

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POLİMER TABANLI KENEVİR- KOLEMANİT  
KOMBİNASYONLU KOMPOZİT SÜRTÜNME  
MALZEMESİNİN TRİBOLOJİK , MEKANİK  
VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**HAMDİ KARAKAŞ**

**KOCAELİ 2023**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POLİMER TABANLI KENEVİR- KOLEMANİT**  
**KOMBİNASYONLU KOMPOZİT SÜRTÜNME**  
**MALZEMESİNİN TRİBOLOJİK , MEKANİK**  
**VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**HAMDİ KARAKAŞ**

**Prof. Dr. Hasan ÖKTEM**  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

**Prof. Dr. Olcay MERT**  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

**Prof. Dr. Zafer TEKİNER**  
Jüri Üyesi, Gazi Üniversitesi

.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 25.01.2023**

## ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı, beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği **alınarak gerçekleştirilmiştir.**

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hamdi KARAKAŞ

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Hamdi KARAKAŞ

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Sürtünme malzemeleri, otomotiv endüstrisinde(fren ve debriyaj balatası olarak) , sanayi makinalarında, Uçaklarda ve Deniz Taşıtlarında kullanılmaktadır. Böylesine geniş kullanımı olan sürtünme elemanları, çeşitli malzeme gruplarından oluşmaktadır. Bunlar takviye ediciler, yağlayıcılar, bağlayıcılar, dolgu maddeleri ve çeşitli kompozitlerdir. Bu kompoziti oluşturan maddeler ile katkıda bulunmak üzere Doğal Kenevir-Doğal Kolemanit Kombinasyonlu (HCFCo) bir yapı oluşturulmuştur. Elde edilmesinde Emprenye yönteminin uygulandığı bu kompozit yapısından fren ve debriyaj balata yapılarında faydalanmak mümkün olacaktır. Kompozit Lifinin gerek kırılarak, gerekse sarma ve dokuma yöntemi ile sürtünme malzemesi olarak kullanılabilceği düşünülmüştür.

Bu çalışmada bana her türlü desteği veren danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÖKTEM 'e mesai arkadaşım Makine Mühendisi Mustafa SERDAR'a, laboratuvar ve uygulama imkânlarını kullandığım APETECH OTOMOTİV DAĞ. VE TİC. A.Ş. ye ve beni destekleyen ailem ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Aralık – 2022

Hamdi KARAKAŞ

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	viii
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Kenevir.....	3
2.1.1. Kenevir Lifinin Fiziksel Yapısı ve Özellikleri.....	3
2.1.2. Kenevir Lifinin Kimyasal Yapısı ve Özellikleri .....	3
2.1.3. Kenevir Lifi Kullanım Alanları.....	5
2.2. Polimerler.....	5
2.3. Reçine-Fenol Formaldehit .....	6
2.4. NBR Kauçuk.....	7
2.5. Bor .....	9
2.5.1. Bor Lifinin Genel Özellikleri.....	9
2.5.2. Bor Lifinin Kullanım Alanları .....	10
2.6. Kolemanit.....	11
2.7. Barit .....	11
2.8. Sürtünme Ayarlayıcılar .....	13
2.9. Katı Yağlayıcılar.....	13
2.9.1. Grafit .....	13
2.9.2. Metal Sülfid .....	14
2.10. Aşındırıcılar .....	14
2.10.1. Alüminyum Oksit (Alümina).....	15
2.10.2. Demir Oksit ve Metal Oksit .....	15
2.11. Diğer Sürtünme Düzenleyiciler .....	15
2.12. Takviye Edici Malzemeler.....	16
2.12.1. Kaya Yünü .....	16
2.12.2. Çelik Yünü .....	16
2.13. Dolgu Malzemeleri .....	17
2.13.1. Kalsiyum Karbonat .....	17
2.13.2. Mika .....	17
2.13.3. Vermikülit .....	17
2.13.4. Potasyum Titanat.....	17
2.14. Diğer Dolgu Malzemeleri .....	18
2.15. Sürtünme.....	18
2.16. Aşınma ve Türleri .....	20
2.17. Literatür Taraması.....	22
3. MALZEME VE YÖNTEM .....	25
3.1. Emprenye Yöntemleri.....	25
3.2. Emprenye İşleminde Kullanılacak Ekipmanlar .....	25

3.3.	Emprenye Banyosu Yoğunluk ölçümü .....	25
3.4.	BAUME Derecesi Ölçümü .....	26
3.5.	Viskozite Ölçümü .....	27
3.6.	Emprenye Ünitesi .....	28
3.7.	Emprenye Cihazı ve Tasarımı.....	28
3.8.	Mobil Uygulama Geliştirme ve Cihaz Kullanma .....	34
3.9.	Reçete Geliştirme.....	37
3.10.	Kompozit Hazırlama .....	40
3.11.	Karıştırma .....	41
3.12.	Presleme.....	43
3.13.	Sürtünme Kompozitinin Kalıplanması .....	44
3.14.	Fırınlama .....	46
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	48
4.1.	Sertlik Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	48
4.1.1.	İSM-1 Reçetesinin Sertlik Testi Sonuçları.....	49
4.1.2.	İSM-2 Reçetenin Sertlik Testi Sonuçları .....	49
4.1.3.	İSM-3 Reçetenin Sertlik Testi Sonuçları .....	50
4.1.4.	Sertlik Testi Sonuçlarını karşılaştırılması.....	51
4.2.	Yoğunluk Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	52
4.2.1.	İSM-1 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları .....	53
4.2.2.	İSM-2 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları .....	55
4.2.3.	İSM-3 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları .....	56
4.2.4.	Yoğunluk Testi Sonuçlarını karşılaştırılması.....	57
4.3.	Nem Tayini Sonuçları ve Karşılaştırılması.....	58
4.3.1.	İSM-1 Reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları.....	59
4.3.2.	İSM-2 Reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları.....	60
4.3.3.	İSM-3 reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları .....	61
4.4.	Nem Tayin Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	62
4.5.	Yağ ve Su Alma Testi Sonuçları.....	62
4.5.1.	Yağ ve Su Alma Testi Sonuçlarının karşılaştırılması .....	63
4.5.2.	Sürtünme ve Aşınma Sonuçları ve Karşılaştırılması .....	65
4.5.3.	İSM-1 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları .....	66
4.5.4.	İSM-2 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları .....	68
4.5.5.	İSM-3 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları .....	69
4.5.6.	Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	72
4.6.	SEM ve EDX Sonuçları ve Karşılaştırılması.....	73
4.6.1.	Ham Kenevir Lifi SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları.....	73
4.6.2.	İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları .....	75
4.6.3.	İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları .....	77
4.6.4.	İSM-2 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları .....	79
4.6.5.	İSM-3 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları .....	81
4.7.	Aşınma Görüntülerinin İncelenmesi .....	83
5.	SONUÇLAR VE KAZANIMLAR.....	86
	KAYNAKLAR.....	88
	KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	92
	ÖZGEÇMİŞ.....	93

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Lignin Polimer Yapısı .....	4
Şekil 2.2.	Polimer yapısal görüntüsü .....	5
Şekil 2.3.	Fenol Formaldehit Polimeri Polimerizasyon şematik gösterimi .....	7
Şekil 2.4.	Kauçuk türü malzemelerin sınıflandırmasına şematik örneği .....	8
Şekil 2.5.	Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yörelerinden temin edilen kolemanit kristalleri .....	11
Şekil 2.6.	Barit görseli .....	12
Şekil 2.7.	Grafit yapısının şematik gösterimi .....	13
Şekil 2.8.	Grafit .....	14
Şekil 2.9.	Sürtünme kuvveti şematik gösterimi .....	18
Şekil 2.10.	Sürtünme kuvveti grafiği .....	19
Şekil 2.11.	Aşınmayı tanımlayıcı anahtar kelimeler .....	20
Şekil 2.12.	a) Adhesiv aşınma,b) Abrazif aşınma c) Yorulma aşınması, d) Korozyon aşınması incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi .....	21
Şekil 3.1.	Baume derecesi .....	26
Şekil 3.2.	Frikmar Cup Akış Kapı .....	27
Şekil 3.3.	Emprenye cihazı görseli-1 .....	29
Şekil 3.4.	Emprenye cihazı görseli-2 .....	30
Şekil 3.5.	Arduino ile emprenye test cihazında kullanılan program kodu .....	31
Şekil 3.6.	Arduino UNO Devre kartı .....	32
Şekil 3.7.	HC06 Bluetooth-Serial Modül Kartı .....	32
Şekil 3.8.	Bipolar NEMA 17 Step Motor 200 Adım 42x38 mm 2.8 V .....	33
Şekil 3.9.	5V Mini Röle (5V 2A) .....	33
Şekil 3.10.	Mit appinventor Kod blok şeması-1 .....	34
Şekil 3.11.	Mit appinventor Kod blok şeması-2 .....	35
Şekil 3.12.	Mit appinventor Kod blok şeması-3 .....	35
Şekil 3.13.	Mit appinventor arayüz tasarımı .....	36
Şekil 3.14.	Mit appinventor ara yüz tasarımı hazırlama sayfası .....	36
Şekil 3.15.	Lodige tipi karıştırıcı içi görseli .....	42
Şekil 3.16.	Lodige tipi karıştırıcı görseli .....	42
Şekil 3.17.	Şekil 3.16. Pres makinesi şeması .....	43
Şekil 3.18.	Pozitif kalıplama şematik gösterimi-1 .....	45
Şekil 3.19.	Pozitif Kalıplama şematik gösterimi -2 .....	45
Şekil 3.20.	Pozitif Kalıplama Şematik gösterimi -3 .....	45
Şekil 3.21.	a-Isıtmalı hava sirkülasyonlu fırın , b- çevrim grafiği .....	47
Şekil 4.1.	Sertlik Test Cihazı numune ölçümü .....	48
Şekil 4.2.	Sertlik Testi Sonuçları .....	52
Şekil 4.3.	Yoğunluk test cihazı .....	53
Şekil 4.4.	Yoğunluk Testi Sonuçları .....	57
Şekil 4.5.	Numunelerin nem tayin testi .....	58
Şekil 4.6.	Numunelerin nem tayin testi .....	62
Şekil 4.7.	Yağ ve su alma testi .....	63
Şekil 4.8.	Yağ ve su alma testi ağırlık farkı .....	64
Şekil 4.9.	Yağ ve su alma testi sertlik farkı .....	64
Şekil 4.10.	Sürtünme test cihazı .....	65

Şekil 4.11.	450 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi .....	67
Şekil 4.12.	450 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişimi.....	67
Şekil 4.13.	650 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi .....	69
Şekil 4.14.	650 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişimi.....	69
Şekil 4.15.	850 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişim grafiği.....	71
Şekil 4.16.	850 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişim grafiği .....	71
Şekil 4.17.	Emprenye edilmeden önce Kenevir liflerinin görüntüleri.....	73
Şekil 4.18.	Emprenye edilmeden önce Kenevir lif EDX sonuçlar .....	74
Şekil 4.19.	Emprenye edilmiş HCFCo SEM Görüntüleri .....	75
Şekil 4.20.	Emprenye edilmiş HCFCo EDX Sonuçları.....	76
Şekil 4.21.	İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları .....	77
Şekil 4.22.	İSM -1 Reçetenin alansal görüntüsü ve EDX sonuçları.....	78
Şekil 4.23.	İSM-2 Reçete EDX sonuçları.....	80
Şekil 4.24.	İSM-3 Reçete SEM Görüntüleri.....	81
Şekil 4.25.	İSM-3 Reçete EDX Sonuçları .....	82
Şekil 4.26.	İSM-1 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü .....	83
Şekil 4.27.	İSM-2 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü .....	84
Şekil 4.28.	İSM-3 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü .....	85

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Malzemeler arası sürtünme katsayıları.....	19
Tablo 2.2.	TS 555' e göre Balataların sürtünme katsayılarına göre sınıfları .....	20
Tablo 3.1.	Ticari araç sürtünme malzeme reçetesi .....	37
Tablo 3.2.	İSM-1 Reçetesi.....	38
Tablo 3.3.	İSM-2 Reçetesi.....	38
Tablo 3.4.	İSM-3 Reçetesi.....	39
Tablo 3.5.	İSM reçetelerin karşılaştırma .....	39
Tablo 3.6.	Emprenye banyo karışım reçetesi .....	40
Tablo 3.7.	Kenevir ipinin ağırlığı ve emprenyeden sonraki ağırlığının farkı.....	41
Tablo 3.8.	Presleme Çevrim İşlemi .....	44
Tablo 4.1.	İSM-1 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları .....	49
Tablo 4.2.	İSM-2 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları .....	50
Tablo 4.3.	İSM-3 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları .....	51
Tablo 4.4.	Aritmetik sertlik sonuçların karşılaştırma .....	52
Tablo 4.5.	İSM-1'den alınan 3 farklı parçadan alınan numune yoğunluk testleri.....	54
Tablo 4.6.	İSM-2'den alınan 3 farklı numune alınan yoğunluk değerleri.....	55
Tablo 4.7.	İSM-3'den alınan 3 farklı parçadan alınan numune yoğunluk testleri.....	56
Tablo 4.8.	Aritmetik yoğunluk sonuçlarının karşılaştırılması.....	57
Tablo 4.9.	İSM-1 Reçetesinin nem tayini sonuçları(%) .....	59
Tablo 4.10.	İSM-2 Reçetesinin nem tayini sonuçları(%) .....	60
Tablo 4.11.	İSM-3 Reçetesinin nem tayini sonuçları (%) .....	61
Tablo 4.12.	Aritmetik nem tayini sonuçların karşılaştırması .....	62
Tablo 4.13.	Yağ ve Su Alma Testi Sonuçları(gr.) .....	63
Tablo 4.14.	Sürtünme Deney Parametreleri .....	65
Tablo 4.15.	İSM-1 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları .....	66
Tablo 4.16.	İSM-2 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları .....	68
Tablo 4.17.	İSM-3 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları .....	70
Tablo 4.18.	İSM-1, İSM-2, İSM-3 Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı sonuçları .....	72
Tablo 4.19.	Emprenye edilmeden önce Kenevir liflinin EDX değerleri .....	74
Tablo 4.20.	Emprenye edilmiş HCFCo (Kenevir-Kolemanit Kompoziti) EDX .....	76
Tablo 4.21.	İSM-1 Reçete EDX element tablosu .....	78
Tablo 4.22.	İSM-2 Reçete EDX Element Tablosu .....	80
Tablo 4.23.	İSM-3 Reçete EDX Element Tablosu .....	82

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

g	: Yer çekimi ivmesi, (m/s <sup>2</sup> )
$\rho$	: Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> ) (Sıvılarda)
d	: Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> ) (Katılarda)
F <sub>m</sub>	: Statik Sürtünme Kuvveti
F <sub>k</sub>	: Kinetik Sürtünme Kuvveti
$\mu_k$	: Kinetik Sürtünme Katsayısı
$\mu_s$	: Statik Sürtünme Katsayısı
m	: Kütle (g)
v	: Hacim (cm <sup>3</sup> )
Be°	: Baume derecesi
$\nu$	: Kinematik viskozite
$\mu$	: Dinamik viskozite

### Kısaltmalar

ABP	: Asbestos Brake Pad (Asbestli Fren Balatası)
CAD	: Computer Aided Design (Katı Model Tasarımı)
CMBP	: Commercial Brake Pad (Ticari Araç Fren Balatası)
COF	: Coefficient Friction (Sürtünme Katsayısı)
CPC	: Calsined Petroluem Coke (Sönmüş Kok)
Cst	: Centistokes
EDX	: Enerji Dağılım X – Işını Spektrometresi
h-BN	: Hegzagonal Bor Nitrür
HCFCo	: Kenevir-Kolemanit Elyaf Kompoziti
İSM	: İkame Sürtünme Malzemesi
NABP	: Non-Asbestos Brake Pad (Asbestsiz Fren Balatası)
NBR	: Nitril Butadien Rubber (Nitril Butadiyen Kauçuk )
PKS	: Palm Kernell Shell ( Palmiye Yaprağı )
PPM	: Parts Per Million ( Milyonda bir parça )
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TASM	: Ticari Araç Sürtünme Malzemesi
UV	: Ultraviyole

# **POLİMER TABANLI KENEVİR VE KOLEMANİT KOMBİNASYONLU KOMPOZİT SÜRTÜNME MALZEMESİNİN TRİBOLOJİK, MEKANİK VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

## **ÖZET**

Bu çalışmada, Kenevir-Kolemanit Elyaf Kompozitleri ve otomotiv fren balatalarında kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla emprenye üretim teknikleri kullanılarak üç farklı numune üretilmiştir. Kenevir-Kolemanit Elyaf Kompozitleri (HCFCo) ağırlıkça farklı oranlarda (%4, %8, %12) ilave edilerek belirlenen içerik sabit tutulmuştur. Öncelikle malzemelerin homojen karışımları sağlanır ve daha sonra sıcak presleme yöntemi ile son şekiller verilir. Fren balatası numunelerinin sürtünme aşınması, sertlik, karşılaştırılabilirlik, kesme, yoğunluk analizleri ve HCFCo kullanımının fren balatası üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan sıcaklığın artmasıyla aşınma ve sürtünme katsayısı değerlerinin azalırken, sertlik ve yoğunluk değerlerinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Buradan, geliştirilen elyaf takviyeli bir kompozitin endüstriyel uygulamalarda güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi ve literatürdeki çalışmalara yol gösterebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Malzemeler, Kenevir-Kolemanit, Mekanik Özellikler, Sürtünme, Aşınma

# **INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL, MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF POLYMER BASED HEMP-COLEMANITE COMBINATIONAL FRICTION MATERIAL**

## **ABSTRACT**

In this study, Hemp-Colemanite Fiber Composites and their use in automotive brake pads were investigated. For this purpose, three different samples were produced using impregnation production techniques. Hemp-Colemanite Fiber Composites (HCFCo) were added at different rates (4%, 8%, 12%) by weight and the determined content was kept constant. First of all, homogeneous mixtures of the materials are provided and then the final shapes are given by the hot pressing method. The effects of friction wear, hardness, comparability, shear, density analysis of brake pad samples and the use of HCFCo on the brake pad were evaluated. From the results obtained, it was observed that while the wear and friction coefficient values decreased with the increase in temperature, there was no significant change in the hardness and density values. From this, it is concluded that a fiber-reinforced composite developed can be used reliably in industrial applications and can guide the studies in the literature.

**Keywords:** Composite Materials, Hemp-Colemanite, Mechanical Properties, Friction, Wear

## 1.GİRİŞ

Günümüz teknolojilerinin geldiği seviye ve bu teknolojilerin uygulanması ile üretilen makineler, ulaşım araçları vs. tüm buluşlar insanların hayatını kolaylaştırmak amacıyla üretilmiştir. Burada işi güvenli bir şekilde yapmak, süresini kısaltmak ve sonucunda bir konfor elde etmek için çabalar sarf edilmektedir. Bütün sistem geliştirmeleri ya da malzeme geliştirme çalışmalarının altında yatan daha iyisini elde edebilmektir. Hareket halinde olan tüm araçlarda iş bitiminde ya da süreçte hareket kontrol edilebilme ve hatta durdurma ihtiyaçlarını karşılamak için sistemler ( Fren, debriyaj, vb. ) geliştirilmiştir. Bu sistemlerde kullanılacak olan ya da kullanılan malzemeler aynı geliştirme süreçlerinden geçmiştir. Bu çalışmalar tribolojik tanımı içerisindeki kullanım alanlarında araştırmayı da sağlayacaktır. Sürtünme çifti olarak, aşınma, ısıya dayanım ve sürtünme performansına en uygun malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda bu tür malzemelerin oluşturulması ve kullanılmasının ekonomik bir yönünde bulunmaktadır. Bu yolla kendi özgün malzemelerinin geliştirmiş olacağımız gibi bir bakımdan dışa bağımlılığını azaltacaktır.

Bu çalışmada, kenevir elyafı ve kolemanit (bor Türevi) ile bir kompozit oluşturulacaktır. Tezde böyle bir kompozitin elde edilmesi ve sürtünme malzemesi olarak kullanılabilmesinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Tezde bu kompozitin elde edilme aşamaları, araştırmalar literatür taramaları ve saha çalışmaları ile tecrübeleri göz önüne alınmıştır. Projenin detayları ilerleyen bölümlerde incelenmiş ve uygulanmıştır.

Kenevir (Cannabis Saliva) ya da “Kendir” bitkisinin gövdesinden elde edilen sap elyaftır. Lif özelliği bakımından kopmaya dayanıklıdır. Bu önemli bir özelliktir. Ülkemizde yetiştirilmektedir. Kombinasyonu oluşturan diğer malzemeler ise Kolemanit olup Bor grubundadır. Malzemelerin dayanıklılığını arttıran ve kullanım ömrünün uzatan bir komponenttir. Dünya Bor rezervinin % 67’si ülkemizdedir. Hareket halindeki cisimlerde (otomobil, iş makinası, v.b.) frenleme işlemi iki kompozit dönen bir disk veya kampana ile aracılığıyla yapılmaktadır. Önceleri üretilen kompozit fren (ya da debriyaj) balatalarında takviye malzemesi olarak kullanılan asbest yasaklanmıştır. Ancak sağlığa olumsuz etkileri nedeniyle yasaklanan asbest yerine, yeni takviye malzemeleri ve kompozit malzeme araştırmaları sürdürülmektedir. Kompozit malzemeler, belirli bir

amaca yönelik en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan bir malzeme grubudur. ( M.Aktaş ,2017)

Kompozit malzemelerin ısıya dayanıklılık, aşınma ve yüksek mukavemet özellikleri sayesinde ve sürtünme katsayısı daha iyi olan kompozit sürtünme malzemeleri elde edilmesi mümkündür. (BİJWE, Majumdar ve Satapaty 2005). Kompozit malzemedan yapılan sürtünme malzemeleri, birçok bileşenden oluşur.(Dolgu malzeme, Sürtünme malz., takviye malz. gibi). Burada sürtünme malzemesinin üretim yöntemi, ısıl işlem şartları ve kalıplama basıncıda önemlidir ve elde edilecek özellikleri etkilemektedir. Dolayısıyla bütün bu parametreleri en iyi şekilde optimum hale getirmek iyi fren performansı ve çalışma süresi ortaya çıkaracaktır. (Chen ve diğ., 2007). Bu çalışmada çevreye zararlı etkisi en az olabilecek malzemelerden kompozit fren(veya debriyaj) balatasının formüle edilmesi ve bu balata numunelerinin performansının test edilmesi amaçlanmıştır.

## **2.GENEL BİLGİLER**

Bir sürtünme malzemesi (fren balatası, debriyaj balatası v.b.) elde etmek isterken kullanılacak tüm materyallerin tanıtılması ve gerekli açıklamaların yapılması ile başlamak gerekir. Bu nedenle bu projede öncelikle reçete ve formül yapıları ve hangi materyallerin kullanılacağı ile ilgili önerme yapılacaktır.

### **2.1.Kenevir**

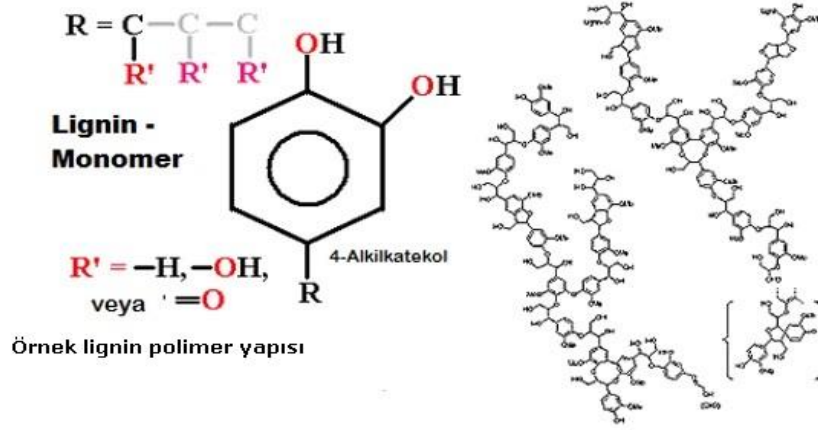
Kenevir (kendir), Cannabis Sativa (Kenevir otu) bitkisinin gövdesinden elde edilen sap elyafıdır. Yıllık bir bitkidir. Ekiminden 120-140 gün sonra hasadı yapılır. Kenevirin dişi ve erkek olmak üzere iki bitki türü vardır. Dişi kenevirlerde dalların u yapraklarında bulunan salgı tüyleri, yapışkan ve kendisine has bir kokusu olan uyuşturuucu etkili bir kimyasal madde oluşturur. Bu maddeye esrar denir. Bu madde üretimi yasaktır bu yüzden sadece Cannabis Sativa türü bitki lif eldesi için üretilir. Dünyanın önde gelen kenevir reticileri, Fransa, in, Güney Kore, şili ve Güney Kore ve in'dir. Avrupa Birliğindeki başlıca üreticiler Fransa, Almanya ve İngiltere'dir. Türkiye ' de Kastamonu, Fatsa, nye, Malatya, Urfa'da yetişir. Kenevir bitkisinden elyaf eldesi, keten lifinde olduğu gibi rtme, dövme, taraklama işlemleri ile yapılır.

#### **2.1.1.Kenevir Lifinin Fiziksel Yapısı ve zellikleri**

Kenevir lifi ketende olduğu gibi kabuk kısmının içinde demetler halinde olur. Her lif demetinde 30-50 lif hücresi bulunur. Lif uzunluğu 40-45 mm arasında değişir. Sarıya kaçan açık kahverengi veya gri renkli, kaba ve sağlam bir elyaftır. Kenevir elyafı hüzmeler şeklinde bulunur. Kenevir elyafının incelikleri 18-50 mikron arasında değişir. 90 cm ile 210 cm arasında değişen uzunluklarda olabilen elyafın kopmaya karşı dayanıklılığı iyidir.

#### **2.1.2.Kenevir Lifinin Kimyasal Yapısı ve zellikleri**

Kenevir lifi kimyasal yapısında 74 selüloz, %18 hemiselüloz ,%4 lignin ve %1 pektin içermektedir. Kenevir lifleri birçok elementin bir araya gelmesiyle oluşur ve bu elementler pektin sayesinde bir araya gelmektedirler. Lignin miktarı ketenden fazla olduğundan daha kaba lif şeklinde dirler.



Şekil 2.1.Lignin Polimer Yapısı

Çünkü lignin, ayrıştırması zor olan bir moleküldür ve enzimlere karşı dirençlidir. Liflere sert tutum kazandırır. Tez çalışmasında seçilen kenevir ip Tex 1400 olarak anılmaktadır. 1000 metrede ip ağırlığı 1400 gr. anlamındadır (ISO 17202). Kenevir Lifinin Kimyasal Özellikleri;

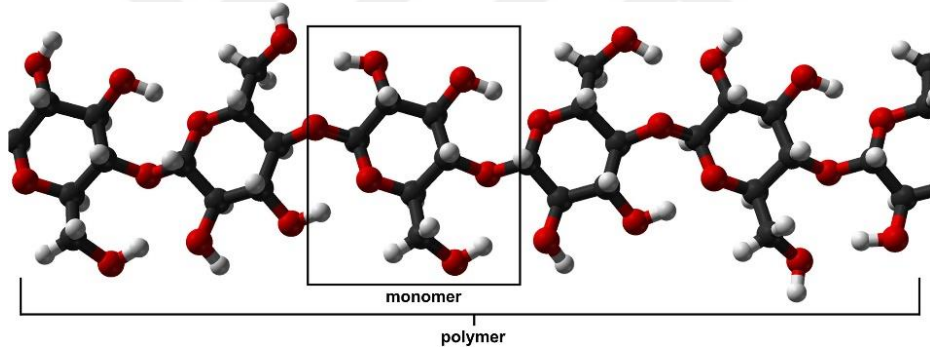
- Kenevir lifi selüloz yapısından dolayı derişik inorganik asitlerden zarar görürler,
- Yüksek sıcaklıkta zayıf asitler mukavemet kaybına neden olur,
- Organik asitlere karşı daha dirençlidirler,
- Bazlara karşı dayanıklıdır,
- En kuvvetli doğal liftir,
- Kolay tutuşur ve yanar. Erimez. Alev kaynağı çekildiğinde yanmaya devam eder. Yumuşak, gri renkte kül bırakır. Yanan kâğıt gibi kokar,
- Lifler sıcak yoğun bazlarda erir, soğuk yoğun bazların kullanımıyla ise lifler şişer ve merserize etkisi yaratılır,
- Mikroorganizmalara karşı çok dirençlidir,Organik çözücülerden zarar görmezler,
- 20 °C'de %65 bağıl nem altında %12, %95 bağıl nem altında %30 nemi çeker,
- Anti bakteriyel özellik gösterir,
- UV ye karşı dayanımı iyidir,
- Nefes alabilir özelliği vardır,Alerjik reaksiyon göstermez,
- İyi bir elektrostatik özelliği vardır,
- Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdır,
- Ketenin boyanmasında kullanılan tüm boya maddeleri ile boyanabilirler.

### 2.1.3.Kenevir Lifi Kullanım Alanları

Kenevir lifi şapkalar, gömlekler, pantolonlar ve kazaklar gibi gündelik kıyafetlerin yapımında, Halat ve ip yapımında, Branda, kemer, itfaiye hortumlarında, Sigara kâğıdı ve kâğıt üretiminde, Urgan, yelken, çadır bezi, çuval yapımında ve halının çözümlü ipliğinde, Jeotekstiller, erozyon kontrolü battaniyeleri ve kompozit takviyeler ve dolgu maddeleri gibi endüstriyel kullanımlar için kullanılır.

### 2.2.Polimerler

Polimer, birçok tekrar eden alt birimden oluşmuş çok büyük moleküllerden veya makro moleküllerden oluşan bir madde veya malzemedir. Geniş özellik yelpazesinden dolayı, hem sentetik hem de doğal polimerler, günlük yaşamda temel ve her yerde bulunan bir rol oynarlar. Polimer zincirlerin yapı görüntüsü Şekil 2.2.'de gösterilmiştir (M. A. Vadivelu,2016).

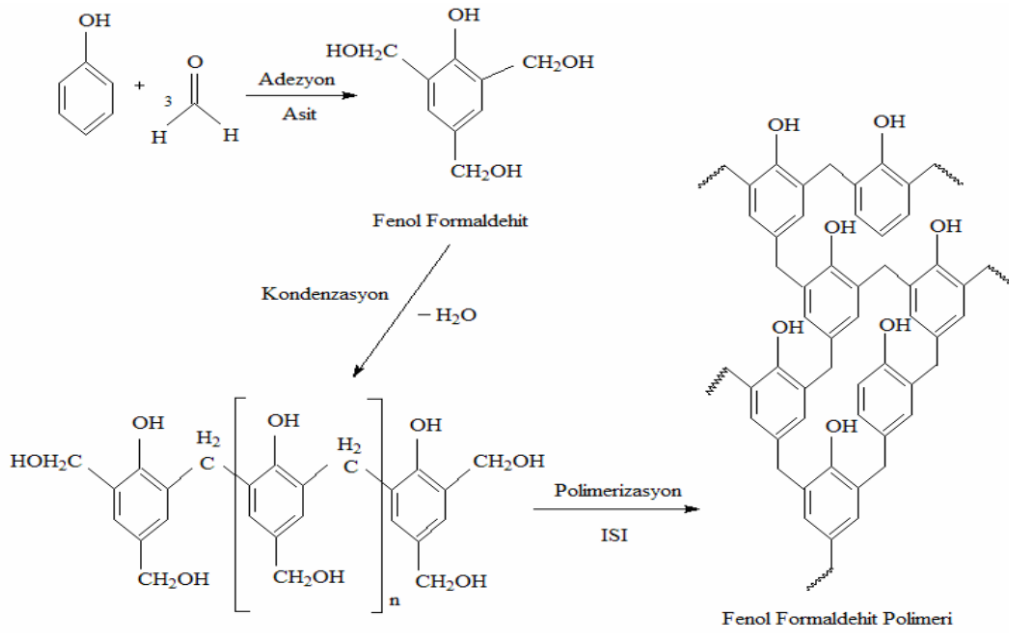


Şekil 2.2. Polimer yapısal görüntüsü

Termoplastik, termoset ve elastomerler olmak üzere 3 temel polimer sınıfı vardır. Bu sınıflar arasındaki ayrım iyi uygulanan ısı altında davranışları ile tanımlanır. Termoplastikler: Isı ile şekil verilebilen malzemelere verilen isimdir. Isıtıldığında yumuşayarak akışkanlıkları artar, camsı geçiş ve/veya erime noktaları olan 2 boyutlu (lineer veya dallanmış) ısı etkisi ile akışkan hale getirilip kalıplanabilir, bu işlem tersinirdir. Uygun çözücülerde çözülebilirler örnek olarak polietilen, polistiren, pet, naylon, vb.

### 2.3.Reçine-Fenol Formaldehit

Termoset plastik grubundan olan Fenolik reçineler, ekonomik fiyat seviyesine, uygun mekanik özelliklere sahip oldukları için sürtünme malzemelerinde sıklıkla bağlayıcı olarak kullanılırlar. Bununla birlikte, bu reçineler ısıya ve neme duyarlıdır (B. Öztürk ve diğ., 2013), (Y. C. Kim ve diğ., 2008). Ancak sıcaklık yükseldikçe ayrışmaya uğrar ve 450 °C’de karbonize olur(Y. C. Kim ve diğ. , 2008). Fenolik reçinenin başka bir olumsuz yönü ise kırılğan olması ve darbe direncinin düşüklüğüdür. Bu nedenle kırılğanlığının azaltılması için başka malzemeler kullanılarak modifiye edilir (J. F. Kane ve diğ. , 1998). Değişik miktarlarda Fenolik reçine katkısı ile ürettikleri fren balatası numuneleri ile ilgili çalışmalarında Jang ve ark. Sürtünme malzemelerinde Fenolik reçine miktarının artırılmasının sürtünme katsayısında değişimler göstermesine sebep olduğunu gözlemişlerdir (H. Jang ve diğ. , 2001). Fenolik reçine esaslı sürtünme malzemeleri büyük miktarlarda takviye ve dolgu malzemeler içerirler. Bu malzemeleri doğru miktarlarda kullanarak kompozit oluşturmak çok önemlidir. Bu çalışmalarında Yi ve Yan, bor nitrür (h-BN) ve düşük maliyetli olması sebebiyle, sönmüş kok katarak (CPC), Fenolik reçineli sürtünme malzemeleri imal etmişler ve bu malzemelerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. İncelemelerin sonucunda CPC ve h-BN malzemelerinin sürtünme katsayısını sabitlemeye ve aşınma oranını düşürmeye etki ettiğini belirtmişlerdir(G. Yi ve diğ. , 2006). Gurunath ve Bijwe bu çalışmalarında, Fenolik reçine ile ilgili problemlerin üstesinden gelebilecek alternatif reçine sentezlemiştir. Fenol Formaldehit Polimeri Polimerizasyon şematik biçimi Şekil 2.3.’de gösterilmiştir (Gerengi, 2012).

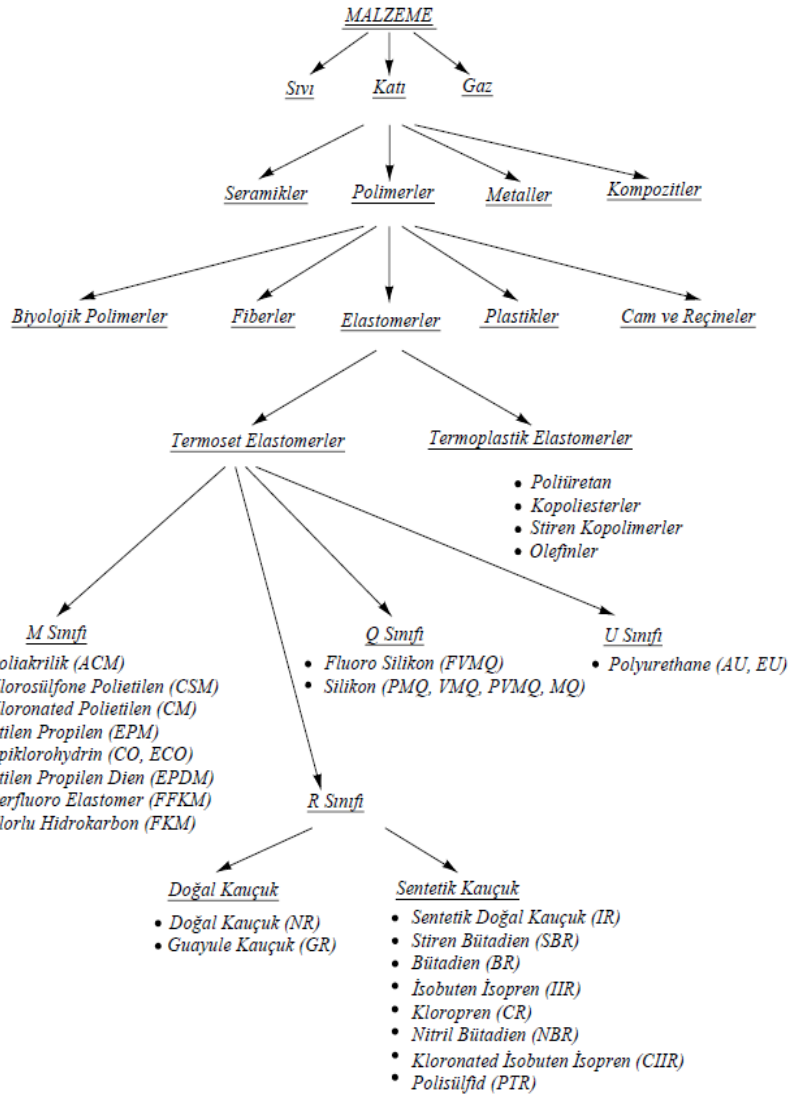


Şekil 2.3.Fenol Formaldehit Polimeri Polimerizasyon şematik gösterimi

Sentezledikleri reçinelere ek olarak 12 farklı malzeme daha (aramid, pan, lapinus, cam, çelik, pirinç, alümina, grafit, kashev vb.) kullanmışlardır. Sonuç olarak yeni ürettikleri reçinenin uzun kabuk ömrü, zararlı uçucu çıkartmaması, sıfıra yakın daralma gibi olumlu özellikler gösterdiğini gözlemişlerdir. Sentezlenen yeni reçinenin ticari amaçlı kullanılabileceğini düşünmektedirler (P. V. Gurunath ve diğ. , 2007). Ho ve ark. Bakır ve fenolik reçine esaslı fren balatasının tribolojik özelliklerini incelemiştir. Hazırlanan numunelerin sertliklerini, yoğunluklarını, baskı kuvvetlerini, ağırlıklarını ve kalınlıklarını ölçmüşlerdir. Ayrıca numunelerin tribolojik özelliklerini test etmişlerdir. Sonuç olarak bütün malzemelerin ağırlıklarında, kalınlıklarında azalma gözlemişlerdir (S. C. Ho ve diğ, 2005).

#### 2.4.NBR Kauçuk

Lastik gibi üstün viskoelastik özelliklerinden dolayı sürtünme malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, sürtünme esnasında oluşabilecek sesleri azaltmak için genellikle kauçuk fren balatalarına dâhil edilir ve sıkıştırılabilirliği değiştirir. (A. Almaslow ve diğ. , 2013), (P. J. Blau, 2001).



Şekil 2.4. Kauçuk türü malzemelerin sınıflandırmasına şematik örneği

Kauçuk türü malzeme Şekil 2.4'te görüldüğü gibi polimer sınıfından termoset elastomerlerin altına yer almaktadır. Saffar ve Shojaei kauçuk bileşenlerinin sürtünme malzemelerinin performanslarına etkisi üzerine çalışmışlardır. Fenolik reçineli ve kauçuklu kompozitler oluşturmuşlardır. Kauçuk bazlı malzemelerde sürtünme katsayısı yüksek, reçine bazlı malzemelerde aşınma direnci yüksek elde edilmiştir (A. Saffar, 2012).

## 2.5. Bor

Kökeni Buraq/Baurach(Arapça) ve Burah(Farsça) kelimelerinden gelen ağırlıklı olarak metalimsi davranış gösteren Bor(B), ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac ve Jacques Thenard ile Sir Humphry Davy tarafından Bor Oksit'in Potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir.

Atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 gram, ergime noktası 2076-2300°C, Buharlaştırma Sıcaklığı 3927°C (2550 °C süblümleşme), Sertliği(mikro sertlik) 49000 HV, Yoğunluğu 2,3 g/cm<sup>3</sup> (Amorf) ve 2,31 g/cm<sup>3</sup>, periyodik sistemin üçüncü grubunun başında yer almaktadır. Kimyasal olarak ametal bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranış göstermekte olup sadece yüksek konsantrasyonlu Nitrik Asit ile sıcak ortamda Borik Asit'e dönüşebilmektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek Bor Oksit (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), aynı koşullarda nitrojen ile Bor Nitrit (BN), ayrıca bazı metaller ile Magnezyum Borit (Mg<sub>3</sub>B<sub>2</sub>) ve Titanyum Diborit (TiB<sub>2</sub>) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşabilmektedir. Bor tabiatta serbest olarak bulunmaz. Yer kabuğunda toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan kristal ya da amorf yapıdaki bor miktarı ortalama 10 ppm mertebesindedir. Doğada, kütle numaraları 10 (%19,8) ve 11 (%80,2) olan iki kararlı izotopun karışımı şeklinde bulunmaktadır. Canlıların bu elementin varlığında evrim geçirdiği ifade edilmektedir.

### 2.5.1.Bor Lifiinin Genel Özellikleri

- i.Periyodik sistemin üçüncü grubun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur.
- ii.Kimyasal sembolü (B) olup, periyodik cetvelin, III A grubunun metal olmayan tek elementidir.
- iii.Bor madeni ilk bakışta beyaz bir kaya şeklinde olup, çok sert ısıya dayanıklı, doğada serbest bir element olarak değil, tuz bileşikleri şeklinde bulunmaktadır.
- iv.Bor elementinin amorf bir toz halindeki rengi koyu kahverengidir. Ancak çok gevrek ve sert yapıları monoklinik kristal halinin rengi ise sarımsı kahverengidir. Elmaştan sonra en sert elementtir.
- v.Yeryüzünün 51. yaygın elementi olan bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir.

- vi. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm, deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda 0,001-1,5 ppm aralığındadır.
- vii. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve Amerika'nın kurak volkanik ve hidrotermal aktivitesinin yüksek olduğu bölgelerde bulunmaktadır.
- viii. Bor nitrür lifi suda ıslanmaz ve hidrofobik bir yüzey oluşturur.
- ix. Borun, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla olan ve oksijene karşı afinitesi çok yüksek olan bir elementtir.
- x. Bor suda çözülen, renksiz ve bülursuz bir maden olan boraks, ısı etkisiyle önce ısı kaybetmekte, sonra erime özelliğine sahip bir elementtir.
- xi. Bor elmadan sonra ametaller arasında elektro pozitifliği en yüksek olan elementtir.
- xii. Oda sıcaklığında elektrik iletkenliği zayıftır fakat yüksek sıcaklıklarda çok yüksektir.
- xiii. Proton ve elektron sayısı 5, nötron sayısı 6, atom çapı 1.78 Å'dır. Bor'un nükleon başına bağlama enerjisi mega elektron volt cinsinden 6,9'dur.
- xiv. Bor 2.33 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu kristal ve 2.3 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu amorf olmak üzere iki şekilde bulunur.
- xv. Bor, yanıcı fakat tutuşma sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek kan ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan kan yakıt hücresi olarakta kullanılmaktadır.

### **2.5.2. Bor Lifinin Kullanım Alanları**

Günümüzde büyük balıklar için kamışlar, tenis raketleri, kayaklar, formula-1 arabaları ve yarış bisikletleri gibi ürünlerde Bor elyafı kullanılmaktadır. Örneğin, bir yarış bisikleti gövdesi Bor elyaf ile üretildiğinde karbon elyafa göre %70 kadar hafif yapılabilmektedir ki bu durum maliyeti karşılayabilenler için ciddi bir üstünlük sağlayabilmektedir. Son yıllarda insanlar için de önemi anlaşılan ve kanser tedavisi, kemik erimesi, prostat tedavisi, anti bakteriyel olarak kullanılmaya başlanan borun başlıca kullanım alanları; inşaat, alev geciktiriciler, tarım, ahşap koruma, cam endüstrisinde kullanımı, seramik endüstrisi, temizleme ve beyazlatma sanayi, tekstil sanayi, tekstil cam elyafı, metalürji sanayi, sağlık alanlarında kullanılmaktadır.

## 2.6. Kolemanit

Kolemanit, dünya bor lideri Eti Maden tarafından çıkarılarak yüksek teknoloji ile donatılmış konsantratör tesisinde zenginleştiriliyor ve öğütülmüş hale getiriliyor. Mineral bakımından oldukça zengin bir bor çeşidi olan Kolemanit ( $2CaO.3B_2O_3.5H_2O$ ); mono klinik sistemde kristalleşir. Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5 özgül ağırlığı  $2,42 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Bor bileşikleri içinde yaygın olarak bulunmaktadır. Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yörelerinden temin edilen kolemanit kristalleri. (Arslan,2021)



Şekil 2.5. Bigadiç, Kestelek, Espey ve Hisarcık yörelerinden temin edilen kolemanit kristalleri

Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Saf Kolemanit suda yavaş, HCl' de hızlı çözünür. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında ve dünya'da A.B.D' de bulunur. (ETİ MADEN Ürün Teknik Bilgi Formu)

## 2.7. Barit

Barit ( $BaSO_4$ ) baryum sülfattan oluşan minarelidir. Genellikle beyaz ya da renksizdir, bazen de sarı ve gri olabilir. Düşük maliyetli olduğu için sürtünme malzemeleri

endüstrisinde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Isı kararlılığı ve sürtünme karakteristiğine etki etmesi sebebiyle çok tercih edilir (T. Komori ve diğ. ,1990). Baryum yoğunluğu ve aşınma direnci artırır (P. J. Blau, 2001). Birçok fren balatası kompozisyonunda barit kullanılmıştır (Y. Handa ve diğ. , 1996). Barit metalik olmayan minarellerin en ağırlı olarak bilindir. Yoğunluğu:4.45 gr/cm<sup>3</sup>; aşındırıcı: Mohs 3-3,5 ile birlikte yüksek ısı ve basınç altında kimyasal sabitliğini koruması su ve asitlerde düşük çözünürlüğü manyetik özelliğinin bulunmaması ve uygun maliyetlerde temini Barit 'i farklı sektörlerde yaygın şekilde kullanılmasına olanak sağlar. Barit 'in ilk kez özgül ağırlığı ve beyaz özelliğinden ötürü boya, kağıt ve cam endüstrisinde kullanılmıştır.1926 yılından sonra Barit 'in petrol ve tabii gaz aramalarında yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Barit dünyada en çok petrol sondajlarında çamurun ağırlaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu çamur sondaj sırasında kat edilen formasyonlara ait kalıntıların yukarı çıkarılmasına matkap ve tijlerin yağlanmasına sondaj deliği duvarların sağlamlaşmasına ve çıkarılan petrolü beklenen seviyelere yaklaşıldığında basınçlı gaz gelişimini dengelemede oldukça kullanışlıdır.



Şekil 2.6.Barit görseli

Sondaj çamuru ayrıca kuyu derinleştikçe artan ağırlığına karşı dengede sağlamaktadır. Barit 'in özgül ağırlığının 4.5 oluşu, yumuşak oluşu aşındırıcı olmaması, suda erimemesi ve ucuz maliyetle temin edilmesi sondaj çamuru için ideal malzeme olmasını sağlar. Dünyada kullanılan Barit'in % 80'i petrol endüstrisinde sarf edilmektedir. Barit katkı maddesi olarak kâğıt, tual, yer muşambası, lastik ve ebonit sanayiinde kullanılmaktadır. Cam endüstrisinde parlaklığı arttırmak, mercek ve TV tüpleri üretiminde, plastik

sanayinde plastiğe matlık verebilmek içinde kullanılır. Ayrıca, barit tarım ilaçları üretiminde de ilave madde olarak yararlanılmaktadır.

## 2.8. Sürtünme Ayarlayıcılar

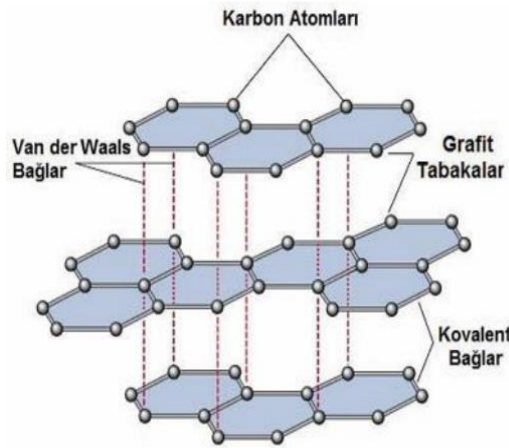
Sürtünme katsayısını kontrol etmek veya aşınma türünü değiştirmek için sürtünme düzenleyiciler eklenir. Yağlayıcılar, sürtünme katsayısını azaltmaya, aşındırıcı parçacıklar, sürtünme katsayısını arttırmaya yarar ( F. B. M. Eriksson ve diğ. , 1999).

## 2.9. Katı Yağlayıcılar

Genel olarak, katı yağlayıcıların yükseltilmiş sıcaklıkta bir araya getirilmesi, sürtünme malzemelerinin yüksek sıcaklıklardaki ısı direncini ve kayganlığını arttırmaya yardımcı olur. Ticari sürtünme malzemeleri için kullanılan katı yağlayıcılar grafit, molibden disülfid, antimon trisülfid, bakır sülfür, kalsiyum flüorürdür.

### 2.9.1.Grafit

Grafit karşı sürtünme yüzeyinde hızlıca yağlanmayı sağladığı için yaygın olarak kullanılan bir malzemedir(T. R. Prabhu, 2015). Grafit, yumuşak, yağlı, siyah renkli bir katı maddedir. Katı yağlayıcı olarak grafit, düşük maliyet ve mükemmel yağlama performansı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (B. Chen ve diğ., 2008).



Şekil 2.7.Grafit yapısının şematik gösterimi

Şekil 2.7’de grafit yapısının şematik gösterimi gösterilmiştir. (A. Dilek ÇUHADAROĞLU). Grafit aralarındaki bağlantı gücü az olduğu için Fenolik reçineyle çok fazla beraber kullanılamaz (T. Komori ve diğ. ,1990) .



Şekil 2.8.Grafit

Şekil 2.8.'de grafit gösterilmiştir (A. Dilek ÇUHADAROĞLU). Cho ve ark. Farklı miktarlarda katı yağlayıcı (grafit,  $Sb_2S_3$  ve  $MoS_2$ ) içeren sürtünme kompozitlerinin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Sonuçlara göre katı yağlayıcıların, sürtünme kararlılığına, feyd direncine olumlu etki yaptığını gözlemişlerdir (M. H. Cho ve diğ. , 2006).

### 2.9.2.Metal Sülfid

Malzemenin karakteri sürtünme materyalinin kompozisyonuna bağlıdır. Metal sülfitlerin sürtünme katsayısını geliştirdiği ve kararlı hale getirdiği bilinmektedir(A. B. Luise Gudmand-Hoyer ve diğ., 1999). Metal sülfid çok kullanılan bir yağlayıcıdır ve grafitten daha düşük iletkenliğe sahiptir bu yüzden yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olmaz (A. J. Taylor ve diğ., 1998).

### 2.10. Aşındırıcılar

Aşındırıcı parçacıklar (abrasifler), tipik olarak silis ve alümina, disk aşınmasını ve sürtünme katsayısını artırır (H. Jang ve ark. , 2004) . Amaç demir oksitleri ve istenmeyen diğer yüzey filmlerini diskten çıkararak daha iyi tanımlanmış bir sürtünme yüzeyi sunmaktır (S. J. Mikael Eriksson, 2000). Aşındırıcıların seçimi, sertlik derecelerine, boyutlarına, şekillerine, aşınma direncine yaptığı etkiye bağlıdır (B. Öztürk ve diğ., 2013). En yaygın kullanılan abrasifler şunlardır; alüminyum oksit (Alümina), demir oksit, metal oksit, boron karbür, zirkonyum oksit, titanyum oksit, zirkonyum silikat v.b.

### **2.10.1.Alüminyum Oksit (Alümina)**

Alümina malzemesi, fren balatası kompozisyonuna aşınma dayanımı düzenlemek için ve yüzey parlaticı olarak katılır, ancak feyd etkisine (frenleme nedeniyle ısınan balatanın performansında düşme etkisine) neden olabilir. Susuz hali, daha aşındırıcıdır ancak kimyasal olarak birleştirilmiş hali en aşındırıcı olanıdır(P. J. Blau, 2001), ( Z. Tatlı ve diğ., 2014). Fan ve ark. Değişik oranlarda alümina katkısıyla ürettikleri sürtünme malzemesinin tribolojik özelliklerini incelemiştir. Hazırladıkları 5 farklı numuneye sırasıyla %0- %3,4- %5,6- %9- %14,6 oranlarında alümina eklemiştir. En iyi sürtünme performansını ise %5,6 alümina katkılı kompozitten elde etmişlerdir ve otomobil fren balatası olarak üretilebileceğini bildirmişlerdir (Y. Fan ve diğ. , 2008).

### **2.10.2.Demir Oksit ve Metal Oksit**

Metal oksitler, birçok kompozit materyalin geliştirilmesinde anahtar bileşenlerdir (H. Zheng ve diğ., 2011). Hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve manyetit ( $Fe_3O_4$ ) yumuşak aşındırıcılardır. Demir oksitler, fren balatası yüzeyinde gevşek parçacıklar halinde bulunurlar (W. Österle ve ark. , 2001). Bu kadar küçük boyutlu parçacıkların üretilmesi birçok nedenden ötürü son derece zordur (L. Blaney, 2007).

### **2.11.Diğer Sürtünme Düzenleyiciler**

Bor karbür, zirkonyum oksit, titanyum oksit, zirkonyum silikat, krom oksit ve alüminyum oksit gibi çeşitli aşındırıcılar şu anda fren sürtünme malzemesi olarak kullanılmaktadır(B. Öztürk ve diğ., 2013). Ma ve ark. Farklı miktarlarda Zirkon ekleyerek ürettikleri metalik olmayan balataların sürtünme performanslarını incelemiştir. Numunelerin içinde %0, %3,4- %5,6- %9 ve %14,6 (ağırlıkça) zirkon bulunmaktadır. Deneyler sonucunda zirkonun bir aşındırıcı olarak sürtünme katsayısını arttırmada anahtar bir rol üstlendiği ortaya çıkmıştır. En iyi sonuçlar %5,6 oranında Zirkon katkılı kompozitten meydana gelmiştir(Y. Ma ve diğ. , 2008). Jang ve Kim yakın miktarlardaki aşındırıcı  $ZrSiO_4$ -Zirkonyum silikat- ile katı yağlayıcı  $Sb_2S_3$ -antimon trisülfid- kullanarak ürettikleri fren balatalarının sürtünme özelliklerine bakmıştır.  $ZrSiO_4$  ve  $Sb_2S_3$  oranları hacimce %2, %4, %6 şeklindedir. Yakın miktarlarda kompozit eklenen  $ZrSiO_4$  ve  $Sb_2S_3$ 'in aşınma miktarı üzerinde büyük etkisi olduğunu gözlemişlerdir (S. J. K. Ho Jang, 2000).

Ülkemizde birçok tarımsal atık yakılarak ya da başka alanlarda tüketilmektedir. Fındikkabuğu ve ceviz kabuğu ticari değeri geliştirilmeye uygun ürünlerdir. Sürtünme malzemelerinde sürtünme düzenleyici olarak kaşhev adlı maun ağacı meyvesinin kabuğu kullanılmaktadır. Kaşhev yerine fındık ya da ceviz kabuğunun fren balatası kompozitine eklenmesi, bu tarım ürünlerinin değerini arttıracaktır. Ayrıca yurt dışından ithal edilen bir ürünün yerine geçeceği için ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda alternatif ürünlerin irdelenmesi zorunluluk arz etmektedir. Yerel kaynaklarımızdan elde edebileceğimiz alternatif malzemeler; fındikkabuğu, ceviz kabuğu, bor, boraks ve wollastonite olabilir. Ülkemiz özellikle fındık ve bor malzemeleri açısından dünyada lider bir konumda bulunmaktadır. Bu malzemeler, ticari değerleri arttırıldığı takdirde olan ekonomik olarak fayda sağlayacaktır.

## **2.12. Takviye Edici Malzemeler**

Takviye edici elyaflar, sürtünme malzemesine mekanik mukavemet sağlamak için kullanılırlar (B. Öztürk ve diğ., 2013). Elyafın türleri ve göreceli miktarları fren performansını ve aşınma ömrünü etkiler (S. J. Kim ve ark., 2001). Fren balatalarında takviye malzemesi olarak çelik yünü, kaya yünü, kevlar cam elyaf, bor elyaf, kynol elyaf gibi birçok malzeme kullanılmaktadır (S. J. Kim ve diğ., 2001).

### **2.12.1.Kaya Yünü**

Taşyünü, düşük yoğunluğu ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemetini koruması nedeniyle elyaf olarak kullanılmıştır. Çeşitli şekillerde piyasada bulunan kaya yünü, fren balatalarının önemli bir bileşenini oluşturur ve ısı, korozyon, titreşim ve akustiğe karşı mükemmel direnç sağlarken, bunun yanında geniş mekanik mukavemete sahiptir (B. K. Satapathy ve diğ., 2006), ( B. Öztürk ve diğ., 2013).

### **2.12.2.Çelik Yünü**

Çelik yün, sürtünme malzemelerinde elyaf olarak kullanılır (Y. Lu, 2006). Genellikle, çelik yün yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir (Y. Lu ve diğ. , 2002). Ayrıca karıştırma esnasında parçalanmaya karşı dirençlidir. Kısa çelik elyaflar, uzun olanlarına göre daha çabuk korozyona uğramasına rağmen ucuz olmaları sebebiyle balata üretiminde sıklıkla kullanılırlar (D. Mandal ve diğ., 2008). Bijwe ve ark. Çelik yünü ilavesi nedeniyle kompozitlerin yoğunluğunun artan bir eğilim gösterdiğini

gözlemlemiştir. Çelik yünün artmasıyla boşluk içeriği artmıştır. Çelik yünün artmasıyla mekanik özellikler bozulmuştur ancak aşınma bu bağlamda herhangi bir değişim göstermemiştir (J. Bijwe ve diğ. , 2007).

### **2.13. Dolgu Malzemeleri**

Dolgu maddeleri, fren sürtünme malzemesinin özelliklerini değiştirmede önemlidir. Dolguların doğru seçimi, sürtünme malzemesinin diğer bileşenlerine bağlıdır (A. Almaslow ve diğ. , 2013). Dolgu malzemeleri, maliyeti düşürürken aynı zamanda üretilirliği de artırırlar. Kalsiyum, potasyum titanat, kauçuk, mika ve vermikülit gibi farklı mineraller sıklıkla kullanılır. Baryum sülfat yaygın olarak kullanılan bir dolgu maddesidir (S. J. M. Eriksson , 2000.), (F. B. M. Eriksson ve diğ., 2002).

#### **2.13.1.Kalsiyum Karbonat**

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) baryum sülfata bir alternatif olarak düşünülebilir çünkü onunla benzer özellikler göstermektedir (P. J. Blau, 2001), ( K. Ohya, 1990). Kalsiyum karbonat yüksek sıcaklıkta aşınma direncini ve yoğunluğu sabit tutar (P. J. Blau, 2001).

#### **2.13.2.Mika**

Mika yaygın kullanılan bir başka dolgu malzemesidir. Düşük frekanslı frenleme gürültüsünü önleyebilir (K. Kimura ve ark. , 1998). Bununla birlikte katmanlı yapısından dolayı yüksek frenleme gücünde katmanlar birbirinden ayrılabilir (M. Unno ve diğ. , 2012) .

#### **2.13.3.Vermikülit**

Mika gibi vermikulitte frenleme esnasında gürültüyü önlemede yardımcı olmaktadır (M. Nakagawa ve ark. , 1993). Katmanlı bir yapıya sahip olmasına rağmen gözenekliliği ve aşınma direnci daha iyidir (K. Kimura ve diğ. , 1998).

#### **2.13.4.Potasyum Titanat**

Potasyum Titanat dolgu malzemesidir. Yalıtıcıdır ve asbestin etkisine alternatif olarak yapıya eklenir. Ayrıca balataların ısıl direncini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalarda fren balatalarının sürtünme aşınma performanslarına olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir (M. Halberstadt ve diğ. , 1978).

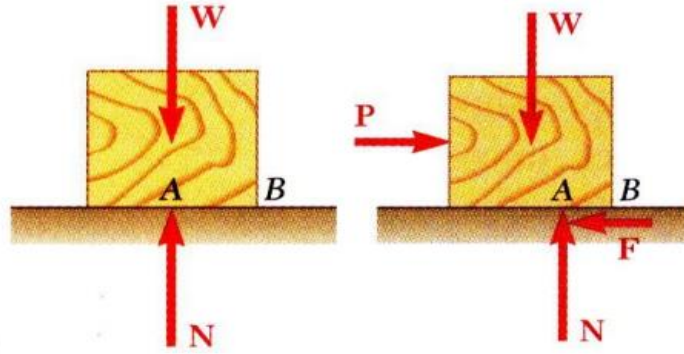
## 2.14.Diğer Dolgu Malzemeleri

Potasyum titanat, alüminyum silikon yünü, zirkon oksit, aramid hamuru, bakır tozu veya talaşı, vermikulit, mika, grafit, seramik fren balatalarında kullanılan diğer malzemelerdendir (L. Han ve diğ. , 2006).

## 2.15.Sürtünme

Birbiriyle temas halindeki yüzeylerde, hareket halinde, yüzeye teğet kuvvetler oluşur ve bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. İki tür sürtünme vardır: kuru veya Coulomb sürtünmesi ve akışkan sürtünmesi. Akışkan sürtünmesi yağlama mekanizmalarında kullanılır. Tez kapsamında, sadece kuru sürtünme göz önüne alınmıştır.

Şekil 2.9.'daki gibi W ağırlığındaki blok yatay yüzey üzerine yerleştirildiğinde, blok üzerine etkiyen kuvvetler: a ağırlığı ve yüzeydeki tepki kuvvetidir (N). (<http://atlas.cc.itu.edu.tr>, 2022).Bloğa küçük bir yatay P kuvveti uygulansın. Bloğun hareket etmesini engelleyecek sürtünme kuvveti (F) harekete ters yönde ve temas yüzeyine teğet olacaktır. Bu şekilde blok sabit kalacaktır. Burada F statik-sürtünme katsayısıdır.



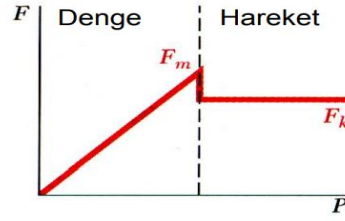
Şekil 2.9.Sürtünme kuvveti şematik gösterimi

P kuvveti arttırılırsa, statik sürtünme kuvveti de maksimum değerine kadar artacaktır.

$$F_m = \mu_s N \quad (2.1)$$

P kuvveti daha da arttırılırsa blok hareket etmeye başlayacaktır. Bu durumda F kuvveti azalır ve kinetik-sürtünme kuvveti ( $F_k$ ) adını alır.

$$F_k = \mu_k N \quad (2.2)$$



Şekil 2.10.Sürtünme kuvveti grafiği

Kinetik-sürtünme katsayısı:

$$\mu_k \cong 0.75 \mu_s \quad (2.3)$$

Maksimum statik sürtünme kuvveti ve kinetik-sürtünme kuvveti normal kuvvet ile orantılıdır. Temas yüzeylerinin tipine bağlıdır. Temas alanından bağımsızdır.

Tablo 2.1.Malzemeler arası sürtünme katsayıları

Metal ile Metal	0,15-0,60
Ahşap ile Metal	0,20-0,60
Taş ile Metal	0,30-0,70
Deri ile Metal	0,30-0,60
Ahşap ile Ahşap	0,25-0,50
Deri ile Ahşap	0,25-0,50
Taş ile Taş	0,40-0,70
Toprak ile Toprak	0,20-1,00
Beton ile Kauçuk	0,60-0,90

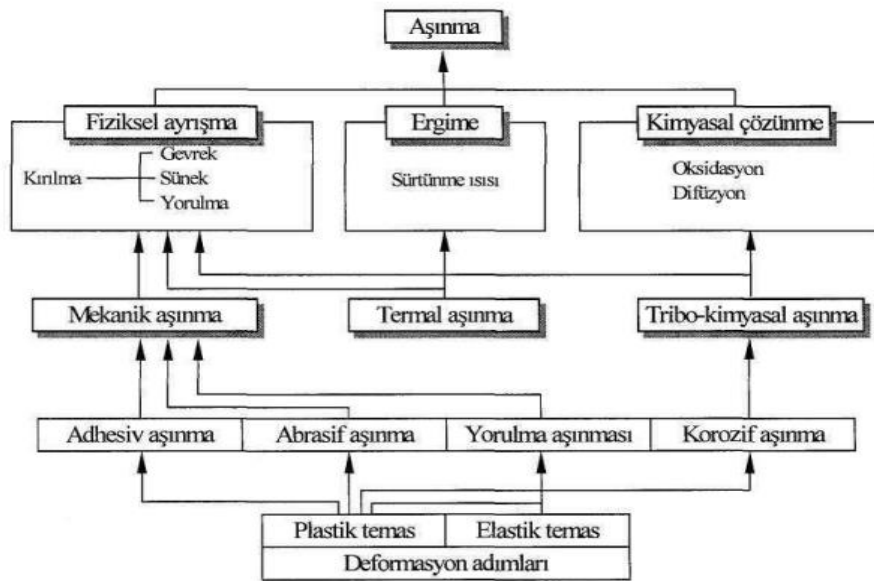
Sürtünme katsayısı disk yahut kampanyayla, balata arasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin normal kuvvete oranı olarak tanımlanabilir (TS 555, 1992). TS 555'e göre, sürtünme katsayısı, iki grupta incelenir. 300 °C, 350 °C, 400 °C, sıcaklıklarda ölçülmüş olan katsayılar, aritmetik ortalaması, sıcak, sürtünme katsayısı, yine yüz 100°C, 150°C, 200°C, sıcaklıklarda yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması ise soğuk, sürtünme katsayısı olarak incelenir.

Tablo 2.2.TS 555' e göre Balataların sürtünme katsayılarına göre sınıfları

Sınıf	Sürtünme katsayısı ( $\mu$ )
C	0,15
D	0,15-0,25
E	0,25-0,35
F	0,35-0,45
G	0,45-0,55
H	>0,55

## 2.16.Aşınma ve Türleri

En yaygın bilinen aşınma durumu kaymalı aşınmadır (sliding wear). Kaymalı aşınmada bir yüzey diğerinin üzerinde kayarken, tekrarlı kayma sonucu zaten malzeme yüzeyinin doğasından kaynaklanan pürüzlülükler dışında pürüzlü bir yüzey ya da malzeme yüzeyinde tepeler-çukurlar-yivler gibi oluşumlar görülür. Bu pürüzlülükler kaymanın devamı halinde yerlerinden ayrılarak ya sistemden uzaklaşır ya da kayma ara yüzeyine yerleşerek aşınma partikülleri olarak davranırlar (Staab, 1999). Aşınma; 25 yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerinin değiştirilmesinden etkilenmektedir (Mutlu, 2002).

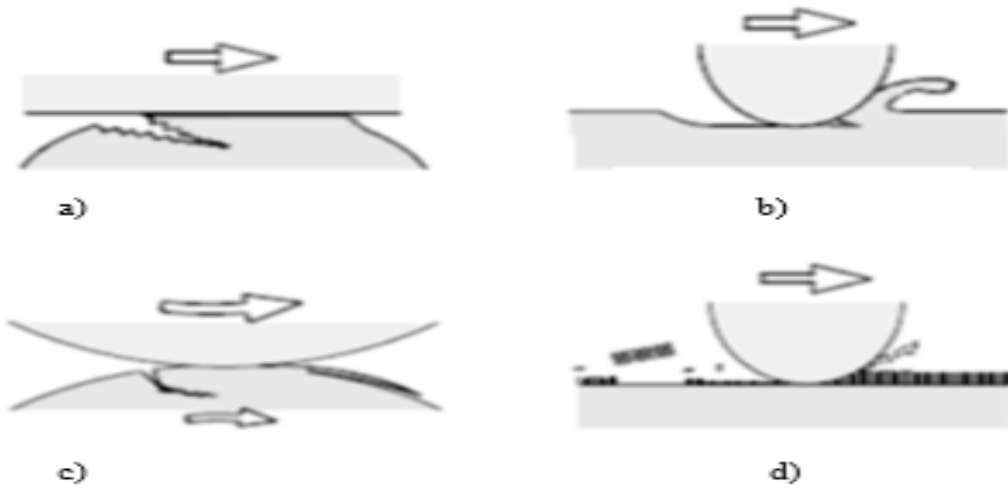


Şekil 2.11.Aşınmayı tanımlayıcı anahtar kelimeler

Aşınma mekanizmaları genel olarak dört başlıkta incelenmektedir. (Bhushan,2001).

- Adhesiv aşınma
- Abrazif aşınma
- Yorulma aşınması
- Korozyon aşınması

Adhesiv ve abrazif aşınma modları plastik temas altında oluşmaktadır. Benzer metaller arasında plastik temas durumunda, temas ara yüzeyi adhesiv bağlanma kuvvetine sahip olacaktır. Malzemenin temas ara yüzeyinde meydana gelecek hasar eğer ki güçlü adhezyon sonucu oluşuyorsa bu tür aşınma mekanizmasına adhesiv aşınma adı verilir. 26 Sert ve keskin malzeme ile ona göre daha yumuşak sayılabilecek bir malzeme arasında meydana gelen plastik temas durumunda, sert olan malzeme daha yumuşak olan malzemenin yüzeyine batacak ya da içine penetre olacaktır. Malzemede oluşacak çatlak ya da hasar gibi bu sert faz partiküllerinin karşı malzeme yüzeyinde oluşturacakları mikro-yarıklar ya da mikro-çatlaklar şeklindeki aşınmaya abrazif aşınma denir. Yorulma çatlak oluşumu tekrarlı sürtünme çevriminde meydana gelmektedir. Aşınma yüzey hasarının yorulma mekanizması ile meydana geldiği bu aşınma türüne ise yorulma aşınması denmektedir. Korozyon ortamlarda, temas ara yüzeyinde tribokimyasal reaksiyonlar hızlandırılır. Korozyon bir ortamda tribokimyasal reaksiyonlar sonucu yüzeyden malzeme kaybı korozyon aşınma ile tanımlanmaktadır (Bhushan 2001). Şekil 2.4'te aşınma mekanizmaları görülmektedir. (Bhushan 2001).



Şekil 2.12.a) Adhesiv aşınma,b) Abrazif aşınma c) Yorulma aşınması, d) Korozyon aşınması incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi

## 2.17.Literatür Taraması

Öncelikle tüm numunelerin literatüre uyumlu oldukları ve elde edilen sonuçlara göre endüstride uygulanabileceği düşünülmüştür. Toz Pinus Brutia koni ve kolemanit sürtünme tozu olarak kullanılabilceği bir kompozit olarak düşünölebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Isıl işlem ile hem fiziksel ve hem de sürtünme özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir. toz Pinus Brutia koni ve kolemanitin çeşitli kombinasyonları ile beş adet sürtünme kompozit numunesi hazırlayarak incelemişlerdir (W. Österle ve diğ., 2001).

İ. Sugözü ve diğ. yaptıkları çalışmada otomobil fren balatalarında üleksit (Bor türevi) ile Kaju 'nun sürtünme ve aşınmaya karşı davranışı incelenmiştir. Isıl işlem ile daha homojen bir yapı elde edilirken sertlik değerlerinde artış gözlenmiş ayrıca yoğunlukta bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre tüm numunelerde ort. Sürtünme katsayıları arasında orantılı değerler elde edilmiştir. Numunelerde mikro boşluk ve çatlakların olduğu gözlenmiştir (İ. Sugözü ve diğ.,2014).

H. Öktem, çalışmalarında organik sürtünme tozlarının kullanıldığı balata numunelerinde sürtünme performansı incelenmiştir. Özel tasarlanmış bir test sisteminde testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar bir test sisteminde testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar; Ölçölmüş olan sıcak sürtünme değerleri, soğuk sürtünme değerlerinden daha yüksek olduğu, 100, 500 ve 1000 frenleme çevrimlerinde, 1000 frenleme çevriminde daha kararlı sürtünme olduğu görölmüş, yüzeylerdeki mikro yapısı değerlendirildiği zaman tüm bileşenlerin homojen olduğu gözlemlenmiştir. SEM ölçümlerinde sürtünme tabakasındaki aşınma kalıntıları çelik ve pirinç liflerinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Numune yüzeyinde bazı küçük metalik parçacıklar bulunmuştur. Bu durum plastik deformasyonla ilişkilendirilebilir. Yüksek miktarda parçacık matristen ayrılmıştır. Mevcut çalışmada elde edilmiş olan sonuçlar SAE J-661 standartlarına uygun olarak görölmüş ve yüksek performans için faydalı ve güvenilir bir şekilde, sürtünme ve aşınma uygulanabilir olduğunu tespit etmişlerdir (H. Öktem.,2018).

Zhezhen Fu, çevre dostu yeni bir fren sürtünme kompoziti, keten lifleri içeren çalışma yapmışlardır. Hazırlanmış numunelerin sürtünme ve aşınma testlerinde performansları ölçölmüştür. Ağırlıklı olarak doğal bitki lifleri (keten) mineral lifler (bazalt, Wollastonite) mineral dolgu maddeleri ( doğal grafit, zirkonyum, vermikulit ve barit ) Fenolik reçine

kullanılmıştır. Keten lifleri üzerinde sürtünme performansı ve sıcaklık etkileri değerlendirilmiştir. Keten lifleri ile oluşan kompozitlerde sürtünme katsayısını stabilize ederken, yüksek aşınma oranında iyileştirilmiştir (Zhezhen Fu ve diğ.,2012).

K.W.Lien ,bu çalışmada asbestos brake pad (ABP), Non-asbestos brake pad (NABP), Commercial brake pad( CMBP) numuneleri üzerinde, kayma hızı, nominal temas basıncı ve kayma mesafesinin sürtünme katsayısı (COF) sıcaklık ve aşınma değerlerinin elde edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre, kayma hızının etkisi ile 3 tip komponentinde (COF) en düşüktür. Sürtünmeden dolayı sıcaklık arttıkça tüm komponentlerde (COF) azalmaya başlamıştır. Nominal temas basıncında; ABF en yüksek (COF) veriyor. NABP’de ise en az dalgalanma oluşuyor, CMBP ’de ise (COF) en düşük oluyor. Aşınma performansında ise 3 sürtünme malzemesinde, NABP>CMBP>ABP şeklinde olup NABP’de aşınma direnci en yüksektir. CMBP ile ABP ve NABP(COF) değerleri karşılaştırılmış ayrıca ağırlık kaybı da NABP, ABP ye göre daha az kayıp göstermiştir. Yaptıkları test sonuçlarına göre NABP ’in ölçülen değerleri, ABP’ değerleri ile karşılaştırıldığında sürtünme performansı daha iyi sonuçlanmıştır (K.W.Lien ve diğ.,2012).

İbhadode asbestos yerine Palm Kernell Shell (PKS)’den elde edilen bir sürtünme malzemesi kullanılmışlardır. Statik ve dinamik şartlarda asbestli sürtünme malzemesi ile karşılaştırma yapılmıştır. PKS’ in daha iyi bir formül yapısı içerisinde geliştirilebileceği ve aşınma değerinin de iyileştirilebileceği görülmüştür (A.O.A. İbhadode ve diğ.,2008).

Ajibade çalışmalarında yüksek maliyetli malzemeler yerine tarımsal atıklardan faydalanarak düşük maliyetli sürtünme malzemesi modellenmesi yapılmıştır. Üretim maliyetini azaltmak için kompozitler tasarlanmıştır. Sürtünme malzemesinin aşınma oranları ve fırsat maliyeti göz önüne alınmıştır. Ulaşılan aşınma oranları, bu kompozitlerin fren sisteminde kullanılabilirliğini göstermektedir. Yapılan testler ve deneyler alınan sonuçların uygunluğunu tespit etmektedir. Bu kompozitin üretim maliyetinin düşük olması imkânını sağlamaktadır. Tamamlayıcı nitelikler bakımından 2’li agro-dolgu kullanımı tekli dolgudan daha iyi olduğunu düşündürmektedir. Çift dolgunun ana avantajı, dolgu maddelerinin özelliklerinin birbirini tamamlamasıdır. Portakal kabuğu bunlardan birisidir, yağlama potansiyelinin geliştirilmesine olanak sağlar (O.A. Ajibade,2021).

Tej Singh araştırmalarında asbest bazlı olmayan elyaf dolgu maddesinin (Wollastonit), kullanılması ve sürtünme kompoziti olarak test ve değerlendirilmelerin yapılması amaçlamışlardır. Değişkenler kullanılarak sürtünme kompozitlerin lif ve toz halindeki wollastonit miktarları mekanik ve tribolojik özellikleri bakımından incelemişlerdir. Toz halindeki wollastonit fiber olandan daha iyi sürtünme ve aşınma değerlerine sahip olmuştur. Wollastonit lifleri ise düşük aşınma ve sürtünme dalgalanmalarına göz önüne alınırsa daha iyi değereler sahiptir (Tej Singh ve diğ.,2017).



### **3.MALZEME VE YÖNTEM**

Bu tez çalışmasında sürtünme kompozitlerde kullanılmak üzere seçilen doğal lif (kenevir) belli şartlar altında kimyasal bir solüsyon içerisinde hazırlanan kolemanit ve polimer malzemeleri ile kaplama yapmak için literatürde daha önce kullanılmamış olan özel yeni tip bir cihaz geliştirilmiştir. Bu amaç için uygulanması gereken tüm yöntem ve stratejiler aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

#### **3.1.Emprenye Yöntemleri**

Emprenye tanım olarak kaplama olup, elde edilmesi istenen amaca uygun kimyasal maddeler ile oluşturulan yaş karışımın, bir başka malzemeye nüfuz ettirilmesidir. Ahşap, tuğla taş, kumaş ya da elyaflar uygulanır. Bu uygulamaların bir kısmı koruma amaçlı, bir kısmı ise farklı özellikler kazandıracak yeni malzemeler elde etmek içindir. Bu çalışmamızda Kenevir-Kolemanit kompoziti (HCFCo) elde edilmesi ile bir sürtünme malzemesi oluşturmak amaçlanmıştır. Hazırlanan bir yaş karışımın içinden, Kenevir elyafının geçirilmesi ön görülerek bir kompozit elde edilecektir.

#### **3.2. Emprenye İşleminde Kullanılacak Ekipmanlar**

Emprenye işlemini gerçekleştirmek için, öncelikle yaş karışımın hazırlanması gerekir. Bu karışımı elde edebilmek için ise PLANET tipi olarak adlandırılan karıştırıcı tercih edilmiştir. Bu tip karıştırıcılarda karıştırma bıçağı merkezde tutularak, döner bir kol ile hareket verilir. Ana mil kendi eksenini etrafında dönerken, karıştırma kabının iç çevresinde de dolatılarak homojen karışım elde edilmesi sağlanır. Güneşin etrafında dönen bir gezegene benzediği için PLANET adı verilmiştir. Bu tip karıştırıcılar, kuru karışım, hamur karıştırma vb. işlerde kullanılır. Eğer katı/katı, katı/sıvı, sıvı/sıvı maddelerin farklı oranlarda ve farklı yoğunluklarda bir arada karıştırılması gerekiyorsa, PLANET karıştırıcı ile istenilen özelliklerde karışım elde edilebilir. Kullanılan karıştırıcıya ilişkin teknik bilgiler; Hacim 20lt, Devir sayısı: 0-360 dev/dk.(hız değiştirilebilir), Karıştırma süresi: 30-60 dk., Motor: 1,5 KW. (380 V, 3 Faz).

#### **3.3. Emprenye Banyosu Yoğunluk ölçümü**

Bu ölçüm bir hidrometre ile 1 litre karışımın ağırlığının ölçülmesi ile bulunmaktadır.

$$d = m/v \quad (3.1)$$

Emprenye işlemi sırasında ise Baume derecesi ölçümü ile yoğunluk kontrolü yapılmaktadır.

Ölçüler Baume değeri hesaplanarak yoğunluk kontrolüne dönüştürülmektedir. Hazırlanmış olan karışımın;

Hacmi(V)=1 lt, Ağırlığı(M)=924 gr olarak tartılmıştır.( Denklem (3.1) formülüne göre;  $d = 924 \text{ gr./1 lt.}, d = 924 \text{ gr./1000 cm}^3, d = 0,924 \text{ gr/cm}^3$  bulunur.

### 3.4.BAUME Derecesi Ölçümü

Hazırlanmış olan emprenye banyosunun yoğunluk kontrolü için BAUME derecesi ile ölçüm yaparken sıvının yoğunluğunun su yoğunluğuna göre durumuna bakılır.



Şekil 3.1.Baume derecesi

Sıvı (banyo) yoğunluğu < Su yoğunluğu ise,  $140 / \text{yoğunluk}(\text{gr/cm}^3) = \text{Bölüm değeri} \rightarrow$   
Bölüm değeri 130'dan çıkarılarak BAUME (Be°) hesaplanır.

Bu eşitlikten yola çıkarak: Bölüm değeri =  $140 / 0,924(\text{gr/cm}^3) = 151,51$

BAUME Derecesi = Bölüm Değeri – 130 =  $151,51 - 130 = 21,51 \text{ Be}^\circ$  hesaplanmıştır, istenen ölçüm aralığı ise 20-22 Be° olarak hesaplanır.

Emprenye esnasında belirli aralıklarda yapılacak kontrollerde ölçülecek (Be°) değerleri ile mukayese edilerek, sıvı karışımın yoğunluğunun sürekli aynı değerde kalması

sağlanır. Buharlaşma nedeniyle hem viskozite de, hem de yoğunlukta değişimler olabilir. Hazırlanan karışımdaki solid malzeme ise %8 olarak hesaplanmıştır.

Eğer; Sıvı yoğunluğu > Su yoğunluğu olsa idi,  $145 / \text{yoğunluk}(\text{gr/cm}^3) = \text{Bölüm değeri}$ ,

BAUME Derecesi =  $145 - \text{Bölüm değeri}$  olarak hesaplanır.

### 3.5.Viskozite Ölçümü

Hazırlanan banyonun viskozitesinin tayini için FRİKMAR viskozite ölçümüne uygun bir kap kullanılmıştır. DIN 53211 normlarına uygun olarak hazırlanmış (Şekil 3.2) bu kap 4 mm (16") orifis ölçüsündedir ve 112-655 cst (centistoke) vizkozite aralığındadır. Akış aralığı 45-150 sn'dir.



Şekil 3.2.Frikmar Cup Akış Kapı

Viskozite birimi olarak stokes, centistokes seçilmiştir.

$$1 \text{ stokes} = 100 \text{ centistokes} \quad (3.2)$$

Kinematik viskozite ( $\nu$ ) ile gösterilmiştir.

$$\nu \cdot \rho = \mu \quad (3.3)$$

Poise ( $\mu$ ): Dinamik viskozite birimidir. 1gr/cm.sn olarak belirtilir.

Bu bilgiler çerçevesinde Denklem (3.2) ve Denklem (3.3) göre hazırlanan banyo sıvısının viskozitesi 240 centistokes olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm ortam 20 °C sıcaklığında yapılmıştır.

### 3.6. Emprenye Ünitesi

Hazırlanmış olan yaş karışımın kenevir elyaf üzerine emdirilmesi olan emprenye işlemi için tasarlanmıştır ve üç bölümden oluşmaktadır.

- i) Ham kenevir ipinin yıkanıp, ön kaplamanın yapıldığı (NaOH ile) birinci küvet. Bu aşamada, doğal liflerin hidrofobi özellikteki polimer matris ile uyumsuzluğuna neden olan hidrofil karakteri ve bozunma olasılığı nedeni ile işlem sıcaklığı düşük tutulur (20°C -40°C) . Böylece hidrofobik olan Kenevir emprenye işleminden geçirilerek hidrofobik özellik kazanacaktır. Ayrıca Kolemanit zaten hidrofobik özelliktedir, (Mohanty,A.K. ve diğ.,2000).
- ii) Planet karıştırıcıda hazırlanmış yaş karışımın ve kenevir ipinin içinden geçerek lamine (emprenye) işleminin yapıldığı ikinci küvet. Bu küvet 10 litre hacimli olarak tasarlanmıştır. Yüzeyi kaplanarak çıkan kenevir ipi bir ısı kanalı içinden geçerek kurutulma işlemine yönlendirilir (80°C-90°C). Emprenye süresince karışımın yoğunluğu kontrol edilerek değişimlerde takviye karışım ile istenen değer korunur.
- iii)Kurutma ünitesi: Bu ünite ile emprenye işleminin tamamlanma aşaması kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutma yapılmasının sebebi ise emprenye edilen kenevir ipinin bir makara veya bobin üzerine sarılırken yapışmasını önlemektir. Kurutma işlemi; sıcak hava kurutma makinesinden, emprenye edilmiş ipin içinden geçtiği bir boru kanala, bir manifold bağlantısı ile sıcak havanın üflenerek kurutmanın sağlanması ve makaraya veya bobine sarılmasını sağlamaktır.

### 3.7. Emprenye Cihazı ve Tasarımı

Emprenye edilmeye hazırlanan hammadde lifi emprenye edilmek üzere Hamdi KARAKAŞ tarafından tasarlanan emprenye test cihazının 3 boyutlu katı model tasarımını (CAD) Solidworks programı yardımı ile yapılmıştır. Çizim programı sayesinde emprenye test cihazı imalatında kullanılacak malzemelerin çizimleri yapılmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. CAD dosyalarından teknik resim görselleri yardımı ile tasarımını gerçekleştirdiğimiz emprenye test cihazının şase gövde tasarımının imalatı gerçekleştirildi. CAD dosyalarından tasarıma uygun lazer kesim ile imalatı gerçekleşen alt kapak, ara raf, üst kapak imalatı gerçekleştirilmiştir. Sac lazer kesim ile tasarıma uygun gelen saclar şase gövdeye sigma profil köşe aparatları ile montajlanmıştır. Tasarımda alt kapak ve ara rafta üzerinde taşıyacağı havuz için montaj vidaları ve üst



Arduino UNO kullanıldı. Arduino ile emprenye test cihazında kenevir lifi hareketini sağlayan nema 17 step motor kontrolü sağlanmıştır. Step motor kayış kasnak güç aktarımı ile kenevir lifi toplayıcı makarasının dönme hareketini sağlamaktadır.



Şekil 3.4.Emprenye cihazı görseli-2

Arduino ile emprenye test cihazında, Havuzdan eksilen hammadde takviyesini sağlayan sıvı pompa motorun kontrolü, Sıvı sıcaklık sensörü ile veri akış kontrolü sağlanmaktadır. Kenevir lifinin emprenye yolu üzerinde kopma durumunun anlaşılması için gerekli infrared sensör kontrolü, havuz içerisinde karışımın sürekli homojen karışımını sağlayan karıştırıcı pervaneli dc motor kontrolü ile olmaktadır. Emprenye edilmiş kenevir lifinin kurutulmasını sağlayan rezistans ısıtıcı fanın kontrolü, uzaktan haberleşmeyi sağlayan bluetooth sensör kontrolünü sağlamaktadır. Devre kartlarının kontrolünü Arduino ide programında Arduino ide programlama dilinde programlanmıştır.

```

#include <AFMotor.h>
AF_Stepper motor1(200,1);
AF_DCMotor motor2(4);
int a = 200 ;
char appkomut = 0;
void setup() {
  pinMode(A3,OUTPUT);
  pinMode(A5,OUTPUT);
  // put your setup code here, to run once:
  { Serial.begin(9600);          // set up Serial library at 9600 bps
  Serial.println("EMPRENYE SİSTEMİ BAŞLADI");
  //motor2.setSpeed(200);
  //motor2.run(RELEASE);
  // motor1.setSpeed(10); // 10 rpm  }}
void loop() { //digitalWrite(A3,LOW);
  // put your main code here, to run repeatedly:
  if(Serial.available() > 0){
    appkomut = Serial.read();
    if (appkomut=='1'){
      Serial.println("karıştırıcı başladı!");
      motor2.setSpeed(255);
      motor2.run(FORWARD);    }
    if (appkomut=='2'){
      Serial.println("karıştırıcı durdu!");
      motor2.setSpeed(0);
      motor2.run(RELEASE);  }
    if (appkomut=='9'){
      Serial.println("emrenye SÜREKLİ!");
      motor1.setSpeed(20);
      motor1.step(a,FORWARD, SINGLE);
      delay(100);          }
    if (appkomut=='3'){
      Serial.println("emrenye başladı!");
      motor1.setSpeed(20);
      motor1.step(a,FORWARD, SINGLE);
      delay(100);          }
      else if (appkomut=='4'){
      Serial.println("emrenye durdu!");
      motor1.release();      }
    if (appkomut=='5'){
      Serial.println("ısıtıcı çalıştı");
      digitalWrite(A3,LOW);  }
    if (appkomut=='6'){
      Serial.println("ısıtıcı durdu");
      digitalWrite(A3,HIGH);  }
    if (appkomut=='7'){
      Serial.println("pompa başladı");
      digitalWrite(A5,LOW);  }
    if (appkomut=='8'){
      Serial.println("pompa durdu");
      digitalWrite(A5,HIGH);  }  }}

```

Şekil 3.5.Arduino ile emprenye test cihazında kullanılan program kodu

Emprenye cihazı kullanımını için hazırlanmış olan bu program arayüzü mobil uygulama ile kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kodlar Arduino UNO aktarıldıktan sonra gerekli kablo bağlantıları yapılarak kullanıma hazırlanmıştır. Kullanılan ekipmanlar;



Şekil 3.6.Arduino UNO Devre kartı

ATmega328 Entegreye sahip Arduino UNO kartının çalışma gerilimi 5v, giriş gerilimi ise 7-12V aralığındadır. Toplam dijital pinleri 14 (6 tanesi PWM çıkışı),analog giriş pinleri 6 tanedir. Emprenye test cihazı için gerekli tüm elektronik bileşenlerin kontrolünü ve veri akışını sağlamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.7.HC06 Bluetooth-Serial Modül Kartı

Arduino ile uyumlu olan HC06 bluetooth-serial parça kartı gelişmiş veri hızı, 2.4GHz haberleşme frekansı ve çalışma gerilimi: 1.8-5v sahiptir. Emprenye test cihazının

kontrolü için bluetooth üzerinden android işletim sistemine sahip bir ara yüz programına erişimi veri haberleşmeyi sağlar.



Şekil 3.8. Bipolar NEMA 17 Step Motor 200 Adım 42x38 mm 2.8 V

Cihazımızda kullandığımız Nema 17 step motorun, çalışma voltajı: 2.8 v (sürücü ile istenilen voltajda kontrol edilebilir.), faz başına çektiği akım: 1700ma 2,8v, adım açısı 1.8° , tur başına adım sayısı 200, tutunma torku 3.7 kg-cm'dir. Emprenye test cihazında kenevir lifinin emprenye yolunda hareketini sağlamak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.9. 5V Mini Röle (5V 2A)

5V mini röle (5V 2A), Çalışma Voltajı: 5V 1A-40A arası yük akımlarının kontrolünde kullanılır. Bluetooth sinyali ile emprenye test cihazındaki ısıtıcı fan ve pompa karıştırıcı ekipmanlarının kontrolünü sağlamaktadır.

### 3.8.Mobil Uygulama Geliştirme ve Cihaz Kullanma

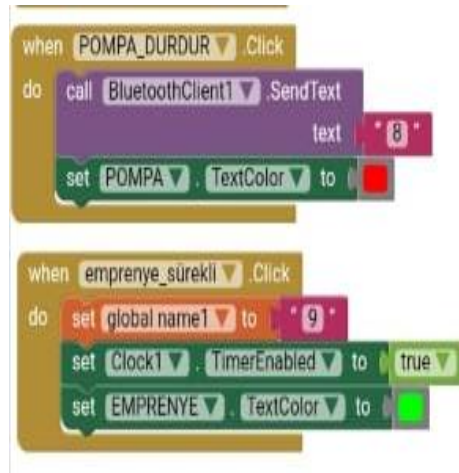
Massachusetts Institute of Technology adlı kuruma ait olan ve açık kaynak olarak ücretsiz hizmet sağlayan <https://appinventor.mit.edu/> adlı web siteden erişim sağladığımız program ile emprenye test cihazımızın bluetooth ile haberleşerek komutlarını kullanacağımız arayüzünü tasarladık. Tasarladığımız programa göre kod bloklarını Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'deki gibi yazarak bluetooth haberleşmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10.Mit appinventor Kod blok şeması-1



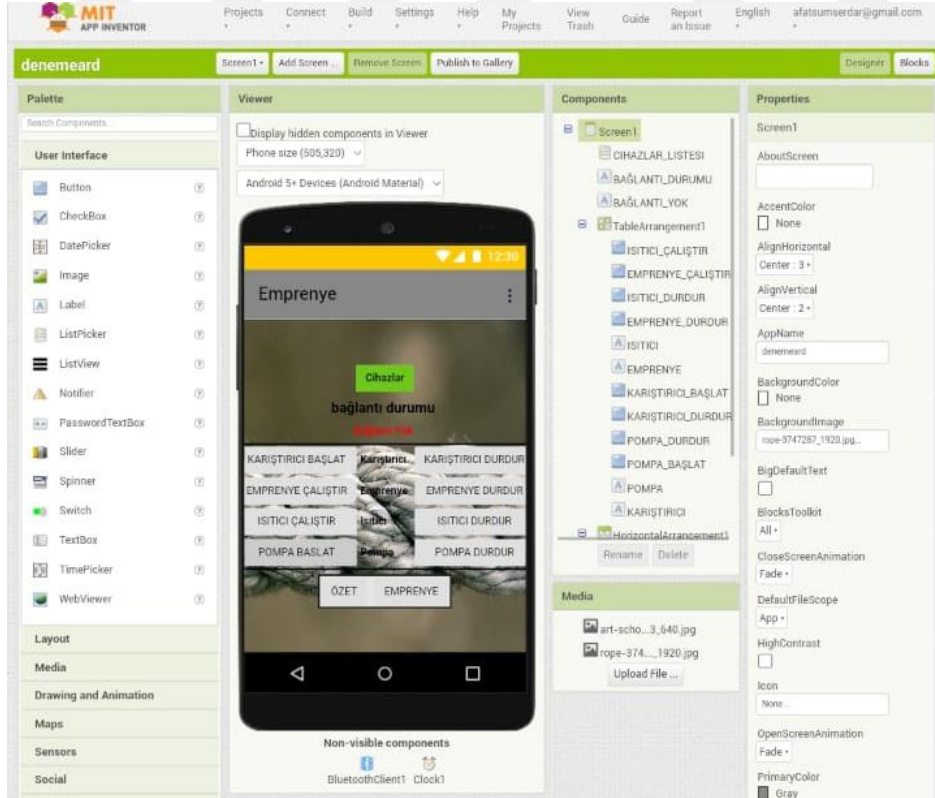
Şekil 3.11.Mit appinventor Kod blok şeması-2



Şekil 3.12.Mit appinventor Kod blok şeması-3



Şekil 3.13.Mit appinventor arayüz tasarımı



Şekil 3.14.Mit appinventor ara yüz tasarımı hazırlama sayfası

### 3.9.Reçete Geliştirme

Bu tez çalışmasında, geliştirilen sürtünme kompozitindeki kaplanmış kenevir lifinin 3 farklı kompozisyon içerisine lif biçiminde kırılarak ilave edilmesi sonucunda reçeteler geliştirilmiştir. Bu kapsamda başlangıç aşamasında, bir ticari reçeteye (TASM) karşılık ,3 farklı ikame sürtünme reçetesi (İSM) oluşturulmuştur. Kenevir–Kolemanit (HCFCo) Kompozitini elde ederek, 2 farklı uygulama ile bu kompozitin sürtünme malzemelerinde kullanılmasının incelenmesi ve sonuçlarını görmek mümkün olacaktır. Uygulama; Bir ticari reçete ile farklı oranlarda kırılmış HCFCo'nun katılması ile oluşan ikame reçetenin yapılacak testler ile karşılaştırılması,% 100 HCFCo'nun kullanılması ile elde edilecek sürtünme malzemelerinin testleri ve sonuçlarının da karşılaştırmaya dâhil edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu ifadeye göre oluşturulacak reçete 4 farklı yapı oluşturacaktır.

Tablo 3.1.Ticari araç sürtünme malzeme reçetesi

<b>Materyal</b>	<b>Oran (%)</b>
Fenolik Reçine	8,50
Barit (BaSO <sub>4</sub> )	32,00
Kaya Yünü	22,00
Grafit	9,50
NBR-Kauçuk	7,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00
Vermikulit	10,00
Demir Tozu	6,00
MgO	2,00
<b>Toplam:</b>	<b>100,00 %</b>

Ticari araçlara göre sürtünme malzeme reçetesi hazırlanan malzemelerin toplamı 100 kg olacak şekilde oranlanarak hesaplanmıştır. HCFCo ile oluşturulan kompozit ile 3 farklı reçete oluşturulmuştur. Bu reçeteler oluşturulurken HCFCo miktarları ve kaya yünü belirli miktarlarda kullanılmıştır. Her bir reçetede HCFCo miktarı ve kaya yünü miktarı değiştirilmiştir. Fenolik Reçine, Barit, Grafit, NBR kauçuk, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vermikulit, demir tozu ve MgO miktarları sabit tutulmuştur.

Tablo 3.2.İSM-1 Reçetesi

<b>Materyal</b>	<b>Miktar(%)</b>
Fenolik Reçine	8,50
Barit (BaSO <sub>4</sub> )	32,00
Kaya Yünü	18,00
HCFCo	4,00
Grafit	9,50
NBR-Kauçuk	7,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00
Vermikulit	10,00
Demir Tozu	6,00
MgO	2,00
<b>Toplam:</b>	<b>100,00</b>

İSM-1 Reçetesinde 4 kg HCFCo kullanılmıştır. Fenolik Reçine, Barit, Grafit, NBR kauçuk, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vermikulit, demir tozu ve MgO miktarları sabit tutularak kaya yünü miktarı 18 kg olarak eklenmiştir.

Tablo 3.3.İSM-2 Reçetesi

<b>Materyal</b>	<b>Miktar(%)</b>
Fenolik Reçine	8,50
Barit (BaSO <sub>4</sub> )	32,00
Kaya Yünü	14,00
HCFCo	8,00
Grafit	9,50
NBR-Kauçuk	7,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00
vermikulit	10,00
Demir Tozu	6,00
MgO	2,00
<b>Toplam:</b>	<b>100,00</b>

İSM-2 Reçetesinde 8 kg HCFCo kullanılmıştır. Fenolik Reçine, Barit, Grafit, NBR kauçuk, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vermikulit, demir tozu ve MgO miktarları sabit tutularak kaya yünü miktarı 14 kg olarak eklenmiştir.

Tablo 3.4.İSM-3 Reçetesi

<b>Materyal</b>	<b>Miktar(%)</b>
Fenolik Reçine	8,50
Barit (BaSO <sub>4</sub> )	32,00
Kaya Yünü	10,00
HCFCo	12,00
Grafit	9,50
NBR-Kauçuk	7,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,00
Vermiculite	10,00
Demir Tozu	6,00
MgO	2,00
<b>Toplam:</b>	<b>100,00</b>

İSM-3 Reçetesinde 12 kg HCFCo kullanılmıştır. Fenolik Reçine, Barit, Grafit, NBR kauçuk, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, vermikulit, demir tozu ve MgO miktarları sabit tutularak kaya yünü miktarı 10 kg olarak eklenmiştir.

Tablo 3.5. İSM reçetelerin karşılaştırma

Reçete	Fenolik reçine	Barit	Kaya Yünü	HCFCo	Grafit	NBR Kauçuk	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Vermikulit	Demir tozu	MgO
İSM-1	8,5	32	18	4	9,5	7	3	10	6	2
İSM-2	8,5	32	14	8	9,5	7	3	10	6	2
İSM-3	8,5	32	10	12	9,5	7	3	10	6	2

Takviye edici olarak kullanılan HCFCo ve kaya yünü malzemelerini reçeteler üzerinde değişimleri yapılan testler ile incelenmiştir. HCFCo, bu reçetelerde 3,5–4.25 mm. boyutlarında kırılmış olarak kullanılmıştır.

### 3.10.Kompozit Hazırlama

HCFCo, kompozitinin hazırlanması, 1400 Tex kenevirin, yağ karışım olarak hazırlanan emprenye banyosundan geçirilmesi yolu ile yapılacaktır. Emprenye banyosu 3. Reçete olarak düzenlenmiştir.

Tablo 3.6.Emprenye banyo karışım reçetesi

<b>Materyal</b>	<b>Miktar(Kg)</b>
Fenolik Reçine	5,20
İPA (İzopropilalkol)	11,00
NBR Kauçuk (Toz)	1,20
Tebeşir tozu	0,60
Sürtünme Tozu (Friction Coke)	1,20
Kolemanit (Öğütölmüş)	1,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alümina)	0,60
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Yeşil Krom oksit)	0,20
Karbon Black (MA- 100 LG)	1,20
<b>Toplam:</b>	<b>22,40 Kg</b>

Tablo 3.6.'da verilen emprenye banyosunu oluşturan malzemeler, bir yağ karıştırma mikserinde karıştırılarak uygun olan yoğunluk değerine kadar karıştırılır. Burada önemli olan elde edilecek olan yoğunluğun emprenye süresinde de korunmasıdır. Bu yoğunluk değeri sürekli BAUME derecesi ile ölçülerek kontrol edilmektedir.

Kenevir-Kolemanit (HCFCo) ile yapılan emprenye prosesinde reçetesinde belirtilen malzemeler ile bir yağ karışım hazırlanmıştır. Bu karışım (bir karıştırıcı ile) homojen olarak elde edilmektedir. Bunu sağlamak için; t=60 dk, T= Oda sıcaklığı(20 °C) , n= 800-

1000 d/dk parametreleri uygulanmıştır. Devir sayısı bir sürücü ile değiştirilmiştir. Prosesin uygulanmasında yoğunluk ve viskozite değerinin korunması önemlidir. Karışım Mikserden alınarak bir küvet içine (10 lt hacim ölçüğünde) konularak, prosesin yapılması için ortam hazırlanmıştır. 1400 Tex olarak temin edilmiş olan kenevir bobini bu banyodan  $V=6\pm 0,5$  Mt/dk hızla geçirilmektedir. Bu kenevir ipin banyo içinden geçirilmesi ile karışımın ip üzerine kaplanması sağlanmıştır. Kenevir ipinin kendi üstüne emdiği karışım miktarı, birim ağırlığının 2,5 katı kadar olması istenmiş ve ölçümler ile bu tespit edilmiştir. Ölçüm; 1 mt. Kenevir ipinin ağırlığı ve emprenyeden geçtikten sonraki ağırlığının farkı alınarak yapılmıştır.

Tablo 3.7.Kenevir ipinin ağırlığı ve emprenyeden sonraki ağırlığının farkı

Hammadde	Emprenye Başlangıcı	Emprenye Sonrası
1 mt. Kenevir İp	1.4 gr.	4.9 gr.

Emilen miktar =  $4.9 - 1.4 = 3.5$  gr./mt.  $\gg 3.5\text{gr.}/1.4\text{gr.} = 2.5$  kat. Emprenye boyunca karışım yoğunluğu ve viskozitesindeki değişimler BAUME derecesi ile ölçülerek olması gereken değerler karışım ilavesi ile korunmaktadır. Emprenye işleminden geçen kenevir ipi sıcak hava üfleyen üniteden geçirilerek ( $150^{\circ}\text{C}$ ) kurutma işlemi yapılmıştır. Bu kurutma işlemi ile kenevir – kolemanit kompoziti bir bobin üzerine sarılmış ve bir sürtünme malzemesi elde edilmiştir.

### 3.11.Karıştırma

Düzenlenmiş olan (Tablo 3.1.) Ticari araç Sürtünme Malzeme reçetesi ile İkame Sürtünme Malzeme reçetesi, öncelikle bir karıştırıcıda %95 homojenlik sağlanıncaya kadar karıştırılacaktır. Bu karışımın homojenliği, öncelikle beher içerisinde sabit miktarlarda farklı bölgelerden alınan toz numunelerinin aynı hacimsel oranı göstermesine dayalı olarak sağlanmıştır. Homojenliği hassas olarak sağlamak için bahsedilen kriterler uygulanmıştır. Bunlar, 500 ml beher ile  $150 \pm 2$  gr. ağırlığında toz numuneler alınarak  $100 \pm 1$  ml lik hacimsel değerler elde edilmiştir. Bu karışım işlemi boyunca, farklı bölgelerden alınan numune sayısı 5 adettir. Ayrıca, çok sayıda deneme-yanılma yapılarak karışım homojenliği sağlanmıştır.



Şekil 3.15.Lodige tipi karıştırıcı içi görseli

Bu karıştırma prosesinde önemli olan parametreler karıştırma süresi ve karıştırma hızıdır. Yapılan uygulamada bu parametreler;  $T = 30 - 60$  dk. (Karıştırma süre aralığı) Karıştırma Prosesinde Lodige tip karıştırıcıda kuru karışım olarak hazırlanır.  $N = 125 - 150$  d/dk. (Karıştırma hızı aralığı) ön görülmüş olup, proses esnasında;  $T=45$  dk.,  $N=135$  d/dk değerleri uygulanmıştır. Karıştırma hızı bir sürücü vasıtasıyla kontrol edilmiştir.

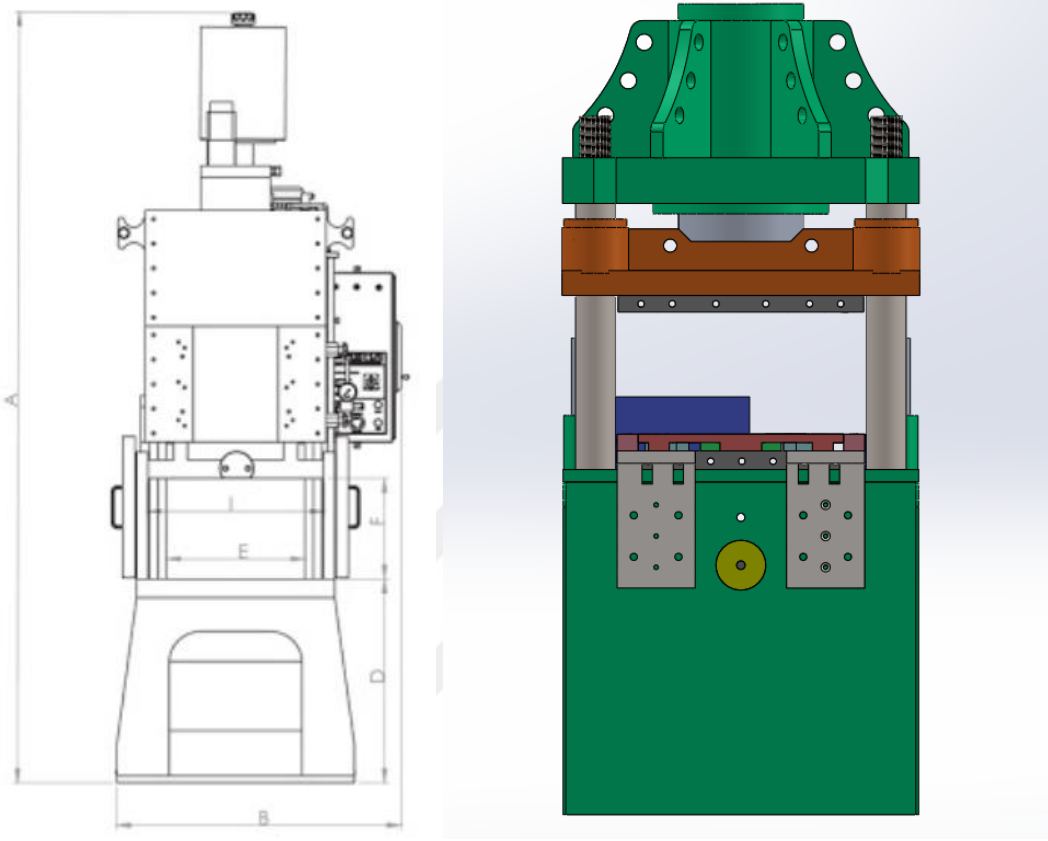


Şekil 3.16.Lodige tipi karıştırıcı görseli

Bu proses uygulanırken İSM-1,İSM-2,İSM-3'deki reçetelerde yer alan Kenevir – Kolemanit (HCFCo) kompoziti, emprenye işlemi sonrasında,  $3,5 - 4,25$  mm boyutunda kırılarak ilave edilecektir.

### 3.12.Presleme

Pres adı verilen makinelerde şekillendirme sürecidir. Pres ile üretilen ürünler hızlı ve seri bir şekilde üretilir.



Şekil 3.17.Şekil 3.16. Pres makinesi şeması

Bu tanımlara uygun olarak sürtünme kompozitlerinin hesaplanması ve preslenmesi sürecinde işlemi uygulanmasındaki parametreler;

$P= 175 \text{ bar}$ ,  $T= 155^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $t= 6 \text{ dakika}$  olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık; Termostat yardımıyla kontrol edilmektedir. Kullanılan Termostat Fe-Constant özelliklidir, uygun termokupl ile kombine edilmiştir. Isıtma Fişek rezistanslar (1200 W) ile sağlanmaktadır. Preste toplam 12 adet rezistans kullanılmıştır. Basınç ayar şalteri ve yağlı manometre ile basınç değeri kontrol edilmektedir. Kumanda paneli ile süreler zaman sayacı ile düzenlenmiştir. Bu parametre uygulaması; basınç süresi, hava alma süresi ve toplam süre programlaması özelliklerini sağlamaktadır.

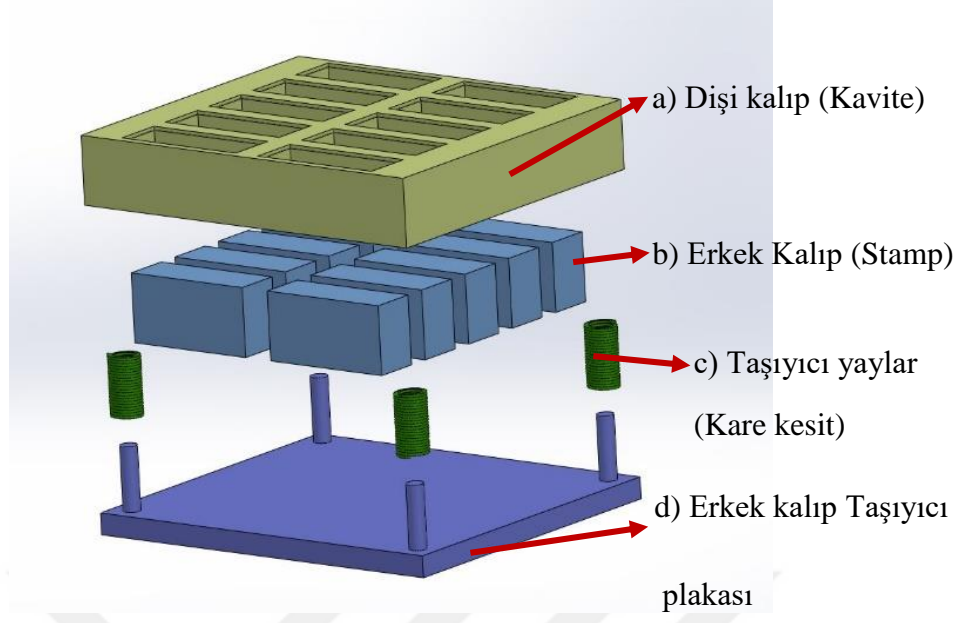
Tablo 3.8. Presleme Çevrim İşlemi

<b>Proses</b>	<b>Süre</b>
1.Presleme	40 sn
2.Havalandırma	5 sn
3.Presleme	40 sn
4.Havalandırma	5 sn
5.Presleme	55 sn
6.Havalandırma	5 sn.
7.Presleme	150 sn
<b>Toplam Çevrim süresi</b>	<b>300 sn</b>

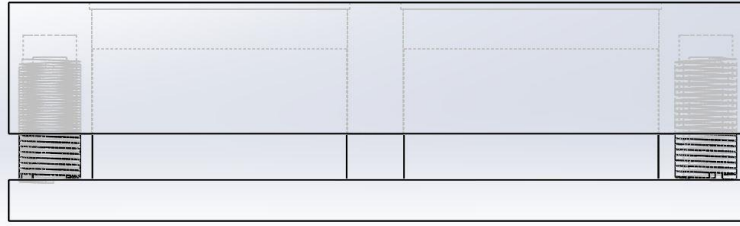
Tablo 3.8. parametreleri uygulanarak hidrolik Presto termoset haline getirilmesi gerekmektedir. Sürtünme malzemelerinin en önemli özellikleri rijit olarak kullanılmaktadır. Rijit olarak elde edilebilmesi ise hem reçete özelliği ve hem de bağlayıcıların (Fenolik reçine ve NBR kauçuk) termoset hale gelerek diğer malzemeleri ile rijit bir yapı oluşturmaktadır. Bu yapıyı elde edebilmek için bir kuvvet uygulanması ve sıcaklık gerekmektedir. Presleme işleminde önemli olan; basınç, sıcaklık, zaman parametrelerini bir program ile uygulamaktadır. Presleme esnasında oluşan reaksiyonlar sonucu oluşan gazlarında yapı içinden dışarı atılmasıdır. Havalandırma (gaz atma) olarak adlandırdığımız bu işlem presin yerine getirebileceği şekilde düzenlenmiştir.

### **3.13.Sürtünme Kompozitinin Kalıplanması**

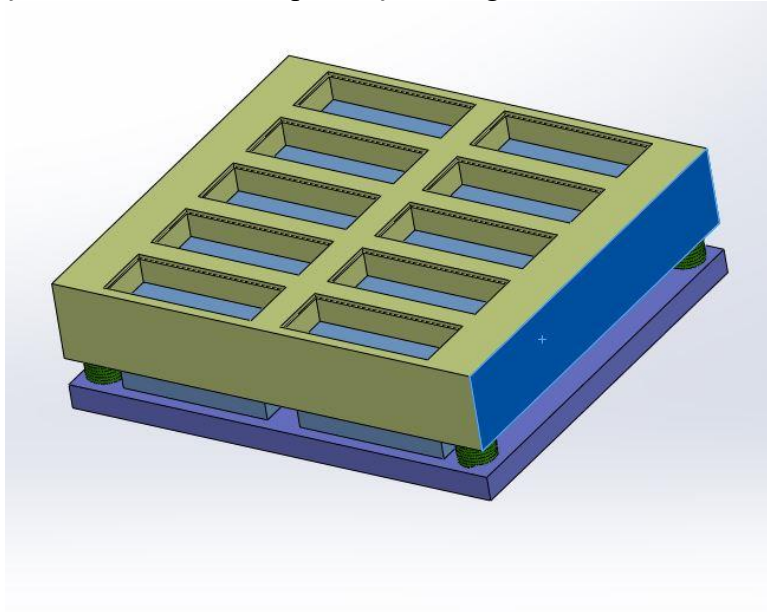
Tezimizde belirtilen kalıplama işlemi, malzemenin istenilen formda şeklini vermesini sağlamak için kullanılmıştır. Genellikle basınç ve ısı altında uygulanır. Bir pres işlemi ile gerçekleştirilebilir. Bu tez çalışmasındaki aşamalardan biri olan kalıplama işleminde ifade edilen süreç şartları ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18.Pozitif kalıplama şematik gösterimi-1



Şekil 3.19.Pozitif Kalıplama şematik gösterimi -2



Şekil 3.20.Pozitif Kalıplama Şematik gösterimi -3

Parametrelerin ayarlandığı hidrolik Preste, şekiller 3.17-3.18-3.19'daki pozitif kalıpta baskı işlemi uygulanarak, toz halindeki karışım termoset hale gelmiş, sürtünme parçaları elde edilmiştir. Pozitif kalıp olarak tarif edilen kalıplama yönteminde kalıp;

- a) Dişi kalıp (Kavite),
- b) Erkek Kalıp (Stamp),
- c) Taşıyıcı yaylar (Kare kesit),
- d) Erkek kalıp Taşıyıcı plakası ,

olmak üzere 4 kısımdan oluşur. Pozitif kalıplamada Pres tarafından uygulanan basınç etkisi dişi kalıp gözlerine (kaviteler) doldurulan kompozit karışım üzerine direkt olarak tesir etmektedir. Bu kalıplama yöntemi ile istenen yoğunluk, sertlik vb. hedeflenen değerlere ulaşılmaktadır. Kalıp çalışma prensibi, Pres tarafından dişi kalıp üzerine basınç uygulanırken, dişi kalıbı taşıyan yaylar (ø32 x 136 mm. Koyu yeşil) aşağı doğru sıkışır, erkek kalıp sabit durumdadır ve dişi kalıba doldurulmuş kompozit malzemeyi sıkıştırmak suretiyle pres basıncına karşılık bir kuvvet oluşturmaktadır. Presleme işlemi için parametreleri;

$T=155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

$t=6\text{ dk}$ ,

$P=175\text{ bar}$  olarak ayarlanmıştır.

Dişi kalıp göz sayısı:  $n$ (adet),

Her bir gözün yüzey alanı:  $A_k\text{ (cm}^2\text{)}$ ,

Presin Silindir Kesit Alanı:  $A_p\text{ (cm}^2\text{)}$ ,

Pres Manometre Basıncı:  $P_m\text{ (kg x cm}^2\text{)}$ ,

Birim Yüzeye Uygulanacak Basınç:  $P_k\text{ (kg/cm}^2\text{)}$ .

Bu parametrelere göre;

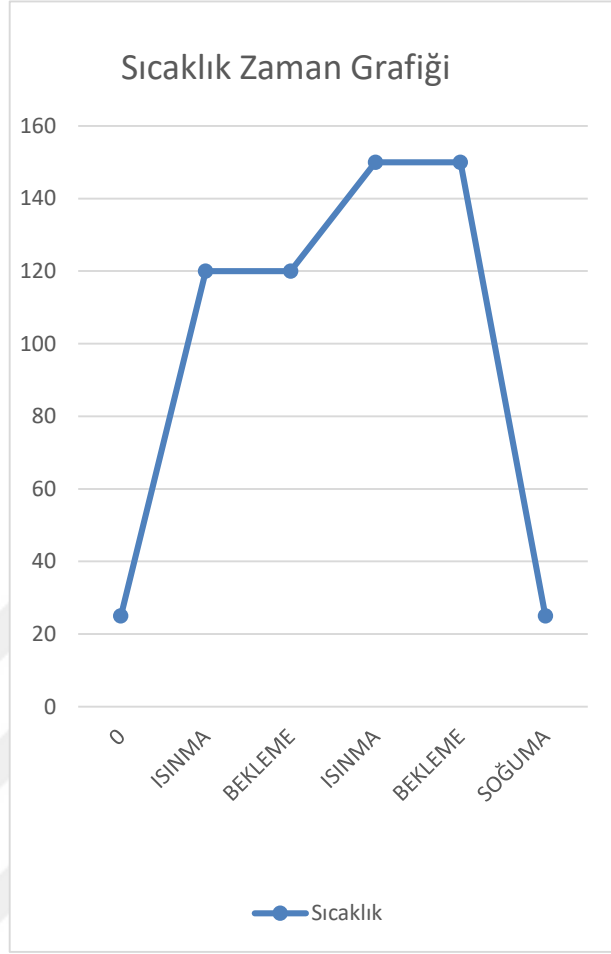
$(\text{kg/cm}^2)$   $P_m = x = (n \cdot A_k \cdot P_k) / A_p$  olarak hesaplanır. Bu basınç manometrede  $P_a$ , Bar gibi basınç birimlerinde de oluşabilir.

### 3.14.Fırınlama

Sürtünme kompozitlerin presleme prosesi sonrasında, serbest halde (basınç uygulanmadan) elektrik ısıtmalı hava sirkülasyonlu bir fırında 6-8 saat  $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de fırınlanır.



(a)



(b)

Şekil 3.21.a-Isıtmalı hava sirkülasyonlu fırın , b- çevrim grafiği

Bu fırınlama (sinterleme olarak ifade edilebilir) prosesinin uygulanmasındaki amaç, presleme sonrası tamamlanmamış reaksiyon zincirlerinin serbest halde iken tamamlanması ve gazların kompozit yapı dışına atılmasıdır. Böylece sürtünme malzemesi nihai sertlik değerine ulaşmış olur.

#### 4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde farklı reçetelerden emprenye işlemi ile üretilen sürtünme kompozitlerin kendi içerisinde karşılaştırılması sonucunda elde edilen tüm bulguların tartışılması yapılmıştır.

##### 4.1.Sertlik Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Shoremetre, plastik ya da esnek malzemelerin sertliklerini ölçmek için kullanılan ölçüm cihazıdır. Durometre olarak da adlandırılmaktadır. Malzemenin üzerine iz (çentik) yapan bir iğne ucuna malzemenin uyguladığı direnç değerini yani sertliğini gösteren bir cihazdır. Cihaz iğnesinin parça üzerinde açtığı çentik çapı ve derinliği cihazdaki Shore değerinin karşılığını verir.



Şekil 4.1. Sertlik Test Cihazı numune ölçümü

Ölçüm Cihazı olarak dijital ve analog tipleri mevcuttur. Ölçüm olarak Shore A ve Shore D değerleri piyasada sıklıkla kullanılmaktadır. Shore A genellikle yumuşak malzemelerde, Shore D ise daha sert malzemelerde kullanılır.

#### 4.1.1.İSM-1 Reçetesinin Sertlik Testi Sonuçları

İSM-1'nolu reçete sertlik testleri için, MACRON marka bir cihazda Shore D (ASTM D2240) yöntemine göre, sürtünme kompozitlerinin 6 yüzeyinden 2'şer adet ölçüm alınarak, ortalama değerler kaydedilmiştir. 25x25x10 mm<sup>3</sup> boyutlarındaki sürtünme kompozitlerinin sertlik sonuçları aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi ölçülmüştür. Tablo 4.1 incelediğinde, her üç numune için 12 adet sertlik ölçümünde, elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca, İSM-1 reçeteli 3 no'lu numunenin 11.noktasındaki sertlik değeri 73 Shore D olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.1.İSM-1 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları

Sertlik Ölçüm	İSM-1 reçeteli 1 nolu numune (Shore D )	İSM-1 reçeteli 2 nolu numune (Shore D )	İSM-1 reçeteli 3 nolu numune (Shore D )
1.	63	65	62
2.	67	67	63
3.	68	69	65
4.	62	71	66
5.	65	65	66
6.	63	63	62
7.	64	68	71
8.	67	69	65
9.	68	70	69
10.	64	64	70
11.	63	63	73
12.	69	65	68

#### 4.1.2.İSM-2 Reçetenin Sertlik Testi Sonuçları

İSM-2'nolu reçete sertlik testleri için, MACRON marka bir cihazda Shore D (ASTM D2240) yöntemine göre, sürtünme kompozitlerinin 6 yüzeyinden 2'şer adet ölçüm alınarak, ortalama değerler kaydedilmiştir. 25x25x10 mm<sup>3</sup> boyutlarındaki sürtünme kompozitlerinin sertlik sonuçları aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi ölçülmüştür. Tablo 4.2 incelediğinde, her üç numune için 12 adet sertlik ölçümünde, elde edilen değerlerin

birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca, İSM-2 reçeteli 3 no'lu numunenin 5. ve 11.noktalarındaki sertlik değerleri 62 Shore D olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.2.İSM-2 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları

Sertlik Ölçüm	İSM-2 reçeteli 1 nolu numune (Shore D )	İSM-2 reçeteli 2 nolu numune (Shore D )	İSM-2 reçeteli 3 nolu numune (Shore D )
1.	65	69	68
2.	63	64	65
3.	64	62	67
4.	64	68	66
5.	62	64	62
6.	65	63	65
7.	65	66	65
8.	66	63	67
9.	63	69	66
10.	66	66	64
11.	67	64	63
12.	69	65	62

#### 4.1.3.İSM-3 Reçetenin Sertlik Testi Sonuçları

İSM-3'nolu reçete sertlik testleri için, MACRON marka bir cihazda Shore D (ASTM D2240) yöntemine göre, sürtünme kompozitlerinin 6 yüzeyinden 2'şer adet ölçüm alınarak, ortalama değerler kaydedilmiştir. 25x25x10 mm<sup>3</sup> boyutlarındaki sürtünme kompozitlerinin sertlik sonuçları aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi ölçülmüştür. Tablo 4.3 incelediğinde, her üç numune için 12 adet sertlik ölçümünde, elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca, İSM-3 reçeteli 1-2-3 no'lu numunelerde en düşük sertlik değerleri 61 Shore D olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.3.İSM-3 reçeteli numuneden alınan 3 farklı parçanın sertlik test sonuçları

Sertlik Ölçüm	İSM-3 reçeteli 1 nolu numune (Shore D )	İSM-3 reçeteli 2 nolu numune (Shore D )	İSM-3 reçeteli 3 nolu numune (Shore D )
1.	68	64	66
2.	62	61	65
3.	67	68	69
4.	65	64	67
5.	67	66	64
6.	62	65	64
7.	64	68	66
8.	61	63	65
9.	62	64	67
10.	61	68	69
11.	68	64	61
12.	61	63	62

#### 4.1.4.Sertlik Testi Sonuçlarını karşılaştırılması

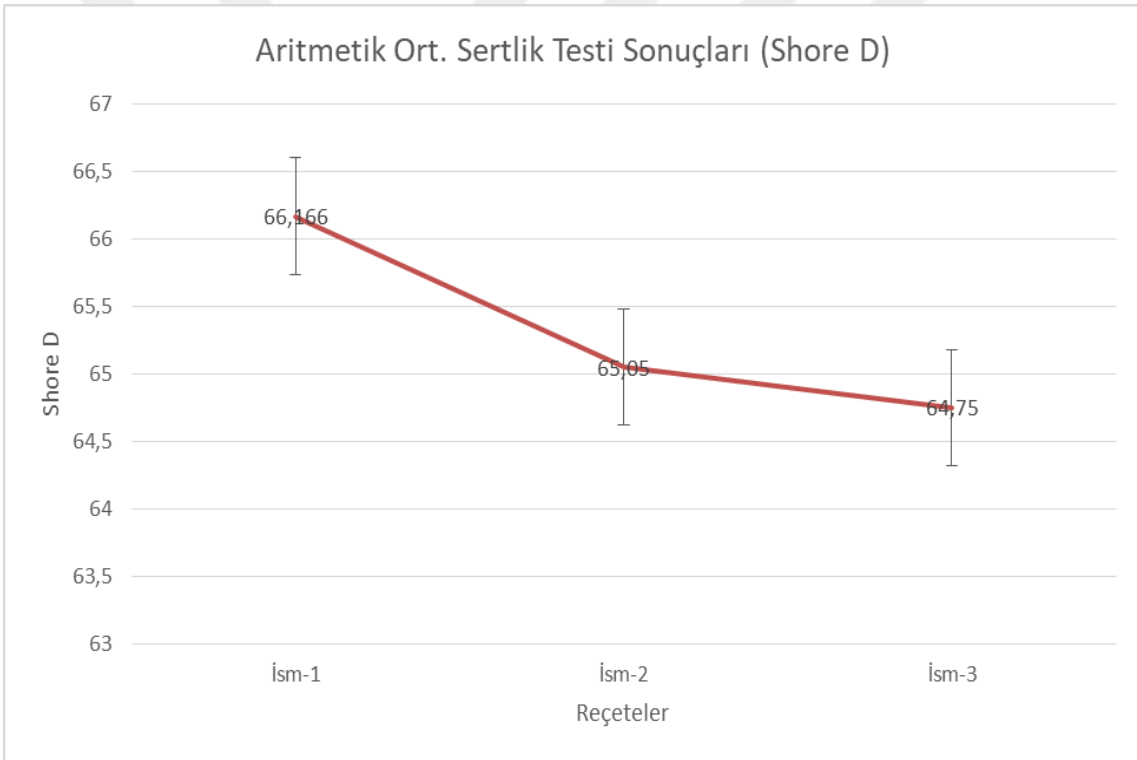
Yaptığımız 3 adet İSM-1, İSM-2 ve İSM-3 adlı reçetelerin sertlik testleri yapılırken her numuneden farklı 3 parça olarak 6 farklı yüzeyden 12 noktadan ölçüm alınmıştır. Bu testler de elde edilen verileri aritmetik ortalama ile ( Denklem 4.1) hesaplanmıştır.

$$n_1, n_2, n_3, \dots, n_{12} / 12 = N_{ort} \quad (4.1)$$

Tablo 4.4.Aritmetik sertlik sonuçlarının karşılaştırma

Reçeteler	İSM-1	İSM-2	İSM-3
Aritmetik Ort.(Shore D)	66,166	65,05	64,75

Şekil 4.2 incelediğinde, İSM-3 nolu reçete numunesi üzerinde yapılan ölçümlerde sertlik değeri, İSM-1 ve İSM-2 sertlik değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin, HCFCo'nin İSM-3'te en yüksek oranda (% 12) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (W. Österle ve diğ., 2001, F.B.M. Eriksoon ve diğ., 2002)



Şekil 4.2. Sertlik Testi Sonuçları

#### 4.2.Yoğunluk Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Hazırlamış olduğumuz test numunelerinin yoğunluklarını ölçmek için ASTM D792 standardına uygun olarak Arşimet prensibi ile çalışan, RADWAG PS300 hassas terazide kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Yoğunluk test cihazı

RADWAG PS 300 test cihazı yoğunluk ölçümü için, su dolu beher içine numunemizi askıda kalacak şekilde metal yastığa koyarak yerleştirilmiştir. Ve önce su içerisi boş ağırlık ve numune su içinde askıda metal yastığa oturtulmuş şekilde ağırlık ölçümleri olarak cihaz kendi içerisinde yoğunluk hesaplamasını yaparak bize sonuçları vermiştir.

#### 4.2.1.İSM-1 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları

İSM-1 reçetesinden oluşturulan 3 farklı numuneden (15x15x15 mm<sup>3</sup> ölçülerinde) 12 ölçüm sonucunda elde edilen yoğunluk değerleri Radwag PS300 cihazı ile tespit edilmiştir. Tablo 4.5 incelendiğinde, tüm değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçta, karışım homojenliğinin çok yüksek olduğu ispatlanmıştır. En yüksek yoğunluk değeri, 2.580 gr/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu değerde, TS 555 standardına uygundur.

Tablo 4.5. İSM-1'den alınan 3 farklı parçadan alınan numune yoğunluk testleri

Yoğunluk Ölçüm	İSM-1 reçeteli 1 nolu numune (gr/cm <sup>3</sup> )	İSM-1 reçeteli 2 nolu numune (gr/cm <sup>3</sup> )	İSM-1 reçeteli 3 nolu numune (gr/cm <sup>3</sup> )
1.	2,580	2,565	2,580
2.	2,565	2,565	2,580
3.	2,565	2,567	2,562
4.	2,571	2,576	2,576
5.	2,567	2,561	2,578
6.	2,571	2,577	2,576
7.	2,572	2,577	2,576
8.	2,568	2,566	2,569
9.	2,576	2,575	2,577
10.	2,567	2,564	2,576
11.	2,578	2,562	2,567
12.	2,574	2,562	2,567

#### 4.2.2.İSM-2 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları

İSM-2 reçetesinden oluşturulan test numunemizden 3 farklı 15x15x15 mm<sup>3</sup> olarak aldığımız parçaların yoğunluk ölçümü Radwag PS300 cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 4.6. İSM-2'den alınan 3 farklı numune alınan yoğunluk değerleri

Yoğunluk Ölçüm	İsm-2 reçeteli 1 nolu numune (gr/ cm <sup>3</sup> )	İsm-2 reçeteli 2 nolu numune (gr/ cm <sup>3</sup> )	İsm-2 reçeteli 3 nolu numune (gr/ cm <sup>3</sup> )
1.	2,576	2,565	2,569
2.	2,579	2,571	2,574
3.	2,566	2,567	2,566
4.	2,555	2,553	2,560
5.	2,573	2,559	2,553
6.	2,552	2,572	2,568
7.	2,557	2,564	2,579
8.	2,570	2,565	2,568
9.	2,556	2,553	2,566
10.	2,560	2,571	2,579
11.	2,575	2,580	2,566
12.	2,557	2,556	2,580

#### 4.2.3.İSM-3 Reçetenin Yoğunluk Testi Sonuçları

İSM-3 reçetesinden oluşturulan test numunemizden 3 farklı 15x15x15 mm<sup>3</sup> olarak aldığımız parçaların yoğunluk ölçümü Radwag PS300 cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 4.7. İSM-3'den alınan 3 farklı parçadan alınan numune yoğunluk testleri

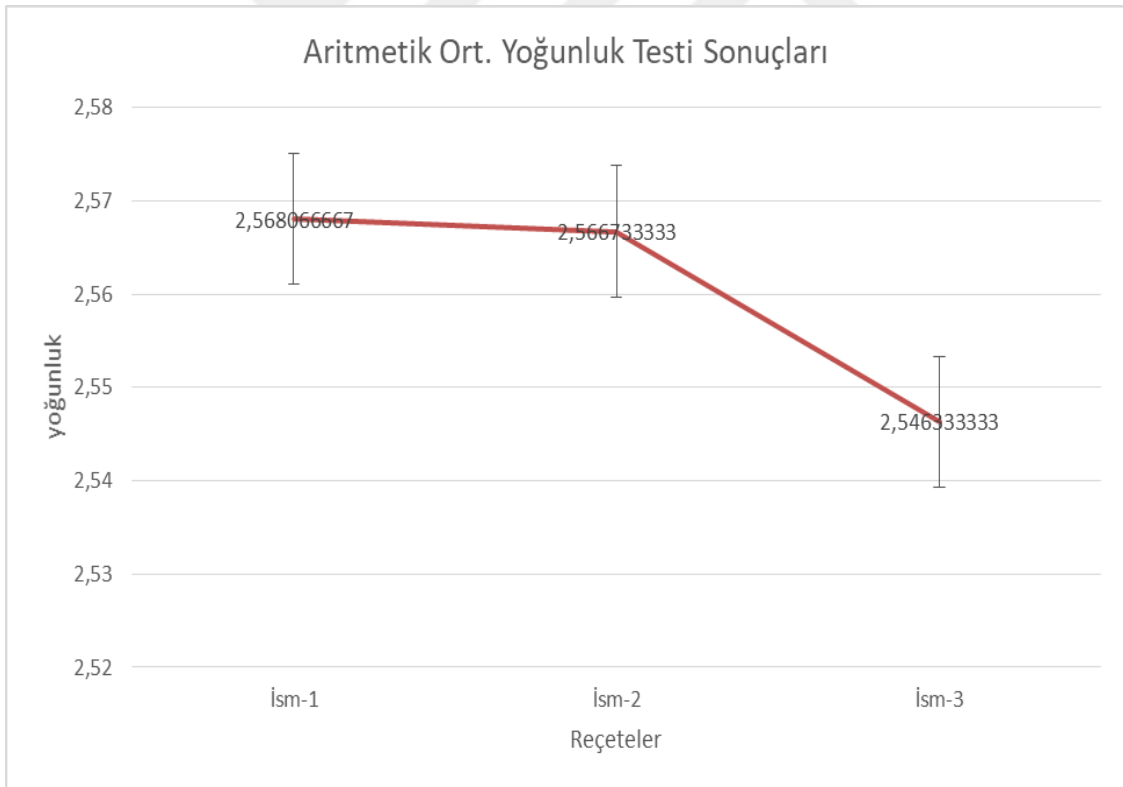
Yoğunluk Ölçüm	İSM-3 reçeteli 1 nolu numune (gr/cm <sup>3</sup> )	İSM-3 reçeteli 2 nolu numune (gr/ cm <sup>3</sup> )	İSM-3 reçeteli 3 nolu numune (gr/ cm <sup>3</sup> )
1.	2,538	2,532	2,533
2.	2,541	2,531	2,560
3.	2,551	2,549	2,547
4.	2,535	2,534	2,534
5.	2,536	2,560	2,553
6.	2,556	2,542	2,546
7.	2,539	2,559	2,532
8.	2,547	2,550	2,533
9.	2,535	2,532	2,559
10.	2,543	2,560	2,546
11.	2,533	2,534	2,533
12.	2,542	2,531	2,536

#### 4.2.4.Yoğunluk Testi Sonuçlarını karşılaştırılması

Bu tez çalışması kapsamında, İSM-1, İSM-2 ve İSM-3 olmak üzere üç tip reçetenin yoğunluk ölçümleri yapılarak, sonuçların ortalaması Tablo 4.8’de verilmiştir. Tablo 4.8 incelendiğinde, İSM-1 reçetesinin yoğunluğunun en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin, HCFCo’nun en az olduğu reçete İSM-1’dir. Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçların olduğu görülmektedir (W. Österle ve diğ., 2001).

Tablo 4.8.Aritmetik yoğunluk sonuçlarının karşılaştırılması

Reçeteler	İSM-1	İSM-2	İSM-3
Aritmetik Ort.(gr/cm <sup>3</sup> )	2,5680	2,5667	2,5463



Şekil 4.4. Yoğunluk Testi Sonuçları

#### 4.3.Nem Tayini Sonuçları ve Karşılaştırılması

Nem tayin sonuçları için numunelerimizi ATS 120 Nem Tayin Cihazı ile test edilmiştir. Ölçüm haznesine koyulan numuneyi kurutma yapıp ağırlık kaybı temeline dayalı olarak içerisindeki nemi görmek için tasarlanmış kullanışlı, yapısı itibari ile fazla yer kaplamayan AXIS marka nem ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Numunelerin nem tayin testi

#### 4.3.1.İSM-1 Reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları

Tablo 4.9. İSM-1 Reçetesinin nem tayini sonuçları(%)

Nem tayini ölçüm	İSM-1 reçeteli 1 nolu numune	İSM-1 reçeteli 2 nolu numune	İSM-1 reçeteli 3 nolu numune
1.	1,39	1,50	1,46
2.	1,37	1,37	1,35
3.	1,45	1,31	1,33
4.	1,48	1,33	1,33
5.	1,34	1,34	1,47
6.	1,49	1,44	1,35
7.	1,35	1,34	1,36
8.	1,33	1,40	1,43
9.	1,33	1,47	1,33
10.	1,34	1,48	1,47
11	1,31	1,40	1,45
12.	1,37	1,39	1,42

Tablo 4.9. incelendiğine her 3 numune nem oranları 1,31 ile 1,50 değerleri aralığında değişim olduğu görülmüştür.

#### 4.3.2.İSM-2 Reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları

Tablo 4.10.İSM-2 Reçetesinin nem tayini sonuçları(%)

Nem tayini ölçüm	İSM-2 reçeteli 1 nolu numune	İSM-2 reçeteli 2 nolu numune	İSM-2 reçeteli 3 nolu numune
1.	1,41	1,41	1,47
2.	1,55	1,54	1,48
3.	1,48	1,47	1,51
4.	1,52	1,39	1,44
5.	1,41	1,37	1,43
6.	1,51	1,41	1,47
7.	1,41	1,55	1,50
8.	1,47	1,46	1,39
9.	1,42	1,47	1,36
10.	1,40	1,40	1,40
11.	1,50	1,42	1,53
12.	1,39	1,41	1,49

Tablo 4.10. incelendiğinde, 3 numunede ölçülmüş nem oranları 1,36 ile 1,55 değerleri aralığında değişim olduğu görülmüştür.Nedeni HCFCo ‘nın %8 oranında olmasındandır.

#### 4.3.3.İSM-3 reçetenin Nem Tayini Testi Sonuçları

Tablo 4.11. İSM-3 Reçetesinin nem tayini sonuçları (%)

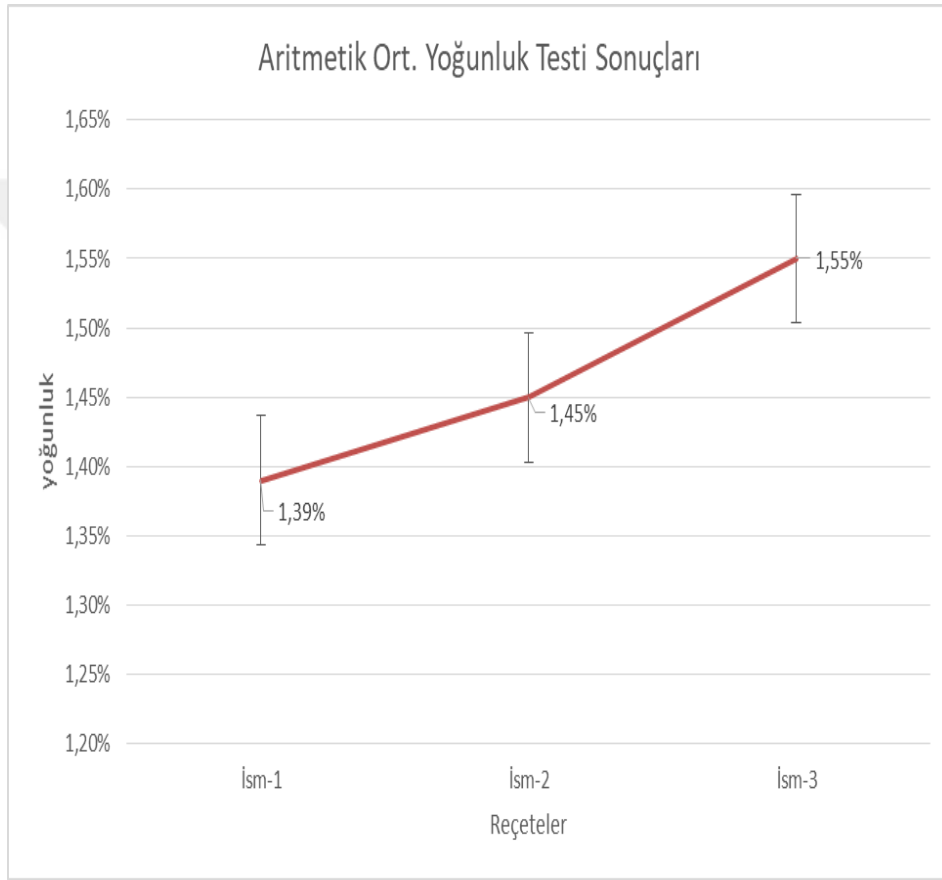
Nem tayini ölçüm	İSM-3 reçeteli 1 nolu numune	İSM-3 reçeteli 2 nolu numune	İSM-3 reçeteli 3 nolu numune
1.	1,47	1,47	1,50
2.	1,47	1,45	1,44
3.	1,55	1,5	1,49
4.	1,51	1,54	1,68
5.	1,44	1,65	1,51
6.	1,67	1,68	1,63
7.	1,46	1,66	1,63
8.	1,53	1,52	1,49
9.	1,69	1,44	1,60
10.	1,63	1,61	1,51
11.	1,65	1,69	1,60
12.	1,57	1,46	1,53

Tablo 4.11. incelendiğinde, 3 numunede ölçülmüş nem oranları 1,44 ile 1,69 değerleri aralığında değişim olduğu görülmüştür.Nedeni olarak HCFCo oranının %12 olmasıdır.

#### 4.4.Nem Tayin Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.12.Aritmetik nem tayini sonuçların karşılaştırması

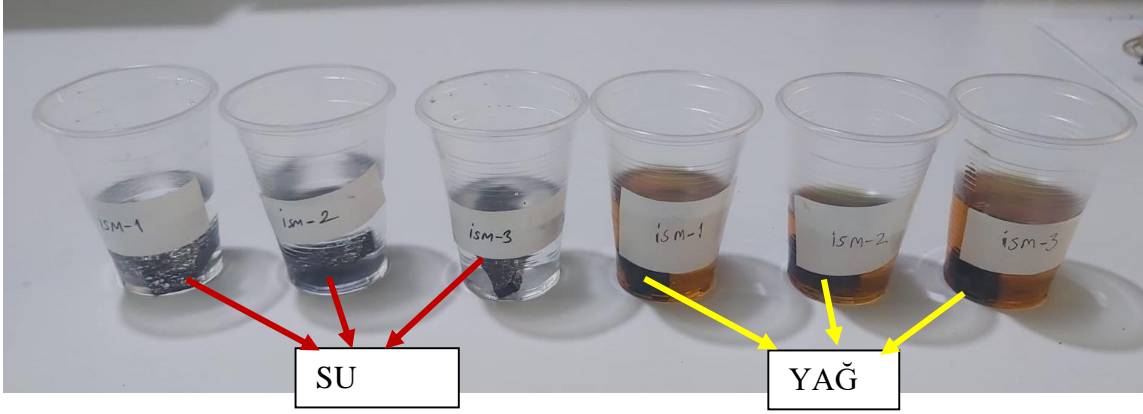
Reçeteler	İSM-1	İSM-2	İSM-3
Aritmetik Ort.(%)	1,39	1,45	1,55



Şekil 4.6. Numunelerin nem tayin testi

#### 4.5.Yağ ve Su Alma Testi Sonuçları

Bu çalışmada, üretilen İSM numunelerine uygulanan sertlik ve yoğunluk testi uygulanarak elde edilen sonuçlar kaydedilerek üretilen yeni kompozisyonların su ve yağ ortamlarında ki değişimlerini gözlemlemek için su ve yağ emilimi testi uygulanmıştır. Bu testler ASTM D 570-98 standardına göre yapılmıştır. Yağ ve su alma testi için 25x25x10 mm<sup>3</sup> boyutlarında ölçülendirilmiştir.



Şekil 4.7. Yağ ve su alma testi

Numuneler su ve yağ ortamında 48 saat bekletildikten sonra toplam sertlik, ağırlık, değişimleri ölçülmüştür.

$$\text{Su ve Yağ emilimi (\%)} = \frac{(B-A)}{(A \times 100)} \quad (8)$$

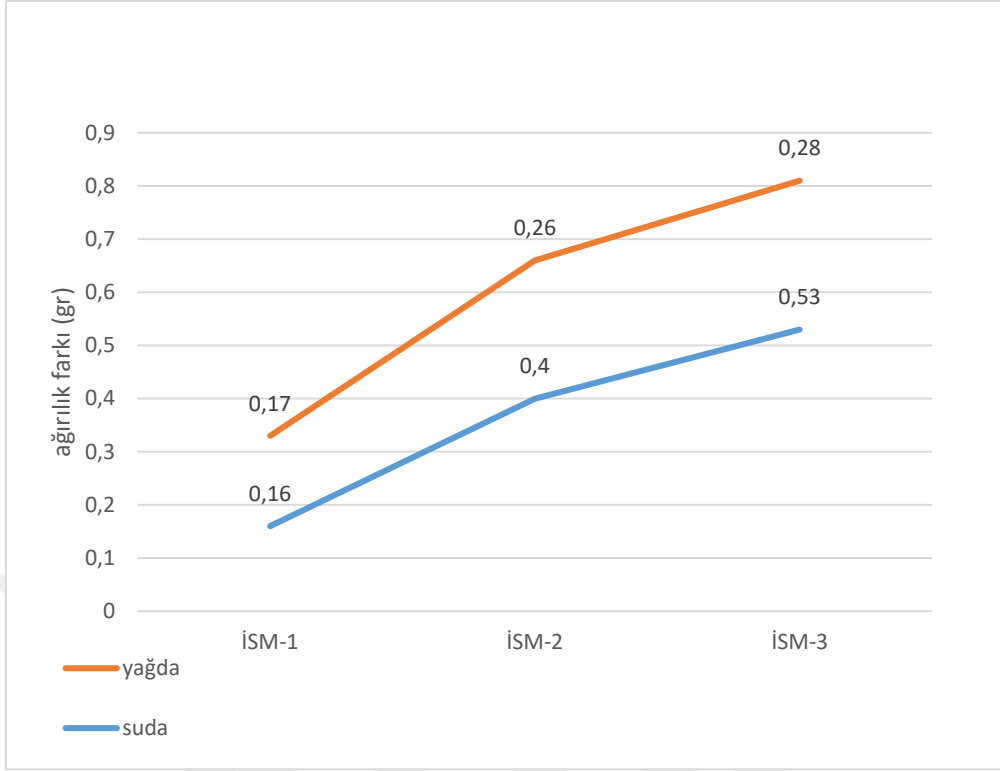
A: İlk ağırlık, B: son ağırlık

#### 4.5.1. Yağ ve Su Alma Testi Sonuçlarının karşılaştırılması

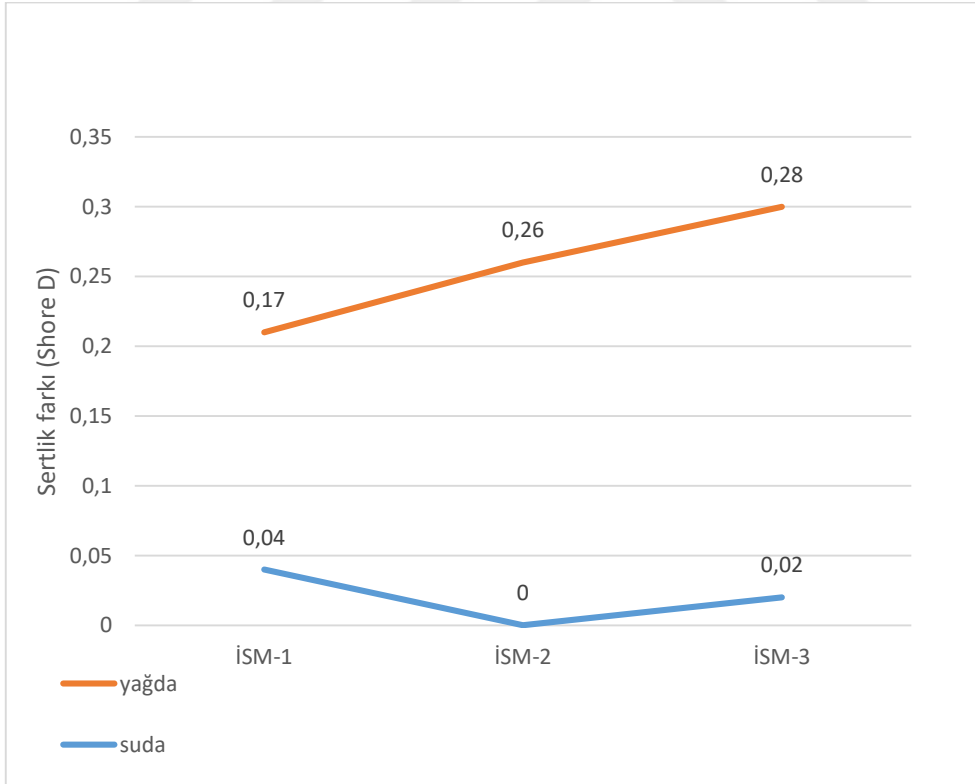
Tablo 4.13. Yağ ve Su Alma Testi Sonuçları(gr.)

TEST	Ağırlık değişim			Sertlik değişimi	
	Numune	Öncesi	Sonrası	Öncesi	Sonrası
Suda	İSM-1	17,37	17,53	17,66	17,62
	İSM-2	17,26	17,66	17,65	17,65
	İSM-3	17,11	17,64	17,65	17,63
Yağda	İSM-1	17,44	17,61	17,66	17,65
	İSM-2	17,2	17,46	17,66	17,63
	İSM-3	17,4	17,68	17,65	17,30

Suda ve yağda bekletmede, İSM-3 no'lu reçete numunelerinin en fazla ağırlık değişimine uğradığı tesbit edilmiştir. Suda bekletmedeki numunelerdeki sertlik değişimleri öncesi ve sonrasında birbirlerine yakın değerlerde ölçülmüştür. Yağda bekletme sonrası ölçümlerde İSM-3 reçete numunesinde sertlik değerinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak HCFCo ' nun %12 oranında olmasına bağlı olduğu düşünülmüştür.

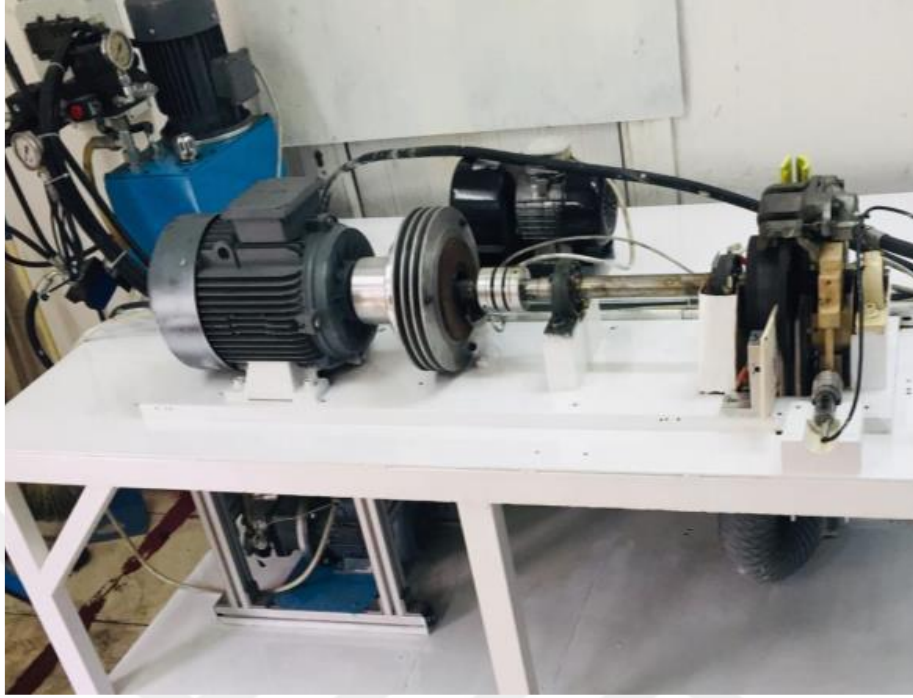


Şekil 4.8. Yağ ve su alma testi ağırlık farkı



Şekil 4.9. Yağ ve su alma testi sertlik farkı

#### 4.5.2.Sürtünme ve Aşınma Sonuçları ve Karşılaştırılması



Şekil 4.10. Sürtünme test cihazı

Hazırlanan İSM-1, İSM-2 ve İSM-3 isimli sürtünme kompoziti reçetelerinden oluşturduğumuz numunelerin, sürtünme katsayısını hesaplama ve aşınma oranını bulmak için, özel tasarlanmış sürtünme ve aşınma oranı test cihazında uygulanan ölçümler SAE-J661 (SAE, 2000) uluslararası standartlara uygun bir şekilde kullanılmıştır (H. Öktem, 2019). Test cihazını kullanımı için sürtünme malzemesini balata formuna getirerek deneylere başlanmıştır. Sürtünme katsayısı ile birlikte sürtünme testi sonucu oluşan aşınma miktarını, ağırlık kaybı veya kütle kaybı yöntemiyle ölçülmüştür.

Tablo 4.14.Sürtünme Deney Parametreleri

Deney no	Devir (d/dak)	Sıcaklık (°C)	Basınç (Bar)	Temas (Adet)
1	450	160	10	100
2	450	260	20	300
3	450	360	30	500
4	650	160	20	500
5	650	260	30	100
6	650	360	10	300
7	850	160	30	300
8	850	260	10	500
9	850	360	20	100

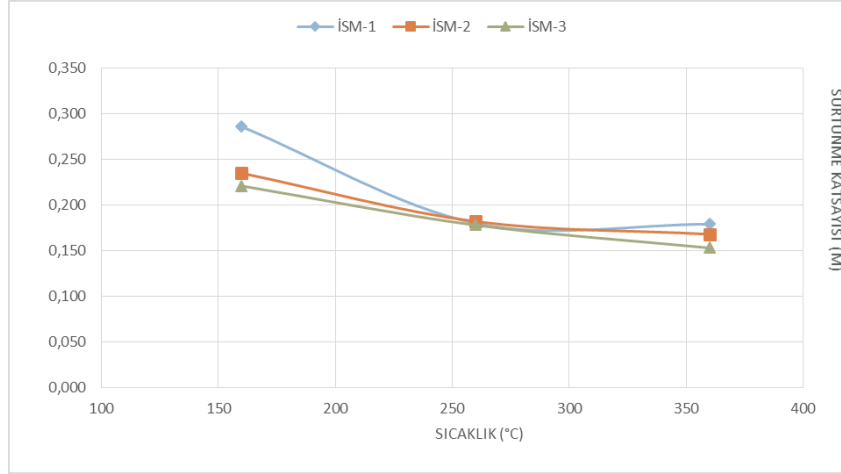
#### 4.5.3.İSM-1 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları

Sürtünme katsayı değerini ve aşınma oranlarını bulmak için hazırlanan İSM-1 isimli reçeteden oluşan numuneye ait test değerleri aşağıdaki Tablo 4.15. de verilmiştir. Bu değerlere göre reçetelerin literatür ile karşılaştırılması (H. Öktem, 2019) yapılmıştır.

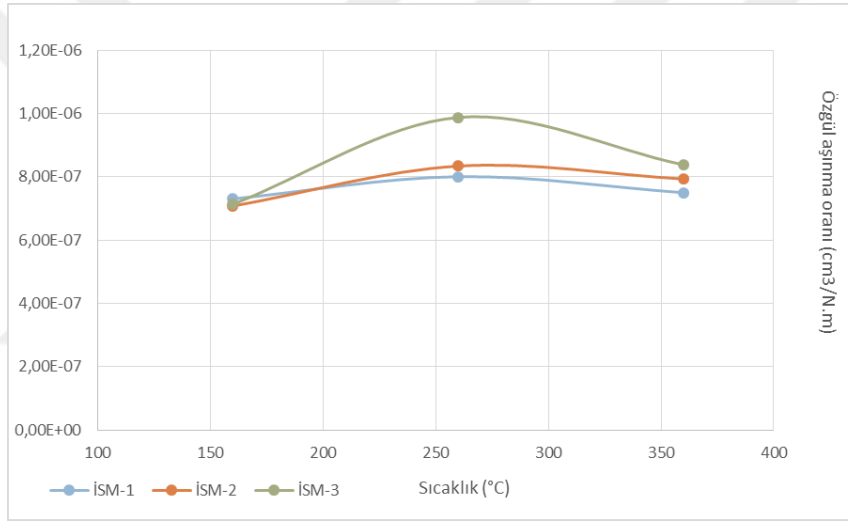
Tablo 4.15. İSM-1 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları

İSM-1	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	0,286	7,31E-07
2	0,180	8,01E-07
3	0,179	7,50E-07
4	0,246	7,99E-07
5	0,192	3,78E-07
6	0,189	7,32E-07
7	0,220	1,47E-07
8	0,167	2,78E-07
9	0,152	2,70E-07

Sürtünme katsayısı testinde sıcaklık yükseldikçe, sürtünme katsayı değerinin ve aşınmanın azaldığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre çıkan değerler literatür değerleri ile karşılaştırıldığında istenilen aralıklarda olduğu ortaya çıkmıştır (TS 555, 1992) (H. Öktem, 2019).



Şekil 4.11. 450 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 4.12. 450 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişimi

Şekil 4.11 incelendiğinde, sabit devirde sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değeri kararlı bir şekilde azalmıştır. Aşınma oranı grafiğinde ise aşınma belli bir sıcaklık değerine kadar artmış, sonra azalma eğilimi göstererek kararlı bir oranda kalmıştır (MUTLU, 2002 ve BIJWE, 2007). Ayrıca, Şekil 4.11 incelendiğinde, devir sayısının 450 d/dak'da iken sıcaklıkların 160 °C, 260 °C ve 360 °C'ye yükselmesi ile sürtünme katsayısının tedrici olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebinin devir sayısının artması ile yüzeyde camlaştırma etkisinin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (F.B.M Eriksoon ve diğ., 2002). Şekil 4.12 incelendiğinde ise, aşınmada sürtünme katsayısı değişimindeki gibi düzenli bir değişim bulunmamaktadır. Bunun da, aşınma formülündeki çok sayıda değişkenin varlığıdır (İ. Mutlu, 2002).

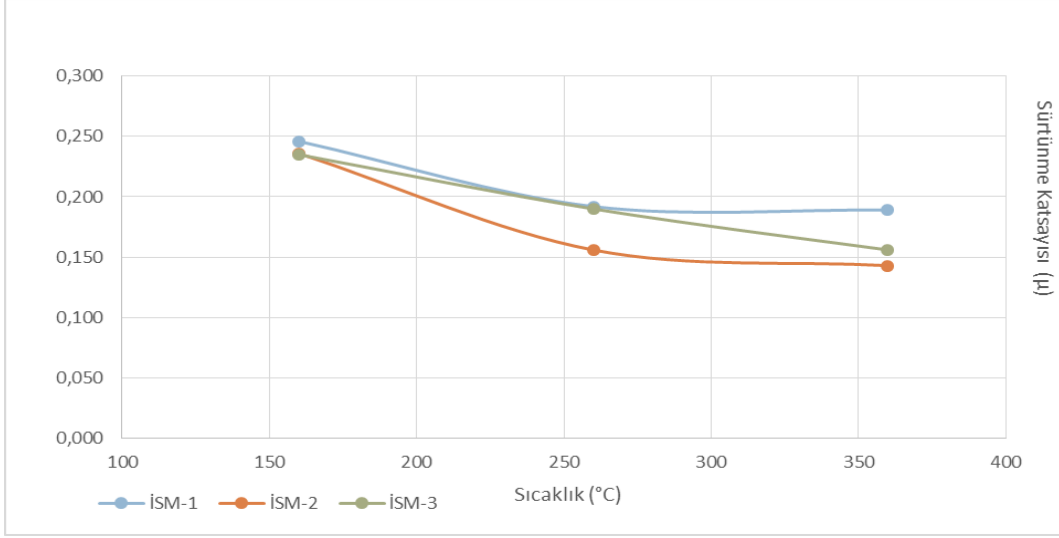
#### 4.5.4.İSM-2 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları

Sürtünme katsayı değerini ve aşınma oranlarını bulmak için hazırlanan İSM-2 isimli reçeteden oluşan numuneye ait test değerleri aşağıdaki Tablo 4.16. de verilmiştir. Bu değerlere göre reçetelerin literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır.

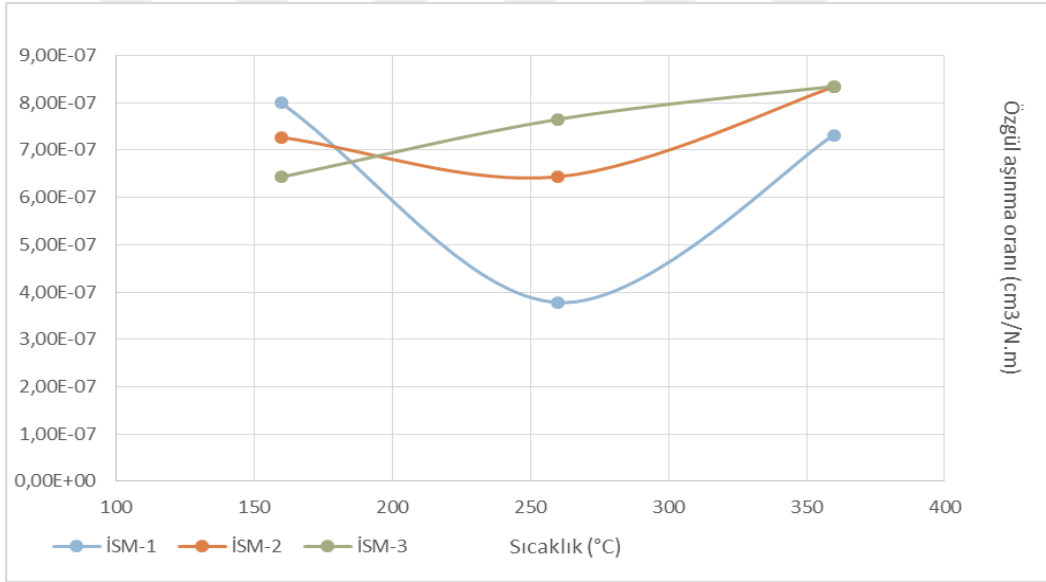
Tablo 4.16.İSM-2 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları

İSM-2	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	0,235	7,08E-07
2	0,182	8,34E-07
3	0,168	7,93E-07
4	0,236	7,27E-07
5	0,156	6,44E-07
6	0,143	8,34E-07
7	0,251	3,43E-07
8	0,190	5,47E-07
9	0,173	5,46E-07

Sürtünme katsayısı testinde sıcaklık yükseldikçe Sürtünme katsayı değerinin ve aşınmanın azaldığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre çıkan değerler literatür değerleri ile karşılaştırıldığında istenilen aralıklarda olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 4.13 incelediğinde, sabit devirde sürtünme katsayısının sıcaklığın artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.14, aşınma oranının sabit devirde sıcaklığa bağlı olarak İSM-1, İSM-2 nolu reçetelerde sıcaklıkla önce azaldığı, daha sonra arttığı gözlemlenmiştir. Aksine, İSM-3 nolu reçetenin aşınma oranı sıcaklıkla sürekli artan bir ivme göstermiştir (İ. MUTLU, 2002 ve BIJWE, 2007). Ayrıca, Şekil 4.13 incelendiğinde, devir sayısının 650 d/dak'da iken sıcaklıkların 160 °C,260 °C ve 360 °C'ye yükselmesi ile sürtünme katsayısının tedrici olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebinin devir sayısının artması ile yüzeyde camlaştırma etkisinin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (F.B.M Eriksoon ve diğ., 2002). Şekil 4.14 incelendiğinde ise, aşınmada sürtünme katsayısı değişimindeki gibi düzenli bir değişim bulunmamaktadır. Bununda, aşınma formülündeki çok sayıda değişkenin varlığıdır (İ. Mutlu, 2002).



Şekil 4.13. 650 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişimi



Şekil 4.14. 650 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişimi

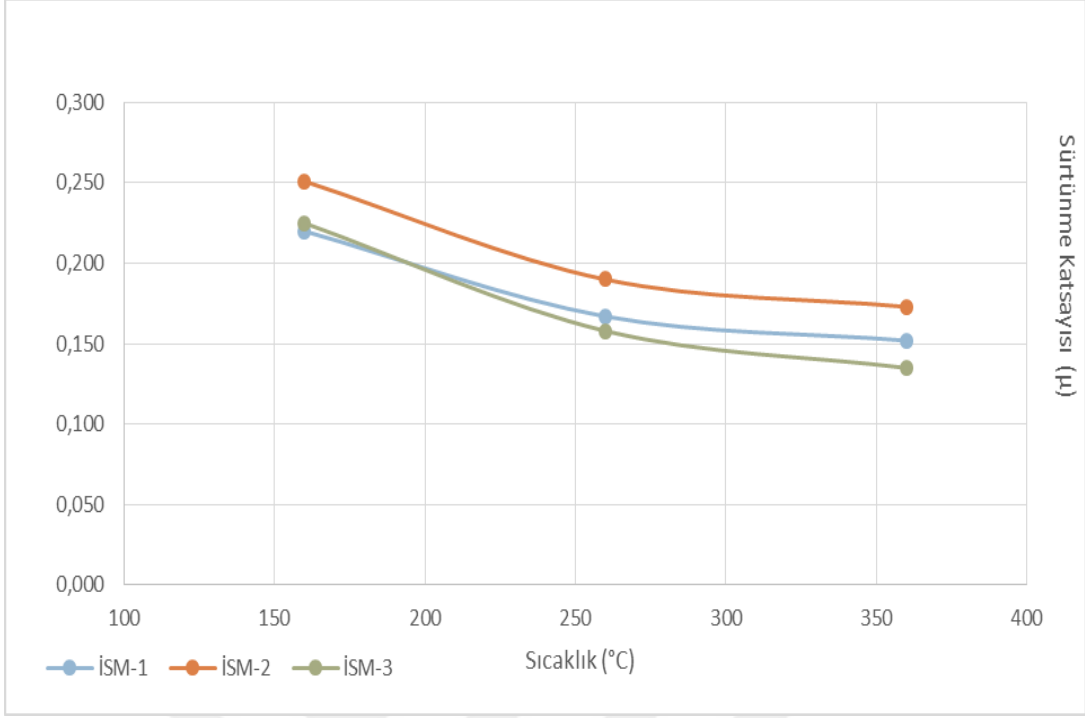
#### 4.5.5. İSM-3 Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçları

Sürtünme katsayısı değerini ve aşınma oranlarını bulmak için hazırlanan İSM-1 isimli reçeteden oluşan numuneye ait test değerleri aşağıdaki Tablo 4.17. de verilmiştir. Bu değerlere göre reçetelerin literatür ile karşılaştırılması yapılmıştır.

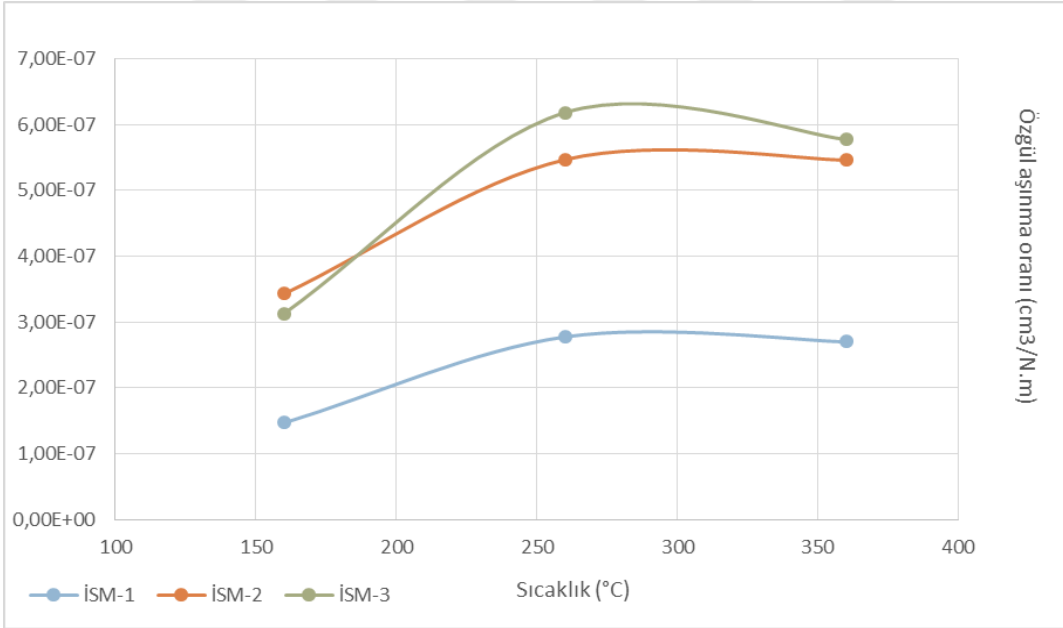
Tablo 4.17. İSM-3 Sürtünme Katsayı değerleri ve Aşınma oranı sonuçları

İSM-3	Sürtünme katsayısı	Aşınma Oranı (cm <sup>3</sup> /N.m)
1	0,221	7,14E-07
2	0,178	9,88E-07
3	0,153	8,38E-07
4	0,235	6,43E-07
5	0,190	7,65E-07
6	0,156	8,35E-07
7	0,225	3,13E-07
8	0,158	6,18E-07
9	0,135	5,78E-07

Sürtünme katsayısı testinde sıcaklık yükseldikçe Sürtünme katsayı değerinin ve aşınmanın azaldığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre çıkan değerler literatür değerleri ile karşılaştırıldığında istenilen aralıklarda olduğu ortaya çıkmıştır (OKTEM, 2019 ve BIJWE, 2007). Ayrıca, Şekil 4.15 incelendiğinde, devir sayısının 850 d/dak'da iken sıcaklıkların 160 °C, 260 °C ve 360 °C'ye yükselmesi ile sürtünme katsayısının tedrici olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebinin devir sayısının artması ile yüzeyde camlaştırma etkisinin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (F.B.M Eriksoon ve diğ., 2002). Şekil 4.16 incelendiğinde ise aşınmada, sürtünme katsayısı değişimindeki gibi düzenli bir artış sonrası yatay değişim gözlenmiştir. Bununla, formüldeki HCFCo'nun %12 oranında olması ile diğer değişkenlerin varlığıdır (İ. Mutlu, 2002).



Şekil 4.15. 850 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı sürtünme katsayısı değişim grafiği



Şekil 4.16. 850 d/dk aralığında İSM-1, İSM-2, İSM-3 numunelerin sıcaklığa bağlı aşınma oranı değişim grafiği

#### 4.5.6.Sürtünme ve Aşınma Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 4.18. İSM-1, İSM-2, İSM-3 Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı sonuçları

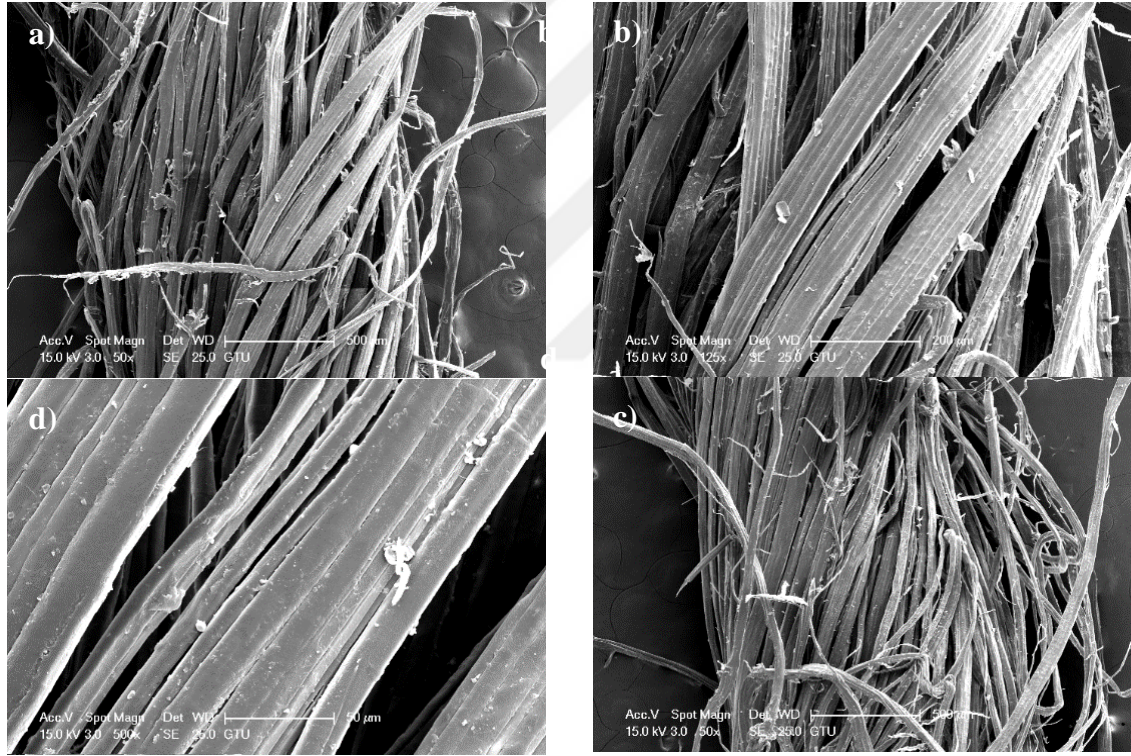
DENEY NUMARASI	Numune	Devir d/dk	Sıcaklık °C	Basınç Bar	Temas Adet	Aşınma (cm <sup>3</sup> /N.m)	S.Katsayısı
1	İSM-1	450	160	10	100	7,31E-07	0,286
2	İSM-1	450	260	20	300	8,01E-07	0,180
3	İSM-1	450	360	30	500	7,50E-07	0,179
4	İSM-1	650	160	20	500	7,99E-07	0,246
5	İSM-1	650	260	30	100	3,78E-07	0,192
6	İSM-1	650	360	10	300	7,32E-07	0,189
7	İSM-1	850	160	30	300	1,47E-07	0,220
8	İSM-1	850	260	10	500	2,78E-07	0,167
9	İSM-1	850	360	20	100	2,70E-07	0,152
10	İSM-2	450	160	10	100	7,08E-07	0,235
11	İSM-2	450	260	20	300	8,34E-07	0,182
12	İSM-2	450	360	30	500	7,93E-07	0,168
13	İSM-2	650	160	20	500	7,27E-07	0,236
14	İSM-2	650	260	30	100	6,44E-07	0,156
15	İSM-2	650	360	10	300	8,34E-07	0,143
16	İSM-2	850	160	30	300	3,43E-07	0,251
17	İSM-2	850	260	10	500	5,47E-07	0,190
18	İSM-2	850	360	20	100	5,46E-07	0,173
19	İSM-3	450	160	10	100	7,14E-07	0,221
20	İSM-3	450	260	20	300	9,88E-07	0,178
21	İSM-3	450	360	30	500	8,38E-07	0,153
22	İSM-3	650	160	20	500	6,43E-07	0,235
23	İSM-3	650	260	30	100	7,65E-07	0,190
24	İSM-3	650	360	10	300	8,35E-07	0,156
25	İSM-3	850	160	30	300	3,13E-07	0,225
26	İSM-3	850	260	10	500	6,18E-07	0,158
27	İSM-3	850	360	20	100	5,78E-07	0,135

#### 4.6.SEM ve EDX Sonuçları ve Karşılaştırılması

Bu tez çalışmasında kullanılan kenevir lifinin Emprenye işleminden önceki morfolojik yapısını incelemek için 50X büyültme ile 500X büyültme arasındaki SEM görüntüleri gösterilmiştir. Bu görüntülerde büyültme oranı arttıkça kenevir lifinin iç yapısı daha iyi gözlemlenmiştir.

##### 4.6.1.Ham Kenevir Lifi SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

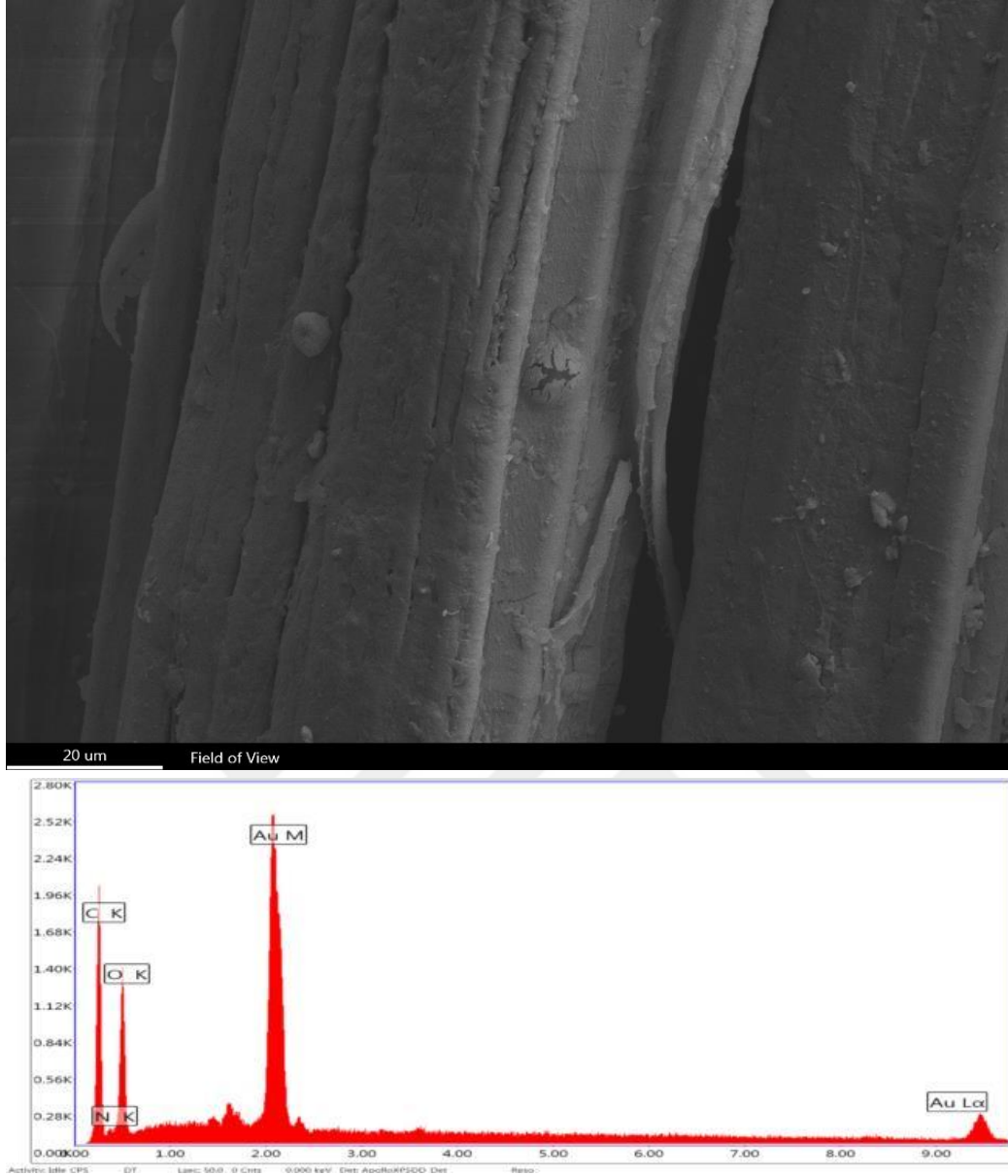
Şekil 4.17.'deki emprenye öncesi kenevir lifin morfolojik yapısı genellikle, doğrusal şekilde uzayan bir biçim sergilemektedir. Özellikle, 125X büyültmede bu durum daha net olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. Emprenye edilmeden önce Kenevir liflerinin görüntüleri

Yukarıda görüntülerde (Şekil 4.17.) Kenevir lifinin emprenye edilmeden önceki SEM görüntüleri çekilmiştir.

- 50X yakınlaştırılmış kenevir lifleri yüzeyleri,
- 125X yakınlaştırılmış kenevir lifleri yüzeyleri,
- 500X yakınlaştırılmış kenevir lifleri yüzeyleri,
- 50X yakınlaştırılmış kenevir lifleri yüzeyleri.



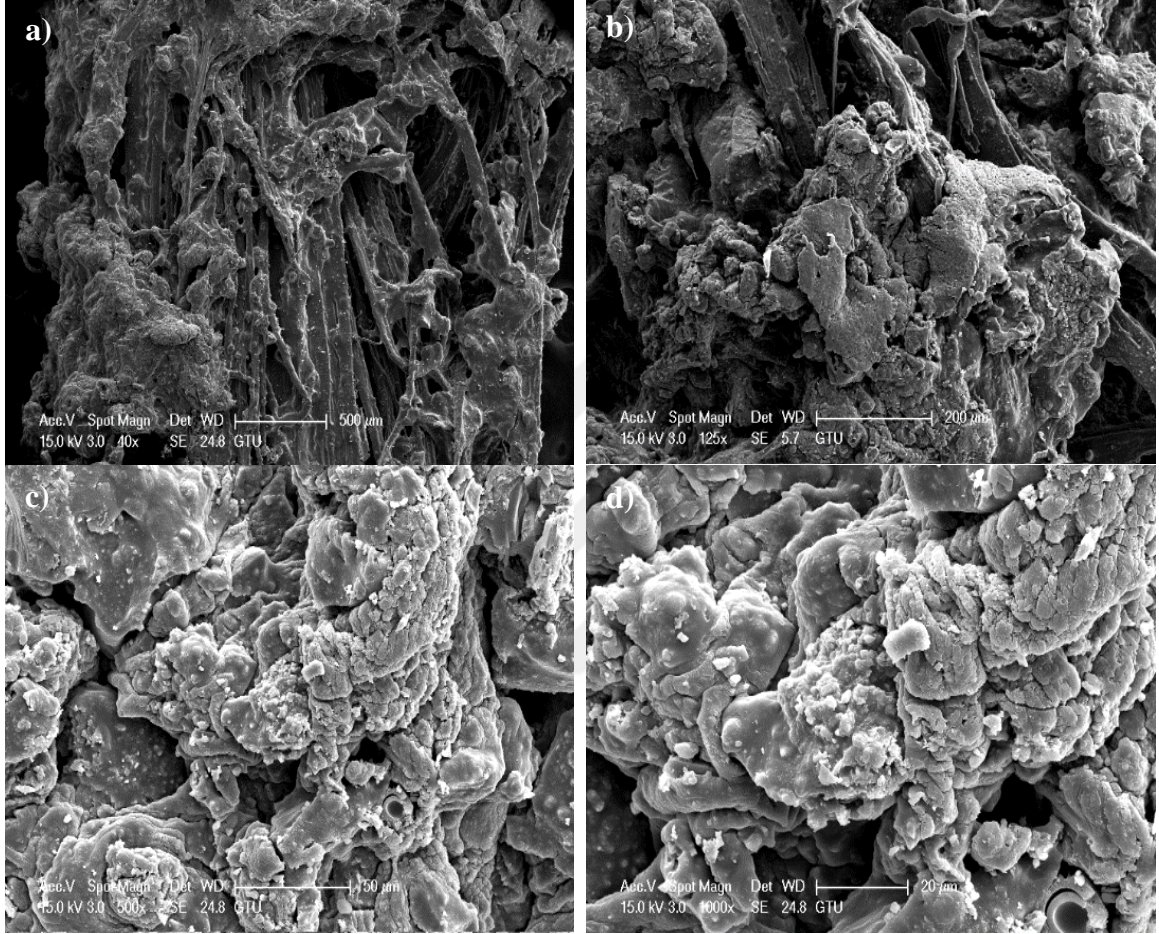
Şekil 4.18. Emprenye edilmeden önce Kenevir lif EDX sonuçlar

Tablo 4.19. Emprenye edilmeden önce Kenevir lifinin EDX değerleri

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
C K	28.54	53.9	164.65	0.01
N K	4.04	6.55	8.76	0.14
O K	24.4	34.6	159.24	0.02
AuM	43.02	4.95	432.08	0.01

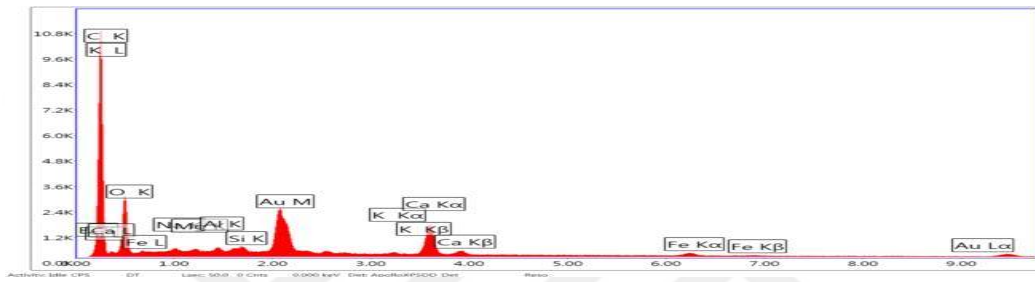
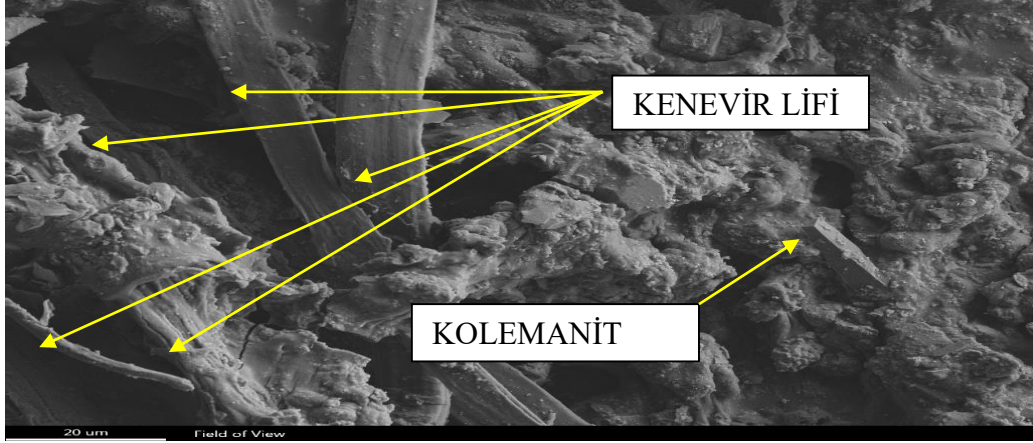
#### 4.6.2.İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

Şekil 4.19, içersinde kolemanitte bulunan emprenye banyosundan geçmiş kenevir liflerinin iç yapısı göstermektedir. Şekil 4.19 incelendiğinde, oldukça homojen kaplamalı yapının olduğu gözlemlenmektedir (Y. Handa, 1996, Y. Ma, 2008).



Şekil 4.19. Emprenye edilmiş HCFCo SEM Görüntüleri

- a) 40X yakınlaştırılmış HCFCo kompoziti yüzeyi,
- b) 500X kat yakınlaştırılmış HCFCo kompoziti yüzeyi,
- c) 125X kat yakınlaştırılmış HCFCo kompoziti yüzeyi,
- d) 1000X kat yakınlaştırılmış HCFCo kompoziti yüzeyi,



Şekil 4.20. Emprenye edilmiş HCFCo EDX Sonuçları

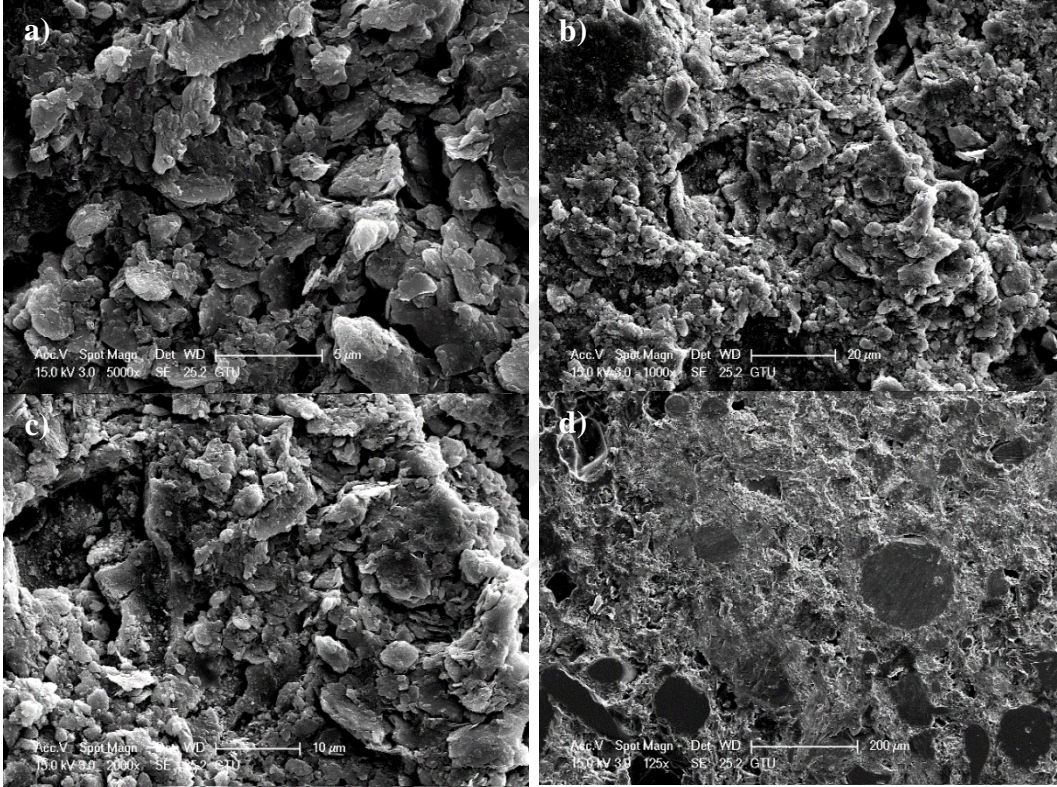
Kenevir ve Kolemanit net olarak görülmektedir. Kolemanit B (Bor) türevi olarak, analiz grafikte element listesinde yer almaktadır.

Tablo 4.20. Emprenye edilmiş HCFCo (Kenevir-Kolemanit Kompoziti) EDX

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int.Error
B	13.58	17.68	66.51	0.02
C	55.63	65.21	1026.11	0.01
O	16.07	14.14	346.86	0.01
Na	0.18	0.11	13.83	0.14
Mg	0.05	0.03	5.91	0.59
Al	0.12	0.06	15.49	0.17
Si	0.18	0.09	26	0.11
AuM	7.66	0.55	371.31	0.02
K	0.16	0.06	12.42	0.26
Ca	4.67	1.64	298.64	0.02
Fe	1.71	0.43	38.94	0.08

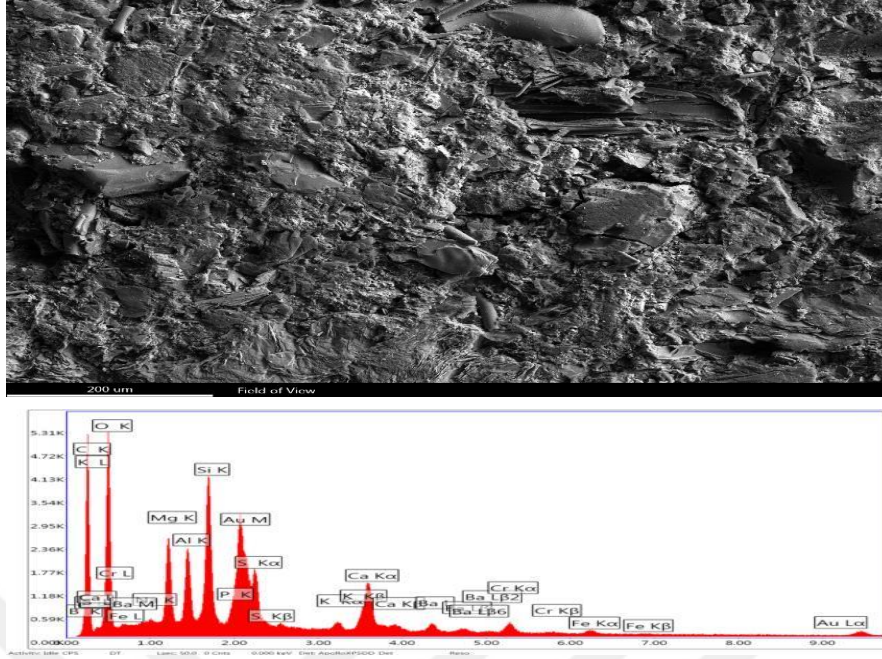
#### 4.6.3.İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

Şekil 4.21, kaplanmış kenevir lifinin, kırıldıktan sonra diğer tozlarla karıştırılarak sürtünme kompoziti haline geldiği yapıyı göstermektedir. Şekil 4.21 incelendiğinde, özellikle 125X büyültmedeki ana matris (reçine, demir tozu, kauçuk, kaya yünü ve barit, magnezyum oksit, vermükülit), yer yer grafit parçacıkları, kaplanmış kenevir lifleri olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 4.21. İSM-1 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

- a) 5000X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
  - b) 1000X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
  - c) 2000X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
  - d) 125X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
- Reçetedeki HCFCo miktarı ağırlıkça; %4 tür.



Şekil 4.22. İSM -1 Reçetenin alansal görüntüsü ve EDX sonuçları

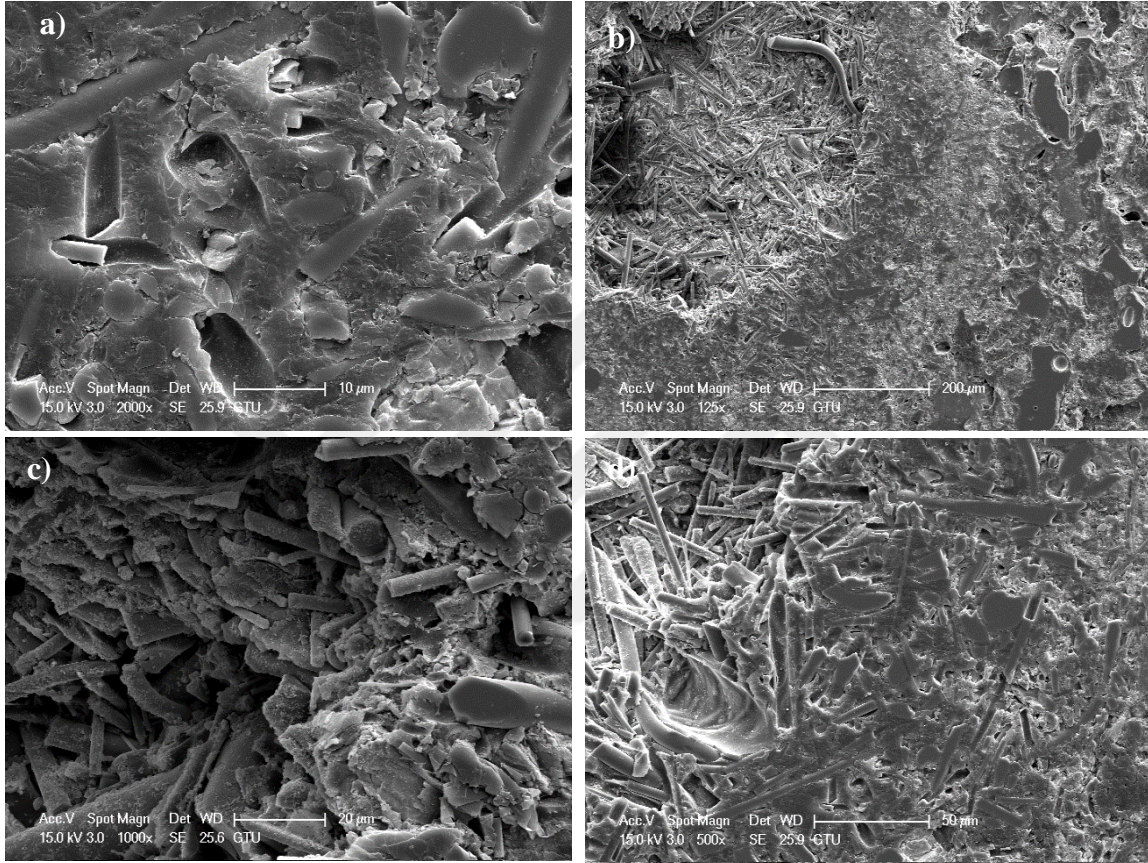
Şekil 4.22. ve Tablo 4.21. incelendiğinde ve Pik grafiği göz önüne alındığı zaman İSM-1 Reçetesindeki iç yapı görülebilir. Element Tablosu değerlendirilince ve Şekil 4.22. incelendiğinde, sürtünme kompozitinin iç yapısında,  $Cr_2O_3$  -  $BaSO_4$  – B(Bor Türevi Kolemanit) –  $Al_2O_3$  – Demir Tozu – C (Grafit) –  $MgO$  gibi toz bileşiklerin olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, Tablo 4.20'deki Si – Na – K – Cr – P Elementleri ise İSM-1 reçetesindeki Vermikulit tozunun varlığını işaret etmektedir.

Tablo 4.21. İSM-1 Reçete EDX element tablosu

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
B	7.1	11.87	14.68	0.06
C	31.49	47.39	416.89	0.01
O	23.29	26.31	588.91	0.01
Na	0.09	0.07	5.78	0.6
Mg	2.97	2.21	306.7	0.01
Al	2.57	1.72	288.89	0.01
Si	4.97	3.2	599.26	0.01
P	0.77	0.45	76.11	0.06
Au	11.93	1.1	489.01	0.02
S	2.6	1.47	243.73	0.02
K	0.51	0.24	35.32	0.1
Ca	5.6	2.53	320.07	0.02
Ba	2.97	0.39	47.66	0.17
Cr	2.01	0.7	62.29	0.09
Fe	1.11	0.36	23.24	0.17

#### 4.6.4.İSM-2 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

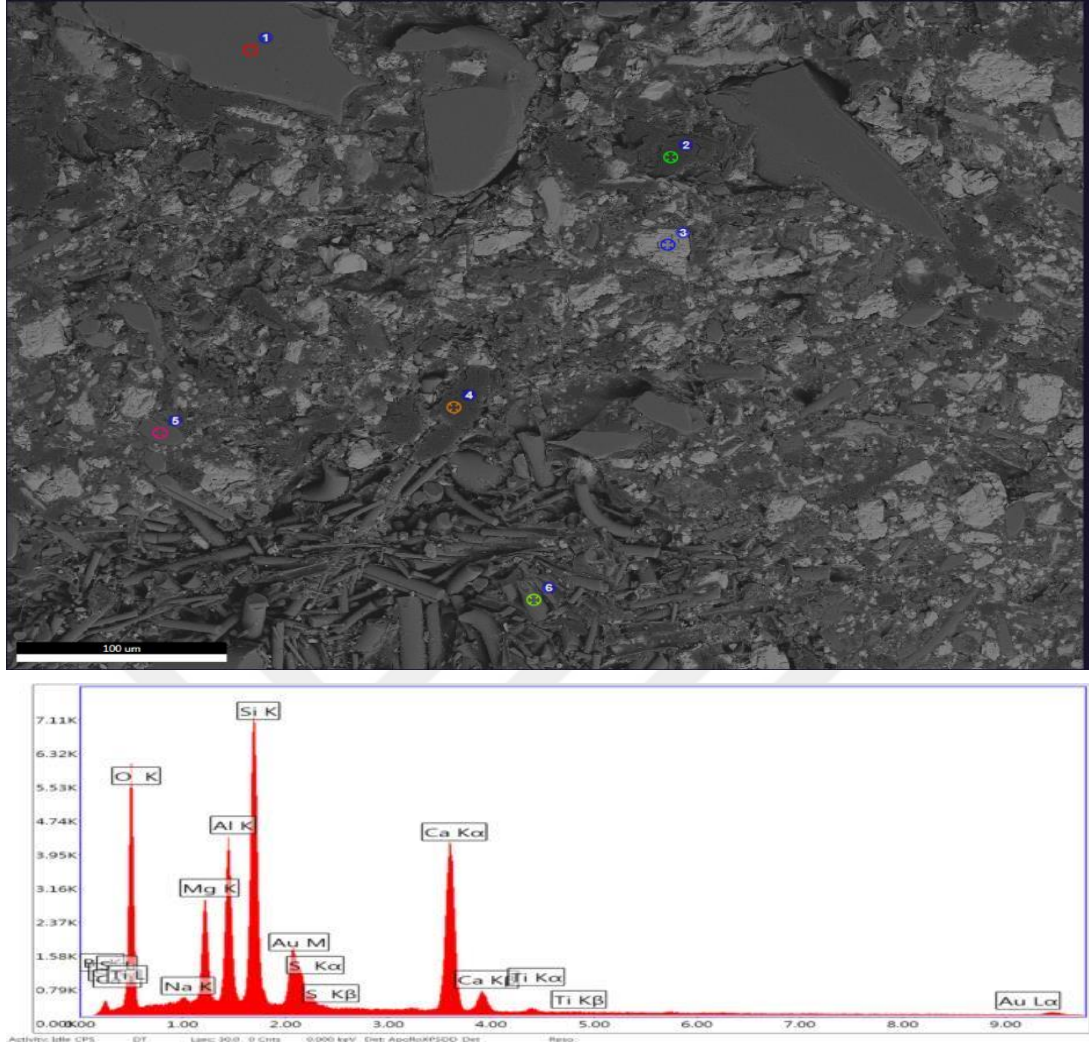
Şekil.4.23. ve Şekil 4.24. ile Tablo 4.22. incelendiğinde, 6 Pik grafiği göz önüne alındığı zaman İSM- 2 reçetede yapı içeriği görülebilir. Element tablosu değerlendirilince;  $Al_2O_3$ ,  $CaCO_3$  (kalsiyum karbonat),  $MgO$ , Vermikülit (Na,Si,Ti,Al,O) B (Bor Türevi Kolemanit) gibi bileşiklerin varlığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.23. İSM-2 Reçete SEM Görüntüleri

Reçetede HCFCo ağırlıkça oranı ; %8 dir.

- a) 2000X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
- b) 125X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
- c) 1000X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,
- d) 500X yakınlaştırılmış reçete yüzeyi,



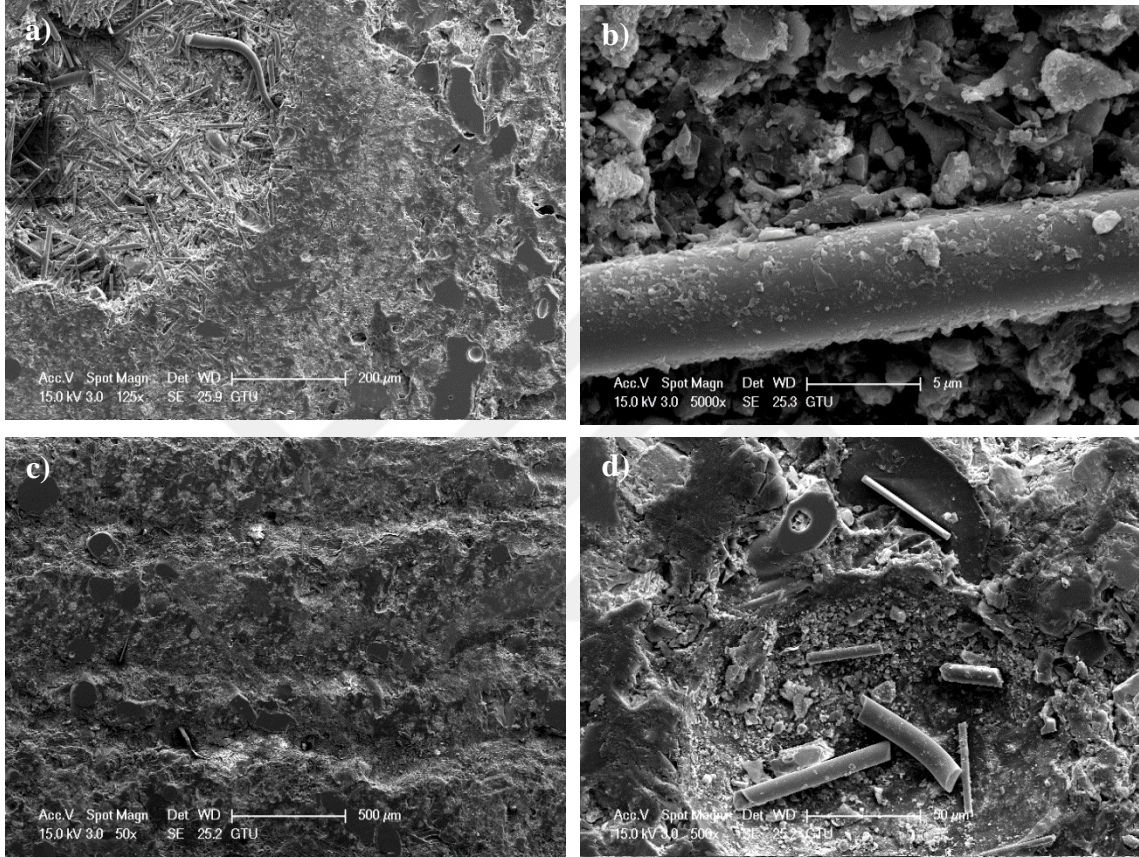
Şekil 4.23. İSM-2 Reçete EDX sonuçları

Tablo 4.22.İSM-2 Reçete EDX Element Tablosu

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
B	3.96	8.42	6.21	0.14
C	1.57	3	20.44	0.09
O	35.48	50.95	1125.51	0.01
Na	1.06	1.06	81.3	0.04
Mg	5.13	4.85	645.6	0.01
Al	7.67	6.53	1036.18	0.01
Si	13.67	11.18	1910.8	0.01
Au	8.94	1.04	422.52	0.03
S	0.75	0.54	82.43	0.08
Ca	21.11	12.1	1470.68	0.01
Ti	0.65	0.31	34.71	0.18

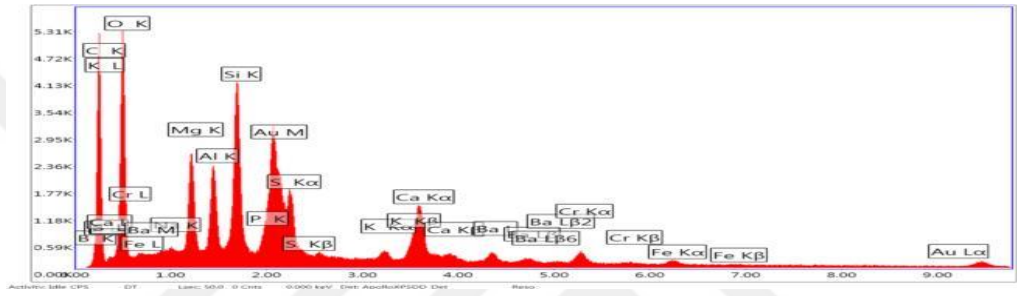
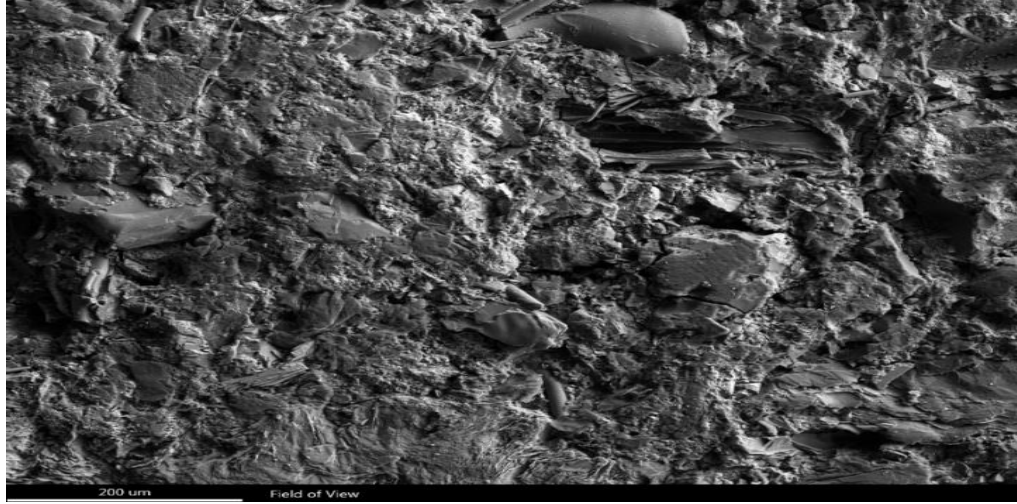
#### 4.6.5.İSM-3 Reçetenin SEM Görüntüleri ve EDX Sonuçları

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26. ile Tablo 4.23. incelenip ve Pik grafikleri göz önüne alındığı zaman İSM -3 reçetedeki yapı içeriği görülebilir. Element tablosu değerlendirilince;  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ , Vermikulit (P, Na, Al, O, S, K), Grafit (C) - Demir Tozu -  $BaSO_4$  –  $CaCO_3$  –  $Cr_2O_3$  varlıkları tespit edilmektedir.



Şekil 4.24. İSM-3 Reçete SEM Görüntüleri

- a)125X yakınlaştırılmış reçete numune yüzeyi,
  - b)5000X yakınlaştırılmış reçete numune yüzeyi,
  - c)50X yakınlaştırılmış reçete numune yüzeyi,
  - d)500X yakınlaştırılmış reçete numune yüzeyi,
- Reçetedeki HCFCo ağırlıkça oranı ; %12 'dir.



Şekil 4.25. İSM-3 Reçete EDX Sonuçları

Tablo 4.23.İSM-3 Reçete EDX Element Tablosu

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Net Int. Error
B K	7.1	11.87	14.68	0.06
C K	31.49	47.39	416.89	0.01
O K	23.29	26.31	588.91	0.01
NaK	0.09	0.07	5.78	0.6
MgK	2.97	2.21	306.7	0.01
AlK	2.57	1.72	288.89	0.01
SiK	4.97	3.2	599.26	0.01
P K	0.77	0.45	76.11	0.06
AuM	11.93	1.1	489.01	0.02
S K	2.6	1.47	243.73	0.02
K K	0.51	0.24	35.32	0.1
CaK	5.6	2.53	320.07	0.02
BaL	2.97	0.39	47.66	0.17
CrK	2.01	0.7	62.29	0.09
FeK	1.11	0.36	23.24	0.17

#### 4.7.Aşınma Görüntülerinin İncelenmesi

Aşınma Test görüntüleri ve açıklamaları:

Şekil 4.27. incelendiğinde İSM-1 Reçetesine ait numune üzerinde yapılmış olan aşınma test ile görüntü üzerinde belirtilen bulgular tesbit edilmiştir;

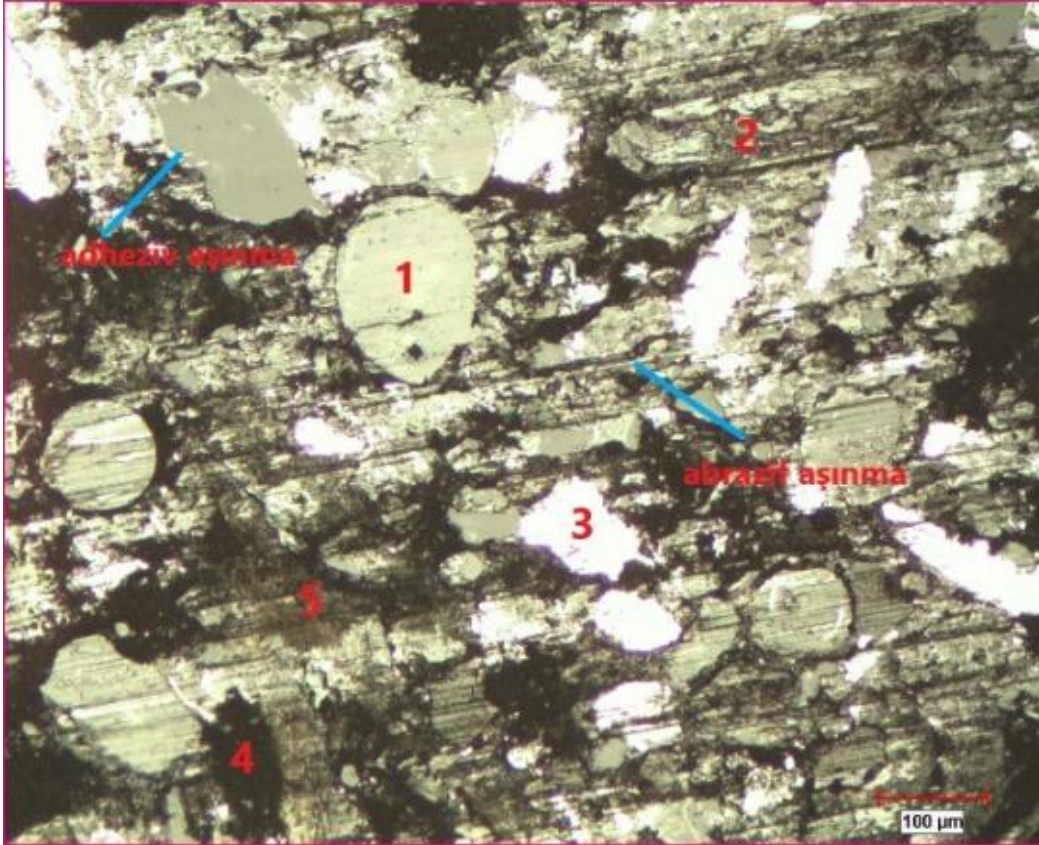
1 no'lu noktada Grafit olduğu düşünülmüştür,

2 no'lu noktada Matris malzemeleri (Barit, Kaya yünü, NBR, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi) ,

3 no'lu noktada HCFCo kompoziti,

4 no'lu noktada Fenolik Reçine,

5no'lu noktada Vermiculite, olabileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4.26. İSM-1 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü

İSM-1 Numunesi aşınma test görüntüsü incelendiği zaman, yüzeydeki abrazif aşınma izleride belirgin olarak görülmektedir.

Şekil 4.28. incelendiğinde İSM-2 Reçetesine ait numune üzerinde yapılmış olan aşınma test ile görüntü üzerinde belirtilen bulgular tesbit edilmiştir;

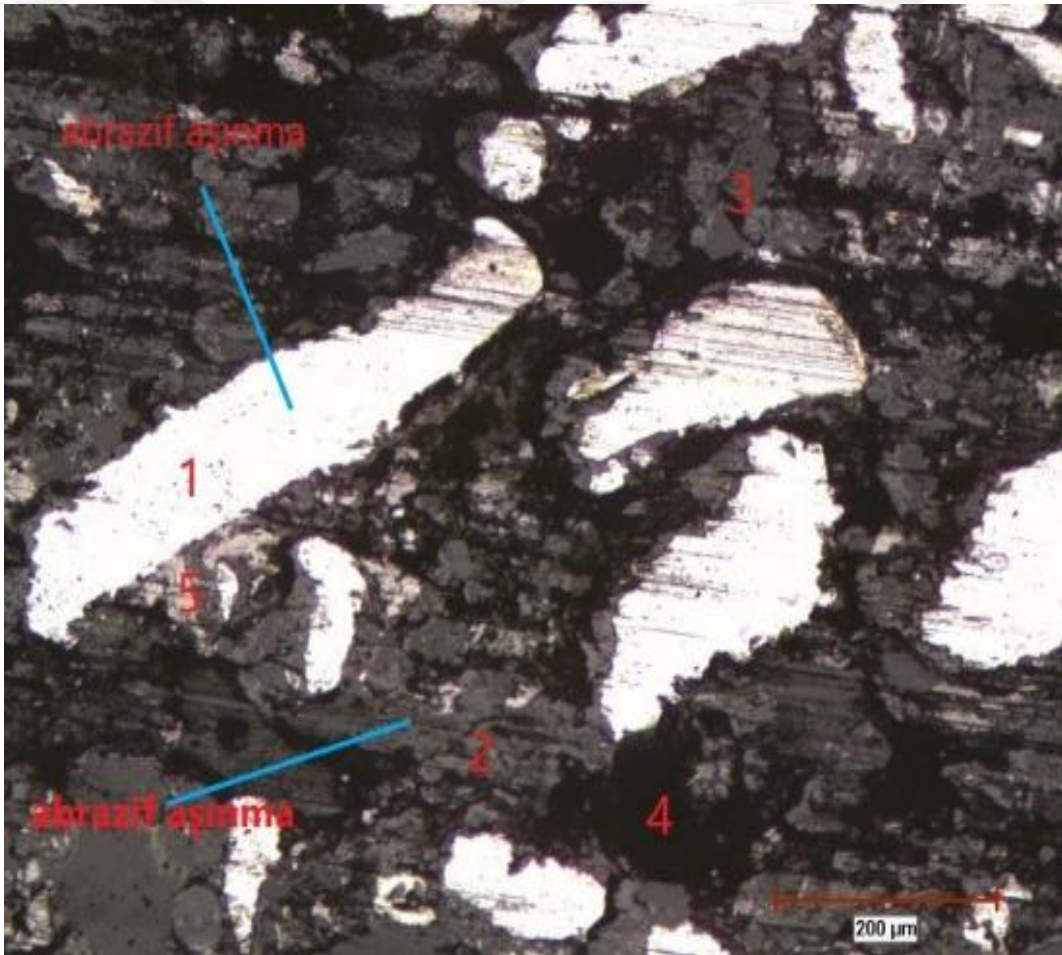
1 no'lu noktada HCFCo kompozit olduğu düşünülmüştür,

2 no'lu noktada Matris malzemeleri (Barit, Kaya yünü, NBR, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi),

3 no'lu noktada Grafit ,

4 no'lu noktada Fenolik Reçine ,

5 no'lu noktada Vermiculite olabileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4.27. İSM-2 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü

İSM-2 Numunesi aşınma test görüntüsü incelendiği zaman, yüzeydeki abrazyif aşınma izleri belirgin olarak görülmektedir.

Şekil 4.29. incelendiğinde İSM-3 Reçetesine ait numune üzerinde yapılmış olan aşınma test ile görüntü üzerinde belirtilen bulgular tesbit edilmiştir;

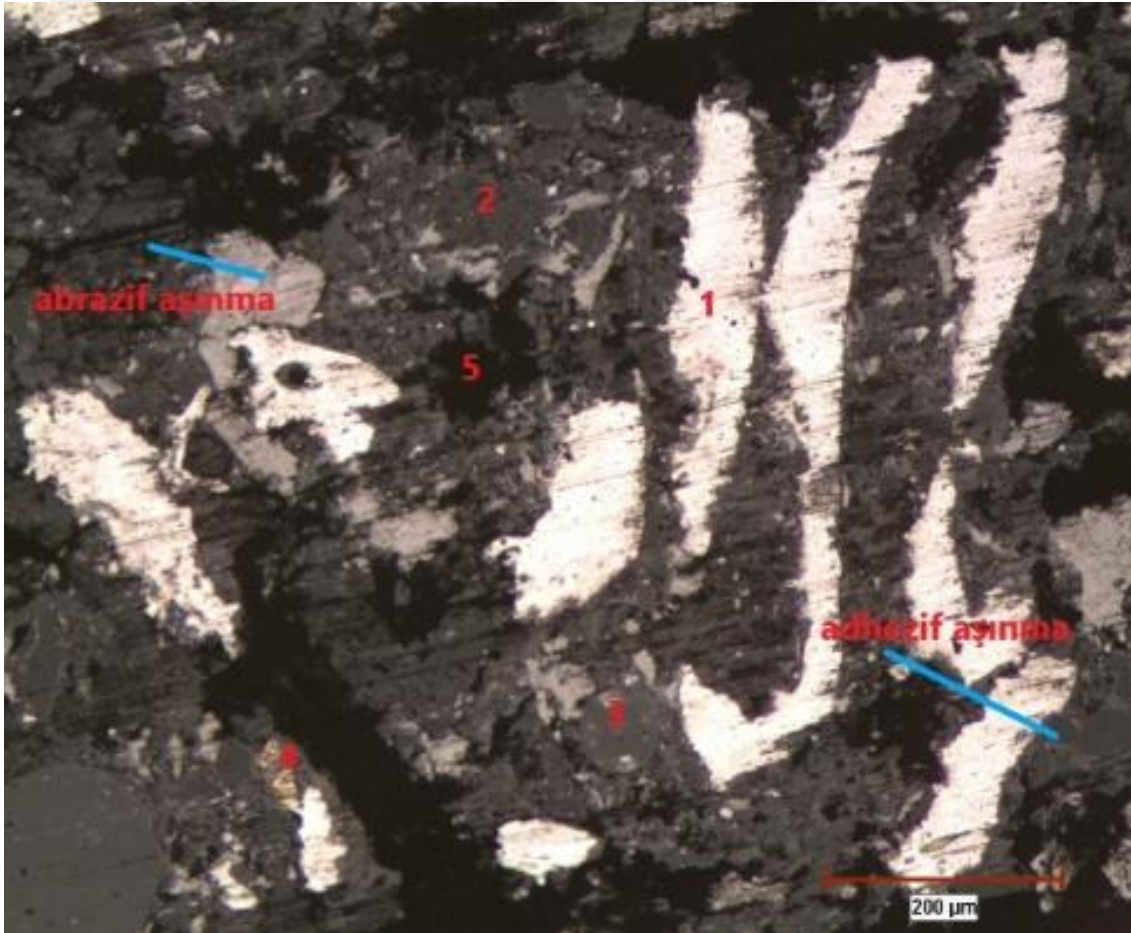
1 no'lu noktada HCFCo olduğu düşünülmüştür,

2 no'lu noktada Matris malzemeleri (Barit, Kaya yünü, NBR, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi) ,

3 no'lu noktada Grafit,

4 no'lu noktada Vermiculite ,

5 no'lu noktada Fenolik Reçine olabileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 4.28. İSM-3 reçeteli numunenin aşınma görüntüsü

İSM-3 Numunesi aşınma test görüntüsü incelendiği zaman ,yüzeydeki abrazif aşınma ve adhezif aşınma izleri belirgin olarak görülmektedir.

## 5.SONUÇLAR VE KAZANIMLAR

Bu tez çalışmasında, polimer tabanlı kenevir- kolemanit kombinasyonlu kompozit malzeme laboratuvar şartlarında çeşitli işlemlerinden geçirilerek, üç farklı reçeteye göre geliştirilmiştir. Bu çalışmada hedef, doğal tabanlı malzemeler kullanılarak yeni tip bir kompozit geliştirmek ve bu kompozitin uluslararası standartlarda belirtilen şartlara göre endüstriyel uygulamalarda kullanmak ve literatürde yapılan çalışmalara ışık tutmaktır. Bu sebeple çalışma boyunca aşağıdaki sonuçlar ve kazanımlar elde edilmiştir.

- Öncelikle doğal tabanlı kenevir lifine yine doğal olarak üretilen kolemanitin de yer aldığı bir kimyasal solüsyon (polimer banyosu) içerisinde kaplama yapılmıştır.
- Kenevir lifine kaplama işlemi için özel bir emprenye sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin benzerleri literatürde yer almasına rağmen, bu tez çalışmasında kullanılan sistemin özelliği kenevir lifini yıkama banyosundan geçirdikten sonra, bir emprenye solüsyonundan geçirilerek kurutma işlemini gerçekleştirir.
- Çalışmadaki reçeteler, model olarak oluşturulan karışımın içerisinde kaya yünü ile HCFCo kompozitin ağırlıkça oranları değiştirilerek ve diğer toz malzemeler sabit tutularak oluşturulmuştur.
- Kompozitlerin performanslarını kontrol etmek için yoğunluk, sertlik, su ve yağ alma, aşınma, sürtünme testleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.
- Kompozitlerin sertlik ve yoğunluk testleri sonucunda, yoğunluk değerlerinin İSM-1, İSM-2 ve İSM-3 reçetelerinde önemli bir değişim olmamıştır. Ancak ticari araç sürtünme malzemesine göre daha iyi bir yoğunluk değeri elde edilmiştir. Diğer taraftan sertlik testlerine bakıldığında her üç reçetede %2'lik bir değişim olmuştur.
- İSM-1, İSM-2 ve İSM-3 olmak üzere üç tip reçetenin yoğunluk ölçümleri yapılarak, İSM-1 reçetesinin yoğunluğunun en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin, HCFCo'nun en az olduğu (% 4) reçete İSM-1'dir. Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçların olduğu görülmektedir (W. Österle ve diğ., 2001).
- Kompozitlerin sürtünme testleri sonucunda sıcaklığa bağlı olarak her üç test boyunca sürtünme katsayısı azalmıştır. Ancak 27 deney boyunca sürtünme katsayıları ortalama 0,29 ile 0,14 arasında değişmiştir. Burada sürtünme katsayısının her üç deney boyunca azalmasının sıcaklığın artmasına bağlı olduğu görülmüştür. Diğer taraftan 27 deney boyunca elde edilen sürtünme katsayısı değerleri literatürde belirlenen

değerlerle uygunluk göstermiştir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, Karayolu Taşıtları, Fren Sistemleri ulusal standardı içinde yer almaktadır (TS 555, 1992).

- Aşınma testleri sonuçlarında ise 27 deney boyunca aşınma oranı değerlerinde ciddi bir değişim olmamıştır. Bu sonuçta yapılan çalışmanın, doğru bir reçete seçimi, uygun karışım prosesi ve uygun basım şartlarının oluşturulduğunun kanıtıdır.
- SEM görüntüleri ile birlikte yapısında polimer ve doğal takviyeli malzemeler bulunan bir içyapının tespiti yapılmıştır. İçyapı incelendiğinde iyi dağılmış ve homojen bir dizilim gösteren bir kompozit yapısının olduğu gözlemlenmiştir.
- Aşınan numune yüzeylerinde, optik mikroskop altında incelenen kayma izlerinde abrazyif ve adhezif aşınma mekanizmaları gözlemlenmiştir. Bu aşınma mekanizmalarının kompozit malzemelerde karşılaşılanlarla uygun olduğu görülmüştür.
- Devir sayısının 850 d/dak'da iken sıcaklıkların 160 °C, 260 °C ve 360 °C'ye yükselmesi ile sürtünme katsayısının tedrici olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun temel sebebinin devir sayısının artması ile yüzeyde camlaştırma etkisinin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür (F.B.M Eriksoon ve diğ., 2002).
- Aşınmada, sürtünme katsayısı değişimindeki gibi düzenli bir artış sonrası yatay değişim gözlemlenmiştir. Bununda, formüldeki HCFCo'nun %12 oranında olması ile diğer değişkenlerin varlığıdır (İ. Mutlu, 2002).

Geliştirilen bu sürtünme kompoziti, endüstriyel uygulamalarda debriyaj balatası, dokuma balata olarak eksantrik preslerde ve deniz taşıtlarında fren balatası olarak yüksek performansta ve güvenilir bir şekilde kullanılabilir. HCFCo sürtünme malzemesinin % 100 oranında debriyaj balata üretiminde kullanılacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde dokuma yöntemi ile oluşturulacak sürtünme malzemelerinin geniş kullanım alanı bulabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Almaslow, A., Ghazali, M. J., Talib, R. J., Ratnam, C. T., and Azhari, C. H. (2013). Effects of epoxidized natural rubber–alumina nanoparticles composites in semi-metallic brake friction materials, *Wear*, vol. 302, pp. 1392-1396, 2013.
- Bhushan ,B. (2001). Principles of tribology. Modern Tribology Handbook, Volume I, CRC Press.
- Bijwe , J. and Kumar, M.(2007). Optimization of steel wool contents in non-asbestos organic (NAO) friction composites for best combination of thermal conductivity and tribo-performance, *Wear*, vol. 263, pp. 1243-1248,2007.
- Blaney, L., (2007). Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>): Properties, synthesis, and applications, *Lehighreview Preserve*, vol. 15, pp. 33-68, 2007.
- Blau, P. J., (2001). Compositions, functions, and testing of friction brake materials and their additives," Oak Ridge National Lab., Tennessee, United States, 2001.
- Chen, B., Bi, Q., Yang, J., Xia, Y. and Hao, J., (2008). Tribological properties of solid lubricants (graphite, h-BN) for Cu-based P/M friction composites, *Tribology International*, vol. 41, pp. 1145-1152, 2008.
- Cho,M. H., Ju, J., Kim, S. J., and Jang, H. (2006). Tribological properties of solid lubricants (graphite, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>) for automotive brake friction materials, *Wear*, vol. 260, pp. 855-860, 2006.
- Eriksson, F. B. M., Jacobson, S. (1999). Surface characterisation of brake pads after running under silent and squealing conditions, *Wear*, vol. 232, pp. 163-167, 1999.
- Eriksson, F. B. M., Jacobson, S. (2002). On the nature of tribological contact in automotive brakes, *Wear*, vol. 252, pp. 26-36, 2002.
- Eriksson, S. J. M. (2000). Tribological surfaces of organic brake pads," *Tribology International*, vol. 33, pp. 817-827, 2000.
- Fan,Y., Matějka, V., Kratošová, G., and Lu, Y. (2008). Role of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in semi-metallic friction materials and its effects on friction and wear performance, *Tribology Transactions*, vol. 51, pp. 771-778, 2008.
- Gurunath, P. V., and Bijwe, J. (2007). Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin, *Wear*, vol. 263, pp. 1212-1219, 2007.
- Halberstadt, M., Rhee, S., and Mansfield, J.(1978). Effects of potassium titanate fiber on the wear of automotive brake linings, *Wear*, vol. 46, pp. 109-126, 1978.
- Han, L., Huang, L., Zhang, J. and Lu,Y. (2006). Optimization of ceramic friction materials," *Composites Science and Technology*, vol. 66, pp. 2895-2906, 2006.

- Handa, Y., Kato, T. (1996). Effects of Cu powder, BaSO<sub>4</sub> and cashew dust on the wear and friction characteristics of automotive brake pads, *Tribology Transactions*, vol. 39, pp. 346-353, 1996.
- Ho Jang, S. J. K. (2000). The effects of antimony trisulfide (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) and zirconium silicate (ZrSiO<sub>3</sub>) in the automotive brake friction material on friction characteristics, *Wear*, vol. 239, pp. 229-236, 2000.
- Ho, S. C., Lin, J. H. C., and Ju, C. P. (2005). Effect of phenolic content on tribological behavior of carbonized copper-phenolic based friction material, *Wear*, vol. 258, pp. 1764-1774, 2005.
- Jang, H., Ko, K., Kim, S. J., Basch, R. H. And Fash, J. W.(2004). The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials, *Wear*, vol. 256, pp. 406-414, 2004.
- Jang, H., Lee, J.S., and Fash, J. W. (2001). Compositional effects of the brake friction material on creep groan phenomena, *Wear*, vol. 251, pp. 1477-1483, 2001.
- Kane, J. F. and Mowrer, N. R. (1998). Phenolic resin compositions with improved impact resistance, Google Patents, US05460628, 11, 05, 1998.
- Kim, S. J., Cho, M. H., Lim, D. S., and Jang, H. (2001). Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction material, *Wear*, vol. 251, pp. 1484-1491, 2001.
- Kim, Y. C., Cho, M. H., Kim, S. J., and Jang, H. (2008). The effect of phenolic resin, potassium titanate, and CNSL on the tribological properties of brake friction materials, *Wear*, vol. 264, pp. 204-210, 2008.
- Kimura, K., Goto, Y., Torii, N., Katagiri, H., Miyazawa, H., and Motoyoshi, Y.(1998). Friction material for dampers and process for producing the same, Google Patents, US5830566A, 11, 03, 1998.
- Komori, T., Miyake, S., and Senoo, Y. (1990). Brake-friction material," Google Patents, US4954536A 09, 04, 1990.
- Lu, Y.(2006). A combinatorial approach for automotive friction materials: effects of ingredients on friction performance, *Composites Science and Technology*, vol. 66, pp. 591-598, 2006.
- Lu, Y., C. F. Tang, and M. A. (2002). Wright, Optimization of a commercial brake pad formulation, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 84, pp. 2498-2504, 2002.
- Luise Gudmand-Hoyer, A. B., Nielsen, T. (1999). Tribological properties of automotive disc brakes with solid lubricants," *Wear*, vol. 232, pp. 168-175, 1999.

- Ma, Y., G. S. Martynková, M. Valášková, V. Matějka, and Y. Lu.(2008). Effects of ZrSiO<sub>4</sub> in non-metallic brake friction materials on friction performance, *Tribology International*, vol. 41, pp. 166-174, 2008.
- Mandal, D., Dutta, B. K., and Panigrahi, S. C.(2008). Wear properties of copper-coated short steel fiber reinforced stir cast Al–2Mg alloy composites, *Wear*, vol. 265, pp. 930-939, 2008.
- Mohanty, A.K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., *Biofibres*.(2000). Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview, *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1-24, 2000.
- Mutlu, İ.(2002). Seramik katkılı asbestsiz otomotiv fren balatası üretimi ve frenleme karakteristiğinin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2002.
- Nakagawa, M., Yamashita, Y., Ibuki, M., and Kishimoto, H. (1993). Friction material and method of manufacturing such material, Google Patents, US5268398A, 12, 07, 1993.
- Ohya, K., and Kimbara, H.(1990), Disc brake pad, Google Patents, US4944373A, 07, 31, 1990.
- Österle, W., Griepentrog, M., Gross, T., and Urban, I.(2001). Chemical and microstructural changes induced by friction and wear of brakes, *Wear*, vol. 251, pp. 1469-1476, 2001.
- Öztürk, B., Arslan, F., and Öztürk, S.(2013). Effects of different kinds of fibers on mechanical and tribological properties of brake friction materials, *Tribology Transactions*, vol. 56, pp. 536-545, 2013.
- Öztürk, B., Öztürk, S., and Adigüzel, A. A.(2013). Effect of type and relative amount of solid lubricants and abrasives on the tribological properties of brake friction materials, *Tribology Transactions*, vol. 56, pp. 428-441, 2013.
- Prabhu, T. R.(2015). Effects of solid lubricants, load, and sliding speed on the tribological behavior of silica reinforced composites using design of experiments, *Materials & Design*, vol. 77, pp. 149-160, 2015.
- Saffar , A., and Shojaei, A.(2012). Effect of rubber component on the performance of brake friction materials, *Wear*, vol. 274–275, pp. 286-297, 2012.
- Satapathy, B. K. and Bijwe, J.(2006) Composite friction materials based on organic fibres: Sensitivity of friction and wear to operating variables, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, pp. 1557-1567, 2006.
- Staab, G. H., *Laminar Composites*, Butterworth-Heinemann, Chapter 1, (1999).

Tatlı, Z., Çalışkan, F., Butler, J., Crowley, C., and Hampshire, S.(2014). SPS sintering of silicon nitride with fluoride additive, *Ceramics International*, vol. 40, pp. 1399-1404, 2014.

Taylor, A. J., Taylor, S. K. D. A., Hubbard, and Lotfipour, M.(1998). Friction pads for use in disc brakes, *Google Patents*, US5725077A, 03, 10, 1998.

TS 555, Karayolu taşıtları, Fren Sistemleri, Balatalar, Sürtünmeli frenler, 1992.

Unno, M., Mitsumoto, M., Baba, K. and Kikudome, T.(2012). Non-asbestos friction material composition, *Google Patents*, US9470283B2, 10, 18, 2012.

URL-1: <http://atlas.cc.itu.edu.tr/~acarh> , (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2022).

Yesnik, M. A.(1996). Friction material comprising powdered phenolic resin and method of making same, *Google Patents*, US5453317A, 09, 26, 1996.

Yi, G. and Yan, F.(2006). Effect of hexagonal boron nitride and calcined petroleum coke on friction and wear behavior of phenolic resin-based friction composites, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 425, pp. 330-338, 2006.

Zheng, H., Ou, J. Z., Strano, M. S., Kaner, R. B., Mitchell, A., and Kalantar-zadeh, K.(2011). Nanostructured tungsten oxide—properties, synthesis, and applications, *Advanced Functional Materials*, vol. 21, pp. 2175-2196, 2011.

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akıncioğlu G., Uygur İ., Öktem H., Kır D., **Karakaş H.**, Doğal Katkılı Fren Balataların Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, The Second International Iron and Steel Symposium (IISS'15), Karabük, Türkiye, 1 - 03 Nisan 2015.

**Karakaş H.**, Serdar M., Öktem H., Aslan Y. S., Investigation of Tribological Properties of Polymer-Based Ceramic Fiber Reinforced Friction Materials, 7 th International Conference on Multidisciplinary Sciences, ICOMUS Antalya, Türkiye, 09 Kasım 2021.

Öktem H., **Karakaş H.**, Görgün A., Aslan Y. S., Uygur İ., Bronz Katkılı Fren Balatalarının Sürtünme-Aşınma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi, 10 th International Conference of Strategic Research on Scientific Studies and Education, Rome, İtalya, 17-18 Haziran 2019.

Öktem H., Uygur İ., Akıncioğlu G., Kır D., **Karakaş H.**, Evaluation Of Non-Asbestos High Performance Brake Pads Produced With Organic Dusts, 24 th International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Çek Cumhuriyeti, 3-5 Haziran 2015, ss.1358-1364

Serdar M., Öktem H., **Karakaş H.**, Polimerik Bronz Takviyeli Kompozitlerin Geliştirilmesi, Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yeni Gelişmeler, 1. Baskı, Strategic Researches Academic Publishing, SRA, 2020.

## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamlamıştır. 1976 yılında Vefa Lisesinden Mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesine (1976) başlamıştır. Makine Fakültesinden 1982 yılında mezun olduktan sonra uzun süre Otomotiv Sektöründe çalışma hayatını sürdürmüştür. 2019 – 2022 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi FBE' de Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalında yüksek lisansını tamamlamıştır.

