

T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BAZLI CAM PARLATMA KEÇELERİNİN
ÜRETİMİ

Meliha KÜÇÜKBENLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi İbrahim BİLİCİ

MART 2018

ÇORUM

MELİHA KÜÇÜKBENLİ tarafından hazırlanan “Polimer Bazlı Cam Parlatma Keçelerinin Üretimi” adlı tez çalışması 22.10.2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı Dr. Öğr. Üy. Şule OCAK ARAZ




Üye 1 Dr. Öğr. Üy. Erol ALVER



Tez Danışmanı Dr. Öğr. Üy. İbrahim BİLİCİ



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 02/04/2018 tarih ve 2018/105...sayılı kararı ile Meliha KÜÇÜKBENLİ’ nin Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ derecesi alması onanmıştır.



Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitü Müdür V.

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı beyan ederim.



Meliha KÜÇÜKBENLİ



POLİMER BAZLI CAM PARLATMA KEÇELERİNİN ÜRETİMİ

MELİHA KÜÇÜKBENLİ

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

ÖZET

Cam kenarı işleme makinelerinde kullanılan aşındırıcı profil diskleri yurdumuzda üretilmektedir. Ancak, profil disklerinin tamamlayıcısı konumunda olan parlatma keçeleri ülkemizde üretilmemekte olup, özellikle İtalya ve Uzak Doğu'dan ithal edilmektedir. Yüksek miktarda tüketimi olan cam parlatma keçelerinde dışa bağımlılık bulunmaktadır.

Bu çalışma, 0768.STZ.2014 No.lu proje kapsamında Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmiş ve cam parlatma keçeleri için polimer matrisli kompozit malzemelerin yüksek standartlarda ve yüksek performansta kullanılacak seviyede geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Projede geliştirilecek olan cam parlatma keçeleri için alümina (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC) gibi farklı özellikte aşındırıcılar kullanılarak bu aşındırıcıların çeşitli kombinasyonları ile takviye edilmiş polimer matrisli kompozitler geliştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle piyasada ticari olarak satılan ürünler üzerinde FTIR, DSC-TGA ve SEM ile bağlayıcı madde ve aşındırıcı maddeler ile ilgili ön inceleme yapılarak uygun bağlayıcı ve dolgu maddeleri tespit edilmiştir. Aşındırıcı parçacık miktarı, boyut dağılımı, morfolojisi ile farklı matris malzeme ve kompozisyonları, kompozit ve aşındırıcı kompozit parametre olarak incelenmiştir.

Elde edilen verilerin çokluğu nedeniyle konvansiyonel analizlerin yanında sayısal modellemeye gidilerek MATLAB ile Çoklu Lineer Regresyon ve Destek Vektör Makinesi ile analizleri yapılarak uygun yöntem karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cam parlatma keçesi, Polimer matrisli kompozit, Aşındırıcı kompozit



PRODUCTION OF POLYMER BASED GLASS POLISHING PADS

MELIHA KUCUKBENLI

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2018

ABSTRACT

Abrasive profile discs (that are) used in glass trimming machines can be manufactured in our home country. However, polishing mats which are the complements of profile discs can not be manufactured in our country and are imported especially from Italy and Far East. This leads to external dependency in glass polishing mats which have high amount consumption.

Development of polymer matrix composite materials for glass polishing mats to be used in high standards and performance is aimed in this study which is supported by Ministry of Science, Industry and Technology as part of 0768.STZ.2014 numbered Project.

Polymer matrix composites (which are) reinforced with various combinations of abrasives having different properties, such as alumina (Al_2O_3), silicium carbide (SiC) were developed for glass polishing mats to be manufactured in the project. In this context, proper binder and filling materials were determined primarily by making preliminary examinations on binder and abrasive materials which are sold in market commercially via FTIR, DSC-TGA and SEM (investigations). Later on; abrasive particle amount, size distribution, morphology together with various matrix materials and compositions, composite and abrasive composite parameters were investigated.

Proper method comparisons were executed by conducting series of analysis via Multiple Linear Regression and Support Vector Machine as well as conventional analyses due to the affluence of obtained data.

Keywords: Glass polishing pad, Polymer matrix composite, Abrasive composite



TEŞEKKÜR

Çalışmamın ortaya konulmasında, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, sınırsız desteklerini ve yardımlarını gördüğüm, yaptığım çalışmalarda bana güvenerek laboratuvar imkânlarından yararlanmama izin veren, çok kıymetli Hocam Dr. Öğr. Üyesi İbrahim BİLİCİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasına, 0768.STZ.2014 numaralı SAN-TEZ proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Sevgili aileme, eğitimim ve tez çalışmam süresince bugüne kadar göstermiş oldukları sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Yakın arkadaşım Aytülü Gürdal'a her zaman yanımda olduğu için teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımın önemli kısımlarında yardımda bulunan hocam Dr. Celal Utku Deniz'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Camın Yapısı Ve Özellikleri	2
2.1.1. Camın yapısı	2
2.1.2. Camın özellikleri.....	3
2.1.3. Cam çeşitleri ve kullanım alanları	4
2.1.4. Cam üretim prosesi	6
2.2. Bitmiş Cama Uygulanan İşlemler	7
2.2.1. Delme ve kanal açma	7
2.2.2. Pah kırma	8
2.2.3. Rodaj ve parlatma	9
2.3. Cam Parlatma Keçesi	9
2.4. Kompozit Malzeme	11
2.4.1. Kompozit malzeme tanımı.....	11
2.4.2. Kompozit malzemelerin özellikleri	11
2.4.3. Kompozit yapısı.....	12
2.4.4. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	12

2.4.5. Kompozit çeşitleri.....	13
2.4.6. Kullanılan matris cinsine göre kompozitlerin sınıflandırılması ve üretim yöntemleri	15
2.4.7. Polimer ve özellikleri.....	18
2.5. Literatür Araştırması	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Kimyasal Maddeler	25
3.2. Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri.....	25
3.2.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	25
3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji dağılımı X- ışını spektroskopisi (EDS)	25
3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	26
3.2.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC).....	27
3.2.5. Sertlik ölçüm cihazı	27
3.3. Yöntem	29
3.3.1. Bağlayıcı madde	31
3.3.2. Aşındırıcıların bağlayıcı ile karıştırılması ve kalıplanma aşaması	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	34
4. 1. Hazırlanan Keçelerin ve Ticari Ürünlerin Karşılaştırılması.....	34
4.1.1. FT-IR spektrumlarının değerlendirilmesi	34
4.1.2. Bağlayıcının hazırlanmasında kullanılan bileşen oranının etkisi	37
4.1.3. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntülerinin Değerlendirilmesi (SEM)- (EDS)	38
4.1.4. DSC Analizi Sonuçları	41
4.1.5. Aşındırıcı Tipi ve Tane Boyutu Etkisi.....	42
4. 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	44

4. 3. Sistem Modellemesi	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	56
EKLER	59
EK 1 - Aşındırıcılara ait SEM görüntüleri	59
EK 2 - Hazırlanan cam parlatma keçelerine ait SEM – EDS sonuçları	65
EK 3 - Ticari cam parlatma keçelerine ait SEM-EDS sonuçları	68
EK 4 - Regresyon verileri	70
ÖZGEÇMİŞ	72

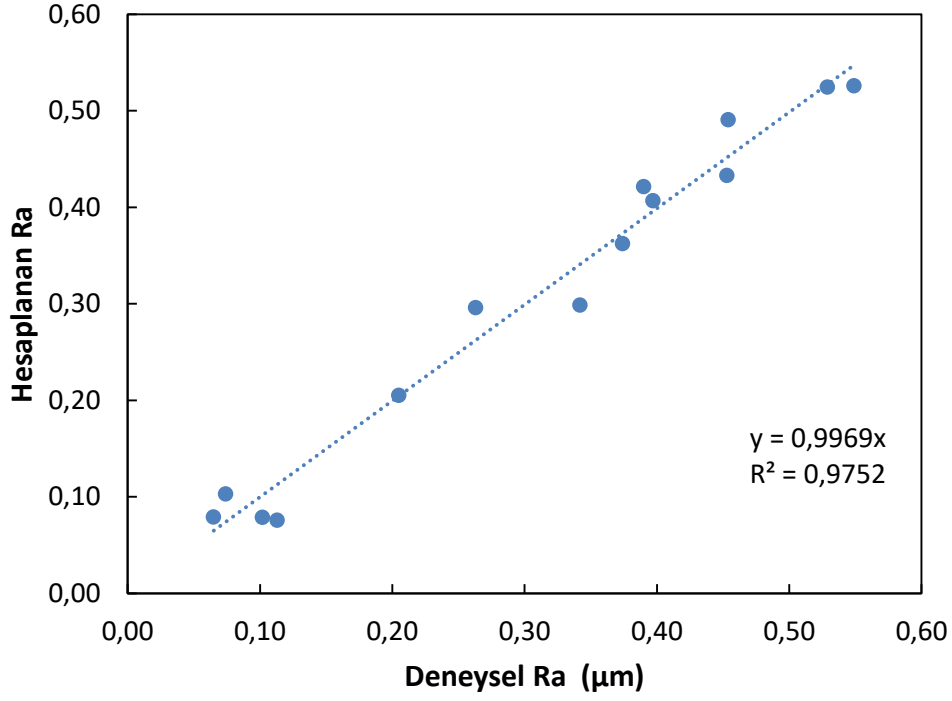
ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1. Poliüretanın fiziksel özellikleri	21
Çizelge 2. 2. Bazalt'ın kimyasal kompozisyonu	22
Çizelge 3. 1. Sore A – Shore D dönüşüm tablosu	28
Çizelge 3. 2. Cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcılar- tanecik boyutları.....	31
Çizelge 3. 3. Cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcıların fiziksel özellikleri	31
Çizelge 3. 4. TDI/Poliol oranları (w:w)	31
Çizelge 4. 1. K2, K3, K8, K9, K10 cam parlatma keçelerine ait sertlik ölçüm	37
Çizelge 4. 2. Ticari keçelere ait sertlik ölçüm sonuçları	37
Çizelge 4. 3. K3'e ait EDS sonuçları	39
Çizelge 4. 4. Ticari İ60K'ya ait EDS sonuçları	40
Çizelge 4. 5. Cam parlatma keçesi uygulanan cam yüzeylerinden okunan değerler .	44
Çizelge 4. 6. Ra, Rq, Rz'nin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ve hata değerleri	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Cam bileşim oranları (MEGEP, 2008)	2
Şekil 2. 2. Pah kırma işlemi şematik gösterimi (Lindqvist, 2013).....	8
Şekil 2. 3. Rodaj makinesi çalışma prensibi (Lindqvist, 2013)	9
Şekil 2. 4. Takviye elemanı çeşitleri	13
Şekil 2. 5. Makroskopik(A,B) ve mikroskopik (a,b)'nin tek yönlü tabaka oluşumu .	15
Şekil 2. 6. Monomerlerin polimerizasyon tepkimesiyle bağlanarak polimerlerin	18
Şekil 2. 7. a) Birimler arası bağlantı, b) Monomerler, c) Polimer (Poliüretan)	20
Şekil 2. 8. MDI ve TDI kimyasal yapısı	20
Şekil 3. 1. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan Ra değeri grafiği.....	26
Şekil 3. 2. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan Ra-Rq hesaplama yöntemi.....	27
Şekil 3. 3. Akış çizelgesi	30
Şekil 4. 1. 1/5 oranında TDI- poliöl karışımının FT-IR spektrumu	34
Şekil 4. 2. 1/6 oranında TDI-poliöl karışımının FT-IR spektrumu	35
Şekil 4. 3. Ç40K cam parlatma keçesine ait görüntüsü	36
Şekil 4. 4. Ç60K cam parlatma keçesine ait görüntüsü	36
Şekil 4. 5. Ticari Ç40K cam parlatma keçesi DSC grafiği	41
Şekil 4. 6. K3 cam parlatma keçesine ait DSC grafiği.....	42

ÇLR Kullanılarak Deneysel - Hesaplanan Ra Grafiği



- Şekil 4. 7. ÇLR kullanılarak hesaplanan Ra ile deneysel Ra değerlerinin..... 46
- Şekil 4. 8. Veri tablosundaki Ra değerleri ile hesaplanan Ra değerlerinin 46
- Şekil 4. 9. DVM kullanılarak hesaplanan Ra ile deneysel Ra değerlerinin..... 47
- Şekil 4. 10. Veri tablosundaki Ra değerleri ile hesaplanan Ra değerlerinin 48
- Şekil 4. 11. ÇLR kullanılarak hesaplanan Rq ile deneysel Rq değerlerinin 49
- Şekil 4. 12. ÇLR kullanılarak hesaplanan Rz ile deneysel Rz değerlerinin 49
- Şekil 4. 13. Veri tablosundaki Rq değerleri ile hesaplanan Rq değerlerinin 50
- Şekil 4. 14. Veri tablosundaki Rz değerleri ile hesaplanan Rz değerlerinin..... 50
- Şekil 4. 15. DVM kullanılarak hesaplanan Rq ile deneysel Rq değerlerinin 51
- Şekil 4. 16. DVM kullanılarak hesaplanan Rz ile deneysel Rz değerlerinin 51

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2. 1. Dekoratif cam örnekleri	3
Resim 2. 2. Soda kalsik camlara örnekler	4
Resim 2. 3. Borosilikat camı örnekleri.....	4
Resim 2. 4. Alüminasilikat camı örnekleri.....	5
Resim 2. 5. Silisyum camı örneği	5
Resim 2. 6. %99'luk Silisyum camı örneği	6
Resim 2. 7. Delme ve kanal açma ekipmanları.....	7
Resim 2. 8. Pah kırma ekipmanları	8
Resim 2. 9. Rodaj makinesi.....	9
Resim 2. 10. Cam parlatma keçeleri	10
Resim 2. 11. Rodaj makinesi ekipmanları	10
Resim 2. 12. Cam parlatma keçesi uygulanmış camlara örnekler	11
Resim 2. 13. Kompozit çeşitleri a)Parçacık takviyeli, b)Fiber takviyeli, c) Katmanlı	12
Resim 2. 14. Günlük hayatta kullanılan kompozit malzemelere örnekler	12
Resim 2. 15. Günlük hayatta kullanılan kompozit malzemelere örnekler	14
Resim 3. 1. Yüzey pürüzlülük ölçüm metodu.....	26
Resim 3. 2. a) Boş kalıp örneği, b)Bağlayıcı madde ve aşındırıcı malzeme karışımıl	32
Resim 3. 3. Al ₂ O ₃ 220 kuma (220 mesh) ait SEM görüntüsü.....	33
Resim 3. 4. SiC 80 kuma (80 mesh) ait SEM görüntüsü	33
Resim 4. 1. K3'e ait SEM görüntüsü	39
Resim 4. 2. Ticari İ60K'ya ait görüntü	40
Resim 4. 3. Ticari İ60K'ya ait SEM görüntüsü	40
Resim 4. 4. Cam örnekleri.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
μm	Mikrometre
Kısaltmalar	Açıklama
w/w %	Ağırlıkça yüzde
Al_2O_3	Alüminyum oksit (Alümina)
As_2O_3	Arsenik oksit
BaO	Baryum oksit
B_2O_3	Bor oksit
Tg	Camsı Geçiş Sıcaklığı
ZnO	Çinko oksit
ÇLR	Çoklu lineer regresyon
Fe_2O_3	Demir III oksit
DVM	Destek vektör makineleri
FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
EDS	Enerji Dağılımı Spektrometresi
CaO	Kalsiyum oksit
RMSE	Karekök ortalama hata kare
SiO_2	Kuars(Silisyum di oksit)
CMP	Kimyasal-Mekanik Parlatma
PbO	Kurşun II oksit
CBN	Kübik Boron Nitrür

Li ₂ O	Lityum oksit
MgO	Magnezyum oksit
MnO ₂	Mangan oksit
N	Newton
MSE	Ortalama hata kare
MAE	Ortalama mutlak hata
MAPE	Ortalama mutlak yüzde hata
PU	Poliüretan
K ₂ CO ₃	Potasyum karbonat
K ₂ O	Potasyum oksit
KNO ₃	Potasyum Nitrat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CeO ₂	Seryum oksit
SiC	Silisyum karbür
Na ₂ O	Sodyum oksit
Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat (soda)
TiO ₂	Titanyum dioksit
TDI	Toluen diizosiyanat
Ticari İ60K	Ticari İtalyan 60 kum cam parlatma keçesi
Ticari Ç40K	Ticari Çin 40 kum cam parlatma keçesi
Ticari Ç60K	Ticari Çin 60 kum cam parlatma keçesi
Ticari Ç60K	Ticari Çin 60 kum cam parlatma keçesi
Ticari Ç120K	Ticari Çin 120 kum cam parlatma keçesi

1. GİRİŞ

Cam icat edilmesi ve kullanışı açısından bakıldığında çok eski çağlara kadar uzanmaktadır. M.Ö. 2500 yıllarında Mısırlılar camdan boncuklar, şişeler yapmayı biliyorlardı. Daha sonra Fenikeliler tarafından bulunan cam üfleme borusu ile ince çeperli cam eşya yapımı başlanmıştır. Camcılık Roma'da gelişmiştir. Orta çağ sonlarında İstanbul'un fethinden ve Bizans cam ustalarının Venedik'e kaçmalarından sonra camcılık sanatının burada gelişmesine neden olmuştur. Türklerde camcılık Selçuklu Türklerinin iyi bildiği bir yöntemdir. Osmanlı İmparatorluğu'nda on yedinci ve on sekizinci yüzyılda çok ilerledi. Türkiye'de 1934 yılında ilk kurulan modern cam fabrikası Paşabahçe Şişe ve Cam'dır. 1961 yıllarında düz cam yapmak üzere Çayırova Cam Fabrikası kurulmuştur ve cam sektörü hızlı gelişmekte olan sanayi ile artışa geçmiştir.

Bir milyar doların üzerinde ihracat payına sahip olan cam sektörü için nihai ürün şekillendirilmesinde önemli bir yere olması cam için kullanılacak yardımcı malzemelerinde artmasına imkan tanımıştır. Bu sayede cam yüzeyler için kullanılacak delme ve kanal açma ekipmanları, pah kırıcılar ve cam parlatma keçeleri gibi yardımcı malzemeler üretilmeye başlanmıştır.

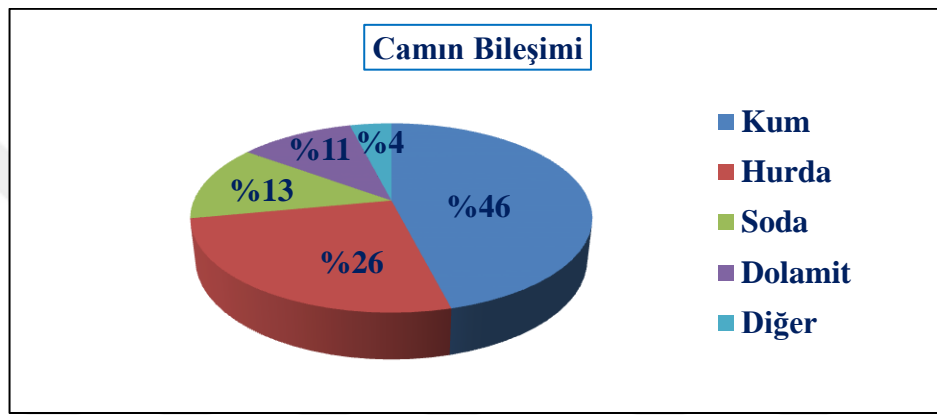
Ülkemizde üretimi olmayan cam parlatma keçeleri İtalya, Çin vb. ülkelerden ithal edilmektedir. Cam parlatma keçeleri yapısal olarak polimer ve aşındırıcıların karışımı ile eldi edilen kompozit yapılı malzemelerdir. Bu yapı için uygun çalışma koşulları, aşındırıcı boyutu ve cinsi bağlanma yapıları, aşındırıcıların özellikleri, polimerik malzemenin özellikleri gibi birçok parametre önemlidir. Sunulan tez çalışmasında poliüretan polimeri bağlayıcı olarak kullanılıp yanında alüminyum oksit, seryum oksit, silisyum di oksit gibi aşındırıcılarda kullanılarak en uygun kompozit yapı tespit edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Camın Yapısı Ve Özellikleri

2.1.1. Camın yapısı

Camlar kovalent bağ içeren düzensiz büyük moleküllü yapılardır. Cam yapıların esas bileşenleri kum (SiO_2), kireç (CaCO_3), sodadır (Na_2CO_3) (Gürü ve Yalçın, 2012). Cam bileşim oranları Şekil 2.1.'de görüldüğü gibidir. %46'lık oranla kum en büyük paya sahiptir. Kum içerik olarak %99,97 saflıkta SiO_2 'dir. Kuvars ve silisyum dioksit olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2. 1. Cam bileşim oranları (MEGEP, 2008)

Camlaştırıcı oksitler yanında eriticiler, sabitleştiriciler ve yardımcı bileşenler gibi çeşitli inorganik maddelerin değişen oranlarda ilavesi ile elde edilen karışım, erimeyi takiben hızlı soğutma neticesinde kristal yapı yerine amorf bir yapıda katılaşır. Bu sebeple amorf yapı cama sertlik ve saydamlık özelliği kazandırır.

Camlaştırıcılar; camlaşma özelliği olan bu maddeler genelde ağ oluşturan bazı oksitlerdir. Kuvars kumu (SiO_2) bunların başında gelir. Ağ oluşturan oksitlerin en önemlileri ise SiO_2 , bor oksit (B_2O_3)'tir.

Eriticiler; ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak amacıyla kullanılan maddelerdir. Bu maddeler camlaştırıcıların erime sıcaklığını düşürerek erimeyi kolaylaştırır. Yapıda ki en önemli bileşen SiO_2 erime derecesi 1713°C 'den 150°C 'ye düşer. Önemli eriticiler; sodyum oksit (Na_2O), potasyum oksit (K_2O), lityum oksit (Li_2O)'dur. Stabilizatörler (Sabitleştiriciler): Stabilizatörler, camın kimyasal dayanımı, kırılma indisi, di elektrik özellikleri üzerinde etki yaparlar. Stabilizatör olarak kullanılan maddeler kalsiyum oksit (CaO), baryum oksit (BaO), kurşun(II) Oksit (PbO), magnezyum oksit (MgO) ve çinko oksit (ZnO)'tir.

Yardımcı Bileşenler (İkincil Bileşenler); bu bileşenler genelde adi camın formülüne girmezler, ancak değişik cam türlerinde değişik etkiler sağlamak üzere kullanılan oksitlerdir. Örneğin;

- Mangan oksit (MnO_2) Camın rengini açar
- Arsenik (As_2O_3) Renk verici ve saflaştırıcıdır
- Potasyum nitrat (KNO_3) Camın saydamlığını gidermek için

kullanılmaktadır. Resim 2.1’de dekoratif amaçlı camlara örnekler bulunmaktadır.



Resim 2. 1. Dekoratif cam örnekleri

2.1.2. Camın özellikleri

Camların yoğunlukları bileşenlerin oranına ve cinsine göre değişiklik gösterir. Farklı özellikteki cam çeşitlerinin yoğunlukları $2,2 \text{ g/cm}^3$ ile $3,0 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Bazı özel cam türlerinde yoğunlukları 8 g/cm^3 gibi değerlere ulaşılabilir. Binalarda kullanılan normal camların(düz cam) yoğunlukları $2,5 \text{ g/cm}^3$ ’tür.

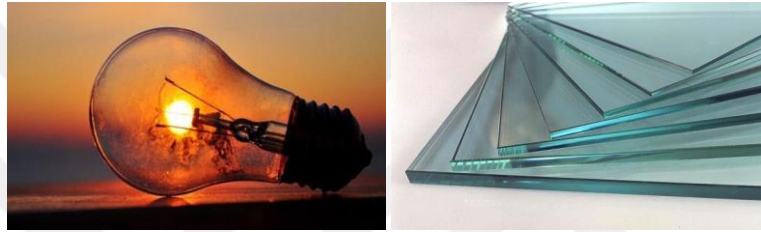
Mohs sertliğine göre camın sertliği 6 ile 7 arasında değişmektedir. Pencere camlarında Mohs sertlik değeri biraz daha düşük olup 5,5 civarındadır. Camın yumuşama sıcaklığı $500-600^\circ\text{C}$ arasındadır (Gürü ve Yalçın, 2012). Cam $800-1300^\circ\text{C}$ arasında eriyik halde bulunup akışkan özelliktedirler. Bu sebeple kolay şekillendirilebilmektedir.

2.1.3. Cam çeşitleri ve kullanım alanları

Soda kalsik camı, kurşun camı, borosilikat camı, alümina silikat camı, silisyum camı olmak üzere beş adet cam çeşiti vardır.

Soda Kalsik Camı ve Kullanım Alanları

Dünyada üretilen camların %90'lık kısmını kaplar. Kolayca eritilebilir, ucuzdur ve yapısında %5 oranında CaO vardır. Floresan ampulleri, ampuller ve pencere camları soda kalsik camlarına en iyi örneklerdir. Resim 2.2'de soda kalsik camlarına örnekler verilmiştir. (Gürü ve Yalçın, 2012).



Resim 2. 2. Soda kalsik camlara örnekler

Kurşun Camı (Kristal Cam) ve Kullanım Alanları

Soda kalsik camında ki CaO yerini PbO kullanıldığında kurşun camı elde edilmiş olur. Yapısında %80 oranında kurşun oksit bulundurur (Gürü ve Yalçın, 2012).

Borosilikat Camı ve Kullanım Alanları

Yüksek yumuşama noktasına sahiptirler. Ayrıca ısıl şoklara karşı yüksek mukavemet ve yüksek genleşme katsayısına sahiptirler. Su ve asitlerle etkileşime karşı dayanıklıdır. Bu özellikleri nedeni ile laboratuarlarda teknik cam olarak kullanılır. Mutfak eşyası ve büyük boyutlu astronomik aynalarda da tercih edilir (Gürü ve Yalçın, 2012). Resim 2.3'te borosilikat camlara örnekler bulunmaktadır.



Resim 2. 3. Borosilikat camı örnekleri

Alüminasilikat Camı ve Kullanım Alanları

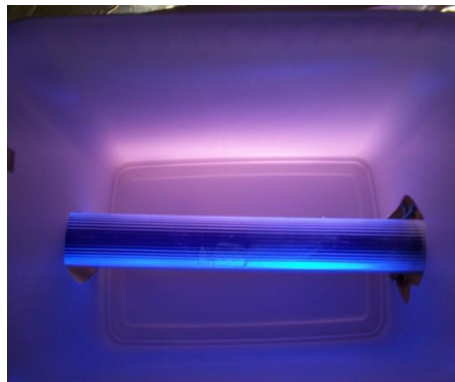
%20'den fazla alümina, az miktarda bor ve bir miktar kireç ile çok az alkali içerir. Yumuşama noktasının yüksek ve dilatasyon katsayısının küçük olmasından dolayı termometre, yanma tüpleri, alevle doğrudan temas edecek her türlü parçanın yapımında kullanılır. Resim 2.4'te alümina silikat camlara örnekler verilmiştir.



Resim 2. 4. Alüminasilikat camı örnekleri

Silisyum Camı (%96 SiO₂) ve Kullanım Alanları

%96 oranında silisyum içermektedir. Presleme ve üfleme yöntemleri ile şekillendirme uygulanır. UV lambaları ile mikrop öldürücü özel lambaların yapımında kullanılır. Resim 2.5'te silisyum camına örnek olarak UV lambası verilmiştir.



Resim 2. 5. Silisyum camı örneği

Silisyum Camı (%99 SiO₂) ve Kullanım Alanları

Çok saf kuvarstan elde edilir. Çok yüksek sıcaklıklarda (1750°C'de) üretim ve şekillendirme işlemleri yapılır. Isıl şoklara karşı mukavemeti en yüksek cam çeşitidir. Resim 2.6'sa verilen solaryum camı %99'luk silisyum camına en iyi örnektir.



Resim 2. 6. %99'luk Silisyum camı örneği

2.1.4. Cam üretim prosesi

Cam üretim prosesi; ana hammaddelerin hazırlanması, eritme, şekillendirme, soğutma ve tavlama olmak üzere dört kademedir oluşur.

Ana hammaddelerin hazırlanması

En önemli camlaştırıcı madde SiO₂'dir. Bir diğer önemli madde ise B₂O₃ olup B₂O₃ camın kimyasal etkilere dayanımını arttırarak ışığı kırma özelliği kazandırır. Camlaştırıcı olarak genellikle %80-99 SiO₂ kullanılır. SiO₂ piyasa camlarının %60'lık kısmını oluşturur. Camın ergime sıcaklığını düşürmek amacıyla bileşimine soda (Na₂CO₃) ve potasyum karbonat (K₂CO₃) katılır. Ayrıca CaO ve MgO gibi toprak alkali oksitler de camın viskozitesini düşürmek, işlenebilirliği arttırmak ve şekillendirilebilmesini sağlamak amacıyla kullanılır. Şekillendirilecek camlarda mekanik işlemleri kolaylaştıran MgO, kristal camlarda camın yoğunluğunu ve ışığı kırma kabiliyetini arttırdığından BaO, PbO ve Pb₃O₄ basınca ve ısıya dayanıklı camlarda alüminyum oksit (Al₂O₃) kullanılır (Gürü ve Yalçın, 2012).

Eritme ve arıtma

Karışım döner fırınlarda ve büyük potalarda yaklaşık 1500°C' ye ısıtılır. Fırınların yapımında kullanılan ateşe dayanıklı refrakter malzemeler silis, alümina, zirkon gibi yüksek nitelikli malzemelerdir. Toz halindeki karışım sıcaklık etkisiyle viskoz bir

hamur haline gelir. Sıcaklık arttıkça akışkanlık artar ve saydamlık oluşur. Camın bazı kusurlarını özellikle gaz ve hava kabarcıklarını yok etmek amacıyla bu işlem yapılır.

Şekillendirme

Cama şekil verme işlemi 1000-1200°C' ye düşürerek yapılır. Camın şekillendirilmesi için kullanılan yöntemler, üretilecek malzemenin cinsine göre farklılık göstermektedir. Çekme, üfleme, kalıplama şeklindeki eski yöntemler günümüzde geliştirilerek mekanik, otomatik olarak fabrikasyon hale dönüştürülmüştür.

Soğutma ve tavlama

Fırından çıkan cam normal sıcaklıkta soğumaya bırakılırsa çatlaklar. Yavaş soğumaya bırakılır. Tavlama işlemi de farklı soğuma sonucu ortaya çıkabilecek iç gerilmeleri yok edebilmek amacıyla yapılmaktadır. Tavlama, cama uygulanan ısı işlemidir. Tavlama işlemi ile cam soğutulurken meydana

gelen gerilmeler yok edilir. Cam ürün soğutulurken önce yüzeyler gerilmeye başlar ve iç kısımlar sıcaktır. Böylece cam yüzeyinde basma gerilmeleri, iç kısımlarda çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerin azaltılması gerekir, ürünün mukavemeti buna bağlıdır. Böylece tavlama için kademeli bir ısı işlemi uygulanır.

2.2. Bitmiş Cama Uygulanan İşlemler

2.2.1. Delme ve kanal açma

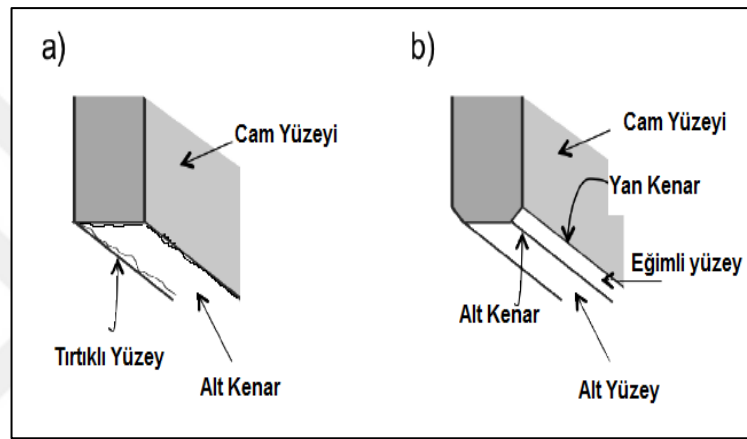
Daha çok dekoratif amaçlı uygulanan bu işlem aynı zamanda kurşun geçirmez cam yapımı tekniklerinde de kullanılır. Cam delme ve kanal açma ekipmanları üzerine yatay olarak bırakılır ve istenilen ölçüde delikler kullanılan çeşitli cihazlarla açılır (John Wiley ve Sons, 2007). Resim 2.7'de bitmiş cam ürün için kullanılacak delme ve kanal açma ekipmanları verilmiştir.



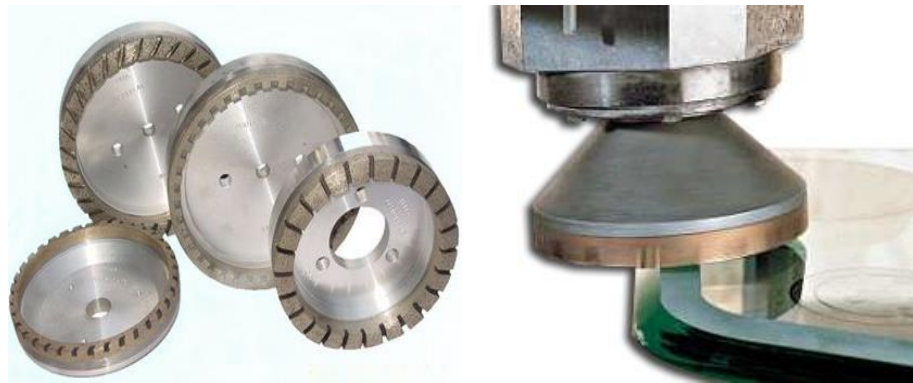
Resim 2. 7. Delme ve kanal açma ekipmanları

2.2.2. Pah kırma

Pah kırma; cam kenar ve yüzeyinde bulunan pürüzlü ve çapaklı kısımların parklı özellikteki malzemeler kullanılarak alınması işlemidir. Pah kırma işlemi, bitmiş camın yüzey ve kenarlarına uygulanır. Bu işlem için genellikle Rodaj makineleri tercih edilmektedir. Amaç yüzeyde ve kenarlarda bulunan çapakların alınmasıdır. Şekil 2.2’de pah kırma işleminin uygulanma şekli gösterilmiştir. Pah kırma işlemi için farklı özellikte pah kırma ekipmanları kullanılmaktadır. Resim 2.8’de pah kırma işlemi için gerekli ekipmanlara örnekler verilmektedir.



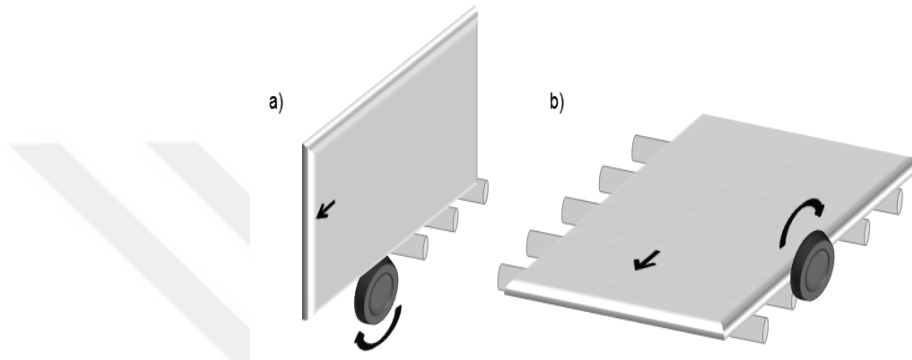
Şekil 2. 2. Pah kırma işlemi şematik gösterimi (Lindqvist, 2013)



Resim 2. 8. Pah kırma ekipmanları

2.2.3. Rodaj ve parlatma

Bu basamakta Rodaj makinesi ve cam parlatma keçeleri kullanılır. Bu işlem cam yüzey ve kenarlarında parlatma ve  apak almayı sağlar. Şekil 2.3'te rodaj makinesinin çalışma prensibi verilmiştir. Yatay ekseninde kendi etrafında 360° dönen diskler ve cam parlatma keçeleri üzerine yerleştirilen cam kenarlarına keçeler ile parlatma ve a ı verme işlemi uygulanır. Cam parlatma keçeleri rodaj makinelerinde kullanılır Resim 2.9'da rodaj makinesine örnek verilmiştir.



Şekil 2. 3. Rodaj makinesi çalışma prensibi (Lindqvist, 2013)



Resim 2. 9. Rodaj makinesi

2.3. Cam Parlatma Keçesi

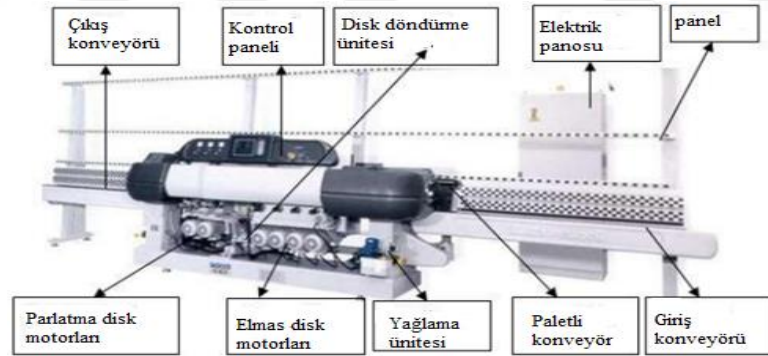
Cam parlatma keçeleri, camların kenarlarındaki çapakları almak, a ı vermek ve aynı zamanda parlatmak amacıyla kullanılan kompozit yapılı malzemelerdir. Keçelerin içinde belirli oranlarda silisyum karbür, alüminyum oksit, seryum oksit vb. aşındırıcı malzemeler bulunur. Bu aşındırıcıların tanecik boyutlarında ki farklılıklar keçelere dayanım, kullanım yerinde farklılıklar gibi özellikler kazandırır. Aşındırıcıların birbirlerine bağlanmasını sağlamak için farklı yapıda polimerik bağlayıcı malzemeler kullanılmaktadır. Bu bağlayıcı malzemeler; poliüretan, polyester, epoksi olabilmektedir. Kullanılan bağlayıcı cinsine ve seçilen aşındırıcıların özelliklerine

göre cam parlatma keçeleri kompozit yapıda ve yeni özellikte bir malzeme olmaktadır. Resim 2.10'da cam parlatma keçelerine örnekler verilmiştir.



Resim 2. 10. Cam parlatma keçeleri

Cam köşe ve kenarlarına uygulanacak işleme göre farklı özellikte cam parlatma keçeleri tercih edilir. Cam parlatma keçeleri rodaj makinesine takılarak kullanılmaktadır. Makine hangi işlem sırasına göre gidiyorsa o keçeler rodaj makinesine takılır. Rodaj makinesi ekipmanları Resim 2.11'de verilmiştir.



Resim 2. 11. Rodaj makinesi ekipmanları

Rodaj makinesinin panel kısmına yerleştirilen cam giriş konveyörü ile hareket etmeye başlar. İşlem öncelik sırasına göre ayarlanmış cam parlatma keçeler camın geldiği bölgede kendi eksenini etrafında tam tur dönmeye başlar. Bu dönme işlemi sırasında camın temas ettiği yüzeyde pah kırma işlemi uygulanır. Pah kırma işlemi tamamlandıktan sonra hareket etmeye devam eden cam parlatma amacı için kullanılan cam parlatma keçesi üzerine gelir ve bu kısımda parlatma keçesi cam kenarlarını parlatır. Keçelerin içerisindeki aşındırıcıların tanecik yapıları

farklılığından dolayı keçelerin kullanım yerleri de farklı olmaktadır. Resim 2.12’de cam parlatma keçesi işlemi uygulanmış camlara örnekler verilmiştir.



Resim 2. 12. Cam parlatma keçesi uygulanmış camlara rnekler

2.4. Kompozit Malzeme

2.4.1. Kompozit malzeme tanımı

İki ya da daha fazla sayıda, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir yapıda toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilme ile oluşturulan malzemelere ‘Kompozit Malzemeler’ denir (şahin, 2015).

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak adlandırılabilmesi için;

Bileşen fazlar birbirinden tamamen farklı özelliklere sahip olmalı; kompozit malzemenin özellikleri bileşen fazların özelliklerinden farklı olmalıdır.

2.4.2. Kompozit malzemelerin zellikleri

Avantajları

Kompozit malzemeler akma göstermezler.

Yüksek yorulma dayanımına sahiptirler.

Kompozit malzemeler korozyona uğramaz (Karbon elyaflı alüminyumun galvanik pil (hücre) karşısında hızla korozyona uğraması dışında).

Mekanik dayanımları yüksektir.

Kompozit malzemelerin ısıl dirençleri yüksektir.

Kompozit malzemeler daha hafif yapıya sahiptirler.

Aşınma dayanımları yksetir.

Dezavantajları

Yüksek maliyet.

İşleme güçlükleri, kırılma uzamasının az olması.

Geri dönüşümünün genellikle olmaması.

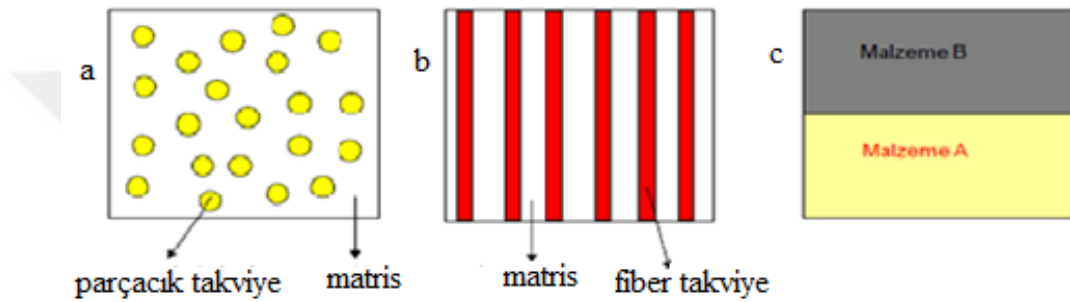
2.4.3. Kompozit yapısı

Matris ismi verilen bir ana malzeme ve takviye elemanı adı verilen daha dayanımlı bir malzemedan oluşan yapıdır.

Matris; yapıştırıcı ve tutucu özelliği ile fiberleri bir arada tutup yükü fiberlere aktarır ve kompozit yapıyı dış etkenlerden korur.

Takviye elemanı (Fiber); genel yükü taşır ve matrisin rijitlik, dayanımını artırır.

Resim 2.13'te takviye elemanı cinsine göre, boyutuna ve dizilişine göre kompozit çeşitleri verilmiştir.



Resim 2. 13. Kompozit çeşitleri a)Parçacık takviyeli, b)Fiber takviyeli, c) Katmanlı

2.4.4. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

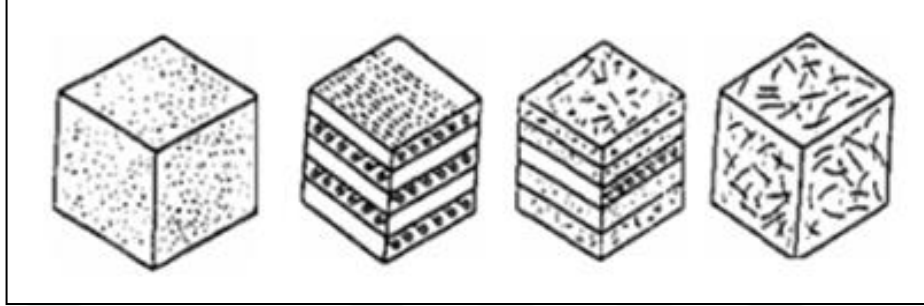
Günlük hayatta ileri teknoloji başta olmak üzere, tıp, uzay teknolojisi, denizcilik sektörü, kimya sanayi, inşaat ve yapı işleri, otomotiv sektörü, savunma sanayi, havacılık, spor malzemeleri imalatı gibi birçok alanda kullanılır. Resim 2.14'te günlük hayatta kullanılan kompozit malzemelere örnekler verilmiştir.



Resim 2. 14. Günlük hayatta kullanılan kompozit malzemelere örnekler

2.4.5. Kompozit çeşitleri

Kullanılan takviye elemanının şekline göre dört sınıfa ayrılırlar. Şekil 2.4'te takviye elemanı çeşitleri verilmiştir. Bunlar; elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve karmadır (Şahin, 2006).



Şekil 2. 4. Takviye elemanı çeşitleri

Parçacık Takviyeli

Tabakalı Karma

Elyaf Takviyeli

Parçacık Takviyeli Kompozitler

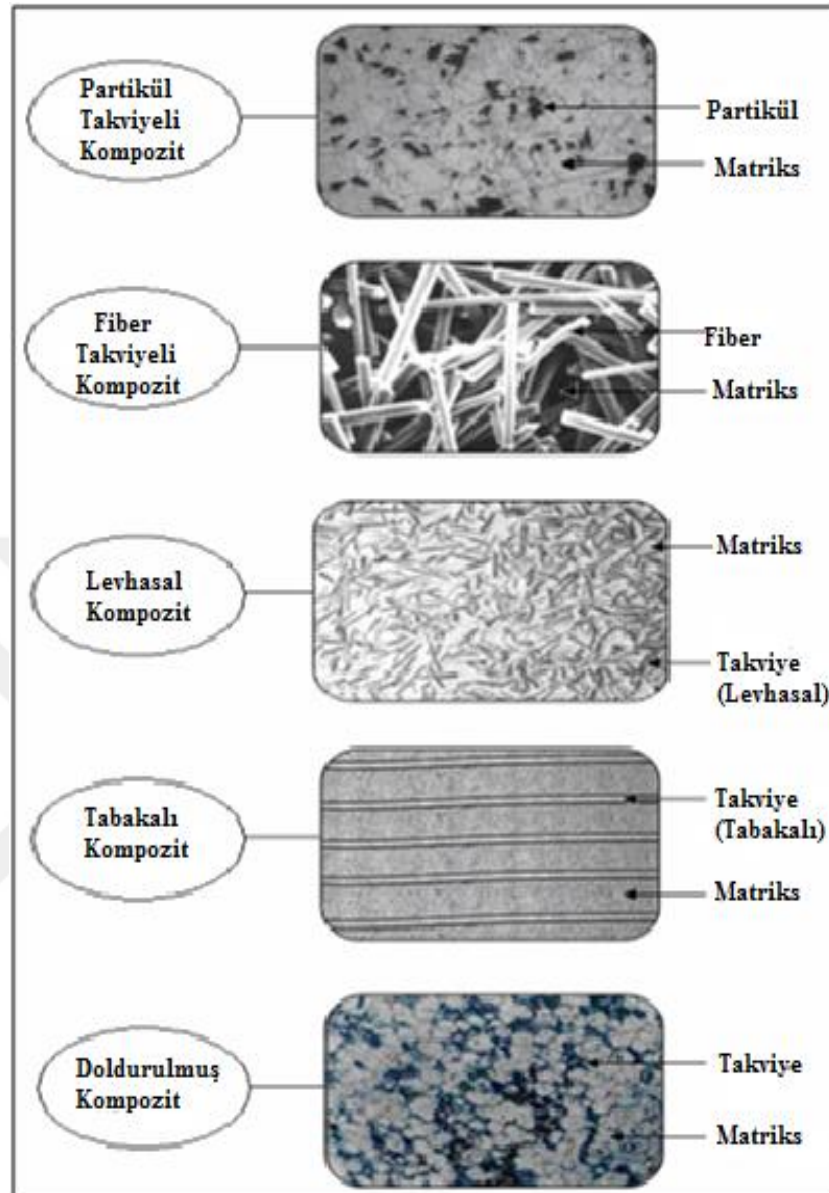
Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilen yapılardır. İzotrop yapılardır. Tüm yönlerde aynı malzeme davranışı gösterirler. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. Partikül ve matris birbiri içinde çözünmez (makro bağlantılı).

Karma (Hibrid) Kompozitler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf bulunabilir. Bu tip yapılara karma kompozitler denir.

Tabakalı Kompozitler

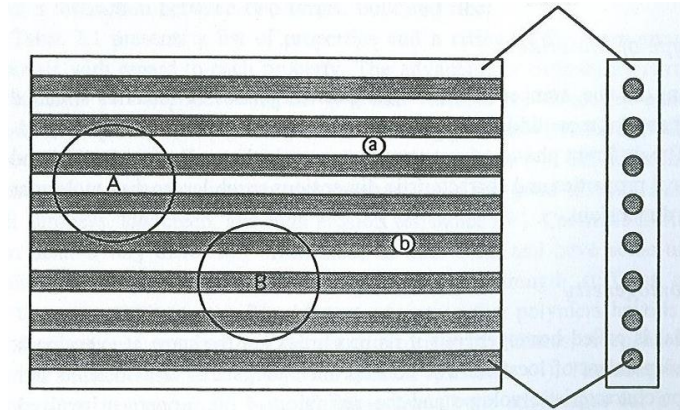
Tabakalı kompozitler kendi arasında beşe ayrılır. Bunlar; Partikül takviyeli kompozit, fiber takviyeli kompozit, levhasal kompozit, tabaklı kompozit, doldurulmuş kompozittir. Resim 2.15'te takviye elemanı şekline göre kompozit çeşitlerine örnekler verilmiştir.



Resim 2. 15. Günlük hayatta kullanılan kompozit malzemelere örnekler

Elyaf (Fiber) Takviyeli Kompozitler

Elyaf takviyeli kompozit yapı, ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir, iki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Şekil 2.5'te izotrop yapı oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Makroskopik(A,B) ve mikroskopik (a,b)'nin tek yönlü tabaka oluşumu

2.4.6. Kullanılan matris cinsine göre kompozitlerin sınıflandırılması ve üretim yöntemleri

Kullanılan matris malzemenin cinsine göre üç sınıfa ayrılırlar. Bunlar; metal matrisli kompozit malzemeler, seramik matrisli kompozit malzemeler, polimer matrisli kompozit malzemelerdir (W.D. Callister ve D. Rethwisch, 2015).

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri:

Sıcak presleme yöntemi; elyafların konumunu muhafaza etmesi için metal folyolar kullanılır ve belirli bir sıcaklıkta presleme yapılır. Presleme sırasında bağlayıcı madde püskürtülür ve presleme sırasında uygulanan basınç üretilecek olan kompozitin boyutuna bağlı olarak 0,5-15Mpa aralığında değişir. Sıcaklık ise reçine sıcaklığına bağlı olarak, 80-170°C aralığında uygulanır. Genellikle yassı şekilli ürünlerin üretimi yapılır. Bu yöntemde kullanılan matrisler Alüminyum, magnezyum, titanyum ve alaşımlarıdır.

Toz metalürjisi yöntemi; metal matris tozları kırılmış elyaf veya kılcal kristaller ile karıştırılır. Karışım sıcak veya soğuk preslenir. Eğer karışım soğuk preslenecek ise koruyucu atmosferde sinterleme yapılır. Sinterlemenin amacı toz parçaları arasındaki fiziksel bağları kimyasal bağlara çevirmektir. Tozların sinterlenmesi sırasında elyaf ve takviye elemanının özellikleri bozulabileceğinden karışım uzun süre ısıtılmamalıdır. Presleme sonrası bitirme işlemleri yapılır. Matris olarak bakır, nikel, kobalt, alüminyum ve çelik, elyaf olarak kırılmış elyaf, kılcal kristaller ve metal tozları kullanılır.

Sıvı metal emdirme yöntemi; genellikle düşük erime noktasına sahip metaller kullanılır. Alüminyum, magnezyum, gümüş ve bakır en çok tercih edilenler. Basınç ve vakum altında elyafa metal emdirilmesi veya elyafların reçine tankından

geçirilmesiyle sürekli üretim mümkündür. Kiriş veya boru gibi parçalar üretilir. Bu yöntemle Al-Bor, Ni-SiC ve Ni-W kompozitleri üretilebilir.

Buhar çökeltme yöntemi; bu yöntemde buharlaştırılan matris takviye elemanı üzerine çökertilir. Düşük sıcaklıklarda bu işlemin gerçekleşmesi avantajı, pahalı bir yöntem olması ise dezavantajdır. Alüminyum ve nikel gibi matrisler elyaflar üzerine çökertilerek kaplanır.

Haddeleme yöntemi; elyafla metal folyeler birlikte haddelenerek sürekli şeritler üretilebilir. Basınç etkisiyle folye ve elyafların birleştirilmesi gerçekleştirilir. Metal matrisin haddeleme sırasında oksitlenmesi gerçekleşir ise haddeleme vakum altında yapılır.

Polimer matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri:

Açık kalıplama yöntemleri ve kapalı kalıplama yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Açık kalıplama yöntemleri □

El yatırma yöntemi; cam fiber takviyeli plastiklerin üretiminde kullanılan en eski ve en basit tekniklerden biridir. Keçe, örgü, kumaş formundaki takviyeleri açık bir kalıba yatırıp yüzeylerine reçine uygulanır.

Püskürtme yöntemi; elyaf püskürtme metodunda sürekli beslenen fitil kesici bıçaklardan geçerek kırıldıktan sonra katalize edilmiş, reçine ile beraber jelkot uygulanmış kalıp yüzeyine püskürtülür ve oda sıcaklığında sertleşmeye bırakılır.

Elyaf sarma yöntemi; sürekli elyafların bir bağlayıcı ortamından geçirildikten sonra, dönel mandrelle, önceden belirlenmiş sarım geometrisine uygun sarılması yöntemine elyaf sarma adı verilmektedir.

Vakum torbası yöntemi; elle kalıplamanın gelişmiş bir şeklidir. Büyük karmaşık şekilli parçaların bu teknikle üretilmesi mümkündür.

Otoklav yöntemi; otoklav, kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum çekme yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalı bir yöntemdir.

Kapalı kalıplama yöntemleri

Reçine transfer yöntemi (RTM); iki tarafı düzgün veya parlak ürün elde etmek için uygun bir biçimde hazırlanmış olan alt kalıba (dişi kalıp) öngörülen tüm takviye

malzemelerinin yerleştirilip üst kalıp (erkek kalıp) kapatıldıktan sonra, kapalı kalıbın içine uygun bir ekipman ile reçinenin enjekte edilmesi işlemidir.

Pultrüzyon yöntemi; pultrüzyon işlemi sürekli sabit kesitli kompozit profil ürünlerin üretilebildiği düşük maliyetli seri üretim yöntemidir. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120–150 °C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşmesi sağlanır.

Ekstrüzyonla kalıplama yöntemi; termoplastiklerin şekillendirilmesinde büyük ölçüde kullanılmakla beraber takviyeli termoplastiklerde sınırlı oranda uygulanmaktadır. Sürekli bir yöntem olup tonajı yüksek olduğu zaman ekonomiktir. Tüp, boru veya karmaşık şekilli profillerin üretimi mümkündür. □

Basınçlı kalıplama yöntemleri (BMC-SMC); Ürün boyutuna göre 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan hızlı, seri bir kalıplama metodudur. Önceden hazırlanmış, pestil veya hamur haldeki cam elyafı polyester dolgu ve katkı malzemeleri karışımının 150-170°C sıcaklıkta, 50-120 kg/cm² basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmesi metodudur.

Enjeksiyonla kalıplama yöntemi; fiber takviyeli termoplastiklerin, imalatında tercih edilen bir yöntemdir. Enjeksiyon makinelerine beslenen kalıplama bileşikleri, boyları 3-6 m arasında değişen granüller halinde ön karışımlardır. Enjeksiyonla kalıplama tekniğinde genellikle palet şeklindeki ön karışımlar kullanılır (A.Akdoğan Eker).

Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri:

Ergitilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi yöntemi; Çoğunlukla cam seramik matrislerin üretimi için tercih edilen yöntemdir. Whiskers (İplik) halindeki fiberlerin, matris malzemesini içeren sıvı içinde dağılması sağlanır. Elde edilen ergitilmiş matris, kalıpta sıcak preslenir (Beşergil, 2016).

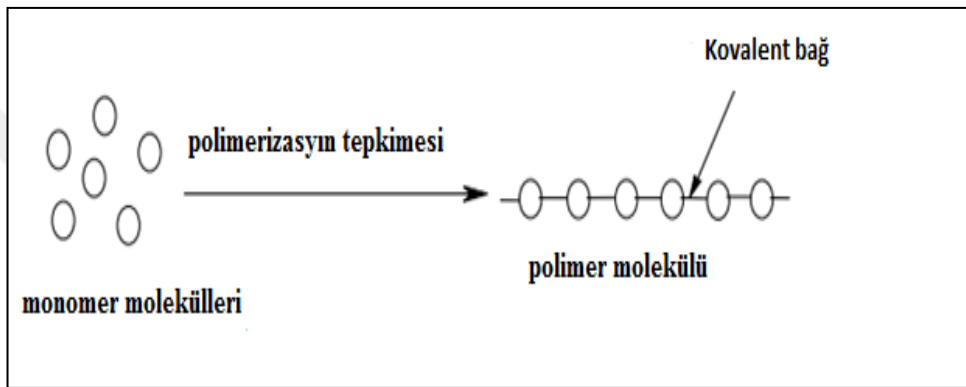
Kimyasal buhar kaplama ve sızdırma yöntemi; bu yöntem 800°C gibi düşük sıcaklıklarda uygulanabilir; ve malzeme üzerine herhangi bir basınç uygulanması gerekmez. Karmaşık şekilli parçalar bu metotla üretilebilir. Düşük maliyetli bir sistemdir. Bu yöntemin dezavantajları ise; yavaş bir tekniktir. İmal edilecek parçaların boyutları sınırlıdır (Beşergil, 2016).

Kimyasal reaksiyonla bağlama yöntemi; silisyum karbür (SiC) bu metodla üretilir. Fiber önce silisyum ile temas ettirilir. Sonradan azot ile sinterlenerek fiberin etrafında silisyum nitrat oluşumu sağlanır. Silisyum, fiberin üzerine püskürtülerek

kaplanabilir. Bu metodla yüksek kimyasal özellikler kazandırılmasına karşın, bu metot şu anda sadece basit şekilli parçalara uygulanabilmektedir (Beşergil, 2016).

2.4.7. Polimer ve özellikleri

Polimer, çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri molekülün adıdır. Monomer birbirlerine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük molekül kütleli maddelerdir. Şekil 2.6 monomer moleküllerinin polimerizasyon tepkimeleriyle polimer moleküllerini oluşturmasını göstermektedir (Saçak, 2002).



Şekil 2. 6. Monomerlerin polimerizasyon tepkimesiyle bağlanarak polimerlerin oluşumu

Polimerler, ısıl işlem özelliklerine göre termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Termoplastikler, yeterli ısı ile eriyen ve soğutulduğunda da katılaşabilen yapılardır. En basit örnekleri naylon, polipropilen, polietilen örnek olarak verilebilir (Saçak, 1998).

Termoset, kompozit malzemeler reçineler ile sertleştiricilerin katalizörün belli oranlarda karıştırılması ve takviye malzemeye nüfuz ettirilmesi ile elde edilir. Söz konusu karışım esnasında reçine ile sertleştirici malzemeler arasında geri dönüşümü olmayan kimyasal reaksiyonlar ve bağlar meydana gelir. Katılaştıran termosetler ısı ile bir daha sıvı hale dönüşmezler. Belli bir sıcaklık değerlerinin üzerine çıktığında mekanik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Bu sıcaklık Cam Geçiş Sıcaklığı (Glass Transition Temperature, Tg) olarak bilinmektedir ve kullanılan reçine türüne, pişirme derecesine ve doğru bir karışım elde edilip edilmediğine bağlı olarak

değişmektedir. Tg'den büyük sıcaklıklarda, termoset polimer molekülleri rijit kristal bir yapıdan daha esnek amorf polimer bir yapıya dönüşür. Bu değişim Tg'den daha düşük sıcaklıklara tekrar inildiğinde geri dönüşüm özelliği vardır. Tg'den büyük sıcaklıklarda, reçine rijitliği (elastisite modülü) ve sonuç olarak bası ve kayma mukavemeti keskin bir şekilde düşüş göstermektedir. Bunların dışında, su direnci ve renk stabilitesi gibi özellikler de önemli ölçüde düşmektedir. Termoset malzemelere örnek olarak; polyesterler, epoksiler, fenolik reçineler ve poliüretanlar verilebilir (Beşergil, 2003).

Polyester Reçineler

Günümüzde en çok kullanılan iki tip polyester reçine mevcuttur. Ortoftalik polyester reçine ve İzofalik polyester reçine. Ortoftalik polyester reçine çokça tercih edilen ve daha ekonomik bir türdür. İzofalik polyester reçineler ise özellikle su direncinin yüksek olması istenen alanlarda, denizcilik sektörü gibi yerlerde kullanılır. Polyester reçinelerin çoğu viskoz ve soluk renkli sıvılardır. Bu sıvılar genellikle bir monomer içindeki polyester çözültisi şeklinde bulunurlar. Polyester reçinelerin raf ömürleri sınırlıdır. Uzun bir zaman periyodu içinde kendi kendilerine sertleşmeye (jel) uğrarlar. Üretim esnasında jelleşmeyi geciktirmek için küçük oranlarda bazı inhibitörler (yavaşlatıcı) kullanılır. Ancak pratikte katalizör ve hızlandırıcılar ile polimerleşme süresi makul seviyelere indirilir. Katalizörler polimerleşme sürecinden hemen önce ilave edilir. Katalizör kimyasal bir reaksiyona katılmaz sadece prosesi harekete geçirmek amacı ile kullanılır (Anonim, 2008).

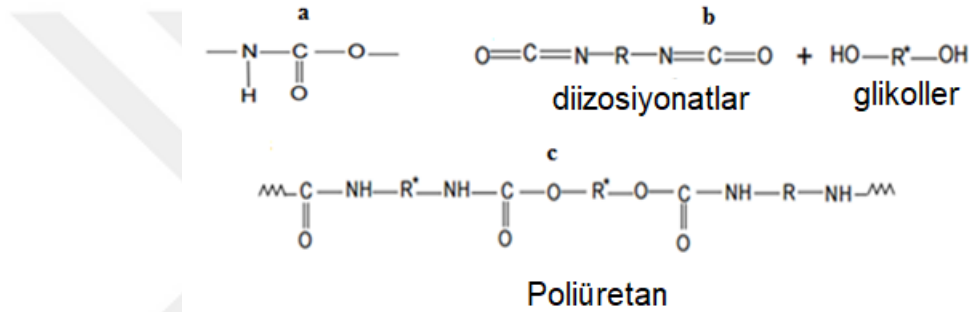
Epoksi reçineler

Termoset reçineler arasında en yüksek performansa sahip olan reçine epoksilerdir. Mekanik performansları ve çevresel etkilere karşı dirençleri diğerlerine oranla daha yüksektir. Yapışma kabiliyetlerinin ve su dirençlerinin yüksek olması nedeni ile de özellikle yat, tekne gibi deniz araçlarında kullanılabilecek en ideal reçinelerdir. Epoksi terimi bir oksijen atomu ile iki karbon atomundan oluşan bir kimyasal grubudur.

Poliüretan

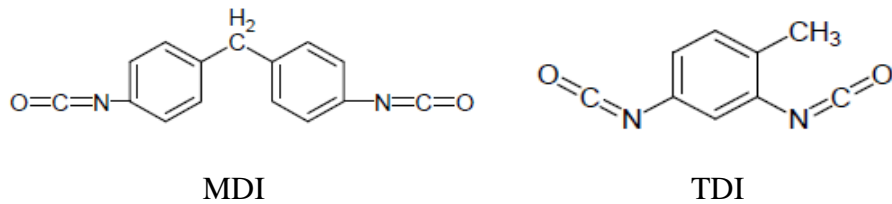
Poliüretanlar polioller ve izosiyanatların katalizörlü ve bir aktifleyici bileşik eşliğinde polimerizasyon ile elde edilir. Poliüretanlar kauçuk gibi elastik, metaller gibi dayanıklı ve uzun ömürlü plastiklerdir. İzosiyanatlar; ticari amaçlı

poliüretanların üretiminde kullanılırlar. Üretimde kullanılan izosiyanatın türü, elde edilen poliüretanın özelliklerini, kütleme sistemini ve işleme sistemini doğrudan etkiler. Bir izosiyanatın en önemli özelliği fonksiyonalitesidir. Her bir molekülde bulunan izosiyanat (-NCO) gruplarının sayısıdır. Çapraz bağlı poliüretanların üretiminde uygun izosiyanatlar 2'den fazla fonksiyonel grup içermelidirler. Di fonksiyonlu bir izosiyanat bir difonksiyonlu poliyolle reaksiyona girdiğinde uzun, doğrusal poliüretan molekülü meydana gelir. Şekil 2.7'de kondenzasyon polimerizasyonu ile poliüretan oluşumu gösterilmektedir (Bahattin, 1994 ve Saçak, 2002).



Şekil 2. 7. a) Birimler arası bağlantı, b) Monomerler, c) Polimer (Poliüretan)

Şekil 2.8'de poliüretan üretiminde kullanılan tipik diizosiyanatlar MDI (difenilmetan-4,4-diizosiyanat), NDI (naftalen-1,5-diizosiyanat, ve TDI (toluen diizosiyanat) dır. Esnek köpük üretiminde kullanılan poliüretanların çoğu TDI ile elde edilir.



Şekil 2. 8. MDI ve TDI kimyasal yapısı

Termoset poliüretanlar yumuşak köpük, sert köpük gibi polimerik yapılardır. Yumuşak köpükler yatak, yorgan ve paketleme malzemeleri üretiminde, sert köpükler ise genellikle izolasyon malzemesi olarak kullanılırlar.

Termoplastik poliüretanlar doğrusal ve kristalinite dereceleri yüksek moleküllerden oluşur. Termoplastik poliüretanlardan aşınmaya dayanıklı malzemeler yapılır. Örneğin; ayakkabı tabanları, araba çamurluğu, kapı panelleri, araç dış lastiği gibi. Poliüretanların fiziksel özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir (Saçak, 2008).

Çizelge 2. 1.Poliüretanın fiziksel özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	40(±2) kg/m ³
Isı iletim katsayısı (λ)	max. 0,024 W/mK
Basma mukavemeti	min. 0,095 MPa
Çekme dayanımı	min. 0,018 Mpa
Sıcaklık dayanımı (°C)	-200/+100 °C

2.5. Literatür Araştırması

Solmaz ve ark., (2011), farklı oranlarda Al₂O₃ partikülleri takviyeli polyester esaslı kompozitlerin aşınma performansı araştırılmışlardır. Ağırlık olarak 7 farklı bölüm ve 3 farklı parçacık boyutu testlerde kullanılmışlardır. Aşınma testleri, üç farklı yük için sabit hız ve kuru temas koşulları altında pin-on-ring cihaz kullanılarak iki cisim aşınma koşullarında yürütmüşlerdir. Yapılan bu çalışmada, polyester matris içerisine Al₂O₃ partikül takviyesi ile üretilmiş kompozit malzemeler kullanılmışlardır. Laboratuar şartlarında mekanik karıştırma yöntemiyle karıştırılan matris ve takviye malzemelerinin mekanik testleri yapılmışlardır. Al₂O₃ partikül takviye oranı arttıkça uzamanın azaldığı, çekme gerilmesinde ise net bir değişimin gözlenmediği belirlenmişlerdir. Al₂O₃ partikül boyutunun da mekanik özellikler üzerinde belirgin bir değişim yapmadığı ve aşınma verileriyle mekanik özellikler arasında tam bir ilişki kurulamayacağını belirlemişlerdir. Aşındırıcıların testlerinde; Al₂O₃ takviye oranı ve tane boyutu arttıkça ağırlık kaybında elde edilen düşüş aşınma hızının

azaldığını göstermişlerdir. Aşınma sırasında uygulanan yük arttırıldığında da ağırlık kaybındaki belirlenen artışlar aşınma hızının arttığını göstermişlerdir.

Akıncı ve ark., (2009), polimer matrisli partikül dolgulu kompozitlerin uygulanan yük ile pin-on-disk aşınma özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) matris içerisine bazalt partikül takviyesi ağırlıkça %10, %30, %50 ve %70 oranlarında yapılmıştır ve kompozit malzemeleri enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretmişlerdir. Aşınma testleri 0,5 m/s hızda, AISI 4140 çelik disk üzerinde pin-on-disk aşınma test yöntemiyle atmosferik şartlarda yapılmışlardır. Testler 5N ve 20N yük altında uygulamışlar ve dört farklı kompozisyondaki malzemenin sürtünme ve aşınma davranışlarına belirlemişlerdir. Kompozitlerin aşınma davranışları katkısız DYPE malzemeyle karşılaştırıldığında, aşınma özelliklerinin bazalt ilavesiyle iyileştiğini görmüşlerdir. % 30 Bazalt ilavesine kadar kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma hızının hızla düştüğünü görmüşlerdir. Uygulanan yüke bağlı olarak, saf DYPE malzemenin sürtünme katsayısı 0,29 ve 0,34 arasında değişirken, %70 bazalt takviyeli kompozitin sürtünme katsayısı 0,1 ve 0,12 arasında değişmekte olduğunu gözlemlemişlerdir. % Uygulanan yüke bağlı olarak, saf DYPE' nin aşınma hızı $4,57 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ ' den $1,11 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{m}$ ' ye değişirken, %70 bazalt takviyeli malzemenin aşınma hızı $4,97 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{m}$ ile $7,18 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{m}$ arasında değişmekte olduğunu görmüşlerdir. Çizelge 2.2'de Bazaltın kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Bazalt'ın kimyasal kompozisyonu (Investigation of Abrasive Wear Behavior of Polyester Composites Reinforced With Al_2O_3 Particles)

Bileşen	% Ağırlık
SiO_2	45,88
Al_2O_3	18,2
Fe_2O_3	9,95
CaO	9,28
MgO	6,62
K_2O	1,64
Na_2O	4,76
P_2O_5	1,04

Gök ve ark., (2016), bu çalışmada, cürufların aşındırıcı özelliklerine araştırmışlardır. Deneysel olarak yüksek fırın cürufu (YFC), Çelikhane cürufu (ÇC) ferrokrom cürufu (FKC) ve ticari Al_2O_3 tozları kullanılmışlardır. Deney yöntemi olarak Rubber Wheel Abrasion Wear (RWAT) seçmişlerdir. Aşınma testleri, 25, 50 ve 75 N' luk yükler altında 200 d/dk dönme hızında AISI 1020 çeliği üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda sertlik ile aşındırma performansı arasında bir ilişki kuramamışlardır. Kullanılan aşındırıcılar içerisinde en düşük sertlik değeri YFC görmüşlerdir. Al_2O_3 ve ferrokrom kütle kaybı olarak yakın kütle kaybı değerleri verdiği hesaplanmıştır. Ancak aşınma mekanizmalarının farklı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Al_2O_3 en yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen aşındırıcı morfolojisinin de aşındırma işleminde önemli bir rol oynadığı anlamışlardır. Aşınma mekanizması olarak düşük yüklerde yuvarlanma yüksek yüklerde ise karışık tip aşınma mekanizması görmüşlerdir.

Xin ve ark. (2009), kimyasal-mekanik parlatma işleminde malzeme uzaklaştırmak için önerilen temel model üzerinde çalışmışlardır. Şimdiye kadar kimyasal-mekanik parlatma (CMP), mekanik materyallerin uzaklaştırılması üzerinde fikir birliğinde bulunamamışlardır. Bazı araştırmacılar parlatma prosesinin Kaufman ve arkadaşlarının önerdiği mekanizmaya dayanarak modellemişlerdir. Bu sorunları açığa kavuşturmak için bileşik malzeme uzaklaştırma mekanizması önermişlerdir.

Bu model 3 temel üzerine kurulmuştur;

1. Levha zımparası ve keçe aşındırıcısı üzerine plastik temas.
2. Aşındırıcı boyutun Gauss dağılımı
3. Periyodiklik

Yapılan denemeler sonucunda; bu yöntemde kimyasal reaksiyonlar yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmiştir ve yüzeyde istenen parlatma tam sağlanamadığını görmüşlerdir.

Hochen ve ark. (2001), cam seramik parlatma ve Al-Mg depolama diskleri için bir malzeme aşındırma modeli tasarlamışlardır. Bu makalede parlatma parametreleri ve malzeme uzaklaştırma oranı arasındaki ilişkiyi tanımlamışlardır. Disk üzerindeki basınç dağılımını gerçekleştirmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen verilere dayanarak bulunan sonuçlar; deneysel olarak uzaklaştırma oranı, film kalınlığı içeriğinin bir fonksiyonu bulunmuştur bunla beraber malzeme aşındırma

oranı ve parlatma parametreleri arasındaki ilişkiyi açıklayan model daha uygun bulunmuştur ve sonlu elemanlar yönteminde alüminyumun parlatıldığında dış diskten iç diskin malzeme aşındırma oranının düşük olduğu tanımlanmıştır.

Belkhir ve ark, (2011), bu çalışmada cam parlatma işleminde kullanılan poliüretan keçelerin morfolojik davranışı ve aşınma işlemini araştırmışlardır. Gözenekli poliüretan parlatma keçeleri cam parlatma işleminde kullanılmıştır. Parlatma keçesinin aşınması ve morfolojik parlatma işlemi verimliliği yüzey kalitesi için önemli olduğu belirlenmiştir. Parlatma keçeleri ilk saatlerinde aşınmaya dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Keçeler parlatma işleminden sonra SEM, optik mikroskopi gibi teknikler kullanılarak karakterize edilmiştir. Yapılan testler sonucunda; parlatma keçesinin aşındırma oranı birinci polisaj aşamasında keçenin aşınması ile orantılı olduğu, daha sonra ters orantılı hale geldiği yapılan denemeler sonucunda bulunmuştur.

Orlowski ve ark. bu çalışmada kimyasal-mekanik parlatma için istatistiksel parlatma keçesi modeli tasarlamışlardır. İlk kez kimyasal-mekanik parlatma(CMP) modeli sunulmuştur. Keçe ile levha arasındaki etkileşim, parlatma ve dinamik etkileri içerdiği anlatılmıştır. Bu yöntemde daha yüksek baskı hızında parlatma işlemi için hem pürüzsüzlük hem de hidrodinamik yağlama önemli olduğu belirtilmiştir. Bu yöntem fiziksel model, süreç geliştirme ve optimizasyon için önemli olduğu açıklanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kimyasal Maddeler

Yapılan bu çalışmada farklı yapıda ki kimyasal maddeler kullanıldı. Bunlar; Alüminyum oksit (Al_2O_3) Kuhmichel Yüzey İşlem Teknolojisi Tic. Ltd. Şti.den, Seryum oksit (CeO_2) Sintek Endüstri Ltd. Şti.den, Silisyum karbür (SiC) Kuhmichel Yüzey İşlem Teknolojisi Tic. Ltd. Şti. den, Sentetik elmas Kurnaz Elmas Dış Tic. Ltd. Şti.den, Kübik Boron Nitrür(c-BN); Kurnaz Elmas Dış Tic. Ltd. Şti.den. Polyester Reçine; Başkent Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.den, Epoksi Reçine; Başkent Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.den, Poliüretan Reçine; Başkent Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.den temin edilmiştir.

3.2. Kullanılan Cihazlar ve Özellikleri

3.2.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

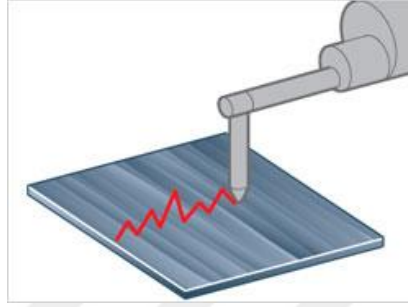
Ticari ürün ve hazırlanan ürünlerde ki bağlayıcı türleri tespiti için FT-IR kullanılmıştır. Bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik yada alifatik olup olmadığı belirlenmesi amacıyla Thermo Scientific marka, Nicolet IS10 ATR FT-IR kullanıldı (Noguchi, 2011).

3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji dağılımı X- ışını spektroskopisi (EDS)

SEM, bağlayıcı ve aşındırıcı madde ara yüzey incelemesi, ticari ürün ve hazırlanan ürün içindeki maddelerin tanımlanması amacıyla kullanıldı. SEM, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar numunedeki atomlarla etkileşerek numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyon hakkında bilgiler almak için sinyaller üretir. Elektron demeti hücresel tarama düzeni ile yüzeyi tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görüntü oluşturulur (Beşergil, 2016). Bu işlem için FEI marka, Quanta 450 FEG model cihaz kullanıldı.

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Yüzeydeki çizik izlerini normal yönde ölçme ile çapraz yönde (açılı kesik çizgi) ölçme arasında dalga boyu uzunluğu açısından farkları belirlemek amacıyla MarSurf marka, M 300 Portatif model cihaz kullanıldı. Resim 3.1'de yüzey pürüzlülük cihazının yüzeyde yaptığı işlemin örneği verilmiştir.



Resim 3. 1. Yüzey pürüzlülük ölçüm metodu

Parametreler;

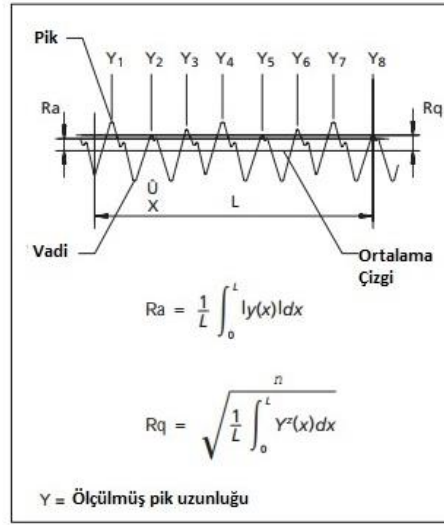
Ra: Yüzey pürüzlülüğünün y-koordinatlarının merkez hattında ortalama aritmetik sapmasıdır. Şekil 3.1.'de Ra sapması grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan Ra değeri grafiği

Rz (JIS): 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması.

Rq: Aritmetik ortalama sapmaların karekökü anlamında bir parametredir. Şekil 3.2.'de Ra-Rq hesaplanma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan Ra-Rq hesaplama yöntemi

Yapılan tezde üretilen keçelerin uygulandığı cam yüzeylerinde yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak Ra, Rq, Rz değerleri ölçüldü. Yüzey pürüzlülüğü birimi mikro metredir.

3.2.4. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Özgül ısı kapasitesi, faz (hal) değişimi ısısı, faz değişimi sıcaklığı ve tepkime ısısı gibi ısıl değişikliklerin ölçümünde kullanılır (Skoog ve ark., 1981). Bağlayıcı polimerlerin özelliklerini tayin etmek amacıyla Mettler – Toledo marka, DSC 1 / 700 model cihaz kullanıldı.

3.2.5. Sertlik ölçüm cihazı

Sertlik genel anlamda malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sertlik direk olarak bir büyüklük olmayıp daha yüksek dayanımda bir malzemenin kendisinden daha düşük dayanımda diğer bir malzeme üzerinde yapmış olduğu deformasyon üzerinden hesaplanmaktadır (Beşergil, 2016). Bağlayıcı maddelerin sertliklerini ölçmek amacıyla Zwick 3131 marka Shore A ve Shore D cihazları kullanıldı. Polimerlerin, elastomerlerin ve kauçukların sertliğini belirtmek için kullanılmaktadır. Shore-A genel itibari ile yumuşak malzemelerin sertliğini, Shore-D ise daha sert-rijit malzemelerin sertliğini ölçmede kullanılmaktadır. Çizelge 3.1’de Shore A- Shore D dönüşüm tablosu verilmiştir (Savaşkan, 2000). Polimerik yapılarda Shore A ile yapılan ölçümlerde değerler 90-100 aralığın da çıktığında Shore- D ile ölçüm yapmak daha uygun sonuçları vermektedir.

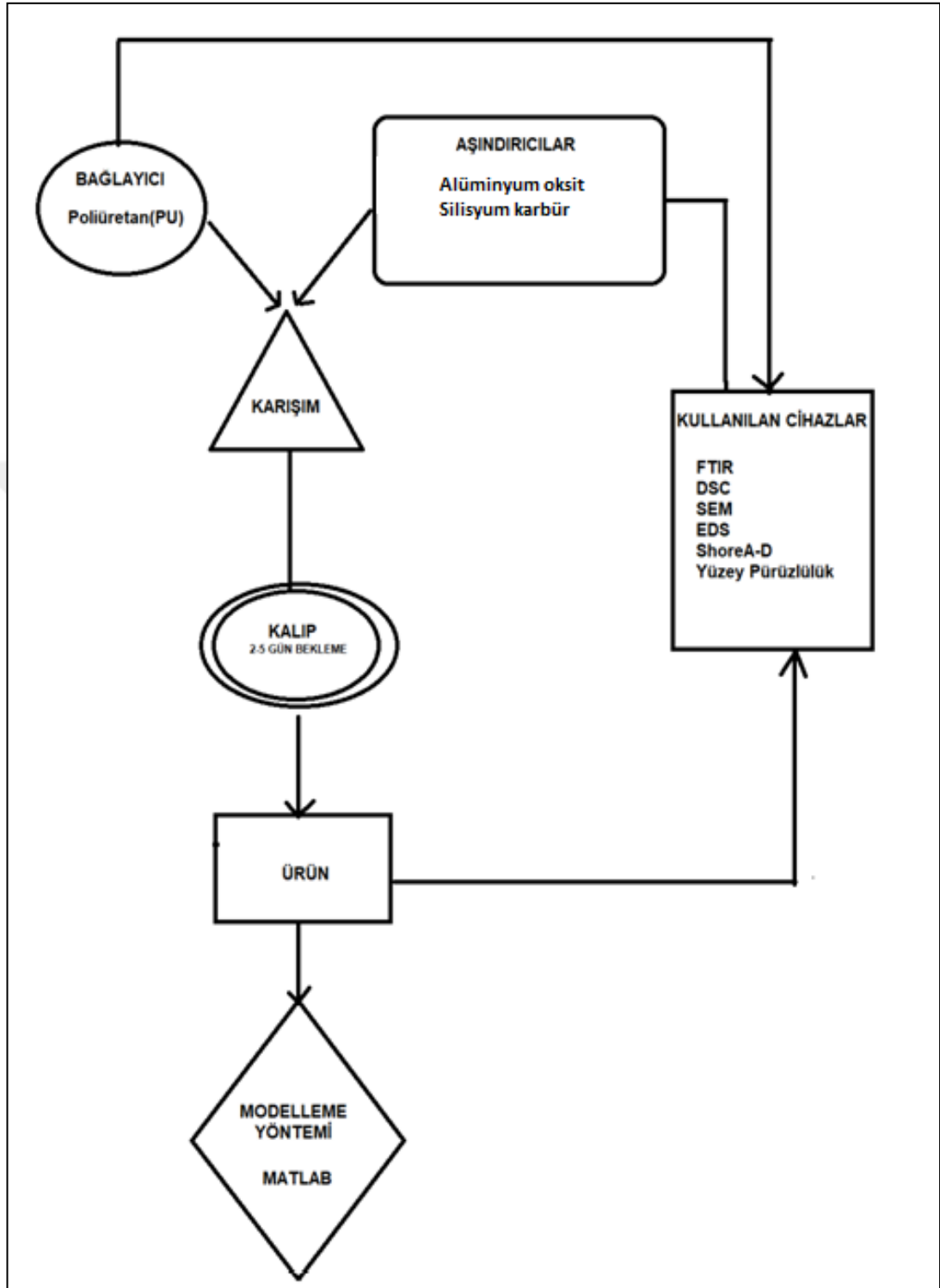
Çizelge 3. 1. Sore A – Shore D dönüşüm tablosu

Shore A	Shore D
100	58
95	46
90	39
85	33
80	29
75	25
70	22
65	19
60	16
55	14
50	12
45	10
40	8
35	7
30	6
25	
20	
15	
10	
5	

3.3. Yöntem

Yapılan çalışma da bağlayıcı olarak farklı oranlarda poliöl ve toluen di izosiyonat (TDI) karışımından elde edilen PU ve aşındırıcılar (Al_2O_3 , SiC) kullanılarak istenilen özellikte cam parlatma keçeleri elde edildi. Çalışmanın ilk aşamasında piyasada ticari olarak bulunan ürünlerin Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri, aşındırıcılar için Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji dağılımı X- ışını spektroskopisi (EDS) analizleri ile karakterizasyonları yapıldı.

Hazırlanan keçelere farklı oranlarda bağlayıcı (1/5 ve 1/6) eklenerek optimum bağlayıcı oranı belirlendi. Ayrıca farklı oran ve boyutlarda aşındırıcılar eklenerek hazırlanan keçeler karakterize edildi. Farklı oranlarda bağlayıcı aşındırıcı ve farklı tanecik boyutlarına sahip aşındırıcılar kullanılarak hazırlanan keçelerin sertlik değerleri ölçüldü. Hazırlanan keçeler cam yüzeyine uygulanıp, yüzey pürüzlülük işleminin çıktıları olan Ra, Rq, Rz değerleri ölçüldü. Cam yüzeyinde pürüzlülük testi yapılmış olan keçeleri sonuçları ile ticari cam parlatma keçelerin sonuçları karşılaştırılarak aşındırıcıların tanecik boyutlarının etkisi incelenmiştir. Optimum tanecik boyutları belirlenerek ticari kullanıma en uygun özellikte keçeler belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük test sonuçlarında ki veri fazlalığından dolayı verilerin değerlendirilmesi için Matlab programı kullanılarak modelleme yapılmıştır. Kullanılan polimerler, aşındırıcılar ve izlenecek yöntem akış çizelgesi olarak Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Çizelge 3.2'de cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcıların tanecik boyutları verilmiştir. Çizelge 3.3'te cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcıların fiziksel özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. 3. Akış çizelgesi

Çizelge 3. 2. Cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcılar- tanecik boyutları

Aşındırıcılar - Tanecik Boyutları	
Al₂O₃	60 kum (60 mesh), 120 kum (120 mesh), 180 kum (180 mesh), 220 kum (220 mesh),
SiC	240 kum (240 mesh), 360 kum (360 mesh), 400 kum (400 mesh), 600 kum (600 mesh),

Çizelge 3. 3. Cam parlatma keçesinde kullanılan aşındırıcıların fiziksel özellikleri

	Al₂O₃	SiC
Molar kütle(g/mol)	101,96	40,1
Yoğunluk(g/cm³)	3,95	3,21
Erime Noktası (°C)	2072	2730
Kaynama Noktası (°C)	2977	-

3.3.1. Bağlayıcı madde

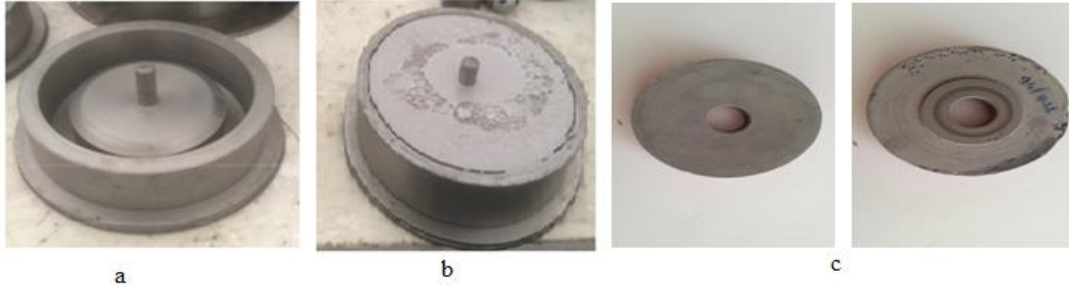
Yapılan bu tez çalışmasında cam parlatma keçelerinde bağlayıcı olarak poliüretan (PU) kullanıldı. PU farklı oranlarda polioliol-TDI karışımı kullanılarak elde edildi. Çizelge 3.4'te polioliol- TDI karışım oranları gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4. TDI/Polioliol oranları (w:w)

Bağlayıcı Adı	TDI/Polioliol
PU1	1/2
PU2	1/3
PU3	1/4
PU4	1/5
PU5	1/6

3.3.2. Aşındırıcıların bağlayıcı ile karıştırılması ve kalıplanma aşaması

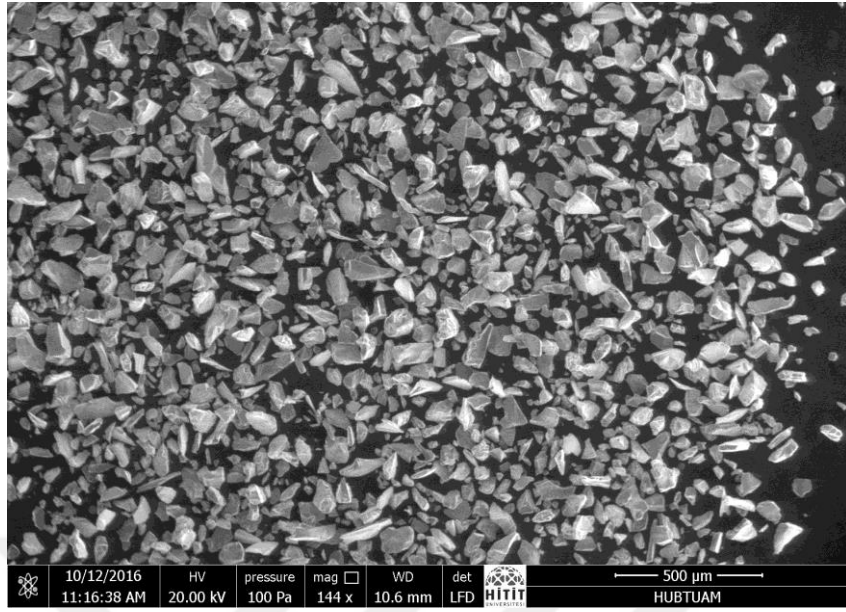
Farklı tane boyutundaki (kum-mesh) aşındırıcılar; Al_2O_3 , SiC bağlayıcı madde poliüretan (PU) ile karıştırılıp öncesinde kalıp ayırıcı uygulanmış kalıplara dökülerek soğuk döküm halinde kalıplanmıştır. Resim 3. 2’de a) Boş kalıp örneğidir. Boş kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı uygulandıktan sonra hazırlanan aşındırıcı-bağlayıcı karışımı dökülür ve yüzeyi kapatılır. Resim 3. 2 b) bağlayıcı madde ve aşındırıcı malzeme karışımı dolu kalıp örneğidir. Ortam şartlarına bağlı olarak ortalama 3 gün içerisinde kalıptan çıkarılır. Döküm işlemi normal oda koşullarında gerçekleştirilir. Kalıptan çıkarma işleminden sonra cam yüzeyinde kullanım için hazırdır.



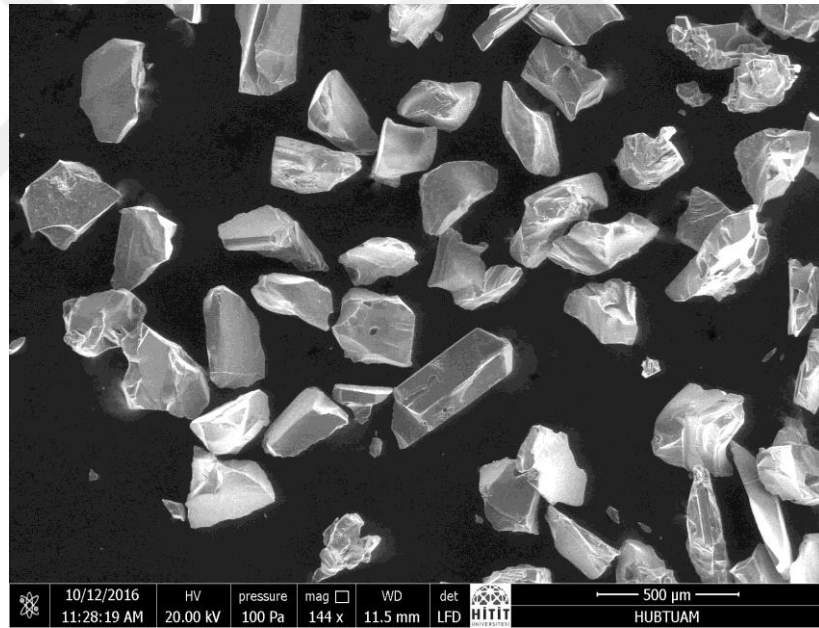
Resim 3. 2. a) Boş kalıp örneği, b)Bağlayıcı madde ve aşındırıcı malzeme karışımı kalıp örneği, c) Cam parlatma keçesi örnekleri

3.3.2.1. Cam parlatma keçelerinde kullanılan aşındırıcılara ait SEM görüntüleri

Resim 3.3 ve Resim 3.4’te cam parlatma keçelerinde kullanılan aşındırıcılara ait SEM görüntüleri bulunmaktadır. Resim 3.3’te 220 kum (220 mesh) Al_2O_3 ’e ait SEM görüntüsünde tanecik boyutlarının ortalama 220 mesh olduğu ve keskin köşeli yapılara sahip olduğu tespit edilmiştir. Resim 3.4’te 80 kum (80 mesh) SiC’ ye ait SEM görüntüsünde ortalama tanecik boyutlarının 80 mesh olduğu ve yapılarının Al_2O_3 ’e göre daha az köşeli olduğu bu nedenle de parlatma amaçlı kullanılabilceği tespit edilmiştir. Aşındırıcılara ait SEM görüntülerinden iki örnek burada verilmiştir. Tanecik boyutları ve yapısal olarak görünümleri Ek 1’de verilmiştir.



Resim 3. 3. Al_2O_3 220 kuma (220 mesh) ait SEM görüntüsü



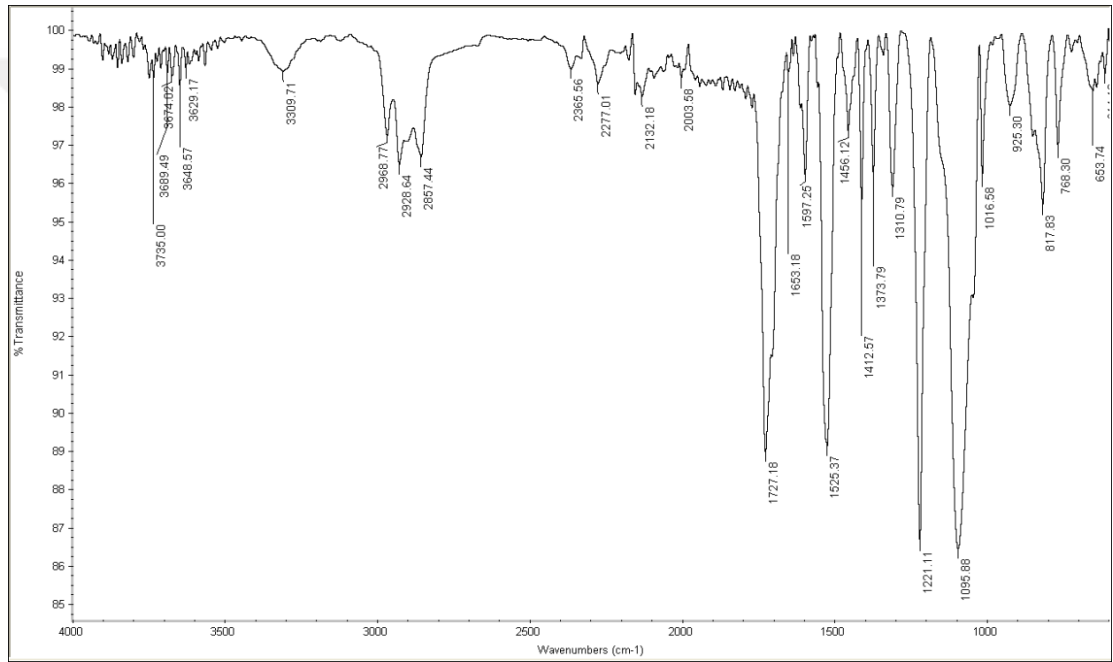
Resim 3. 4. SiC 80 kuma (80 mesh) ait SEM görüntüsü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hazırlanan Keçelerin ve Ticari Ürünlerin Karşılaştırılması

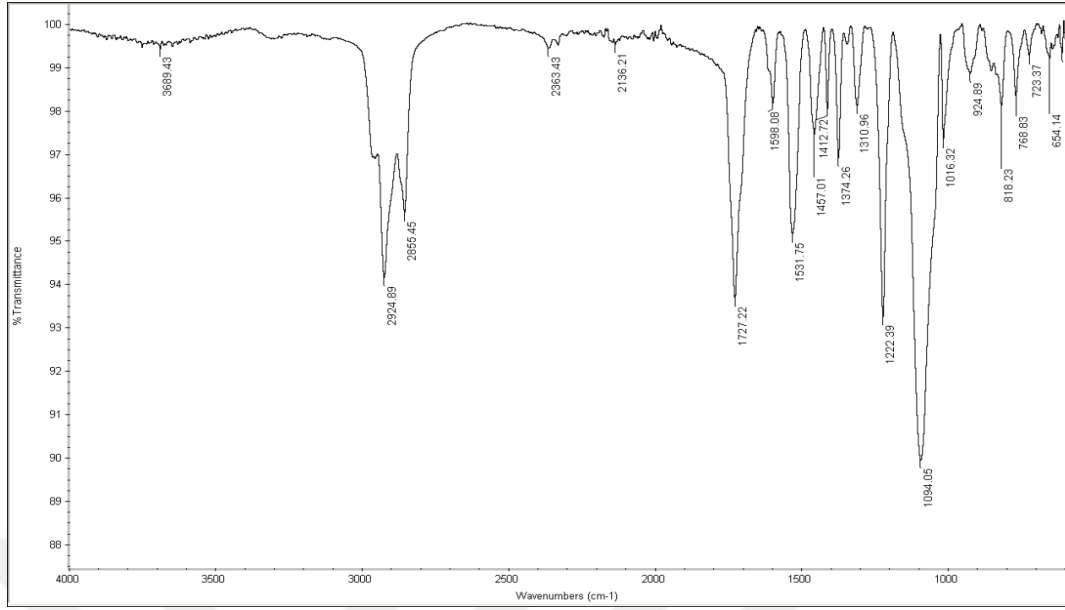
4.1.1. FT-IR spektrumlarının değerlendirilmesi

FT-IR spektrumları ATR modülü kullanılarak doğrudan sıvı halden ya da kalıplara dökülen numunelerin katı hallerinden çekilmiştir. Şekil 4.1'de 1/5 oranında polioli-TDI karışımından oluşan polimerik yapının FT-IR spektrumu verilmiştir. Şekil 4.2'de 1/6 oranında polioli-TDI karışımından oluşan polimerik yapının FT-IR spektrumu verilmiştir.



Şekil 4. 1. 1/5 oranında TDI- polioli karışımının FT-IR spektrumu

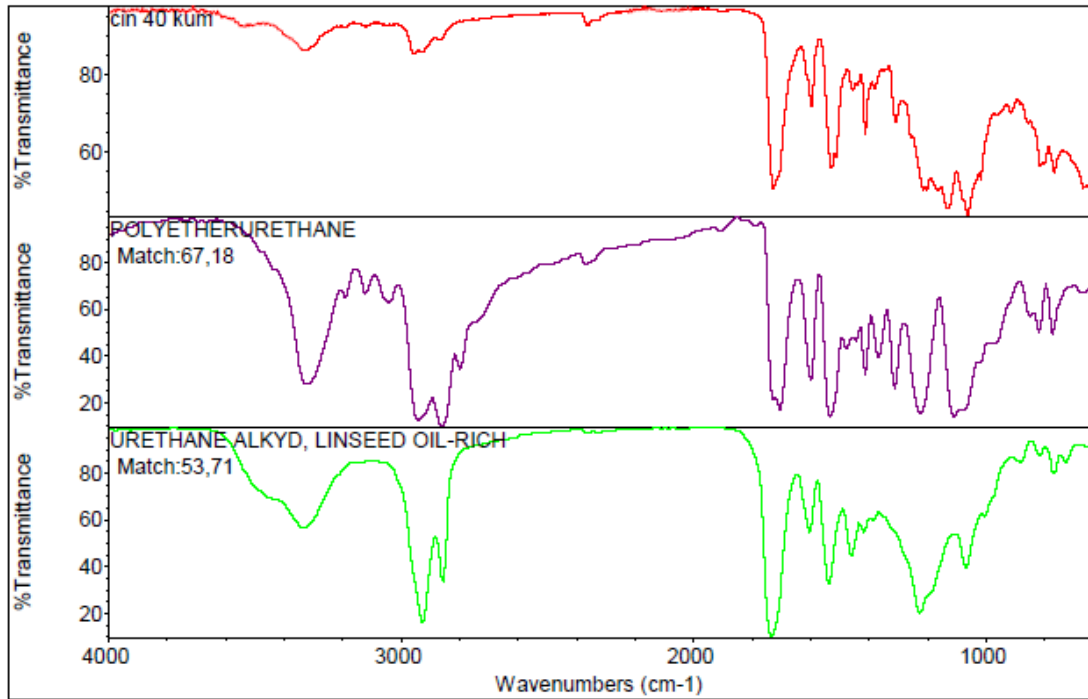
1/5 oranında TDI-polioli karışımından oluşan polimerik yapının FT-IR spektrumu incelendiğinde 3323 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bandı NH gerilmesine karşılık gelmektedir. 2859 cm^{-1} ve 2938 cm^{-1} 'deki keskin tepeler, $-\text{CH}_2$ gerilmesini göstermekte, diğer $-\text{CH}_2$ titreşimleri, bantlar tarafından 1464, 1418, 1364 ve 1294 cm^{-1} 'de tanımlanır. NH titreşimleri grubu 1530 cm^{-1} bandıyla tanımlanır.



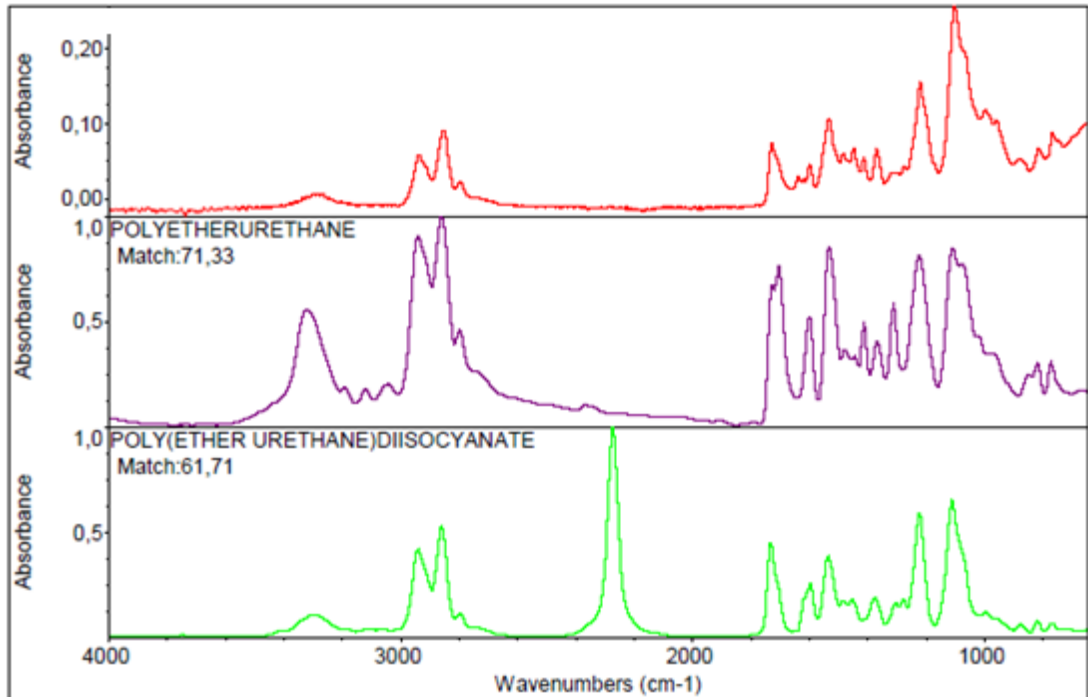
Şekil 4. 2. 1/6 oranında TDI-poliol karışımının FT-IR spektrumu

1/6 oranında TDI-poliol karışımının FT-IR spektrumu incelendiğinde 3324 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bandı NH gerilmesine karşılık gelmektedir. 2862 cm^{-1} ve 2936 cm^{-1} 'deki keskin tepeler, $-\text{CH}_2$ gerilmesini göstermekte, diğer $-\text{CH}_2$ titreşimleri, bantlar tarafından 1465 , 1414 , 1365 ve 1292 cm^{-1} 'de tanımlanır. NH titreşimleri grubu 1535 cm^{-1} bandıyla tanımlanır. Trovati ve arkadaşların 2009'da yaptıkları çalışmalarda analiz sonuçları ile 1/5 ve 1/6 TDI- poliol karışımından elde edilen malzemenin Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 deki spektrumda verilen soft-rigid arası poliüretan FT-IR spektrumu ile benzer olduğu görülmektedir.

Ticari ürünlere ait FT-IR analiz sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 3'te Ç40K'ya ait FTIR spektrumunda Ç40K piklerinin poliüretana ait piklere ait olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.4'te Ç60K'ya ait FTIR spektrumunda yaklaşık 3000 cm^{-1} 'de oluşan piklerin poliüretana ait pikler olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 3. Ç40K cam parlatma keçesine ait görüntüsü



Şekil 4. 4. Ç60K cam parlatma keçesine ait görüntüsü

4.1.2. Bağlayıcının hazırlanmasında kullanılan bileşen oranının etkisi

Keçe üretiminde bağlayıcı oranı ürünün dayanım ve sertliği için önemlidir. Literatür çalışmasında ve yapılan çalışmalar sonucunda bağlayıcı madde ile aşındırıcı madde kompozit malzeme haline getirilirken soğuk kalıplama sırasında beklenen bir iki günlük süre içerisinde taneciklerin dibe çöktüğü tespit edilmiştir. Bu sebeple üretim yöntemindeki bu sorunu çözmek amacı ile elde edilen poliüretan bağlayıcıların sertlikleri tespit edilmiştir. Çizelge 4.1’de K2, K3, K8, K9, K10 cam parlatma keçelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Ortalama değer almak için her keçeden beş ölçüm yapıp değerleri Shore sertliği olarak kaydedilmiştir. Shore A ve Shore D’ye göre ölçüm sonuçları alınmıştır. Shore A değeri ile yapılan ölçümler 90 üzeri değerlerde güvenilir sonuçlar olarak kabul edilmediğinden Shore D değerleri üzerinden karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.2’de ticari keçelere ait sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Hazırlanan keçeler ve ticari keçelerin sonuçları karşılaştırıldığında Ticari Ç120K ile K3 ve K10’un yakın değerler elde ettiği tespit edilmiş ve Shore D değerinin 45-70 aralığında olması optimum sertlik değerini sağladığını göstermektedir.

Çizelge 4. 1. K2, K3, K8, K9, K10 cam parlatma keçelerine ait sertlik ölçüm sonuçları

	Shore A	Shore D	Standart sapma
K2	97,9	74,3	3,74
K3	99,1	49,6	3,80
K8	97,3	64,5	1,58
K9	83,5	28,3	2,82
K10	98,4	45,8	3,02

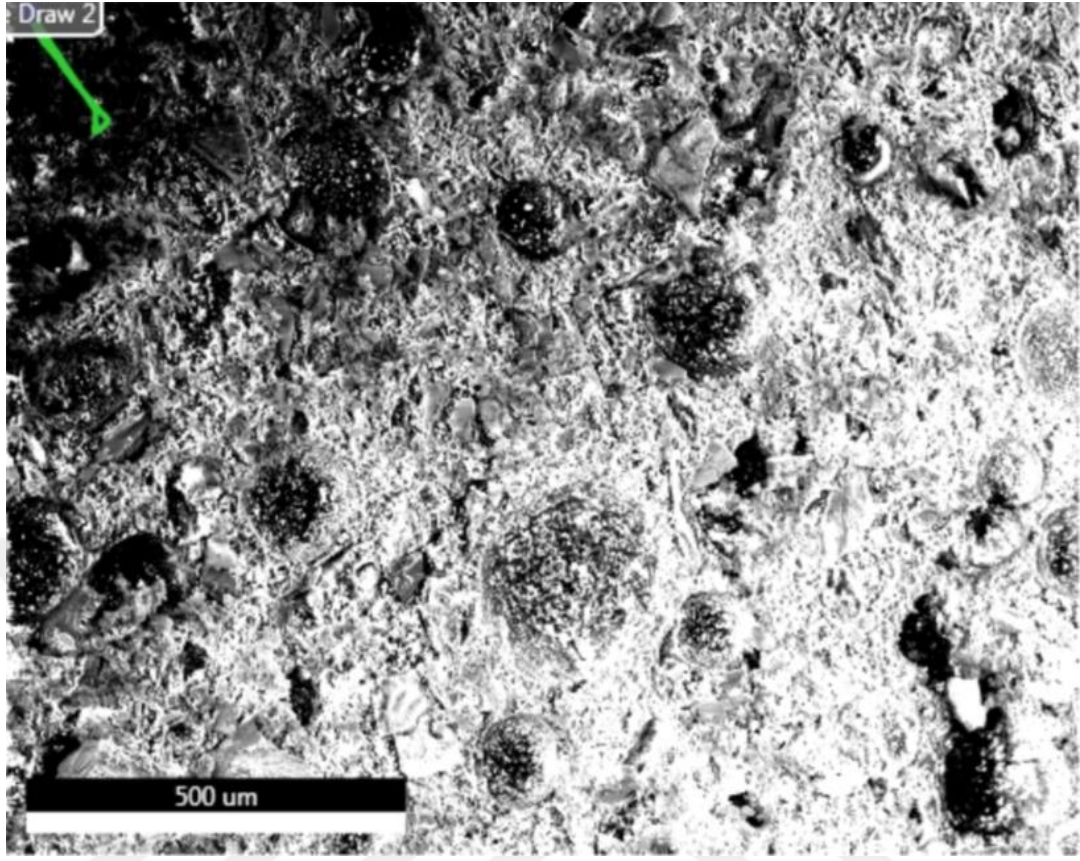
Çizelge 4. 2. Ticari keçelere ait sertlik ölçüm sonuçları

	Shore A	Shore D	Standart sapma
Ticari İ60K	91,4	42,0	1,26
Ticari Ç60K	94,5	53,7	5,82
Ticari Ç40K	95,6	42,0	2,92
Ticari Ç120K	94,1	48,0	4,71

4.1.3. Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntülerinin Değerlendirilmesi (SEM)-(EDS)

Yapılan çalışmada bağlayıcı ve aşındırıcılara ait oran denemeleri yapılmış ve bu oran denemelerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Her bir SEM görüntüsü cam parlatma keçesinin gelişimi hakkında bilgi vermiştir. Yapılan cam parlatma keçelerine farklı isim ve numaralar verilmiştir. Ticari olarak alınan cam parlatma keçelerinin SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlarla üretilen cam parlatma keçelerinin SEM-EDS görüntülerini karşılaştırılması yapılmıştır.

Yapılan çalışmada ticari keçeler üzerinde morfolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin SEM görüntüleri ve EDS sonuçları alınmıştır. Bir numune için örnek aşağıda gösterilmiştir. Hazırlanan diğer cam parlatma keçelerine ait analizlerin sonuçları Ek-2’de verilmiştir. Hazırlanan K3 (cam parlatma keçesi 1)’e ait keçenin SEM görüntüsü Resim 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de K3’e ait EDS sonuçları bulunmaktadır. Hazırlanan cam parlatma keçelerine yapılan SEM analizleri ile matris ve dolgu malzemesi ara yüzeyleri incelendiğinde tanecikler arasındaki boşluklar bulunmadığı bununla beraber tanecikli yapıdaki kompozitler için büyük sorun teşkil eden aglomerasyonun yani topaklaşmanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan aşındırıcıların tane boyutlarına bakılmaksızın homojen dağılımda bulunduğu da gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada tane boyutu 120 - 180 kum (120-180 mesh) olan alüminalar kullanılmıştır. Dolayısıyla kompozit malzemede kullanılacak olan bağlayıcının aglomerasyon ve çökelme sorunun önüne geçebilecek karışım için bağlayıcı oranının uygun nitelikte olduğunu göstermektedir.



Resim 4. 1. K3'e ait SEM görüntüsü

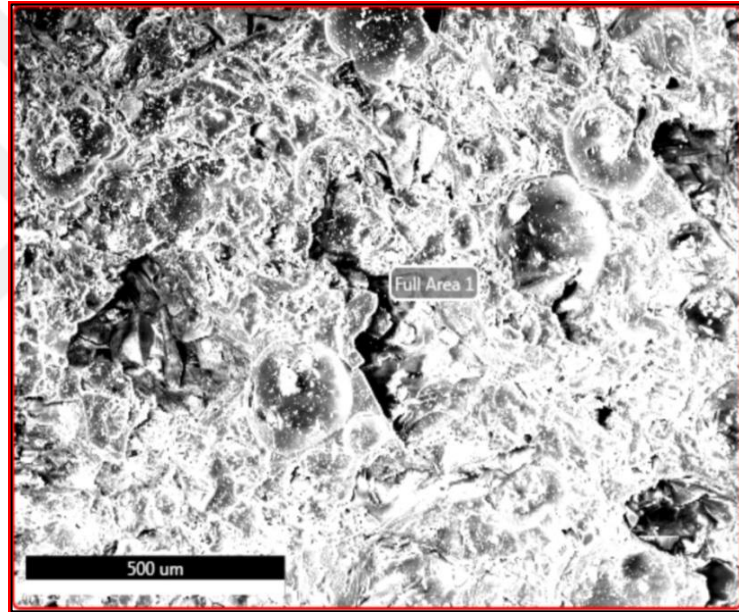
Çizelge 4. 3. K3'e ait EDS sonuçları

Bileşen	% Ağırlık
CO ₂	87.44
MgO	1.35
Al ₂ O ₃	2.82
SiO ₂	1.37
SO ₃	1.68
K ₂ O	0.18
BaO	5.17

Ticari keçelerin yapısı ve bileşimleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için ithal keçelerden örnekler alınmış ve bunlara SEM- EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan analiz için Ticari İtalyan 60 kuma (İ60K) ait olan sonuçlar burada açıklanmış diğer ticari cam parlatma keçelere ait analiz sonuçları Ek 3'te verilmiştir. Resim 4.2'de İ60K cam parlatma keçesi örneği verilmiştir. Resim 4.3'te Ticari İ60Kya ait SEM görüntüsü bulunmaktadır. Çizelge 4.3'te İ60K'ya ait EDS sonucu verilmiştir.



Resim 4. 2. Ticari İ60K'ya ait görüntü



Resim 4. 3. Ticari İ60K'ya ait SEM görüntüsü

Çizelge 4. 4. Ticari İ60K'ya ait EDS sonuçları

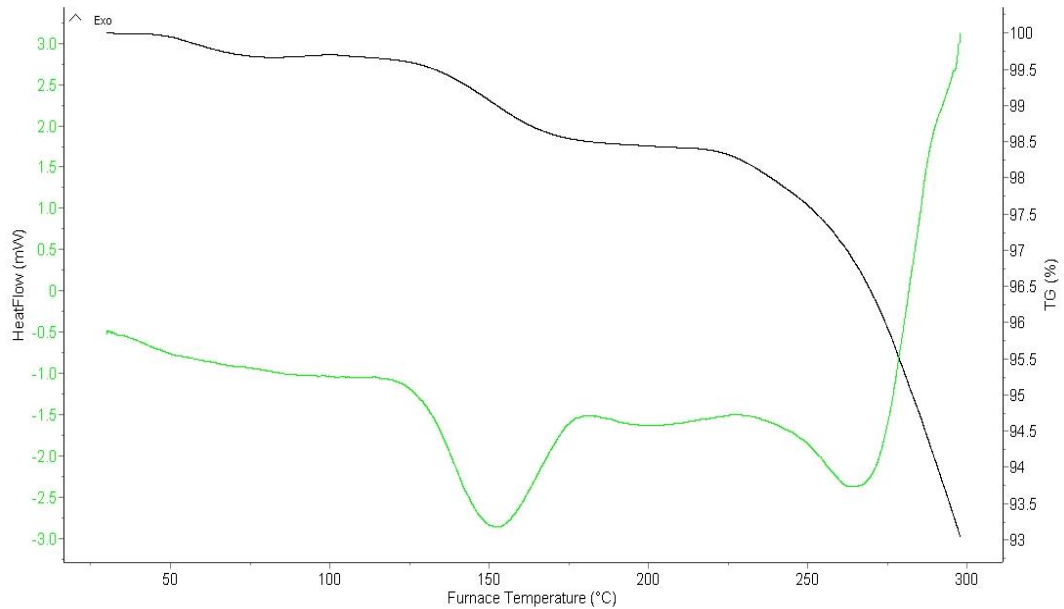
Bileşen	%Ağırlık
CO ₂	93.72
Na ₂ O	0.35
Al ₂ O ₃	3.03
SiO ₂	1.21
Cl ₂ O	0.55
K ₂ O	0.07
CsO ₂	0.03
Fe ₂ O ₃	0.71

Ticari İ60K keçedeki SEM ve EDS analiz sonuçlarına bakıldığında Al₂O₃ ve SiC'nin aşındırıcı madde olarak tercih edildiği tespit edilmiştir. Aşındırıcı amaçlı kullanılan

alüminalar ortalama 60 kum ve köşeli yapıya sahiptirler. Daha çok yüzeydeki çapak alma işlemlerinde etki göstermektedir. Shore A sertlik ölçüm değeri; 91,4 ve Shore D ölçüm değeri; 42,02 olarak ölçülmüştür. Kullanılan matris malzeme yumuşak ve rijit arası bir yapıdadır. K, L, M yörüngelerinde ki atom dizilişleri ışın gönderiminde eser miktarda BaO ve K₂O'ya rastlanmış olup bunlar L yörüngesinde ki Al₂O₃ oldukları tespit edilmiştir. Çizelge 4.3'te verilen EDS analizinde C miktarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu EDS analizinde kullanılan yöntemle de ilgili olmakla beraber yapının büyük bölümü polimer bazlı olduğu için bu oran yüksek çıkmıştır. EDS sonucunda hata payı yüksek olmakla beraber çok kesin sonuçlardan uzaktır. Fakat kalitatif olarak bu sonuçlara göre benzer aşındırıcılar kullanılabileceğini gösterebilmektedir.

4.1.4. DSC Analizi Sonuçları

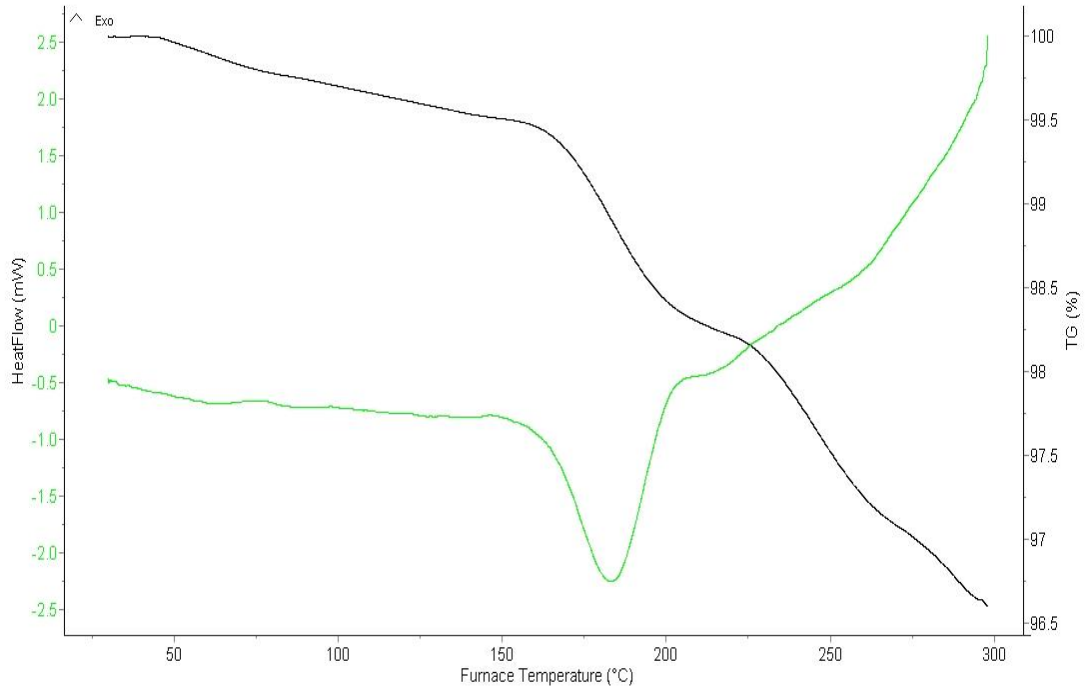
İthal edilen Ticari Çin 40 Kum (Ç40K) cam parlatma keçesinin TG/DSC analiz sonuçlarına bakıldığında keçe yapısı içerisinde ki polimerik yapıların sıcaklık artışı ile bozunmaya ve kütle kayıplar olmaya başladığı tespit edilmiştir. Şekil 4.3' te Ç40K cam parlatma keçesine ait DSC grafiği verilmiştir.



Şekil 4. 5. Ticari Ç40K cam parlatma keçesi DSC grafiği

Grafikte görüldüğü gibi 150°C civarlarında gerçekleşen endotermik pik ikinci bir küreleşme ya da erime olduğunu göstermektedir. TG eğrisine bakıldığında kütle

kaybının da aynı sıcaklıkta olması k rleşmeden ileri gelmektedir. 250°C’den sonra başlayan kuvvetli oksidasyon piki poliüretanın bozunmaya başladığı sıcaklık olarak tespit edilmiştir (Trovita ve ark, 2009). Şekil 4.4’te K1 cam parlatma keçesine ait DSC grafiği verilmiştir.



Şekil 4. 6. K3 cam parlatma keçesine ait DSC grafiği

Grafikte g r ld ğu gibi 180°C civarlarında gerçekleşen endotermik pik ikinci bir k rleşme ya da erime olduğunu göstermektedir. TG eğrisine bakıldığında kütle kaybının da aynı sıcaklıkta olması k rleşmeden ileri gelmektedir. Sıcaklık artışı ile oksidasyon pikinin oluşması poliüretanın bozunmaya başladığı sıcaklık hakkında bilgi vermektedir. 270°C civarlarında poliüretanın bozunmaya başladığı görülmektedir. Ticari keçe ile kıyaslandığında poliüretan bozunma sıcaklıklarının yakın olduğu belirlenmiştir.

4.1.5. Aşındırıcı Tipi ve Tane Boyutu Etkisi

Yapılan alışmalar sonucunda 1/4 ile 1/6 oranları arasında PU bağlayıcı, SiC, Al₂O₃ miktarları ve tane boyutları parametre olarak incelenmiş ve hazırlanan keçeler cam yüzeylerinde uygulanarak cam parlatma keçelerinin etkileri Resim 4.4’te verilmiştir. Al₂O₃ ve SiC için farklı tane boyutlarının karışımları kullanılmıştır. Keçe seçiminde aşındırıcı tanecik boyutları ve cam yüzeyine uygulandıktan sonra yüzeyde bıraktığı

4.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Çizelge 4.4'te cam parlatma keçesi uygulanan cam yüzeylerinden okunan yüzey pürüzlülük sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. 5. Cam parlatma keçesi uygulanan cam yüzeylerinden okunan değerler

Cam Parlatma Keçe İsimleri	TDI/Poliol	%SiC 240	%SiC 360	%SiC 400	%SiC 600	%Al2O3 60	%Al2O3 120	%Al2O3 180	%Al2O3 220	Ra	Rq	Rz
K1	1/3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,129	0,000	20,161	0,374	0,623	3,869
K2	1/5	0,000	0,000	0,000	0,000	8,850	8,850	0,000	17,699	0,529	0,697	4,503
K3	1/6	0,000	0,000	0,000	0,000	9,524	9,524	19,048	0,000	0,397	0,512	2,793
K4	1/5	0,000	14,493	0,000	0,000	0,000	7,729	9,662	0,000	0,390	0,503	0,319
K5	1/6	0,000	0,000	0,000	0,000	10,283	7,712	10,283	10,283	0,549	0,699	3,967
K6	1/6	11,455	0,000	0,000	0,000	0,000	5,727	0,000	0,000	0,453	0,724	5,059
K7	1/6	0,000	0,000	0,000	0,000	4,973	4,973	0,000	14,918	0,454	0,600	3,369
K8	1/4	10,724	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	10,724	0,000	0,102	0,137	1,030
K9	1/2	0,000	39,216	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,113	0,342	2,682
K10	1/4	0,000	0,000	15,957	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,263	0,391	2,671
K11	1/4	0,000	14,749	14,749	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,342	0,673	4,334
K12	1/4	16,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,162	1,506
K13	1/3	2,525	7,576	0,000	15,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065	0,085	0,505
K14	1/5	0,000	0,000	9,066	18,132	0,000	0,000	0,000	0,000	0,205	0,274	2,017

Çizelge 4.4'te 1/4 ile 1/6 oranları aralığında ki TDI/poliol oranlı bağlayıcılar ile farklı tane boyutunda aşındırıcıların karışımları ile elde edilen keçelerin uygulandığı cam yüzeylerinden elde edilen Ra, Rq, Rz değerleri bulunmaktadır. Farklı oranlara ait birkaç sonuçta çizelgede verilmiştir. Bağlayıcı oranı değişimine ek olarak kullanılan aşındırıcı ve aşındırıcı boyutları da önemlidir. K2, K4, K14 cam parlatma keçeleri beraber incelendiğinde farklı oranlarda kullanılan alüminanın keçe içinde çapak alma özelliğini arttırdığı ve Ra değerine etki ettiği gözlemlenmiştir. K2 cam parlatma keçesinde kullanılan 60 mesh alüminanın çapak alma işleminde de büyük önem taşıdığı gözlemlenmiştir. İri tanecikli alüminaların keskin köşeleri cam yüzeyinde bulunan çapak alma işleminde ön plandadır. 120 mesh alümina miktarı artması ile pürüzlülükte büyük ölçüde bir azalma görülmüştür. K3, K5, K6, K7 cam parlatma keçelerinde 1/6 oranında bağlayıcı kullanılmıştır. Bu keçeler incelendiğinde bağlayıcı oranının artması keçenin dayanımını iyi yönde etkilemiştir. 240 mesh silisyum karbürün cam yüzeylerinde parlaklık sağladığı SiC'lerin köşelerinin

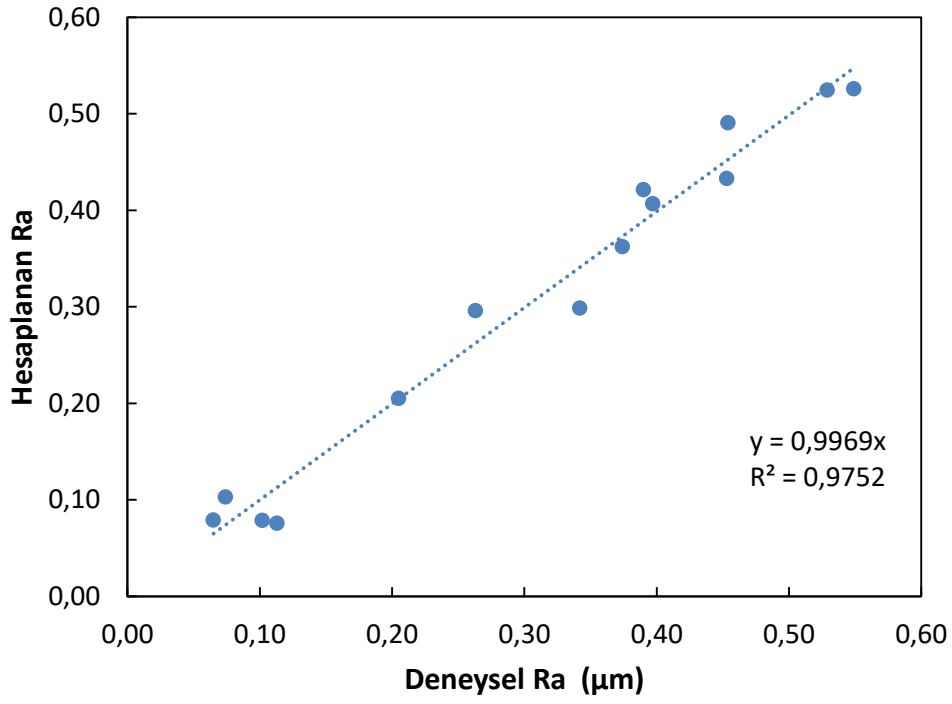
alüminaya göre daha oval olması parlaklıkta büyük önem taşımaktadır. Çapak alma işlemi için 60 mesh Al_2O_3 , ince zımparalama işlemi için; 120-240 mesh Al_2O_3 , çok parlak yüzeyler için; 240 mesh ve üstü SiC'lerin kullanılacağı belirlenmiştir. Ra değerlerinde ki artışta en büyük etken ince taneli alüminaların olduğu tespit edilmiş. 180 mesh alümina ile 240 mesh silisyum karbürün beraber kullanıldığı cam parlatma keçelerinin cam yüzeyinde hem pah kırma işlemi için kullanılabilmesi hem de parlatma amaçlı kullanılacağı hazırlanan K8 cam parlatma keçesinin cam yüzeyinde denenmesi işlemi ile belirlenmiştir.

4.3. Sistem Modellemesi

Ra, Rq ve Rz değerleri ile örneklerin içerikleri arasındaki ilişki çoklu lineer regresyon (Multiple Linear Regression) ve destek vektör makineleri (Support Vector Machine) yaklaşımları kullanılarak Matlab[®] ortamında incelenmiştir. Ek 4'te regresyon için gerekli veriler bulunmaktadır.

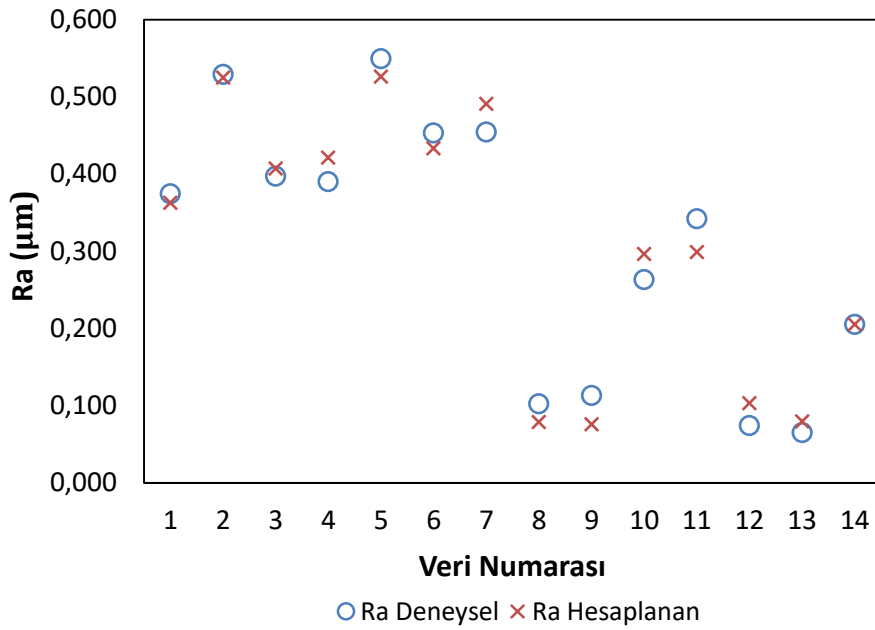
Bu kapsamda Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) kullanılarak elde edilen ortalama aritmetik sapma (Ra) değerleri ile deneysel Ra değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.4'te görülmektedir. R^2 değerinin 0,97 orijinden geçen doğrunun eğiminin ise 0,99 olduğu görülmektedir. Ayrıca veri setindeki her bir Ra değeri ile hesaplanan Ra değerlerinin karşılaştırması Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi ÇLR veri noktalarının birçoğunu başarılı şekilde temsil edebilmektedir. Değerlerin R^2 için 1 değerine yakın olması ve noktaların verilen doğrultudan sapmaması modellemenin veri aralığında uygun olduğunu göstermektedir.

ÇLR Kullanılarak Deneysel - Hesaplanan Ra Grafiği



Şekil 4. 7. ÇLR kullanılarak hesaplanan Ra ile deneysel Ra değerlerinin karşılaştırması

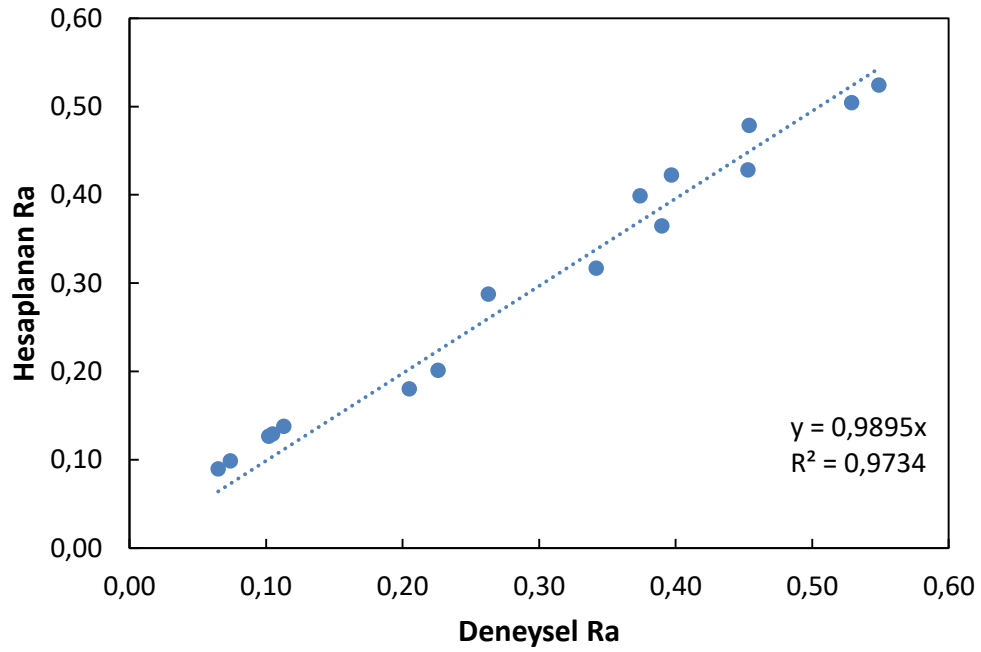
Ra- Veri Numarası Grafiği



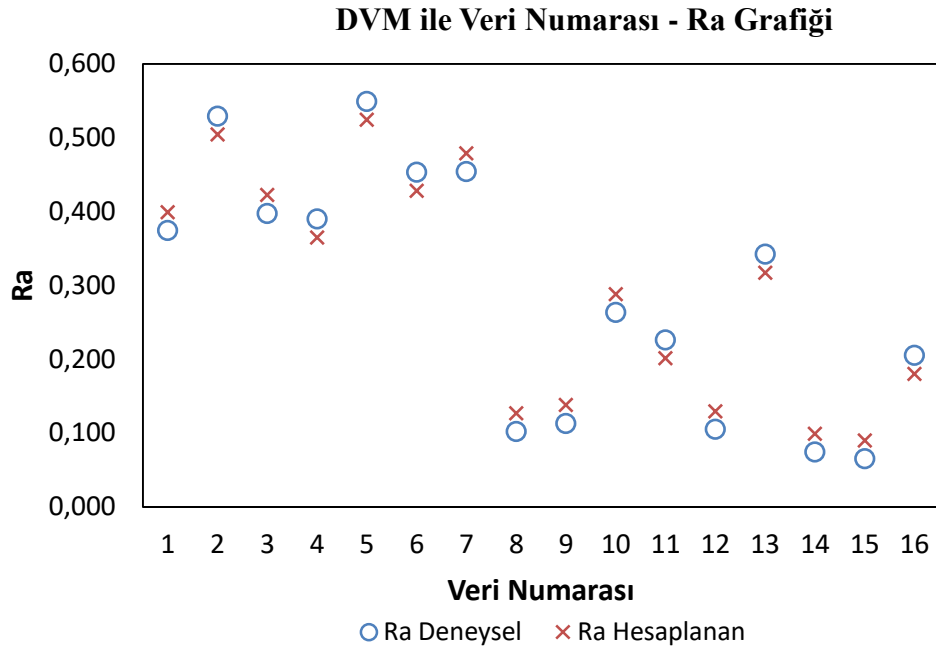
Şekil 4. 8. Veri tablosundaki Ra değerleri ile hesaplanan Ra değerlerinin karşılaştırması (ÇLR)

Destek vektör makineleri yöntemi (DVM) ile hesaplanan Ra değerleri ile deneysel Ra değerlerinin karşılaştırması ise Şekil 4. 6'da verilmiştir. Deneysel veriler ile hesaplanan değerler arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi için orijinden geçecek şekilde çizilen doğrunun R^2 değerinin 0,97'ye yakın değer olduğu görülmektedir. Veri setindeki her bir deneysel Ra değerine karşılık gelen hesaplanan Ra değerlerinin grafiği Şekil 4.7'de görülmektedir. Deneysel olarak belirlenen ve DVM yöntemiyle hesaplanan Ra değerlerinin uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

DVM Kullanılarak Deneysel - Hesaplanan Ra Grafiği



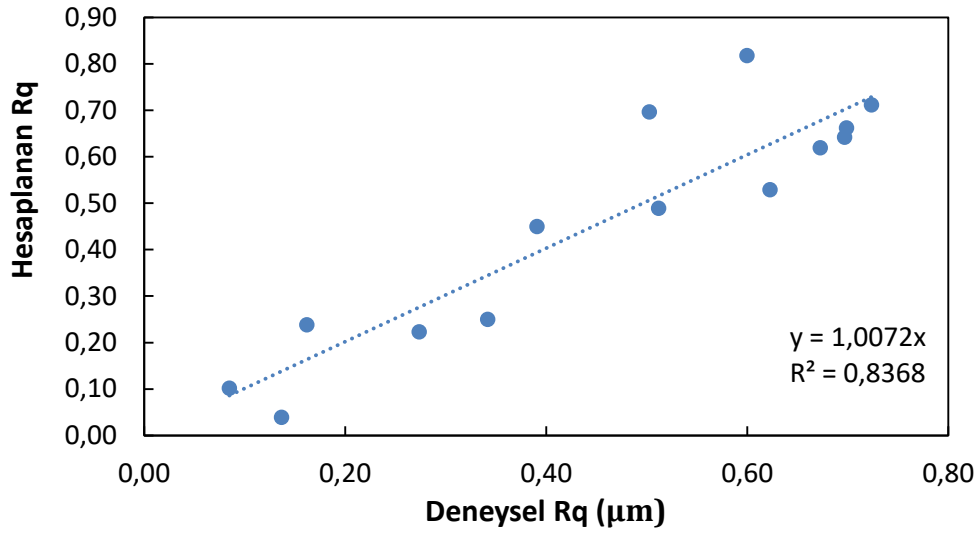
Şekil 4. 9. DVM kullanılarak hesaplanan Ra ile deneysel Ra değerlerinin karşılaştırması



Şekil 4. 10. Veri tablosundaki Ra değerleri ile hesaplanan Ra değerlerinin karşılaştırılması

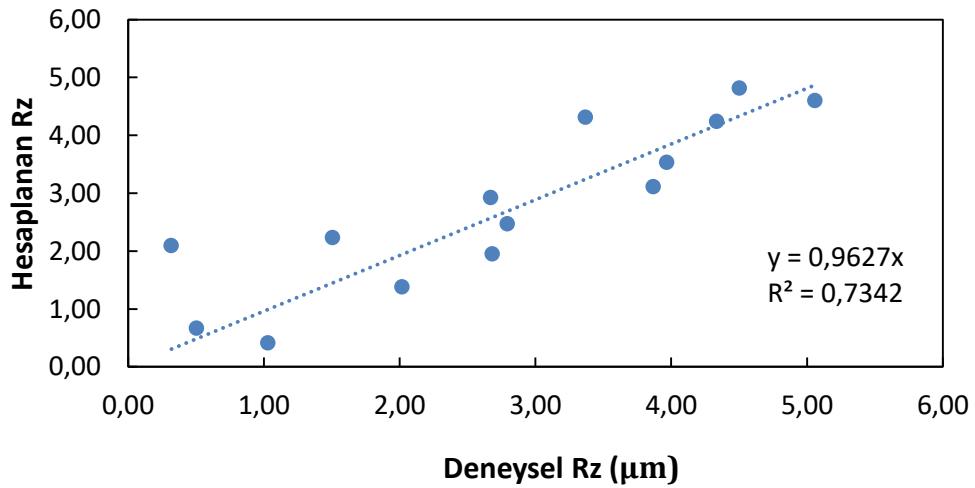
Rq ve Rz değerleri de benzer biçimde ÇLR yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Rq ve Rz için hesaplanan değerler ile deneysel değerleri içeren karşılaştırma grafikleri sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görülmektedir. Rq için hesaplanan ve deneysel sonuçlar arasındaki ilişki incelendiğinde R^2 değerinin 0,83 olduğu görülmüştür. Rz değeri için hesaplanan değerler ile deneysel değerler arasında çizilen grafikte orijinden geçen doğrunun R^2 değerinin 0,73 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, ÇLR yöntemi ile Rq ve Rz için hesaplanan değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişkinin Ra parametresindeki kadar güçlü olmadığı R^2 değerlerinin kıyaslaması ile tespit edilmiştir.

ÇLR Kullanılarak Deneysel - Hesaplanan Rq Grafiği



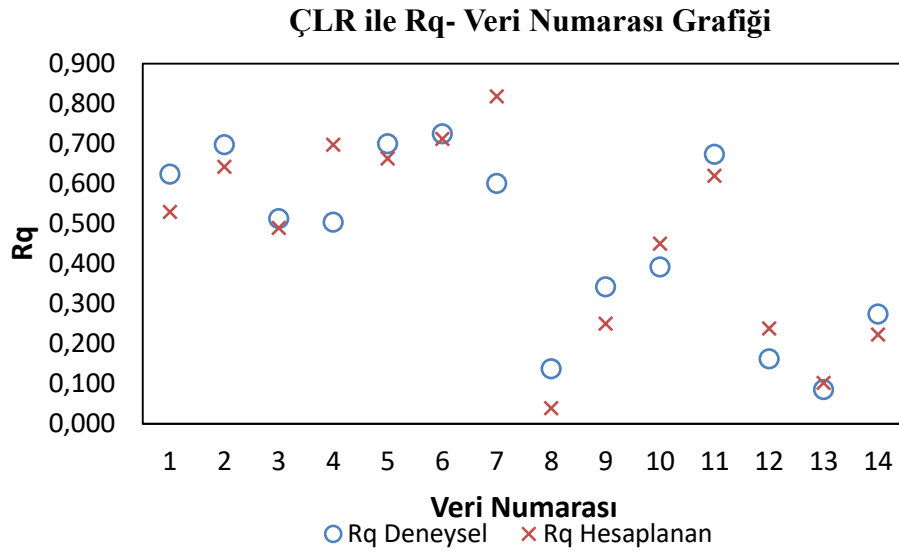
Şekil 4. 11. ÇLR kullanılarak hesaplanan Rq ile deneysel Rq değerlerinin karşılaştırması

ÇLR Kullanılarak Deneysel-Hesaplanan Rz Grafiği

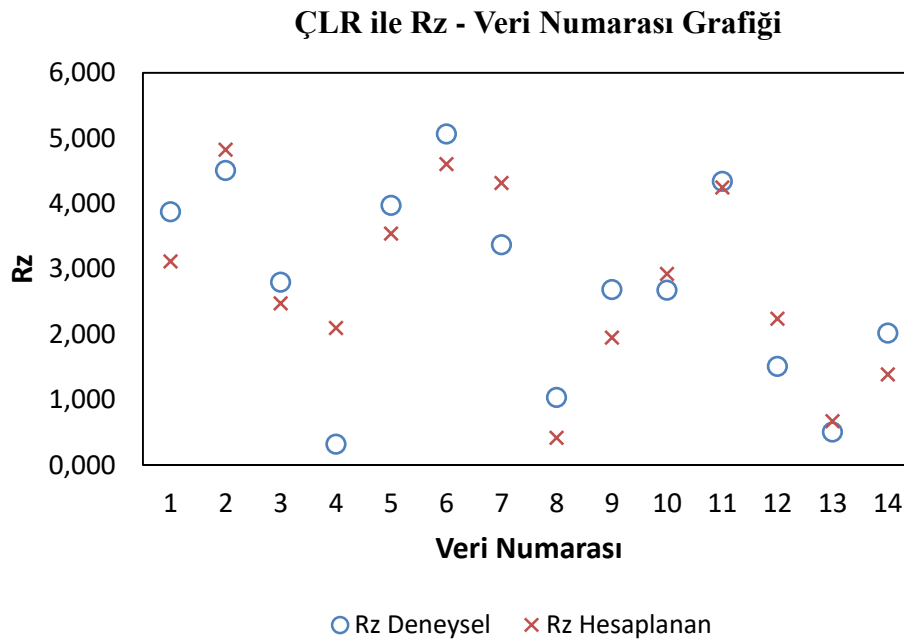


Şekil 4. 12. ÇLR kullanılarak hesaplanan Rz ile deneysel Rz değerlerinin karşılaştırması

Veri setinde ki her bir Rq ve Rz için hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin detaylı karşılaştırmaları sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Bu grafiklerde Rq ve Rz için hesaplanan değerler ile deneysel değerler arasında belirgin farklılıklar olsa da geneli incelendiğinde benzer eğilimler sergilediği görülmektedir.



Şekil 4. 13. Veri tablosundaki Rq değerleri ile hesaplanan Rq değerlerinin karşılaştırılması

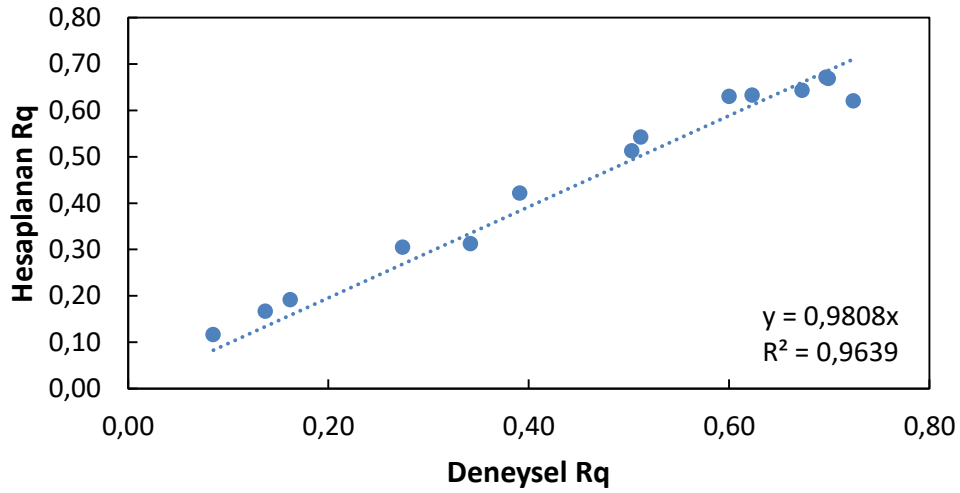


Şekil 4. 14. Veri tablosundaki Rz değerleri ile hesaplanan Rz değerlerinin karşılaştırılması

Rq ve Rz değerleri için DVM kullanılarak hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin karşılaştırma grafikleri sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Rq için hesaplanan değerler de; sapmalar görülmesine rağmen büyük bir kısmının

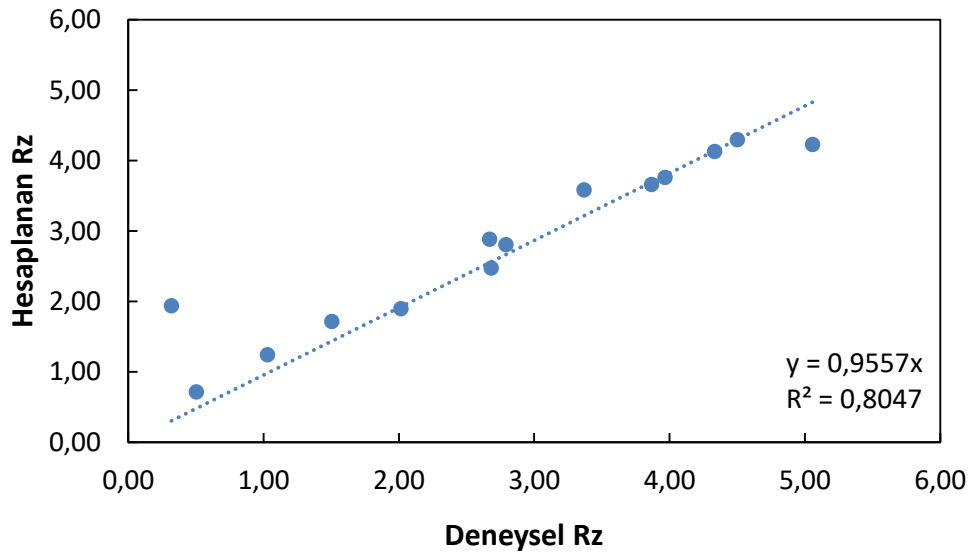
deneysel veriler ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Rz için hesaplanan değerlerin Şekil 4.13'te de görüldüğü gibi deneysel veriler ile uyum içinde olduğu söylenebilir. Rq ve Rz için R^2 değerleri sırasıyla 0,96 ve 0,80'dir.

DVM ile Deneysel - Hesaplanan Rq Grafiği



Şekil 4. 15. DVM kullanılarak hesaplanan Rq ile deneysel Rq değerlerinin karşılaştırması

DVM ile Deneysel - Hesaplanan Rz Grafiği



Şekil 4. 16. DVM kullanılarak hesaplanan Rz ile deneysel Rz değerlerinin karşılaştırması

Çizelge 4. 6. Ra, Rq, Rz'nin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ve hata değerleri

Hata Tanımı	Ra		Rq		Rz	
	ÇLR	DVM	ÇLR	DVM	ÇLR	DVM
MSE	0,001	0,001	0,009	0,001	0,511	0,269
RMSE	0,026	0,024	0,097	0,038	0,715	0,518
MAE	0,023	0,025	0,077	0,032	0,587	0,334
MAPE	12,364	13,774	25,576	10,408	60,948	46,273

Yapılan çalışma kapsamında ÇLR ve DVM yöntemleri Ra, Rq ve Rz değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu başarının sayısal olarak değerlendirilmesi için; her iki yöntem için ortalama hata kare (MSE), karekök ortalama hata kare (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) terimleri hesaplanarak Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde DVM yönteminin daha küçük hata değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ra ve Rq yaklaşık %10'luk bir hata payı ile hesaplanabilirken, Rz değerinin hesaplanmasında %34 - 47 gibi yüksek hata değerleri görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1935 yılından itibaren Paşabahçe cam Fabrikası ile ülkemizde üretilmeye başlayan cam, işlenmiş camlar başta olmak üzere ev eşyalarının yanı sıra ileri teknoloji ürünlerinin yer aldığı otomotiv, inşaat, ambalaj ve elyaf sanayinde de büyük önem arz etmektedir. Sunulan bu tezde 1 milyar doların üzerinde ihracat payına sahip olan cam sektörü için nihai ürün şekillendirilmesinde önemli bir yere sahip olan ve cama son şeklinin verilerek kenar pürüzlerini ortadan kaldıran parlatma keçeleri üretimi ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar 0768.STZ.2014 numaralı 296000 TL bütçeli “Cam Parlatma Keçeleri İçin Polimer Matrisli Kompozitlerin Geliştirilmesi” isimli proje ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde ülkemizde üretilmeyen cam parlatma keçeleri ilk defa başarı ile üretilmiş ve ticari olarak da uygulamaya konulmuştur. Çalışmalarda ilk önce ithal edilen parlatma keçelerinde bağlayıcı ve dolgu malzemesi karakterizasyonu FTIR, DSC-TGA ve SEM-EDS analizleri ile gerçekleştirilmiştir.

Parlatma ve temizleme için farklı tane boyutlarında ve farklı şekil faktörlerine sahip Alümina, silisyum karbürlerin aşındırıcı malzeme olarak kullanılabileceğine karar verilmiştir.

Bu sonuçlara göre;

Parlatma keçelerinde kullanılan bağlayıcı polimerlerin poliüretan olabileceği ve Shore D sertliğinin 45 ile 70 arasında olması gerektiği tespit edilmiştir.

Kullanılan izosiyanatın cinsi (MDI-TDI gibi) ile kullanılan poliolün monomer oranı ya da poliol tipi (polieter poliol ya da polyester poliol) bu sertliği değiştirmektedir. Bu sebeple farklı ticari ürünlerde farklı oranlar kullanılabilir.

Keçelerin uygulandığı yüzeylerdeki çalışma mekanizmasının iki aşamada çalıştığı tespit edilmiştir. Buna göre birinci kısım çapak alma olarak ikinci kısım da parlatma olarak açıklanabilir. Birinci kısım için tane boyutunun büyük olması gerekmektedir. Alüminanın bu işlem basamağında uygun sonuçlar verdiği aşındırıcı SEM görüntülerinden de gözlemlenmiştir. İkinci işlemde de tane boyutunun küçük olması istenmektedir. Dolayısıyla tane boyutunun nihai ürününe göre optimize edilmesi gerekmektedir, SiC’ler bu işlem basamağında önemli yere sahiptirler.

Kullanılan aşındırıcı cinslerinin yanında aşındırıcıların şekil faktörünün (keskin köşeli ya da yumuşak kenarlı) de önemli olduğu tespit edilmiştir.

Cam parlatma keçeleri rodaj makinesinde seri olarak üç farklı tipte bağlandığından yüksek Ra değeri pah kırma kısmına takılarak ve düşük Ra değeri veren ürünleri ise son parlatma kısmına takılarak uygulanması daha verimli ve uygundur.

Sistem modellemesinde ÇLR ve DVM yöntemleri Ra, Rq ve Rz değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Yukarıda anlatılan bağımsız parametrelerin bu kadar çeşitli ve çok olduğu bu sistem için yapılan ön çalışmalarda yapay sinir ağı modelleme sonuçlarında kabul edilebilir bir sonuç elde edilememiştir bu sebeple tezde yer verilmemiştir. Bunun muhtemel sebebi YSA için yeteri kadar veri setinin sağlanamamasıdır. Bütün parametreler hesaba katıldığında yaklaşık 30000'den fazla deney çıkmaktadır ki bunun konvansiyonel sistemle gerçekleştirilmesi gerçeklikten çok uzaktır. ÇLR ve DVM yöntemi ile bu başarının sayısal olarak değerlendirilmesi için; her iki yöntem için ortalama hata kare (MSE), karekök ortalama hata kare (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) terimlerine göre DVM yönteminin daha küçük hata değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ÇLR yöntemi ile Rq ve Rz için hesaplanan değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişkinin Ra parametresindeki kadar güçlü olmadığı tespit edilmiştir.

Cam parlatma keçelerinin takıldığı ve cama uygulandığı rodaj makinesinde keçenin kompozisyonunun yanında cam besleme hızının, keçe basıncının, daha önce uygulanan pah kırma işlemi ve pah kırmada kullanılan malzeme cinsinin de önemli olduğu tespit edilmiştir. İnsan faktörünün devreye girdiği ve birçok farklı seviyede değişik parametrelerin olduğu bu sistemin bir “süreç” ten ibaret olduğu tespit edildiğinden bu aşamadan sonraki işlemlerde daha da verimlilik istendiğinde “Süreç” optimizasyonuna gidilmelidir.

Cam kenarı işleme makinelerde kullanılan aşındırıcılı profil diskleri yurdumuzda üretilmektedir. Ancak, profil disklerinin tamamlayıcısı konumunda olan parlatma keçeleri yurdumuzda üretilmemekte olup, özellikle İtalya ve uzak doğudan ithal edilerek cam sektöründe yüksek miktarlarda tüketilen bu ürünlerde dışa bağımlılık bulunmaktadır. Bu sebeple, önerilen proje ve gerçekleştirilen tez kapsamında cam parlatma keçeleri için polimer matrisli kompozit malzeme üretimi

gerçekleştirilmiştir. Halihazırda dünya cam sektöründe ticari ürün olarak kullanılmakta olan cam parlatma keçelerinin malzeme özellikleri ve performansları karşılaştırılarak üretilen cam parlatma keçesini ithal ürünlere muadil olduğu belirlenmiştir. Proje sayesinde üretimi gerçekleştirilen cam parlatma keçeleri halihazırda ticari olarak üretilmeye ve yerli farklı firmalarca kullanılmaya başlanmıştır. SANTEZ proje ortağı firma ile yapılan “Gizlilik ve Hak Mülkiyeti Anlaşması” gereği söz konusu tezde optimum sonuçlar konulmamıştır ticari ürün olduğu için reçete hakkı Etkä Sentez A.Ş.’de mahfuzdur.



KAYNAKLAR

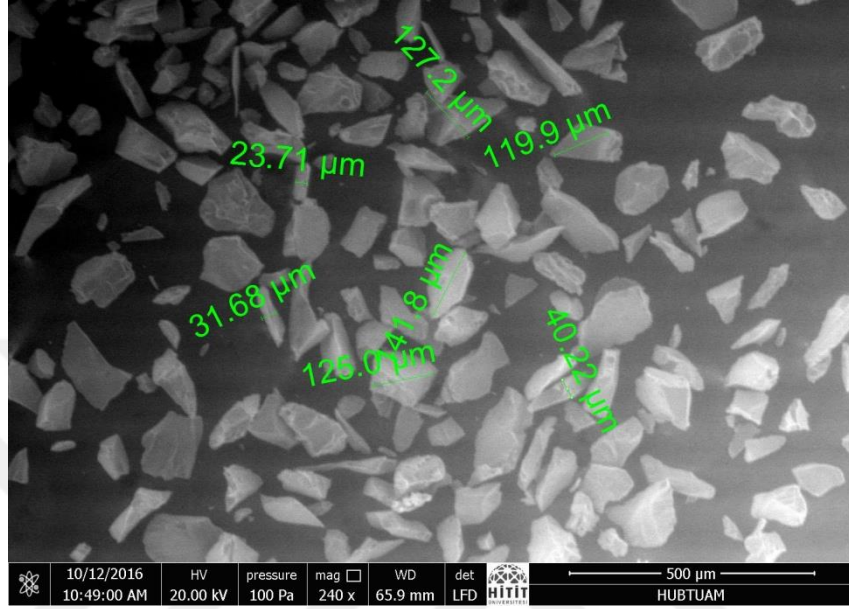
- Açıklan.E., 2011. Preparation Of Waterborne Polyurethane-omt Nanocomposites.
- Akbulut, H., Durman, M., Yılmaz, F., 1993. SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1183-1194.
- Altıntaş, A., 1946. Organik Kimya-Polimerler, Ankara.
- Anonim,1988. Polymer Matrix Composites, chapter 3,
- Arıcasoy O., 2006. Kompozit Sektör Raporu , İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.
Basma Özellikleri. Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 1, 153-159s
- Bayram. A., Yazıcı. M., 1995. Partikül Takviyeli Polyester Kompozitlerin Eğilme ve
- Belkhir, N., Bouzid, D., Herold, V., 2009.Wear behavior of the abrasive grains used in optical glass polishing. Journal of Materials Processing Technology, 209(20).
- Brown, NJ., Cook, LM., 1984. The role of abrasion in the optical polishing of metals and glasses. In: The science of polishing topical meeting.
- Byrne, G., Mullany, B., Young, P. 1999. The effect of pad wear on the chemical mechanical polishing of silicon wafers.
- Cam Elyaf, 1997, Bülten Sayı 6, Cam Elyaf Sanayi A.Ş.
Characterization.
- Chen, I.W., 2000. Low Temperature Processing and Kinetics of Ceramics and Ceramic Matrix Composites with Large Interfacial Areas. Department of Energy, Basic Energy Sciences, Final Technical Report, Philadelphia, USA.
Company, Journal of Protective Coatings & Linings, 89p-109p
- Composite Materials Handbook Volume 3. Polymer Matrix Composites Materials
- Cook, L.M., J. Non- Cryst., 1990. Solids Chemical Process in Glass Polishing.
- Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gökmen. U., Türker M., 2012. Effect of Al₂O₃ addition on the foamability behaviour of Aluminum and alumix 231 based metallic foam.
- Gül.F., Şenel. L., 2010. Effect of Reinforcement Particle Size on the Abrasive Wear
- Hiemenz P.C., 1984.Polymer Chemistry, TheBasic Concept, Marcel Dekker Inc., NewYork.

- Hiemenz P.C., 1984. Polymer Chemistry, The Basic Concept, Marcel Dekker Inc.
- Hooper, B.J., Byrne, G., Galligan, S., 2002. Pad conditioning in chemical mechanical polishing. J Mater Process Tech.
<http://www.princeton.edu/~ota/disk2/1988/8801/880106.PDF>- 73-93p
- Isumitani, T and Harada, S., 1971. Polishing Mechanism of Optimal Glasses, Glass Technology.
- Kalaycıoğlu. A., 2010. SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kaller, A., 1991. On the Polishing of Glass, Particularly the Precision Polishing of Optical Surfaces.
- Karaaslan, H., 2007. Helikopter Rotor Palalarında Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lindqvist, M., 2013. Structural Glass Strength Prediction Based on Edge Flaw
- Lubin, G., 1982. Handbook of Composites.
- Mc Grath J, Davis C. Polishing pad surface characterisation in chemical mechanical planarisation. Journal of Materials Processing Technology 2004;153–154:666–73.
 New York.
- Nicholson J.W., 2006. The Chemistry of Polymers, Third Edition, RCS Publishing, UK.
 of Al-Si Composites Reinforced with SiO₂.
- Oguocha, I., 1999. Characterization of aluminum alloy 2618 and its composites containing alumina particles, Ph.D. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Olçay Y., Akyol M., Gemci R., 2002, Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Cilt 7, Sayı 1, Bursa.

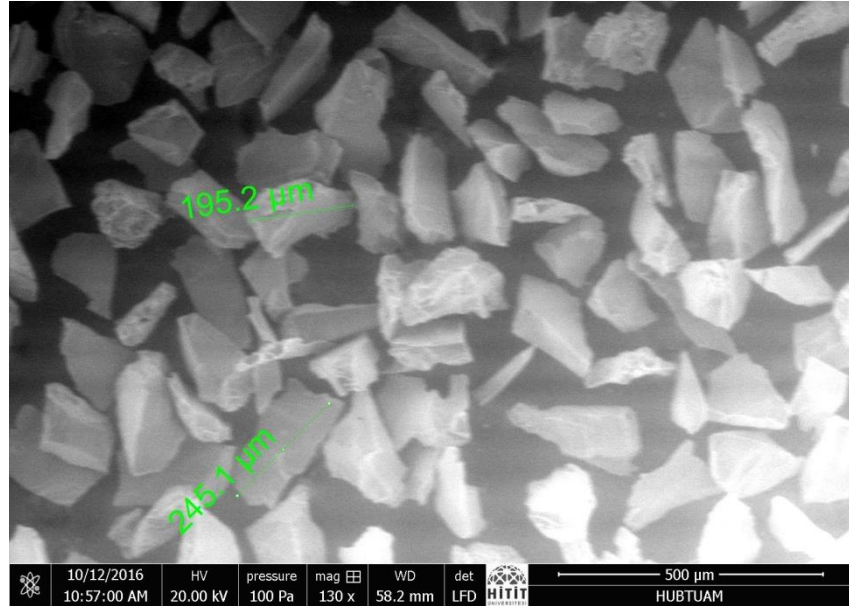
- Ögel, B., 1997. Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 11-15. Haz. 1997, İstanbul, 639-649.
- Önel, K., 1995. Süreksiz SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitler (1 bölüm), Metalurji Dergisi, Ankara,46-53.
- Preston, FW., 1927. The theory and design of plate glass polishing machines. J Soc Glass Tech.
- Saçak. M., 1998. Polimer Kimyasına Giriş. A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.
- Solmaz, M., Muratoğlu, M., Eroğlu, M., 2011. Investigation of Abrasive Wear Behavior of Polyester Composites Reinforced With Al₂O₃ Particles.
- Şahin, Y., 2004. Silisyum Karbür Takviyeli Al-Si Matrisli Kompozit Malzemelerin Mikro yapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin, Y., Wear behavior of Al-Al₂O₃ reinforced composites, Advanced Materials Research, 308-310, 1577-1581,(2011).
- Şahin. Y., Introduction to Composite Materials, 2nd ed., Seçkin Publication, Ankara, (2006).
- Tateishi, T., Gao, Q., Tani, Y., Yanagihara, K., Sato, H., 2006. Development of a high-porosity fixed-abrasive pad utilizing catalytic effects of TiO₂ on polyurethane matrix.
- Thomas, M. Study of the Evolution of the Dent Depth Due to Impact on Carbon/Epoxy Laminates, Consequences on Impact Damage Visibility and on in Service Inspection Requirements for Civil Aircraft Composite Structures, presented at MIL-HDBK 17 meeting, March 1994, Monterey, CA. Usage, Design, and Analysis, 2002.
- Trovati, G.,Sanches, E., Characterization of Polyurethane Resins by FTIR, TGA, and XRD, 2009
- Whitehead, R. S., Certification of Primary Composite Aircraft Structures, ICAF Conference, Ottawa, Canada, 1987.
- William R., 1996. Polyester and Vinyl Ester Coatings, Technology Publishing

EKLER

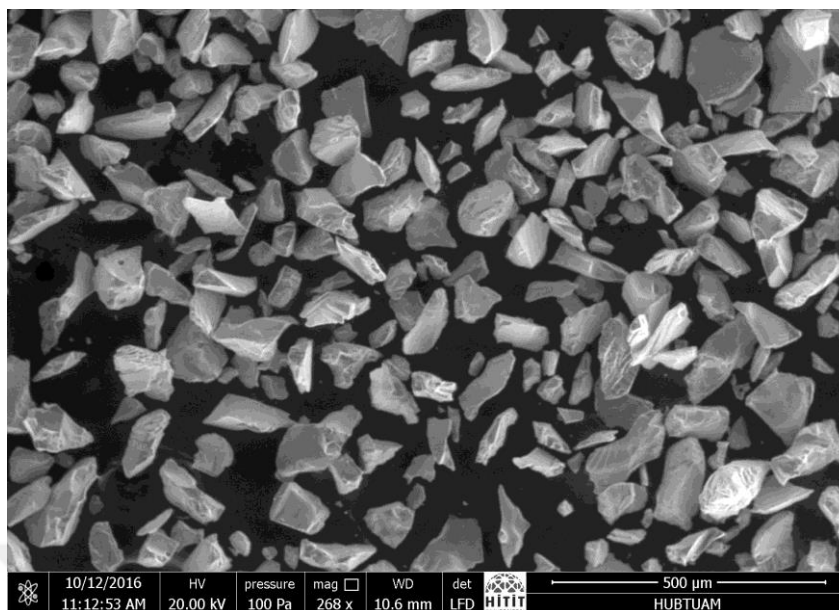
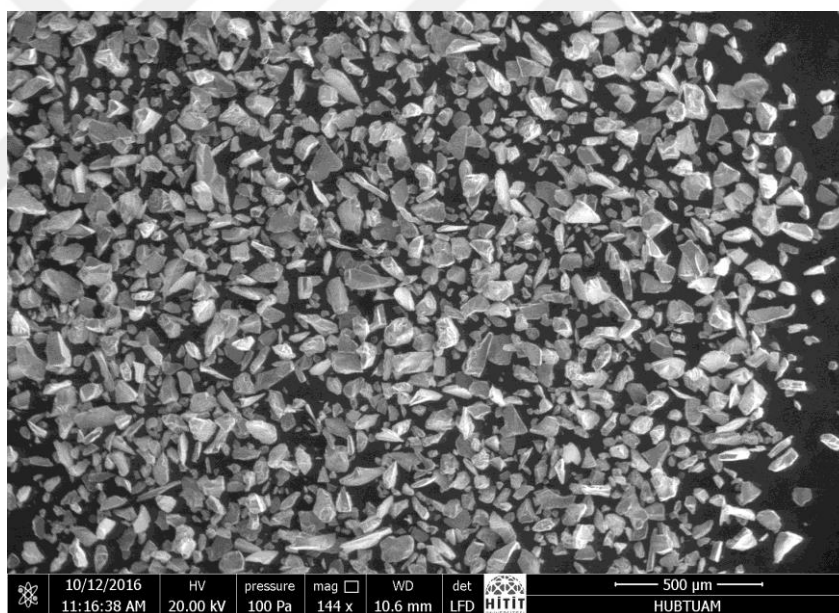
EK 1 - Aşındırıcılara ait SEM görüntüleri

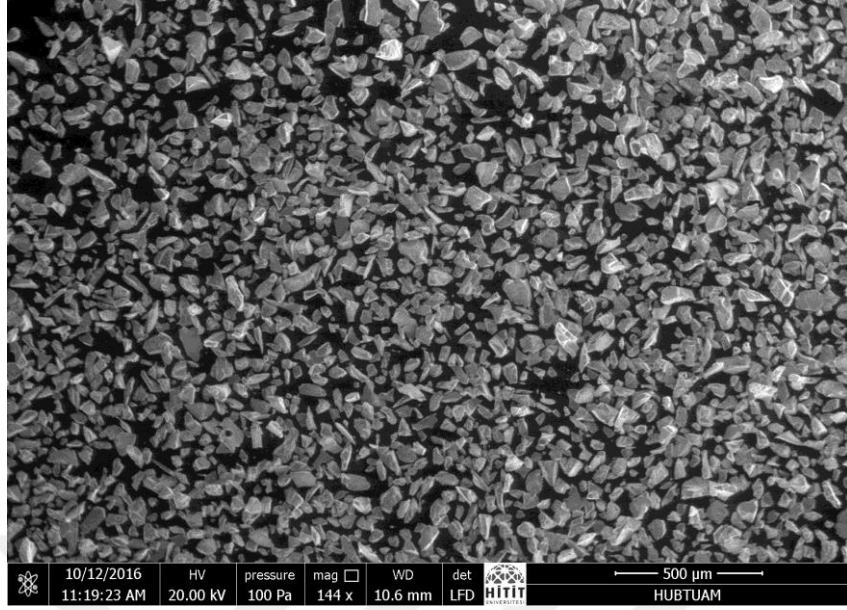


a

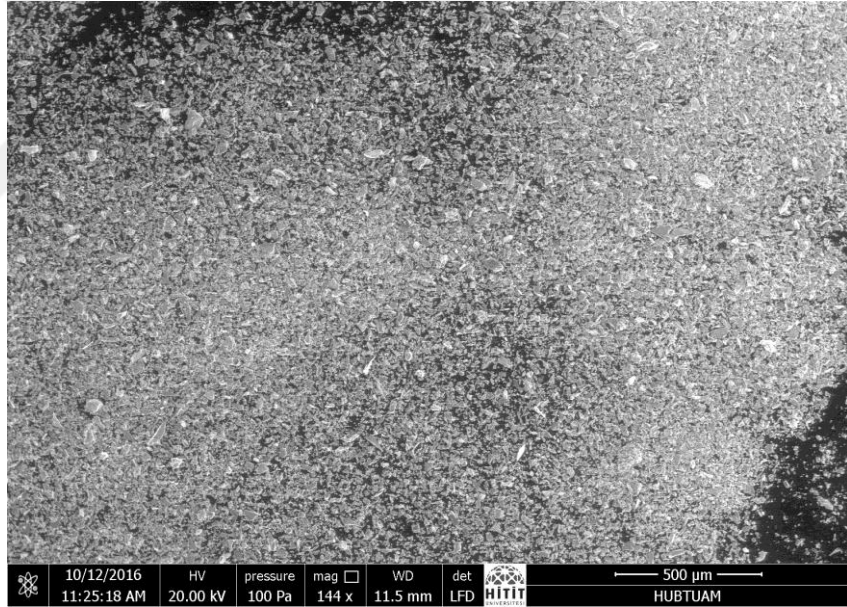


b

**c****d**

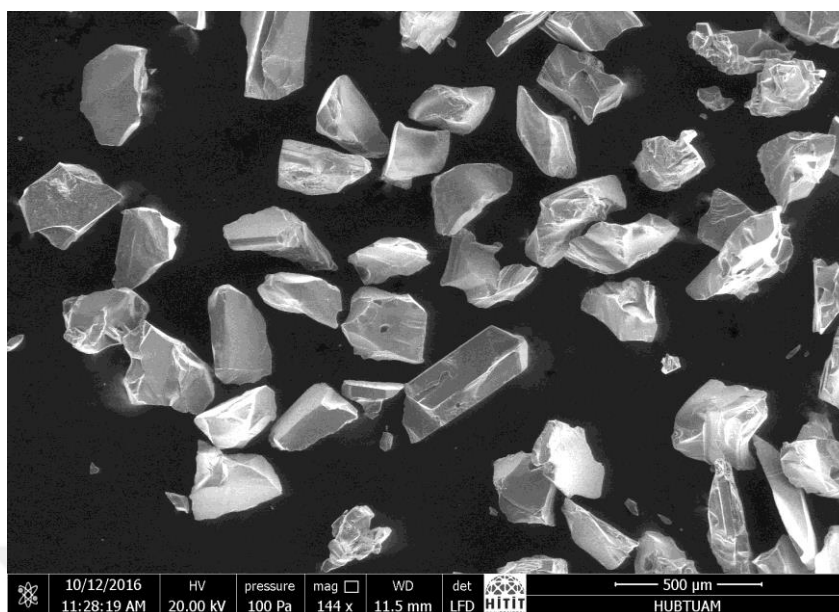
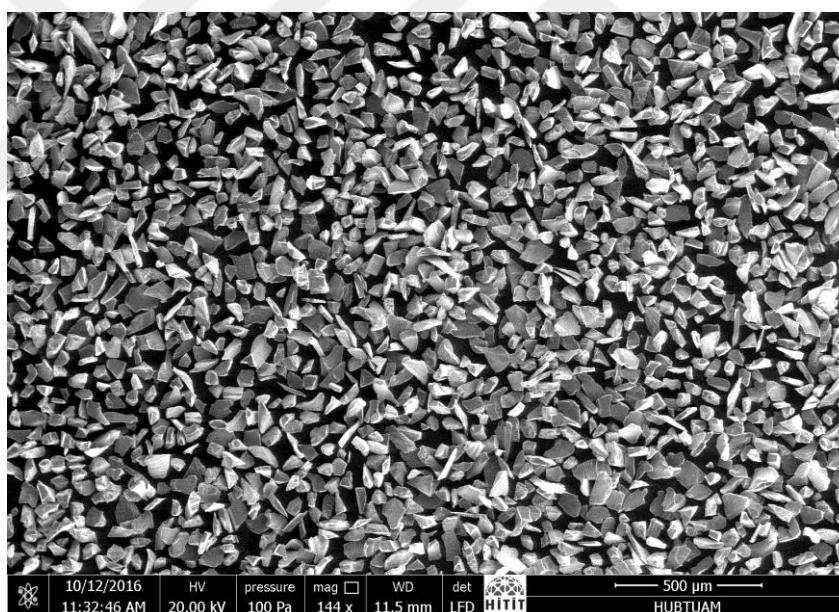


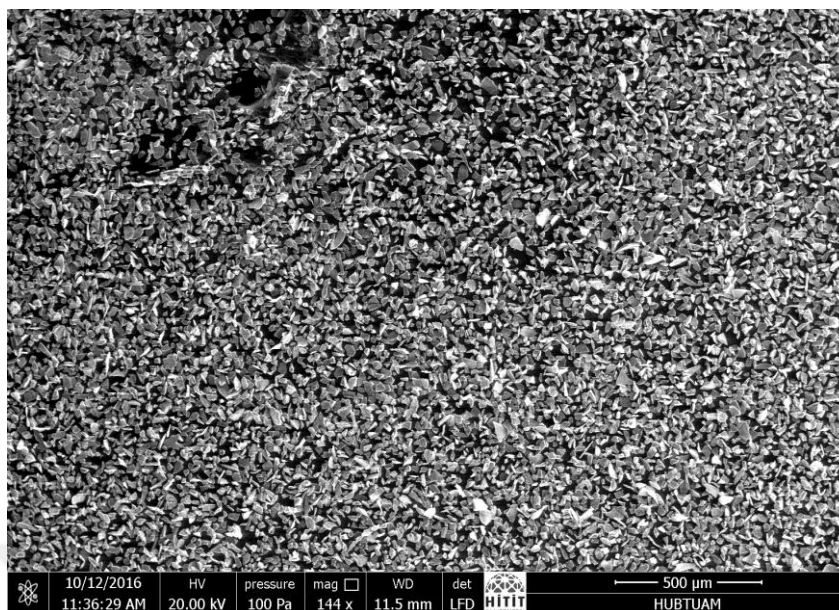
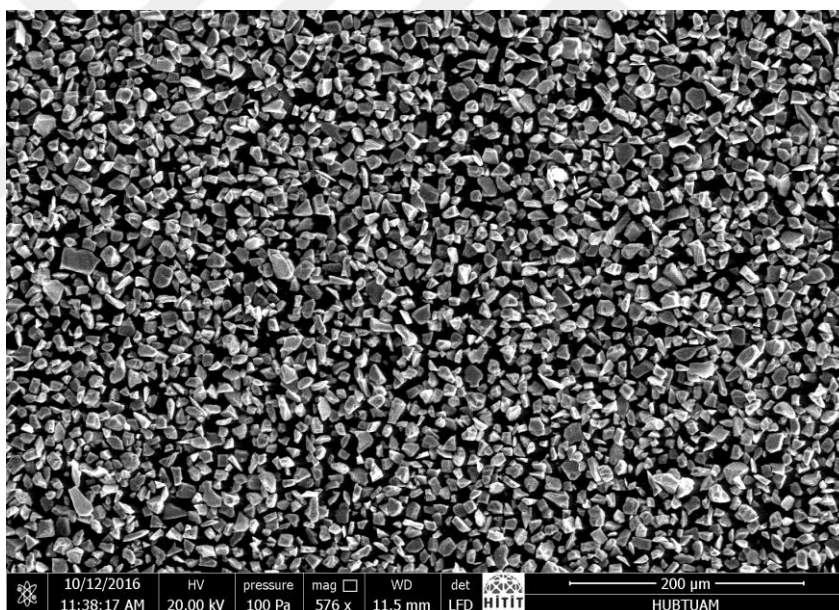
e

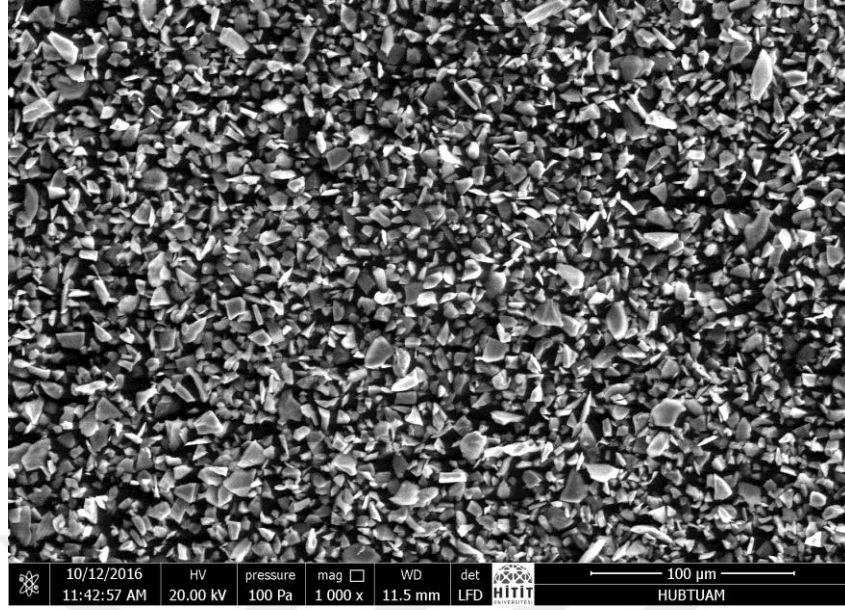


f

Resim 1.1. Al₂O₃'lerin SEM görüntüleri. a)Al₂O₃ 60 kum, b)Al₂O₃ 120 kum, c)Al₂O₃ 180kum, d)Al₂O₃ 220 kum, e)240 kum f) Al₂O₃ 600 kum

**a****b**

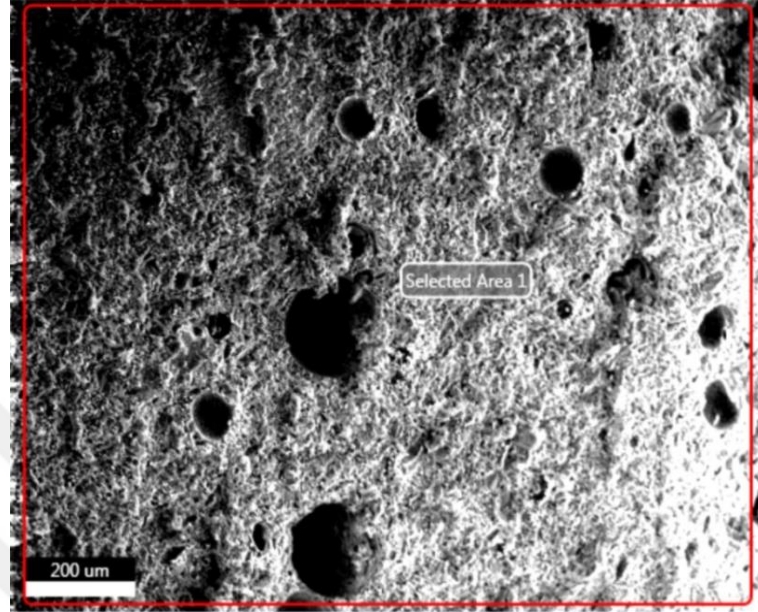
**c****d**



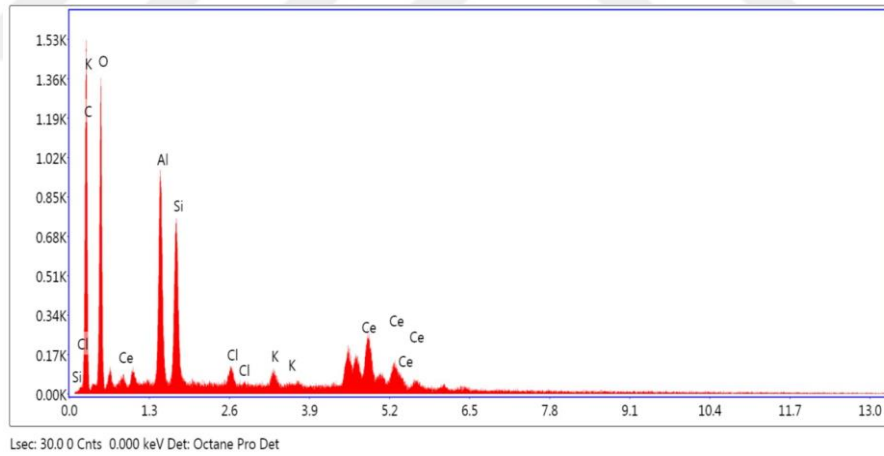
e

Resim 1. 2. SiC'lerin SEM görüntüleri. a)SiC 80 kum, b)SiC 240 kum-2, c)SiC 400 kum-1, d) SiC 600 kum e),SiC 800 kum

EK 2 - Hazırlanan cam parlatma keçelerine ait SEM – EDS sonuçları

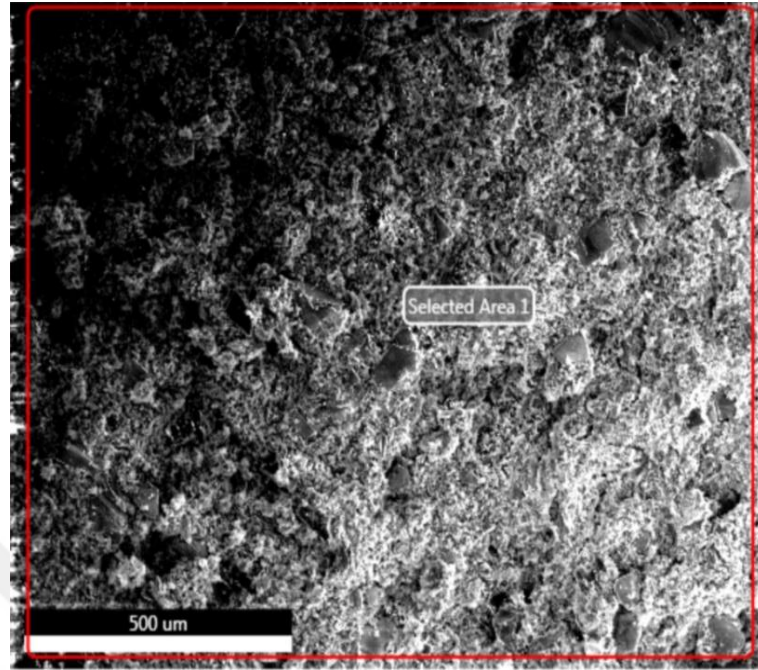


Resim 2. 1. K2 cam parlatma keçesine ait SEM görüntüsü

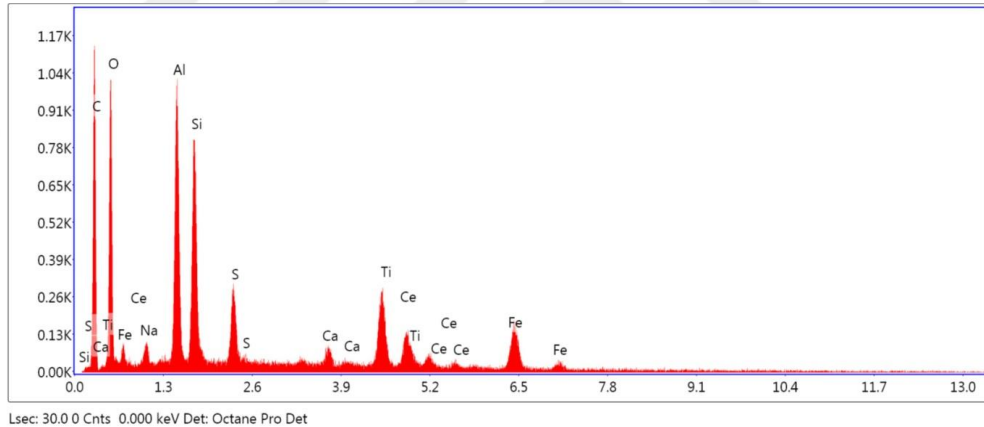


Çizelge 2. 1. K2 cam parlatma keçesine ait EDS sonuçları

Bileşen	% Ağırlık
CO ₂	77.52
Al ₂ O ₃	6.56
SiO ₂	5.11
Cl ₂ O	0.41
K ₂ O	0.46
Ce ₂ O ₃	9.95

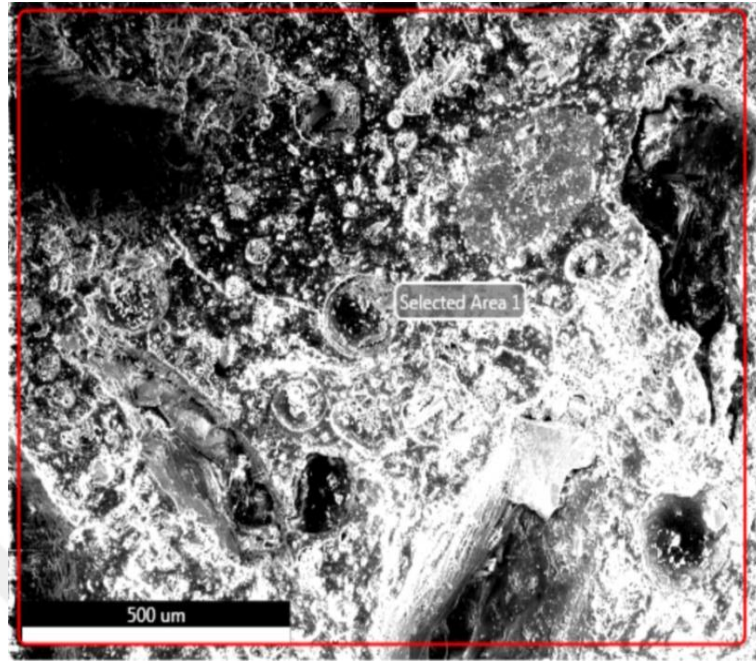


Resim 2.2. K5 cam parlatma keçesine ait SEM görüntüsü

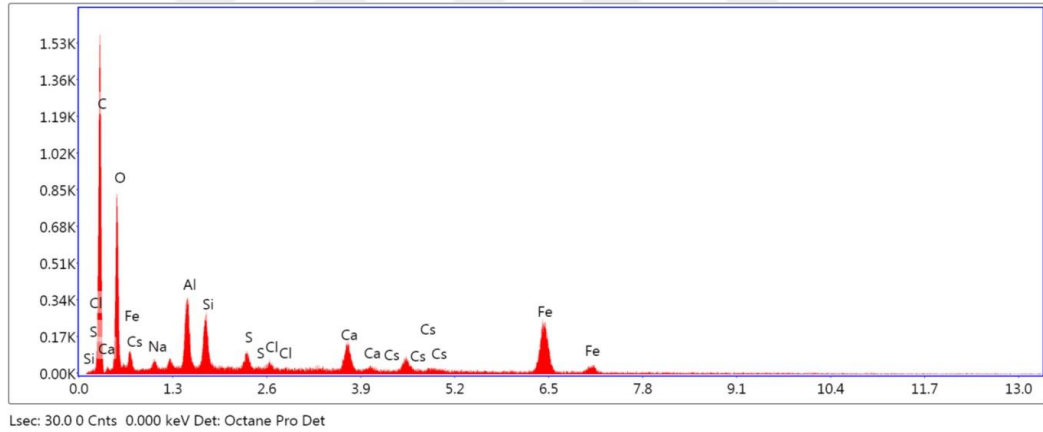


Çizelge 2.2. K5 cam parlatma keçesine ait EDS sonuçları

Bileşen	% Ağırlık
CK	41.30
OK	29.35
NaK	0.94
AlK	6.50
SiK	5.14
SK	1.88
CaK	0.68
TiK	4.35
CeL	4.54
FeK	5.31



Resim 2.3. K8 cam parlatma keçesine ait SEM görüntüsü



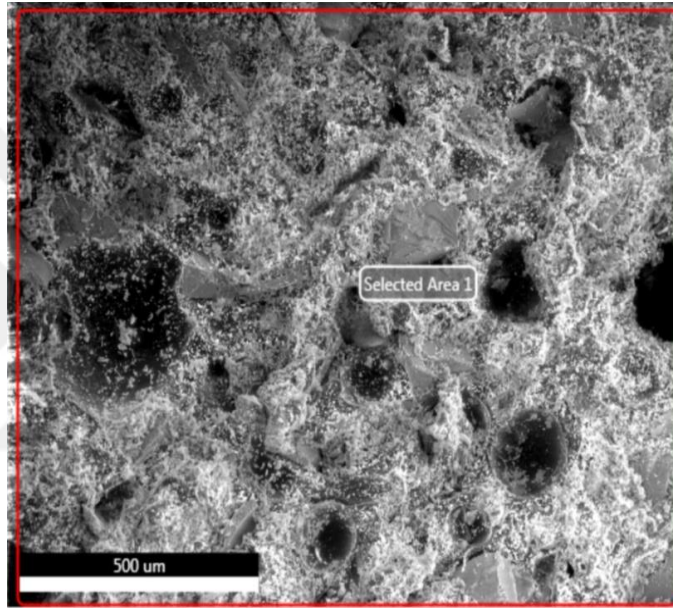
Çizelge 2. 3. K8 cam parlatma keçesine ait EDS sonuçları

Bileşen	% Ağırlık
CO ₂	89.21
Na ₂ O	0.13
Al ₂ O ₃	2.14
SiO ₂	1.34
SO ₃	0.19
CaO	0.85
Cs ₂ O	0.01
Fe ₂ O ₃	6.13

EK 3 - Ticari cam parlatma keçelerine ait SEM-EDS sonuçları



Resim 3 1. Ticari 120K cam parlatma keçesi görüntüsü



Resim 3. 2. Ticari 120K cam parlatma keçesi SEM görüntüsü

Çizelge 3. 1. Ticari 120K cam parlatma keçesi EDS sonuçları

Bileşen	% Ağırlık
CK	45.09
OK	24.37
AlK	7.65
SiK	0.47
ClK	0.84
CaK	0.37
CeL	7.77
FeK	13.45

Ticari 120K cam parlatma keçesinde 120 mesh alüminyum oksit ve seryumlar büyük önem taşımaktadır. Kullanılan aşındırıcıların ortalama tanecik boyutları 120 meshtir. Keenin yapısı incelendiğinde seryumların yuvarlak yapıya sahip oldukları ve daha çok cam yüzeyini parlatmada etkili oldukları görülmüştür. Shore A değeri; 96,3. Shore D değeri; 52,04 tür.



EK 4 - Regresyon verileri

Çizelge 4. 1. Ra' ya ait değerler

Ra Deneysel	Ra Hesaplanan	Hata	Mutlak Hata	Hata Karesi	Mutlak Yüzde Hata
0,374	0,362	0,012	0,012	0,00013	3,093
0,529	0,525	0,004	0,004	0,00002	0,818
0,397	0,407	-0,010	0,010	0,00010	2,458
0,390	0,421	-0,031	0,031	0,00097	8,006
0,549	0,526	0,023	0,023	0,00053	4,196
0,453	0,433	0,020	0,020	0,00040	4,395
0,454	0,491	-0,037	0,037	0,00134	8,071
0,102	0,079	0,023	0,023	0,00055	22,921
0,113	0,076	0,037	0,037	0,00139	32,997
0,263	0,296	-0,033	0,033	0,00110	12,588
0,342	0,299	0,043	0,043	0,00189	12,710
0,074	0,103	-0,029	0,029	0,00084	39,076
0,065	0,079	-0,014	0,014	0,00020	21,838
0,205	0,205	0,000	0,000	0,00000	0,005

Ortalama Hata Kare (MSE)	0,00068
Karekök Ortalama Hata Kare (RMSE)	0,02598
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0,023
Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)	12,369

Çizelge 4. 2. Rq' ya ait değerler

Rq Deneysel	Rq Hesaplanan	Hata	Mutlak Hata	Hata Karesi	Mutlak Yüzde Hata
0,623	0,529	0,094	0,094	0,00887	15,119
0,697	0,642	0,055	0,055	0,00303	7,902
0,512	0,489	0,023	0,023	0,00053	4,487
0,503	0,697	-0,194	0,194	0,03746	38,478
0,699	0,662	0,037	0,037	0,00135	5,254
0,724	0,712	0,012	0,012	0,00015	1,717
0,600	0,818	-0,218	0,218	0,04750	36,326
0,137	0,039	0,098	0,098	0,00967	71,795
0,342	0,250	0,092	0,092	0,00848	26,924
0,391	0,450	-0,059	0,059	0,00343	14,986
0,673	0,619	0,054	0,054	0,00292	8,028
0,162	0,238	-0,076	0,076	0,00573	46,722
0,085	0,102	-0,017	0,017	0,00028	19,641
0,274	0,223	0,051	0,051	0,00262	18,687

Ortalama Hata Kare (MSE)	0,00943
Karekök Ortalama Hata Kare (RMSE)	0,09711
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0,077
Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)	22,576

Çizelge 4. 3. Rz'ye ait değerler

Rz Deneysel	Rz Hesaplanan	Hata	Mutlak Hata	Hata Karesi	Mutlak Yüzde Hata
3,869	3,113	0,756	0,756	0,57198	19,547
4,503	4,820	-0,317	0,317	0,10030	7,033
2,793	2,471	0,322	0,322	0,10352	11,520
0,319	2,094	-1,775	1,775	3,14950	556,327
3,967	3,536	0,431	0,431	0,18550	10,857
5,059	4,600	0,459	0,459	0,21027	9,064
3,369	4,312	-0,943	0,943	0,88971	27,998
1,030	0,416	0,614	0,614	0,37755	59,655
2,682	1,950	0,732	0,732	0,53624	27,304
2,671	2,923	-0,252	0,252	0,06368	9,448
4,334	4,243	0,091	0,091	0,00819	2,088
1,506	2,235	-0,729	0,729	0,53189	48,427
0,505	0,669	-0,164	0,164	0,02705	32,567
2,017	1,383	0,634	0,634	0,40197	31,434

Ortalama Hata Kare (MSE)	0,51124
Karekök Ortalama Hata Kare (RMSE)	0,71501
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	0,587
Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)	60,948

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KÜÇÜKBENLİ, Meliha
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 21.09.1990 – Çorum/Merkez
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (541) 784 48 30
e-mail : melihaaa_1990@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği Bölümü	2014
Ön Lisans	Hitit Üniversitesi/ Kimya Bölümü	2011
Lise	Çorum Atatürk YDA Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl Yer Görev

2017- Çorum Ece Banyo Gereçleri San. Tic. A.Ş Ar-Ge ve Kimya Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (Çok İyi)