	Sisal 180°C 30MPa kurlemesiz	Sisal 125°C 30MPa kurlemesiz	Ticari Balata
Kalıplama Sıcaklığı	V	V	V	V	V	V	V
100°C	0.697	1.212	0.321	0.211	0.455	0.207	1.013
150°C	0.528	1.624	0.270	0.194	0.279	0.181	1.001
200°C	0.404	2.235	0.532	0.276	0.326	0.215	1.654

250°C	0.756	2.936	0.473	0.354	0.233	0.536	1.966
300°C		6.349	0.813	0.754	1.661		4.754

Tablodan çıkarıldığı üzere, en düşük aşınma hızını uçucu kül karışımı vermiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen tüm standart, uçucu kül ve sisal fiber karışımları ağır yük kamyon balatasına oranla en düşük aşınma hızına, dolayısıyla en iyi aşınma performansına sahip olduğu tespit edilmiştir.

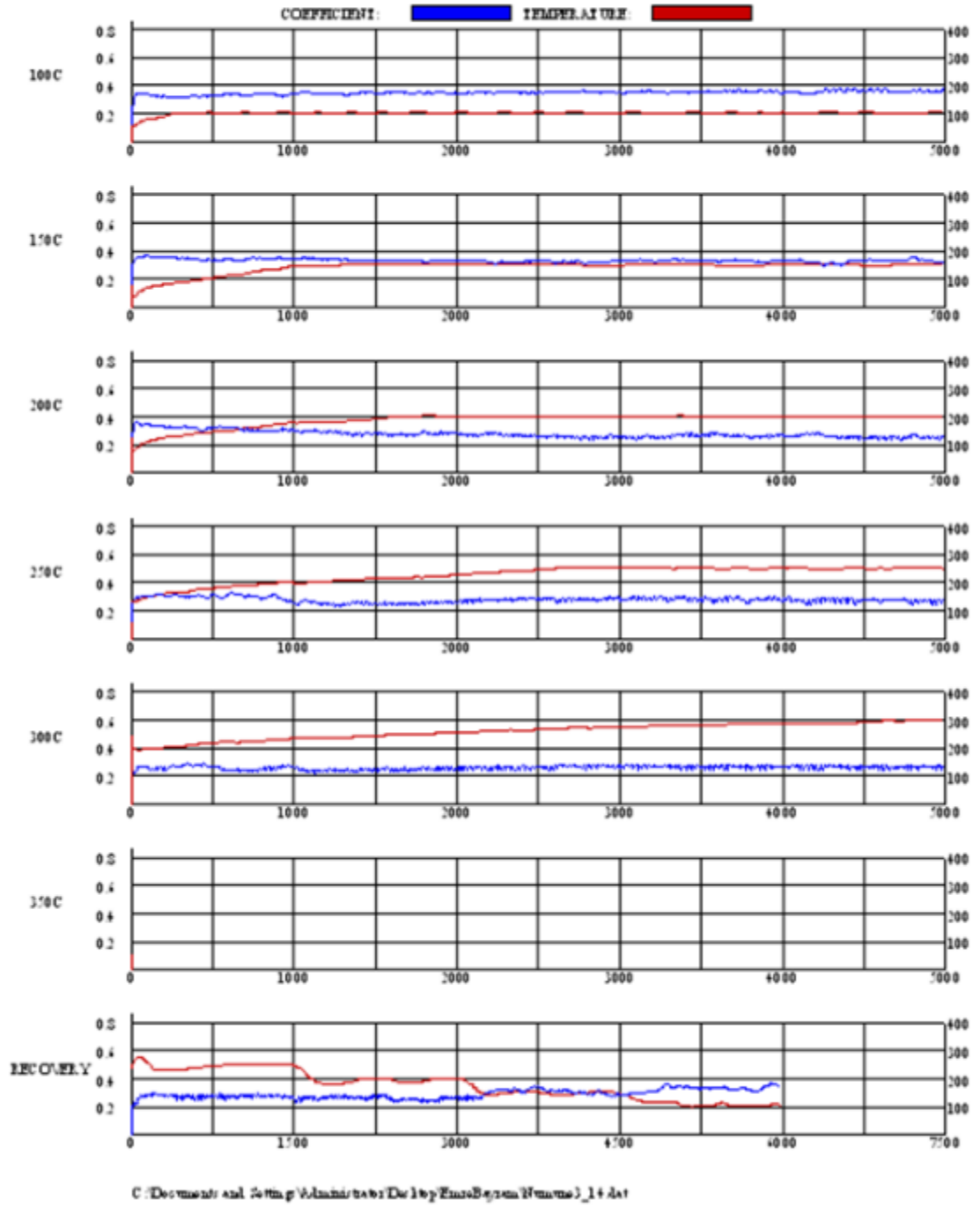
Test cihazı aşınma hızını aynı çevrimde test edilen iki farklı numune için ortalama olarak vermektedir. Bu açıdan aynı çevrimdeki farklı numuneler için aynı aşınma hızı değerleri kabul edilmiştir.

5.3.2.6 Tüm Karışımlara Ait Sürtünme Katsayısı Stabilesi

Fren balatalarının sahip olması gereken özelliklerinden biri sürtünme katsayısının yüksek olması yanında tüm çalışma koşullarında sabit bir sürtünme performansı göstermesi olduğu da belirtilmişti. Test cihazı sürtünme katsayısındaki değişimi grafiklere dökerek göstermektedir. Yapılan tüm testler için grafikler bu bölümdeki Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32 no.lu grafiklerde gösterilmiştir.

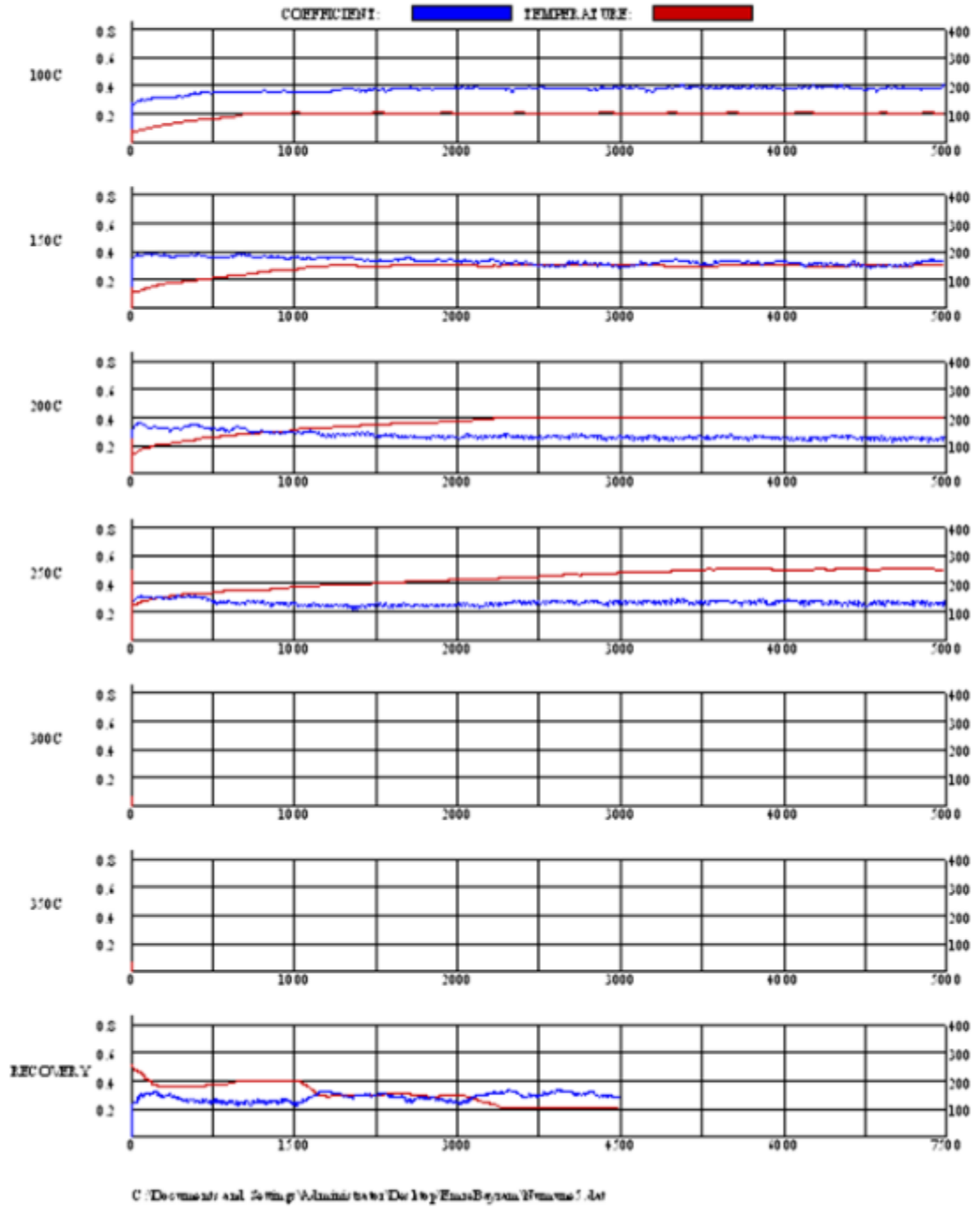
İki farklı numune aynı çevrimde test edilmektedir. Test cihazı, test edilen iki numune için ortalama sürtünme katsayısındaki değişimi grafiğe dökmektedir. Her grafik için test edilen numune içeriği belirtilmiştir.

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



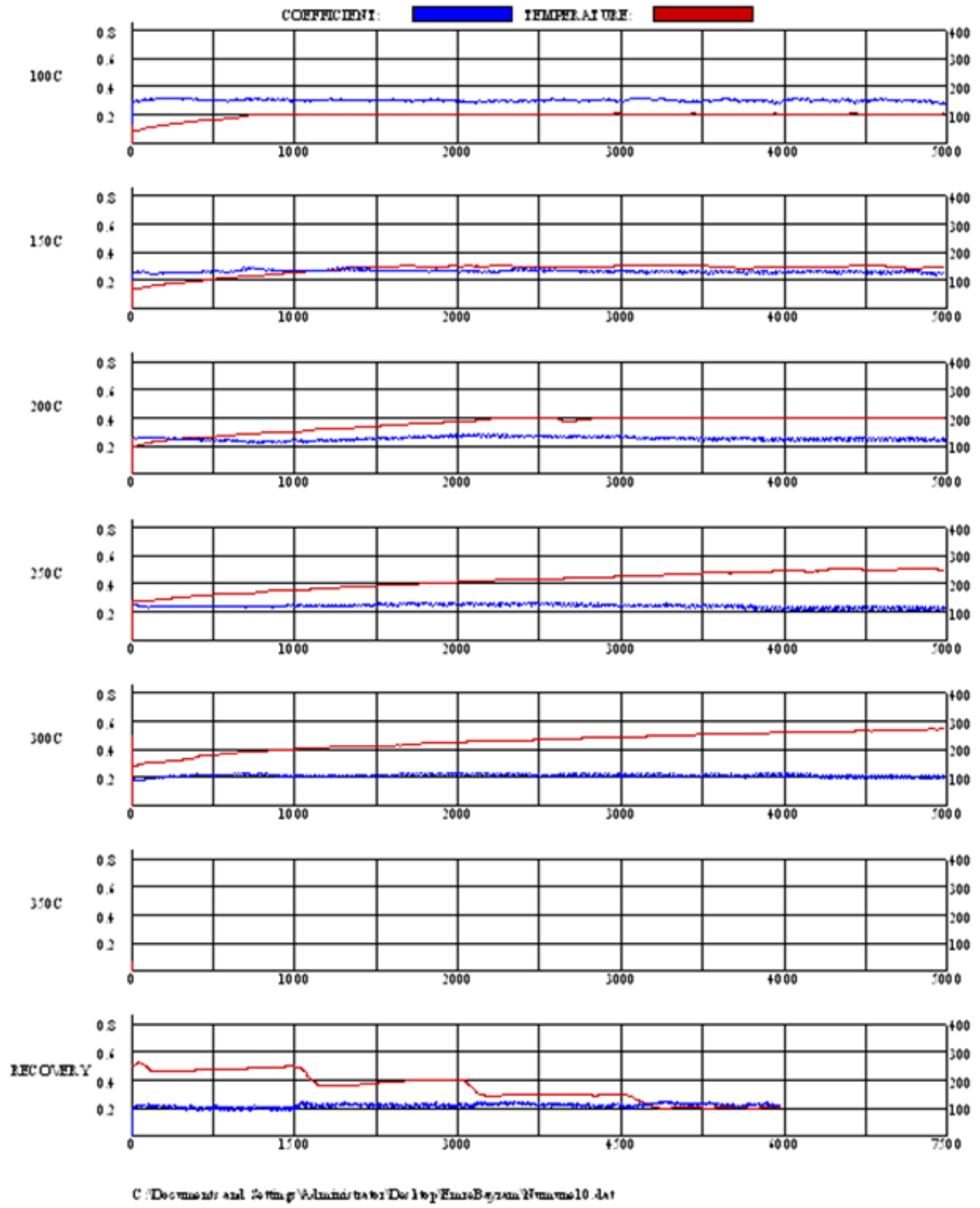
Şekil 5.23 Numune No:1 Standart 180°C 30MPa – Kırılmasız // Numune No: 4 Standart 125°C 30MPa – Kırılmasız

FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT



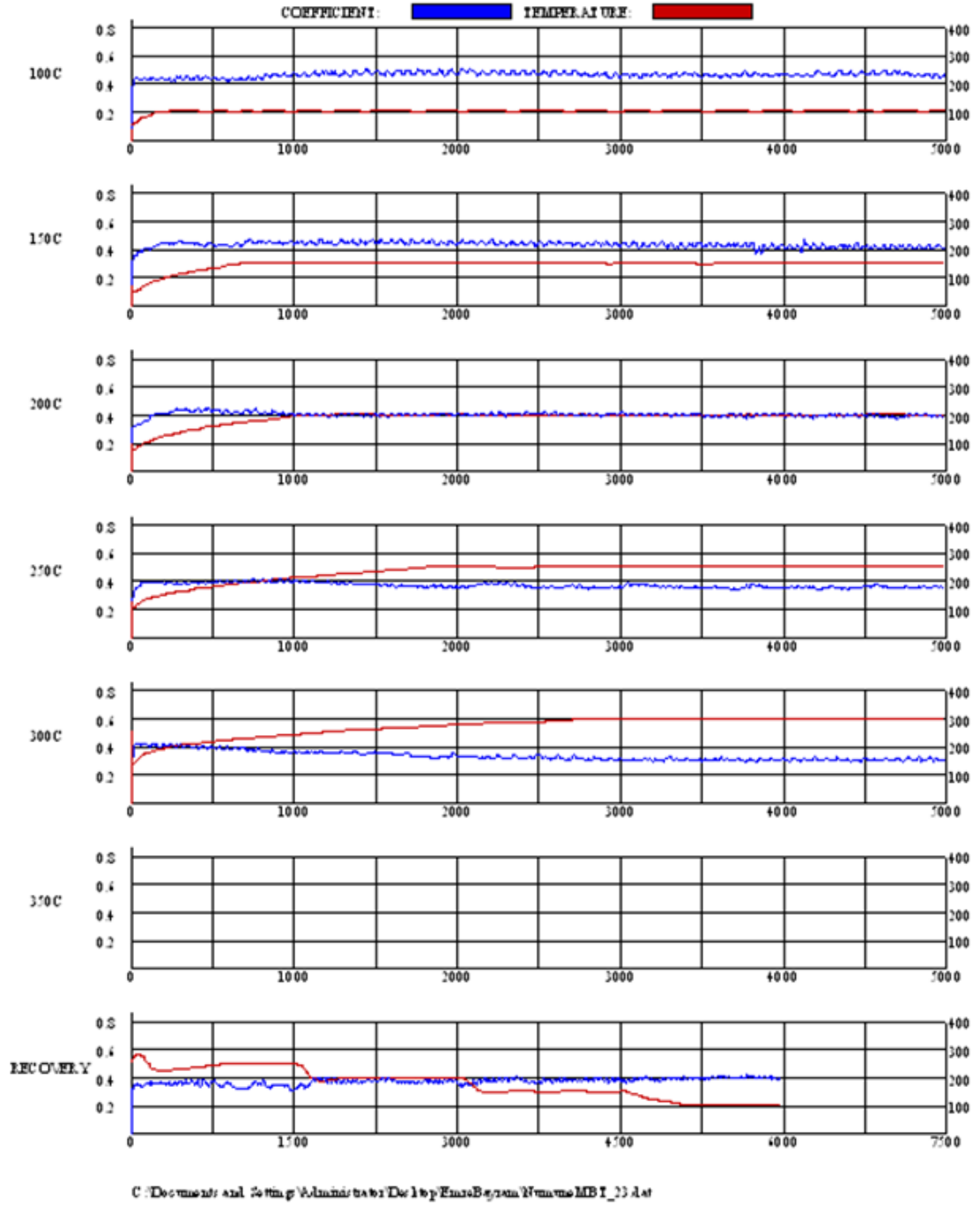
Şekil 5.24 Numune No:2 Standart 180°C 25MPa – Kırılmasız

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



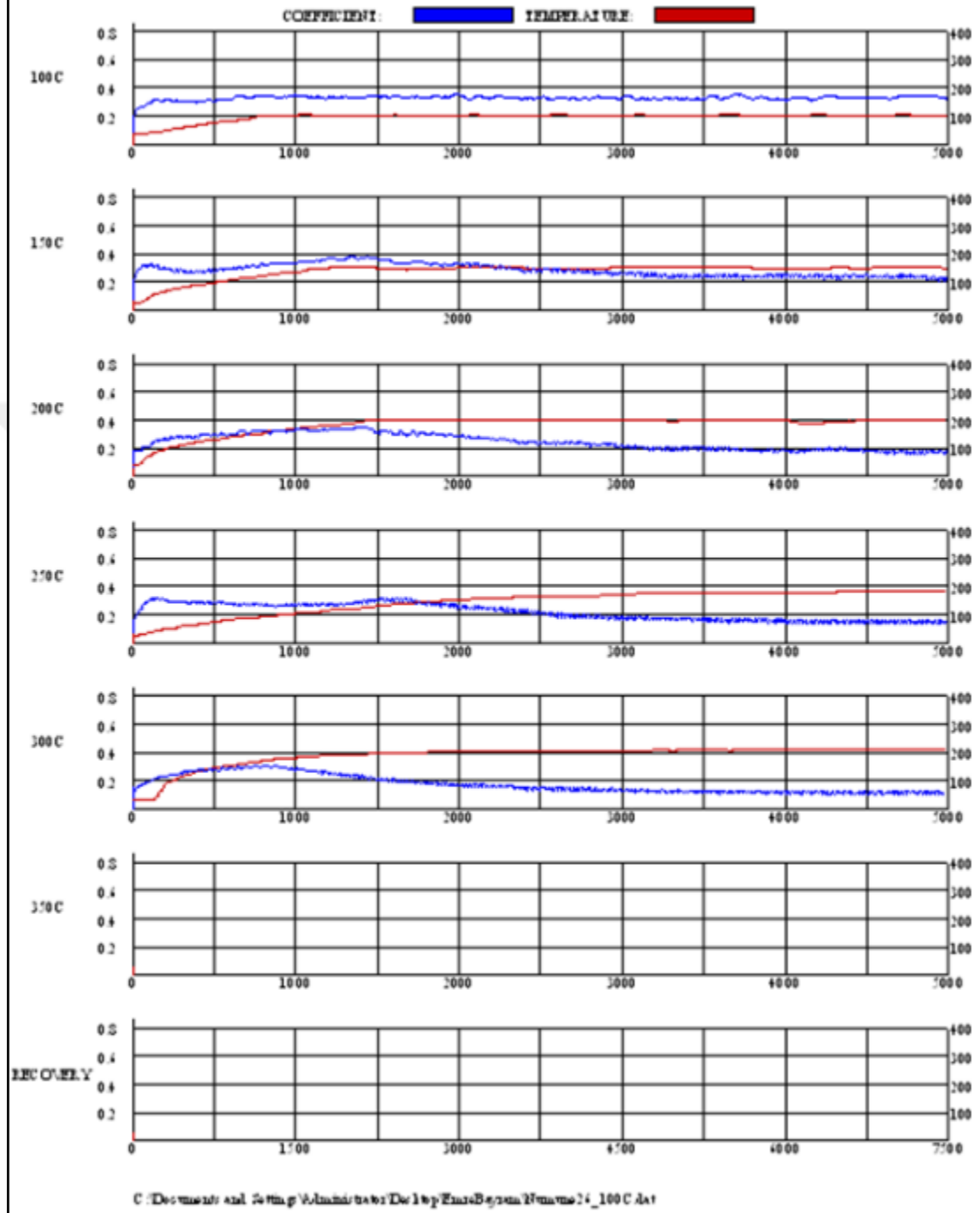
Şekil 5.25 Numune No:3 Standart 180°C 25MPa – Kurllemeli

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



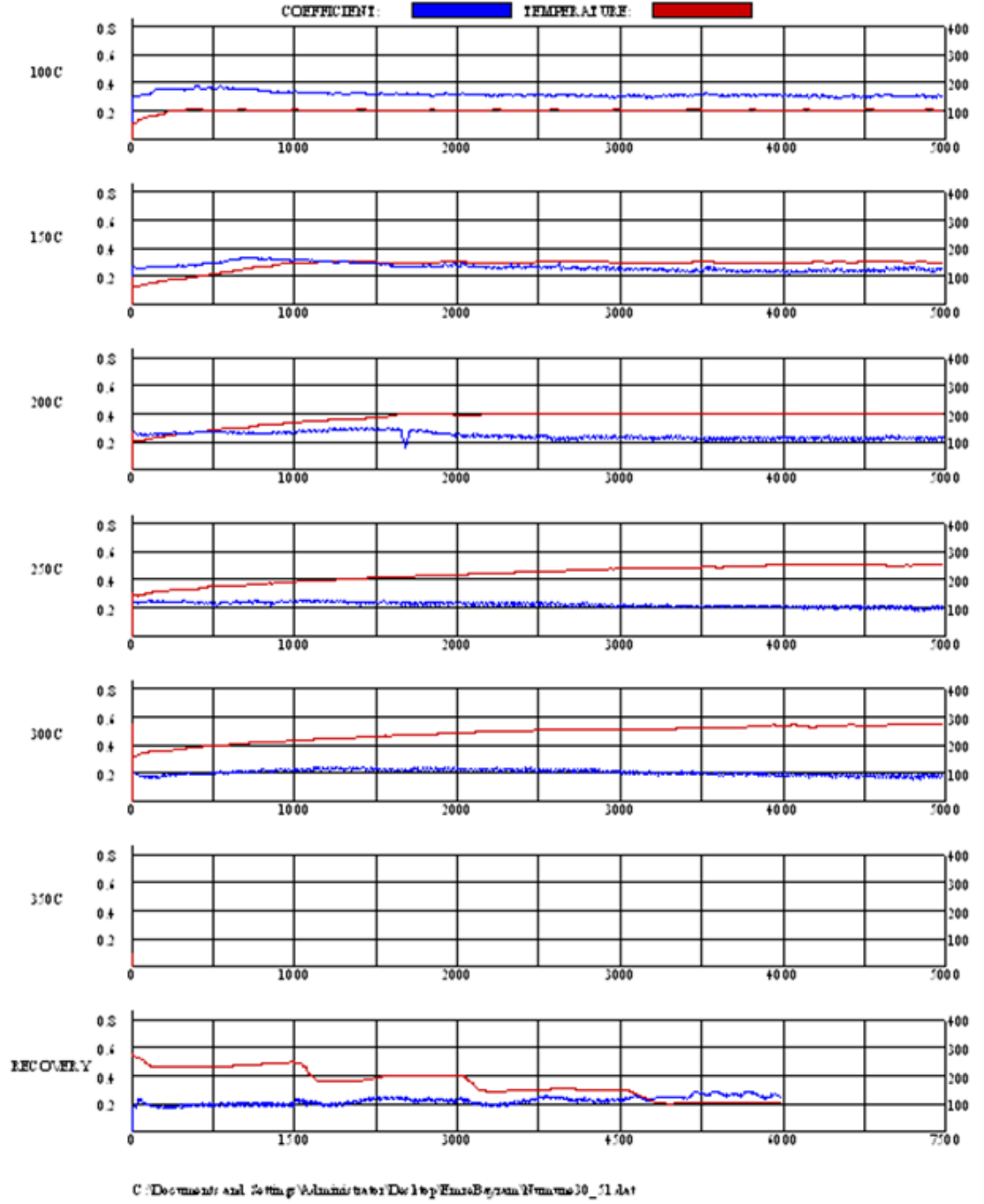
Şekil 5.26 Numune No:15 Ticari Balata // Numune No:5 Uçucu Kül 180°C 30MPa – Kırılmaz

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



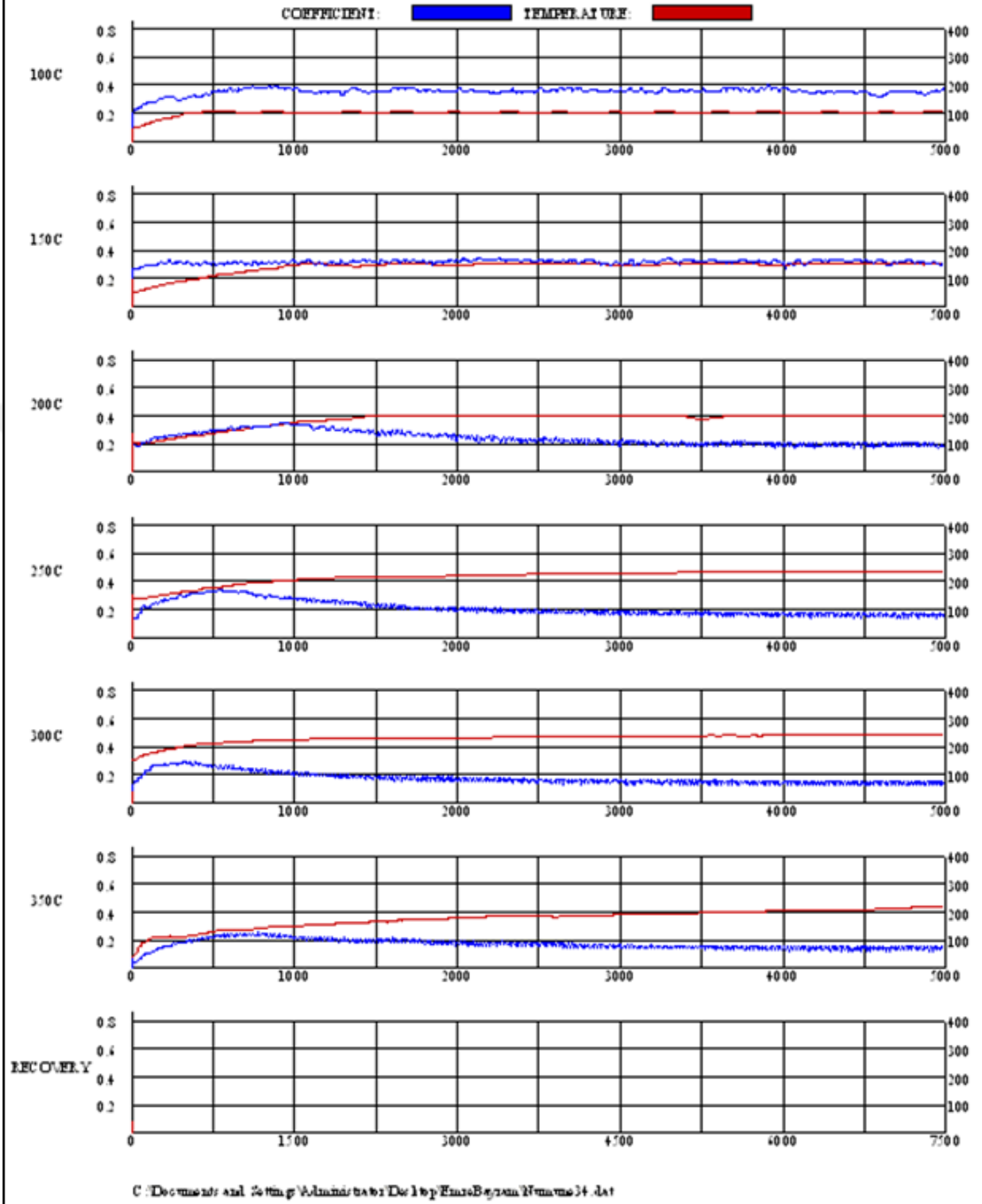
Şekil 5.27 Numune No:6 Uçucu Kül 180°C 25MPa – Kırılmasız

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



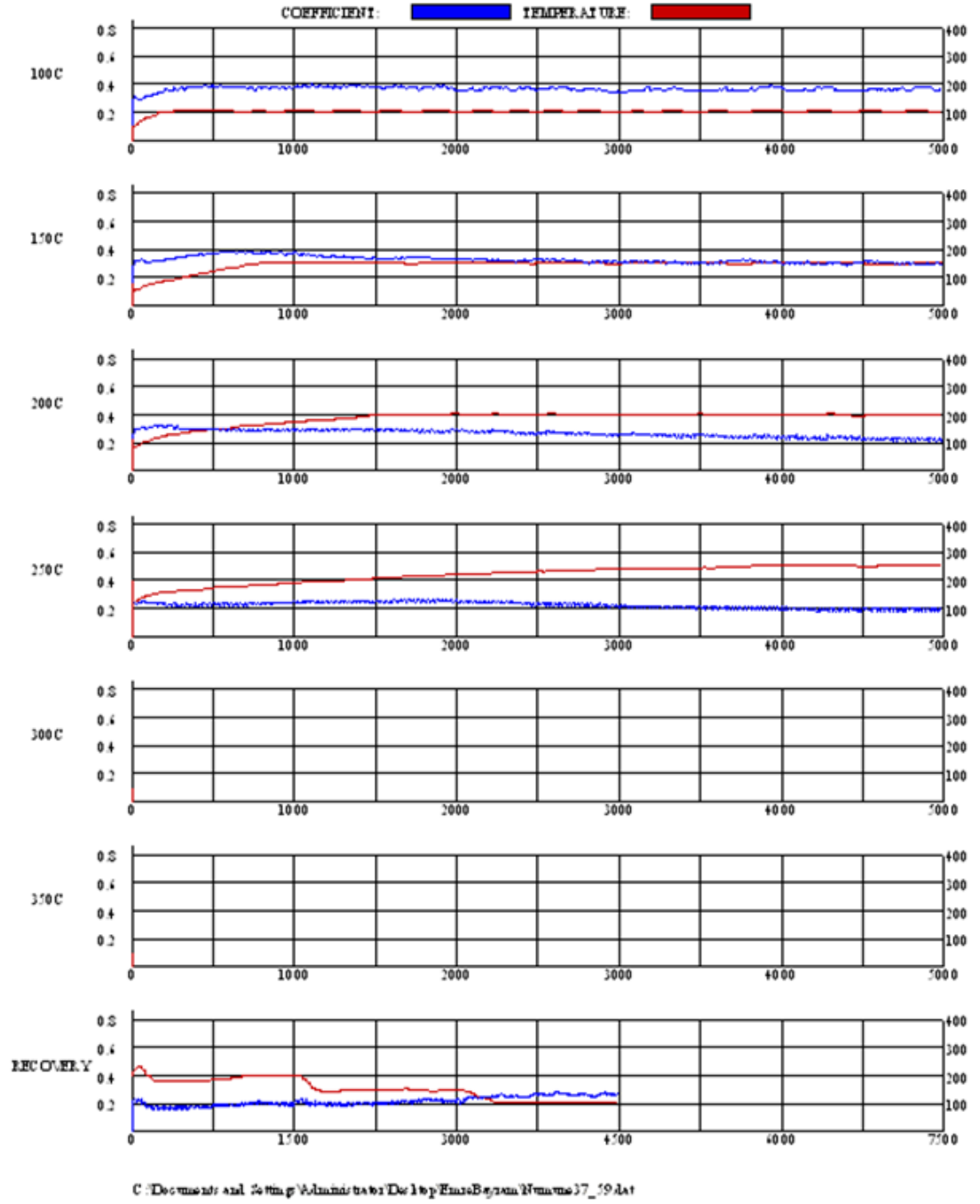
Şekil 5.28 Numune No:7 Uçucu Kül 180°C 25MPa –Kürlemeli // Numune No:12 Sisal 180°C 25MPa – Kürlemeli

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



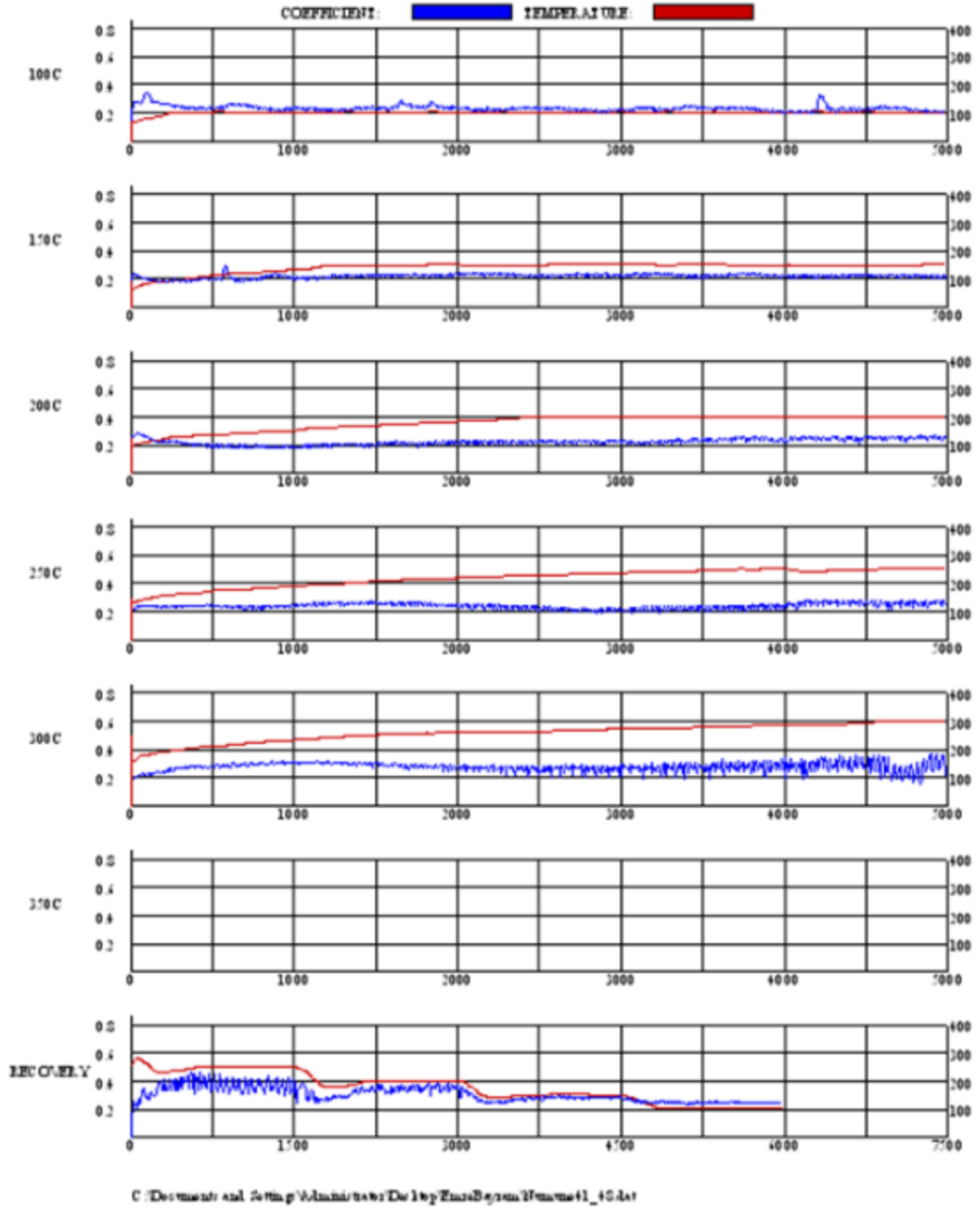
Şekil 5.29 Numune No:8 Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kırılmasız

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



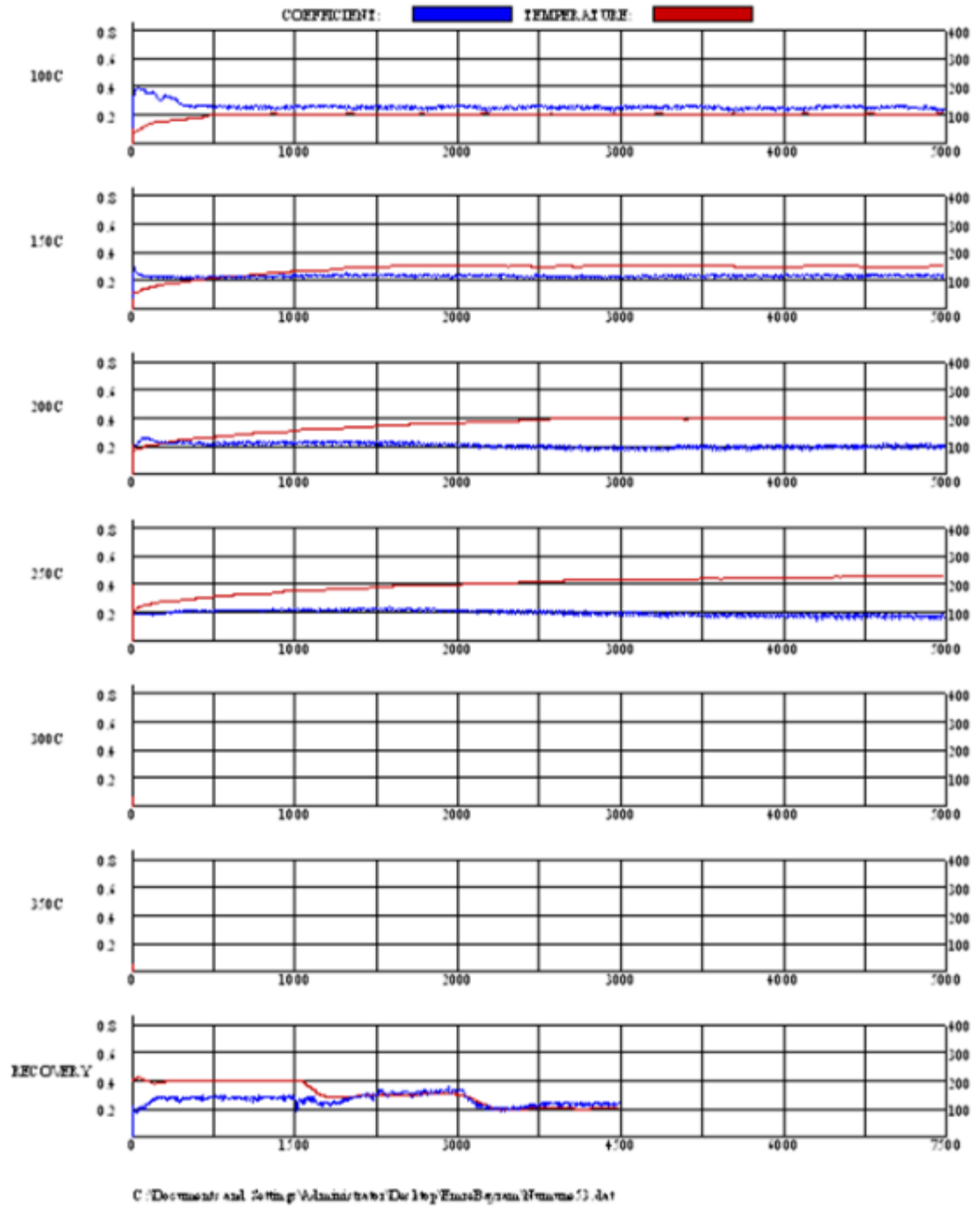
Şekil 5.30 Numune No:9 Uçuşu Kül 125°C 30MPa –Kürlemeli // Numune No:14 Sisal 125°C 30MPa – Kürlemeli

FRICITION AND WEAR RATE TEST REPORT



Şekil 5.31 Numune No:10 Sisal 180°C 30MPa –Kürlemesiz // Numune No:11 Sisal 180°C 25MPa –Kürlemesiz

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT



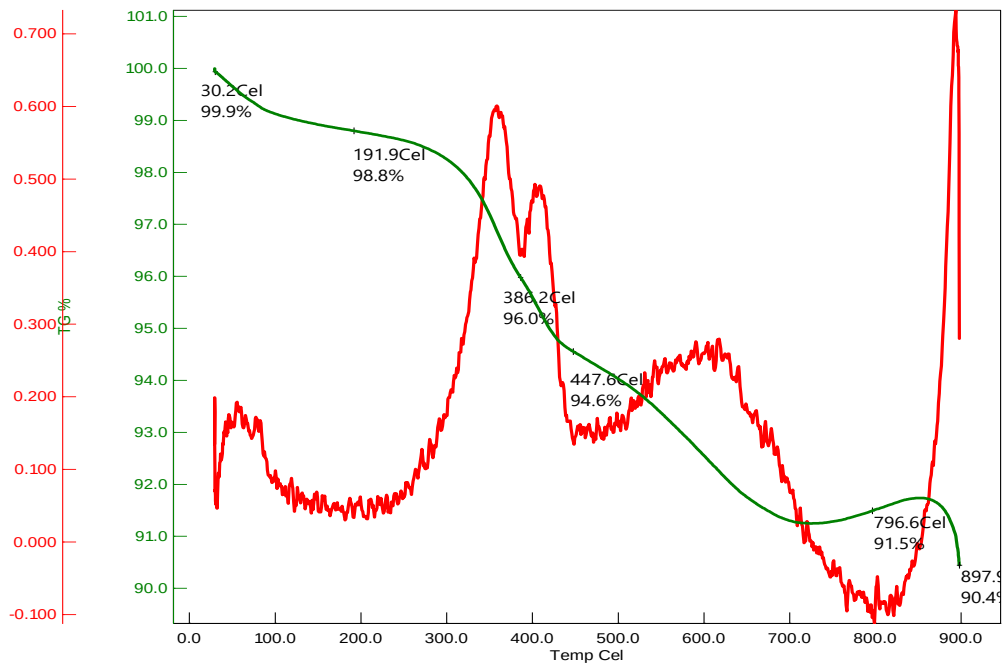
Şekil 5.32 Numune No:13 Sisal 125°C 30MPa – Kırılmasız

5.3.3 TGA Testleri

TGA (Termal Gravimetrik Analizi) testi, kompozit malzemelerin içerdikleri organik ve inorganik fazların kütlece oranlarının belirlenmesinde kullanılır. Bu tez çalışmasında yer alan TGA testleri ArelPotkam Merkezi'nde yapılmıştır. 900°C'ye kadar yapılan testlerde kütlece hızlı düşmenin olduğu sıcaklık derecesi referans alınmıştır. Böylece yüksek çalışma sıcaklıklarının söz konusu olduğu ağır yük kamyonlarında balata yanması olarak tabir edilen durum simüle edilmiş, bu durumda kütle oranları karşılaştırılmıştır.

5.3.3.1 Ticari Balata TGA Testi

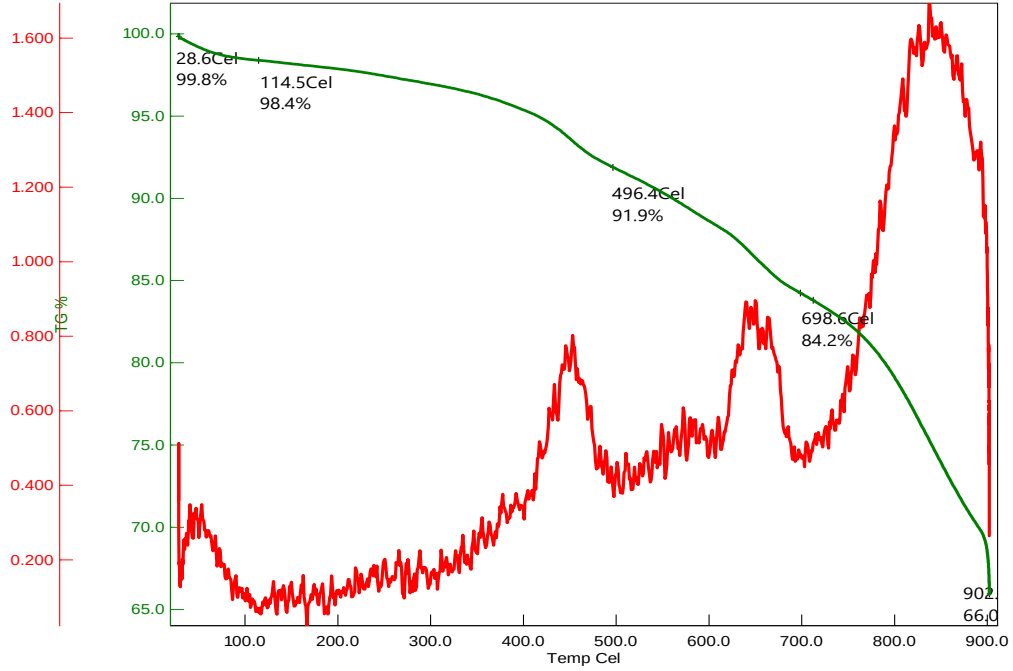
Ticari balataya ait TGA test sonuçları Şekil 5.33'de gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında ticari balata için bozunma sıcaklığının 450°C olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değerindeki kütle kaybı %5 mertebesinde dir. 450°C'den sonra 900°C'ye kadar olan zaman diliminde %5 bir kütle kaybı daha gözlemlenerek toplamdaki kütle kaybı %10 olarak tespit edilmiştir.



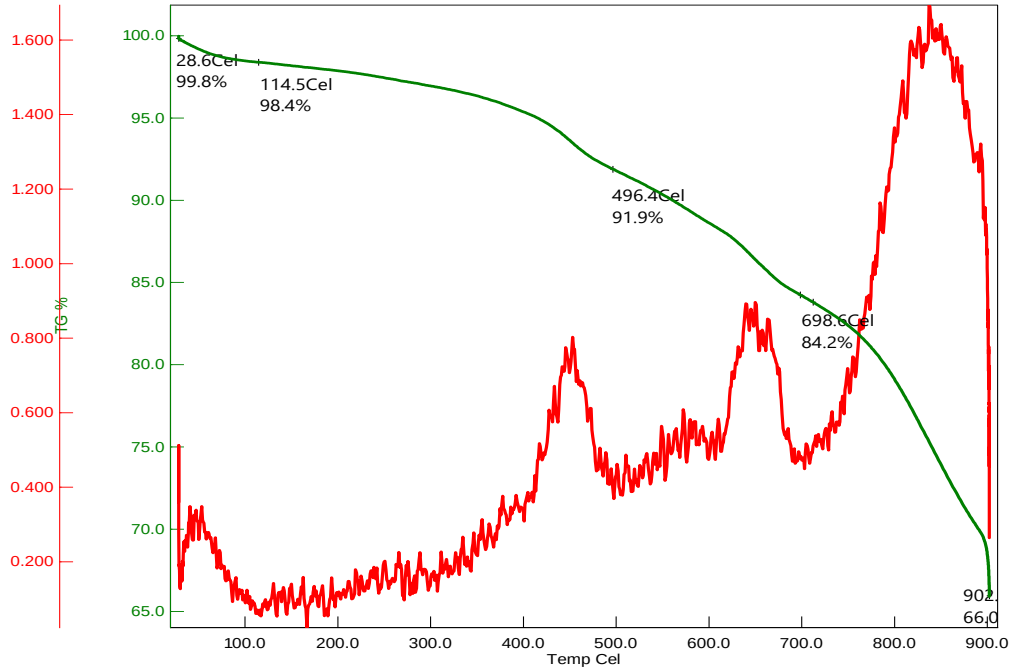
Şekil 5.33 Ticari Balata - TGA Testi

5.3.3.2 Standart Karışım TGA Testleri

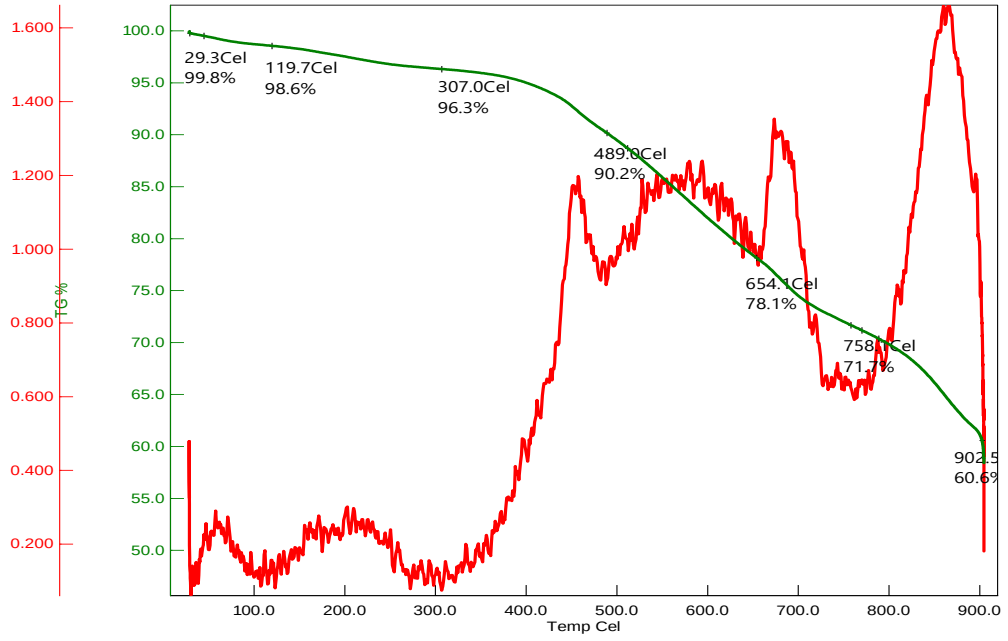
Standart karışım için TGA test sonuçları bu kısımda Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’de gösterilmiştir.



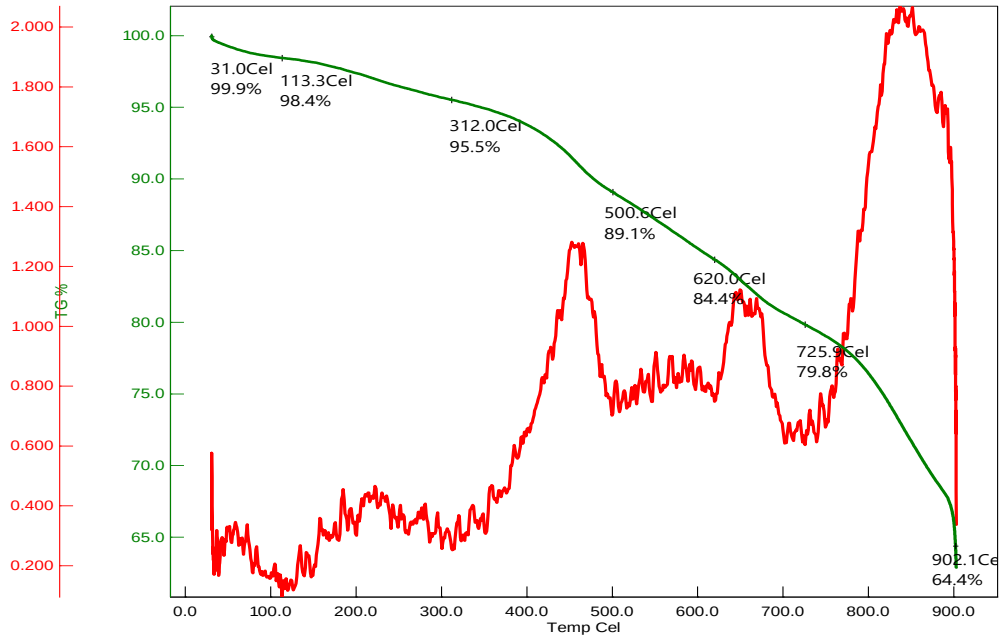
Şekil 5.34 TGA - Standart 180°C 30MPa – Kürlemesiz



Şekil 5.35 TGA - Standart 180°C 25MPa – Kürlemeli



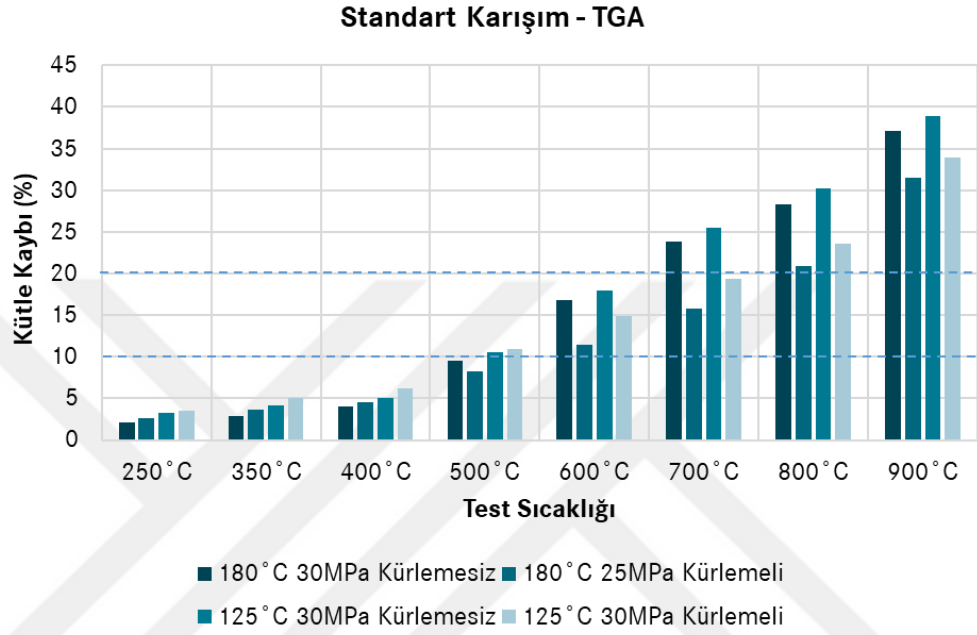
Şekil 5.36 TGA - Standart 125°C 30MPa – Kürlemesiz



Şekil 5.37 TGA - Standart 125°C 30MPa – Kürlemeli

Bu sonuçlar karşılaştırma amacıyla Şekil 5.38’de grafiğe aktarılmıştır. Grafiklere bakıldığında standart karışımlar için bozunma sıcaklığının 450-500°C arasında olduğu tespit edilmiştir. 500°C’den sonra kütle kaybı %10 oranını aşmış ve hızlı bir kayıp gözlemlenmiştir. Standart karışımlarda kütleme yapılan numunelerde

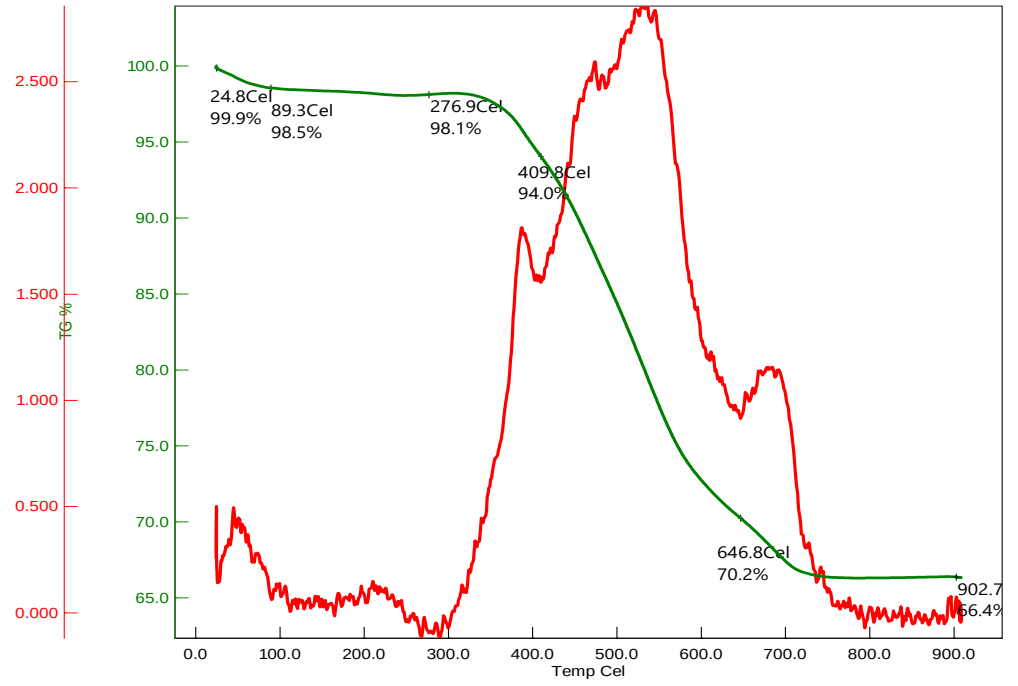
600°C'den sonra kütle kaybı oranı daha az görülmüştür. Bu açıdan standart karışımlarda yüksek sıcaklıklarda kürlenmenin pozitif bir etkisi görülmüştür. Yine aşınma-sürtünme testlerinde en iyi sonucu veren 180°C – 30 MPa kürlenmesiz numunesi 500 °C'ye kadara olan kullanım sıcaklığında TGA açısından daha iyi performans göstermiştir.



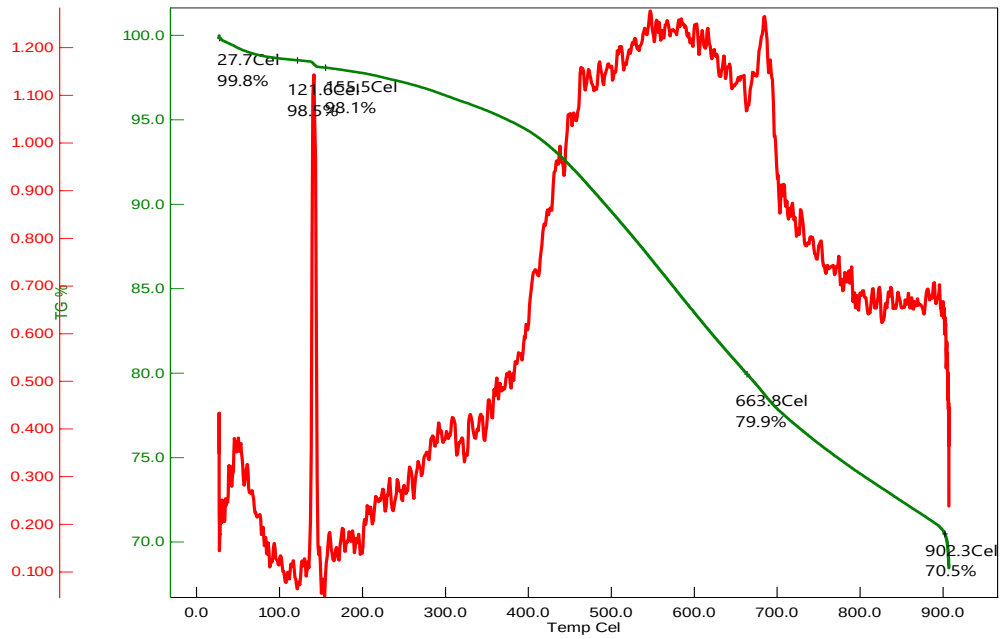
Şekil 5.38 Standart Karışım – TGA Eğrileri Karşılaştırması

5.3.3.3 Uçucu Kül Karışımı TGA Testleri

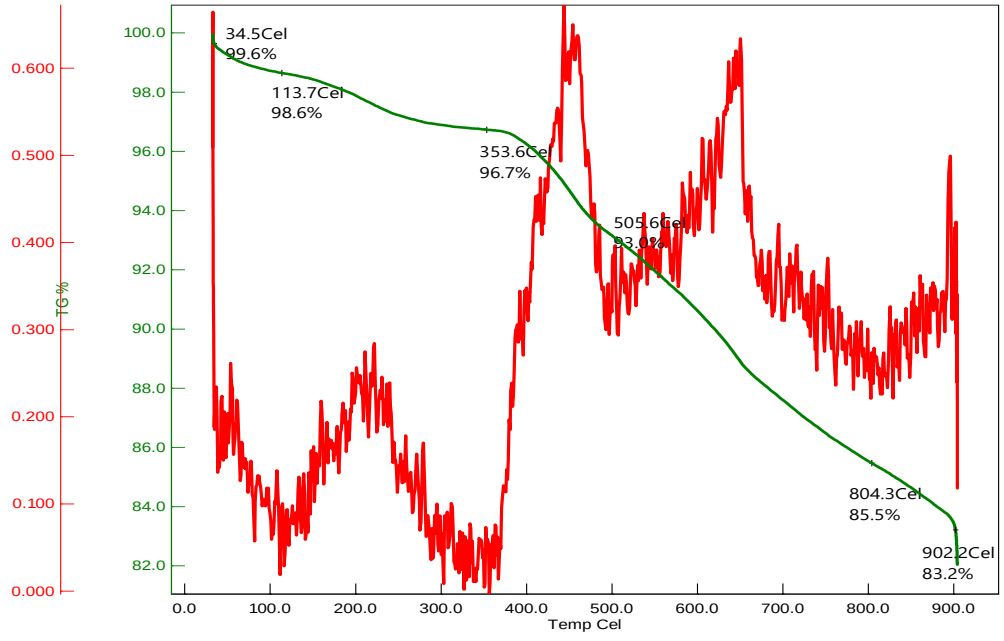
Uçucu kül karışımları için TGA test sonuçları bu bölümdeki Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41 ve Şekil 5.42 numaralı grafiklerde gösterilmiştir.



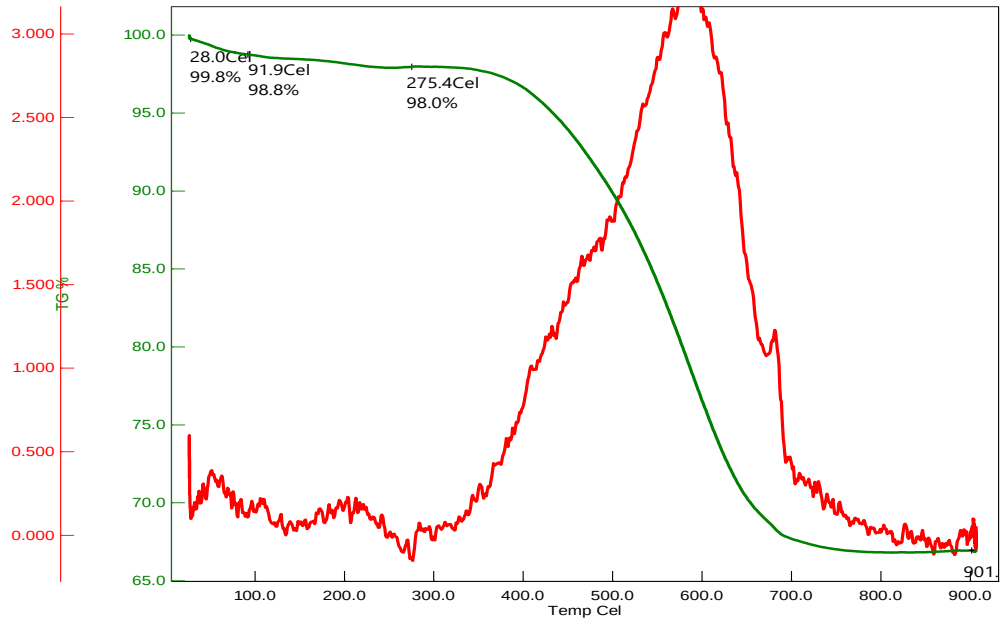
Şekil 5.39 TGA – Uçucu Kül 180°C 30MPa – Kürlemesiz



Şekil 5.40 TGA - Uçucu Kül 180°C 25MPa – Kürlemeli

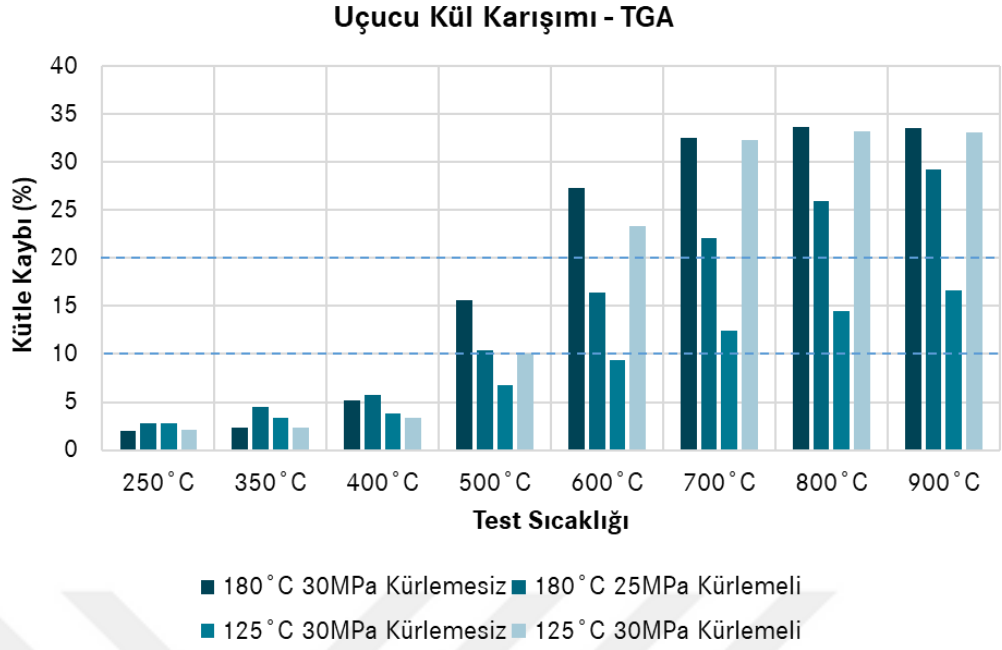


Şekil 5.41 TGA - Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kürlemesiz



Şekil 5.42 TGA - Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kürlemeli

Bu sonuçlar karşılaştırma amacıyla Şekil 5.43'daki grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 5.43 Uçucu Kül Karışımı – TGA Eğrileri Karşılaştırması

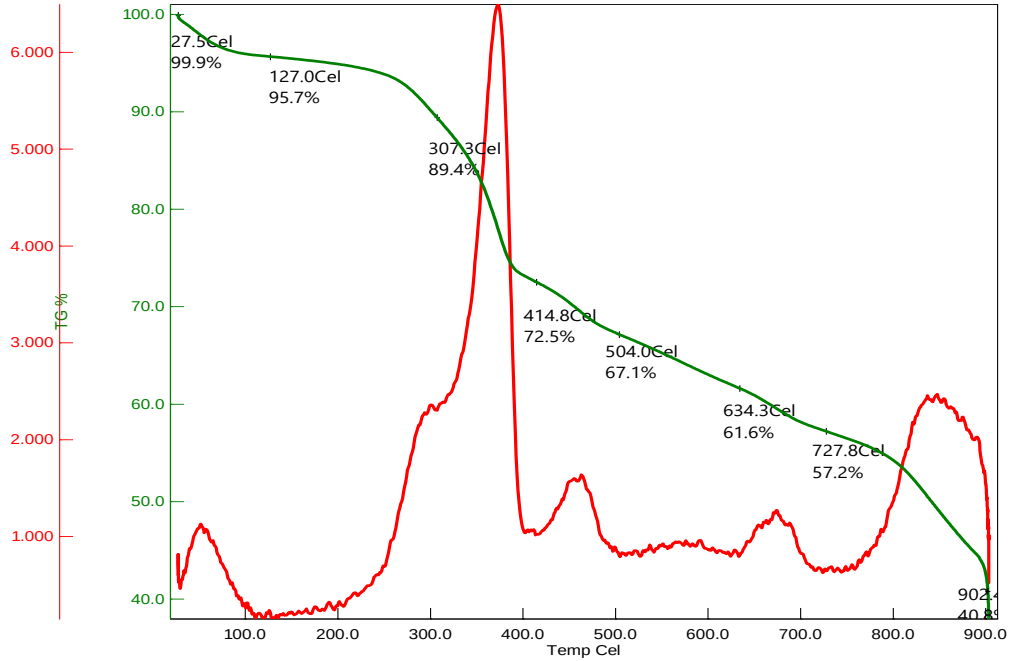
Grafiklere bakıldığında uçucu kül karışımları için %10 oranında bozunma sıcaklığının 500°C mertebesinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklık değerinden sonra sıcaklık arttıkça hızlı bir kütle kaybı gözlemlenmiştir.

125°C 30MPa – kürlemesiz numunesi TGA açısından en iyi değerleri göstermiştir. Uçucu kül karışımları için TGA testleri açısından kürlemenin etkisi görülmemiştir.

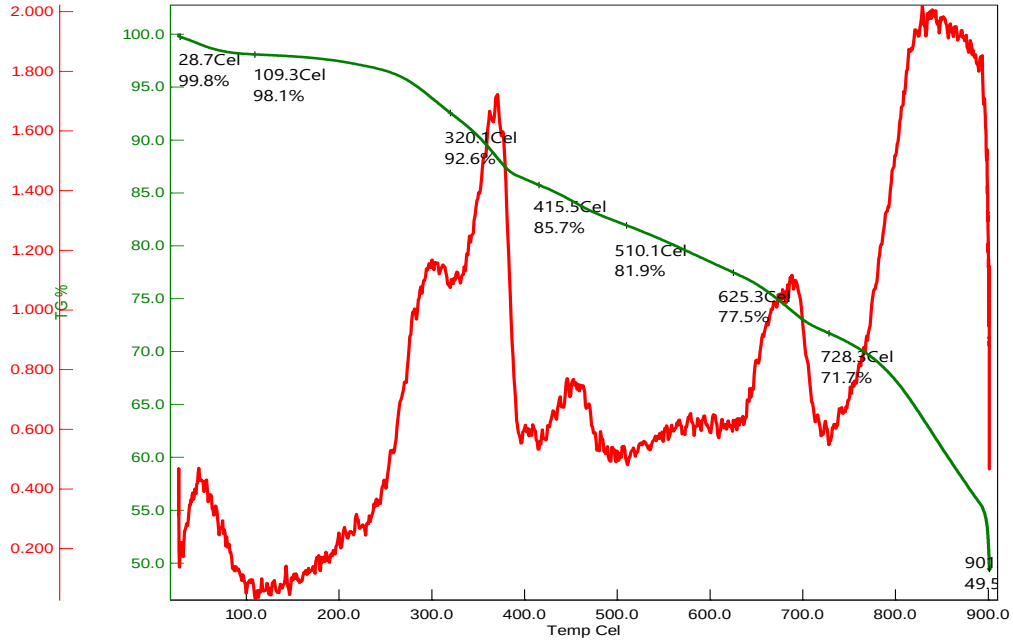
Uçucu kül karışımları için aşınma-sürtünme testlerinde ticari balataya en yakın sonuçları gösteren “180°C – 30MPa – kürlemesiz” numunesi %5 ağırlık kaybı bozunmasını 400°C’de göstermiş, 450°C dereceden sonra hızlı bir ağırlık kaybı göstermiştir. Ancak sürekli 450°C ve üstü çalışma sıcaklıkları mümkün olmadığından uçucu kül “180°C – 30 MPa – kürlemesiz” numunesi ağır yük kamyonları için iyi bir alternatif olduğu TGA testleri açısından da tespit edilmiştir.

5.3.3.4 Sisal Fiber Karışımı TGA Testleri

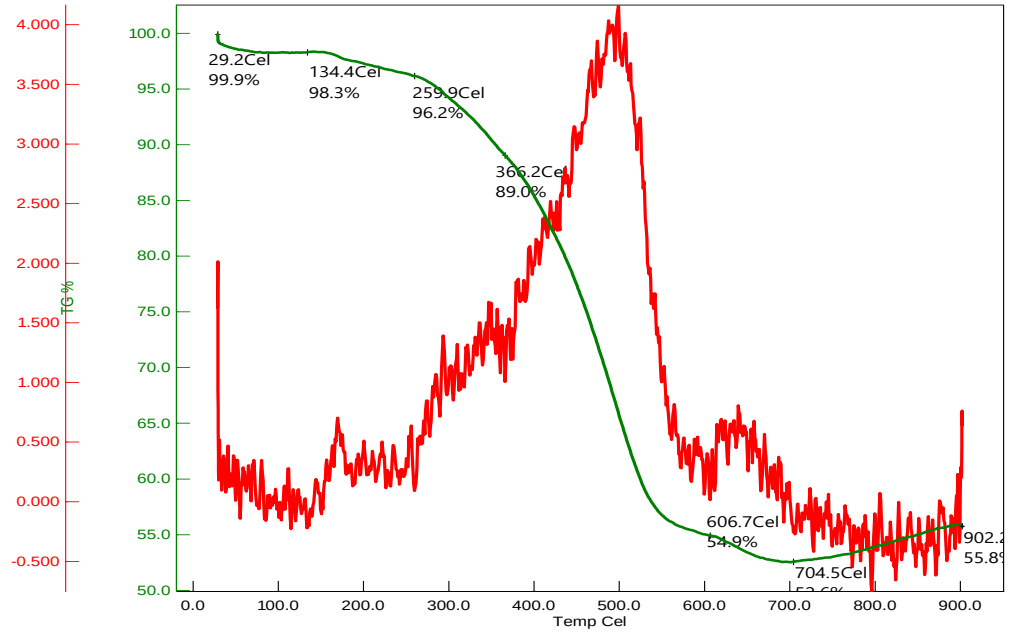
Sisal fiber karışımları için TGA test sonuçları bu bölümdeki Şekil 5.44, Şekil 5.45 ve Şekil 5.46 no.lu grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 5.44 TGA – Sisal 180°C 25MPa – Kürlenmesiz

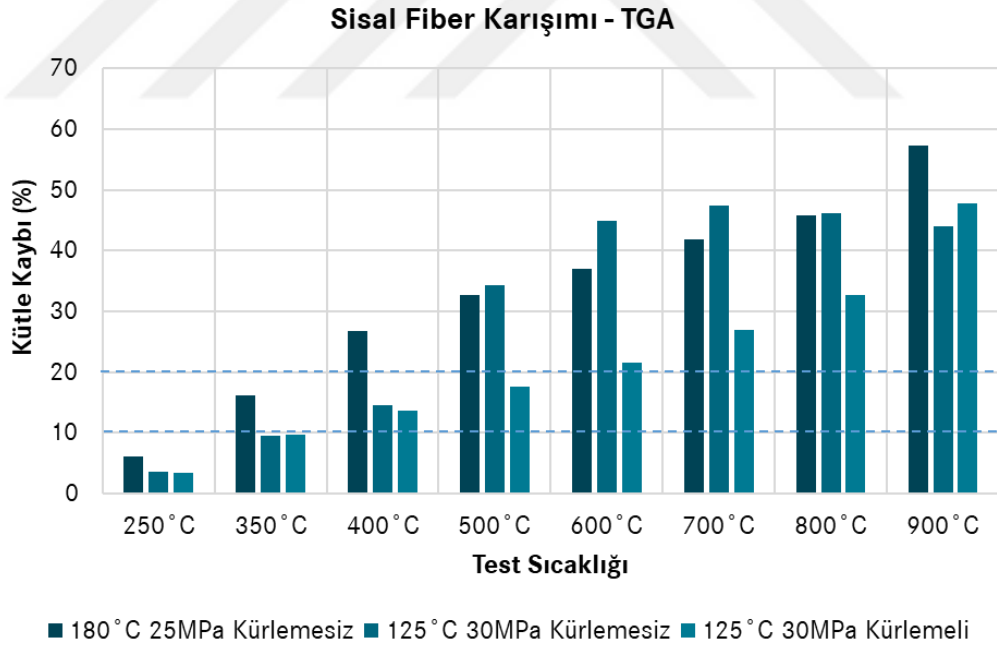


Şekil 5.45 TGA – Sisal 125°C 30MPa – Kürlemeli



Şekil 5.46 TGA – Sisal 125°C 30MPa – Kürlemesiz

Bu sonuçlar karşılaştırma amacıyla Şekil 5.47’deki grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 5.47 Sisal Karışımları – TGA Eğrileri Karşılaştırması

Grafiklere bakıldığında sisal fiber karışımları için sisal organik karışımın etkisi görülerek %10 oranında bozunma sıcaklığının 350°C mertebesinde olduğu tespit

edilmiştir. Bu sıcaklık değerinden sonra sıcaklık arttıkça hızlı bir kütle kaybı gözlemlenmiştir. İçeriğindeki reçine, sisal gibi bağlayıcı malzemeler nedeniyle yüksek sıcaklıklarda kütle kaybına uğramıştır. Sisal karışımlarda kütle kaybı sıcaklığını artırmış, ağır yük kamyonları için kabul edilebilir seviyelere çıkarmıştır.

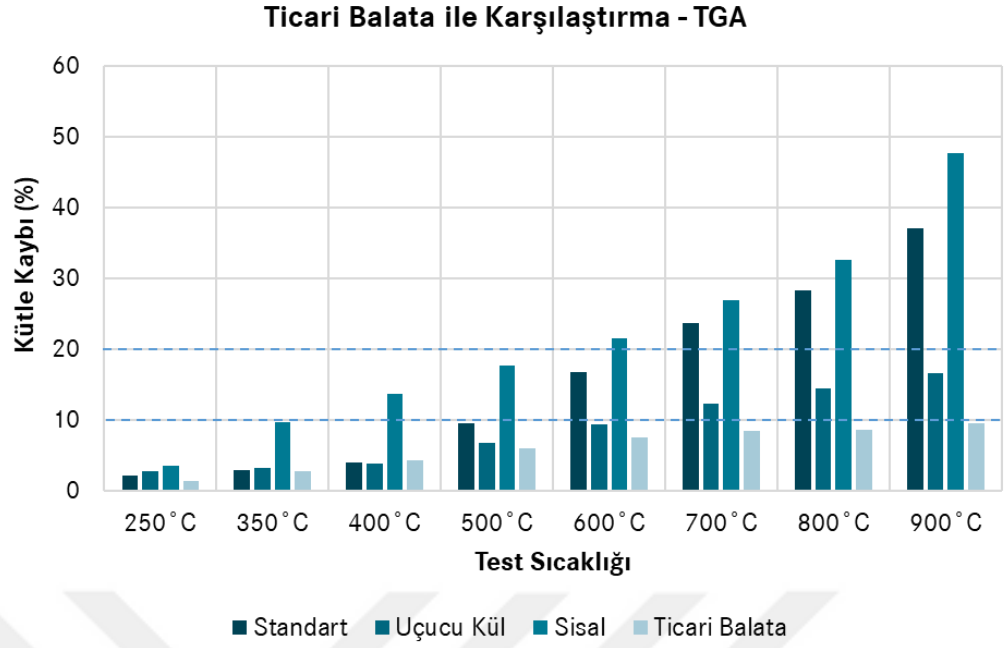
5.3.3.5 TGA Testleri Genel Sonuçları

Bu kısımda öncelikle her üç gruptan en iyi performansı gösteren numuneler ve ticari balataya ait % kütle kayıpları sayısal olarak Tablo 5.17’de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 TGA Kütle Kaybına Göre % Kütle Kayıpları

Numune	250°C	350°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C
Standart (180°C-30MPa kürlemesiz)	2,1	2,9	4,0	9,5	16,8	23,8	28,3	37,1
Uçucu Kül (125°C-30MPa kürlemesiz)	2,8	3,3	3,8	6,8	9,4	12,4	14,5	16,6
Sisal Fiber (125°C-30MPa kürlemesiz)	3,5	9,7	13,7	17,7	21,5	27,0	32,7	47,8
Ticari Balata	1,4	2,8	4,4	6,0	7,5	8,5	8,7	9,6

Sonrasında karşılaştırma amacıyla bu tablo Şekil 5.48’te grafiğe aktarılarak ticari balata ile kıyaslamalı sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 5.48 Ticari Balata ile Karşılaştırmalı TGA Eğrileri

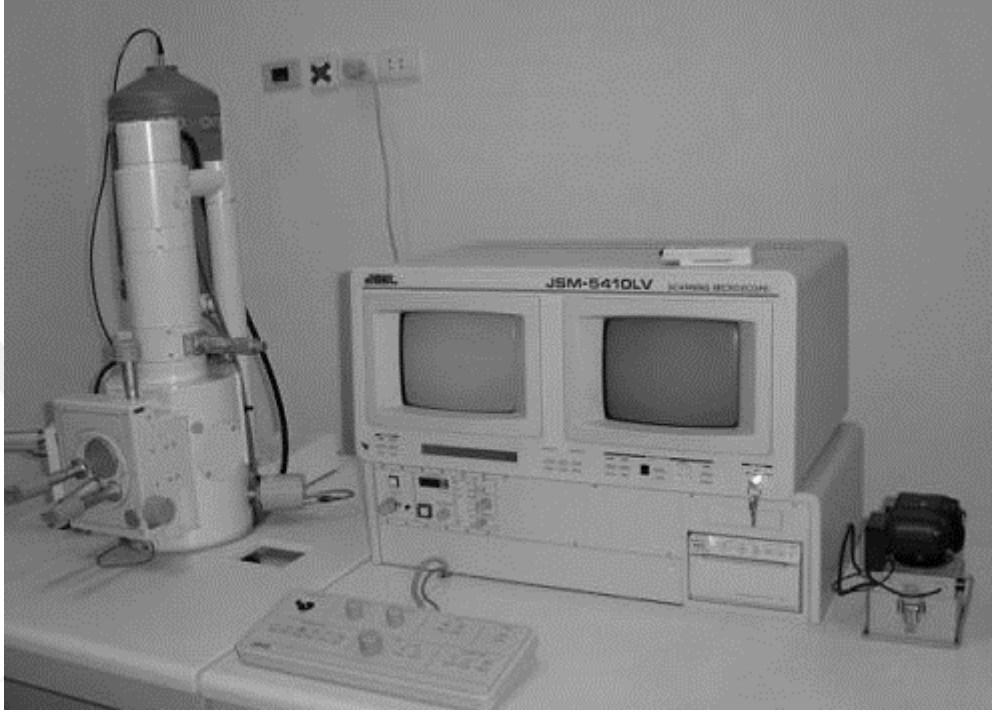
Üretilen numuneler ve ticari balata TGA açısından kıyaslandığında sisal fiber numunelerinin belirgin bir şekilde daha hızlı bozunmaya başladığı gözlemlenmiştir. Standart, uçucu kül ve ticari balata yaklaşık 500°C'ye kadara benzer kütle kayıplarını göstermiştir. Bu sıcaklık derecesi ağır yük kamyonları balata çalışma sıcaklığının üzerindedir. Bundan sonra standart karışımda bozunma daha hızlı gerçekleşmiş, uçucu kül ve ticari balata benzer değerler göstermiştir. Ticari balata en yüksek sıcaklık derecesi 900°C'de %10 kütle kaybının altında kalmıştır. Uçucu kül numunesi ise bu %10 kaybını 700°C'de sağlamıştır.

Fren balataları aşırı ısındıklarında özellikle diske temas eden yüzeylerde reçine yanarak bağlantı zayıflamakta yüzeyden başlayan bir aşınma oluşmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıkta bağlayıcı ve sentetik malzemeler kütle kaybına uğramaktadır, bu durum frenleme sırasında aşırı ısınma olduğunda meydana gelmektedir (A.Topuz ve P.Topuz, 2018).

Tez kapsamında üretilen tüm balata örnekleri TGA testleri açısından maximum kullanım sıcaklığı olan 350°C için uygun değerleri sağlamıştır.

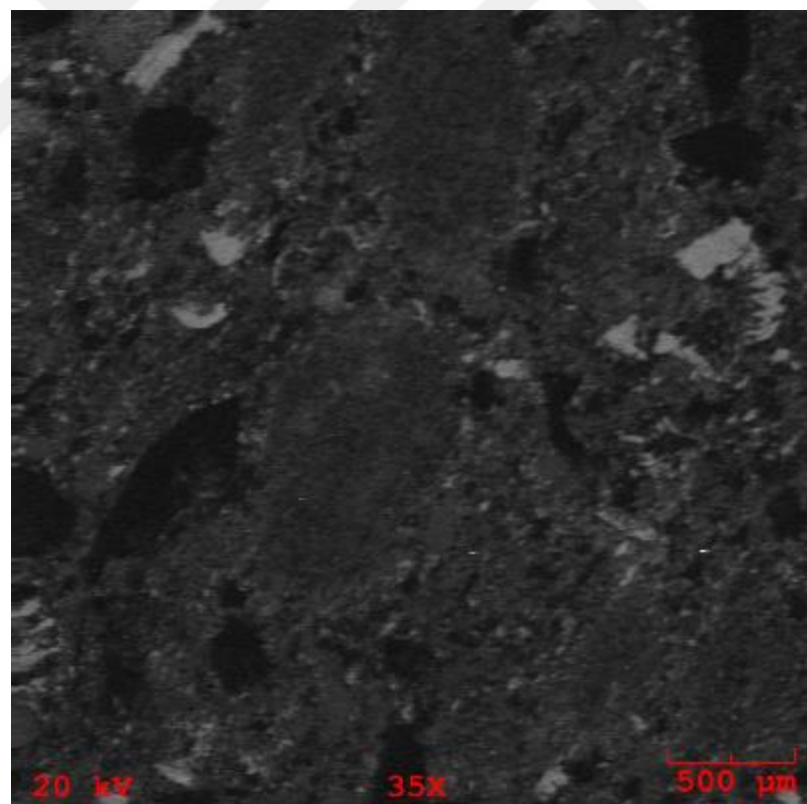
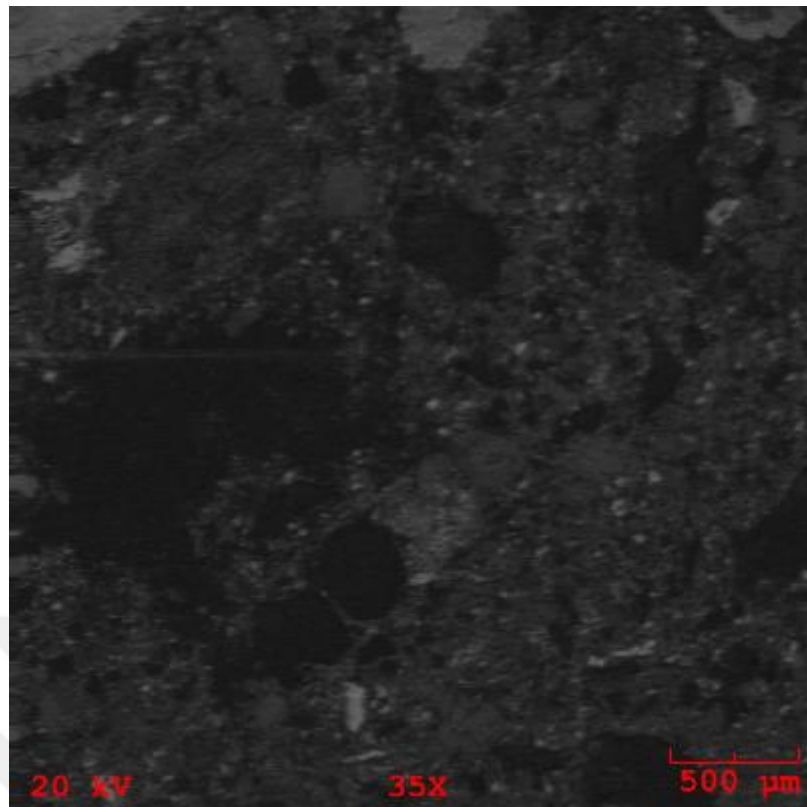
5.3.4 SEM Analizi

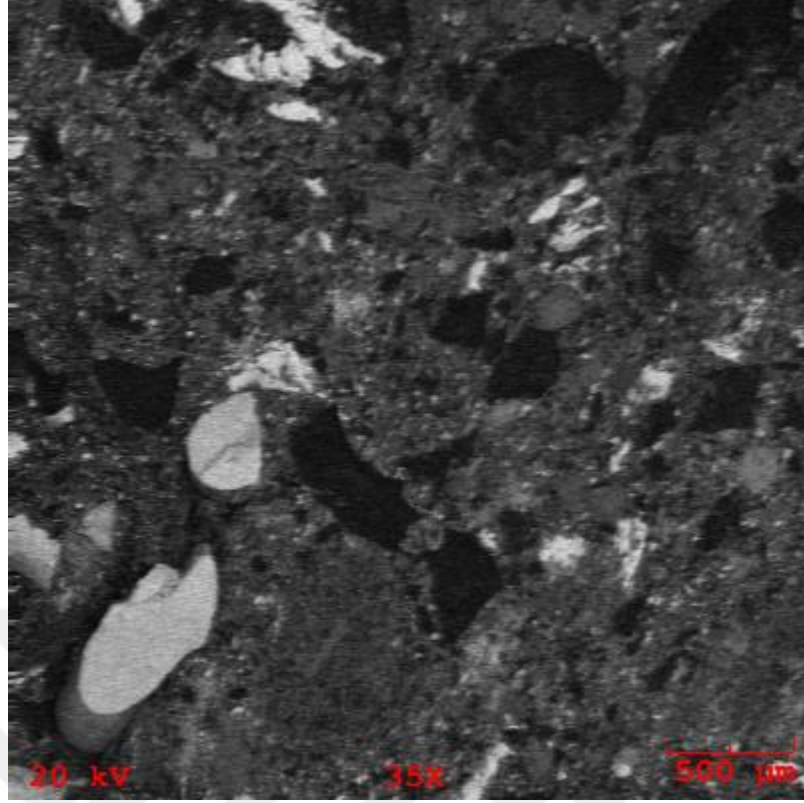
Aşınma ve sürtünme testi uygulanan numuneler için Şekil 5.49’de görülen, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Bölümü’nde bulunan taramalı elektron mikroskobu ile aşınan ve normal yüzeyleri olmak üzere görüntüler alınmıştır.



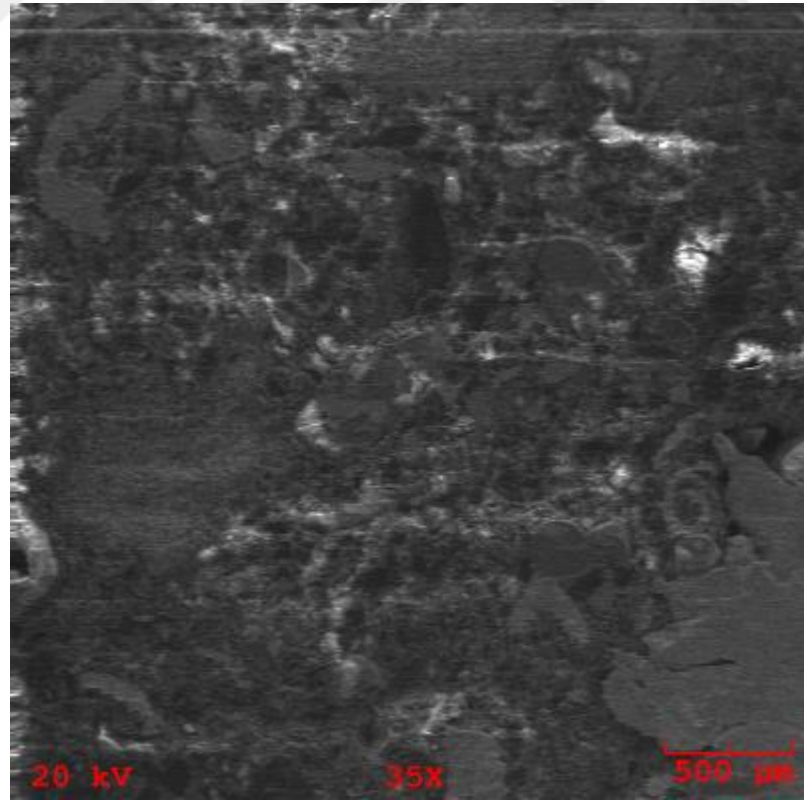
Şekil 5.49 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

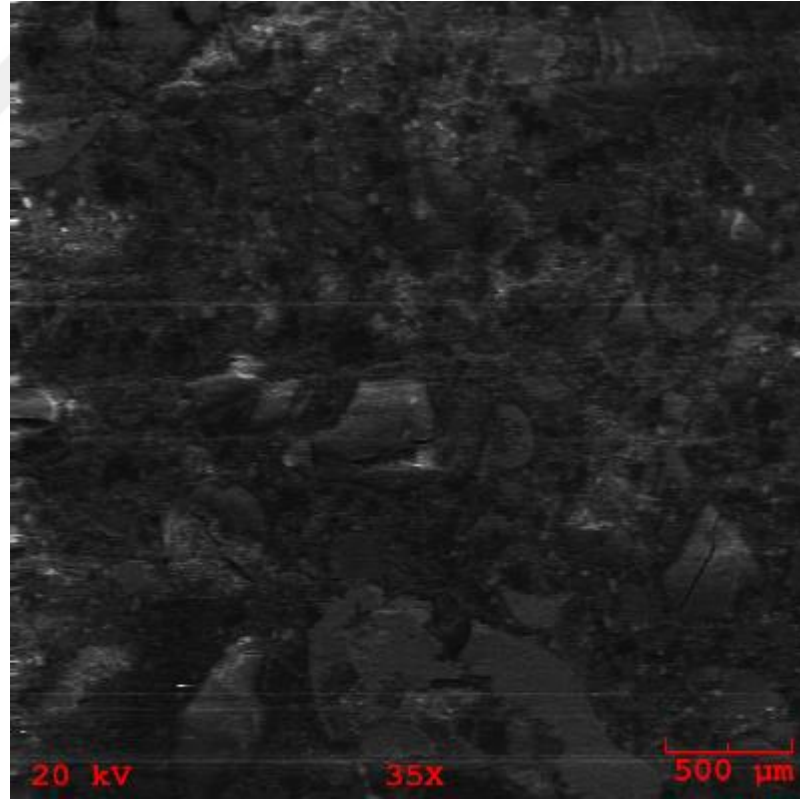
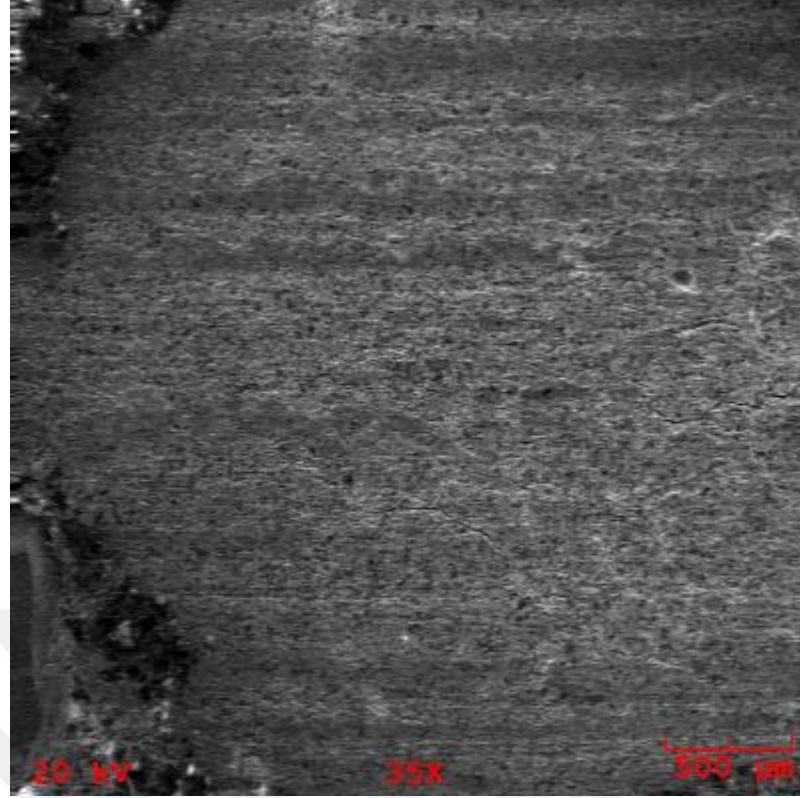
Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüksek enerjili elektronlar numune ile etkileşerek elektron ve foton sinyalleri oluşturur. Farklı açılarda saçılan elektronlar, dedektör tarafından toplanır ve toplanan sinyallerin mikroskop yazılımı ile işlenmesi sonucunda görüntüler elde edilir. İkincil elektronlar, malzeme topografisi ve geri saçılan elektronlar, atom numarasına ve kontrasta bağlı atomik kompozisyon hakkında bilgi vermektedir. Periyodik cetvele göre C atom numarası düşük olanlar koyu, yüksek olanlar açık renk ile gösterilmektedir.



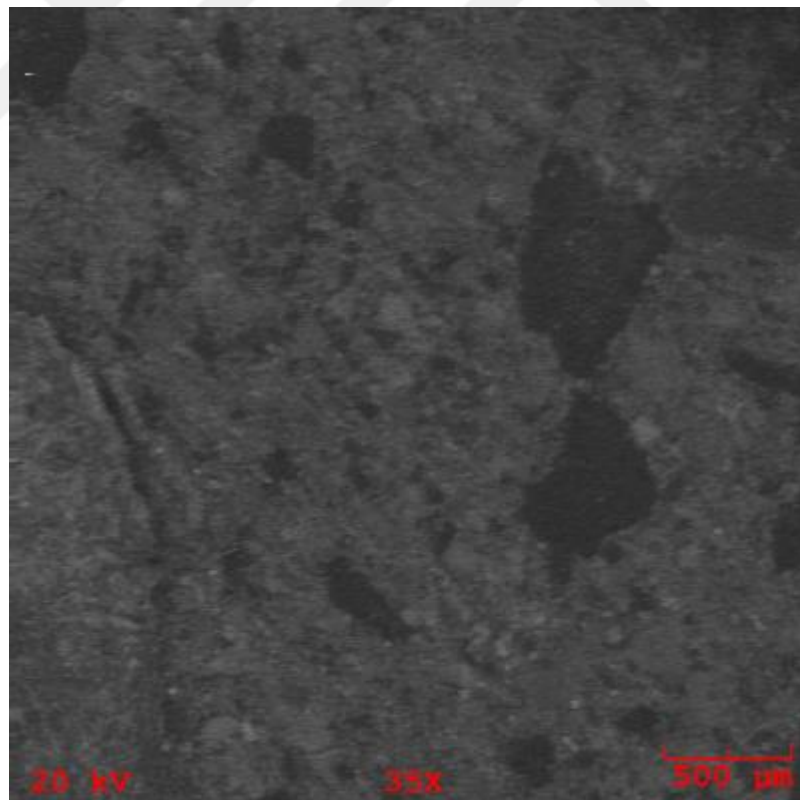
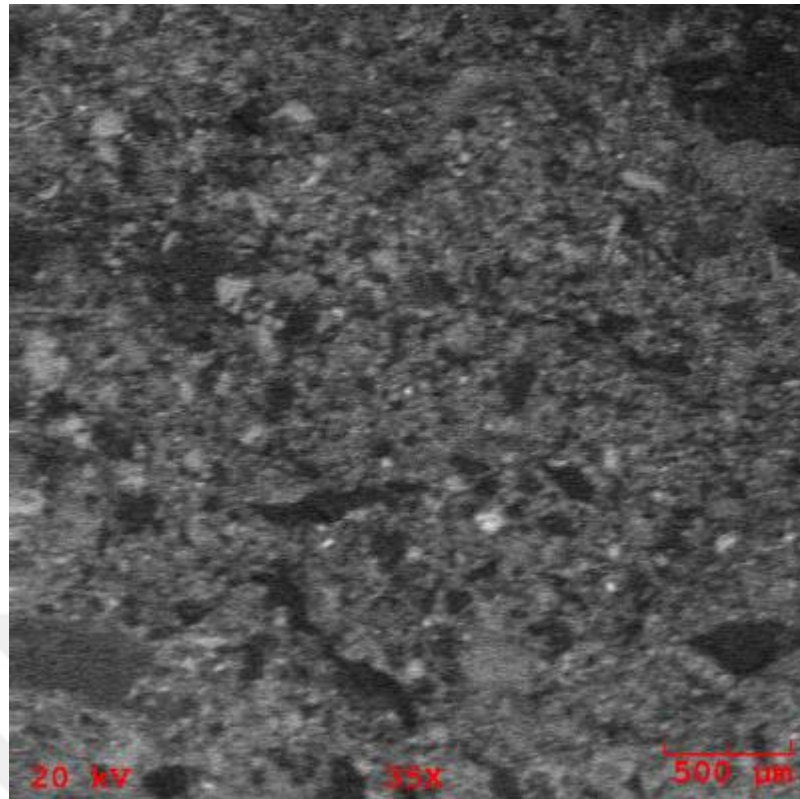


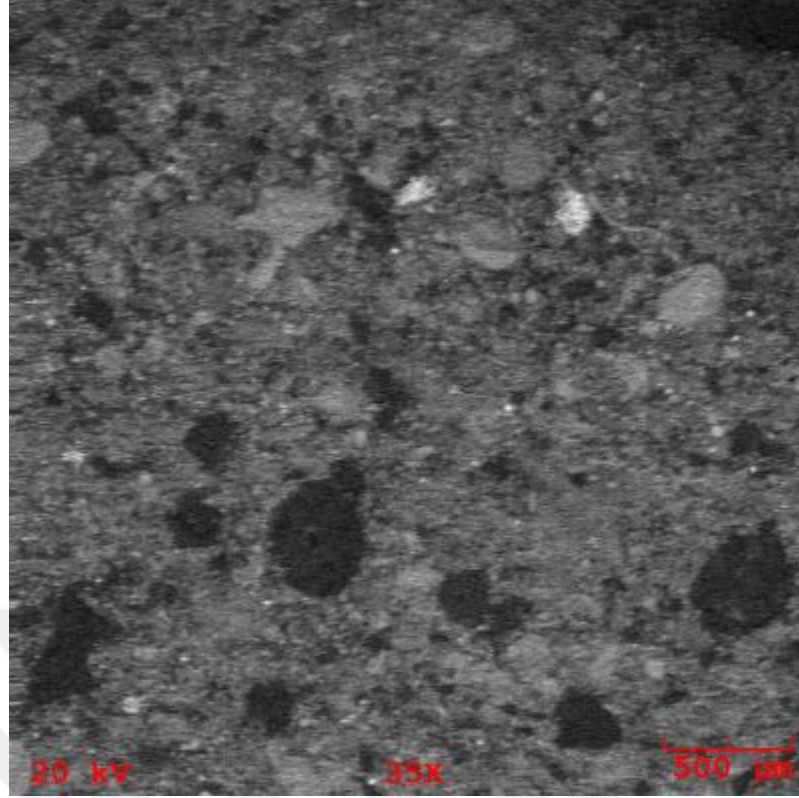
Şekil 5.50 Standart Numune Yüzey SEM görüntüleri



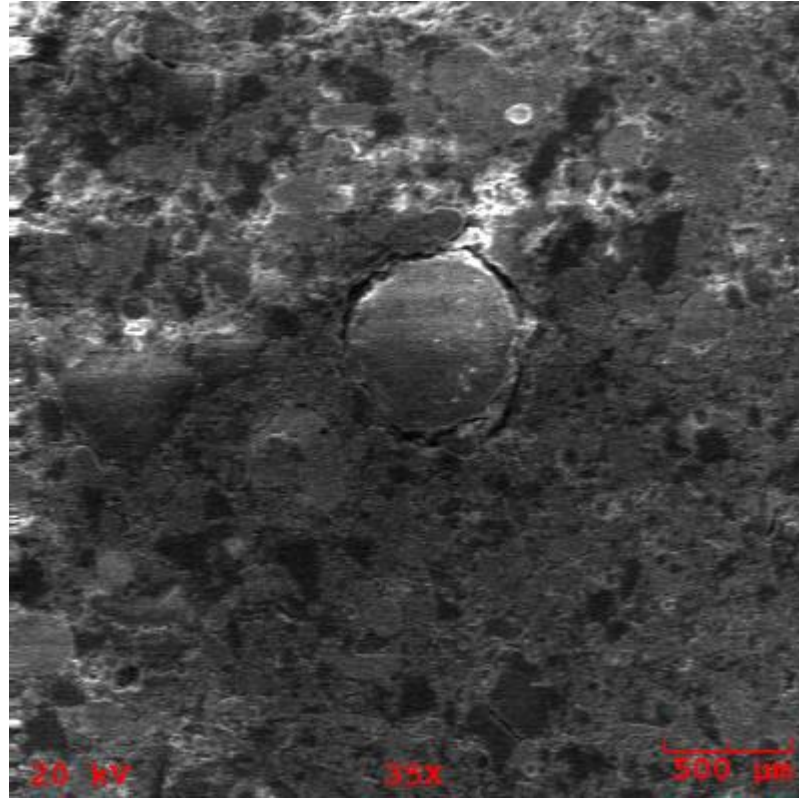


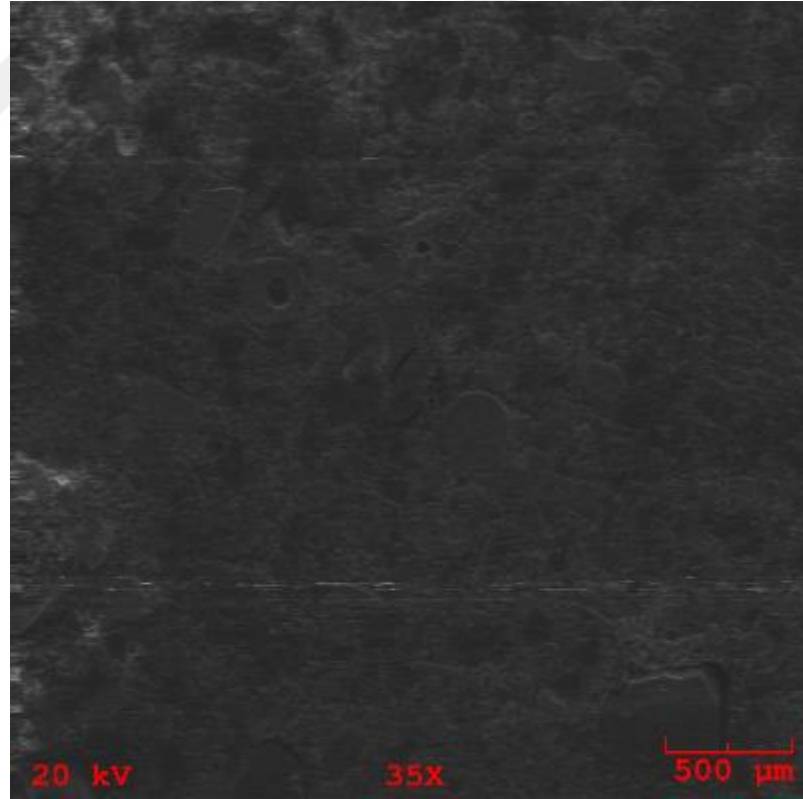
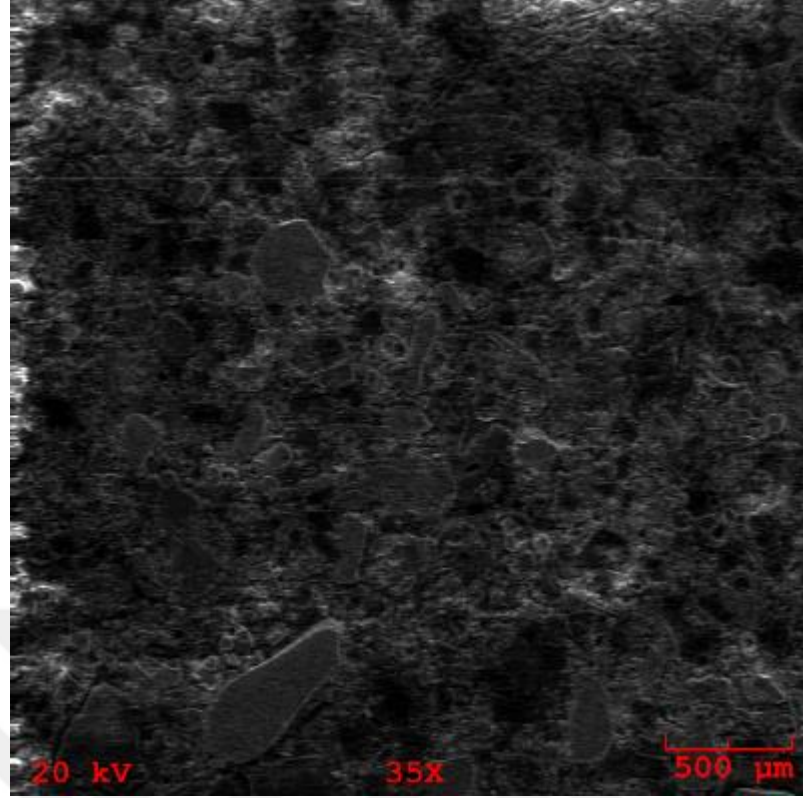
Şekil 5.51 Standart Numune Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri



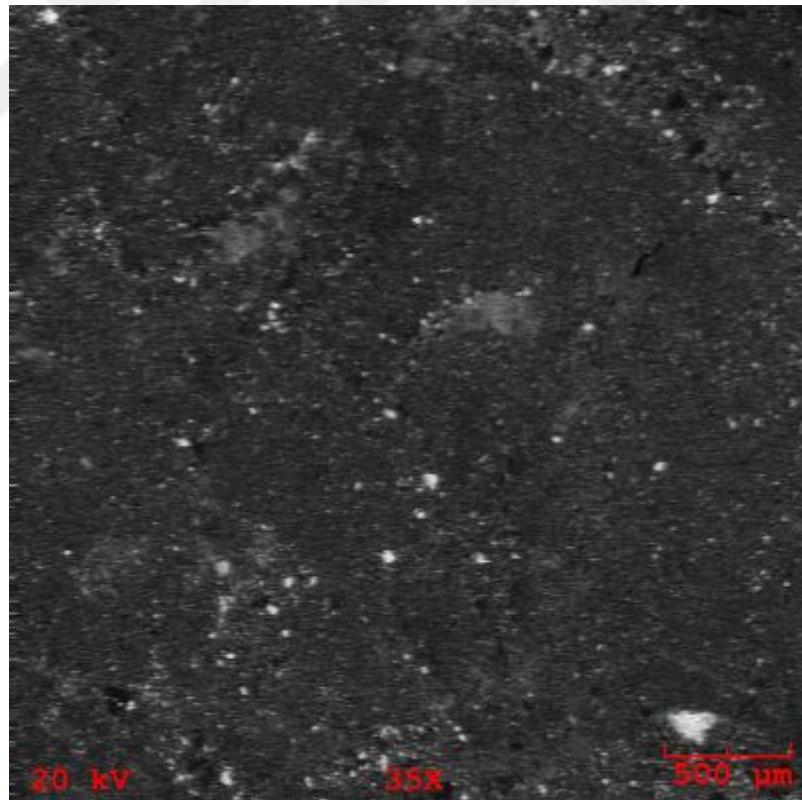
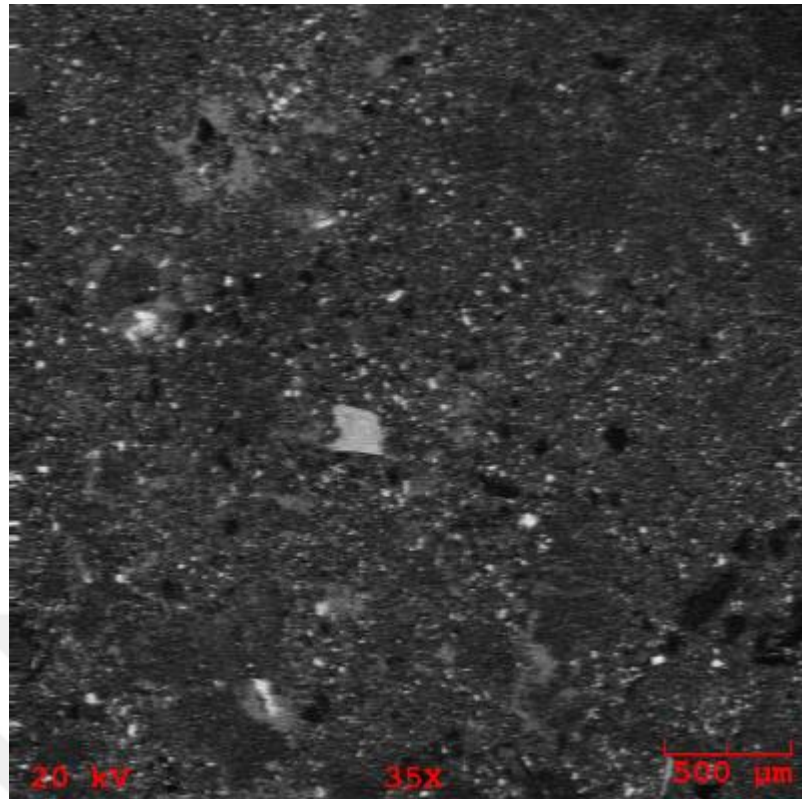


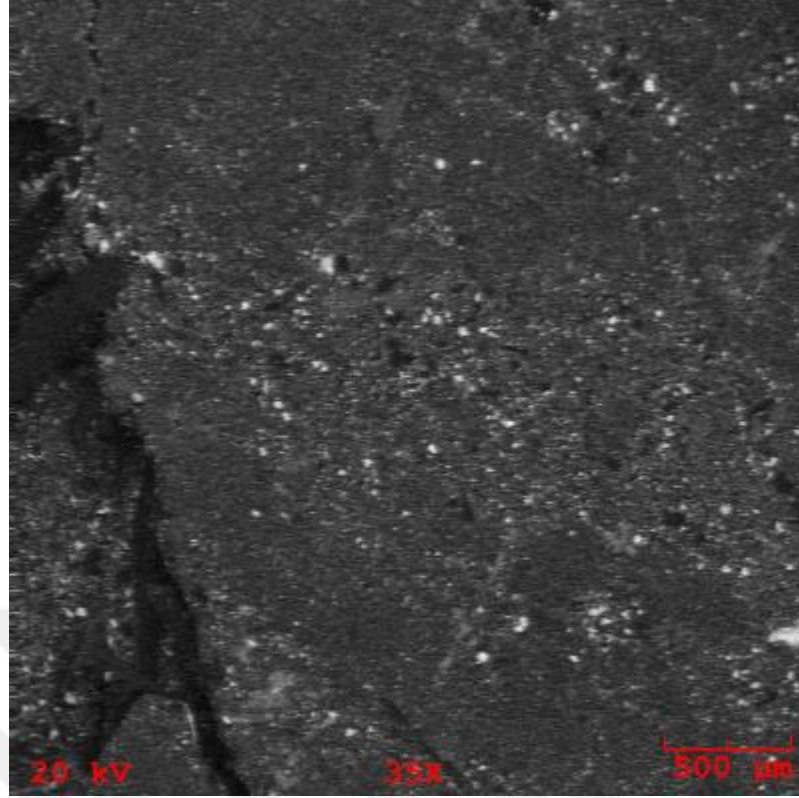
Şekil 5.52 Uçucu Kül Numunesi Yüzey SEM görüntüleri



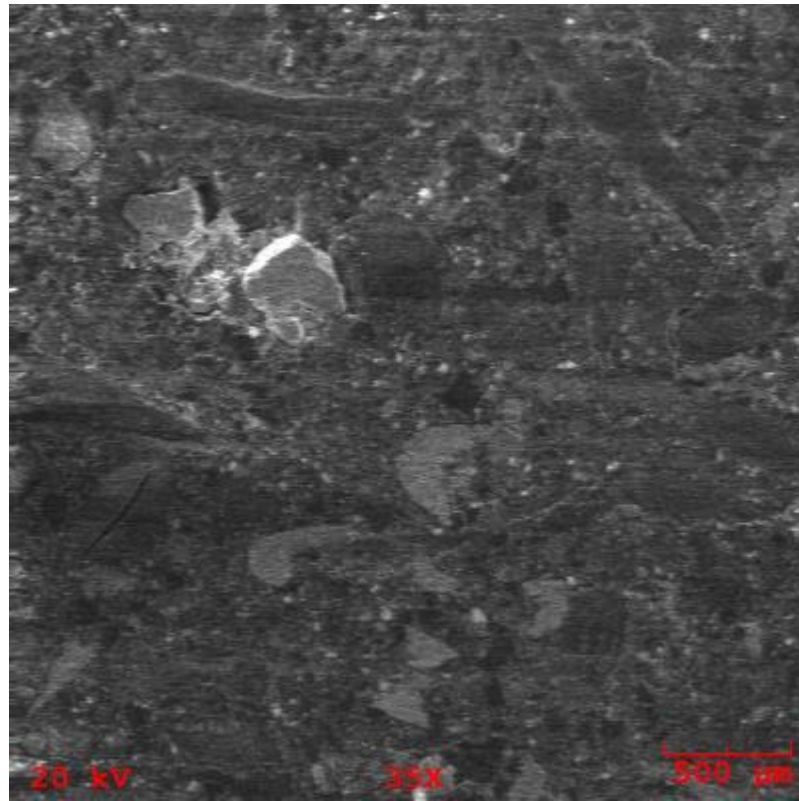


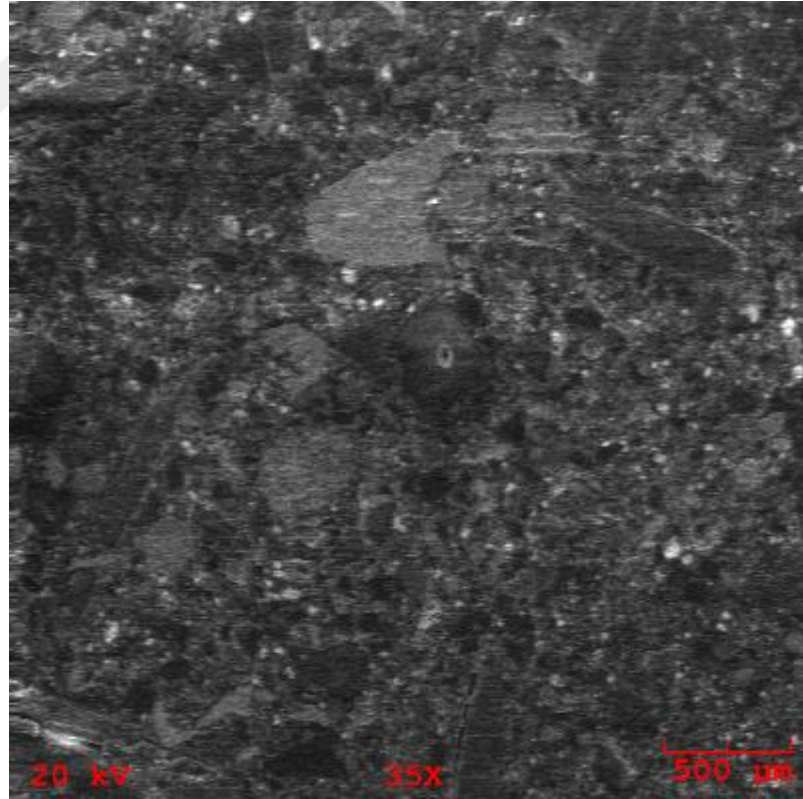
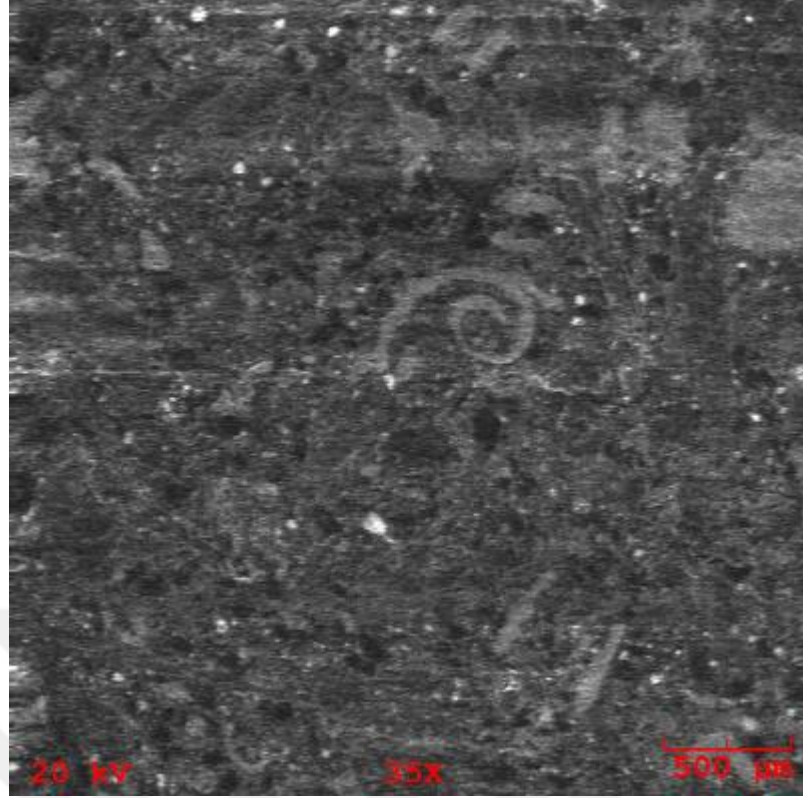
Şekil 5.53 Uçucu Kül Numunesi Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri



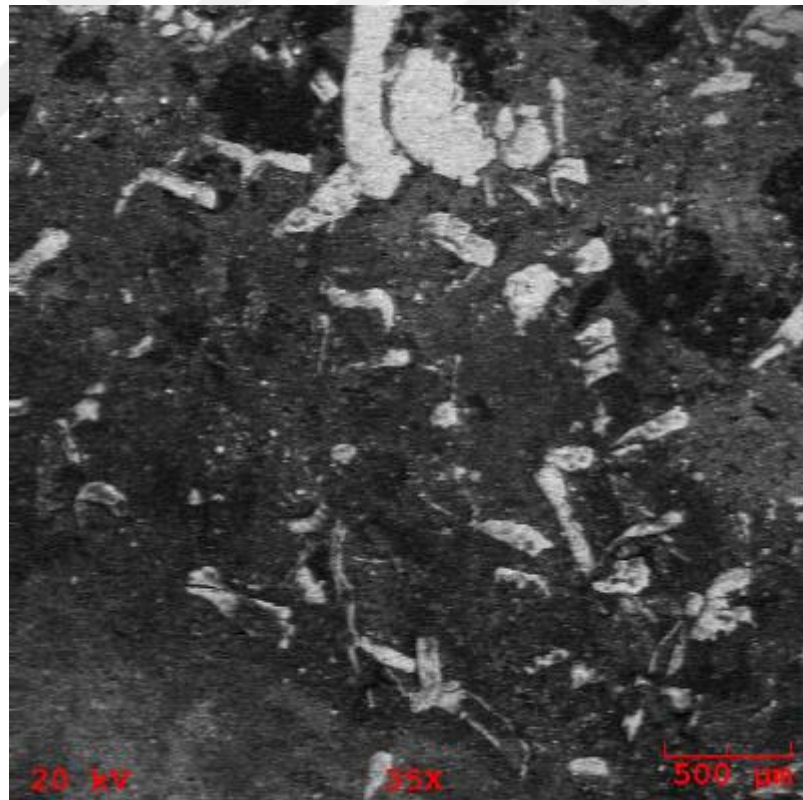
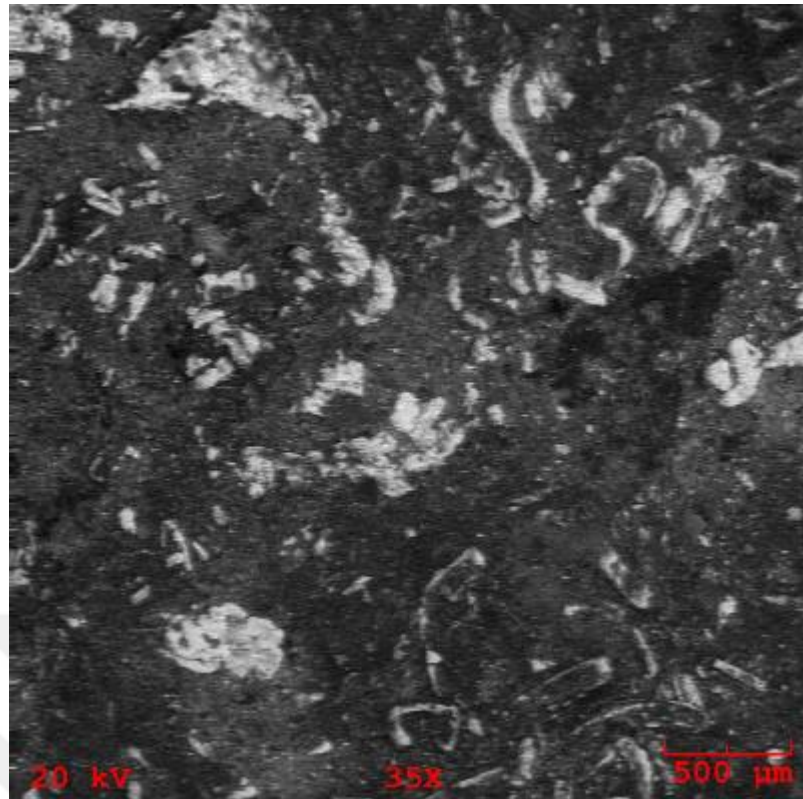


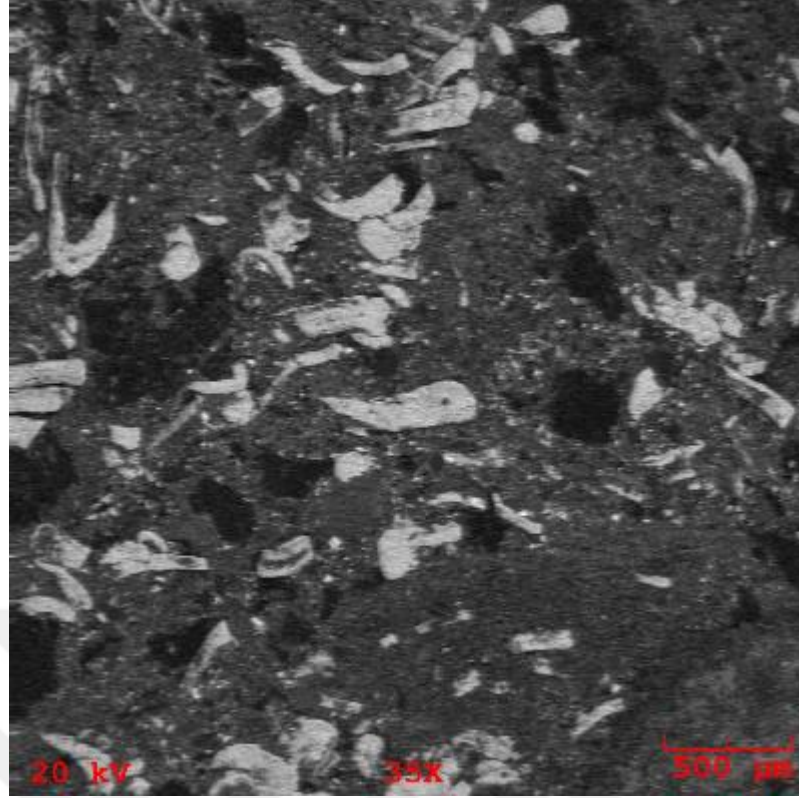
Şekil 5.54 Sisal Fiber Numunesi Yüzey SEM görüntüleri



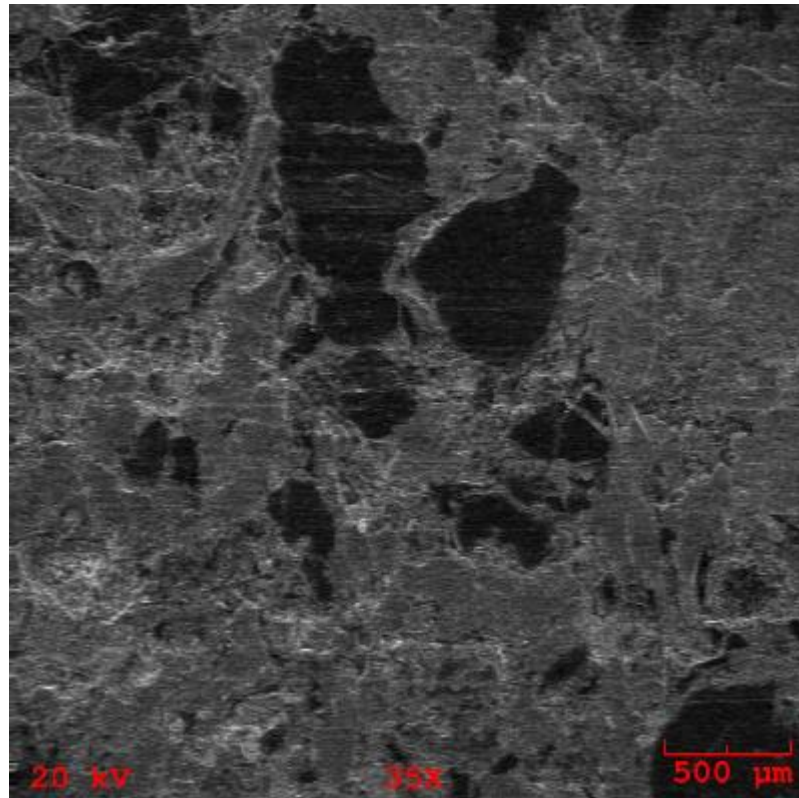


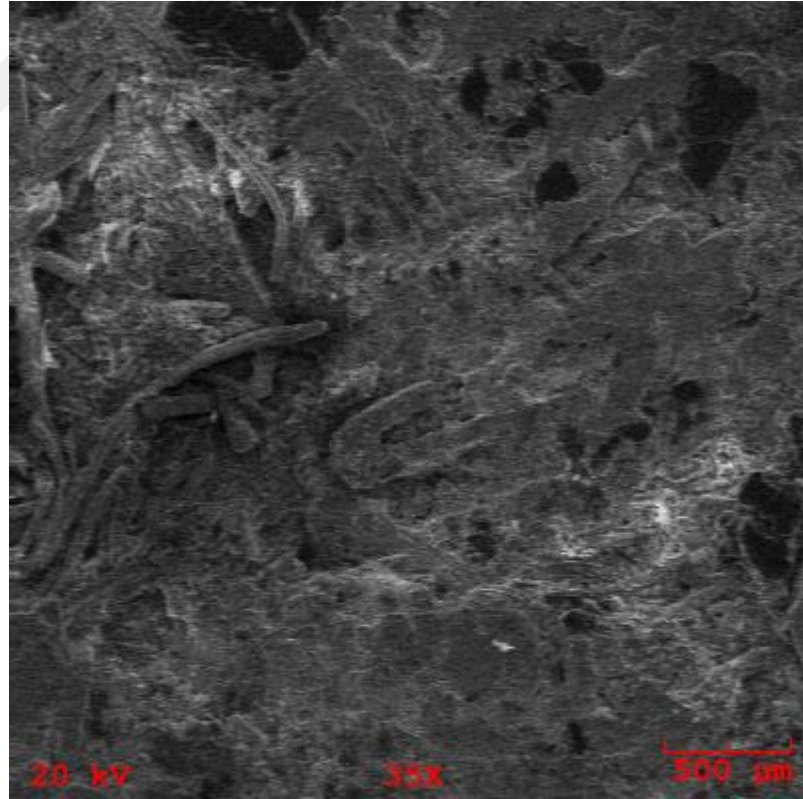
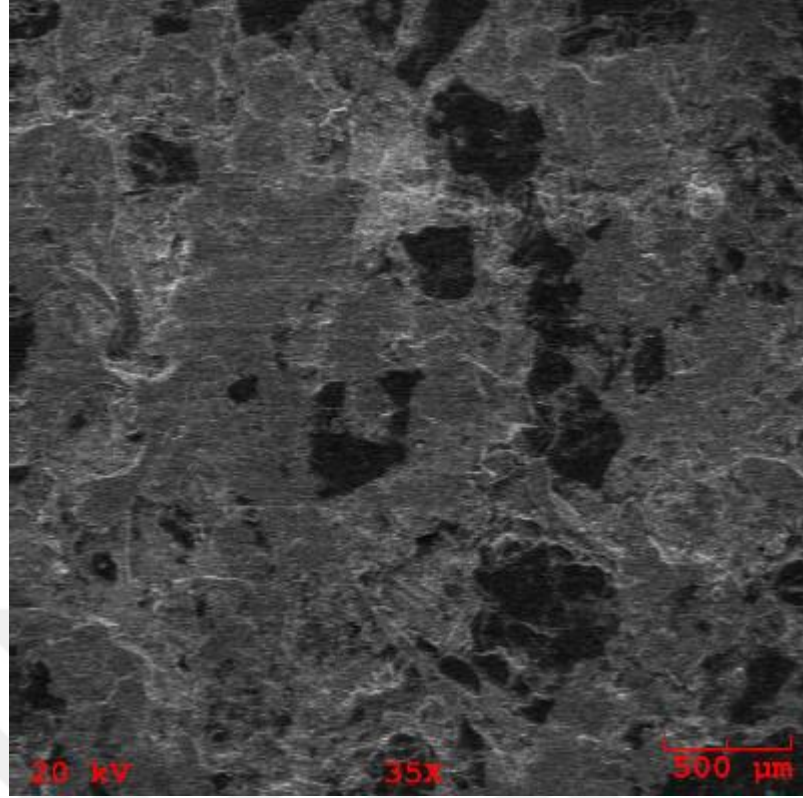
Şekil 5.55 Sisal Fiber Numunesi Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri





Şekil 5.56 Ticari Balata Yüzey SEM görüntüleri





Şekil 5.57 Ticari Balata Aşınma Yüzeyi SEM görüntüleri

Yüzeyden kopmuş elyaflar karşı yüzeyin pürüzlülüğünü artırmakta ve dolayısıyla numunede daha fazla aşınma meydana getirmektedir. Aşınma yüzeyleri benzer özellikler göstermekle beraber uçucu kül için nispeten daha geniş temas yüzeylerinin varlığı daha yüksek sürtünme katsayısının çıkmasına sebep olmuştur. Ticari balatada görülen kopmuş ve kırılmış elyaflar da aşınma oranının yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Tüm numunelere ait yüzey görüntüleri incelendiğinde yapılarında gözenek oluşmadığı gözlemlenmiştir.

5.3.5 İç Kesme Dayanımı

Aşınma ve sürtünme testi tamamlanan numunelerin TS 9073 standartına göre iç kesme mukavemeti ölçülmüştür. Ölçüm Yıldız Teknik Üniversitesi'nde bulunan ve Şekil 5.58'de görülen deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.58 İç Kesme Dayanımı Deney Cihazı

İç kesme mukavemeti τ , (N/mm²) aşağıdaki formüle göre hesaplanmış ve Tablo 5.18'e aktarılmıştır.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

A= Kesmeye maruz kesit alanı (mm²)

F= Kesme kuvveti (N)

Deney cihazında kesilme anındaki yükü gösteren yük kaydedici vardır. Balata numunesine devamlı olarak artan yük uygulanmış, kesme oluncaya kadar devam edilmiş ve kesme kuvveti okunmuştur.

Tablo 5.18 İç Kesme Dayanımı Değerleri

No	Karışım	Sertlik (HRP)	Yoğunluk (g/cm ³)	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	Kuvvet (N)	İç Kesme Dayanımı (N/mm ²)
1	Standart	87,5	2,27	4,9	8	4169,89	33,86
2	Standart	74,6	2,23	4,8	8	4585,98	38,01
3	Uçucu Kül	87,9	2,08	6,6	8	4421,33	26,65
4	Uçucu Kül	79,6	2,08	6,49	8	4604,03	28,23
5	Sisal	72,3	2	6,19	8	7214,26	46,37
6	Sisal	74,9	2	6,14	8	8262	53,54
7	Ticari		3,02	4,93	8	2011,64	16,24

Standart ve uçucu kül için sertlik değeri yüksek olan numunelerde iç kesme dayanımı daha düşük çıkmıştır. Sisal için her iki numunede sertlik değerleri birbirine yakındır. Ticari balata iç kesme dayanımı açısından diğer numuneler ile karşılaştırıldığında en düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak içeriğinde takviye olarak kullanılan yoğunluğu düşük bileşenlerin oranı olabilir.

5.3.6 Basma Deneyi

Basma deneyi Arel Üniversitesi laboratuvarında bulunan universal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Cihaz PC kumandalı olup, yük ve deformasyon değerleri okunabilir şekilde imal edilmiştir. Çeşitli malzemelerin ömür ve mukavemet tahininin belirlenmesinde basma deneyi yapılabilmektedir .



Şekil 5.59 Basma Deneyi Test Cihazı

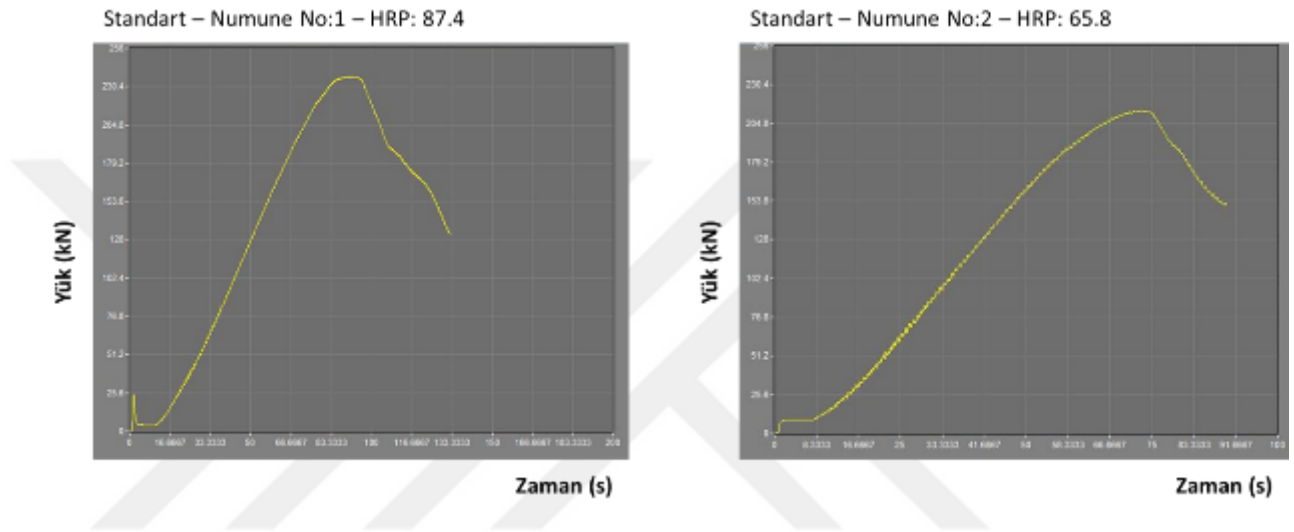
Deney standart, uçucu kül ve sisal olmak üzere her gruptan sertlik değeri en yüksek ve en düşük olanlara uygulanmıştır. Buna göre elde edilen basma dayanımı değerleri Tablo 5.19’de verilmiştir.

Tablo 5.19 Basma Dayanımı Değerleri

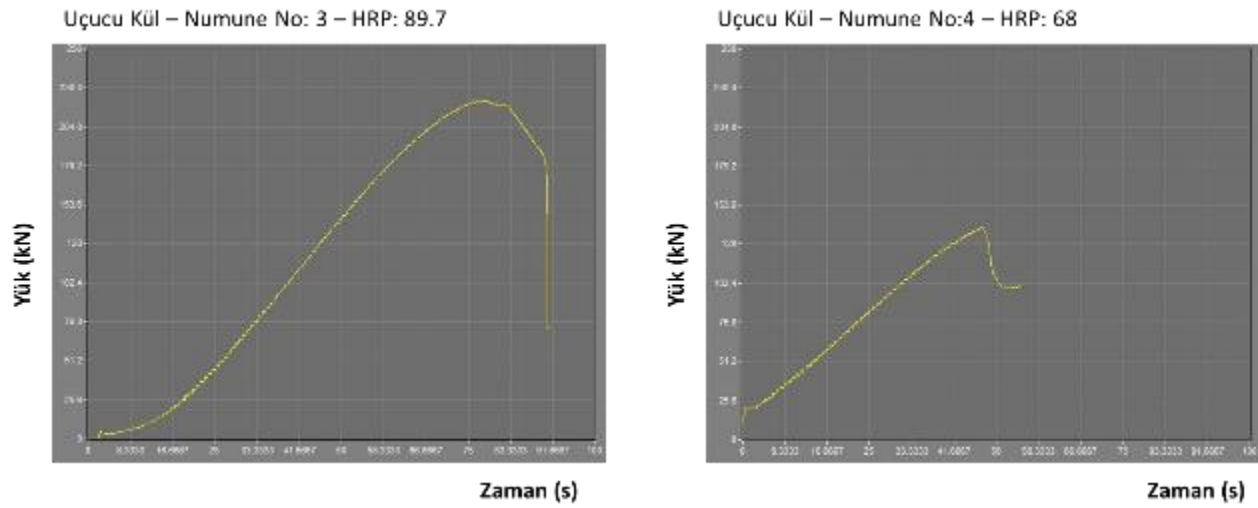
No	Karışım	Sertlik (HRP)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çap (mm)	Kuvvet (kN)	Basma Dayanımı (N/mm ²)
1	Standart	87,4	2,35	40	236	187,8
2	Standart	65,8	2,37	40	210	167
3	Uçucu Kül	89,7	1,94	40	220	175

4	Uçucu Kül	68	1,90	40	136	108
5	Sisal	82,7	2,29	40	206	164
6	Sisal	62,7	2,09	40	192	152

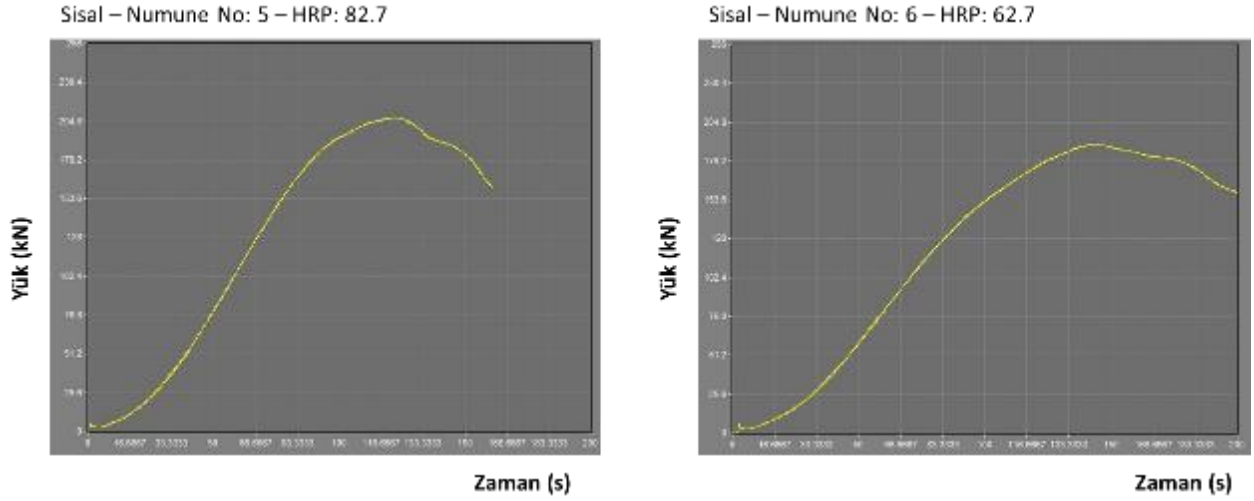
Basma deneyi esnasında oluşan yük – zaman grafikleri Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62’de gösterilmiştir.



Şekil 5.60 Standart numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri



Şekil 5.61 Uçucu kül numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri



Şekil 5.62 Sisal numune – Basma deneyi yük/zaman grafikleri

5.3.7 Dinamometre Testleri

Şu aşamaya kadar olan testlerde en iyi sonuçları veren “uçucu kül - 180°C – 30 MPa – kürlemesiz” numunesi gerçek üretim şartlarında test edilmiştir. Bu testler Kale Balata firmasında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numune öncelikle Şekil 5.63’deki karışım mikserinde karıştırılarak homojen bir karışım sağlanmıştır.



Şekil 5.63 Karışım Mikseri

Hazırlanan karışım Şekil 5.64’deki numune pres cihazında 180°C – 30 MPa olarak 10 dakikada preslenmiştir. Presleme prosesinde 2 kez hava aldırılarak şişme oluşumu engellenmiştir.



Şekil 5.64 Numune Pres Cihazı

Daha sonrasında balatalar Şekil 5.65’deki numune fırınında 180°C’de 2 saat kürlenmiş ve ardından taşlanarak test için hazır hale getirilmiştir. Balataların fırınlama sonrası sertlikleri 114 HRB olarak ölçülmüştür.

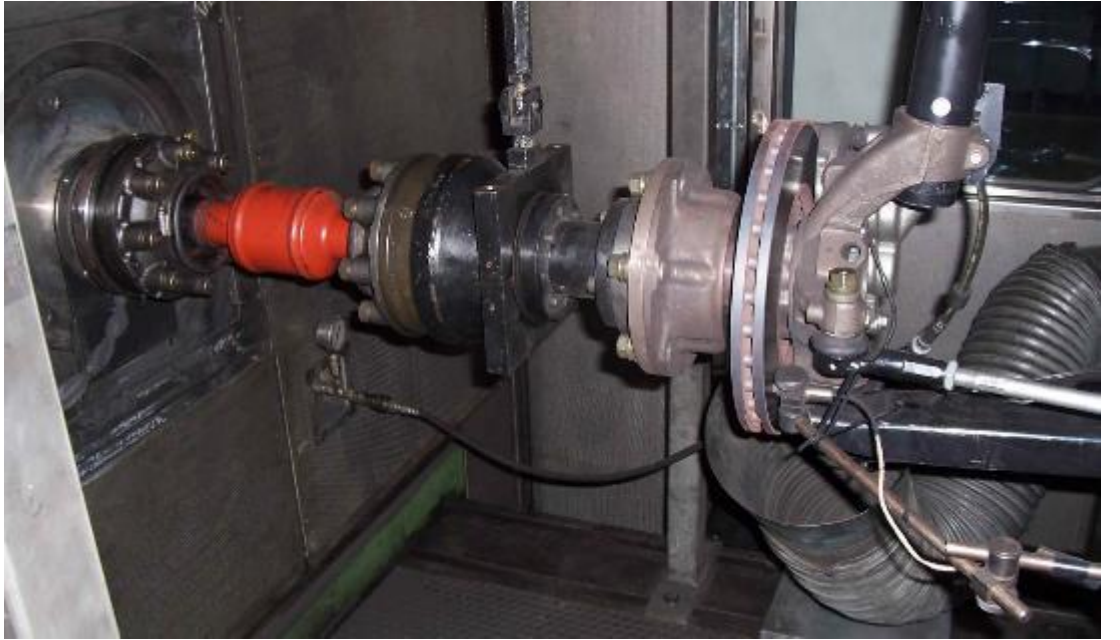


Şekil 5.65 Numune Hazırlama Fırını



Şekil 5.66 Balata Numuneleri

Bu numuneye alıştırma testlerinden sonra farklı sıcaklık ve hızlarda Şekil 5.67’de gösterilen dinamometre ile test edilmiştir.



Şekil 5.67 Dinamometre

Test sonuçları Tablo 5.20’ de belirtilmiştir. Sonuçlar aşınma-sürtünme test sonuçlarıyla kısmen fark gösterse de normal ve sıcak sürtünme katsayısı değerleri 0,25’in üzerinde tespit edilerek TS 555’e göre uygun olduğu tekrar görülmüştür.

Tablo 5.20 Dinamometre Sürtünme Katsayısı Sonuçları

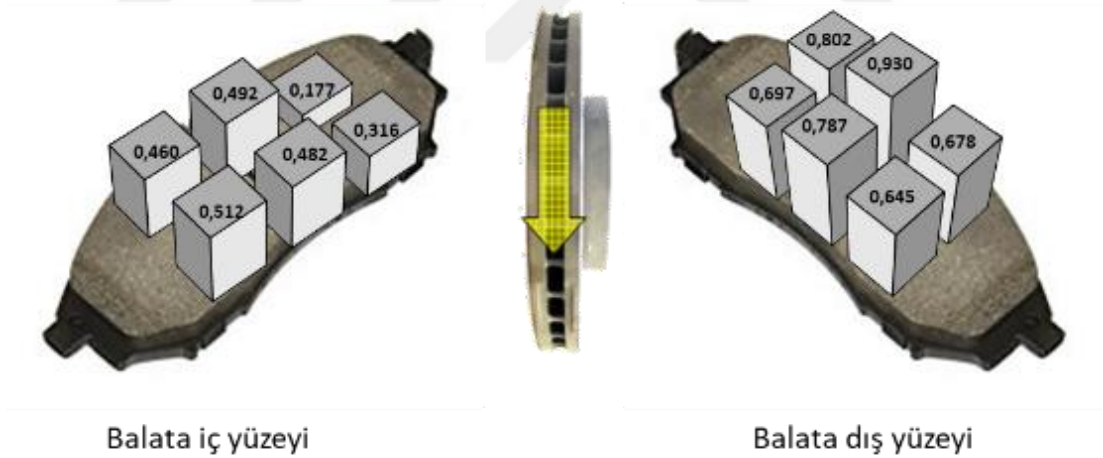
Test	Fren Sıcaklık Değeri (C°)	İlk Hız (km/h)	Son hız (km/h)	Basınç (bar)	Sürtünme katsayısı
100°C	100	40	20	8,5	0,302
	100	60	30	8,5	0,283
	100	80	40	8,5	0,245
	100	100	50	8,5	0,198
	100	120	80	8,5	0,178
200°C	200	40	50	8,5	0,365
	200	60	20	8,5	0,324
	200	80	30	8,5	0,243
	200	100	40	8,5	0,242
	200	120	50	8,5	0,222
300°C	300	40	80	8,5	0,277
	300	60	50	8,5	0,243
	300	80	20	8,5	0,185
	300	100	30	8,5	0,166
	300	120	40	8,5	0,249

Tablo 5.20’de sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında, aynı sıcaklık değerleri içerisinde hız arttıkça beklendiği gibi sürtünme katsayı azalmıştır. Bu değişimin %15’i geçmediği sınır 100°C için 80 km/h, 200°C ve 300°C için ise 60 km/h’tir. Aynı hız değerleri için test sıcaklığı arttıkça sürtünme katsayısında azalma beklentisine karşın 200°C’de elde edilen değerler 100°C’ye oranla daha yüksek gözlemlenmiştir.

Tablo 5.21’de ise ağırlık ve kalınlık değerlerindeki azalma miktarları ve oranları verilmiştir ve bu değerler Şekil 5.68’te balatanın iç ve dış yüzeyine ait bölgesel olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.21 Balata Aşınma Değerleri

Balata iç yüzeyi		Ağırlık (gr)	Kalınlık (mm)					
	Balata bölgesi		1	2	3	4	5	6
	Test öncesi	299,41	18,24	18,25	18,24	18,23	18,24	18,26
	Test sonrası	295,70	18,06	17,94	17,75	17,75	17,78	17,74
	Fark	3,71	0,18	0,32	0,49	0,48	0,46	0,51
Balata dış yüzeyi		Ağırlık (gr)	Kalınlık (mm)					
	Balata bölgesi		1	2	3	4	5	6
	Test öncesi	303,69	18,82	18,87	18,82	18,86	18,77	18,86
	Test sonrası	296,56	18,02	18,18	17,89	18,08	18,09	18,22
	Fark	7,13	0,80	0,70	0,93	0,79	0,68	0,65

**Şekil 5.68** Balata bölgesel aşınma değerleri

Aşınma test sonuçlarına bakıldığında ise ağırlıkça kayıp oranı balata iç yüzeyi için %1,24 ve dış yüzeyi için %2,35 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar aşınma-sürtünme testlerindeki değerlere göre balatanın aşınma açısından daha iyi performans sağladığını göstermiş, düşük aşınma değerleri nedeniyle de saha testleri ile de ağır yük kamyonlarında kullanımının mümkün olduğu sonucunu vermiştir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında standart, uçucu kül ve sisal fiber olmak üzere üç grup fren balatası karışımı ağır yük kamyonlarında uygunluğu hedeflenerek kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Karışımların belirlenmesinde öncelikle detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırmasında aşınma ve sürtünme performansına pozitif etki eden malzemeler belirlenmiş yine bunların arasından insan sağlığına olumsuz etkisi tespit edilen malzemeler çıkarılmıştır. Yine seride kullanılan ağır yük kamyon balatası incelenmiş, SEM-EDS genel analizi ve nokta analizler ile yaklaşık içeriği belirlenmiştir. Literatür araştırması ve ağır yük kamyon balatası incelemesi sonrasında balata kompozisyonları üretim şartlarıyla birlikte belirlenmiştir.

Numune üretimi için İstanbul Arel Üniversitesi malzeme laboratuvarında bulunan sıcak kalıplama cihazı ve kütleme işlemi için ısıtılabilir fırınları kullanılmıştır. Sertlik ve yoğunluk ölçümleri yine aynı laboratuvarda tamamlanmıştır.

Üretimi tamamlanan numunelerin aşınma ve sürtünme testleri için torna ve freze makinaları ile istenen ölçülere getirilmesi için Mercedes-Benz Türk A.Ş. Hoşdere Fabrikası'nda üretim biriminden destek alınmıştır.

Aşınma ve sürtünme testleri için Çin imalat üreticisi Jinlin Wanda Mechanical Co. Ltd tarafından üretilen ve Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji laboratuvarında bulunan test cihazı kullanılmıştır.

TGA (Termal Gravimetrik Analiz) testleri ArelPotkam (Polimer Teknolojiler ve Kompozit Uygulama ve Araştırma Merkezi) biriminde gerçekleştirilmiştir.

Aşınma sürtünme testleri yapılan balata numunelerinin iç kesme dayanımı testleri ve SEM analizi görüntüleri Yıldız Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Yine üretilen numunelerin basma dayanımları ölçülmüştür. Son olarak saha testleri için Kale Balata firmasının desteğiyle en uygun test sonucunu veren numune gerçek şartlarda üretilerek dinamometre testlerine tabi tutulmuştur.

Aşınma ve sürtünme testleri sonucunda her üç grupta belirli numuneler TS 555'e göre tanımlanan 0,25-0,55 sürtünme katsayısı aralığını sağlamıştır. Bunların içerisinde uçucu kül 180°C – 30 MPa kalıplama sıcaklık ve basıncında kütleme

yapılmadan üretilen numune ağır yük kamyon balatası ile karşılaştırıldığında çok yakın değerler göstermiştir.

Test sonuçları bu üç grup balata numuneleri için sıcak kalıplamadan sonra yapılan kurlemenin aşınma ve sürtünme performansına standart karışımda negatif etkisi olduğu, uçucu kül karışımlarında etkisi olmadığını ancak sisal karışımları için sürtünme katsayısını yükselten bir etkisi olduğunu göstermiştir. Kurleme standart karışım için ise aşınma oranını artıran bir etki göstermiştir.

Aşınma-sürtünme test sonuçları sonunda, kalıplama sıcaklığı ve kalıplama basıncı olarak tanımlanan üretim parametreleri ile aşınma ve sürtünme performansı arasında sistematik bir ilişki tespit edilmemiştir.

Standart olarak tanımlanan kompozisyon ağır yük kamyon balatası ile karşılaştırıldığında daha iyi bir aşınma performansı göstermiştir. Standart karışım yüksek çalışma sıcaklıklarında da stabil bir sürtünme katsayısı performansı göstermiştir ve ağır yük kamyonlarında kullanımı mümkündür. Ancak ağır yük kamyon balatası ile karşılaştırıldığında sürtünme katsayısının yükseltilmesi kısmında ileriki bir bilimsel araştırmaya konu olabilecek bir iyileştirme potansiyeli bulunmaktadır.

900°C 'ye kadar gerçekleştirilen TGA testleri ile ağır yük kamyonlarında oluşabilecek balata yanması diye tabir edilen durum simule edilmiştir. TGA sonuçlarına göre standart karışım ve uçucu kül karışımlarında %5 ağırlık kaybındaki bozunma sıcaklığı 400°C-450°C mertebesinde tespit edilmiştir.

TGA testleri sonucunda kurlemenin uçucu kül karışımları için belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Standart karışımlar için ise kurleme 500°C-700°C çalışma sıcaklıklarında etkisini göstermiş ve bu mertebelerde aynı ağırlık kaybını daha yüksek sıcaklıklara taşımıştır. Ancak ağır yük kamyon balatalarında bu çalışma sıcaklıkları mümkün olmadığından standart karışımlar için de kurlemenin gerekli olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sisal fiber kullanılan karışımlar aşınma-sürtünme testleri sonucunda sürtünme katsayısı açısından yüksek değerler elde edilememiş fakat yüksek sıcaklıklarda da sürtünme katsayısında düşüş fazla olmamıştır. TGA sonuçları birlikte göz önüne

alındığında ise sisal karışımlarda bozunma sıcaklığı 350°C mertebesinde tespit edilmiş ve sisal fiberin ancak kısmi bir oranda yüksek çalışma şartlarının söz konusu olduğu ağır yük kamyonlarında kullanımının uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır.

SEM analizi ile numunelerde geniş temas yüzeyleri gözlemlenmiş ve sürtünme katsayısının yüksek çıkmasının bir nedeni olarak çıkarılmıştır. Yine kopmuş ve kırılmış elyafların özellikle ticari balata da yüksek aşınma oranının sebebi olabileceği görülmüştür.

Aşınma sürtünme testi uygulanan numunelerden her grupta sertlik derecesi en yüksek ve en düşük olanlara iç kesme dayanımı testi uygulanmış ve sertlik değeri yüksek numunelerde iç kesme dayanımının düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise içeriklerinde kullanılan yoğunluğu düşük bileşenlerdir. Basma dayanımı ise test uygulanmamış numunelere uygulanmış ve beklenildiği gibi sertlik değeri yüksek numunelerde basma dayanımı da yüksek çıkmıştır.

Aşınma-sürtünme testlerinde ticari balataya en yakın sonuçları gösteren “uçucu kül 180°C – 30MPa – kürlemesiz” numunesinde TGA testlerinde 450°C’ye kadar %7 mertebesinde kütle kaybı gözlenmiştir. Belirtilen içerikte %40 uçucu kül, %20 reçine, %20 kaya yünü, %10 grafit, %5 MoS₂, %5 cashew kullanılmıştır. Bu numunenin gerçek üretim şartlarında üretilmiş ve dinamometre ile saha testleri gerçekleştirilmiştir. Bu test sonuçlarına göre; aynı sıcaklık değerleri içerisinde hız arttıkça beklendiği gibi sürtünme katsayı azalmıştır. Bu değişimin %15’i geçmediği sınır 100°C için 80 km/h, 200°C ve 300°C için ise 60 km/h olarak tespit edilmiştir. Aynı hız değerleri için test sıcaklığı arttıkça sürtünme katsayısında azalma beklentisine karşın 200°C’de elde edilen değerler 100°C’ye oranla daha yüksek gözlemlenmiş ancak bu durum normal sürtünme katsayısını etkilememiştir. Aşınma ve sürtünme testleri ile değerlerde kısmen farklar gözlemlense de yine standartlara uygun ve aşınma açısından da iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bu açıdan tez çalışmasında belirtilen kompozisyonun ağır yük kamyonlarında kullanımı için çok iyi bir alternatif olduğu tespit edilmiş ve uçucu külün maliyetleri azaltmak amacıyla dolgu malzemesi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

7 KAYNAKLAR

Baklouti, M. Cristol, A.L. Desplanques, Y. Elleuch, R. (2015). Impact of the glass fibers addition on tribological behavior and braking performances of organic matrix composites for brake lining, *Wear*, 330-331, 507–514

Hee, K.W. Filip, P. (2005). Performance of ceramic enhanced phenolic matrix brake lining materials for automotive brake linings, *Wear*, 259, 1088–1096

Ertan, R. Yavuz, N. (2010). An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials, *Wear*, 268, 1524–1532

Cho, M. Kim, S. Kim, D. Jang, H. (2005). Effects of ingredients on tribological characteristics of a brake lining: an experimental case study, *Wear*, 258, 1682–1687

Xin, X. Xu, C. Qing, L. (2007). Friction properties of sisal fibre reinforced resin brake composites, *Wear*, 262, 736–741

Martinez, A. Echeberria, J. (2016). Towards a better understanding of the reaction between metal powders and the solid lubricant Sb_2S_3 in a low metallic brake pad at high temperature, *Wear*, 348-349, 27–42

Lee, P. Filip, P (2013). Friction and wear of Cu-free and Sb-free environmental friendly automotive brake materials, *Wear*, 302, 1404–1413

Tiwari, A. Jaggi, H. Kachhap, R. Satapathy, B. Maiti, S. Tomar, B. (2014). Comparative performance assessment of cenosphere and barium sulphate based friction composites, *Wear*, 309, 259–268

D. Aleksendric (2010). Neural network prediction of brake friction materials wear, *Wear*, 268, 117–125

El-Tayeb, N,S,M. Liew, K, W. (2009). On the dry and wet sliding performance of potentially new frictional brake pad materials for automotive industry, *Wear*, 266, 275–287

Bijwe, J. Kumar, B. Gurunath, P,V. Desplanques, Y. Degallaix, G. (2008). Optimization of brass contents for best combination of tribo-performance and thermal conductivity of non-asbestos organic (NAO) friction composites, *Wear*, 265, 699–712

Aranganathan, N. Bijwe, J. (2015). Special grade of graphite in NAO friction materials for possible replacement of copper, *Wear*, 330-331, 515–523

Breuer, B. Bill, K. (2012). *Bremsenhandbuch*, 4.Auflage, Springer Vieweg

MAN Nutzfahrzeuge Aktiengesellschaft Marketing-Training, Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik, 1998

MEB Motorlu Araçlar Teknolojisi, Fren Sistemleri, Ankara, 2013.

Mercedes-Benz Product Information Tool, https://pit.mercedes-benz-trucks.net/content/mercedesbenz-trucks-pit/markets/os/de_DE/eqp/b/b2a/v1o/v2f/v1w.html (01.05.2020)

ASM International Handbook Committee. (2001). ASM Handbook, 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, USA

Öztürk, B. (2018). Aşındırıcı Türü ve Boyutunun Otomotiv Fren Balatalarının Sürtünme-Aşınma Performansına Etkisi, Güfbed, 8 (2): 335-347, DOI: 10.17714/gumusfenbil.338925

Toros, M. (2011). Fren Balatalarında Nano Malzemelerin Kullanımının Frenleme Performansına Etkilerinin Deneysel Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi

Topuz, A. Yeprem, H. Bakan, H. Güneş, M. Öztürk, Y. (2013) Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katkısının Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması, Tübitak Proje No: 110R012,

Topuz, P ve Topuz, A. (2018). Otomobil Disk Fren Balatalarının Deneysel Yöntemlerle Karakterizasyonu ve Karşılaştırılması, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 3:241-248, DOI: 10.7240/marufbd.403700

Barkakaty, B. Some structural aspects of sisal fibers. (1976) *J. Appl. Polymer Sci.*, 24, 2941–2954.

Gilardi, R. Alzati, L. Thiam, M. Brunel, J. Desplanques, Y. Dufrénoy, P. Sharma, S. Bijwe, J. (2012) Copper Substitution and Noise Reduction in Brake Pads: Graphite Type Selection; *Journal Materials*, 5 (11), 2258-2269, DOI: 10.3390/ma5112258

Graphite for Friction, Graphit Kropfmühl, https://www.gk-graphite.com/fileadmin/user_upload/Friction_02.pdf (24.04.2020)

Cho, M. Ju, J. Kim, S. Jang, H. (2005). Tribological properties of solid lubricants (graphite, Sb₂S₃, MoS₂) for automotive brake friction materials, *Wear*, 260 (7-8): 855-860, DOI: 10.1016/j.wear.2005.04.003

Zhang, P. Zhang, L. Wei, D. Wu, P. Cao, J. Shijia, C. Qu, X. (2020) Adjusting function of MoS₂ on the high-speed emergency braking properties of copper-based brake pad and the analysis of relevant tribo-film of eddy structure, *Composites Part B*, 185, 107779

Ertan, R. Yavuz, N. (2006). Polimer Matriksli Fren Balata Malzemelerinin Kompozisyon ve Üretim Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makine*, 47, 553, 24-30

Akagündüz, E. Topuz, A. Güneş, M. (2014). Effects of Fly Ash Additive on the properties of Railway Composite Disc Brake Linings, *Sigma*, 32, 3

Mohanty, S. Chugh, Y. (2007) Development of fly ash-based automotive brake lining, *Tribology International*, 40, 1217–1224

Malhotra, V. Valimbe, P. Wright, M. (2002) Effects of fly ash and bottom ash on the frictional behavior of composites, *Fuel*, 81, 235-244

Dadkar, N. Tomar, B. Satapathy, B. (2009). Evaluation of flyash-filled and aramid fibre reinforced hybrid polymer matrix composites (PMC) for friction braking applications, *Materials and Design*, 30, 4369–4376

Mindivan, F. Gürses, A. Resol Tipi Fenolik Reçinelerin Sentezi ve Karakterizasyonu, (2020), *AKU J. Sci. Eng.* 20, 031202 (407-417)

Elektron Mikroskobu, Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü. <http://nukbilimler.ankara.edu.tr/elektron-mikroskobu/> (12.02.2021)

TS 555, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Balatalar-Sürtünmeli Frenler İçin, TSE, 1:Baskı, Ankara, (1992)

TS 9073, Karayolu Taşıtları-Fren Sistemleri-Fren Balataları-İç Kesme Mukavemeti, TSE, 1:Baskı, Ankara, (1991)

Taramalı Elektron Mikroskobu, Wikipedia, https://tr.wikipedia.org/wiki/Taramal%C4%B1_elektron_mikroskobu (30.04.2020)

Cashew Friction Dust, Tunca Balata, <http://www.tuncabalata.com/index.php/component/k2/item/27-cashew-friction-dust-black>, (01.05.2020)

8 EKLER

EK A Aşınma ve Sürtünme Test Raporları

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT																			
OPR NAME		STANDARD		JIS D 4411		EQUIPMENT		CONSTANT SPEED FRICTION TESTER											
HP NO.		SPEED		480 r/min		MANUFACTURER													
QUALITY		SIZE		25X25X5mm ³		TESTED BY													
DATE		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	0.344		0.324	0.330	6.150	6.500	6.000	6.300	6.400	4.970	5.050	5.080	5.000	5.160	6.030	6.480	0.184	1.157	
					6.000	6.370	5.800	6.150	6.250	4.810	4.950	4.780	4.850	4.810	7.860	6.310			
					0.150	0.130	0.200	0.150	0.150	0.160	0.100	0.300	0.150	0.350	0.170	0.170			
150	0.329		0.301	0.303	6.000	6.370	5.800	6.150	6.250	4.810	4.950	4.780	4.850	4.810	7.860	6.310	0.125	0.828	
					5.810	6.180	5.610	6.030	6.150	4.780	4.880	4.610	4.700	4.760	7.700	6.200			
					0.190	0.190	0.190	0.120	0.100	0.030	0.070	0.170	0.150	0.050	0.160	0.110			
200	0.271		0.257	0.253	5.810	6.180	5.610	6.030	6.150	4.780	4.880	4.610	4.700	4.760	7.700	6.200	0.104	0.829	
					5.750	6.140	5.530	5.880	6.030	4.630	4.750	4.530	4.570	4.660	7.610	6.100			
					0.060	0.040	0.080	0.150	0.120	0.150	0.130	0.080	0.130	0.100	0.090	0.100			
250	0.271		0.270	0.273	5.750	6.140	5.530	5.880	6.030	4.630	4.750	4.530	4.570	4.660	7.610	6.100	0.059	0.471	
					5.720	6.050	5.450	5.820	5.980	4.600	4.720	4.430	4.500	4.610	7.510	6.000			
					0.030	0.090	0.080	0.060	0.050	0.030	0.030	0.100	0.070	0.050	0.100	0.100			
300	0.253				5.720	6.050	5.450	5.820	5.980	4.600	4.720	4.430	4.500	4.610	7.510	6.000	0.106	0.905	
					5.650	5.950	5.400	5.700	5.900	4.500	4.650	4.300	4.320	4.450	7.280	5.800			
					0.070	0.100	0.050	0.120	0.080	0.100	0.070	0.130	0.180	0.160	0.230	0.200			
350																			
5.650 5.950 5.400 5.700 5.900 4.500 4.650 4.300 4.320 4.450																			
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wmme3_14.dat																			

Şekil A. 1 Aşınma-Sürtünme Test Raporu: Numune No:1 Standart 180°C 30MPa –Kürlemesiz //
Numune No: 4 Standart 125°C 30MPa –Kürlemesiz

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

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

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm³/Nm) *10 ⁻⁷
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.366	0.378	0.299	0.304	4.670	4.800	4.600	4.800	4.800	5.000	4.920	4.550	4.480	4.820	6.430	7.370	0.118	0.697
					4.600	4.710	4.480	4.650	4.640	4.900	4.800	4.430	4.350	4.700	6.260	7.190		
					0.070	0.090	0.120	0.150	0.160	0.100	0.120	0.120	0.130	0.120	0.170	0.180		
150	0.328	0.310	0.283	0.276	4.600	4.710	4.480	4.650	4.640	4.900	4.800	4.430	4.350	4.700	6.260	7.190	0.080	0.528
					4.560	4.640	4.420	4.540	4.550	4.800	4.730	4.320	4.260	4.640	6.160	7.070		
					0.040	0.070	0.060	0.110	0.090	0.100	0.070	0.110	0.090	0.060	0.100	0.120		
200	0.268	0.251	0.260	0.247	4.560	4.640	4.420	4.540	4.550	4.800	4.730	4.320	4.260	4.640	6.160	7.070	0.050	0.404
					4.550	4.600	4.370	4.470	4.480	4.760	4.670	4.250	4.210	4.600	6.050	6.990		
					0.010	0.040	0.050	0.070	0.070	0.040	0.060	0.070	0.050	0.040	0.110	0.080		
250	0.258	0.260			4.550	4.600	4.370	4.470	4.480	4.760	4.670	4.250	4.210	4.600	6.050	6.990	0.090	0.756
					4.460	4.530	4.240	4.340	4.400	4.690	4.610	4.160	4.130	4.500	5.900	6.860		
					0.090	0.070	0.130	0.130	0.080	0.070	0.060	0.090	0.080	0.100	0.150	0.130		
300																		
350																		
4.460 4.530 4.240 4.340 4.400 4.690 4.610 4.160 4.130 4.500																		
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Numune 5.dat																		

Şekil A. 2 Numune No:2 Standart 180°C 25MPa –Kürlemesiz

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 r/min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.296		0.222	0.220	6.080	6.200	6.700	6.000	6.050	6.050	6.200	6.800	6.450	6.600	6.500	6.990	0.166	1.212
					5.840	6.150	6.400	5.900	6.000	5.960	6.070	6.520	6.300	6.330	6.280	6.770		
					0.240	0.050	0.300	0.100	0.050	0.090	0.130	0.280	0.150	0.270	0.220	0.220		
150	0.260	0.266	0.221	0.218	5.840	6.150	6.400	5.900	6.000	5.960	6.070	6.520	6.300	6.330	6.280	6.770	0.195	1.624
					5.520	6.030	6.050	5.730	5.850	5.940	5.920	6.230	6.100	6.150	6.020	6.510		
					0.320	0.120	0.350	0.170	0.150	0.020	0.150	0.290	0.200	0.180	0.260	0.260		
200	0.247	0.247	0.217	0.216	5.520	6.030	6.050	5.730	5.850	5.940	5.920	6.230	6.100	6.150	6.020	6.510	0.255	2.235
					5.280	5.910	5.600	5.450	5.630	5.740	5.750	5.890	5.850	5.870	5.650	6.140		
					0.240	0.120	0.450	0.280	0.220	0.200	0.170	0.340	0.250	0.280	0.370	0.370		
250	0.234	0.230	0.201	0.199	5.280	5.910	5.600	5.450	5.630	5.740	5.750	5.890	5.850	5.870	5.650	6.140	0.318	2.936
					4.920	5.700	5.200	5.050	5.270	5.500	5.480	5.540	5.520	5.610	5.110	5.700		
					0.360	0.210	0.400	0.400	0.360	0.240	0.270	0.350	0.330	0.260	0.540	0.440		
300	0.207	0.206			4.920	5.700	5.200	5.050	5.270	5.500	5.480	5.540	5.520	5.610	5.110	5.700	0.607	6.349
					4.170	5.200	4.400	4.380	4.550	4.950	5.000	5.050	5.020	5.000	4.220	5.000		
					0.750	0.500	0.800	0.670	0.720	0.550	0.480	0.490	0.500	0.610	0.890	0.700		
350																		

4.920 5.700 5.200 5.050 5.270 5.500 5.480 5.540 5.520 5.610																	
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Numune 10.dat																	

Şekil A. 3 Numune No:3 Standart 180°C 25MPa – Kırlemeli

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 r/min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.461	0.464	0.394	0.400	6.600	6.320	6.750	6.600	6.700	6.700	6.880	6.890	7.000	6.960	10.760	8.090	0.216	1.013
					6.350	6.140	6.320	6.200	6.360	6.590	6.770	6.740	6.920	6.850	10.430	7.940		
					0.250	0.180	0.430	0.400	0.340	0.110	0.110	0.150	0.080	0.110	0.330	0.150		
150	0.430	0.423	0.378	0.381	6.350	6.140	6.320	6.200	6.360	6.590	6.770	6.740	6.920	6.850	10.430	7.940	0.199	1.001
					6.070	6.000	5.950	5.850	6.100	6.480	6.700	6.630	6.770	6.700	10.040	7.730		
					0.280	0.140	0.370	0.350	0.260	0.110	0.070	0.110	0.150	0.150	0.390	0.210		
200	0.400	0.397	0.371	0.375	6.070	6.000	5.950	5.850	6.100	6.480	6.700	6.630	6.770	6.700	10.040	7.730	0.306	1.654
					5.750	5.720	5.420	5.450	5.750	6.300	6.520	6.300	6.500	6.480	9.530	7.450		
					0.320	0.280	0.530	0.400	0.350	0.180	0.180	0.330	0.270	0.220	0.510	0.280		
250	0.363	0.352	0.346	0.340	5.750	5.720	5.420	5.450	5.750	6.300	6.520	6.300	6.500	6.480	9.530	7.450	0.330	1.966
					5.310	5.380	5.000	4.960	5.390	6.100	6.250	6.080	6.200	6.220	8.850	7.100		
					0.440	0.340	0.420	0.490	0.360	0.200	0.270	0.220	0.300	0.260	0.680	0.350		
300	0.330	0.305			5.310	5.380	5.000	4.960	5.390	6.100	6.250	6.080	6.200	6.220	8.850	7.100	0.725	4.754
					4.420	4.540	4.000	4.100	4.520	5.700	5.800	5.450	5.450	5.650	7.470	6.430		
					0.890	0.840	1.000	0.860	0.870	0.400	0.450	0.630	0.750	0.570	1.380	0.670		
350																		
	4.420 4.540 4.000 4.100 4.520 5.700 5.800 5.450 5.450 5.650																	
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Numune M5T_23.dat																	

Şekil A. 4 Numune No:15 Ticari Balata // Numune No:5 Uçucu Kül 180°C 30MPa – Kırılmasız

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.323	0.325			5.000	5.750	5.050	5.750	5.800	5.880	5.100	5.050	5.300	5.120	5.280	5.730	0.048	0.321
					4.950	5.650	5.020	5.700	5.750	5.860	5.050	5.000	5.240	5.100	5.220	5.680		
					0.050	0.100	0.030	0.050	0.050	0.020	0.050	0.050	0.060	0.020	0.060	0.050		
150	0.280	0.244			4.950	5.650	5.020	5.700	5.750	5.860	5.050	5.000	5.240	5.100	5.220	5.680	0.035	0.270
					4.910	5.590	5.020	5.640	5.690	5.830	5.040	4.960	5.190	5.100	5.140	5.610		
					0.040	0.060	0.000	0.060	0.060	0.030	0.010	0.040	0.050	0.000	0.080	0.070		
200	0.240	0.192			4.910	5.590	5.020	5.640	5.690	5.830	5.040	4.960	5.190	5.100	5.140	5.610	0.059	0.532
					4.830	5.520	4.900	5.600	5.600	5.800	5.000	4.900	5.150	5.080	5.080	5.550		
					0.080	0.070	0.120	0.040	0.090	0.030	0.040	0.060	0.040	0.020	0.060	0.060		
250	0.211	0.157			4.830	5.520	4.900	5.600	5.600	5.800	5.000	4.900	5.150	5.080	5.080	5.550	0.046	0.473
					4.740	5.440	4.850	5.530	5.580	5.780	4.950	4.880	5.110	5.060	4.990	5.500		
					0.090	0.080	0.050	0.070	0.020	0.020	0.050	0.020	0.040	0.020	0.090	0.050		
300	0.168	0.118			4.740	5.440	4.850	5.530	5.580	5.780	4.950	4.880	5.110	5.060	4.990	5.500	0.063	0.813
					4.580	5.350	4.800	5.480	5.450	5.750	4.930	4.860	5.060	5.030	4.890	5.450		
					0.160	0.090	0.050	0.050	0.130	0.030	0.020	0.020	0.050	0.030	0.100	0.050		
350																		
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wtmm\re25_100C.dat																	

Şekil A. 5 Numune No:6 Uçucu Kül 180°C 25MPa – Kırılmazlık

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm*3	TESTED BY	
DATE		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	0.313	0.301	0.262	0.263	6.920	6.930	6.920	6.960	6.960	6.500	6.500	6.550	6.580	6.700	7.630	7.940	0.077	0.533
					6.900	6.910	6.790	6.770	6.940	6.420	6.480	6.470	6.520	6.540	7.520	7.820		
					0.020	0.020	0.130	0.180	0.020	0.080	0.020	0.080	0.060	0.160	0.110	0.120		
150	0.263	0.243	0.217	0.227	6.900	6.910	6.790	6.770	6.940	6.420	6.480	6.470	6.520	6.540	7.520	7.820	0.072	0.591
					6.860	6.820	6.650	6.640	6.930	6.370	6.420	6.410	6.450	6.470	7.370	7.720		
					0.040	0.090	0.140	0.130	0.010	0.050	0.060	0.060	0.070	0.070	0.150	0.100		
200	0.240	0.222	0.217	0.227	6.860	6.820	6.650	6.640	6.930	6.370	6.420	6.410	6.450	6.470	7.370	7.720	0.081	0.730
					6.800	6.710	6.530	6.520	6.880	6.310	6.370	6.310	6.380	6.400	7.200	7.600		
					0.060	0.110	0.120	0.120	0.050	0.050	0.050	0.100	0.070	0.070	0.170	0.120		
250	0.216	0.204	0.189	0.194	6.800	6.710	6.530	6.520	6.880	6.310	6.370	6.310	6.380	6.400	7.200	7.600	0.183	1.834
					6.610	6.500	6.350	6.300	6.650	6.160	6.220	6.140	6.200	6.250	7.020	7.470		
					0.190	0.210	0.180	0.220	0.230	0.150	0.150	0.170	0.180	0.150	0.180	0.130		
300	0.199	0.189			6.610	6.500	6.350	6.300	6.650	6.160	6.220	6.140	6.200	6.250	7.020	7.470	0.290	3.152
					6.150	6.100	6.000	5.950	6.300	6.000	6.040	5.900	5.950	6.090	6.770	7.320		
					0.460	0.400	0.350	0.350	0.350	0.160	0.180	0.240	0.250	0.160	0.250	0.150		
350																		
	6.150 6.100 6.000 5.950 6.300 6.000 6.040 5.900 5.950 6.090																	
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wear\ne30_51.dat																	

Şekil A. 6 Numune No:7 Uçucu Kül 180°C 25MPa –Kürlemeli // Numune No:12 Sisal 180°C 25MPa – Kürlemeli

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 r/min	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.349	0.355			6.750	6.740	6.720	6.730	6.820	6.750	6.700	6.780	6.660	6.900	8.000	8.080	0.034	0.211
					6.740	6.730	6.700	6.700	6.800	6.680	6.660	6.740	6.610	6.850	7.930	8.020		
					0.010	0.010	0.020	0.030	0.020	0.070	0.040	0.040	0.050	0.050	0.070	0.060		
150	0.312	0.314			6.740	6.730	6.700	6.700	6.800	6.680	6.660	6.740	6.610	6.850	7.930	8.020	0.028	0.194
					6.720	6.720	6.670	6.660	6.790	6.650	6.620	6.690	6.560	6.850	7.860	7.950		
					0.020	0.010	0.030	0.040	0.010	0.030	0.040	0.050	0.050	0.000	0.070	0.070		
200	0.235	0.199			6.720	6.720	6.670	6.660	6.790	6.650	6.620	6.690	6.560	6.850	7.860	7.950	0.030	0.276
					6.710	6.660	6.650	6.650	6.750	6.600	6.590	6.660	6.520	6.840	7.770	7.860		
					0.010	0.060	0.020	0.010	0.040	0.050	0.030	0.030	0.040	0.010	0.090	0.090		
250	0.201	0.163			6.710	6.660	6.650	6.650	6.750	6.600	6.590	6.660	6.520	6.840	7.770	7.860	0.033	0.354
					6.650	6.610	6.640	6.610	6.710	6.590	6.560	6.620	6.480	6.830	7.700	7.760		
					0.060	0.050	0.010	0.040	0.040	0.010	0.030	0.040	0.040	0.010	0.070	0.100		
300	0.169	0.142			6.650	6.610	6.640	6.610	6.710	6.590	6.560	6.620	6.480	6.830	7.700	7.760	0.059	0.754
					6.590	6.530	6.600	6.570	6.630	6.530	6.510	6.540	6.450	6.760	7.620	7.680		
					0.060	0.080	0.040	0.040	0.080	0.060	0.050	0.080	0.030	0.070	0.080	0.080		
350	0.164	0.143			6.590	6.530	6.600	6.570	6.630	6.530	6.510	6.540	6.450	6.760	7.620	7.680	0.055	0.724
					6.530	6.470	6.540	6.510	6.580	6.470	6.470	6.480	6.400	6.710	7.550	7.620		
					0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.040	0.060	0.050	0.050	0.070	0.060		
					6.530	6.470	6.540	6.510	6.580	6.470	6.470	6.480	6.400	6.710	7.550	7.620		
					6.470	6.420	6.480	6.470	6.520	6.420	6.430	6.440	6.360	6.650	7.470	7.550	0.050	
					0.060	0.050	0.060	0.040	0.060	0.050	0.040	0.040	0.040	0.060	0.080	0.070		
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Nimne 34.dat																	

Şekil A. 7 Numune No:8 Uçucu Kül 125°C 30MPa – Kırılması

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.363	0.360	0.253	0.262	6.600	6.500	7.000	6.900	6.800	6.550	6.250	6.450	6.100	6.450	8.140	7.660	0.060	0.358
					6.580	6.480	6.900	6.810	6.790	6.510	6.220	6.330	6.030	6.350	8.020	7.560		
					0.020	0.020	0.100	0.090	0.010	0.040	0.030	0.120	0.070	0.100	0.120	0.100		
150	0.322	0.304	0.206	0.212	6.580	6.480	6.900	6.810	6.790	6.510	6.220	6.330	6.030	6.350	8.020	7.560	0.100	0.672
					6.490	6.450	6.720	6.650	6.450	6.460	6.200	6.280	6.000	6.300	7.840	7.440		
					0.090	0.030	0.180	0.160	0.340	0.050	0.020	0.050	0.030	0.050	0.180	0.120		
200	0.262	0.240	0.185	0.194	6.490	6.450	6.720	6.650	6.450	6.460	6.200	6.280	6.000	6.300	7.840	7.440	0.132	1.089
					6.410	6.410	6.450	6.420	6.000	6.410	6.170	6.190	5.960	6.260	7.550	7.280		
					0.080	0.040	0.270	0.230	0.450	0.050	0.030	0.090	0.040	0.040	0.290	0.160		
250	0.216	0.198			6.410	6.410	6.450	6.420	6.000	6.410	6.170	6.190	5.960	6.260	7.550	7.280	0.271	2.714
					6.060	6.120	6.020	6.060	5.350	6.280	6.150	5.980	5.850	6.100	7.180	7.100		
					0.350	0.290	0.430	0.360	0.650	0.130	0.020	0.210	0.110	0.160	0.370	0.180		
300																		
350																		
	6.060 6.120 6.020 6.060 5.350 6.280 6.150 5.980 5.850 6.100																	
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wmune 37_59.dat																	

Şekil A. 8 Numune No:9 Uçucu Kül 125°C 30MPa –Kürlemeli // Numune No:14 Sisal 125°C 30MPa – Kürlemeli

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

OPR NAME		STANDARD	JIS D 4411	EQUIPMENT	CONSTANT SPEED FRICTION TESTER
HP NO.		SPEED	480 rpm	MANUFACTURER	
QUALITY		SIZE	25X25X5mm ³	TESTED BY	
DATE		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	0.228	0.223	0.247	0.243	6.200	6.150	6.090	6.100	6.300	6.940	6.850	6.880	6.840	6.960	7.300	8.230	0.048	0.455
					6.120	6.140	5.980	6.030	6.270	6.900	6.830	6.840	6.800	6.920	7.200	8.110		
					0.080	0.010	0.110	0.070	0.030	0.040	0.020	0.040	0.040	0.040	0.100	0.120		
150	0.217	0.222	0.278	0.283	6.120	6.140	5.980	6.030	6.270	6.900	6.830	6.840	6.800	6.920	7.200	8.110	0.028	0.279
					6.100	6.110	5.920	6.010	6.260	6.860	6.810	6.810	6.770	6.900	7.100	8.000		
					0.020	0.030	0.060	0.020	0.010	0.040	0.020	0.030	0.030	0.020	0.100	0.110		
200	0.219	0.233	0.326	0.344	6.100	6.110	5.920	6.010	6.260	6.860	6.810	6.810	6.770	6.900	7.100	8.000	0.033	0.326
					6.070	6.090	5.870	5.950	6.230	6.830	6.800	6.770	6.730	6.880	6.990	7.890		
					0.030	0.020	0.050	0.060	0.030	0.030	0.010	0.040	0.040	0.020	0.110	0.110		
250	0.232	0.230	0.352	0.365	6.070	6.090	5.870	5.950	6.230	6.830	6.800	6.770	6.730	6.880	6.990	7.890	0.025	0.233
					6.060	6.080	5.820	5.910	6.220	6.810	6.790	6.730	6.710	6.840	6.890	7.750		
					0.010	0.010	0.050	0.040	0.010	0.020	0.010	0.040	0.020	0.040	0.100	0.140		
300	0.258	0.265			6.060	6.080	5.820	5.910	6.220	6.810	6.790	6.730	6.710	6.840	6.890	7.750	0.205	1.661
					5.900	6.030	5.520	5.680	5.970	6.710	6.720	6.350	6.390	6.540	6.570	7.380		
					0.160	0.050	0.300	0.230	0.250	0.100	0.070	0.380	0.320	0.200	0.320	0.370		
350																		
	5.900 6.030 5.520 5.680 5.970 6.710 6.720 6.350 6.390 6.540																	
	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wear rate 41_48.dat																	

Şekil A. 9 Numune No:10 Sisal 180°C 30MPa –Kürlemesiz // Numune No:11 Sisal 180°C 25MPa –Kürlemesiz

FRICTION AND WEAR RATE TEST REPORT

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

T (°C)	COEFFICIENT				SAMPLE A THICKNESS (mm)					SAMPLE B THICKNESS (mm)					WA (g)	WB (g)	dt	V (cm ³ /Nm) *10 ⁻¹
	T INC.		T DEC.		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
	AA	BA	AA	BA														
100	0.251	0.245	0.229	0.232	6.000	5.930	5.920	5.880	5.970	6.020	5.840	6.000	5.850	6.050	7.340	7.040	0.024	0.207
					5.980	5.920	5.900	5.850	5.950	6.000	5.830	5.950	5.800	6.040	7.290	6.980		
					0.020	0.010	0.020	0.030	0.020	0.020	0.010	0.050	0.050	0.010	0.050	0.050		
150	0.227	0.227	0.289	0.315	5.980	5.920	5.900	5.850	5.950	6.000	5.830	5.950	5.800	6.040	7.290	6.980	0.019	0.181
					5.950	5.910	5.880	5.840	5.930	5.990	5.820	5.920	5.770	6.020	7.220	6.910		
					0.030	0.010	0.020	0.010	0.020	0.010	0.010	0.030	0.030	0.020	0.070	0.070		
200	0.202	0.189	0.267	0.277	5.950	5.910	5.880	5.840	5.930	5.990	5.820	5.920	5.770	6.020	7.220	6.910	0.020	0.215
					5.930	5.900	5.870	5.820	5.920	5.980	5.800	5.880	5.750	5.980	7.110	6.800		
					0.020	0.010	0.010	0.020	0.010	0.010	0.020	0.040	0.020	0.040	0.110	0.110		
250	0.190	0.175			5.930	5.900	5.870	5.820	5.920	5.980	5.800	5.880	5.750	5.980	7.110	6.800	0.047	0.536
					5.890	5.880	5.800	5.800	5.820	5.920	5.780	5.820	5.730	5.920	7.000	6.680		
					0.040	0.020	0.070	0.020	0.100	0.060	0.020	0.060	0.020	0.060	0.110	0.120		
300																		
350																		
	5.890 5.880 5.800 5.800 5.800 5.920 5.780 5.820 5.730 5.920																	
C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Emre Bayram\Wear rate 53.dat																		

Şekil A. 10 Numune No:13 Sisal 125°C 30MPa – Kırılmasız