SAVUNMA SANAYİNE YÖNELİK YAPAY KOMPOZİT TAŞ TASARIMI VE ÜRETİMİ

HÜSNÜYUSUF PINAR

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVUNMA SANAYİNE YÖNELİK YAPAY KOMPOZİT TAŞ TASARIMI VE ÜRETİMİ

HÜSNÜYUSUF PINAR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

SAVUNMA SANAYİNE YÖNELİK YAPAY KOMPOZİT TAŞ TASARIMI VE ÜRETİMİ

Hüsnüyusuf PINAR tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÇETİNKAYA _____
Danışman

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP **(*)** _____
Makina Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi. Şükrü ÇETİNKAYA**(**)** _____
Makina Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ERKLİĞ _____
Makina Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 27 / 12 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Aileme…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Hüsnüyusuf PINAR

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÇETİNKAYA'ya çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Tezin her aşamasındaki yardımları için Mehmet Ali BEKTAŞ'a çok teşekkür ederim.

En önemlisi, beni araştırma hevesiyle coşturdukları her zaman destekledikleri için anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v

İÇİNDEKİLER vi

ŞEKİLLER LİSTESİ ix

TABLOLAR LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xiv

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 2

2.1 Kompozit Malzemeler İle İlgili Genel Bilgiler 2

2.1.1 Kompozit malzemelerin tarihçesi 2

2.1.2 Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler ve sanayiiler 5

2.1.3 Kompozit malzemelerin Türkiye'deki ve dünyadaki pazarı 5

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması 8

2.2.1 Kompozit malzemelerin matris malzemesine göre sınıflandırılması 8

2.2.2 Kompozit malzemelerin takviyelerine göre sınıflandırılması 10

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları 14

2.4 Matris 15

2.4.1 Termoset reçineler 16

2.4.2 Termoplastik reçineler 18

2.5 Takviye Elemanları 18

2.6 Doğal Taşlar 22

2.7 Savunma Sanayii için Kamuflajın Önemi 23

2.8 Literatür Taraması 23

3. MALZEME VE YÖNTEM 29

3.1 Materyal 29

3.2 Yöntem 30

3.2.1 Üretim süreci 30

3.2.2 Deneyler 44

3.2.2.1 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi 44

3.2.2.2 Açık hava etkisiyle görünüş değişikliği tayini 45

3.2.2.3 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi 45

3.2.2.4 Geniş disk aşınma deneyi 47

3.2.2.5 Optik mikroskop ile yüzeylerin incelenmesi 49

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 50

4.1 Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Deneyi Sonuçları 50

4.2 Açık Hava Etkisiyle Görünüş Değişikliği Tayini Deneyi Sonuçları 50

4.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları 52

4.3.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarını kireçtaşı ve bazalt taşı basınç dayanımları ile kıyaslama 60

4.4 Geniş Disk Aşınma Deneyi Sonuçları 62

4.5 Optik Mikroskop ile Yüzeylerin İncelenmesi 63

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 71

5.1 Sonuçlar 71

5.2 Öneriler 73

KAYNAKLAR 74

ÖZGEÇMİŞ 78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 2015 yılı karbon kompozit malzemelerin talebinin tonajı 6
Şekil 2.2 2015 Yılı karbon kompozit malzeme talebinin milyar $ cinsinden değeri ... 7
Şekil 2.3 Kompozit malzemelerin takviye ve matris elemanına göre sınıflandırılması 8
Şekil 2.4 Kompozitlerin sınıflandırılması 11
Şekil 2.5 Sürekli ve kesikli fiber takviyeli kompozit 12
Şekil 2.6 Tabakalı kompozitlerde tabakaların genel görünüşü 13
Şekil 2.7 Fiber dokuma çeşitleri 14
Şekil 3.1 Elek üzerinde kalan malzemeler 30
Şekil 3.2 Diskli taş değirmen 31
Şekil 3.3 Titreşimli elek makinası 32
Şekil 3.4 Salınımlı elek makinası 33
Şekil 3.5 Etüv ve kurutulan malzemeler 34
Şekil 3.6 Malzemelerin tartılması 39
Şekil 3.7 Asetat levhaları üzerindeki ölçü çizgileri ve kesilmiş halleri 40
Şekil 3.8 Katlanmış asetatlar ve köşelerinden yapıştırılmış asetat 41
Şekil 3.9 Kalıp ayırıcı sürülmüş asetat kalıp 42
Şekil 3.10 Numunelerin görüntüsü 43
Şekil 3.11 Su emme tankına konulan numuneler 45
Şekil 3.12 Tek eksen basınç dayanımı test makinası 46
Şekil 3.13 Numunenin basınç deneyi sonrası durumu 47
Şekil 3.14 Geniş disk aşındırma deneyi test cihazı 48
Şekil 3.15 OM cihazı 49
Şekil 4.1 Hidroklorik asidin yapay kompozit taş üzerindeki etkisi 51
Şekil 4.2 4.Karışımın tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının bilgisayar çıktısı 52
Şekil 4.3 Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının ortalamaları 53
Şekil 4.4 %30 reçine içeren malzemelerin tek eksen basın dayanımı deneyi ortalama sonuçları 53
Şekil 4.5 %25 reçine içeren malzemelerin tek eksen basın dayanımı deneyi ortalama sonuçları 54
Şekil 4.6 1.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 55

Şekil 4.7 3.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 56
Şekil 4.8 5.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 57
Şekil 4.9 7.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 58
Şekil 4.10 9.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 59
Şekil 4.11 11.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu 60
Şekil 4.12 Yapay kompozit taşların basınç dayanımlarının kireçtaşının basınç dayanımı ile kıyaslanması 61
Şekil 4.13 Yapay kompozit taşların basınç dayanımlarının bazalt taşı basınç dayanımı ile kıyaslanması 62
Şekil 4.14 Geniş disk aşınma deneyi yapılan numunenin sonucu 63
Şekil 4.15 1 Numaralı numunenin OM görüntüleri 64
Şekil 4.16 2 Numaralı numunenin OM görüntüleri 65
Şekil 4.17 3 Numaralı numunenin OM görüntüleri 66
Şekil 4.18 5 Numaralı numunenin OM görüntüleri 67
Şekil 4.19 7 Numaralı numunenin OM görüntüleri 68
Şekil 4.20 9 Numaralı numunenin OM görüntüleri 69
Şekil 4.21 11 Numaralı numunenin OM görüntüleri 70
Şekil 5.1 Takviyeli yapay kompozit taşların takviyesiz %30 reçineli 1.karışıma göre kıyaslanması 71
Şekil 5.2 Takviyeli yapay kompozit taşların takviyesiz %25 reçineli 2.karışıma göre kıyaslanması 72

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Tarihte kompozit malzemeler hakkında olan önemli gelişmeler 3
Tablo 2.2 Sektörlerin kompozit malzeme kullanım oranları 5
Tablo 2.3 Karacadağ bazalt taşının fiziko-mekanik özellikleri 23
Tablo 3.1 Doymamış polyester reçinenin özellikleri 29
Tablo 3.2 Kireçtaşlarının fiziko-mekanik özellikleri 29
Tablo 3.3 1.Karışım içerik oranları 34
Tablo 3.4 2.Karışım içerik oranları 35
Tablo 3.5 3.Karışım içerik oranları 35
Tablo 3.6 4.Karışım içerik oranları 35
Tablo 3.7 5.Karışım içerik oranları 36
Tablo 3.8 6.Karışım içerik oranları 36
Tablo 3.9 7.Karışım içerik oranları 37
Tablo 3.10 8.Karışım içerik oranları 37
Tablo 3.11 9.Karışım içerik oranları 37
Tablo 3.12 10.Karışım içerik oranları 38
Tablo 3.13 11.Karışım içerik oranları 38
Tablo 3.14 12.Karışım içerik oranları 38
Tablo 4.1 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonuçları ortalamaları 50
Tablo 4.2 Kireçtaşı ve bazalt taşının atmosfer basıncı altında su emme oranları 50
Tablo 4.3 Geniş disk aşınma deneyi sonuçları 63

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	**Açıklama**
m_s	Doymuş deney numunesinin kütlesi
m_d	Kuru deney numunesinin kütlesi
A_b	Atmosfer basıncında su emme değeri
R	Numunenin tek eksen basınç dayanımı
F	Numunenin dayandığı en yüksek kuvvet
A	Numune kesiti

Kısaltma	**Açıklama**
OM	Optik Mikroskop
PEEK	Polietereter Keton
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ÖZET

SAVUNMA SANAYİNE YÖNELİK YAPAY KOMPOZİT TAŞ TASARIMI VE ÜRETİMİ

Pınar, H.
Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÇETİNKAYA
Aralık 2022, 94 sayfa

Saldırıya karşı koyma ve müdafaada bulunma anlamına gelen savunma ulusal anlamda bir devletin egemenliğinin sürekliliği için başka devletlere karşı korunmak amacıyla yapılan faaliyetlerdir. Savunma sanayi, ülke güvenliği için gerekli görülen savunma araç-gereçlerinin üretimi ve hizmetlerinin sunulmasıyla bağlantılı olarak genel kapsamda endüstriyel iş çevresini içine alan bir sektördür. Askeri teknolojilerdeki kayda değer ilerlemeler, modern savunma sanayiye geçişi hızlandırmıştır. Devletler tarafından talep edilen ve savunma sanayindeki firmalar tarafından geliştirilen bazı projeler zorlu ortam koşullarında uzun süre çalışması gerekmektedir. Bu tez kapsamında yoğunluğu azaltılmış ve fiziko-mekanik özellikleri geliştirilmiş malzeme tasarımı ve üretimi yapabilmek amaçlanmıştır. Geliştirilen malzeme ile savunma sanayinde kullanılması planlanan farklı ebatlardaki projeler için taş görünümünde muhafaza kapları veya taş görünümünde dış yüzey yapılabilecektir. Geliştirilen malzemenin zorlu ortam koşullarına dayanıklı olması beklenmektedir ve ayrıca malzemelerin dış görünümünün taşa benzemesinden dolayı dağlık veya taşlı ortamlarda, ortamdan ayırt edilebilirliğinin düşük olması amaçlanmıştır. Bu sayede ortamda bırakılan taş görünümlü sensörler, ekipman muhafaza kapları, ekipmanlar vb. bu malzeme ve tasarımı ile kaplanmış, giydirilmiş olan malzemelerin düşük ayırt edilebilirlik özelliği ile ortamdan tespit edilebilirliğinin azaltılması planlanmaktadır. Farklı oranlarda takviye elemanları katılarak deney numuneleri üretilmiştir. Takviye malzemeleri olarak 200 mikron cam tozu, 3,2 mm kırpık cam fiber, 6mm kırpık cam fiber, 6mm kırpık balat fiber, 12mm kırpık bazalt fiberler iki farklı karışım oranında %30 ve %25 reçine içerisine katılarak numunelerin üretimi yapılmıştır. Üretimleri yapılan numuneler daha sonra tek eksen basınç dayanımı, Açık Hava Etkisiyle Görünüş Değişikliği Tayini, Atmosfer basıncı altında su emme deneyi ve geniş disk aşınma deneyleri yapılmıştır. Daha sonra malzemelere optik mercek altında farklı yakınlaştırma kapasitesine sahip mercekler ile bakılarak görüntüleri alınmıştır. Sonuçlar üzerinden bölgede bulunan bazalt doğal taşı ile kıyaslama yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında kireçtaşının doymamış polyester reçine ile karıştırılması ile basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Takviye malzemelerinin karışıma dahil edilmesi ile bazı karışımlarda basınç dayanımı 2 kattan fazla artmıştır. Bazalt taşı ile kıyaslama yapınca kireçtaşı ile yapılan yapay kompozit malzemeler daha yüksek performans göstermiştir. Su emme deneylerinde elde edilen sonuçlarda ise hem bazalt taşında hem de kireçtaşından çok daha aşağıda değerler vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kireçtaşı, Kompozit, Fiziko-mekanik özellikler

ABSTRACT

ARTIFICIAL COMPOSITE STONE DESIGN AND PRODUCTION FOR THE DEFENSE INDUSTRY

Pınar, H.
Master of Science in Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assist Dr. Şükrü Çetinkaya
December 2022, 94 pages

Defense, which means resisting the attack and defending, is the activities carried out to protect against other states for the continuity of the sovereignty of a state in the national sense. The defense industry is a sector that includes the industrial business environment in general, in connection with the production of defense equipment and services deemed necessary for national security. Significant advances in military technologies have accelerated the transition to the modern defense industry. Some projects demanded by governments and developed by companies in the defense industry have to work for a long time in harsh environmental conditions. In this thesis, it is aimed to design and manufacture materials with reduced density and improved physico-mechanical properties. With the developed material, stone-like storage containers or stone-like exterior surfaces can be made for projects of different sizes that are planned to be used in the defense industry. The developed material is expected to be resistant to harsh environmental conditions, and it is also intended to be low distinguishable from the environment in mountainous or stony environments, since the external appearance of the materials is similar to stone. In this way, stone-like sensors left in the environment, equipment containers, equipment, etc. It is planned to reduce the detectability of the materials coated with this material and its design, with low distinguishability from the environment. Experimental samples were produced by adding reinforcement elements in different proportions. Samples were produced by adding 200 micron glass powder, 3.2 mm clipped glass fiber, 6mm clipped glass fiber, 6mm clipped balat fiber, 12mm clipped basalt fibers into 30% and 25% resin in two different mixture ratios as reinforcement materials. The produced samples were then tested for uniaxial compressive strength, Determination of Appearance Change by Open Air Effect, water absorption test under atmospheric pressure and wide disc abrasion tests. Then, the images were taken by looking at the materials under the optical lens with lenses with different zooming capacities. The results were compared with the basalt natural stone found in the region. In the light of the data obtained, it was observed that the compressive strength increased by mixing the limestone with unsaturated polyester resin. With the inclusion of reinforcement materials in the mixture, the compressive strength of some mixtures increased more than 2 times. When compared with basalt stone, artificial composite materials made with limestone showed higher performance. In the results obtained in the water absorption experiments, it gave values much lower than both basalt stone and limestone.

Keywords: Limestone, Composite, Physico-mechanical properties

1. GİRİŞ

Askerler için kamuflaj sahada vazgeçilmez birinci unsurdur. Personelin giydiği kıyafetlerden kullandığı bütün ekipmanlardan ve hatta araçlarına kadar bütün eşyalarda kamuflaj bulunmaktadır. Bu tezin amacı savunma sanayiinde kullanılmak üzere kullanım ortamında kendini kamufle edip göz ile ayırt edilmesi zor ve zorlu çevre koşullarına dayanıklı kompozit malzeme tasarlamaktır. Yapay kompozit şartların çevre koşullarında taşlık bölgelerde kullanılması ön görüldüğü için görünüm olarak doğal taş görünümü verilmesi planlanmaktadır. Literatür taramalarında yapay kompozit taşlar konusunda askeri savunma sanayiine yönelik çalışmaların eksik olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen diğer çalışmalarda yapay kompozit taşların genelde 100 mikrondan ince doğal taş tozları ile veya doğal takviye elemanları ile çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan çalışmalarda yapay kompozit taşların doğal taşlar ile kıyaslaması yapılmadığı görülüp çalışmanın bu konu üzerinde yapılması planlanmıştır. Maden işletmelerinde ve üretim tesislerinde oluşan bolca atık taşlar yönetmelikler gereğince uygun alanda depolanmaktadırlar. Depolanan bu maden atıklarının ekonomiye geri kazandırılması bu tezin amaçlarından bir diğeridir. Bu malzemenin tasarımı yapılırken maliyetini düşürme amacı ile doğada bol bulunan ve maden endüstrilerinde bolca oluşan atık mineraller kullanılması hedeflenmektedir. Bu çalışma içerisinde parçacık şeklindeki doğal taş parçaları ile yapay kompozit taşa doğal taş görünümü verilecektir Üretimi yapılan ürünler daha sonra tek eksen basınç dayanımı testi, atmosfer basıncı altında dayanım testi, açık hava etkisiyle görünüş değişikliği dayanımı tayini, geniş disk aşınma deneyi yapılacaktır. Yapay kompozit taşlarda içerisine katılacak takviye elemanlarının yapıda oluşturacağı mekanik özellikler incelenecektir. Elde edilen sonuçlar daha sonra hem kendi aralarında hem de bölgede bulunan Karacadağ bazalt taşı ile kıyaslanacaktır. Savunma sanayiinde oluşturulacak bu yeni malzeme ile konvansiyonel malzemelere alternatif olarak düşük yoğunluklu, yüksek basma mukavemetine sahip, nemli ve ıslak ortamlarda içerisinde muhafaza ettiği malzemeye bu nemi aktarmayan veya az aktaran bir malzeme tasarlanması planlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemeler ile İlgili Genel Bilgiler

Kompozit malzemeler; tasarlandıklarında ve üretildiklerinde malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin, üretimlerinin ve tasarımlarının iyi yapılması halinde malzemeyi üretmeden önceki ayrı ayrı olan karışım malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine karşı üstün olması olarak söylenebilir. Kompozit malzemeleri tasarlamadaki ve üretmedeki amaç daha üstün özelliklere sahip yeni bir malzeme geliştirmektir.

Kompozit malzemeler ayrı bulunan herhangi bir malzemeden elde edilemeyen mekanik ve fiziksel özellikleri sağlayan çok işlevli malzeme yapılarıdırlar. Fiziksel olarak iki veya daha fazla uyumlu malzemenin birleşmesi ile fiziksel ve mekanik özellikleri farklı olan birleşik malzemelerdir.

Kompozit malzemeler; yüksek dayanıma sahip malzemelerin dayanımlarının daha zayıf olan malzemelerin içerisine dahil edilmesi ile oluşan malzemelerdir (Mrozova, 2013).

Kompozit malzemeler aynı, benzer veya farklı malzemelerin birbirlerine göre daha iyi olan özelliklerini yeni bir malzemede toplama amacıyla makro düzeyde bir veya daha fazla malzemeyi bir araya getirilerek oluşan yapıya denir. Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin kendi aralarında atom alışverişi bulunmaması ve birbirlerinin kimyasal yapılarını etkilememesi gerekmektedir (Bağcı, 2010).

Suchetclan'a (1972) göre kompozit malzemeler mikroskobik ölçekte herhangi bir bölümünün aynı fiziksel özelliklere sahip olması sebebiyle homojen malzeme olarak kabul edilmektedir.

Geniş anlamda, kompozit malzemelerin tanımı, birden fazla bileşenden oluşan ve bu bileşenlerin ayrı fazlarda olduğu tüm katı malzemeleri ifade eder (Strong, 2008).

2.1.1 Kompozit malzemelerin tarihçesi

Strong'a (2008) göre ilk kompozit malzeme örneklerinden biri antik Mısır devletinde yaşayan antik İsraillilerin kullanmış olduğu kerpiç tuğlalardır. Bu çamur tuğlalar güçlendirmek için saman sapı kullanılmıştır.

1200 yılında Moğollar, ahşap/bambu, kemik/sığır boynuzu, sığır tendonlarını, çam reçinesini, huş ağacı kabuğu veya ipeğe sarılmış bir halde üreterek kompozit okçuluk yayını icat ettiler. Bu yay son derece güçlü ve son derece isabetliydi, Cengiz Han'ın askeri gücünün ana silahı ve barutun icadına kadar dünyadaki en güçlü silahtı (Akay, 2015).

Modern kompozit malzemelerin başlangıcı, sentetik polimerlerin, özellikle fenolikler ve polyesterler gibi ısıyla sertleşen reçinelerin geliştirilmesiyle başladı ve yüksek performanslı liflerin ortaya çıkmasıyla daha fazla ilerleme kaydedildi (Akay, 2015).

Kompozit malzemeler ile ilgili yakın tarihte olan önemli gelişmeler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Tarihte Kompozit malzemeler hakkında olan önemli gelişmeler (Akay, 2015)

1850'ler	Kontrplak: ABD'ye göç eden bir Alman olan John Henry Belter tarafından ticari üretime yapılmaya başlandı.
1900'ler	Güçlendirilmiş lastik tekerlekler.
1907	Leo Baekeland, ilk gerçek sentetik plastik olan fenol-formaldehit ,Bakaliti üretti. Oniks, yeşim taşı, mermer ve kehribara benzemesi için pigmentlerle döküldüğü için fenolik reçine olarak bilinmeye başlandı.
1928	Almanya'daki Otto Rohm, akrilik ester kullanarak iki cam levhayı birbirine yapıştırdı ve yanlışlıkla güvenlik gözlüğünü keşfetti ve bazı eşyaların üretimine 1933'te başladı.
1933	Henkel, Ciba, American Cyanamid gibi bazı firmalar 1930'lu ve 1940'lı yıllarda melanim formaşdehit reçineleri geliştirdiler.
1935	Owens Corning ilk cam fiberi tanıttı.
1936	Doymamış polyesterler patentlendi.
1938	Epoksi reçine, İsviçre'de bir kimyager olan Pierre Castan tarafından keşfedildi.
1940	Allil ether ile modifiye edilen doymamış polyester reçineler geliştirildi.
1940'lar	Cam fiber takviyeli plastik ürünler için ilk uygulamalar denizcilik endüstrisinde uygulandı. Fiberglas, günümüzde teknelerin ve gemilerin önemli bir bileşeni olmaya devam ediyor.

Tablo 2.1 (devam)

1943	1943'te Wright-Patterson Hava Kuvvetleri Üssü'nde, kompozit malzemelerden yapısal uçak parçaları inşa etmek için keşif projeleri başlatıldı. Bu, bir yıl sonra Cam fiber takviyeli plastik gövdeli ilk uçağın üste uçmasıyla sonuçlandı.
1940/1950'ler	Pultrüzyon, vakumlu torba kalıplama ve büyük ölçekli filaman sarımı dahil olmak üzere yenilikçi üretim yöntemlerinin geliştirilmesi.
1956	Cincinnati Geliştirme laboratuvarları, uzay mekiklerinin dünyaya yeniden girişinde burun konisinde sıcaklık 1500°C'yi geçebildiği için burun konisi malzemesi olarak kullanılmak üzere bir fenolik reçineye asbest lifi ekledi. Bilim adamları ayrıca bir çözüm olarak metal matrisli kompozitlere bakmaya başladılar.
1958	Union Carbide'den Roger Bacon, başlangıç malzemesi olarak suni ipek kullanarak yüksek performanslı karbon fiberler geliştirdi. Ortaya çıkan lifler yalnızca yaklaşık %20 karbon içeriyordu ve düşük mukavemet ve sertlik özelliklerine sahipti.
1960	Yüksek mukavemetli ve yüksek modüllü S-cam ve bor fiberleri geliştirildi.
1961	Japonya, Osaka'daki Devlet Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nden Akio Shindo, daha önce kullanılan suni ipek ve zift öncülerinin yerine poliakrilonitril kullanarak yaklaşık %55 karbon içeren yüksek mukavemetli karbon/grafit fiberler yaptı.
1963	William Watt ve arkadaşları İngiltere, Farnborough'daki Kraliyet Hava Aracı Kuruluşu, poliakrilonitrilden daha da yüksek modüllü bir fiber icat etti. Karbon fiberler, Rolls-Royce gibi şirketler tarafından hızla ticari üretime sokuldu.
1964	DuPont'tan Stephanie Louise Kwolek poliaramidden (aromatik bir poliamid) Kevlar fiber geliştirdi.
1970/1980'ler	Kompozit malzeme endüstrisi, daha iyi plastik reçineler ve gelişmiş takviye lifleri geliştirerek olgunlaşmaya başladı, ancak, pahalı liflerle yapılan kompozitler, uzay ve askeri sanayii talepleri azaldığından dolayı sivil alanlarda uygulamalar bulmak zorunda kaldı. Spor, ulaşım ve inşaat endüstrileri gibi sektörler giderek daha önemli pazarlar haline geldi.
1978	Hercules'te bir mühendis olan Larry Ashton tarafından ilk tamamen filament sargılı uçak gövdesi olan Beech Starship'in geliştirilmesi.
1990'lar	Minyatürleştirme, organik ve inorganik bileşenlerin moleküler ölçekte karıştırılmasına ve nanokompozit malzemelerin oluşmasına yol açmıştır.

2.1.2 Kompozit malzemelerin kullanıldığı sektörler ve sanayiiler

1940'lı yıllarda kompozit malzemeler sahip oldukları düşük yoğunlukları, daha mukavemetli olmaları, yüksek aşınma dayanımı, yüksek sertlik değerlerinden dolayı havacılık sanayiinde 1940'lı yıllarda yoğun olarak kullanılan çelik ve alüminyum alaşımların yerine kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Günümüzde ise havacılık sanayii dışında diğer pek çok sektörde kompozit malzemeleri yaygın olarak kullanmaya başlamıştır. Bu sanayii ve sektörler arasında savunma sanayii, enerji sektörü, gemi sektörü, otomotiv sektörü örnek olarak verilebilmektedir (Ağır, 2012).

Kompozit malzemelerin günümüzde ulaştırma, endüstriyel, denizcilik, havacılık, savunma sanayii alanlarında giderek artan birincil öncelikle tercih edilen malzemelerdir. Kompozit malzemeler günümüzde havacılık ve savunma sanayiinde çok çeşitli avantajlara sahiptirler (Mrozova, 2013).

2.1.3 Kompozit malzemelerin Türkiye'deki ve dünyadaki pazarı

Kompozit malzemelerin tasarımının, üretiminin ve kullanımının önümüzdeki 20 sene içerisinde daha da artacağı düşünülmektedir (Mrozova, 2013).

Kompozit malzemelerin Türkiye'de ve dünyada sektörlere göre kullanım oranları Tablo 2.2'de verilmiştir.

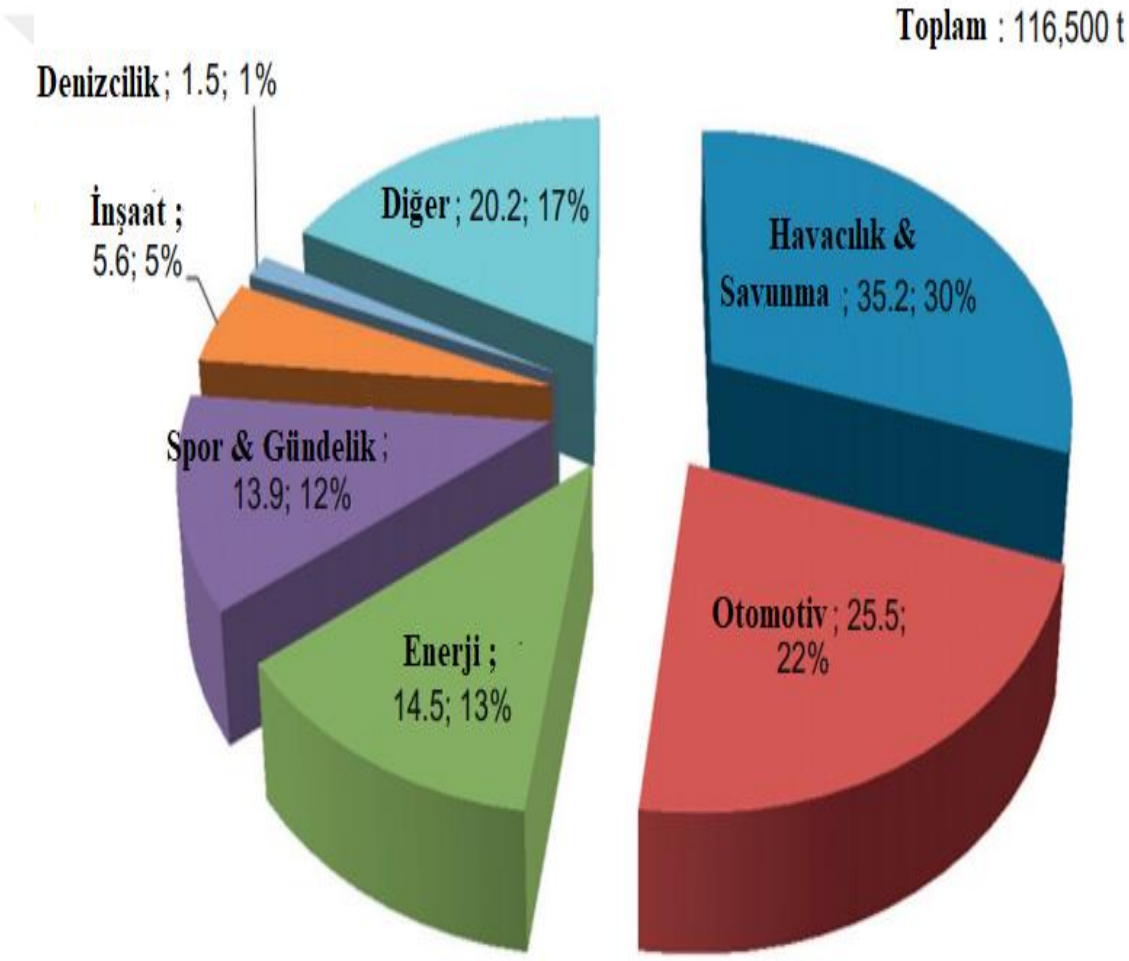
Tablo 2.2 Sektörlerin kompozit malzeme kullanım oranları (%)(11.Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu 2018)

Sektörler	Dünya	Avrupa	Türkiye
Taşımacılık-otomotiv	28	30	24
Yapı-inşaat	19	20	21
Elektrik-elektronik	16	14	5
CTP Boru-altyapı	15	13,5	36
Tüketici malları	8	3	3
Rüzgar enerjisi	7	12	7
Denizcilik	3	5	2
Savunma ve havacılık	0,5	0,5	–

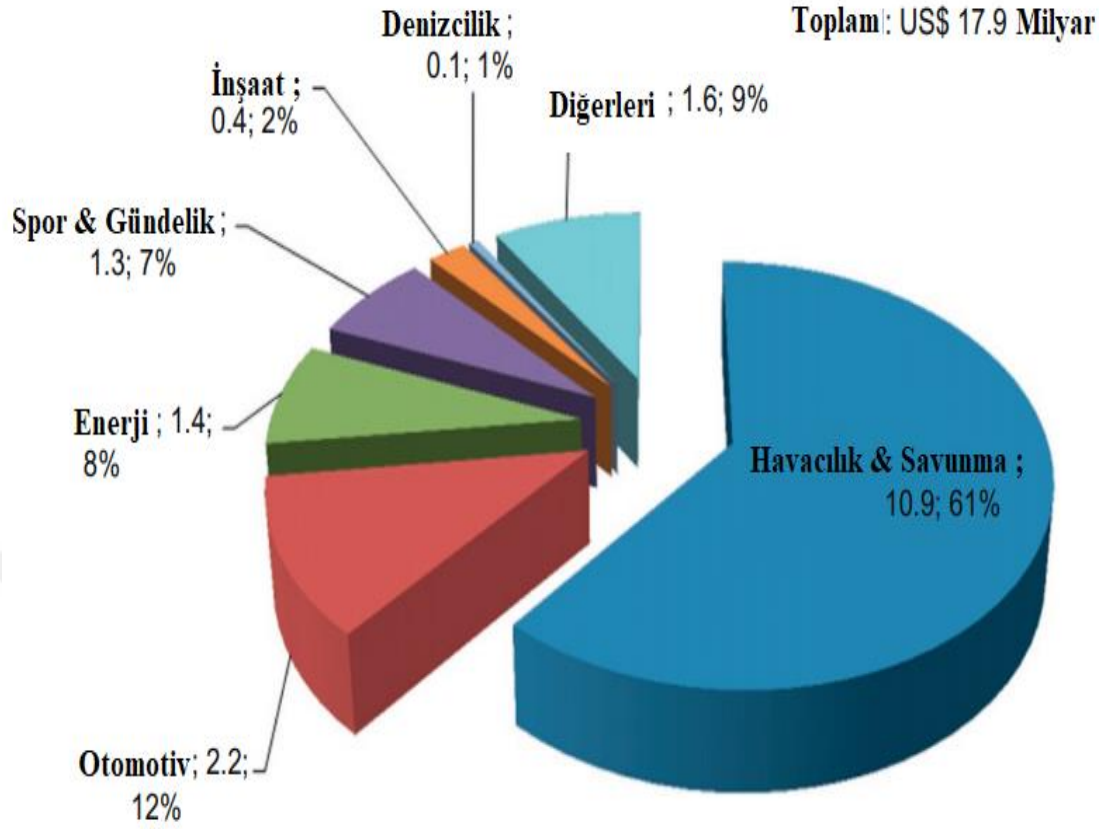
Tablo 2.2 (devam)

Diğer	3,5	2	2

2015 yılında karbon fiber takviyeli kompozitlere olan talep toplamda 116,500 ton olmuştur. Bu talebin en büyük kısmı %30'luk kısımla havacılık ve savunma sanayiinden gelmiştir Şekil 2.1'de veriler verilmiştir. Pazardaki kompozit malzemelerin %30'u sadece bu iki sanayii tarafından talep edilmesine rağmen bu iki sanayii parasal dolar cinsi gelir yönünden pazarın %61'ini elinde bulundurmaktadır (Witten, 2016). Şekil 2.2'de veriler gösterilmiştir.



Şekil 2.1 2015 yılı karbon kompozit malzemelerin talebinin tonajı (Witten, 2016)



Şekil 2.2 2015 Yılı karbon kompozit malzeme talebinin milyar $ cinsinden değeri (Witten , 2016)

2016 yılında kompozit malzeme sektörünün dünyada 27,4 milyar $, kompozit malzemelerle üretilen nihai ürün pazarının ise 78 milyar $ olması beklenmektedir. Kompozit malzemelerin sektörlere göre getiri dağılımı şu şekilde olması öngörülmektedir. 4 milyar $ ulaştırma sektörü, 0,8 milyar $ denizcilik sektörü, 3,7 milyar $ enerji sektörü, 4 milyar $ havacılık sanayii, 2,8 milyar $ boru ve tank, 4,4 milyar $ inşaat, 5,2 milyar $ elektrik ve elektronik, 1,6 milyar $ tüketici mallar ve 0,8 milyar $ diğerleri (Kazmierski, 2012).

Mrozova'ya (2013) göre " Önümüzdeki 15 sene içerisinde daha hafif ve daha verimli uçaklara olan talep arttığı için havacılık sanayiine kompozit malzeme üreten firmaların daha fazla tecrübe edinerek daha iyi malzeme tasarımları yapılacağı düşünülmektedir. Artan talepten dolayı malzeme fiyatlarının da düşeceği düşünülmektedir."

Türkiye'de kompozit malzemeler pazarı 2018 yılında toplam 1,5 milyar € değerine ve 280.000 tonluk hacme ulaşmıştır. Kompozit malzemeler pazarı Türkiye'de diğer dünya ülkelerinin kompozit malzemeler pazarlarının büyüme oranlarının üzerinde yaklaşık %8 ila %12 oranında büyümektedir. (11.Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu, 2018)

Amerika Birleşik Devletlerinde kompozit malzemeler pazarının 2026'a kadar yıllık bileşik büyüme oranı tahmini %7.3'tür (Mrozova, 2013).

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması 2 türlü olmaktadır. İçerisine katılan takviye elemanına ve matris elemanına göre değişiklik göstermektedir (Özer, 2021).

Bunların sınıflandırmaları Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kompozit malzemelerin takviye ve matris elemanına göre sınıflandırılması (Özer H. 2021)

2.2.1 Kompozit malzemelerin matris malzemesine göre sınıflandırılması

Kompozit malzemeler matrislerine göre genel olarak 3 sınıfa ayrılabilirler. Kullanım alanları ve üretim teknikleri bu 3 sınıf oluşturmadaki başlıca etkendir. Bunlar:

a) Metal Matris Kompozitler
b) Seramik Matris Kompozitler
c) Polimer Matris Kompozitler

a) Metal matris kompozitler: Metal matrisli kompozit malzemeler; metal ve/veya metal alaşımından yapılmış kompozitlerdir. İçerisine katılan takviye elemanlarına göre üstün mekanik özellikler sergileyebilmektedir (Özer, 2021). Metal Matris Kompozitler, monolitik metallere göre daha yüksek özgül dayanım, daha yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda daha iyi dayanım ve daha düşük termal genleşme katsayısı gibi birçok avantaja sahiptir. Bu özelliklerden dolayı, metal matrisli kompozitler geniş bir uygulama yelpazesi için değerlendirilmektedir. Kullanım alanları öncelikle havacılık ve uzay sanayiinde yanma odası elemanları (rokette, uzay mekiklerinde), mahfazalar, borular, kablolar, ısı eşanjörleri, yapısal elemanlardır (Mishra, 2014).

b)Seramik Matris Kompozitler: Alümina ve Silisyum Karbür gibi seramik fiberler, çok yüksek sıcaklık uygulamalarında avantajlıdır. Seramiklerin çekme ve kesme özellikleri zayıf olduğundan, takviye olarak çoğu uygulama parçacık halindedir. Çok yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kullanılan Seramik Matris Kompozitleri ,bu sebeple seramik matrisli kompozitlerde silisyum karbür ve bor nitrür gibi malzemelerden yapılan kısa lifler ile takviye edilir (Shukla, 2011).

Seramik malzemelerin sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı ve hafif yapıları sayesinde seramik kompozitlerde havacılık, uzay sanayiinde tercih edilen bir diğer kompozitlerdendir (Kaya, 2016). Seramik matrisli kompozitlerin üretimindeki temel amaçlardan biride sertliği arttırmaktır (Mishra, 2014). Seramik matrisli kompozitler sert ve kırılgan malzemelerdir. Çok düşük süneklik ve tokluk özellikleri göstermektedirler. Bu sebepten ötürü termal şoklara karşı da dayanıklılıkları azdır. Takviye elemanları genellikle liflerdir. Çeşitli dolgu malzemeleri ile takviye edilerek yüksek elastisite modülü ve daha yüksek çalışma sıcaklıklarında çalışan yapılar geliştirilmektedir (Kaya, 2016).

c) Polimer Matrisli Kompozitler: En sık kullanılan matris malzemelerinden birisi polimer malzemelerdir. Genel olarak, polimerlerin mekanik özellikleri birçok yapısal amaç için yetersizdir; özellikle polimer malzemelerin mukavemet ve sertlikleri metal malzemelere ve seramik malzemelere çok göre düşüktür. Takviye malzemeleri ile takviye edilen polimerler bu zorluklar aşılabilir. Polimer matrisli kompozitlerin

işlenmesi için, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gerekmemektedir. Ayrıca polimer matrisli kompozitlerin üretimi için gerekli ekipmanlar daha basittir. Bu nedenle polimer kompozitler hızla geliştirilmiş ve kısa sürede yapısal uygulamalar için popüler hale gelmiştir. Polimerler, Saf polimerden daha yüksek bir elastiklik modüle sahiptirler ancak seramik kadar kırılgan değildirler (Mishra, 2014).

Polimer matrisli kompozitler, rijitlik, dayanım, darbe özellikleri, aşınma dayanımı vb. sahip olduğu üstün özelliklerinden dolayı havacılık sanayii, inşaat mühendisliği, gemi ve otomobil endüstrisi gibi birçok mühendislik uygulamalarında tercih edilen malzemelerden birisi olmuştur (Asi, 2008).

Genel olarak, reçineli bağlayıcılar (polimer matrisler) yapışma kuvveti, yorulma direnci, ısı direnci, kimyasal ve nem direnci vb. temel alınarak seçilir.

Polimer reçine, takviye malzemesi ile benzer mekanik mukavemete sahip olmalıdır. Seçilen polimer reçine imalat sürecinde kullanımı kolay ve kullanım koşullarına dayanıklı olmalıdır. Bu özelliklerin yanı sıra polimer matrisi, takviye sağlayan lif demetlerini ıslayabilmeli ve içlerine nüfuz edebilmeli, takviye elemanı içerisinde bulunan hava boşluklarına nüfuz edebilmeli ve liflerin performansını artırabilen fiziksel özellikler sunabilmelidir (Shukla, 2011).

2.2.2 Kompozit malzemelerin takviyelerine göre sınıflandırılması

Takviyelerine göre kompozit malzemeler 4 sınıfa ayrılabilir. Bunlar:

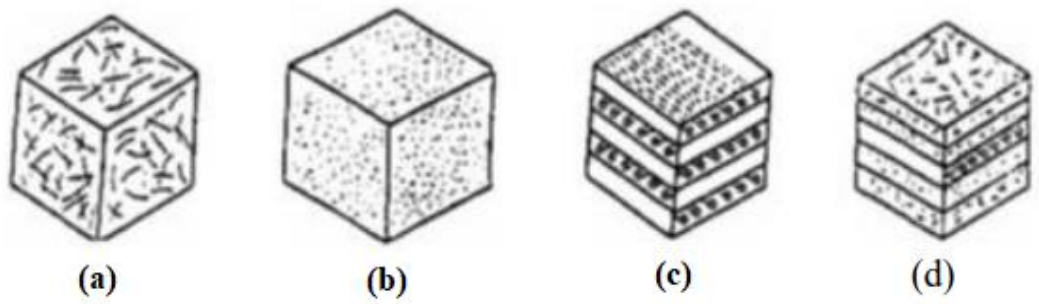
a) Fiber takviyeli kompozitler

b) Parçacık takviyeli kompozitler

c)Tabakalı kompozitler

d)Karma hibrit kompozitlerdir (Bağcı, 2010).

Kompozitlerin sınıflandırılması Şekil 2.4‘de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Kompozitlerin sınıflandırılması (Bağcı, 2010)

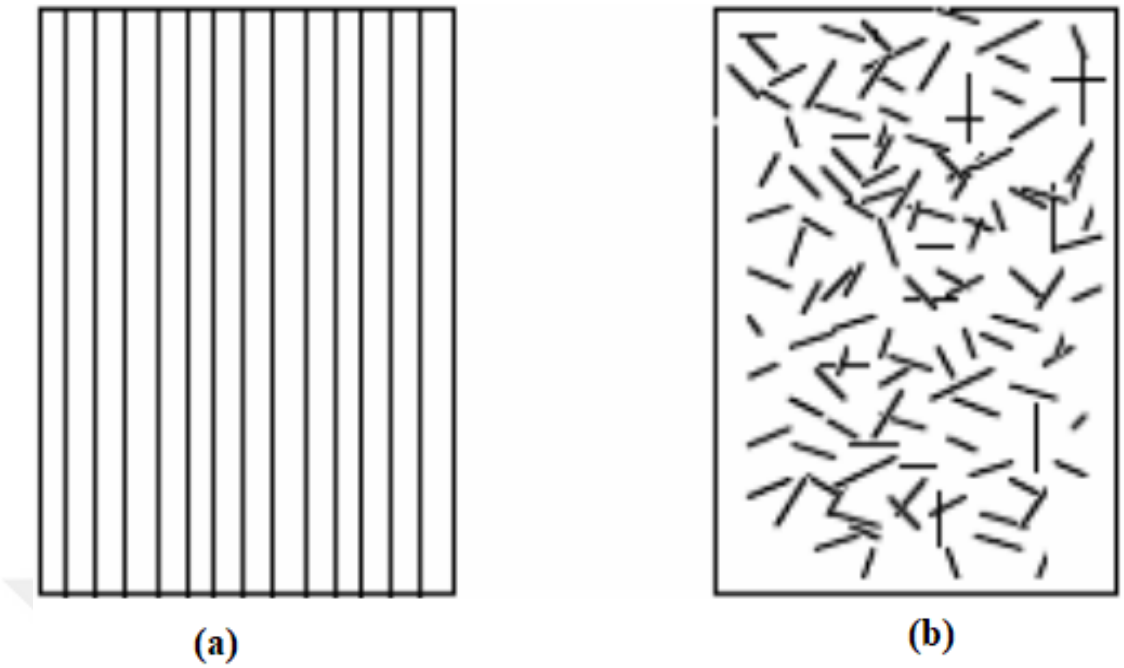
Şekil 2.4‘de gösterilen kompozitler; (a) Fiber takviyeli, (b) parçacık takviyeli, (c) tabakalı, (d) karma (hibrit) olarak isimlendirilebilir (Bağcı, 2010).

a) Fiber takviyeli kompozitler: Fiber takviyeli kompozitler matris malzemesinin fiber malzemesi ile takviye edilmesi ile kompozit malzeme oluşturulmaktadır. Göstermiş olduğu yüksek mekanik özellikleri sebebiyle en önemli takviye malzemelerinden birisidir. Fiber takviyeli kompozitler korozyona karşı direnci, sertliği, düşük yoğunluğu, yüksek elastisite modülü ve dayanımı gösterdiği başlıca özelliklerindendir (Şen, 2020).

Yaygın fiber takviye malzemeleri arasında asbest, karbon/grafit fiber, berilyum, berilyum karbür, berilyum oksit, molibden, alüminyum oksit, cam fiber, doğal fiberler vardır. Benzer şekilde, yaygın matris malzemeleri arasında epoksi, fenolik reçine, polyester, poliüretan, vinil ester gibi matris malzemeleri bulunmaktadır. Bu reçine malzemeleri arasında en yaygın kullanılanı polyesterdir. Polyesterlere göre daha yüksek yapışma ve daha az büzülme özelliğine sahip olan epoksi, yüksek maliyeti nedeniyle ikinci sırada gelmektedir (Mishra, 2014).

Fiber takviyeler sürekli ve kesikli olmak üzere 2 alt başlıkta sınıflandırılabilirler (Şen, 2020).

Şekil 2.5’te sürekli ve kesikli fiber takviyeli kompozitler gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Sürekli ve kesikli fiber takviyeli kompozit (Asi, 2008)

b) Parçacık takviyeli kompozitler: Takviye için kullanılan parçacıklar arasında seramikler, küçük mineral parçacıkları, alüminyum gibi metal tozları ile polimerler ve karbon tozu dahil amorf yapıda malzemeler yer almaktadır. Parçacıklar, matrisin sünekliğini azaltmak için kullanılmaktadırlar. Ayrıca kompozit malzemelerin maliyetini düşürmek için de kullanılırlar. Takviyeler ve matrisler yaygın ve ucuz malzemeler olabilir. Seramik ve camların takviye edilmesi ile kompozitlerin yüksek erime sıcaklığı, düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, sertlik; aşınma direnci ve korozyon direnci özellikleri iyileştirilebilir (Mishra, 2014).
Parçacık takviyeli kompozitlerin performansını, parçacık boyutları, yüzey enerjileri, boyut dağılımları, homojen dağılım gösterme, hacimsel oran vb. unsurlar etkilemektedir. (Şen, 2020).

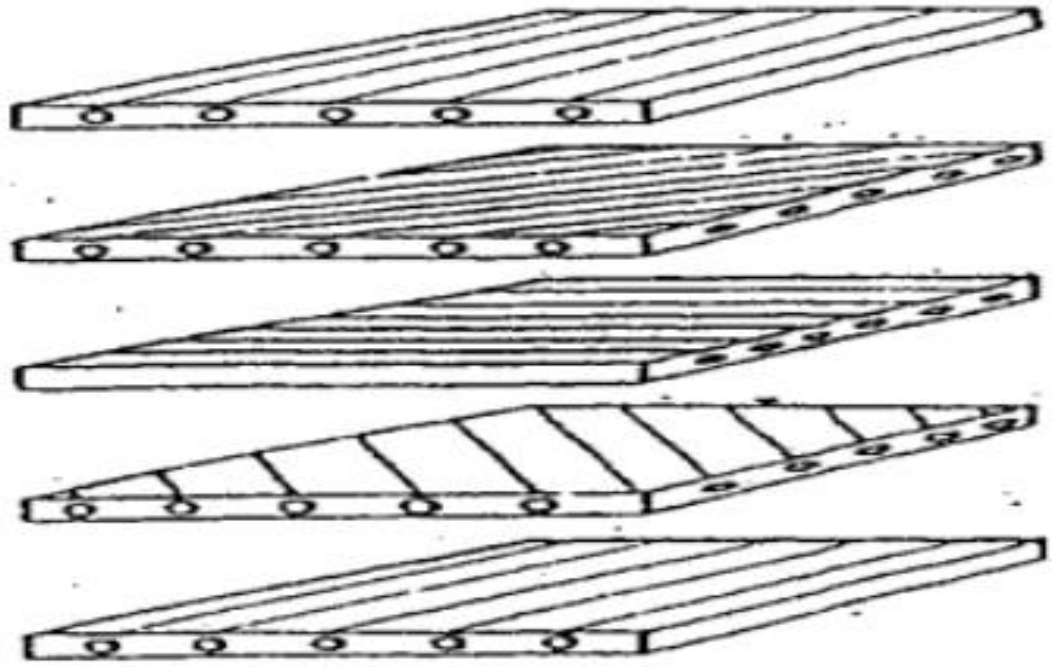
Kompozitlerde parçacık takviyesi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerine fiber takviyesinden daha az etki etmektedir. Parçacık takviyesi ile genelde kompozit malzemenin sertlik değerinde artış elde edilir (Hayırkuş, 2021).

Pek çok seramik, iyi elektrik ve ısı yalıtkanıdırlar. Birkaç özel seramik, çok düşük sıcaklıklarda bile süper iletkendir. Ancak seramiklerin önemli bir dezavantajı vardır: kırılgandırlar. Parçacık takviyeli kompozitin bir örneği, bir poliizobütilen

elastomerik polimer matrisinde karbon tozuna parçacıklarına sahip bir otomobil lastiğidir (Mishra, 2014).

c)Tabakalı kompozitler: Tabakalı kompozitler, matris tarafından bir arada tutulan malzeme katmanlarından oluşur. Genel olarak, bu katmanlar takviye ve matris arasında daha iyi birbirine bağlanması için düzenlenir. Bu tabakalar, kompozitin nihai kullanımına göre fiber takviyesinin tek yönlü veya çift yönlü yönelimine sahip olabilir. Tabakalı kompozit türleri, tek yönlü, açılı, çapraz ve simetrik tabakalardır (Shukla, 2011). Tabakalı kompozitlerin mukavemetleri yüksektir ve ısıya ve neme karşı dirençlidirler (Bağcı, 2010).

Tabakalı kompozitlerde tabakaların genel görünüşü Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

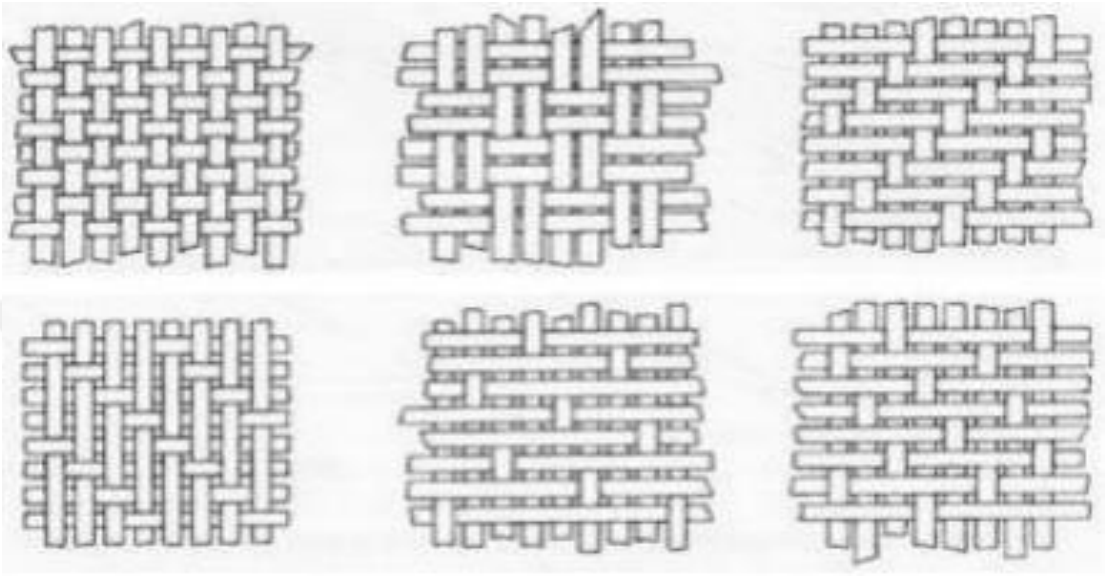


Şekil 2.6 Tabakalı kompozitlerde tabakaların genel görünüşü (Demirel, 2007)

d)Karma (hibrit) kompozitler: İki veya daha fazla fiber türünün aynı kompozit malzeme içerisinde bulunması ile elde edilirler. Hibrit kompozitlere örnek olarak tokluk özelliği az olan ancak basma mukavemeti daha yüksek olan olan karbon fiber ile basma mukavemeti az ve daha yüksek tokluğa sahip olan aramid fiberden elde edilen bir kompozit yapı örnek verilebilir. Bu iki farklı fiber içeren hibrit kompozit

yapının tokluk özelliği karbon fiber kompozite göre daha iyi ve basma mukavemeti de aramid fibere göre daha yüksek olmaktadır (Bağcı, 2010) .

Fiber dokuma çeşitleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Fiber dokuma çeşitleri (Vatangül, 2008)

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

1.Kompozit malzemelerin avantajları:

Kompozit malzemelerin alüminyum ve çelik ile kıyaslanınca avantajları ve dezavantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Hafif ve düşük yoğunluk
- Tasarlanabilir malzeme özellikleri
- Kolayca karmaşık şekillere kalıplama ile üretilebilirlik
- Kolayca yapıştırılabilirlik
- Yüksek mukavemet
- Düşük termal genişleme
- Düşük radar görünümü
- İyi sönümleme
- Düşük elektriksel iletim (Strong, 2008).

2.Kompozit malzemelerin dezavantajları:

- Kompozit malzemelerin üretim maliyetleri fazla olabilmektedir.
- Karmaşık şekillere sahip kompozit malzemeler üretilirken zorluklarla karşılaşılabilmektedir.
- Kompozit malzeme içerisinde oluşan hasarlarında tespit edilmesi oldukça zordur.
- Kompozit malzemelerin geliştirilmeleri uzun süreler alabilmektedir.
- Belirli sıcaklıklar arasında verimli çalışabilirler kompozitin matrisine ve içerisindeki takviye malzemesine bağlı olarak (Strong, 2008).
- Kompozit malzemelerinin üretim aşamasında ortaya çıkan hava zerrecikleri kompozit malzemenin yorulma özelliği üzerinde olumsuz olarak etki etmektedir.
- Kompozit malzemenin doğrultusuna göre değişen mekanik özellikler davranışı sergilemektedir.
- Kesme, delme gibi hassas imalat yöntemleri fiber demetlerinin açılmasına sebep olabileceğinde ötürü kesme ve delme ile imalata pek uygun değildirler (Temel, 2015).

2.4 Matris

Matris, kompozitin sürekli fazıdır (Strong, 2008; Shukla, 2011).

Matris, kompozit malzemedeki takviye elemanlarını bir arada tutan ana yapıdır (Gülmez, 2018). Sürekli faz olarak, matris donatıları çevreler ve örter. Kompozit malzemeler üretilirken matrisler genelde sıvı halde olmaktadırlar. Kürlenme işlemi gerçekleştikten sonra ise matris katı bir hal almaktadır (Gülmez, 2018).

Kolayca şekillendirilebilen ve daha sonra malzemenin bu şeklini koruması beklenmektedir matristen. Bu özelliğe sahip en yaygın malzemeler ise polimerlerdir. Bu nedenle, modern kompozitlerin %90'ından fazlası matris olarak polimer malzemelere sahiptir (Strong 2008). Matrislerin rolü yapıyı bir arada tutmak ve malzemede yük altında çatlak ilerlemesini önlemek ve kopma dayanımını arttırmaktır (Gülmez, 2018) . Matris, ayrıca doğrudan çevreye maruz kalan kompozitin bileşenidir. Bu nedenle matrisin bir diğer rolü de takviyeleri malzemelerini çevresel koşullardan korumaktır. Arzu edilen koruma derecesi, kompozit için polimer matris tipini seçmede göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biridir (Strong, 2008).

Kompozit malzemelerdeki matrisler yapıya uygulanabilecek kuvvetler ile ilk karşılaşan bileşendir. Genel olarak matrisler takviye elemanları kadar güçlü değillerdir. Bir kompozit malzeme üzerine bir kuvvet uygulandığında matrisin görevi kuvveti takviye elemanlarına aktarmaktır. Kompozit malzemelerdeki malzeme özelliklerini belirleyici en önemli etken matrisin uygulanan kuvveti takviye elemanlarına aktarabilme verimliliğidir (Strong, 2008).

Matrislere çeşitleri arasında Termoplastikler, termosetler, metaller, seramikler, karbonize fenol örnek olarak verilebilir (Akay, 2012).

Termoset reçineler arasında polyesterler ve fenolikler reçineler, ekonomik cam fiber takviyeli plastikleri üretmek amacı ile genellikle cam fiberler ile birlikte kullanılmaktadır ve epoksi reçineleri ve poliimidler ise karbon fiber ve aramid fiberleri ile birlikte yüksek performanslı kompozitler üretmede kullanılabilir. Termoplastikler ile yüksek performanslı kompozitler üretmek için ise kullanılan bazı reçineler polietereter keton (PEEK), polieterimid , polietersülfon, polifenilen sülfit vb. gibidir (Akay, 2015).

2.4.1 Termoset reçineler

Termoset reçineler bugün gelişmiş kompozit malzemeler endüstrisine hakimken, termoplastik reçineler küçük bir paya sahiptirler. Termoset reçineler ile nihai bitmiş bir ürün elde etmek için termoset reçine içerisindeki takviye malzemesi üzerine sertleştirici veya kürleştiricinin eklenmesi ile kürleştirilmesi gerekmektedir. Daha yaygın kullanılan termoset reçinelerden bazıları şu şekildedir.

- Epoksi reçineler

Epoksi reçineler, kürlenme sırasında düşük büzülme ile nispeten düşük moleküler ağırlıklı monomerlerdir. Kısmen iyileştirilebilir ve bu durumda saklanabilirler. Kürlenmiş epoksi reçineler, yüksek kimyasal ve korozyon direncine, iyi mekanik termal özelliklere sahiptirler. Ancak polyester reçineye göre daha pahalıdırlar. Gelişmiş bir kompozit sistemin temel bileşenlerinden ikincisi, kürleme maddesi veya sertleştiricidir. Bu bileşikler, reaksiyon hızını kontrol etmeleri ve bitmiş parçanın performans özelliklerini belirlemeleri nedeniyle çok önemlidir. Bu bileşikler

reaksiyon için katalizör görevi gördükleri için moleküllerinde aktif bölgeler bulundurmaları gerekir. Gelişmiş kompozit endüstrisinde en yaygın kullanılan kürleme ajanlarından bazıları, 4.4 metilen-di-anilin ve 4.4-sülfonilianilin gibi aromatik aminlerdir (Shukla, 2011).

- Doymamış polyester reçineler

Doymamış polyester reçineler, iyi mekanik özellikleri, korozyon direnci, düşük ağırlığı ve düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, stiren monomer içinde çözülmüş doğrusal polimer zincirlerinden oluşur. Bu polimer zincirleri, doymamış dikarboksilik asitlerin susuz formlarının dahil edilmesinden kaynaklanan reaktif bölgelere sahiptir. Polimer zincirlerindeki reaktif doymamışlık bölgeleri, bir serbest radikal reaksiyonu yoluyla stiren monomeriyle reaksiyona girer ve çapraz bağlanır. Bu reaksiyon genellikle Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) gibi bir peroksit katalizörünün eklenmesiyle başlatılır. Reçinede kobalt oktat gibi bir hızlandırıcının varlığı, belirli bir sıcaklıkta reaksiyonu hızlandırır. Isı eklenmesi, bu çapraz bağlanma reaksiyonunu önemli ölçüde hızlandırır (Shukla, 2011).

- Poliüretanlar

Poliüretanlar ileri kompozit malzemelerde kullanılan bir diğer reçine grubudur. Bu bileşikler, poliol bileşeninin bir izosinat bileşiği, tipik olarak toluen diizosinat ile reaksiyona sokulmasıyla oluşturulur. Metilen diizosinat ve heksametilen diizosinat da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, fiber takviyeli yapısal köpükler üretmek için kullanılır. Fenolik ve amino reçineler, yangın durumunda olağanüstü düşük duman ve ısı yayma özelliklerinden dolayı uçak içlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Shukla, 2011).

- Vinil ester reçinler

Epoksi reçine prepolimerini doymamış bir karboksilik asitle birleştiren vinil ester reçineleri, epoksi ve doymamış polyester reçineleri arasında ara özelliklere sahiptir ve doymamış gruplar yoluyla bir vinil monomer, genellikle stiren ile çapraz bağlanabilir.

Polyester ve vinil ester reçineler, kimyasallara karşı dirençli oldukları için boru üretiminde, kamyon kabinleri ve karoserleri ve otomobil kaputları, güverteleri ve kapıları dahil olmak üzere esas olarak ticari, endüstriyel ve ulaşım uygulamalarında kullanılır. Reçine formülasyonlarının, kürleme maddelerinin, dolgu maddelerinin ve diğer bileşenlerin çok sayıda olması, çok çeşitli özelliklerlere sahip olmasını sağlar (Rothon, 2003) .

2.4.2 Termoplastik reçineler

Termoplastik reçineler, bitmiş parçayı oluşturmak için yalnızca ısı ve basınca ihtiyaç duyar. Termoset reçinelerin aksine, termoplastik reçineler genellikle yeniden ısıtılabilir ve istenirse başka bir şekle dönüştürülebilir. Termoplastik reçinelerin yaygın örnekleri, polietilen, polistiren, naylon, polikarbonat, polisülfon, polifenilensülfin vb.'dir. Poliamitler, Poliimid, PEEK, kompozit endüstrisinde nispeten yenidir ve yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır. Bu reçineler, epoksi reçinelerinden daha iyi termal kararlılığa ve alev direncine sahiptir. Poliamid esaslı kompozitler, nemli ortamlarda mukavemetlerini koruyabilmektedirler, ancak kırılgandırlar ve kopmada çok düşük bir uzamaya sahiptirler (Shukla, 2011).

PEEK, yarı kristalli aromatik bir polimerdir ve özelliklerinin birçoğu nihai üründeki kristallik derecesine bağlıdır. PEEK, tıbbi implantlarda biyomateryal olarak, genellikle karbon fiber gibi biyouyumlu bir dolgu maddesiyle güçlendirilmiş formatta ve havacılık uygulamalarında karbon fiberle güçlendirilmiş kompozit olarak kullanılır (Cogswell, 1992). PEEK'in çekiciliği, yüksek mukavemeti ve yüksek modül-ağırlık oranları, yüksek darbe mukavemeti, iyi fiber yapışması, mükemmel kimyasal direnci ve yanmazlığıdır (Akay, 2015).

2.5 Takviye Elemanları

Kompozit malzemeler bir veya daha fazla süreksiz fazın, sürekli bir fazın içerisine katılması ile oluşur.

Kompozit malzemelerdeki süreksiz fazlar takviye veya takviye malzemesi olarak adlandırılırlar ve genellikle sürekli fazdan daha sert ve güçlüdürler. Takviye elemanları, polimer bazlı kompozitlerin mukavemetini, sertliğini ve sıcaklık direnci

kapasitesini arttırır ve yoğunluğunu azaltır. Bu özelliklerin elde edilebilmesi için takviye tipinin seçimi, üretim yöntemine ve matris ile kimyasal uyumluluğuna bağlıdır (Shukla, 2011).

- Cam fiber

Cam fiberler, çeşitli olarak üretilebilirler. Bunlar bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar geniş bir yelpazede olmakla birlikte ve her alanda kullanılabilmektedirler. Cam polimer yapılı amorf bir malzemedir. Cam üretiminde istenilen özellikleri sağlamak amacıyla üretimde katkı maddesi katılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Katkı maddesi olarak silis kumu nemin olmadığı halde iken karışıma dahil edilir ve sıcaklık 1260 °C civarına çıkarılır ve soğuduktan sonra elde edilen yapı serttir. Silis kumu ile beraber değişken oranlarda sodyum, bor, demir, kalsiyum gibi elementler de dahil edilir karışıma. Cam fiber takviyeli kompozit malzemeler en çok tercih edilen çeşitlerdendir (Vatangül, 2008).

Cam fiber türleri şöyle sıralanabilir:

- ❖ E-cam (düşük alkali cam (alumino-borosilikat) mükemmel elektriksel yalıtım özellikleri sergiler;
- ❖ S-cam (magnezyum borosilikat cam) mükemmel gerilme mukavemetine sahiptir;
- ❖ C-cam (sodyum borosilikat cam) mükemmel kimyasal direnç özelliklerine sahiptir (Rothon, 2003).
- ❖ A (Alkali) Camı: En yaygın kullanılan cam tipinden birisidir. Yüksek oranda alkali içermesinden dolayı yalıtım özelliği zayıftır. Kimyasal direnci fazladır (Vatangül, 2008).

Cam fiberlerin özellikleri;

- ❖ Çelik ile mukayese edildiğinde göstermiş olduğu mekanik özellikler ve çekme mukavemeti daha yüksektir.
- ❖ Isıl dirençleri kısmen azdır. Yüksek sıcaklıklar altında yanmazlar, yumuşamaktadırlar.
- ❖ Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.

- ❖ Özel fiber kaplamaları ile nem emme özelliğine sahip olabilirler. Normal koşullar altında nem emmezler.
- ❖ Elektriksel yalıtım gereksinimi olan yerlerde tercih edilebilir. Elektriği iletmezler (Ağır, 2012).

- Kuvars Fiber

Kuvars fiberler çok saf (%99,95) erimiş silika cam fiberleridir. Tüm yüksek sıcaklık malzemeleri içerisinde (5,9 GPa'lık çekme mukavemeti) en yüksek değere sahiptir (Rothon, 2003).

- Bazalt fiber

Bazalt fiber, maliyet açısından karbon fiber ve cam fiber arasındaki boşluğu doldurur. Cam fibere benzer bir kimyasal bileşime sahiptir ancak daha yüksek bir yoğunluk (2,7 g/cm3) ve gerilme mukavemeti sergiler. Karbon ve aramid fiber ile karşılaştırıldığında, daha yüksek basma mukavemetine ve daha yüksek kesme mukavemetine sahiptir. Alkali, asitli ve tuzlu su saldırılarına karşı oldukça dayanıklıdır ve yüksek sıcaklık özelliklerine sahiptir. Zırh üretimi (örn. balistik dayanıklı tekstiller) için uygundur ve ayrıca beton, köprü ve kıyı yapılarında kullanım için iyi bir adaydır (Rothon, 2003).

Bazalt lifleri genel olarak 9 ila 13 µm arasında bir filaman çapına sahiptir ve bu, bazalt fiberini 5 mikronluk solunum sınırının oldukça üzerinde olmasıyla asbest yerine kullanılması için uygun yapar. Yüksek sıcaklık direnci, onu ateşe dayanıklı tekstil olarak havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanmak uygun kılar (Rothon, 2003).

- Aramid fiber

Aramidler ticari ismi kevlar olan uzun zincirli aromatik poliamiddir ve ‘aromatik poliamid’ in kısaltılmış halidir. Moleküler yapı bakımından aramid, altı karbon atomunun birbirine hidrojen atomu ile bağlanması ile oluşmaktadır. Kevlar 29 ve Kevlar 49 olarak iki çeşit aramid fiber bulunmaktadır. Aramid fiberlerin mekanik özellikleri fiber ekseni doğrultusunda yüksektir fakat fibere dik doğrultuda çok kötüdürler.

Aramid fibelerin darbelere karşı yüksek direnç gösterirler. Gevrekliği grafit ile kıyaslandığı takdirde grafitin yarısı kadar olmaktadır. Aramid fiberler düşük ağırlık, yüksek çekme mukavemeti özellikleri sergilemektedir. Ayrıca ekonomik açıdan da avantajlıdırlar. Kolay şekil verilebilirler. Kimyasallara karşı dirençli olmalarında rağmen asit ve alkalilerden etkilenmektedirler (Vatangül, 2008).

- Bor fiber

Bor fiberler, yüksek sıcaklıklarda (1000°C) bir tungsten teli üzerine borun kimyasal buhar biriktirmesi yöntemi ile üretilen bir kompozit fiber türüdür. Bu amaçla genellikle çapı 12 mikrondan daha küçük ince bir tungsten tel kullanılır. Üretim maliyetlerinin yüksek olması bor fiberinin yaygınlaşmasının önünde büyük bir engeldir. Bor fiberin hem çekme hem de basma mukavemeti yüksektir (Rothon, 2003).

- Karbon fiber

Karbon fiber 2.268 g/cm3 yoğunluğu sahip karbon liflerinin en az %92 oranında karbon ihtiva eden malzemedir. Yapısal olarak amorf veya kristal yapıda olabilir. Karbon fiber üretimi bakımından kısa ve sürekli olarak üretilmektedir. Cam fibere oranla daha yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen üretim maliyeti daha yüksektir. Karbon fiberlerin en önemli özellikleri düşük yoğunluğu yüksek mukavemeti ve tokluğudur. Ayrıca nemden etkilenmemeleri karbon fiberlere avantaj sağlamaktadır. Aşınmaya ve yorulmaya karşı gösterdikleri dirençte oldukça iyidir. Karbon fiberler epoksi matrislerle birlikte kullanıldığı zaman dayanıklılığı ve sertliği yükselmektedir. Karbon fiber kısmen cam fiberlere göre daha yeni bir malzeme olmasından dolayı geliştirilmesi hala devam etmektedir. Karbon fiberin diğer fiber türlerine oranla mekanik özelliklerinin daha yüksek olmasına rağmen, cam ve aramid fibere göre daha yüksek maliyetlere sahip olmasından dolayı öncelikli olarak havacılık sanayiinde, spor aletlerinde ve tıbbi malzemelerde kullanılmaktadırlar (Örs, 2014).

Karbon fiberler zift ve poliakrilo nitril olmak üzere 2 malzemeden üretilmektedirler. Üretimlerinde artık karbon fiberlerde kullanılabilmektedir (Rothon, 2003).

2.6 Doğal Taşlar

- Kireç taşı

Kireçtaşı, genel olarak kalsit minerallerinden oluşmaktadır ve en az % 90 $CaCO_3$ içeren sedimanter kayaç olarak tanımlanmaktadır (Güneri, 2009).

'Kireçtaşı' terimi, kökenleri ve özellikleri bakımından büyük farklılıklar gösteren çeşitli jeolojik malzemeleri kapsar, ancak bunlar en basit şekilde, içinde kalsitin daha bol olduğu, %50 veya daha fazla kalsit ve dolomitten oluşan tortul kayaçlar olarak tanımlanabilir. Ticari olarak çıkarılan yüksek kalsiyumlu kireçtaşındaki bu birleşik karbonatların oranı genellikle %90 veya daha fazladır.

Dünya ölçeğinde kireçtaşı, beton agregası, demiryolu balastı, ezilmiş yol temeli için belki de en önemli tek kayaç kaynağıdır. Agrega olarak kullanıma uygun kireçtaşı yaklaşık 2,7 t/m3 yoğunlukta olmalı ve güçlü ve düşük gözenekli (%1'den az, tercihen %0,5'ten az) olmalıdır (McNally, 1998).

Birim hacim ağırlığı en az 2,16 gr / cm3 olmalıdır. Normal atmosfer şartlarında kaynar suda su emme kapasiteleri kütlece % 4'den fazla olmamalıdır. Kireçtaşının donma neticesinde kütle azalma değeri en fazla % 2 olmalıdır (Güneri, 2009).

Kireçtaşı ayrıca kalker olarak ta bilinmektedir. Kireçtaşı kalker üretiminde kullanılan bir mineraldir. Yapılarında çok az miktarda demir, alüminyum, kükürt ve silisyum bulunabilmektedir. 700 derece üzerinde sıcaklıklara maruz kaldığında yapısında bulunan CO_2 yapıyı terk eder ve Kireçtaşı ($CaCO_3$) sönmemiş kirece (CaO) döner (Bekem, 2010).

- Karacadağ Bazaltı

Karacadağ Bazaltları, koyu-gri renkte tonlarındadır. Gözeneksiz ve gözenekli olarak iki çeşitte bulunurlar. Gözenekli bazalt cüruf şeklindedir, genellikle bu yüzden yapılarda tercih edilmezler. Gözeneksiz bazalt ise, yapılarda duvar, modern betonarme binalarda ise yapıya tarihi doku görüntüsü vermek amacıyla kaplama malzemesi olarak tercih edilmektedir. Yapı malzemesi olarak kullanılan bazaltın,

kullanıldığı yapıda kılcal çatlaklar ve leke oluşturmamaktadır. Ayrıca asitlere karşı dayanıklı olması bazaltların en önemli özellikleri olarak gösterilebilir (Erkan, 1995). Gümüşçü M. Ve Turgut P. (2012) yapmış oldukları çalışmada Şanlıurfa Karacadağ bazaltının mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Karacadağ bazaltının fiziko-mekanik özellikleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3 Karacadağ bazalt taşının fiziko-mekanik özellikleri

Testler		Karacadağ Bazaltı
Basınç Dayanımı (MPa)	Kuru	97.6
Basınç Dayanımı (MPa)	Doygun	83.2
Su emme (%)		0.81
Yoğunluk (g /cm^3)		2.89

2.7 Savunma Sanayii için Kamuflajın Önemi

Kamuflaj, günümüzde çoğu modern askeri faaliyetin ayrılmaz bir parçasıdır. Kamuflaj, askeri personel ve teçhizatın bulunduğu ortama uyum sağlayarak gizlenmesi olarak tanımlanabilir. Amaç, personeli, teçhizatı ve tesisleri gizlemek ama bu sadece bir amaca ulaşmak için bir araçtır. Kamuflajın altında yatan amaç, gözlemciyi kandırmak ve yanıltmaktır. Tipik olarak amaç, düşmanı kamufle edilmiş nesnenin orada olmadığına inandırmak veya ona herhangi bir doğrulukla tespit edip saldırmasını zorlaştırmaktır. Kamuflaj kullanımı basit ve anlaşılır veya son derece ayrıntılı olabilmektedir. Personeli, araçları, nesneleri tespit etmeyi ve doğru bir şekilde saldırmayı zorlaştırarak bir miktar pasif koruma sağlamayı amaçlayan rutin bir önlem olarak tanımlanabilir. Kamuflaj, bir şeklin ana hatlarını değiştirmenin yanı sıra arka planla uyum sağlamalıdır. Bir nesneyi gizlemek için kamuflaj tasarımının yerel ortamla aynı tonları ve şekilleri kullanması gerekmektedir. Eşleşme ne kadar yakınsa, nesne o kadar iyi gizlenmektedir (Dougherty, 2017).

2.8 Literatür Taraması

Shishegaran vd. (2021) traverten tozunu çeşitli oranlarda epoksi reçine ve çeşitli oranlarda kum ile karıştırarak yapay taş üretmişlerdir. Yaptıkları çalışmada yapay taşlar içerisine kattıkları traverten tozunun ve kum oranının artması sonucu yapay kompozit taşın mekanik dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir. Traverten tozu, kum ve traverten tortulu ihtiva eden karışımlarda ise traverten tozunun kompozit

malzeme içerisindeki oranının azalması, kompozit malzemenin mekanik dayanımını arttırdığını tespit etmişlerdir.

Ribeiro vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada doymamış polyester reçine ile mermer artıklarından ürettikleri yapay kompozit taşları piyasada bulunan sentetik mermer ile kıyaslamışlardır. Kıyaslama sonucunda üretmiş oldukları mermerin su emme oranının sentetik mermere göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Çelik ve Emrullahoğlu (1999) yaptıkları çalışmada mermer ocakları ve maden ürünleri işleme tesislerinde, ürünlerin işlendikten sonra meydana çıkan artık malzemeleri polyester reçine ile bağlayarak blok olarak üretilip daha sonra plaka olarak kesilen malzeme geliştirmeye çalışmışlardır. Artık malzemeleri tane boyutlarına göre ebatlandırmışlar ve optimal olan parça ve polyester bağlayıcı oranının tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada %12, %14, %16, %18 ve %20 oranında polyester reçine kullanmışlardır. Atık mermer parçalarından ve polyester bağlayıcı kullanarak üretmiş oldukları malzemelerin su emme oranını %0,19 olarak, basınç mukavemetini ise 877 kg/cm^2 olarak tespit etmişlerdir ve tespit ettikleri değerlerin standart değerleri ile kıyasladıklarında standart değerlerin üzerinde oldukları sonucunu elde etmişlerdir.

Çelik (2004) yapmış olduğu çalışmada atık mermer parçaları ve tozlarının çimento yardımı ile blok ve levha üretimi yapmıştır. Çalışmasında bağlayıcı olarak reçine yerine beyaz portland çimentosu kullanmayı tercih ettiği görülmektedir. 6 Farklı çimento dozajını, 3 farklı su/çimento karışımı ile hazırlayarak 18 farklı grup oluşturuştur. Üretimini yaptığı yapay mermerlerin daha sonra su emme deneyi, eğilme mukavemeti deneyi, basınç mukavemeti deneyi, dona dayanıklılık deneyi, don sonrası eğilme mukavemeti deneyi yapmıştır. Birim hacim kütle, doluluk oranı, porozite, görünen porozite gibi malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerini de tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre çimento bağlayıcılı mermerin porozite ve görünür porozitesi hem doğal mermerler ve taşlardan hem de yapay taşlardan daha yüksek oluğunu tespit etmiştir. Dona dayanıklılığın %0,13 ila %2,51 arasında değiştiğini bununda standartta belirtilen %5'lik maksimum değerinin altında olduğunu tespit etmiştir. Su emme değerinin yaklaşık %4,2 olarak doğal mermerlerden çok daha

yüksek bulmuştur. Basınç mukavemetlerini 100.83 kg/cm^2 ile 579.08 kg/cm^2 arasında değişen değerlerde olduğunu tespit etmiştir. Sonuç olarak atık mermer tozu ve parçalarını çimento bağlayıcı ile bir arada tutarak yapay mermer üretilebileceğini kanıtlamıştır.

Luga ve Saliasi (2016) yapmış oldukları çalışmada farklı artık doğal taşları ve tozlarını polyester reçine ile birleştirerek yapay mermer üretmişlerdir. Üretmiş oldukları mermer üzerinde daha sonra deneyler yaparak mermerlerin fiziko-mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir. Üretmiş oldukları ürünler üzerinde basma deneyi, çekme deneyi, atmosfer basıncında su emme deneyi yapmışlardır. Ayrıca ısıya direncini ölçmüşlerdir. Elde ettikleri veriler ışığında yapay mermerin neredeyse hiç su emmediğini belirtmişlerdir. Basma dayanımının 58 ila 109,8 MPa arasında olduğunu, eğilme mukavemetinin ise 11,8 ila 57,3 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Demartini vd. (2018) atık mermer tozlarını tekrardan ekonomiye kazandırma amacı ile yapay mermer üretmişlerdir. Yaptıkları çalışmada epoksi reçineyi bağlayıcı olarak kullanmışlardır ve epoksi reçine ile atık mermer tozlarının kullanmışlardır. Yapay mermerleri vakum altında titreşimli-sıkıştırmalı üretim metodu ile üretmişlerdir. %15 epoksi reçine ve %85 atık mermer tozu kullanarak ürettikleri yapay mermerleri daha sonra su emme deneyine, tek eksen basma deneyine tabii tutmuşlardır. Su emme deneyi sonuçlarında elde ettikleri değerlerin ortalaması %0,06 olarak çıkmıştır. Basma deneyinde ise sonuçlar 93,13 ila 100,95 MPa arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Hamizah vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada %30 ve %25 oranında reçineleri farklı oranlarda dolomit ve kaolin ile bağlayarak yapay mermer üretmişlerdir. Üretmiş oldukları mermerlerin daha sonra su emme deneyi, basma dayanımı tespiti yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre su emme oranı en fazla %0,18 olarak en düşük ise %0,11 olmuştur. Basma dayanımları ise 82 ila 105 MPa arasında değişim göstermiştir. Eğilme mukavemeti ise 22 ila 34 MPa arasında sonuç vermiştir.

Ribeiro vd. (2017) yapmış oldukları çalışmada reçine aktarımlı kalıplama metodunu kullanarak %13 ve %15 oranlarında doymamış polyester reçine ile yapay mermer üretimi yapmışlardır. Reçine aktarımlı kalıplama yöntemi ile üretmiş oldukları yapay mermerlerin eğilme mukavemetini 0,93 GPa olarak, basma mukavemetini ise 0,63 GPa olarak tespit etmişlerdir. Aynı malzemeler ve aynı karışım oranları ile sadece vakum altında titreşimli-sıkıştırma metodu ile üretilen yapay mermerler ile kıyasladıklarında reçine aktarımlı kalıplama metodu çok daha düşük sonuçlar verdiğini tespit etmişler. Daha az yoğun yapıda olan reçine aktarımlı kalıplama yöntemi daha düşük değerler vermiştir. Vakum altında titreşimli-sıkıştırma metodu ile üretilen yapay mermerlerde ise malzemelerin bir arada daha yoğun olması sebebi ile eğilme mukavemetini 21,5 GPa ve basma mukavemetini 3,9 GPa olarak tespit etmişlerdir. Yapay mermerlerin su emme yüzdelerini ise %0,3 olarak tespit etmişlerdir.

Bagherpor vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada doymamış polyester reçineyi bağlayıcı olarak %30, %20 ve %15 oranlarında değişken bir şekilde kullanarak artık silika kumundan yapay kompozit taş yapmışlardır. Maksimum basınç dayanımını %20 reçine oranı ile ürettikleri yapay taşta tespit etmişlerdir. Çıkan değer 110 MPa olmuştur. Atmosfer altında su emme oranını %0,06 olarak tespit etmişlerdir yaptıkları çalışmada. Yapay mermerler üzerine sülfürik asit testi uygulamışlardır ve sonucunda yapay mermerin %0,2 oranında korozyona maruz kaldığını tespit etmişleridir. Ayıca çalışmada üretimini yaptıkları yapay mermerin doğal mermere göre metre kare fiyatının daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Borsellino vd. atık mermerler ile takviye edilmiş yapay kompozit mermer üretimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada bağlayıcı olarak hem epoksi reçine hem de polyester reçine tercih etmişlerdir. Reçineleri %40 , %30 ve %20 oranında kullanmışlardır. Eğilme mukavemetini epoksi reçine için en fazla 22.2 Mpa olarak en düşük ise 10.6 MPa olarak bulmuşlardır. Polyester reçine için ise eğilme mukavemeti maksimum 30.7 Mpa olarak Minimum ise 16.6 Mpa olarak tespit etmişlerdir. Su emme deneyinde ise epoksi reçine için yaklaşık %0,16 olarak , polyester reçine için ise %0,25 oranında sonuçlar elde etmişlerdir. Günlük malzemelere karşı dayanımlarını test etmişlerdir ve testlerde %40 epoksi reçine içeren karışımlı yapay

mermer en dayanıklı ürün çıkmıştır. Deneylerde üzerlerine çeşitli maddeler dökmüşlerdir. Bunlardan bazıları kola, deterjan, limon, kahve, ketçap, yağ'dır. Asidik olan maddelerde dolgu malzemeleri asidin gücüne bağlı olarak açıkta olanlar erimiştir. Etrafının polyester reçine ile doldurulmuş olan yapay mermerlerde ise dolgu malzemeleri korunmuş olduğu tespit edilmiş.

Sarami ve Madhavian (2016), yapmış oldukları çalışmada doğal taş kesim fabrikalarından çıkan atık doğal taş tozlarını, nano parçacıklar ile takviye edip, matris olarak %50 çimento ve ayrıca karışıma %10, %12 ve %15 doymamış polyester reçine katarak yapay taş üretimi çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada anataz TiO2 nano parçacıklarının ve ZnO nano parçacıklarının kompozit malzeme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Nano parçacık takviyesiz yapay taşın su emme oranı %7,6, %5 ve %8 olmuştur. Basma mukavemetleri ise 211,52 MPa, 235,95 MPa ve 186,26 MPa olarak sonuçlanmıştır. Nano parçacık takviyesi için en iyi özellikleri sergileyen %12 doymamış polyester reçine içeren karışım tercih edilmiş araştırmacılar tarafından. Farklı oranlarda anataz TiO2 nano parçacıklarının ve ZnO nano parçacıklarının karışıma katılması ile sadece anataz TiO2 nano parçacıklarının katıldığı karışımda basma mukavemeti en az 419,81 MPa en fazla ise 735,71 MPa olmuştur. Su emme oranı ise %4 civarlarına düşmüştür. Sadece ZnO nano parçacıklarının eklendiği karışımda ise basma mukavemeti en az 291,92 MPa en fazla ise 598,20 MPa olmuştur. Su emme oranı ise %4,79 civarlarına düşmüştür. Her iki nano parçacığında eşit katıldığı farklı oranlardaki karışımlarda ise basma mukavemeti en az 348,18 MPa en fazla ise 658,93 MPa olmuştur. Su emme oranı ise %4,41 civarlarına olmuştur.

Peng ve Qin (2018) yapmış oldukları araştırmada doymamış polyester reçinenin bağlayıcı olarak kullanıldığı ve artık SiO2 tozlarının kullanarak yapay taş üretimi yapmıştır. Araştırmanın ana konusu üretimi yapılacak olan yapay kompozit taşın vakum altında titreşimli-sıkıştırma yönteminde sıkıştırma süresi, kürlenme süresinin deney numuneleri üzerindeki fiziko-mekanik özelliklere olan etkisidir. Yaptıkları araştırmada kürlenme süresinin artması ile yapay taş numunelerinin basma mukavemetleri ve eğilme mukavemetlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Üretim aşamasında sıkıştırma süresi arttıkça numuneler içerisindeki parçacıkların kırıldığını

tespit etmiştir araştırmacılar. 3 dakikalık sıkıştırma süresinde ve 60 dakikalık kürlenme süresinde yapay taş numunelerinin en yüksek değerleri verdiğini tespit etmişlerdir araştırmacılar. Bu değerler basma mukavemeti için 170 MPa ve eğilme mukavemeti için 73,5 MPa olmuştur ve bu değerlerin bir çok yapay taşların değerlerinden ve doğal taşların değerlerinden daha yüksek değerler olduklarının belirtmiştir araştırmacılar.

Kırgız (2015) yapmış olduğu araştırmada portland kireçtaşı çimentosunun sahip olduğu olumsuz etkilerini, uygun maliyetli olmayışını ve düşük dayanımlarını iyileştirmek amacı ile yeni bir çimento katkılı uygun fiyatlı nanografit takviyeli yapay mermer üretimini incelemiştir. Çimento olarak portland çimentosunu saf olarak belirli oranlarda kullanmıştır. İçerisine değişken oranlarda nanografit ve süper akışkanlaştırıcı kurşun katmıştır. Nanografit ve süper akışkanlaştırıcı kurşun karışımının katıldığı karışımın saf portland çimentosu ile kıyaslaması yapıldığında eğilme mukavemetinin %28 oranında basma mukavemetinin ise %22 oranında daha yüksek değerler verdiklerini tespit etmiştir araştırmacı. Karışımın su emme oranını yaklaşık %2,2 civarında olduğunu tespit etmiştir. Katılan nanografit parçalarının yapay taş üzerinde su emme oranını düşürdüğünü tespti etmiştir araştırmacı.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Yapay kompozit taşlar inşaat endüstrisi ve savunma sanayii alanında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada yapay kompozit taş üretimi için doymamış polyester reçine ile 200 mikron cam tozu, 3.2mm uzunluğunda kırpık cam fiber, 6mm uzunluğunda kırpık cam fiber, 6mm uzunluğunda kırpık bazalt fiber ve 12mm uzunluğunda kırpık bazalt fiber kullanılmıştır.

Matris yapısını oluşturmak için İLKESTER IR-100 Doymamış polyester reçine, %6'lık kobalt hızlandırıcı ve BUTANOX M50 MEK-P sertleştirici kullanılmıştır.

Tablo 3.1'de Doymamış polyester reçinenin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Doymamış polyester reçinenin özellikleri

SIVI HALDEKİ ÖZELLİKLERİ			
ANALİZ TÜRÜ	BİRİM	TEST METODU	DEĞER
Yoğunluk, 20°C	g /cm^3	ISO 1675	1,10 - 1,12
Viskozite (20°C)	cps	ISO 2555	750 - 900
Asit Sayısı	mgKOH/g	ISO 2114	11 - 20
Jelleşme Zamanı	Dakika	İLKALEM TL-06	8 - 14

Diyarbakır eğil yöresinden alınan atık kireç taşlarının fiziko-mekanik özellikleri Çetinkayalar Yapı Elemanları A.Ş.'nin elinde bulunan verilerden alınmıştır.

Diyarbakır eğil yöresinden alınan atık kireç taşlarının fiziko-mekanik özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Kireçtaşlarının fiziko-mekanik özellikleri

Testler	Birim		Kireçtaşı
Basma dayanımı	MPa	Kuru	17.8 ± 1.69
Basma dayanımı	MPa	Doygun	14.65 ± 2.12
Ağırlıkça su emme	%		8.75 ± 2.45
Yoğunluk	g /cm^3		2.87

3.2 Yöntem

3.2.1 Üretim süreci

Yapay kompozit taşların yapılabilmesi için öncelikle toplanan atık kireç taşlarının içerisinde bulunan istenmeyen maddelerin ayırılması için 4.75 mm (Şekil 3.1) elek açıklığına sahip elekten geçirildi.

Şekil 3.1'de elek üzerinde kalan malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Elek üzerinde kalan malzemeler

Elek üzerinde kalan taşlar daha sonra diskli taş değirmeninde kırılmıştır.

Şekil 3.2'de değirmen gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Diskli taş değirmen

Kırımı gerçekleştirilen taşlar daha sonra sırası ile 2mm, 1.19mm, 0.707mm, 0.500mm, 0.300mm, 0.212mm, 0.100mm elek açıklığına sahip eleklerden geçirilip, 2mm ve 1.19 mm'lik elek dışında diğer elekler üzerindeki kırılmış kireçtaşları ayrı ayrı toplanıp muhafaza edildi.

Elekler ile eleme işlemini hızlandırmak ve kolaylaştırmak amacı ile titreşim (Şekil 3.3) ve salınımlı (Şekil 3.4) elek makinaları kullanıldı.



Şekil 3.3 Titreşimli elek makinası



Şekil 3.4 Salınımlı elek makinası

Yapay kompozit malzemeleri dökmeden kireç taşlarının içerisinde nem kalıp kompozit malzemede zayıflık oluşturmaması için ,Türk Standartları Enstitüsünün (TSE) belirlemiş olduğu doğal yapı taşları inceleme ve laboratuvar deney yöntemleri TS 699 (2009) no'lu standartta belirtildiği gibi nem alma işlemi yapılmıştır her bir büyüklükteki kırılmış kireç taşı için. Bu işlem kırılmış taşların 70 ± 5°C'da bulunan etüv fırınına 24 ± 2 saat süre bırakılarak yapılmıştır. Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Etüv ve kurutulan malzemeler

Yapay kompozit taşların üretimi tek tip doymamış polyester reçine 2 farklı %25 ve %30 oranında reçine ile birlikte farklı yüzdelerde kireç taşı tozları, kireç taşı parçacıkları, takviye elemanlar katılarak üretimi yapılmıştır. Bu oranlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Birinci karışımda, karışım içerisinde herhangi bir takviye malzemesi bulunmamaktadır. Tablo 3.3'te içerikleri verilmiştir.

Tablo 3.3 1.Karışım içerik oranları

1.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.1
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 7.4
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.2
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24
----	-----

İkinci karışımın ilk karışıma göre tek farkı içerisinde %5 reçine daha az bulunmaktadır. Tablo 3.4'te içeriklerinin oranları verilmiştir.

Tablo 3.4 2.Karışım içerik oranları

2.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	% 0.25
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15.84
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.84
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.94
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 8.24
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 14.04
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24.84
----	-----

3.Karışımda takviye elemanı olarak 200 mikron cam tozu katılmıştır, reçine %30 oranında kullanılmıştır. Tablo 3.5'te içerik oranları gösterilmektedir.

Tablo 3.5 3.Karışım içerik oranları

3.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 14.1584
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.1584
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.2584
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 6.5584
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 12.3584
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 23.1584
200 Mikron Cam Tozu	% 5.05

4.Karışımda takviye elemanı olarak 200 mikron cam tozu katılmıştır, bu sefer reçine oranı %25 olacak şekilde ayarlanmıştır. Tablo 3.6'da içerik oranları gösterilmektedir

Tablo 3.6 4.Karışım içerik oranları

4.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	%0.25

Tablo 3.6 (devam)

100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	%15
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	%5
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	%5.1
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	%7.4
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	%13.2
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	%24
200 Mikron Cam Tozu	% 5.05

5.karışımda ve 6. Karışımda reçine oranları değişmekle beraber takviye elemanı olarak 3.2mm uzunluğunda kırpılmış cam fiber katılmıştır.

Tablo 3.7'de ve Tablo 3.8'de 5.karışımın ve 6.karışımın içerik oranları verilmiştir.

Tablo 3.7 5.Karışım içerik oranları

5.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 14.9495
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.9495
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.0495
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 7.3495
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.1495
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 23.9495
3.2 mm Kırpık Cam Fiber	% 0.303

Tablo 3.8 6.Karışım içerik oranları

6.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	% 0.25
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15.7912
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.7912
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.8912
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 8.1942
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.9912
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24.7912
3.2 mm Kırpık Cam Fiber	% 0.303

7.karışımda ve 8. Karışımda reçine oranları değişmekle beraber takviye elemanı olarak 6mm uzunluğunda kırpılmış cam fiber kompozit malzemeye katılmıştır.

Tablo 3.9'da ve Tablo 3.10'da 7.karışımın ve 8.karışımın içerik oranları verilmiştir.

Tablo 3.9 7.Karışım içerik oranları

7.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 14.9495
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.9495
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.0495
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 7.3495
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.1495
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 23.9495
6 mm Kırpık Cam Fiber	% 0.303

Tablo 3.10 8.Karışım içerik oranları

8.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	% 0.25
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15.7912
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.7912
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.8912
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 8.1942
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.9912
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24.7912
6 mm Kırpık Cam Fiber	% 0.303

9.karışımda ve 10. Karışımda reçine oranları değişmekle beraber takviye elemanı olarak 6mm uzunluğunda kırpılmış Bazalt fiber kompozit malzemeye katılmıştır.

Tablo 3.11'de ve Tablo 3.12'de 9.karışımın ve 10.karışımın içerik oranları verilmiştir.

Tablo 3.11 9.Karışım içerik oranları

9.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 14.9495
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.9495
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.0495
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 7.3495

Tablo 3.11 (devam)

500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.1495
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 23.9495
6 mm Kırpık Bazalt Fiber	% 0.303

Tablo 3.12 10.Karışım içerik oranları

10.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	% 0.25
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15.7912
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.7912
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.8912
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 8.1942
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.9912
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24.7912
6 mm Kırpık Bazalt Fiber	% 0.303

11.karışımda ve 12. Karışımda reçine oranları değişmekle beraber takviye elemanı olarak 12 mm uzunluğunda kırpılmış Bazalt fiber katılmıştır.

Tablo 3.13'te ve Tablo 3.14'te 11.karışımın ve 12.karışımın içerik oranları verilmiştir.

Tablo 3.13 11.Karışım içerik oranları

11.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 30
MEK-P	% 0.3
100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 14.9495
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 4.9495
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.0495
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 7.3495
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.1495
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 23.9495
12 mm Kırpık Bazalt Fiber	% 0.303

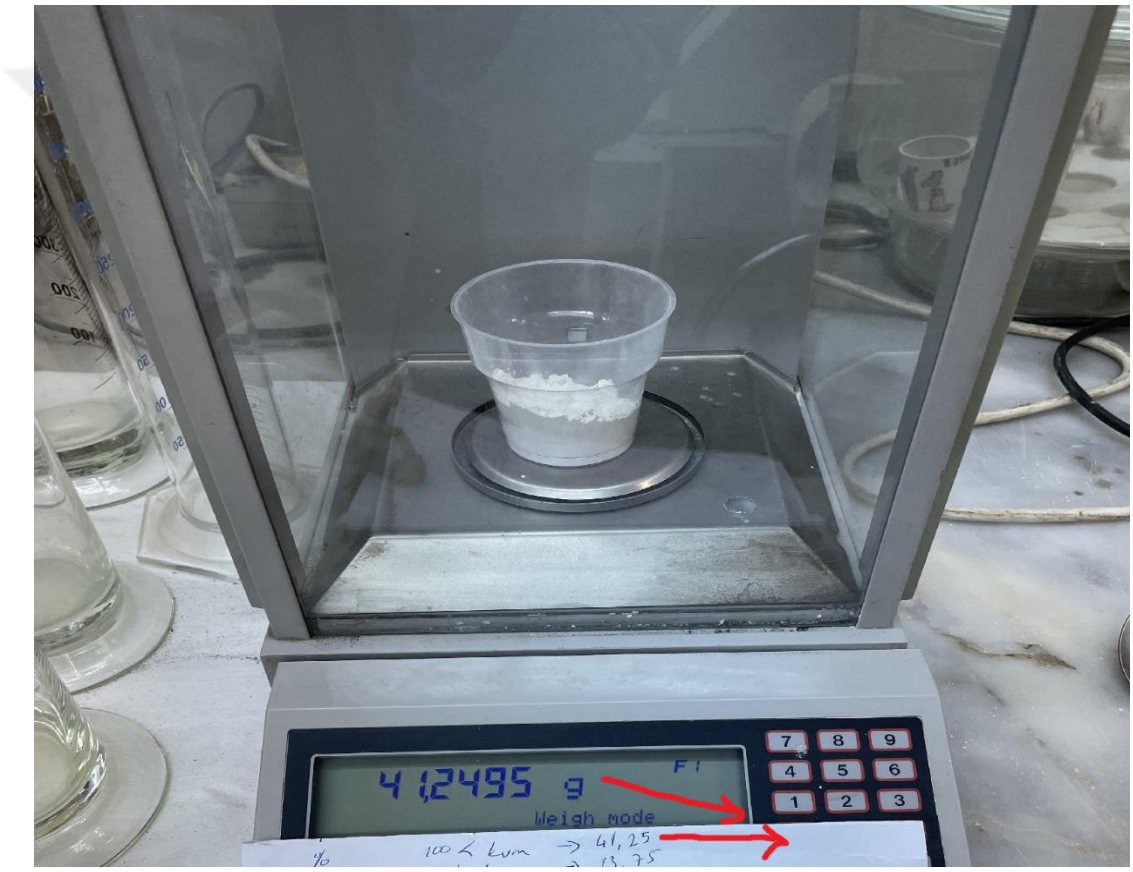
Tablo 3.14 12.Karışım içerik oranları

12.Karışım	
Malzeme	Oranı
Doymamış Polyester Reçine – Kobalt Hızlandırıcı	% 25
MEK-P	% 0.25

Tablo 3.14 (devam)

100 Mikron > Kireç Taşı Tozu	% 15.7912
100 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.7912
200 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 5.8912
300 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 8.1942
500 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 13.9912
707 Mikron < Kireç Taşı Tozu	% 24.7912
12 mm Kırpık Bazalt Fiber	% 0.303

Karışım oranları belirlenen malzemeler 0.0001 gram hassasiyetle çalışan hassas tartıda tartılarak hazırlanmıştır. Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

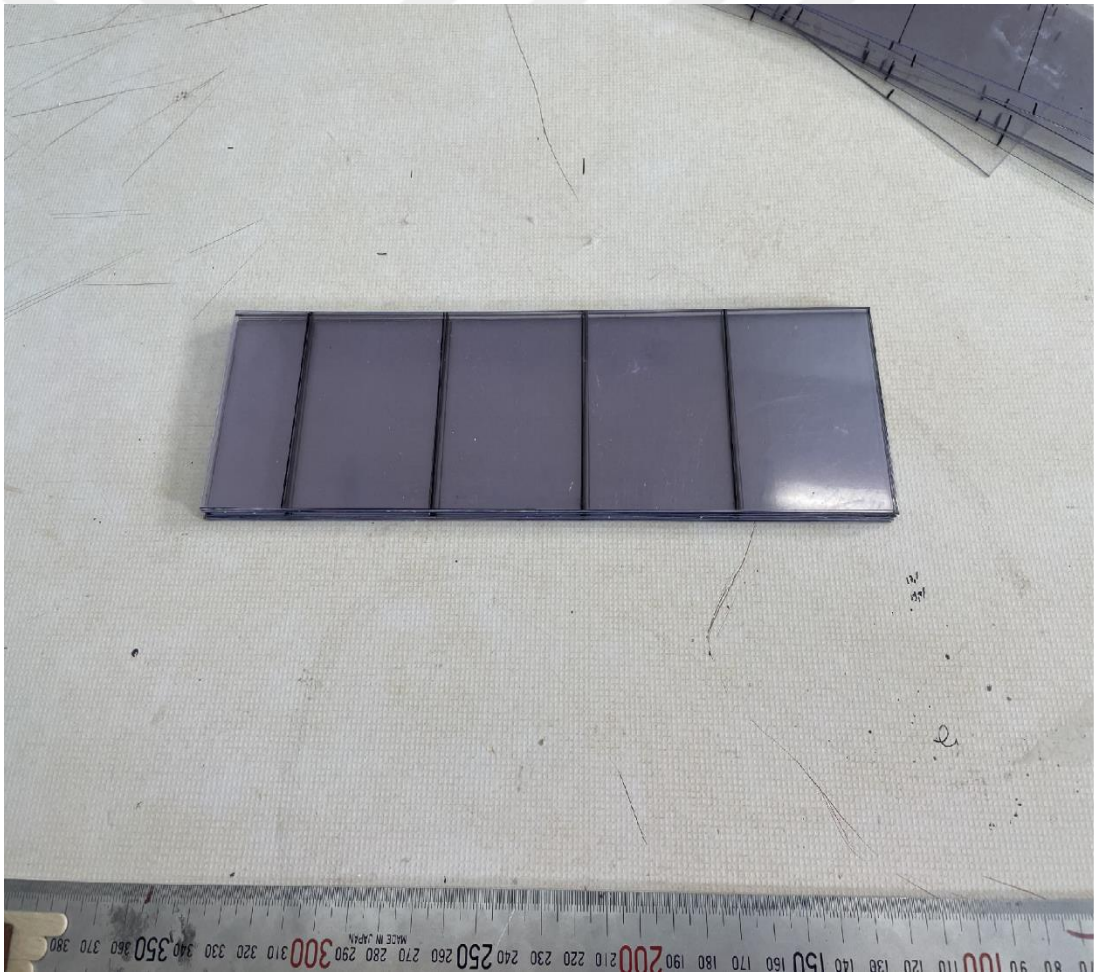


Şekil 3.6 Malzemelerin tartılması

Malzemelerin dökümü için gerekli olan polimer karışımı da hassas tartıda tartılarak hazırlanmıştır. Polimer reçinenin içerisinde %6 Kobalt ihtiva eden hızlandırıcı karışımdan reçinenin ağırlığının %0.1 i kadar katılmıştır. Daha sonra reçine ve kobalt karışımı iyice karıştırılarak homojenize olması sağlanmıştır. Homojen olan karışımın içerisine daha önceden ölçümleri yapılan kireç taşı tozları ve parçacıkları eklenerek iyice karıştırılmıştır. Tüm karışım hazır olduktan sonra karışıma en son MEK-P dahil edilmektedir. MEK-P dahil edildikten sonra kompozit malzemenin jelleşme süresi

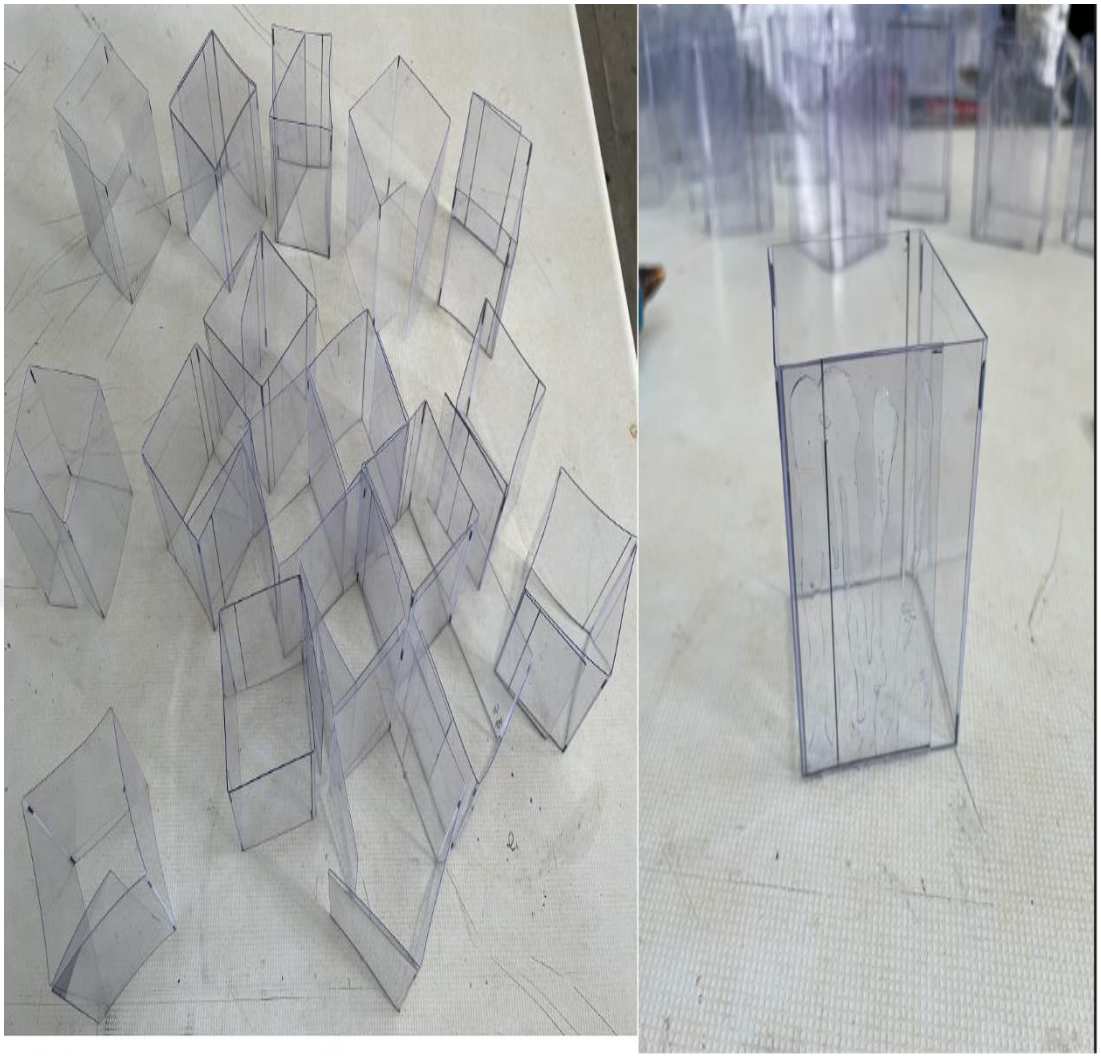
yaklaşık 8 ila 12 dakika arasındadır. Bu süre içerisinde kalıplama işlemi yapılamayan malzemeler tekrar kullanılamamaktadır.

Kalıp malzemesi olarak 500 mikron kalınlığında asetat levhalarında 7cm x 25 cm ölçülerinde parçalar kesilmiştir. Asetat malzemesinin tercih edilme sebebi uygun ve kolay şekil verilebilir olmasıdır. TSE standardı olan TS 699'da belirlendiğine göre malzemelerin atmosfer basıncı altında su emme ve tek eksenli basma deneylerinde kullanmak üzere 50mmx50mmx50mm ölçülerinde kübik numuneler gerekmektedir. Bu numuneleri üretmek için asetat malzeme üzerinde ölçüler çıkarılıp daha sonra kesilmiştir. Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Asetat levhaları üzerindeki ölçü çizgileri ve kesilmiş halleri

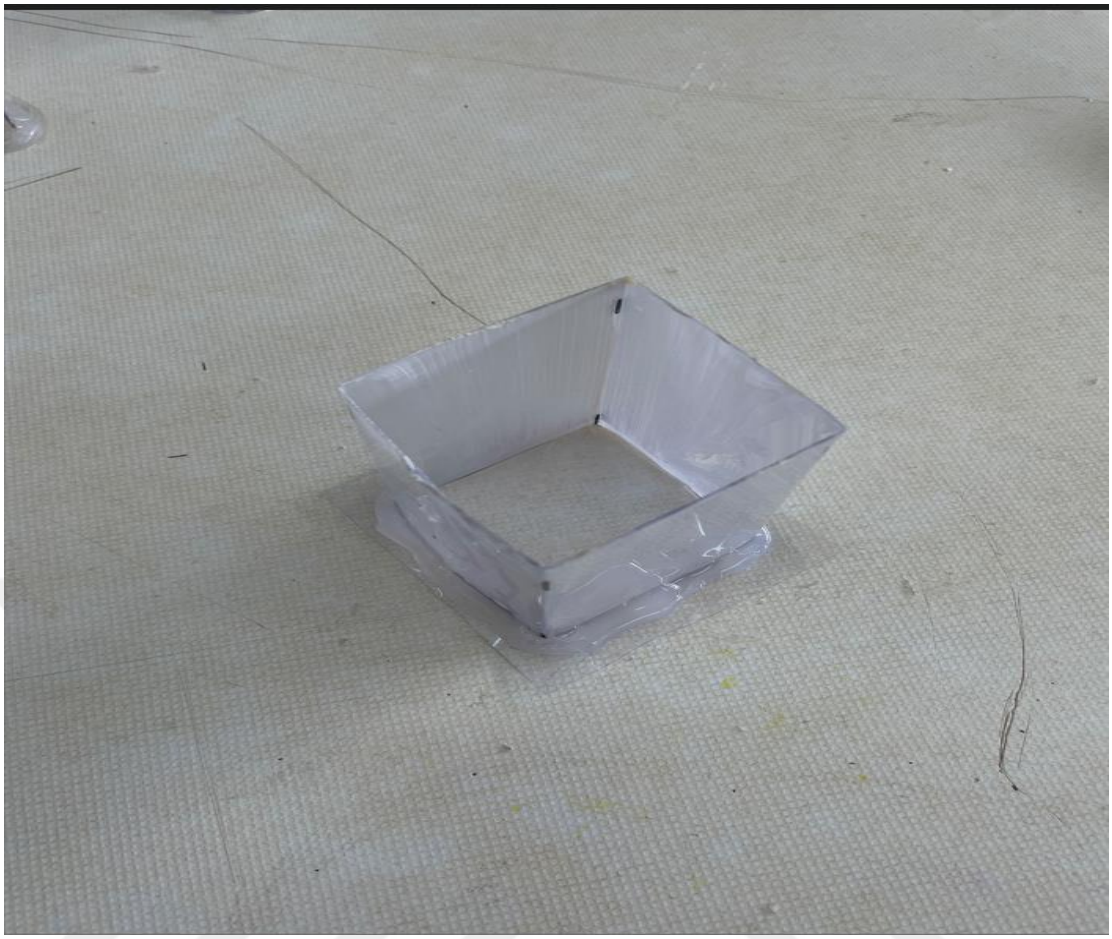
Daha sonra asetat levhalar ölçü çizgileri üzerinde katlanmıştır. Katlamaları yapılan asetatların uçları sıcak silikon tabancası kullanılarak yapıştırılıp dikdörtgen prizması şeklinde yapı elde edilmiştir. Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Katlanmış asetatlar ve köşelerinden yapıştırılmış asetat

Daha sonra asetatın alt kısmını yapmak üzere 200 mikron kalınlığında daha ince bir asetat göz kararı kesilip sıvı sızdırmayacak şekilde tabanın her köşesi sıcak silikon ile yapıştırılır.

Alt tarafı kapanan ve sızdırmaz olan asetat kalıplara daha sonra kalıp ayırıcı sürülür. Kalıp ayırıcı sürülmediği takdirde kompozit malzeme kürlendikten sonra reçine ile kalıbı ayırması olduk zor olmaktadır. Bu sebeple hem nihai ürüne, hem kalıba zarar gelmemesi için kalıp ayırıcı sürülmektedir. Kalıp ayırıcı sürülmüş asetat kalıbın şekli Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Kalıp ayırıcı sürülmüş asetat kalıp

Asetat kalıplara kalıp ayırıcılar 2 kat sürüldükten ve her kat arası 45 dakika beklendikten sonra karışımlar daha önce tarif edildiği gibi hazırlanmaktadır. Hazırlanan karışımlar her numune için 2 kaba ayrılmaktadır. Bunun sebebi kalıplara katılıp vakum kabında vakumlanan ve 8 ila 12 dakika içerisinde kürleşen malzemelerin içerisinde hava kabarcıklarının kalmamasıdır. İlk döküm kalıba yapıldıktan ve vakum içerisinde 6 dakika geçtikten sonra diğer ayrılan karışımında sertleştiricisi katılıp ilk döküm yapılan kalıp üzerine eklenir ve vakuma devam edilir. Vakum süresi toplamda 12 dakikayı geçmemesi sağlanmıştır. 12 dakika sonra kalıplar vakum makinasından çıkarılarak oda koşullarında kürlenme işlemi yapılmıştır. Vakumlanan kalıplardaki yapay kompozit malzemeler yaklaşık 2 gün sonra tam olarak kürlenmektedirler. Kalıplardan 3 gün sonra çıkardılar.

Kalıplardan çıkan numunelerin bir kısmı Şekil 3.10‘da verilmiştir.



Şekil 3.10 Numunelerin görüntüsü

Kalıplardan çıkarılan numuneler daha sonra Optik Mikroskop (OM) altında görüntüleri alınabilmeleri için birer yüzeyleri çeşitli kum boylarına sahip zımparalar ile metalürjik zımparalama makinasında zımparalanmıştır.

Kullanılan zımpara numaraları 80kum, 100 kum, 120 kum, 240 kum, 300kum, 480 kum, 600 kum, 800 kum, 1000 kum, 1200 kum ve 1500 kumdur.

3.2.2 Deneyler

3.2.2.1 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi

TSE TS 699 numaralı standartta atmosfer basıncı altında su emme deneyi TS EN 13755 standardına göre yapılması gerektiği yazmaktadır. TS EN 13755 standardında ise bu deney için gerekli olan numune boyları 50±5 mm ölçülerinde kübik numuneler olduğu yazmaktadır. Numunelerin 70 ± 5°C'da bulunan etüv fırınına 24 ± 2 saat süre ile kurutulmaları gerektiği yazmaktadır. Etüvde kurutulan numuneler daha sonra 0.01 gram hassasiyetle tartım yapabilen tartıda kuru ağırlıkları tartılır ve kayıt edilir. Su emme tankında (Şekil 3.11) bulunan suyun sıcaklığı standarda göre 20 ± 10°C olmalıdır. Sıcaklığı ayarlanan suya bırakılan numuneler daha sonra standarda göre su yükseklikleri zaman bağlı olarak yükseltilir. Zaman olarak 48 ± 2 saat geçince numuneler sudan çıkarılır ve nemli bir bezle silindikten sonra 1 dakika içerisinde hızlıca tartılır. Tartımı yapılan numunelerin ağırlıkları kayıt edilir ve suya tekrar bırakılır. Her 24 ± 2 saat sürede tekrar sudan çıkarılır ve nemli bir bezle silindikten sonra tekrar tartılır. Son 2 tartım arasındaki ağırlık farkı %0.1 den fazla değil ise deney tamamlanmış olur.

Deney sonucu aşağıdaki denklem üzerinden hesaplanır. (Denklem 3.1)

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 \qquad (3.1)$$

m_s : Doymuş deney numunesinin kütlesi (g)

m_d : Kuru deney numunesinin kütlesi (g)

A_b :Atmosfer basıncında su emme değeri (%)



Şekil 3.11 Su emme tankına konulan numuneler

3.2.2.2 Açık hava etkisiyle görünüş değişikliği tayini

TS 699 numaralı standartta bulunan bu deney şu şekilde yapılmaktadır. Deney numune yüzeyleri aşındırılıp parlatılır daha sonra gözle görünür bir değişiklik meydana gelinceye kadar %1'lik hidroklorik asit çözeltisi etkisine bırakılır. Çözelti içerisine bıraktığımız numuneler 1 gün çözeli içerisinde bekledikten sonra çıkarılıp durulanmıştır. Numune üzerinde meydana gelen değişiklikler kayıt edilmiştir.

3.2.2.3 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Bu deney TS 699 numaralı standartta TS EN 1926 numaralı standarda göre yapılması istenilmektedir. TS EN 1926 standardında tek eksenli basınç dayanımı deneyi numunelerin ölçülerinin 50±5 mm olmaları gerektiği yazmaktadır. Numuneler üzerinde deney yapılmadan önce 70 ± 5°C'da bulunan etüv fırınına 24 ± 2 saat süre ile kurutulmaları gerektiği yazmaktadır. Standarda göre deney makinasının saniyede 1 ± 0,5 MPa yükleme yapabilmesi istenilmektedir.

Şekil 3.12'de gösterilen makine saniyede 0,6 MPa yükleme hızına sahiptir.



Şekil 3.12 Tek eksen basınç dayanımı test makinası

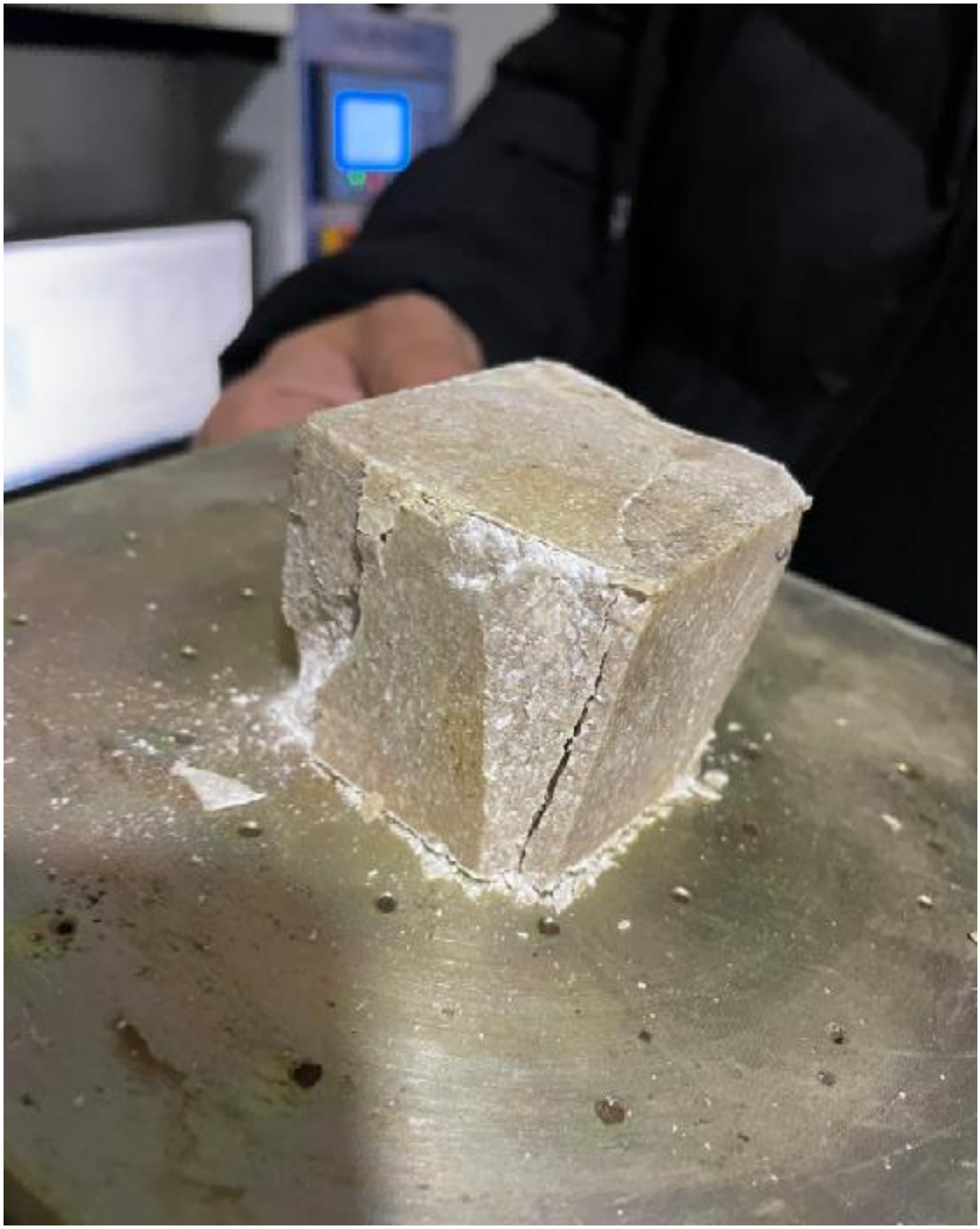
Numunenin ölçüleri alındıktan sonra deneye başlanır. Numune kırıldıktan sonra en yüksek değer alınarak aşağıdaki Denklem 3.2 üzerinden daha önce ölçülmüş olan numune alanına bölerek sonucu MPa cinsinden tespit edilir.

$$R = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{A}} \tag{3.2}$$

R: numunenin tek eksen basınç dayanımı (MPa)

F: numunenin dayandığı en yüksek kuvvet (kN)

A: Numune kesiti (mm^2)



Şekil 3.13 Numunenin basınç deneyi sonrası durumu

3.2.2.4 Geniş disk aşınma deneyi

Bu deney TS EN 14157 numaralı standarda göre yapılmaktadır. Bu deneyi yapmak için geniş diskli aşındırma test cihazına ihtiyaç vardır. Şekil 3.14'te geniş disk aşınma deneyi cihazı gösterilmiştir.



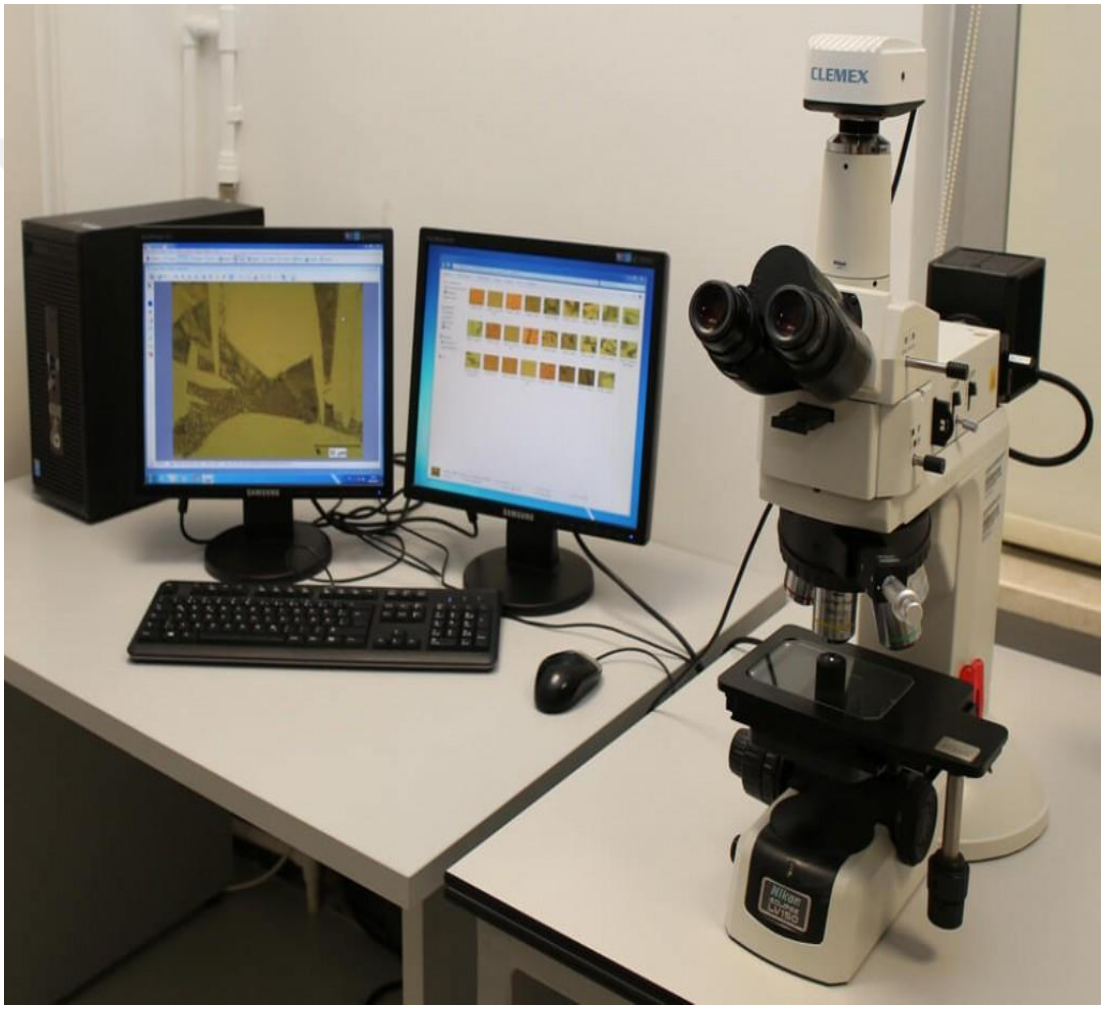
Şekil 3.14 Geniş disk aşındırma deneyi test cihazı

Standarda göre 10 cm x 7 cm'lik dikdörtgen numuneler hazırlanır. Numuneler deneye başlamadan önce diğer deneylerde olduğu gibi etüvde kurutulur. Deneyin yapılabilmesi için makinanın 60 saniye içerisinde 75 devir aşındırma diskini döndürebilir özellikte olması gerekmektedir. Deneyde aşındırıcı olarak alümina kullanılmaktadır. Deneyi yapabilmek için numuneyi karşı ağırlığın olduğu ve deney esnasında numuneyi ağırlık sayesinde geniş aşındırma diskine çeken numune tutma bölümüne bağlanır. Daha sonra alümina aşındırıcı tozların valfi açılır ve disk üzerine dökülmesi sağlanır. Test düzeneğini başlatınca disk 60 saniye içerisinde 75 devir döner. Deney bittikten sonra deney numunesi üzerinde oluşan aşındırma izleri bir kalem yardımı ile çizilir. Daha sonra 3 noktadan genişlik ölçümü 0,05 mm hassasiyetle ölçüm yapabilen bir kumpas kullanılarak deney numunesi üzerinde ne kadarlık bir aşınma olduğu hesaplanır.

3.2.2.5 Optik mikroskop ile yüzeylerin incelenmesi

Dicle üniversitesi malzeme laboratuvarında bulunan OM ile bir yüzeyleri zımparalanmış numuneler öncelikle 5X optik yakınlaştırma, 10X Optik yakınlaştırma, 20X optik yakınlaştırma ve 50X optik yakınlaştırma kapasitesine sahip mercekler ile görüntülenecek ve görüntüler kayıt edilecektir.

Şekil 3.15'te OM cihazının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.15 OM cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Deneyi Sonuçları

TS EN 13755 numaralı standart içerisinde açıklandığı şekli ile yapılan deney sonuçlarında numunelerin bazılarında atmosfer basıncı altında su emme oranları en fazla %0,1'e ulaştığı gözlemlenmiştir. Genel olarak değişken sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Deney numunelerinden 3'er adet deneme yapılıp ortalamaları alınıp aşağıdaki tabloda karışımların ortalama olarak atmosfer basıncı altında su emme oranları Tablo 4.1'de verilmiştir. Kimi numune 72 saat geçmesine rağmen tartı üzerinde 0,01 gram bir fark bile oluşturmadıkları gözlemlenmiştir.

Tablo 4.1 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonuçları ortalamaları

Karışım numarası	Su Emme Yüzdeleri Ortalamaları
1.Karışım	%0,04
2.Karışım	%0,021
3.Karışım	%0,005
4.Karışım	%0,026
5.Karışım	%0,02
6.Karışım	%0,03
7.Karışım	%0,066
8.Karışım	%0,032
9.Karışım	%0,044
10.Karışım	%0,018
11.Karışım	%0,09
12.Karışım	%0,051

Tablo 4.2'de Kireçtaşı ve bazalt taşının atmosfer basıncı altında su emme oranları verilmiştir. Bu oranların üretimi yapılan yapay kompozit taşlar ile kıyaslandığında, değerlerin yapay kompozit taşların su emme oranlarına göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 4.2 Kireçtaşı ve bazalt taşının atmosfer basıncı altında su emme oranları

Kireçtaşı	%8,75
Bazalt taşı	%0.81

4.2 Açık Hava Etkisiyle Görünüş Değişikliği Tayini Deneyi Sonuçları

Hidroklorik asit çözeltisinden çıkarılıp durulanan numuneler daha sonra gözlemlenmiştir ve fotoğrafı çekilmiştir.

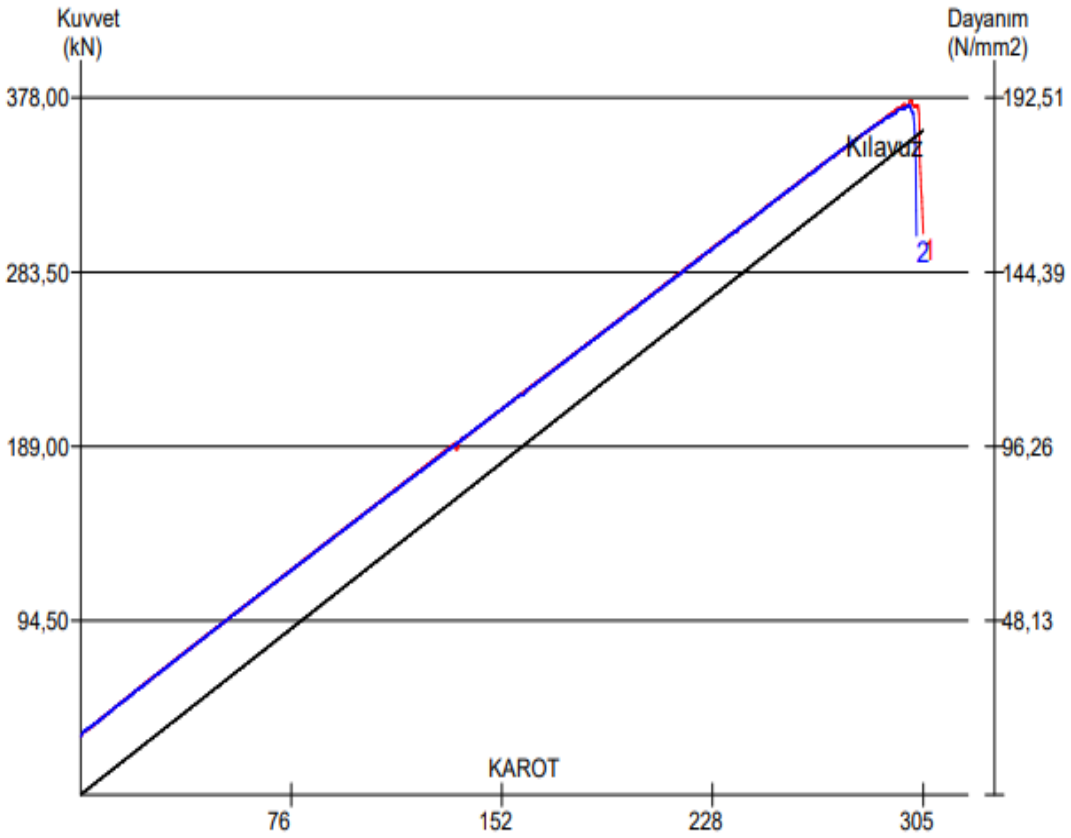
Elde edilen görüntülerde sarı daire içerisinde bulunan bölgede hidroklorik asit çözeltisinin yapay kompozit taş içerisinde bulunan kireçtaşını erittiği görülmüştür. Kireçtaşları doğası gereği asitlere karşı dayanımları kötüdür. Sarı daire içerisinde gözüken gözenekler kireçtaşlarının asitte eridikten sonra kalan boşluklarıdır. Kırmızı daire içerisinde kalan bölgede ise kireçtaşlarının etrafını sarıp sarmalayan doymamış polyester reçinenin herhangi bir zarar görmediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi doymamış polyester reçinenin asitlere karşı olan iyi dayanımıdır. Polyester reçine dayanımı zayıf olan kireçtaşının etrafını kaplaması ile kireçtaşını asitten muhafaza ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.1'de deney sonucu oluşan hasar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Hidroklorik asidin yapay kompozit taş üzerindeki etkisi

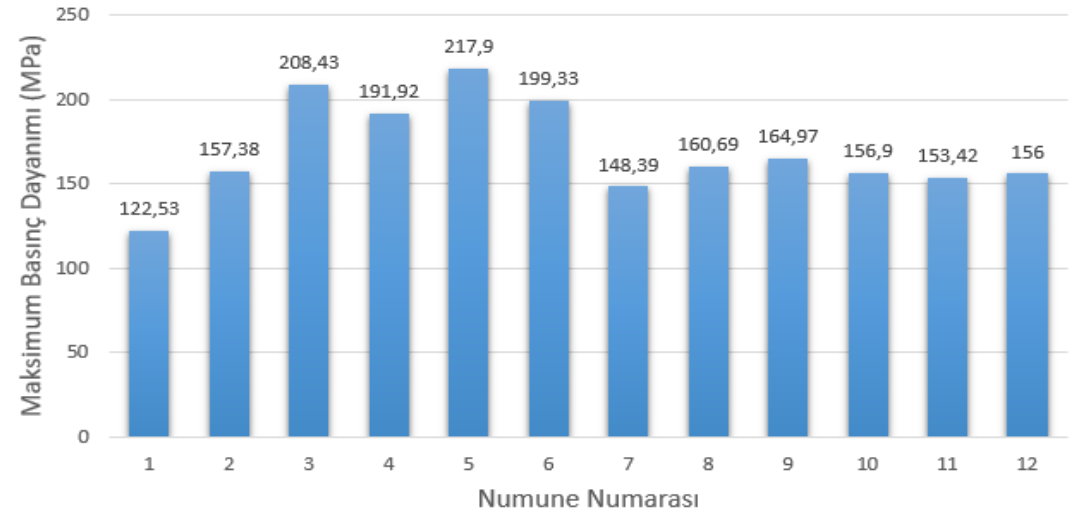
4.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Deneyde numuneler kırılana kadar deney bitirilmemiştir. Test sistemine bağlı bilgisayarda deney esnasında numunelerin ölçüleri girilerek MPa cinsinden direkt olarak sonuçları elde edebilmekteyiz. Şekil 4.2'de bilgisayardan elde edilen sonuçlardan 2 tanesi gösterilmiştir. Bilgisayardan elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi aşağıda bulunan şekillerde verilmiştir.



Şekil 4.2 4 Numaralı karışımın tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının bilgisayar çıktısı

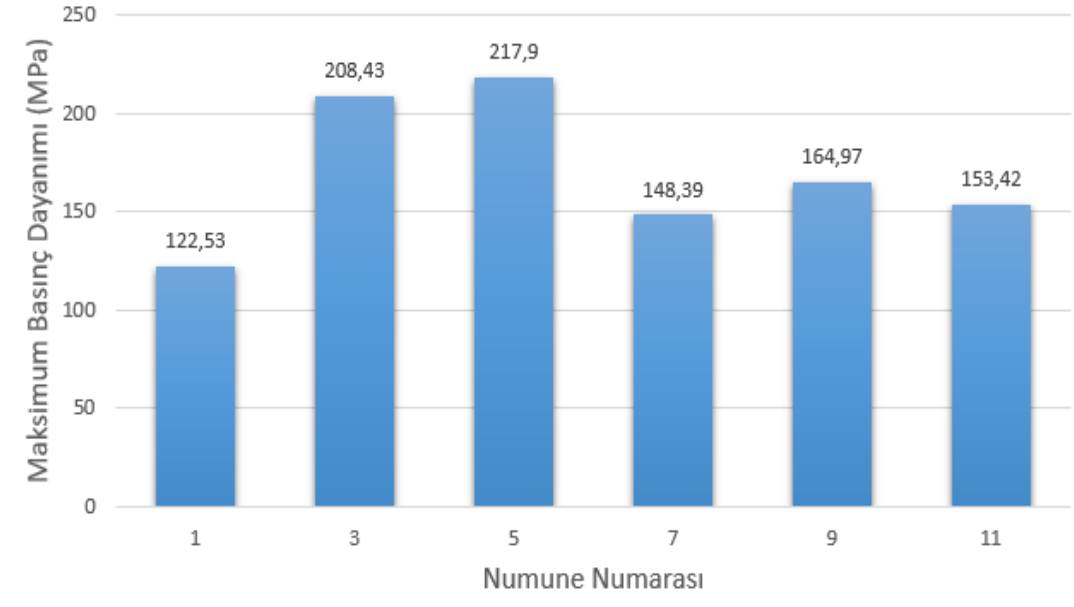
Elde edilen bilgisayar verilerinin ortalaması alınarak aşağıda bulunan şekiller hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kireçtaşı katılarak üretimi yapılan kireçtaşlarının basınç dayımları içerisine katılan takviye malzemesine göre ve içerisine katılan reçine oranına göre değiştiği tespit edilmiştir. 200 mikron cam tozu takviyeli 3 ve 4 numaralı karışımlarda, 3 numaralı %30 reçine katkılı yapay kompozit taş 4 numaralı %25 reçine katkılı yapay kompozit taşa göre daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı göstermiştir. Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının ortalamaları Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3 Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarının ortalamaları

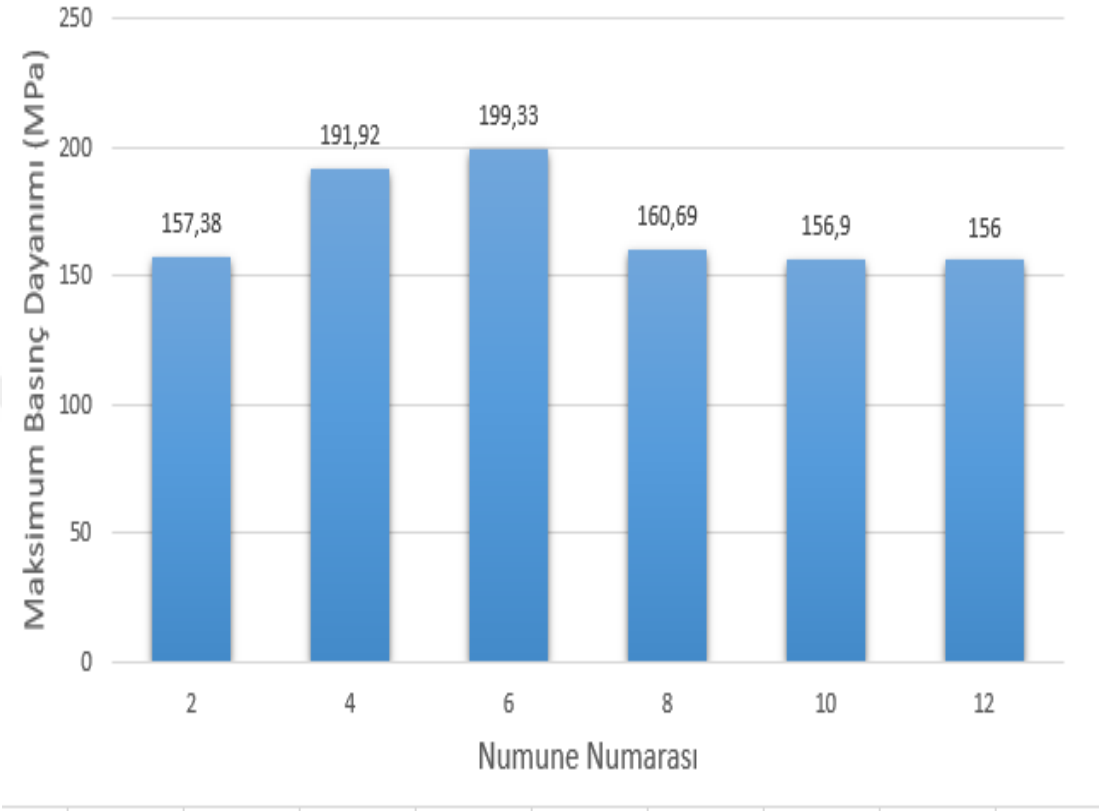
Fiber boyuna göre bakıldığında 3,2 mm uzunluğundaki cam fiberin göstermiş olduğu basınç dayanımı 6 mm uzunluğundaki cam fiberin göstermiş olduğu basınç dayanımından daha yüksektir. Benzer şekilde 6 mm kırpık bazalt fiberin basınç dayanımı 12 mm kırpık fiberin basınç dayanımına göre bir miktar daha fazla olmuştur.

Aşağıdaki Şekil'de (Şekil 4.4) %30 reçine içeren kompozit malzemelerin tek eksen basın dayanımı deneyinde vermiş olduğu sonuçlardır.



Şekil 4.4 %30 reçine içeren malzemelerin tek eksen basınç dayanımı deneyi ortalama sonuçları

Aşağıdaki Şekil'de (Şekil 4.5) %25 reçine içeren kompozit malzemelerin tek eksen basın dayanımı deneyinde vermiş olduğu sonuçlardır.



Şekil 4.5 %25 reçine içeren malzemelerin tek eksen basınç dayanımı deneyi ortalama sonuçları

Aşağıda Şekil 4.6'dan başlayıp Şekil 4.11'e kadar olan şekillerde farklı karışım oranlarındaki yapay kompozit taşların tek eksenli basınç dayanımı testinde kırıldıkları andaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.6 1.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu



Şekil 4.7 3.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu



Şekil 4.8 5.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu



Şekil 4.9 7.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu



Şekil 4.10 9.Karışımın basınç deneyi sonrası durumu

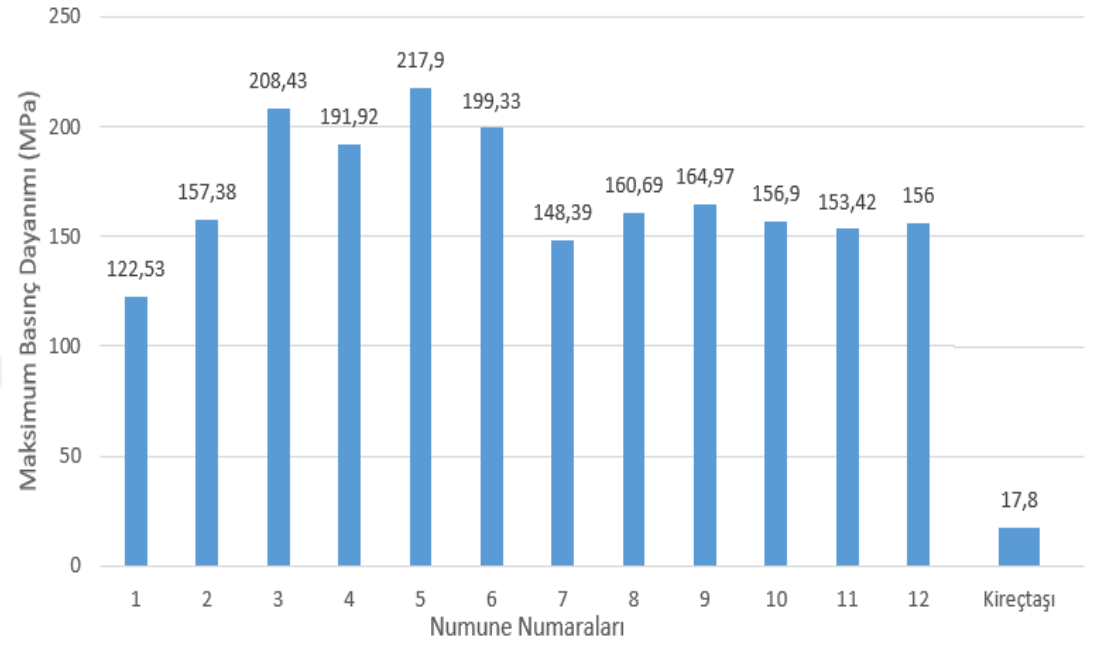


Şekil 4.11 11.Karşımın basınç deneyi sonrası durumu

4.3.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarını kireçtaşı ve bazalt taşı basınç dayanımları ile kıyaslama

Tablo 3.2'de verilen kireçtaşı basma dayanımına göre üretilen yapay kompozit taşının tek eksenli basınç dayanımı kıyaslanınca Şekil 4.12'de gösterildiği gibi üretilen bütün yapay kompozit taşların tek eksen basınç dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. En az artış gösteren 1 numaralı karışım, tek eksenli basınç dayanımında yaklaşık 6 kat artış göstermiştir. En fazla artış gösteren 5 numaralı

karışım ise tek eksenli basınç dayanımında, kireçtaşının basınç dayanımı ile kıyaslandığında yaklaşık 11 kat dayanımı arttırdığı görülmüştür.

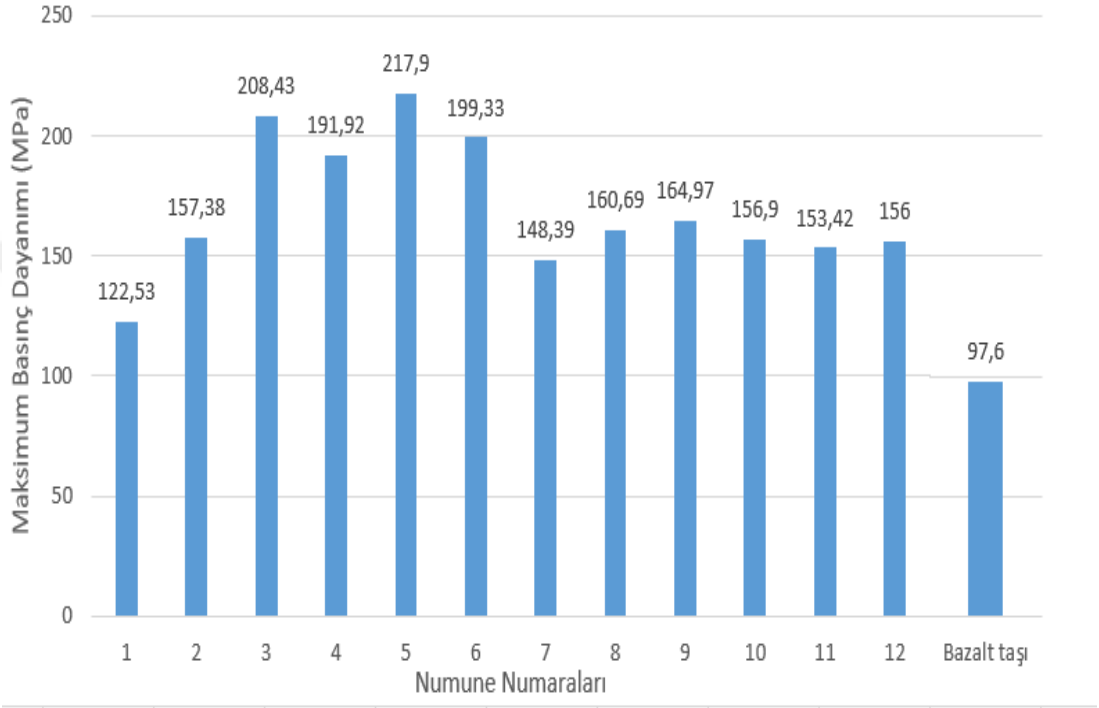


Şekil 4.12 Yapay kompozit taşların basınç dayanımlarının kireçtaşının basınç dayanımı ile kıyaslanması

Tek eksenli basınç dayanımları oldukça zayıf olan kireçtaşının yapay kompozit taş olarak doymamış polyester reçine içerisine katılarak tekrardan üretilmesi ile dayanımları yüksek oranlarda artmıştır. Takviye malzemesi olarak katılan fiberlerde fiberin boyu uzadıkça, fiber boyu kısa olan karışımlara göre tek eksenli basınç dayanımında dayanımı daha az artış gösterdiği görülmüştür.

Üretimi yapılan yapay kompozit taşların basınç dayanımının Tablo 2.3'de verilen bazalt taşının basınç dayanımı ile kıyaslanması Şekil 4.13'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda üretilen yapay kompozit taşların bazalt taşına oranla daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür. Kireçtaşının doğal halinde göstermiş olduğu tek eksenli basınç dayanımı bazalt taşının basınç dayanımına göre oldukça düşük kalmaktadır ama kireçtaşı yapay kompozit taş olarak tekrardan üretildiğinde elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Kıyaslama yapıldığında 5 numaralı karışımın göstermiş olduğu basınç dayanımı değerinin bazalt taşının göstermiş olduğu değere göre %123 daha fazla bir dayanım

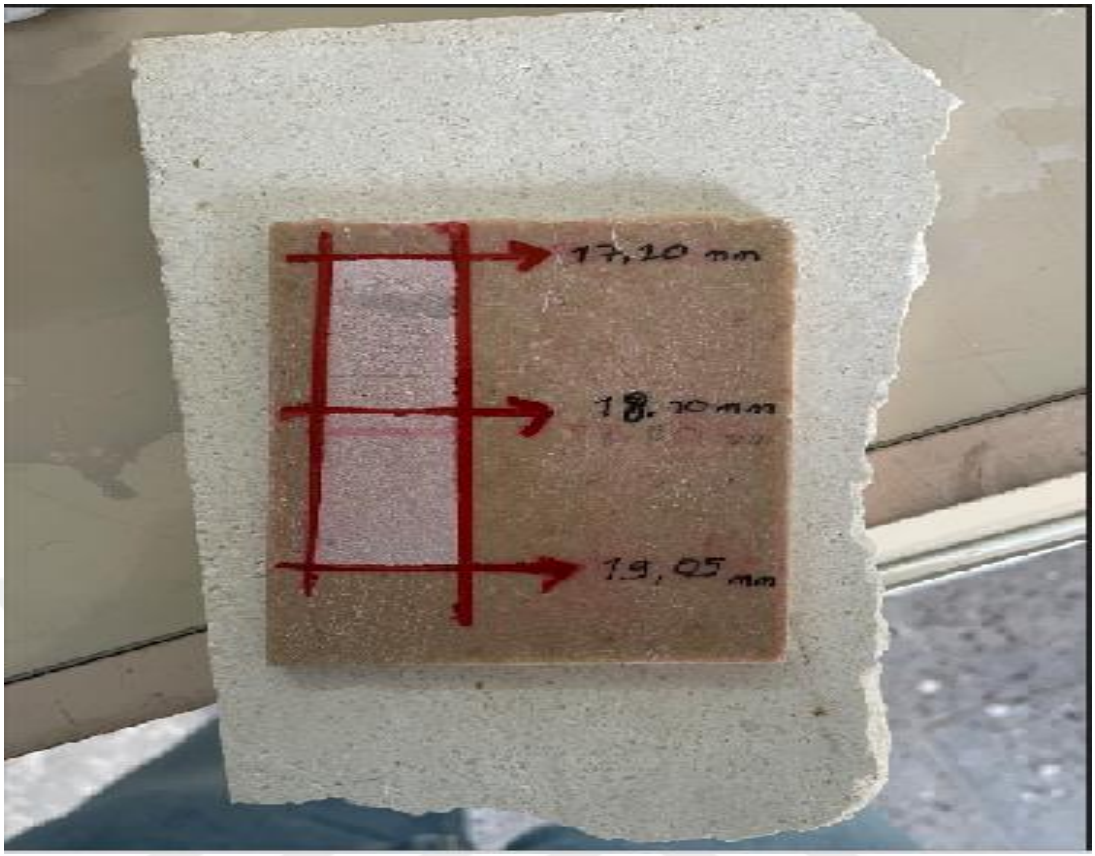
sergilediği görülmüştür. En düşük basınç dayanımı artışı gösteren karışım ise 1 numaralı karışım olmuştur. 1 numaralı karışımın basınç dayanımı bazalt taşının basınç dayanımı ile kıyaslandığında %25 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 Yapay kompozit taşların basınç dayanımlarının bazalt taşı basınç dayanımı ile kıyaslanması

4.4 Geniş Disk Aşınma Deneyi Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda numuneler aşındırılmıştır. Aşındırılan numunelerin daha sonra standart üzerinde belirtildiği gibi aşınan kısmın etrafına çizgiler bir kalem ve cetvel yardımı ile çizilmiştir. Yapılan çizimlerin bir örneği Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Geniş disk aşınma deneyi yapılan numenin sonucu

Deney sonucu elde edilen değerlerin ortalamaları aşağıda Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Geniş disk aşınma deneyi sonuçları

Deney Numunesi Numarası	Aşınma Miktarı Ortalamaları (mm)
1.Numune	18,10 mm
2.Numune	15,75 mm
3.Numune	16,70 mm
4.Numune	16,20 mm
5.Numune	17,65 mm
6.Numune	16,45 mm
7.Numune	17,30 mm
8.Numune	16,90 mm
9.Numune	17,05 mm
10.Numune	16,75 mm
11.Numune	17,05 mm
12.Numune	16,80 mm

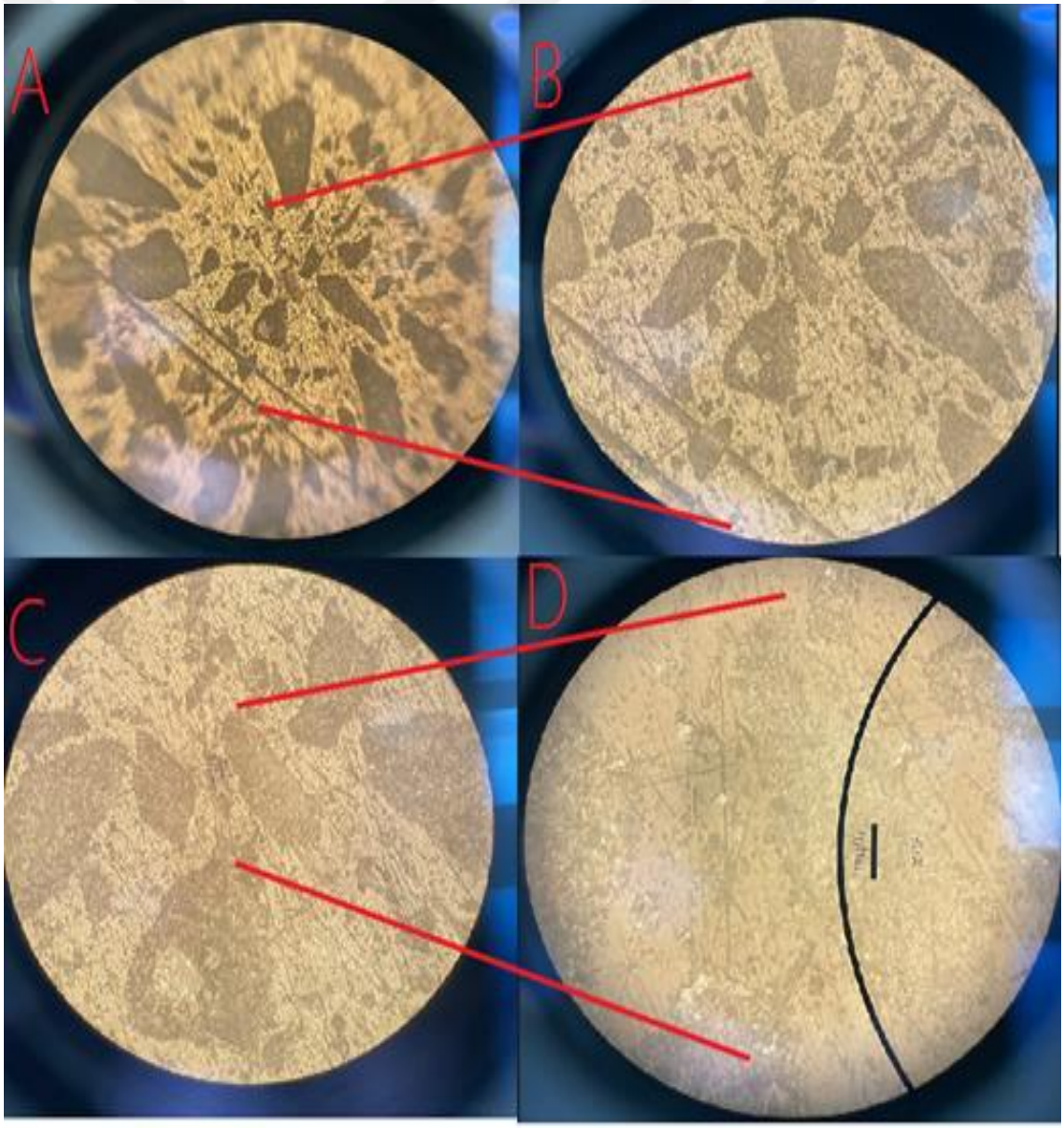
4.5 Optik Mikroskop ile Yüzeylerin İncelenmesi

Zımpara işlemleri tamamlanan numunelerin birey yüzleri daha sonra OM ile görüntülenmiştir. Görüntüleme işlemleri önce 5X optik yakınlaştırma yapan mercek

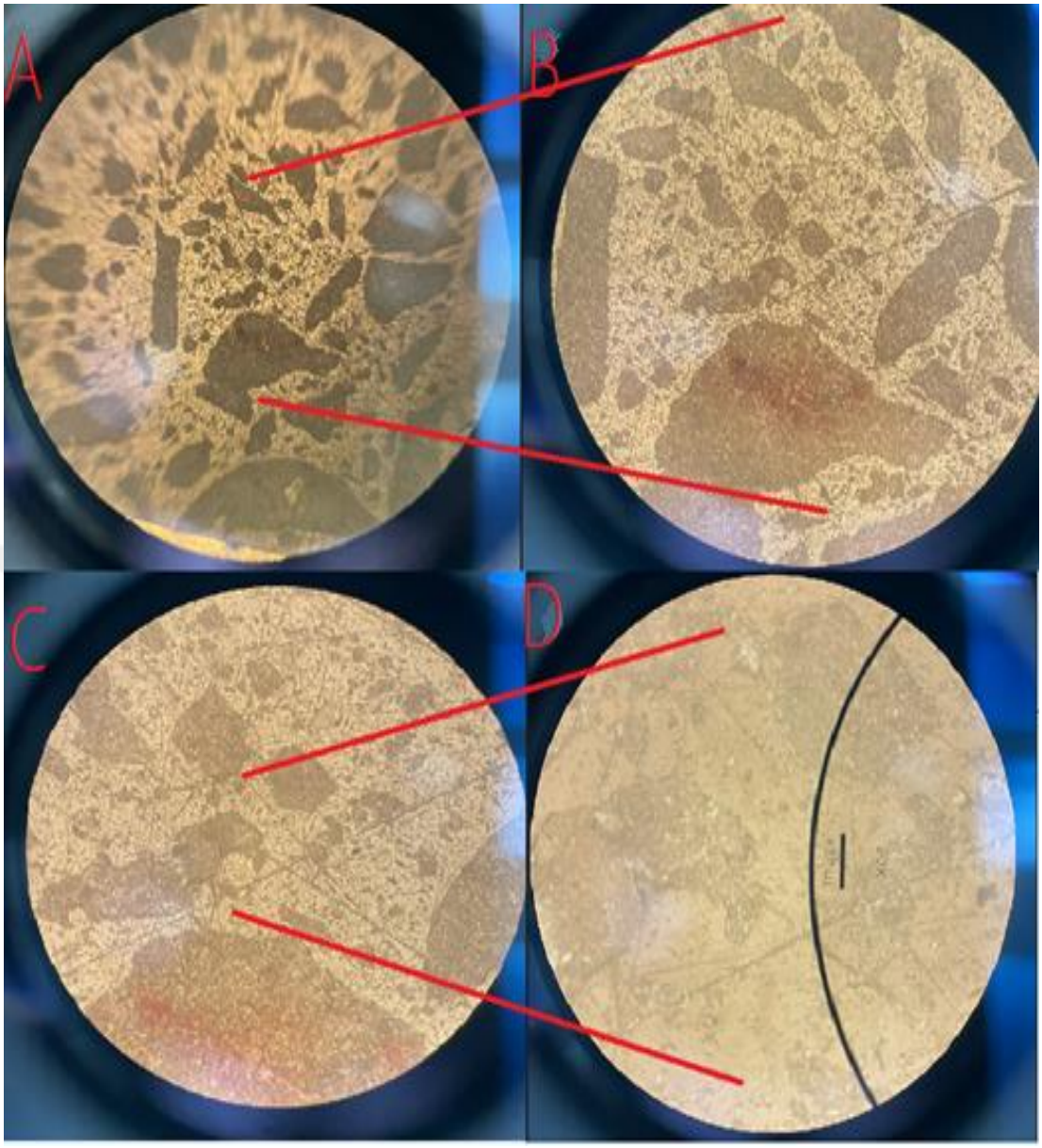
ile yapılmıştır. Daha sonra 10X, 20X ve 50X optik yakınlaştırma yapan mercekler ile diğer görüntülemelerde yapılmıştır.

OM ile çekilen görüntülerde Şekil 4.15-21'de A numaralı görüntüler 5X optik yakınlaştırma mercek ile çekilmiştir. B numaralı görüntüler aynı noktanın 10X optik yakınlaştırmalı mercek ile görüntülenmiştir. C numaralı görüntüler aynı noktanın 20X optik yakınlaştırmalı mercek ile görüntülenmiştir. D numaralı görüntüler aynı noktanın 50X optik yakınlaştırmalı mercek ile görüntülenmiştir.

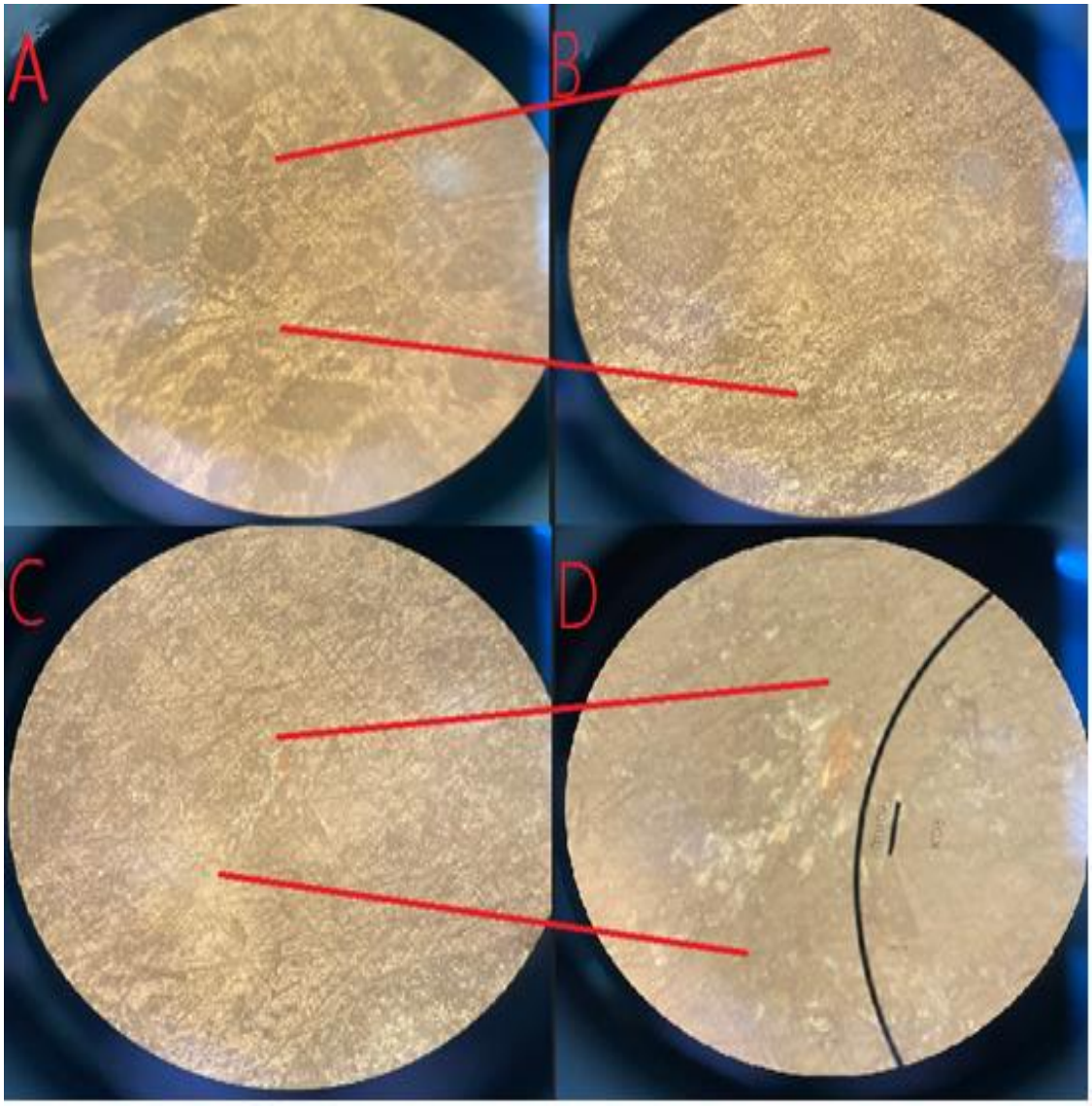
Görüntülerde koyu kahve rengi olarak gözüken parçalar yapay kompozit taşlarının içerisine katılan farklı boyutlardaki kireçtaşı parçacıklarıdır.



Şekil 4.15 1 Numaralı numunenin OM görüntüleri

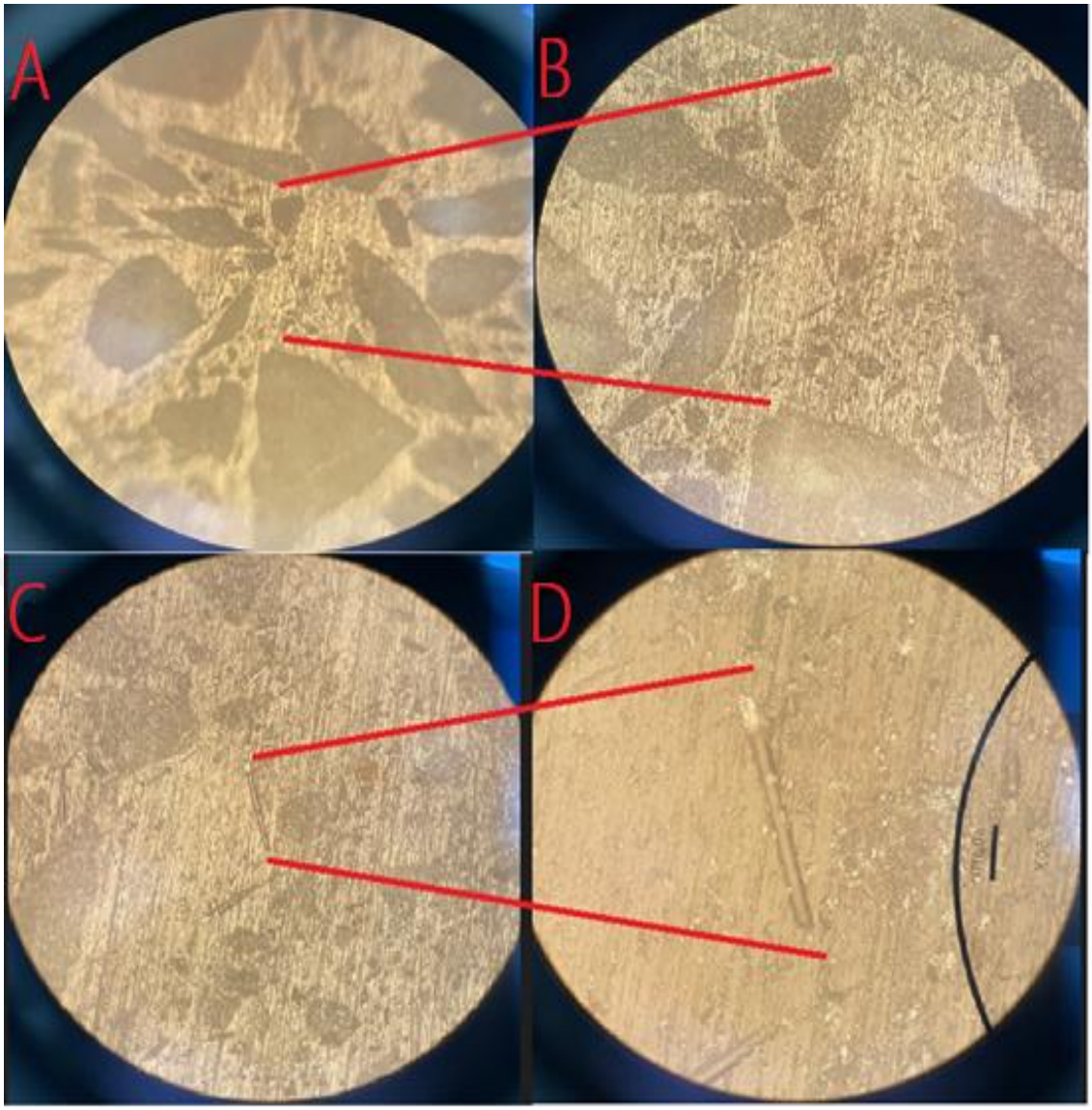


Şekil 4.16 2 Numaralı numunenin OM görüntüleri



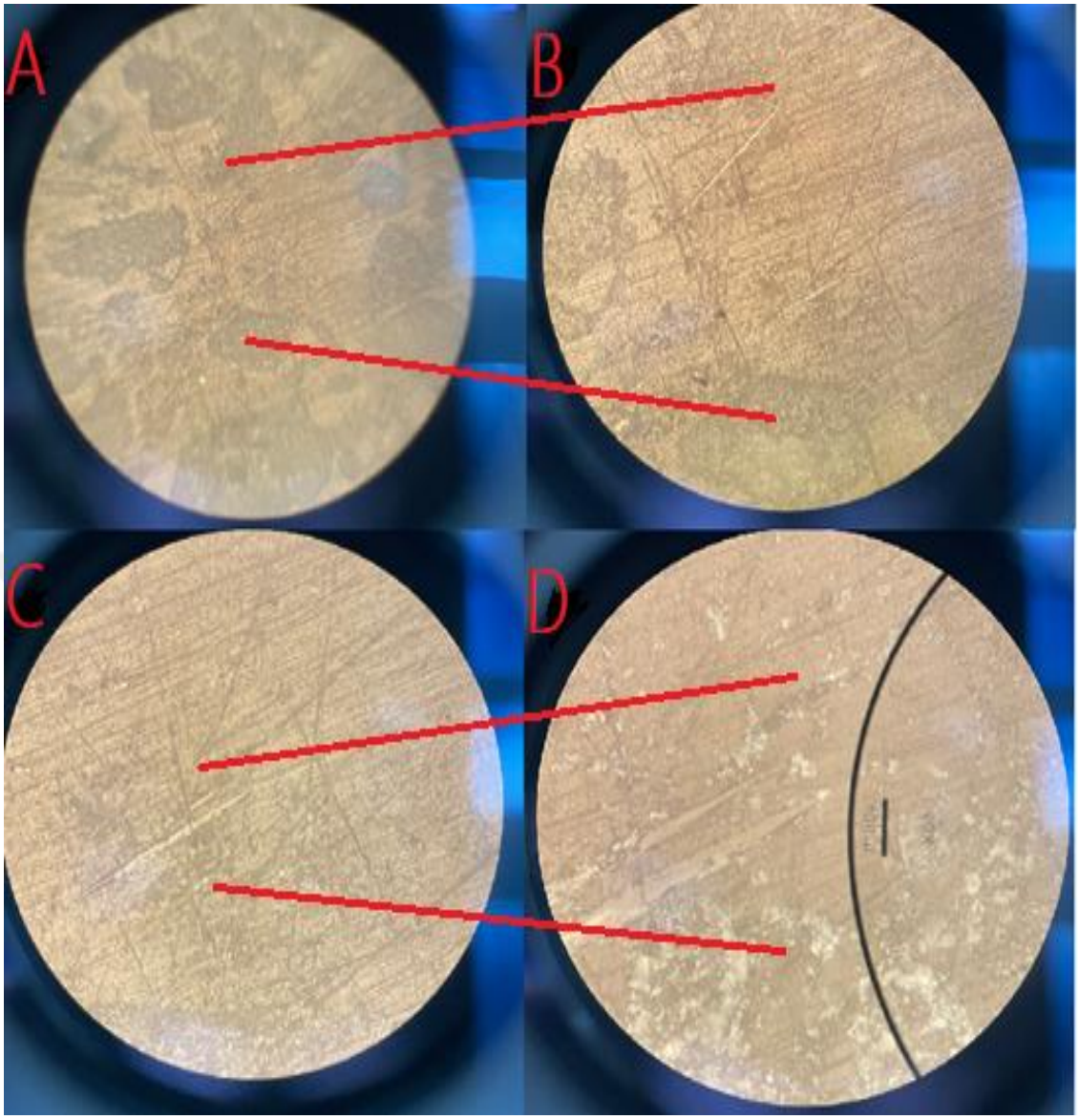
Şekil 4.17 3 Numaralı numunenin OM görüntüleri

Şekil 4.17'de bulunun D numaralı görüntüde 200 mikron cam tozu 50 X optik yakınlaştırmalı mercek ile gözükmektedir. D numaralı mercekte bulunan kısa siyah çizgi 50 mikron uzunluğuna tekabül etmektedir.



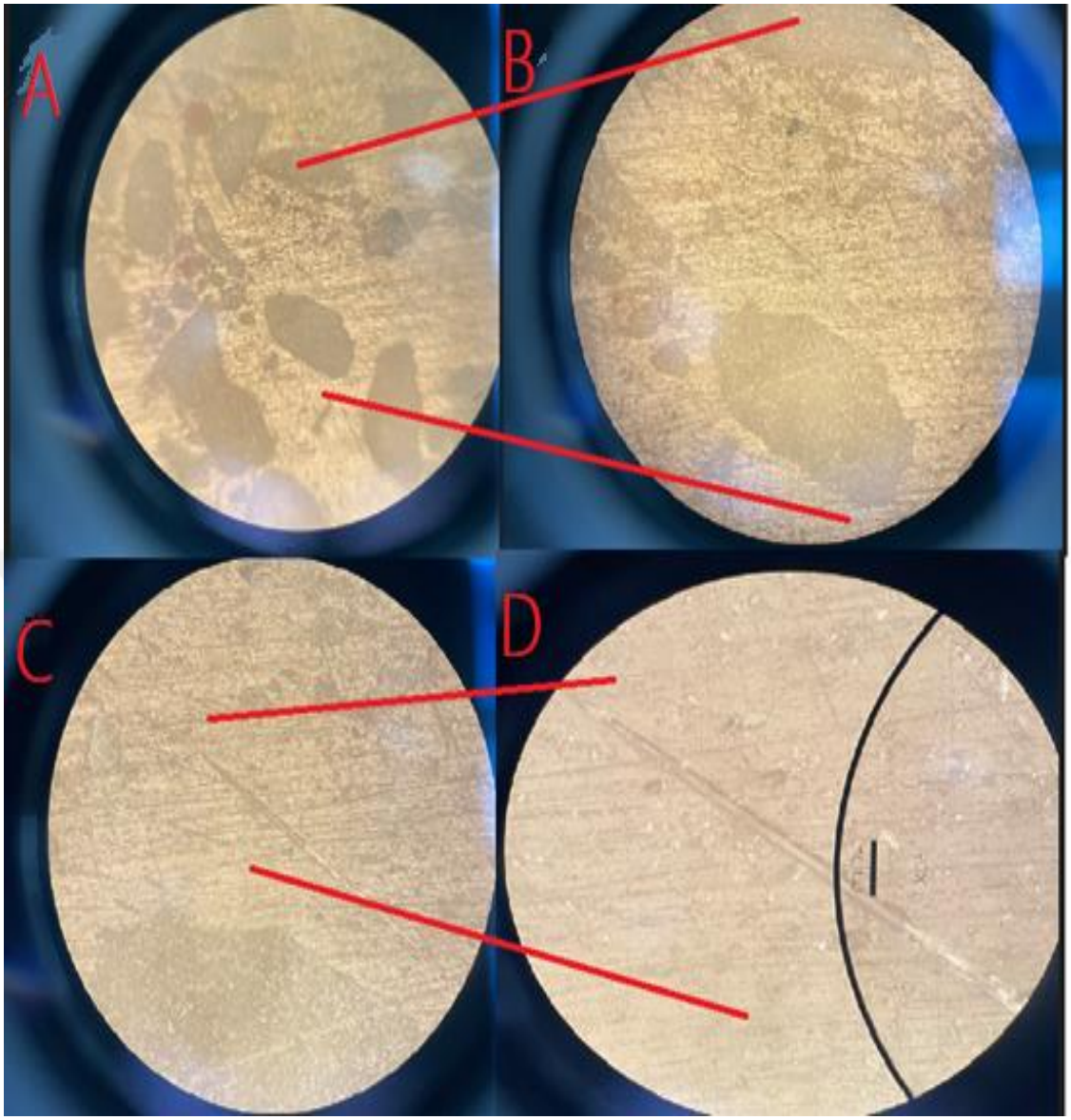
Şekil 4.18 5 Numaralı numunenin OM görüntüleri

Şekil 4.18'de gösterilen şekilde D numaralı görüntüde 3,2 mm uzunluğunda kırpık cam fiber gözükmektedir. Karışım içerisine katılan kırpık cam fiberlerin oryantasyonları rastgele oldukları için zımparalama aşamasında fiberlerin bir kısmı zımparalanarak küçüldüğü görülmüştür. Bu sebeple 50 X yakınlaştırmalı mercek ile bakıldığında fiberlerin boyları 3,2 mm den daha kısa oldukları görülmektedir. Fiber boylarının daha kısa olarak görülmesi aynı sebepten dolayı diğer fiber takviyesi içeren karışımların görüntülerinde de görülmektedir.



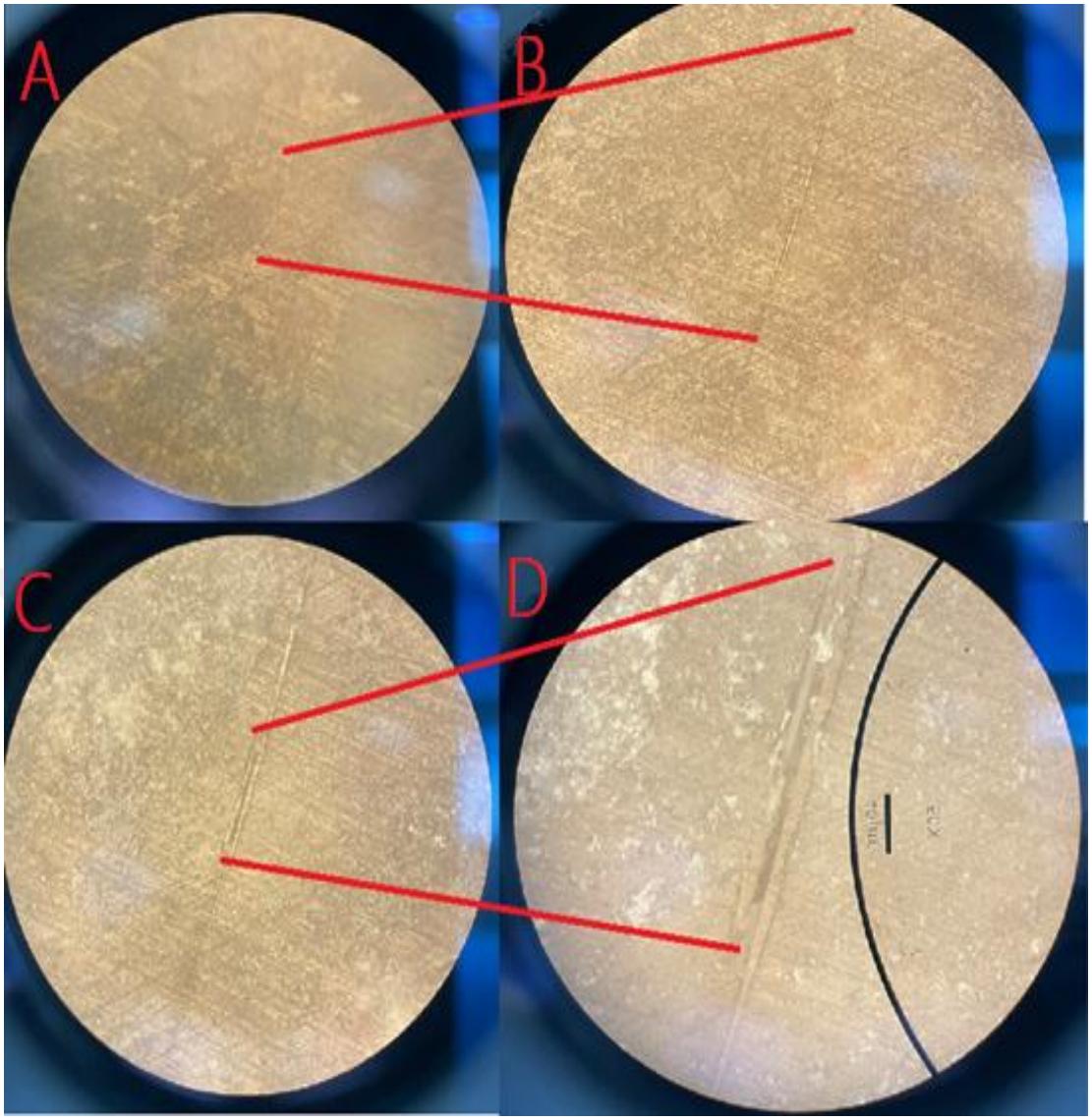
Şekil 4.19 7 Numaralı numunenin OM görüntüleri

Şekil 4.19’da D numaralı görüntüde 6 mm kırpık cam fiberler gözükmektedir.



Şekil 4.20 9 Numaralı numunenin OM görüntüleri

Şekil 4.20’de D numaralı görüntüde 6 mm kırpık bazalt fiberler gözükmektedir.



Şekil 4.21 11 Numaralı numunenin OM görüntüleri

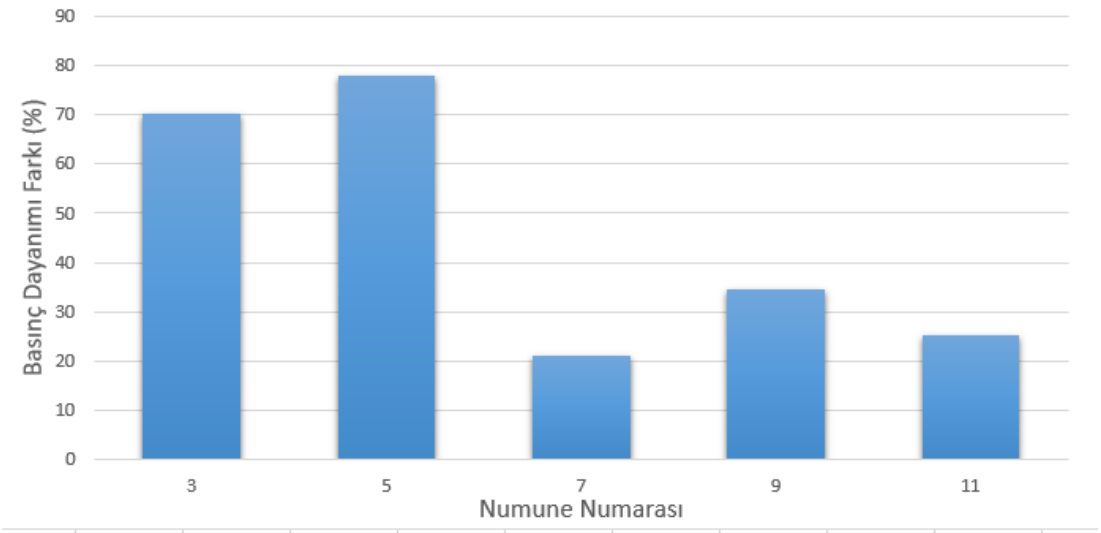
Şekil 4.21'de D numaralı görüntüde 12 mm kırpık bazalt fiberler gözükmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

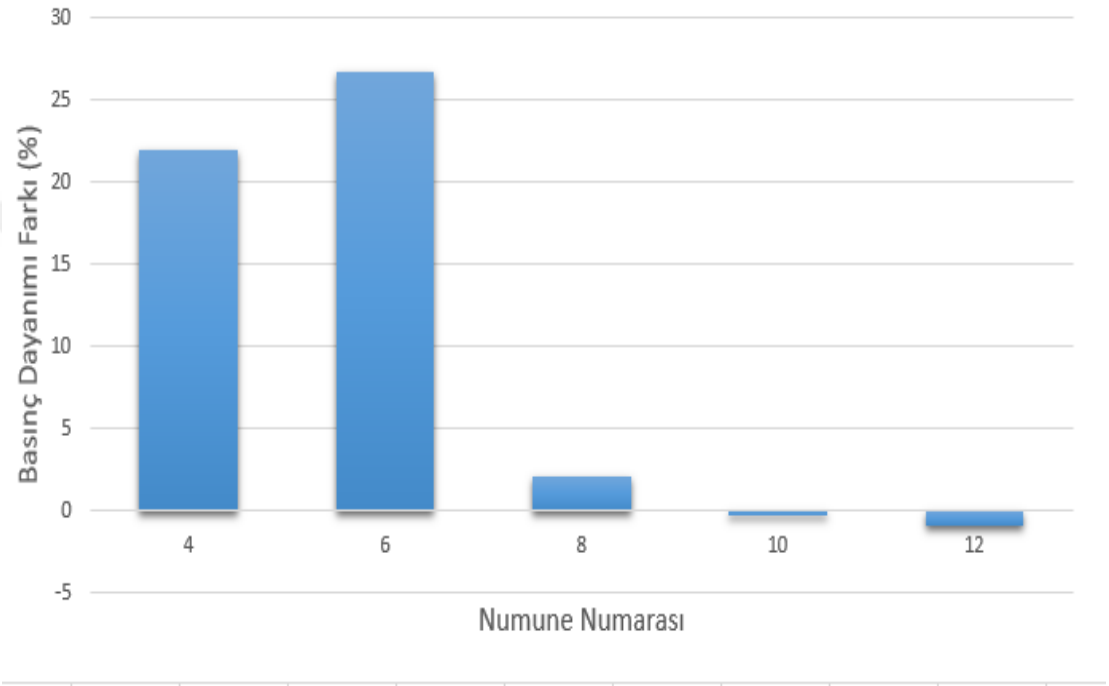
Yapılan çalışma sonucunda 200 mikron cam tozu, 3,2 mm kırpık cam fiber, 6 mm kırpık cam fiber, 6 mm kırpık bazalt fiber ve 12 mm boyunda kırpık bazalt fiber ile üretilen yapay kompozit taşları kendi aralarında kıyasladığımızda tek eksenli basınç dayanımı testinde 3,2 mm kırpık cam fiberli %30 reçineli karışım olan 5.numaralı karışım 217,9 MPa dayanım ile en yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Takviye elemanlarının katıldığı numunelerin takviye elemansız bir ve iki numaralı numunelere göre tek eksenli basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. En büyük dayanım artışı ise yaklaşık %78 olduğu tespit edilmiştir. Fiber boyunun kısa olmasının malzeme üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Kırpık bazalt fiberlerin malzeme dayanımı üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir ama bu etkinin cam tozunun veya 3.2 mm kırpık cam fiberin yapmış olduğu etki kadar olmadığı gözlemlenmiştir. Takviyeli kompozit malzemelerin %30 reçine oranında takviyesiz 1.karışıma göre kıyaslaması yapılınca takviyeli malzemelerde takviyesize göre artış sağladığı görülmüştür. Şekil 5.1'de bu yüzdeler verilmiştir.

Takviyeli kompozit malzemelerin %25 reçine oranında takviyesiz 2.karışıma göre kıyaslaması yapılınca takviyeli malzemelerde takviyesize göre artış sağladığı görülmüştür. Şekil 5.2 'de bu yüzdeler verilmiştir.



Şekil 5.1 Takviyeli yapay kompozit taşların takviyesiz %30 reçineli 1.karışıma göre kıyaslanması

Verilere göre 200 mikron cam tozu takviyesi, takviyesiz yapay kompozit taşının dayanımını %70 civarında geliştirdiği tespit edilmiştir. 5.karışım 3,2 mm kırpık cam fiber takviyesi ise dayanımı %77 civarında artırdığı gözlemlenmiştir. 6 mm kırpık cam fiber takviyesi, 6 mm kırpık bazalt fiber takviyesi, 12mm kırpık bazalt fiber takviyelerinin dayanıma olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2 Takviyeli yapay kompozit taşların takviyesiz %25 reçineli 2.karışıma göre kıyaslanması

%25 Reçineli yapay kompozit taşlarında ise 200 mikron cam tozu ve 3,2 mm kırpık cam fiber takviyelerinin dayanıma etkisinin %20'den fazla oldukları belirlenmiştir. Diğer takviye malzemelerinden 6mm kırpık cam fiber, 6 mm kırpık bazalt fiber ve 12 mm kırpık bazalt fiber malzemelerinin dayanıma çok az veya dayanımı bir miktar düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında kireçtaşlarını doymamış polyester reçine ile karıştırarak tekrardan üretilmesinin doğal kireçtaşlarının dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kıyaslaması yapılan bazalt taşı doğal halde bulunan kireçtaşının basınç dayanımından çok daha yüksek basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Kireçtaşı yapay kompozit taş olarak tekrar üretildiğinde ise bazalt taşının dayanımından, karışım içerisine katılan takviye elemanlarına bağlı olarak en az %25, en fazla %123 civarında daha yüksek dayanım gösterdiği görülmüştür.

Hidroklorik asit çözeltisine bırakılan numune üzerinde oluşan değişiklikler şunlardır. Kireç taşı gibi asitlere karşı dayanımı çok az olan bir doğal taş asit ile temas ettiğinden dolayı yapı içerisinde yok olduğu gözlemlenmiştir. Matris yapının asitlere karşı olan direncinden dolayı matris yapıda herhangi bir değişiklik gözükmemektedir. Matris yapının sardığı tüm takviye malzemeleri ve kireç taşı parçacıkları asit tarafından etkilenmemiştir. Matris ile etrafı tam sarılı olmayan parçacıkların hidroklorik asit içerisinde eridiği görülmüştür.

Aşınma testi sonuçlarında ise malzeme içerisindeki reçine oranı azaldıkça malzemenin aşınması içerisindeki takviye oranına göre en az %1,5 en fazla %14,92 azaldığı tespit edilmiştir.

Su emme oranları kıyaslandığında üretilen bütün yapay kompozit taşların hem bazalt taşının su emme oranına göre hem de kireçtaşının su emme oranına göre çok daha düşük olduğu ve neredeyse hiç su emmediği tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Doğada bulunan diğer taşlar ile yapay kompozit taş üretimi araştırılabilir. Kompozit malzemelerde kullanılan diğer reçine türleri ile ve bu reçine türlerinin farklı sıcaklıklar altında sergilemiş oldukları malzeme özellikleri araştırılabilir. Sonlu elemanlar metodu ile yapay kompozit taşların performans araştırmaları yapılıp elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile kıyaslanabilirler.

KAYNAKLAR

Ağır, İ. (2012). Kıvrımsız Dikişli Cam Elyaf Kumaşlardan Üretilen Kompozit Plakların Darbe Davranışının İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Denizli.

Akay, M. (2012). *Introduction to polymer science and technology,* Bookboon, Ventus publishing

Akay, M. (2015). *An Introduction to polymer-matrix Composites*. Bookboon: Ventus publishing.

Asi, D. (2008). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin aşınma Performansının İncelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi: Afyonkarahisar.

Bagherpor, Z., Nazari, S., Bagherzadeh, P., Fazlavi A., (2019). Description and Efective Parameters Determination of the Production pPocess of Fine-Grained Artifcial Stone from Waste Silica, Springer Nature,

Bağcı, M. (2005). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışının İncelenmesi. (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Konya.

Bekem, İ. (2010). Kalker kırmataş ile üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisine dayanıklılığı. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.

Borsellino, C., Calabrese, L., Di Bella, G., (2008). Effects of Powder Concentration and Type of Resin on the Performance of Marble Composite Structures, Construction and Building Materials, (23),1915-1921.

Cogswell, F.N. (1992). *Thermoplastic Aromatic Polyester Composites,* Butterworth-Heinemann , Boston.

Çelik, M., ve Emrullahoğlu, Ö. (1999). Mermer Atıklarından Polyester Bağlayıcılı Suni Mermer Blok Ve Levha Üretiminin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,35-50.

Çelik, M. (2004). Mermer Artıklarından Çimento Bağlayıcılı Suni Mermer Blok Ve Levha Üretiminin Araştırılması. Mermer, (38),24-31.

Demartini, T. J. C., Rodriguez R. J. S., Silva F. S., (2018). Physical and Mechanical Evaluation of Artificial Marble Produced with Dolomitic Marble Residue Processed by Diamond-Plated Bladed Gang-Saws. Journal of Materials Research and Technology,

Demirel, A. (2007). Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara.

Dougherty, M.J., (2017). *Camouflage at war : an illustrated guide from 1914 to the present day,* London, United Kingdom: Amber Books LTD

Erkan, Y. (1995). Magmatik petrografi. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendislik Bölümü Yayını

Gülmez, S. (2018). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler. (Tezsiz Yüksek Lisans Projesi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Denizli.

Gümüşçü, M., Turgut, P. (2012). Karacadağ Bazaltının Fiziko-Mekanik ve Isıl Özellikleri. Tr. J. Nature Sci. 1 (2): 25-29

Hamizah, A.S., Rashita, A.R., Malek, S., (2019). Characterization and Evaluation of Dolomite and Kaolin as Filler on The Properties Of Poly Art Marble. Materials Roday: Proceedings,

Hayırkuş, A. (2021). Sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzeme esaslı çok hafif sandviç plakların sonlu elemanlar analiz yöntemi ve deneysel olarak incelenmesi. (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi: Bursa.

Kaya, A. İ. (2016). Kompozit Malzemeler ve Özellikleri. Putech and Composites Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi, 29 , 38-45.

Kazmierski, C. (2012). Retrieved from https://www.lucintel.com/lucintel-globalcompositemarketanalysis-acma2012-educationalsession.pdf, Chuck Kazmierski 2012

Kırgız, M. S., (2015). Advancements in Mechanical and Physical Properties for Marble Powder–Cement Composites Strengthened by Nanostructured Graphite Particles. Mechanics of Materials,

McNally, G. (1998). *Soil and Rock Construction Materials*, London, CRC Press.

Mishra, D. (2014). A Study On Thermal And Dıelectrıc Characterıstıcs Of Solıd Glass Mıcrosphere Fılled Epoxy Composıtes. (Doktora Tezi). National Institute of Technology: Rourkela(Hindistan).

Mrazova, M. (2013). Advanced Composite Materials of the Future in Aerospace Industry. Incas Bulletin, 5(3), 139-150.

Luga, E. ve Saliasi, E., (2016). An Investigation On The Properties Of Cultured Marble. XVI International Scientific Conference VSU'16,

Örs, S. (2014). Farklı Karbon Tekstilleriyle ve Reçinelerle Oluşturulan Karbon Kompozitlerin Karakterizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi: İstanbul.

Güneri S. (2009) Doğal Taşların Teknik Özelliklerine Göre Kullanım Alanlarının Ve Uygulama Parametrelerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İzmir.

Özer, H. (2021). Kendi Kendine İyileşebilen Sandviç Yapıların Balistik Hasar Davranışı Ve İyileşme Performansı. (Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi: Bursa.

Peng, L. ve Qin, S., (2018). Mechanical Behaviour and Microstructure of An Artificial Stone Slab Prepared Using A Sio2 Waste Crucible and Quartz Sand, Construction and Building Materials, (171),273-280.

Ribeiro, C.E.G., Rodrigues, R.J.S., Carvalho, E.A.,Candid V.S., Montei, S.N. (2014). Production of synthetic ornamental marble as a marble waste added polester composite. *Material Science Forum*, 775-776, 341-345. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.341

Ribeiro, C. E. G., Rodriguez, R. J. S., Carvalho, E. A., (2017). Microstructure and Mechanical Properties of Artificial Marble. Construction and Building Materials, (149), 149-155.

Rothon, R.N. (2003*). Particulate-Filled Polymer Composites 2nd Edition*. Shrewsbury, UK: Rapra Technology Limited

Santos, G.G., Crovace, M.C., Zanotto, E.D. (2019). New engineered stones: Development and characterization of mineral-glass composites. *Composites Part B*, (167), 556-565. doi:10.1016/j.compositesb.2019.03.010

Sarami, N. ve Mahdavian, L., (2015). Mechanical Properties of Artificial Stones Produced from Sludge of Stone-Cutting Factories (SSCF): The Effects of Nano-fillers (aTiO2 and ZnO Nanoparticles).

Shishegaran, A., Saeedi, M., Mirvalad, S., Korayem, A.H. (2021). The mechanical strength of the artificial stones, containing the travertine wastes and sand. *Journal of materials research and thecnology*, 11, 1688-1709. doi:10.1016/j.jmrt.2021.02.013

Shukla, S.P. (2011). Investıgatıon In To Trıbo Potentıal Of Rıce Husk (Rh) Char Reınforced Epoxy Composıte. (Yüksek Lisans Tezi). National Institute of Technology: Rourkela

Strong, A.B. (2008). *Fundamentals of Composites Manufacturing Materials, Methods, and Applicaitons*, Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers.

Suchtelen, J.V. (1972). Product Properties: A New Application of Composite Materials. Philips Research Reports, 27, 28-37.

Şen, T. (2020).Elyaf Takviyeli Kompozitelerin Otomotiv Sektöründe Kullanımı. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi: Isparta.

Temel, M. (2015). Melez Kompozit Levhaların Düşük Hızlı Darbe Cevabına Numune Genişliğinin Etkisinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü: Konya.

Vatangül, E. (2008). Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi. (Lisans Tezi) Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi: İzmir.

Witten, E., Kraus, T., Kuhnel, M. (2016). Composites market report. Retrieved from https://elib.dlr.de/106030/2/Market_Report_2016_CCeV-AVK.PDF

11.Kalkınma Planı Kimya Sanayii Çalışma Grubu Raporu. (2018). Retrieved from https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/KimyaSanayiiCalismaGurubuRaporu.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Pınar, Hüsnüyusuf
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans		
Lisans	Erciyes Üniversitesi	2019
Lise	Ramazan Atıl Anadolu Lisesi	2014

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1.Pınar, H., Gürsoy, S. Tarla Silindirinin Farklı Ağırlıklarının Toprağı Sıkıştırmaya Olan Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analiz Edilmesi. II. International Applied Statistics Conference (UYIK-2021). P.68-73

2.

3.

4.

Özel İlgiler

3 Boyutlu Yazıcılar

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Hüsnüyusuf, Pınar		
Öğrenci No	19818201		
Ana Bilim Dalı	Makine Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ÇETİNKAYA		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	SAVUNMA SANAYİNE YÖNELİK YAPAY KOMPOZİT TAŞ TASARIMI VE ÜRETİMİ		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	94		
Raporlama Tarihi	29.12.2022		
Benzerlik Oranı (%)	19		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 09/12/2022 tarihinde şahsım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 19 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Açıklayınız) Her şey dahil

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Hüsnüyusuf Pınar
Tarih: 29/12/2022
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: İmza:

Dr. Öğrt. Üyesi Şükrü ÇETİNKAYA

Tarih: 29/12/2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: İmza:

Prof. Dr. Vedat ORUÇ

Tarih:29/12/2022