



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EPOKSİ REÇİNESİ -YÜKSEK FIRIN CÜRUFU / YERFISTIĞI KABUĞU TOZU KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gülcihan GÜZEL

YÜKSEK LİSANS

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalını

Ocak-2016
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Gülcihan GÜZEL tarafından hazırlanan " Epoksi Reçinesi – Yüksek Fırın Cürufu / Yerfıstığı Kabuğu Tozu Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi" adlı tez çalışması 08/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Bedrettin MERCİMEK	.....
Danışman Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ	.....
Üye Doç. Dr. Mustafa TABAKCI	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi ÖYP Koordinatörlüğü tarafından 2015-ÖYP-125 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.

Gülçihan GÜZEL

Tarih: 12.01.2016

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

EPOKSİ REÇİNESİ - YÜKSEK FIRIN CÜRUFU / YERFISTIĞI KABUĞU TOZU KOMPOZİTLERİNİN HAZIRLANMASI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gülcihan GÜZEL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ

2016, 113 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ
Prof. Dr. Bedrettin MERCİMEK
Doç. Dr. Mustafa TABAKCI

Bu çalışmada atık malzemelerin değerlendirilip çevresel kirliliğin önlenmesi ve malzeme maliyetinin azaltılması amacıyla anorganik yapılı çelikhane cürufu ve organik yapılı yer fıstığı kabuğunun (YFK) iki farklı epoksi matris sisteminde dolgu maddesi olarak kullanılması ile kompozit malzemeler elde edilmiştir. Cürufun modifiye edilmesi ile hazırlanan modifiye çelikhane cürufu (MC) da kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Dolgu maddesi miktarının, sertleştirici türünün ve polietilen glikol (PEG) ilavesinin kompozit malzemelerin fiziko-mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kompozit malzemelerin özellikleri X-ışını kırınım (XRD) analizi, çekme, sertlik, korozyon direnci, adhezyon, su sorpsiyon testi, termogravimetrik analiz (TGA), vikat yumuşama sıcaklığı (VYS) tayini ve soğuk ortama dayanım testi ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar birbiri ile ve saf epoksi reçinesi (ER) ile karşılaştırılmıştır.

NPEL 128 (R1) reçinesi kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin NPEF 164 X reçinesi (R2) kullanılarak hazırlanan malzemelere göre daha homojen tanecik dağılımına, daha yüksek çekme dayanımına, daha yüksek sertlik değerine ve daha iyi termal dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Malzemelerin korozyon direnci, adhezyon ve soğuk ortama dayanım özelliklerinde cüruf miktarı ve sertleştirici türünün değiştirilmesi ile önemli bir değişim olmamıştır. MNA sertleştiricisi içeren kompozit malzemelerin Epamine PC17 sertleştiricisi içeren malzemelerden daha iyi fiziko-mekanik ve termal özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Modifikasyon işlemi MC ve ER arasındaki uyumu arttırmıştır. MC dolgulu kompozit malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerinin saf cüruf içeren malzemelerden daha iyi olduğu görülmüştür. PEG ilavesi ile kompozit malzemelerin çekme dayanımı, TGA ve VYS değerlerinde kısmi bir azalma gözlenirken su sorpsiyon değerlerinde artış gözlenmiştir.

Saf YFK'nin dolgu maddesi olarak kullanılması ile hazırlanan kompozit malzemelerin korozyon dayanımı, adhezyon özellikleri ve soğuk ortam direnci oldukça iyi olmasına rağmen artan YFK miktarı ile malzemelerin çekme dayanımı, Young modülü, TGA ve VYS değerleri azalmıştır. Saf ER ile karşılaştırıldığında elde edilen kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri YFK miktarı artışı ile önemli ölçüde artmıştır.

Elde edilen sonuçlar cüruf ve YFK'nin kompozit malzeme üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Dolgu maddesi olarak cüruf ve YFK içeren kompozit malzemelerin yüksek mekanik ve termal dayanımın gerekli olmadığı alanlarda, kaplama, paketleme ve dekorasyon gibi çeşitli sektörlerde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: çelikhane cürufu, fiziko-mekanik ve termal özellik**,** kompozit, yer fıstığı kabuğu

ABSTRACT

MS

PREPARATION OF EPOXY RESIN – SLAG / GROUNDNUT HULL COMPOSITES AND INVESTIGATION OF PROPERTIES

Gülcihan GÜZEL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELCUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CHEMICAL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ

2016, 113 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin DEVECİ
Prof. Dr. Bedrettin MERCİMEK
Assoc. Prof. Dr. Mustafa TABAKCI

In this study, composite materials were prepared using steel slag (SS) and groundnut hull (GH) that has inorganic and organic structure, respectively in the two different epoxy resin (ER) to prevent environmental pollution and reduce material cost. And also, modified steel slag (MS) obtained after modification of SS were used as a filler. Amount of filler, type of hardener and polyethylene glycol (PEG) effects on the physico-mechanical and thermal properties of the composite materials were investigated. The properties of the composites were determined by the help of X-ray diffraction (XRD) analysis, tensile, hardness, corrosion resistance, adhesion, water sorption tests, thermogravimetric analysis (TGA), vicat softening temperature (VST) and cold resistance tests. And then, the results were compared with each other and ER.

It was shown that composite materials containing NPEL 128 resin (R1) had better homogeneous particle distribution, high tensile strength, hardness values and thermal resistance than composites containing NPEF 164 X resin (R2). There were no important changes in the corrosion resistance, adhesion properties and resistance to cold environment with the amount of SS and type of hardener. However, the composites hardened with MNA had better physico-mechanical and thermal properties than the composites hardened with Epamine PC17. Strong interaction between MS and ER was provided by surface modification of SS. Therefore, physico-mechanical properties of the composites were enhanced with utilization of MS. While it was observed that TGA and VST values slightly decreased with the addition of PEG, water sorption values of the composites showed an increase.

Although corrosion resistance, adhesion properties and resistance to cold environment of the composites filled with GH were favorable, tensile strength, Young modulus, TGA and VST values were decreased with increasing amount of GH. When compared with neat ER, water sorption values of the composites considerably increased with GH content.

The results indicated that composite materials filled with SS and GH were prepared succesfully. It is thought that composite materials filled with SS and GH can be used in various fields where mechanical strength and thermal resistance are not extremely necessary, coating, packaging and decoration.

Key words: composite, groundnut hull, physico-mechanical and thermal property, steel slag

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren, tez çalışmalarımda destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Hüseyin DEVECİ'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmalarımın deneysel kısmında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Elif YILMAZ, Veli ŞAKIR ve Esra BAYDAR'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans öğrenimimde de ilgi ve desteğini eksik etmeyen, bana olan güvenlerini her zaman göstererek beni yüreklendiren ve en önemlisi bu günlere gelmemde büyük emeği olan değerli annem Gülsüm GÜZEL'e, babam Ramazan GÜZEL'e, kardeşlerim Neslihan GÜZEL ve Kardelen GÜZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans aşamasında manevi desteği ile her zaman yanımda olan değerli insan İsmail Cihan KAYA'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans süresince Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu ile öğrenimimi destekleyen TÜBİTAK'a, 2015-ÖYP-125 nolu proje kapsamında sağladıkları maddi destekten dolayı Selçuk Üniversitesi ÖYP Koordinatörlüğüne ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Gülcihan GÜZEL
KONYA-2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**

ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. KOMPOZİT MALZEME **3**

2.1. Matris Türüne Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 3
2.1.1. Metal matrisli kompozitler 4
2.1.2. Seramik matrisli kompozitler 5
2.1.3. Polimer matrisli kompozitler 5
2.1.3.1. Epoksi reçinesi 7
2.2. Dolgu Maddesi Türüne Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 11
2.2.1. Lif yapılı dolgu maddeleri 12
2.2.1.1. Sentetik lifler 13
2.2.1.2. Doğal lifler 15
2.2.2. Tanecik yapılı dolgu maddeleri 16
2.2.2.1. Çelikhane cürufu 20
2.2.2.2. Yer fıstığı kabuğu 22
2.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanı 23

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI **27**

4. MATERYAL VE YÖNTEM **32**

4.1. Kullanılan Kimyasallar 32
4.2. Kullanılan Cihazlar 35
4.3. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması 36
4.3.1. Çelikhane cürufu/epoksi kompozitlerinin hazırlanması 36
4.3.2. Modifiye cüruf/epoksi kompozitlerinin hazırlanması 38
4.3.3. Yer fıstığı kabuğu/epoksi kompozitlerinin hazırlanması 39
4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu 40
4.4.1. XRD analizi 40
4.4.2. Çekme testi 40
4.4.3. Sertlik testi 41
4.4.4. Korozyon direnci testi 41
4.4.5. Adhezyon testi 42

4.4.6. Su sorpsiyon testi 43
4.4.7. TGA analizi 43
4.4.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini 43
4.4.9. Soğuk ortama dayanım testi 43

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA 45

5.1. Çelikhane Cürufu 45
5.1.1. XRD analizi 45
5.1.2. Çekme testi 47
5.1.3. Sertlik testi 53
5.1.4. Korozyon direnci testi 55
5.1.5. Adhezyon testi 60
5.1.6. Su sorpsiyon testi 62
5.1.7. TGA analizi 69
5.1.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini 75
5.1.9. Soğuk ortama dayanım testi 77
5.2. Yer Fıstığı Kabuğu 77
5.2.1. XRD analizi 77
5.2.2. Çekme testi 78
5.2.3. Sertlik testi 80
5.2.4. Korozyon direnci testi 82
5.2.5. Adhezyon testi 83
5.2.6. Su sorpsiyon testi 84
5.2.7. TGA analizi 87
5.2.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini 88
5.2.9. Soğuk ortama dayanım testi 89

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME 90

7. KAYNAKLAR 94

ÖZGEÇMİŞ 102

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ρ:	Yoğunluk (g/cm^3)
E:	Young modülü
T_g:	Camsı geçiş sıcaklığı (°C)
ε:	Kopmada uzama (%)
σ:	Çekme dayanımı (MPa)

Kısaltmalar

BPA:	Bisfenol A
BPF:	Bisfenol F
DADM:	4,4'-diaminofenil metan
DDS:	Diamino difenil sülfon
DETA:	Dietilen triamin
DSC:	Diferansiyel taramalı kalorimetri
EEW:	Epoksi eşdeğer ağırlığı
ER:	Epoksi reçinesi
YFK:	Yer fıstığı kabuğu
FT-IR:	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
İBS:	İlk bozunma sıcaklığı
KDK:	Katyon değiştirme kapasitesi
LDC:	Linz-Donowitz cürufu
MC:	Modifiye çelikhane cürufu
MNA:	Metil-5-norbornen-2,3-dikarbosilik anhidrit
PEG:	Polietilen glikol
PPTA:	Poli(p-fenilen tereftalamit)
R1:	NPEL 128 reçinesi
R2:	NPEF 164 X reçinesi
SEM:	Taramalı elektron mikroskobu
T_5:	% 5 ağırlık kaybının görüldüğü sıcaklık
T_{10}:	% 10 ağırlık kaybının görüldüğü sıcaklık
T_{50}:	% 50 ağırlık kaybının görüldüğü sıcaklık
TEM:	Geçirimli elektron mikroskobu
TEPA:	Tetraetilen pentaamin
TETA:	Trietilen tetraamin
TGA:	Termogravimetrik analiz
TMAC:	Tetrametilamonyum klorür
TYFC:	Tanecikleştirilmiş yüksek fırın cürufu
XRD:	X-ışını kırınımı
VYS:	Vikat yumuşama sıcaklığı
YSA:	Yapay sinir ağları
YYPE:	Yüksek yoğunluklu polietilen

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması 4
Şekil 2. 2. Metal matrisli kompozitler 4
Şekil 2. 3. Seramik matrisli kompozit 5
Şekil 2. 4. Polimer matrisli kompozitler 6
Şekil 2. 5. Epoksit fonksiyonel grubu 7
Şekil 2. 6. Bisfenol A oluşumu 8
Şekil 2. 7. Epiklorhidrin bileşiğinin kimyasal yapısı 9
Şekil 2. 8. Epoksit ön polimerinin oluşumu 9
Şekil 2. 9. Çapraz bağlı epoksi polimerinin oluşumu 10
Şekil 2. 10. Dolgu maddelerinin sınıflandırılması 12
Şekil 2. 11. Liflerin matris içerisindeki yerleşme biçimi (a) kesikli rastgele, (b) kesikli tek yönlü, (c) sürekli tek yönlü, (d) sürekli iki yönlü 13
Şekil 2. 12. Liflerin yapısına göre sınıflandırılması 14
Şekil 2. 13. Killerin modifikasyonu 18
Şekil 2. 14. Killerin matris içerisinde dağılımı a) mikrokompozit, b) aralanmış tabakalı ve c) dağılmış .. 18
Şekil 2. 15. Tarımsal atıklar 22
Şekil 2. 16. Kompozit malzemelerin uygulama alanları 24
Şekil 2. 17. Kompozit malzemelerin kullanıldığı spor araç ve gereçleri 26
Şekil 4. 1. BPA tipi epoksi reçinesinin molekül yapısı 32
Şekil 4. 2. BPF tipi epoksi reçinesinin molekül yapısı 32
Şekil 4. 3. Epamine PC17'nin molekül yapısı 33
Şekil 4. 4. MNA'nın molekül yapısı 33
Şekil 4. 5. Hızlandırıcının molekül yapısı 34
Şekil 4. 6. PEG'in molekül yapısı 34
Şekil 4. 7. TMAC'nin molekül yapısı 34
Şekil 4. 8. Çekme-koparma testi sistemi 36
Şekil 4. 9. Vikat ölçüm cihazı 36
Şekil 4. 10. Kompozit malzemelerin görünümü 41
Şekil 4. 11. Kaplamaların (a) adhezyon testi öncesi ve (b) adhezyon testi sonrası görünümü 42
Şekil 5. 1. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı 46
Şekil 5. 2. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı 46
Şekil 5. 3. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin XRD diyagramı 47
Şekil 5. 4. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı 48
Şekil 5. 5. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 63
Şekil 5. 6. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 64
Şekil 5. 7. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 64
Şekil 5. 8. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 65
Şekil 5. 9. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 66
Şekil 5. 10. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 66
Şekil 5. 11. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 67
Şekil 5. 12. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 68
Şekil 5. 13. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 68
Şekil 5. 14. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 69
Şekil 5. 15. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği 71
Şekil 5. 16. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği 71
Şekil 5. 17. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği 73
Şekil 5. 18. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin TGA grafiği 73
Şekil 5. 19. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin TGA grafiği 74
Şekil 5. 20. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı 78
Şekil 5. 21. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 85
Şekil 5. 22. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 86
Şekil 5. 23. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 86
Şekil 5. 24. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği 87

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1. Yaygın kullanılan polimer matrisler 7
Çizelge 2. 2. Bazı doğal liflerin kimyasal bileşimi 16
Çizelge 2. 3. Cam lifinin özelliklerinin bazı doğal liflerle karşılaştırması 16
Çizelge 2. 4. Çelikhane cürufunun ortalama yüzde bileşimi 21
Çizelge 2. 5. Yer fıstığı kabuğunun kimyasal bileşimi 23
Çizelge 2. 6. Yer fıstığı kabuğunun elementel analizi 23
Çizelge 4. 1. Kullanılan epoksi reçinelerinin kimyasal özellikleri 32
Çizelge 4. 2. Cürufun kimyasal bileşimi 33
Çizelge 4. 3. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması 37
Çizelge 4. 4. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması 38
Çizelge 4. 5. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması 38
Çizelge 4. 6. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması 38
Çizelge 4. 7. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin adlandırması 39
Çizelge 4. 8. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin adlandırması 39
Çizelge 4. 9. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin adlandırması 40
Çizelge 4. 10. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin adlandırması 40
Çizelge 4. 11. Kompozit malzemelerin boyutu 41
Çizelge 5. 1. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri 49
Çizelge 5. 2. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri 50
Çizelge 5. 3. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri 51
Çizelge 5. 4. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri 52
Çizelge 5. 5. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri 53
Çizelge 5. 6. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri 54
Çizelge 5. 7. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri 54
Çizelge 5. 8. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin sertlik değerleri 55
Çizelge 5. 9. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 57
Çizelge 5. 10. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 57
Çizelge 5. 11. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 58
Çizelge 5. 12. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 59
Çizelge 5. 13. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 59
Çizelge 5. 14. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri 60
Çizelge 5. 15. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri 61
Çizelge 5. 16. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin % adhezyon değerleri 62
Çizelge 5. 17. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin termal özellikleri 70
Çizelge 5. 18. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin termal özellikleri 72
Çizelge 5. 19. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin termal özellikleri 73
Çizelge 5. 20. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin termal özellikleri 74
Çizelge 5. 21. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin VYS değerleri 75
Çizelge 5. 22. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin VYS değerleri 76
Çizelge 5. 23. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin VYS değerleri 77
Çizelge 5. 24. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri 79
Çizelge 5. 25. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri 80
Çizelge 5. 26. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri 81
Çizelge 5. 27. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin sertlik değerleri 81
Çizelge 5. 28. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 82
Çizelge 5. 29. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları 83
Çizelge 5. 30. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri 83
Çizelge 5. 31. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin % adhezyon değerleri 84
Çizelge 5. 32. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin termal özellikleri 87
Çizelge 5. 33. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin VYS değerleri 88
Çizelge 5. 34. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin VYS değerleri 89

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle malzeme konusundaki çalışmalar da hızla artmaktadır. Malzemelerin tek başına ve doğal haliyle kullanımı, istenen özelliği her zaman tam olarak karşılayamamaktadır. Günlük hayatta ve üretim sistemlerinde değişen ihtiyaçları karşılayabilmek için yeni özelliklere sahip olan malzemelere talep giderek artmaktadır. Bu talepleri karşılayabilmek için birden fazla malzemenin uygun özelliklerinin bir araya getirilmesi ve tek bir malzeme üzerinde toplanması amaçlanmaktadır. Birden fazla malzemenin uygun yöntemlerle bir araya getirilmesi sonucu elde edilen kompozit malzemelerin tasarımına ve uygulamasına yönelik çalışmalar da zamanla yaygınlaşmaktadır. Kompozit malzemeler genel olarak matris sistemi ve dolgu maddesinden oluşmaktadır. Kompozit malzemelerde matris sistemi dolgu maddelerini bir arada tutarken dolgu maddeleri de malzemenin maruz kaldığı gerilimi azaltarak malzemede dayanımın artmasını sağlamaktadır. Birçok mühendislik uygulamasında üstün özelliklerinden dolayı polimer matrisli kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemeler, farklı yapıdaki organik ve anorganik dolgu malzemelerinin polimer matrisler ile birlikte kullanımı sonucu elde edilmektedir.

Kompozit malzeme üretiminde göz önünde bulundurulan en önemli noktalardan birisi istenen özelliklere sahip düşük maliyetli ve çevre dostu malzemelerin üretilmesidir. Bu nedenle piyasa değeri düşük organik ve anorganik endüstriyel atıkların kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Endüstriyel atıkların kullanımıyla hem malzemenin maliyeti düşürülmekte hem de bu atıkların birikimi önlenerek çevre kirliliği ve depolama sorunu azaltılmaktadır.

Cüruf, endüstriyel atık maddeler içerisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Çelikhane cürufu ise demir çelik fabrikalarında ergimiş haldeki demirin safsızlıklarından arındırılması sırasında elde edilen anorganik bir atıktır. Çelikhane cürufunun yol ve asfalt yapımı gibi farklı alanlarda dolgu maddesi olarak kullanımı araştırılmakta fakat önemli bir kısmı hala kullanılmadan atılmaktadır.

Yer fıstığı kabuğu Dünya'da ve Türkiye'de çeşitli uygulamalarda önemli bir kullanım yeri olan yer fıstığının tüketimi sırasında açığa çıkan tarımsal bir atıktır. Yer fıstığı kabuğunun yakıt olarak kullanımına ek olarak hayvan yemi, çimento ve gübrede

katkı maddesi olarak kullanılmasıyla uygulama alanı genişletilmeye çalışılmaktadır; ancak büyük bir kısmı değerlendirilmeden atılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı endüstriyel ve tarımsal atıkları polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanarak düşük maliyetli kompozit malzeme üretmektir. Yapılan çalışmada matris olarak kullanılan epoksi reçinelerinde çelikhane cürufu ve yer fıstığı kabuğunun dolgu malzemesi olarak kullanımı incelenmiştir. Kompozit malzeme hazırlamada kullanılan dolgu maddesi miktarının, sertleştirici tipinin, polietilen glikol ilavesinin ve epoksi reçinesi türünün elde edilen malzeme üzerinde etkileri araştırılmıştır. Elde edilen epoksi kompozitlerin fiziko-mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

2. KOMPOZİT MALZEME

Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki ya da daha fazla bileşenin, yeni özellikler elde etmek amacıyla makro düzeyde birleşmesi sonucu oluşan yeni malzemeye kompozit malzeme adı verilmektedir (Saiyad ve ark., 2014). Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler genel olarak birbiri içerisinde çözünmezler yani kimyasal olarak inert davranırlar (Guan ve ark., 2015).

Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

Kompozit malzemelerin avantajları

- Çekme ve eğilme mukavemeti birçok malzemeye göre daha yüksektir.
- Düşük yoğunluklu ve ucuz malzemelerdir.
- Korozyona ve çoğu kimyasala karşı mükemmel direnç gösterirler.
- Yorulma dirençleri yüksektir.
- Isı iletim katsayısı düşük bileşenlerin eklenmesiyle yüksek ısı altında kullanılabilen malzemelerdir.
- Kompleks parçalar kolay bir şekilde elde edilebilir (Devaraju ve ark., 2013).

Kompozit malzemelerin dezavantajları

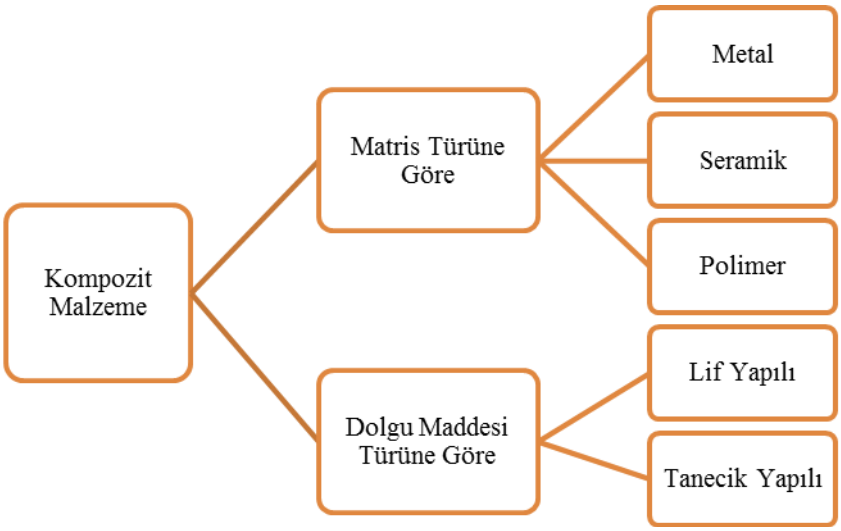
- Kullanılan matris sistemi genellikle pahalıdır.
- Kırılgan malzemelerdir.
- Aynı kompozit malzemede farklı çekme, basma ve eğilme değerleri görülebilir.
- Malzemede oluşan hava kabarcıkları malzemenin özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Malzemenin kalitesi, üretim yönteminin kalitesine bağlı olarak değişmektedir (Raju ve Kumarappa, 2011).

  Kompozit malzemeler Şekil 2.1'de gösterildiği gibi matris ve dolgu maddesi türüne göre sınıflandırılmaktadır.

2.1. Matris Türüne Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerden en önemlisi matris sistemidir. Matrisler genel olarak metal, seramik ve polimer olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Matrisin kompozit malzemedeki görevi; dolgu maddesini fiziksel ve kimyasal dış

etkilerden koruyarak bir arada tutup dolgu maddesine yük aktarımı sağlamaktır. Ayrıca matris kompozit malzemede oluşan kırık ve çatlakların ilerlemesini önlemektedir (Gu ve ark., 2015).



Şekil 2. 1. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

2.1.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozitler; yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek özgül katsayısı, yüksek yorulma ve aşınma direnci (Chatterjee ve ark., 2015) ve yüksek sıcaklıklardaki dayanımlarından dolayı havacılık ve otomotiv endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahiptir (Xu ve Qu, 2015). Metal matrisli kompozitler arasından Al ve Al/Mg, Al/Si alaşımları, Ti alaşımları, Cu/Mo, Cu/W ve Zn alaşımları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Miracle, 2005). Şekil 2.2'de yaygın bir şekilde kullanılan metal matrisli kompozit malzemelere örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Metal matrisli kompozitler

2.1.2. Seramik matrisli kompozitler

Seramik malzemeler; hafif, yalıtkan ve ısıya dayanıklı malzemelerdir. Ancak kırılganlıkları, düşük süneklik ve tokluk değerleri, termal şoklara karşı düşük dayanımlarından dolayı seramik malzemeler çeşitli dolgu maddeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Seramik matrisli kompozitler; seramik-seramik, seramik-cam ve seramik-metal kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Seramik matrisli kompozitlerde Al_2O_3, ZrO_2, Si_3N_4 ve SiC bileşikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Seramik matrisli kompozitler uzay sanayisinde, türbin motor parçalarında, roket motorlarında, zırhlarda, ısıl işlem fırınlarında, otomotiv sektöründe önemli bir kullanım alanına sahiptir (Rout ve Satapathy, 2012). Şekil 2.3'te uzay araçları için üretilmiş seramik matrisli kompozit bir malzeme gösterilmiştir.



Şekil 2. 3. Seramik matrisli kompozit

2.1.3. Polimer matrisli kompozitler

Son yıllarda polimer ve polimer matrisli kompozitler önemli ölçüde geliştirilerek günlük hayatımızda ve mühendislik uygulamalarında geleneksel malzemelerin yerini almıştır (Rout ve Satapathy, 2012). Polimer matrisli kompozit malzeme üretimindeki en önemli hedef ekonomik, hafif, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen ve en az çelik kadar sağlam yapıda malzeme üretebilmektir. Polimerlere metal iyonu, karbon nanotüp, nanopartikül gibi farklı yapıda dolgu maddeleri eklenerek (Mujahid ve ark., 2012) malzemenin mekanik dayanımının, korozyon direncinin, viskoelastik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (Çallıoğlu ve ark., 2011).

Polimer matrisli kompozitlerin kullanımında otomotiv sektörü ilk sırada yer almaktadır. Bunun yanı sıra Şekil 2.4'te de gösterildiği gibi polimer matrisli

kompozitler uzay, enerji depolama, denizcilik, ulaşım, sağlık, inşaat endüstrisi, spor araçları ve müzik aletlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Mishra ve Biswas, 2014; Ye ve ark., 2015).



Şekil 2. 4. Polimer matrisli kompozitler

Polimer matrisler, kendi içerisinde ısıl davranışlarına göre termoplastik ve termoset matris olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Termoplastik matrisler, çapraz bağ içermeyen düz zincirli veya dallanmış yapıdaki polimerlerdir. Düşük sıcaklıkta katı halde olup ısıtıldığında yumuşayan ve viskozitesi azalan malzemelerdir. Termoplastikler, ısı ile eritilip ardından soğutulduğunda katılaştığı için tekrar şekil verilebilme özelliğine sahiptir (Ebewele, 2000). Termoplastik polimerlerin yüksek kırılma tokluğu, geri dönüşüm kapasitesi, uzun raf ömrü ve kürleme işleminde organik çözücülere ihtiyaç duyulmaması gibi avantajları bulunmaktadır (Gu ve ark., 2015). Termoplastik malzemeler termosetlere göre daha az tercih edilmektedir. Bunun nedeni üretimdeki maliyet ve zorluklar, oda sıcaklığındaki düşük işleme kalitesi ve düşük mekanik dayanımlarıdır (Wang ve ark., 2014).

Termoset matrisler ise zincirleri arasında yoğun çapraz bağlar bulunan polimerlerdir. Termosetler, ısı etkisiyle sertleştirildikten sonra tekrar eritilemez ve oluşan çapraz bağlardan dolayı şekillendirilemez. Termosetlerin özellikleri çapraz bağın uzunluğuna, yoğunluğuna ve moleküllerin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Termosetler düşük yoğunluk, yüksek termal dayanım ve kimyasal direnç gibi avantajlarıyla ön plana çıkan polimer matrislerdir. Ayrıca boyutsal kararlılığı, üstün elektrik ve ses yalıtımı termosetlerin genel özellikleri arasındadır (Saçak, 2005). Kırılganlıkları, kopmada görülen düşük uzama değerleri ve sertleşme zamanının uzun olması termosetlerin uygulama potansiyelini kısıtlamaktadır (Ding ve ark., 2013).

Çizelge 2.1'de endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılan termoplastik ve termoset polimer matrislere örnekler verilmiştir.

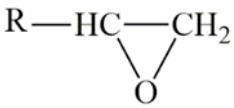
Çizelge 2. 1. Yaygın kullanılan polimer matrisler

Termoplastikler	Termosetler
Polietilen	Doymamış poliesterler
Polipropilen	Alkit reçineleri
Polistiren	Epoksi reçineleri
Poli(vinil klorür)	Fenolik reçineler
Polikarbonat	Melamin-formaldehit reçineleri
Poli(metil metakrilat)	Üre-formaldehit reçineleri

Çizelge 2.1'de de görüldüğü gibi en yaygın kullanılan termoset matrislerden birisi epoksi reçineleridir. Epoksi reçineleri üstün özellikleri ile birçok alanda kullanılmakta ve kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır.

2.1.3.1. Epoksi reçinesi

Epoksi reçinesi, Şekil 2.5'te görülen epoksit gruplarını içeren düşük molekül ağırlıklı bir polimerdir. Epoksi reçinelerinin her bir molekülünde bir ya da daha fazla epoksit fonksiyonel grubu bulunmaktadır. Epoksi reçinesi eterik oksijen bağlarını yapısında bulundurmaktadır (Azeez ve ark., 2013).



Şekil 2. 5. Epoksit fonksiyonel grubu

Epoksi reçinelerin özellikleri

- Çekme ve basma dayanımları yüksektir (Deveci, 2013).
- Elektriksel yalıtkanlığı iyi olan polimerlerdir (Zhang ve Qi, 2014).
- Çeşitli kimyasallara ve korozyona olan dayanımları yüksektir (Mavani ve ark., 2007).
- Epoksi reçineleri mükemmel bir termal ve boyutsal kararlılık gösterir (Soroush ve ark., 2014).
- Yüzeye yapışma kabiliyeti birçok termoset polimere göre daha iyidir (Reis ve ark., 2015).

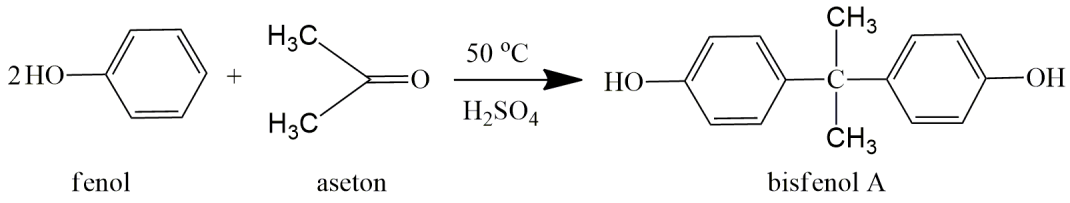
- Çapraz bağlanma sonucu büzüşme oranları düşüktür (Muhammad Firdaus ve Mariatti, 2014).
- Epoksi reçinelerinin işlenme prosesi kolaydır (Zhang ve Qi, 2014).
- Epoksi reçinelerin yanabilirliği (Zhou ve ark., 2014) ve kırılganlıkları (Li ve ark., 2015) bu polimerlerin kullanım alanını kısıtlamaktadır.

Epoksi reçineleri; üstün özellikleri ile deniz (Xue ve ark., 2014), otomotiv, havacılık (Yekani Fard ve ark., 2014), inşaat endüstrisinde (Li ve ark., 2014) ve kaplama (Ding ve ark., 2013), yapıştırıcı (Ma ve ark., 2014), yalıtım malzemesi (Devaraju ve ark., 2013), kompozit malzemelerde matris (Zotti ve ark., 2014) olarak birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çeşitli sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılan yapı ve özellikleri birbirinden farklı epoksi reçineleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Huang ve ark., 2013).

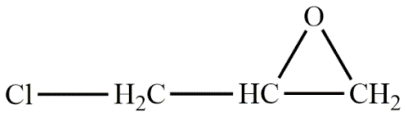
- Diglisidil eter bisfenol A (DGEBA)
- Diglisidil eter bisfenol F (DGEBF)
- Novalak epoksi (NE)
- Diglisidil eter tris(hidroksifenil) metan
- N,N-diglisidil anilin (DGA)
- Triglisidil p-aminofenol (TGPAP)
- N,N,N’,N’-tetraglisidil-4,4’-metilen dianilin (TGMDA)

Epoksi reçinelerinin büyük bir kısmı bisfenol A ve epiklorhidrinin bazik ortamda tepkimesiyle elde edilmektedir. Bisfenol A (2,2’-bis(p-hidroksifenil)propan); Şekil 2.6’da gösterildiği gibi H_2SO_4 ya da HCl gibi asit katalizörü varlığında aseton ve fenolün reaksiyonu sonucu sentezlenmektedir (Barua ve ark., 2013).



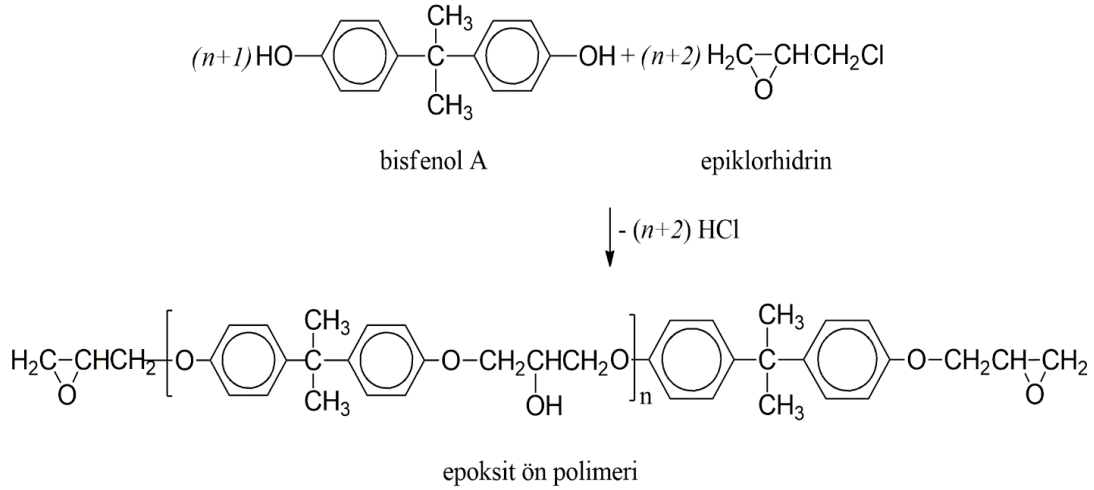
Şekil 2. 6. Bisfenol A oluşumu

Kimyasal yapısı Şekil 2.7’de gösterilen epiklorhidrin bileşiği gliserin prosesinin ara ürünü olup propilenden sentezlenmektedir (Wang ve ark., 2014).



Şekil 2. 7. Epiklorhidrin bileşiğinin kimyasal yapısı

Epoksi reçinesi üretiminin ilk aşamasında; epiklorhidrinin fazlası kullanılarak Şekil 2.8' de gösterilen düşük mol kütleli bir ön polimer elde edilmektedir (Paluvai ve ark., 2014).

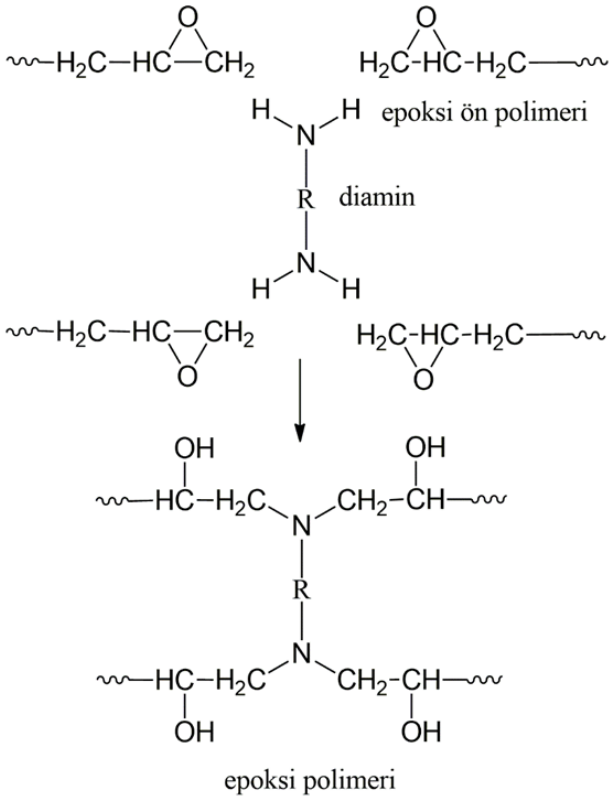


Şekil 2. 8. Epoksit ön polimerinin oluşumu

Epoksi reçinelerinin özellikleri *n* değerine bağlı olarak değişmektedir. Küçük *n* değerine sahip polimerler sıvı iken *n* değeri 25 civarına ulaştığında polimer oda sıcaklığında katı bir hal almaktadır. Yüksek *n* değerine sahip epoksitler mekanik dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılırken, düşük *n* değerli epoksitler kaplama ve kompozit malzeme hazırlama gibi sektörlerde kullanılmaktadır (Mc Aninch ve ark., 2015).

İkinci aşamada ise epoksit ön polimeri çeşitli çapraz bağlayıcılarla sertleştirilmektedir. Şekil 2.9'da epoksi reçinesinin amin gruplu bir sertleştirici ile çapraz bağlanması gösterilmiştir (Erkan, 2008).

Sertleştirilmiş reçinelerin yapısı; sertleştiricinin fonksiyonel gruplarının türü ve yapısına (Nohales ve ark., 2006), reçine ve sertleştirici arasındaki çapraz bağ yoğunluğuna, reçine ve sertleştiricinin fonksiyonel grupları arasındaki bağların moleküler yapısına, reçine ve sertleştiricilerin molar oranına ve sertleştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Montero ve ark., 2013).



Şekil 2. 9. Çapraz bağlı epoksi polimerinin oluşumu

Sertleştiriciler, epoksi reçinelerinin hidroksil ve epoksit fonksiyonel grupları ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyon sonucu kararlı karbon-karbon, karbon-oksijen ve karbon-azot bağları oluşmaktadır. Polimer zincirlerinin çapraz bağlanmasıyla reçinenin mekanik, kimyasal ve termal dayanımı arttırılmaktadır (Ting ve ark., 2011).

Amin ve amin türevleri, asit anhidritler ve katalitik sertleştiriciler endüstride en çok kullanılan sertleştiricilerdendir (Huang ve ark., 2013). Dietilen triamin (DETA), trietilen tetraamin (TETA), tetraetilen pentaamin (TEPA) ve N-aminoetil-piperazin gibi alifatik aminler, poliamitler ve amidoaminler oda sıcaklığında sertleşme sağlayan önemli sertleştiriciler arasındadır. Poliamitler; primer, sekonder ve tersiyer olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bu sertleştiriciler mükemmel yapışma özelliği gösteren, iyi bir sertlik sağlayan ve düşük toksik değerine sahip olan maddeler olmalarına rağmen sertleştirme prosesinde malzemenin renginin koyulaşmasına neden olmaktadır. Amidoaminler hem amit hem de amin grubu içeren sertleştiricilerdir. Bu tür sertleştiriciler elde edilen malzemenin daha sert ve yüksek T_g değerine sahip olmasını sağlamaktadır. BF_3 ve imidazoller oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen sertleştiricilerdendir. Bazı durumlarda diğer sertleştiricilerle birlikte hızlandırıcı olarak da kullanılabilmektedir. Bu sertleştiricilerin kullanılmasıyla T_g değeri 200 °C'ın

üzerinde olan malzemeler elde edilebilmektedir. İmidazoller genellikle otomotiv ve uzay endüstrisinde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta kullanılabilen sertleştiriciler arasında aromatik aminler ve anhidritler yer almaktadır. Aromatik aminlerin reaksiyonu sterik etkilerden dolayı daha yavaştır. 4,4'-diaminofenil metan (DADM, MDA ya da DDM) endüstride kullanılan ilk sertleştiricidir; ancak kanserojen olduğu için yerini daha az toksik olan metilen-bis(dimetilanilin) ve metilen-bis(diizopropilanilin) gibi sertleştiriciler almıştır. Diamino difenilsülfon (DDS) da uzay endüstrisinde yaygın uygulama alanı bulan sertleştiricilerden biridir. Epoksi reçinelerinin anhidritlerle reaksiyon hızı, alifatik amin ve amitlere göre daha yavaştır. Sertleştirme işlemi için geçen süre uzundur. Polianhidritler malzemeye mükemmel bir sertlik özelliği ve termal dayanım kazandırmaktadır. Anhidrit tipi sertleştiriciler özellikle döküm, kaplama ve filament sarma proseslerinde kullanılmaktadır (Şeker, 2010).

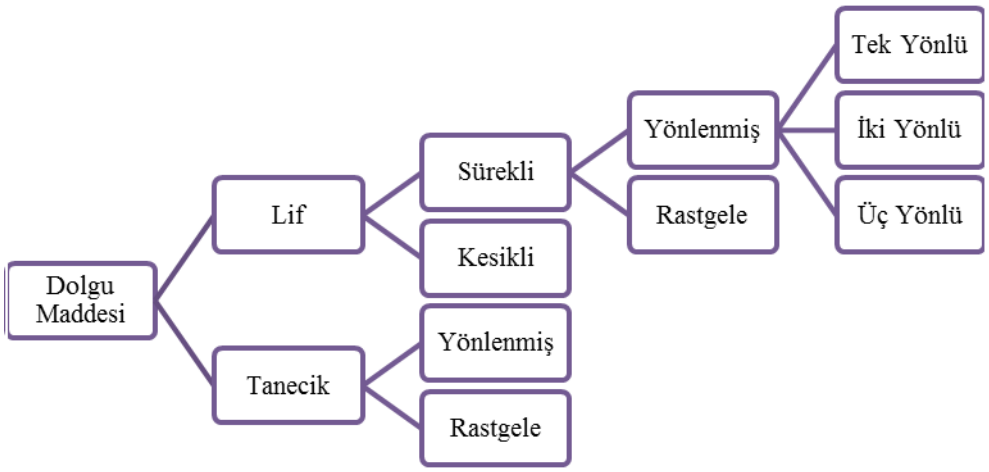
Epoksi reçinelerinin aminlerle sertleştirilmesi üzerine birçok çalışma vardır; ancak anhidritlerle sertleştirilen reçineler daha iyi mekanik ve termal özellikler göstermiştir (Chiang ve ark., 2015). Anhidrit yapılı sertleştiricilerin kullanıldığı epoksi reçineler daha az zehirli, daha yüksek T_g değerine sahip, daha az su absorplayan ve daha düşük büzüşmenin görüldüğü malzemelerdir. Anhidritlerle sertleştirme prosesinin ilk aşamasında anhidrit grubunun epoksi reçinesindeki hidroksil gruplarıyla reaksiyonu sonucu karboksil grupları oluşmaktadır. Oluşan karboksil gruplarının epoksit grupları ile tepkimeye girmesi sonucu diesterler ve yeni hidroksil grupları elde edilmektedir. Bu hidroksil grupları da tekrar anhidrit grubu ile reaksiyona girdikten sonra sertleşme gerçekleşmektedir (Yang ve ark., 2014).

Epoksi reçinesi sertleştirme yöntemleri arasında oda sıcaklığında sertleşme, ısı ile sertleşme ve elektromanyetik ışıma (mikro dalga yayınımı) ile sertleşme bulunmaktadır. Isı ile sertleştirme yaygın kullanılan ve güvenli bir prosestir. Fakat viskozitesi yüksek reçineler için yüksek sertleşme ısısı ve uzun sertleşme süresi gereklidir. Elektromanyetik ışıma ile sertleşmede ise gerekli ısı, mikrodalga frekans aralığı ile malzeme içerisinde oluşturulmaktadır. Elektromanyetik ışıma ile sertleşme hızlanmakta ve gerekli ısı değeri düşmektedir. Böylece verimlilik artmakta, maliyet düşmekte, daha hızlı ürün elde edilmekte, malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirilmektedir (Ting ve ark., 2011).

2.2. Dolgu Maddesi Türüne Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan maddeler arasında dolgu maddesi, matristen sonra gelen ikinci önemli bileşendir. Dolgu maddesinin kullanılma nedeni, matris sisteminin maruz kaldığı gerilmeleri hafifleterek malzemenin özelliklerini geliştirmektir (Saiyad ve ark., 2014). Dolgu maddeleri matris sisteminin kırılganlık özelliğini ortadan kaldırıp mekanik dayanım sağlamak (Guan ve ark., 2015), termal kararlılığını korumak (Yilmazer ve Ozden, 2006) ve elektriksel, manyetik ve aşınma direnci özelliklerini geliştirmek (Bora ve ark., 2013) amacıyla kullanılmaktadır. Ancak çoğu uygulamada dolgu maddeleri, malzemenin maliyetini düşürmek için tercih edilmektedir (Pati ve Satapathy, 2015). Elde edilen kompozit malzemelerin özellikleri; dolgu maddesinin miktarı, boyutu, matris içindeki dağılma derecesi (Wang ve ark., 2015) ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Pusz ve ark., 2015).

Dolgu maddeleri Şekil 2.10'da gösterildiği gibi lif ve tanecik yapılı olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır (Saiyad ve ark., 2014).



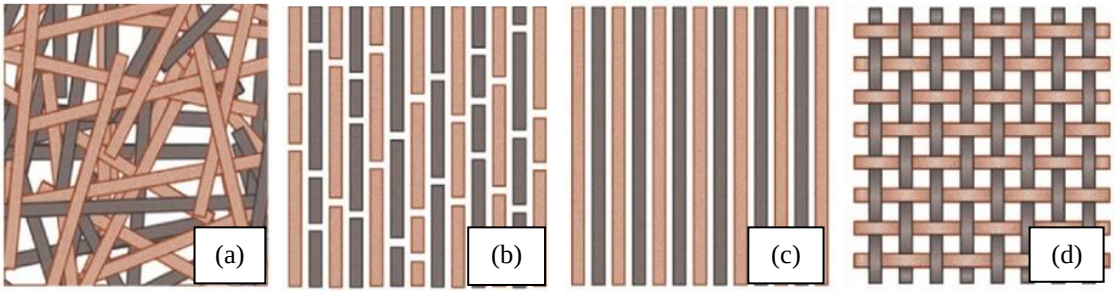
Şekil 2. 10. Dolgu maddelerinin sınıflandırılması

2.2.1. Lif yapılı dolgu maddeleri

Lif yapılı dolgu maddeleri kompozit malzeme üretiminde en yaygın kullanılan dolgu maddesidir. Kompozit malzemelerde oluşan gerilimin % 70-90'ı lifler tarafından taşınmaktadır. Lifler yapısına bağlı olarak malzemeye sertlik ve termal kararlılık gibi özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca malzemeye elektriksel iletkenlik ya da yalıtkanlık sağlayabilmektedir (Erkan, 2008).

Liflerin mekanik özellikleri, miktarı, kalınlığı, uzunluk/çap oranı, matris içerisindeki yerleşim biçimi malzemenin özelliklerini etkileyen faktörler arasındadır.

Liflerin uzunluk/çap oranının artmasıyla liflere iletilen gerilim miktarı artmaktadır. Liflerin matris içerisinde birbirlerine paralel yerleştirilmesiyle lifler doğrultusunda yüksek dayanım, liflere dik yönde düşük dayanım elde edilmektedir. Lifler iki boyutlu yerleştirildiğinde ise her iki yönde de eşit dayanım görülmektedir. Liflerin matris içerisindeki yerleşme biçimine örnekler Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Lif ve matris arasındaki bağın yapısı da malzemenin dayanımını etkilemektedir. Matris içerisinde boşlukların bulunması halinde lif ve matris arasındaki temas azaldığı için malzemenin özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir (Rout ve Satapathy, 2012).



Şekil 2. 11. Liflerin matris içerisindeki yerleşme biçimi (a) kesikli rastgele, (b) kesikli tek yönlü, (c) sürekli tek yönlü, (d) sürekli iki yönlü

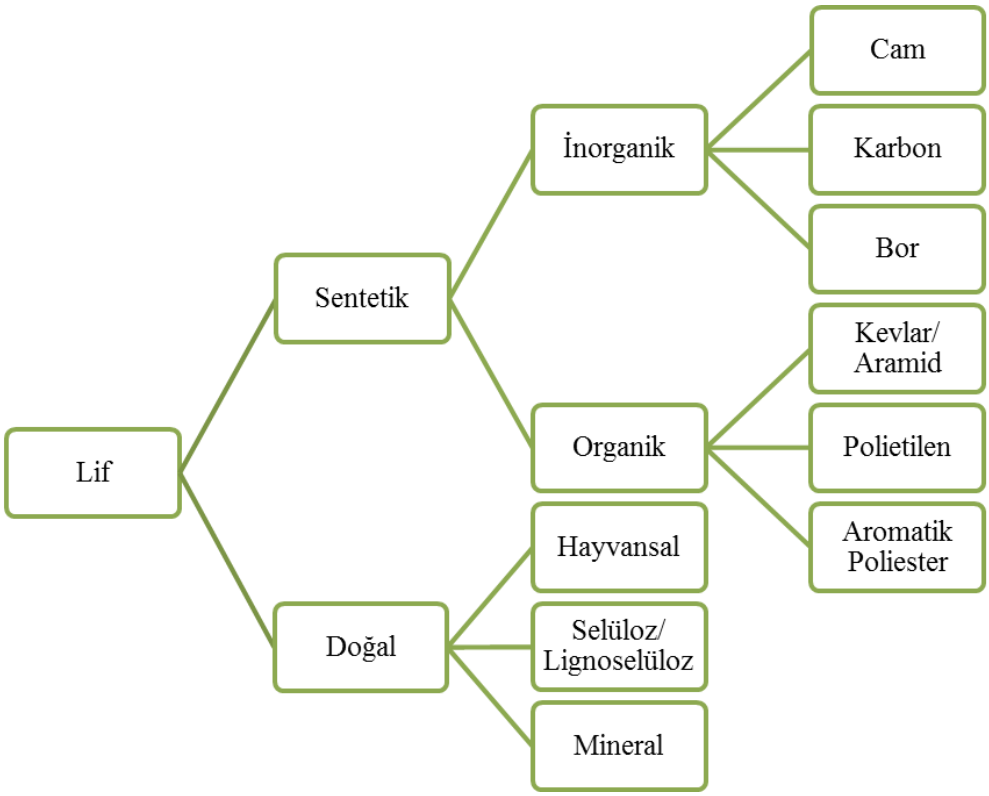
Lifler, yapısına bağlı olarak Şekil 2.12'de gösterildiği gibi sentetik ve doğal yapılı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Saba ve ark., 2014).

2.2.1.1. Sentetik lifler

Günümüzde kompozit malzeme üretiminde cam, karbon, bor ve aramid lifi olmak üzere dört çeşit lif yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Cam lifi

Cam lifi, hem termoplastik hem de termoset matrislerde en yaygın kullanılan lif türüdür (Bhagat ve ark., 2014). Düşük maliyeti, yüksek gerilme dayanımı, kimyasal direnci, boyutsal kararlılığı, mükemmel yalıtım özelliği (Velmurugan ve Manikandan, 2007) ve yüksek sıcaklıklara olan dayanımı (Laura ve ark., 2002) cam liflerinin avantajları arasındadır. Cam liflerinin dezavantajları arasında düşük gerilim modülü, yüksek özgül ağırlığı, düşük yorulma direnci ve yüksek sertlikleri yer almaktadır (Etcheverry ve Barbosa, 2012). En çok kullanılan cam lifi; iyi bir darbe dayanımı, uzun yorulma süresi ve yüksek korozyon direnci olan E cam lifidir (Khan ve ark., 2009).



Şekil 2. 12. Liflerin yapısına göre sınıflandırılması

Karbon lifi

Karbon lifleri; 7 GPa'a kadar gerilme dayanımı gösteren, düşük yoğunluklu (ρ = 1.75-2.00 g/cm^3) ve 900 GPa değerlerine ulaşan yüksek modül değerine sahip sentetik bir lif türüdür (Frank ve ark., 2012). Karbon lifler; yüksek boyutsal ve termal kararlılık göstermelerinin yanı sıra yüksek korozyon direncine sahip olan malzemelerdir (Khan ve ark., 2010). Ani darbe dayanımının düşük olması ve yüksek elektriksel iletkenliği karbon liflerin dezavantajlarıdır (Erkan, 2008). Karbon lifi dolgulu polimer kompozitler uzay, otomotiv endüstrisi, askeriye gibi ileri teknolojinin hakim olduğu birçok alanda ve spor malzemelerinin üretiminde önemli ölçüde kullanılmaktadır (Song ve ark., 2011).

Bor lifi

Bor lifi ilk defa 1960 yılında tek bir iplik şeklinde üretilmiştir. Bor lifleri, çekme dayanımı 2758-3447 MPa arasında değişen ve elastisite modülü yaklaşık 400 GPa olan liflerdir (Varvani-Farahani, 2009). Bor lifleri pahalı olduğu için kullanım alanı havacılık endüstrisi ve özel spor malzemelerinin üretimi ile kısıtlıdır (Saçak, 2005).

Kevlar/Aramid lifi

Kevlar lifi düşük yoğunluklu, yüksek gerilme dayanımına ve Young modülüne sahip (Chen ve ark., 1988), ısıya dirençli organik bir malzemedir (Li ve Huang, 1999). Kevlar, tereftoil klorür ve p-fenilen diaminin düşük sıcaklıkta polikondenzasyonu ile sentezlenen poli(p-fenilen tereftalamit) (PPTA) temelli bir liftir (Rebouillat ve ark., 1999). Kevlar/epoksi kompozitleri mükemmel özellikleri ile havacılık, uzay sanayi ve askeri uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak yüksek kristallenme derecesi kevlar lifinin yüzey enerjisini düşürmektedir. Bu nedenle kevlar lifi ve epoksi matrisi arasındaki ara yüzey etkileşimini arttırmak için bromlaştırma, nitratlaştırma, klorsülfolama ve asit modifikasyonu gibi çeşitli yöntemlerden faydalanılmaktadır (Li ve ark., 2008).

2.2.1.2. Doğal lifler

Çevresel sorunların her geçen gün artmasıyla kompozit malzemelerde sentetik liflerin yerine doğal liflerin kullanımı da artmıştır. Düşük fiyatlı, yüksek özgül dayanım ve yüksek modül gösteren, düşük yoğunluklu, hafif ve biyobozunabilen doğal lifler birçok mühendislik uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Biswas ve ark., 2015). Bu uygulama alanlarının başında otomotiv ve inşaat sektörü yer almaktadır.

Doğal lifler gövde, yaprak, meyve ve çekirdek lifi olarak sınıflandırılmaktadır (Malik ve ark., 2007). Doğal liflerin kimyasal bileşimi genel olarak selüloz, lignin, pektin ve hemi-selülozdan oluşmaktadır. Çizelge 2.2'de bazı önemli liflerin kimyasal bileşimi gösterilmiştir. Hemi-selüloz bileşeninden dolayı lifin nem absorpsiyonu yüksek ve termal bozunması daha kolay iken lignin bileşeni UV ışını altında bozunmayı geciktirmektedir. Doğal liflerde karşılaşılan en büyük problem; hidrofilik yapılarından dolayı liflerin su absorplama eğilimidir (Saba ve ark., 2014). Bu nedenle malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri, lif ve matris arasındaki zayıflayan ara yüzey bağlarından olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla liflere çeşitli yüzey modifikasyonları uygulanmaktadır (Shih, 2007).

Son zamanlarda otomotiv sektöründe cam lifinin kullanıldığı birçok kompozit malzemede, çevre dostu doğal liflerin kullanımına yönelik yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Doğal liflerin kırılma anındaki uzama değerleri, cam lifinden daha yüksektir ve yoğunlukları düşüktür. Ancak Çizelge 2.3'te de görüldüğü gibi cam lifinin çoğu mekanik özelliği doğal liflerden daha iyidir (Saba ve ark., 2014).

Çizelge 2. 2. Bazı doğal liflerin kimyasal bileşimi

Doğal Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Pentosan (%)
Sisal	47-62	8-9	21-24
Ananas	69.5	4.4	17.8
Bambu	26-43	21-30	15-26
Pirinç	28-48	12-16	23-28
Kenaf	44-57	15-19	22-23
Hintkeneviri	45-63	21-26	18-21
Arpa	31-45	14-15	24-29
Mısır sapı	32-34	5-34	20-41
Hindistan cevizi	28-29	16-45	7-23
Pamuk linteri	90-95	0.7-1.6	1-3
Rami	87-91	0.5-0.7	5-8

Çizelge 2. 3. Cam lifinin özelliklerinin bazı doğal liflerle karşılaştırması

Özellikler	Cam lifi	Hintkeneviri	Rami	Hindistan cevizi	Pamuk
Yoğunluk (g/cm^3)	2.55	1.46	1.5	1.25	1.51
Gerilme direnci (MPa)	2400	400-800	500	220	400
Çekmede uzama (%)	3	1.8	2	15-25	3-10
Nem absorpsiyonu (%)	-	12	12-17	10	8-25

2.2.2. Tanecik yapılı dolgu maddeleri

Tanecik yapılı dolgu maddeleri anorganik ve organik yapılı olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Tanecik yapılı dolgu maddeleri, çoğu zaman malzemenin sertliğini, adhezyon özelliğini arttırmak, malzemeye korozyon ve aşınma direnci sağlamak amacıyla (Palraj ve ark., 2015) genellikle yalıtım, boya ve kaplama uygulamalarında tercih edilmektedir (Wang ve ark., 2015). Matris içeresinde tanecikli yapılara düşen yük miktarı, lifli yapılarla karşılaştırıldığında çok düşüktür. Bu nedenle tanecik yapılı dolgu maddeleri, malzemenin sertliğini arttırmak dışında dayanımını arttırmada çok etkili değildir.

Son dönemlerde anorganik dolgu maddeleri, malzemenin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerini geliştirmek umuduyla birçok mühendislik uygulaması ve akademik çalışmada polimer matrislerde denenmiştir (Erkan, 2008). Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan başlıca tanecik yapılı dolgu maddeleri; kalsiyum karbonat, kalsiyum silikat (Shokrieh ve ark., 2012), killer (de la Orden ve ark., 2013), metal tozları, metal parçaları (Rout ve Satapathy, 2012) ve tarımsal atıklardır (Zahedi ve ark., 2013).

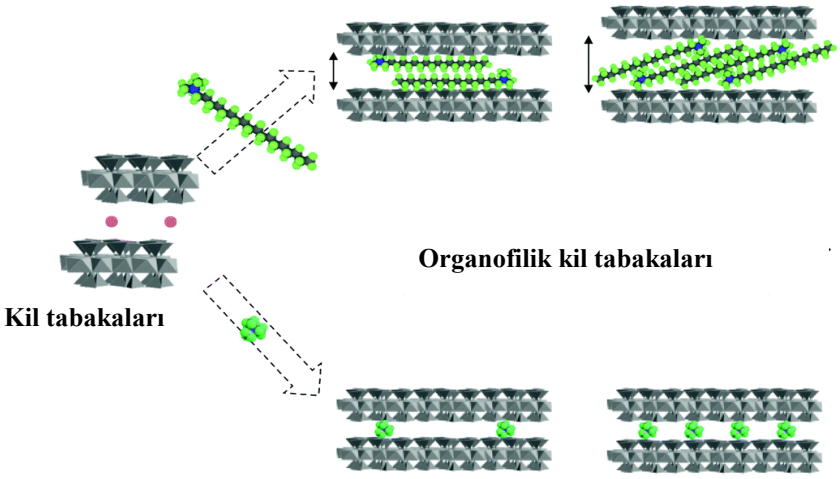
Killer

Killer genellikle alüminyum ve magnezyum silikatlardan meydana gelmektedir (Azeez ve ark., 2013). Tetrahedral ve oktahedral olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır. Tetrahedral tabaka, merkezdeki silisyum atomunun dört oksijen atomuyla çevrilmesi sonucu oluşan düzgün dörtyüzlü yapıdır. Oktahedral tabaka ise merkezde bulunan alüminyum atomunun etrafını altı oksijen atomunun çevirmesiyle oluşmaktadır. Bu tabakaların üst üste gelerek birleşmesiyle killer elde edilmektedir (Kiliaris ve Papaspyrides, 2010).

Killer kimyasal özelliklerine göre kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), montmorillonit ($(Na,Ca)_{0.33}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$) ve illit ($(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}((OH)_2$,(H_2O)) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Azeez ve ark., 2013).

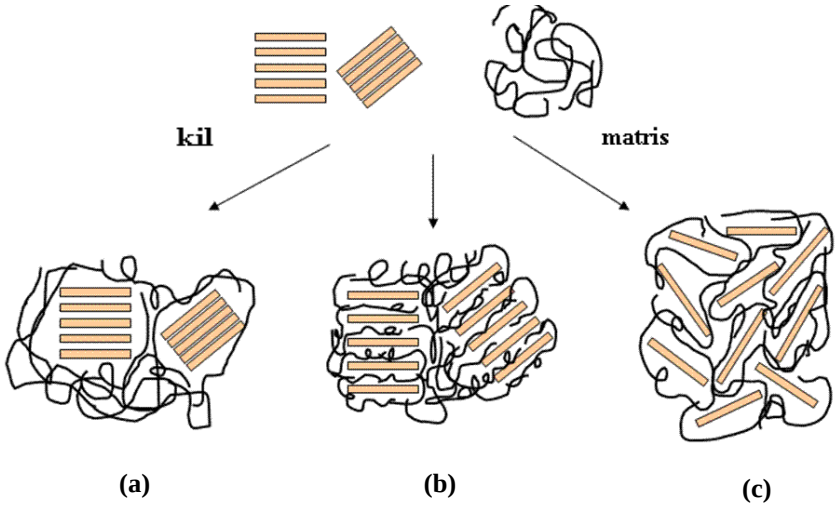
Killerin kıvamı, aktivitesi, plastiklik ve şişme özellikleri, geçirimliliği ve mekanik özellikleri malzemelerde kullanımını etkileyen önemli parametrelerdir. Ayrıca katyon değiştirme kapasitesi (KDK) de killerin polimer matrislerde değerlendirilmesinde dikkat edilen bir diğer parametredir. Killerin tabakaları arasında sodyum ve kalsiyum gibi değişebilen katyonlar bulunmaktadır. Yer değiştirme tepkimesi ile bu katyonlar ortamdaki diğer iyonlarla yer değiştirebilmektedir. Değişen bu miktar, 100 gram örnekte yer değiştirebilen katyonların milieşdeğer miktarı (meq/100 g) olarak tanımlanmaktadır (Toprakezer, 2009).

Çoğu polimer matris hidrofobik yapıya sahipken killer hidrofilik yapıya sahiptir. Bu durum polimer ve kil arasındaki etkileşimi azaltmaktadır. Bu etkileşimi arttırmak amacıyla killer modifikasyon işlemi ile Şekil 2.13'te görüldüğü gibi organofilik hale getirilmektedir (Wang ve Wilkie, 2003). Modifikasyon işlemi alkil-amonyum, alkil fosfonyum gibi tuzlar ile yapılmaktadır (Yeniova ve Yilmazer, 2010). Modifikasyon ile birlikte killerin yüzey enerjisi düşmekte ve tabakalar arası boşluklar açılmaktadır (Abdallah ve Yilmazer, 2011).



Şekil 2. 13. Killerin modifikasyonu

Killerin matris içerisinde dağılımına bağlı olarak üç farklı yapı oluşabilmektedir. Bunlar Şekil 2.14'te de gösterildiği gibi mikrokompozit, aralanmış tabakalı kompozit (intercalated) ve dağılmış (exfoliated) yapıdır (Zheng ve ark., 2006).



Şekil 2. 14. Killerin matris içerisinde dağılımı a) mikrokompozit, b) aralanmış tabakalı ve c) dağılmış

Kil tabakalarının genişlememesi ve matris içerisinde dağılımının düşük olması sonucunda mikrokompozit yapılar oluşmaktadır. Mikrokompozit yapıda matris ve kil arasındaki etkileşim oldukça düşük olduğu için malzemenin özelliklerinde önemli bir gelişme olmamasının yanında malzemenin mevcut özellikleri kötüleşebilmektedir. Aralanmış tabakalı yapıda kil tabakaları arasına matrisin girmesiyle tabakalar arası mesafe artmaktadır; ancak kil tabakalarının kristal düzeni tam olarak bozulmadan kalmaktadır. Kompozit malzemelerde en çok tercih edilen yapı, kil tabakalarının matris içerisinde dağılma derecesinin en yüksek olduğu dağılmış yapıdır (Azeez ve ark., 2013).

Karbon nanotüpler

Karbon nanotüpler, kristal grafitlerden oluşan hekzagonal örgüdeki karbon atomlarının oluşturduğu silindirik yapı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek elastik modül değerine sahip olan karbon nanotüpler mükemmel mekanik özellikler göstermektedir (Paluvai ve ark., 2014). Young modülü değerleri 1-5 TPa arasında değişirken yoğunlukları 1.3 g/cm^3 civarındadır (Zuberi, 2014). Kıvrılabilir ve düzleştirilebilir olmaları esneme anında kırılmadan kalmalarını sağlamaktadır (Çınar, 2012). Yüksek elektriksel ve termal iletkenlik karbon nanotüplerin üstün özellikleri arasındadır (Ulus ve ark., 2014). Malzemenin performansı; karbon nanotüpün geometrisi, miktarı, en/boy oranına bağlı olarak değişmektedir. Ancak malzemenin özelliklerini etkileyen en önemli parametreler; karbon nanotüpün matris içerisindeki dağılımı ve karbon nanotüp ile matris arasındaki ara yüzey etkileşimidir. Etkin bir dağılım için ultrasonikasyon, mekanik karıştırma, yüzey modifikasyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır. Karbon nanotüplerin matris içerisinde dağıtımında en etkili yöntemlerden birisi kimyasal modifikasyon yöntemidir (Hesami ve ark., 2014).

Metal tozları

Polimer matrislerde özellikle elektriksel, manyetik ve termal özellikleri geliştirmek amacıyla Cu, Ag, Au, Al, Sn ve Pb gibi metal tozları tercih edilmektedir (Araujo ve Rosenberg, 1976). Cu tozu ucuz ve bol bulunduğu için malzemeye elektrik iletkenliği kazandırmak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılan bir metal tozudur. Fakat mekanik ve korozyon dayanımının gerekli olduğu uygulamalarda kullanılamamaktadır (Dang ve ark., 2012). Elektriksel iletkenliği iyi olan diğer bir metal tozu Ag'nin pahalı olmasından dolayı kullanım alanı kısıtlıdır. Ağırlık kriterinin önemli olduğu uygulamalarda ise Al metali tercih edilmektedir (Ali, 2011). Ayrıca Al tozu korozyon direnci ve termal kararlılığı yüksek olan bir metal tozudur (Bishay ve ark., 2011).

Anorganik atıklar

Son zamanlarda üretim potansiyelinin artmasıyla birlikte ortaya çıkan atık miktarı da artmaktadır. Birçok endüstriyel işlemin sonunda elde edilen anorganik katı atıklar çeşitli yöntemlerle tekrar kullanılmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi ile öncelikli olarak atık birikimi önlenip, atık depolama sorunu ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca ucuz ve değersiz atıkların kullanımı ile ürün maliyeti azaltılmaktadır.

Tehlikeli elementler içeren uçucu kül, çimento tozu, bakır cürufu ve kırmızı

çamur gibi anorganik atıklar birçok akademik çalışmada araştırılmakta ve çeşitli uygulamalarda değerlendirilmektedir (Biswas ve ark., 2015). Son zamanlarda kompozit malzeme üretiminde de malzemeye farklı özellikler sağlamak amacıyla anorganik atıkların dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar artış göstermiştir.

Uçucu kül, termik santrallerde kömürün yakılmasıyla elde edilen alümina, silika ve demir oksit bileşenlerinden oluşan bir yan üründür (Labella ve ark., 2014). Uçucu külün birçok polimer matris türüne eklenmesiyle malzemenin ağırlığında azalma gözlenmiş ve malzemenin mekanik, termal, aşınma ve çarpma direnci özelliklerine etkileri farklı çalışmalarda incelenmiştir (Shubham ve Tiwari, 2013). Bakır işleme prosesinde 1 ton bakır elde edebilmek için 2.2 ton bakır cürufu açığa çıkmaktadır ve bu da Dünya'da bir yılda yaklaşık 24.6 milyon ton bakır cürufu oluştuğu anlamına gelmektedir. % 35.3 Fe_2O_3, % 36.6 SiO_2, % 10 CaO, % 8.1 Al_2O_3, % 0.37 CuO, % 4.38 MgO, % 0.47 Na_2O, % 3.45 K_2O, % 0.12 PbO, % 0.97 Zn ve % 0.24 Cu bileşiminden oluşan bakır cürufunun partikül boyutu ortalama 80-100 μm'dir. Bakır cürufunun epoksi reçinesine eklenmesiyle malzemenin fiziksel, mekanik ve aşınma direnci özelliklerine etkisi incelenmiştir (Biswas ve Satapathy, 2010). Kırmızı çamur ise Bayer prosesi ile boksitten, alümina üretimi sırasında açığa çıkan endüstriyel bir atıktır (Banjare ve ark., 2014). Kırmızı çamurun kimyasal bileşimi % 20-60 Fe_2O_3, % 10-30 Al_2O_3, % 2-20 SiO_2, % 10 Na_2O_2, % 2-8 CaO ve % 2-8 TiO_2'den oluşmaktadır (Biswas ve ark., 2015). Kırmızı çamur malzemeye termal iletkenlik kazandırmak, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla epoksi reçinelerinde dolgu maddesi olarak kullanılmıştır (Banjare ve ark., 2014).

2.2.2.1. Çelikhane cürufu

Pik demiri, bileşiminde bulunan C, Si, P ve S elementlerinden dolayı sert ve kırılgan bir malzemedir. Pik demirinden, kolay işlenebilen çelik üretimi yapabilmek için sıvı haldeki pik demiri içerisinde bulunan istenmeyen elementlerin oksitleme ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Konvertöre sıcak pik demiri, hurda, kireç, kireç taşı ve dolomit gibi cüruf yapıcı malzemeler eklendikten sonra ortama oksijen beslenerek istenmeyen elementler oksitlenmektedir. Oluşan oksitler cüruf yapıcı malzemelerle birleşerek ergimiş cürufu oluşturmaktadır. Demirin bir kısmı da demir oksite dönüşerek cürufa karışmaktadır. Oluşan cüruf, su ile hızlı bir şekilde soğutulduğunda granül hale geçmektedir (Bilen, 2010).

Çelik üretiminde, ton başına yaklaşık 400 kg cüruf açığa çıkmaktadır ve bunun % 25-37'sini çelikhane cürufu oluşturmaktadır. Çelikhane cürufunun bileşimi çeliğin cinsine ve proses şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 2.4'te çelikhane cürufu bileşenlerinin ortalama yüzde değerleri yaklaşık 70 çalışmadan elde edilen verilere göre düzenlenip verilmiştir (Piatak ve ark., 2015).

Çizelge 2. 4. Çelikhane cürufunun ortalama yüzde bileşimi

Bileşen	Minimum (%)	Maksimum (%)	Ortalama (%)
Al_2O_3	0.02	44.3	7.49
CaO	1.63	70.1	34.9
FeO	1.07	50.9	22.9
K_2O	0.01	3.89	0.24
MgO	0.43	19.9	7.22
MnO	0.20	21.5	4.32
Na_2O	0.02	0.57	0.16
S	0.03	1.06	0.22
SiO_2	0.03	61.1	16.9
TiO_2	0.12	1.98	0.66
LOI	0.20	11.2	3.55

Günümüzde cüruf üretimi ve kullanımı küresel bir ticaret haline gelmiştir. Ulusal Cüruf Birliği (NSA), Avrupa Cüruf Birliği (EUROSLAG) ve Avusturalya Cüruf Birliği (ASA) gibi birçok birlik cüruf kullanımı üzerine odaklanmış durumdadır. 2011 yılında Dünya'da 150-220 Mt çelikhane cürufu üretilmiştir. 2009'da Amerika Birleşik Devletleri'nde 9-13 Mt çelikhane cürufu açığa çıkarken (Piatak ve ark., 2015) 2012'de Çin'de 93 Mt çelikhane cürufu açığa çıkmıştır. Fakat Çin'de açığa çıkan bu cürufun aynı yıl içerisinde sadece % 22'si kullanılmıştır (Zhao ve ark., 2014). Kullanılmayan çelikhane cürufu depolanmakta ve etrafa salınan çeşitli zehirli elementler yer altı sularını, suyu ve toprağı kirletmektedir (Li ve ark., 2011). Bu nedenle çelikhane cürufunun kullanımına yönelik yeni tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çelikhane cürufu sırasıyla çimento üretiminde katkı malzemesi (Li ve ark., 2013), yol yapımında dolgu ve balast malzemesi (Piatak ve ark., 2015), yapı malzemesi (Zhang ve ark., 2015), atık su arıtımında adsorbent olarak (Yu ve ark., 2015), ayrıca tarım toprağını iyileştirmede ve grit üretiminde (Bilen, 2010) kullanılmaktadır.

Tarımsal atıklar

Son yıllarda nüfus artışı ve teknolojinin ilerlemesi ile artan çevresel kaygılar ve küresel ısınma tehdidi, çevre dostu malzemelerin üretimini ön plana çıkarmıştır (Madurwar ve ark., 2013). Bu gereksinim karşısında doğal kaynaklardan elde edilen tarımsal atıkların geri dönüşümüne yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bol miktarda bulunan ve ucuz olan tarımsal atıkların kullanılması ile hem malzeme maliyeti azaltılmakta hem de düşük yoğunluklu malzemeler elde edilmektedir (Abdul Khalil ve ark., 2013).

Tarımsal atıkların dolgu maddesi olarak kullanıldığı kompozit malzemelerin farklı amaçlarla farklı uygulamalarda kullanımı son zamanların dikkat çeken konularından birisi olmuştur. Şekil 2.15'te görülen mısır püskülü, buğday unu, çay atıkları, ceviz kabuğu, sebze atıkları, arpa, pirinç atıkları ve odun talaşı kompozit malzemelerde kullanılan tarımsal atıklardandır (Raju ve ark., 2012).



Şekil 2. 15. Tarımsal atıklar

2.2.2.2. Yer fıstığı kabuğu

Dünya'da yer fıstığı üretiminin % 33'ünü Hindistan, % 26'sını Çin, % 24'ünü Kuzey Amerika ve % 7'sini Güney Amerika oluşturmaktadır. Türkiye'de 2012 yılında ortalama 120,000 ton yer fıstığı üretilmiştir (Anonim, 2013). Yer fıstığının % 35'i oranında kabuk içerdiği bilinmekte ve 2012 yılında yaklaşık 42,000 ton yer fıstığı kabuğu açığa çıkmıştır (Bilir, 2009). Açığa çıkan yer fıstığı kabuğu atığı; adsorpsiyon işlemi ve kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Qaiser ve ark., 2009; Raju ve ark., 2012). Ayrıca hayvan yemi, çimento ve gübre üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Bilir, 2009). Dünya'da ve Türkiye'de önemli bir uygulama potansiyeli olan yer fıstığı kabuğunun değerlendirilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir.

Tarımsal bir atık olan yer fıstığı kabuğunun kimyasal bileşimi (Raju ve ark.,

2012) Çizelge 2.5'te, elementel analizi ise (Qaiser ve ark., 2009) Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2. 5. Yer fıstığı kabuğunun kimyasal bileşimi

Bileşen	Yüzdesi (%)
Selüloz	35.7
Hemi-selüloz	18.7
Lignin	30.2
Kül	5.9

Çizelge 2. 6. Yer fıstığı kabuğunun elementel analizi

Element	Yüzdesi (%)
C	45.5
H	6.7
N	0.9
O	33.9

2.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanı

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte kompozit malzemelerin kullanım alanı her geçen gün genişlemektedir. İleri teknoloji ürünler olan kompozit malzemeler, farklı amaçlarla birçok endüstri dalında kullanılmaktadır. Şekil 2.16'da kompozit malzemelerin yaygın bir şekilde kullanıldığı bazı uygulama alanları gösterilmiştir.

Havacılık ve uzay sanayi

Havacılık ve uzay sanayinde özellikle daha az yakıt kullanarak verimi arttırmak, farklı hava şartları için dayanıklı ve hafif malzeme üretmek amacıyla kompozit malzemeler tercih edilmektedir. Uçak gövde ve kanatlarında, helikopter, uzay aletlerinin farklı parçalarında ve uydu bileşenlerinde karbon, kevlar, cam lifi ve bor karbür içerikli kompozit malzemeler önemli ölçüde kullanılmaktadır (Bora ve ark., 2013).



Şekil 2. 16. Kompozit malzemelerin uygulama alanları

Savunma sanayi

İleri teknolojinin hakim olduğu savunma sanayinde, ekonomi ve hız kriterinin ön planda tutulmasından dolayı kompozit malzemelerin değerlendirilmesi en uygun seçeneklerden biri olmuştur. Savaş uçaklarının gövde panellerinde karbon lifi/epoksi kompozit malzemeleri, yatay ve dikey dengeleyicilerde bor/epoksi kompozit malzemeleri ve hız frenleri, ön gövde ve kontrol yüzeylerinde farklı yapıda kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Cam lifi/epoksi ve kevlar/epoksi kompozit malzemeleri, roket sistemlerinin gövde kısımlarında kullanılmaktadır. Ayrıca kurşun geçirmez yelekler ve zırh levhaları, kompozit malzemelerden üretilmektedir (Choi ve ark., 2015).

Otomotiv sanayi

Otomotiv sanayinde en önemli kriterlerden biri gaz salınımının düşük olduğu araçların üretimidir. Kompozit malzemelerin kullanımı ile daha hafif araçlar üretilerek yakıt tasarrufu sağlanmakta ve gaz salınımı azaltılmaktadır. Araçların tampon, gövde, motor parçaları, gösterge paneli, cam sileceğinde ve lastiklerinde (Pati ve Satapathy, 2015), raylı sistemlerde, iş makinalarında ve otobüslerde kompozit malzemeler öne çıkmaktadır (Bhagat ve ark., 2014).

Enerji sektörü

Yenilenebilir enerji olan rüzgar enerjisine eğilimin artması ile kompozit malzemelerin enerji sektöründeki kullanımı da artmıştır (Sprenger, 2013). 2002 yılı ile kıyaslandığında 2014'te enerji sektöründe kompozit malzeme kullanımı 5 kat artmıştır. Rüzgar türbin kanatlarında, mekanik dayanımı arttırmak ve çevre koşullarına direnç sağlamak amacıyla karbon, kevlar ve cam lifi gibi dolgu maddeleri içeren kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Bulut, 2014).

Denizcilik sektörü

Deniz taşıtları, yelkenler, havuzlar, havuz filtreleri ve su kaydırakları gibi deniz araçlarında kompozit malzemelerin tercih edilme nedenleri; korozyon ve sürtünme direnci sağlamaları, hafif olmaları, esnek yapıda ve ucuz olmalarıdır (Bulut, 2014).

Yapı ve inşaat sektörü

İnşaatlarda çatı ve cephe kaplamalarında, köprülerde, yollarda, soğuk hava depolarında, basketbol potalarında, stadyum koltuklarında, kabin sistemlerinde ve levha gibi yapı malzemelerinde çeşitli kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin hafifliği, depreme olan dayanımı arttırırken yalıtım özelliği enerji maliyetini azaltmaktadır. Ayrıca yapıların farklı çevre koşulları için korozyon dayanımı kompozit malzemelerle geliştirilmektedir (Bulut, 2014).

Elektrik ve elektronik sanayi

Bilgisayar, dijital kamera ve telefon gibi mikroelektronik sistemlerde düşük maliyet ve sistemin çalışma hızının yüksek olması aranan kriterler arasındadır (Muhammad Firdaus ve Mariatti, 2014). Kompozit malzemeler, elektrik ve elektronik sanayinde bu özelliklerin yanında genellikle malzemeye elektriksel yalıtkanlık sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır. Elektrik panoları, aydınlatma, sokak lambaları, beyaz eşya parçaları, doğal gaz panoları kompozit malzemelerin uygulama alanı bulduğu ürünlerdir (Bulut, 2014).

Müzik aletleri ve spor malzemeleri

Yaylı müzik aletlerinde yayların gerilmeden dolayı kolayca deforme olması ürünün kullanımını kısıtlayan faktörlerden biridir. Bu problemi minimize etmek için gitarda grafit/epoksi kompozit malzemesi kullanılırken çelloda karbon lifi/epoksi kompozit malzemesi kullanılmaktadır. Karbon ve cam lifi dolgulu kompozit malzemeler, özellikle hafiflikleri ile hareket kolaylılığı sağlaması ve yüksek dayanımlarından dolayı spor araç ve gereçlerinin üretiminde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Kompozit malzemelerin kullanıldığı spor araç ve gereçleri arasında Şekil 2.17'de de gösterildiği gibi su kayağı, kano küreği, sörf tahtaları, dağ bisikleti, golf sopası ve tenis raketi bulunmaktadır.



Şekil 2. 17. Kompozit malzemelerin kullanıldığı spor araç ve gereçleri

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Jeong ve ark. (2014) çalışmasında tanecikleştirilmiş yüksek fırın cürufu (TYFC) kullanılarak yeni bir koruyucu malzeme tasarlanmıştır. TYFC dolgulu koruyucu malzemenin kullanılabilirliğini incelemek amacıyla TYFC kompozit malzemesi üretilmiş ve elektromanyetik dalga geçirim özellikleri araştırılmıştır. Öncelikle iki girişli eş eksenli kablo sistemiyle saf TYFC'nin elektrik ve manyetik dalga geçirgenliği ölçülmüştür. Daha sonra üretilen TYFC kompozitinin temel elektromanyetik özelliklerini belirlemek için titreşim boşluğu metodu kullanılarak ölçüm yapılmıştır. TYFC'nin epoksi reçinesine eklenmesiyle elektrik geçirgenliği 1.5 kat artmıştır. Bu kompozitin koruyucu malzeme olarak kullanılabilirliğini göstermek amacıyla düzlemsel örnekler üretilmiş ve serbest alan ölçüm metoduyla elektromanyetik dalga geçirgenliği 6-12 GHz frekans aralığında ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında % 30 TYFC içerikli ve 2 mm kalınlıktaki kompozit malzemenin 6-12 GHz frekansı aralığında engelleme seviyesi yaklaşık 1.5 dB olarak bulunmuştur. Ayrıca 5 mm kalınlıklı malzemenin 8.5 GHz frekanstaki engelleme seviyesi 3 dB olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada tasarlanan malzemenin birçok koruyucu uygulamada kullanılabileceği ve endüstriyel atıkların değerlendirilebildiği gösterilmiştir.

Wu ve ark. (2010) çelikhane cürufu ham maddesinden yola çıkarak çok doplu $LiFePO_4$/C kompozitlerini elde etmiştir. Seçici karbotermal yöntemi ile çelikhane cürufundan uygun oranlarda Fe, Mn, V ve Cr ile demir alaşımının geri dönüşümü yapılıp çok doplu $LiFePO_4$/C kompozitlerinin hazırlanmasında Fe ve çoklu dopant kaynağı olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır. XRD ve Rietveld analizi sonuçları çok doplu $LiFePO_4$/C malzemesinin tek olivin-tipi fazda olduğunu ve Mn, V ve Cr atomlarının Fe uçlarına yerleştiğini ve element haritalama görüntüsü Fe, P, Mn ve Cr elementlerinin çok doplu $LiFePO_4$/C partiküllerinde homojen dağıldığını göstermiştir. Ayrıca doplanmış $LiFePO_4$/C malzemesinin elektrokimyasal performansının doplanmamış $LiFePO_4$/C'dan daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Duan ve Su (2014) orijinal ve modifiye edilmiş çelikhane cürufu kullanarak asidik bir çözeltiden Cd(II) giderimini araştırmıştır. Cd(II) adsorpsiyonuna adsorbentin yüzey özelliklerinin etkisini belirlemek amacıyla malzemelerin fiziko-kimyasal özellikleri incelenmiştir. Adsorpsiyon prosesine temas süresi, pH, adsorbent miktarı ve sıcaklık faktörlerinin etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar çelikhane cürufunun adsorpsiyon kapasitesinin modifikasyon işlemi ile arttığını göstermiştir. Cd(II) giderim hızı, 10 g/L

adsorbent kullanılarak pH = 4.0 iken % 99.1 değerine ulaşmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'ta 10.16 mg/g olarak belirlenmiştir. Kinetik verilere göre adsorpsiyon izoterminin Langmiur modeline uyduğu belirlenmiştir.

Yu ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada atık sudan fosfat gideriminde adsorbent olarak modifiye edilmiş çelikhane cürufunu kullanmıştır. Adsorbente baz, tuz ve su ortamında yapılan modifikasyonun ve termal modifikasyonun etkisi incelenmiştir. Sonuçlar uygun modifikasyon işleminin, 1 saat 800 °C'ta yapılan termal aktivasyon olduğunu göstermiştir. Langmuir modeli ile hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi 13.62 mg/g olarak bulunmuştur. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) görüntülerine göre modifiye edilen cüruf yüzeyinde çatlaklar oluşmuştur. Cürufun yüzey alanı ve gözenek hacmi değişmemiştir.

Jha ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada atık sulardaki ötrofikasyonu azaltmak amacıyla çelikhane cürufundan adsorbent malzemeler elde etmiştir. Asit ile modifiye edilmiş çelikhane cürufu, kaolin-çelikhane cürufu ve $Al(OH)_3$-çelikhane cürufu karışımlarının sulu ortamdan NH_4^+ ve PO_4^{3-} iyonlarını adsorplama kapasitesi incelenmiştir. Maksimum PO_4^{3-} ve NH_4^+ adsorpsiyonu sırasıyla 900 °C'ta modifiye edilmiş $Al(OH)_3$-çelikhane cürufu ve 800 °C'ta modifiye edilmiş $Al(OH)_3$-çelikhane cürufu ile elde edilmiştir. 900 °C'ta modifiye edilmiş $Al(OH)_3$-çelikhane cürufu karışımı ile PO_4^{3-} ve NH_4^+ adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla 2.91 ve 0.65 μmol/g dk olarak belirlenmiştir.

Guo ve Shi (2012) çimento bazlı malzemelerde kullanılmak üzere mineral karışımı ve kimyasal aktivatörlerle modifiye edilmiş çelikhane cürufu tozunu incelemiştir. Sadece çelikhane cürufunun bulunduğu çimento hamurunun gerekli olan sabit su miktarı ve sıkıştırma dayanımı önemli ölçüde azalmıştır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve çelikhane cürufu karışımının kullanılmasıyla sıkıştırma dayanımı artmıştır. ''Alçı tipi'' ve ''Sodyum tipi'' kimyasal aktivatörlerle modifiye edilen çelikhane cürufu içeren çimento hamurlarının sıkıştırma dayanımı 28 gün sonra sırasıyla 75.4 ve 76.2 MPa'a ulaşmıştır. XRD sonuçlarının, hidrasyon ürünlerinin $Ca(OH)_2$ ve etrenjit içerdiğini göstermesi; mineral karışımının ve kimyasal aktivatörlerin çelikhane cürufunun hidrasyonu üzerinde pozitif etki yaptığını göstermiştir.

Shen ve ark. (2009) yol tabanı malzemesi olarak çelikhane cürufu-uçucu kül-fosfoalçı katı atık birleşiminden oluşan yeni bir malzeme hazırlamıştır. En yüksek mekanik dayanım, uçucu kül/çelikhane cüruf oranının 1:1 ve fosfoalçı miktarının % 2.5

olduğu malzemede görülmüştür. Bu malzemenin esneme modülü ve yarmada çekme dayanımı sırasıyla 1987 ve 0.82 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin kireç-uçucu kül ve kireç-toprak taban malzemelerinin mekanik değerlerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Chen ve ark. (2003) Portland çimentosunu, epoksi reçinesi ve cürufla modifiye ettikten sonra polimer çimento harcını elde etmiştir. Çimento malzemelerinin mikro yapısı, hidrasyon ve mekanik özellikleri çeşitli analizlerle araştırılmıştır. Modifiye edilmiş çimento daha iyi sıkıştırma ve gerilme dayanımı göstermiştir. XRD ve SEM sonuçları ile modifiye edilmiş çimentonun ana hidrasyon ürünlerinin C-S-H jeli ve mikro kristal yapılı hidratlaştırılmış kalsiyum alüminat olduğu açıklanmıştır. Modifiye edilmiş çimentoda büyük zararlı gözenekler daha az iken zararsız mikro gözeneklerin daha çok olduğu ve Portland çimentoya göre gözenek çapının daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

Ting ve ark. (2011) cürufun eklenmesi ile elde edilen epoksi kompozit malzemelerinin mikrodalga soğurma özelliklerini araştırmıştır. Bu kompozit malzemelerden oluşan mikrodalga soğurucunun dielektrik ve manyetik özelliklerinin etkisi incelenmiştir. 2-18 ve 18-40 GHz mikrodalga frekansı aralığında serbest alan yöntemi ile çeşitli kalınlıktaki kompozit malzemelerin soğurma performansı, elektriksel, manyetik geçirgenlikleri ve yansıma kaybı ölçülerek analiz edilmiştir.

Pati ve Satapathy (2015) Linz-Donawitz cürufu (LDC) dolgulu hibrit kompozitlerinin aşınma direncini incelemek amacıyla yapay sinir ağları (YSA) sistemine dayanan kolay bir hesaplama tekniği kullanmıştır. Bu çalışmada hibrit kompozitler, kısa cam lifi dolgulu epoksi reçinesine ağırlıkça farklı oranlarda (% 0, 7.5, 15 ve 22.5) LDC eklenerek hazırlanmıştır. Taguchi deney tasarımına dayalı bir programa bağlı kalarak kompozit malzemeler üzerinde katı partikül aşındırma denemeleri ASTM G 76 Standardına göre yapılmıştır. Aşınma hızını etkileyen parametreler incelendiğinde, en etkili parametrenin LDC miktarı olduğu görülmüştür. YSA sistemi aracılığıyla çıkarılan kompozit malzeme aşınma özellikleri profili, ölçüm sonucu elde edilen sonuçlarla uyumlu çıkmıştır.

Akindapo ve ark. (2015) epoksi reçinesi ve yer fıstığı kabuğu partikülü kullanarak levha şeklinde çatı malzemesi elde etmiştir. 0.5, 1.0 ve 1.5 mm partikül boyutuna sahip epoksi:yer fıstığı kabuğu oranı ağırlıkça 70:30 olan ‘A’, ‘B’ ve ‘C’ şeklinde adlandırılan çatı malzemeleri hazırlanmıştır. Elde edilen malzemelerin su absorpsiyon hızı, çekme, darbe ve esneme dayanımı araştırılmıştır. En düşük su

absorpsiyon değeri ve en yüksek darbe dayanımı değeri 0.5 mm boyutunda partikül içeren A malzemesinde sırasıyla % 8.3 ve 29.65 kj/m^2 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde 1 mm boyutunda partikül içeren B malzemesinde en yüksek esneme ve çekme dayanımı sırasıyla 2.356 mm ve 8.25 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Sounthari ve ark. (2015) korozyonu önlemek amacıyla ultrasonikasyon yöntemi kullanarak yer fıstığı kabuğu dolgulu poliester kompozit malzemelerini hazırlamıştır. Elde edilen malzemelerin özellikleri FT-IR, TGA ve XRD analizi ile incelenmiştir. Hazırlanan karışımlar çelik yüzeyine kaplandıktan sonra malzemelerin 1 M H_2SO_4 ortamındaki korozyon önleme kapasitesi gravimetrik yöntem, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, potansiyodinamik polarizasyon, atomik absorpsiyon spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan bu malzemelerin asidik ortamda korozyonu önlediği anlaşılmıştır.

Qaiser ve ark. (2009) Pb(II) ve Cr(VI) biyosorpsiyonu için yer fıstığı kabuğu kullanmıştır. Denge anını ve biyosorpsiyon kapasitesini belirlemek amacıyla kesikli biyosorpsiyon deneyleri yapılmıştır. pH, sıcaklık ve başlangıçtaki metal konsantrasyonun biyosorpsiyon üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Pb(II) ve Cr(VI) için elde edilen maksimum biyosorpsiyon kapasitesi sırasıyla 31.54 ± 0.63 ve 30.21 ± 0.74 mg/g olarak bulunmuştur. Optimum pH ise Pb(II) ve Cr(VI) giderimi için sırasıyla 5 ± 0.1 ve 2 ± 0.1'dir. Maksimum Pb(II) giderimi 20 ± 2 °C'ta gözlenirken Cr(VI) gideriminin en yüksek olduğu sıcaklık 40 ± 2 °C'tır. Elde edilen verilerin Langmuir izoterm modeline uygun olduğu görülmüştür.

Oyelaran ve ark. (2015) atık kağıt ve yer fıstığı kabuğundan bağlayıcı içermeyen briket üretmiştir. Elde edilen malzemelerin tutuşma süresi, yanma süresi, kalorisel değeri, yanma hızı, özgül yakıt tüketimi ve yakıt verimi gibi yanma özellikleri incelenmiştir. Briketlerin kalorisel değeri 19.51-19.92 MJ/kg arasında değişirken termal verimi % 13.75-21.64 arasında değişiklik göstermiştir. Ortalama yanma hızının 0.511-1.133 kg/saat ve özgül yakıt tüketiminin 0.087-0.131 J/g olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yanma özellikleri bakımından en iyi olan malzemenin 85:15 oranında atık kağıt:yer fıstığı kabuğu içeren briketin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar evsel ve endüstriyel enerji ihtiyacını karşılamak üzere kullanılan odunların yerine elde edilen briketlerin kullanılabileceğini göstermiştir.

Ishidi ve ark. (2011) sulu alkali çözelti ile modifiye edilmiş yer fıstığı kabuğu/yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) kompozitlerinin alevlenebilirlik ve termal özelliklerini incelemiştir. Modifiye edilmiş yer fıstığı/YYPE kompozitlerinin yanma

ısısı modifiye edilmemiş yer fıstığı içeren kompozitlere göre daha düşük çıkmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) sonuçları, dolgu malzemesinin eklenmesiyle kompozit malzemelerin termal özelliklerinin önemli ölçüde değişmediğini göstermiştir. Modifiye edilmiş dolgu maddesi ve matris arasındaki uyum SEM sonuçları ile desteklenmiştir.

Raju ve Kumarappa (2011) kimyasal modifikasyon işleminden geçirilmiş yer fıstığı kabuğu ile biyo bazlı kompozit malzeme üretmiştir. Kompozit malzemeler; 70:30, 65:35 ve 60:40 hacim oranlarında farklı tanecik boyutuna sahip yer fıstığı kabuğu ve epoksi reçinesi ile hazırlanmıştır. En yüksek gerilme dayanımı, gerilme modülü, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı 60:40 oranına sahip 0.5 mm tanecikli kompozit malzemede elde edilmiştir. Ancak en yüksek eğilme modülü, 60:40 hacim oranlı ve 1 mm tanecik boyutuna sahip dolgu malzemesi içeren kompozit malzemede görülmüştür. Epoksi reçinesinin miktarının artması ile su absorpsiyonu azalmıştır.

Raju ve ark. (2012) farklı oranlarda yer fıstığı kabuğu içeren polimer kompozitler hazırlayarak bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında maksimum eğilme dayanımı (40.57 MPa) % 20 yer fıstığı içeren kompozit malzemede gözlenirken maksimum eğilme modülü (8.204 GPa) % 60 dolgulu malzemede gözlenmiştir. Maksimum gerilme dayanımı (28.09 MPa) ve Young modülü (8204 MPa) % 40 dolgulu kompozit malzemede elde edilmiştir. Darbe dayanımı ise artan dolgu maddesi miktarı ile artmıştır. Ancak % 60 dolgulu malzemenin darbe dayanımında düşüş gözlenmiştir. Kompozit malzemelerin su absorpsiyonu değeri 15 gün içerisinde % 1.51-8.82 arasında değişmiştir.

Pragatheeswaran ve Kumaran (2015) kalsiyum karbonat ve yer fıstığı dolgulu vinil ester kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Artan kalsiyum karbonat hacmi ile gerilme ve eğilme dayanımı artmıştır. Maksimum gerilme ve eğilme dayanımı % 20 yer fıstığı kabuğu ve % 15 kalsiyum karbonat karışımından oluşan dolgu maddesi içeren kompozit malzemede gözlenmiştir.

Kaynak araştırmasından da görüldüğü gibi çevresel sorunların artması ile anorganik ve organik atıkların değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar da artmıştır. Çelikhane cürufu ve yer fıstığı kabuğu daha önce çeşitli çalışmalarda farklı amaçlarla kullanılmıştır. Bu çalışmada çelikhane cürüfu ve yer fıstığı kabuğunun epoksi reçinelerde dolgu maddesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu dolgu maddelerinin elde edilen kompozit malzemelerin fiziko-mekanik ve termal özelliklerine etkisi incelenmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan Kimyasallar

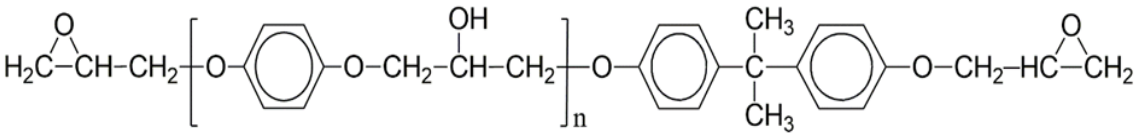
Matris sistemi

Kompozit malzemelerin hazırlanmasında matris sistemi olarak Çizelge 4.1'de özellikleri verilen NPEL 128 (Bisfenol A bazlı) (R1) ve NPEF 164 X (Bisfenol A/Bisfenol F bazlı) (R2) kodlu iki farklı ticari epoksi reçine (ER) kullanıldı.

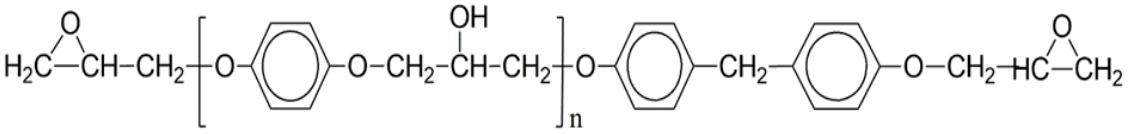
Çizelge 4. 1. Kullanılan epoksi reçinelerinin kimyasal özellikleri

Reçine Tipi	EEW (g/eq)	Viskozite (cps/25 °C)	Yoğunluk (g/cm^3, 25 °C)
NPEL 128	184-190	12000-15000	1.16
NPEF 164 X	185-205	700-1100	1.16

Bisfenol A (BPA) ve Bisfenol F (BPF) tipi iki reçinenin molekül yapıları Şekil 4.1 ve 4.2'de verildi.



Şekil 4. 1. BPA tipi epoksi reçinesinin molekül yapısı



Şekil 4. 2. BPF tipi epoksi reçinesinin molekül yapısı

Dolgu maddesi

Bu çalışmada dolgu maddesi olarak sırasıyla demir-çelik sanayisinin yan ürünü olan anorganik yapılı çelikhane cürufu ve tarımsal bir atık olan organik yapılı yer fıstığı kabuğu (YFK) kullanıldı.

Özgül ağırlığı, yanma anındaki kütle kaybı ve spesifik yüzey alanı sırasıyla 2.79, % 1.64 ve 4180 cm^2/g olan cürufun kimyasal bileşimi Çizelge 4.2'de verildi.

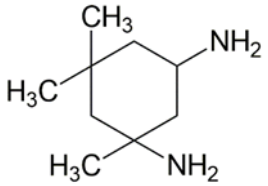
Çizelge 4. 2. Cürufun kimyasal bileşimi

Bileşen	Ağırlık (%)
CaO	34.12
SiO_2	36.41
Al_2O_3	10.39
MgO	10.26
Fe_2O_3	0.69
K_2O	0.97
Na_2O	0.35

Sertleştirici

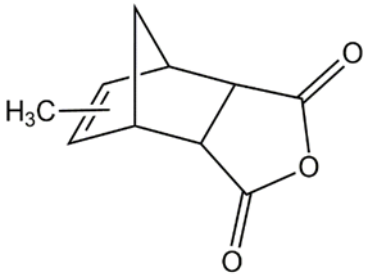
Sertleştirme işlemi için siklo-alifatik ve anhidrit yapılı iki farklı sertleştirici kullanıldı.

Epamine PC17, amin grubu içeren siklo-alifatik yapıda ticari bir sertleştiricidir. 25 °C'taki yoğunluk ve viskozite değerleri sırasıyla 0.97 g/cm^3 ve 20-50 cps olan Epamine PC17'nin molekül yapısı Şekil 4.3'te gösterildi.



Şekil 4. 3. Epamine PC17'nin molekül yapısı

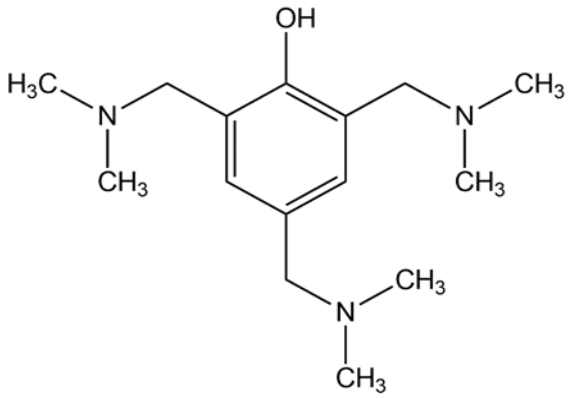
Molekül formülü $C_{10}H_{10}O_3$ olan anhidrit yapılı sertleştiricinin adlandırması metil-5-norbornen-2,3-dikarboksilik anhidrit (MNA) şeklindedir. Şekil 4.4'te molekül yapısı gösterilen anhidrit yapılı sertleştiricinin 25 ºC'ta yoğunluğu ve viskozitesi sırasıyla 1.232 g/cm^3 ve 175-225 cps'dir.



Şekil 4. 4. MNA'nın molekül yapısı

Hızlandırıcı

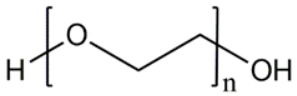
2,4,6-tris(dimetil amino metil) fenol hızlandırıcı olarak kullanıldı. Yoğunluğu 25 ºC'ta 0.969 g/cm^3'tür. Molekül formülü $C_{15}H_{27}N_3O$ olan hızlandırıcının molekül yapısı Şekil 4.5'te gösterildi.



Şekil 4. 5. Hızlandırıcının molekül yapısı

Plastikleştirici

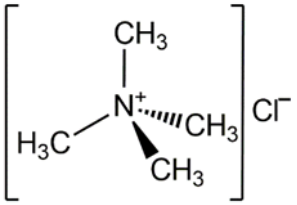
Plastikleştirici olarak $HO(CH_2CH_2O)_nH$ molekül formülüne sahip polietilen glikol (PEG) kullanıldı. Molekül yapısı Şekil 4.6'da gösterilen PEG'in molekül ağırlığı 380-420 g/mol aralığındadır. Yoğunluğu ve viskozitesi sırasıyla 1.3 g/cm^3 (20 ºC) ve 6.9-8.0 cps (99 ºC)'dir.



Şekil 4. 6. PEG'in molekül yapısı

Tetrametilamonyum klorür

Kuaterner amonyum tuzu olan tetrametilamonyum klorür (TMAC), cürufun modifikasyonunda kullanıldı. TMAC'nin molekül ağırlığı ve özgül ağırlığı sırasıyla 109.6 g/mol ve 1.17'dir. Molekül yapısı Şekil 4.7'de gösterilen bu bileşiğin molekül formülü $C_4H_{12}NCl$'dir.



Şekil 4. 7. TMAC'nin molekül yapısı

4.2. Kullanılan Cihazlar

Ultrasonik Banyo

Ultrasonik banyo, dolgu maddelerinin polimer zincirleri ile daha iyi etkileşimini sağlamak amacıyla kullanıldı.

Etüv

Etüv, dolgu maddelerinin neminin giderilmesinde ve kompozit malzemelerin sertleştirme işleminde kullanıldı.

Analitik Terazi

Analitik terazi, kompozit malzemelerin hazırlanmasında ve su absorpsiyonu testi için gerekli hassas tartımların yapılmasında kullanıldı.

Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

Isıtıcılı manyetik karıştırıcı, cürufun modifikasyonunda dolgu maddesi ile TMAC arasında daha iyi etkileşim sağlamak ve kompozit malzeme hazırlama sırasında etkili bir karıştırma yapmak amacıyla kullanıldı.

Termogravimetrik Analiz Cihazı (TGA)

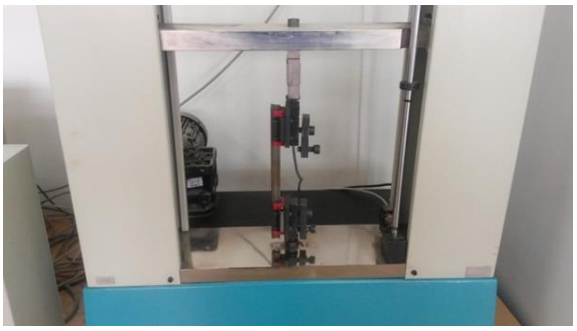
Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan Lab. METTLER STAR SW cihazı, kompozit malzemelerin termal dayanımlarının belirlenmesi için kullanıldı.

X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)

Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan Bruker Advance D8 cihazı ile XRD cihazı, dolgu maddelerinin ve hazırlanan kompozit malzemelerin kırınım desenlerinin elde edilmesi için kullanıldı.

Çekme-Koparma Testi Sistemi

Şekil 4.8'de gösterilen TST MARES/TS-mxe çekme-koparma testi sistemi, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanıldı.



Şekil 4. 8. Çekme-koparma testi sistemi

Sertlik Tayin Cihazı

Shore D TH210 sertlik cihazı, kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin tespit edilmesi için kullanıldı.

Vikat Ölçüm Cihazı

PAKPEN Konya Şubesi'nde bulunan Şekil 4.9'da gösterilen HDT-Vicat Ceast cihazı, kompozit malzemelerin vikat yumuşama sıcaklıklarının belirlenmesi için kullanıldı.



Şekil 4. 9. Vikat ölçüm cihazı

4.3. Kompozit Malzemelerin Hazırlanması

4.3.1. Çelikhane cürufu/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

Cüruf/epoksi kompozit malzemelerinin hazırlanmasında iki farklı reçine kullanıldı. Öncelikle kompozit malzemede hazırlamada kullanılacak olan dolgu maddesinin etüvde nemi uzaklaştırıldı. Daha sonra ER üzerine kompozit malzemenin ağırlıkça % 0, 5, 10, 15 ve 20'si oranında nemi uzaklaştırılmış cürufun eklenmesiyle elde edilen karışımlar manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırıldı. Cüruf ve ER

zincirleri arasındaki etkileşimi arttırmak amacıyla karışımların 30 dakika ultrasonik banyoda bekletilmesinin ardından karışımlara ER'nin ağırlıkça % 25'i oranında Epamine PC17 sertleştiricisi eklendi. Karışımlar tekrar 30 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra birkaç damla hızlandırıcı eklenip ASTM D 638 Standardına göre hazırlanmış olan kalıplara aktarıldı. Karışımlar üzerinde oluşan hava kabarcıklarının tamamen yok olması için bir süre oda sıcaklığında bekletildi. Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan karışımların sertleştirme işlemi için 40 ºC sıcaklıkta 4 saat ve ardından 80 ºC'ta post-kür işlemi için 4 saat daha bekletilmesiyle kompozit malzemeler elde edildi. Çizelge 4.3'te Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin adlandırması ve kullanılan malzemelerin oranları gösterildi. Çizelge ve şekillerde NPEL 128 reçinesi, NPEF 164 X reçinesi, Epamine PC17, MNA, PEG, çelikhane cürufu ve modifiye çelikhane cürufu sırasıyla R1, R2, E, A, P, C ve MC şeklinde kısaltıldı.

Çizelge 4. 3. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	C (%)	C (g)	Epamine PC17 (g)	Toplam (g)
R1C0E	12.0	0	0	4.0	16.0
R1C5E	11.4	5	0.8	3.8	16.0
R1C10E	10.8	10	1.6	3.6	16.0
R1C15E	10.2	15	2.4	3.4	16.0
R1C20E	9.6	20	3.2	3.2	16.0

Çizelge 4.4'te % 30 oranında MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan cüruf/epoksi kompozit malzemelerinin adlandırması ve kullanılan malzemelerin oranları gösterildi. MNA içeren kompozit malzemelerin sertleştirme işlemi, karışımların 60 ºC'ta 12 saat ardından 120 ºC'ta 12 saat post-kür işlemlerine tabi tutulmasıyla tamamlandı.

PEG'in etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada da benzer şekilde hazırlanan her bir karışıma % 5 oranında PEG ilave edildi. PEG ilavesiyle elde edilen Epamine PC17 ve MNA içeren kompozit malzemelerin adlandırması ve kullanılan malzemelerin oranları sırasıyla Çizelge 4.5'te ve Çizelge 4.6'da gösterildi.

Çizelge 4. 4. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	C (%)	C (g)	MNA (g)	Toplam (g)
R1C0A	11.20	0	0	4.80	16.00
R1C5A	10.64	5	0.80	4.56	16.00
R1C10A	10.08	10	1.60	4.32	16.00
R1C15A	9.52	15	2.40	4.08	16.00
R1C20A	8.96	20	3.20	3.84	16.00

Çizelge 4. 5. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	C (%)	C (g)	Epamine PC17 (g)	PEG (g)	Toplam (g)
R1C0PE	11.4	0	0	3.8	0.8	16.0
R1C5PE	10.8	5	0.8	3.6	0.8	16.0
R1C10PE	10.2	10	1.6	3.4	0.8	16.0
R1C15PE	9.6	15	2.4	3.2	0.8	16.0
R1C20PE	9.0	20	3.2	3.0	0.8	16.0

Çizelge 4. 6. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	C (%)	C (g)	MNA (g)	PEG (g)	Toplam (g)
R1C0PA	10.64	0	0	4.56	0.80	16.00
R1C5PA	10.08	5	0.80	4.32	0.80	16.00
R1C10PA	9.52	10	1.60	4.08	0.80	16.00
R1C15PA	8.96	15	2.40	3.84	0.80	16.00
R1C20PA	8.40	20	3.20	3.60	0.80	16.00

4.3.2. Modifiye cüruf/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

Cürufun modifikasyonu için öncelikle bir behere 40 g saf cüruf alınarak üzerine 750 mL su:etanol (hacimce 4:1 oranında) çözeltisi ilavesiyle elde edilen karışım manyetik karıştırıcıda 12 saat boyunca karıştırıldı (Seyidoglu ve Yilmazer, 2013). Daha sonra TMAC ve 20 mL su:etanol çözeltisi ile yeni bir karışım hazırlanarak beherde bulunan cüruf-su:etanol karışımının üzerine eklendi. Elde edilen yeni karışım manyetik karıştırıcı ile iki gün karıştırıldıktan sonra modifiye edilmiş olan cüruf (MC)

dinlenmeye bırakıldı. Çöken kısım süzülerek ayrıldı ve çökelek birkaç kez saf su ile yıkandı. Ortamda Cl^- iyonu kalıp kalmadığını tespit etmek amacıyla 0.1 N $AgNO_3$ çözeltisi kullanıldı. Yıkama işleminin ardından Cl^- iyonları içermediği tespit edilen MC, etüvde 100 ºC'ta kurutulduktan sonra toz haline getirildi. Toz haline getirilen MC 106 mikron elekten geçirildikten sonra MC'den kompozit malzemenin ağırlıkça % 0, 5, 10, 15 ve 20'si oranında alınıp R1 ile karıştırıldı. MC içeren kompozit malzeme hazırlamada da cüruf ile kompozit malzeme hazırlamadaki aynı yöntem kullanıldı. Epamine PC17 kullanılarak Çizelge 4.7'deki gibi adlandırılan kompozit malzemeler elde edildi.

Çizelge 4. 7. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	MC (%)	MC (g)	Epamine PC17 (g)	Toplam (g)
R1MC0E	12.0	0	0	4.0	16.0
R1MC5E	11.4	5	0.8	3.8	16.0
R1MC10E	10.8	10	1.6	3.6	16.0
R1MC15E	10.2	15	2.4	3.4	16.0
R1MC20E	9.6	20	3.2	3.2	16.0

Benzer şekilde yukarıdaki karışımlara PEG ilavesiyle Çizelge 4.8'de belirtilen yeni bir kompozit malzeme serisi hazırlandı.

Çizelge 4. 8. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	MC (%)	MC (g)	Epamine PC17 (g)	PEG (g)	Toplam (g)
R1MC0PE	11.4	0	0	3.8	0.8	16.0
R1MC5PE	10.8	5	0.8	3.6	0.8	16.0
R1MC10PE	10.2	10	1.6	3.4	0.8	16.0
R1MC15PE	9.6	15	2.4	3.2	0.8	16.0
R1MC20PE	9.0	20	3.2	3.0	0.8	16.0

4.3.3. Yer fıstığı kabuğu/epoksi kompozitlerinin hazırlanması

YFK/epoksi kompozitlerinin hazırlanmasında R1, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanıldı. YFK/epoksi kompozitlerinin hazırlanmasında cüruf içeren

kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılan aynı yöntem kullanıldı. Hazırlanan YFK/epoksi kompozit malzemeleri Çizelge 4.9'da belirtildiği gibi adlandırıldı.

Çizelge 4. 9. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	YFK (%)	YFK (g)	Epamine PC17 (g)	Toplam (g)
R1F0E	12.0	0	0	4.0	16.0
R1F5E	11.4	5	0.8	3.8	16.0
R1F10E	10.8	10	1.6	3.6	16.0
R1F15E	10.2	15	2.4	3.4	16.0
R1F20E	9.6	20	3.2	3.2	16.0

Benzer şekilde yukarıdaki karışımlara PEG ilavesiyle Çizelge 4.10'daki gibi adlandırılan YFK/epoksi kompozit malzeme serisi hazırlandı.

Çizelge 4. 10. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin adlandırması

Örnek	R1 (g)	YFK (%)	YFK (g)	Epamine PC17 (g)	PEG (g)	Toplam (g)
R1F0PE	11.4	0	0	3.8	0.8	16.0
R1F5PE	10.8	5	0.8	3.6	0.8	16.0
R1F10PE	10.2	10	1.6	3.4	0.8	16.0
R1F15PE	9.6	15	2.4	3.2	0.8	16.0
R1F20PE	9.0	20	3.2	3.0	0.8	16.0

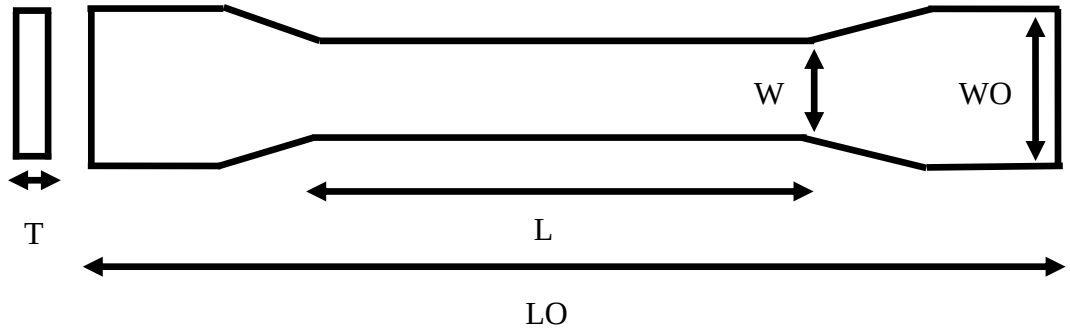
4.4. Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

4.4.1. XRD analizi

Dolgu maddelerinin morfolojisini incelemek ve dolgu maddelerinin ER içerisindeki dağılımı yorumlamak amacıyla XRD analizi yapıldı. Analizlerde 40 kV ve 40 mA gerilim altında 10º-80º (λ=1.54060 Å) arasında 2º/dakika tarama hızıyla ölçüm alındı.

4.4.2. Çekme testi

Çekme testi için kompozit numuneler ASTM D 638 Standardına göre hazırlandı. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi elde edilen numunelerin boyutları Çizelge 4.11'de belirtildi. Çekme testleri, malzemenin alt ve üst kısmına eşit oranda yük uygulanarak 5 mm/dakika hızla yapıldı.



Şekil 4. 10. Kompozit malzemelerin görünümü

Çizelge 4. 11. Kompozit malzemelerin boyutu

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

4.4.3. Sertlik testi

Kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde numunelerin ön ve arka yüzeylerinden 6 adet ölçüm alınarak bu ölçümlerin ortalaması Shore D sertliği olarak kaydedildi.

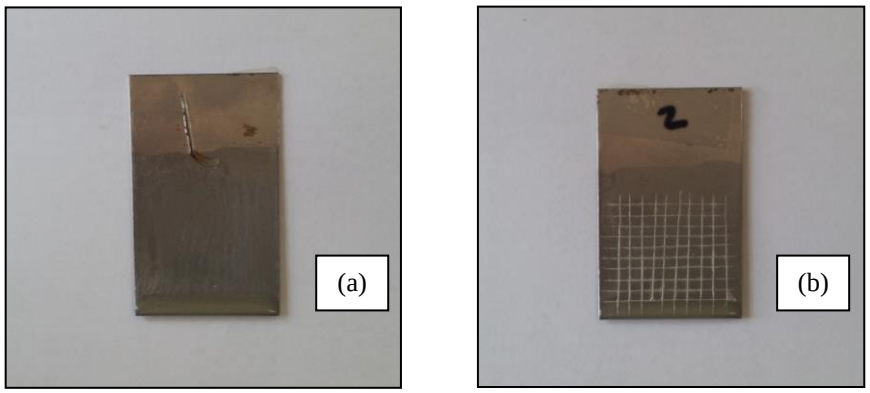
4.4.4. Korozyon direnci testi

Kompozit malzemelerin farklı ortamlardaki korozyon dirençlerini gözlemlemek için % 3 NaCl, % 10 H_2SO_4, % 10 NaOH çözeltileri ve su kullanıldı (Ahmetli ve ark., 2012). Kompozit malzemelerden alınan küçük parçalar bu ortamlarda iki hafta

bekletildi. İki hafta boyunca günlük olarak çözeltilerin renginde ve malzemelerin dış görünüşünde herhangi bir değişiklik olup olmadığı gözlemlendi.

4.4.5. Adhezyon testi

Kompozit malzemelerin adhezyon özelliğinin belirlenmesinde "Lattice notch method" kullanıldı (Ahmetli ve ark., 2011). Bu metoda göre dolgu maddesi/epoksi karışımının adhezyon kapasitesini belirlemek amacıyla çelik bir yüzey kullanıldı. Öncelikle malzeme yüzeyinde herhangi bir pürüzlülük, kir, pas olmaması, yağ tabakalarının giderilmesi ve homojen bir kaplama yapılabilmesi için çelik yüzeyler çok ince bir zımpara ile zımparalandı ve aseton ile temizlendi. Daha sonra karışımlar metal yüzeylere ince film halinde kaplandı. Kompozit malzemelerin hazırlanmasında kullanılan aynı karışımla yüzeyleri kaplanan çelik malzemeler aynı deney şartlarına (sıcaklık, zaman vb.) tabii tutuldu. Sertleştirme işlemi sonucu çelik yüzeyindeki filmler maket bıçağı ile 1 mm x 1 mm boyutunda eş parçalara ayrıldı. Bu parçaların üzerine güçlü bir bant yapıştırılarak hızlı bir şekilde bant geri çekilip kare parçaların yüzeyden ayrılıp ayrılmadığı ve ayrılma yüzdesi tespit edildi. Elde edilen kaplamaların adhezyon testinden önce ve sonraki görüntüsüne bir örnek Şekil 4.11'de gösterildi.



Şekil 4. 11. Kaplamaların (a) adhezyon testi öncesi ve (b) adhezyon testi sonrası görünümü

Testin sonunda kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Eşitlik 4.1 ile hesaplandı.

$$\%\ \text{Adhezyon} = \left[\frac{a-b}{a}\right] x\,100 \qquad (4.1)$$

a: başlangıçta yüzeyde bulunan toplam parça sayısı

b: yüzeyden ayrılan parça sayısı

4.4.6. Su sorpsiyon testi

Kompozit malzemelerin su sorpsiyon özelliklerini incelemek amacıyla malzemelerden alınan küçük parçalar iki hafta boyunca saf su içerisinde bekletildi. Örnekler belirli aralıklarla sudan çıkarılıp filtre kağıdı ile yüzeylerindeki su giderildikten sonra analitik terazide tartıldı (Al-Qadhi ve ark., 2014). Kompozit malzemelerin % su sorpsiyon değerleri Eşitlik 4.2 kullanılarak belirlendi.

$$\%\,\text{Su sorpsiyonu} = \left[\frac{m_1 - m_2}{m_2}\right] x\,100 \qquad (4.2)$$

m_1: malzemenin herhangi bir zamandaki kütlesi

m_2: malzemenin başlangıçtaki kütlesi

4.4.7. TGA analizi

Kompozit malzemelerin termal özelliklerini belirlemek amacıyla örnekler belirli bir sıcaklıkta dengeye getirildikten sonra yüksek saflıkta azot atmosferi altında dakikada 10 ºC ısıtma hızı ile sıcaklık 25 ºC'tan 650 ºC'a çıkarılarak TGA analizi yapıldı.

4.4.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini

Kompozit malzemelerin vikat yumuşama sıcaklığının belirlenmesinde TS EN ISO 306 Standardına dayanan B50 Metodu kullanıldı. Vikat cihazında ısı transfer sıvısı olarak silikon yağı kullanıldı. 50 N yük altında saatte 50 ºC ısıtma hızı ile ölçüm yapıldı.

4.4.9. Soğuk ortama dayanım testi

Kompozit malzemelerin farklı sıcaklık ortamlarındaki davranışlarını belirlemek için ısıya dayanım özelliklerinin yanı sıra soğuk ortam şartlarına dayanım özellikleri de

araştırıldı. TSE K 86 Standardına göre numuneler 24 saat -25 ºC'ta bekletilerek malzemelerin soğuğa dayanım özellikleri belirlendi. Teste göre malzemelerde herhangi bir boyut, şekil değişikliği, kırılma ve çatlamanın olup olmadığı gözlemlendi.

5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Çelikhane Cürufu

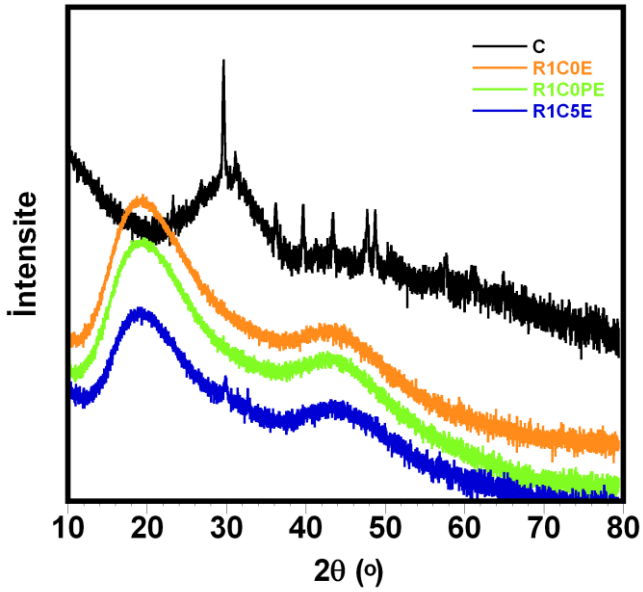
5.1.1. XRD analizi

XRD analizi, dolgu maddelerinin tabakaları arasındaki mesafenin belirlenmesi ve polimer matris içerisindeki dağılımının incelenmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden birisidir. XRD görüntülerine dayanarak elde edilen kompozit malzemenin aralanmış tabakalı ya da dağılmış yapıya mı sahip olduğu değerlendirilebilmektedir. Tabakalar arası mesafenin artmasına bağlı olarak karakteristik piklerin düşük açı değerlerine kayması ile aralanmış tabakalı yapının; piklerin tamamen kaybolmasıyla ise dağılmış yapının elde edildiği belirtilmektedir. Ayrıca piklerin intensite değerlerinin ve şeklinin değişmesi de kompozit malzemenin yapısı hakkında yorum yapabilmek için göz önünde bulundurulan parametreler arasındadır.

Analiz sırasında X-ışınlarının kompozit malzeme içerisindeki her bir dolgu maddesi taneciğini görmeme olasılığı olduğu için kompozit malzemenin yapısını yorumlamada sadece XRD görüntüleri yeterli olmayabilir. Daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla XRD analizinin yanında Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ya da Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) analizi yapılabilir (Dike, 2011).

Şekil 5.1'de saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin XRD diyagramları gösterilmiştir.

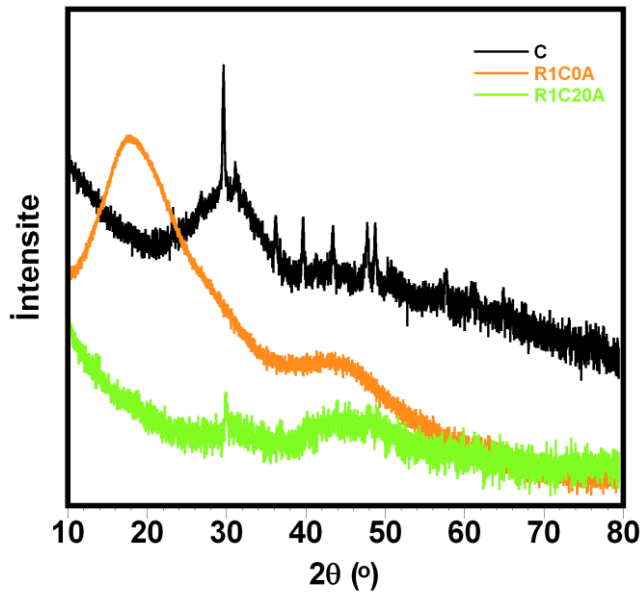
Saf cürufa ait karakteristik pikin $2\theta = 29.6°$ kırınım açısında olduğu görülmüştür. Sadece R1 içeren R1C0E kodlu malzemeye cürufun eklenmesiyle elde edilen R1C5E kodlu kompozit malzemesinde cürufa ait karakteristik pik tamamen kaybolurken, diğer piklerin çok düşük intensite değerlerine indiği gözlenmiştir. Ayrıca R1C0E'de belirgin bir şekilde görülen iki geniş pik cüruf ilavesiyle daha da genişlemiştir. Piklerin genişlemesi tabakalar arası mesafenin arttığı anlamına gelmektedir. R1C5E'de cürufa ait keskin pikin kaybolması ve R1C0E'ye ait piklerin genişlemesi, R1 ve cüruf arasında iyi bir etkileşim olduğunu göstermiştir. R1C0E'ye PEG ilavesi ile elde edilen R1C0PE kodlu kompozit malzemenin R1C0E ile benzer XRD diyagramına sahip olduğu görülmüştür. Bu durumdan PEG moleküllerinin pik şiddetleri üzerinde önemli bir rolünün olmadığı çıkarılmıştır.



Şekil 5. 1. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı

Şekil 5.2'de saf cüruf, R1 ve MNA kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin XRD diyagramları gösterilmiştir.

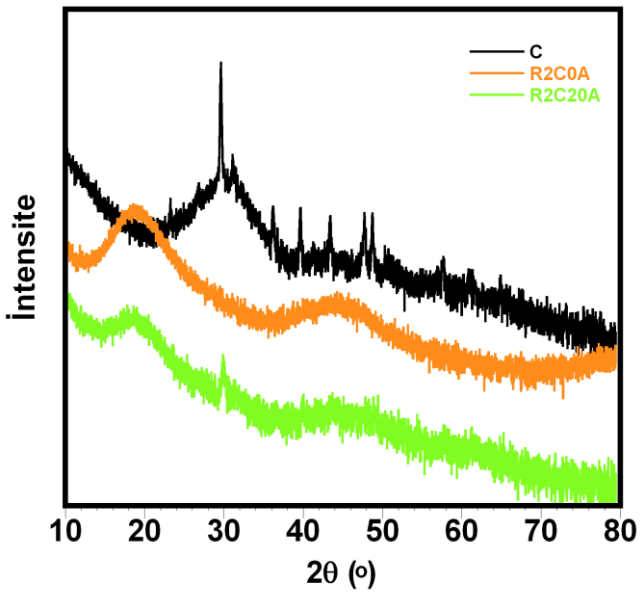
Cürufun R1C0A'ya eklenmesi ile hazırlanan R1C20A kompozit malzemesinin XRD piklerine bakıldığında cürufun keskin piki çok düşük intensite değeri gösterirken, R1C0A'ya ait olan ilk pik tamamen kaybolup ikinci pik büyük ölçüde genişlemiştir. Bu da cürufun R1 içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını göstermiştir. MNA içerikli kompozit malzeme Epamine PC17 içeren kompozit malzeme ile karşılaştırıldığında MNA ile sertleştirilen malzemenin daha iyi tanecik dağılımına sahip olduğu kanısına varılmıştır.



Şekil 5. 2. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı

Şekil 5.3'te saf cüruf, R2 ve MNA sertleşticisi kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin XRD diyagramları gösterilmiştir.

R2C20A'da cürufa ait karakteristik pikin intensite değeri düşerken R2C0A'ya ait pikler genişlemiştir. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 kıyaslandığında R1'den elde edilen kompozitlerin R2 içerenlere göre daha homojen dağılımlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun R2'nin viskozite değerinin R1'den daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. 3. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin XRD diyagramı

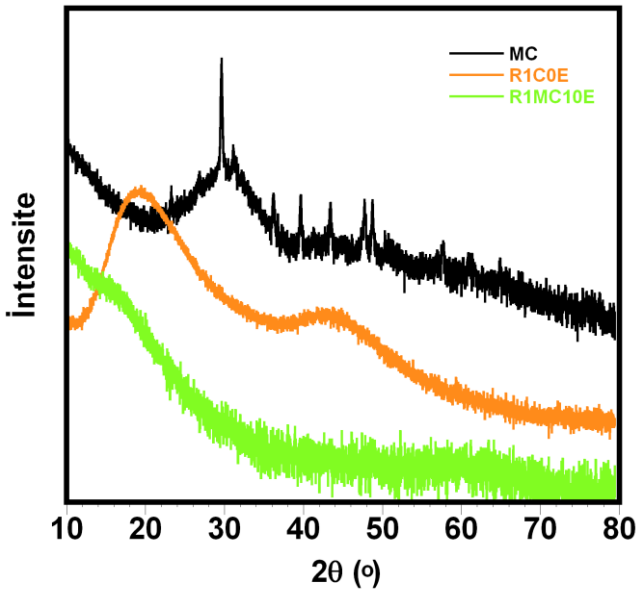
Şekil 5.4'te MC, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin XRD diyagramları gösterilmiştir.

MC ilavesi ile elde edilen R1MC10E kompozit malzemesinde MC'ye ait karakteristik pik ve R1C0E'ye ait geniş iki pik gözlenmemiştir. Dolayısıyla modifikasyon işlemi sonunda dağılmış yapıya sahip kompozit malzeme elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 5.1'deki R1C5E malzemesi ile R1MC10E malzemesi karşılaştırıldığında iki yapı arasındaki fark daha net görülmektedir.

5.1.2. Çekme testi

Birçok mühendislik uygulamasında kompozit malzemelerin kullanımında dikkat edilen en önemli faktörlerden biri malzemelerin mekanik dayanımıdır. Kompozit malzemelerin çekme, sıkıştırma ve vurma dayanımı gibi mekanik özelliklerine

bakılarak hem bu malzemelerin hangi koşullarda kullanılabileceği anlaşılmakta hem de farklı malzemelerle karşılaştırma yapılabilmektedir (Mavani ve ark., 2007).



Şekil 5. 4. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı

Çekme testi, malzemeye uygulanan kuvvet altında malzemede meydana gelen uzamaya bağlı olarak gerilmeye karşı şekil değiştirme grafiğinin elde edilmesiyle yorumlanmaktadır. Çekme testi sonucu malzemenin çekme dayanımı, kopmada uzama, Young modülü, elastiklik sınırı ve akma gerilmesi gibi mekanik özellikleri belirlenmektedir (Demircioğlu, 2006).

Çekme dayanımı (σ): Malzemenin uygulanan kuvvet altında kopmadan dayanabileceği maksimum gerilmedir.

Kopmada uzama (ε): Kopma anında malzemede meydana gelen boyut değişimidir. Malzemenin son uzunluğu ile ilk uzunluğu arasındaki farkın, ilk uzunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır.

Young modülü (E): Malzemenin elastik şekil değişimine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Belirli oranda çekme geriliminin uzama değerine oranı ile elde edilmektedir (Can, 2008).

Saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonucu elde edilen σ, ε ve E değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1'de verilen değerlere göre artan cüruf miktarı ile σ ve ε değeri azalırken, E değeri 103.182 ve 124.167 arasında değişiklik göstermiştir. Cürufun uzama

kabiliyeti R1'den düşük olduğu için artan cüruf miktarı ε değerinde düşüşe neden olmuştur. Azalan ε değeri malzemenin kırılganlığının artması anlamına gelmektedir. σ'nin azalmasının nedeninin kompozit malzeme içerisindeki cüruf miktarının artışı olabileceği düşünülmüştür. Gözle görülmeyen boyutlardaki hava kabarcıklarının oluşma ihtimali cüruf ve R1 arasındaki uyumu azaltacağı için σ değerinin azalmasının bir diğer nedeni olabilir. Ayrıca karıştırma süresi, karıştırma hızı, karıştırma sıcaklığı gibi deney parametrelerinin de kompozit malzemelerin çekme özellikleri üzerinde etkisi söz konusudur.

Çizelge 5. 1. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	σ (MPa)	ε (%)	E
PEGsiz	R1C0E	244.7	2.156	103.182
	R1C5E	235.5	2.130	109.796
	R1C10E	200.8	2.007	117.642
	R1C15E	191.3	1.923	124.167
	R1C20E	182.6	1.814	120.597
PEGli	R1C0PE	266.4	2.738	106.660
	R1C5PE	270.6	2.608	97.083
	R1C10PE	241.1	2.377	117.500
	R1C15PE	231.7	2.092	125.088
	R1C20PE	204.6	1.989	128.125

PEG ilavesi ile elde edilen kompozit malzemelerin σ, ε ve E değerlerinin PEG içermeyen malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. PEG'in plastikleştirici etkisinden dolayı ε değerleri artmıştır. Düşük miktarda PEG moleküllerinin malzemeye karışması, cüruf eklenmesiyle R1 zincirleri arasında oluşan iç gerilimin azalmasını sağladığı için kompozit malzemelerin σ ve E değerlerini arttırmıştır.

Literatürde kompozit malzemelerin mekanik özellikleri konusunda birçok çalışma yer almaktadır. Yasmin ve ark. (2003) kil/ER nanokompozitlerini keskin karıştırma metodu ile üretip bu malzemelerin morfolojik ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ağırlıkça % 10 kil ilavesi malzemenin Young modülünü 3 GPa'dan 5 GPa'a arttırmıştır. Ancak oluşan boşluklardan dolayı çekme dayanımı değeri yaklaşık % 65 oranında bir düşüş göstermiştir. Ho ve ark. (2006) ER'ye ağırlıkça % 0-7 arasında

değişen oranlarda nanokil eklemiştir. Artan dolgu maddesi miktarıyla çekme dayanımı değeri dalgalanmalar göstermesine rağmen % 5 dolgulu malzemenin çekme dayanımında % 5 artış gözlenmiştir. Wang ve ark. (2006) dağılmış yapıya sahip nanokil/ER kompozit malzemelerini hazırlamıştır. Artan dolgu maddesi miktarıyla Young modülü artmıştır. Ayrıca % 2 dolgulu malzemede çekme dayanımı ve kırılma tokluğu sırasıyla % 25 ve % 80 oranında artmıştır. Daha fazla dolgu maddesi eklenmesi durumunda bu değerlerde dalgalanmalar görülmüştür. Çeşitli çalışmalara da bakıldığında dolgu maddesi ve matris türü, dolgu maddesi miktarı ve üretim yöntemi gibi faktörlere bağlı olarak farklı sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir.

Çizelge 5.2'de saf cüruf, R1 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5. 2. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	**σ (MPa)**	**ε (%)**	**E**
PEGsiz	R1C0A	190.2	1.214	100.800
	R1C5A	186.0	1.135	105.000
	R1C10A	174.6	0.997	107.083
	R1C15A	169.2	0.902	115.000
	R1C20A	119.5	0.808	132.917
PEGli	R1C0PA	237.1	1.886	105.217
	R1C5PA	225.7	1.808	109.524
	R1C10PA	207.3	1.715	117.650
	R1C15PA	192.4	1.644	125.000
	R1C20PA	179.1	1.583	129.448

Çizelge 5.2'de verilen değerlere göre Epamine PC17 içeren kompozit malzemelerde olduğu gibi MNA içerikli malzemelerde de cüruf miktarı artışı ile σ ve ε değerleri azalırken E değeri artmıştır. MNA içeren malzemelerin σ ve ε değerlerinin Epamine PC17 içerenlere göre daha düşük olduğu görülmüştür. MNA'nın aromatik yapısından dolayı daha sert malzemelerin elde edildiği ve buna bağlı olarak malzemelerin uzama derecesinin düştüğü düşünülmüştür.

PEG'in etkisiyle R1 zincirlerinin hareketliliği arttığı için kompozit malzemelerin σ, ε ve E değerlerinde PEG içermeyen maddelerin özellikleriyle karşılaştırıldığında kısmi bir artış gözlenmiştir.

MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5. 3. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	σ (MPa)	ε (%)	E
PEGsiz	R1MC0E	244.7	2.156	103.182
	R1MC5E	241.6	2.147	100.569
	R1MC10E	214.2	1.983	120.816
	R1MC15E	220.1	1.786	128.401
	R1MC20E	197.8	1.608	130.727
PEGli	R1MC0PE	266.4	2.738	106.660
	R1MC5PE	269.6	2.542	108.003
	R1MC10PE	251.9	2.611	120.918
	R1MC15PE	244.7	2.315	131.075
	R1MC20PE	229.5	2.147	130.401

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.3'te verilen değerler karşılaştırıldığında MC dolgulu kompozit malzemelerin σ ve E değerleri saf cüruf içeren malzemelere göre artış göstermiştir. R1 ve dolgu maddesi arasındaki ara yüzey etkileşiminin modifikasyon ile kuvvetlenmesi mekanik dayanımın artışını sağlamıştır. MC'nin uzama kabiliyeti R1'den düşük olduğu için artan MC miktarıyla kompozit malzemelerin ε değerleri düşmüştür. MC içeren malzemelerin ε değerinin saf cüruf dolgulu malzemeye göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonuçları Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4'te verilen değerlere göre R1 içeren kompozitlerde olduğu gibi R2 içeren malzemelerde de cüruf miktarının artışıyla σ ve ε değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Ancak kompozit malzemelerin E değerlerinde önemli bir değişiklik

olmamıştır. R1 içeren malzemelere göre R2 içerikli malzemelerin mekanik özelliklerinin biraz daha zayıf olduğu görülmüştür. Bu durumun iki reçinenin viskozite değerleri arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülmüştür. Düşük viskoziteli R2 reçinesine cüruf eklendiğinde taneciklerin matris içerisinde tamamen homojen dağılmamasından dolayı oluşabilecek tanecik yığılmaları, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiş olabilir.

PEG ilavesi ile R2 içeren kompozit malzemelerin ε değerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Kompozit malzemelerin σ değerleri artarken E değerleri hemen hemen sabit kalmıştır.

Çizelge 5. 4. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	**σ (MPa)**	**ε (%)**	**E**
PEGsiz	R2C0E	149.6	1.365	96.818
	R2C5E	144.8	1.243	90.000
	R2C10E	142.0	1.214	89.130
	R2C15E	123.8	1.160	90.156
	R2C20E	100.2	1.095	87.073
PEGli	R2C0PE	199.7	5.641	101.250
	R2C5PE	189.8	5.551	91.818
	R2C10PE	177.6	5.043	90.087
	R2C15PE	168.4	4.800	87.818
	R2C20PE	149.2	4.155	87.191

Saf cüruf, R2 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonucu Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5'te verilen değerlere göre MNA'nın kararlı yapısından dolayı elde edilen kompozit malzemelerin σ ve ε değerlerinin Epamine PC17 içerenlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kompozit malzemelerin E değerlerinde ise dalgalanmalar gözlenmiştir.

Diğer kompozit malzemelere benzer şekilde MNA içeren kompozit malzemelere PEG moleküllerinin ilavesiyle σ ve ε değerleri artmıştır.

Çizelge 5. 5. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	σ (MPa)	ε (%)	E
PEGsiz	R2C0A	130.7	1.216	94.253
	R2C5A	123.4	1.104	92.273
	R2C10A	118.2	1.018	88.667
	R2C15A	103.6	0.924	89.010
	R2C20A	99.8	0.736	88.182
PEGli	R2C0PA	157.5	2.165	99.545
	R2C5PA	144.8	1.799	90.750
	R2C10PA	132.9	1.649	88.957
	R2C15PA	123.0	1.427	87.415
	R2C20PA	117.2	1.295	84.364

5.1.3. Sertlik testi

Polimer malzemeler, sertlik özellikleri nedeniyle bazı uygulamalarda özellikle tercih edilmektedir. Sertlik; malzemenin çizilme, batma ve bozulma gibi faktörlere gösterdiği dirençtir. Polimerler, seramik ve metallere göre daha yumuşak malzemelerdir. Sertlik ölçümü, iğne gibi batıcı bir ucun malzeme yüzeyine batırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Rockwell, Durometre ve Barkol yaygın kullanılan sertlik ölçümleri arasındadır (Callister ve Rethwisch, 2013).

Saf cüruf, R1 ve her iki sertleştiricinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6'da verilen değerlere göre hem Epamine PC17 hem de MNA içeren kompozit malzemelerin artan cüruf miktarı ile sertlik değerleri kısmen artmıştır. Kompozit malzemelerinin ε değerleri azalırken sertlik değerlerinin artışı beklenen bir durumdur. Malzemeye cüruf eklenmesi R1 zincirleri arasındaki hareketliliği azalttığı için sertlik değerleri artış göstermiştir. MNA içeren malzemelerin Epamine PC17 içeren malzemelere göre daha sert olduğu belirlenmiş olup bunun da anhidrit yapılı sertleştiricinin yapısında bulunan aromatik gruplardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Kompozit malzeme içerisine PEG moleküllerinin ilavesi malzemeye esneklik

sağladığından dolayı her iki sertleştirici ile hazırlanan kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde düşüş görülmüştür. Dolayısıyla kompozit malzemelerin kırılganlığı kısmi ölçüde azalmıştır.

Çizelge 5. 6. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri

	Örnek	Sertlik (Shore D)	Örnek	Sertlik (Shore D)
PEGsiz	R1C0E	81.0	R1C0A	82.3
	R1C5E	83.1	R1C5A	83.0
	R1C10E	84.0	R1C10A	83.3
	R1C15E	84.3	R1C15A	85.6
	R1C20E	85.6	R1C20A	86.8
PEGli	R1C0PE	81.0	R1C0PA	82.0
	R1C5PE	82.6	R1C5PA	82.9
	R1C10PE	83.3	R1C10PA	83.4
	R1C15PE	84.3	R1C15PA	85.0
	R1C20PE	84.5	R1C20PA	85.1

MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5. 7. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri

	Örnek	Sertlik (Shore D)		Örnek	Sertlik (Shore D)
PEGsiz	R1MC0E	82.0	PEGli	R1MC0PE	81.4
	R1MC5E	83.0		R1MC5PE	82.9
	R1MC10E	84.4		R1MC10PE	84.0
	R1MC15E	85.7		R1MC15PE	85.0
	R1MC20E	87.1		R1MC20PE	85.3

Çizelge 5.7'de verilen değerlere göre cürufun modifikasyonu ile cüruf ile R1 arasındaki yüzey etkileşimi artmış dolayısıyla kompozit malzemelerin sertlik değerleri

artış göstermiştir. En yüksek sertlik değeri R1MC20E malzemesinde 87.1 Shore D olarak ölçülmüştür.

PEG ilavesiyle kompozit malzemelerin sertlik değerleri önemsenmeyecek ölçüde azalmıştır.

Saf cüruf, R2 ve her iki sertleştiricinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5. 8. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin sertlik değerleri

	Örnek	Sertlik (Shore D)	Örnek	Sertlik (Shore D)
PEGsiz	R2C0E	81.0	R2C0A	82.6
	R2C5E	81.5	R2C5A	83.0
	R2C10E	81.5	R2C10A	84.0
	R2C15E	82.6	R2C15A	86.0
	R2C20E	82.8	R2C20A	87.3
PEGli	R2C0PE	79.5	R2C0PA	80.0
	R2C5PE	80.0	R2C5PA	82.3
	R2C10PE	80.3	R2C10PA	82.6
	R2C15PE	82.3	R2C15PA	83.2
	R2C20PE	83.0	R2C20PA	85.5

Çizelge 5.8'de verilen değerlere göre R2 içeren kompozit malzemelerin sertlik değerleri R1 içeren malzemelere benzer şekilde artan cüruf miktarı ile artmıştır. Epamine PC17 ile sertleştirilen malzemelerin sertlik değerinin MNA ile sertleştirilen malzemelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak R1 içeren malzemelerin sertlik değerlerinin R2 içeren malzemelerinkinden genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür.

PEG ilavesi kompozit malzemelerin sertliğini kısmi ölçüde azaltmıştır.

5.1.4. Korozyon direnci testi

Günlük hayatta farklı alanlarda kullanılan malzemeler bazen bulundukları ortam şartlarından olumsuz etkilenebilmektedir. Malzemelerin çoğu birçok farklı ortamla

etkileşime maruz kalarak korozyona uğramaktadır. Bu etkileşimler genellikle malzemenin mekanik özelliklerinde, fiziksel özelliklerinde veya görünümünde bozulmalara yol açarak malzemenin kullanım ömrünü kısaltmaktadır.

Başlıca korozif ortamlar; atmosfer, sulu çözeltiler, toprak, asitler, bazlar, anorganik çözücüler, ergimiş tuzlar ve sıvı metallerdir. Malzemelerde görülen en büyük kayıplar genellikle atmosferik korozyon sonucu oluşmaktadır. Sanayi bölgelerinin yoğun olduğu alanlarda baca gazlarından dolayı asit yağmurları meydana gelmekte ve bu asit yağmurları korozyona neden olmaktadır. Benzer şekilde eksoz emisyonları ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan düşük konsantrasyondaki sülfürik asit çözeltileri malzemeler üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Ayrıca sulu ortamların da korozif etkilere sahip olduğu bilinmektedir. Örnek olarak deniz suyu korozif olup ağırlıkça yaklaşık % 3.5 tuz, bazı mineral ve organik maddeleri içermektedir.

Polimer malzemelerin korozyonu diğer malzemelerinkinden farklılık göstermektedir. Birçok metalin korozyonu elektrokimyasal iken polimerlerin bozunması hem kimyasal hem de fiziksel olayları içeren fizikokimyasal bir reaksiyondur. Polimer matrisli malzemeler şişme ve çözülme ile bozulabilir ya da ısı enerjisi, kimyasal reaksiyonlar ve radyasyon etkileri sonucu kovalent bağın kopması ile malzemelerin mekanik özelliklerinde değişme meydana gelebilir (Callister ve Rethwisch, 2013).

Saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.9'da verilmiştir. Yüksek korozyon direnci, orta korozyon direnci ve zayıf korozyon direnci sırasıyla ++, +- ve -- şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.9'da da görüldüğü gibi elde edilen kompozit malzemelerin farklı korozif ortamlara karşı dayanıklı olduğu gözlenmiştir. R1 içeren kompozit malzemelerin asit, alkali, tuzlu su ve su ortamında R1'de var olan korozyon direncine, malzemeye ilave edilen dolgu maddesi ve PEG'in olumsuz bir etkisi olmamıştır. Kompozit malzemelerde herhangi bir şişme, çatlama ve parçalanma gözlenmemiştir. Ayrıca çözeltilerin ve malzemelerin renginde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

Saf cüruf, R1 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10'da da görüldüğü gibi Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılan kompozit malzemelerde olduğu gibi MNA sertleştiricisi kullanılan malzemelerin de korozyon direncinde dolgu maddesi ve PEG ilavesi ile herhangi bir değişim olmamıştır. R1'in var olan korozyon direnci korunmuştur.

Çizelge 5. 9. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R1C0E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C5E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C10E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C15E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C20E	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R1C0PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C5PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C10PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C15PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C20PE	+ +	+ +	+ +	+ +

Çizelge 5. 10. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R1C0A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C5A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C10A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C15A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C20A	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R1C0PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C5PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C10PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C15PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1C20PA	+ +	+ +	+ +	+ +

MC, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5. 11. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R1MC0E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC5E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC10E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC15E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC20E	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R1MC0PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC5PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC10PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC15PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1MC20PE	+ +	+ +	+ +	+ +

Polimer malzemeler korozif ortamlara maruz kaldığında bozunma olayı genellikle şişme ve çözünme şeklinde görülmektedir. Çözelti, malzeme tarafından emilip yayılmakta ve küçük moleküller halinde malzeme içerisindeki boşluklara yerleşmektedir. Dolayısıyla malzeme genişlemek ve parçalanmak zorunda kalmaktadır. Ayrıca polimer molekülleri arasındaki bağ zayıflamaktadır. Bunun sonucunda malzeme daha yumuşak ve sünek bir hale gelmektedir. Çizelge 5.11'den de görüldüğü gibi MC içeren kompozit malzemelerde herhangi bir şişme veya parçalanma gözlenmemiştir.

Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12'den de görüldüğü gibi R2 içeren kompozit malzemelerin de korozyon direncinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Cüruf miktarının artışı ve PEG ilavesi malzemelerin korozyon direncini olumsuz yönde etkilememiştir.

Saf cüruf, R2 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13'ten de görüldüğü gibi R2 içeren kompozit malzemelerde Epamine PC17 yerine MNA'nın kullanılması, malzemelerin korozyon direncinde herhangi bir değişikliğe neden olmamıştır.

İlgili çizelgelerden de görüldüğü gibi ER'ye ilave edilen saf ve modifiye dolgu maddesinin, PEG'in ve sertleştiricilerin kompozit malzemelerin korozyon direncinde

herhangi bir olumsuz etkisi olmamıştır.

Çizelge 5. 12. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R2C0E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C5E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C10E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C15E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C20E	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R2C0PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C5PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C10PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C15PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C20PE	+ +	+ +	+ +	+ +

Çizelge 5. 13. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R2C0A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C5A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C10A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C15A	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C20A	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R2C0PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C5PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C10PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C15PA	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2C20PA	+ +	+ +	+ +	+ +

5.1.5. Adhezyon testi

Birçok uygulamada özellikle kaplama sektöründe, polimer kompozitlerin yüzeye yapışma özellikleri önemli rol oynamaktadır (Ahmetli ve ark., 2012). Bu kaplamalar genellikle malzemenin korozyon direncini artırmak, malzemenin görünümünü iyileştirmek ya da malzemeye elektriksel yalıtım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Polimer kompozitler ince film olarak da geniş bir kullanım alanına sahiptir. Düşük yoğunluk, yüksek esneklik, yüksek çekme ve kopma dayanımı, nem ve kimyasallara karşı dirençli olması, su buharı ve gaz geçirgenliklerinin düşük olması ince filmlerde aranan özellikler arasındadır (Callister ve Rethwisch, 2013).

Saf cüruf, R1 ve her iki sertleştiricinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5. 14. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri

	Örnek	**Adhezyon (%)**	**Örnek**	**Adhezyon (%)**
PEGsiz	R1C0E	100	R1C0A	100
	R1C5E	100	R1C5A	100
	R1C10E	95	R1C10A	100
	R1C15E	93	R1C15A	98
	R1C20E	92	R1C20A	97
PEGli	R1C0PE	100	R1C0PA	100
	R1C5PE	98	R1C5PA	100
	R1C10PE	95	R1C10PA	100
	R1C15PE	93	R1C15PA	96
	R1C20PE	91	R1C20PA	95

Çizelge 5.14'te verilen değerlere göre hem Epamine PC17 hem de MNA içeren kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri artan cüruf miktarı ile azalma göstermiştir. R1 zincirleri arasındaki çapraz bağlanma yoğunluğunun cüruf ilavesi ile azalma ve kaplama sırasında hazırlanan karışımın yüzeye homojen dağılmama ihtimali bu durumun nedeni olabilir. Epamine PC17 kullanılan kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerinin MNA kullanılanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür.

PEG ilavesi de dolgu maddesi ilavesinde olduğu gibi kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerinde ihmal edilebilecek bir oranda düşüşe neden olmuştur. Artan cüruf miktarı ve PEG ilavesi, kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerini kısmi ölçüde azaltmasına rağmen en düşük % adhezyon değeri R1C20PE malzemesinde % 91 olarak belirlenmiştir. % adhezyon değerlerinin % 90'nın üzerinde olması olumlu bir sonuç olarak değerlendirilmiştir.

MC, R1ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5. 15. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri

	Örnek	Adhezyon (%)		Örnek	Adhezyon (%)
PEGsiz	R1MC0E	100	PEGli	R1MC0PE	100
	R1MC5E	100		R1MC5PE	100
	R1MC10E	100		R1MC10PE	100
	R1MC15E	98		R1MC15PE	96
	R1MC20E	97		R1MC20PE	95

Çizelge 5.15'te verilen değerlere göre R1 zincirleri ve MC arasında cürufa göre daha iyi etkileşim olduğundan dolayı kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri hemen hemen korunmuştur. Cüruf miktarı ağırlıkça % 15 ve 20'ye ulaştığında % adhezyon değerleri önemsiz miktarda azalmıştır. Modifiye edilmemiş olan kompozit malzemelerle karşılaştırma yapıldığında modifikasyon işleminin olumlu etkisi görülmüştür. R1C20E'nin % adhezyon değeri % 92 iken modifikasyon ile elde edilen R1MC20E'nin % adhezyon değeri % 97'ye arttırılmıştır.

Benzer şekilde PEG moleküllerinin eklenmesi % adhezyon değerlerini olumsuz ölçüde etkilememiştir. PEG ilavesi ile elde edilen en düşük % adhezyon değeri R1MC20PE malzemesi için % 95 olarak hesaplanmıştır.

Saf cüruf, R2 ve her iki sertleştiricinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16'da verilen değerlere göre artan cüruf miktarıyla kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri her iki sertleştirici için de ihmal edilebilecek ölçüde

azalmıştır. R2 içeren kompozit malzemelerle R1 içeren malzemelerin % adhezyon değerlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

Diğer malzemelerde olduğu gibi malzemeye PEG ilavesinin R2 içeren kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerine olumsuz etkisi görülmemiştir.

Çizelge 5. 16. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin % adhezyon değerleri

	Örnek	**Adhezyon (%)**	**Örnek**	**Adhezyon (%)**
PEGsiz	R2C0E	100	R2C0A	100
	R2C5E	100	R2C5A	100
	R2C10E	99	R2C10A	100
	R2C15E	97	R2C15A	99
	R2C20E	96	R2C20A	97
PEGli	R2C0PE	100	R2C0PA	100
	R2C5PE	99	R2C5PA	99
	R2C10PE	96	R2C10PA	98
	R2C15PE	95	R2C15PA	96
	R2C20PE	95	R2C20PA	95

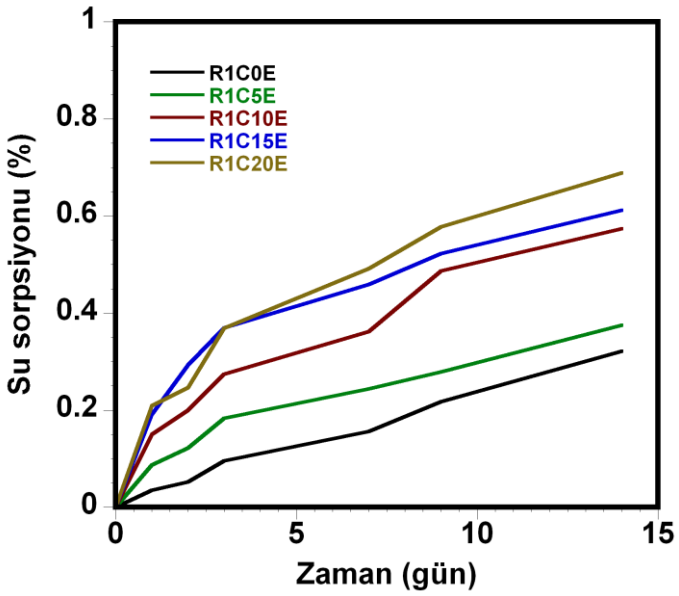
5.1.6. Su sorpsiyon testi

Su günlük hayatta diğer malzemelerde olduğu gibi polimerik malzemelerin de en çok temas ettiği sıvılar arasındadır. Göl, ırmak kıyılarında, yağmurun ve nemin bol olduğu yerlerde malzemeler sürekli su ile temas halindedir. Dolayısıyla polimerlerin suyla temasının nasıl bir etki tepki oluşturacağı önemlidir. Polimerik malzemelerde su sorpsiyonu belli bir değerin üzerinde olduğu zaman malzemeler üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Eğer malzemelerde gözeneklilik yada hava kabarcığı gibi boşluklar varsa bunlar su sorpsiyonuna neden olmaktadır. Gece ve gündüz arasında sıcaklık farkının yüksek olduğu yerlerde, ani sıcaklık değişiminin olduğu nemli bölgelerde gözenek ya da bünyeye alınan nem zamanla donma noktasına yaklaşmakta ve su hacminin artması ile birlikte malzemede fiziksel değişikliklere neden olmaktadır.

Günlük hayatta yoğun bir şekilde kullanılan polistiren % 0.1, poliester % 0.2, naylon 6 ve naylon 66 % 1.5 su sorpsiyon değerine sahip iken polipropilen ve polietilen % 0.0 su sorpsiyon kapasitesine sahiptir (Saçak, 2005).

Kompozit malzemelerin su emilimi; dolgu maddesi ve matris tipi, dolgu maddesi miktarı, moleküllerin çapraz bağlanma derecesi ve polaritesine bağlı olarak malzemelerin mekanik ve kimyasal özelliklerini zayıflatabilmektedir (Deveci, 2013). Malzeme tarafından emilen su, etkili bir plastikleştirici gibi davranarak malzemenin çekme dayanımı, sertlik ve T_g gibi özelliklerini olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir (Al-Qadhi ve ark., 2014).

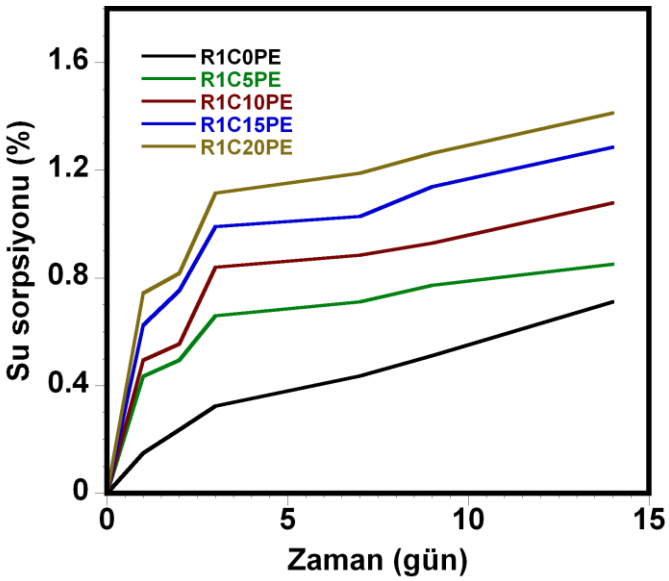
Saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5. 5. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.5'te kompozit malzemelerin su sorpsiyon (%) değerlerinin zamana bağlı değişimi görülmektedir. Malzemelerin su sorpsiyon değeri artan cüruf miktarı ile yaklaşık % 0.7'ye kadar artmıştır. Su sorpsiyon değerindeki artışın, malzemelerdeki gözle görülmeyen hava kabarcıkların neden olabileceği düşünülmüştür.

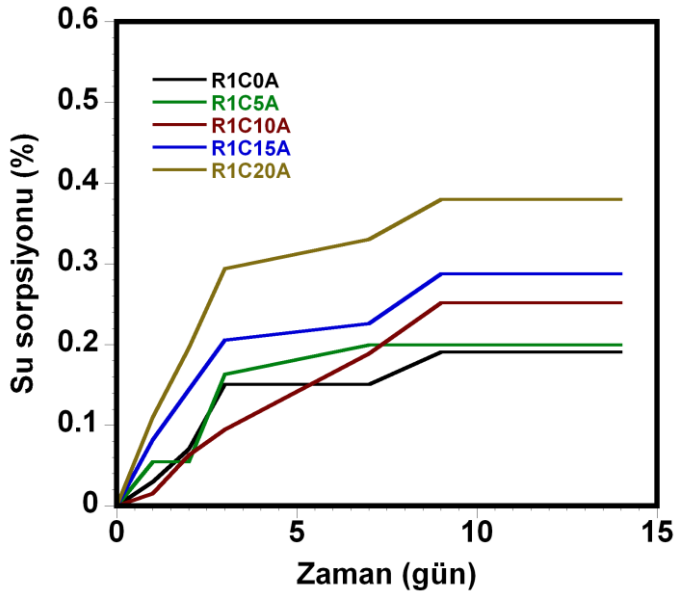
Saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5. 6. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.6'dan da görüldüğü gibi PEG ilavesi kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. PEG'in yapısında bulunan hidrofilik hidroksil grupları suda bulunan hidrojen ile birleşme eğilimindedir. Bu nedenle kompozit malzemelerin su emilimi PEG ilavesi ile artış göstermiştir. R1C5E ve R1C5PE malzemelerinin su sorpsiyon değerleri karşılaştırıldığında su sorpsiyonunun PEG ilavesi ile yaklaşık % 0.4'ten % 0.8'e çıktığı görülmüştür.

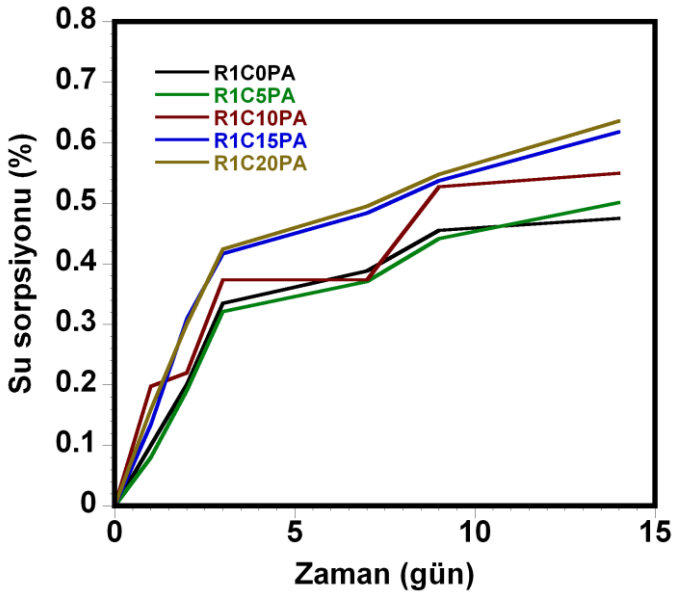
Saf cüruf, R1 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5. 7. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi MNA içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri, 9. günün sonunda doygunluk sınırına ulaşarak sabit kalmıştır. Kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri, artan cüruf miktarı ile % 0.2-0.4 arasında değişmiştir. Epamine PC17 içeren malzemelere göre MNA içerikli kompozit malzemelerin daha çabuk doygunluk sınırına ulaştığı ve su sorpsiyon değerlerinin çok daha düşük olduğu gözlenmiştir. MNA'nın kararlı aromatik yapısından dolayı malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin daha düşük olduğu düşünülmüştür.

Saf cüruf, R1 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.8'de verilmiştir.



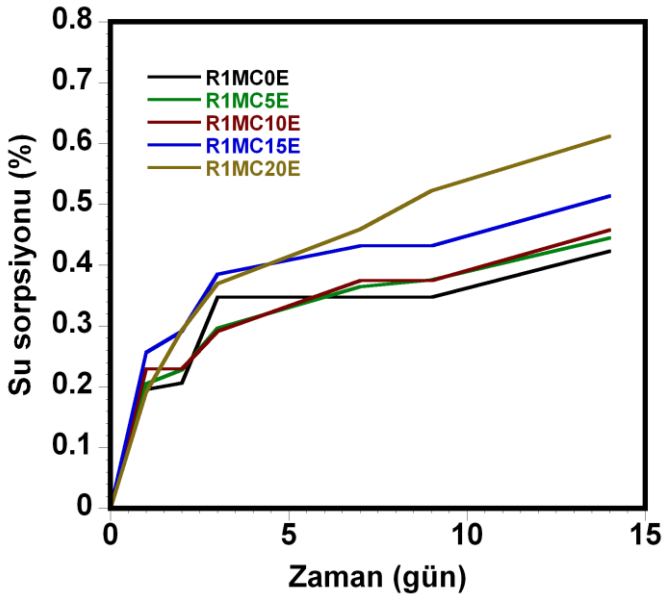
Şekil 5. 8. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.8'den de görüldüğü gibi kompozit malzemelere PEG eklenmesi, su sorpsiyon değerlerini arttırmasına rağmen su sorpsiyonunu % 0.5-0.7 arasında değiştirmiştir. Epamine PC17 içeren malzemelere göre daha düşük su sorpsiyon değerleri elde edilmiştir.

MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.9'da verilmiştir.

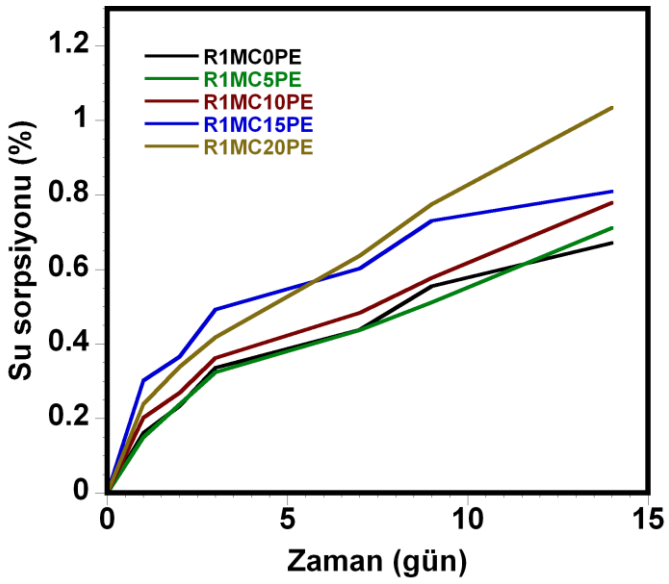
Şekil 5.9'dan da görüldüğü gibi MC kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri yaklaşık olarak % 0.4-0.6 arasında değişiklik göstermiştir. Elde edilen sonuçlar cüruf kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 içerikli kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri ile karşılaştırıldığında modifikasyon işleminin etkisi görülmüştür. R1C20E ve R1MC20E malzemelerinin su sorpsiyon

değerleri sırasıyla % 0.70 ve % 0.60 civarında hesaplanmıştır. Modifikasyon ile dolgu maddesi ve R1 arasında daha kuvvetli bir etkileşim elde edildiği için malzeme içerisinde suyun ilerlemesi bir dereceye kadar engellenebilmiştir. Dolayısıyla dolgu maddesinin modifikasyonu kompozit malzemelerin su emilimini azaltmıştır.



Şekil 5. 9. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

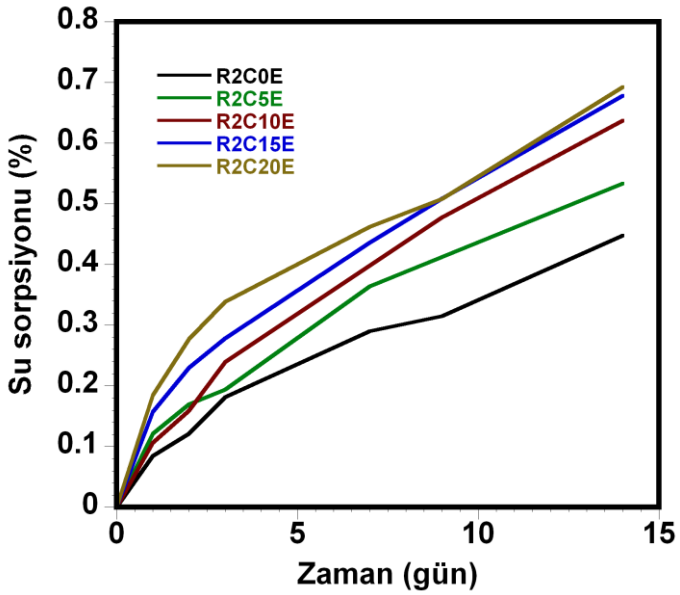
MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5. 10. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.10'dan da görüldüğü gibi PEG ilavesi ile R1 zincirlerinin hareketliliği artmakta ve dolgu maddesi ile arasındaki etkileşim azalmaktadır. Cüruf kullanılarak hazırlanan PEG içerikli kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri % 0.6-1.5 arasında değişirken MC içeren malzemelerinki % 0.7-1.1 arasında değişmiştir.

Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.11'de verilmiştir.



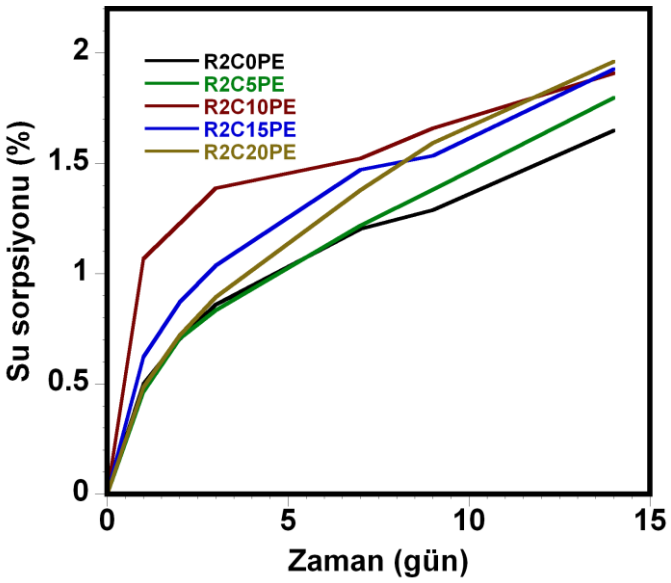
Şekil 5. 11. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.11'den de görüldüğü gibi R1 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon davranışlarına benzer şekilde R2 ile hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon değeri artmıştır. R1 içeren malzemelerin su sorpsiyon değeri artan cüruf ile % 0.3'ten % 0.7 civarına çıkarken R2 içerikli malzemelerin su sorpsiyon değeri yakaşık % 0.45'ten % 0.7'ye artış göstermiştir.

Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.12'de verilmiştir.

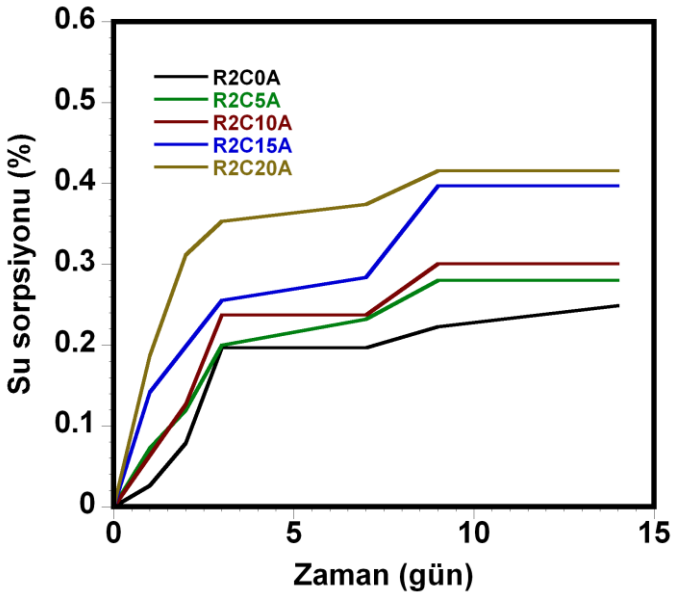
Diğer malzemelerde olduğu gibi PEG ilavesi R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan malzemelerin de su emilimini büyük ölçüde arttırmıştır. Şekil 5.12'den de görüldüğü gibi cüruf içeren kompozit malzemelere PEG eklendiğinde su sorpsiyon değerleri % 1.9 civarına ulaşmıştır. R1 içeren kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında R2 içeren malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. R1C5PE'nin su sorpsiyon değeri % 0.8 iken R2C5PE'nin su

sorpsiyon değeri % 1.7 olarak belirlenmiştir. R2 içeren kompozit malzemelerde PEG'in etkisi daha net görülmüştür.



Şekil 5. 12. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Saf cüruf, R2 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.13'te verilmiştir.

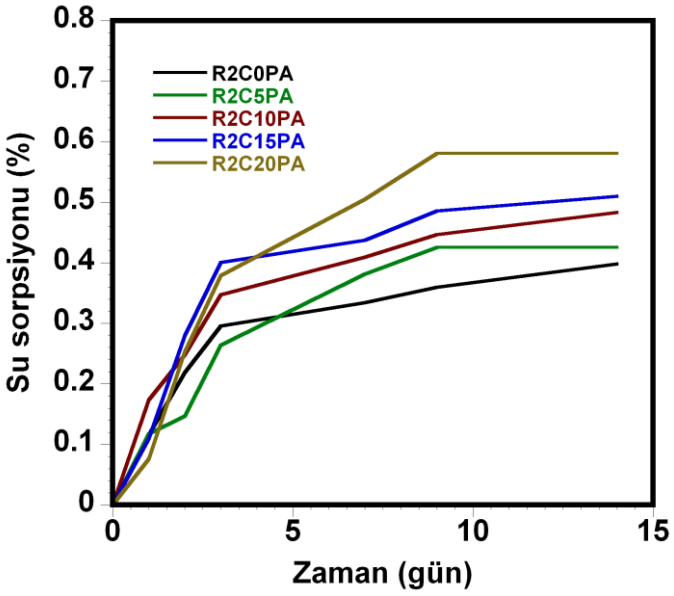


Şekil 5. 13. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.13'ten de görüldüğü gibi R2 kullanılarak hazırlanan MNA içerikli kompozit malzemeler 9. günde doygunluk sınırına ulaşmıştır. R2 içerikli malzemelerde

MNA'nın kararlı yapısından dolayı kompozit malzemelerin su sorpsiyonu, Epamine PC17 içerenlere göre oldukça düşük çıkmıştır. R1 kullanılan malzemelerle karşılaştırıldığında hemen hemen yakın değerler elde edilmiştir.

Saf cüruf, R2 ve MNA sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5. 14. PEG ilaveli MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.14'ten de görüldüğü gibi R2 içerikli kompozit malzemeye PEG moleküllerinin eklenmesi su sorpsiyon değerlerini kısmi ölçüde arttırmıştır. R2C20A ve R2C20PA'nın su sorpsiyon değeri sırasıyla % 0.4 ve % 0.6 olarak belirlenmiştir. Epamine PC17 içeren malzemelere kıyasla MNA içeren kompozit malzemeler, PEG'in su sorpsiyonu üzerindeki etkisini az da olsa azaltmıştır. R1 ve R2 kullanılan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyonu değerleri sırasıyla % 0.5-0.7 ve % 0.4-0.6 arasında değişiklik göstermiştir.

5.1.7. TGA analizi

Termogravimetri, malzemelerin termal kararlılığının belirlenmesi konusunda önemli bir metod haline gelmiştir. TGA yöntemi ile artan sıcaklık ve zamana karşı malzemenin ağırlığında meydana gelen değişim kantitatif olarak belirlenmektedir. Ağırlıkta meyadana gelen değişim sıcaklıkla bozunma, oksidasyon ve dehidrasyon sonucu malzemedeki fiziksel ya da kimyasal bağların kopması veya oluşumundan

kaynaklanmaktadır. Bu sırada açığa çıkan uçucu bileşenler malzemenin ağırlığının azalmasına neden olmaktadır.

Saf cüruf, % 10 MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin termal özellikleri Çizelge 5.17'de verilmiştir. Kompozit malzemelerin ilk bozunmaya başladığı sıcaklık (İBS), % 5, 10 ve 50 ağırlık kaybının görüldüğü sıcaklık (T_5, T_{10} ve T_{50}) ve 600 °C'ta bozunmadan kalan çar yüzdesi değerleri belirtilmiştir.

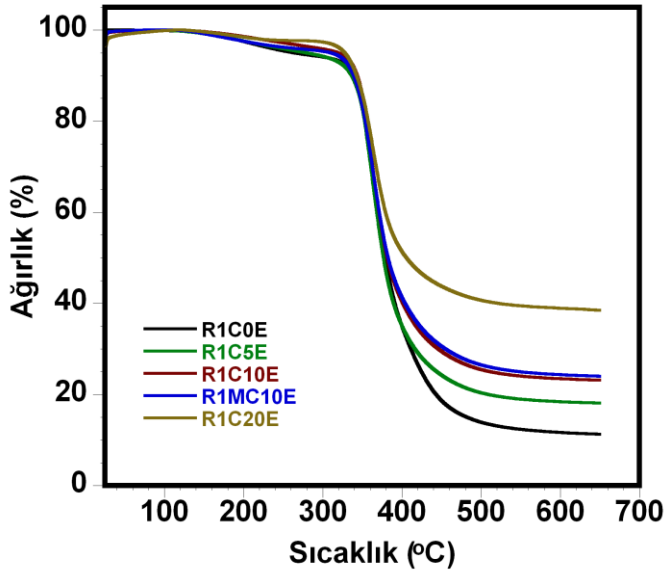
Çizelge 5. 17. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin termal özellikleri

	Örnek	**İBS (°C)**	**T_5 (°C)**	**T_{10} (°C)**	**T_{50} (°C)**	**Çar (%)**
PEGsiz	R1C0E	159	250	334	377	11.66
	R1C5E	141	264	339	379	18.41
	R1C10E	157	310	339	382	23.46
	R1C20E	178	328	343	406	38.95
	R1MC10E	184	319	343	382	24.34
PEGli	R1C0PE	120	251	332	376	11.45
	R1C5PE	144	260	333	376	15.72
	R1C10PE	157	261	333	378	19.50
	R1C20PE	145	279	336	384	30.47

Çizelge 5.17'den de görüldüğü gibi artan cüruf miktarı ile R1 içeren kompozit malzemelerin bozunma sıcaklığı ve çar yüzdesi değerlerinde genel olarak bir artış görülmüştür. R1'e cüruf eklenmesi ile T_{50} değeri 377'den 406 °C civarına çıkmıştır. Kompozit malzemelerin bozunma sıcaklığı değerlerindeki artış cürufun anorganik yapısından kaynaklanmıştır. Cürufun termal kararlılığı R1'den daha iyi olduğu için cüruf ilavesi, malzemelerin termal özelliklerinde iyileşme sağlamıştır. Modifikasyon işleminin malzemelerin termal özelliklerini olumlu yönde etkilediği açıkça gösterilmiştir. R1C10E'nin İBS değeri 157 °C iken R1MC10E'nin İBS değeri 184 °C olarak bulunmuştur. Ayrıca artan cüruf miktarı ile çar yüzdesi % 11.66'dan % 38.95'e artış göstermiştir. R1'e cüruf ve MC eklenmesi malzemelerin termal davranışları üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Yüksek sıcaklıklarda malzeme yüzeyinde oluşan çar hem malzeme ve alev arasındaki kütle ve ısı transferini azaltmakta hem de yanabilen

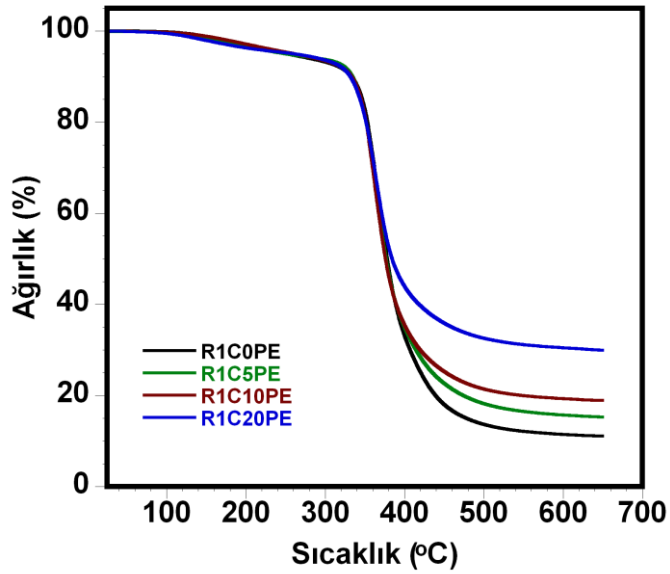
gazların emisyonunu önlemektedir.

Saf cüruf, % 10 MC, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin TGA grafiği Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5. 15. Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği

Saf cüruf, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin TGA grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5. 16. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'dan da görüldüğü gibi kompozit malzemeye PEG ilavesi ile R1 zincirleri arasındaki mesafe arttığından dolayı malzemelerin bozunma

sıcaklığı değerlerinde azalma gözlenmiştir. R1C20E ve R1C20PE malzemelerinin İBS değerleri karşılaştırıldığında 178 °C'tan 145 °C'a yaklaşık % 18'lik bir düşüş olduğu görülmüştür. Düşük miktarda cüruf içeren kompozit malzemelerin çar yüzdeleri PEG ilavesi ile önemli ölçüde değişmezken yüksek miktarda cüruf içeren kompozit malzemelerde PEG ilavesi ile çar yüzdelerindeki değişim daha net gözlenmiştir.

Saf cüruf, R1 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin termal özellikleri Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5. 18. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin termal özellikleri

	Örnek	**İBS (°C)**	**T_5 (°C)**	**T_{10} (°C)**	**T_{50} (°C)**	**Çar (%)**
PEGsiz	R1C0A	210	276	321	416	17.62
	R1C5A	231	288	325	420	17.78
	R1C10A	223	297	330	420	20.43
	R1C20A	219	300	325	426	31.76

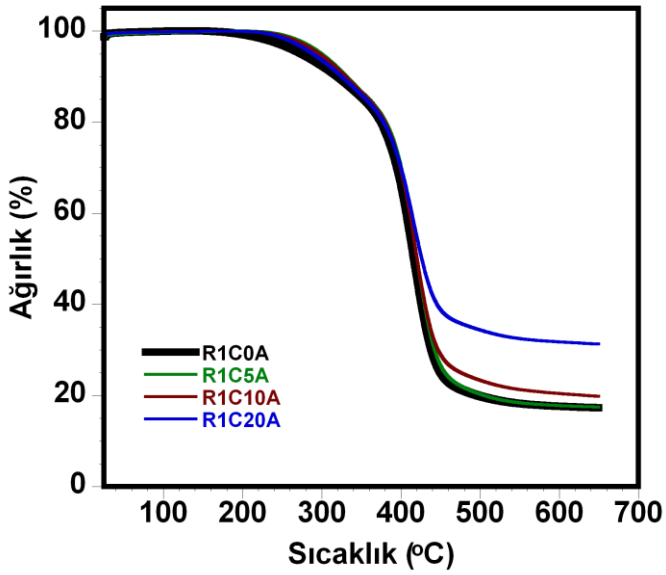
Çizelge 5.18'den de görüldüğü gibi MNA içeren kompozit malzemelerde de artan cüruf miktarı ile bozunma sıcaklığı değerlerinde kısmi bir artış gözlenmiştir. Malzemelerin çar yüzdesi % 17.62-31.76 arasında değişiklik göstermiştir. Epamine PC17 içeren kompozit malzemelerle kıyaslandığında MNA içeren malzemelerin bozunma sıcaklığı değerleri daha yüksektir. MNA, R1 zincirleri arasında kuvvetli bir çapraz bağ oluşumu sağladığı için malzemelerin bozunma sıcaklığı değerlerinin 200 °C'ın üzerinde olduğu görülmüştür.

Saf cüruf, R1 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin TGA grafiği Şekil 5.17'de verilmiştir.

Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin termal özellikleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.19'dan da görüldüğü gibi R2 içeren kompozit malzemelerin İBS değerlerinde dalgalanmalar gözlenmesine rağmen cüruf miktarının artışı ile T_5, T_{10}, T_{50} değerleri ve çar yüzdesinde genel olarak bir artış elde edilmiştir. R1 içeren kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında R2 içeren malzemelerin bozunma sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmüştür.

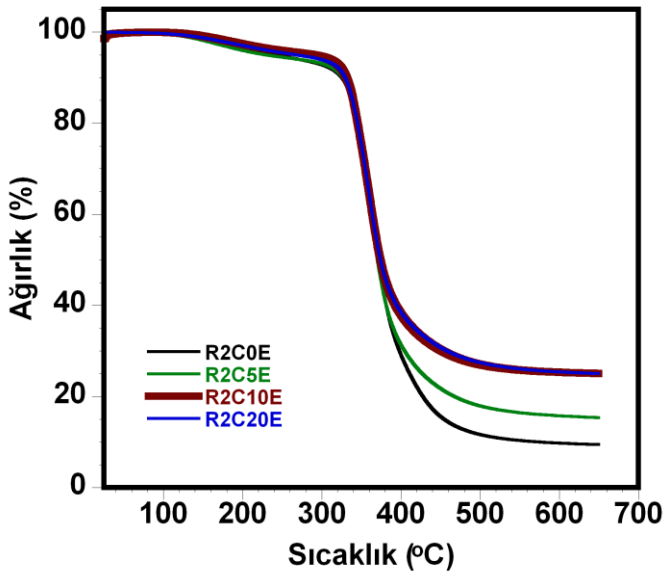
Saf cüruf, R2 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin TGA grafiği Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5. 17. MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin TGA grafiği

Çizelge 5. 19. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin termal özellikleri

	Örnek	İBS (°C)	T_5 (°C)	T_{10} (°C)	T_{50} (°C)	Çar (%)
PEGsiz	R2C0E	110	242	325	370	9.76
	R2C5E	106	251	327	370	15.76
	R2C10E	121	260	331	374	25.31
	R2C20E	117	267	329	375	25.39



Şekil 5. 18. Epamine PC17 içeren cüruf/R2 kompozitlerinin TGA grafiği

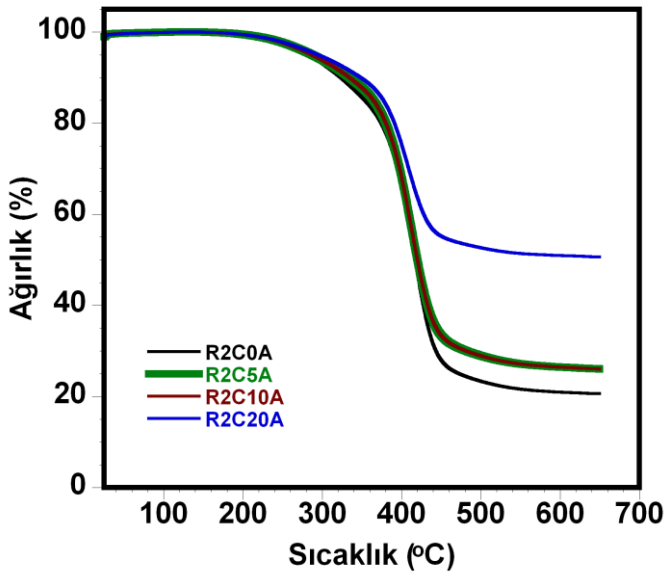
Saf cüruf, R2 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin termal özellikleri Çizelge 5.20'de verilmiştir.

Çizelge 5. 20. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin termal özellikleri

	Örnek	İBS (°C)	T_5 (°C)	T_{10} (°C)	T_{50} (°C)	Çar (%)
PEGsiz	R2C0A	191	282	323	417	20.95
	R2C5A	194	287	335	420	26.46
	R2C10A	191	287	334	420	26.44
	R2C20A	194	295	348	650	50.95

Çizelge 5.20'den de görüldüğü gibi R1 içerikli malzemelere benzer şekilde R2 kullanılarak hazırlanan MNA içerikli kompozit malzelerin bozunma sıcaklıklarının Epamine PC17 içerelere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Epamine PC17 içeren malzemelerin İBS değerleri 106-121 °C arasında değişirken MNA içerenlerinki 191-194 °C arasında değişiklik göstermiştir.

Saf cüruf, R2 ve MNA kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin TGA grafiği Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5. 19. MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin TGA grafiği

5.1.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini

Vikat yumuşama sıcaklığı (VYS); üzerinde belirli bir ağırlık bulunan düz uçlu bir iğnenin sabit bir sıcaklık artışı altında malzemenin yüzeyinden 1 mm kadar içeri girdiği andaki sıcaklık olarak tanımlanmaktadır (Yu ve ark., 2014).

Malzemelerin VYS değerleri, malzemelerin hangi sıcaklıklarda kullanılabileceği hakkında ön bilgi vermekte ve malzemelerin termal özelliklerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

Saf cüruf, R1 ve her iki sertleşticinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin VYS değerleri Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5. 21. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R1 kompozitlerinin VYS değerleri

	Örnek	**VYS (°C)**	**Örnek**	**VYS (°C)**
PEGsiz	R1C0E	85.2	R1C0A	100.1
	R1C5E	86.0	R1C5A	101.6
	R1C10E	86.1	R1C10A	104.6
	R1C15E	87.2	R1C15A	106.8
	R1C20E	88.1	R1C20A	109.7
PEGli	R1C0PE	64.7	R1C0PA	72.0
	R1C5PE	67.0	R1C5PA	80.4
	R1C10PE	67.1	R1C10PA	85.9
	R1C15PE	68.1	R1C15PA	88.4
	R1C20PE	70.8	R1C20PA	94.2

Çizelge 5.21'de verilen değerlere göre R1 kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 ve MNA içerikli kompozit malzemelerin VYS değerleri artan cüruf miktarı ile kısmen artmıştır. Ancak MNA'nın yapısından dolayı MNA içeren malzemelerin Epamine PC17 içerikli malzemelere göre daha yüksek VYS değerine sahip olduğu görülmüştür. MNA ve Epamine PC17 içeren kompozit malzemelerin VYS değerleri arasında yaklaşık 15-20 °C bir sıcaklık farkı olduğu belirlenmiştir.

PEG ilavesi kompozit malzemelerin VYS değerlerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. R1C20E'nin VYS değeri PEG ilavesi ile 88.1 °C'tan 70.8 °C'a, R1C20A

malzemesinin VYS değeri ise 109.7 °C'tan 94.2 °C'a düşmüştür.

MC, R1 ve Epamine PC17 kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin VYS değerleri Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5. 22. Epamine PC17 içeren MC/R1 kompozitlerinin VYS değerleri

	Örnek	VYS (°C)		Örnek	VYS (°C)
PEGsiz	R1MC0E	85.2	PEGli	R1MC0PE	64.7
	R1MC5E	86.7		R1MC5PE	66.5
	R1MC10E	86.3		R1MC10PE	67.0
	R1MC15E	87.2		R1MC15PE	68.9
	R1MC20E	89.0		R1MC20PE	73.0

Çizelge 5.22'de verilen değerlere göre artan MC miktarı ile R1 içerikli kompozit malzemelerin VYS değerleri kısmen artış göstermiştir. MC içeren kompozit malzemeler cüruf içeren malzemelerle karşılaştırıldığında malzemelerin VYS değerleri arasında önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir. Modifikasyon işleminin düşük sıcaklıklarda malzemelerin termal özelliklerinin geliştirilmesine net bir katkısı olmamıştır.

Diğer kompozit malzemelerde olduğu gibi PEG ilavesi MC içeren kompozit malzemelerin VYS değerlerini azaltmıştır.

Saf cüruf, R2 ve her iki sertleştiricinin kullanılması ile hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin VYS değerleri Çizelge 5.23'te verilmiştir.

Çizelge 5.23'te verilen değerlere göre R2 kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 ve MNA içeren kompozit malzemelerin VYS değerleri, artan cüruf miktarı ile kısmi ölçüde artmıştır. R1 içeren kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında R2 içeren malzemelerin VYS değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. R1C20E ve R2C20E malzemelerinin VYS değerleri sırasıyla 88.1 ve 54.9 °C olarak bulunmuştur. MNA içeren kompozit malzemelere bakıldığında R1C20A ve R2C20A kompozit malzemelerinin VYS değerleri de sırasıyla 109.7 ve 83.3 °C olarak elde edilmiştir.

PEG moleküllerinin de ER matris sistemine dahil olmasıyla kompozit malzemelerin VYS değerleri azalmıştır.

Çizelge 5. 23. Epamine PC17 ve MNA içeren cüruf/R2 kompozitlerinin VYS değerleri

	Örnek	VYS (°C)	Örnek	VYS (°C)
PEGsiz	R2C0E	50.0	R2C0A	75.0
	R2C5E	53.9	R2C5A	81.2
	R2C10E	54.6	R2C10A	82.4
	R2C15E	54.0	R2C15A	82.5
	R2C20E	54.9	R2C20A	83.3
PEGli	R2C0PE	41.2	R2C0PA	56.6
	R2C5PE	42.1	R2C5PA	61.2
	R2C10PE	43.0	R2C10PA	62.1
	R2C15PE	42.1	R2C15PA	64.2
	R2C20PE	42.9	R2C20PA	64.7

5.1.9. Soğuk ortama dayanım testi

Bilindiği üzere malzemeler farklı coğrafi bölgelerde ve farklı iklim şartlarında kullanılmaktadır. Malzemeler sadece yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren ortamlarda değil negatif sıcaklık değerlerinin olduğu bölgelerde de kullanılmaktadır. Dolayısıyla malzemelerin sadece ısıya dayanım özellikleri değil soğuğa dayanım özellikleri de kompozit malzemelerin kullanım alanını belirleyen en önemli faktörler arasındadır.

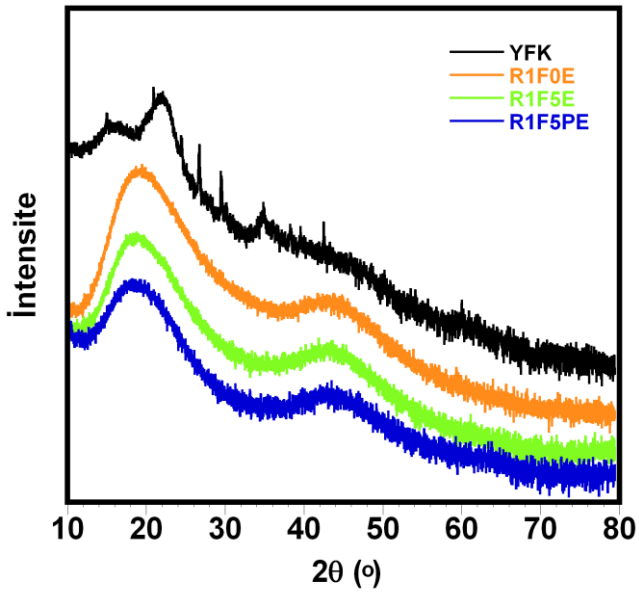
Farklı bileşimlerde hazırlanan kompozit malzemeler -25 °C'ta bir gün bekletildikten sonra malzemelerdeki fiziksel değişiklikler gözlenmiştir. 24 saat sonra kompozit malzemelerde herhangi bir çatlama, kırılma ya da renk değişimi olmadığı belirlenmiştir.

Kompozit malzemelerde reçine türünün değiştirilmesi, dolgu maddesi miktarı ve modifikasyonu, sertleştirici değişimi ve PEG eklenmesi kompozit malzemelerin soğuğa dayanım direncini olumsuz yönde etkilememiştir.

5.2. Yer Fıstığı Kabuğu

5.2.1. XRD analizi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin XRD diyagramları Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5. 20. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin XRD diyagramı

Şekil 5.20'den de görüldüğü gibi YFK dolgu maddesine ait olan karakteristik pikler 2θ = 20-30° arasında gözlenmiştir. YFK'nin R1'e eklenmesi ile YFK'ye ait olan piklerin kaybolması ve R1F0E'nin piklerinin genişlemesi, dolgu maddesinin reçine içerisinde homojen dağıldığının bir göstergesi olarak kabul edilmiştir.

PEG ilavesinin, malzemenin XRD diyagramında önemli bir değişikliğe neden olmadığı açıkça görülmüştür.

5.2.2. Çekme testi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonucu elde edilen σ, ε ve E değerleri Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24'ten de görüldüğü gibi artan YFK miktarı ile kompozit malzemelerin σ, ε ve E değerleri azalmıştır. Mekanik değerlerde görülen bu azalmanın gözle görülmeyen hava kabarcıklarından, YFK'ye herhangi bir modifikasyon işleminin uygulanmamış olmasından ve doğal bir malzeme olan YFK'nin hidrofilik yapısından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Genel olarak literatür bilgilerinden tarımsal atıkların

kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine pozitif bir etkisinin olmadığı bilinmektedir.

PEG ilavesi YFK ve R1 arasındaki yüzey etkileşimini zayıflattığı için kompozit malzemelerin σ ve E değerlerini kısmi ölçüde azaltırken ε değerlerini arttırmıştır.

Çizelge 5. 24. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	σ (MPa)	ε (%)	E
PEGsiz	R1F0E	210.2	1.356	139.545
	R1F5E	202.4	1.287	138.182
	R1F10E	175.3	1.148	137.727
	R1F15E	162.0	0.951	124.167
	R1F20E	124.5	0.876	126.314
PEGli	R1F0PE	203.7	1.582	140.000
	R1F5PE	191.3	1.478	128.636
	R1F10PE	169.0	1.078	110.455
	R1F15PE	148.3	0.982	106.364
	R1F20PE	111.1	0.913	102.727

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin çekme testi sonucu elde edilen σ, ε ve E değerleri Çizelge 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.25'ten de görüldüğü gibi R1 içeren malzemelerde olduğu gibi R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde de YFK ilavesi ile mekanik değerlerde düşüş gözlenmiştir. Ancak R2 içerikli malzemelerin σ, ε ve E değerlerinin R1 içerenlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

PEG ilavesi ile kompozit malzemelerin ε değerlerinde önemli bir artış elde edilmiştir. R2'nin viskozitesi daha düşük olduğu için PEG molekülleri, ER zincirlerinin hareketliliğini kolayca arttırmıştır.

Literatürde farklı organik yapıdaki dolgu maddeleri kullanılarak elde edilen polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Abhishek (2013) farklı oranlarda hindistan cevizi kullanılarak elde edilen epoksi kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiştir. Artan dolgu maddesi miktarı ile ε ve

E değerlerinde azalma, σ değerlerinde ise dalgalanmalar gözlenmiştir. Sapuan ve ark. (2006) örülmüş muz liflerini epoksi matris sisteminde dolgu maddesi olarak kullanmıştır. Çekme testi ile x ve y ekseninde maksimum gerilim sırasıyla 14.14 ve 3.398 MPa olarak bulunmuştur. Mishra ve ark. (2000) ağırlıkça % 40, 50 ve 57 saf hintkeneviri dolgulu epoksi kompozitlerini üreterek mekanik özelliklerini değerlendirmiştir. Maksimum σ değeri 148.3 MPa olarak % 50 hintkeneviri içeren kompozit malzemede elde edilmiştir. Nitin ve Singh (2013) ağırlıkça % 10-40 oranında ceviz kabuğu içeren epoksi kompozitlerini hazırladıktan sonra malzemelerin mekanik dayanımlarını araştırmıştır. Artan dolgu maddesi miktarı ile σ ve E değeri azalırken, ε değeri % 5-7 arasında artış göstermiştir.

Çizelge 5. 25. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin mekanik özellikleri

	Örnek	**σ (MPa)**	**ε (%)**	**E**
PEGsiz	R2F0E	149.6	1.365	96.818
	R2F5E	128.5	1.087	111.250
	R2F10E	114.9	1.000	107.273
	R2F15E	111.8	0.965	105.909
	R2F20E	90.6	0.887	98.636
PEGli	R2F0PE	199.7	5.641	64.348
	R2F5PE	168.0	2.608	98.636
	R2F10PE	122.8	1.669	85.403
	R2F15PE	118.8	1.000	75.417
	R2F20PE	97.3	1.000	73.333

5.2.3. Sertlik testi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26'dan da görüldüğü gibi kompozit malzemede YFK içeriğinin artışı ile malzemelerin sertlik değeri kısmi ölçüde azalmıştır. YFK'nin yapısındaki yüksek selüloz miktarı malzemenin kırılganlığını azaltmaktadır (Zahedi ve ark., 2013). Malzemelerin sertlik değerinde görülen bu azalmanın YFK'nin R1'e göre daha

yumuşak bir malzeme olmasından ve yapısındaki yüksek selüloz içeriğinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

PEG ilavesi ile R1 ve YFK arasındaki etkileşim zayıfladığı için kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde kısmi bir azalma olmuştur. Malzemelere PEG ilavesi ile esneklik kazandırılmıştır.

Çizelge 5. 26. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin sertlik değerleri

	Örnek	Sertlik (Shore D)		Örnek	Sertlik (Shore D)
PEGsiz	R1F0E	86.0	PEGli	R1F0PE	83.3
	R1F5E	84.3		R1F5PE	83.0
	R1F10E	83.0		R1F10PE	81.8
	R1F15E	80.7		R1F15PE	78.2
	R1F20E	78.0		R1F20PE	74.3

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin sertlik değerleri Çizelge 5.27'de verilmiştir.

Çizelge 5.27'den de görüldüğü gibi R1 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde olduğu gibi R2 içeren malzemelerde de sertlik değerleri YFK eklenmesiyle azalmıştır. R1 içeren malzemelerin sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

PEG ilavesi de kompozit malzemelerin sertlik değerini ihmal edilebilecek ölçüde azaltmıştır. R2F5E ve R2F5PE malzemelerinin sertlik değerleri sırasıyla 83.8 ve 81.3 Shore D olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5. 27. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin sertlik değerleri

	Örnek	Sertlik (Shore D)		Örnek	Sertlik (Shore D)
PEGsiz	R2F0E	82.0	PEGli	R2F0PE	79.5
	R2F5E	83.8		R2F5PE	81.3
	R2F10E	82.0		R2F10PE	79.3
	R2F15E	81.6		R2F15PE	79.0
	R2F20E	81.0		R2F20PE	78.1

5.2.4. Korozyon direnci testi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.28'de verilmiştir.

Çizelge 5. 28. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R1F0E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F5E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F10E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F15E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F20E	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R1F0PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F5PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F10PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F15PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R1F20PE	+ +	+ +	+ +	+ +

Çizelge 5.28'den de görüldüğü gibi R1 içerikli kompozit malzemelerin korozyon direncinde artan YFK miktarı ile olumsuz yönde bir değişim olmamıştır. Çözeltilerin renginde, malzemelerin dış görünümünde herhangi bir değişim ya da malzemelerde şişme, kırılma ve çatlama gibi deformasyonlar gözlenmemiştir.

PEG molekülleri de malzemelerin korozyon direncini olumsuz etkilememiştir.

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin korozyon testi sonuçları Çizelge 5.29'da verilmiştir.

Çizelge 5.29'dan da görüldüğü gibi R1 içeren kompozit malzemelere benzer şekilde R2 içerikli kompozit malzemelerin de korozyon dayanımı YFK ilavesi ile olumsuz yönde etkilenmemiştir.

PEG ilavesi ile kompozit malzemelerde ve çözeltilerde herhangi bir renk değişimi ve deformasyon gözlenmemiştir.

Çizelge 5. 29. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin korozyon testi sonuçları

	Örnek	% 10 H_2SO_4	% 10 NaOH	% 3 NaCl	Su
PEGsiz	R2F0E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F5E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F10E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F15E	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F20E	+ +	+ +	+ +	+ +
PEGli	R2F0PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F5PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F10PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F15PE	+ +	+ +	+ +	+ +
	R2F20PE	+ +	+ +	+ +	+ +

5.2.5. Adhezyon testi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5. 30. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin % adhezyon değerleri

	Örnek	Adhezyon (%)		Örnek	Adhezyon (%)
PEGsiz	R1F0E	100	PEGli	R1F0PE	100
	R1F5E	96		R1F5PE	95
	R1F10E	93		R1F10PE	94
	R1F15E	96		R1F15PE	95
	R1F20E	92		R1F20PE	93

Çizelge 5.30'dan da görüldüğü gibi % adhezyon değeri % 100 olan R1'e YFK eklenmesi ile elde edilen kompozit malzemelerin adhezyon kapasitesi % 92 civarına düşmüştür. İhmal edilebilecek olan bu azalmanın kaplama esnasında metal yüzeyinde

oluşan hava kabarcıklarından veya homojen bir kaplama elde edilememiş olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

PEG ilavesi ile kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerinde göze çarpan bir değişim olmamıştır. Diğer bir deyişle PEG moleküllerinin YFK ve R1 arasındaki etkileşime olumsuz bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin % adhezyon değerleri Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5. 31. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin % adhezyon değerleri

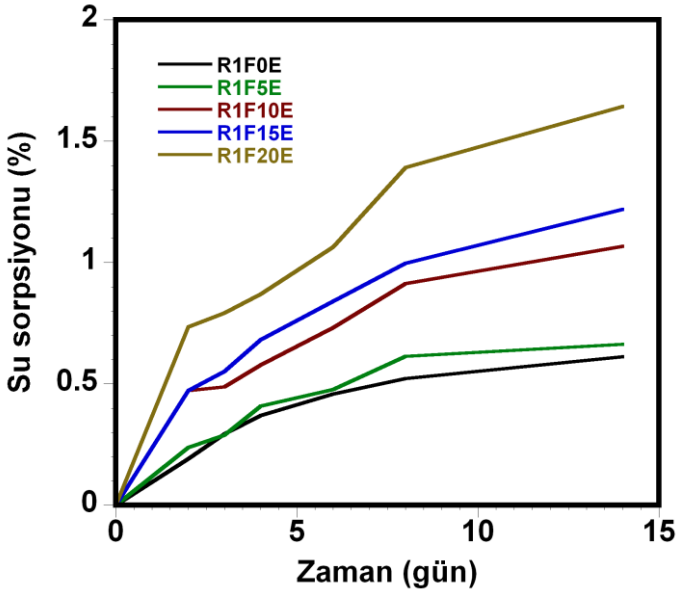
	Örnek	**Adhezyon (%)**		**Örnek**	**Adhezyon (%)**
PEGsiz	R2F0E	100	**PEGli**	R2F0PE	100
	R2F5E	100		R2F5PE	100
	R2F10E	98		R2F10PE	98
	R2F15E	96		R2F15PE	95
	R2F20E	91		R2F20PE	90

Çizelge 5.31'den de görüldüğü gibi R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde de % adhezyon değerleri ihmal edilebilecek bir azalma göstermiştir. R2F0E ve R2F20E malzemelerinin % adhezyon değerleri sırasıyla % 100 ve % 91 olarak hesaplanmıştır. R1 ve R2 içerikli malzemeler karşılaştırıldığında her iki malzeme türü için hemen hemen aynı % adhezyon değerleri elde edilmiştir.

PEG ilavesi, kompozit malzemelerin % adhezyon değerlerini olumsuz yönde etkilememiştir. PEG içeren malzemelerin % adhezyon değerleri % 90-100 arasında değişiklik göstermiştir.

5.2.6. Su sorpsiyon testi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5. 21. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.21'den de görüldüğü gibi YFK eklenmesi ile R1 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri zamana bağlı olarak % 0.6-1.6 arasında artış göstermiştir. R1F0E ve R1F5E malzemeleri doygunluk sınırına ulaşırken diğer malzemelerde su emilimi devam etmiştir. Yapısında bulunan selüloz, hemi-selüloz ve lignin bileşenlerindeki hidroksil gruplarından dolayı YFK su emme eğilimi olan organik bir malzemedir. Ancak su emiliminde etkin rol oynayan asıl bileşen hemi-selülozdur. Ayrıca YFK'nin modifikasyon işlemine tabi tutulmamasının da malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin artmasında etkisi olduğu düşünülmüştür.

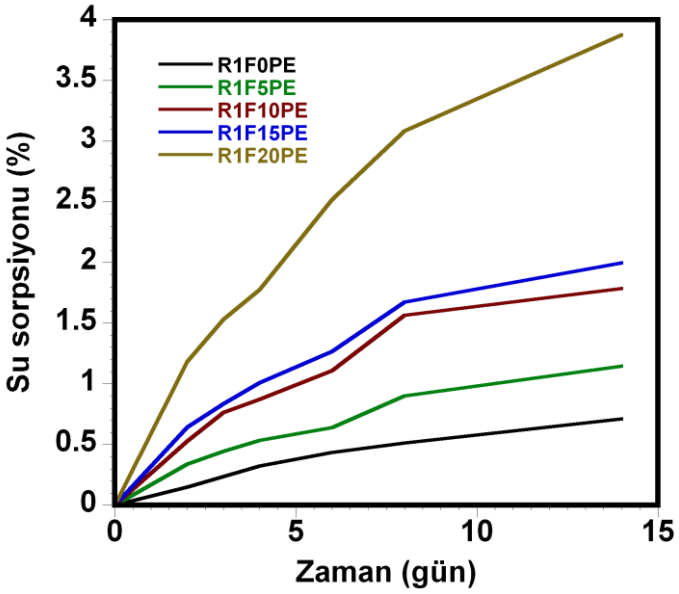
Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.22'de verilmiştir.

Şekil 5.22'den de görüldüğü gibi PEG moleküllerinde bulunan hidroksil grupları, sudaki hidrojenle birleşerek malzemelerin aşırı derecede su emilimine neden olmuştur. Su moleküllerinin YFK tabakaları arasında ilerlemesiyle maksimum su sorpsiyon değeri R1F20PE malzemesinde % 3.8 olarak hesaplanmıştır.

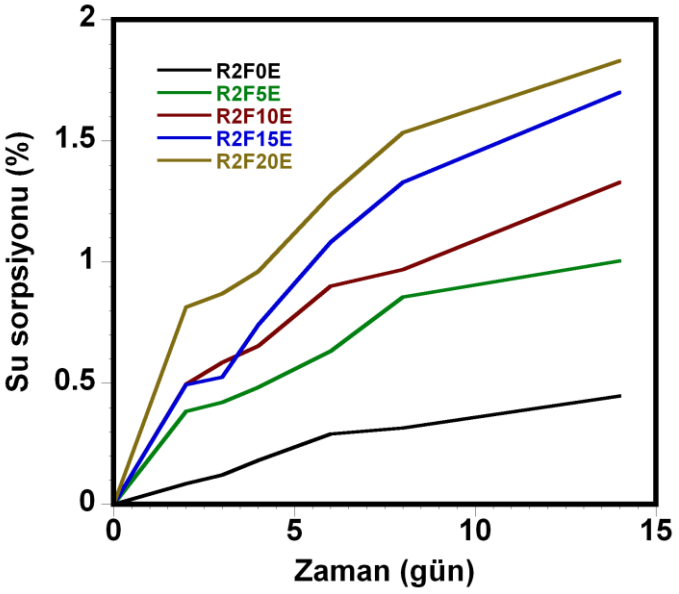
Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.23'te verilmiştir.

Şekil 5.23'ten de görüldüğü gibi R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri YFK miktarı ile artış göstermiştir. Viskozitesi düşük R2 içeren malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin R1 içerenlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Su sorpsiyon değeri yaklaşık % 0.4 olan R2F0E malzemesi ile YFK eklenmesi sonucu elde edilen su sorpsiyon değeri % 1.8 civarında hesaplanan

R2F20E malzemesi karşılaştırıldığında YFK miktarının su emilimi üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmüştür.

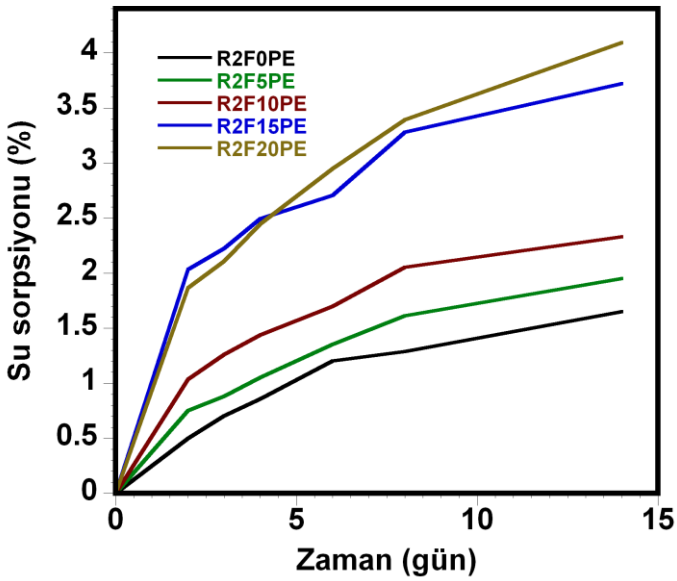


Şekil 5. 22. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği



Şekil 5. 23. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren kompozit malzemelerin su sorpsiyon testi sonuçları Şekil 5.24'te verilmiştir.



Şekil 5. 24. PEG ilaveli Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin su sorpsiyon grafiği

Şekil 5.24'ten de görüldüğü gibi R2 içerikli malzemelere PEG ilavesi, malzemelerin su sorpsiyon değerlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Elde edilen malzemelerin su sorpsiyon değerleri % 1.7-4.0 arasında değişmiştir. R1 içerekli malzemelere göre su sorpsiyon değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. R1F15PE malzemesinin su sorpsiyon değeri yaklaşık % 2.2, R2F15PE malzemesinin ise % 3.7 olarak bulunmuştur.

5.2.7. TGA analizi

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içermeyen kompozit malzemelerin termal özellikleri Çizelge 5.32'de verilmiştir.

Çizelge 5. 32. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin termal özellikleri

	Örnek	İBS (°C)	T_5 (°C)	T_{10} (°C)	T_{50} (°C)	Çar (%)
PEGsiz	R1F0E	121	264	339	379	12.66
	R1F5E	103	251	330	380	11.87
	R1F10E	97	234	326	379	11.27
	R1F20E	99	222	289	403	10.35

Çizelge 5.32'den de görüldüğü gibi YFK miktarının artması ile malzemelerin

İBS, T_5 ve T_{10} değerlerinde bir azalma gözlenirken T_{50} ve çar yüzdelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. YFK'ye herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmadığından ve YFK organik bir malzeme olduğundan dolayı kompozit malzemelerin termal özelliklerinde görülen bu değişim beklenen bir durumdur. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda bozunmadan kalan kısmın % 10 civarında olduğu belirlenmiştir.

Azwa ve Yousif (2013) kenaf lifini doğal hali ve modifiye edilmiş şekli ile epoksi matris sisteminde dolgu maddesi olarak kullanıp elde edilen malzemelerin termal dayanımını incelemiştir. TGA verilerine bakıldığında saf ER, modifiye edilmiş kenaf dolgulu kompozit malzemenin ve modifiye edilmemiş kenaf içeren malzemelerin bozunma sıcaklıklarının sırasıyla 372, 373 ve 378 °C olduğu görülmüştür. 500 °C'taki çar yüzdeleri ise modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş kenaf içeren kompozit malzemeleri için yaklaşık % 12.5 ve 13.7 olarak belirlenmiştir. Shih (2007) atık bambu malzemesinin lif ve toz halini epoksi kompozitlerini hazırlamak amacıyla kullanmıştır. Ağırlıkça % 10 bambu lifi içeren kompozit malzemelerin 700 °C'taki çar yüzdesi % 10.1 iken % 10 bambu tozu içeren malzemelerin çar yüzdesi % 12.3 olarak bulunmuştur. Shih ve ark. (2012) çalışmalarında saf ananas ve muz lifi içeren kompozit malzemelere ek olarak modifiye edilmiş ananas ve muz lifi içeren malzemeleri üretmiştir. Yapılan TGA analizi ile saf ER, ananas ve muz lifi dolgulu malzemelerin T_5 değerleri sırasıyla 262, 264 ve 284 °C olarak belirlenmiştir. Modifiye edilmiş ananas ve muz lifi kullanılan malzemelerde ise T_5 değerleri 330 ve 290 °C'a çıkmıştır.

5.2.8. Vikat yumuşama sıcaklığı tayini

Saf YFK, R1 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin VYS değerleri Çizelge 5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5. 33. Epamine PC17 içeren YFK/R1 kompozitlerinin VYS değerleri

	Örnek	VYS (°C)		Örnek	VYS (°C)
PEGsiz	R1F0E	85.2	PEGli	R1F0PE	64.7
	R1F5E	84.8		R1F5PE	66.9
	R1F10E	82.5		R1F10PE	64.1
	R1F15E	83.4		R1F15PE	62.5
	R1F20E	80.1		R1F20PE	60.3

Çizelge 5.33'ten de görüldüğü gibi R1 içeren kompozit malzemelerin VYS değerleri, TGA verilerine paralel olarak YFK ilavesi ile kısmi ölçüde azalmıştır. R1'in termal dayanımı YFK'den daha iyi olduğu için elde edilen malzemeler daha düşük sıcaklıklarda yumuşamaya başlamıştır.

PEG ilavesi kompozit malzemelerin VYS değerlerinin yaklaşık % 23 oranında azalmasına neden olmuştur.

Saf YFK, R2 ve Epamine PC17 sertleştiricisi kullanılarak hazırlanan PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerin VYS değerleri Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5. 34. Epamine PC17 içeren YFK/R2 kompozitlerinin VYS değerleri

	Örnek	**VYS (°C)**		**Örnek**	**VYS (°C)**
PEGsiz	R2F0E	50.0	**PEGli**	R2F0PE	41.2
	R2F5E	49.7		R2F5PE	41.1
	R2F10E	49.1		R2F10PE	42.8
	R2F15E	48.5		R2F15PE	40.3
	R2F20E	47.6		R2F20PE	37.9

Çizelge 5.34'ten de görüldüğü gibi R1 içeren kompozit malzemelere göre R2 içerikli malzemelerin VYS değerlerinin oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. R1 içerikli malzemelerin VYS değerleri 85.2-80.1 °C arasında iken daha düşük viskozite gösteren R2 içerikli malzemelerinki 50.0-47.6 °C arasında değişmiştir.

PEG moleküllerinin malzeme yapısına dahil olması ile kompozit malzemelerin VYS değerleri % 17 civarında azalmıştır.

5.2.9. Soğuk ortama dayanım testi

R1 ve R2 kullanılarak hazırlanan YFK dolgulu PEG içeren ve PEG içermeyen kompozit malzemelerinin bir gün boyunca -25 °C gibi soğuk bir ortama maruz kalması sonucu kompozit malzemelerde herhangi bir deformasyon görülmemiştir. Artan YFK miktarının ve reçine tipinin, kompozit malzemelerin soğuğa olan direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır.

PEG ilavesi de kompozit malzemelerde çatlama, kırılma ya da renk değişimi gibi bir deformasyona neden olmamıştır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma temel olarak anorganik ve organik yapılı atık malzemelerin epoksi kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanımının araştırıldığı iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda dolgu maddesi olarak ağırlıkça % 0, 5, 10, 15 ve 20 oranında cüruf ve MC'nin, ikinci kısımda ise aynı oran ve şartlarda YFK'nin kullanılmasıyla kompozit malzemeler hazırlanmıştır. Kompozit malzemelerde kullanılan matris tipi, dolgu maddesi miktarı, sertleştirici türü değiştirilerek ve PEG ilavesi yapılarak elde edilen malzemelerin fiziko-mekanik ve termal özellikleri birbiri ve saf ER ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelerin özelliklerini belirlemek amacıyla XRD analizi, çekme, sertlik, korozyon direnci, su sorpsiyon testi, TGA analizi, VYS tayini ve soğuk ortama dayanım testi yapılmıştır.

XRD sonuçlarına bakıldığında cüruf ve ER malzemeleri arasında iyi bir uyumun olduğu anlaşılmıştır. PEG ilavesinin, pik şiddetleri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. R2 ile hazırlanan malzemelerle karşılaştırıldığında R1 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde taneciklerin daha homojen dağıldığı belirlenmiştir. MC kullanılarak hazırlanan kompozit malzemenin dağılmış yapıda olduğu gözlenmiştir.

Çekme testi sonuçlarına göre artan cüruf miktarı ile R1 içerikli malzemelerin σ ve ε değerleri azalırken E değeri 103.182 ve 124.167 arasında değişmiştir. MNA'nın yapısına bağlı olarak MNA ile sertleştirilen malzemelerin σ ve ε değerlerinin Epamine PC17 içeren malzemelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PEG ilavesi malzemelere esneklik kazandırarak ε değerlerinde artışa neden olmuştur. Modifikasyon işlemi ile malzemelerin σ ve E değerlerinde artış gözlenmiştir. R2 kullanılarak hazırlanan malzemelerin mekanik özelliklerinde de benzer değişim gözlenmiştir. Ancak iki reçine arasındaki viskozite farkından dolayı R2 içeren malzemelerin çekme testi sonuçlarının R1 içeren malzemelerden daha düşük olduğu görülmüştür.

Hem R1 hem de R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin sertlik değeri artan cüruf miktarı ile kısmi ölçüde artmıştır. Sertlik testi sonucuna göre MNA içeren malzemelerin Epamine PC17 içeren malzemelere göre daha sert olduğu belirlenmiştir. PEG ilavesi ise malzemelerin sertlik değerini azaltmıştır. Modifikasyon ile MC ve ER arasındaki etkileşimin artması sertlik değerinin artmasına neden olmuştur.

Artan cüruf miktarı, modifikasyon işlemi, sertleştirici tipi ve PEG ilavesi hem R1 hem de R2 içeren kompozit malzemelerinin asit, alkali, tuzlu su ve su ortamındaki

korozyon direncini olumsuz yönde etkilememiştir. Elde edilen malzemelerde herhangi bir şişme, parçalanma, çatlama ve çözeltilerde renk değişimi görülmemiştir. Korozyon testi sonuçları ER'de var olan korozyon dayanım özelliğinin kaybedilmediğini ve elde edilen malzemelerin de ER gibi kaplama maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Adhezyon testi sonuçlarına göre artan cüruf miktarı ile malzemelerin % adhezyon değerleri ihmal edilebilecek ölçüde azalmıştır. MNA içerikli malzemelerin % adhezyon değerlerinin Epamine PC17 içerenlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. PEG ilavesi ile malzemelerin % adhezyon değerlerinde kısmi bir azalma görülmüştür. Modifikasyon işlemi ile maksimum % adhezyon değeri elde edilmiştir. R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde de hemen hemen benzer % adhezyon değerleri görülmüştür. Bütün kompozit malzemelerde % 90'nın üzerinde % adhezyon değeri elde edilmiş dolayısı ile ER'de var olan bu özellik kaybolmamış ve bu karışımların kaplama maddesi olarak kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

R1 kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 içerikli kompozit malzemelerin su sorpsiyon değeri artan cüruf miktarı ile % 0.3-0.7 arasında artış göstermiştir. MNA içerikli malzemelerin su sorpsiyon değerleri MNA'nın kararlı yapısından dolayı % 0.2-0.4 arasında değişmiştir. PEG ilavesi kompozit malzemelerde aşırı miktarda su emilimine neden olmuştur. Modifikasyon işlemi ile malzeme içerisinde suyun ilerlemesi belirli ölçüde azaltılmıştır. R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin R1 içerenlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

TGA verilerine göre artan cüruf miktarı ile kompozit malzemelerin bozunma sıcaklığı ve çar yüzdelerinde genel bir artış tespit edilmiştir. MNA içeren kompozit malzemelerin termal özelliklerinin Epamine PC17 içeren malzemelerden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Modifikasyon işleminin de malzemelerin termal özellikleri üzerinde olumlu etkisi görülmüştür. PEG ilavesi malzemelerin bozunma sıcaklığı ve çar yüzdesi değerlerini azaltmıştır. R2 kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 içerikli malzemelerin İBS değerleri 106-121 °C arasında değişirken MNA içerikli malzemelerinki 191-194 °C arasında değişmiştir.

Hem R1 hem de R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin VYS değerleri artan cüruf miktarı ile artış göstermiştir. R1 kullanılarak hazırlanan MNA içerikli kompozit malzemelerin VYS değerlerinin Epamine PC17 içeren malzemelerin VYS değerinden 15-20 °C daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. MC'nin dolgu maddesi olarak kullanılmasının malzemelerin VYS değeri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.

PEG eklenmesi kompozit malzemelerin VYS değerlerinde düşüşe neden olmuştur.

Cüruf miktarı ve PEG ilavesinin R1 ve R2 kullanılarak hazırlanan Epamine PC17 ve MNA içeren kompozit malzemelerinin soğuğa dayanım direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır. Ayrıca MC kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerde herhangi bir çatlama, kırılma ve renk değişimi gibi bir deformasyon gözlenmemiştir.

XRD sonuçları YFK'nin R1 matris sisteminde homojen dağıldığını göstermiştir. PEG ilavesinin YFK'nin R1 içerisinde dağılımında önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

YFK miktarının artışı ile R1 ve R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin σ, ε ve E değerleri azalmıştır. Ancak R2 içeren kompozit malzemelerin mekanik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. PEG ilavesi malzemelerin esnekliğini arttırırken σ ve E değerlerini azaltmıştır.

Sertlik testi sonucuna göre artan YFK miktarı ile R1 ve R2 içeren kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde azalma gözlenmiştir. PEG ilavesi ile malzemelerin sertlik değerinde ihmal edilebilecek bir azalma gözlenmiştir.

Hem R1 hem de R2 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin korozyon dayanımında artan YFK miktarı ve PEG ilavesi ile herhangi bir değişiklik olmamıştır.

R1 ve R2 içerikli kompozit malzemelerde en düşük % adhezyon değerleri sırasıyla % 92 ve % 91 olarak belirlenmiştir. PEG ilavesi ile malzemelerin % adhezyon değerleri hemen hemen değişmemiştir.

R1 ve R2 içerikli kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerleri zamana bağlı olarak artmıştır. R1 içeren malzemelerin su sorpsiyon değeri % 0.6-1.6 arasında artış gösterirken R2 içerikli malzemelerin su sorpsiyon değeri % 0.4-1.8 arasında değişmiştir. PEG ilavesi elde edilen kompozit malzemelerin su sorpsiyon değerlerinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur.

TGA verilerine göre artan YFK miktarı ile R1 kullanılarak hazırlanan kompozit malzemelerin İBS, T_5 ve T_{10} değerleri azalırken T_{50} ve çar yüzdelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

R1 içeren kompozit malzemelerin VYS değerlerinin 80 °C civarında iken R2 içerikli malzemelerin VYS değerinin 50 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Malzemelerin VYS değerleri PEG ilavesi ile azalmıştır.

Artan YFK miktarı ve PEG ilavesi R1 ve R2 içerikli kompozit malzemelerin soğuk ortama olan direncini olumsuz yönde etkilememiştir.

Elde edilen sonuçlara göre cüruf ve YFK'nin ER matrisli kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Demir-çelik sanayisinin yan ürünü olan cürufun kompozit malzemelerde değerlendirilmesi ile hem bu sektörün atık depolama sorununun ortadan kalkacağı hem de çevre ve görüntü kirliliğinin önlenebileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra daha ekonomik malzemeler elde edilmiş olacaktır. Büyük ölçüde mekanik dayanım gerektirmeyen uygulamalarda bu malzemelerin kullanılabileceği tahmin edilmektedir.

Benzer şekilde yer fıstığı kabuğunun da kompozit malzemelerde dolgu maddesi olarak kullanılması ile atık birikiminin önlenebileceği ve daha ekonomik fiyatlarda malzemelerin üretilebileceği düşünülmektedir. Yapılan analizler, bu malzemelerin kaplama, paketleme ve dekorasyon gibi aşırı mekanik ve termal dayanım gerektirmeyen işlemlerde rahatlıkla değerlendirilebileceğini göstermiştir.

7. KAYNAKLAR

Abdallah, W., Yilmazer, U., 2011, Novel thermally stable organo-montmorillonites from phosphonium and imidazolium surfactants, *Thermochimica Acta*, 525 (1-2), 129-140.

Abdul Khalil, H.P.S., Fizree, H.M., Bhat, A.H., Jawaid, M., Abdullah, C.K., 2013, Development and characterization of epoxy nanocomposites based on nano-structured oil palm ash, *Composites Part B: Engineering*, 53, 324-333.

Abhishek, S., 2013, Processing, characterization and mechanical behaviour of coir fiber reinforced epoxy composites, Bachelor, *National Institute Of Technology*, Rourkela, 14-16.

Ahmetli, G., Deveci, H., Altun, A., Kurbanli, R., 2011, Corrosion and thermal characterization of styrene based copolymers, *Progress in Organic Coatings*, 70 (1), 9-15.

Ahmetli, G., Deveci, H., Soydal, U., Seker, A., Kurbanli, R., 2012, Coating, mechanical and thermal properties of epoxy toluene oligomer modified epoxy resin/sepiolite composites, *Progress in Organic Coatings*, 75 (1-2), 97-105.

Akindapo, J.O., Binni, U.A., Sanusi, O.M., 2015, Development of roofing sheet material using groundnut shell particles and epoxy resin as composite material, *American Journal of Engineering Research*, 4 (6), 165-173.

Al-Qadhi, M., Merah, N., Gasem, Z.M., Abu-Dheir, N., Aleem, B.J.A., 2014, Effect of water and crude oil on mechanical and thermal properties of epoxy-clay nanocomposites, *Polymer Composites*, 35 (2), 318-326.

Ali, N.A., 2011, The effect of additives metal on the D.C conductivity of epoxy resin, *Baghdad Science Journal*, 8 (1), 168-174.

Anonim, (2013). Türkiye Tarım Sektörü Raporu. Ankara, *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği***:** 12-14.

Araujo, F.F.T.d., Rosenberg, H.M., 1976, The thermal conductivity of epoxy-resin/metal-powder composite materials from 1.7 to 300 K, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 9, 665-675.

ASTM D 638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics

Azeez, A.A., Rhee, K.Y., Park, S.J., Hui, D., 2013, Epoxy clay nanocomposites – processing, properties and applications: a review, *Composites Part B: Engineering*, 45 (1), 308-320.

Azwa, Z.N., Yousif, B.F., 2013, Characteristics of kenaf fibre/epoxy composites subjected to thermal degradation, *Polymer Degradation and Stability*, 98 (12), 2752-2759.

Banjare, J., Sahu, Y.K., Agrawal, A., Satapathy, A., 2014, Physical and thermal characterization of red mud reinforced epoxy composites: an experimental investigation, *Procedia Materials Science*, 5, 755-763.

Barua, S., Dutta, G., Karak, N., 2013, Glycerol based tough hyperbranched epoxy: synthesis, statistical optimization and property evaluation, *Chemical Engineering Science*, 95, 138-147.

Bhagat, V.K., Biswas, S., Dehury, J., 2014, Physical, mechanical, and water absorption behavior of coir/glass fiber reinforced epoxy based hybrid composites, *Polymer Composites*, 35 (5), 925-930.

Bilen, M., 2010, Çelihane curuflarından liç-karbonatlaştırma prosesi ile kalsiyum karbonat kazandırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 15-18.

Bilir, M.H., 2009, Yer fıstığı kabuğundan üretilen poliüretan tipi köpük ile safranin ve Remazol Brillant Blue R'nin adsorpsiyonunun incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kilis, 4-5.

Bishay, I.K., Abd-El-Messieh, S.L., Mansour, S.H., 2011, Electrical, mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride composites filled with aluminum powder, *Materials & Design*, 32 (1), 62-68.

Biswas, S., Patnaik, A., Kaundal, R., 2015, Effect of red mud and copper slag particles on physical and mechanical properties of bamboo-fiber-reinforced epoxy composites, *Advances in Mechanical Engineering*, 4 (0), 1-6.

Biswas, S., Satapathy, A., 2010, A comparative study on erosion characteristics of red mud filled bamboo–epoxy and glass–epoxy composites, *Materials & Design*, 31 (4), 1752-1767.

Bora, M.Ö., Çoban, O., Avcu, E., Fidan, S., Sınmazçelik, T., 2013, The effect of TiO_2 filler content on the mechanical, thermal, and tribological properties of TiO_2/PPS composites, *Polymer Composites*, 34, 1591-1599.

Bulut, M., 2014, Türkiyede kompozit malzeme üretimi ve kompozit malzeme sektörünün genel değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Ankara, 47-70.

Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2013, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, *Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık*, 174, 707.

Can, M.F., 2008, Sepiyolit/epoksi nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 43-52.

Chatterjee, S., Chabri, S., Chakraborty, H., Bhowmik, N., Sinha, A., 2015, Micromechanical and nanoscratch behavior of SiC_p dispersed metal matrix composites, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24 (9), 3407-3418.

Chen, M.-L., Ueta, S., Takayanagi, M., 1988, Improvement of adhesion of kevlar fiber to poly(methyl methacrylate), *Polymer Journal*, 20 (8), 673-677.

Chen, Y.-z., Wang, H.-X., Ma, Z.-y., Li, Q.-h., 2003, The properties of cement mortars modified by emulsified and micro-fine slag, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 18 (3), 83-85.

Chiang, T.H., Liu, C.-Y., Lin, Y.-C., 2015, The Effect of an anhydride curing agent, an accelerant, and non-ionic surfactants on the electrical resistivity of graphene/epoxy composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 132 (20), 41975-41984.

Choi, I., Lee, D., Lee, D.G., 2015, Radar absorbing composite structures dispersed with nano-conductive particles, *Composite Structures*, 122, 23-30.

Çallıoğlu, H., Sayer, M., Demir, E., 2011, Impact behavior of particles filled-glass/polyester composite plates, *Polymer Composites*, 32 (7), 1125-1133.

Çınar, N., 2012, Karbon nanotüp üretiminde hidrojen redüksiyon etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-19.

Dang, Z.-M., Zhang, B., Li, J., Zha, J.-W., Hu, G.-H., 2012, Copper particles/epoxy resin thermosetting conductive adhesive using polyamide resin as curing agent, *Journal of Applied Polymer Science*, 126 (3), 815-821.

de la Orden, M.U., Pascual, D., Antelo, A., Arranz-Andrés, J., Lorenzo, V., Martínez Urreaga, J., 2013, Polymer degradation during the melt processing of clay reinforced polycarbonate nanocomposites, *Polymer Degradation and Stability*, 98 (6), 1110-1117.

Demircioğlu, G., 2006, Kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 56-58.

Devaraju, S., Vengatesan, M.R., Selvi, M., Song, J.K., Alagar, M., 2013, Hyperbranched polysiloxane-based diglycidyl ether of bisphenol a epoxy composite for low k dielectric application, *Polymer Composites*, 34 (6), 904-911.

Deveci, H., 2013, Mechanical and thermal properties of a novel composite prepared with epoxy resin and lateritic ore, *Polymer Composites*, 34 (8), 1375-1381.

Dike, A.S., 2011, Nanocomposites based on blends of polystyrene, PhD, *Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Ankara, 61-72.

Ding, G., Fu, J., Dong, X., Chen, L., Jia, H., Wenqi, Y., Shi, L., 2013, Preparation and properties of polyhedral oligomeric silsesquioxane/epoxy hybrid resins, *Polymer Composites*, 34, 1753-1760.

Duan, J., Su, B., 2014, Removal characteristics of Cd(II) from acidic aqueous solution by modified steel-making slag, *Chemical Engineering Journal*, 246, 160-167.

Ebewele, R.O., 2000, Polymer Science and Technology, New York, *CRC Press LLC*, 31-32.

Erkan, İ., 2008, Reşadiye bentonitinin amin ile modifikasyonu ve epoksi bazlı nanokompozit malzeme üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 58-60.

Etcheverry, M., Barbosa, S.E., 2012, Glass fiber reinforced polypropylene mechanical properties enhancement by adhesion improvement, *Materials*, 5 (12), 1084-1113.

Frank, E., Hermanutz, F., Buchmeiser, M.R., 2012, Carbon fibers: precursors, manufacturing, and properties, *Macromolecular Materials and Engineering*, 297 (6), 493-501.

Gu, R., Sain, M., Kokta, B.V., 2015, Evaluation of wood composite additives in the mechanical property changes of PE blends, *Polymer Composites*, 36 (2), 287-293.

Guan, L.-Z., Gong, L.-X., Tang, L.-C., Wu, L.-B., Jiang, J.-X., Lai, G.-Q., 2015, Mechanical properties and fracture behaviors of epoxy composites with phase-separation formed liquid rubber and preformed powdered rubber nanoparticles: A comparative study, *Polymer Composites*, 36 (5), 785-799.

Guo, X., Shi, H., 2012, Modification of steel slag powder by mineral admixture and chemical activators to utilize in cement-based materials, *Materials and Structures*, 46 (8), 1265-1273.

Hesami, M., Bagheri, R., Masoomi, M., 2014, Flammability and thermal properties of epoxy/glass/MWNT composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 131, 39849-39856.

Ho, M.-W., Lam, C.-K., Lau, K.-t., Ng, D.H.L., Hui, D., 2006, Mechanical properties of epoxy-based composites using nanoclays, *Composite Structures*, 75 (1-4), 415-421.

Huang, X., Su, H., Wang, X., Zhang, B., Li, J., 2013, Effect of oligomeric-modified montmorillonite on morphology and properties of polycarbonate/montmorillonite nanocomposites, *Polymer Composites*, 34 (5), 722-731.

Ishidi, E.Y., Adamu, I.K., Kolawale, E.G., Sunmonu, K.O., Yakubu, M.K., 2011, Flammability and thermal characteristics of alkaline aqueous solution treated

groundnut shell-HDPE composites, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24 (6), 875-888.

Jeong, Y.-R., Hong, I.-P., Chun, H.-J., Yook, J.-G., 2014, Transmission characteristics of a composite made with ground granulated blast furnace slag, *IEICE Electronics Express*, 11 (2), 1-7.

Jha, V.K., Kameshima, Y., Nakajima, A., Okada, K., 2008, Utilization of steel-making slag for the uptake of ammonium and phosphate ions from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, 156 (1-3), 156-162.

Khan, R.A., Khan, M.A., Zaman, H.U., Pervin, S., Khan, N., Sultana, S., Saha, M., Mustafa, A.I., 2009, Comparative studies of mechanical and interfacial properties between jute and E-glass fiber-reinforced polypropylene composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (7), 1078-1088.

Khan, S.U., Munir, A., Hussain, R., Kim, J.-K., 2010, Fatigue damage behaviors of carbon fiber-reinforced epoxy composites containing nanoclay, *Composites Science and Technology*, 70 (14), 2077-2085.

Kiliaris, P., Papaspyrides, C.D., 2010, Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: an overview of flame retardancy, *Progress in Polymer Science*, 35 (7), 902-958.

Labella, M., Zeltmann, S.E., Shunmugasamy, V.C., Gupta, N., Rohatgi, P.K., 2014, Mechanical and thermal properties of fly ash/vinyl ester syntactic foams, *Fuel*, 121, 240-249.

Laura, D.M., Keskkula, H., Barlow, J.W., Paul, D.R., 2002, Effect of glass fiber surface chemistry on the mechanical properties of glass fiber reinforced, rubber-toughened nylon, *Polymer*, 43, 4673-4687.

Li, G., Zhang, C., Wang, Y., Li, P., Yu, Y., Jia, X., Liu, H., Yang, X., Xue, Z., Ryu, S., 2008, Interface correlation and toughness matching of phosphoric acid functionalized Kevlar fiber and epoxy matrix for filament winding composites, *Composites Science and Technology*, 68 (15-16), 3208-3214.

Li, J., Yu, Q., Wei, J., Zhang, T., 2011, Structural characteristics and hydration kinetics of modified steel slag, *Cement and Concrete Research*, 41 (3), 324-329.

Li, X.-G., Huang, M.-R., 1999, Thermal degradation of kevlar fiber by high-resolution thermogravimetry, *Journal of Applied Polymer Science*, 71, 565-571.

Li, X., Kang, H-l., Shen, J-x., Zhang, L-q., Nishi, T., Ito, K., 2015, Miscibility, intramolecular specific interactions and mechanical properties of a DGEBA based epoxy resin toughened with a sliding graft copolymer, *Chinese Journal of Polymer Science*, 33 (3), 433-443.

Li, X., Ni, C., Ma, F., Yao, B., Zhu, C., 2014, Preparation of poly(N-butyl acrylate-co-glycidyl methacrylate) and its application in enhancement of epoxy resin, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53 (3), 262-267.

Li, Z., Zhao, S., Zhao, X., He, T., 2013, Cementitious property modification of basic oxygen furnace steel slag, *Construction and Building Materials*, 48, 575-579.

Ma, A., Wu, Y., Chen, W., Wu, X., 2014, Preparation and properties of multi-walled carbon nanotubes/carbon fiber/epoxy composites, *Polymer Composites*, 35 (11), 2150-2153.

Madurwar, M.V., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A., 2013, Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review, *Construction and Building Materials*, 38, 872-878.

Malik, R., Ramteke, D.S., Wate, S.R., 2007, Adsorption of malachite green on groundnut shell waste based powdered activated carbon, *Waste Management*, 27 (9), 1129-1138.

Mavani, S.I., Mehta, N.M., Parsania, P.H., 2007, Synthesis, fabrication, mechanical, electrical, and moisture absorption study of epoxy polyurethane–jute and epoxy

polyurethane–jute–rice/wheat husk composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 106 (2), 1228-1233.

Mc Aninch, I.M.M., Palmese, G.R., Lenhart, J.L., La Scala, J.J., 2015, Epoxy-amine networks with varying epoxy polydispersity, *Journal of Applied Polymer Science*, 132 (8), 41503-41511.

Miracle, D., 2005, Metal matrix composites–from science to technological significance, *Composites Science and Technology*, 65 (15-16), 2526-2540.

Mishra, H.K., Dash, B.N., Tripathy, S.S., Padhi, B.N., 2000, A study on mechanical performance of jute-epoxy composites, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 39 (1), 187-198.

Mishra, V., Biswas, S., 2014, Three-body abrasive wear behavior of short jute fiber reinforced epoxy composites, *Polymer Composites*, DOI: 10.1002/pc.23178.

Montero, B., Serra, A., Ramírez, C., Ramis, X., 2013, Epoxy/anhydride networks modified with polyhedral oligomeric silsesquioxanes, *Polymer Composites*, 34 (1), 96-108.

Muhammad Firdaus, S., Mariatti, M., 2014, Nano-sized boron nitride epoxy composites for underfill application: effect of diluent and filler loading, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26 (2), 774-783.

Mujahid, A., Afzal, A., Ahmad, M.N., Farooq, M.U., Hussain, T., Shehzad, K., Shah, A.T., 2012, Structurally modified poly(vinyl alcohol) ionic composites as efficient humidity indicators, *Polymer Composites*, 33 (6), 1018-1024.

Nitin, S., Singh, V.K., 2013, Mechanical behaviour of walnut reinforced composite, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (3), 233-238.

Nohales, A., Solar, L., Porcar, I., Vallo, C.I., Gómez, C.M., 2006, Morphology, flexural, and thermal properties of sepiolite modified epoxy resins with different curing agents, *European Polymer Journal*, 42 (11), 3093-3101.

Oyelaran, O.A., Bolaji, B.O., Waheed, M.A., Adekunle, M.F., 2015, Performance evaluation of the effect of waste paper on groundnut shell briquette, *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*, 4 (2), 95-101.

Palraj, S., Selvaraj, M., Maruthan, K., Rajagopal, G., 2015, Corrosion and wear resistance behavior of nano-silica epoxy composite coatings, *Progress in Organic Coatings*, 81, 132-139.

Paluvai, N.R., Mohanty, S., Nayak, S.K., 2014, Synthesis and modifications of epoxy resins and their composites: a review, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 53 (16), 1723-1758.

Pati, P.R., Satapathy, A., 2015, Prediction and simulation of wear response of Linz-Donawitz (LD) slag filled glass-epoxy composites using neural computation, *Polymers for Advanced Technologies*, 26 (2), 121-127.

Piatak, N.M., Parsons, M.B., Seal, R.R., 2015, Characteristics and environmental aspects of slag: a review, *Applied Geochemistry*, 57, 236-266.

Pragatheeswaran, R., Kumaran, S.S., 2015, Mechanical behaviour of groundnut shell powder/calcium carbonate/vinyl ester composite, *International Journal Of Current Engineering And Scientific Research*, 2 (2), 28-31.

Pusz, S., Szeluga, U., Nagel, B., Czajkowska, S., Galina, H., Strzezik, J., 2015, The influence of structural order of anthracite fillers on the curing behavior, morphology, and dynamic mechanical thermal properties of epoxy composites, *Polymer Composites*, 36 (2), 336-347.

Qaiser, S., Saleemi, A.R., Umar, M., 2009, Biosorption of lead(II) and chromium(VI) on groundnut hull: equilibrium, kinetics and thermodynamics study, *Electronic Journal of Biotechnology*, 12 (4), 1-17.

Raju, G.U., Kumarappa, S., 2011, Experimental study on mechanical properties of groundnut shell particle-reinforced epoxy composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30 (12), 1029-1037.

Raju, G.U., Kumarappa, S., Gaitonde, V.N., 2012, Mechanical and physical characterization of agricultural waste reinforced polymer composites, *Journal of Materials and Environmental Science*, 3 (5), 907-916.

Rebouillat, S., Peng, J.C.M., Donnet, J.-B., 1999, Surface structure of kevlar fiber studied by atomic force microscopy and inverse gas chromatography, *Polymer*, 40, 7341-7350.

Reis, J.M.L., Amorim, F.C., da Silva, A.H.M.F.T., da Costa Mattos, H.S., 2015, Influence of temperature on the behavior of DGEBA (bisphenol A diglycidyl ether) epoxy adhesive, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 58, 88-92.

Rout, A., Satapathy, A., 2012, Analysis of dry sliding wear behaviour of rice husk filled epoxy composites using design of experiment and ANN, *Procedia Engineering*, 38, 1218-1232.

Rout, A.K., Satapathy, A., 2012, Study on mechanical and tribo-performance of rice-husk filled glass–epoxy hybrid composites, *Materials & Design*, 41, 131-141.

Saba, N., Tahir, P., Jawaid, M., 2014, A Review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites, *Polymers*, 6 (8), 2247-2273.

Saçak, M., 2005, Polimer Teknolojisi, Ankara, *Gazi Kitapevi*, 219-221.

Saiyad, M., Devashrayee, N.M., Mevada, R.K., 2014, Study the effect of dispersion of filler in polymer composite for radiation shielding, *Polymer Composites*, 35 (7), 1263-1266.

Sapuan, S.M., Leenie, A., Harimi, M., Beng, Y.K., 2006, Mechanical properties of woven banana fibre reinforced epoxy composites, *Materials & Design*, 27 (8), 689-693.

Seyidoglu, T., Yilmazer, U., 2013, Production of modified clays and their use in polypropylene-based nanocomposites, *Journal of Applied Polymer Science*, 127, 1257-1267.

Shen, W., Zhou, M., Ma, W., Hu, J., Cai, Z., 2009, Investigation on the application of steel slag-fly ash-phosphogypsum solidified material as road base material, *Journal of Hazardous Materials*, 164 (1), 99-104.

Shih, Y.-F., 2007, Mechanical and thermal properties of waste water bamboo husk fiber reinforced epoxy composites, *Materials Science and Engineering: A*, 445-446, 289-295.

Shih, Y.-F., Cai, J.-X., Kuan, C.-S., Hsieh, C.-F., 2012, Plant fibers and wasted fiber/epoxy green composites, *Composites Part B: Engineering*, 43 (7), 2817-2821.

Shokrieh, M.M., Kefayati, A.R., Chitsazzadeh, M., 2012, Fabrication and mechanical properties of clay/epoxy nanocomposite and its polymer concrete, *Materials & Design*, 40, 443-452.

Shubham, P., Tiwari, S.K., 2013, Effect of fly ash concentration and its surface modification on fiber reinforced epoxy composite mechanical properties, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4 (8), 1173-1180.

Song, W., Gu, A., Liang, G., Yuan, L., 2011, Effect of the surface roughness on interfacial properties of carbon fibers reinforced epoxy resin composites, *Applied Surface Science*, 257 (9), 4069-4074.

Soroush, A., Rezaie Haghighat, H., Sajadinia, S.H., 2014, Thermal and mechanical properties of polysulfide/epoxy copolymer system: the effect of anhydride content, *Polymers for Advanced Technologies*, 25 (2), 184-190.

Sounthari, P., Kiruthika, A., Saranya, J., Parameswari, K., Chitra, S., 2015, Corrosion inhibition property of polyester-groundnut shell biodegradable composite, *Ecotoxicology Environmental Safety*, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.08.014.

Sprenger, S., 2013, Epoxy resin composites with surface-modified silicon dioxide nanoparticles: a review, *Journal of Applied Polymer Science*, 130, 1421-1428.

Şeker, A., 2010, Epoksi reçine/sepiyolit kompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 21-24.

Ting, T-H., Wang, T-M., Yang, S-F., Sun, K-S., Lee, W-C., 2011, Effect of the water quenched slag-epoxy resin composite on microwave absorbing properties, *Journal of the Chinese Chemical Society*, 58 (1), 83-89.

Toprakezer, F., 2009, Nanokompozit sentezinde kullanılacak Na-Bentonit kilinin saflaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Adana, 10-12.

TS EN ISO 306 Standardı Plastikler - Termoplastik Maddeler - Vicat Yumuşama Sıcaklığının Tayini

TSE K 86 Standardı Kapı Ve Pencere Camları İçin Termoplastik Elastomer Sızdırmaz Conta

Ulus, H., Üstün, T., Eskizeybek, V., Şahin, Ö.S., Avcı, A., Ekrem, M., 2014, Boron nitride-MWCNT/epoxy hybrid nanocomposites: preparation and mechanical properties, *Applied Surface Science*, 318, 37-42.

Varvani-Farahani, A., 2009, Composite Materials: Characterization, fabrication and application-research challenges and directions, *Applied Composite Materials*, 17 (2), 63-67.

Velmurugan, R., Manikandan, V., 2007, Mechanical properties of palmyra/glass fiber hybrid composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38 (10), 2216-2226.

Wang, D., Wilkie, C.A., 2003, In-situ reactive blending to prepare polystyrene–clay and polypropylene–clay nanocomposites, *Polymer Degradation and Stability*, 80 (1), 171-182.

Wang, J., Li, Y., Huang, M., Fang, J., Wang, C., 2014, Silicon-aluminum synergistic mechanism in flame retardancy of epoxy resin, *Polymer Composites*, 35 (8), 1553-1558.

Wang, L., Wang, K., Chen, L., Zhang, Y., He, C., 2006, Preparation, morphology and thermal/mechanical properties of epoxy/nanoclay composite, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37 (11), 1890-1896.

Wang, M., Fan, X., Thitsartarn, W., He, C., 2015, Rheological and mechanical properties of epoxy/clay nanocomposites with enhanced tensile and fracture toughnesses, *Polymer*, 58, 43-52.

Wang, S., Peng, X., Tang, L., Zeng, L., Lan, C., 2014, Influence of inorganic admixtures on the 11Å-tobermorite formation prepared from steel slags: XRD and FTIR analysis, *Construction and Building Materials*, 60, 42-47.

Wu, Z.J., Yue, H.F., Li, L.S., Jiang, B.F., Wu, X.R., Wang, P., 2010, Synthesis and electrochemical properties of multi-doped LiFePO4/C prepared from the steel slag, *Journal of Power Sources*, 195 (9), 2888-2893.

Xu, Q., Qu, S., 2015, Irreversible deformation of metal matrix composites: a study via the mechanism-based cohesive zone model, *Mechanics of Materials*, 89, 72-84.

Xue, Y., Jin, X., Fan, Y., Tian, R., Xu, X., Li, J., Lin, J., Zhang, J., Hu, L., Tang, C., 2014, Large-scale synthesis of hexagonal boron nitride nanosheets and their improvement in thermal properties of epoxy composites, *Polymer Composites*, 35 (9), 1707-1715.

Yang, T., Zhang, C., Zhang, J., Cheng, J., 2014, The influence of tertiary amine accelerators on the curing behaviors of epoxy/anhydride systems, *Thermochimica Acta*, 577, 11-16.

Yasmin, A., Abot, J.L., Daniel, I.M., 2003, Processing of clay/epoxy nanocomposites by shear mixing, *Scripta Materialia*, 49 (1), 81-86.

Ye, J., Qiu, Y., Zhai, Z., Chen, X., 2015, Strain rate influence on nonlinear response of polymer matrix composites, *Polymer Composites*, 36 (5), 800-810.

Yekani Fard, M., Raji, B., Chattopadhyay, A., 2014, The ratio of flexural strength to uniaxial tensile strength in bulk epoxy resin polymeric materials, *Polymer Testing*, 40, 156-162.

Yeniova, C.E., Yilmazer, U., 2010, Characteristics of impact modified polystyrene/organoclay nanocomposites, *Polymer Composites*, 31 (11), 1853-1861.

Yilmazer, U., Ozden, G., 2006, Polystyrene–organoclay nanocomposites prepared by melt intercalation, in situ, and masterbatch methods, *Polymer Composites*, 27 (3), 249-255.

Yu, J., Liang, W., Wang, L., Li, F., Zou, Y., Wang, H., 2015, Phosphate removal from domestic wastewater using thermally modified steel slag, *Journal of Environmental Sciences-China*, 31, 81-88.

Yu, T., Jiang, N., Li, Y., 2014, Study on short ramie fiber/poly(lactic acid) composites compatibilized by maleic anhydride, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 64, 139-146.

Zahedi, M., Pirayesh, H., Khanjanzadeh, H., Tabar, M.M., 2013, Organo-modified montmorillonite reinforced walnut shell/polypropylene composites, *Materials & Design*, 51, 803-809.

Zhang, J., Qi, S., 2014, Mechanical, thermal, and dielectric properties of aluminum nitride/glass fiber/epoxy resin composites, *Polymer Composites*, 35 (2), 381-385.

Zhang, J., Qi, S., 2014, Preparation and properties of silicon nitride/glass fiber/epoxy composites, *Polymer Composites*, 35 (7), 1338-1342.

Zhang, Z.-s., Lian, F., Ma, L.-j., Jiang, Y.-s., 2015, Effects of quicklime and iron tailings as modifier on composition and properties of steel slag, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 22 (1), 15-20.

Zhao, L., Li, Y., Zhou, Y., Cang, D., 2014, Preparation of novel ceramics with high CaO content from steel slag, *Materials & Design*, 64, 608-613.

Zheng, X., Jiang, D.D., Wilkie, C.A., 2006, Polystyrene nanocomposites based on an oligomerically-modified clay containing maleic anhydride, *Polymer Degradation and Stability*, 91 (1), 108-113.

Zhou, Y., Feng, J., Peng, H., Qu, H., Hao, J., 2014, Catalytic pyrolysis and flame retardancy of epoxy resins with solid acid boron phosphate, *Polymer Degradation and Stability*, 110, 395-404.

Zotti, A., Borriello, A., Martone, A., Antonucci, V., Giordano, M., Zarrelli, M., 2014, Effect of sepiolite filler on mechanical behaviour of a bisphenol A-based epoxy system, *Composites Part B: Engineering*, 67, 400-409.

Zuberi, M.J.S., 2014, Karbon nanotüp takviyeli polimer kompozitlerin sayısal modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-10.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Gülcihan GÜZEL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Serik-21.02.1989
Telefon	**:**	03322232070
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	gulcihanguzel@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Karaman Anadolu Lisesi/KARAMAN	2007
Üniversite	:	Hacettepe Üniversitesi/ANKARA	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi/KONYA	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013-	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Makale

- Guzel, G. and Deveci, H., 2015, Physico-mechanical, thermal, and coating properties of composite materials prepared with epoxy resin/steel slag, *Polymer Composites*, DOI: 10.1002/pc.23768. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)

Bildiri

- Güzel, G. and Deveci, H., 2015, Application Properties of Groundnut Hull/Epoxy Composites, *ICENS 1st International Conference On Engineering And Natural Science*, Skopje-Macedonia, 269-275 (Oral presentation). (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)

- Güzel, G. ve Deveci, H., 2015, Yerfıstığı Kabuğu/Epoksi Kompozitleri ve Fizikomekanik Özellikleri, *27. Ulusal Kimya Kongresi*, Çanakkale, 571 (Sözlü sunum). (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)

- Guzel, G., Sakir, V., and Deveci, H., 2015, Physico-mechanical and thermal properties of epoxy-tincal composites, *3rd International Conference Harmonization of Environmental Research and Teaching with Sustainable Policy*, Shkodra-Albania, 126-133 (Oral presentation).