



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMELERDE
UÇUCU KÜL KULLANIMI

Zeliha AVCI

YÜKSEK LİSANS

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

ARALIK-2020
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Zeliha AVCI tarafından hazırlanan “EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMELERDE UÇUCU KÜL KULLANIMI” adlı tez çalışması 24/12/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ

.....

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

.....

Üye Üye

Doç. Dr. Ahmet Özgür SAF

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP koordinatörlüğü tarafından 191016042 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza



Zeliha AVCI

Tarih: 18.01.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMELERDE UÇUCU KÜL KULLANIMI

Zeliha AVCI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

2020, 74 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ
Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ
Doç. Dr. Ahmet Özgür SAF**

Bu tez çalışmasında ana bileşen olarak NPEL 128 ve NPEF 170 ticari kodlu epoksi reçine, uçucu kül ve modifiye edilen uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin fiziko-mekanik özellikleri, sertlik, su sorpsiyon, adhezyon ve korozyon vb. analizler yapılmıştır. Elde edilen test sonuçları kompozit malzeme üretiminde kullanılan katkı maddelerinin türü ve miktarının kompozit malzeme üzerine etkileri incelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda en yüksek çekme dayanımı NPEF 170 kodlu reçinin kullanıldığı kompozit malzemelerde %15 uçucu kül (UK) kullanımında 28 MPa, %10 modifiye uçucu kül (MUK) kullanımında 27 MPa olarak bulunmuştur. Kompozit malzemede kullanılan PEG miktarının çekme testlerini olumsuz etkileyerek çekme dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. Sertlik testlerinde en yüksek değerleri %10 UK kullanımında 85 Shore D, %20 MUK kullanımında 85 Shore D değeri olarak tespit edilmiş, %20 poli(etilen glikol) (PEG) kullanımında ise 42 Shore D en düşük sertlik değerleri olarak belirlenmiştir. Malzemeye katılan PEG oranı arttıkça sertlik değerinin düştüğü belirlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı NPEL 128 kodlu reçinenin kullanıldığı kompozit malzemelerde %5 UK kullanımında 20 MPa, %15 MUK kullanımında 23 MPa olarak bulunmuştur. Kompozit malzemelerde kullanılan PEG miktarının artmasıyla çekme dayanımının düştüğü belirlenmiştir. Sertlik testlerinde en yüksek değerleri %5 UK kullanımda 80 Shore D, %20 MUK kullanımında 84 Shore D olarak tespit edilmiş, %20 PEG kullanımında ise 51 Shore D en düşük sertlik değerleri olarak belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin tamamının genellikle farklı (asidik, bazik, tuzlu) ortamlara karşı yüksek bir korozyon dayanımına sahip olduğu, yüksek bir adhezyon kapasitesine sahip olduğu (%100) ve çok düşük oranlarda su sorpsiyon değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Epoksi reçine, kompozit, polimer, uçucu kül

ABSTRACT

MS

USING OF FLY ASH IN EPOXY COMPOSITE MATERIALS

Zeliha AVCI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Chemical Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

2020, 74 Pages

Jury

Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

Prof. Dr. Gülnare AHMETLİ

Doç. Dr. Ahmet Özgür SAF

In this thesis study, physico-mechanical properties of composite materials prepared using NPEL 128 and NPEF 170 commercially coded epoxy resin, volatile ash and modified volatile ash, hardness, water sorption, adhesion and corrosion etc. were analyzed. The results of the test examined the effects of the type and quantity of additives used in composite material production on composite material.

As a result of the analysis, the highest tensile strength was found to be 28 MPa in 15% UK use in composite materials using NPEF 170 and 27 MPa in 10% MUK usage. It has been determined that the amount of PEG used in composite material adversely affects tensile tests and lowers tensile strength. In hardness tests, the highest values were 85 Shore D for 10% UK use, 85 Shore D for 20% MUK use, and 42 Shore D as lowest hardness values when using 20% PEG. It was determined that the hardness value decreases as the PEG ratio participating in the material increases. The highest tensile strength was found to be 20 MPa for 5% UK use and 23 MPa for 15% MUK use in composite materials using NPEL 128. It has been determined that the tensile strength has fallen with the increase in the amount of PEG used in composite materials. In hardness tests, the highest values were 80 Shore D for 5% UK use, 84 Shore D for 20% MUK use, and 51 Shore D as lowest hardness values for 20% PEG use. It was determined that all composite materials generally have a high corrosion resistance to different (acidic, basic, salty) environments, have a high adhesion capacity (100%) and have very low water sorption.

Keywords: Epoxy resin, composite, polymer, fly ash

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ yönetiminde hazırlanarak, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Tez çalışmalarım esnasında bilgi, öneri ve yardımlarıyla destek olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ'ye saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle yanımda olan yüksek lisans öğrenimimde de tüm kalbiyle destekleyen bana güvenerek destek olan, annem Hatice AVCI, babam Sinan AVCI ve ablam Hacer EŞİYOK'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans aşamasında manevi desteği ile her zaman yanımda olan değerli insan Hasan Emre ÖZCEN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmama maddi destek veren Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne, ayrıca çalışmalarımı yapmam için tüm laboratuvar imkanlarını sunan Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümüne ve Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi Müdürlüğüne çok teşekkür ederim.

Zeliha AVCI
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1. Kompozit Malzemeler	2
2.1.1. Kompozit malzemenin matris türüne göre sınıflandırılması	3
2.2. Epoksi Reçine	7
2.2.1. Bisfenol Türevleri	9
2.3. Polimer Kompozit Malzemelerin Üretimi	10
2.4. Termoset Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	11
2.4.1. Prepreg	12
2.4.2. Elle Yatırma Yöntemi	13
2.4.3. Püskürtme Yöntemi	13
2.4.4. Filament Sarma Yöntemi	14
2.4.5. Sıkıştırarak Kalıplama	14
2.4.6. Reçine Transfer Kalıplama	15
2.4.7. Pultrüzyon	16
2.4. Uçucu Kül	17
2.4.1. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	17
2.4.2. Uçucu Küllerin Özellikleri.....	18
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	21
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
4.1. Kullanılan Kimyasallar	25
4.2. Kullanılan Cihazlar	27
4.3. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması	28
4.3.1. Uçucu kül (UK)/epoksi kompozitlerinin hazırlanması	28
4.3.2. Modifiye uçucu kül (MUK)/epoksi kompozitlerinin hazırlanması	29
4.3.3. Poli(etilen glikol) ilaveli (PEG) uçucu kül/epoksi kompozitlerinin hazırlanması	30
4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu	30
4.4.1. Korozyon Direnci Testi	30
4.4.2. Sertlik Testi	30
4.4.3. Su Sorpsiyon Testi	31
4.4.4. Adhezyon Testi	31
4.4.5. Çekme Testi	32
4.4.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	33

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	34
5.1. Korozyon Testi Sonuçları	34
5.2. Sertlik Testi Sonuçları	38
5.3. Su Sorpsiyon Testi Sonuçları.....	39
5.4. Adhezyon Testi Sonuçları.....	48
5.5. Çekme Testi Sonuçları.....	48
5.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAK.....	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ	67



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μm – Mikrometre
g – Gram
 cm^3 – Santimetre Küp
 $^{\circ}\text{C}$ – Celsius Sıcaklık Birimi
mL – Mililitre
MW –Megawatt

Kısaltmalar

BPA – Bisfenol A
BPF – Bisfenol F
ER – Epoksi Reçine
UK – Uçucu Kül
MUK – Modifiye Uçucu Kül
PEG – Poli(etilen glikol)
TMAC – Tetra Metil Amonyum Klorür

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompozit malzemede olan matris ve takviye malzemenin gösterimi.....	2
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerin matristürüne göre sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler.....	3
Şekil 2.4. Metal matrisli kompozit malzemeler.....	4
Şekil 2.5. Polimer matrisli kompozit malzemeler.....	5
Şekil 2.6. Termoplastiklerin günlük hayattaki örnek görselleri.....	5
Şekil 2.7. Termosetlerin kullanıldıkları yerlerin örnek görselleri.....	6
Şekil 2.8. Elastomerlerin kullanım alanlarını gösteren görsel.....	6
Şekil 2.9. Epoksit önpolimerin şeması (Saçak, 2017).....	7
Şekil 2.10. Çapraz bağlanmış epoksi polimer (Saçak, 2017).....	8
Şekil 2.11. Bisfenol A'nın fenol ve asetonadan sentezi (Sur ve ark, 2017).....	9
Şekil 2.12. Karbon fiberin lifli yapısını.....	12
Şekil 2.13. Elle yatırma yöntemi.....	13
Şekil 2.14. Püskürtme İşlemini.....	14
Şekil 2.15. Filament sarma yöntemi.....	14
Şekil 2.16. Sıkıştırarak kalıplama yöntemi.....	15
Şekil 2.17. Reçine transfer kalıplama yöntemi.....	16
Şekil 2.18. Pultruzyon yöntemi.....	16
Şekil 4.1. NPEL 128 Viskozite 12000-1500 cps/25 °C.....	25
Şekil 4.2. NPEL 128 Viskozite 12000-1500 cps/25 °C.....	25
Şekil 4.3. MNA molekül yapısı.....	26
Şekil 4.4. 4,6-Tris(dimetilaminometil)fenol hızlandırıcısının molekül yapısı.....	26
Şekil 4.5. PEG'in molekül yapısı.....	26
Şekil 4.6. TMAC'ın molekül yapısı.....	27
Şekil 4.7. Kaplamaların adhezyon testi öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüsü.....	31
Şekil 4.8. Kompozit malzemenin görünümü.....	32
Şekil 4.9. SHIMADZU AGS-X 10 kN cihazı görseli.....	33
Şekil 5.1. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve uçucu kül (UK) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	41
Şekil 5.2. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve modifiye uçucu kül (MUK) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	42
Şekil 5.3. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	42
Şekil 5.4. NPEL 128 kodlu ticari reçine ve uçucu kül (UK) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	44
Şekil 5.5. NPEL 128 kodlu ticari reçine ve modifiye uçucu kül (MUK) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	45
Şekil 5.6. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon test grafiği.....	45

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Termoplastik, termoset ve elastomer ürünler türünden dünya tüketim miktarları.....	6
Çizelge 2.2. Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller (Baharavar, 2016).....	17
Çizelge 4.1. Kütahya Seyit Ömer F sınıfı uçucu külünün kimyasal bileşimi.....	25
Çizelge 4.2. UK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları.....	28
Çizelge 4.3. MUK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları.....	29
Çizelge 4.4 PEG ilaveli UK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları.....	30
Çizelge 4.5. Kompozit malzemelerin boyutları.....	32
Çizelge 5.1. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 H ₂ SO ₄) krozyon testi sonuçları.....	34
Çizelge 5.2. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 NaOH) krozyon testi sonuçları.....	35
Çizelge 5.3. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 NaCl) krozyon testi sonuçları.....	35
Çizelge 5.4. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 H ₂ SO ₄) krozyon testi sonuçları.....	36
Çizelge 5.5. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 NaOH) krozyon testi sonuçları.....	36
Çizelge 5.6. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%3 NaCl) krozyon testi sonuçları.....	37
Çizelge 5.7. NPEF 170 kodlu ticari reçinesinden hazırlanan kompozit malzemelerin ortalama sertlik değerleri.....	38
Çizelge 5.8. NPEL 128 kodlu ticari reçinesinden hazırlanan kompozit malzemelerin ortalama sertlik değerleri.....	38
Çizelge 5.9. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon test sonuçları.....	40
Çizelge 5.10. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin % su sorpsiyon test sonuçları (g).....	41
Çizelge 5.11. NPEF 128 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon test sonuçları.....	43
Çizelge 5.12. NPEF 128 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin %su sorpsiyon test sonuçları (g).....	44
Çizelge 5.13. Bazı polimerlerin su sorpsiyon değerleri (23 °C, %65 bağıl nem) (Saçak, 2017).....	46
Çizelge 5.14. Kompozit malzemelerin % adhezyon testi sonuçları.....	46
Çizelge 5.15. NPEF 170 kodlu ticari reçineyle hazırlanan uçucu kül (UK), modifiye uçucu kül (MUK) ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları.....	47
Çizelge 5.16. NPEL 128 kodlu ticari reçineyle hazırlanan uçucu kül (UK), modifiye uçucu kül (MUK) ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları.....	48
Çizelge 5.17. Numunelerin DSC analizleri.....	50

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle insanların ihtiyaçları doğru oranda artış göstermiştir. Bu nedenle uzay, havacılık, savunma, yapı ve inşaat gibi birçok alanda büyük atılımlar gerçekleşmiştir. Sürekli olarak yeni ve nitelikli malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni gelişmelere uyum sağlayabilmek için çeşitli alanlarda kullanılmak amacıyla, malzemelerin üstün özelliklerini birleştirerek daha iyi malzemeler üretilmesine yönelim artmıştır. Bu nedenle polimer, seramik ve metaller gibi geleneksel malzemeler yerini kompozit malzemelere bırakmaya başlamıştır. Kompozit malzemeler, birbirinden farklı ve birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir.

Kompozit malzemelerin bazı üstün özellikleri yüksek dayanım, yüksek sertlik, mükemmel aşınma direnci, yüksek yorulma dayanımı, düşük yoğunluk ve düşük maliyetli olmalarıdır. Bu tarz kullanım yerine göre değişiklik gösteren avantajlarından dolayı tercih edilme oranları artmıştır.

Uçucu kül, termik santrallerde öğütülen kömürün toz haline getirilerek yakılmasıyla oluşan baca gazlarında filtreler sayesinde tutulan bir yan ürün olarak oluşan çok küçük tanecikli yapılardır. Çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı çeşitli alanlarda kullanılabilirliği birçok kurum ve kuruluş tarafından araştırılmaktadır. Bu sayede uçucu külün çevreye verdiği olumsuz etkiler ve depolama sorunlarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Malzemeler

İki veya ikiden fazla sayıdaki farklı veya aynı gruptaki malzemelerin, iyi yönlerini kullanıp, kullanım alanına göre daha işlevsel yeni malzemeleri üretmek veya ortaya yeni bir özellik çıkarmak için makro seviyede bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelere kompozit malzeme denir (Şahin, 2000). Kompozit malzemeler kullanım alanlarına göre değişiklik gösterse de genellikle yüksek mukavemet, yüksek korozyon dayanımı, hafiflik, yüksek aşınma direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği gibi birçok bazı özellikleri tek bir malzemede edinmek için geliştirilirler (Asi, 2018). Şekil 2.1’de kompozit malzemede olan matris ve takviye malzemesi gösterilmektedir.

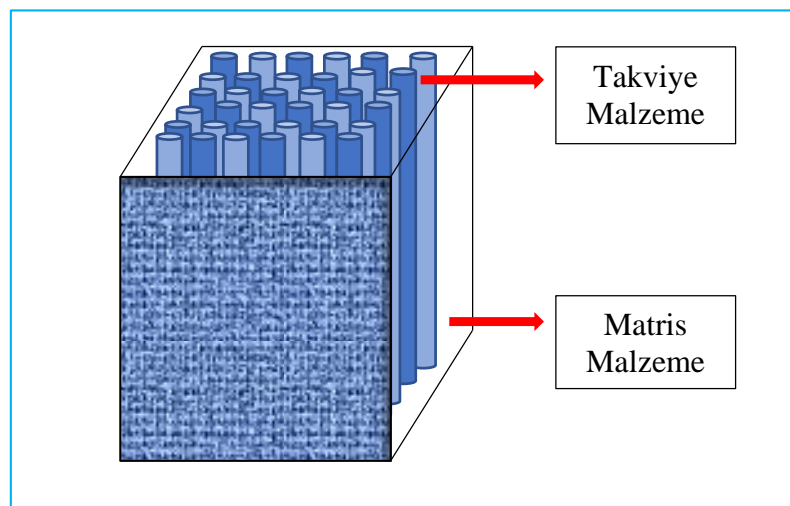
Kompozit malzemelerin ana yapısı iki bileşenden oluşturulur.

- **Matris malzemeler**

Matris, kompozit malzemelerde takviye malzemelerini bir arada tutan maddedir. Kompozit malzemeler matris türüne göre polimer, metal ve seramik matrisli malzemeler olmak üzere 3 ana sınıfa ayrılırlar.

- **Takviye malzemeler**

Genel olarak takviye malzemesi taşıyıcı görev üstlenen malzemelerdir. Kompozit malzemeler takviye türüne göre partikül, sürekli elyaf, süreksiz elyaf olarak 3 şekildedir. Elyaf takviyeler ise doğal, sentetik ve anorganik olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Kompozit malzemede olan matris ve takviye malzemenin gösterimi

2.1.1.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

Metal matrisli kompozit malzemelere olan ilgi son zamanlarda artmaktadır. Çünkü en önemli özelliği mukavemetlerinin ve elastik modüllerinin yüksek olması yani uygulanan düşük gerilmelerin ortadan kaldırıldıktan sonra malzemenin eski şekline gelme özelliğinin yüksek oluşudur. Genel olarak en çok kullanılan metal matris malzemeler ise alüminyum ve alaşımlarıdır. Bunların yanı sıra magnezyum, demir ve titanyum da matris malzemesi olarak kullanılmaktadır (Sezen, 2018). Şekil 2.4’de bazı polimer matrisli kompozit malzeme örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Metal matrisli kompozit malzemeler

2.1.1.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozitlerin sahip oldukları avantajları nedeniyle günümüzde hem teknolojik olarak hem de akademik olarak tercih edilen bir alan haline gelmiştir. Bu malzemeler hafif oluşları, yüksek spesifik mukavemetleri, kimyasal açıdan inertlikleri, kolay işlenebilirlikleri ve geri dönüşümleri kolay olması sayesinde kullanım alanları zamanla artış göstermiştir. Polimerlerin üretimi yüksek sıcaklık ve basınç gerektirmez. Dolayısıyla, karmaşık şekilli parçaların üretimi kolaydır. Düşük sıcaklık sayesinde takviye elemanlarında herhangi bir bozulma meydana gelmez ve polimer matrisli kompozit malzeme üretimi için gerekli ekipmanlar basittir. (Atagür, 2016).

Monomerlerin oluşturdukları polimer zincirlerinin şekilleri özelliklerini etkilemektedir. Polimerler doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı yapılardan oluşmaktadır. Polimerlerdeki farklı zincir bağlanma şekillerinden dolayı kendi içinde termoset, termoplastik ve elastomerler olarak ayrılırlar (Tutar, 2018). Şekil 2.5’de bazı polimer matrisli kompozit malzemeler yer almaktadır.



Şekil 2.5. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Termoplastik polimerler

Termoplastik polimerler, zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmayan doğrusal veya dallanmış zincir şekillerine sahip ve bu nedenle sıcaklığa maruz kaldığı zamanlarda eriyebilen ve yeniden eski şekillerine dönebilen, uygun çözücülerde çözünebilen polimerlerdir. Yaygın olarak, polietilen, polipropilen, poli (vinil klorür) ve polistren vb. polimerler kullanılırlar. Bu polimerlerden Şekil 2.6’de görüldüğü gibi bidon, poşet, plastik şişe gibi çeşitli ürünler elde edilir (Çakır, 2013).



Şekil 2.6. Termoplastiklerin günlük hayattaki örnek görselleri

Termoset polimerler

Termoset polimerler, zincirleri arasında yoğun çapraz bağlar bulunan ve bu nedenle hiçbir çözücüde çözünmeyen, ısıtıldıklarında erimeyen, çok yüksek sıcaklıklarda bozulan polimerlerdir. Termoplastiklere göre, kimyasal direnç, ısı kararlılık ve mekanik özellikler yönünden üstünlük gösterirler. Fenol-formaldehit, epoksiler, doymamış poliesterler önemli termoset polimerlerdir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi elektrik fişi, priz, duş ve düğmeleri, tava ve tencere sapları termosetlerin en yaygın kullanım alanlarıdır (Güzel, 2016).



Şekil 2.7. Termosetlerin kullanıldıkları yerlerin örnek görselleri

Elastomer polimerler

Elastomerler, çekildiklerinde büyük ölçekte uzayabilen, çekme kuvveti kaldırıldığında eski yapılarına hızla geri dönebilirler. Yüksek elastikiyetteki bu tür malzemelere elastomer veya kauçuk adı verilir. Bu özellikleri, yapılarındaki az oranda bulunan çapraz bağlar sayesinde olur (Doğu, 2019). Doğal kauçuk, elastomer arasında en önemlisidir ve kullanım alanları oldukça fazladır. Sentetik elastomerler arasında ise en yaygın olarak görülen stiren-bütadien kopolimeridir. Doğal ve sentetik elastomerler çoğunlukla araçların iç ve dış lastiklerinin yapımında kullanılır.

Çizelge 2.1’de polimerlerin yıllara göre termoplastik, termoset ve elastomer malzemeler türünden dünya tüketim miktarı verilmiştir (Saçak, 2017). Şekil 2.8’de elastomer polimerlerin kullanım alanına örnek gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Termoplastik, termoset ve elastomer ürünler türünden dünya tüketim miktarları (Bin ton)

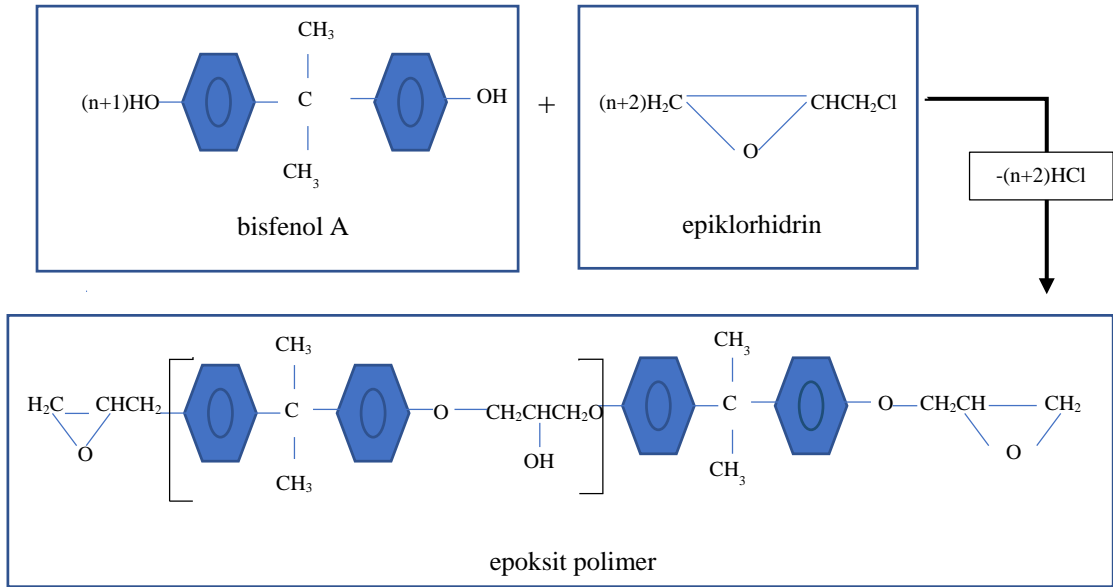
Polimer	1990 (yıl)	1994 (yıl)	1999 (yıl)
Termoplastik	31500	26600	32000
Termoset	2790	3400	4400
Elastomer	1900	2100	2300



Şekil 2.8. Elastomerlerin kullanım alanlarını gösteren görsel

2.2. Epoksi Reçine

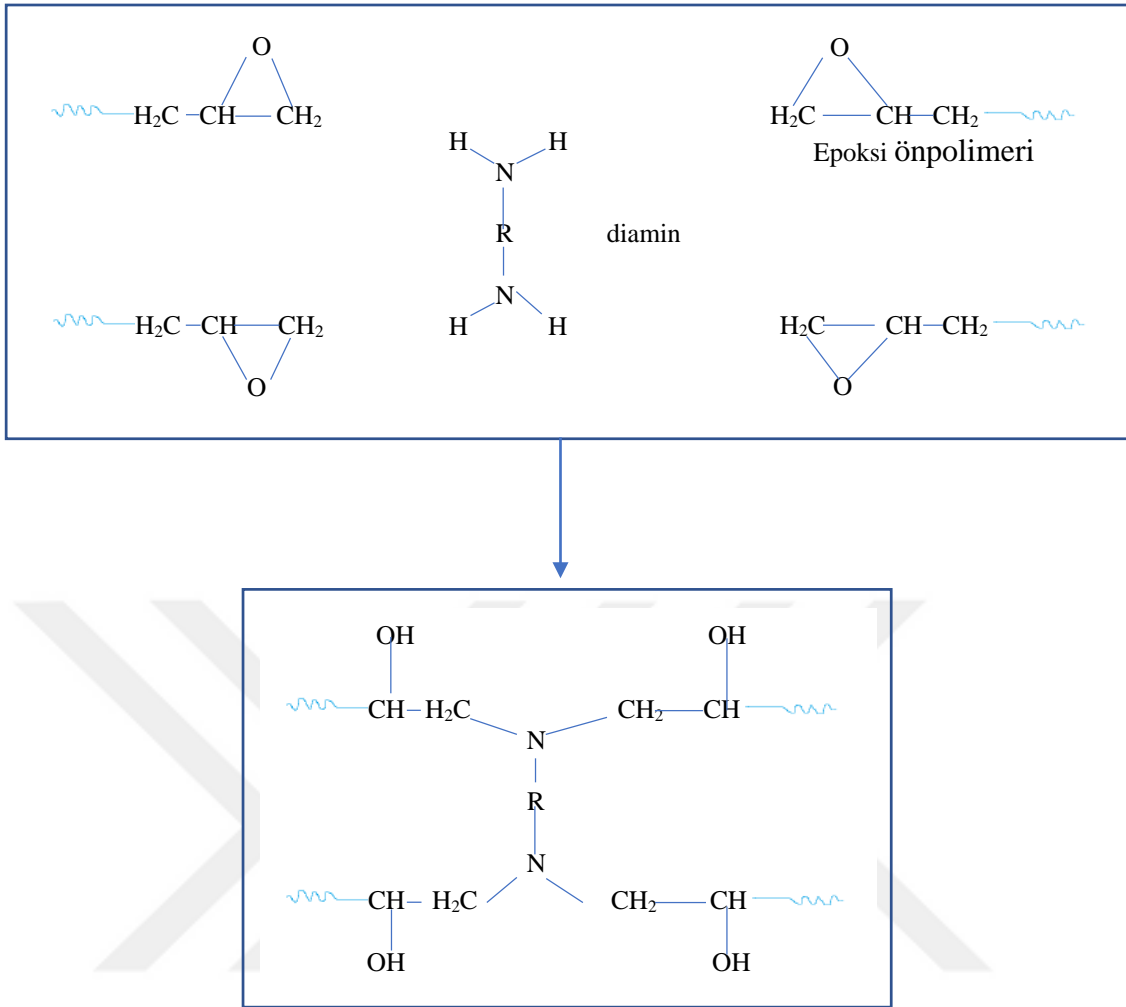
Bazık ortamda epiklorhidrin ve bisfenol A arasındaki tepkimeyle epoksi reçinelerin %95' i üretilir. Termoset polimer yapısına iki aşamada geçilir. İlk aşamada düşük mol kütleli önpolimer hazırlanır.



Şekil 2.9. Epoksit önpolimerinin sentez şeması (Saçak, 2017)

Elde edilecek epoksi polimerin özelliğini Şekil 2.9'daki (n) büyüklüğü belirlemektedir. (n) değeri 25 birim sayısı dolaylarında ise oda sıcaklığında polimer katı ve serttir, daha küçük ise polimer viskoz bir sıvıdır (Saçak, 2017).

İkinci aşamada ise polimer uygun bir çapraz bağlayıcı ile sertleştirilir. Epoksi reçinesinin adı, yapısında epoksit grupların bulunması nedeniyle verilir.



Şekil 2.10. Çapraz bağlanmış epoksi polimeri (Saçak, 2017)

Epoksilerin çapraz bağlama sırasında uçucu madde oluşmaz, çapraz bağlama sonrası büzülme oranları da düşüktür. Ancak, fiyatları yüksektir ve pişirme zamanları uzundur. Pişirme zamanını azaltmak amacıyla hızlandırıcılar kullanılarak çapraz bağlama tepkileri hızlandırılır. Kullanım sıcaklıkları polimer özelliklerine bağlı olarak 150 °C ye kadar çıkar (Kuşaklı, 2018). Şekil 2.10'da çapraz bağlanmış epoksi polimer örneği gösterilmektedir.

Epoksiler,

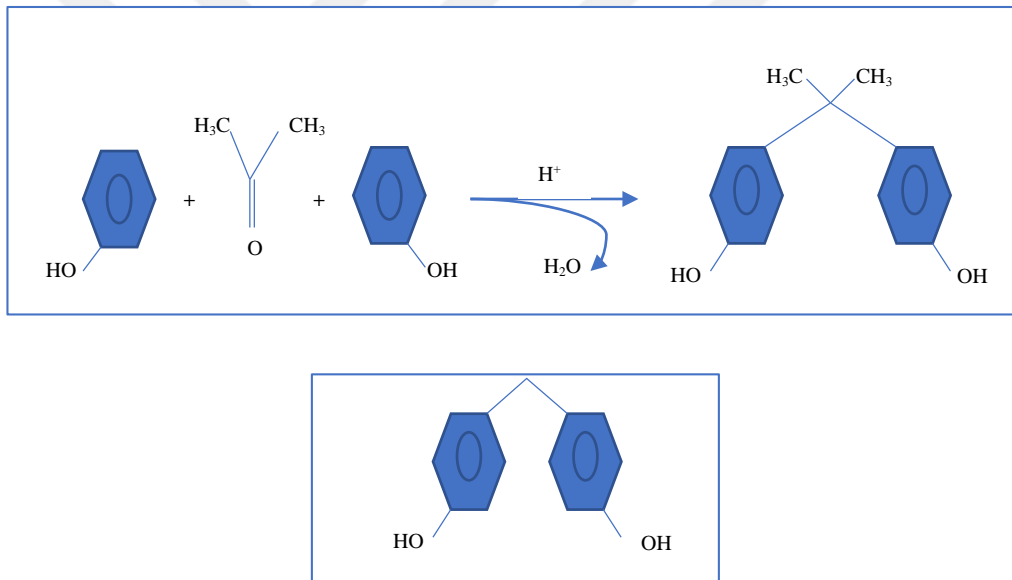
- ✓ Kimyasallara karşı dirençli
- ✓ Dayanıklı
- ✓ Esnek yapılı
- ✓ İyi yapışma
- ✓ Korozyon ve aşınma dayanımı

gibi özellikleri sayesinde yüzey kaplamaları, tüp, boru ve endüstriyel tankların astarlanması için uygun polimerlerdir.

2.2.1. Bisfenol Türevleri

2.2.1.1. Bisfenol A ve Bisfenol F

Bisfenoller iki fenolik grubun birbirlerine karbon ve diğer kimyasal yapıların oluşturduğu bir köprü ile bağlanırlar. Bisfenol arkasına gelen büyük harf, içindeki reaktan atomu/bileşeni ifade etmek için kullanılır. Örneğin, bisfenol A (BPA) reaktan grubu aseton iken bisfenol F (BPF) reaktan grubu formaldehittir (Sur ve ark, 2017). Şekil 2.11’de bisfenol A’nın fenol ve asetonadan sentezi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Bisfenol F'nin fenol ve asetonadan sentezi (Sur ve ark, 2017)

Bisfenoller epiklorohidrinle reaksiyona girerek epoksi reçinelerin üretiminde kullanılır.

BPF [bis(4-hidroksifenil)metan] açık pembe ile şeffaf arası renkte katı, molekül ağırlığı yaklaşık 200,23 g/mol olan, bir maddedir. Kimyasal yapısı Şekil 2.11’de gösterilmiştir. BPF tipi epoksi reçine, son yıllarda BPA tipi epoksi reçinenin alternatifi olarak kaplamalarda, yüksek dayanıklılık ve kalınlık istenen su tankları ve su boruları gibi yapı malzemelerinde ve sistemlerde, endüstriyel zemin kaplamalarında, otoyol ve köprü tabliyelerinde, yapışkanlarda, inşaatta kullanılan sıva ve kaplamalarda ve elektrik yalıtımında sıklıkla kullanılmaktadır (Fiege et al., 2000).

2.3. Polimer Kompozit Malzemelerin Üretimi

Genel olarak polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde takip edilmesi gereken 4 ana basamak vardır.

- Islatma/Emdirme
- Yatırma
- Birleştirme
- Katılaştırma

Üretilmesi istenilen bütün polimer matrisli kompozit parçalar bu 4 basamağı içermektedir. Fakat farklı üretim metotları ile üretim yapılabilir.

Islatma /Emdirme

Matris malzemesi ve takviye elemanları reçineler ile birlikte karıştırılır. Karışım sonrasında lamine yapısı elde edilir. Islak yatırma yönteminde, her bir ürün katmanı rulo ile ıslatılır. Bu yöntemin amacı reçinenin bütün fiberlere ulaşmasını sağlamaktır.

Malzemenin viskozitesi, yüzey gerilimi, kılcal damar hareketleri ıslatma basamağının önemli parametreleridir (Bingöl, 2017).

Yatırma

Yatırma basamağında ise kompozit laminelerinin fiber-reçine karışımlarının istenen açılarda ve şekil düzenlenmesi ile şekillendirmesi sağlanır. İstenilen kompozit malzemenin kalınlığı farklı kalınlıktaki fiber- reçine karışımının oranına göre tayin edilir.

Birleştirme

Bu aşamada ise prepreg ve laminelerin her bir katmandaki bileşimi içermektedir. Aynı zamanda proses sürecinde katmanlar arasında kalmış olası havanın dışarı atılmasını sağlamaktadır. Bu basamak, uygun kalitede parça üretimi için çok önemli bir basamaktır. İstenilen şekilde birleşimi sağlanmayan parçalarda hava boşlukları ve ıslak noktalar oluşabilir (Işık, 2008).

Katılma

Bu basamak ise üretim metotlarının son basamağıdır. Katılma basamağı polimer malzemenin türüne göre farklılık gösterebilir. Termoplastik reçine ile üretilmiş

kompozitler için katılaşma süreci bir dakikadan az bir sürede gerçekleşebilir iken termoset malzemelerle üretilmiş bir kompozit malzemenin katılaşma süresi 2 saati bulabilir.

Basınç veya vakum katılaşma sürecinde önemli bir parametredir. Termoset kompozitlerde, katılaşma hızı reçeteye ve kurutma tekniğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Termoset reçinelerde, genellikle yüksek kurutma sıcaklıkları ile çapraz-bağ prosesini hızlandırma sağlanmaktadır. Termoplastik kompozitlerde, katılaşma hızı soğutma hızına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Termoset kompozitlerde ise bu durum hızlı bir katılaşma için sıcaklık yükseltilir ve rijit yapı elde edilene kadar soğutma işlemine tabi tutulur (Sönmez, 2009).

2.4. Termoset Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Polimer esaslı kompozit malzemeler doğrudan el yordamıyla ile veya bazı aletler yardımıyla hazırlanırlar.

Elle kompozit malzeme üretim teknikleri

- Elle yatırma
- Döküm
- Püskürtme

Alet veya sistemlerden faydalanılarak kompozit hazırlama teknikleri ise,

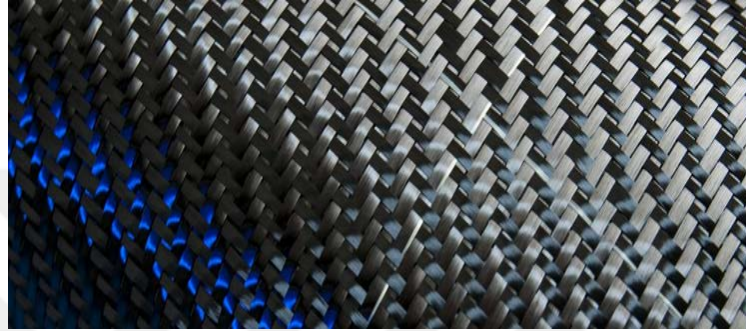
- Sıkıştırarak kalıplama
- Enjeksiyon kalıplama
- Filament sarma
- Pultrüzyon
- Yapısal reaksiyon enkesiyon kalıplama
- Reçine transfer kalıplama

teknikleri ile üretim uygulanabilir.

Kompozit malzeme üretiminde uygulanacak yöntem, takviye elemanının matris içerisindeki geometrisini ve dağılımını belirleyen önemli bir etkidir. Kullanılacak yöntemler matris fazı ile takviye elemanın birleşiminde uyumlu olmalıdır.

2.4.1. Prepreg

Prepreg, üretilen bir ara ürün olan ve polimer matris içerisine yerleştirilmiş lif veya dokumadan oluşan tabakanın endüstriyel adıdır. Genellikle kullanılan reçine bir epoksi reçinesidir. Her ikisi de teknik olarak prepreg olmasına rağmen, termoset ve termoplastik prepreg önemli ölçüde farklıdır. Şekil 2.12’de karbon fiberin lifli yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Karbon fiberin lifli yapısını

Termoplastik Prepreg

Termoplastik prepregler, termoplastik reçine ile önceden emprenye edilmiş kompozit takive elemanlarıdır (cam elyafı, karbon fiber, aramid vb.). Termoplastik ve termoset prepregler arasındaki en önemli fark, termoplastik prepreglerin oda sıcaklığında sabit olması ve genellikle raf ömrünün olmamasıdır.

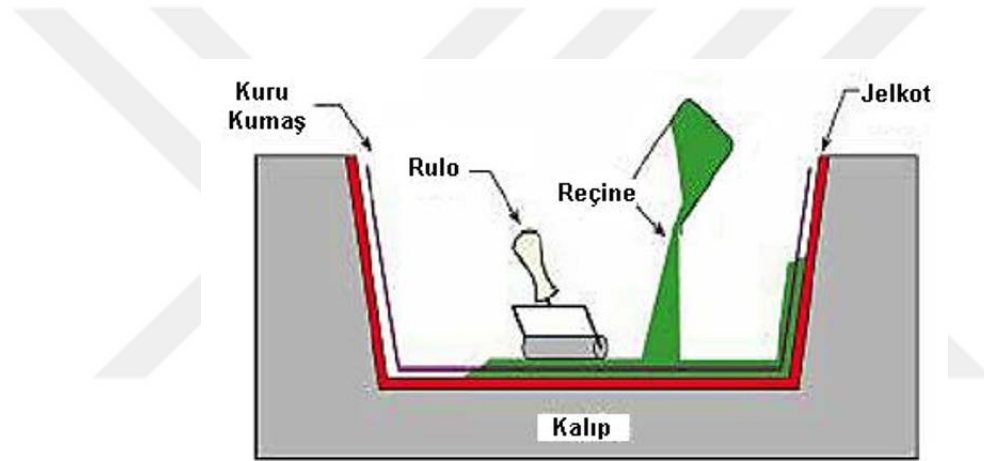
Termoset Prepreg

Termoset prepregler polimer esaslı kompozit malzeme üretiminde daha çok kullanılan malzemelerdir. Kullanılan reçine matrisi epoksidir. Termoset prepreg ile, ısıyla sertleşen reçine bir sıvı olarak başlar ve lif takviyesini tamamen emprenye eder. Fazla reçine ise takviyeden hassas bir şekilde ayrılır. Epoksi reçinesi bir sıvıdan bir katıya değiştirerek kısmi kürlenmeye maruz bırakılır. Bu arada reçine kısmen kürlenir ve yapışkan hale gelir. Reçine, yüksek sıcaklığa getirilerek, sertleşmeden önce genellikle sıvı hale kısa bir süre geri döner. Serleştikten sonra termoset reçinesi tamamen çapraz bağlanmış olur (Bahar, 2009).

2.4.2. Elle yatırma yöntemi

Elle yatırma yöntemi karmaşık sistemler gerektirmeyen uygulanabilirliği en basit olan üretim yöntemidir. Malzemenin kalitesi üretim yöntemini uygulayan kişinin deneyimine bağlıdır.

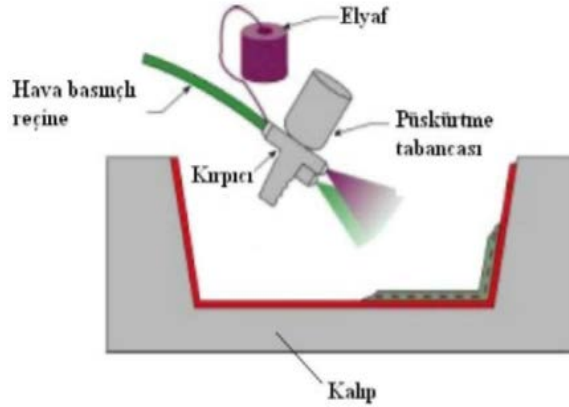
Elle yatırma yönteminde öncelikle kalıp temizlenir ve temizlenen kalıba jelkot sürülür. Sürülen jelkotun sertleşmesi beklenir. Jelkotun üstüne kırılmış elyaflar ya da örgü tkviyeli kumaşlar kalıp üzerine yatırılır. Daha sonra kalıbın içine reçine dökülür ve rulo yardımıyla istenilen parçanın yüzeyi şekillendirilir. Katılama işlemi bittikten sonra parça kalıptan çıkarılır ve ürün elde edilmiş olur. Şekil 2.13’de elle yatırma yönteminin şematik çizimi bulunmaktadır (İmak, 2015).



Şekil 2.13. Elle yatırma yöntemi

2.4.3. Püskürtme yöntemi

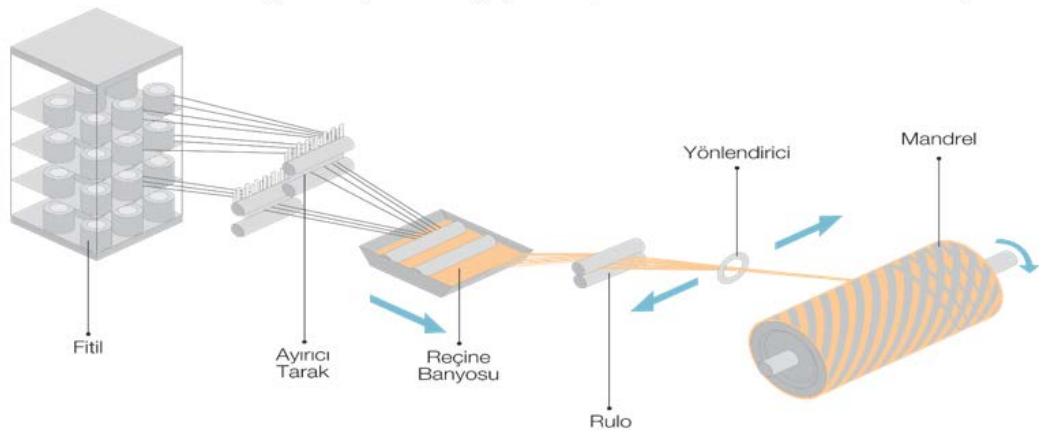
Püskürtme yöntemi basit bir alet yardımıyla kalıba veya üretim yapılacak malzemenin yüzeyine reçine veya takviye lifleri püskürtme işlemidir. Bu yöntemde kullanılan alet özel püskürtme tabancasıdır. Püskürtme tabancasının haznesinde reçine ve sertleştirici bulunur. Püskürtme işleminde üretimi yapılmak istenilen malzeme kalıba tabanca yardımıyla püskürtülür. Püskürtülen reçinenin dağılımı eşit olması için rulo ile yüzeyi düzeltilir. Lif bobini kullanılarak reçinenin püskürtme esnasında topaklanması engellenir. Kalıbın yüzeyindeki malzeme oda sıcaklığında veya fırın yardımıyla soğumaya bırakılır. Elle yatırma yöntemindeki gibi üretilen malzemenin kalitesi üreten kişinin deneyimine bağlıdır. Şekil 2.14’de püskürtme yöntemi gösterilmiştir (Büyükaydın, 2018).



Şekil 2.14. Püskürtme İşlemi

2.4.4. Filament (elyaf) sarma yöntemi

Filament sarma yöntemi takviye malzemesi ve reçinenin mandrel adı verilen silindirik boruya sarma işlemidir. Burada mandrel kalıp görevi görmektedir. Fitillerden çıkan lifler ayırıcı tarak yardımı ile düzenlenir. Lifler reçine banyosundan geçirilerek, dönen mandrel etrafına farklı açılar ile sarılır. Filament sarma yönteminde kompozitin sarım açılarındaki farklılıklar oluşacak ürünün mekanik özelliklerini etkileyen bir parametredir. Filament sarma yönteminde malzemenin özellikleri aynı zamanda mandrelin dönme hızı ve liflerin sarım hızına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Şekil 2.15’de filament sarma yöntemi gösterilmiştir (Dil, 2016).

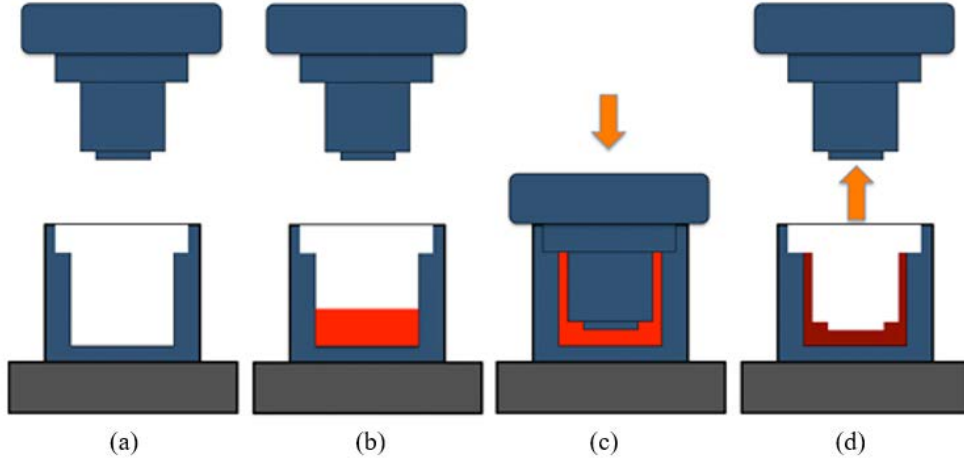


Şekil 2.15. Filament sarma yöntemi

2.4.5. Sıkıştırarak kalıplama

Çeşitli kalıplama yöntemlerinden biri olan sıkıştırarak kalıplama işleminde genellikle termoset plastiklerin kalıplanmasında uygulanır. Genelde prepreg malzemeler

kullanılır. Isıtılmış kalıp içerisine uygun boyutlarda parça yerleştirilir. Kalıp içerisinde basınç ve ısıya maruz kalan prepreg çapraz bağlayıcı sayesinde reçine sertleştirilir. Bu üretim hızı yüksektir ve parçanın iki yüzeyi de iyi özelliklere sahip olur. Şekil 2.16'de sıkıştırarak kalıplama yöntemi gösterilmiştir (Ünal, 2015).



Şekil 2.16. Sıkıştırarak kalıplama yöntemi

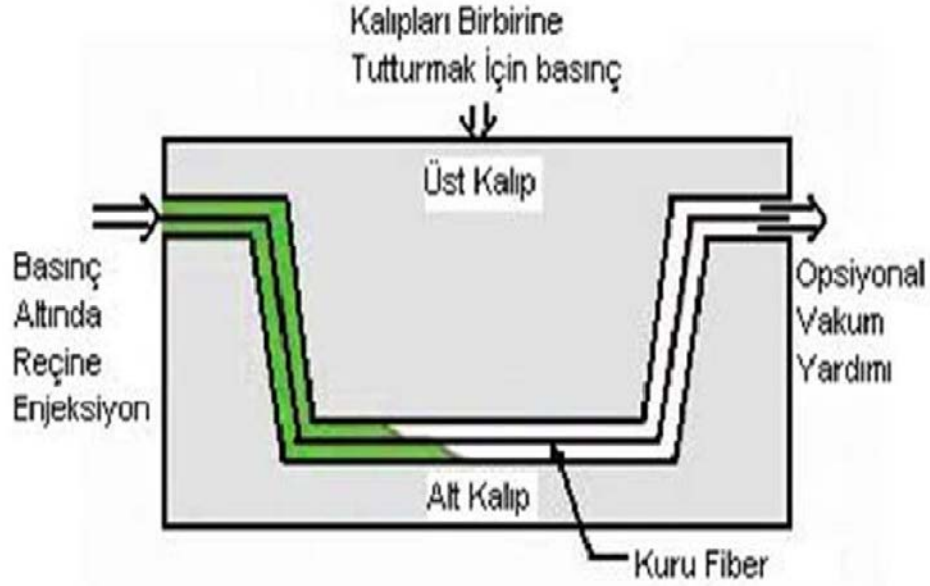
Şekilde sıkıştırılarak kalıplama yönteminin şematik gösterimidir.

- (a) Parça üretimi için tasarlanmış kalıp ısıtılır.
- (b) Kalıba parçaya basınç uygulanmış olur.
- (c) Üst kalıp kapatılır ve parçaya basınç uygulanmış olur.
- (d) Sertleşme sonrasında parça istenilen şekli almış olur.

2.4.6. Reçine transfer kalıplama

Reçine transfer kalıplama yöntemi özellikle komplike parçaların en çok tercih edilen üretim yöntemidir. İstenilen üstün mekanik özellik ve hafif parça üretimine uygundur. Oluşacak ürünün kalitesi diğer üretim yöntemlerine göre daha kontrol edilebilir. Üretilecek ürün için tasarlanmış özel kalıp içerisine ve istenilen mekanik özellikler doğrultusunda elyaf hacim oranına göre yerleştirilir.

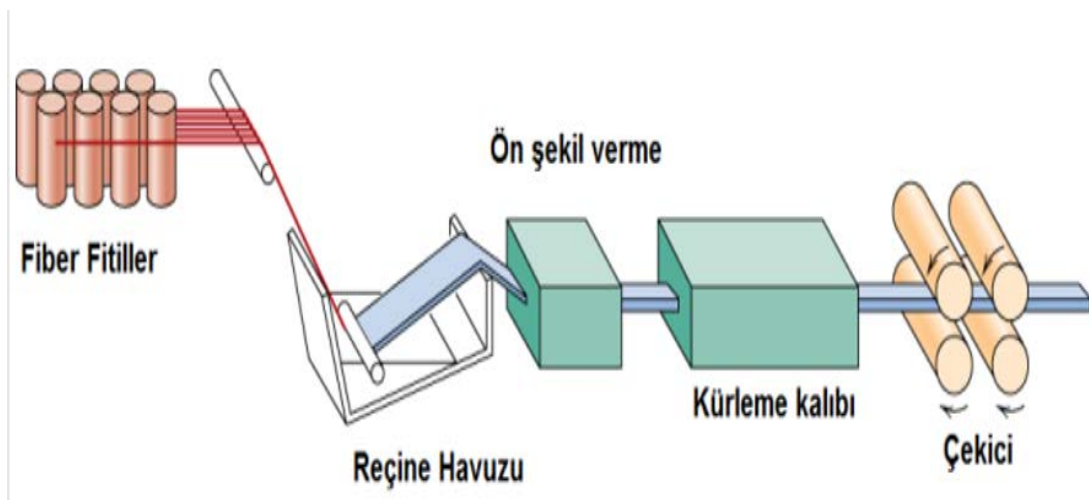
Reçine kalıplama yönteminde genelde bağlayıcı yardımıyla önceden şekillendirilmiş lifler ve dokumalar kullanılır. Daha sonra kalıp kapatılır ve termoset plastik reçine basınç uygulanarak kalıbın içine enjekte edilir. Reçinenin katılaşması için fırınlanır. Şekil 2. 17'de reçine transfer kalıplama yöntemi gösterilmiştir (Gülнар, 2016).



Şekil 2.17. Reçine transfer kalıplama yöntemi

2.4.7. Pultrüzyon

Pultrüzyon düşük maliyetli, yüksek üretim hacmine olanak sağlayan, sürekli ve otomatik yöntemdir. Pultrüzyon yönteminin uygulanmasında bobinlerden alınan çok sayıda lifler bir yönlendiriciye gönderilerek paralel hale getirilirler. Daha sonra reçine banyosunda ıslatılırlar. Ön şekil verme basamağından sonra ısıtılmış kütleme kalıbına gönderilir. Kalıp içerisinden geçiş esnasında, reçine liflerle birlikte kalıp şeklinde sertleşir. Sürekli lifler kullanıldığı için kompozitlerin, liflerin yönlendirdiği doğrultudaki mekanik özellikleri çok iyidir. Dokumalar kullanılarak ters yöndeki mekanik özelliklerde geliştirilebilir. Şekil 2.18’de pultrüzyon yöntemi gösterilmiştir (Akıncı, 2010).



Şekil 2.18. Pultrüzyon yöntemi

2.4. Uçucu Kül

Uçucu kül, toz haline getirilmiş kömürün yanarak, meydana geldiği ve baca gazlarının taşıdığı ve filtrelerde tutulmasıyla oluşan önemli bir yan üründür. Bu kül tanecikleri çok ince olup kolayca sürüklenebildikleri için uçucu kül olarak adlandırılırlar. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2,2 – 2,7 g/cm³ arasındadır. Son zamanlarda uçucu kül fazlalığı çevre sağlığı açısından sorunlara yol açmaktadır (Baharavar, 2016).

Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısı termik santrallerde üretilmektedir. Bu da 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda bacalarda önemli miktarda uçucu kül atığı oluşmaktadır. (Baharavar, 2016). Çizelge 2.2’de Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller (Baharavar, 2016)

No	Santral adı	Yakıt cinsi	Kurulu güç (MW)	Bulunduğu il
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağzısı	Linyit	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Taşkömürü	620	Ankara
6	Çolakoğlu	Linyit	190	Kocaeli
7	Kangal	Taşkömürü	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü-Yumurtalık	Taşkömürü	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

Uçucu külden başlıca bulunan bileşenler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO olup, miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir.

2.4.1. Uçucu küllerin sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

- ASTM C 618 standardına göre uçucu küller C ve F sınıflarına ayrılırlar:

F sınıfında, bitümlü kömürden (katran benzeri bir madde içeren nispeten yumuşak bir kömürden) üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi 70'den fazla olan uçucu küller bulunmaktadır. Ayrıca bu küllerde CaO yüzdesi 10'dan küçük olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı küller, puzolanik yani kendi başına bağlayıcılık değeri az veya hiç olmayan ama ince taneli durumda iken sulu ortamda kalsiyum hidroksit [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık gösteren malzeme özelliğine sahiptir.

C sınıfında, linyit (kahverengi kömür de denilen ve kömür sıralamasında en alt sırada yer alan bir kömür) veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı yüzde 50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda CaO yüzdesi 10 'dan küçüktür. C sınıfı küller puzolik özelliği yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptir.

- TS EN 197-1 standardına göre uçucu küller kalkersi (W) ve silissi (V) sınıflarına ayrılırlar:

V sınıfında, küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, çoğunluğu puzolanik özelliğe sahip; reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 oluşan geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif CaO oranının yüzde 10'dan az, reaktif silis miktarının yüzde 25'den fazla olması gerekmektedir (Karakulak, 2019).

W sınıfında, hidrolik veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz oldur. Bu küllerde, reaktif CaO oranının yüzde 10'dan fazla, reaktif silis miktarının da yüzde 25'den fazla olması gerekmektedir (Şahin, 2019).

2.4.2. Uçucu küllerin özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzolonik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir.

Bu değişkenler;

- Kullanılan kömürün türü ve değişkenliğine,
- Yakılmadan önceki kömürün öğütülme derecesine,
- Kazan türüne,
- İşletme parametreleri ve yakma sıcaklığı,

- Kül toplama sistemlerinin işleyişine,
 - Kömüre ilave edilen katkı maddeleri
- gibi faktörlere bağlıdır (Güler ve ark, 2005).

❖ Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Uçucu küller katı halde ve küresel şekle sahip taneciklerdir. Yoğunlukları 2,2 – 2,7 g/cm³ arasındadır. Tanecik boyutu inceldikçe yoğunluğu artış gösterir, bu şekilde bir orantıya sahiptirler. Renkleri genellikle gri olsa da kullanılan fırının ya da yapılan işlemlere ve kömürün kalitesine göre değişiklik gösterebilir (Toklu, 2019).

❖ Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, kömür içindeki mineral madde miktarı ve kömür hazırlama işlemleri, yanmanın etkinliği ve sürekliliği, toz toplama gibi koşullara bağlı olmaktadır. Kimyasal yapılarında Si, Al, Ca, Fe ve S ana elementler olarak bulunmakta ve yanma şekline bağlı olarak; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂ ve SO₃ oksit bileşenleri oluşmaktadır. %85'in den fazlası SiO₂, Al₂O₃, CaO ve Fe₂O₃'den oluşmaktadır (Erdoğan, 2006).

❖ Uçucu küllerin morfolojik özellikleri

Şekli ve büyüklüğü dağılımında, kömürün orjini ve uniform olması, kömürün pulverizasyon durumu yanma koşulları ve toz toplama sistemi gibi proseslere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uçucu külde büyüklükleri 0,5- 150 µm arasında değişen hem camsı küresel hem de düzensiz şekilli tanecikleri bulunmaktadır. Bu taneciklerin şekil ve büyüklüğü açısından farklılıkları, uçucu külün düşük veya yüksek kireçli olmasından kaynaklanmaktadır.

❖ Uçucu küllerin puzolanik özellikleri

Puzolanlar, “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık değeri olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde, hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler” olarak tanımlanmaktadır. Günümüz teknolojisinde uçucu küllerin,

puzolanik özellikleri, çok ince ve homojen boyut dağılımı ve dolayısı ile yüksek özgül yüzey alanına sahip olması, düşük ısı iletkenliği, yüksek elektrik yalıtkanlığı gibi çok etkili mühendislik özelliklerinden dolayı değerli bir endüstriyel girdi haline gelmiştir (Erdoğdu ve ark., 1998.) Uçucu kül, başlıca puzolanik özelliği nedeniyle inşaat sektöründe beton üretiminde, homojen boyut dağılımı ve bağlayıcı özelliği ile yol yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, yalıtım özelliği nedeniyle elektrik mühendisliğinde, bitkiler için gerekli elementleri içermesi ve toprağın nem tutabilme özelliğini artırması nedeni ile toprak ıslahında ve tarım sektöründe kullanım alanı bulmaktadır (Tokyay ve ark., 1990).



3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Termik santrallerde açığa çıkan atık uçucu kül ile polipropilen atıklarını kullanarak ürettiği yeni bir yapı malzemesinin ısı iletim özellikleri ile yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Deneysel çalışmaları sonucunda uçucu kül ve polipropilen karışımı numunelerin, ısı iletim katsayılarının küçük olması nedeniyle gerek dış sıva kaplaması ve gerekse döşeme kaplaması olarak kullanılması halinde büyük oranda enerji tasarrufu sağlayacağı anlaşılmıştır. Isı yalıtımı söz konusu olduğunda zaman göz önüne alınan kompozit malzemedeki uçucu kül oranının polipropilene göre fazla olması gerektiğini, su yalıtımı ve dayanıklılığının önemli olması durumunda ise polipropilen oranının fazla olması gerektiği görülmüştür (Yıldız, 1998).

Bursa Orhaneli Termik Santralinden elde edilen uçucu külün geoteknik özelliklerini incelemiş ve uçucu kül-çimento-köpük karışımının hafif dolgu malzemesi olarak uygunluğunu araştırmıştır. C sınıfı uçucu kül olan ve değişik tarihlerde siliko-kalsik ve sülfö-kalsik uçucu kül özelliğinde kimyasal bileşime sahip olan Orhaneli uçucu külünün kireç ve çimentoyla stabilizasyona gerek kalmadan bağlayıcı özellik gösterdiği ve yüksek CaO muhtevasının, uçucu külün bağlayıcılığını arttırdığı gözlenilmiştir. Sahip olduğu yüksek SO₃ muhtevasının ağırlıkça %5'i geçmesi halinde çimentoya katılmaması, katılması halinde uzun vadede betonda Candlot tuzu (Etrenjit) oluşumuna imkan verebileceği belirtilmiştir (Haşal, 2000).

Özmal (2005) çalışmasında Kütahya-Emet-Hisarcık yöresindeki kolemanit konsantratör atığı (KKA), Eskişehir Kırka yöresindeki tinkal konsantratör atığı (TKA), Kütahya Seyitömer Termik Santrali uçucu külü (UK) ve taban külü (TK), Kütahya Şaphane yöresinden çıkarılan alünit (A) ile birlikte çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kolemanit konsantratör atığı, uçucu kül ve alünit katkılı çimentoların priz süreleri, kolemanit atığının klinkere ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranında katıldığı çimentolarda Türk Standartlarında verilen sınır değerlerine uygunluk gösterdiği görülmüştür.

Akın (2007) yapmış olduğu çalışmada matris olarak polyester, takviye malzemesi olarak da mermer tozu kullanmıştır. Puzolanik yapıdaki uçucu kül merme tozu yerdeğişimi esasına yönelik olarak uçucu kül ilavesinin mukavemet üzerine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak polyester yerine eklenen termoplastiğin malzemenin mekaniksel özelliklerini azaltıcı etki yaptığını bulmuştur. Matris içerisindeki termoplastik oranı %0 iken, üç noktadan eğme mukavemeti değeri 30 N/mm² iken; %17

termoplastik içeriğinde 21,7 N/mm², %50 termoplastik içeriğinde ise 16,5 N/mm² olarak tespit etmiştir.

Bu yapılan çalışmada tek yönlü karbon elyaf-epoksi reçineden oluşan kompozit malzemeler hazırlanarak, elyaf yatırma açısının tabakalı epoksi kompozit malzemeler üzerindeki etkileri çeşitli karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, elyaf yönlenmelerinin kompozitin mekanik dayanımında oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Çekme testi sonucunda, eşit tabaka sayısında farklı yönlendirmelerle hazırlanan numune gruplarından en yüksek çekme dayanımı ve çekme modülü değerini, çekme dayanımı 1713,48 MPa ve çekme modülü 127,12 GPa değerleri ile 0° yönlendirmeli numune grubunun verdiği bulunmuştur (Demirel 2007).

Karcı (2009) yaptığı çalışmada dokuma karbon/epoksi kompozit malzemelerin çekme-çekme ve çekme-basma çevrimsel yükleri altında yorulma davranışlarını incelemiştir. Farklı maksimum gerilme seviyelerinde yorulma testleri yapmıştır ve bu testler sırasında kaybedilen yük, şekil değişimi ve pozisyon verileri kullanılarak malzeme rijitliğinde ki değişim numunelerin ömrü boyunca belirlemiştir ve rijitlik değişimine bağlı hasar birikim parametresini hesaplamıştır. Basma testi ve çekme-basma yorulma yüklemesi sonucu oluşan kırık yüzeylerde elyaflar mikro seviyede kıvrılarak (kink) kırılmakta olduğunu bulmuştur.

PVC malzemeler içerisinde alternatif dolgu malzemesi olarak Soma uçucu kül kullanımı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar dolgu malzemesi olarak kalsit kullanılan malzemeler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına dayanarak, uçucu külün PVC malzemelerde alternatif dolgu malzemesi olabileceği önerilmiştir. Bu malzemenin etkisinin sıcaklık, karıştırma hızı ve konsantrasyona göre değiştiği bulunmuştur. PVC-ürünün mekanik özelliklerinin pozitif olarak etkilendiği ve daha iyi bir malzeme elde edildiği gözlenmiştir (Sayhan, 2010).

Vatansever (2011) yapmış olduğu çalışmada uçucu kül takviyeli ve takviyesiz alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimini incelemiştir. Bu amaçla, değişen talaş ve uçucu kül ağırlık oranının, değişen talaş boyutunun, kriyojenik öğütme işleminin kompozit malzemenin sertlik, basma dayanımı, akma dayanımı v.b. ve korozyon dayanışma etkilerini araştırmıştır. Hazırladığı numunelere göre uçucu kül hacim oranının artması ile elektrik iletkenliği ve yoğunluk düşmekte, boşluk hacim oranı artmakta olarak bulmuştur.

Termik santrallerden temin edilen uçucu küllerin karakterizasyonları yapılarak balatalara katılabilecek olan uçucu kül cinsleri belirlenmiştir. Yapılan tez kapsamında

kütlece %5-40 uçucu kül içeren formülasyonlar oluşturularak bunlardan laboratuvar ölçekli numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere fiziksel, kimyasal, mekanik testlerin yanı sıra sürtünme-aşınma testleri uygulanarak en uygun formülasyon belirlenmiştir. Sonuçta Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinin uçucu küllerinin kütlece %40 oranında dolgu olarak kullanıldığı karışımların incelenen ticari balatalara en yakın sürtünme-aşınma özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir (Akagündüz, 2014).

Yurtsever (2014) yapmış olduğu çalışmada farklı kimyasal yapıya sahip beş uçucu kül, termoset köpük ve termoplastik poliüretan malzemelere ilave edilmiş ve mekanik ve ısıl özelliklere etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak poliüretan esaslı kompozit malzemelere uçucu kül ilavesinin mekanik özelliklerine olumlu sonuç vermediği ortaya koymasına rağmen, alev geciktiricilerin ilavesi ile ısıl özellikleri olumlu yönde etki göstermiştir. Bu nedenle uçucu küllerin farklı poliüretan esaslı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Yapılan çalışmada fiberle donatılmış polyeşter (FRP) profil üretilmesini amaçlanmıştır. Bu amaç için, uçucu kül, kendir, lastik atık malzemeleri polyeşter içerisine farklı oranlarda ilave edilerek iki farklı boy (4-10 mm), dört farklı çapta (35-50-60-70 mm) içi boş profil imal edilmiştir. Sonuç olarak uçucu kül ve polyeşterin birbirleri ile iyi iletişim göstermiş oldukları ve uçucu kül içermeyen numunelere göre daha yüksek mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmüştür (Karaca, 2016).

Yapılan çalışmada uçucu kül, ince agregalar ve cam elyafların bir karışımı olan cam elyaf takviyeli geopolimer harcının mekanik özelliklerini incelemiştir. Alkali sızılıların (NaOH ve Na₂SiO₂) toplam miktarının küle oranı 0,33 olarak alınmıştır. Karışımlara eklenen cam elyaflar 60 °C'da 48 saatlik kür rejimine tabii tutulmuştur. Sonuç olarak, cam elyafların eklenmesinin, uçucu kül esaslı geopolimer harçların işlenebilirliğini azaltırken basınç dayanımı, çekme dayanımı değerlerinde iyileşme sağladığını göstermiştir (Mulapeer, 2016).

Demir (2018), yapmış olduğu çalışmada Afşin Elbistan uçucu külünün saf hali ve modifiye halini kullanarak, dolgu maddesinin türü, miktarı ve poli(etilen glikol) (PEG) ilavesinin kompozit malzeme üzerinde oluşacak fiziksel-mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak çekme dayanımı, modifiye uçucu kül, uçucu küllü kompozit malzemeye göre daha dayanıklıdır. Kompozit malzemelerin tamamının korozyona dayanımı oldukları tespit edilmiştir. %20 uçucu kül içeren kompozit malzeme ile saf epoksinin su sorpsiyonu %0,7 çıkmıştır. Kompozit malzemeye ilave edilen uçucu kül malzemenin %50 bozunma sıcaklığına kadar azda olsa olumsuz bir etki göstermiştir.

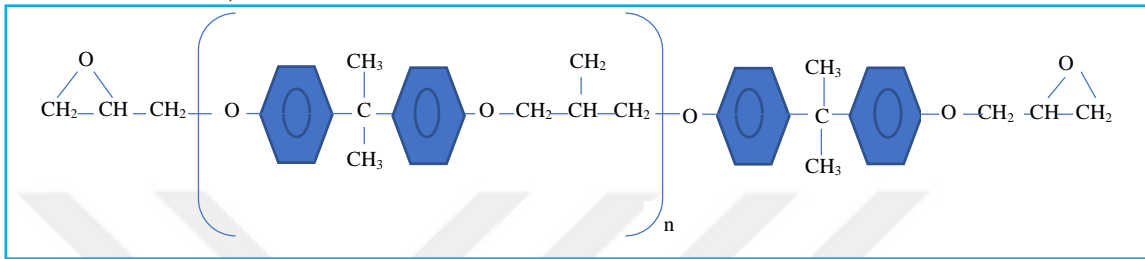
Kaynak araştırmalarından da görüleceği gibi önemli miktarda bir atık olan, açığa çıktığı yörelerde önemli evre ve sağlık sorunlarına neden olan uçucu külün imento katkı malzemesi, yol dolgu elemanı gibi farklı alanlarda değerlendirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Kompozit malzemelerde özellikle de epoksi kompozit malzemelerde uçucu kül kullanımı ile ilgili çalışmalar azdır. Yapılan bu çalışmada hem önemli bir atık yan ürün olan uçucu kül değerlendirilerek evre kirliliğinin ve sorunlarının azaltılması hem de uçucu külü atık durumundan çıkartıp ekonomik değer kazandırılarak kompozit malzemelerde dolgu elemanı olarak kullanımı amaçlanmıştır. Ülkemizde çokça bulunan uçucu külü bu çalışmada yeni bir polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanarak düşük maliyetli, evre dostu olan kompozit malzemeler üretmek ve kullanım alanlarını genişletmektir. Çalışmada kullanılan matris elemanı olarak iki çeşit epoksi reçine, dolgu maddesi olarak uçucu kül ve modifiye edilmiş uçucu kül kullanılmıştır. Saf olarak kullanılan epoksi ve dolgu maddesi bulunan kompozit malzemeler arasında çeşitli testler yapılarak fiziko-mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan Kimyasallar

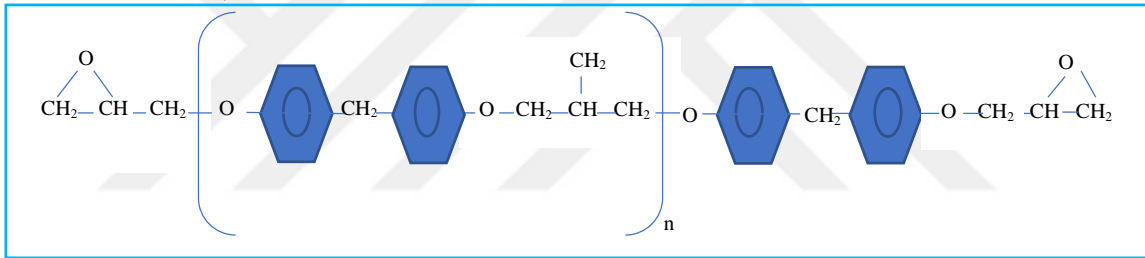
Matris malzemesi olarak, NPEF 170 ve NPEL 128 ticari koda sahip olan iki çeşit epoksi reçineler (ER) kullanılmıştır. Şekil 4.1 ve 4.2’de epoksilerin formülleri verilmiştir.

BPA türü,



Şekil 4.1. NPEL 128 Viskozite 12000-1500 cps/25 °C

BPF türü,



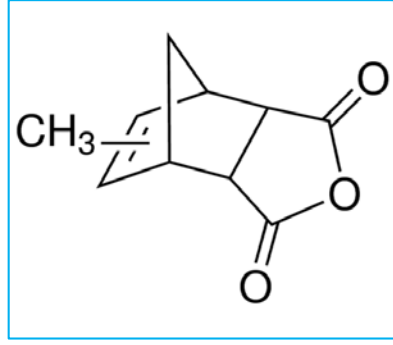
Şekil 4.2. NPEF 170 Viskozite 2000-5000 cps/25 °C

Dolgu maddesi olarak, Kütahya Seyit Ömer termik santrallerinden temin edilen F sınıfı uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de Kütahya Seyit Ömer F sınıfı uçucu külünün kimyasal bileşimi gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Kütahya Seyit Ömer F sınıfı uçucu külünün kimyasal bileşimi

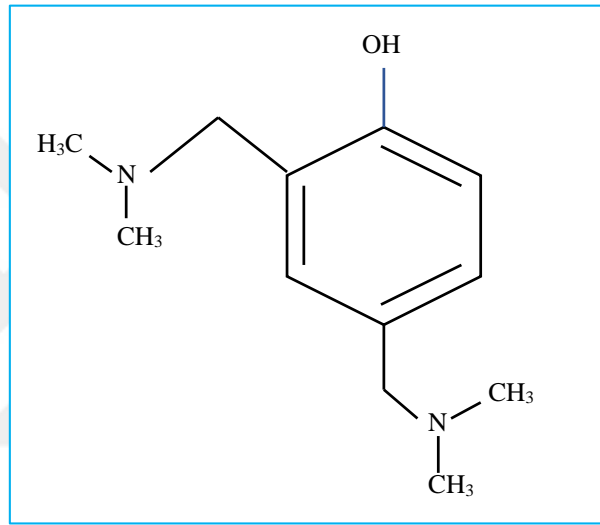
%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S+A+F	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK	Cl
Oksit	54.49	20.58	9.27	84.34	4.26	4.48	0.52	2.01	0.65	3.01	0.0058

Sertleştirici olarak, molekül ağırlığı 178.18 olan anhidrit yapılı metil nadik anhidrit (C₁₀H₁₀O₃) isimli ticari reçine sertleştiricisi kullanılmıştır. Şekil 4.3’de metil nadik anhidritin molekül yapısı gösterilmektedir.



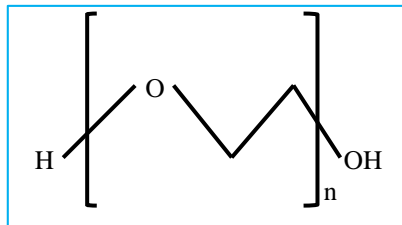
Şekil 4.3. MNA molekül yapısı

Hızlandırıcı olarak, 4,6-Tris(dimetilaminometil)fenol kullanılmıştır. Şekil 4.4’ de 4,6-Tris(dimetilaminometil)fenol hızlandırıcısının molekül yapısı gösterilmektedir.



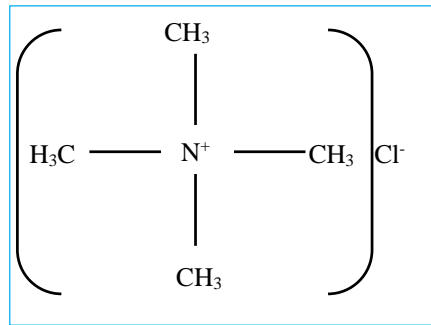
Şekil 4.4. 4,6-Tris(dimetilaminometil)fenol hızlandırıcısının molekül yapısı

Plastikleştirici olarak, $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$ molekülüne sahip poli(etilen glikol) (PEG) kullanıldı. Yoğunluğu 20°C de $1,13 \text{ g/cm}^3$ buhar basıncı 0.1 hPa dan küçük, pH 5-7, viskozitesi 105-140 mPa.s arasında, renksiz ve kokusuz bir malzemedir. Şekil 4.5’de molekül yapısı gösterilmektedir.



Şekil 4.5. PEG’in molekül yapısı

Modifikasyonu için, bir kuaterner amonyum tuzu olan tetrametil amonyum klorür (TMAC) kullanıldı. TMAC'ın $[(CH_3)_4NCl]$ molekül ağırlığı 109.6 g/mol, 20°C'de yoğunluğu 1.19 g/cm³'dir. Molekül yapısı Şekil 4.6'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. TMAC'ın molekül yapısı

4.2. Kullanılan Cihazlar

Ultrasonik Banyo

Polimer zincirleri ve dolgu maddesinin birbirine homojen olarak karışarak etkileşim sağlaması hava kabarcıklarının giderilmesi amacıyla kullanıldı.

Etüv

Kompozit malzemelerin sertleşmesi için gerekli olan sıcaklık verilebilmesi ve dolgu maddesinin içindeki nemin uzaklaştırılması amacıyla kullanıldı.

Analitik Terazî

Kompozitlerin doğru reçete ile hazırlanması aşamasında ve yapılan analizlerdeki öncesi sonrası tartımları için kullanıldı.

Isıtcılı Manyetik Karıştırıcı

Uçucu külün modifikasyonunda, TMAC ile modifiye edilen uçucu külün etkileşimini sağlayabilmek amacıyla kullanıldı.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan Lab. METTLER STAR SW cihazı, kompozit malzemelerin termal dayanımlarının ve camsı geçiş sıcaklığının belirlenmesi amacıyla kullanıldı.

Çekme-Kopma Testi Sistemi

Hazırlanan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin analizi için çekme-kopma test sistemi kullanıldı.

Sertlik Tayin Cihazı

Kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde Shore D TH 210 sertlik cihazı kullanıldı.

4.3. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması

4.3.1. Uçucu kül (UK)/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

Öncelikle dolgu maddesi olarak kullanılacak uçucu kül bünyesindeki nemin tamamen uzaklaştırılması için etüvde 60 °C 30 dk bekletildi. Daha sonra saf epoksi reçineler (ER) üzerine kompozit malzemelerin ağırlıkça %3, %5, %10, %15, %20 oranlarında uçucu kül eklendi. Uçucu kül ve epoksi reçine arasındaki etkileşimi sağlamak amacıyla karışım ultrasonik banyoda 30 dakika bagetle karıştırıldı. Daha sonra bu karışım kompozit malzemenin %25'i oranında reçine sertleştiricisi (S) eklendi. Elde edilen karışım tekrardan ultrasonik banyoda karıştırıldıktan sonra üzerlerine 4 damla hızlandırıcı ilave edilerek yeniden karıştırıldı. Hazırlanan karışım ASTM D 638 standardına uygun kalıplara döküldü. Oluşabilecek hava kabacıklarını önlemek adına karışım kalıp içerisinde 30 dakika oda sıcaklığında bekletildi. Kompozit malzemenin içinde bulunduğu kalıp ilk önce kürleme işlemi için 60 °C'de 6 saat ardından post-kür işlemi için 120 °C'de 12 saat etüvde bekletilerek kompozit malzemeler elde edildi.

Çizelge 4.2'de UK/ER kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılan epoksi reçine, uçucu kül, sertleştirici miktarı ve oranı gösterilmektedir. NPEF 170 ve NPEL 128 reçineler kullanılarak hazırlanan malzemelerde aynı miktarlar kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. UK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları

Numune	ER (g)	UK (%)	UK (g)	S (g)	Toplam (g)
ER + %3UK	13,06	3	0,54	4,4	18
ER + %5UK	12,8	5	0,9	4,3	18
ER + %10UK	12,2	10	1,8	4,0	18
ER + %15UK	11,5	15	2,7	3,8	18
ER + %20UK	10,8	20	3,6	3,6	18

Adhezyon testi için metal yüzeylerin her iki yüzeyi ince film tabakası halinde aynı kompozit malzeme ile kaplandı. Yüzeyi kaplanan metaller eş zamanlı olarak kompozit malzemelerle etüvde kütleme işlemine tabi tutuldu.

4.3.2. Modifiye uçucu kül (MUK)/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

Uçucu külü modifiye etmek için öncelikle bir behere 50 g uçucu kül alınarak üzerine 750 ml su; etanol (hacimce 4:1 oranında) çözelti ilave edilerek ve manyetik karıştırıcı yardımıyla 12 saat boyunca karıştırıldı (Tutar, 2018). Sonrasında başka bir beherde TMAC ve 20 ml su: etanol çözeltisi hazırlandı ve beherdeki uçucu kül-su:etanol karışımının üzerine eklendi. Elde ettiğimiz karışım manyetik karıştırıcıda iki gün karıştırmaya bırakıldı. Daha sonra modifiye edilen uçucu kül manyetik karıştırıcıdan alınarak ağzı kapalı bir şekilde dinlenmeye bırakıldı ve modifiye uçucu külün çökmesi sağlandı. Çöken kısım süzgeç kağıdı yardımıyla süzülerek ayrıldı. Çökelek birkaç kez saf sudan geçirildi ve Cl^- iyonlarının uzaklaştırılması sağlandı. Ortamda Cl^- iyonları olup olmadığını tespit etmek için ise saat camına birkaç damla çözelti alınarak üzerine 0,1 N $AgNO_3$ çözeltisi damlatılarak kontrol edildi. Çözeltinin renginde herhangi bir değişiklik olmayana kadar modifiye uçucu küle yıkama işlemi uygulandı. Yıkama işlemleriyle Cl^- iyonlarının tamamı uzaklaştırıldıktan sonra MUK etüve alınarak 100 °C de kurutulup, üzerindeki nem uzaklaştırıldı. Elde edilen MUK kullanılarak Çizelge 4.3'deki verilerdeki %3, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında kompozit malzemeler hazırlandı.

Çizelge 4.3. MUK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları

Numune	ER (g)	MUK (%)	MUK (g)	S (g)	Toplam (g)
ER + %3MUK	13,06	3	0,54	4,4	18
ER + %5MUK	12,8	5	0,9	4,3	18
ER+%10MUK	12,2	10	1,8	4,0	18
ER+%15MUK	11,5	15	2,7	3,8	18
ER+%20MUK	10,8	20	3,6	3,6	18

Adhezyon testi için metal yüzeylerin her iki yüzeyine de ince film halinde kompozit malzeme ile kaplanarak uçucu küle yapılan işlemler tekrarlandı.

4.3.3. Poli(etilen glikol) ilaveli (PEG) uçucu kül/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

Kompozit malzemelere PEG'in etkisini incelemek için PEG ilaveli uçucu kül kompozit malzemeleri hazırlanmıştır. PEG içeren kompozit malzemelerin hazırlanmasında %10 uçucu kül içeren kompozit malzemeler kullanılmıştır. Çizelge 4.4'deki verilen veriler kullanılarak %5, 10, 15, 20 oranlarında PEG içeren malzemeler daha önceki aşamalarda PEG içermeyen kompozit malzemelere uygulanan aynı işlemler uygulanarak hazırlanmıştır. NPEF 170 ve NPEL 128 reçineler için benzer şekilde kompozit malzemeler hazırlanmıştır.

Çizelge 4.4 PEG ilaveli UK/ER kompozit malzemelerin hazırlanış miktarları

PEG %	PEG (g)	UK %	UK (g)	ER (g)	S (g)	Toplam (g)
0	0	10	2	13,84	4,16	20
5	1	10	2	13,07	3,93	20
10	2	10	2	12,30	3,70	20
15	3	10	2	11,54	3,46	20
20	4	10	2	10,76	3,24	20

4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.4.1. Korozyon direnci testi

Kompozit malzemelerin farklı ortamlardaki korozyon direncini tespit etmek için %10 NaCl, %10 H₂SO₄, %10 NaOH çözeltileri kullanıldı. Kompozit malzemelerle kaplanan metaller %10 NaCl, %10 H₂SO₄, %10 NaOH içeren çözeltilere daldırılarak herhangi bir aşınma olup olmadığı gözlemlendi. Ayrıca kompozit malzemelerden alınan parçaların öncelikle hassas tartımı yapıldı. Alınan ölçümler kaydedilerek kompozit malzemeler, çözeltiler içerisine bırakıldı ve iki hafta süre içerisinde her gün olmak üzere kompozit malzemelerin tartımları tekrar ölçülerek herhangi bir kütle kaybı olup olmadığı kaydedildi. Aynı zaman aralıklarında çözeltide ve kompozit malzemede oluşabilecek renk ve yapı değişiklikleri gözlemlendi.

4.4.2. Sertlik testi

Kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin tayin edilmesi için Shore D TH 210 sertlik cihazı kullanıldı. Hazırlanan tüm kompozit malzemelerin ön ve arka yüzleri için ayrı ayrı 3 adet ölçüm alınarak ortalaması alındı. Bu ölçümler Shore D sertlik değerleri olarak kaydedildi.

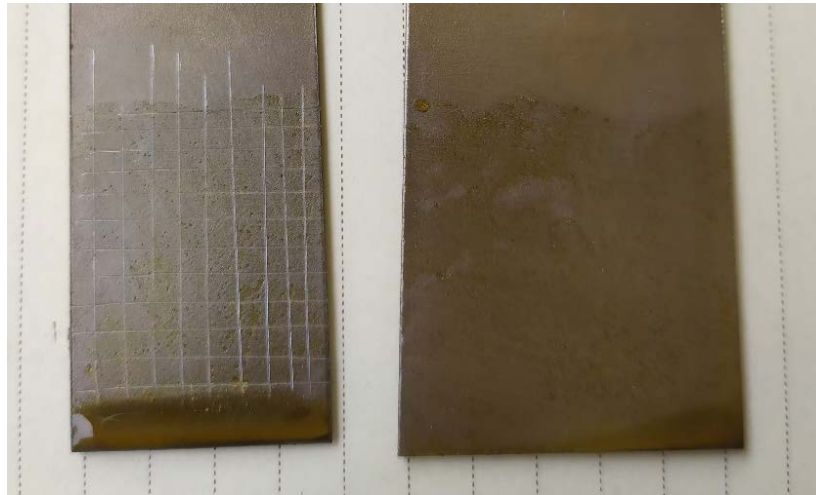
4.4.3. Su sorpsiyon testi

Kompozit malzemelerin su sorpsiyonu testi için hazırlanmış kompozit malzemelerden kesilen küçük parçalar öncelikle hassas tartıda tek tek tartılarak alınan ölçümler kaydedildi. Daha sonra saf su içerisine bırakılarak iki hafta süresince her gün sudan çıkartılıp filtre kağıdı ile fazla suyu alındıktan sonra tekrardan hassas tartıda tartılarak oluşan kütle kaybı ve/veya artışı kaydedildi.

4.4.4. Adhezyon testi

Epoksi kompozitlerin adhezyon özelliklerinin belirlenmesinde “Lattice notch methodu” kullanıldı. Bu yöntemle göre uçucu kül/epoksi reçine karışımları hazırlık aşamalarında adhezyon testi için metal yüzeylere de ince bir film şeklinde kaplandı. Kaplamadan önce metal yüzeylerde kir, pas ve pürüzler olmaması için öncelikle zımparalandı ve ardından aseton yardımıyla temizlendi. Kompozit malzemeleri içeren metaller kür işlemi için 60 °C’de 6 saat ardından post-kür işlemi için ise 120 °C’de 12 saat etüvde bekletildi. Etüvden alınan sertleşmiş numunelerin yüzeyindeki film tabakaları maket bıçağı ile eşit boyutlarda kare şeklinde kesilerek sayıldı. Kesilen parçaların üzerine kuvvetli bir bant yapıştırılarak hızlı bir şekilde çekilerek kare parçalarının yüzeyden ayrılıp ayrılmadığı gözlemlendi ve % adhezyon değerleri belirlendi.

Kaplamaların adhezyon testinden öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.7’de gösterildi.



Şekil 4.7. Kaplamaların adhezyon testi öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüsü

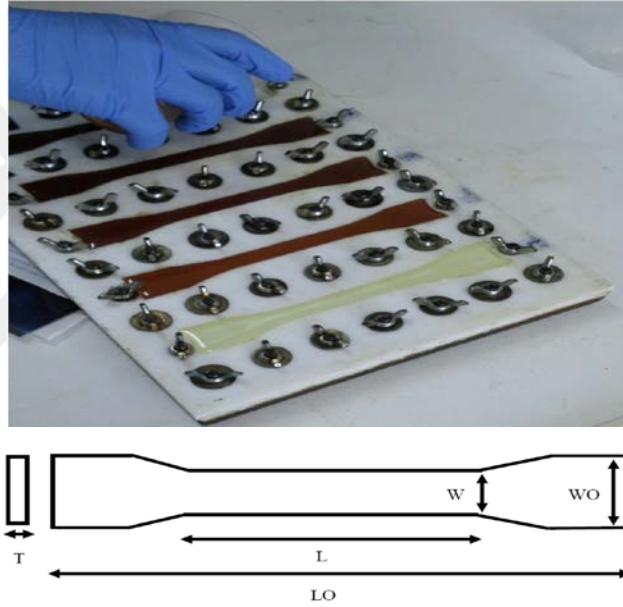
% Adhezyon = $((a-b)/a) \times 100$ eşitliği ile adhezyon yüzdesi hesaplandı.

a: Başlangıçta yüzeydeki toplam parça sayısı

b: Yüzeyden ayrılan parça sayısı

4.4.5. Çekme Testi

Çekme testi için ASTM D 638 (ASTM, 2002) standartlarına göre kompozit numuneleri hazırlandı. SHIMADZU AGS-X 10 kN cihazı (Şekil 4.9.) ile numunelerin alt ve üst kısımları cihazın çenesine sabitlenerek dakikada 5 mm çekme hızı çekme testi yapıldı. Şekil 4.8’de kompozit numunelerin görünümü verilmektedir.



Şekil 4.8. Kompozit malzemenin görünümü

Çizelge 4.5’de ASTM D 638 standartlarına göre hazırlanıp kalıptan çıkarılan kompozit malzemelerin boyutları verilmektedir.

Çizelge 4.5. Kompozit malzemelerin boyutları

Özellik	Kısaltma	Boyut (mm)
Kalınlık	T	4±0.2
Tüm uzunluk	LO	150
Dar kısım uzunluğu	L	80±2.0
Tüm genişlik	WO	20±0.2
Dar kısım uzunluğu	W	10±2.0



Şekil 4.9. SHIMADZU AGS-X 10 kN cihazı görseli

4.4.6. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Termal özelliklerini belirlemek amacıyla kompozit malzemeler belirli sıcaklıkta dengeye getirildikten sonra Lab. METTLER STAR SW cihazı kullanılarak yüksek saflıkta azot atmosferi altında $10^{\circ}\text{C} / \text{dakika}$ ısıtma hızı ile sıcaklık 25°C 'tan 650°C ' a çıkarılarak DSC analizi yapıldı.

Diferansiyel taramalı kalorimetri, numune ve referansa ısı akışı arasındaki farkı, kontrollü bir sıcaklık programı uygulayarak sıcaklığın fonksiyonu olarak inceleyen termal bir yöntemdir. Diferansiyel taramalı kalorimetri, termal yöntemler içinde günümüzde en fazla kullanılanlardan biridir. Diferansiyel taramalı kalorimetre ile camlı geçiş sıcaklığı, termal bozunma sıcaklığı, çapraz bağlanma sıcaklığı, erime sıcaklığı ve kristalleşme sıcaklığı ölçülebilir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Korozyon Testi Sonuçları

Saf ve modifiye uçucu kül içeren kompozit malzemelerde korozyon dayanımlarını tespit etmek için ve kütle kaybını kontrol etmek için kompozit parçalar asit, baz ve tuz çözeltisi ortamlarında bırakılmıştır. Çizelge 5.1-5.6'da kompozit malzemelerinin korozyon testi sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%10 H₂SO₄) korozyon testi sonuçları

NPEF 170	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	%10 H ₂ SO ₄
%3 UK	0,2561	0,2571	0,3904	++
%5 UK	0,4058	0,4081	0,5667	++
%10 UK	0,4808	0,486	1,0815	++
%15 UK	0,5779	0,5799	0,3460	++
%20 UK	0,5601	0,5612	0,1963	++
%3 MUK	0,4152	0,4174	0,5298	++
%5 MUK	0,3966	0,3979	0,3277	++
%10 MUK	0,4038	0,4064	0,6438	++
%15 MUK	0,3288	0,3303	0,4562	++
%20 MUK	0,4282	0,4312	0,7006	++
%0 PEG+%10 UK	0,5675	0,5689	0,2466	++
%5 PEG+%10 UK	0,4772	0,4809	0,7753	++
%10 PEG+%10 UK	0,4479	0,4563	1,8754	++
%15 PEG+%10 UK	0,4538	0,4762	4,9360	+-
%20 PEG+%10 UK	0,3443	0,3778	9,7298	+-
SAF	0,3621	0,3668	1,2979	++

++ : Dayanıklı +- : Dayanıksız

Çizelge 5.1'de gösterildiği gibi %10 H₂SO₄ çözeltisine bırakılan, NPEF 170 reçine kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin neredeyse tamamı asit ortamına karşı dayanıklı iken sadece %15-20 PEG ilaveli kompozit malzemeler korozyona karşı dayanıksız olduğu gözlemlenmiştir. %10 H₂SO₄ asit ortamında yapılan korozyon testlerindeki numunelerde ve kullanılan çözeltilerde herhangi bir renk değişimi, parçalanma gözlenmedi.

Çizelge 5.2. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (% 10 NaOH) korozyon testi sonuçları

NPEF 170	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	% 10 NaOH
%3 UK	0,4715	0,474	0,5302	++
%5 UK	0,3655	0,3679	0,6566	++
%10 UK	0,5154	0,5174	0,3880	++
%15 UK	0,4736	0,4771	0,7390	++
%20 UK	0,6017	0,6038	0,3490	++
%3 MUK	0,4541	0,4566	0,5505	++
%5 MUK	0,3256	0,3271	0,4606	++
%10 MUK	0,3591	0,361	0,5291	++
%15 MUK	0,2423	0,2427	0,1650	++
%20 MUK	0,325	0,3258	0,2461	++
%0 PEG+%10 UK	0,4103	0,4122	0,4630	++
%5 PEG+%10 UK	0,3261	0,3383	3,7411	+-
%10 PEG+%10 UK	0,4193	0,4371	4,2451	+-
%15 PEG+%10 UK	0,3209	0,3718	15,8616	+-
%20 PEG+%10 UK	0,4533	0,7923	74,7849	+-
SAF	0,3694	0,3716	0,5955	++

++ : Dayanıklı

+- : Dayanıksız

Çizelge 5.2’de gösterildiği gibi %10 NaOH çözeltisi içerisinde bırakılan kompozit malzemeler genellikle korozyona dayanıklı iken, %5, 10, 15 ve 20 PEG kullanılarak hazırlanan kompozit malzemeler korozyona karşı dayanıksız olduğu gözlemlenmiştir. %10 NaOH çözeltisi ortamındaki testlerdeki numunelerde ve çözeltide renk değişimi gözlenmemiştir.

Çizelge 5.3. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (% 10 NaCl) korozyon testi sonuçları

NPEF 170	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	% 3 NaCl
%3 UK	0,3459	0,3461	0,0578	++
%5 UK	0,6829	0,6832	0,0439	++
%10 UK	0,4171	0,4182	0,2637	++
%15 UK	0,9141	0,9143	0,0218	++
%20 UK	0,4099	0,4117	0,4391	++
%3 MUK	0,6358	0,6362	0,0629	++
%5 MUK	0,3699	0,3735	0,9732	++
%10 MUK	0,5672	0,5695	0,4055	++
%15 MUK	0,3976	0,3982	0,1509	++
%20 MUK	0,3987	0,4003	0,4013	++
%0 PEG+%10 UK	0,5483	0,5497	0,2553	++
%5 PEG+%10 UK	0,5635	0,5639	0,0709	++
%10 PEG+%10 UK	0,332	0,3337	0,5120	++
%15 PEG+%10 UK	0,6329	0,6336	0,1106	++
%20 PEG+%10 UK	0,6096	0,6101	0,0821	++
SAF	0,3799	0,3812	0,3421	++

++ : Dayanıklı

+- : Dayanıksız

Çizelge 5.3’de gösterilen %3 NaCl çözeltisi içerisinde bırakılan kompozit malzemelerde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği ve malzemelerin korozyona dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.4. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (% 10 H₂SO₄) korozyon testi sonuçları

NPEL 128	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	% 10 H ₂ SO ₄
%3 UK	0,5143	0,5164	0,4083	++
%5 UK	0,4841	0,4862	0,4337	++
%10 UK	0,4471	0,4488	0,3802	++
%15 UK	0,3211	0,324	0,9031	++
%20 UK	0,3548	0,3581	0,9301	++
%3 MUK	0,3379	0,3431	1,5389	++
%5 MUK	0,3156	0,3191	1,1089	++
%10 MUK	0,4682	0,4701	0,4058	++
%15 MUK	0,5592	0,5612	0,3576	++
%20 MUK	0,3899	0,3915	0,4103	++
%0 PEG+%10 UK	0,4131	0,4145	0,3389	++
%5 PEG+%10 UK	0,4441	0,4471	0,6755	++
%10 PEG+%10 UK	0,4046	0,4124	1,9278	++
%15 PEG+%10 UK	0,5713	0,5883	2,9756	++
%20 PEG+%10 UK	0,3777	0,4066	7,6515	+-
SAF	0,3159	0,3189	0,9496	++

++ : Dayanıklı +- : Dayanıksız

Çizelge 5.4’de gösterildiği gibi %10 H₂SO₄ çözeltisine bırakılan NPEL 128 reçinesi ile uçucu kül ve modifiye uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde herhangi bir değişiklik gözlenmemiş olup numuneler korozyona dayanıklı iken, %20 PEG ilaveli kompozit malzeme ise korozyona dayanıksız olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.5. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (% 10 NaOH) korozyon testi sonuçları

NPEL 128	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	% 10 NaOH
%3 UK	0,2721	0,2739	0,6615	++
%5 UK	0,3679	0,3701	0,5979	++
%10 UK	0,4668	0,4693	0,5355	++
%15 UK	0,2911	0,2944	1,1336	++
%20 UK	0,2416	0,2427	0,4552	++
%3 MUK	0,3894	0,3914	0,5136	++
%5 MUK	0,5611	0,5644	0,5881	++
%10 MUK	0,3813	0,3831	0,4720	++
%15 MUK	0,5308	0,5351	0,8100	++
%20 MUK	0,5536	0,5565	0,5238	++
%0 PEG+%10 UK	0,3556	0,3574	0,5061	++
%5 PEG+%10 UK	0,3512	0,3539	0,7687	++
%10 PEG+%10 UK	0,4938	0,5171	4,7185	+-
%15 PEG+%10 UK	0,3681	0,4655	26,4602	+-
%20 PEG+%10 UK	0,3445	0,6843	98,6357	+-
SAF	0,3158	0,3174	0,5066	++

++ : Dayanıklı +- : Dayanıksız

Çizelge 5.5’de verilen analiz sonuçlarına göre %10 NaOH çözeltisine bırakılan kompozit malzemelerin genel olarak korozyona dayanıklı iken sadece %10, 15 ve 20 PEG ilaveli kompozitlerin korozyona dayanıksız olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.6. NPEL 128 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerinin (%3 NaCl) korozyon testi sonuçları

NPEL 128	İlk Tartım (g)	Son Tartım (g)	Yüzde Oranı (%)	%3 NaCl
%3 UK	0,4679	0,4684	0,1068	++
%5 UK	0,3029	0,3032	0,0990	++
%10 UK	0,4169	0,4175	0,1439	++
%15 UK	0,4617	0,4625	0,1732	++
%20 UK	0,4419	0,4424	0,1131	++
%3 MUK	0,3967	0,3972	0,1260	++
%5 MUK	0,3259	0,3265	0,1841	++
%10 MUK	0,4357	0,4368	0,2524	++
%15 MUK	0,6356	0,6344	0,0946	++
%20 MUK	0,4855	0,4866	0,2265	++
%0 PEG+%10 UK	0,5346	0,5351	0,0935	++
%5 PEG+%10 UK	0,5059	0,5062	0,0593	++
%10 PEG+%10 UK	0,4486	0,4497	0,2452	++
%15 PEG+%10 UK	0,5485	0,5495	0,1823	++
%20 PEG+%10 UK	0,6096	0,6106	0,1640	++
SAF	0,3359	0,3372	0,3870	++

++ : Dayanıklı +- : Dayanıksız

Çizelge 5.6'da verilen analiz sonuçlarına göre %3 NaCl çözeltisi içerisinde bırakılan kompozit malzemelerin korozyona dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. %3 NaCl içerisinde bırakılan kompozit malzemelerde herhangi bir parçalanma, malzeme ve çözeltide herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir.

Sonuç olarak NPEL 128 ve NPEF 170 reçineleriyle hazırlanan kompozit malzemelerin %3 NaCl çözeltisine karşı korozyon dirençleri yüksektir. %10 H₂SO₄ ve %10 NaOH çözeltisi içerisinde bırakılan, uçucu kül ve modifiye uçucu kül dolgulu kompozit malzemelerin, korozyona karşı dirençli iken, ilave edilen PEG oranına göre korozyon dirençleri olumsuz yönde etkilenmektedir.

Yılmaz (2013) yapmış olduğu çalışmasında %5 kaolin ve %5 PEG katkılı epoksi reçinelerinin korozyon dayanımlarını iki sertleştirici malzeme üzerinde gözlemlemiştir. Anhidrit ve PC-17 sertleştirici içeren numunelerinin korozyona karşı dayanıklı olduğunu gözlemlemiştir.

5.2. Sertlik Testi Sonuçları

Shore Durometer sertlik cihazında parlak ve mat yüzeylerin üçer kez ölçülen kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin ortalaması NPEF 170 kodlu ticari reçine için Çizelge 5.7’de ve NPEL 128 kodlu ticari reçine için Çizelge 5.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. NPEF 170 kodlu ticari reçinesinden hazırlanan kompozit malzemelerin ortalama sertlik değerleri

NPEF 170	Parlak Yüzey (Üst)	Mat Yüzey (Alt)
	Shore D	Shore D
%3 UK	62,5	77,86
%5 UK	80,96	79,3
%10 UK	85,83	85,76
%15 UK	79,03	88,66
%20 UK	81	90,26
%3 MUK	79,5	83,73
%5 MUK	83,83	77,4
%10 MUK	79,86	78,66
%15 MUK	79,06	85,56
%20 MUK	82,56	88,5
%0 PEG+%10 UK	77,5	80,93
%5 PEG+%10 UK	69,16	63,56
%10 PEG+%10 UK	74,26	74,7
%15 PEG+%10 UK	67,76	74,13
%20 PEG+%10 UK	43	41,16
SAF*	78,16	70,2

*Dolgu veya PEG içermeyen saf epoksi malzeme

Çizelge 5.8. NPEL 128 kodlu ticari reçinesinden hazırlanan kompozit malzemelerin ortalama sertlik değerleri

NPEL 128	Parlak Yüzey (Üst)	Mat Yüzey (Alt)
	Shore D	Shore D
%3 UK	71,53	83,6
%5 UK	74,53	86,36
%10 UK	71,93	84,5
%15 UK	71,36	87,43
%20 UK	72,73	87,26
%3 MUK	79,46	81,46
%5 MUK	80,86	80,13
%10 MUK	75,73	72,1
%15 MUK	82,26	83,56
%20 MUK	82,5	86,76
%0 PEG+%10 UK	82,16	80,86
%5 PEG+%10 UK	82,73	79,4
%10 PEG+%10 UK	71,1	73,23
%15 PEG+%10 UK	69,16	55,66
%20 PEG+%10 UK	62,13	41,66
SAF*	74,16	71,2

*Dolgu veya PEG içermeyen saf epoksi malzeme

Çizelge 5.7’den de görülebileceği gibi NPEF 170 kodlu epoksi kompozit malzemenin sertlik değerleri kompozit malzeme içerisinde uçucu kül (UK) oranı arttıkça

parlak yüzeyler için 62,5 Shore D'den 81 Shore D'ye, mat yüzeyler için 77,86 Shore D'den 90,26 Shore D'ya artmıştır. Benzer şekilde modifiye uçucu külün (MUK) kullanıldığı kompozit malzemelerde MUK oranı arttıkça parlak yüzeyler için 79,5 Shore D'den 82,56 Shore D'ye, mat yüzeyler için 83,73 Shore D'den 88,5 Shore D'e artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerlerine uçucu külün kullanıldığı kompozit malzemelerde %10 oranında UK kullanımında ve modifiye uçucu külün kullanıldığı kompozit malzemelerde ise %20 oranında MUK kullanıldığında ulaşılmıştır. PEG kullanılan kompozit malzemelerde PEG oranının artması ile sertlik değerleri parlak yüzeyler için 77,5 Shore D'den 43 Shore D'e, mat yüzeyler için 80,93 Shore D'den 41,16 Shore D değerlerine düşmüştür. %20 PEG kullanılan malzemelerde en düşük sertlik değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.8'den de görüleceği gibi NPEL 128 kodlu epoksi kompozit malzemenin sertlik değerleri uçucu kül kullanım oranı arttıkça, parlak yüzeyler için 71,53 Shore D'den 72,73 Shore D'e, mat yüzeyler için ise 83,6 Shore D'den 87,26 Shore D'ye artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde modifiye edilen uçucu kül oranları da arttıkça parlak yüzeylerdeki oranlar 79,46 Shore D'dan 82,5 Shore D değerlerine, mat yüzeyler ise 81,46 Shore D'dan 86,76 Shore D'ye artmıştır. Uçucu külün en yüksek sertlik değeri %5 oranında UK kullanıldığında ve modifiye edilen uçucu külün en yüksek sertlik değeri ise %20 oranında MUK kullanıldığında sağlanmıştır. PEG kullanım oranı arttıkça da parlak yüzeyler 82,16 Shore D'dan 62,13 Shore D'ye, mat yüzeyler ise 80,86 Shore D'dan 41,66 Shore D değerlerine düşmüştür. PEG için en düşük sertlik değeri %20 oranında PEG kullanıldığında gözlemlenmiştir.

Saf reçineye göre dolgu maddesi kullanılan kompozitlerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu ve PEG ilaveli kompozitlerin sertlik değerlerinin de daha düşük olduğu görülmüştür. NPEF 170'de dolgu malzemesinin kullanımının NPEL 128'e göre kompozit malzemenin sertlik değerini daha çok arttırdığı görülmüştür. MUK kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin SAF malzemelere göre daha yüksek sonuçlar verdiği bulunmuştur.

5.3. Su Sorpsiyon Testi Sonuçları

Çizelge 5.9'da NPEF 170 ve Çizelge 5.11'da NPEL 128 kodlu ticari reçineyle hazırlanmış kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları verilmiştir. Sonuçlar kuru tartım ile başlayıp günlük olarak ve dokuzuncu günden sonra bir haftalık arayla

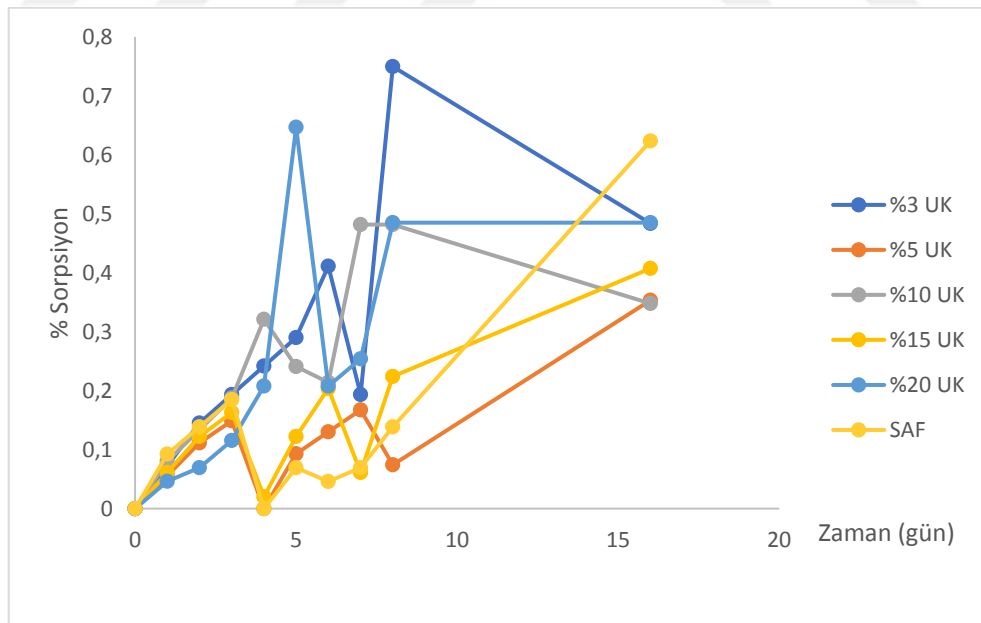
yapılan kütle ölçümleriyle oluşturulmuştur. Kompozit malzemeler için Çizelge 5.10'da verilerden elde edilen % su sorpsiyon grafikleri Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'de gösterilmektedir. Kompozit malzemeler için Çizelge 5.12'de verilerden elde edilen % su sorpsiyon grafikleri Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon test sonuçları (g)

NPEF 170	Kuru									
	Tartım	1. gün	2. gün	3.gün	4.gün	5.gün	6. gün	7. gün	8. gün	16. gün
%3 UK	0,4135	0,4138	0,4141	0,4143	0,4145	0,4147	0,4152	0,4143	0,4166	0,4155
%5 UK	0,5376	0,5379	0,5382	0,5384	0,5376	0,5381	0,5383	0,5385	0,538	0,5395
%10 UK	0,3736	0,3739	0,3741	0,3743	0,3748	0,3745	0,3744	0,3754	0,3754	0,3749
%15 UK	0,4908	0,4911	0,4914	0,4916	0,4909	0,4914	0,4918	0,4911	0,4919	0,4928
%20 UK	0,4329	0,4331	0,4332	0,4334	0,4338	0,4357	0,4338	0,434	0,435	0,435
%3 MUK	0,4924	0,4926	0,4929	0,493	0,4927	0,4933	0,4924	0,4924	0,4924	0,4931
%5 MUK	0,4472	0,4474	0,4475	0,4477	0,4483	0,4485	0,4478	0,4473	0,4482	0,4489
%10 MUK	0,4354	0,4356	0,4358	0,4354	0,4354	0,4354	0,4354	0,4356	0,4354	0,4354
%15 MUK	0,3354	0,3356	0,3359	0,336	0,3361	0,3361	0,3367	0,3362	0,3362	0,3379
%20 MUK	0,3152	0,3154	0,3156	0,3158	0,3158	0,3161	0,316	0,3166	0,3162	0,3163
%0 PEG+										
%10 UK	0,4381	0,4383	0,4385	0,4388	0,4381	0,4385	0,4386	0,4392	0,4394	0,4391
%5 PEG+										
%10 UK	0,3719	0,3721	0,3722	0,3724	0,3724	0,3733	0,3741	0,3732	0,3732	0,3747
%10 PEG+										
%10 UK	0,6415	0,6417	0,6419	0,6423	0,644	0,6438	0,6463	0,6465	0,6469	0,6555
%15 PEG+										
%10 UK	0,3989	0,3999	0,4001	0,4003	0,4025	0,4027	0,4055	0,4073	0,4086	0,415
%20 PEG+										
%10 UK	0,3994	0,3996	0,3998	0,4	0,4032	0,4068	0,4088	0,4125	0,4165	0,429
SAF	0,4331	0,4335	0,4337	0,4339	0,4331	0,4334	0,4333	0,4334	0,4337	0,4358

Çizelge 5.10. NPEF 170 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin % su sorpsiyon test sonuçları (g)

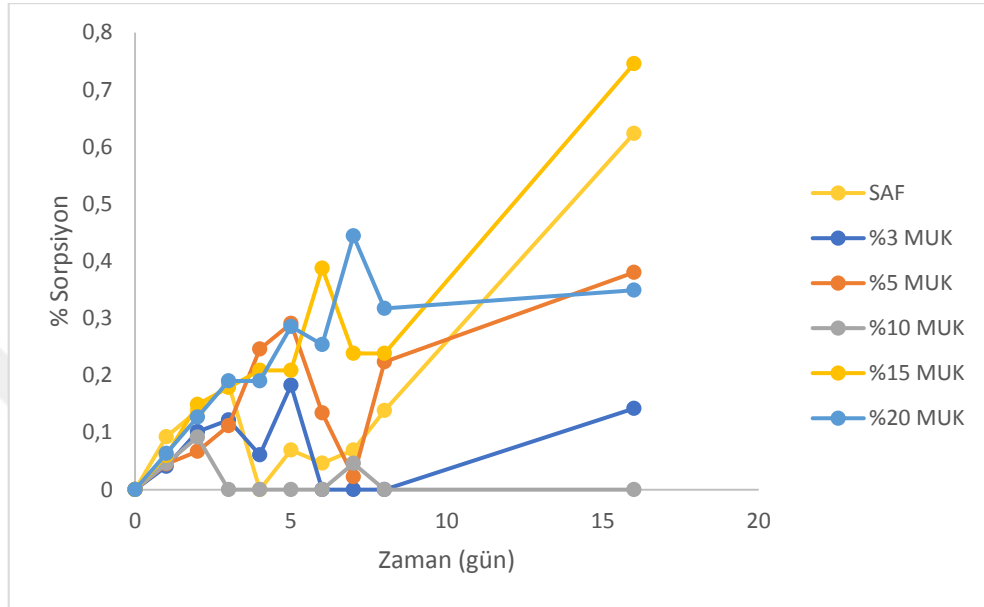
NPEF 170 % Sorpsiyon	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	6. gün	7. gün	8. gün	16. gün
%3 UK	0,0725	0,1451	0,1934	0,2418	0,2902	0,4111	0,193	0,7496	0,4836
%5 UK	0,0558	0,1116	0,1488	0	0,0930	0,1302	0,1674	0,0744	0,3534
%10 UK	0,0802	0,1338	0,1873	0,3211	0,2408	0,2141	0,4817	0,4817	0,3479
%15 UK	0,0611	0,1222	0,1629	0,0203	0,1222	0,2037	0,0611	0,2241	0,4074
%20 UK	0,0462	0,0693	0,1155	0,2079	0,6468	0,2079	0,2541	0,4851	0,4851
%3 MUK	0,0406	0,1015	0,1218	0,0609	0,1827	0	0	0	0,1421
%5 MUK	0,0447	0,0670	0,1118	0,2459	0,2906	0,1341	0,0223	0,2236	0,3801
%10 MUK	0,0459	0,0918	0	0	0	0	0,0459	0	0
%15 MUK	0,0596	0,1490	0,1788	0,2087	0,2087	0,3875	0,2385	0,2385	0,7453
%20 MUK	0,0634	0,1269	0,1903	0,1903	0,2855	0,2538	0,4441	0,3172	0,3489
%0 PEG+									
%10 UK	0,0456	0,0913	0,1597	0	0,0913	0,1141	0,2510	0,2967	0,2282
%5 PEG+									
%10 UK	0,0537	0,0806	0,1344	0,1344	0,3764	0,5915	0,3495	0,3495	0,7528
%10 PEG+									
%10 UK	0,0311	0,0623	0,1247	0,3897	0,3585	0,7482	0,7794	0,8417	2,1823
%15 PEG+									
%10 UK	0,2506	0,3008	0,3509	0,9024	0,9526	1,6545	2,1057	2,4316	4,0360
%20 PEG+									
%10 UK	0,0500	0,1001	0,1502	0,9514	1,8527	2,3535	3,2799	4,2814	7,4111
SAF	0,0923	0,1385	0,1847	0	0,0692	0,0461	0,0692	0,1385	0,6234



Şekil 5.1. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve uçucu kül (UK) kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

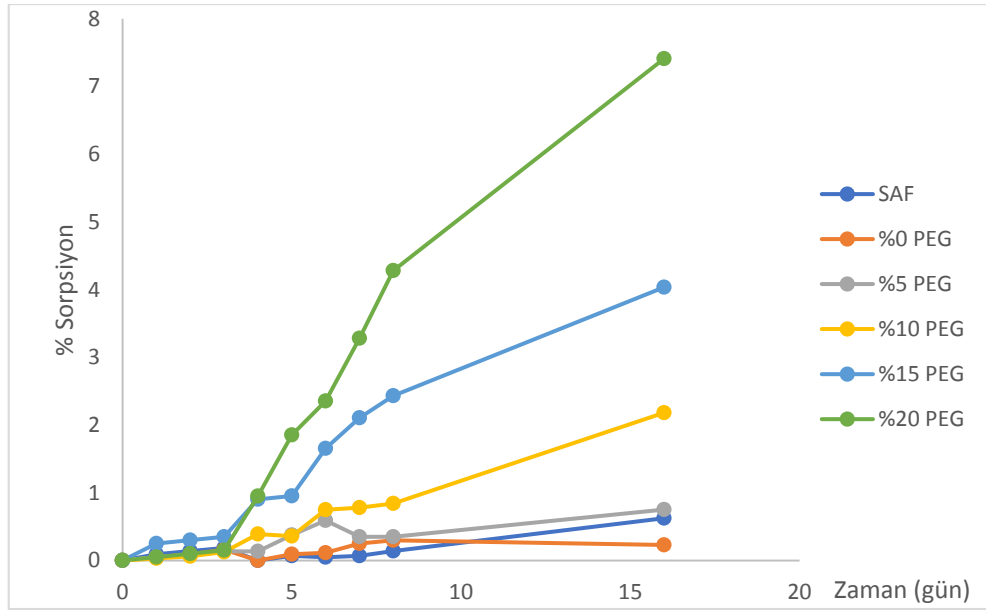
Uçucu kül dolgu malzemeli NPEF 170 kodlu ticari reçine ile oluşturulan kompozit malzemelerin en düşük su sorpsiyonu %0,3479 oranında %10 UK ile hazırlanan kompozit malzeme sahip iken en yüksek su sorpsiyonu %0,4851 oranıyla %20 UK kullanılarak

hazırlanan kompozit malzeme sahiptir. SAF epoksi malzeme ile kıyaslandığında UK kullanımının su sorpsiyonuna olumlu etkisi olduğu bulunmuştur. Uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin % su sorpsiyonu grafiği de Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve modifiye uçucu kül (MUK) kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

NPEF 170 kodlu ticari reçine ile modifiye uçucu kül kullanılmış kompozit malzemelerde su sorpsiyonu en düşük olan kompozit malzeme %0 oranında %10 MUK ile elde edilen kompozit malzemedir. En yüksek su sorpsiyonu da %0,7453 oranında %15 MUK kullanımında görülmüştür. SAF kompozit malzemeye göre su sorpsiyonun MUK kullanımında azaldığı bulunmuştur. Sonuçlarında % su sorpsiyon değişimleri Şekil 5.2' de gösterilmiştir.

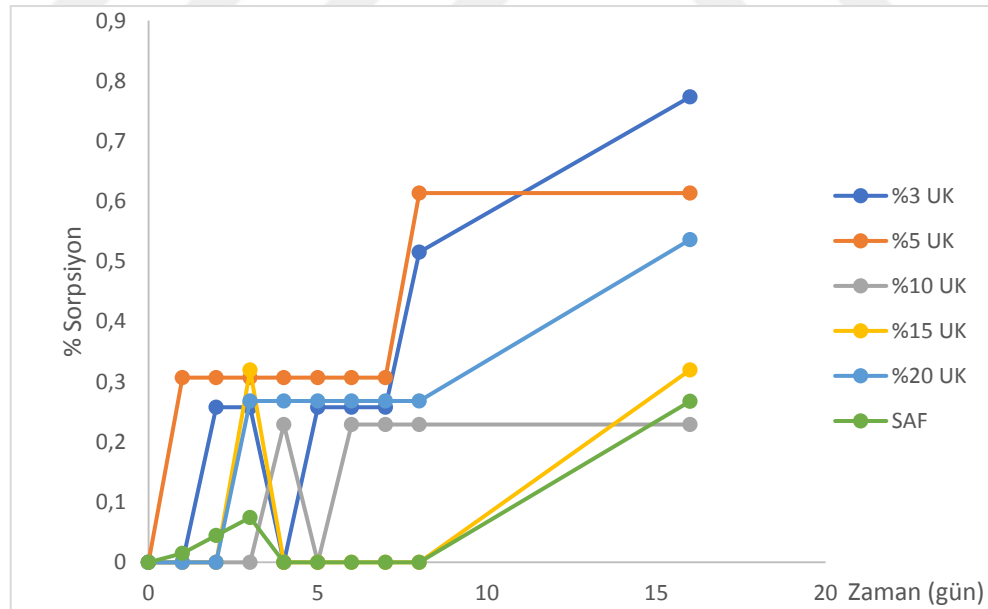


Şekil 5.3. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve PEG kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

NPEF 170 kodlu ticari reçine ve PEG kullanılan kompozit malzemenin su sorpsiyon testleri sonucunda en düşük % su sorpsiyon değeri %0 PEG kullanımında %0,2282 su sorpsiyon oranı olarak bulunmuştur. En yüksek % su sorpsiyon değeri ise %20 PEG kullanımında %7,4111 olarak bulunmuştur. PEG oranının artmasıyla kompozit malzemenin % su sorpsiyon oranında zamanla değişimler meydana gelmiştir. SAF epoksi malzemeye göre daha fazla su sorpsiyon oranına sahip olduğu görülmüştür. Bulunan bu veriler grafik halinde Şekil 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. NPEF 128 kodlu ticari reçine ile hazırlanan kompozit malzemelerin %su sorpsiyon test sonuçları (g)

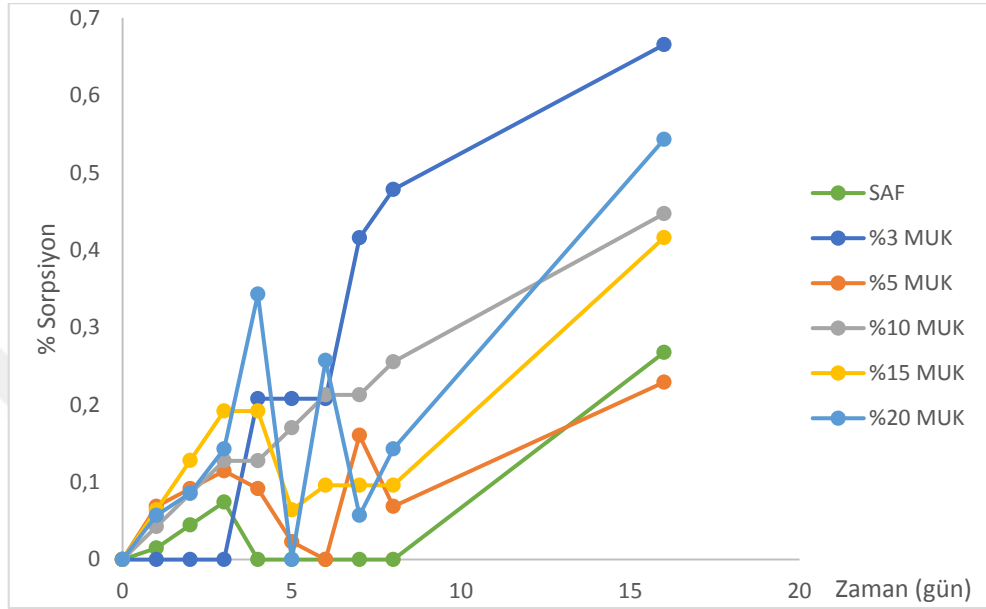
NPEL 128 % Sorpsiyon	1. gün	2. gün	3.gün	4.gün	5.gün	6. gün	7. gün	8. gün	16. gün
%3 UK	0	0,2577	0,2577	0	0,2577	0,2577	0,2577	0,5154	0,7731
%5 UK	0,306	0,3067	0,3067	0,3067	0,3067	0,3067	0,3067	0,6134	0,6134
%10 UK	0	0	0	0,2288	0	0,2288	0,2288	0,2288	0,2288
%15 UK	0	0	0,3194	0	0	0	0	0	0,3194
%20 UK	0	0	0,2680	0,2680	0,2680	0,2680	0,2680	0,2680	0,5361
%3 MUK	0	0	0	0,2079	0,2079	0,2079	0,4158	0,4781	0,6652
%5 MUK	0,068	0,0916	0,1145	0,0916	0,0229	0	0,1604	0,0687	0,2291
%10 MUK	0,042	0,0851	0,1276	0,1276	0,1702	0,2128	0,2128	0,2553	0,4469
%15 MUK	0,064	0,128	0,192	0,192	0,064	0,096	0,096	0,096	0,416
%20 MUK	0,057	0,0857	0,1428	0,3429	0	0,2572	0,0571	0,1428	0,5430
%0 PEG+									
%10 UK	0,056	0,0850	0,1417	0	0,0567	0,0283	0,1417	0,1134	0,3969
%5 PEG+									
%10 UK	0,093	0,1164	0,1629	0,1629	0,1629	0,2793	0,2328	0,3725	0,5820
%10 PEG+									
%10 UK	0,047	0,0959	0,1438	0,2637	0,3597	0,7194	0,8393	0,7673	2,0383
%15 PEG+									
%10 UK	0,042	0,105	0,1476	0,653	0,7802	0,7169	1,3918	1,1387	4,1754
%20 PEG+									
%10 UK	0,128	0,171	0,2145	0,171	1,7160	2,2737	3,6250	3,6465	8,8588
SAF	0,014	0,0445	0,07431	0	0	0	0	0	0,2675



Şekil 5.4. NPEL 128 kodlu ticari reçine ve uçucu kül (UK) kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

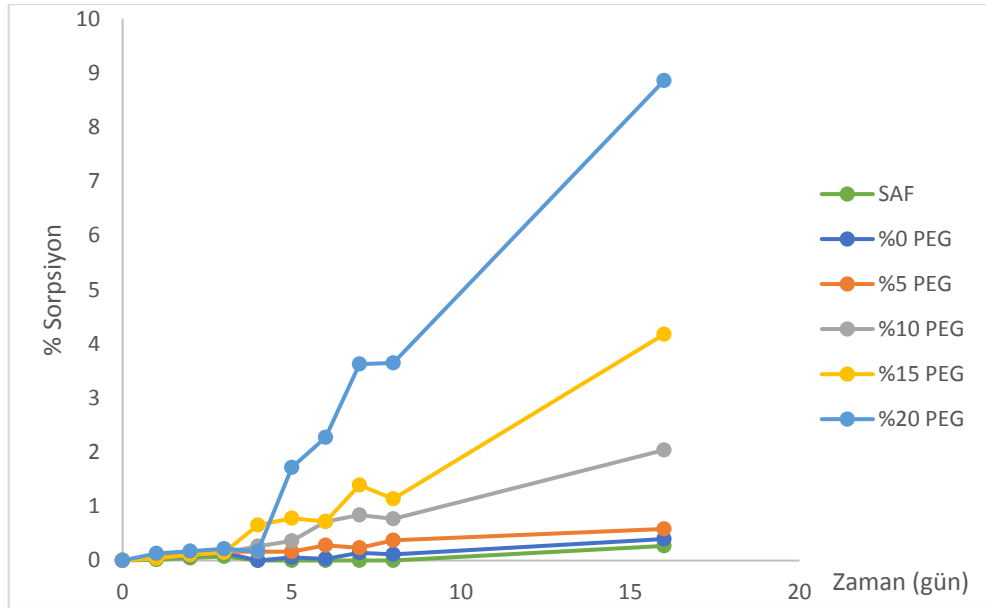
Şekil 5.4’de NPEL 128 kodlu ticari reçine ve uçucu kül (UK) kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin % su sorpsiyon grafiği verilmiştir. En düşük % su sorpsiyon oranına %0,2288 ile %10 UK kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme

sahiptir. En yüksek % su sorpsiyon oranına ise %0,7731 ile %3 UK kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme sahiptir. SAF epoksi malzeme ile kıyaslandığında %10 UK kullanımında yakın % su sorpsiyon oranlarına sahipken UK kullanımı arttıkça bu oranda artmaktadır.



Şekil 5.5. NPEL 128 kodlu ticari reçine ve modifiye uçucu kül (MUK) kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

Şekil 5.5’de modifiye uçucu kül (MUK) kullanılmış kompozit malzemelerde % su sorpsiyon grafiği verilmiştir. En düşük % su sorpsiyon oranına %0,2291 ile %5 MUK kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme, en yüksek % su sorpsiyon oranına %0,5430 ile %20 MUK kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme sahiptir. SAF epoksi malzemeye göre en olumlu sonuç veren %5 MUK kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme olmuştur.



Şekil 5.6. NPEF 170 kodlu ticari reçine ve PEG kullanılan kompozit malzemenin % su sorpsiyon test grafiği

PEG ile hazırlanan kompozit malzemelerin Şekil 5.6'da % su sorpsiyon oranları verilmiştir. Buna göre en düşük % su sorpsiyonuna %0,3969 ile %0 PEG kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme, en yüksek % su sorpsiyonuna ise %8,8588 ile %20 PEG kullanılarak hazırlanan kompozit malzeme sahiptir. SAF epoksi malzeme ile kıyaslandığında PEG kullanımının % su sorpsiyon değerlerinde artış gösterdiği bulunmuştur.

Saçak (2017) yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, bazı polimerlerin su sorpsiyon (%) testlerinin sonuçlarını belirtmiştir (Çizelge 5.13). Polimerlerin çoğunluğu sudan etkilenmez. Örneğin poli(tetrafloro etilen)in su tutuculuğunun sıfır olduğunu belirtmiştir.

Bu tez çalışmasında da bulunan sonuçların literatüre uyumlu olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.13. Bazı polimerlerin su sorpsiyon değerleri (23 °C, %65 bağıl nem) (Saçak, 2017).

Polimer	Su Sorpsiyonu (%)	Polimer	Su Sorpsiyonu (%)
Poliester	0,2	Naylon 6	1,5
Polikarbonat	0,2	Politetrafloretilen	0
Polistiren	0,1	Polipropilen	0
Poliakrilonitril	1,5	Poli(etilen oksit)	0,4
Naylon 6-6	1,5		

5.4. Adhezyon Testi Sonuçları

Çizelge 5.14. Kompozit malzemelerin % adhezyon testi sonuçları

Numune	% Adhezyon
%3 UK	100
%5 UK	100
%10 UK	100
%15 UK	100
%20 UK	100
%3 MUK	100
%5 MUK	100
%10 MUK	100
%15 MUK	100
%20 MUK	100
%0 PEG+%10 UK	100
%5 PEG+%10 UK	100
%10 PEG+%10 UK	100
%15 PEG+%10 UK	100
%20 PEG+%10 UK	100
SAF	100

Kompozit malzemelerin adhezyon testi sonuçları yüzde olarak hesaplanmıştır. Yapılan deney sonucunda hazırlanan kompozit malzemelerin temiz metal yüzeylere iyi yapıştığını ve kaplamaların yüzeylerinde herhangi bir bozulma olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak uçucu kül, modifiye uçucu kül ve PEG ilavesinin epoksi reçinenin adhezyon özelliğinin olumsuz yönde etkilenmediği görülmüştür.

Tutar (2018), yapmış olduğu çalışmada hazırlamış olduğu kompozit malzemelere uyguladığı adhezyon testi sonuçlarında %100 olarak hesaplamıştır. Saf epoksi reçinesine ilave edilen UK, MUK ve PEG'in kompozit malzemenin adhezyon özelliklerini değiştirmedeğini gözlemlemiştir.

5.5. Çekme Testi Sonuçları

Çekme Dayanımı (N): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olur.

Yüzde Kopma Uzama: Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır.

Dolgu maddesi olarak saf uçucu kül (UK) ve modifiye uçucu kül (MUK) kullanılarak hazırlanan NPEF 170 kodlu ticari reçinelerin mekanik özellikleri Çizelge 5.9'de ve NPEL 128 kodlu ticari reçinelerin mekanik özellikleri Çizelge 5.10'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. NPEF 170 kodlu ticari reçineyle hazırlanan uçucu kül (UK), modifiye uçucu kül (MUK) ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları

NPEF 170	Çekme dayanımı (MPa)	Yüzde Uzama (%)
%3 UK	10,7069	2,26
%5 UK	19,3358	0,92
%10 UK	9,25358	0,425
%15 UK	28,0932	0,95
%20 UK	23,7198	0,775
%3 MUK	23,0354	1,2
%5 MUK	18,9034	1,275
%10 MUK	27,1229	1,63
%15 MUK	13,373	0,73
%20 MUK	15,6099	1,26
%0 PEG+%10 UK	24,0584	1,26
%5 PEG+%10 UK	7,59045	0,67
%10 PEG+%10 UK	12,9739	1,54
%15 PEG+%10 UK	10,8241	6,16
%20 PEG+%10 UK	3,45055	63,33
SAF	23,4697	1,6

Çizelge 5.15’da verilen değerlere göre uçucu kül ve NPEF 170 kodlu ticari reçine kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde ER’ye %5, 10, 15, 20 UK ilavesiyle en yüksek çekme dayanımı %15 UK içeren kompozit malzemede 28,0932 MPa olarak bulunmuştur. Kompozit malzeme içerisindeki UK miktarının artmasıyla yüzde uzama değeri en düşük olarak %10 UK’da 0,425 olarak bulunmuştur. SAF epoksi malzemeye göre çekme dayanımı en yakın olan uçucu kül ile hazırlanmış kompozit, %20 UK kullanımında 23,7198 MPa, yüzde uzama olarak en yakın sonuç ise %15 UK kullanımında 0,95 olarak bulunmuştur.

Modifiye uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozitlerde en yüksek çekme dayanımı %10 MUK içeren kompozit malzemede 27,1229 MPa olarak bulunmuştur. Kompozit malzeme içerisindeki MUK miktarının artmasıyla yüzde uzama oranı en düşük olarak %15 UK’da 0.73 olarak bulunmuştur. SAF kompozit malzemeye göre en yakın çekme dayanımı sonucu veren modifiye uçucu kül ile hazırlanmış kompozit, %3 MUK kullanımında, en yakın yüzde uzama sonucu veren kompozit ise %10 MUK kullanılarak hazırlanmış kompozitte bulunmuştur.

PEG ilaveli uçucu kül-epoksi reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde %10 UK içeren kompozit malzemeye %0, 3, 5, 10, 15, 20 PEG ilavesiyle çekme dayanımları sırasıyla 24,0584; 7,59045; 12,9739; 10,8241; 3,45055 MPa olarak bulunmuştur. En yüksek %0 PEG içeren kompozit malzemede 24,0584 MPa olarak bulunmuştur. PEG oranının artmasıyla yüzde uzama değeri 1.26’dan 0.67’ye azalmış daha sonra 1.54’den 63.33’e çıkmıştır. SAF epoksi malzemeye göre kıyaslandığında en yakın çekme dayanımı

sonucu veren %0 PEG kullanılarak hazırlanan kompozitte, en yakın yüzde uzama sonucu ise %10 PEG kullanılarak hazırlanan kompozitte bulunmuştur.

Çizelge 5.16. NPEL 128 kodlu ticari reçineyle hazırlanan uçucu kül (UK), modifiye uçucu kül (MUK) ve poli(etilen glikol) (PEG) kullanılan kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları

NPEL 128	Çekme dayanımı (MPa)	Yüzde Uzama (%)
%3 UK	19,8242	0,9
%5 UK	20,6302	0,85
%10 UK	17,1448	0,75
%15 UK	18,804	0,775
%20 UK	17,3676	1,165
%3 MUK	22,4597	1,55
%5 MUK	20,3134	1,2
%10 MUK	13,6855	0,7
%15 MUK	23,8734	1,24
%20 MUK	13,1297	0,95
%0 PEG+%10 UK	4,40331	0,2
%5 PEG+%10 UK	17,9652	1,18
%10 PEG+%10 UK	14,3051	0,8
%15 PEG+%10 UK	18,1073	1,1
%20 PEG+%10 UK	7,5086	36,0976
SAF	30,0792	2,3

Çizelge 5.16’da verilen değerlere göre uçucu kül ve NPEL 128 kodlu ticari reçine kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde ER’ye %5, 10, 15, 20 UK ilavesiyle en yüksek uygulanan uzama kuvveti %5 UK değeri için 20,6302 MPa olarak bulunmuştur. Kompozit malzemede kullanılan UK miktarı arttıkça yüzdece uzama oranı en düşük olan %10 UK için 0.75 olarak bulunmuştur. SAF epoksi malzemeye göre kıyaslandığında en yakın çekme dayanımı sonucu %5 UK kullanılarak hazırlanan kompozitte, en yakın yüzde uzama değeri ise %20 UK kullanılarak hazırlanan kompozitte bulunmuştur.

Modifiye uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde en yüksek çekme dayanımı %15 MUK içeren kompozitte 23,8734 MPa olarak bulunmuştur. Kullanılan MUK miktarı arttıkça kompozit malzemedeki uzama oranı 1,55’den 0,7’ye düştü daha sonra 1,24’den 0,95’e tekrar azalmıştır. SAF epoksi malzemeye göre kıyaslandığında, modifiye uçucu kül kullanılarak hazırlanan kompozitlerin en yakın çekme dayanımını %15 MUK kullanılarak, en yakın yüzde uzama değerini ise %3 MUK kullanılarak hazırlanmış kompozit malzemelerde bulunmuştur.

PEG ilaveli uçucu kül-epoksi reçine kullanılarak hazırlanan kompozitlerde %10 UK içeren kompozit malzemeye %0, 3, 5, 10, 15, 20 PEG ilavesiyle çekme dayanımları sırasıyla 4,40331; 17,9652; 14,3051; 18,1073; 7,5086 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre en yüksek çekme dayanımı 18,1073 MPa olarak %15 MUK kullanılan kompozit malzemede bulunmaktadır. Yüzde uzama oranları ise en yüksek olarak %20

MUK için 36,0976 olarak bulunmuştur. SAF malzeme sonuçlarına göre, en yakın çekme dayanımı %15 PEG kullanıldığında, en yakın yüzde uzamasını ise %5 PEG kullanılarak hazırlanan kompozit malzemede bulunmuştur.

5.6. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre ile camsı geçiş sıcaklığı, termal bozunma sıcaklığı, çapraz bağlanma sıcaklığı, erime sıcaklığı ve kristalleşme sıcaklığı belirlenebilmektedir. Hazırlanan kompozit malzemeler içerisinde saf ER (NPEF-170), saf ER (NPEL 128), NPEL 128 + %3 uçucu kül, NPEL 128 + %10 uçucu kül, NPEL 128 + %20 uçucu kül, NPEL 128 + %10 modifiye uçucu kül, NPEL 128 + PEG, NPEL 128 + %10 uçucu kül + PEG içeren numunelerin DSC analiz grafikleri Ek 1-8'de verilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen camsı geçiş sıcaklığı verileri Çizelge 5.17'de verilmektedir.

Çizelge 5.17. Numunelerin DSC analizleri

Numune	Tg (°C)
Saf ER (NPEF-170)	437
Saf ER (NPEL 128)	423
NPEL 128 + %3 UK	365
NPEL 128 + %10 UK	393
NPEL 128 + %20 UK	386
NPEL 128 + %10 MUK	355
NPEL 128 + PEG	388
NPEL 128 + %10 UK +PEG	385

Çizelge 5.17'den de görüldüğü gibi saf epoksi reçinesine eklenen uçucu kül, modifiye uçucu kül ve PEG malzemenin camsı geçiş sıcaklığını (Tg) düşürmektedir. Kompozit malzeme içindeki dolgu maddesinin miktarı arttıkça Tg değeri daha fazla düşmektedir. Kompozit malzemeye eklenen katkı malzemeleri epoksi reçinesinin çapraz bağlanmasını olumsuz etkilediğinden dolayı Tg'ler azalmaktadır.

Michel ve Ferrier (2020) yapmış oldukları çalışmada sıvı haldeki bisfenol A bazlı epoksi reçinesinin 86 °C camsı geçiş değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Epoksi reçinesi uygun bir sertleştiriciyle kürlendiği zaman Tg değeri yükselmektedir.

Hadipeykani ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada ise bisfenol A bazlı (DGEBA) epoksi reçinesinin Tg değeri 398 °C olduğu belirtilmiştir. Yine bu çalışmada DGEBA'nın Tg'nin 410-420 °C değerlere sahip olduğu belirtilmiştir. Kütleme

maddesi, krleme süresi ve krleme sıcaklıkları elde edilen kompozit malzemelerin camsı geçiş sıcaklığını etkilemektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kütahya Seyit Ömer termik santrali atığı olan uçucu kül (F sınıfı), PEG ve NPEF 170 ve NPEL 128 kodlu epoksi reçine kullanılarak farklı bileşimlerde kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemek için sertlik, korozyon, çekme, su sorpsiyon, adhezyon testleri ve DSC analizleri yapılmıştır. Kompozit malzemelerin fiziko-mekanik ve termal özellikleri birbirleriyle, saf epoksi reçinesi ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Farklı alanlarda yapılan korozyon testi sonuçları bize kompozit malzemelerin her iki reçine içinde çalışılan deney ortamlarında yüksek korozyon direncine sahip olduğu göstermektedir. PEG ilavesi de korozyon testlerinde herhangi bir direnç kaybının olmadığı görülmüştür. Korozyon testi sonuçları farklı reçine ve içeriklerle hazırlanan bu kompozit malzemelerin kullanıldıkları ortamlarda asit, baz veya tuza karşı dayanıklı olacağını göstermektedir. Bu sonuçlar bize bu kompozit malzemelerin gemilerin dış kaplamalarında, otomobil yüzeyleri gibi çeşitli alanlarda kaplama maddesi olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

NPEF 170 kodlu reçine ile elde edilen kompozit malzemeler için çekme testi sonuçlarında %15 UK oranında hazırlanan kompozit için 28,0932 MPa, %10 MUK oranında hazırlanan kompozit malzeme için 27,1229 MPa en yüksek değer olarak bulunmuştur. NPEL 128 kodlu reçine için yapılan çekme testi sonuçlarında ise %5 UK için 20,6302 MPa, %15 MUK ile hazırlanan kompozit için 23,8734 MPa en yüksek değer olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada NPEL 128 ve NPEF 170 reçineleriyle hazırlanan kompozit malzemelerin çekme dayanımının değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Modifiye edilen uçucu kül kullanımının NPEF 170 kodlu reçine için mukavemet oranını olumsuz, NPEL 128 kodlu reçine için mukavemet oranını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. %10 oranında UK içeren NPEF 170 ve NPEL 128 kodlu kompozit malzemelerde PEG etkisini belirlemek için %0, 3, 5, 10, 15, 20 oranlarında PEG ilave edilmiştir ve en yüksek çekme dayanımını sırasıyla %0 PEG miktarı için 24,0584 MPa ve 18,1073 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda NPEF 170 kodlu reçine için PEG kullanımı olumsuz etki gösterirken, NPEL 128 kodlu reçine için olumlu etki göstermiştir.

En yüksek Shore D değeri NPEF 170 kodlu reçine için %10 UK oranında 85,795, %20 MUK oranında 85,53 olarak bulunmuştur. NPEL 128 kodlu reçine için ise %5 UK oranında 80,445, %20 MUK oranında ise 84,63 olarak belirlenmiştir. Her iki epoksi

reçine için %10 UK içeren kompozit malzemelere %0, 5, 10, 15, 20 oranlarında PEG ilavesiyle kompozit malzemelerin sertlik değerlerini azaltmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre modifiye edilen uçucu kül kullanımı iki reçine içinde sertliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. UK oranlarının sertlik testi sonuçları farklılık göstermiştir NPEL 128 kodlu reçinenin daha az UK oranıyla daha yüksek sertlik değerleri verdiği görülmüştür.

Farklı alanlarda yapılan korozyon testi sonuçlarına göre kompozit malzemelerin her iki reçine için de yüksek korozyon direncine sahip olduğu bulunmuştur. PEG ilavesinin korozyon testlerinde bir direnç değişikliğine neden olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak hazırlanan farklı reçinelere sahip olan kompozit malzemelerin asit, baz ve tuz ile temasta bulunduğu ortamlara karşı direnç sağlayacağı bulunmuştur. Bu sebeple gemilerin dış kaplamalarında, otomobil yüzeyleri gibi çeşitli alanlarda kaplama maddesi olarak kullanılabilmesi düşünülmüştür.

% Adhezyon sonuçlarına göre NPEF 170 ve NPEL 128 kodlu reçinelerle hazırlanan kompozit malzemelerin test sonuçları %100 çıkmıştır. Sonuç olarak saf epoksi reçinelere UK, MUK ve PEG ilavesinin epoksilerde olumsuz bir etki göstermediği tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yapıştırıcı ve kaplama maddesi olarak farklı sektörlerde kullanımının uygun olacağı düşünülmüştür.

Su sorpsiyon sonuçlarına göre, NPEF 170 ve NPEL 128 kodlu saf reçineyle hazırlanan kompozit malzemelere eklenen UK, MUK ve PEG miktarlarının olumsuz bir etkisi olmamıştır. Hazırlanan kompozit malzemelerin suya karşı dirençleri yüksektir.

DSC sonuçları, NPEF 170 ve NPEL 128 kodlu saf reçineyle hazırlanan kompozit malzemelerin camsı geçiş sıcaklıkları (Tg) karşılaştırıldığında uçucu kül, modifiye uçucu kül ve PEG kullanımı Tg sıcaklıklarını düşürmüştür. Tg sıcaklığının UK, MUK ve PEG kullanılarak düşmüş olması hazırlanan kompozit malzemelerin düşük sıcaklıklar için kullanım alanlarını arttırır.

Elde edilen sonuçlar uçucu küllerin epoksi kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılabilmesini göstermektedir.

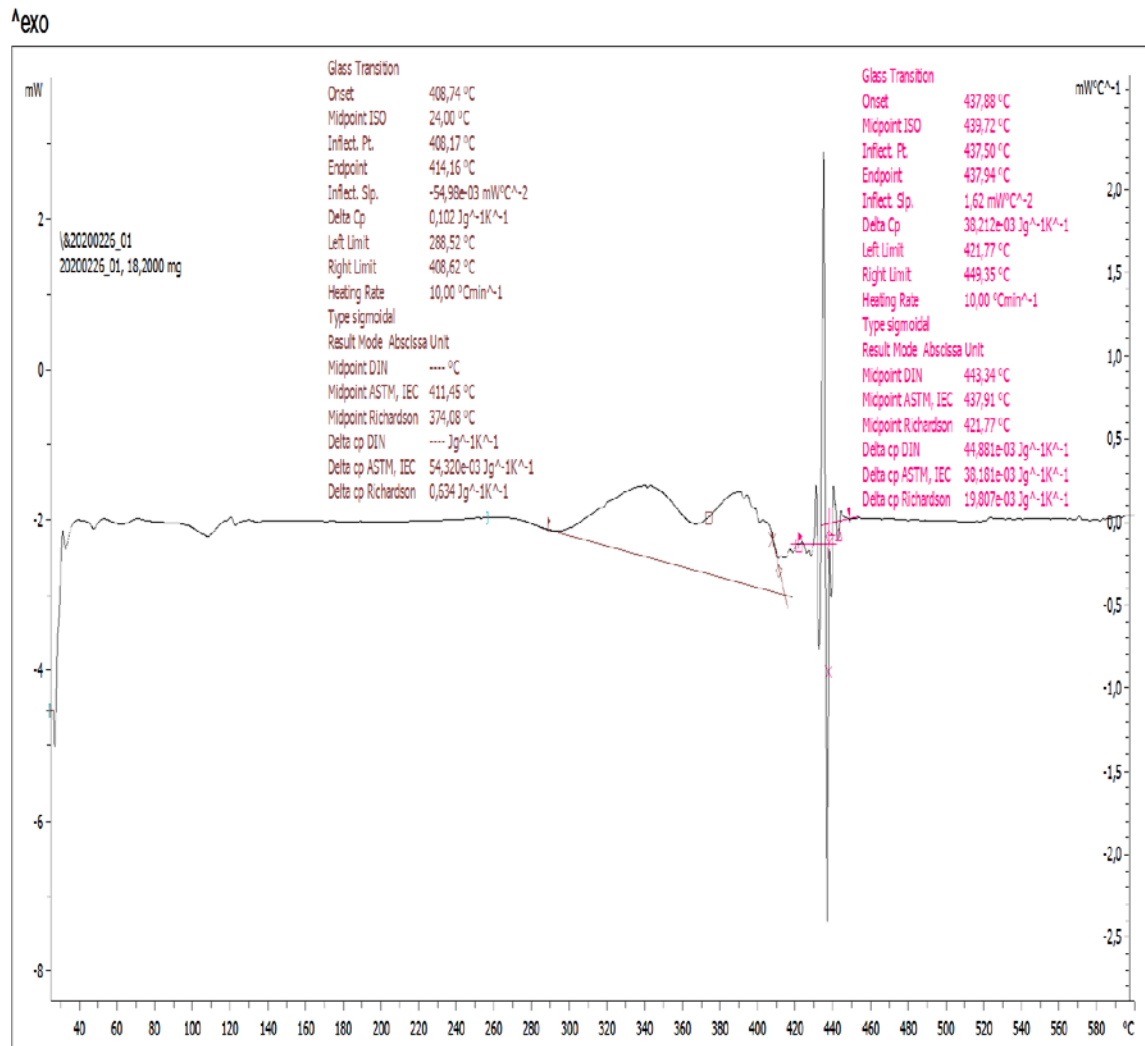
KAYNAK

- Akagündüz E., 2014. Kompozit Sürtünmeli Fren Balatalarında Yerli Uçucu Kül Katsayısının Raylı Taşıt Balata Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi Ve Kullanılabilirliğinin Saptanması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akın, E., 2007. Mermer Tozları ve Uçucu Kül İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akıncı, U., 2010. Pultrüzyon Metodu ile Üretilen Lifli Polimer Profiller İçin Yarı Rijit Birleşimler, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Asi, D., 2018. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde İlave Olarak Kullanılan Parçacıkların Geometrisinin Kompozit Malzemelerin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak.
- Atagür, M., 2016. Farklı Yapıya Sahip Kil Mineralleri ile Termoplastik Poliüretan Kullanılarak Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bahar, A. M., 2009. Pultrüzyon Yöntemiyle CTP Üretimi ve Üretim Parametrelerinin Malzeme Nihai Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baharavar, S., 2016. Uçucu Kül Tipi ile Ortam Koşullarının Beton Karbonatlaşmasına Etkisi ve Kendiliğinden İyileşmesinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bingöl, M., 2017. Basınç Altında Üretilen Polimer Kompozitlerde Geleneksel ve İleri Elyafların Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Büyükaydın, M., 2018. Kimyasal Püskürtme Yöntemi ile Hazırlanan Çinko Oksit Nanoçubukların Üretimi Karakterizasyonu ve Boya Duyarlı Güneş Pili Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çakır, S., 2013. Bor İçeren Termoplastik Poliüretan Kompozitler, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirel, A., 2007. Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dil, T., 2016. Polimer Matrisli Kompozitlerde Sarım Açısının Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Doğu, G., 2019. Cam Elyaf Takviyeli Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerde Sürünme Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak.
- Erdoğmuş, E., 2006. Çimentoya Bor Katkısı Uçucu Kül Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fiege, H., Voges, H. W., Hamamoto, T., Umemura, S., Iwata, T., Miki, H., Paulus, W., 2000. Phenol derivatives. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- Güler, G., Güler, Ü., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., 2005. Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Gülner, M., 2016. Kompozit Plaka Üretim Prosesi Üzerine Çalışmalar ve Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Güzel, G., 2016. Epoksi Reçinesi-Yüksek Fırın Cürufu/ Yerfıstığı Kabuğu Tozu Kompozitlerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Haşal, M. E., 2000, Uçucu Kül-Çimento-Köpük Karışımının Hafif Dolgu Malzemesi Olarak Geoteknik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hadipeykani, M., Aghadavoudi, F., Toghraie, D., 2020. Physica A, Department of Mechanical Engineering Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Iran.
- Işık, A., 2008. Kompozit Malzemededen İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İmak, A., 2015. Tabakalı Hibrit Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışlarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kalemtaş, A., 2015. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler, Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Bursa.
- Karaca S., 2016. Lif ve Uçucu Kül Katkılı Polyester Esaslı Kompozit İçi Boş Kazıkların Mekanik Ve Dinamik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karakulak, E., 2019. Uçucu Kül ve Kablo Atıklarının Çimento Harcı Üretiminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Karcı, A., 2009. Uçak Yapısal Parçalarında Kullanılan Karbon/Epoksi Kompozit Malzemelerin Yorulma Davranışı, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Kuşaklı, S., 2018. Bor ve Alüminyum Hidroksit Katkılı Yanmaya Dayanıklı Yeni Epoksi Reçine Kompozitlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Michel, M., Ferrier, E., 2020, Effect Of Curing Temperature Conditions On Glass Transition Temperature Values Of Epoxy Polymer Used For Wet Lay-Up Applications, Construction and Building Materials, University Claude Bernard Lyon1, France.
- Mulapeer E.S., 2016. Sterength and Absorption Characteristics Of Fly Ash Based Geopolymer Composite Reinforced With Glass Fiber, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Özmal, F., 2005, Bor Endüstri Atıkları Uçucu Kül Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Saçak, M., 2017. Polimer Teknolojisi, Gazi Kitabevi Yayınları, Ankara.
- Sayhan, İ., 2010, Use Of Fly Ash As An Alternative Filler Material In Pvc-Plastisols, Master Of Science in Chemistry, Graduate School of Engineering and Science of İzmir Institute of Technology, İzmir.
- Sezen, G., 2018. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Malzemesinin Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sönmez, M., 2009, Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sur, Ü., Oral D., Erkekoğlu P., Koçer Gümüsel B., 2017. Bisfenol F ve Bisfenol S'in Toksik Etkileri. FABAD J. Pharm. Sci., 42, 3, 225-237.
- Şahin, A., 2019. F Tipi Uçucu Kül Kullanımının Mafsallı Kiriş Deneyi ile Aderans Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayını, 327, Ankara.
- Toklu, K., 2019. Nano Boyuta Modifiye Edilmiş Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Beton Onarım Malzemesi Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., Erdoğan, T., Yeğınobalı, A. 1990. Termik Santral Küllerinin Çimento ve Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılma Olanaklarının Etüd ve Envanteri, Proje Raporu, T.C. Başbakanlık ve Çevre Müsteşarlığı, Ankara.

- Tutar, H. H., 2018. Uçucu Kül Epoksi Kompozitlerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Türker, P., Erdoğan B., Katnaş F., Yeğınobalı, A. 2009. Türkiyedeki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, TÇMB Yayınları, 4. Baskı, TÇMB.
- Ünal, M. A., 2015. Hazır Kalıplama Pespil Kompozitlerin Mekanik Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vatansever, R., 2014. Uçucu Kül İçeren Poliüretan Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Yıldız, T., 1998. Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Değişik Kombinasyonlarda Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yılmaz, E., 2013. Epoksi/Kaolin Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Yurtseven, R., 2014. Uçucu Kül İçeren Poliüretan Esanlı Kompozit Malzemelerin Mekanik ve Termal Özelliklerin İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

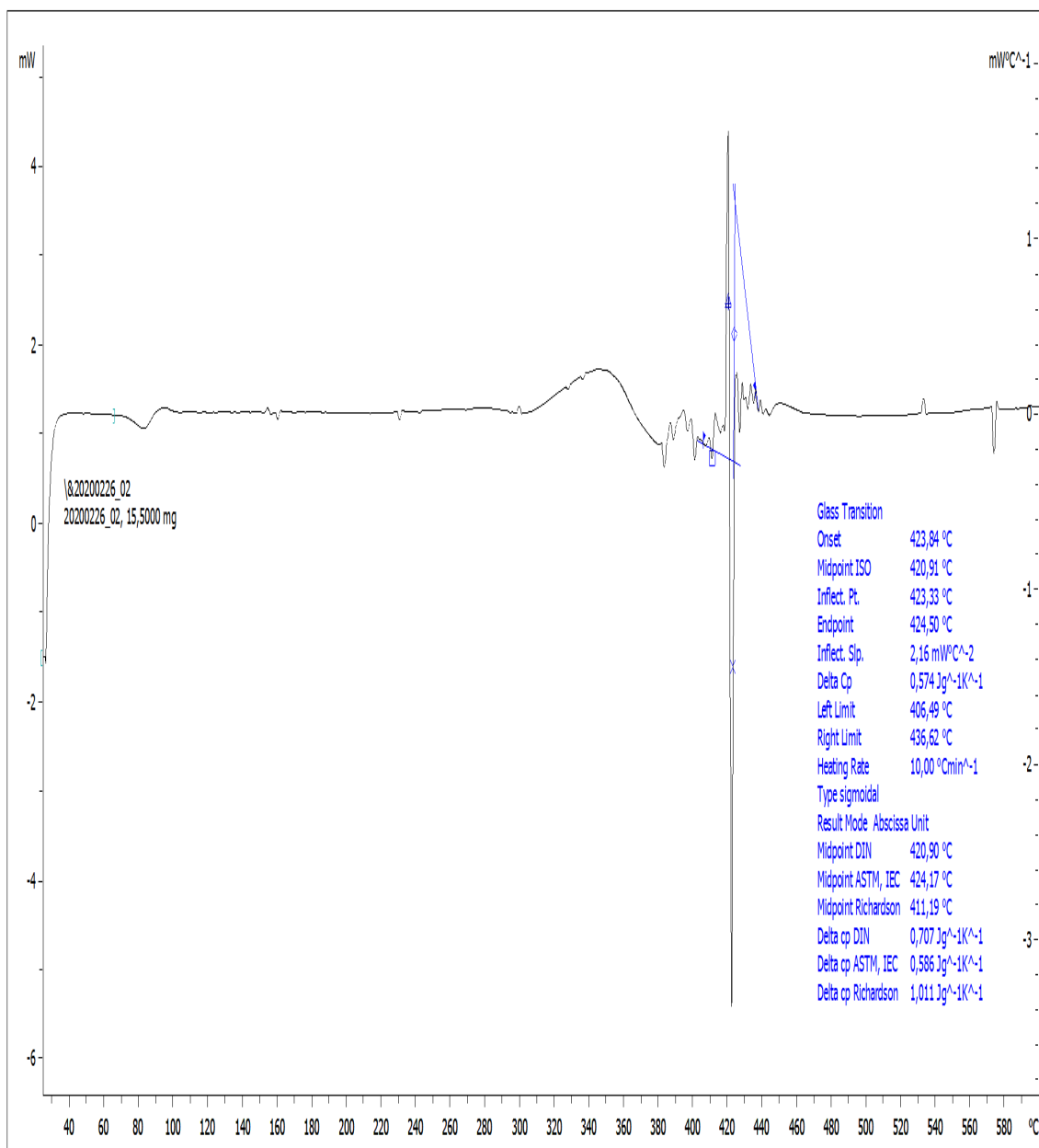
EKLER**EK-1** Saf NPEF 170 numunesinin DSC grafiği

Lab: METTLER

STAR^e SW 13.00

EK-2 Saf NPEL 128 numunesinin DSC grafiği

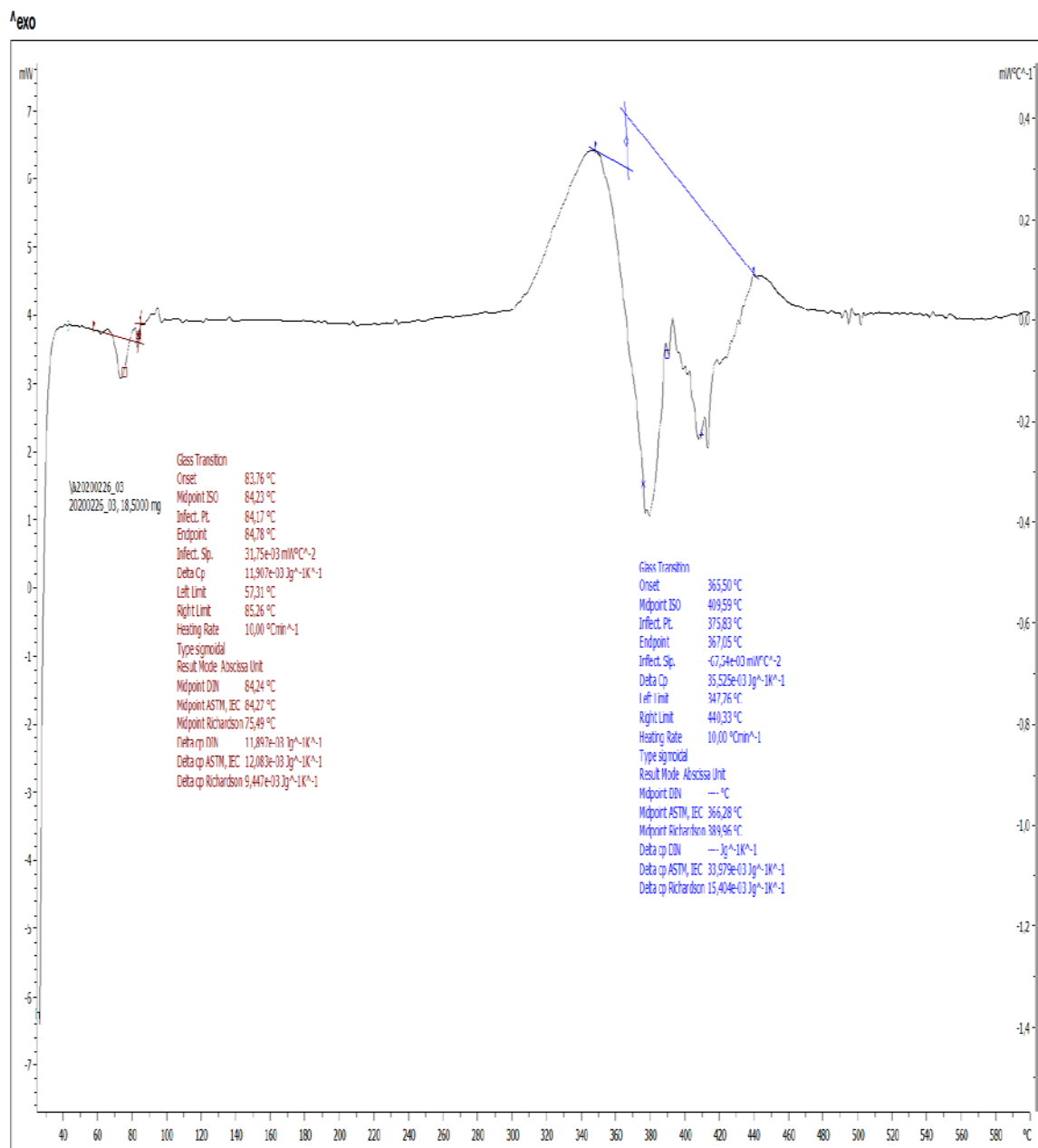
^exo

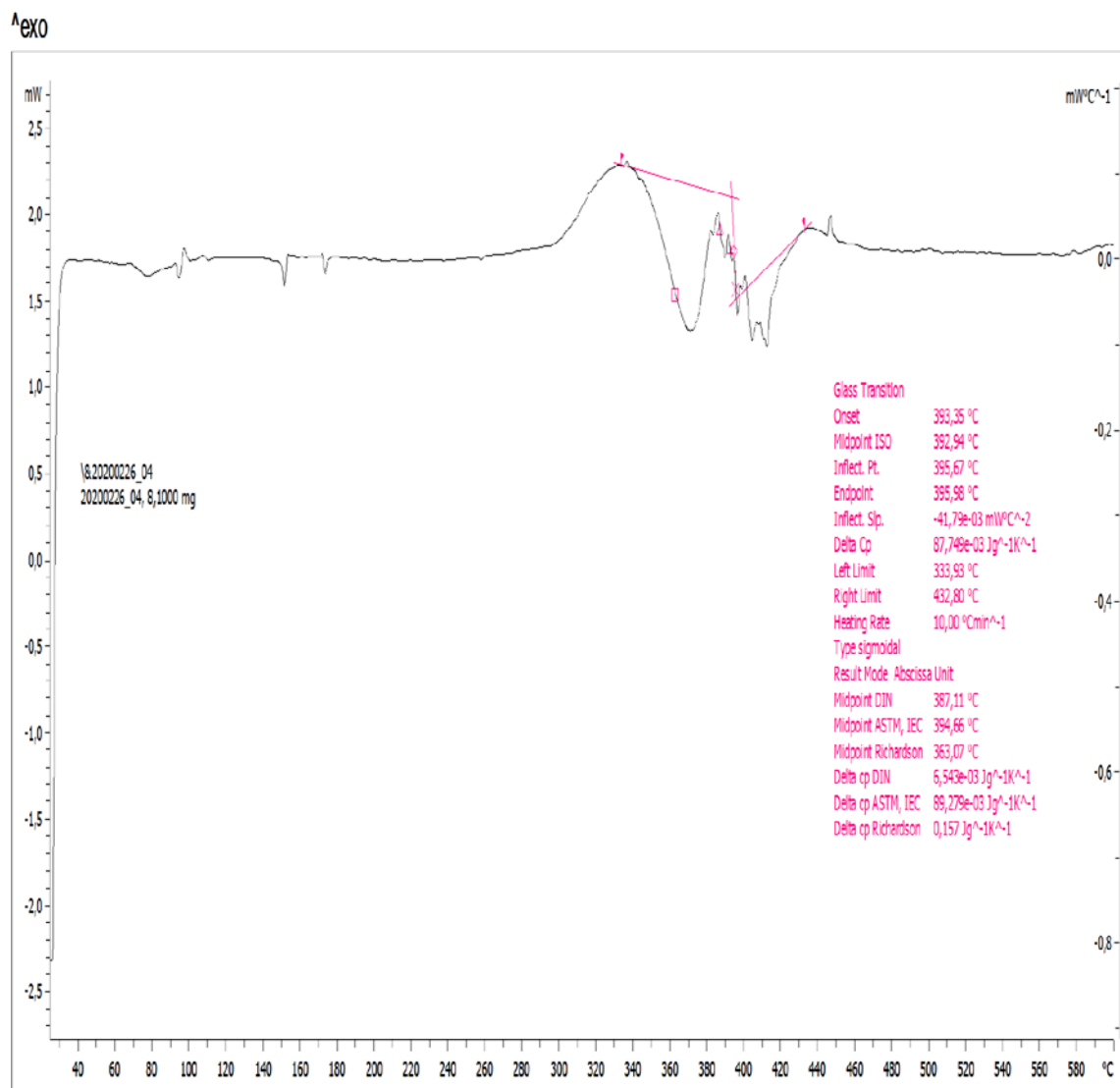


Lab: METTLER

STAR^e SW 13.00

EK-3 NPEL 128 + %3 UK numunesinin DSC grafiği

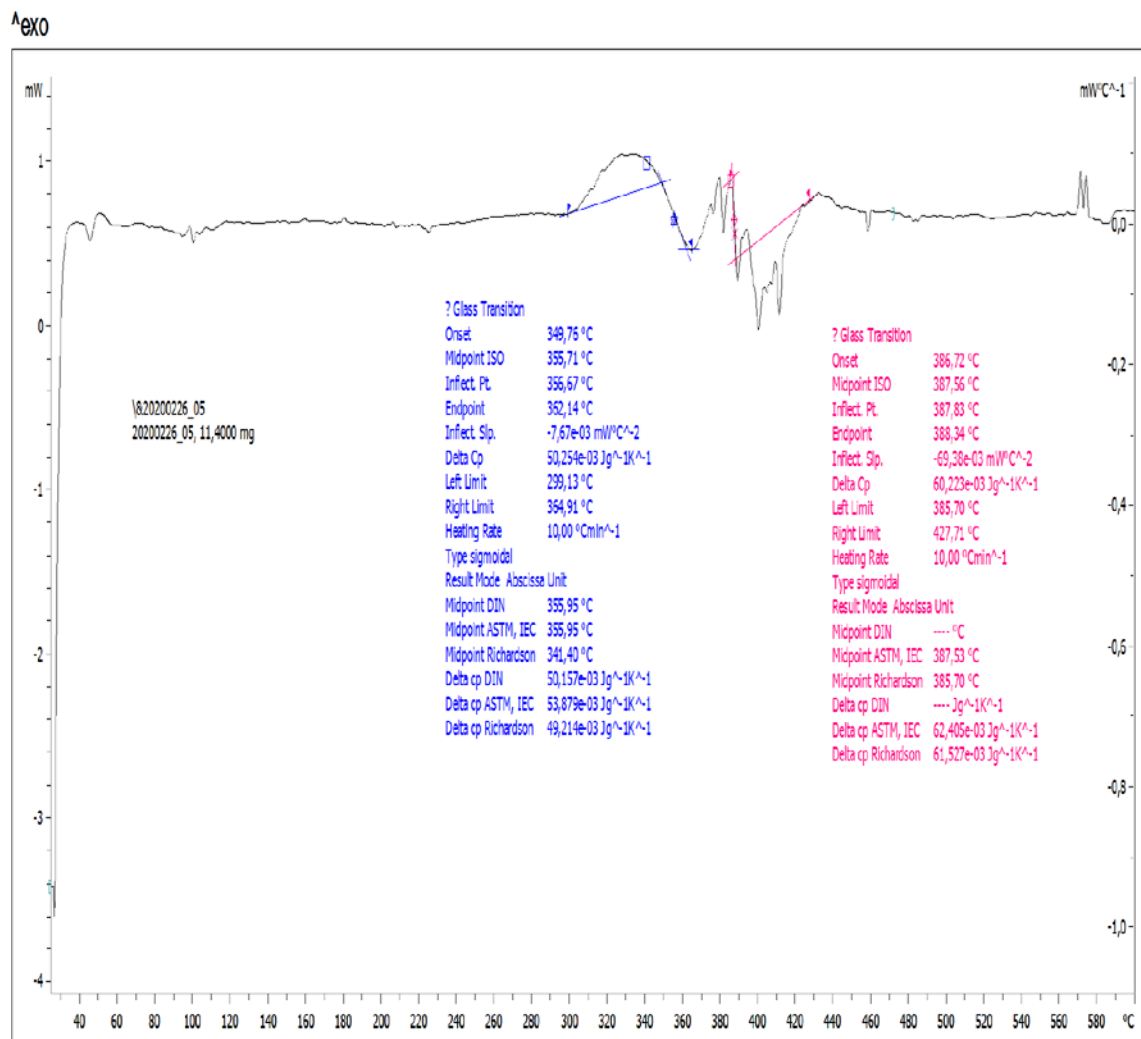


EK-4 NPEL 128 + %10 UK numunesinin DSC grafiği


Lab: METTLER

STAR^e SW 13.00

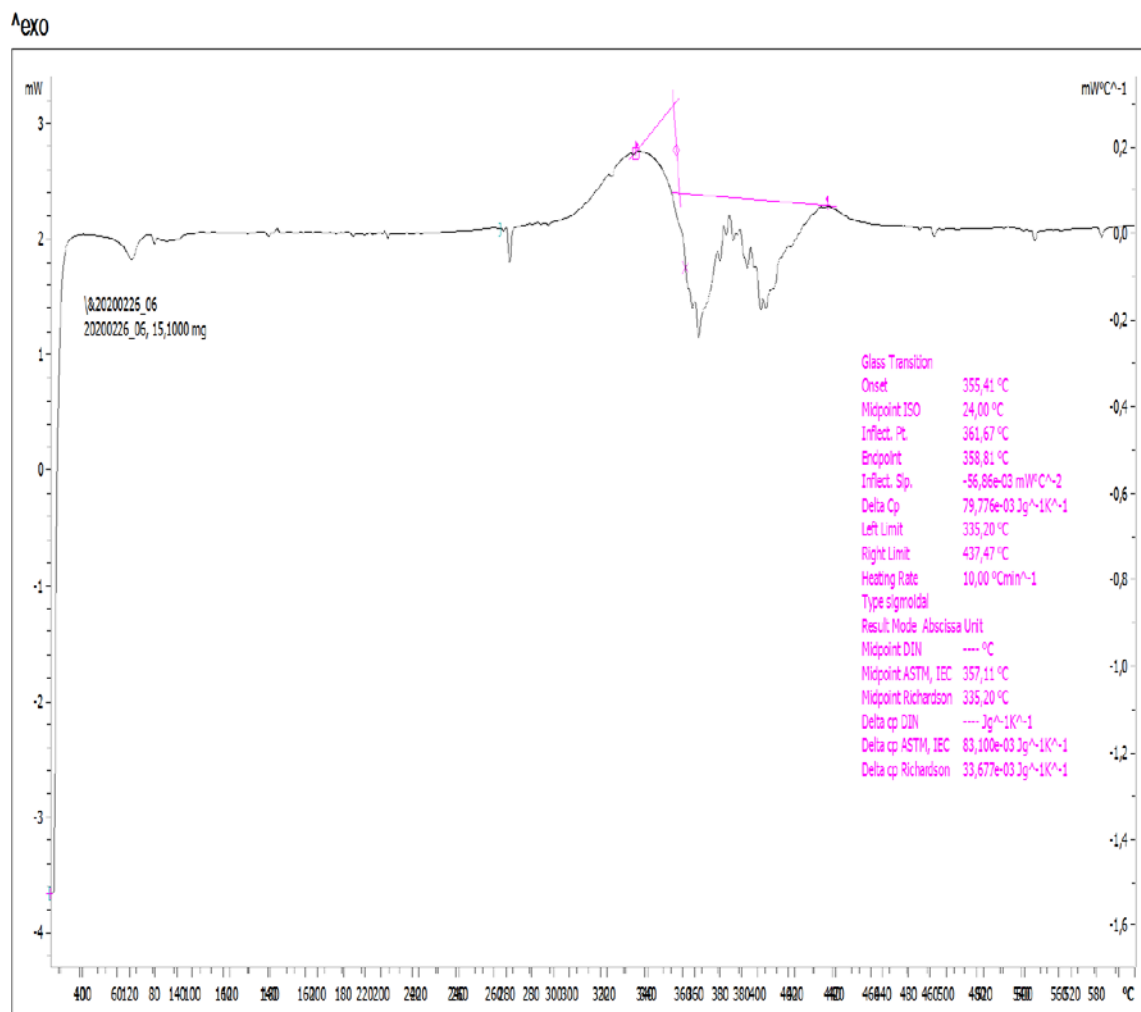
EK-5 NPEL 128 + %20 UK numunesinin DSC grafiği



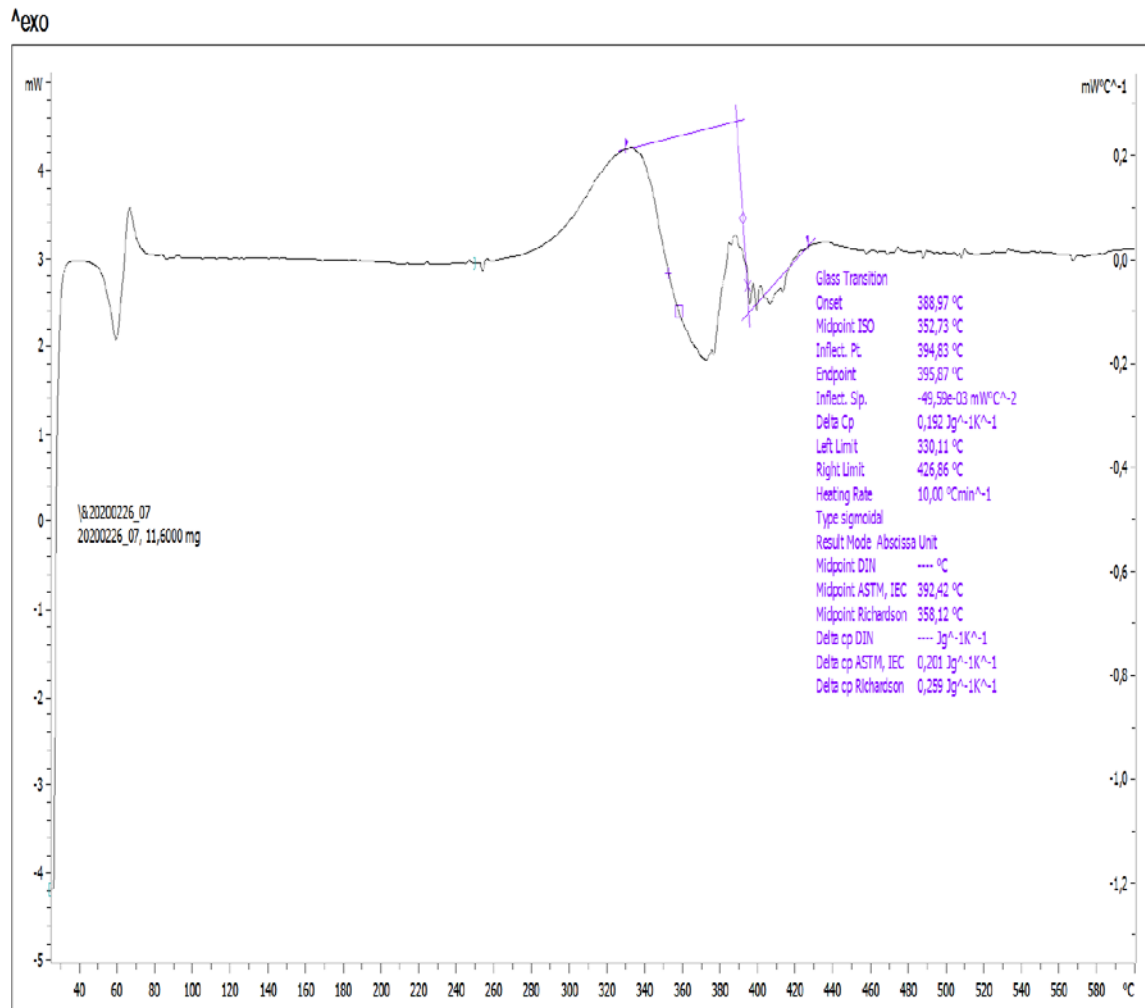
Lab: METTLER

STAR® SW 13.00

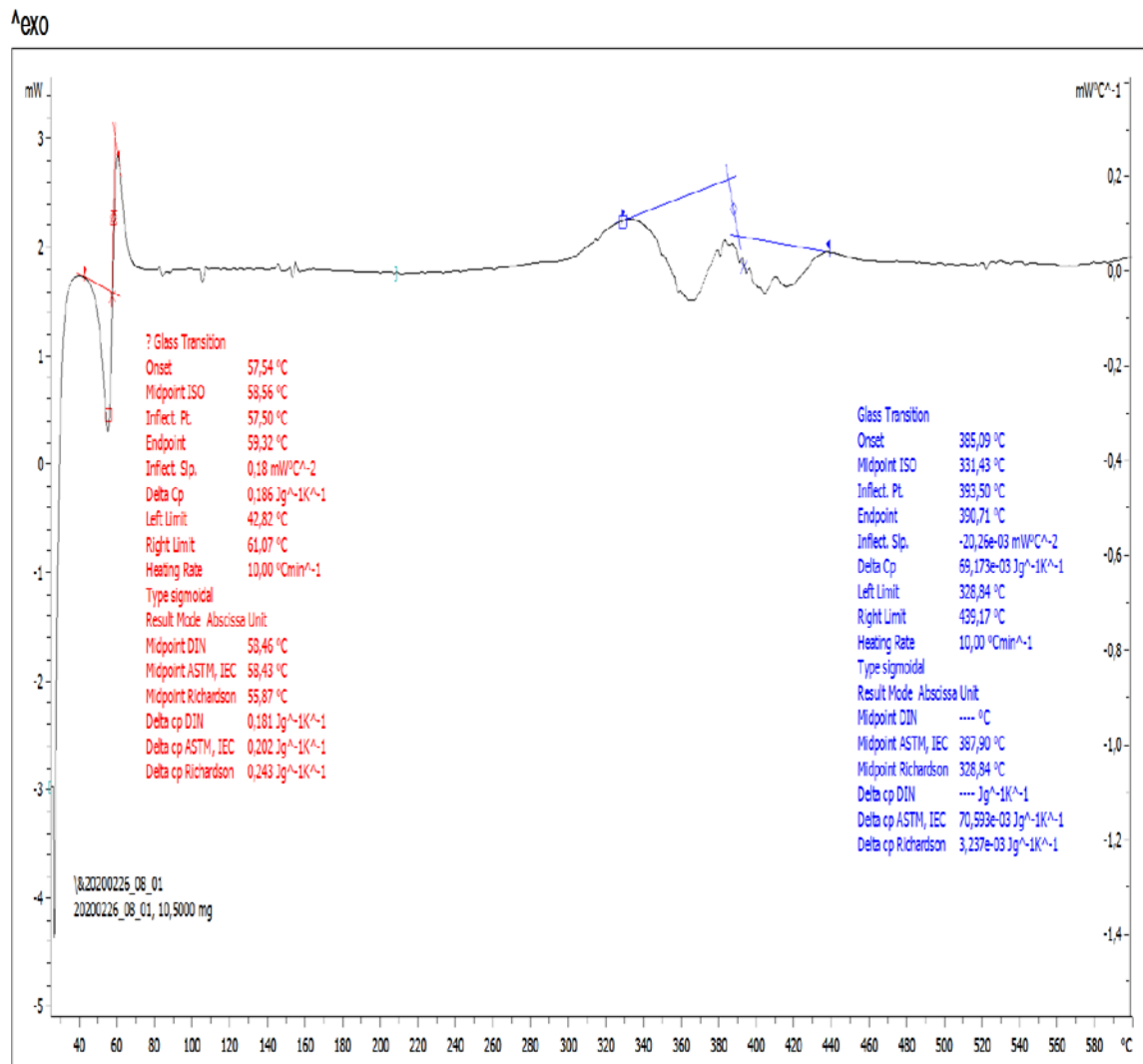
EK-6 NPEL 128 + %10 MUK numunesinin DSC grafiği



EK-7 NPEL 128 + PEG numunesinin DSC grafiği



EK-8 NPFL 128 + %10 UK + %10 PEG numunesinin DSC grafiği



Lab: METTLER

STAR® SW 13.00

ÖZGEÇMİŞ**KİŞİSEL BİLGİLER**

Adı Soyadı : Zeliha Avcı
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : İSTANBUL 30.01.1993
Telefon : 0(553)3205880
E-Posta : zlhavc@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ahmet Sani Gezici Lisesi,	Üsküdar,	İSTANBUL	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi,	Selçuklu,	KONYA	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi,	Selçuklu,	KONYA	2020