

**BOR ATIĞI KATKILI POLİMER KOMPOZİTLERİN
AŞINMA VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN**

İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihan ÖZORAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Aralık, 2014

Bu tez çalışması 2013.Ç0405 numaralı BOREN ve 13.FEN.BİL.53 numaralı BAPK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BOR ATIĞI KATKILI POLİMER KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Cihan ÖZORAK

DANIŞMAN

Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK, 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Cihan ÖZORAK tarafından hazırlanan “Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 08/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Başkan : Doç. Dr. Atilla EVCİN
AKÜ, Mühendislik Fakültesi İmza

Üye : Doç. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
AKÜ, Mühendislik Fakültesi İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/12/14

İmza

Cihan ÖZORAK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**BOR ATIĞI KATKILI POLİMER KOMPOZİTLERİN AŞINMA VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Cihan ÖZORAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ

Bu tez çalışmasında, bor atığı katkılı polimer kompozitlerin aşınma ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Matriks malzeme olarak epoksi reçine kullanılmış olup takviye elemanı olarak da 75 µm boyutunda bor atığı kullanılmıştır. Ağırlıkça farklı oranlardaki (%0-60) bor atığı reçine ile karıştırılarak kalıplara dökülmüş ve oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Deney numuneleri iki gruba ayrılmıştır. 1. gruptaki deney numuneleri oda sıcaklığında 1 gün, 2. gruptaki deney numuneleri ise oda sıcaklığında 28 gün bekletilerek aşınma ve mekanik testleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda bor atığı ilavesiyle özellikle basma dayanımını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.

2014, xiii + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Epoksi reçine, bor, bor atığı, mekanik özellikler

ABSTRACT
M.Sc Thesis

INVESTIGATION OF WEAR AND MECHANICAL PROPERTIES OF BORON
WASTE DOPED POLYMER COMPOSITES

Cihan ÖZORAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim GÜNEŞ

In this study, boron waste doped polymer composites of abrasion and mechanical properties were investigated. Epoxy resin is used as matrix material and 75 mm size of boron waste is used as reinforced element. In different proportions by weight (0-60%) of boron waste mixed with resin is poured into molds and after standing for 1 day at room temperature is removed from mold. The test specimens were divided into two groups. In Group 1 test specimens at room temperature for 1 day, whereas the samples in Group 2 allowed to stand at room temperature for 28 days of wear and mechanical tests were conducted. As a result of experiments conducted by the addition of boron waste especially the compressive strength was found to increase significantly.

2014, xiii + 87 pages

Key Words: Epoxy resin, boron, boron waste, mechanical properties

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel alışmaların ynlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim Güneş'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Tayfun UYGUNOğLU'na, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez alışması "Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma ve Mekanik zelliklerinin İncelenmesi" isimli 13.FEN.BİL.53 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK tarafından ve "Atık Bor Tozlarının Epoksi Zemin Kaplamada Kullanılması" isimli 2013.0405 numaralı proje ile Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü tarafından desteklenmiştir. Çalışmamı destekleyen kurumlara desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Cihan ÖZORAK
AFYONKARAHİSAR, 2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Kompozit Malzemeler Hakkında Genel Bilgi	3
2.1.1 Kompozit Malzemelerin Gelişimi	5
2.1.2 Kompozit Malzemelerin Bileşenleri.....	7
2.1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	9
2.1.3.1 Seramik Matrisli Kompozitler	10
2.1.3.2 Metal Matrisli Kompozitler	11
2.1.3.3 Polimer Matrisli Kompozitler	11
2.1.4 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	12
2.2 Bor ve Bor Atığı Hakkında Genel Bilgi	13
2.2.1 Borun Tarihçesi	13
2.2.2 Borun Tanımı ve Oluşumu	14
2.2.3 Bor Mineralleri ve Bileşikleri.....	16
2.2.4 Bor Kullanım Alanları	17
2.2.5 Dünyada ve Türkiye’ de Bor	21
2.2.6 Bor Atıkları ve Bor Atıklarının Değerlendirilmesi.....	24
2.3 Polimerler Hakkında Genel Bilgi	25
2.3.1 Reçine	29
2.3.1.1 Termoplastik Reçineler	29
2.3.1.2 Termoset Reçineler	30
2.3.2 Kompozit Malzemelerin Kalıplanmasında Rastlanan Başlıca Hatalar.....	36
2.3.2.1 Gözenekli yüzey.....	36
2.3.2.2 Yüzeyde kabarcık oluşumu.....	36
2.3.2.3 Renkli yüzey oluşumu.....	36

2.3.2.4	Yüzeyde matlık	36
2.3.2.5	Kalıplama malzemesinin kalıba yapışması veya sıkışması	37
2.3.2.6	Ürünün bükülmüş olması	37
2.3.2.7	Akma çizgileri	37
2.3.2.8	Çatlak oluşması	37
2.3.2.9	Çökeltmeler	37
2.4	Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu	38
2.4.1	Sertlik Deneyi	38
2.4.2	Çekme Deneyi	38
2.4.3	Darbe Deneyi	40
2.4.4	Basma Deneyi	41
3.	MATERYAL VE METHOD	42
3.1.	Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	42
3.1.1	Epoksi Reçine	42
3.1.2	Bor Atığı	43
3.2	Polimer Kompozit Malzeme Üretim Yöntemi	44
3.2.1	Öğütme ve Eleme	44
3.2.2	Numunelerin Döküldüğü Kalıplar	44
3.2.3	Karışım Oranları ve Karışımın Hazırlanması	45
3.2.4	Karışımın Kalıba Dökülmesi	46
3.2.6	Döküm Yapıldıktan Sonra Bekleme ve Kalıptan Çıkarma	46
3.3	Araştırma Yöntemleri	46
3.3.1	Taze Haldeki Özellikler	46
3.3.1.1	Viskozite Değerleri	46
3.3.1.2	Eşik Gerilme Değerleri	47
3.3.2	Mekanik Özellikler	48
3.3.2.1	Sertlik Deneyi	48
3.3.2.2	Çekme Dayanımı	48
3.3.2.3	Darbe Dayanımı	49
3.3.2.4	Basınç Dayanımı	49
3.3.3	Fiziksel Karakterizasyon	50
3.3.3.1	Su Emme Oranı ve Görünen Porozite Oranı	50
3.3.3.2	Aşınma Dayanımı	52
3.3.3.3	Asitlere Dayanıklılık	53
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
4.1	Taze haldeki Özellikler	54

4.1.1 Viskozite Değerleri Test Sonuçları.....	54
4.2 Mekanik Özellikler	57
4.2.1 Sertlik Ölçümü Test Sonuçları	57
4.2.2 Çekme Dayanımı Test Sonuçları.....	58
4.2.3 Darbe Dayanımı Test Sonuçları	60
4.2.4 Basma Dayanımı Test Sonuçları	63
4.3 Fiziksel Karakterizasyon.....	65
4.3.1 Su Emme ve Görünen Porozite Deneyi Test Sonuçları.....	65
4.2.1 Aşınma Dayanımı Test Sonuçları.....	67
4.2.2 Asitlere Dayanıklılık Test Sonuçları	68
4.4 Yüzey Özellikleri	69
4.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu	69
4.5 Maliyet Hesabı	72
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	73
6. KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

cm ³	Santimetreküp
mm	Milimetre
µm	Mikrometre
Pa.s	Paskal saniye
ppm	Milyonda bir tanecik
rpm	Dakikadaki devir sayısı

Kısaltmalar

LTK	Lif Takviyeli Kompozit
TETA	Triethylenetetramine
GFRP	Cam Fiber Takviyeli Polimerler
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimerler
MMK	Metal Matriksli Kompozitler
PVC	Polivinilklorür
BNCT	Bor Nötron Yakalama Terapisi
PEEK	Polieter eter keton
PPS	Polifenilensülfid
PTFE	Teflon (politetrafloroetilen)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin tanımı.....	3
Şekil 2.2 Kompozit malzemelerde kullanılan matriks fazların sıcaklıkla yoğunluklarının karşılaştırılması.....	7
Şekil 2.3 Kompozit Malzemelerdeki yapı bileşenleri.....	8
Şekil 2.4 Arayüzey bağ türleri.....	9
Şekil 2.5 Yapısal bileşenlerin şekline göre kompozit sınıflandırması.....	10
Şekil 2.6 Bor'un kristal yapısı.....	15
Şekil 2.8 Polimer molekülünün oluşumu.....	25
Şekil 2.9 Doğrusal, dallanmış, çok dallı veya çapraz polimerlerin şematik gösterimi. .	27
Şekil 2.10 Amorf yapıli polimerler.....	28
Şekil 2.11 Kristal yapıli polimerler.....	28
Şekil 2.12 Termoset Moleküllerin Kür İşlemi Sırasında Çapraz Bağlanması.....	31
Şekil 2.13 Doymamış Polyester Sentezi.....	32
Şekil 2.14 Yapısı Değiştirilmemiş Epoksi Prepolimer Reçine.....	34
Şekil 2.15 TETA'nın Kimyasal Yapısı.....	34
Şekil 2.16 Tipik Bir Vinilester Kimyasal Yapısı.....	35
Resim 2.1 Shore D Sertlik Cihazı.....	38
Şekil 2.17 Çekme (tensile) numunesi ve gerilme test yöntemi.....	38
Şekil 2.18 Bazı polimerik malzemelerin gerilme-uzama (stress-strain) eğrileri.....	40
Şekil 2.19 Charpy Darbe Test Düzenekleri.....	41
Şekil 4.1 Bor atığı ve kuvars kumunun yayılma çapına etkisi.....	54

Şekil 4.2 Bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin eşik gerilmesi değerleri.....	55
Şekil 4.3 Bor atığı katkılı harcın viskozite değerleri.....	56
Şekil 4.4 Kuvars kumu katkılı harcın viskozite değerleri.	56
Şekil 4.5 Bor atığı katkılı ve kum katkılı numunelerin sertlik değerleri.....	57
Şekil 4.6 Bor Atığı katkılı kompozitin 1 gün sonundaki çekme grafiği.	58
Şekil 4.7 Kum katkılı kompozitin 1 gün sonundaki çekme grafiği.....	58
Şekil 4.8 Bor atığı katkılı kompozitin 28 gün sonunda çekme grafiği.....	59
Şekil 4.9 Kum katkılı kompozitin 28 gün sonunda çekme grafiği.....	59
Şekil 4.10 Bor atığı katkılı kompozitin 1 ve 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.11 Kum katkılı kompozitin 1 ve 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.12 Bor atığı katkılı ve Kum katkılı kompozitlerin 1 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.13 Bor atığı katkılı ve Kum katkılı kompozitlerin 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.14 Bor atığı katkılı kompozitin 1 gün ve 28 gün sonunda basma grafiği.	63
Şekil 4.15 Kum katkılı kompozitin 1 gün ve 28 gün sonunda basma grafiği.	64
Şekil 4.16 Bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin 1 gün basma sonuçlarının karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.17 bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin 28 gün sonunda basma sonuçlarının karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.18 Bor atığı katkılı ve kum katkılı numunelerde su emme oranı grafiği.	66
Şekil 4.19 Bor atığı katkılı ve kum katkılı numunelerde görünen porozite oranı grafiği.....	66

Şekil 4.20 28 gün sonunda aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.21 Bor atığı katkılı kompozitin 28 gün sonunda ağırlık değişimi grafiği.	68
Şekil 4.22 Kum katkılı kompozitin 28 gün sonunda ağırlık değişimi grafiği.	68
Şekil 4.20 Bor atığı katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.	69
Şekil 4.21 Kum katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.	70
Şekil 4.22 Bor atığı katkılı polimer kompozitin sem görüntüsü ve EDX analizi.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Bor Cevheri ve Kullanım Alanları.	17
Çizelge 2.2 Ticari önemi olan bor mineralleri.	22
Çizelge 2.3 Türkiye’de mineral bazında rezerv miktarları.....	23
Çizelge 2.4 Bor madeni ocakları ve yöreleri.	23
Çizelge 2.5 Tipik Katkısız Termoplastik Reçinelerin Özellikleri.	30
Çizelge 2.6 Bazı Reçinelerin Kullanım Yerleri.....	31
Çizelge 2.7 Polyester Katkı Malzemeleri.....	33
Çizelge 2.8 Tipik Dolgusuz Termoset Reçinelerin Fiziksel Özellikleri.	33
Çizelge 3.1 Teknobond 300 epoksi reçinenin teknik özellikleri.	43
Çizelge 3.2 Karışımların bileşen miktarları.	45
Çizelge 4.2 Bor atığı XRF sonuçları.	71

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Sertlik Cihazı	38
Resim 3.1 Numune üretiminde kullanılan epoksi reçine	42
Resim 3.2 Eskişehir-Kırka bor tesisi atıklarından bir görünüm.....	43
Resim 3.3 Kuvars kumu ve 200 mesh elekten geçirilmiş atık bor.....	44
Resim 3.4 Darbe numunelerini	44
Resim 3.5 Çekme numuneleri	45
Resim 3.6 Basma numuneleri	45
Resim 3.7 Brookfield viskozite cihazı ve kullanılan spindle a)Viskozite cihazı ve ölçümü b) V74 spindle.....	47
Resim 3.8 Yayılma konisi	47
Resim 3.9 Çekme cihazı.....	48
Resim 3.10 Charpy darbe test cihazı.....	49
Resim 3.11 Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı.....	49
Resim 3.12 ± 0.01 g duyarlıklı hassas terazi.....	50
Resim 3.13 Su içindeki doymuş ağırlığın hesaplanması.....	51
Resim 3.14 Aşınma test cihazı	52
Resim 3.15 Kum ve Bor atığı katkılı polimer kompozitin aşınma sonrası görüntüsü ...	52
Resim 3.16 Asitlere dayanıklılık deneyi yapılışı	53
Resim 4.1 Çekme deneyi sonrası numuneler	60
Resim 4.2 Charpy darbe deneyi sonrası numuneler.....	63
Resim 4.3 Basma deneyi sonrası numuneler.....	63

Resim 4.4 Korozyon deneyi sonrası numuneler	68
--	----

1. GİRİŞ

Günümüzdeki araştırmalarda enerji çevre ve ekonomik problemlerin çözümü doğrultusundaki çalışmalara önem verilmektedir. Bu çalışmalarda; ülke ekonomisine ve çevreye katkıda bulunmak için atıklardan ülkelerdeki doğal kaynaklara kadar yararlı olabilecek ya da zararı önlenecek her konuda çalışmalar artarak devam etmektedir. Bunlardan inşaat sektörüne düşen kısmı ise en yoğun kullanılan yapı malzemeleri üzerindeki problemlerin azaltılması ve doğal, ucuz malzemeler kullanılması konusundaki araştırmalardır (Çolak 1997, Sönmez vd. 1995, Kavas vd. 1999). Bu malzemelerden birisi de polimerlerdir. Günümüzde polimerler inşaat teknolojisinde genellikle epoksi zemin kaplama olarak kullanılmaktadır. Epoksi zemin kaplamalarında ağır yük taşıyan ve yüksek dayanım isteyen zeminlerin kaplanmasında mevcut firmalar tarafından epoksi ile kuvarsit malzemeleri mikron boyutta toz halde kullanılmakta ve özel olarak hazırlanarak satılmaktadır (Uygunoğlu 2012). Halbuki polimer malzemelerle bor tuzu gibi malzemeler de çok iyi bir şekilde reaksiyona girerek yüksek dayanımlı ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Diğer bir yandan Türkiye'nin sahip olduğu madenler içerisinde, rezerv ve üretim kapasitesi, yüksek tenörü, rezerv büyüklüğü, işletme kolaylıkları ile gerek kalite ve çeşitlilik, gerekse de üretim maliyetlerindeki rekabet üstünlükleri açısından dünyada söz sahibi olabileceği en önemli maden, dünya rezervinin %72'sine sahip olduğumuz bor cevherleridir (Ertuğrul vd. 2004, Kalafatoğlu vd. 2000).

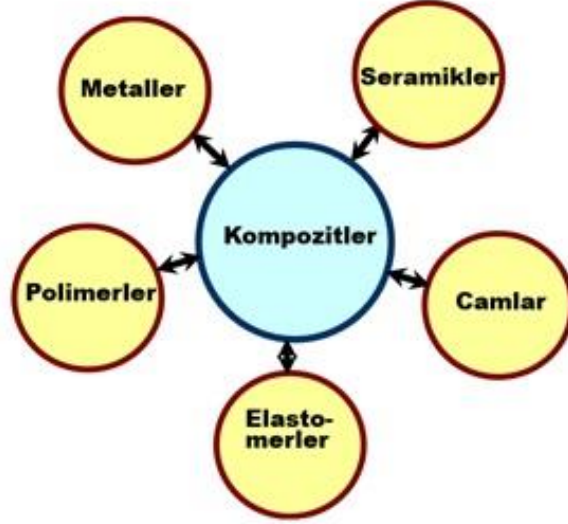
Günümüzde bora olan talebin artması sonucu hem ülkemizde hem de dünyada işlenen bor miktarı da artmıştır (Çetin 2006). Bu üretim artışının sonucunda, tesislerde işlenen borun toz ve kırıntı atıkları, tesislerin atık sahalarına depolanmaktadır. Bor minerallerinin yan kayacının çoğunlukla kil mineralleri içermesi, bu atıkların seramik sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık borların seramik sanayinde frit, sir ve masse yapımında da kullanılabilir (Sönmez vd. 1993). Atık borların inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirtilmektedir (Bentli ve Çakı 2001). Bu atıkların çok az bir bölümü değerlendirilmektedir. Atıkların büyük bir bölümü verimli arazilere, nehirlere, göllere, denizlere boşaltılmaktadır ve bu atıklar hem çevre kirliliği oluşturmakta hem de verimli arazileri verimsiz hale getirmektedir (Karadeniz 1996).

Bu tez çalışmasında, polimer esaslı epoksi zemin kaplaması üretiminde kuvarsit yerine çevrede atık halde bulunan bor tozlarının kullanılması ve bu sayede hem bu atıkların geri dönüşümü için yatırımların azaltılıp ülke ekonomisine kazandırılması hem de daha kaliteli ve ekonomik kaplama malzemesi olarak kullanılacak yeni ürünler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece epoksi reçine matrisli, bor atığı katkılı kompozit malzeme üretilmiş yapılan deneylerin sonuçları referans malzeme olan kuvars kumu ile karşılaştırılmış ve malzeme yapı bileşenlerinin optimum karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Kompozit Malzemeler Hakkında Genel Bilgi

Kompozit terimi en geniş manasıyla çok kristalli birden çok metal ve ametal parçadan oluşan malzeme demektir (Akbulut 2013).



Şekil 2.1 Kompozit malzemelerin tanımı.

Bir malzemenin kompozit malzeme sayılabilmesi için:

- İnsan tarafından üretilmelidir.
- Farklı bileşenleri bulunmalı ve kimyasal olarak birbirinden farklı en az iki malzeme kombinasyonundan üretilmelidir.
- Kompozit malzemeyi oluşturan malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidirler.
- Kompozit malzeme, kendisini oluşturan bileşenlerin özelliklerinden daha iyi olmalıdır yani bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikleri göstermelidir (Akbulut 2013).

Kompozit malzemeler makro boyutta heterojen karakterlidirler. İç yapılarına gözle bakıldığında bileşenleri ayırt edilebilir (Akbulut 2013, Schwartz 1997). Kompozit terimi, farklı parça veya elementlerden üretilen malzemeleri tanımlar. Bu düşünceden yola çıkarsak pek çok malzeme kompozit malzeme tanımı içine girebilir. Fakat bu durumda,

alaşım lar gibi mühendislik malzemeleri ile kompozit malzemeleri birbirinden ayırt edilmesinin zorlaşacağı ve hatta imkansız olacağı açıktır (Akbulut 2013, Schwartz 1997).

Tanımlamadaki farklılıklar, kompozit malzeme bileşenlerinin mikro ve makro boyutlarda tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

Yapı bileşenlerinin boyutsal seviyelerini göz önünde bulundurmak gerekir. Bunlar;

Atomik Seviye: Tek molekül ve kristal hücrelerine göre. Tüm malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki atomların bağ yapması durumunda kompozit malzemedir.

Mikroyapısal Seviye: İki kristal, iki faz, iki molekül kompozit. Çelikler, dökme demirler, intermetalikler kompozit malzemedir.

Makroyapısal Seviye: Kaba olarak iki bileşenden oluşan yapılar kompozittir. Farklı makrobileşenlere sahiptir.

Bu tanımlar da kompozit malzeme olarak bilinen bazı malzemeleri ise kapsamamaktadır. Daha kapsayıcı bir tanım olması için bileşenlerin tabiatları ve iki farklı özellikleri daha göz önüne alınmaktadır (Akbulut 2013).

Bu özellikler;

- Kompoziti malzeme bileşenleri çoğunlukla farklı kimyasal yapıya sahiptirler,
- Birbirleri içinde çözünmezler.

Bu şartlar altında kompozit malzemelerin tamamını kapsayacak tanımını yapacak olursak:

“Temel olarak birbiri içinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip, iki veya daha fazla makrobileşenin karışımından veya birleşmesinden meydana gelen malzeme sistemidir.” (Akbulut 2013, Schwartz 1997).

Kompozit malzemelerin en önemli avantajı kendini oluşturan bileşenlerin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Kompozit malzemelerin üretimiyle aşağıdaki özelliklerden biri veya birkaçının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu özellikler;

- Yorulmaya karşı dayanım
- Aşınmaya karşı dayanım
- Korozyona karşı dayanım
- Kırılma Tokluğu
- Çekme Dayanımı
- Yüksek Sıcaklık Özellikleri
- Isıl İletkenlik
- Elektrik iletkenliği
- Akustik iletkenlik
- Rijitlik
- Ağırlık
- Estetik görünüm
- Fiyat (Ulçay 1989, Ulçay vd. 2002, Ersoy 2005, Akbulut 2013).

2.1.1 Kompozit Malzemelerin Gelişimi

Kompozit malzemeler isim olarak yeni olmasına rağmen, kullanımı çok eskilere dayanan malzemelerdir. Sümerler tarafından kullanılan ve günümüzde de hâlâ kullanılmaya devam eden kerpiç, bir kompozit malzemenin bütün özelliklerini barındırmaktadır. İnşaatlarda kullanılan betonarme ve yollarda kullanılan asfalt kompozit malzemelerin en yaygın ve en iyi örneklerindedir (Akbulut 2013, Schwartz 1997).

Kompozit malzemeler, bir matriks bağlayıcı faz içerisine çeşitli takviye malzemesi ilavesinin ardından malzemenin sertleşmesiyle oluşur. Takviye malzemeleri kerpiç de saman, betonarme de demir çubuklar ve asfaltta ise mıcır kullanılmaktadır (Akbulut 2013).

10000 MÖ → Saman ve Çamur
2000 MÖ → Kontraplak
1940' lar → Cam Fiber Takviyeli Polimerler (GFRP)
1960' lar → Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (CFRP)
1970' ler → Metal Matriks Kompozitler (MMK)
1971 → Kevlar
1976 → Seramik Matriksli Kompozitler

Mühendislik malzemelerinin farklı yerlerde farklı özelliklerinin iyi olması istenebilir. Bunlar;

- Mekanik özellikler : Çekme, basma, eğme, akma, sürünme, yorulma mukavemeti, sertlik, tokluk, rijitlik, aşınma direnci,
- Fiziksel özellikler : Elektrik iletkenliği/yalıtkanlık, ısı iletkenlik/ yalıtkanlık, manyetik özellikler, yoğunluk,
- Kimyasal özellikler : Kararlılık, korozyon direnci (Akbulut 2013, Schwartz 1997).

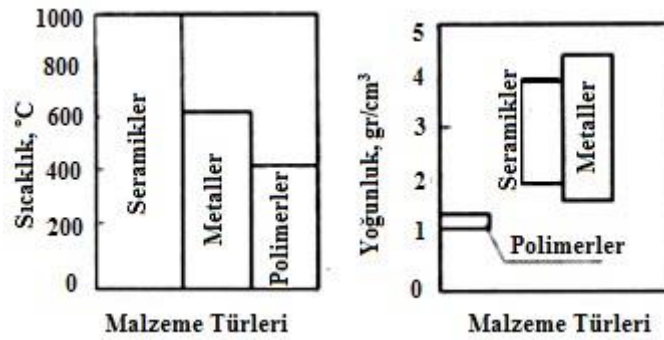
Özellikle son yıllarda plastikler, günlük hayatımızın ve mühendislik uygulamalarının vazgeçilmezi olmuşlardır. Plastikler ev eşyalarımızdan günlük giysilerimize, ulaşım araçlarımıza kadar çok geniş kullanım alanı bulmuştur; düşük yoğunlukları, hammaddelerinin nispeten ucuz olması, düşük bir maliyetle şekillendirilebilmeleri ve ürünlerde istenilen renk seçeneği bulundurmasıyla diğer malzemelerin bir adım önünde bulunmaktadır. Kısaca PVC olarak tanınan polivinilklorür, teflon olarak bilinen politetraflörüretilen, naylon olarak tanıdığımız poliamidler, epoksi reçineleri, polyesterler bu tür malzemelerin en güzel örneklerindedir. Plastik malzemelerin kullanım alanlarını sınırlayan başlıca etkenler mukavemet, rijitlik ve ergime sıcaklıklarının düşük olmasıdır. Bu özelliklerin iyileşmesi veya kabul edilebilir bir düzeye getirilmesi ancak kompozit malzemeler denilen karma malzemeler üretimiyle mümkündür. Bu amaçla takviye elemanı olarak; cam, grafit, asbest, mika, selüloz, metal karbürler, metal nitrürler veya metaller kullanılmaktadır. Örneğin, polyesterin cam fiberlerle takviyesi sonucu elde edilen ürünün en önemli özellikleri hafif ama mukavemetli olmasıdır. Bakırın iyi elektrik

iletmesi, plastiklerinse iyi yalıtım özelliği olması sonucu elektrik kabloları üretilmesi yani birbirleriyle çelişen bu iki özelliğin bir araya getirilip kompozit malzeme üretilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu yüzden kompozit malzemelere, “ısmarlama malzeme” gözüyle de bakılabilir yani nerde kullanılacaksa ve neye ihtiyaç varsa o özelliğe göre üretilen malzemelerdir (Akbulut 2013).

Modern teknolojiler: Uzay, Uçak, yapısal ve otomotiv endüstrilerinde hafif, yüksek mukavemetli, üstün özelliklere sahip malzemelere ihtiyaç duyulur. Concord uçaklarda 2187km/h maximum hızda burun sıcaklığı 157 °C'dir. Uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinden önemli malzeme özellikleri mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranlarıdır. Bu yüzden hafiflik hayati önem taşımaktadır (Akbulut 2013).

2.1.2 Kompozit Malzemelerin Bileşenleri

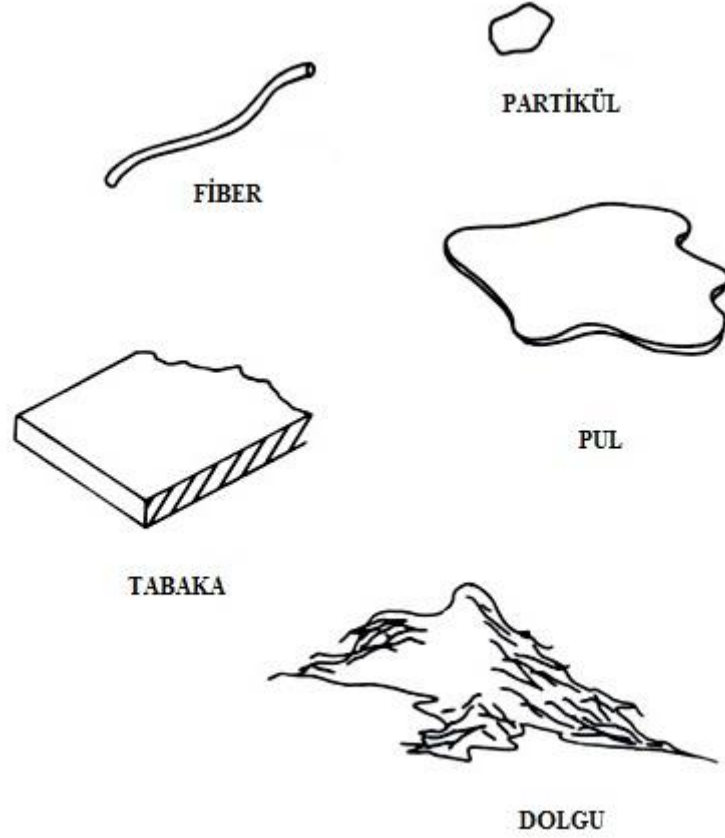
Kompozit malzemelerde genellikle Polimerler, Seramikler, Metaller olmak üzere üç çeşit matriks malzeme kullanılır. Bunların birbirine göre zayıf ve üstün özellikleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Şahin 2000).



Şekil 2.2 Kompozit malzemelerde kullanılan matriks fazların sıcaklıkla yoğunluklarının karşılaştırılması.

Kompozit malzemelerin bileşenleri metalik, organik veya inorganik esastır. Mümkün olan kombinasyonlarda herhangi bir sınırlama yoktur fakat yapı bileşenlerinin geometrik şekilleri sınırlıdır. Başlıca yapı bileşenleri: Matriks, fiberler, partiküller, pullar, tabakalar ve iskelet tarzındaki üç boyutlu dolgulardır. Matriks hacim bileşenidir. Matriksin esas fonksiyonu; diğer yapı bileşenlerini(fiber, pul vb.) arasında bağlayıcı faz görevi görmek ve bileşenlerin dağılmasını sağlamak, malzemeye gelen gerilmeleri takviye faza iletmek

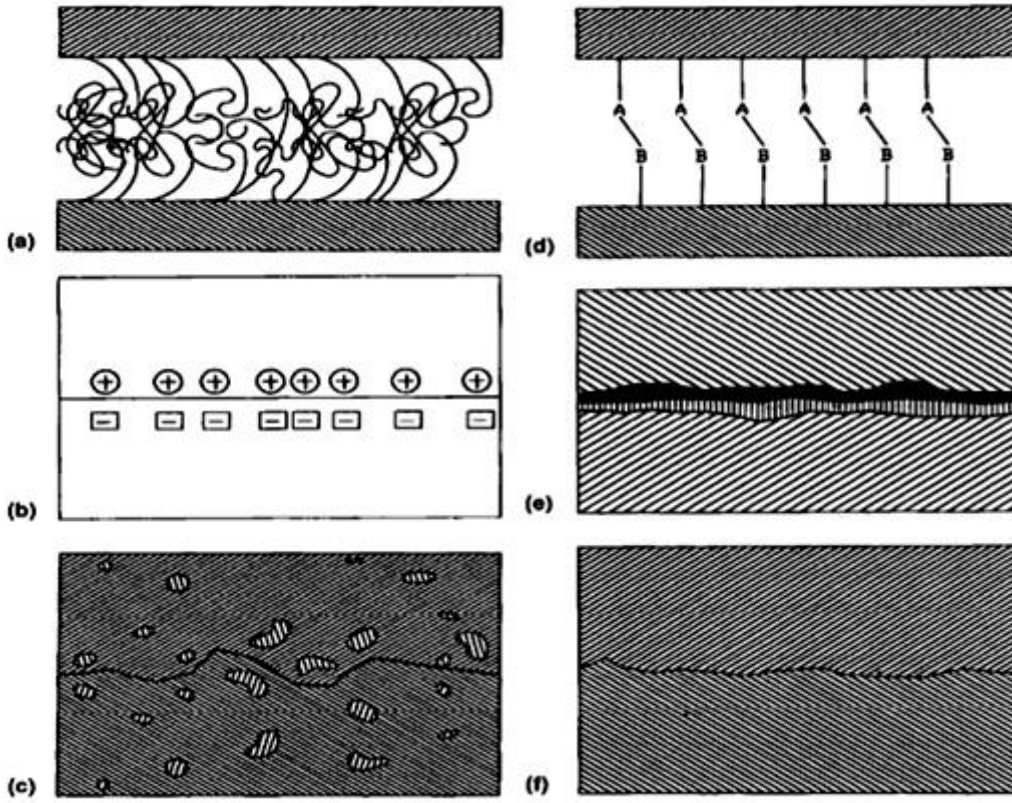
ve malzemenin kolay şekillenmesini sağlamaktır. Bunun yanı sıra matriks fazı kompozit malzemenin mekanik, fiziksel, kimyasal özelliklerini de etkiler. Kompozit malzemelerin yapı bileşenleri Şekil 2.3 'te gösterilmiştir (Akbulut 2013).



Şekil 2.3 Kompozit Malzemelerdeki yapı bileşenleri.

Matriks malzemesi ile takviye malzemesi kendi aralarında reaksiyona girip istenmeyen ürünler oluşturmamalıdır. Matriksle takviye malzemesi güçlü bir bağ oluşturmalı ve termal genleşmelerden dolayı çatlak oluşmaması için termal genleşme katsayıları birbirine yakın olmalıdır. Isıya maruz kaldıklarında birbirlerini zayıflatmamalıdır (Haris 1986, Yıldırım 2005).

Matriks fazı ile takviye elemanı arasında oluşan arayüzeydeki bağ çeşitleri bileşen türü, üretim sıcaklığı, ön işlemlere göre değişebilir. Bu bağ türleri Şekil 2.4 'te gösterilmiştir (Akbulut 2013).



Şekil 2.4 Arayüzey bağ türleri: (a) Moleküler etkileşim, (b) Elektrostatik çekim, (c) Elementlerin karşılıklı difüzyonu, (d) Gruplar arası kimyasal reaksiyon, (e) Yeni bileşik oluşturacak şekilde kimyasal reaksiyon (özellikle MMK larda), (f) Mekanik kitlenme.

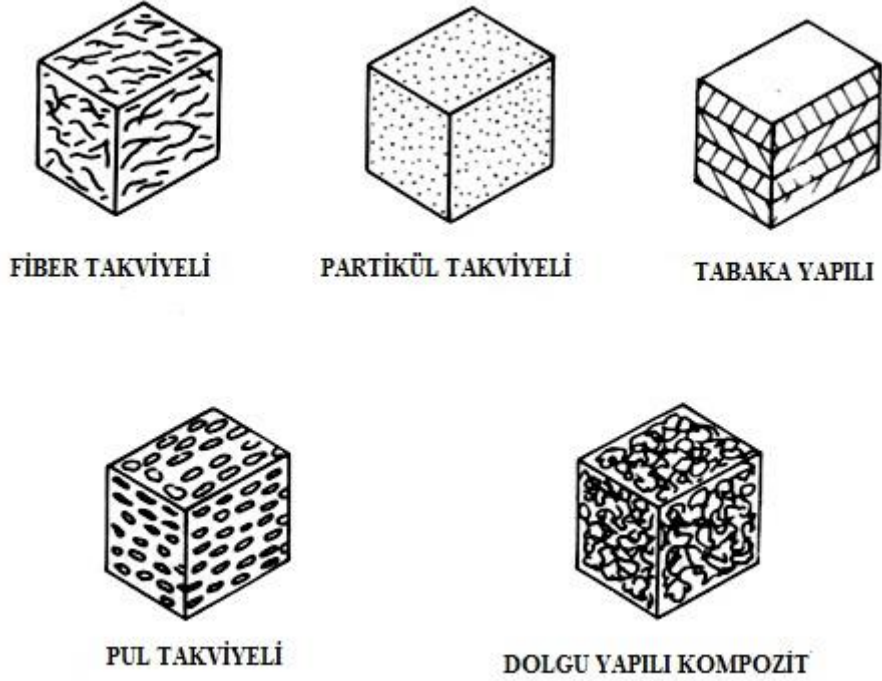
Bileşenler, bileşenlerin dağılımı, bileşenler arasındaki etkileşim kompozit malzemelerin özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir (Agarwall vd. 1980, Ersoy 2005).

2.1.3 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler için çok farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır.

- Malzeme kombinasyonları (Metal-organik veya metal-inorganik)
- Bileşen fazların karakteristikleri (Matriks sistemleri),
- Bileşenlerin dağılımları (Sürekli, süreksiz),
- Fonksiyonları (Elektiriksel veya yapısal)

Yapısal bileşenlerin şekline göre kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Akbulut 2013).



Şekil 2.5 Yapısal bileşenlerin şekline göre kompozit sınıflandırması.

Aşağıda yapılmış olan sınıflandırma kompozit malzemeler için yapılabilecek en genel sınıflandırmadır (Schwartz 1997).

- Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler
- Metal Matrisli Kompozit Malzemeler
- Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler

2.1.3.1 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramiklerin yoğunluğu düşük, dayanıklılığı iyi ve sert olmalarına karşın oldukça gevrektiler. Seramikler genellikle termal ve kimyasal etkilere karşı oldukça dirençlidirler ve yalıtıkcandırlar. Ancak ergime sıcaklığının yüksek olması ve sert olmaları işlenmelerini zorlaştırır. Seramik kompozitlerde genellikle $\text{Li}_2\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, SiO_2 ve $\text{BaO- SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$ (SiC ile) gibi seramik matrisler kullanılır. Takviye fazları olarak çoğunlukla Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 kullanılmaktadır (Şahin 2000).

2.1.3.2 Metal Matriksli Kompozitler

Metaller makine ve metalürji dalında oldukça büyük öneme sahiptir, orta ve yüksek yoğunluğa sahip olmasına karşın tokluk ve dayanımını en uygun olan malzemeler metallerdir. Metallerin işlenebilmesi, dökülebilmesi, plastik deformasyona uğratılıp şekillendirilebilir olması, karmaşık parçalarda kaynak yapılabilir olması veya vida ve perçinle birleştirilmeye elverişli olması önemli özellikleridir (Şahin 2000).

Metal matriksli kompozitlerde kullanılan matriks fazları alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum, gibi hafif metal alaşımlarıdır, takviye fazları olarak ise karbon, bor ve diğer bazı metallerin elyaf, parçacık, plakacık, kıl-kristal gibi takviye elemanları kullanılır (Korçak 2005, Akın 2007, Gürü ve ark 2005).

2.1.3.3 Polimer Matriksli Kompozitler

Kullanımı ve önemi tüm dünyada hızla artan malzemelerden biri olan polimer ve polimer kompozitler yüksek mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde endüstriyel alanda da kendilerine çok geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Özellikle hafifliğin önemli olduğu yerlerde hayati öneme sahiptirler. Polimer kompozitlerin hafif ve dayanımı yüksek olması nedeniyle dünyada stratejik öneme sahip malzemeler arasındadır. Değişik amaçlarla tasarlanan polimer matriksli kompozitler sağlamlık, esneklik, hafiflik, çevre şartlarına (nem, güneş ışınları, gibi) dayanıklılık, darbe dayanımı, sertlik, ısıl genleşme katsayıları, yorulma, çatlama ve kırılma, çekme, eğme dayanımları ve benzeri özelliklerinin son derece iyi olması sebebiyle istenilen yere göre istenilen özellikte kullanım imkanı sunmaktadır. İstenilen bütün özellikleri tek bir malzemedeki bulmak oldukça zor hatta yer yer imkansız olabilir. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra polimer matriksli kompozitlerin kullanılmaya başlamasıyla endüstride önemli bir boşluk dolmuştur. Günümüzde yaygın olarak maliyet yüksekliğinin pek önemli olmadığı yerlerde kullanıldığı gibi (uçak, roket vb.) günlük hayatımızın da önemli bir parçası olmuştur (lastik, beyaz eşya, mutfak eşyaları vb.) (Şahin 2000, Tavlı 2004, Öksüz ve Yıldırım 2005).

Polimer matrikslerin yoğunlukları düşük olması sebebiyle işlenebilirliği kolay ve karmaşık şekilli parçaları üretirken birleştirilebilir olması en önemli özelliklerindedir. Fakat termal dayanımlarının düşük, çevresel etkilere karşı tehlikeli olması ve düşük mekanik özellikleri de polimer matriksli malzemelerin negatif yönleridir. Kompozit malzemenin %90 ı polimer matriksli kompozit malzemelerden oluşmaktadır (Şahin 2000).

2.1.4 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajları;

- Kompozit malzemeler hafif olmalarına karşın yüksek sertliğe sahiptirler. Polimer matriksli kompozitlerin yoğunlukları 1,5-2 g/cm³ arasındadır
- Kompozit malzemelerin mukavemet özellikleri yüksektir.
- Kompozit malzemelerin hava şartlarına, kimyasal maddelere ve korozyona direnci oldukça iyidir.
- Kompozit malzemeler yüksek ısı dayanımına sahiptirler.
- Kompozit malzemelerin titreşim ve gürültü dirençleri yüksektir. Bu özellikleri bakımıyla metallere daha iyidirler. Bu özelliklerinden dolayı uçak, helikopter gibi araçların vazgeçilmezi olmuşlardır.
- Kompozit malzemelerin şekillendirilebilmesi ve tasarımı oldukça kolaydır.
- Kompozit malzemelerin elektriksel özellikleri isteğe göre değişebilir. Takviye veya matriks fazına göre iletken veya yalıtkan yapılabilir.
- Kompozit malzemeler araçlarda mümkün olduğunca fazla kullanılır, aracın ağırlığı azalır ve dolayısıyla yakıt tasarrufu sağlar.
- Farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme üretimi mekanik özellikleri doğrudan etkiler.

Kompozit malzemelerin dezavantajları;

- İstenilen yere göre üretildiğinden üretimi zor ve maliyeti yüksektir.
- Kompozit malzemelerin sıcaklık dirençleri matriks malzemeye bağlıdır.

Genellikle polimer matrisli kompozit malzemeler kullanıldığı için sıcaklık direnci sınırlıdır.

- Kompozit malzemelerin kimyasal dirençleri matris malzemeye bağlıdır. Bazı polimerlerin kimyasal dirençleri düşük olduğu için kompozit bileşenleri dikkatli seçilmelidir.
- Kompozit malzemeler nem emer ve şişerler dolayısıyla boyutunda değişiklik olabilir.
- Kompozit malzemelerin geri dönüşümü yoktur.
- Aynı kompozit malzeme için farklı mukavemet değerleri görülebilir.
- Kompozit malzemelerin kalitesi malzemelerin ve üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır.
- Kompozit malzemelerin onarılması kolay değildir (Yıldızhan 2008, Yüksek 2011).

2.2 Bor ve Bor Atığı Hakkında Genel Bilgi

2.2.1 Borun Tarihçesi

Yaklaşık 4000 yıl önce bor tuzları ilk kez Tibet'te kullanılmıştır. Bor minerali, Mısırlılarda mumyalama yaparken, Romalılarda cam yapımında, antik çağlarda Babilliler ve Etilerde, altın ve gümüş işletmeciliğinde lehim olarak, Eski Yunan ve Romalılarda arena temizliği için zemine serpilerek kullanılmıştır. Bor madeni Avrupa'ya, Marco Polo tarafından Tibet'ten getirilmiştir. Araplar 875 yılında ilk kez ilaç yapımında kullanmışlardır (Gürkan 2001).

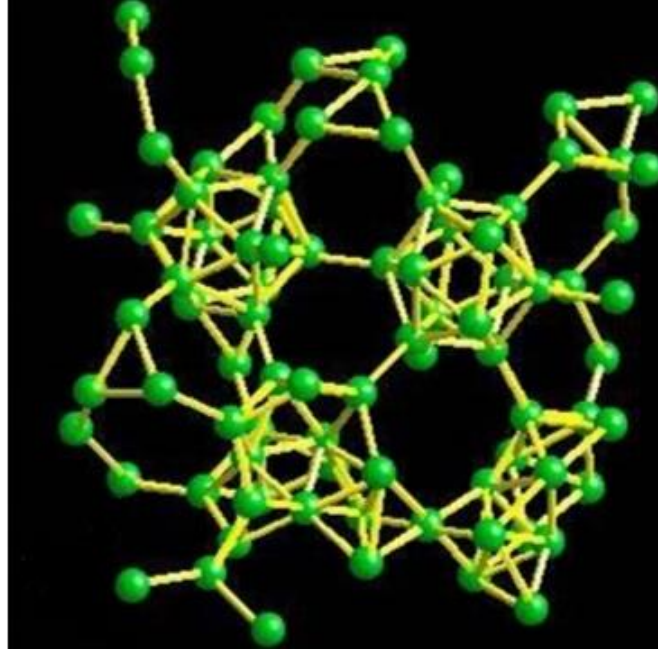
Borik asit ilk kez 1700 li yılların başında kimya öğretmeni William Homberg tarafından demir sülfat ile boraksın ısıtılması ile keşfedilmiştir. Elemental bor ise Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak aynı zamanda İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından 1808 yılında bulunmuştur. 13.yy'da Marco Polo tarafından Tibet'ten Avrupa'ya getirilmesiyle modern bor endüstrisi başlamıştır. İtalya'nın Tuscani bölgesindeki sıcak su kaynaklarında Sassolit bulunduğu 1771 yılında anlaşılmıştır. İtalya'da borik asit üretimi 1830 yılında başlamıştır (Yılmaz 2002).

Türkiye’de ise ilk işletmenin 1861 yılında çıkartılan Maadin Nizannamesiyle 1865 yılında bir Fransız şirketine 20 sene boyunca işletme hakkı verilmesiyle başladığı bilinmektedir (Yılmaz 2002).

Etibank kurulan ilk boraks ve borik asit fabrikalarından yani 1968’den günümüze kadar bor üretimi hakkında önemli bilgi birikimine sahiptir. Tesiste çıkan sorunların tümü ülke ve kurum içindeki mühendislik deneyimleri ve bilgi birikimi ile kısa zamanda çözülmüştür. Yine kurum elemanları ve üniversite işbirliği ile en uygun proses ve mühendislik hizmetiyle Kırka’da kurulan ikinci Boraks Pentahidrat Tesisi 1996 yılından bu yana üretimini devam ettirmektedir (Ölçen 2001).

2.2.2 Borun Tanımı ve Oluşumu

Kökeni Arapça da Buraq/Baurach ve Farsça da Burah kelimelerinden gelen atom numarası 5 ve simgesi (B) olan, yoğunluğu $2,84 \text{ gr/cm}^3$, atom ağırlığı 10.81, ergime noktası $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $4002 \text{ }^\circ\text{C}$ olup, periyodik sistemin üçüncü grubunun en başında yer almaktadır. Bor miktarı yer kabuğunda toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunabilen kristal ya da amorf yapıda ve ortalama 10 ppm’dir. Doğada bulunan bor, kütle numaraları 10 (%19.8) ve 11 (%80.2) olan iki kararlı bor izotopunun karışımından oluşmaktadır (TMMOB 2003, Kocabaş 2002). Doğada genellikle başka elementlerle bileşikler halinde bulunur ve doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali vardır. Bor oksijenle bağ yapmaya yatkın olması sebebiyle pek çok değişik bor oksijen bileşiği bulunmaktadır ve bunlar borat olarak isimlendirilir (Ölçen 2001). Borun kristal yapısı Şekil 2.1’de görülmektedir (Bilim ve Ütopya Dergisi 2002).



Şekil 2.6 Bor'un kristal yapısı.

Borun çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşikler sonucu, pek çok bor bileşiğinin endüstride yaygın olarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Saf borun elektriği iletir, bileşiklerinde ise metal dışı bileşikler gibi davranabilir. Bor hidratlar ise karbon ve silikon bileşiklerine benzerdirler. Kristalize bor, neredeyse elmas kadar serttir ve optik özellik, görünüm açısından da elmasa benzerdir. Endüstriyel açıdan en önemli bor bileşikleri arasında gösterilen boraks (tinkal, sodyum kökenli bor bileşikleri) kolemanit (kalsiyum kökenli bor bileşikleri), üleksit (sodyum- kalsiyum kökenli bor bileşikleri) ana gruplaması altında probertit, kernit, datolit, szyabelit, sasolit, boraks dekahidrat, susuz boraks, boraks pentahidrat, borik asit, susuz borik asit, hidroborasit, sodyum per borat sayılabilir. Yüksek oranda B_2O_3 içermesi bor madeninin değerli olduğu anlamındadır (Gülgönül vd. 1997).

Bor oksit içeren mineraller oldukça fazladır fakat en önemlileri ticari önemi yüksek olan boraks (tinkal), üleksit ve kolemanittir. Bu mineraller belirli ülkelerde belirli izinlerle üretilmektedirler. Türkiye ve A.B.D. dünya bor üretiminin %90'nını karşılamaktadır (Lyday 1991).

Zenginleştirilmiş üleksit, tinkal, kolemanit, boraks veya borik asit gibi mineraller genellikle madencilik faaliyetleri sonucunda elde edilir. Boraks, pentahidrat, susuz

boraks, boraks dekahidrat ve borik asit bor kullanılarak üretilen bor bileşiklerinin en önemlilerindedir. Bor madenleri topraktan çıkarıldıktan sonra sırasıyla kırma, eleme, yıkama ve öğütme işlemlerini izler ve ilgili sanayilerin kullanımına hazır hale getirilir (Gülgönül vd. 1997).

2.2.3 Bor Mineralleri ve Bileşikleri

- **Borasit (Mg_3Cl / B_7O_{13})** Oda sıcaklığında kafes yapısı ortorombiktir. $268^{\circ}C$ 'nin üstünde hekzagonal kafes yapısında kristallenir. Renksiz, mavimsi, yeşilimsi, sarımsı ve gri renklerde görülebilmektedir. Yoğunluğu $2.9 - 3 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Cam parlaklığındadır, ışığı geçirir ve gevrek olan midye kabuğu kırılması gösterir (DPT 1995, DPT 2000).
- **Üleksit $NaCaB_5O_6(OH)_6 \cdot 5 H_2O$** Triklinik kafes yapısında kristallenir. Yoğunluğu 1.96 gr/cm^3 olup ipeksi parlaklıkta ve saydamdır. İğnemsiz ve kılcal lif ve yuvarlak kütleler halinde bulunur. İpeksi parlaklığı ve pamuk topları gibi şekli üleksit için karakteristik bir özelliktir. Isıtıldığı zaman erir ve beyaz renk alır daha sonra saydam olur ve kabarcıklı cama döner. Alevi kırmızıya boyamaktadır. Dünyada en önemli üleksit yatakları Türkiye, ABD, Şili, Arjantin ve Peru'da bulunmaktadır (DPT 1995, DPT 2000).
- **Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)** Monoklinik kafes yapısında kristalleşir. Donuk ve sarı renklidir, renksiz olduğu da görülmektedir. Yoğunluğu $1.7-1.8 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Kısa ve kalın prizmalar şeklinde kristalleri vardır. Gevrek olan mineralleri midye kabuğu kırılması ve yağ parlaklığı göstermektedir. Zamanla minerallerin yüzeyi donuk bir zarla örtülür. Genellikle yabancı maddeler bulundurur. Tadı tuzludur ve tıpta koruyucu ve antiseptik yapımında, temizlikte ve yıkamada, metal oksitlerin kaynaklanmasında, laboratuvar işlemlerinde oldukça fazla kullanılır. Ayrıca oksitlenmeyi önler ve metal dışı alaşım yapımında kullanılabilir. En önemli ve stratejik kullanımı ise atomik reaktörler için nötron yakalayıcı olarak ve roket yakıtında kullanılmasıdır (DPT 1995, DPT 2000).

- **Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)** Monoklinik kafes yapısında kristalleşir. Genellikle ve çoğu hallerde saf ve renksizdir. Yoğunluğu 1.95 gr/cm^3 tür. Yapırsı çok büyük kristalleri gözlenir Kernite anadoludaki boraks yataklarında rastlanmaktadır (DPT 1995, DPT 2000).
- **Kolemanit ($\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)** Monoklinik kafes yapısında kristalleşir. Renksizdir ve çizgilerinin rengi ise beyazdır. Yarı elmas parlaklığında camsı saydam ve yarısaydamdır. Yoğunluğu 2.42 gr/cm^3 tür. Kristalleri düzgün büyümüştür. Sıcak hidrolik asitte çözünür. Bigadiç'te kristal boyutu 10-20 cm'yi bulduğu gözlemlenmiştir. Balıkesir-Bigadiç ve Susurluk, Kütahya- Emet, Eskişehir-Kırka'da en fazla ve en yaygın yatakları bulunduğu bilinmektedir (DPT 1995, DPT 2000).
- **Pandermit ($\text{Ca}_5\text{B}_{12}\text{O}_{23}(\text{OH})_8$)** Triklirik kafes yapısında kristalleşir. İnce taneli yumrular biçiminde gözlenir. Yoğunluğu 2.4 gr/cm^3 tür. Sultançayırı, Balıkesir'de önemli oranlarda bulunduğu bilinmektedir (DPT 1995, DPT 2000).

2.2.4 Bor Kullanım Alanları

Aşağıdaki Çizelge 2.1'de bor cevheri ve kullanım alanları verilmiştir (İnt.Kyn.1, İnt.Kyn.2, Yılmaz 2006)

Çizelge 2.1 Bor Cevheri ve Kullanım Alanları.

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor ve Kristalin Bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörleri
Bor Halojenürleri	İlaç sanayi, katalizörler, elektronik parçalarda, bor filamentleri ve fiberoptiklerde
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık kimyasalları, yapıştırıcılar, tekstil, deterjan ve temizlik malzemelerinde
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflaştırma, kağıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerinin temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalizör ve yangın geciktirici maddelerde kullanılmaktadır
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil cam elyafı, bor alaşımları, nükleer atıkların depolanması
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları, yangın geciktirici, naylon, tekstil, gübre, cam, cam elyafı, emaye, sır
Susuz Boraks	Gübre, cam elyafı, emaye, sır, yangın geciktirici
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, tarımsal ilaç, fotoğrafçılık

Çizelge 2.1 (devamı) Bor Cevheri ve Kullanım Alanları.

Magnezyum Diborür	Süperiletken olarak
Çinko Borat	PVC, halojenli polyester ve naylonlarda alev geciktirici, duman bastırıcı ve korozyonu önlemede kullanılır
Kurşun Borat	Kurşun camlarda ve boyalarda kullanılır
Bor Nitrür	Yüksek ısıya dayanıklı yağlarda ve yansıtıcı maddelerde kullanılır

Cam Elyafı : Kullanılan bor oksidin yalıtımlı cam elyafına harcanan kısmı A.B.D.’de %40, Avrupa’da ise %14’tür. Ergimiş cama toplamda %7 borik oksit oluşacak şekilde boraks pentahidrat veya üleksit, proberit ilave edilmektedir. Borik asit, sulu veya susuz boraksta kullanılmaktadır. İstenilen yalıtıma göre çeşitleri bulunmaktadır. Binalarda yalıtım amacıyla kullanılır, roll, loft veya sünger halinde bulunabilmektedir (DPT 1995, DPT 2000).

Hafifliği, düşük fiyatı, gerilme direnci ve kimyasal direnci nedeniyle plastiklerde, lastik ve kağıtta kendine yer bulmuş olan cam elyaf özellikle kullanıldığı malzemelere sertlik ve mukavemet kazandırır. Böylece mukavemeti artmış parçalar özellikle hafifliği nedeniyle otomotiv, uçak sanayilerinde gitgide ağır olan çelik ve diğer metallerin yerini almaya devam etmektedir. Yapılmakta olan yeni araştırmalar neticesinde şüphesiz ki daha geniş kullanım alanları olacaktır (DPT 1995, DPT 2000, Kurttepelı 2009).

Optik Cam Elyafı : Işık fotonlarının etkin biçimde transferini sağlayan bu malzeme İngiliz Felcon firmasının ürettiği yeni bir elyafıdır ve saniyede 27 km uzağa yaklaşık 140 milyon bayt taşıyabilmektedir. Günümüzde Phillips’in Hollanda’daki fabrikasında üretilen bu lifler %6 borik asit içermektedir (DPT 1995, DPT 2000).

Cam Sanayi : Bor, özellikle maliyetinden dolayı pencere camı, şişe camı gibi sanayilerde oldukça nadir kullanılmaktadır. Kullanıldığı alanlar genellikle özel camlardır ve borik asit en önemli katkı maddesidir. Bor asidi genellikle cam içinde rafine sulu/susuz boraks, borik asit veya kolemanit/ boraks gibi en doğal biçiminde kullanılır bunun dışında çok özel durumlarda ise potasyum pentaborat ve bor oksitler işlenmiş bir şekilde kullanılabilir. Bor ergimiş haldeki cama ilave edildiğinde camın vizikozitesini azaltır, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını artırır ısıya karşı izolasyonun istendiği durumlarda kullanılır. Camın ısı dayanımını, camın çabuk ergimesini sağlar ve

devitrifikasyonun önlenmesine yardımcı olur. Camın yansıtma, kırma, parlamaya gibi özelliklerini geliştirdiği gibi camın asitlere ve çizilmeye karşı dayanımını artırır. Camın tipine ve istenen özelliğine bağlı olarak %0.5 ile %0.23 aralığında bor asit ilave edilir. Örneğin Pyrex isimli cam da %13.5 B₂O₃ halinde bor bulunur ve pyrex camı otomobillerden, fırınlara, çamaşır makinalarına kadar oldukça geniş bir alanda kullanılır (DPT 1995, DPT 2000).

Seramik Sanayi : Emayelerde özellikle vizkositeyi ve ergime sıcaklığını azaltmak için %20'ye kadar borik asit ilave edilebilmektedir. Metal yüzeyine kaplanan emaye görünüş açısından olsun ve aside, korozyona karşı direnci açısından olsun metali hem korur hem dayanımını artırır. Günümüzde kullandığımız özellikle mutfak eşya ve gereçlerinin bir çoğu emaye kaplıdır (DPT 1995, DPT 2000, Kurttepe 2009).

Temizlik Sanayi : Borun mikrop öldürücü etkisi, suyu yumuşatması ve özellikle sodyum perboratın aktif oksijen kaynağı olması temizlik sanayinde borun kullanımını oldukça genişletmiştir. Sodyum perborat toz detarjanlara %10 - %20 oranında ilave edilmektedir. Perborat 55 °C'nin üstünde aktif hale geçer ve beyazlatıcı etkisi daha ön plana çıkar bu pratikte renkli çamaşırların 30-40°C de yıkanmasında aktif hale geçmeyeceği demektir. Yapılan çalışmalar sonucunda aktivatör yardımıyla bu sıcaklık daha düşük sıcaklıklara çekilmeye çalışılmıştır (DPT 1995, DPT 2000).

Yanmayı Önleyici (Geciktirici) Maddeler : Borik asit ve boratlar özellikle selülozik maddelerde ateşe dayanıklılık sağlar. Tutuşma sıcaklığında önce selülozdaki suyun buharlaşmasını sağlar ve yanan yüzeyin yüzeyini kaplayarak yanmanın büyümesini engeller. Bu nedenle selülozik yalıtım maddelerinin kullanımının artmasıyla borik asit ihtiyacı da artmaktadır. Bor bileşikleri özellikle plastiklerde yanmayı geciktirici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu bor bileşiklerinin en önemlileri çinko borat, baryum metaborat, borfosfatlar ve amonyum floroborat'tır (DPT 1995, DPT 2000, Kurttepe 2009).

Tarım Sektörü : Bor bitkilerin gelişimini arttırmak veya önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Birçok bitkinin temel besin kaynağıdır. Bor eksikliği görülen bitkilerde

susuz boraks ve boraks pentahidrat içeren gübre kullanılmalıdır. Otların temizlenmesi veya toprağın temizlenmesi gereken durumlarda sodyum klorat ve bromosol gibi bileşikler kullanılmaktadır (DPT 1995, DPT 2000, Kurtteveli 2009).

Nükleer Uygulamalar : Borlu çelikler, bor karbürler ve titanbor alaşımlar atom reaktörlerinde kullanılan önemli alaşımlardır. Bu önemin başlıca nedeni alaşımlarda bulunan yaklaşık her bir bor atomu nötron absorbe etmektedir. Ayrıca kolemanit nükleer atıkların depolanması için önemli bir bileşiktir (DPT 1995,DPT 2000).

Metalurji Sanayi : Boratlar demir dışı metal sektöründe curuf oluşturuvcu ve ergitmeyi hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Borun en önemli özelliklerinden biri de çelik üretiminde 50 ppm kadar bor ilavesi çeliğin sertliğini oldukça fazla arttırmaktadır. Diğer yandan kolemanit bir çok ülkede (Kanada, Batı Almanya, Japonya ve Türkiye gibi) çelik üretiminde florit yerine kullanılmaktadır (DPT 1995, DPT 2000, Kurtteveli 2009).

Enerji Depolama Sanayi : Gündüz güneş enerjisini depolayıp, gece ısınma amacıyla üretilmiş olan termal depolama pillerinde sodyum, sülfat ve su ile yaklaşık %3 ağırlıktaki boraks dekahidratın kimyasal karışımından oluşmaktadır. Ayrıca binalarda tavan malzemesine konulduğunda güneş ışınlarını absorbe ederek bina ısınmasında önemli etkiye sahiptir (DPT 1995, DPT 2000, Kurtteveli 2009).

Otomobil Sanayi :Bor, otomobil sanayinde hava yastıklarının şişmesine yardımcı madde olarak kullanılmaktadır. Bor etkisiyle çarpışma anında hava yastıklarının açılması yaklaşık 40 milisaniyedir. Ayrıca antifiriz olarak ve hidrolik sistemlerde de önemli ölçüde kullanılmaktadır (DPT 1995, DPT 2000).

Atık Temizleme Sanayi : Atık sulardaki ağır metallerin (civa, kurşun, gümüş, gibi) sulardan temizlenmesini sağlayan en önemli bileşik sodyum borohidrat'tır (DPT 1995, DPT 2000, Kurtteveli 2009).

Petro Gaz Sanayi : Özel uygulamalarda kullanılan sodyum tetraborat yakıt katkı maddesi olarak önemli bileşiklerdendir. Özellikle boronlar, hidrojen ile karıştırılıp

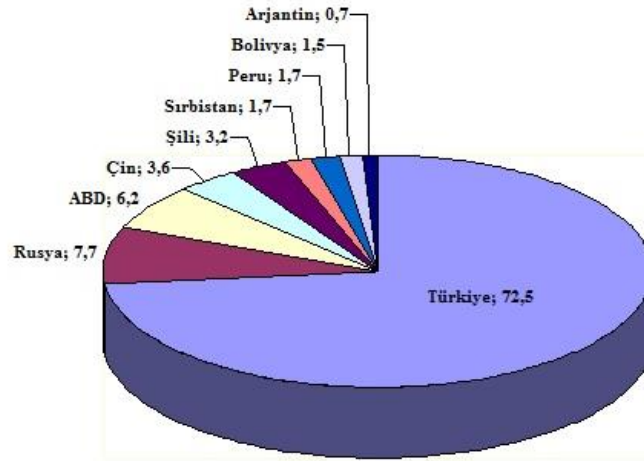
yakıldığında yüksek performanslı yanmaktadır fakat çok kullanılmamasının en önemli nedenleri pahalı, toksik ve yakıldığında açığa çıkan bor oksit çevreyi olumsuz etkiler. Yaygınlaştığı takdirde oldukça önemli çevre sorunlarına neden olacağı öngörülmektedir (DPT 1995, DPT 2000).

Sağlık Sanayi : Sağlık sanayinde en önemli kullanım alanı BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisidir. Özellikle beyin kanserlerinin tedavisinde sağlıklı hücrelere zarar vermeden ya da minimum zarar vererek hasta hücrelerin ise bulunup yok edilmesinde kullanılmaktadır (DPT 1995, DPT 2000, Kurttepe 2009).

Bor'un Diğer Kullanım Alanları : Sodyum oktaborat Ahşap malzeme korunmasında kullanılmaktadır. Döküm çepçerlerinde refrakter malzeme olarak bor karbür ve bor nitrür kullanılır ve aşınmaya karşı dayanıklılığını da yükseltir. Deri sanayinde kireç çöktürücü madde olarak kullanılan en önemli bileşik boraks'tır (DPT 1995, DPT 2000).

2.2.5 Dünyada ve Türkiye' de Bor

Türkiye, ABD ve Rusya dünyadaki en önemli bor yataklarına sahiptir. Özellikle Türkiye dünya bor rezervinin %73'sine sahip olduğu için stratejik konumdadır. Dünya bor üretiminin yaklaşık %70'ini gerçekleştiren Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD) bor üretiminde en önemli iki kuruluştur (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4, İnt.Kyn.5). Aşağıda şekil 2.7'de dünya bor rezerv dağılımı 2012 verileri gösterilmiştir (İnt.Kyn.4).



Şekil 2.7 Dünya bor rezervleri dağılımı.

Cam sanayi, temizlik sanayi, seramik sanayi, yangın geciktiriciler, tarım sanayi, metalürji sanayi, ilaç ve kozmetik sanayi, elektronik ve bilgisayar sanayi dalları rafine bor ürünlerinin temel kullanım alanları olarak sayılabilir (Koçak 2010). Ticari öneme sahip, rafine bor ürünleri, dünyada üretilen ve B₂O₃ (%) miktarları Çizelge 2.2’de verilmiştir (Yılmaz 2002).

Çizelge 2.2 Ticari önemi olan bor mineralleri.

Mineral	Formülü	% B ₂ O ₃	Bulunduğu Yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36,6	Kırka, Emet, Bigadiç, ABD
Kernit (Razorit)	Na ₂ B ₄ O ₇ ·4H ₂ O	51,0	Kırka, ABD, Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ ·8H ₂ O	43,0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Properit	NaCaB ₅ O ₉ ·5H ₂ O	49,6	Kestelek, Emet, ABD
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ ·5H ₂ O	50,8	Emet, Bigadiç, Küçükler, ABD
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ ·6H ₂ O	50,5	Emet
Pandermit(Priseit)	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ ·7H ₂ O	49,8	Sultançayır, Bigadiç

Kırka/Eskişehir, Bigadiç/Balıkesir, Kestelek/Bursa ve Emet/Kütahya’da Türkiye’de bilinen ve en önemli bor yatakları mevcuttur.

Tinkal (Na₂O·2B₂O₃·10H₂O) ve kolemanit (2CaO·3B₂O₃·5H₂O) Türkiye’de rezerv bakımından en çok bulunan bor cevherleridir. Türkiye’de en önemli kolemanit yatakları Emet ve Bigadiç civarında en önemli tinkal yatakları ise Kırka civarında bulunmaktadır. Bunların dışında Bigadiç’te az miktarda üleksit rezervi, Kestelek’te ise zaman zaman

üleksit yan ürünü bulunmaktadır. Türkiye’de mineral bazında rezerv miktarları 2012 verilerine göre Çizelge 2.3’te gösterilmiştir (İnt.Kyn.4, İnt.Kyn.5).

Çizelge 2.3 Türkiye’de mineral bazında rezerv miktarları.

Cevher Cinsi	Toplam (Milyon Ton)	Pay (%)
Kolemanit	2257	76
Üleksit	47	2
Tinkal	739	22
Toplam	3043	100

Dünyada en büyük alana sahip ve en önemli borat yatakları olarak bilinen Türkiye borat yataklarının tümü karasal neojen tortulları ile sınırlandırılmış olup Zonguldak-Mersin çizgisinin batısında bulunmaktadır. Diğer bir önemli yönü ise dünya bor minerallerinin toplam rezervi yaklaşık olarak 1 milyar ton civarındadır ve %76 payla Türkiye dünyadaki bor hammadde rezervlerin büyük bir bölümüne sahiptir (Gökbora 1985).

- Kırka, Çankaya’da çok az miktarda kolemanit, kurnakovit, inderit, tonelit, inderborit, meyerhofferit, inyoit ve üleksit olmak üzere genellikle tinkal yatakları mevcuttur.
- Espey ve Emet-Hisarçık’ta az miktarda da üleksit olmak üzere çoğunlukta kolemanit yatakları mevcuttur.
- Bigadiç’te üleksit ve kolemanit yatakları mevcuttur.
- Kestelek’te özellikle kolemanit yatakları mevcuttur (Yaşar 1994).

Bor madeni ocakları ve yöreleri Çizelge 2.4 te gösterilmiştir (DPT 1995).

Çizelge 2.4 Bor madeni ocakları ve yöreleri.

Şehir	İlçe-Yöre	Maden Adı	Maden Cinsi	Rezervler (Milyon ton)(brüt ağırlık)	Rezervler (Milyon ton)(B ₂ O ₃ içeriği)
Balıkesir	Susurluk Bigadiç Sındırgı Küçükler	Aziziye, Tulu,Salmanlı, Ankara, Acep, Domuz, Kireçlik, Kurtpınar, Faraş, Günevi, Sultançayırı, Beğendikler, Yeniköy	Kolemanit ve Üleksit	576 49	167 14
		Hisarçık, Harmanköy, Espey, Killik	Kolemanit	835	225
Bursa	Kestelek	Kestelek	Kolemanit	7.5	2
Eskişehir	Kırka	Göçenoluk, Harmankaya	Tinkal	604	156

2.2.6 Bor Atıkları ve Bor Atıklarının Değerlendirilmesi

Eskisehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir- Bigadiç ve Bursa-Kestelek'te Eti Holding Etibor A.S.'ye ait işletmelerde dünya piyasalarında % 31'lik üretim payına sahip bor konsantresi üretimi gerçekleştirilmektedir. Birçok araştırmacı, Yılda 600 000 ton bor atığının bu tesislerden çıktığını bildirmiş ve bu atıkların geri dönüşümü için çalışmalar yapmışlardır (Poslu 2001).

Genellikle bor atıklarına suda bekletme, mekanik dağıtma, sınıflandırma, gravite yöntemleri, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, soda liçi, çözeltme flokülasyon, flotasyon, ısı işlem (kalsinasyon, dekrepitasyon) ve briketleme yöntemleri gibi birçok yöntem uygulanarak zenginleştirme sırasında atığa kaçan borun geri kazanılması hedeflenmektedir (Doğan vd. 1997, Yamık vd. 1995). Diğer yandan son zamanlarda araştırılan yöntemler arasında olan ses ötesi dalgalarla kil uzaklaştırma ve atıklardaki boru doğrudan çözme helazonu ile geri kazanımı üzerinde olumlu sonuçlar alınmıştır (Alp ve Özdağ 2000, Ediz 1999).

Elle ayıklama, mekanik dağıtma, sınıflandırma yöntemleri bor konsantratör tesislerinde uygulanır ve sadece iri boyutlardaki cevherler ayrılabilir, ince boyuttaki (<0,5mm) cevherler ise atık barajına gönderilmektedir dolayısıyla bor atık barajında bor cevherlerine rastlamak kaçınılmazdır (Özbayoğlu vd. 2001).

Atık barajında ferromanyetik ve paramanyetik mineraller bulunursa sabit mıknatıslı yüksek alan şiddeti olan manyetik ayırıcılarla etkili bir ayırım yapıp mineraller geri kazanılabilmektedir (Griffin ve Downing, 2001).

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan başlıca çevre sorunları; atıkların gitgide artması, atıklara depolanacak yer bulunamaması, doğanın tahrip edilmesi, atıkların stabilitesi ve emniyeti, hava, toprak, su kirliliği ve ıslah çalışmaları en önemli sorunlar arasında yer almaktadır (Karadeniz 1996).

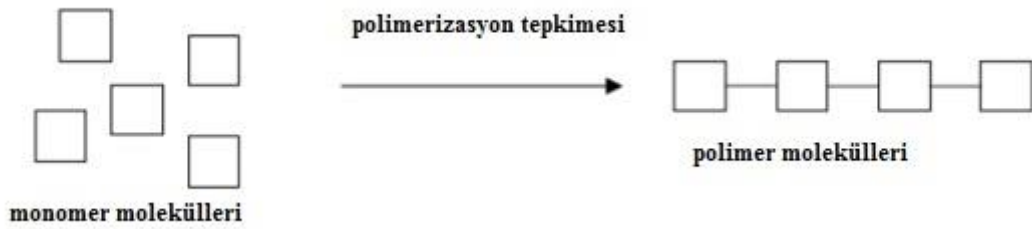
Genellikle ince boyutlu veya pülp halindeki atıklar cevher zenginleştirme tesislerinde ortaya çıkan atıklardır ve daha önceleri bu atıklar nehirlere, göllere, denizlere

boşaltılmaktaydı. Günümüzde ise atıklardan mümkün olduğunca yararlanılmakta veya yararlanılamaz haldeyse atıklar bertaraf edilmektedir. Atıkların geri dönüşümüyle elde edilecek avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır (Karadeniz 1996):

- Atıkların stoklama yeri, stoklama sorunu ve stoklama maliyetinden kar edilecektir,
- Çevre kirliliği azalacaktır,
- Atıkların değerlendirilmesiyle oluşturulacak üründen ek kazanç elde edilecektir (Badruk vd. 1997).

2.3 Polimerler Hakkında Genel Bilgi

Küçük mol kütleli kimyasal maddelerin birbirine kovalent bağlarla bağlanarak büyük moleküller oluşturmasını sağlayan en küçük birimlere monomer adı verilir. Polimer ise çok sayıda monomerin yan yana dizilerek kovalent bağ oluşturması sonucu oluşan iri moleküldür. Polimer kelimesinin terim anlamı çok anlamına gelen *poly-* ve tanecik, en ufak parça anlamına gelen *-meros* kelimelerinden türemiştir. Monomer moleküllerinin polimer molekülüne dönüşümü polimerizasyon tepkimeleriyle gerçekleşir ve Şekil 2.8’de basit olarak gösterilmiştir. Bir polimer molekülünde yüzlerce binlerce monomer molekülü olabilir. Monomer molekülünün fazla olması polimerin rijitliğini arttırmaktadır (Saçak 2002, Saçak 2005).



Şekil 2.8 Polimer molekülünün oluşumu.

Polimer ve monomer kavramları basitçe anlatılmak istenirse polimer molekülü bir zincire monomer molekülü ise zincirin halkalarına benzetilebilir. İfadelerde bu yüzden polimer molekülü yerine polimer zinciri ifadeleri daha yaygın olarak kullanılır (Ay 2007).

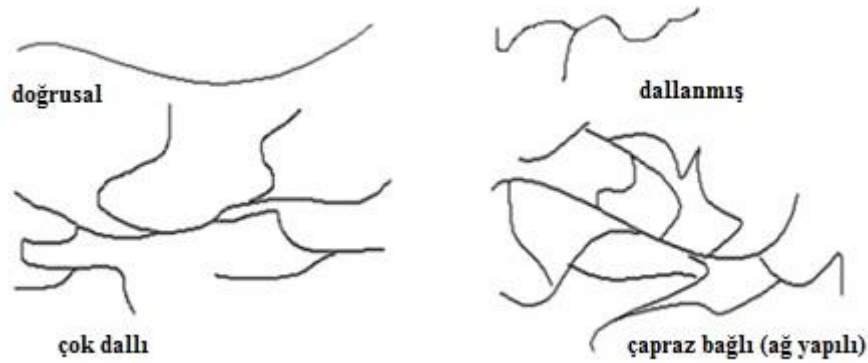
Ana zincir, polimer zinciri boyunca birbirine bağlanan atomlar dizinin oluşturduğu polimer molekülü iskeletine denir. Polimerlerin ana zincirindeki atomlara bazı kimyasal birimlerde bağlanabilir bunlara ise yan grup denir. Polimerlerin esas yapıları karbon ve hidrojen atomlarından oluşur fakat genellikle yapılarına O, Si, N, F, Cl, S, Na, K gibi atomlarda katılır ve bu atomların katılmasıyla polimerler farklı isimler alırlar (Metin 2010). Örneğin, polistirende hidrojenle birlikte fenil yan grubu bulunurken, polipropilende ise metil yan grupları bulunur. Polimerlerin ana zincirlerindeki atomlar yüzlerle, binlerle ifade edilirken yan gruplardaki atom sayısı bu ifadelere göre çok daha azdır (Yıldızhan 2008).

Polimerleri polimer zincirinin şekline göre üçe ayırabiliriz bunlar; düz zincirli, dallanmış ve çapraz bağlanmış polimerlerdir.

Düz zincirli polimerler; Düz zincirli veya doğrusal polimerler ana zinciri üzerindeki atomlara yalnız yan gruplar bağlıdır ve başka zincirlerle herhangi bir kovalent bağ yapmazlar. Bu tür polimerler malzemeler eritilerek tekrar tekrar kullanılır veya uygun çözücülerle çözünebilir ve istenilen şekillendirme yöntemiyle tekrar tekrar şekillendirilebilir. Düz zincirli polimerlerin en güzel örneklerinden biri yaygın olarak kullandığımız polivinil klorürdür. Günlük hayatımızın büyük bir kısmında karşımıza pencere profili, boru, ambalaj filmleri, suni deri vb. polimer malzemeler olarak çıkar.

Dallanmış zincirli polimerler; Dallanmış zincirli polimerler ana zincirleri üzerinde kendi kimyasal yapısına benzer, kovalent bağlarla bağlanmış ve dal görüntüsünde birden çok zincir bulunduran polimer gruplarıdır. Dallanmış zincirli polimerler polimerizasyon tepkimeleri sırasında dallanmaya neden olan yan tepkimeler ya da ikincil tepkimeler oluşması sonucu oluşmaktadır. Polimerin kendi kimyasal yapısına benzeyen dal görüntüsünde başka zincirlerle kovalent bağlar sonucu dallanma görülür ve moleküller birbirlerine kenetlenir. Oluşmuş yan dalların boyları birbirinden farklı olabilir (Oral 2011).

Çapraz bağlı polimerler; Çapraz bağlı polimerler bağlarında birden fazla ana zincir ve bu ana zincirlere bağlı zincirler bulundurur ve bu zincirler de birbirleriyle bağlantılı olduğundan ağ yapıda özellik gösterir. Farklı uzunluktaki zincir parçalarından oluşan ve zincirlerin neredeyse hepsinin birbirine kovalent bağlar ile bağlanarak oluşan sistem örümcek ağına benzer ve tek bir molekül gibi düşünülebilir. Bu polimerler uygun çözücülerle belli miktarda şişerler diğer polimerler gibi çözünmezler. Polimerlerdeki şişme yoğunluğu çapraz bağ yoğunluğuna bağlıdır. Çapraz bağ miktarı arttıkça polimerin şişmesi azalır. Çoğu çapraz bağlı polimerler çözücülerden etkilenmez. Çapraz bağlardan dolayı polimer zinciri hareket edemez ve bu sebeple erimez veya tekrardan şekillendirme yapılamaz (Saçak 2002, Saçak 2005). Doğrusal, dallı ve çapraz bağlı polimerlerin şematik gösterimi Şekil 2.9' de gösterilmiştir (Metin 2010).



Şekil 2.9 Doğrusal, dallanmış, çok dallı veya çapraz polimerlerin şematik gösterimi.

Polimerleri üç ana grup altında inceleyebiliriz.

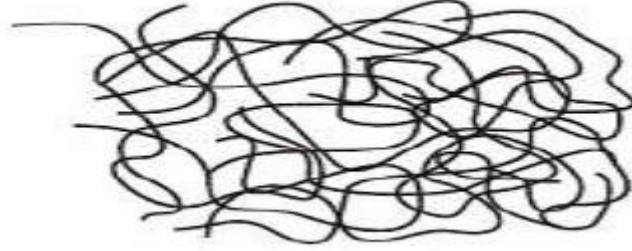
Termoplastikler: Kolaylıkla şekil verilebilmesinin ve eritilip tekrar kullanılmasının nedeni ikincil van der Waals bağlarıyla oluşması ve polimer moleküllerinin lineer olmasıdır.

Termosetler: Polimer moleküllerinin zincirleri çapraz bağlarla bağlandığından rijittir, geri kazanılması zordur ve yüksek sıcaklıklarda erimez yanar.

Elastomerler: Esneme özelliğine sahiptir bunun en önemli nedeni az sayıda çapraz bağlı zincir bulundurmasıdır (Aran 2008).

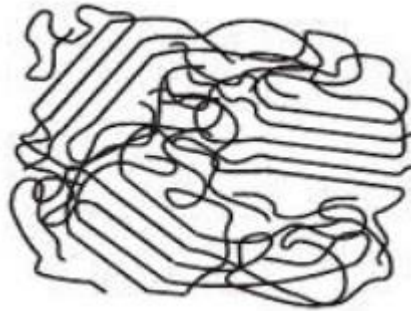
Yapılarına göre polimerler ikiye ayrılır;

Amorf Yapılı Polimerler: Amorf yapılı polimerler düşük sıcaklıklarda sert ve kırılıgandır malzemelerdir ve katı ve parlayan özellik gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda ise yumuşak ve şekil verilebilir yapıdadırlar. Yoğunluğu, erime sıcaklığı ve çekme dayanımı düşüktür (Metin 2010). Aşağıda Şekil 2.10'da amorf yapı gösterilmektedir (Hüner 2008).



Şekil 2.10 Amorf yapılı polimerler.

Kristal Yapılı Polimerler Polimer zincirlerinin bir bölümünün düzenli bir şekilde bir araya gelerek dizilmesiyle moleküller arasında düzenli ve tekrarlı boşluklar oluşması sonucu yapı içinde üç boyutlu ve düzenli yapılar oluşmasıyla gerçekleşir (Metin 2010). Şekil 2.11'da kristal yapılı polimer gösterilmektedir (Hüner 2008).



Şekil 2.11 Kristal yapılı polimerler.

2.3.1 Reçine

Isıtılınca yumuşayıp eriyen, organik çözücülerle çözünebilen fakat suda çözünmeyen kristalleşmesi zor, katı ya da yarı akışkan maddelere reçine denir. Reçinelerin yüksek mekanik özellikleri, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve ayrıca güçlü yapıştırma özellikleri bilinen önemli özellikleridir. Doğal reçineler bitkilerde akışkan halde zamklarla birlikte bir yağ içerisinde bulunur. Özellikle çamgiller, baklagiller, maydanozgiller gibi bitki familyalarında bitkilerin salgı kanallarında reçine oldukça sık görülür (Kibblewhite 1973).

Doğal reçineler yağ gibi çeşitli maddelerle karışık halde bulunur, bitkilerden saf olarak elde edilemez. Suni reçineler özellikle günümüzde tabii reçinelerin yerini büyük ölçüde almıştır. Suni reçineler ve doğal reçineler görünüş açısından birbirine benzese de kimyasal açıdan birçok farkı vardır. Suni reçinelerin en çok kullanıldığı yerler arasında başlıca plastik, vernik, yapıştırıcı bulunur (Pilato 2010).

Kompozit malzeme üretimi için kullanılan reçineler ikiye ayrılır. Bunlar termoset esaslı reçineler ve termoplastik esaslı reçinelerdir (Ersoy 2005).

2.3.1.1 Termoplastik Reçineler

Termoplastik malzemeler, genellikle esnek, sünek ve termoset malzemelere göre daha serttir. Termoplastikler ısı verilerek eriyip soğutma ile katılaştırılabildiği için geri dönüşümü olan ve tekrar şekillendirilebilen malzemelerdir (Ersoy 2005, Yıldızhan 2008).

Termoplastiklerin tekrar şekillenmesinde yani eritilip tekrar soğutulmasında kimyasal hiçbir reaksiyon olmaz tamamen fiziksel özellikleri değişir. Termoplastik matrikslerin molekülleri düz zincirli olduğu için ısıtıldığında yapısındaki atomlar birbirleri üzerinde kayar. Böylece kolaylıkla şekil verilebilir (Yıldızhan 2008).

Aşağıdaki Çizelge 2.5’da tipik katkısız termoplastik reçinelerin yoğunluk çekme modülü ve çekme dayanımı özellikleri verilmiştir (Ersoy 2005).

Çizelge 2.5 Tipik Katkısız Termoplastik Reçinelerin Özellikleri.

Reçine	Yoğunluk(g/cm ³)	Çekme Modülü GPa(10 ⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10 ³ psi)
Naylon	1.1	1.3 - 3.5 (0.2 - 0.5)	55 – 90 (8 - 13)
PEEK	1.3 - 1.35	3.5 - 4.4 (0.5 - 0.6)	100 (14.5)
PPS	1.3 – 1.4	3.4 (0.49)	80 (11.6)
Polyester	1.3 – 1.4	2.1 – 2.8 (0.3 – 0.4)	55 – 60 (8 – 8.7)
Polikarbonat	1.2	2.1 – 2.8 (0.3 – 0.5)	55 – 70 (8 – 10)
Asetal	1.4	3.5 (0.5)	70 (10)
Polietilen	0.9 – 1.0	0.7 – 1.4 (0.1 – 0.2)	20 – 35 (2.9 – 5)
Teflon, PTFE	2.1 – 2.3	-	10 – 35 (1.5 – 5)

Termoplastik polimerlerin çok fazla çeşidi olmasına karşın matriks olarak kullanılmaları oldukça azdır (Callister 2000).

Termoplastik malzemeler yüksek maliyet ve zor üretimi yüzünden kompozit malzeme üretiminde kullanılmaz. Oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağladığından üretimde zaman kaybına yol açar. Bazı termoplastiklere istediğimiz şekli vermek için onların çözücülerine ihtiyacımız vardır. Termoset hammaddeleri termoplastik hammaddelere göre daha ucuz olduğu için termoset malzemeler tercih edilir (Yüksek 2011).

Malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarını arttırmak için tercihen termoplastik reçineler kullanılır. Özellikle otomotiv sektörü ve uçak sanayinde yüksek performanslı malzeme çözümlerinde termoplastikler kullanılmaktadırlar (Callister 2000).

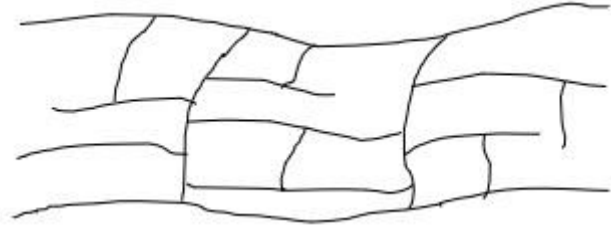
2.3.1.2 Termoset Reçineler

Termoset esaslı malzemeler polimer matriksli kompozitlerde matriks olarak tercih edilir (Yıldızhan 2008).

Termoset plastikler oda sıcaklığında sıvı halde bulunur, ısıtılarak veya sertleştirici yardımı ile kimyasal reaksiyonlara sokularak sertleşir ve sağlamlaşırlar (Callister 2000).

Termoset plastikler sertleştirici ilavesinden sonra önce jel haline gelir ve daha sonra da katılaşırlar. Termoset malzemelerin özellikle LTK yapımında düşük viskozitede olmaları istenir (Ersoy 2005).

Termoset plastiklere tekrar tekrar şekil verilememesinin nedeni kür işlemi sırasında molekül zincirleri çapraz bağlanırlar. Çapraz bağlanmalar sonucu molekül zincirleri birbiri üzerinde kaymaz bu yüzden ısı verildiğinde ergime değil yanma gerçekleşir (Yıldızhan 2008). Malzemenin ısıl stabilitesi ve rijitliği o malzemenin oluşturduğu çapraz bağlarla doğrudan orantılıdır. Aşağıda Şekil 2.12’de termoset moleküllerin kür işlemi sırasında çapraz bağlanmasının şematik hali gösterilmiştir (Ersoy 2005).



Şekil 2.12 Termoset Moleküllerin Kür İşlemi Sırasında Çapraz Bağlanması.

Çapraz bağların oluşturduğu yapıdan dolayı bu malzemeler çözünmezler. Termoset ve termoplastik malzemeleri sıcaklığa karşı dayanım ve mukavemet yönünden karşılaştırırsak termosetlerin daha dayanıklı olduğu görülür (Yıldızhan 2008).

Bazı termoset matrikslerin sertleşme sıcaklığı oda sıcaklığına yakındır bu malzemelerin sertleşmemesi için dondurucularda muhafaza edilmelidir. Bu malzemelerin dondurucularda raf ömürleri 6-18 ay arasında değişirken dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bekletildiğinde 1-4 hafta arasında sertleşmeye başlar. Termoset reçineler kimyasal etkilere karşı dirençlidir herhangi bir çözünme olmaz ve hava şartları ve korozyona karşı dayanımı oldukça iyidir (Callister 2000).

Aşağıda Çizelge 2.6’de bazı reçineler ve onların kullanıldığı yerler verilmiştir (Güleşen 2005).

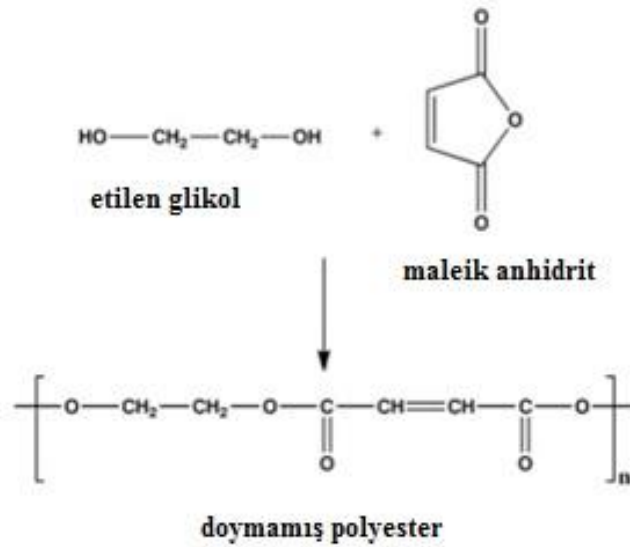
Çizelge 2.6 Bazı Reçinelerin Kullanım Yerleri.

Reçineler	Kullanım Alanları
Polyesterler	Banyo Küvetleri, Botlar
Epoksiler	Uçak iç donanımı, en kuvvetli yapıştırıcıların temel maddesi
Alkilitler	Arabaların boya sistemlerinin temel elemanları
Fenolik Reçineler	Elektrik aksamı
Furan Reçineleri	Koruyucu metal kaplama
Amino Reçineler	Tabak
Silikon	Oto cilası

Termoset reçinelerin en önemli avantajları termal stabilite, kimyasal direncinin iyi olması ve düşük yoğunluğa sahip olmalarıdır. Dezavantajları ise oda sıcaklığındaki çalışma zamanı sınırlıdır, katılaşması için geçen uzun fabrikasyon zamanı vardır, çekme testleri esnasında düşük uzamasıdır ve kırılğan malzeme sayılabilirler (Ersoy 2005).

En çok kullanılan reçine türü polyester reçinelerdir. Bunun en önemli sebebi en basit ve en ekonomik olmasıdır. Polyester reçineler toplam kullanılan reçine miktarının %75'ini oluşturur ve kompozit endüstrisinin lokomotifi konumundadır (Callister 2000).

Polimer zincirlerinde çift bağların bulunuyorsa polyesterler için doymamış polyester tanımı kullanılır. Bu tip polyesterler, glikoller ve anhidritler (veya asitler) arasındaki tepkime sonucu Şekil 2.13'de de şematize edildiği gibi sentezlenebilirler (Yüksek 2011). Aşağıda Şekil 2.13'te Doymamış Polyester Sentezi görülmektedir.



Şekil 2.13 Doymamış Polyester Sentezi.

Polyesterlerdeki çapraz bağlar ne kadar yoğunsa doymamış polyesterlerin kalitesi de o kadar iyidir. Çapraz bağ yoğunluğunun artmasıyla beraber polimerin modülü ve ısı kararlılığı yükselirken, darbe dayanımında önemli derecede azalmalar görülür. Polyester yapımındaki girdilerin kontrol edilmesiyle çapraz bağ yoğunluğu ayarlanabilir. Örneğin doymamış bağ miktarının azaltılması etilen glikol ile maleik anhidrit miktarının azaltılmasıyla gerçekleştirilebilir (Yüksek 2011, Şamiloğlu 2007).

Polimerin sertleşme zamanı kullanmış olduğumuz başlatıcı ve hızlandırıcı denen maddelerle doğrudan ilgilidir. Doymamış polyesterlerin çapraz bağlanmaları oda sıcaklığında bu maddeler yardımıyla gerçekleşir. Bu uygulamalarda kalıplamadan önce hızlandırıcı ve başlatıcı polyesterle karıştırılır (Şamiloğlu 2007).

Katalizörle birlikte hızlandırıcı ilavesi polyesterin ısı olmadan kürleşmesini sağlar. Yeterli karışım hazırlanırken jelleşme süreleri, laminasyon kalınlığı ve ortam ısısı göz önünde bulundurulur (Yüksek 2011, Callister 2000). Aşağıda Çizelge 2.7’de polyester katkı maddeleri hızlandırıcılar ve katalizörler verilmiştir (Callister 2000).

Çizelge 2.7 Polyester Katkı Malzemeleri.

Katalizör	Hızlandırıcı
Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P)	Kobalt Naftalat
Kumen Hidroperoksit	Manganez Naftalat

Doymamış polyesterlerin en önemli avantajları; kolay işlenme, hızlı çapraz bağlanma, açık renk, boyutsal kararlılıktır. Bunların yanında fiziksel ve elektriksel özellikleri de oldukça iyidir. Alevlenmeye, kimyasallara ve yaşlanmaya karşı dirençleri matris karışımının bileşimine bağlı olarak arttırılabilir (Yüksek 2011, Şamiloğlu 2007).

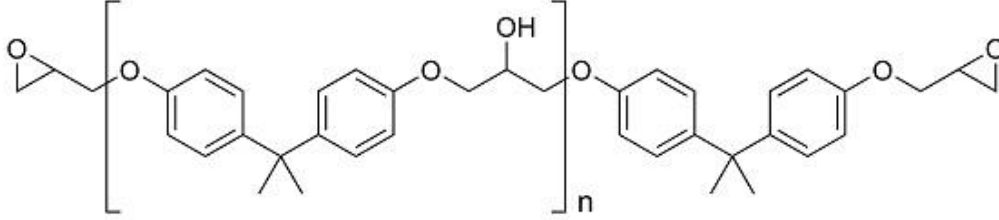
Doymamış polyesterler günlük hayatımızda oldukça fazla karşımıza çıkabilir. Bunlara örnek olarak elektrik ve elektronik aletler, sandalye, valiz, servis tepsi gibi eşyalar gösterilebilir (Şamiloğlu 2007). Çizelge 2.8’de tipik dolgunsuz termoset reçinelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.8 Tipik Dolgunsuz Termoset Reçinelerin Fiziksel Özellikleri.

Reçine Malzemesi	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Modülü GPa (10⁶ psi)	Çekme Dayanımı MPa (10³ psi)
Epoksi	1.2 – 1.4	2.5 – 5.0 (0.36 – 0.72)	50 – 110 (7.2 – 16)
Fenolik	1.2 – 1.4	2.7 – 4.1 (0.4 – 0.6)	35 – 60 (5 – 9)
Polyester	1.1 – 1.4	1.6 – 4.1 (0.23 – 0.6)	35 – 95 (5 – 13.8)

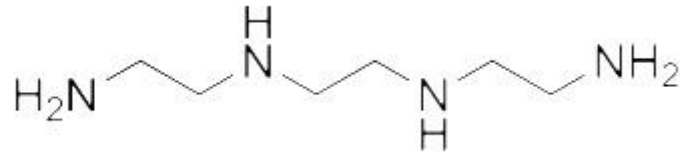
Her türlü lif ile kullanılabilen ve genellikle gelişmiş kompozitlerle kullanılan bir reçine türüdür. Poliamin sertleştirici ile bir epoksit reçinenin reaksiyonuyla oluşan epoksi, poliepoksid olarak da adlandırılır (Yüksek 2011, İnt.Kyn.6).

Aşağıda Şekil 2.14'te yapısı değiştirilmemiş epoksi prepolimer reçine gösterilmiştir (İnt.Kyn.6).



Şekil 2.14 Yapısı Değiştirilmemiş Epoksi Prepolimer Reçine.

Bir kopolimer olan ve reçine ile sertleştiricinin karışımı olan iki kimyasaldan elde edilen epoksi, kısa zincirli polimerler içerir. Epoksi reçinelerin en yaygını epichlorohydrin ve bisphenol-A arasındaki reaksiyondan oluşurlardır. Triethylenetetramine (TETA) gibi bir polyamine monomeri sertleştirici olarak kullanılabilir. Bu bileşikler birlikte karıştırılırsa amin grupları ile epoksit grupları bir kovalent bağ oluşturmak için reaksiyona girer (Yüksek 2011, İnt.Kyn.6). Aşağıda Şekil 2.15'te TETA'nın kimyasal yapısı verilmiştir (İnt.Kyn.6).



Şekil 2.15 TETA'nın Kimyasal Yapısı.

NH grubuyla bir epoksit grubunun reaksiyona girmesiyle elde edilen polimerin çapraz bağları yoğundur ve oldukça serttir (Yüksek 2011, İnt.Kyn.6).

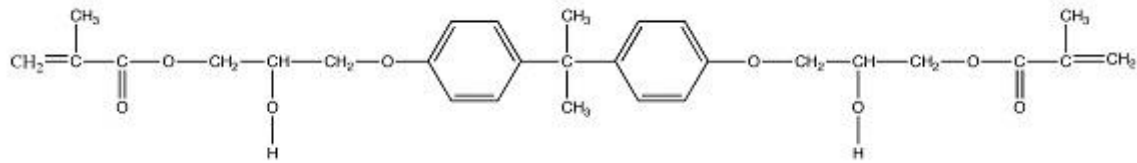
Kür polimerizasyon sürecidir. Kürleşme süresi kontrol edilebilen bir süredir. Birkaç dakikadan birkaç saate kadar sürebilir ve bu zaman sıcaklık, reçine ve sertleştirici bileşiklerinin seçimiyle ve bu bileşiklerin oranı ile belirlenir. Bazı reçineler için kürleşmenin gerçekleşmesi sıcaklıkla olur bazıları ise zaman ve ortam sıcaklığıyla gerçekleşebilir. Epoksi bazlı malzemeler kullanım alanları kaplamalardan karbon lif ve cam lifi takviyeli kompozit materyallere, yapıştırıcılara kadar oldukça geniştir (Yüksek 2011, İnt.Kyn.6).

Epoksi reçinelerin termoset formundaki mekanik dayanımı, yüksek dielektrik direnci, iyi boyutsal kararlılığı, kimyasal ve ısı direnci mükemmel yakındır. Sertleşme sırasında kendini çekmediği gibi birçok lif ile de oldukça iyi bağ oluşturur. Epoksilerin birçok uygulama alanına sahip olmalarının diğer bir sebebi de sahip olabilecekleri formülasyonların çeşitliliği ve çok yönlü işlenebilirlik özellikleridir (İnt.Kyn.6).

Diğer bir adı bakalit olan fenolik reçineler fenol ve formaldehit kondenzasyon polimerizasyonu ile üretilir (Yüksek 2011, Ersoy 2005).

Eriyebilen, laminat ve kalıplama kompozisyonlarında kullanılan fenolik reçineler basınca ihtiyaç duyarlar. Fenolik reçineler 300°C' ye kadar asbest lif ile takviye edilebildiği gibi alkalilere karşı duyarlıdır, su ve asitlere karşı dayanımı oldukça iyidir (Ersoy 2005).

Vinilester reçinelerin üretim amacı epoksi reçinelerin avantajları ile doymamış polyester reçinelere özgü özellikleri birleştirmektir. Vinilester reçine epoksi reçine ile akrilik ya da meta akrilik asidin reaksiyonu sonucu elde edilir. Şekil 2.16'te vinilester yapısı görülmektedir. Vinilesterin polyestere göre daha dayanıklı ve esnek olduğu bilinir. Stiren içinde çözünür. Vinilesterler peroksitlerle sertleştirilebilir. Mekanik dayanım ve korozyon dayanımı açısından vinilesterler mükemmeldir. Bu üstün özellikler elde edilirken karmaşık proses veya özel kullanım becerisine ihtiyaç duyulmaz. Vinilesterler bazen polyester laminasyonunda bariyer kat olarak kullanılır bu daha az ester grubu bulundurduğu için hidrolizde daha az zarar görmesinden kaynaklanır (Callister 2000).



Şekil 2.16 Tipik Bir Vinilester Kimyasal Yapısı.

2.3.2 Kompozit Malzemelerin Kalıplanmasında Rastlanan Başlıca Hatalar

2.3.2.1 Gözenekli yüzey

Malzemenin vizkozitesi kontrol edilmeli gerekirse presleme basıncı arttırılmalı gerekli durumlarda kalıp tasarımı değiştirilmelidir. Kalıp sıcaklığı düşük tutulmalıdır çünkü kalıp sıcaklığının çok yüksek olması gözenekli yüzeye neden olur. Diğer bir gözenekli yüzey oluşum nedeni ise hava kabarcığıdır ve uygun olmayan kalıp tasarımıyla kaynaklanabilir. Bu yüzden kalıp tasarımının doğru yapılması son derece önemlidir (Yılmaz 2006).

2.3.2.2 Yüzeyde kabarcık oluşumu

Kalıbın bir kısmı sıcak bir kısmı soğuk olabilir bu durum yüzeyde kabarcığa neden olur bu yüzden kalıp homojen şekilde ısıtılmalıdır. Kalıpta hava kaçakları olabilir bu durumda istenilmeyen kabarcıklar oluşturabilir bu yüzden kalıptaki hava çıkışları kontrol edilmelidir. Kalıplama malzemesinin rutubetli olması da diğer bir sorundur kullanılacak malzemeler kuru saklanmalıdır. Yüzeyde kabarcık oluşumuna neden olan diğer başlıca sebepler malzemenin yetersiz volkanizasyonu, yetersiz volkanizasyon zamanı, yüksek hamur sıcaklığı, yüksek kalıp sıcaklığı, hamurun reaksiyonunun çok kuvvetli olmasıdır (Yılmaz 2006).

2.3.2.3 Renkli yüzey oluşumu

Kalıbın çok sıcak olması, kalıplama malzemesinin bozulmuş olması eşit olmayan volkanizasyon derecesi, kaba taneler, farklı tane büyüklükleri, renkli yüzey oluşumuna sebep olabilir. Bunların oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır (Yılmaz 2006).

2.3.2.4 Yüzeyde matlık

Kompozit malzemelerin renklerinde matlık iki şekilde görülür, bunlardan biri tüm parça yüzeyinde diğeri ise parçada bölüm bölüm matlaşmadır. Bunların nedeni ise kalıp yüzeyi yeterince parlatılmamış olabilir diğer bir nedeni ise kalıp ayırıcı eleman fazla konulursa matlık gözlemlenebilir. Kalıplama malzemeleri rutubetli veya kalıp yüzeyinin soğuk olması matlığın diğer nedenlerindedir. Ürün yeterince sertleşmemiş ise veya kalıp homojen

şekilde ısıtılmazsa kısa volkanizasyon zamanı, düşük kalıp sıcaklığı, yüzeyde matlık gibi sorunlara neden olur (Atik 2002).

2.3.2.5 Kalıplama malzemesinin kalıba yapışması veya sıkışması

Kalıplama malzemeleri yumuşak ya da nemli olursa veya kalıp tasarımı eğimleri arttıracak şekilde yapılmamışsa malzemenin kalıba yapışmasına veya sıkışmaya neden olabilir (Yılmaz 2006).

2.3.2.6 Ürünün bükülmüş olması

Kalıp sıcaklığı homojen değilse, yüzeydeki sıcaklık farkının 2-5 °C'den fazla olması durumunda üründe bükülmeler gözlenebilir (Yılmaz 2006).

2.3.2.7 Akma çizgileri

Hamur içinde yüksek nem miktarı veya fazla kayıcı madde miktarı, akma çizgilerine neden olabilir (Yılmaz 2006).

2.3.2.8 Çatlak oluşması

Isı iyi iletilmezse, kalıp içerisinde sıkışma olursa veya sıkıştırılmamış bölge kalırsa, kalıpta çıkıntılar olursa, birleştirme izleri, boşluk veya hava kabarcıkları bulunursa bunlar çatlak oluşumunun en önemli nedenleri arasındadır (Yılmaz 2006).

2.3.2.9 Çökelmeler

Et kalınlığı farkı, fazla nem miktarı ve malzemenin dıştan içe doğru sertleşmesi çökelme oluşumunda en önemli etkenlerdir (Yılmaz 2006).

2.4 Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu

2.4.1 Sertlik Deneyi

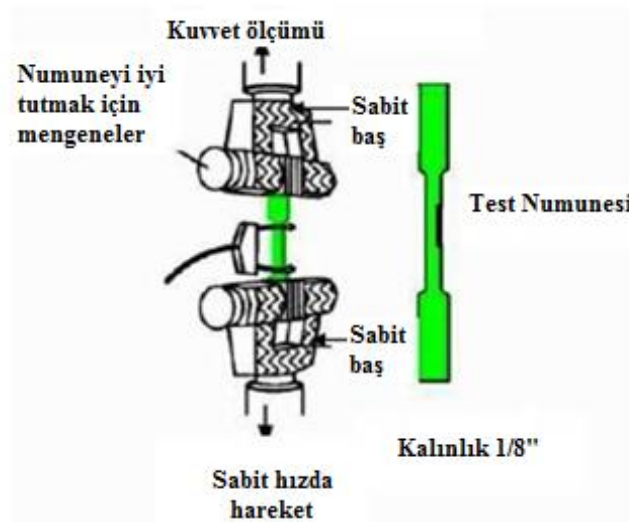
Sertlik ölçümleri oda sıcaklığında alınmış, sertlik skalası olarak Shore D sertlik skalası kullanılmıştır. Sertlik değerleri tespit edilirken en az 10 ölçümün ortalaması alınmıştır.



Resim 2.1 Shore D Sertlik Cihazı.

2.4.2 Çekme Deneyi

Çekme testi numunenin başlangıç boyutundan kuvvet uygulanarak koptuğu andaki kuvveti ve boyutunu ölçmek için kullanılan bir testtir. Bu yöntemde kullanılan numune ve test cihazı Şekil 2.17' de gösterilmiştir (Işık 2005).



Şekil 2.17 Çekme (tensile) numunesi ve gerilme test yöntemi.

Numune dikdörtgen ve kaşık numune şeklinde olup uçları, test makinesinin mengelerine sıkıştırılır. Mengene çenelerinden biri hareketli diğer çene ise sabittir, hareketli çene hareket edince numunede öncelikle uzama ve daha sonra ise kopma meydana gelir. Çekme testi sonunda çekme test cihazının kontrol edildiği bilgisayar gerilme uzama (stress- strain) diyagramını verir (Işık 2005).

Çekme gerilmesi birim alana düşen çekme kuvvetidir ve

$$\sigma = F/A_0 \quad (2.1)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilir.

Çekme uzaması ise numunedeki toplam uzama farkının ilk boya oranı ile bulunur ve

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 \quad (2.2)$$

formülü ile hesaplanabilir (Işık 2005).

Malzemenin kırılmadan önce kaydedilen gerilme direnci maksimum çekme dayanımıdır. Maksimum gerilme ise malzemede kopma anında oluşur.

Sertliğin ölçüsünü veren

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (2.3)$$

Formülü ile hesaplanan gerilme, çekme modülü olarak da adlandırılır (Işık 2005).

Gerilme uzama diyagramları, çekme modülleri ve uzama değerleri kullanılarak çizili (Işık 2005).

Bazı polimerik malzemelerin gerilme uzama diyagramları Şekil 2.18’de görülmektedir (Işık 2005).



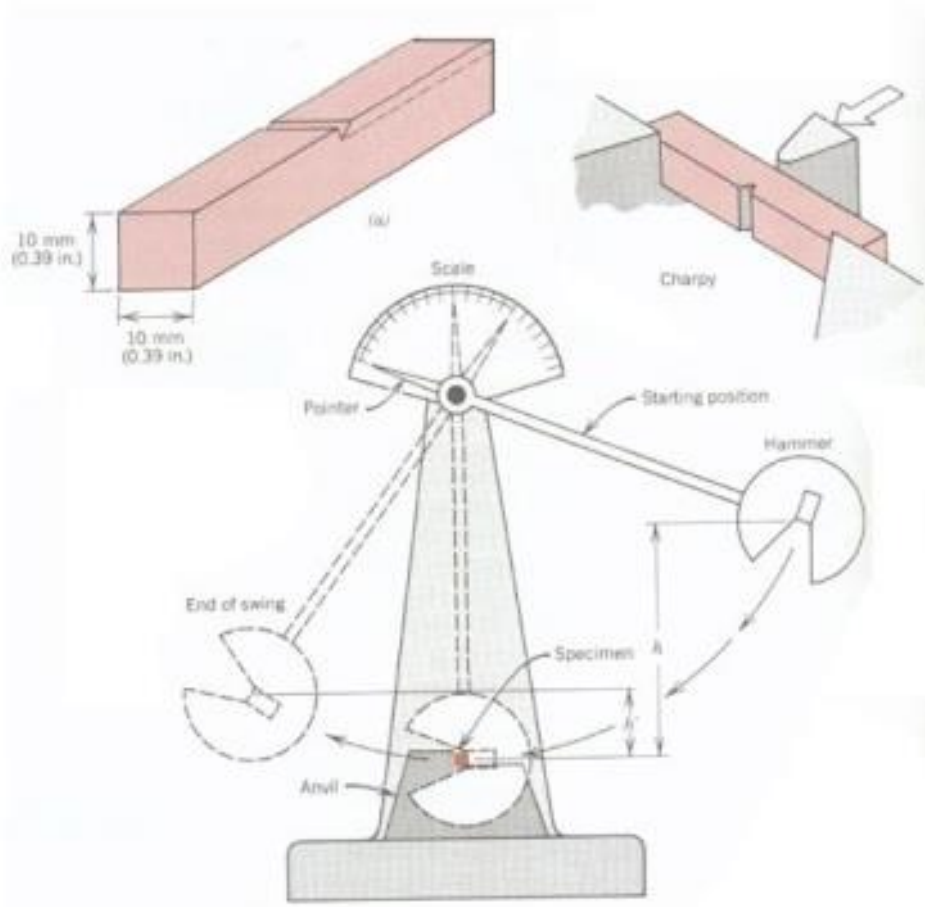
Şekil 2.18 Bazı polimerik malzemelerin gerilme-uzama (stress-strain) eğrileri.

2.4.3 Darbe Deneyi

Charpy ve Izod darbe test yöntemlerinin ikisinde daha önceden belirlenmiş bir yükseklikten bırakılan sarkacın numuneyi kırmasıyla gerçekleşir. Sarkaç ilk konumundaki yükseklikten bırakıldıktan sonra numuneyi kırarak enerji harcar ve sarkacın çıktığı yükseklik tespit edilir. Sarkacın ilk ve son konumundaki enerji farkı numune tarafından absorbe edilen enerjidir. Darbeden sonra sarkacın yüksekliği ne kadar az ise absorbe edilen enerji o kadar fazla yani tokluğu o kadar yüksektir (İnt.Kyn.7).

Charpy ve Izod test yöntemleri arasında çok ufak farklılıklar bulunur. Bunların en önemlileri çentiğin destek ve darbe noktalarına göre konumu ve numunenin desteklenme şeklidir (İnt.Kyn.7). Deneylerde kullandığımız yöntem charpy test yöntemidir.

Aşağıda Şekil 2.19’de Charpy test düzenekleri görülmektedir (İnt.Kyn.7).



Şekil 2.19 Charpy Darbe Test Düzenekleri.

2.4.4 Basma Deneyi

Basınç dayanımı en basit manasıyla kırılmaya karşı gösterilen direnç olarak tanımlanabilir. Kayaç malzemeleri için kullanılan en güvenilir yöntemlerden biri olan tek eksenli basınç dayanımı oldukça yaygın kullanılmaktadır.

Numuneye uygulanan yük belirli sabit bir hızdadır ve bu yük numune dayanım değerini geçtiği anda numune kırılır. Bu kırılma değeri numunenin tek eksenli basınç dayanımı olarak kaydedilir.

3. MATERYAL VE METHOD

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Epoksi Reçine

Düşük viskoziteli, iyi penetrasyon ve yüksek yapışma özelliğine sahip, solvent içermeyen, dış mekanlarda da kullanılabilen, çok amaçlı uygulaması kolay bir malzeme olan epoksi reçine beton yüzeylerin astarlanmasında, tüm epoksi ve poliüretan zemin kaplamalarından önce astar olarak ve harç kaplamalar için bağlayıcı olarak kullanılır. Deneysel çalışmalarda matriks olarak Tekno Yapı Kimyasalları firması tarafından üretilen Teknobond 300 epoksi esaslı çift bileşenli astar kullanılmıştır. Numunelerin üretiminde kullanılan epoksi reçine Resim 3.1’de ve teknik özellikleri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Numune üretiminde kullanılan epoksi reçine.

Çizelge 3.1 Teknobond 300 epoksi reçinenin teknik özellikleri.

Kimyasal Yapı	Epoksi Reçine Esaslı
Renk	Şeffaf Sıvı
Yoğunluk	A Bileşen : 1,10±0,02 (g / ml) B Bileşen : 1,03±0,02 (g / ml) (EN ISO 2811-1) Karışım : 1,10±0,02 (g / ml)
Eğilme Mukavemeti (7 Gün)	>30 N/mm ² (TS EN 196-1)
Basınç Mukavemeti (7 Gün)	>75 N/mm ² (TS EN 196-1)
Betona Yapışma Mukavemeti	>4 N / mm ² (Betondan Kopma) (TS EN 4624)
Çeliğe Yapışma Mukavemeti	>3 N / mm ² (TS EN 4624)
Uygulama Süresi (23°C , % 50 Nem)	40 dk (Hava şartlarına göre değişebilir)
Karışım Oranı	2 Birim A : 1 Birim B (Ağırlıkça)
Tam Mukavemet	7 Gün

3.1.2 Bor Atığı

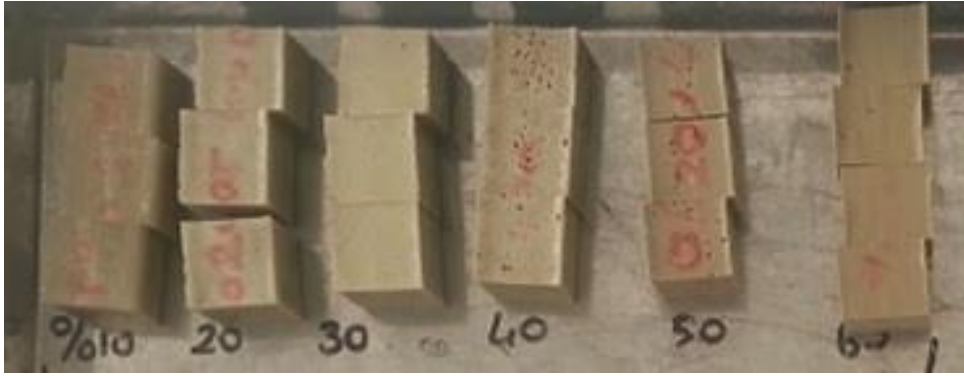
Deneysel çalışmada takviye malzemesi olarak Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilen bor atığı öğütülüp 75 µm'luk elek altı malzeme kullanılmıştır. Aşağıdaki Resim 3.2' de Eskişehir-Kırka bor tesisi atıkları görülmektedir.



Resim 3.2 Eskişehir-Kırka bor tesisi atıklarından bir görünüm.



Resim 3.5 Çekme numuneleri.



Resim 3.6 Basma numuneleri.

3.2.3 Karışım Oranları ve Karışımın Hazırlanması

Ağırlıkça %0, %10, %20, %30, %40, %50, %60 bor atığı içeren numunelerden oluşan karışım hazırlanmıştır. Referans malzeme olarak kuvars kumu seçilmiş ve kuvars kumu olan karışımlarda hazırlanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.2’de karışımların ağırlıkça bileşen miktarları verilmiştir. B ile kodlanmış numuneler Bor atığını, K ile kodlanmış numuneler kum olduğunu, 0 ile kodlanmış numune ise saf epoksi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2 Karışımların bileşen miktarları.

Karışım Kodu	Bor Atığı / (Kum) %	A bileşeni % (2/3)	B bileşeni % (1/3)
B0 (K0)	0	67	33
B10 (K10)	10	60	30
B20 (K20)	20	53,3	26,7
B30 (K30)	30	46,7	23,3
B40 (K40)	40	40	20
B50 (K50)	50	33,3	16,7
B60 (K60)	60	26,7	13,3

3.2.4 Karışımın Kalıba Dökülmesi

Deneyde kullanılan numuneler darbe numuneleri, çekme numuneleri, basma numuneleri olarak 3 farklı şekilde dökülmüştür. Darbe ve çekme numunelerinden 10'ar adet basma numunelerinden 6' şar adet dökülmüştür.

3.2.6 Döküm Yapıldıktan Sonra Bekleme ve Kalıptan Çıkarma

Döküm yapıldıktan 24 saat sonra deney numuneleri kalıptan çıkartılmış ve dökülen 5 numunenin darbe ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Kalan 5'er darbe ve çekme numuneleri ve 3'şer basma numuneleri oda şartlarında 28 gün bekletilmiş ve 28 gün sonunda testler uygulanmıştır.

Deney numunelerinin 1 gün ve 28 gün bekletilmelerinin nedeni, polimer malzemeler 28 gün sonunda maksimum mekaniksel özelliklerine ulaşmaktadır. Deneysel numuneleri 1 gün bekletmemizin nedeni ise 28 gün bekletilmiş numuneler ile 1 gün bekletilmiş numuneler arasındaki dayanım farkını açıkça görebilmektir.

3.3 Araştırma Yöntemleri

3.3.1 Taze Haldeki Özellikler

3.3.1.1 Viskozite Değerleri

Karışım belirtilen yüzdelerde sırayla hazırlanıp karışımların viskoziteleri Brookfield viskozite cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan karışımların Brookfield Viskozite Cihazı ile viskoziteleri 10-100 rpm arasında uygun spindle kullanılarak ölçülmüştür.

Resim 3.7' de Brookfield viskozite cihazı ve kullanılan spindle verilmiştir.



Resim 3.7 Brookfield viskozite cihazı ve kullanılan spindle a)Viskozite cihazı ve ölçümü b) V74 spindle.

3.3.1.2 Eşik Gerilme Değerleri

Viskoziteleri ölçülen deney numuneleri döküm yapılmadan(taze harç halinde iken) yayılma deneyleri yapılmıştır. Yayılma deneyleri mini-çökmede-yayılma konisi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Resim 3.8'te yayılma konisi gösterilmiştir.



Resim 3.8 Yayılma konisi.

3.3.2 Mekanik Özellikler

3.3.2.1 Sertlik Deneyi

Shore sertliği testlerinde her numune için için 2'şer örnek alınarak birer yüzeyleri 360 numaralı zımpara yardımıyla düzeltilmiş ve pürüzsüz hale getirilmiştir. Numunelerin sertliklerinin belirlenmesinde Shore D sertlik cihazı kullanılmıştır. Pürüzsüz yüzeyde 10 adet okuma yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması hesaplanarak Shore sertliği değerleri hesaplanmıştır. Deneyler ASTM D2240 standartlarına uygun yapılmıştır.

3.3.2.2 Çekme Dayanımı

Deneylerde kullanmış olduğumuz çekme deney cihazı Afyon Kocatepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Polimer laboratuvarında bulunan elektromekanik çekme-basınç cihazıdır ve 2mm/dk'lık çekme hızı altında çekme testleri yapılmıştır. Aşağıda Resim 3.9'te kullandığımız cihaz görülmektedir. Deneyler ASTM D4762 standartlarına uygun yapılmıştır.



Resim 3.9 Çekme cihazı.

3.3.2.3 Darbe Dayanımı

Deneyleerde kullanmış olduğumuz darbe test cihazı Afyon Kocatepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Polimer laboratuvarında bulunan Mitech marka charpy test cihazıdır. Aşağıdaki Resim 3.10’de charpy darbe test cihazı gösterilmiştir. Deneyleer ASTM D4762 standartlarına uygun yapılmıştır.



Resim 3.10 Charpy darbe test cihazı.

3.3.2.4 Basınç Dayanımı

Deneyleerde kullanmış olduğumuz basma test cihazı Afyon Kocatepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı laboratuvarında bulunan Yüksel Kaya Makine tarafından imal edilmiş basma test cihazıdır. Kompozit numunelerin basınç dayanımı deney cihazının resmi Resim 3.11’de gösterilmiştir. Deneyleer TS EN 12390-3 standardına göre yapılmıştır.



Resim 3.11 Tek eksenli basınç dayanımı deney cihazı.

3.3.3 Fiziksel Karakterizasyon

3.3.3.1 Su Emme Oranı ve Görünen Porozite Oranı

Su emme deneyleri, malzemenin gözenekliliğini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Öncelikle oda şartlarında 28 gün bekletilen deney numuneleri, ± 0.01 g duyarlıklı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra numuneler suya konulmuş ve numunelerin suya iyice batması sağlanmıştır. Deney numuneleri 48 saat süre ile $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik suda bekletilmiştir. Bu süre sonunda sudan çıkarılan numunelerin fazla suları nemli bir bez yardımıyla alınmış ve ağırlıkları aynı terazide tartılmıştır. Numunelerin su emme oranı TS EN 12390-7'te belirlenen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Su alma miktarlarının belirlenmesinde;

$$\%SE = [(M_s - M_o) / M_o] \times 100 \quad (3.1)$$

formülü kullanılmıştır. Burada;

SE: Su emme miktarı (%)

M_o: Numunenin ilk ağırlığı (g)

M_s: numunenin suda bekledikten sonraki ağırlığı (g)

Deney numunelerinin tartımlarında kullanılan terazi Resim 3.12'de gösterilmiştir.



Resim 3.12 ± 0.01 g duyarlıklı hassas terazi.

Görünen porozite numunedeki boşluk hacmini hesaplamak için yapılmaktadır. Öncelikle numune kuru halde tartılmış, daha sonra su emdirilmiş (doymuş) numune nemli bir bezle kurulanıp tartılmıştır. Son olarak su emdirilmiş (doymuş) numunenin su içindeki asılı ağırlığı tartılmıştır. Numunelerin görünür porozite oranı TS EN 12390-7’de belirlenen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Görünen porozite oranının belirlenmesinde;

$$\%GP = [(Wd-Wk)/(Wd-Wa)]x100 \quad (3.2)$$

formülü kullanılmıştır. Burada;

Wk = Kuru numunenin havadaki ağırlığı

Wa = Su emdirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı

Wd = Su emdirilmiş numunenin havadaki ağırlığı

Su emme ve görünür porozite hesaplamalarında kullanılan su emdirilmiş numunenin su içindeki ağırlığı Resim 3.13’de gösterilmiştir.



Resim 3.13 Su içindeki doymuş ağırlığın hesaplanması.

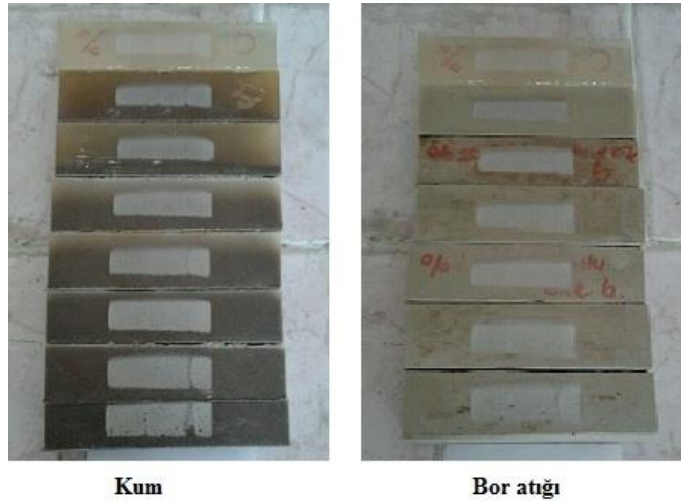
3.3.3.2 Aşınma Dayanımı

Aşınma deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı atölyesinde bulunan aşınma cihazında yapılmıştır. 4x4x16 numuneler aşınma testine tabi tutulmuş ve aşınma izi boyutları kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Aşınma Test cihazı aşağıda Resim 3.14’da gösterilmiştir. Deneyler TS 2809 EN 1342 standartlarına uygun yapılmıştır.



Resim 3.14 Aşınma test cihazı.

Aşağıdaki Resim 3.15 ‘de kum ve bor atığı numunelerinin aşınma sonrası resimleri gösterilmiştir.



Resim 3.15 Kum ve Bor atığı katkılı polimer kompozitin aşınma sonrası görüntüsü.

3.3.3.3 Asitlere Dayanıklılık

Asitlere dayanıklılık testi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi araştırma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Döküldükten sonra 28 gün bekletilen deney numuneleri nitrik asitte 1, 4, 9, 16, 25 dk bekletilip numunede oluşan ağırlık değişiklikleri kaydedilmiş daha sonra etüvde 60°C ' de 24 ve 48 saat kurutma işlemi uygulanarak ağırlık değişiklikleri kaydedilmiştir. Aşağıda Resim 3.16'de korozyon deneyinin yapılışı gösterilmektedir.



Resim 3.16 Asitlere dayanıklılık deneyi yapılışı.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

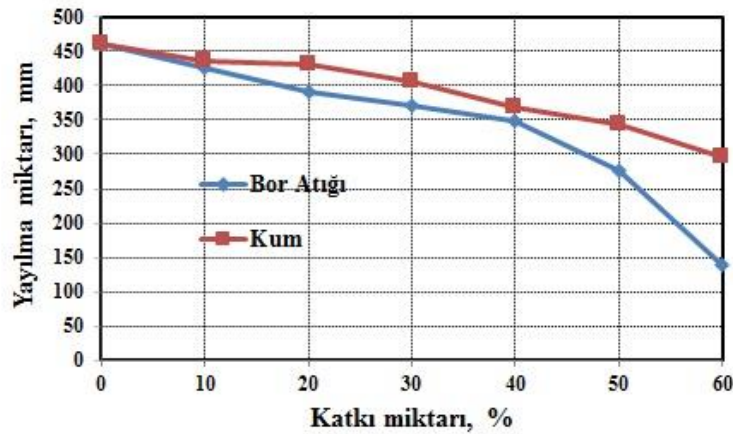
Tez çalışmamızda farklı karışım oranlarında bor atığı ve kum katkıli numunelerin taze haldeki özellikleri (viskozite değerleri, eşik gerilmesi değerleri), mekaniksel özellikleri (çekme, darbe, basma deneyleri) ve fiziksel özellikleri (su emme, görünen porozite oranı, aşınma ve asitlere dayanıklılık deneyleri) incelenmiştir.

4.1 Taze haldeki Özellikler

4.1.1 Viskozite Değerleri Test Sonuçları

Döküm yöntemiyle üretilen malzemelerde en önemli özelliklerden birisi döküldüğü kalıp içerisindeki yayılma miktarıdır. Taze harcın kalıbı tamamen ve boşluksuz bir şekilde doldurabilmesi için kalıbın titremesini sağlayan aletler kullanılmaktadır.

Şekil 4.1’de bor atığı ve kuvars kumu içeren epoksi harçların yayılması incelendiğinde, ince malzeme içermeyen saf epoksi reçinenin yayılması 459 mm iken hem bor atığı hem de kuvars kumu ilavesiyle, taze harcın yayılmasının azaldığı tespit edilmiştir. En düşük yayılma çapları her iki malzeme için de %60 oranında katkı malzemesi kullanıldığında elde edilmiştir.

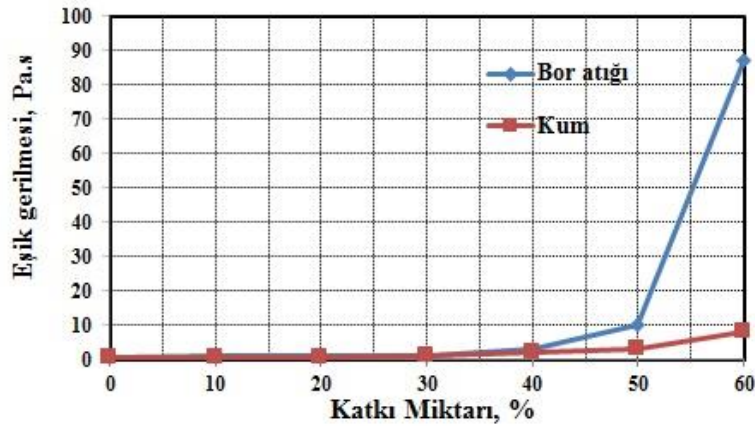


Şekil 4.1 Bor atığı ve kuvars kumunun yayılma çapına etkisi.

Bor atığı ile kuvars kumu karşılaştırıldığında tüm katkı oranlarında bor atığıyla oluşturulan harcın yayılma değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun en önemli nedeni bor atığının daha küçük tane boyutuna sahip olması sonucu yüzey alanının

doğal kuma göre daha yüksek olması ve bunun sonucunda tanelerin daha fazla reçineyle kaplanma isteğidir.

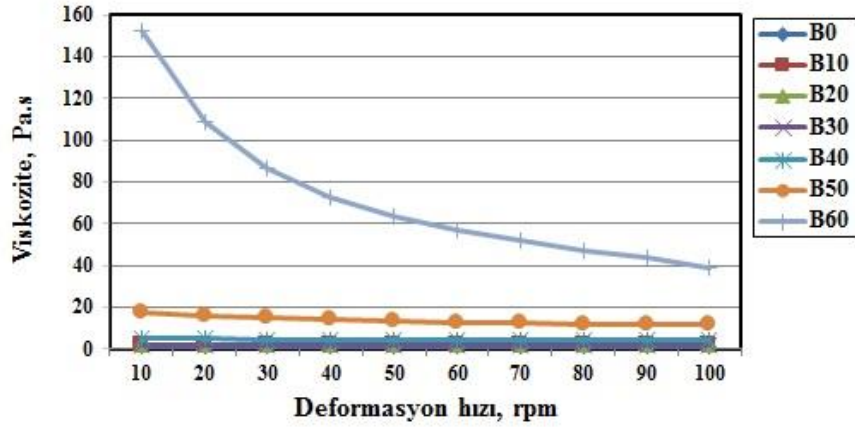
Şekil 4.2 'de bor atığı ve kuvars kumunun epoksi içerisine belirli yüzdelerle ilavesi durumunda dökümden önceki (taze haldeki) eşik gerilmesi değerleri gösterilmektedir. Saf epoksi reçine harcının eşik gerilme değeri sıfıra yakındır. Her iki malzeme miktarının %40 oranına kadar malzeme ilavesiyle eşik gerilmesinde önemli bir değişim olmadığı fakat %40 oranından sonra eşik gerilmesinde fark edilir derecede artışlar olduğu görülmüştür. %40 oranına kadar harç içerisindeki kum ve bor atığı reçine tarafından kolayca taşınmıştır. En yüksek eşik gerilmesi %60 bor atığı katkılı numunede yaklaşık 89 Pa.s iken %60 kum katkılı numunede yaklaşık 7.9 Pa.s olarak elde edilmiştir. Kuvars kumunun ve bor atığının özgül ağırlıklarının, reçinenin özgül ağırlığından fazla olması ve katkı miktarının artmasıyla taneciklerin reçine tarafından taşınması zor hale gelmiş, viskozite artmış ve dolayısıyla eşik gerilmesi de artmıştır. Bor atığının yüzey alanının fazla olması ve tane dağılımının daha küçük olmasından dolayı kuma göre daha yüksek eşik gerilmesi değeri elde edilmiştir.



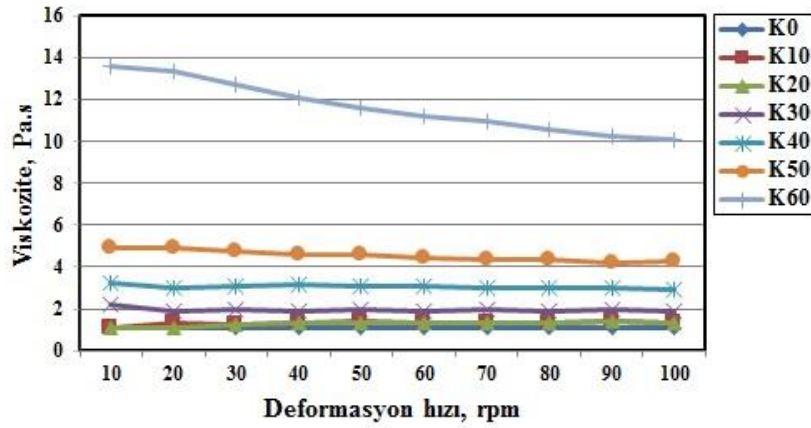
Şekil 4.2 Bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin eşik gerilmesi değerleri.

Bor atığı ve kuvars kumuyla elde edilen harçların viskozitelerine ait değişimleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 'te verilmiştir. Deformasyon hızına bağlı olarak serilerin viskozite değerlerinde %50 katkı oranına kadar önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak %60 katkı oranında tüm deformasyon hızlarında önemli artışlar göze çarpmıştır. En yüksek viskozite değeri en düşük deformasyon hızında ve %60 katkı oranına sahip harçlarda elde

edilmiştir. Artan deformasyon hızıyla viskozite değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bor atığı ile kuvars kumu karşılaştırıldığında ise bor atığı katkılı harçların viskozite değerleri kuvars kumuna göre oldukça yüksektir.



Şekil 4.3 Bor atığı katkılı harcın viskozite değerleri.



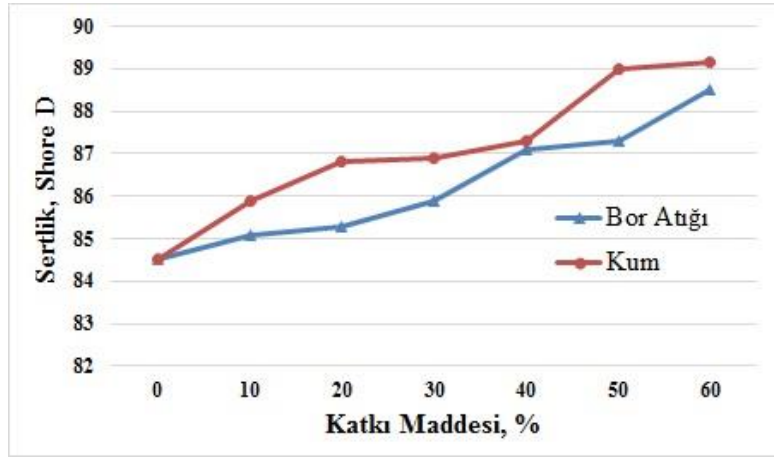
Şekil 4.4 Kuvars kumu katkılı harcın viskozite değerleri.

Deformasyon hızını sabit tuttuğumuzda ise katkı oranının artmasıyla viskozite değerlerinin arttığı görülmektedir. 10 rpm deformasyon hızında B0 (K0) numunesinin viskozitesi 0.3 Pa.s değerini alırken, K60 kodlu numunenin 13.5 Pa.s, B60 kodlu numunenin yaklaşık 155 Pa.s değerini almıştır. Deformasyon hızının artmasıyla özellikle yüksek katkı oranına sahip harçların viskozitelerinde fark edilir derecede azalmalar gözlenmiştir. Sabit deformasyon hızında ise malzeme miktarının artmasıyla harç içerisindeki partiküllerin birbiri arasındaki sürtünmelerden dolayı harcın viskozitesinin arttığı tespit edilmiştir.

4.2 Mekanik Özellikler

4.2.1 Sertlik Ölçümü Test Sonuçları

Şekil 4.5 'de oda koşullarında 28 gün bekletilen numuneler bor atığı katkıli numunelerin sertlik değerleri ile kum katkıli numunelerin sertlik değerleri kıyaslanmıştır. Hem kuvars kumu hem de bor atığı ilavesiyle sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Özsüz hammadde olarak bilinen kuvars esaslı kum, özlü hammadde olarak bilinen kil esaslı bor atığına göre daha sert bir yapıya sahiptir. Bunun bir sonucu olarak kum katkıli kompozit malzemenin, bor atığı katkıli kompozit malzemeye göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Şeker (2010) yüksek lisans çalışmasında kil ilavesinin artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiş %0,1,3,5,7,15,20 kil ilave edilmiş ve en yüksek sertlik değeri %20 katkıda 49.5 (shore D) olarak ölçülmüştür.

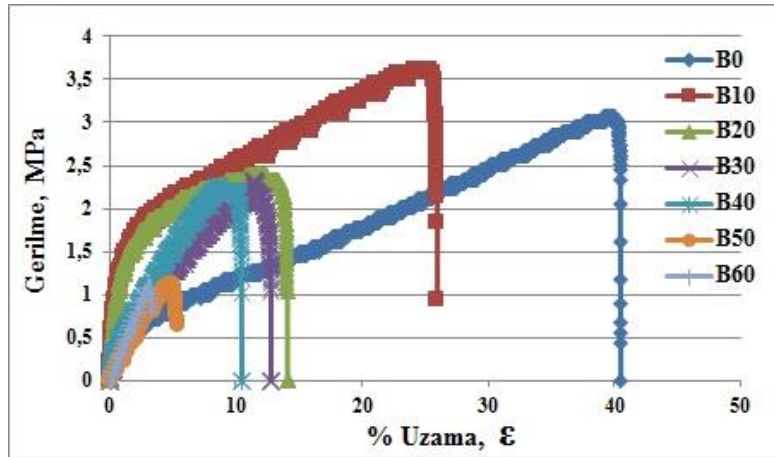


Şekil 4.5 Bor atığı katkıli ve kum katkıli numunelerin sertlik değerleri.

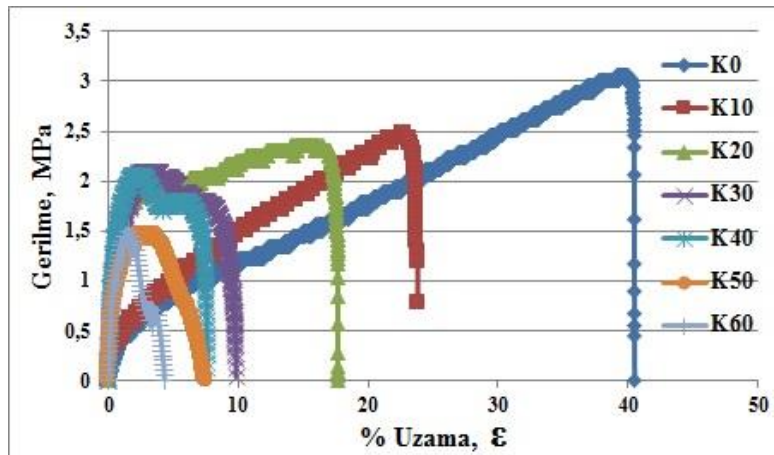
Dağ (2010) yüksek lisans çalışmasında kompozitlerin sertlik ölçümleri de yapılmış tüm kompozitlerde mermer atığının bulunması, saf reçinenin sertlik değerini arttırdığı görülmüştür. Zerda ve Lesser (2001) yaptıkları çalışmada, inercalated nanokompozit sentezi yapmışlardır. Bunu hazırlamak için modifiye edilmiş montmorillonit tipi kil ve epoksi kullanılmıştır. Modifiye edilmemiş reçineye göre sertlik değerinin %200 den fazla arttığı gözlenmiştir. Akıncı (2010) yaptığı çalışmada düşük yoğunluklu polietilene takviye elemanı olarak ağırlıkça silisyum dioksit ilave etmiş ve ilavenin artmasıyla sertliğin arttığını bildirmiştir.

4.2.2 Çekme Dayanımı Test Sonuçları

Şekil 4.6’da oda koşullarında 1 gün bekletilmiş bor atığı katkılı deney numuneleri, Şekil 4.7’de oda koşullarında 1 gün bekletilmiş kum katkılı deney numunelerinin çekme deneyi sonuçları görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi çekme deneyi sonucunda katkı miktarının artmasıyla birlikte % uzama değerlerinde düşüşler görülmüştür. Bunun nedeni katkı oranının artmasıyla birlikte viskozite değerinin artması ve polimer molekülleri arasındaki kimyasal bağların zayıflamasıdır. Grafiklerden de görüldüğü gibi deney numunelerinin çekme dayanımlarında en yüksek gerilme saf epoksi numunesinde görülürken en düşük gerilme değeri %60 katkı oranına sahip numunelerde gözlenmiştir. Katkı miktarının artmasıyla birlikte epoksi malzemesinin moleküler bağları arasına giren ince malzeme polimerik bağları zayıflatmakta ve çekme gerilmesi değerlerinde düşüşlere neden olmaktadır.

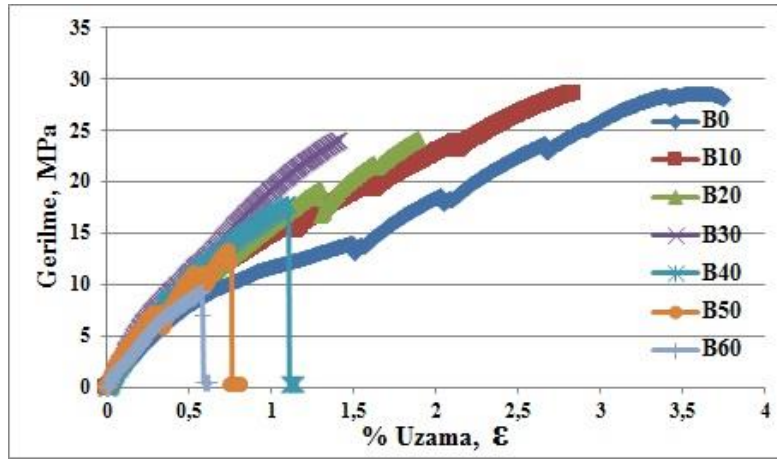


Şekil 4.6 Bor Atığı katkılı kompozitin 1 gün sonundaki çekme grafiği.

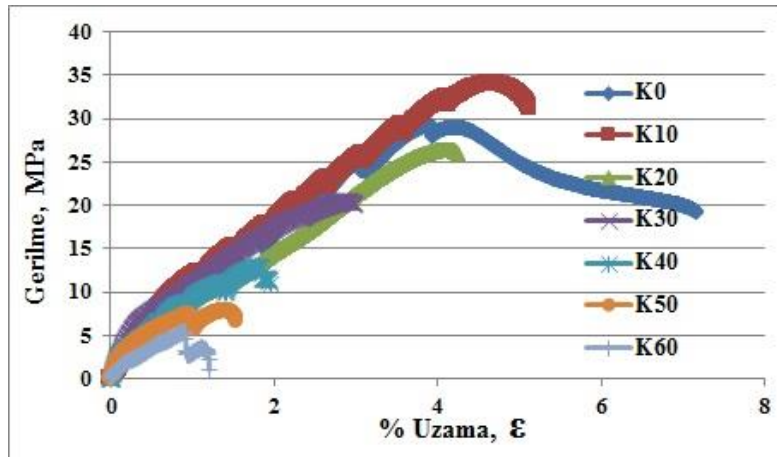


Şekil 4.7 Kum katkılı kompozitin 1 gün sonundaki çekme grafiği.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da oda koşullarında 28 gün bekletilmiş bor atığı katkılı ve kum katkılı kompozit malzemelerin çekme grafikleri görülmektedir. Kum ve bor atığı miktarının artmasıyla 1 günlük numunelerde olduğu gibi uzama değerlerinde ve gerilme değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Grafiklerden en yüksek % uzama değeri B0 (K0) numunesinde ve en düşük uzama değeri %60 katkılı numunededir. Yüzde uzama değerleri 1 günlük numunelerle karşılaştırıldığında uzama miktarlarının yaklaşık 8 kat azaldığı tespit edilmiştir. Bor atığı ile kum katkılı kompozitler karşılaştırıldığında ise bor atığı ile kum katkısı arasında çok büyük bir fark görülmemiştir. Birim hacimdeki bor atığı miktarı yüzey alanı nedeniyle kuma göre daha fazladır ve epoksi reçine içerisinde daha çok sayıda bulunur. Bu yüzden ince malzemenin epoksi içerisindeki bağlar arasına girmesi daha kolay olmuş ve bağları zayıflatmıştır ve dolayısıyla çekme gerilmesi katkı miktarının artmasıyla azalmıştır.

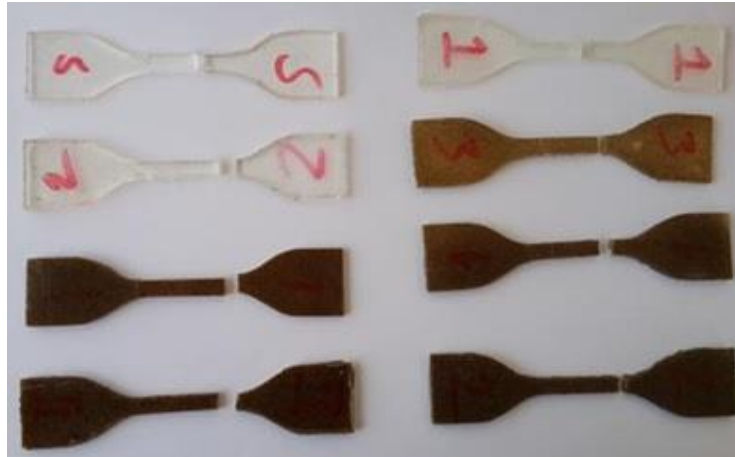


Şekil 4.8 Bor atığı katkılı kompozitin 28 gün sonunda çekme grafiği.



Şekil 4.9 Kum katkılı kompozitin 28 gün sonunda çekme grafiği.

Literatür incelendiğinde benzer sonuçlar Liu ve ark (2005) epoksi soya yağı/montmorillonit nanokompozitlerini üretip epoksi matrikse %0, %5, %8, %10 oranında kil ilave edip mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çekme dayanımı için en iyi sonuç %8 kil ilave edilmiş kompozitlerde görülmüştür. Ho ve ark (2006) Araldite GY 251 epoksi reçineye %0-%8 oranında nanokil ilave edip mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu reçineyle yapılan araştırmada mekanik özellikler en iyi %5 kil ilaveli kompozitlerde görülmüştür. Qi ve ark (2006) 'nın yaptığı araştırmada ise epoksi(dgeba) reçinesine %2, %5, %10 kil ilave edilip 80-90°C'de 2 saat mekanik olarak karıştırılmış ve çekme testlerine göre en iyi sonuç %5 kil oranında görülmüştür. Bağcı (2006) yüksek lisans tezinde matriks sistemi olarak epoksi reçine, takviye sistemi olarak silika ve modifiye edici olarak polieter poliöl kullanılmış ve çekme dayanımı ve çekme uzamasının artan silika oranıyla azaldığını tespit etmiştir.

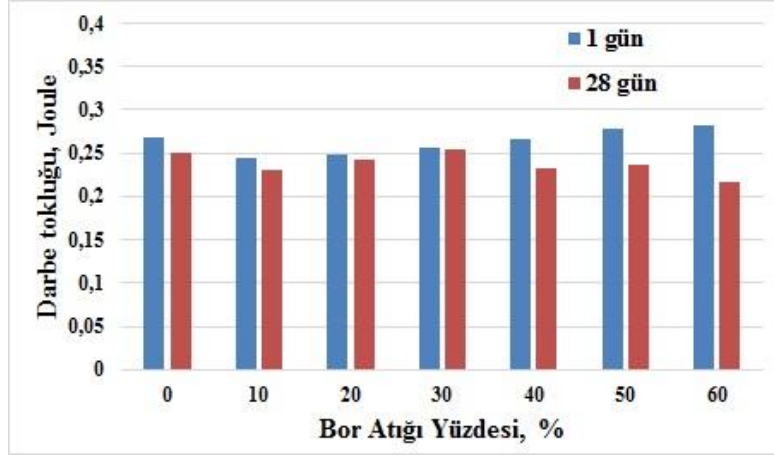


Resim 4.1 Çekme deneyi sonrası numuneler.

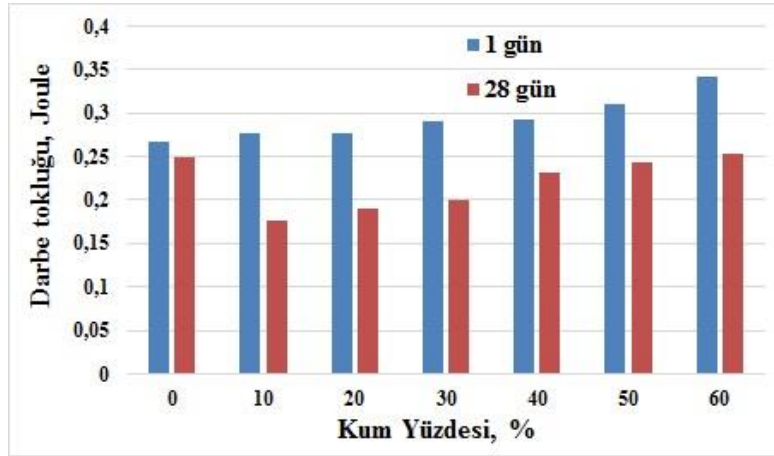
4.2.3 Darbe Dayanımı Test Sonuçları

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 'de oda koşullarında 1 gün ve 28 gün bekletilmiş bor atığı ve kum katkılı kompozit numunelerinin Charpy darbe deneyi sonuçları görülmektedir. Kür süresinin artmasıyla birlikte bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin darbe tokluğu değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Dökümden sonraki ilk günlerde kür işlemi hala devam ettiği için daha sonraki günlere göre yüksek tokluk değerine sahiptirler. Bu yüzden darbe tokluğu daha yüksektir. Kür işlemi tamamlandığında kompozit malzeme daha rijit

bir hale gelir ve dolayısıyla tokluk değerlerinde azalmalar görülür. Kum katkıli kompozit malzemelerde ilk günkü tokluk ile sonraki günlerdeki tokluk arasında fark edilir düzeyde farklar vardır. Bor atığı katkıli kompozitlerde ise ilk ve sonraki günlerdeki darbe tokluğu değerleri arasında çok fazla farklılık görülmemiştir.



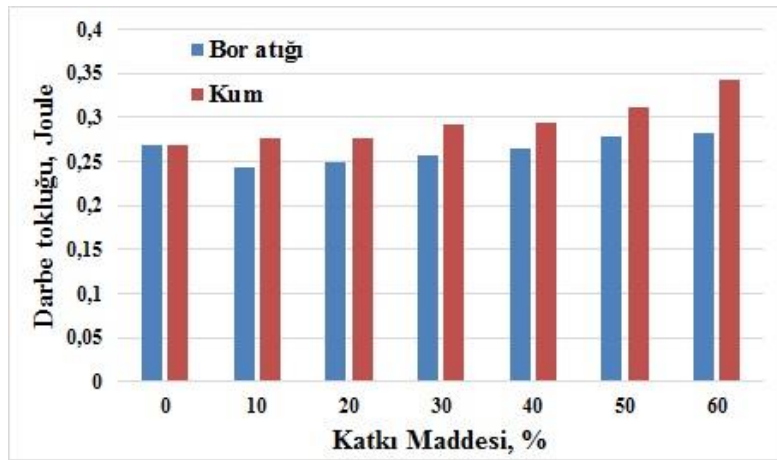
Şekil 4.10 Bor atığı katkıli kompozitin 1 ve 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.



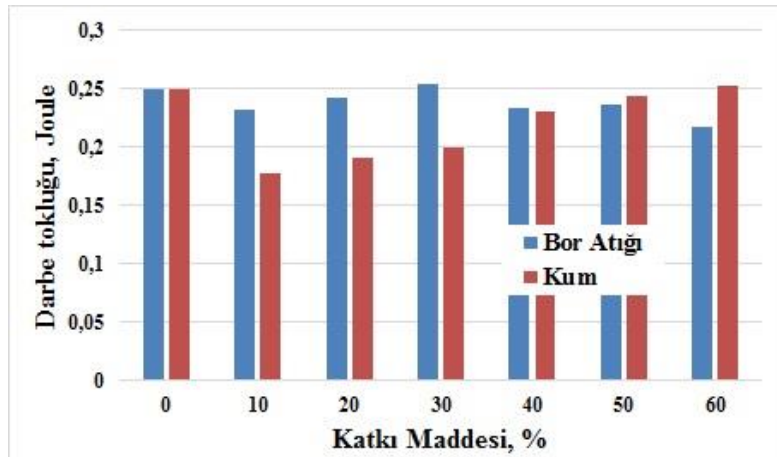
Şekil 4.11 Kum katkıli kompozitin 1 ve 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.12 'da bor atığı ve kuvars kumu katkıli kompozitlerin 1 gün sonundaki darbe toklukları karşılaştırıldığında katkı maddesinin artmasıyla darbe tokluğunun arttığı görülmektedir. Aynı zamanda 1 günlük kum katkıli kompozit malzemelerde bor katkıli kompozitlere göre darbe tokluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.13 'de bor atığı ve kum katkıli kompozit numunelerinin 28 gün sonunda darbe deneyi sonuçları incelendiğinde %40 katkı oranına kadar kullanılmaları durumunda bor atığı içeren kompozitler daha yüksek darbe tokluğuna sahiptir. Fakat her iki malzemenin tokluk

değeri saf epoksi reçineye göre daha düşüktür. Katkı oranı %50 ve üzerinde kullanıldığında kum katkıli kompozitlerin bor atığı katkıli kompozitlere göre daha yüksek tokluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde Kop (2007) yüksek lisans tezinde Araldite LY556 epoksi, Aradur 918 anhidrit sertleştirici ve DY070 imidazol hızlandırıcıdan oluşan reçine içerisine %1, %3, %5, %7, %9 kil ilave etmiş ve kil ilavesiyle darbe dayanımının azalığı görülmüş ve en düşük darbe dayanımının %7 de olduğunu fakat %9 da hafif bir artış olduğu tespit etmiştir. Singla ve ark. (2010) epoksi reçine içerisine uçucu kül ilave etmiş ve darbe tokluğu kil ilavesinin artmasıyla azalmıştır.



Şekil 4.12 Bor atığı katkıli ve Kum katkıli kompozitlerin 1 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.



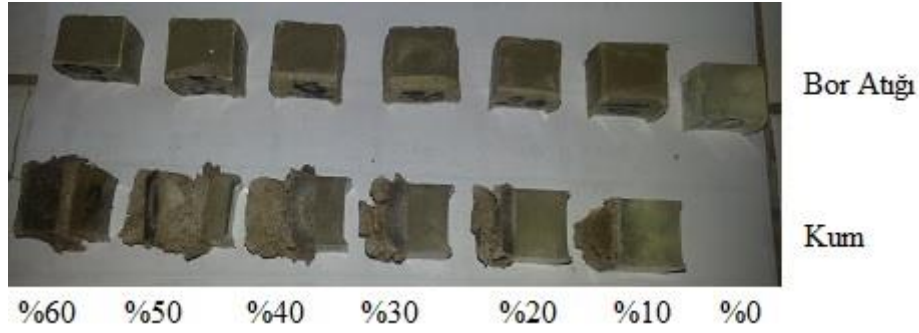
Şekil 4.13 Bor atığı katkıli ve Kum katkıli kompozitlerin 28 gün sonunda darbe grafiklerinin karşılaştırılması.



Resim 4.2 Charpy darbe deneyi sonrası numuneler.

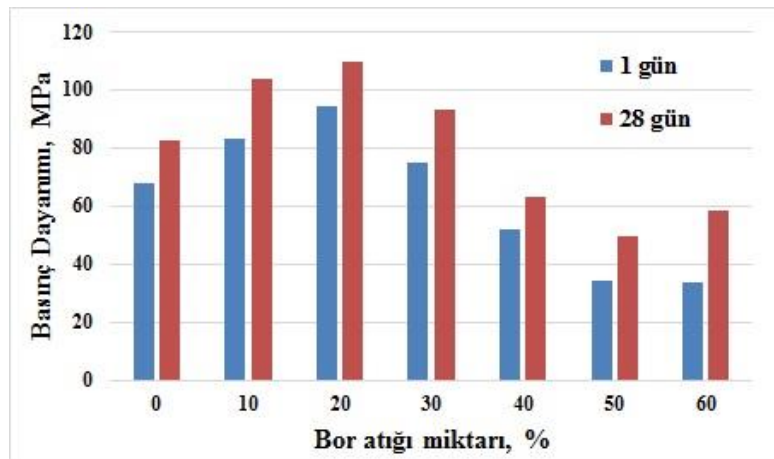
4.2.4 Basma Dayanımı Test Sonuçları

Resim 4.3'te basma deneyi sonrası numuneler görülmektedir.



Resim 4.3 Basma deneyi sonrası numuneler.

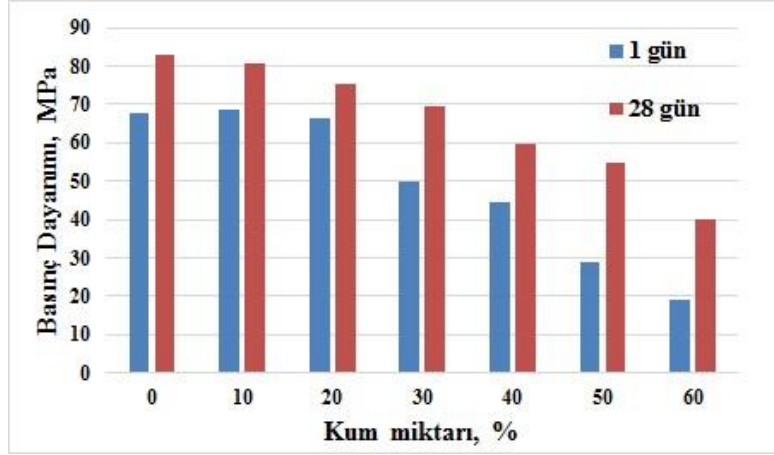
Bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin 1 gün ve 28 gün sonundaki basınç dayanımları belirlenerek sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.14 Bor atığı katkılı kompozitin 1 gün ve 28 gün sonunda basma grafiği.

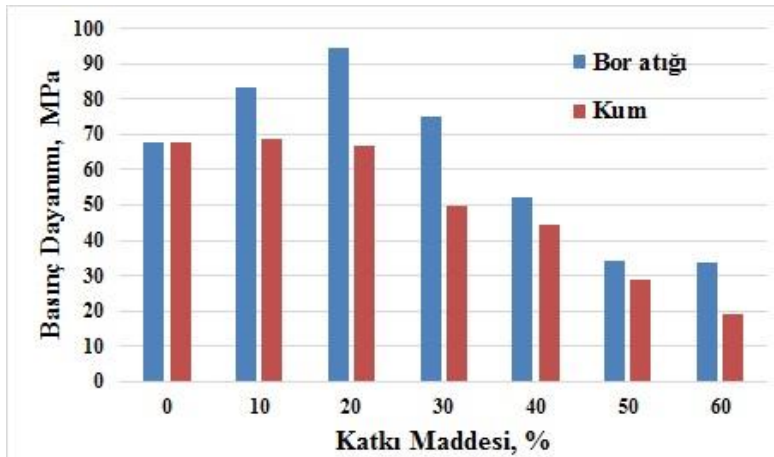
Grafiklerden de görüldüğü gibi 1 günlük ve 28 günlük değerler karşılaştırıldığında, 1 günlük değerlerin 28 günlük değerlere oranla %10-20 oranında düşük olduğu tespit

edilmiştir. Özellikle %20 bor atığı içeren kompozit malzemenin 1 günlük dayanımı, saf epoksi reçineyle üretilmiş numunenin 28 günlük dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bor atığı miktarının artmasıyla %30 oranından sonra 1 gün ve 28 günlük dayanım değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. Kum katkıli kompozit malzemelerde ise 1 gün ve 28 günlük dayanım değerleri malzeme artışına bağlı olarak azalmalar göstermiştir.



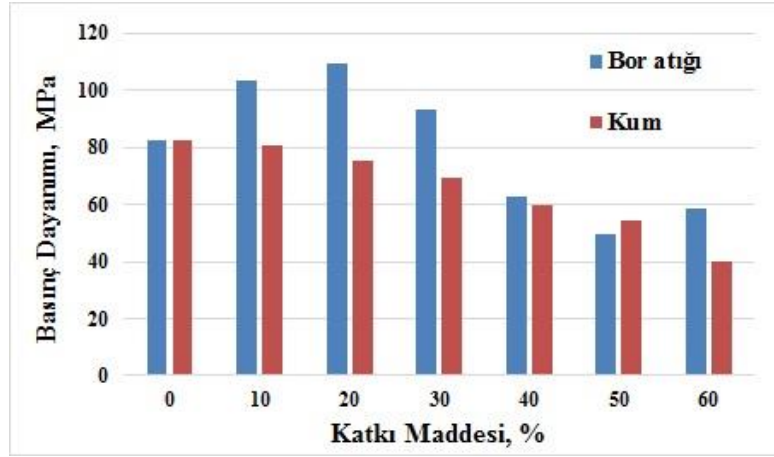
Şekil 4.15 Kum katkıli kompozitin 1 gün ve 28 gün sonunda basma grafiği.

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 'de bor atığı katkıli ve kum katkıli numunelerin 1 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında tüm katkı oranlarında bor atığı içeren kompozit malzemeler kum katkıli kompozit malzemelere göre daha yüksek basınç dayanımına sahip oldukları rahatlıkla görülmektedir. Bor atıklarının daha küçük tane boyutuna sahip olması ve polimer içerisinde zincirler arasında homojen bir şekilde dağılmasından dolayı kompozitin basınç dayanımı artmıştır.



Şekil 4.16 Bor atığı ve kum katkıli kompozitlerin 1 gün basma sonuçlarının karşılaştırılması.

Resim 4.3' ten görüldüğü üzere kum katkılı kompozit malzemelerde kumların reçine içerisine çökmesi daha düşük dayanım değerleri elde edilmesine neden olmuştur. Ateş (2006,2009) yapmış olduğu çalışmalarında polyester reçine içerisine kuvars dolgu malzemesi ilave etmiş ve basma dayanımının artan kuvars miktarıyla azaldığını tespit etmiştir.



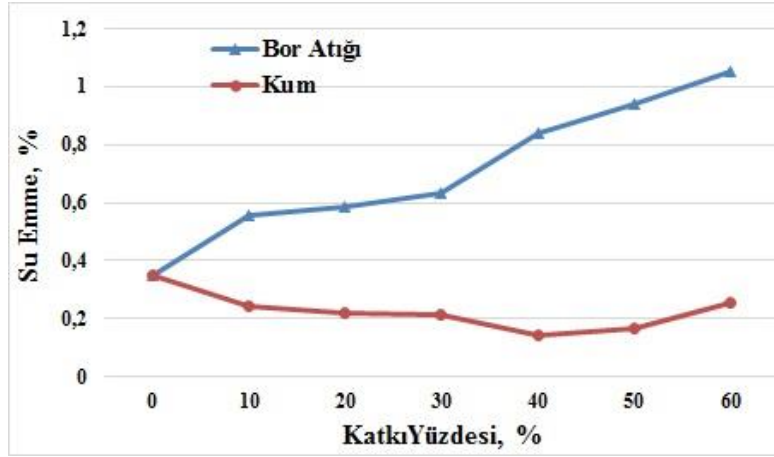
Şekil 4.17 bor atığı ve kum katkılı kompozitlerin 28 gün sonunda basma sonuçlarının karşılaştırılması.

4.3 Fiziksel Karakterizasyon

4.3.1 Su Emme ve Görünen Porozite Deneyi Test Sonuçları

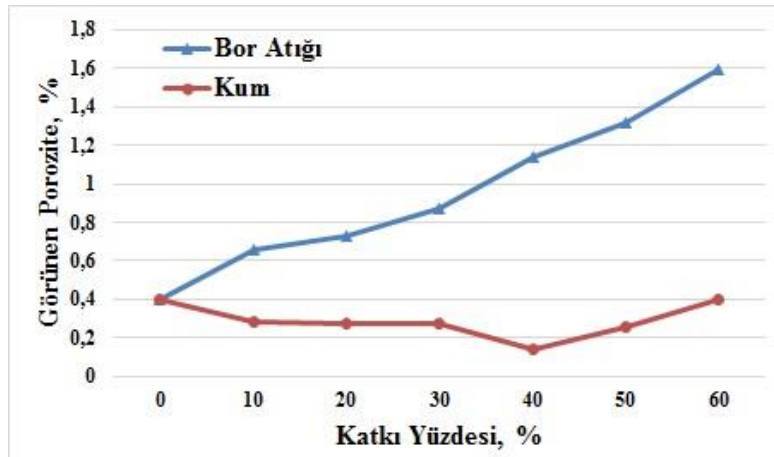
Şekil 4.18'de oda koşullarında 28 gün bekletilmiş bor atığı katkılı ve kum katkılı numunelerin su emme deney sonuçları gösterilmektedir. Bor atığı katkı miktarının artmasıyla su emme oranının arttığı görülürken, kum katkı miktarının %40 'a kadar artmasıyla su emme oranında azalmalar görülmüş, %50 ve %60 oranında kum katkılı numunelerde su emme oranının bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni bor atığı katkılı kompozitlerde bor atığı reçine içine homojen olarak dağılmakta ve özlü hammadde olan kil katkılı bor atığı su emme miktarını arttırmaktadır. Kum katkılı kompozit malzemelerde ise kum homojen olarak dağılmayıp dibe çökmektedir. Kum miktarının %40'tan fazla olduğu numunelerde kumun epoksi reçine içinde daha fazla yer kaplayarak su emme miktarını arttırmaya başlamıştır. Benzer sonuçlar Sınıksaran (2012) yüksek lisans tezinde tuf oranının artmasıyla su emme oranının arttığı, mermer tozu miktarının artmasıyla su emme oranının azaldığı görülmektedir. Ferreira ve ark. (2013) nanokil ilave

edilmiş epoksi reçinenin tokluk davranışını incelemiş olup üretilen kompozitlerin su emme oranlarını belirlemiştir. Epoksi reçine içerisine %0, %1, %3 nanokil ilave etmiş ve kil ilavesinin artışıyla su emme oranlarında artışlar gözlenmiştir. Su emme oranının artması ve azalması bor atığının ve tuf malzemesinin özlü hammadde, kum ve mermer tozunun özgül hammadde olmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.18 Bor atığı katkı ve kum katkı numunelerde su emme oranı grafiği.

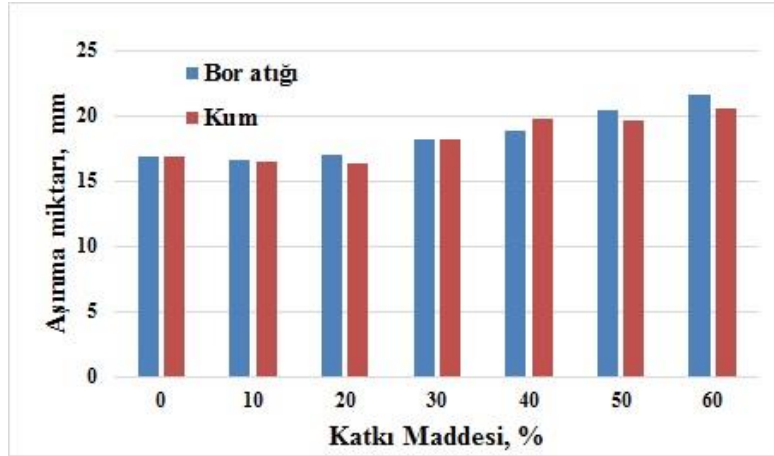
Şekil 4.19’de oda koşullarında 28 gün bekletilmiş bor atığı katkı ve kum katkı numunelerin görünen porozite deney sonuçları gösterilmektedir. Su emme oranında olduğu gibi görünen porozite oranlarında da benzer davranışlar gözlenmiştir. Bor atığı miktarının artmasıyla birlikte görünen porozite oranında artmıştır. Bor atığı katkı kompozit malzemelerde görünen porozite oranı %0.4 ile %1.6 arasında değerler alırken, kum katkı kompozit malzemelerde %0.4 ile %0.15 arasında değerler aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.19 Bor atığı katkı ve kum katkı numunelerde görünen porozite oranı grafiği.

4.2.1 Aşınma Dayanımı Test Sonuçları

Şekil 4.20’te oda koşullarında 28 gün bekletilmiş bor atığı ve kum katkıli kompozit malzemelerde katkı miktarının artmasıyla aşınma değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bor atığı ve kum katkıli kompozit malzemelerin aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde %30 katkı maddesine kadar aşınma dayanımları arasında önemli bir farklılık görülmemiştir. Ancak %50 ve üzeri katkı maddesine sahip kompozitlerin aşınma değerlerinin kum katkıli kompozitlere göre daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni özlü hammadde olan kil içeren bor atığının özsüz hammadde olan kuvars içerikli kum taneciklerine göre daha yumuşak bir yapıya sahip olmasıdır. Ayrıca Kowalczyk ve Szychaj (2008) Epidian-6, Epidian-6011, Epidian-664 ticari epoksi reçinesiyle modifiye edilmiş montmorillonitle kompozitleri kaplama olarak kullanıp mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kompozitlere %2,5 ve %5 oranında kil ilave edilip oluşacak değişikliği gözlemlemişlerdir. Yapılan araştırma sonucunda kil oranı sertlik ve aşınma direnci kazandırmıştır. Kara (1988) yüksek lisans tezi incelendiğinde katkısız epoksi reçine baz alındığında, epoksi reçineye %5 alümina katkısıyla %79 daha fazla aşınma gerçekleştiği, epoksi reçineye %10 alümina katkısıyla %131 daha fazla aşınma gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.20 28 gün sonunda aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.

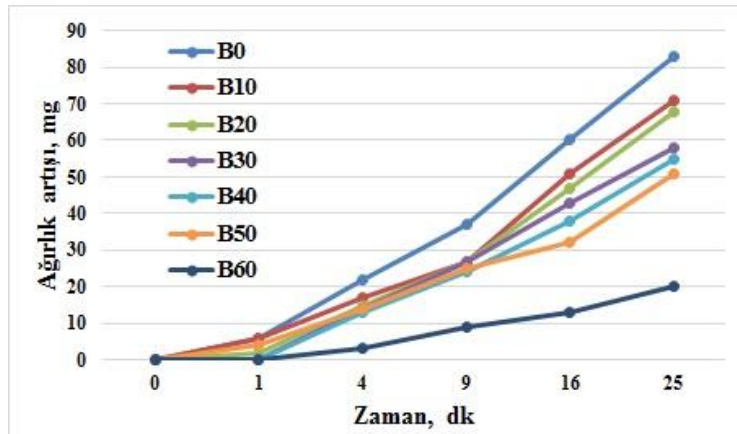
4.2.2 Asitlere Dayanıklılık Test Sonuçları

Resim 4.4' te Korozyon sonrası numuneler görülmektedir.

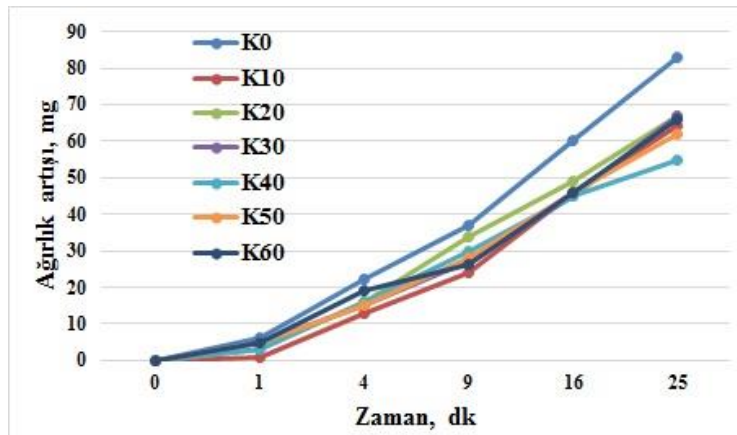


Resim 4.4 Korozyon deneyi sonrası numuneler.

Şekil 4.21 ve 4.22'de oda koşullarında 28 gün bekletilmiş bor atığı katkılı ve kum katkılı numunelerin asitlere dayanıklılık deney sonuçları gösterilmektedir. Deney numuneleri 2M'lık nitrik asitte 1, 4, 9, 16, 25 dk bekletilip numunede oluşan ağırlık değişiklikleri kaydedilmiştir.



Şekil 4.21 Bor atığı katkılı kompozitin 28 gün sonunda ağırlık değişimi grafiği.



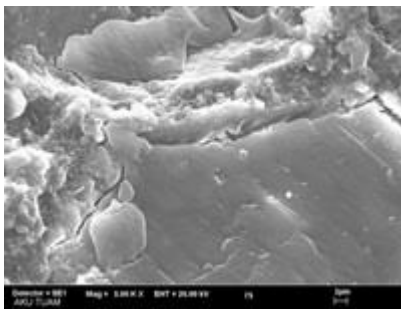
Şekil 4.22 Kum katkılı kompozitin 28 gün sonunda ağırlık değişimi grafiği.

Grafikten de görüldüğü gibi en fazla ağırlık artışı saf epoksi numunesinde görülürken, en az ağırlık artışı da B60 kodlu numunede görülmüştür. Tüm bekleme sürelerinde bor atığı ve kum katkısıyla üretilen kompozit malzemeler daha dayanıklı hale gelmişlerdir. Ağırlık artışının diğer bir anlamı ise asitten etkilenme miktarıdır. Asitten etkilenip asidin daha derinlere nüfuz etmesi ve asidin orda kalıp tartımlardaki ağırlık artışına sebep olmasıdır. Üretilen kompozitler asidi absorplayarak zincirlerin parçalanmasına veya dağılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla epoksi reçinesinde özellikle bor atığı kullanımını aside karşı daha dayanıklı kompozitler üretilmiştir.

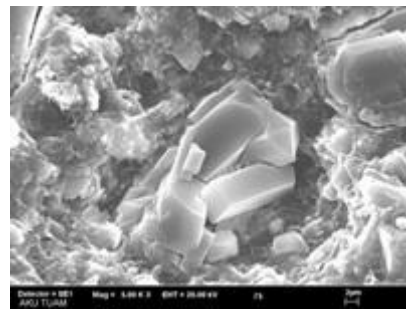
4.4 Yüzey Özellikleri

4.4.1 Taramalı Elektron Mikroskobu

Bor atığı katkılı deney numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.20’de kum katkılı deney numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.20’de verilen bor atığı katkılı kompozitlerin SEM mikroyapısı incelendiğinde bor taneciklerinin daha küçük tane boyutuyla epoksi reçinesinin içerisinde oldukça homojen bir şekilde dağıldığı ve reaksiyona girmiş olan epoksi reçinesinin tanecikler etrafında daha küçük kütleler halinde yer aldığı gözlenmiştir. Şekil 4.21’de kum katkılı kompozitlerin SEM mikroyapısı incelendiğinde ise, epoksi reçinenin kum taneciklerinin etrafını yoğun bir şekilde sararak onları birbirine bağladığı açıkça görülmektedir. Kimyasal reaksiyonlar sırasında dışarı çıkamayan hava kabarcıklarında olduğu gözlenmektedir.

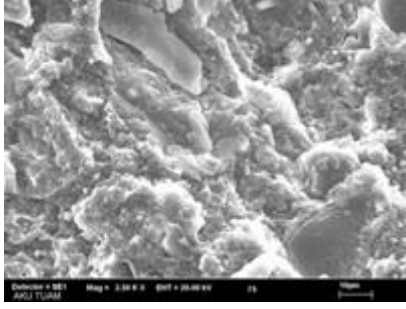


%10

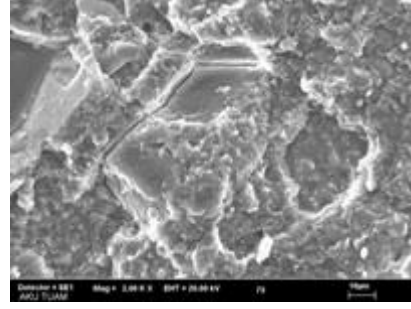


%20

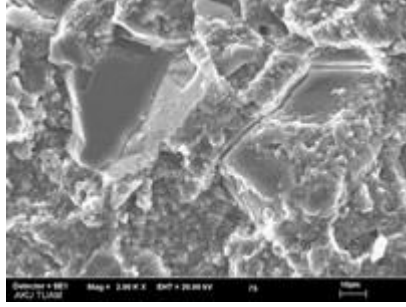
Şekil 4.20 Bor atığı katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.



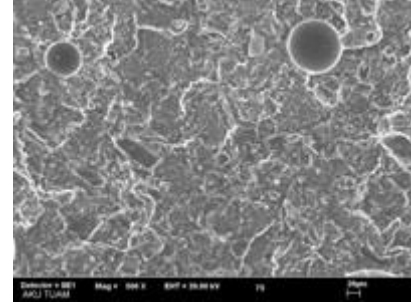
%30



%40

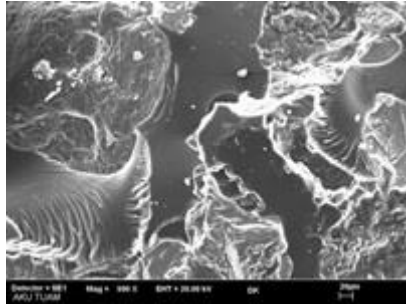


%50

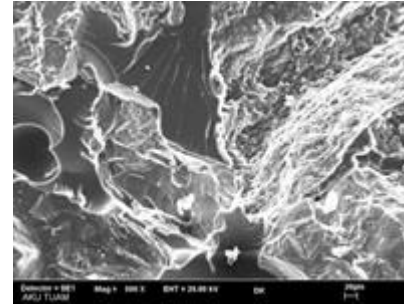


%60

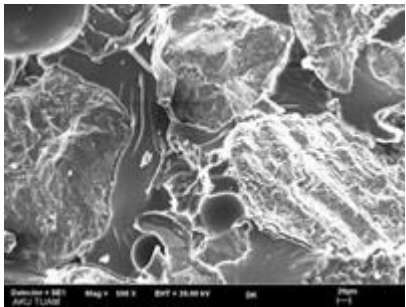
Şekil 4.20 (devamı) Bor atığı katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.



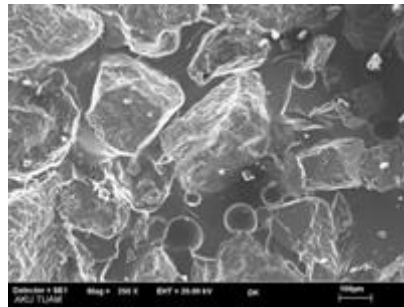
%10



%20

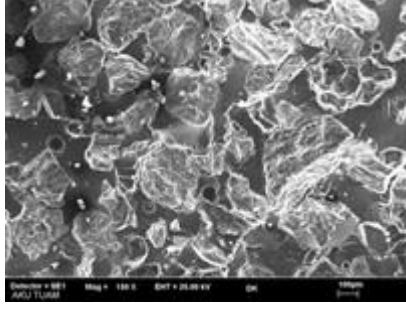


%30

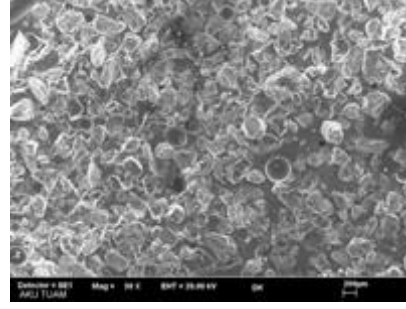


%40

Şekil 4.21 Kum katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.



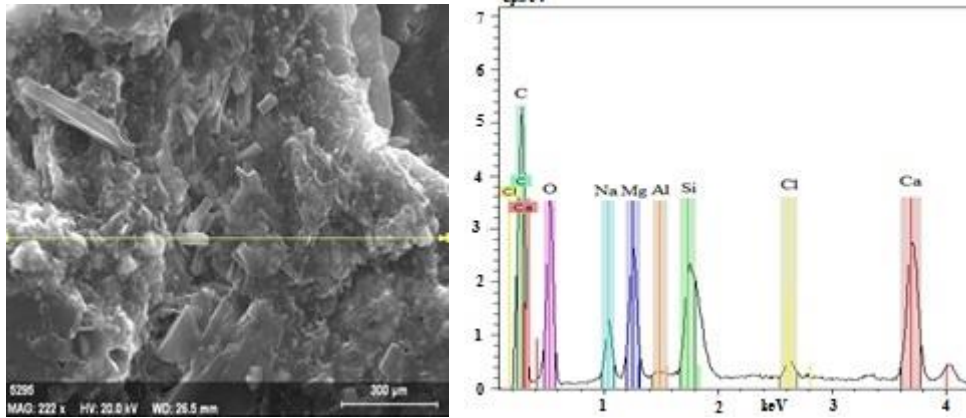
%50



%60

Şekil 4.21 (devamı) Kum katkılı kompozitlerin SEM görüntüleri.

Şekil 4.22’de bor atığı katkılı polimer kompozitte EDX analizi yapılarak içerisinde bulunan elementler belirlenmeye çalışılmıştır. İncelemeler sonucunda mikroyapıda bor atığının olduğu kısımlarda Ca ve O elementlerine rastlanırken sertleşmiş reçinenin olduğu bölgelerde C, Si, Mg, Cl, Al ve Na elementleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.22 Bor atığı katkılı polimer kompozitin sem görüntüsü ve EDX analizi.

Çizelge 4.2 ‘de bor atığının XRF sonuçları görülmektedir. Şekil 4.23 EDX analiziyle Çizelge 4.2’de XRF sonuçları incelendiğinde EDX analizinde bulunan elementlerin XRF sonuçlarında bu elementlerin oksitlerinin bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2 Bor atığı XRF sonuçları.

Element	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	Cl	SO ₃	SrO	F	K ₂ O	A.Z.(LOI)
%	13,3	7,25	0,75	0,33	19,7	3,67	14,9	0,05	0,39	1,84	0,73	0,53	36,5

4.5 Maliyet Hesabı

Günümüzde epoksi zemin kaplamalarında %50 oranında kum, %50 oranında epoksi reçine kullanılmaktadır. Maliyet açısından incelediğimizde, kumun maliyeti yaklaşık 1560 tl/ton, epoksi reçinenin maliyeti ise yaklaşık 2100 tl/ton olduğu görülmektedir.

Üretmiş olduğumuz bor atığı katkı polimer kompozitlerde optimum karışım oranının %20 olduğu görülmektedir. Bor türevleri atığının mali değeri, saf oksit fiyatları baz alınarak hesaplandığında 495 tl/ton olarak hesaplanmıştır.

Kum katkı polimer kompozit üretiminde %50 epoksi reçine, %50 kum kullanılması gerekmektedir.

Kum katkı polimer kompozitin maliyeti:

$$(0,5 \times 1560) + (0,5 \times 2100) = 1830 \text{ tl/ton}$$

Bor atığı katkı polimer kompozit üretiminde %80 epoksi reçine, %20 bor atığı kullanılması gerekmektedir.

Bor atığı katkı polimer kompozitin maliyeti:

$$(0,2 \times 495) + (0,8 \times 2100) = 1779 \text{ tl/ton}$$

Epoksi zemin kaplamalarında bor atığı katkı kompozit malzemelerin kullanılmasıyla 51 tl/ton daha az maliyetli olduğu hesaplanmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bor atığı katkı ve kum katkı epoksi karışimli numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Taze haldeki özelliklerin tayini için viskozite deneyi ve eşik gerilmesi deneyleri, mekanik özelliklerin tayini için sertlik deneyi, çekme deneyi, Charpy darbe deneyi, basma deneyi ve fiziksel özelliklerin tayini için ise su emme deneyi, görünen porozite deneyi, aşınma deneyi ve asitlere dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerle, kırılma sırasında enerji absorbesi, plastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnci, tek eksenli olarak çekme ve basma dayanımının saptanması ve malzemelerin gözeneklik, aşınma ve korozyona karşı direnç değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Deneysel çalışmamız sonucunda sırayla şu sonuçlar elde edilmiştir.

Bor atığı ve kum katkı malzemelerin viskozite değerleri incelendiğinde bor atığı katkı numunelerin kum katkı numunelerin viskozite değerinden yaklaşık 15 kat yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni bor atığının tane boyutunun küçük yüzey alanının daha fazla olmasıdır.

Tane boyutunun küçük oluşu ve yüzey alanının fazla olması, viskozitenin de yüksek olmasına ve yayılmanın azalmasına neden olmuştur. Ayrıca katkı miktarının artması partiküllerin reçine tarafından daha zor taşınabilir hale gelmesine bağlı olarak eşik gerilmesi değerlerinde artışlar saptanmıştır.

Oda koşullarında 28 gün bekletilen numunelere sertlik testleri uygulanmıştır. Katkı maddesinin artmasıyla sertlik değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Bor atığı ve kum katkı numuneler incelendiğinde özgül hammadde olan kuvars içerikli kum katkı numunelerin sertliklerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle %10 kum katkı kompozit numunelerinde saf epoksi reçineden daha yüksek çekme dayanımları gözlenmiştir. Kum katkı ve bor atığı katkı kompozitlerin diğer oranlarında ise katkı miktarının artmasıyla uzama oranında azalmalar görülmüş ve bununla birlikte gerilme değerlerinde düşüşler gözlenmiştir.

Oda koşullarında 28 gün bekletilmiş numunelerin kırılma tokluğu değerleri %40 katkı miktarına kadar bor atığı katkılı kompozitlerin darbe tokluğu daha yüksektir. Ancak saf epoksi reçineye göre her iki katkının da darbe tokluğunun daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Katkı miktarı %50 ve üzerinde kullanıldığında ise kum katkılı kompozitlerin tokluk değerlerinin bor atığına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Katkı oranı %60 olan kompozitlerin tokluk değerinin saf epoksi reçineden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar arasında en dikkat çekici özellik ise basma dayanımının bor atığı miktarının artmasıyla oldukça yüksek değerlere ulaşmış olmasıdır. En yüksek dayanım %20 bor atığı katkısında görülmektedir. Kum katkılı kompozitlerde ise kum miktarının artmasıyla dayanımda azalmalar görülmektedir. Kum katkısıyla basma dayanımlarının azalmasının en önemli nedeni ise kumun epoksi reçine içerisinde çökmesidir. %20 bor atığı katkısında en yüksek dayanım elde edildiği görülmüş ve kullanılan yüzdeler içinde kompozitin optimum oranda olduğu tespit edilmiştir. Katkı maddesinin artmasıyla mekanik özelliklerde düşüşler tespit edilmiştir. Bu düşüşler tozları çevreleyen epoksi reçine ile partiküller arasındaki adezyon kuvvetlerin değişiminden kaynaklanmaktadır. Katkı maddesinin artmasıyla tanecikleri bir arada tutan bağlayıcı yetersiz kalmaktadır. Bu durum basma dayanımını olumsuz olarak etkilemektedir.

Su emme ve boşluk oranı açısından özlü hammadde olan kil esaslı bor atığı katkısıyla daha fazla su absorbe etmekte ve daha fazla boşluk içermektedir.

Oda koşullarında 28 gün bekletilmiş numunelerin aşınma sonuçları incelendiğinde yüzeysel aşınma açısından iki malzeme arasında çok önemli farklılıklar olmasa da kum kullanımı ile daha dayanıklı malzemeler elde edilmiştir.

Oda koşullarında 28 gün bekletilen numunelerin korozyon sonuçları incelendiğinde asidik ortamlara karşı bor katkılı kompozitlerin kullanımı daha iyi sonuç vermiş ve kum katkılı kompozitlere göre daha dayanıklı oldukları görülmüştür.

Hem bor atığı katkılı hem de kum katkılı kompozitlerin reçine ile oldukça iyi bir şekilde sarılarak kuşatıldığı SEM incelemelerinde görülmüştür. Bor atığı taneciklerinin reçine içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. Kum katkılı kompozitlerde ise çökme olmuş, reçineler daha büyük çaplı kum tanecikleri etrafında kütleler şeklinde yer almışlardır.

6. KAYNAKLAR

- Agarwall, B.D., Broutman, J. (1980). Analysis and Performance of Fiber Composites, John Wiley & Sons, New York
- Akbulut H. (2013). Kompozit Malzemeler Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Sakarya
- Akın E. (2007). Mermer tozları ve uçucu kül ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akıncı A. (2010). DYPE Matriksli SiO₂ Dolgulu Kompozit Yapı Malzemeleri. *İMO Teknik Dergisi*, **331**: 5065-5068.
- Akoyalı, G., Pulat, E., Alyürük, K. (1984). Temel ve Uygulamalı Polimer, Tümka, Ankara, 374-375.
- Alp, I. ve Özdağ, H., (2000). Investigation of Processing of Colemanite Tailings by Ultrasonic. 8. *International Mineral Processing Symposium*, Antalya.
- American Society for Testing and Materials (1993). D790M-92 Standart Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. 1993 Annual Book of ASTM International, Philadelphia, 284-292.
- Aran, A. (2008). Mal 201-Malzeme Bilgisi Ders Notları. İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul
- Ateş E. (2006). Epoksi ve polyester reçineli polimer betonda granülometri ve bağlayıcı oranları değişimiyle eğilme dayanımı optimizasyonu. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, **8**: 41-52.
- Ateş E. (2009). Optimization of compression strength by granulometry and change of binder rates in epoxy and polyester resin concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **28**: 235-246.
- Ateş E., Aztekin K., Çakır R. (2010). Dolgu malzemesiz kompozitlerin yoğunluğunun

belirlenmesi ve basma dayanımı optimizasyonu. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, **28**: 287-297.

Atik, E. (2002). Polyester-Al₂O₃ Kompozitlerinin Aşınma Dayanımı. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **4**: 73-78.

Austin, R.J. (2004). Synthesis and Characterization of Polyolefin Elastomer and Polypropylene Based Nanocomposites and Their Blends. Doktora Tezi, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

Ay, B. (2007). Organik Polimerler ve Kullanım Alanları (Bitirme Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

Badruk, M., Yamık, A. ve Akçıl, A. (1997). Tinkal Cevherinden Elde Edilen Konsantre ve Artığın Kompaktlaştırılması ve Konsantrenin Çökeltilmesi. Türkiye 15. Madencilik Kongresi, Ankara, 6-9 Mayıs.

Bağcı İ. (2006). Epoksi Reçinesi İle Nanokompozit Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Batar T., Köksal N. S., Yersel E., 2009, Atık Bor, Atık Kağıt Ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu. *Ekoloji* **18**: 45-53.

Beland, S. (1990). High Performance Thermoplastic Resins and Their Composites. Noyes Data Corporation, 177

Bentli, İ., Çakı, M. (2001). Kırka boraks işletmesi DSM atık kilinin çını hamuru yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. 10.Ulusal Kil Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, 19-22 Ekim, 502-511.

Bilim ve Ütopya Dergisi. (2002). Bor Stratejik Bir Madendir. **94**, Nisan

Callister, W. (2000). Materials Science and Engineering an Introduction. 5th Edition, John Wiley & Sons, New York.

Çetin, H. (2006). Bor Kapanı. E Yayınları, 3.Basım, İstanbul.

- Çolak. M. (1997). Etibank Kırka Boraks İşletmesi atıklarının Turgutlu killeri İle tuğla-kiremil denemesi. 8.Ulusal Kil Sempozyumu. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya 24-27 Eylül, 277-286.
- D.P.T. (1995). Bor Mineralleri, Trona, Sodyum Sülfat, Stronsiyum Mineralleri, Tuz. **2414- ÖİK:474**
- D.P.T. (2000). Bor Mineralleri. 8. Bes Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara
- Dağ M. (2010). Epoksi Reçine/Mermer İşletmesi Atıksu Arıtım Çamuru Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Demircioğlu G. (2006). Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyunun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğan, M.Z., Kaylaz, Y., Önal, G. ve Perek, K.T. (1997). Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl işlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon ile Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması. 1. Uluslararası Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Ediz, N. (1999). Tinkal Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Borlu Suların Arıtılmasında Tek Kademeli Çözme Helezonunun Kullanımı. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ersoy, M.S. (2005). Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ertuğrul, E. (2004). Bor ve Toryum Madenleri Sektörü. Türkiye Kalkınma Bankası Basımı, Ankara.
- Ferreira J., Reis P., Costa J., Richardson M. (2012). Fatigue behaviour of Kevlar composites with nanoclay-filled epoxy resin. *Journal of Composite Materials*, **147**

- Gökbora, G. (1985). Bor İçerikli Seramikler ve Etibank-Kırka Boraks İşletmesi Atıklarının Bor İçerikli Glazür Olarak Kullanılması Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Griffin, T.S. and Downing, T.L. (2001) Rio Tinto Borax's Pond Reprocessing and Sustainable Development. 9. Balkan Mineral Processing Congress, İstanbul.
- Güleşen, M. Fiber Takviyeli Plastik Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin bulunması Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Gülgönül, İ., Çelik, M.S., Çınar, M. (1997). Üleksit Flotasyonunda Şlamin Etki Mekanizması. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 70-75.
- Gürkan, E. (2001). A.T.O. Ulusal Maden Varlığımız ve Bor Gerçeği. Para Haber Dergisi Makalesi.
- Gürü M., Akyüz Y., Akın E. (2005). Mermer tozu/polyester kompozitlerde dolgu oranının mekanik özelliklere etkileri. *Politeknik Dergisi*, **8**: 271-274.
- Güyağüler, T. (2001). Türkiye Bor Potansiyeli. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Haris, B., (1986). Engineering Composite Materials. The Institute of Metals, London, **15**: 84-91.
- Ho M.W., Lam, Ch.K., Kin-tak Lau, K., Ng, D.H.L., Hui, D. (2006). Mechanical Properties of Epoxy-based Composites Using Nanoclays. *Composite Structures*, **75**: 415-421.
- Hüner, Ü. (2008). Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Isık, F. (2005). Nanocomposites Based On Blends of Polyethylene. Degree of Master of

Science, The Graduate School of Natural and Applied Sciences Of Middle East Technical University, Ankara.

Kalafatoğlu, İ.E., Örs, S.N. (2000). 21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları. Kritek, Tübitak, Marmara Araştırma Merkezi, Gebze.

Kara L. (1988). Kesme Kalıplarında(Klavuzda) Epoksi Reçine İçerisine Seydişehir Alüminası Katılarak Aşınmanın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karadeniz M. (1996). Cevher Zenginleştirme Tesis Atıklarının Çevreye Etkileri. MTA MAT Daire Başkanlığı Raporu, Ankara.

Kavas K, Emrullahoglu, Ö.F. (1999). Seydişehir kırmızı çamuru ve Kırka bor atıklarının endüstriyel hammadde olarak kullanımı. LButı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu. İzmir: 216-225.

Kibblewhite, R.P., Thompson N.S. (1973). The ultrastructure of the middle lamella region in resin canal tissue isolated from slash pine holocellulose. *Wood Sci. And Tech.* **7**: 112.

Kocabaş, Ş. (2002). Demirin İçindeki Güç. *Eğitim BilimDergisi*,**42**:5.

Koçak H. Ş. (2010). Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kop E. (2007). Synthesis And Characterization Of Mechanical, Thermal And Flammability Properties Of Epoxy Based Nanocomposites. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Korçak, M., (2005). Seramik Takviyeli Çinko Metal Matriksli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Kowalczyk, K., Spychaj, T. (2008). Epoxy Coatings with Modified Montmorillonites. *Progress in Organic Coatings*, **62**: 425–429.
- Kurttepelı, Y. (2009). Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liu Z., Erhan, S.Z., Xu, J. (2005). Preparation, Characterization and Mechanical Properties of Epoxidized Soybean oil/Clay Nanocomposites. *Polymer*, **46**: 10119–10127.
- Lyday, P.A. (1991) Boron-1990. Mineral Commodity Summaries, U.S. Bureau of Mines, USA.
- Metin, N. (2010). Akrilik Asitli Polyester Reçinesi Üzerine Sulu Çözeltilerden u(v1) İyonlarının Adsorpsiyonu Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Oral, İ. (2011). Çeşitli Polifonksiyonel Gruplu Modifiye Polistirenler ile Epoksi Reçinelerin Sentezi ve Bunlardaki Ultrases Hızlarının Ölçülmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Öksüz, M., Yıldırım, H., (2005). Effect of calcium Carbonate on the Mechanical and Thermal Properties of İso-tactic Polypropylene/Ethylene Vinyl Acetate Blend. *Journal of Applied Polymer Science*, **96**: 4.
- Ölçen, N. (2001). Bor Madeninin Enerji Alanındaki Önemi. Uludağ Üniversitesi Makine Müh. Böl., Lisans Tezi.
- Özbayoğlu, G., Şener, S. ve Özdemir, Z. (2001). Toz Üleksite Boyut Kazandırma. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Pilato, L. (2010). Phenolic Resins: A Century Of Progress. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, Germany

- Poslu, K., Çebi, H. (2001). Özel Bor Kimyasalları ve Bor Dünyasındaki Gelişmeler. Madencilik Bülteni, 25-26.
- Qi B., Zhang, Q.X., Bannister, M., Mai, Y.-W. (2006). Investigation of the Mechanical Properties of DGEBA-based Epoxy Resin with Nanoclay Additives. **Composite Structures** **75**: 514–519.
- Saçak, M. (2002). Polimer Kimyası. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Saçak, M. (2005). Polimer Teknolojisi. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Sahin, Y. (2000). Kompozit Malzemeler Giriş. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Savaşçı, T., Uyanık, N., Akovalı, G. (1998). Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Schwartz, M.M. (1997). Composite Materials. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Singla, M., Chawla, V. (2010). Mechanical Properties of Epoxy Resin – Fly Ash Composite. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, **9**:199-210.
- Sınıksaran M. (2012). Volkanik Tüf Tozları İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Sönmez, E., Yorulmaz, S. (1995). Kırka boraks işletmesi atık killerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir.
- Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., Sümer, G. (1993). Kırka boraks işletmesi atık killerinin seramik endüstrisinde kullanıla bilirliğinin araştırılması. Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul.
- Şamiloğlu, M.C. (2007). Silan Kaplamalı Kısa Cam Elyaf Polyester Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Şeker, A. (2010). Epoksi Reçine/Sepiyolit Kompozitlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Tavlı, A. (2004). Mineral Dolguların Polipropilen/Elastomer Kompozitlerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2005). Madencilik Sektörü. Türkiye Mühendis Mimarlar Odası, Maden Mühendisler Odası Dergisi.
- Ulcay, Y. (1989). The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composite Materials. Doktora Tezi, Maryland College Park Üniversitesi, USA.
- Ulcay, Y., Akyol, M., Gemci, R. (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7
- Uygunoğlu, T., Uygunoğlu, T., Akyüz, K., Atık Mermer Tozunun Polimer Esaslı Zemin Kaplamasında Değerlendirilmesi. Mersem'2012 8.Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, Afyonkarahisar, 13-15 Aralık.
- Yamık, A., Güneş, N. ve Topal E. (1995). Kırka Boraks Atıklarının Soda Liçi. 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu İzmir.
- Yasar, E. (1994). Bor Minerallerinin Elektrostatik ve Elektrokinetik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, R. (2005). Ceviz Kabuğundan Polimer Kompozit Levha Üretimi Ve Bazı Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldızhan, H. (2008). Polimer Matriksli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Yılmaz, A. (2002). Her Derde Deva Hazinemiz Bor. *Tübitak-Bilim ve Teknik Dergisi*, Ankara
- Yılmaz, M. (2006). Cam elyaf katkılı doymamış polyester malzemelerde mineral katkıların mekanik ve tribolojik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yılmaz, O. (2006). Balıkesir-Bigadiç Bor Atıklarının Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi Çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir
- Yüksek, M. (2011). Cam Lifi Esaslı Polyester Reçineli Çok Eksenli Çözümlü Örme Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Zerda, A.S. Lesser A.J. (2001). Intercalated clay nanocomposites: Morphology, mechanics, and fracture behavior. *Journal of polymer science*, **39**:1137-1146.

İnternet Kaynakları

- 1-http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_1158.pdf (06.03.2014)
- 2-<http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html> (06.03.2014)
- 3-<http://www.etimaden.gov.tr/bor-urunleri-hakkinda-genel-bilgi-193s.htm> (06.03.2014)
- 4-<http://boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri> (06.03.2014)
- 5- <http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s.htm> (06.03.2014)
- 6- http://en.wikipedia.org/wiki/Epoxy_resin (06.03.2014)
- 7- http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/97ClassProj/anal/yue/energy.html
(06.03.2014)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cihan ÖZORAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Çorlu – 02.01.1987
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0541 816 10 71
ozorak@kastamonu.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mimar Sinan Lisesi, 2004
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2008
Yüksek Lisans :

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

1. Ege Metalurji San. Tic. Ltd. Şti., Çorlu, 2008
2. Akademi İnşaat, Proje, Danışmanlık & Epoksi Zemin Kaplama, Afyonkarahisar, 2013
3. Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Malzeme ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Halen

Yayımları (SCI ve diğer) :

1. Corrosion Behavior of Plasma Nitrided and Borided AISI M2 Steel, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 259 - 264 , 2013(Güneş İ.,Erdoğan M., Ulu S., Chegroune R., ile birlikte)
2. Investigation of Corrosion Behavior of Borided Gear Steels, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 363 - 367 , 2013(Güneş İ.,Erdoğan M., Dalar A., ile birlikte)
3. Investigation of Tribological Properties and Characterization of Borided AISI 420 AND AISI 5120 Steels, 7th International Advanced Technologies

Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 352 - 357 ,
2013(Güneş İ.,Erdoğan M., ile birlikte)

4. Effect of Sliding Speed on Wear Behavior of Plasma Nitrided and Borided AISI M2 Steel, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey , 291 - 295 , 2013(Güneş İ.,Erdoğan M., ile birlikte)
5. Corrosion Behaviors of Borided Martensitic Stainless Steel, 7th International Advanced Technologies Symposium , Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey, 275 - 279 , 2013(Güneş İ.,Erdoğan M., Ulu S., Gürhan A., ile birlikte)