



ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**KESTANE KABUĞU VE KAOLİN TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Günce ALP
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN

BİLECİK, 2020
Ref. No: 10321702



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

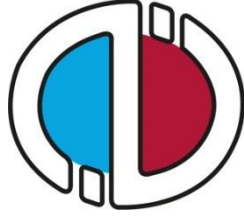
**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KESTANE KABUĞU VE KAOLİN TAKVİYELİ HİBRİT
KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**Günce ALP
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN**

BİLECİK, 2020



**ESKİSEHİR
ANADOLU UNIVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
UNİVERSİTESİ
BILECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSİTESİ**

**Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering**

**PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THE
CHESTNUT SHELL/KAOLIN REINFORCED HYBRID
POLYESTER COMPOSITE**

**Gunce ALP
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN**



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 27/12/2019 tarih ve E.38443 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20.01.2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Günce ALP'in "Kestane Kabuğu ve Kaolin Takviyeli Hibrit Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu" başlıklı tez çalışması Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN

ÜYE : Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

ÜYE : Prof. Dr. Ayşegül AŞKIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Lisans bitirme tezi ile başlayıp yüksek lisans tez çalışmama uzanan bu yolun her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile destek olarak beni yönlendiren, anlayış ve sabrını benden esirgemeyen, üzüntü ve sevinçlerimde bir anne şefkati ile her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince yakın ilgisini, güler yüzünü ve destek veren sözlerini eksik etmeyen sayın hocam Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ' e, manevi desteğini her zaman üzerimde hissettiğim sayın hocam Öğr. Gör. Ferhat BORAZAN' a, her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ve ailem gibi gördüğüm akademisyen arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Gamze GÜNDÜZ MERİÇ ve Araş Gör. Ecem Müge ANDOĞLU' na, kompozit döküm aşamasında bana yol gösteren Araş Gör. Duygu KURU' ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

Gösterdikleri yakınlık ve destekleri için Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümündeki saygıdeğer hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımın bir bölümünün gerçekleştirilmesine imkan sağlayan Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığına ve özellikle mekanik testlerdeki yardımları için Araş. Gör. Emre SÖNMEZ' e teşekkürler ederim.

Gönülden destek ve sabırlarından dolayı her zaman yanımda olan, gittiğim her yolda ve attığım her adımda beni yüreklendiren, yüksek lisans sürecimin en büyük destekçileri, en değerlilerim, annem Fahrünisa İLTER' e, babam Turhan ALP' e ve canım kardeşim Şahan ALP' e, ayrıca benden hiçbir zaman ilgisini esirgemeyen manevi dayım Adnan SELÇUK' a her zaman yanımda oldukları için teşekkürü bir borç bilirim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

20/01/2020

Günce ALP

KESTANE KABUĞU VE KAOLİN TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kestane şekeri üretimi yapan bir işletmenin gıda atığı olan kestane kabuğu ve/veya kaolin takviyesi kullanılarak üretilen polyester kompozitlerin; mekanik, fiziksel ve termal özelliklerini incelemek ve kompozit üretimine uygun daha iyi özelliklerde reçetenin seçimini sağlamaktır. Çalışmamızda öğütülmüş kestane kabuğu kompozit karışımına %3 ila %10 arasında değişen hacim oranlarında ilave edilmiştir. Ayrıca kompozit numunelerinde özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla iki farklı çeşit kaolin hacimce %3 oranında takviye edilmiştir. Kullanılan kaolinlerin bileşimleri ve kristal yapıları birbirinden farklı seçilmiştir; beyaz ve gri kaolin olarak kodlanmıştır. Karışım reçetelerinde hızlandırıcı olarak kobalt, sertleştirici olarak metil etil keton peroksit ve bağlayıcı olarak polietilen graft maleik anhidrit kullanılmıştır. Test öncesi öğütülmüş kestane kabuğu ve kaolin takviye numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmış, kaolin numunelerinin X-Işını Floresans (XRF) ve X-Işını Kırınım (XRD) analizleri yapılmıştır. Manual döküm kalıplama ile üretilmiş kompozit malzemelerin üç nokta eğme testleri yapılarak mukavemet ve elastik modül değerleri elde edilmiştir. Ayrıca malzemelerin darbe dayanımları, impact darbe testi yapılarak incelenmiştir. Kompozit numunelerin fiziksel özellikleri yoğunluk ve su emme testi ile belirlenmiştir. Numunelerin termal özellikleri Termogravimetrik Analiz (TGA) ile, mikro yapıları da SEM ile alınan görüntülerle karakterize edilmiştir. Beyaz kaolin takviyesi ve %3 öğütülmüş kestane kabuğu birlikte kullanıldığında kompozit numunelerde sinerjik etki oluşturduğu ve malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Impact test sonuçlarına göre de öğütülmüş kestane artışı ile malzemelerin absorbe ettiği enerji değerleri düşme göstermiştir. Ancak kaolin takviyesi absorbe edilen enerjinin artmasına katkı sağlamıştır. Öğütülmüş kestane kabuğu ve kaolin takviyesi kompozitlerin yığın yoğunluğunda artış, % su emilimi ve % açık gözenekliliklerinde ise azalmaya neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık Kestane abuđu, Kaolin, Polyester Kompozit, Termo-Mekanik Özellikler, Karakterizasyon

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THE CHESTNUT SHELL/KAOLIN REINFORCED HYBRID POLYESTER COMPOSITE

ABSTRACT

This study aims to produce polyester composites by using the ground chestnut shell and/or kaolin filler which is food waste of a company producing chestnut candy; to examine the mechanical, physical and thermal properties and to determine the best recipe for composite production. In our study, the ground chestnut shell was added to the composite mixture in volume ratios ranging from 3% to 10%. Besides, to improve the properties of composite samples, two different types of kaolin were reinforced by 3% by volume. The compositions and crystal structures of the kaolin used were selected differently from one another; they were coded as white and gray kaolin. In the mixture, recipes cobalt was used as an accelerator, methyl ethyl ketone peroxide as hardener and polyethylene graft maleic anhydride as a binder. Scanning Electron Microscope (SEM) images of the ground chestnut shell and kaolin reinforcement samples were taken before the test and X-ray Fluorescence (XRF) and X-Ray Diffraction (XRD) analyses of kaolin samples were performed. Strength and elastic modulus values were obtained by performing three-point bending tests of composite materials produced by manual casting molding. Also, the impact strength of composite materials was examined by the impact test. The physical properties of the composite samples were also determined by density and water absorption test. The thermal properties of the samples were characterized by thermal gravimetric analysis (TGA) and microstructures were characterized by SEM images. When white kaolin supplement and 3% ground chestnut shell are used together, it has been observed that it creates a synergistic effect on composite samples and improves the mechanical properties of the materials. According to the impact test results, the amount of energy absorbed by the materials decreased with the increase of ground chestnut shells. However, kaolin supplementation contributed to the increase in absorbed energy. The ground chestnut shell and kaolin supplementation increased the bulk density of composites, a reduction in water absorption % and open porosity %.

Keywords: Chestnut Shell Waste, Kaolin, Polyester Composite, Thermo-Mechanical Properties, Characterization

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
BEYANNAME	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	4
2.1. Kompozit Malzemeler	4
2.1.1. Matris malzemeleri	4
2.1.2. Takviye elemanları.....	4
2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri.....	5
2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	6
2.3.1. Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK)	6
2.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler (SMK).....	6
2.3.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler (PMK)	6
2.4. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Doğal Lifler	7
2.4.1. Kestane hakkında bilgiler	10
2.5. Kompozit Malzemelerde Dolgu Maddelerinin Kullanımı	11
2.5.1. Kil	12
2.6. Polyester	13
2.6.1. Polyester Reçineler	13
2.7. Konu ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar	13
2.7.1. Doğal liflerle yapılan çalışmalar.....	13
2.7.2. Kaolin kili ile yapılan çalışmalar	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal.....	18
3.2. Yöntem	19
3.2.1. Kompozitlerin hazırlanması.....	20

3.2.2. Analiz yöntemleri.....	22
4. BULGULAR	27
4.1. Eğilme Mukavemeti Sonuçları	27
4.2. Elastik Modül Sonuçları	27
4.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları	28
4.4. Darbe Testi Sonuçları	29
4.5. Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri.....	30
4.6. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi Sonuçları.....	30
4.7. Termogravimetrik (TGA) Analiz Sonuçları	35
5. TARTIŞMA.....	40
5.1. Eğilme Mukavemeti	40
5.2. Elastik Modül	40
5.3. Sertlik Ölçümü	41
5.4. Darbe Testi.....	41
5.5. Fiziksel Özellikler	41
5.6. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi	42
5.7. Termogravimetrik (TGA) Analiz.....	43
6. SONUÇLAR	44
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Kompozitlerde kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması	9
Şekil 3.1.	Kestane kabuğu ve kaolin tozları.....	19
Şekil 3.2.	Kompozit numunelerin üretim akım şeması.	21
Şekil 3.3.	Alüminyum kalıp.	22
Şekil 3.4.	Karışımın dökümü.	22
Şekil 3.5.	Üç nokta eğme cihazı.....	23
Şekil 3.6.	Sertlik cihazı.	24
Şekil 3.7.	Yoğunluk ölçme cihazı.....	24
Şekil 3.8.	Darbe cihazı.	25
Şekil 4.1.	Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde eğilme dayanımına etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.....	27
Şekil 4.2.	Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde elastik modüle etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.....	28
Şekil 4.3.	Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde Shore D sertliğine etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.	29
Şekil 4.4.	Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerin darbe direncine etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.	29
Şekil 4.5.	Kompozit dolgu ve takviye malzemelerine ait SEM görüntüleri a) Kestane kabuğu tozu, b) Beyaz renkli kaolin ve c) Gri renkli kaolin.....	31
Şekil 4.6.	Hacimce %3 kestane tozu ve %3 beyaz veya gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelere ait SEM görüntüleri a) C1P, b) C1BP ve c) C1GP. 33	
Şekil 4.7.	Hacimce %10 kestane tozu ve %3 beyaz veya gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelere ait SEM görüntüleri a) C6P, b) C6BP ve c) C6GP.	34
Şekil 4.8.	Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ilaveli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1P, b) C6P.....	36
Şekil 4.9.	Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ve %3 beyaz kaolin takviyeli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1BP, b) C6BP.....	37
Şekil 4.10.	Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ve %3 gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1GP, b) C6GP.	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Kaolin takviyelerinin kimyasal bileşimleri.....	18
Çizelge 3.2. Dolgu malzemelerinin teorik yoğunluk ve hacimleri.	19
Çizelge 3.3. Kompozit oluşumunda kullanılan döküm reçetesi.	20
Çizelge 4.1. Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler**

μm	: Mikrometre
D	: Kalınlık
E	: Elastik Modül
F	: Kırılma Yüğü
L	: Destekler Arası Mesafe
m	: Eğim
MPa	: Mega Pascal
W	: Genişlik
W1	: Kuru Ağırlık
W2	: Askıda Ağırlık
W3	: Sıvı Sızdırılmış Haldeki Ağırlıkları
ϵ_F	: Eğilme Gerilmesi
ρ	: Yoğunluk
σ	: Eğilme Mukavemeti

Kısaltmalar

B	: Beyaz Kaolin
C	: Atık Kestane Kabuğu
CBP	: Kestane kabuğu tozu + Beyaz kaolin/Polyester
CGP	: Kestane kabuğu tozu + Gri kaolin/Polyester
CP	: Kestane kabuğu tozu/Polyester
G	: Gri Kaolin
P	: Polyester
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskopu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
XRD	: X-Işını Kırınımı
XRF	: X-Işını Floresans

1. GİRİŞ

Günümüzde durmaksızın artan insan nüfusu, hızla gelişen teknoloji ve artan rekabet, üstün özelliklere sahip ürünlerin tasarlanabilmesini gerekli kılmıştır. Bu ihtiyaç kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Farklı özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilmesi amacıyla farklı takviye elemanları matris yapısına ilave edilmektedir. Polimer kompozitler, uzaydan spor ekipmanlarına kadar çok çeşitli uygulamalar için uygun kullanılabilir olsa da genellikle gerekli mekanik dayanıma sahip değildir. Bu nedenle yüksek mukavemetli cam, karbon, aramid, gibi sentetik lifler takviye edilerek artırılmış mekanik özellikler geliştirilmiştir. Yüksek mukavemet ve sertliğin yanı sıra, bu kompozitler, uzun yorulma ömrüne ve yapının amaçlanan işlevine uyarlanabilirliğe sahiptir. Sentetik liflerle korozyon direnci, aşınma direnci, görünüm, sıcaklığa bağlı davranış, çevresel stabilite, ısı yalıtımı ve iletkenlik ile ilgili ek iyileştirmeler de gerçekleştirilebilmektedir. Her ne kadar sentetik lif takviyeleri kompozit malzemelere özel mekanik dayanım sağlamış olsalar da yüksek maliyet, yüksek yoğunluk ve düşük geri dönüşüm ve biyolojik olarak parçalanamayan özellikler gibi ciddi dezavantajlara sahiptirler. Ayrıca özellikle son yıllarda toplumun ekolojik dengenin korunması konusundaki duyarlılığının artması ve petrol kaynaklarının azalması sonucunda polimer kompozitlerde sentetik liflere alternatif olarak doğal takviye kaynaklarına yönelilmiştir. Bu nedenle hayvansal, bitkisel ya da mineral kaynakların endüstriyel ürünlere dönüştürülmesi sonrası ortaya çıkan atıklarının kompozit üretiminde takviye olarak kullanılabilirliği dikkat çekmiş hem bilimsel açıdan araştırmacıların hem de ekonomik fayda açısından birçok sanayi dalının bu konudaki çalışmalarını hızlandırmıştır (Saxena vd., 2011; Bodur, 2016).

Esas olarak bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen doğal lifler; daha kolay bozunabilir, çevre dostu ve sentetik liflere kıyasla düşük maliyetlidir. Doğal lif takviyeli polimer kompozitler, polimerik matrislere gömülü liflerden (takviye) oluşan kompozitlerdir. Bu malzemelerdeki lifler yük taşıyıcı özellikte olup; kompozitlere sertlik ve mukavemet sağlarken, polimer matrislerine farklı boyutlarda ve miktarlarda lifler değişken konum ve yönlerde takviye edilebilirler. Kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan doğal lifler sisal, hindistan cevizi, jüt, kenevir, keten, muz ve bambudur (Ekundayo ve Adejuyigbe, 2019).

FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) ve TUIK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre 2013 yılında yaklaşık 2 milyon ton olan dünya kestane üretiminde en büyük payı Çin Halk Cumhuriyeti, ikinci Güney Kore ve 60 bin tonla Türkiye üçüncü sırayı almaktadır. Birçok ülkede yetiştirilen kestane ağacının meyvesi olan kestanenin ticari üretimini yapan ülke sayısı 5-6'yı geçmemektedir. Kestane ağaçları, her yıl mahsul vermesi, kerestesinin yaygın kullanılan meşe ağacı kerestesinden hafif olmasına karşın mukavemetinin daha iyi olması, hızla büyüeyebilen bir yapıya sahip olması nedeniyle ve hem toprak hem de iklimsel özellikleri uygun olan ülkemizde de yaygın olarak üretilirler. Kestane ağacının ev inşa malzemesi için kullanılan kerestesinin yanı sıra mobilya, panel, döşeme, dolap, müzik aletleri imalatında da kullanımı yaygındır, ayrıca yaprak ve gövdesi tanen elde edilmesinde, meyvelerinin ise gıda endüstrisinde kullanımı mevcuttur. Ayrıca artık ve atıklarda bertaraf edilmekte ya da ısınma amaçlı yakılmaktadır. Doğal kaynaklardan temin edilebilmesi ve endüstriyel üretimden gelen atık kestane kabuğunun kolay bulunabilir, düşük maliyetli olması nedeniyle kompozit malzemelerde dolgu olarak kullanımını cezbetmiştir (Subaşı, 2004; Sewench vd., 2013).

Dünya yüzeyini oluşturan kaya, toprak ve kayalardaki ana bileşenlerden olan kil mineralleri en önemli yapısal malzemeler arasındadır. Killer çevresel, tarımsal ve endüstriyel süreçlerde önemli rol oynamaktadır; doğal besin döngüsü, bitki büyümesi, petrol üretimi ve kirleticilerin migrasyonu vb. Kil hammaddeleri arasında kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) bakımından zengin madencilik malzemeleri olan kaolinler, genellikle feldspatlar ve mika gibi alüminosilikat minerallerinin yoğun havalandırılması veya hidrotermal değişimi ile oluşan kil mineralidir (Zegeye vd. 2013; Strengl vd., 2014). Kaolinler, kağıt (dolgu maddesi ve/veya kaplama malzemesi olarak), seramik (mukavemet, aşınma direnci ve sertlik kazandırmak), plastik (dolgu maddesi olarak) ve boyalar (dolgu ve koyulaştırma maddesi olarak) gibi çok çeşitli endüstriyel uygulamalar için kullanılır. Kaolin ürünlerinin imalat sanayi tarafından kullanılabilmesi için, ham kaolinlerin ticari spesifikasyonları karşılayacak şekilde rafine edilmesi gerekmektedir (Zegeye vd. 2013). İşlenmiş kaolinlerin kağıt üretimi ve seramikler için endüstriyel kullanımında temel kriterlerden biri, düşük demir içeriğine sahip olmasıdır, çünkü bu tür safsızlıklar, ürünün beyazlığını ve refrakterliğini önemli ölçüde etkilemektedir (Hosseini vd., 2007; Ayyasamy vd., 2014).

Atık kestane kabuğu ve kaolin birlikte, daha önce polyester kompozit malzeme üretiminde takviye dolgu maddesi olarak çalışılmamıştır. Bu çalışmada kompozitler; artan oranlarda kestane kabuğu lifi ve iki farklı kaolin çeşidi kullanılarak üretilmiştir. Farklı oranlarda atık kestane kabuğu lifi/kaolin ve iki farklı kaolinin polyester kompozit oluşumundaki etkisi; çeşitli testlerle incelenerek, mekanik ve fiziksel özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Polimer kompozitlerin, mikro yapıları taramalı elektron mikroskopu ve ısı mukavemetleri termogravimetrik analizör ile karakterize edilmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

İki ya da daha fazla malzemenin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesi sonucu oluşan yeni malzemelere kompozit malzeme denir. Diğer bir deyişle birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek daha üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş malzemelerdir (Yılmaz, 2013).

Kompozit malzemeler çok uzun yıllar önce kullanılmaya başlanmıştır. İnsanoğlu, ilk çağlardan beri kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak kırılğanlık özelliğini gidermeye çalışarak mukavemet kazandırmışlardır (Zor, 2018).

Kompozitler yüksek mukavemet, sertlik, termal kararlılık ve korozyona karşı dayanıklılık gibi özellikleriyle pek çok avantajlar sağlarlar. Ayrıca kompozit malzemeler dayanıklılık ve sertlik yönünden neredeyse metaller gibi olmasının yanı sıra, metallere kıyasla çok daha hafiftirler. Kompozit birleşimlerinin tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın en önemli sebebi sağlamlıkları ve hafiflikleridir (Bingöl, 2008).

Kompozit malzemeler matris (reçine) ve takviye bileşenlerinden oluşur.

2.1.1. Matris malzemeleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, takviye malzemesini bir arada tutmak, yükü takviye malzemesine dağıtmak ve takviye malzemesini çevresel etkilerden korumaktır.

Kompozit malzemedeki kullanılacak olan matrisin seçimi takviye elemanının seçimi kadar önemlidir. Kullanılacak matris elyaf ile reaksiyona girmemeli, elyafları sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir (Sevencan, 2011).

Matris malzemeleri genel olarak polimer matris, metal matris, seramik matris ve karbon matris olarak gruplandırılırlar.

2.1.2. Takviye elemanları

Kompozit malzemenin yapısını oluşturan en önemli kısım takviye elemanlarıdır. Bu elemanlar malzeme üzerindeki yükün %70-80'ini taşımakta ve matris malzemenin mukavemetini ve dayanım özelliğini artırmaktadırlar.

Bu nedenle kullanım yerine göre takviye elemanlarında yüksek mukavemet, yüksek tokluk ve darbe dayanımı, yüksek elastik modülü, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluk ve üretim kolaylığı gibi özellikler istenmektedir.

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak karbon, cam, bor, aramid, polyester, seramik ve doğal organik elyaflar kullanılabilir (Doğanay ve Ulcay, 2007).

2.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler meydana geldikleri malzemelerin en üstün özelliklerini bir arada toplaması nedeniyle önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Şahin, 2006):

- Kompozit malzemeler yüksek sertliğe sahip olmalarını yanında aynı zamanda hafif malzemelerdir.
- Yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler.
- Yüksek aşınma direnci ve korozyon dayanımı gösterirler.
- Yorulma dayanımları yüksektir.
- Kompozitler kullanıldıkları yere göre iletken ya da yalıtkan özellik gösterebilirler.
- Yüksek termal ve ısı iletkenliğine sahiptirler.
- Tasarım ve şekillendirilme kolaylığı sağlarlar.

Kompozit malzemelerde yukarıda belirtilen bu özelliklerin elde edilebilmesi için, uygun matris ve takviye elemanı, uygun üretim tekniği, bileşenlerin özellikleri gibi faktörlerin seçimine dikkat edilmelidir.

Bu avantajlı özelliklerinin yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar şunlardır (Şahin, 2006):

- Kompozit malzemelerin üretimi oldukça güç ve maliyetleri yüksektir.
- İşlenmesi zor olmakta ve gerekli yüzey kalitesi tamamen elde edilememektedir.
- Kırılma uzaması özellikleri düşüktür.

- Geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.

2.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerin oluşum seçenekleri çok fazla olduğundan; sınıflandırılmaları oldukça zordur. Yaygın olarak matris elemanına göre 3 grupta sınıflandırılırlar.

- Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)
- Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler (SMK)
- Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler (PMK)

2.3.1. Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK)

Metal matrisli kompozit malzemeler, ana yapıyı metalin oluşturduğu malzemelerdir. Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Bu nedenle, genel olarak takviye elemanı olarak seramik bir takviye fazı kullanılmaktadır. Metallerin şekil değiştirme özellikleri ile seramiklerin yüksek elastik modülü özellikleri birleştirilerek korozyona dayanıklı, kırılma tokluğu ve mukavemeti yüksek malzemeler elde edilmektedir. Bu kompozitler yaygın olarak otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde kullanılmaktadır (Zor, 2018).

2.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler (SMK)

Seramik malzemeler çok sert ve gevrekler. Erime sıcaklıkları yüksek, ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür. Seramik malzemeler ısıl şok direnci ve tokluğu düşük malzemelerdir. Bunlar; Li_2O_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , B_4C 'dir. Bu bileşikler değişik yapılara sahip olup, kullanım amacına göre bir ya da birkaçı beraber kullanılarak seramik matrisli kompozit malzemeler elde edilir. Çeşitli askeri kullanım amaçlı parçaların imalatı ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir (Zahrabi, 2009).

2.3.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler (PMK)

Polimer matrisli kompozit malzemeler; korozyona dirençli, hafif, uzun süre kullanılabilen, işlenmeleri ve şekillendirilebilmeleri kolay, yük taşıma özellikleri yüksek malzemelerdir. Bunların dışında, polimer matrisli kompozitler, metal ve seramik kompozitlerine göre sıvılarla etkileşime daha yatkındırlar (Vasiliev ve Morozov, 2001).

Polimer matrisli kompozitler; termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olarak ikiye ayrılır. Ticari olarak en çok kullanılan termoset polimerler; doymamış polyesterler, epoksiler ve fenoliklerdir. Kompozit üretiminde kullanılacak termoset polimer genelde içerisine sertleştirici, katkı ve dolgu maddeleri karıştırılmış düşük viskoziteli ve düşük mol kütleli sıvı halindedir. Termoset çözeltilerinin kimyasal dirençleri ve bazı mekanik özellikleri termoplastiklere göre yüksektir.

Termoplastikler; ısıya maruz bırakılarak eritilebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerler için kullanılan genel bir kavramdır. Yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polistiren, poli(etilen terafitalat), poli(vinil klorür) ticari olarak en çok kullanılan termoplastik polimerlerdir. Termoplastiklerin en önemli avantajı, kullanım sonrası tekrar ısıtılarak şekillenebilme özelliğine (geri dönüştürülebilir olması) sahip olmalarıdır (Evstatiev vd, 2002).

Polimer matrisli kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ise; korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri, yanmazlık özelliği istenen otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar olarak gösterilebilir.

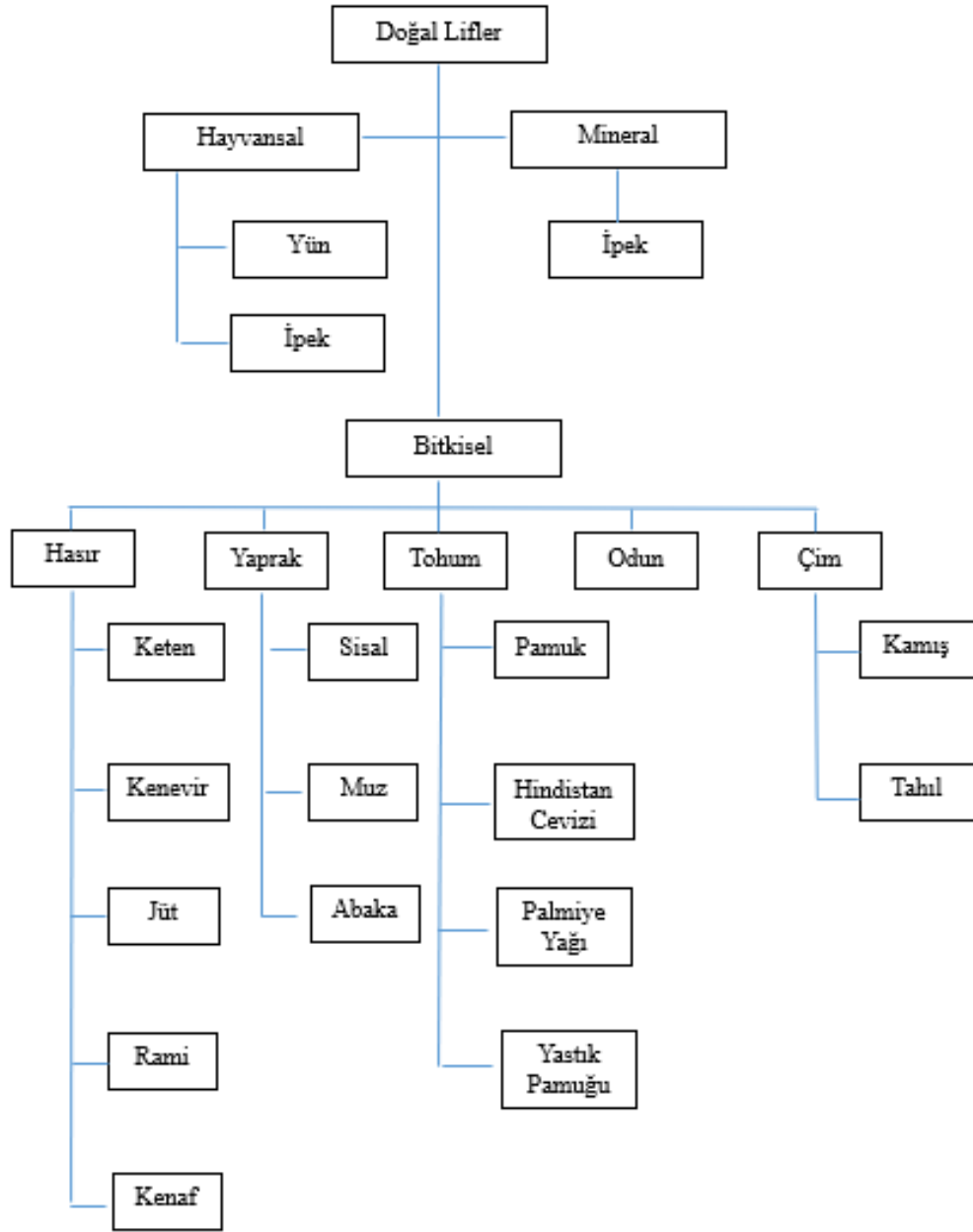
2.4. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Doğal Lifler

Doğal lifler olarak çoğunlukla bitkisel lifler kullanılmasına rağmen az miktarda da olsa hayvasal lif olan ipek lifi kullanımı da görülmektedir. Doğal liflerin kompozit malzemelerde kullanımı; geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik gibi kavramların günümüzde ön plana çıkmasıyla hızla artmaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan doğal liflerin düşük yoğunluk, yüksek mukavemet değerlerinin yanında bitkisel kökenli doğal kaynakların yenilenebilir olması nedeniyle ekolojik açıdan gelişim göstermektedir (Bulut ve Erdoğan, 2011).

Kompozit malzemelerin üretiminde mekanik özellikleri nedeniyle kullanılan en önemli lifler genellikle jüt, kenevir, kenaf, sisal ve ağaç lifleridir (Çizelge 2.1). Ayrıca bitkisel lif takviyesi olarak; tekstil endüstrisinde en çok kullanılan lif olan pamuk lifi ve keten gibi liflerin kullanımının yanısıra araştırmanın yapıldığı bölgeye özgü liflerin ve zirai ürünlerin kompozit olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi adına araştırmalarda yer aldığı görülmektedir (Carvalho vd., 2006).

Lif takviyesiyle birlikte kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu ve özellikle darbe dayanımlarının yüksek oranda geliştiği görülmektedir. Yüksek

performanslı liflerden oluşan kompozit yapılarla karşılaştırıldığında ise doğal lifli kompozitlerin dayanım değerlerinin daha düşük değerler verdikleri görülmektedir. Bu sebeple ürünlerin kullanım alanları için yüksek mekanik performans gerektiren alanlar yerine, daha basit kullanım alanları önerilmektedir; bu sebeple cam, karbon, aramid vb. takviyeli kompozitler yerine alternatif bir malzeme olarak sunulmaktan daha çok, düşük ve orta yükleri taşıyabilecek masa, raf, kapı gibi iç mekân uygulamaları veya çatı, otomobil parçası, drenaj panelleri gibi dış mekân uygulamalarında kullanılabilecekleri görülmektedir (Bodur, 2016).



Şekil 2.1. Kompozitlerde kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması.

2.4.1. Kestane hakkında bilgiler

Bilimsel adı “*castanea*” olan ve Kuzey Yarım Küre’nin tüm ılıman bölgelerinde yetişen kestane ağacı kayıngiller familyasındandır. Meyve ve odun üretimi ile çift üretim kapasitesine sahip, ekonomik açıdan önemi olan bir ağaç türüdür. Doğal yayılma alanı özellikle Kuzey yarım kürenin ılıman bölgeleri Çin, Kore, Türkiye, Güney Avrupa ve Kuzey Amerika ile birlikte Bolivya’dır. Kestane ağacı ülkemizde Marmara, Karadeniz ve Ege bölgelerinin önemli ağaç türlerinden biridir (Çıbık, 2011).

Çin Halk Cumhuriyeti’nin en önemli paya sahip olduğu Dünya kestane üretiminde; Türkiye yaklaşık 60 bin ton üretim ile ikinci sırada yer almaktadır. Ülkemizi sırasıyla İtalya, Kore Cumhuriyeti, Bolivya ve Yunanistan izlemektedir. Dünya genelinde 19 – 20 ülkede kestane üretimi yapılmasına rağmen ekonomik anlamda ticari üretimde bulunan ülke sayısı 5 – 6’yı aşmamaktadır.

Kestane diğer sert kabuklu meyve türlerine nazaran daha az yağ içermekle beraber, insan vücudu için gerekli olan yağ asitlerinden özellikle lineoleik asit bakımından zengin bir kaynağıdır. Besleyici ve kalori değeri yüksek bir besin olan kestane B1, B2 ve C vitaminleri açısından oldukça zengindir. Bununla birlikte potasyum, fosfor, magnezyum, klor, kalsiyum, demir, sodyum minerallerini de içermektedir. Nişasta, mineral, tuz ve diğer besinsel değerleriyle kestane; insan sağlığı açısından en önemli besinlerden biridir (Anonim, 2013).

Kestane, ülkemizde yaprak ve kabuğundan hazırlanan infüzyonu (%5) kabız için ve tansiyon düşürmek için tüketilir. Güney İtalya’da ise yapraklarının infüzyonu gargara şeklinde boğaz ağrısında, ayrıca bronşit ve boğmacada kullanılır. Dekoksasyonu ise cilt iltihaplarına karşı önerilmektedir. Meyve kabuğunun dekoksasyonu saçlar için şampuan amaçlı kullanılır. Yapraklarının solunum sistemi hastalıklarına karşı ve bacaklardaki dolaşım bozukluklarında kullanıldığında olumlu etkileri olmuştur. Kestanenin meyve, şekerleme ve kereste olarak kullanımlarının yanı sıra meyve kabukları tanen üretiminde, yaprak ve çiçekleri ise ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılmaktadır. Bitkinin farklı kısımları üzerinde yapılan kimyasal çalışmalarda, fenolik bileşikler, alkaloid, lipid ve organik asit yapısında sekonder metabolitler belirlenmiştir. Bitkinin değişik kısımlarının antioksidan, sitotoksik, antibakteriyel ve antifungal etkilere sahip olduğu görülmüştür (Kendir vd., 2016).

2.5. Kompozit Malzemelerde Dolgu Maddelerinin Kullanımı

Dolgu maddeleri, matrisin kompozisyon ve yapısından farklı olarak katı halde eklenen malzemelerdir. Genelde kompozit malzemenin ağırlıkça %40-65'ini oluşturur. Ürünler arasında en az maliyeti olan ve maliyet düşürücü olarak kullanılan malzemelerdir.

Dolgu maddelerinin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir (İlhan ve Feyzullahoğlu, 2019):

- Kompozit malzemenin ısıl dayanımını artırır.
- Maliyeti düşürür.
- Kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirir.
- Reçine ve matris arasında yük dağılımını sağlayarak kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel performansını artırır.
- Dolgu maddeleri ile reçinede boyutsal stabilite, su ve hava direnci, ısıl dayanım, yüzey porozitesi, sertliği artırır.

Kompozit üretimi sırasında kompozitte çekme, gerilme, çatlak oluşmaması ve kalıptan kolay çıkarılması için eklenen dolgu maddesinin matris içinde homojen dağılması; ayrıca kompozite düşük özgül ısı, düşük ısıl genleşme özelliklerini kazandırması gerekir (Ramesh vd., 2018).

Dolgu maddelerinin mekanik özelliklere de kısmen etkisi olduğundan bilinmektedir. Örneğin, kompozitin çekme gerilmesi ve uzamasının artması için kullanılan dolgu maddesinin matrise göre daha yüksek mukavemete sahip olması gerekir. Bunun dışında kullanılan fiberlerin uzunluk/çap oranının yüksek olması, fiber ve matrisin iyi bağlanması ve matris içinde iyi dağılıma sahip olması lazımdır. Tokluğun artması için matrise göre daha yüksek elastik modülüne sahip dolgu maddeleri kullanılmalıdır (Ramesh vd., 2018).

Bu mekanik özelliklerden başka kompozitin darbe mukavemetinin yüksek olması için uzun fiberler kullanılabilir. Kompozitin sertliğini artırmak için sert dolgu maddeleri eklenebilir. Ayrıca parçacık boyut dağılımı ile yüksek yoğunluk elde edilebilir (Ramesh vd., 2018).

Son yıllarda dolgu maddelerinin kullanılması, teknik uygulamalarda çok önemli bir faktör haline gelmiştir.

2.5.1. Kil

Kaolin; $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ formülüne sahip %39,50 Al_2O_3 , %46,55 SiO_2 , %13,95 H_2O içeren bir mineraldir ve doğada Fe_2O_3 , $CaCO_3$, mika gibi safsızlıkları da yapısında bulundurabilir. Yüksek derecede saftır ve elektrik iletkenliği göstermez. Kimyasal kaolin tanelerinin neredeyse %75'i $2\mu m$ 'den küçüktür.

Çin kili olarak da bilinen kaolin kili kimyasal olarak çok ince toz halinde bulunan ve kimyasal inertliğe sahip sulu alüminyum silikattır. Kaolin kili mekanik ve termal özellikler açısından çok önemli olmaktadır. Kaolin kili renk, yumuşaklık ve küçük partikül boyutu gibi özelliklerinden dolayı farklı uygulamalarda kullanılabilen çok yönlü endüstriyel bir mineraldir. Genellikle seramik, boya, plastik, kâğıt, kauçuk, katalizör vb. uygulamalarda dolgu malzemesi veya hammadde olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2019).

Kaolin güçlü asitlere bile çok dayanıklıdır. Ayrıca kullanıldığı üründe su emme özelliğini de azaltır. Kompozit malzemede oluşabilecek çatlakların eğilimini düşürür. Bununla birlikte daha iyi şok direnci, yüzey kalitesi ve kompozitin yapısının daha sert olmasını sağlar (İlhan ve Feyzulloğlu, 2019).

Çeşitli endüstri alanlarında kullanılan kaolinlerin değişik düzen ve boyutta olmaları gerektiğinden, kullanılacak kaolinlerin aranan şartlara uygun olması gerekir. Kaolin yaygın olarak en çok çimento, kâğıt ve seramik endüstrilerinde kullanılmaktadır. Petrol rafinelerinde petrol ürünlerinin katalitik dönüşümlerinde kataliz olarak kullanılır. Pek çok katalizler yüksek ısı ve basınç altında çalıştıklarından, kaolinler yüksek ısı şartlarına uygundur. Boya ve plastik endüstrisinde ise kaolinlerin elektriksel direnç ve tane boyutu inceliği önem kazanmaktadır. Bazı tıbbi ve zirai ilaçlarda adsorpsiyon özelliğinden dolayı kaolin kullanılır. Ayrıca oksitlenmiş yüzeylerin temizlenmesinde, otomobil ve metal parlaticılarında kaolin kullanılır. Kaolinin diğer kullanım alanları ise lastik, refrakter, kozmetik, tekstil, marley yer döşemeleri, mürekkep yapımı gibi endüstrilerdir (Balkan, 2006).

Türkiye'de üretilen kaolinlerin %80'i çimento sektöründe, %20'si seramik, cam, kâğıt ve diğer sektörlerde tüketilmektedir. Bu da Türkiye'de üretilen kaolinlerin ham olarak tüketildiğini göstermektedir. Avrupa ve Amerika'da ise ham olarak üretilen kaolinlerin %75'i kâğıt ve ince seramik yapımında kullanılmaktadır (Akçıl ve Tuncuk, 2006).

2.6. Polyester

Kimyasal olarak bir dialkol (etilen glikol) ile teraftalik asit ya da dimetil tereftalat gibi bir dikarboksilik asitin esterleşmesi sonucu elde edilirler.

2.6.1. Polyester Reçineler

Polyester reçineler; doymuş polyesterler ve doymamış polyesterler olmak üzere iki grupta toplanırlar. Doymuş polyester reçineler, termoplastik özellikler gösteren, enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan malzemelerdir. Doymamış polyesterler ise, uygun bir katalizör aracılığı ile yapı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir (Ataş, 2007).

Doymamış polyester reçineler genellikle düşük molekül ağırlığına sahiptirler ve kullanım alanları oldukça geniştir. Mekanik ve elektrik özelliklerinin çok iyi olmasının yanı sıra, korozyona karşı da oldukça dayanıklıdırlar. Kimyasallara karşı direnç gösterirler. Daha çok döküm maddesi olarak kullanılırlar. Birçoğu motor parçalarında, elektrik bağlantı kutularında, botlarda, tanklarda, havuzlarda kullanılır. Elyaf yapımı gibi tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar (Bilici, 2012).

Denizcilik uygulamaları başta olmak üzere, polyester en çok kullanılan reçinedir. Günümüzde kompozit polimer endüstrisinde kullanılan polyester reçinelerinin iki ana çeşidi vardır. Ortoftalik polyester maliyeti düşük ve daha ekonomiktir, isoftalik polyester ise suya dayanım gibi daha iyi özelliklere sahiptir (Bingöl, 2008).

2.7. Konu ile İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

2.7.1. Doğal liflerle yapılan çalışmalar

Rafeeq ve Hussein tarafından 2008 yılında yapılan bu çalışmada; kestane kabuğu dolgusu/epoksi kompozitinin (mekanik, ısı ve bazı dielektrik özellikleri) karakteristik özelliklerini araştırmışlardır. Kompozit plaka, el yatırması tekniği kullanılarak yapılmıştır. Dolgu içeriği ağırlıkça %5'tir. Çekme, darbe, sertlik ve bükülme mukavemeti artarken, Young modülü bunlara oranla daha az artmıştır. Bükülme (Young modülü değerleri) ve sertlik testleri, oda sıcaklığında 8 hafta boyunca suya batma süresine bağlı olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, kompozitin su emilimine olumlu yönde cevap verdiğini göstermiştir (Rafeeq ve Hussein, 2008).

Chensong ve Ian tarafından 2011 yılında yapılan bu çalışmada; macadamia fındık kabuğu parçacık takviyeli polyester kompozitin eğilme özellikleri üzerinde bir

araştırma yapmışlardır. Macadamia fındık kabuğu / polyester kompozit el yatırması yoluyla ölçülmüştür. Macadamia kabuğu parçacıklarının incelenmesinde %10, %20, %30 ve %40 olmak üzere 4 farklı ağırlık fraksiyonları seçilmiştir. Süreç kaynaklı boşluklar çalışılmış ve bu boşlukların bükülme özellikleri üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Macadamia fındık kabuğunun artan ilavesi polyester kompozit numunelerindeki boşlukların gözle görülür oranda büyüdüğünü, ancak bükülme özelliklerinin çok az değiştiğini göstermiştir (Chensong ve Ian, 2011).

Raju tarafından 2012 yılında yapılan bu çalışmada; yerfıstığı kabuğu parçacıklarının takviyeli polimer kompozit (GSPC) özelliklerini incelemiştir. Polimer matris içerisinde farklı ağırlık yüzdelerine sahip tanecikler ile kompozit numuneler hazırlanmıştır. Bu örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için bazı testler yapılmıştır. Deneylerin sonuçlarına göre, A numunesinin (ağırlıkça %20 güçlendirme ile) maksimum 40.57MPa'ya sahip olduğu ve E numunesinin (ağırlıkça %60 güçlendirme ile) maksimum 8.204 GPa'ya sahip olduğu gözlenmiştir. Çekme testi sonucunda, C numunesinin (ağırlıkça %40), maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Darbe testi sonuçlarında, dolgu ilavesinin artması darbe dayanımında sürekli bir artış olduğunu göstermiştir. GSPC'nin nem içeriği %1,92 ile 4,96 arasında değişmekte ve su emilimi 15 gün boyunca yalnızca %1,51–8,82 arasında olmuştur (Raju, 2012).

Arrakhiz ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan bu çalışmada; çam kozalağı lifleri ile güçlendirilmiş polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, çam kozalağı lifleri, balmumlarını ve selülozik olmayan yüzey bileşenlerini çıkarmak için alkali ile yıkanmıştır ve alkali işleminin çam kozalağı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi olmuştur. Sonuçlar, Young modülünde %43'lük bir kazanımın, arayüzdeki lifler ve matris arasındaki gelişmiş yapışma nedeniyle elde edildiğini göstermiştir (Arrakhiz vd., 2012).

Nagarajan ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan bu çalışmada; soya sapı, mısır sapı, buğday sapı ve şalgam gibi lignoselülozik tarımsal kalıntıların (3-hidroksibütirat-ko-3-hidroksivalerat) (PHBV) ve (butilen adiat-coterftalat) (PBAT) biyo-bazlı kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak kullanımını araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları; kimyasal bileşim ve fiber uzunluk dağılımının, ortaya çıkan biyobazlı kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri

üzerinde tamamlayıcı bir etki sağladığını açıklamaktadır. Miscanthus (MS) bazlı kompozitler biraz daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir ve Young modülü %104 oranında artmıştır. PHBV/PBAT/MS kompozitleri ile en yüksek 110 °C sıcaklık sapma sıcaklığı elde edilmiştir. Bu çalışma, bu lignoselülozik maddelerle hibrit kompozitlerin gelişmiş performansla üretilmesini ortaya koymuştur (Nagarajan vd., 2013).

Arthanarieswaran ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bu çalışmada; muz/sisal elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu mekanik özellikler, cam elyaf hibridizasyonunun doğal elyaf takviyeli epoksi kompozitler üzerindeki etkisine dayanarak belirlenmiştir. İki ve üç kat cam lifi ilavesinin, sırasıyla 2,34 ve 4,13 faktörü ile gerilme mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Muz/sisal lifinin üç tabaka yerine iki tabaka laminatının bükülme özellikleri daha iyi darbe dayanımı sağlamıştır (Arthanarieswaran vd., 2014).

Kaymakçı ve Ayrılmış tarafından 2014 yılında yapılan bu çalışmada; kestane kabuğu atığı (BOS) ile doldurulmuş polipropilen kompozitlerin, boyutsal stabilite ve bazı mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Bu amaca ulaşmak için CSF, çift vidalı bir ekstrüzyon presinde birleştirme maddesi olan ve olmayan bir polipropilen ile birleştirmişlerdir ve daha sonra enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretim yapmışlardır. CSF içeriği arttıkça numunelerin kalınlığı, şişmesi ve su emilimi artmıştır. Eğilme ve gerilme modülü BOS içeriği arttıkça artmıştır, numunelerin eğilme ve gerilme mukavemeti ise azalmıştır. Maleik anhidrit polipropilenin kullanımı, CSF ile doldurulmuş polipropilen kompozitlerin boyutsal stabilitesi ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmuştur. Bu çalışma, maleat polipropilen ile muamele edilmiş kompozitlerin, yüksek boyutlu stabilite ve kompozitlerin yüksek mekanik özellikleri nedeniyle, ürünlerin olarak verimli bir şekilde kullanılabilceğini göstermiştir (Kaymakçı ve Ayrılmış, 2014).

Wu ve Liao tarafından 2014 yılında yapılan bu çalışmada; kestane kabuğu lifinden (CSF) ve polihidroksi alkinoattan (PHA) ile CSF ve glisidil metakrilat aşılantı PHA'dan (PHA-g-GMA) elde edilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, biyouyumlulukları ve biyobozunurlukları değerlendirilmiştir. PHA-g-GMA/CSF'den oluşturulan kompozitlerin, PHA/CSF'ninkine kıyasla belirgin şekilde üstün mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Yoğuşma reaksiyonlarının sonucunda CSF'nin PHA-g-GMA matrisinde homojen bir şekilde dağılmış olabileceği

bulunmuştur. PHA-g-GMA/CSF'nin PHA/CSF'den daha fazla suya dayanıklı olduğu tespit edilmiştir, ancak her iki kompozitin ağırlık kaybına bakılarak, özellikle yüksek seviyelerde CSF ilavesiyle biyolojik olarak parçalanabilir ve biyouyumlu olduğunu göstermiştir (Wu ve Liao, 2014).

Perez-Fonseca ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bu çalışmada; hibridizasyon etkisinin polietilen-çam/agav (sabır otu) kompozitlerinde fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hibridizasyonun etkisi, toplam elyaf içeriği, ağırlıkça %20 ve %30 ve iki farklı çam-agav elyaf oranı için morfolojik, mekanik ve suya daldırma testleri ile gerçekleştirilmiştir (100-0, 80-20, 60-40, 40-60 ve 0-100). Sonuçlar; liflerin eklenmesiyle daha iyi çekme, eğilme ve darbe dayanımı sağladığını ve çam liflerinin eklenmesinin su emilimini azalttığını göstermiştir (Perez-Fonseca vd., 2014).

2.7.2. Kaolin kili ile yapılan çalışmalar

AlAsade ve Al-Murshdy tarafından 2008 yılında yapılan bu çalışmada; partiküllü kompozitler hazırlamak için doymamış polyester matrise kaolin ilavesi üzerinde çalışmışlardır. %3-9 oranında bir doymamış polyester reçineye kaolinin eklenmesi (bu nispeten düşük bir yüzde olarak kabul edilir), kaolinin bağlayıcı olarak hareket ettiğini ve partikül takviyesi olarak ortaya çıkan bileşik aracılığıyla doymamış polyesterin mekanik özelliklerinde iyileşmeye yol açtığını göstermiştir (AlAsade ve Al-Murshdy, 2008).

Anaklı tarafından 2008 yılında yapılan bu çalışmada; iletken poli (2-etilanilin) (PEAn)-kaolinit kompozitleri kaolinit partikülleri varlığında asidik sıvı ortamda potasyum kromat yükseltgeni kullanılarak 2-etilanilin kimyasal polimerizasyonu ile hazırlanmıştır. Hazırlanan iletken poli (2-etilanilin)-kaolinit kompozitinin içerdiği PEAn miktarı ve kompozit iletkenliği üzerine yükseltgen derişimi, monomer derişimi, polimerizasyon süresi ve polimerizasyon sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin karakterizasyonu XRD, FTIR, TGA/DTA ve SEM teknikleri kullanılarak yapılmış, iletkenliğe karşı yüzey direnci ve mikrosertlik özellikleri incelenmiştir. SEM analizi sonucunda kaolinit yüzeyinin polimerle kaplandığı ve hammaddeleri ile karşılaştırıldığında ise hazırlanan kompozitlerin özelliklerinin geliştirilmiş olduğu gözlenmiştir. TGA sonuçları da hazırlanan kompozitin termal kararlılığının saf polimerden daha iyi olduğunu göstermiştir (Anaklı, 2008).

Al-asade ve Al- Murshdy tarafından 2013 yılında yapılan bu çalışmada; partiküllü kompozitler hazırlamak için doymamış polyester matris içine kaolin ununun eklenmesidir. Kaolin içeren ve kaolin içermeyen örnekler, kaolin içeriğinin doymamış polyesterin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için birçok teste maruz bırakılmıştır. Sonuçlar; %7 kaolinde %194 sıkıştırma kuvvetini arttırdığını %3-%5 ve %7 kaolinde bükülme mukavemetini arttırdığını göstermiştir. Kompozitlerin mukavemeti %9 kaolinde %14 artarken, sertlik %3 kaolinde %4,66 artmıştır. Kaolinin, bağlayıcı ve partikül takviye edici malzemeler olarak hareket ettiği, nispeten düşük kaolin içeriklerinde doymamış polyesterin mekanik özelliklerinde iyileşme gösterdiği sonucuna varılmıştır (Al-asade ve Al- Murshdy, 2013).

Leong ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan bu çalışmada; üç farklı dolgu maddesi talk, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve kaolin (ağırlıkça %10-40) ile polipropilen (PP) çift vidalı ekstruder yöntemi ile birleştirilmiştir. Üç farklı kompozit türü için dolum yükünün mekanik, akış ve termal özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Amaç, özelliklerini karşılaştırmak ve takip eden çalışmalarda hibrit PP kompozitleri verecek potansiyel filtre kombinasyonlarını belirlemektir. Sonuçlar, talk ile doldurulmuş PP kompozitlerin mukavemetinin ve sertliğinin, CaCO_3 ve kaolinle doldurulmuş kompozitlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ancak, CaCO_3 PP'nin tokluğunu arttırmıştır. Kaolin ile doldurulmuş PP kompozitler, aynı zamanda, mukavemet ve sertlik bakımından da bir miktar iyileşme göstermiştir. Silindirler ve PP arasındaki arayüzey etkileşimlerinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri de yarı eşitlik denklemleriyle değerlendirilmiştir. Her üç dolgunun çekirdeklenme kabiliyeti, diferansiyel taramalı kalorimetre ile çalışılarak belirlenmiştir. En güçlü çekirdeklenmenin; talk, ardından CaCO_3 ve kaolinde olduğu görülmüştür (Leong vd., 2013).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Kompozit üretimi için matris olarak polyester reçine (Polipol 383-G, Poliya Composite Resins and Polymers Inc., yoğunluğu $1,076 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$) kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak kestane kabuğu atıkları Bursa Kafkas Kestane Şekeri San. Tic. Ltd. Şti.' den ve Çizelge 3.1'de gösterilen farklı kimyasal bileşimlere sahip iki çeşit kaolin yerel inşaat malzemeleri satıcılarından temin edilmiştir. Hazırlanan karışımlara; hızlandırıcı olarak kobalt (%2'lik çözelti), sertleştirici olarak metil etil keton peroksit (MEKP, ButanoxTMM-60, Akzo Nobel Products) ve bağlayıcı olarak Polietilen graft maleik anhidrit (Sigma Aldrich) kullanılmıştır. Test numunesi hazırlamak için kullanılan kalıpların kolay ayrılması için kalıp yağlayıcı (Polivaks, MASKIM.0007) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kaolin takviyelerinin kimyasal bileşimleri.

Oksitler	Gri Kaolin	Beyaz Kaolin	Oksitler	Gri Kaolin	Beyaz Kaolin
Na ₂ O	0,039		Cr ₂ O ₃	0,137	
MgO	0,196	0,236	Fe ₂ O ₃	4,340	2,326
Al ₂ O ₃	20,259	44,294	NiO	0,038	0,014
SiO ₂	59,077	44,749	CuO	0,050	
P ₂ O ₅	2,014	2,770	ZnO	0,009	0,039
SO ₃	0,157	0,057	SrO	0,106	0,065
K ₂ O	6,545	3,420	ZrO ₂	0,195	0,088
CaO	1,722	0,759	PbO	0,042	0,274
TiO ₂	5,074	0,691			

İşletmeden alınan kestane kabuğu atıkları kompozit üretiminde kullanılmak üzere bazı ön işlemlerden geçirilmiştir. Öncelikle yıkanmıştır ve sonrasında oda sıcaklığında serilerek kuruması sağlanmıştır. Temizlenip kurutulmuş kestane kabuğu atıkları çekiçli değirmen öğütücüsünde (Brook Crompton Series 2000, ENGLAND) öğütülmüştür. Öğütülen kestane kabuğu atıkları ve iki çeşit kaolin elenip farklı boyutlara ayrılmıştır; ($\theta > 0,500$, $0,500 > \theta > 0,250$, $0,250 > \theta > 0,125$, $0,125 > \theta > 0,090$, $0,090 > \theta$). Kompozit üretimi için kestane kabuğu atığı boyutu $\theta \leq 0,125$, ve kaolinler için boyut $\theta \leq 0,090$ olarak seçilmiştir (Şekil 3.1).

Temin edilen kaolinlerin elementel oksit kompozisyonları floresans spektroskopisinde (XRF Panalytical, Axios^{mAX}) belirlenmiştir. Çizelge 3.1’de sunulan oksit mineral sonuçlarına göre, kaolinlerin bileşimleri birbirinden oldukça farklıdır. Çalışma kapsamında renklerine göre kaolinler, gri (G) ve beyaz (B) olarak isimlendirileceklerdir.

Kompozit formülasyonunun oluşturulmasında kullanılmak üzere, öğütülmüş kestane kabuğu ve kaolinlerin teorik yoğunlukları ve hacimleri AccuPyc II 1340 model Helyum gazı piknometresi kullanılarak belirlenmiştir. (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Dolgu malzemelerinin teorik yoğunluk ve hacimleri.

Dolgu Malzemesi	Yoğunluk (gr/cm ³)	Hacim (cm ³)
Kestane Kabuğu	1,4714±0,0018	1,3547±0,0016
Beyaz Kaolin	2,5999±0,0040	1,0211±0,0016
Gri Kaolin	2,5008±0,0013	2,3833±0,013



Şekil 3.1. Kestane kabuğu ve kaolin tozları.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kompozitlerin hazırlanması

Polyester kompozit malzemenin üretiminde atık olarak kullanılan kestane kabuğu atığı (C), beyaz kaolin (B), gri kaolin (G) tozlarının farklı oranları kullanılarak araştırmaya en uygun reçeteler hazırlanmıştır. Hazırlanmış reçete ve tanımları Çizelge 3.3.' de verilmiştir.

Konsantrasyonlar genellikle hacim fraksiyonu ile ifade edilir. Bu fraksiyonlar dolgu maddesi (V_f) ve matris (V_m) için ayrı ayrı hacimlerinin toplam hacme oranı ile bulunur.

$$V_f = v_f / (v_f + v_m) \quad (3.1)$$

$$V_m = v_m / (v_f + v_m) \quad (3.2)$$

$$V_f + V_m = 1 \quad (3.3)$$

Burada,

V_f : Dolgu maddesinin hacimsel fraksiyonu; V_m : Matrisin hacimsel fraksiyonu;
 v_f : Dolgu maddesinin hacmi; v_m : Matrisin hacmi

Karışımlar hep aynı boyuttaki kalıba dökülmüştür. Bu nedenle kalıp hacmi esas alınarak öğütülmüş kestane kabuğu dolgusu ve kaolin takviyesinin hacim esasına göre belirlenen ağırlıklarla kompozit karışımları hazırlanmıştır.

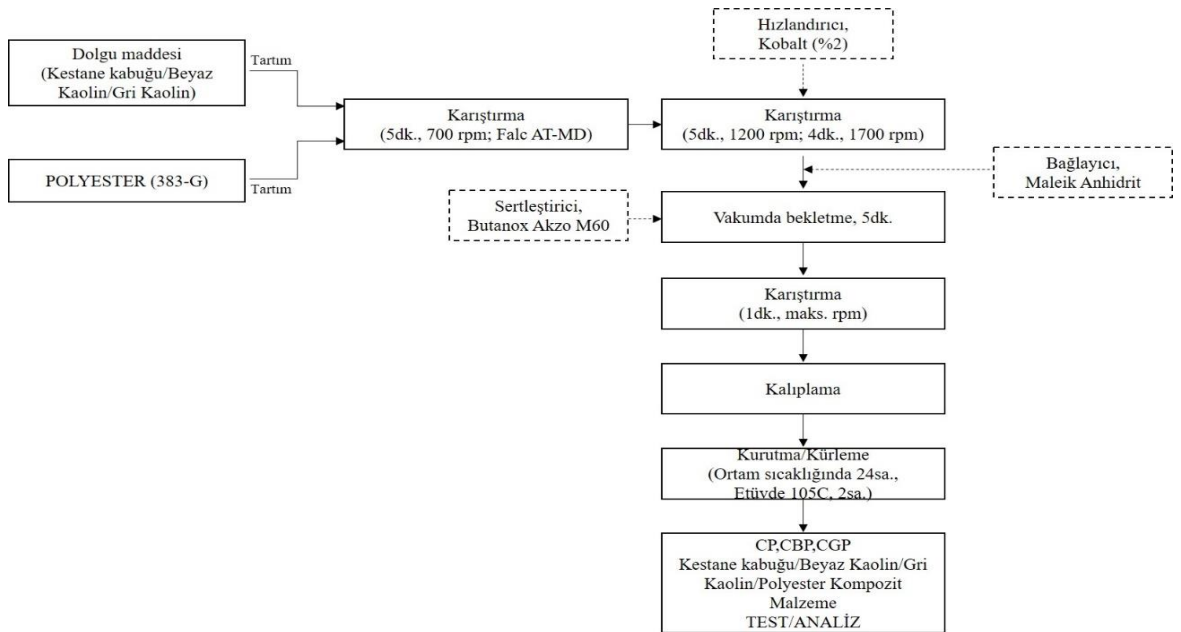
Çizelge 3.3. Kompozit oluşumunda kullanılan döküm reçetesi.

Dolgu Malzemesi Kodları-Polyester *	Kompozit Kodları ve Hacimce Oranları (cm ³)					
	C1P	C2P	C3P	C4P	C5P	C6P
C	3	4	6	7	9	10
P	97	96	94	93	91	90
	C1BP	C2BP	C3BP	C4BP	C5BP	C6BP
C	3	4	6	7	9	10
B	3	3	3	3	3	3
P	94	93	91	90	88	87
	C1GP	C2GP	C3GP	C4GP	C5GP	C6GP
C	3	4	6	7	9	10
G	3	3	3	3	3	3
P	94	93	91	90	88	87

*(C: Kestane kabuğu atığı; B: Beyaz kaolin; G: Gri kaolin; P: Polyester)

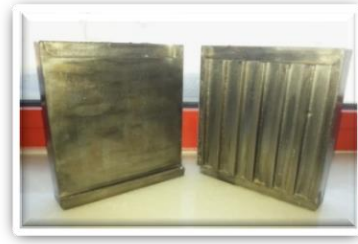
Bütün döküm işlemlerinde en ideal karışım oranı olarak polyeesterin temin edildiği firma tarafından belirlenmiş polyeester dolgu oranına uygun olarak farklı hacimlere göre kestane kabuğu ağırlığı belirlenmiş, kaolin hacmi kompozitlerde sabit tutulmuştur. Bu amaçla gaz piknometresiyle belirlenmiş yoğunluk ve hacim verileri kullanılarak her bir dolgu maddesi için ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Ön hazırlığı tamamlanmış ve reçeteleri hazırlanmış kestane kabuğu, beyaz kaolin ve gri kaolin için uygulanan kompozit malzeme üretim işlemleri Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Kompozit numunelerin üretim akım şeması.

Hazırlanan dolgu malzemeleri ve polyeester uygun bir beher içerisinde manyetik karıştırıcı (Falc, Rod Stirrer AT-MD 10, Italy) kullanılarak sırasıyla 700, 1200 ve 1700 rpm’lik hızlarda yaklaşık 5’er dakika karıştırıldı. Homojen bir karışım sağlandıktan sonra kullanılan polyeester oranına göre belirlenen miktarlarda kobalt (0,375 ml), bağlayıcı (0,3 g) ve sertleştirici (1,8 ml) eklendi. Kobalt ilavesinden sonra kompozit yapısında meydana gelebilecek hava kabarcıklarını önlemek amacıyla karışım 5 dakika boyunca vakumda (IAB, 220-240V) bekletildi. Hazırlanan kompozit malzemelerin dökümü için Şekil 3.3’te gösterilen 10×4×100 mm boyutlarında alüminyum döküm kalıplar kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Alüminyum kalıp.

Numunelerin kalıba dökümü gerçekleştirilmeden önce kalıp, kalıp ayırıcı (Polivax) ile yağlandıktan sonra etüvde (Binder, Germany) 60⁰ C’de 10 dakika bekletilerek; kalıp döküme hazır hale getirildi. Kalıp dolana kadar, karışım sürekli aynı noktadan kalıba dökülmüştür (Şekil 3.4). Kalıplara dökülen karışım, oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarıldı. Kalıptan çıkartılan numunelerin etüvde 105⁰C’de 2 saat boyunca kürleşmesi sağlandı.



Şekil 3.4. Karışımın dökümü.

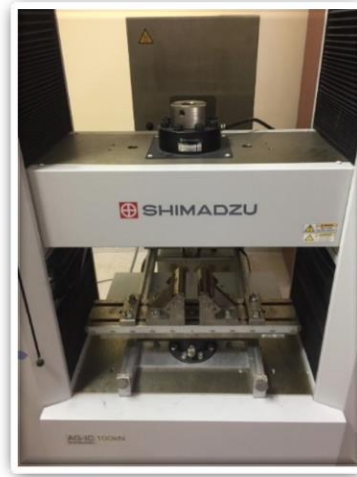
3.2.2. Analiz yöntemleri

3.2.2.1. Üç nokta eğme testi

Kompozit malzemelerin birçoğu, uygulanan gerilmeler altında formlarını kalıcı olarak değiştirirler. Bu malzemelerin hangi koşullar altında kalıcı şekil değişimine uğrayacaklarını bilmek çok önemlidir. Maruz kaldıkları yükler altında malzemelerin formlarını değiştirmesi istenilmeyen bir olaydır.

Dökümü yapılan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek ve mukavemet değerlerini ölçmek için eğme test cihazında (Shimadzu, AG-IC) ile 3 nokta eğme analizi yapılmıştır (Şekil 3.5). Testlerin uygulamasında cihazın hızı 2 mm/dk’ya

ayarlanmıştır. Numuneler kırıldıktan sonra her bir numune için kırık yüzeye yakın olacak şekilde genişlik (W) ve kalınlık (D) değerleri digital kumpas ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Üç nokta eğme cihazı.

Mukavemet (σ) değerleri ve Elastik modül (E) verileri 3 nokta eğme testi ile aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir:

$$\sigma_f = (3PL)/(2bd^2) \quad (3.4)$$

$$E_f = (L^3m)/(4bd^3) \quad (3.5)$$

Burada,

P: Kırılma yükü (N); L: Destekler arası mesafe (m); b: Numunenin genişliği (m);
d: Numunenin kalınlığı (m); m: Gerilim-deformasyon (σ - ϵ) eğrisinin eğimi (N/m)

3.2.2.2. Sertlik analizi

Kompozit malzemelerin üzerinde yapılan en genel analiz, sertliğinin ölçülmesidir. Bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunması bunun başlıca sebebidir. Sertlik izafi bir ölçüdür ve sertlik analizi ile malzemelerin çizilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirençleri belirlenir.

Örnek numuneler sertlik ölçme cihazına yerleştirilip kompozit malzemelerin 5 farklı bölgesinde sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir (SLX-D, Shore-D, Durometre)

(Şekil 3.6). Hesaplamalarda, bulunan beş farklı değerin ortalaması alınarak kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Sertlik cihazı.

3.2.2.3. Yoğunluk analizi

Kompozit malzemelerin yoğunluğu Archimed'in su ile yer değiştirme prensibine göre ölçülmüştür (Şekil 3.7). Bu prensibe göre bir maddenin sıvı içindeki ağırlığı, o maddenin kuru ağırlığı ile batmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetinin farkına eşittir.



Şekil 3.7. Yoğunluk ölçme cihazı.

Önceden seçilen; kalınlıkları, genişlikleri ve ağırlıkları belirlenen kırık kompozit numuneler, saf su dolu beher içerisinde manyetik ısıtıcı üzerinde (Ika, C-MAG HS7, Germany) 2 saat boyunca kaynama işlemine maruz bırakılmıştır. Numuneler 24 saat saf suda bekletilmiştir. 24 saatlik bekleme işleminden sonra su içerisinden alınan numuneler havlu peçete yardımı ile hafifçe kurularıp kalınlıkları, genişlikleri ve ağırlıkları tekrar

ölçülmüştür. Daha sonrasında askıda ve havada ağırlıkları alınıp kompozitlerin su emme, açık gözeneklilik yüzdesi, toplam gözeneklilik yüzdesi ve kütle yığın yoğunluğu hesapları aşağıdaki eşitliklere göre yapılmıştır;

$$\text{Su Emme (\%)} = [(\text{Yaş Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) / (\text{Kuru Ağırlık})] * 100 \quad (3.6)$$

$$\text{Kütle yığın yoğunluk} = [W_1 / (W_2 - W_3)] * \rho_{\text{su}} \quad (3.7)$$

$$\% \text{ Açık gözeneklilik} = [(W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)] * 100 \quad (3.8)$$

Burada,

W_1 : Kuru ağırlık; W_2 : Askıda ağırlık; W_3 : Sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları

3.2.2.4. Darbe analizi

Kompozit malzemelerin kırılırken ne kadarlık bir enerji absorbe edeceğini veya kırılma enerji miktarının ne kadar olabileceğini tayin edebilmek için, Izod Impact darbe cihazı (Devotrans, CD1 I, Turkey) ile numunelere darbe uygulanmıştır (Şekil 3.8). Numuneler dikey olacak şekilde iki konsol arasına yerleştirilmiştir. Testlerde cihaz 6 Joule'lük enerjiye maruz bırakılmıştır. Salınan sarkacın ucundaki çekiç ile numuneler kırılarak numunenin absorbladığı enerji belirlenmiştir. Darbe ile kırılan numunelerin kalınlıkları genişlikleri ölçülmüştür. Hesaplamalarda örnek numunelere uygulanan test sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır.

$$\text{Darbe Direnci, (J/mm}^2\text{)} = \text{Darbe Enerjisi} / \text{Kalınlık} \times \text{Genişlik} \quad (3.9)$$



Şekil 3.8. Darbe cihazı.

3.2.2.5. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) analizi

Mekanik analizlerden sonra seçilen kompozit numunelerin kırık yüzeylerinde morfolojik yapı inceleme yapılabilmesi üzere numuneler altınla kaplanmıştır. Elektriksel olarak iletken özellik kazandırılan kompozit numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM., Zeiss Supra 40VP, Germany) ile mikro yapıları ve lifli görüntüleri elde edilmiştir.

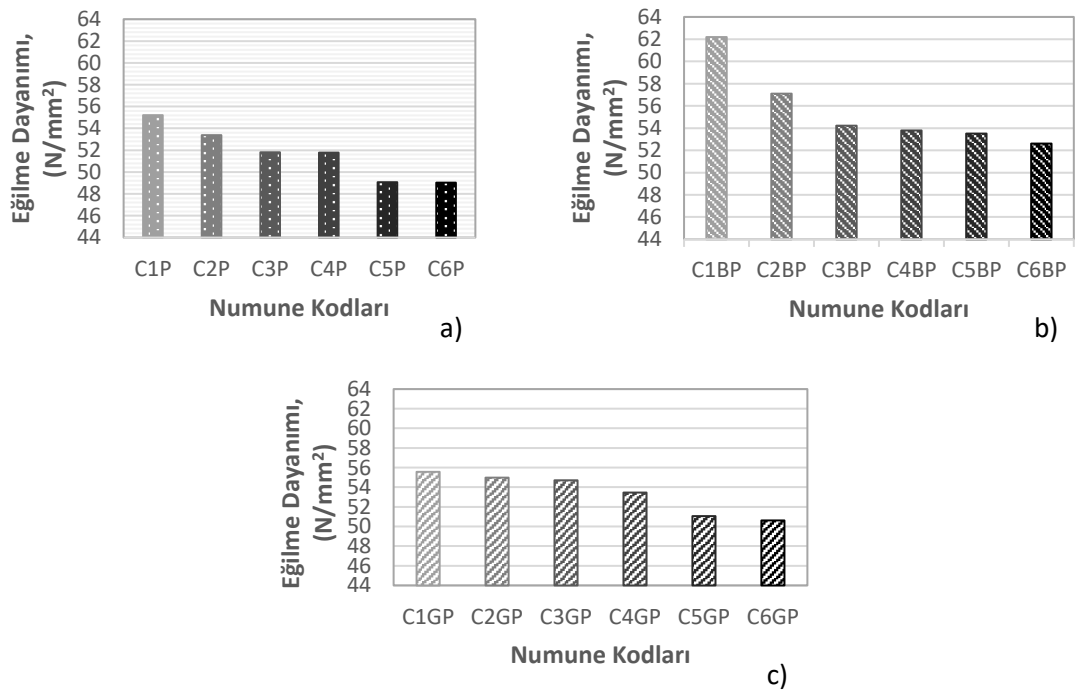
3.2.2.6. Termogravimetrik (TGA) analiz

Termogravimetrik (TGA) analizi Seteram Lab Sys Evo analizörü kullanılarak incelenmiştir. TGA testleri için 7-11 mg numune kullanılmıştır. Numunelerin ısıtılması, 20 °C'lik bir akış hızına sahip azot atmosferi altında gerçekleştirilmiş, sıcaklık ise 20 °C'den 800 °C'ye kadar yükseltilmiştir. Numunelerin ağırlık kaybı ve ısıl özellikleri belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Eğilme Mukavemeti Sonuçları

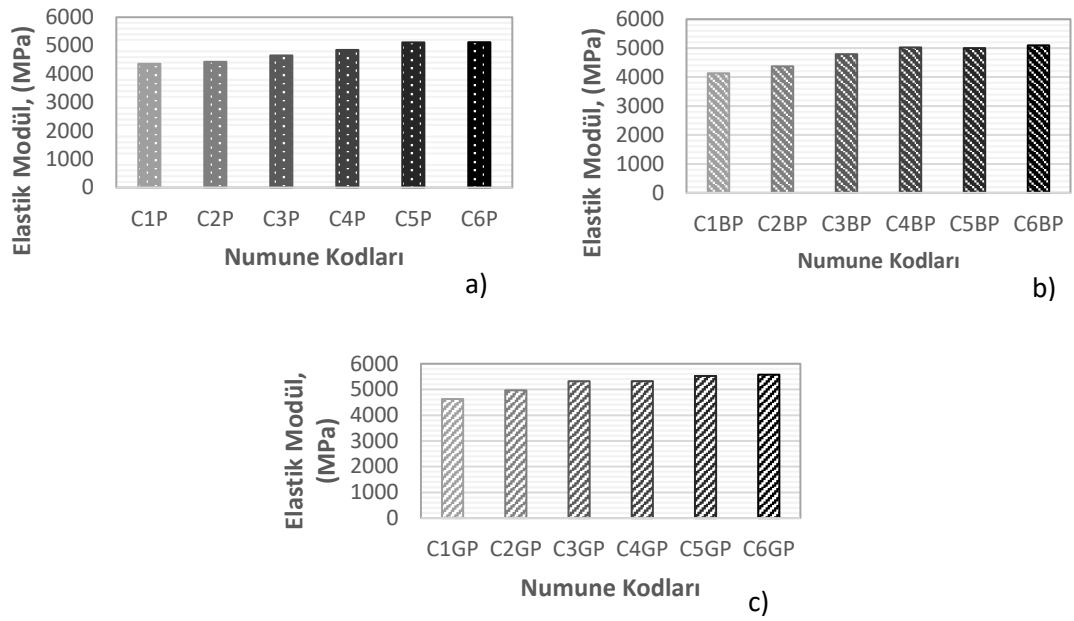
Atık kestane kabuğu tozu ve iki farklı kaolin tozu ile yapılan kompozit üretiminde; kaolin miktarı sabit tutulmuş ve kestane kabuğu miktarı arttırılmıştır. Kestane kabuğu tozunun artan hacim oranlarıyla birlikte eğilme dayanımında azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde eğilme dayanımına etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.

4.2. Elastik Modül Sonuçları

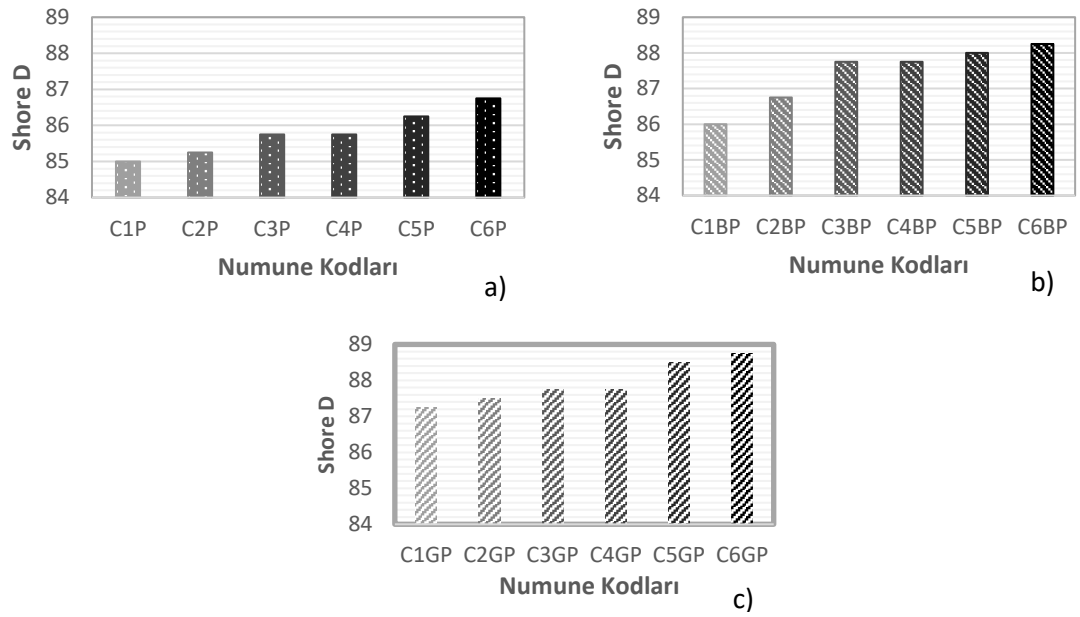
Şekil 4.2 incelendiğinde; kestane kabuğu tozu dolgulu kompozitlerin elastik modülü, kestane kabuğu tozunun artan hacim oranlarıyla birlikte artış göstermiştir. Kompozitlere dolgu maddesi olarak artan oranda kaolin ilavesi, elastik modülün artışını etkilemiştir.



Şekil 4.2. Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde elastik modüle etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.

4.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

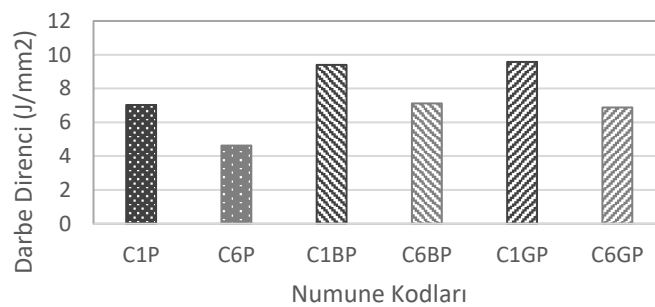
Shore D kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda; kestane kabuğu tozu dolgulu kompozit malzemelerde, kestane kabuğu tozunun artmasıyla sertlik değerleri artış göstermiştir. Kestane kabuğuyla hazırlanmış numunelere göre, takviye elemanı olarak kaolin ilavesi kompozitlerin sertliğini arttırmıştır.



Şekil 4.3. Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerde Shore D sertliğine etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.

4.4. Darbe Testi Sonuçları

İzot Impact darbe cihazı ile kompozit numunelere uygulanan darbe sonucunda; kaolin ilaveli kompozit malzemelerin, sadece kestane kabuğu atığı kullanılarak dökümü gerçekleştirilen kompozit malzemelere göre daha fazla enerji absorbladığı tayin edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kaolin ve/veya artan oranlarda kestane kabuğu miktarının kompozit numunelerin darbe direncine etkisi a) CP, b) CBP ve c) CGP.

4.5. Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri

Yapılan testler sonucunda; kestane kabuğu dolgulu kompozit malzemelerin, diğer kompozit malzemelere oranla en yüksek su emme yüzdesine sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1).

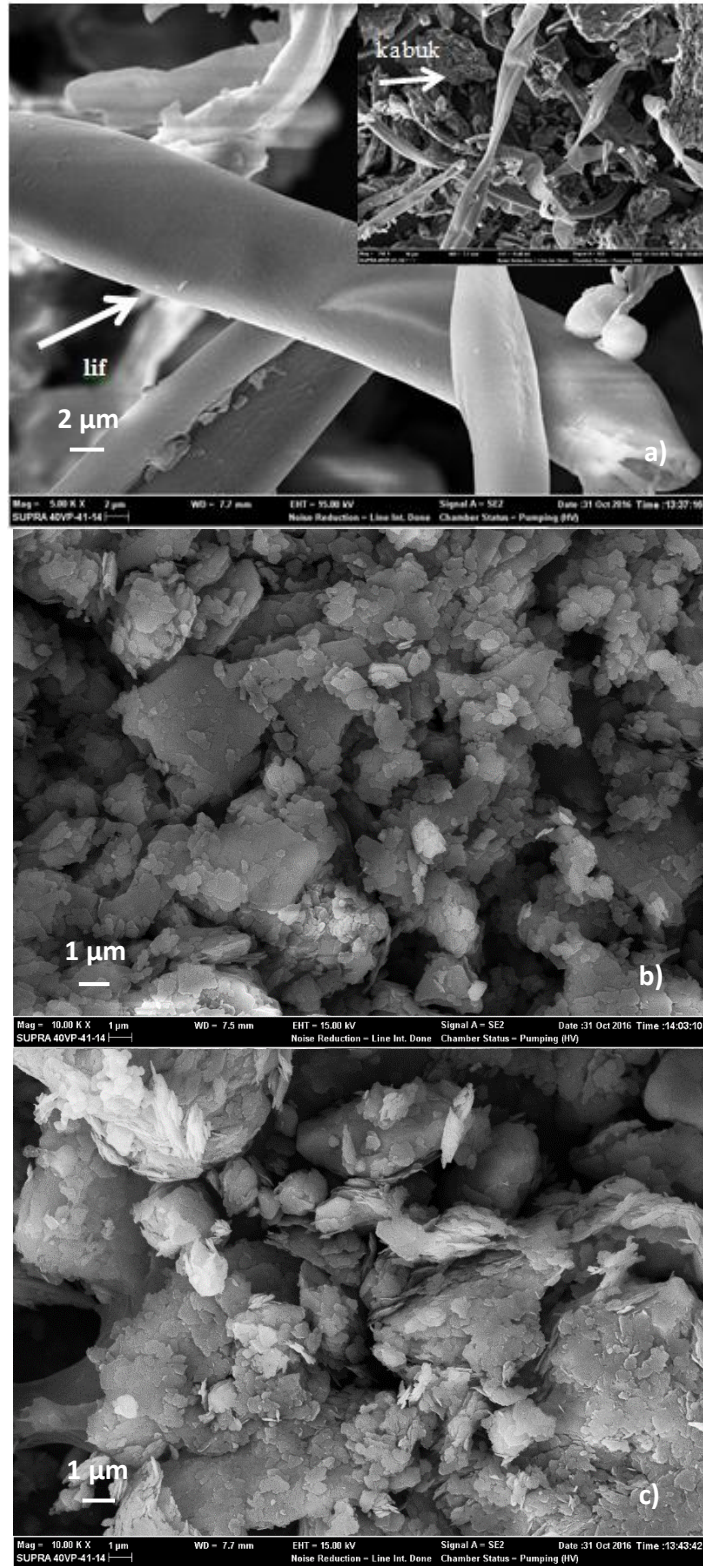
Çizelge 4.1. Kompozitlerin Fiziksel Özellikleri.

Kompozit Örnekleri	Su Emme (%)	Açık Gözeneklilik (%)	Yığın Yoğunluğu (gr/cm ³)
C1P	0,805	0,955	1,187
C2P	0,915	1,088	1,189
C3P	0,921	1,105	1,190
C4P	1,038	1,239	1,193
C5P	1,212	1,447	1,195
C6P	1,273	1,512	1,19
C1BP	0,707	0,876	1,240
C2BP	0,847	1,053	1,243
C3BP	1,005	1,228	1,235
C4BP	1,019	1,264	1,240
C5BP	1,037	1,287	1,240
C6BP	1,128	1,385	1,228
C1GP	0,797	0,986	1,237
C2GP	0,807	1,075	1,237
C3GP	1,135	1,135	1,244
C4GP	1,136	1,407	1,238
C5GP	1,166	1,439	1,234
C6GP	1,171	1,446	1,235

Kompozitlere kaolin ilavesiyle yığın yoğunluğunda artış, % su emilimi ve % açık gözeneklilikte azalma tespit edilmiştir.

4.6. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi Sonuçları

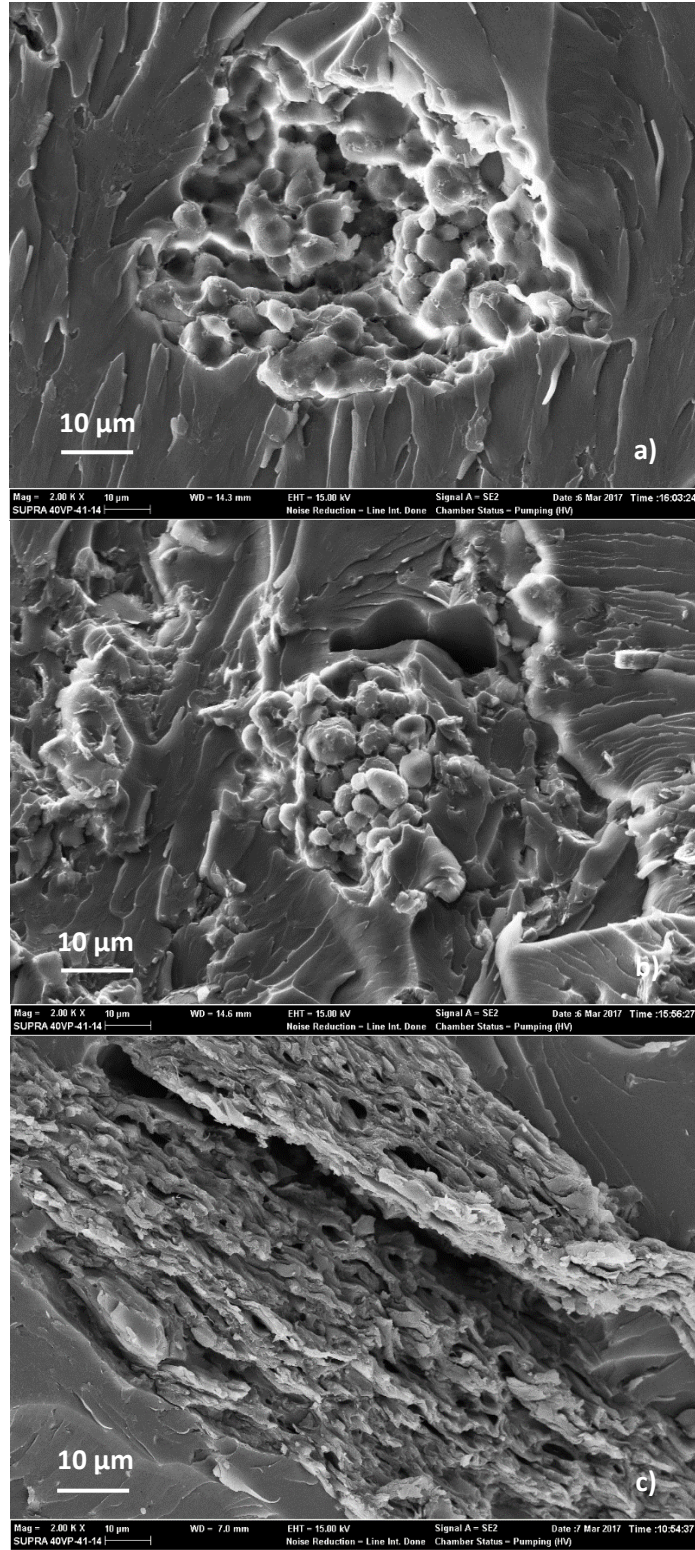
Ön işlemden geçirilen; öğütülüp, boyut analizi yapılan dolgu maddeleri kestane kabuğu tozu ve kaolinlerin morfolojik yapısı SEM analiziyle belirlenmiş ve Şekil 4.5'te sunulmuştur.



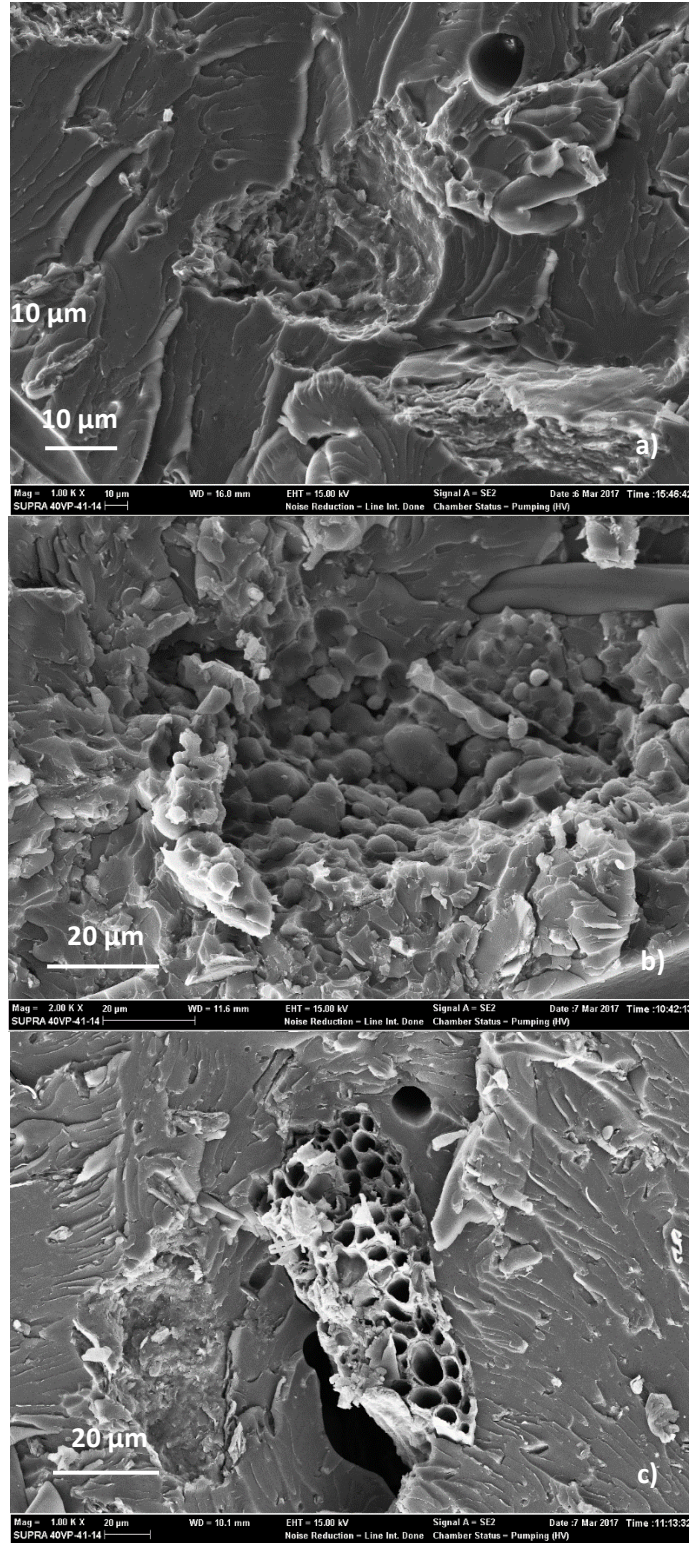
Şekil 4.5. Kompozit dolgu ve takviye malzemelerine ait SEM görüntüleri a) Kestane kabuğu tozu, b) Beyaz renkli kaolin ve c) Gri renkli kaolin.

Kompozitlerin yüzey morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla SEM analizi uygulanmış ve analiz için darbe testinde kırılmış kompozit numunelerin yüzeyi incelenmiştir.

Çalışma da temelde 3 farklı kompozit reçetesi içinde kestane kabuğu tozu artan oranda kullanılmıştır. SEM analizinde her bir 3 temel reçetenin en az, orta ve en çok kestane kabuğu tozu içeren numuneleri seçilmiştir (Şekil 4.6-4.7).



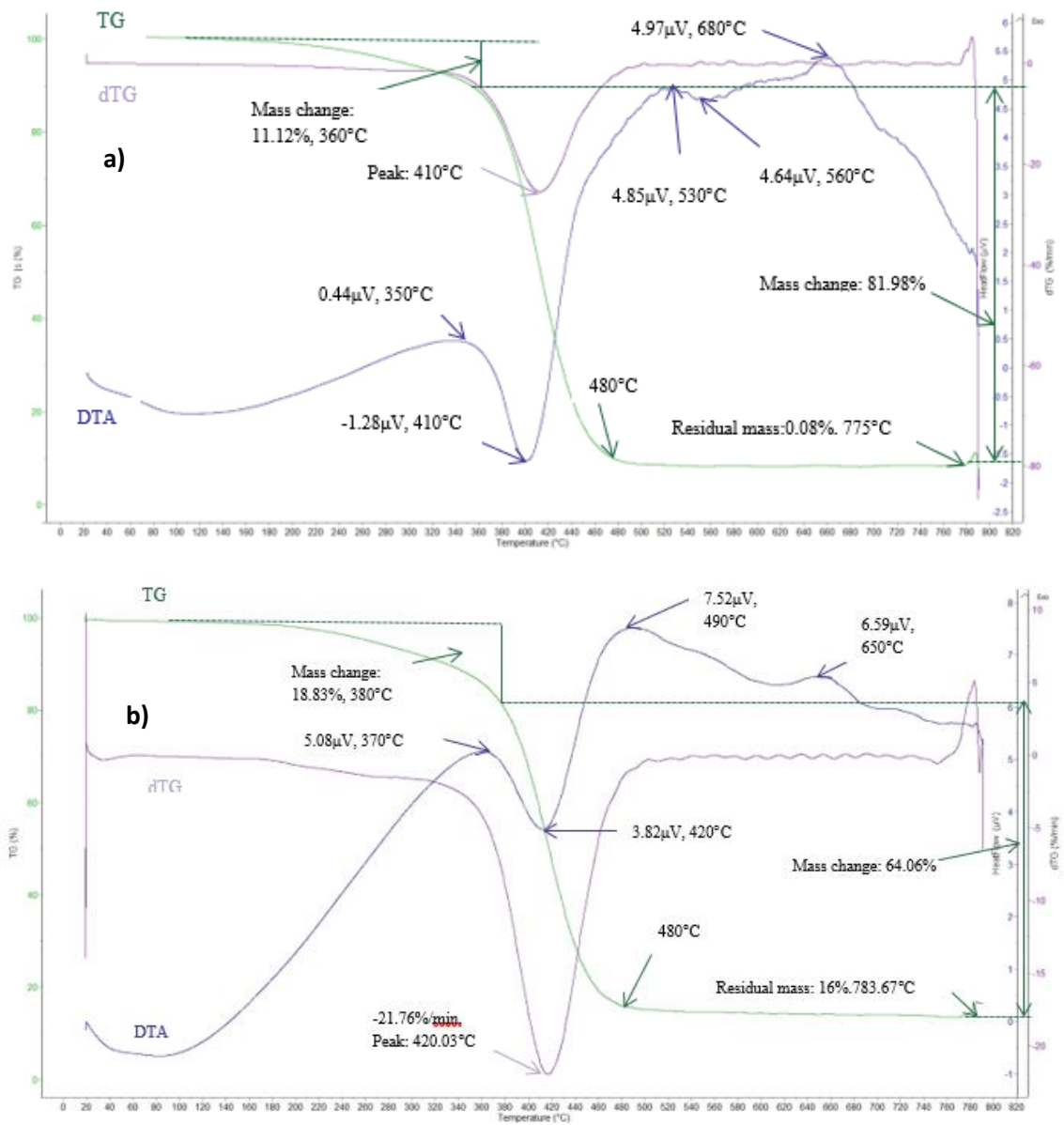
Şekil 4.6. Hacimce %3 kestane tozu ve %3 beyaz veya gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelere ait SEM görüntüleri a) C1P, b) C1BP ve c) C1GP.



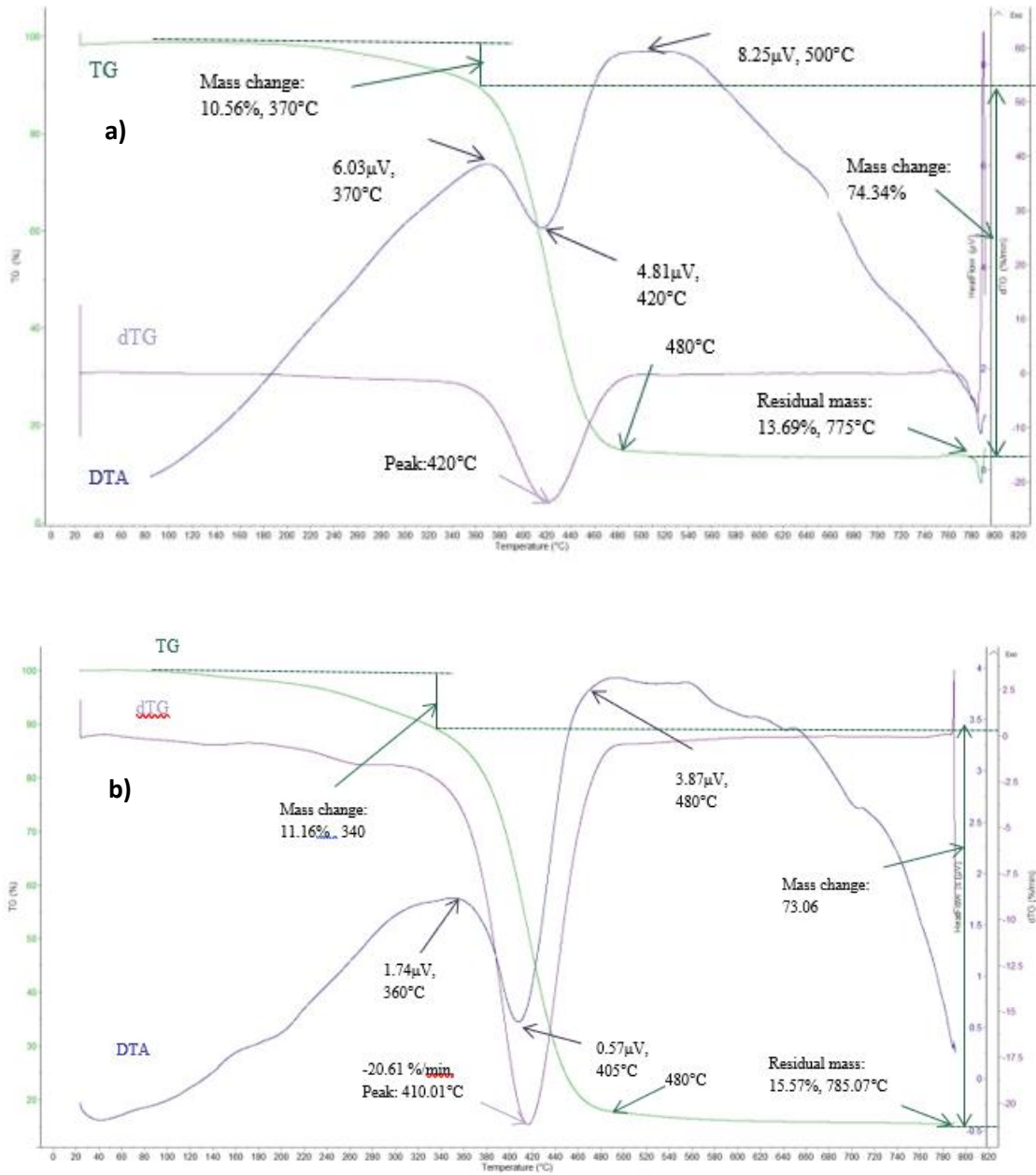
Şekil 4.7. Hacimce %10 kestane tozu ve %3 beyaz veya gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelere ait SEM görüntüleri a) C6P, b) C6BP ve c) C6GP.

4.7. Termogravimetrik (TGA) Analiz Sonuçları

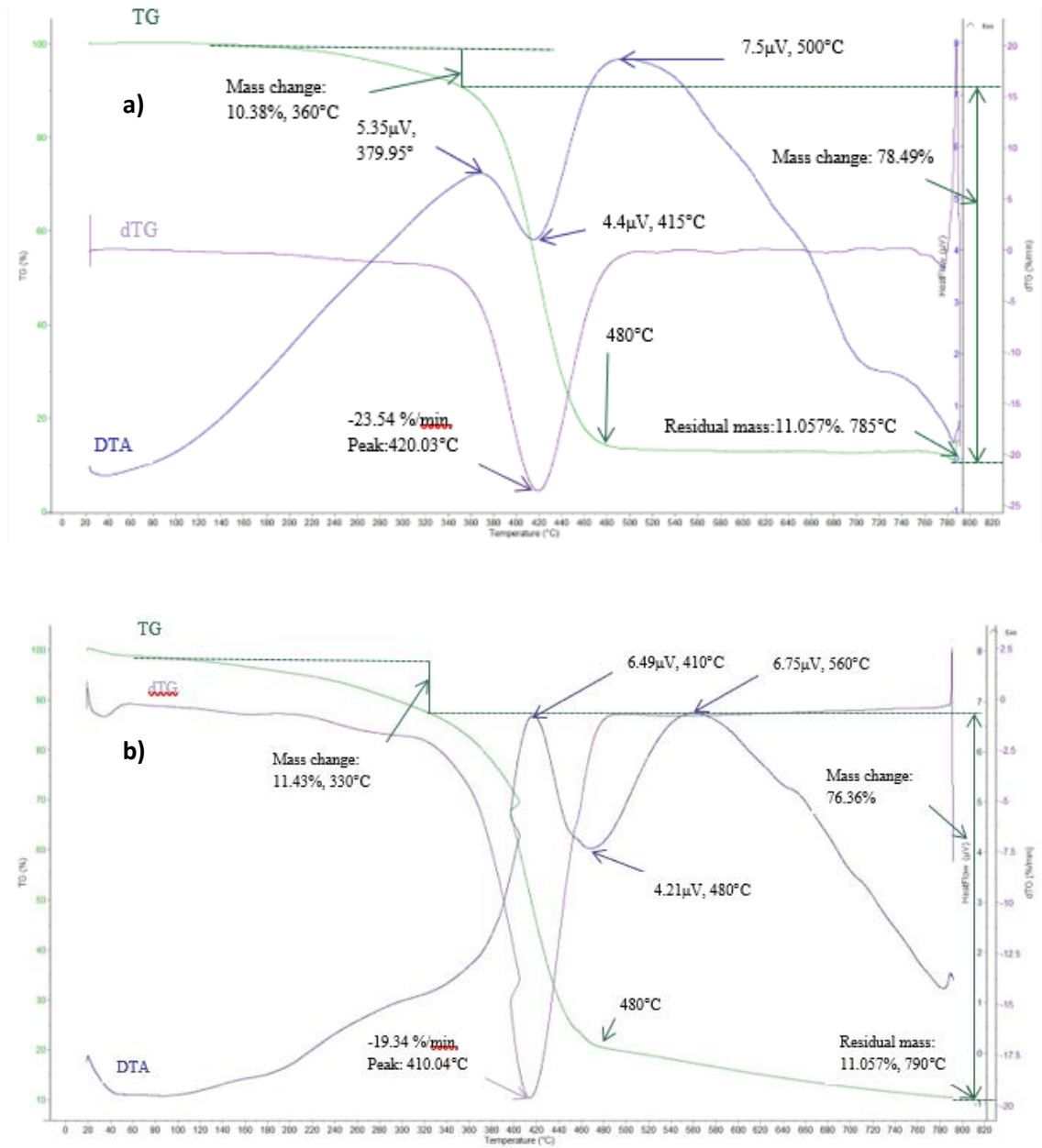
Kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA analizlerine göre termal kararlılık sonuçları Şekil 4.8-4.10'da gösterilmiŐtir. Termogramlarda; TG kütle deĐiŐimini, DTG diferansiyel kütle deĐiŐimini, DTA ise diferansiyel termal analizi göstermektedir.



Şekil 4.8. Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ilaveli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1P ve b) C6P.



Şekil 4.9. Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ve %3 beyaz kaolin takiyeli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1BP ve b) C6BP.



Şekil 4.10. Hacimce %3 ve %10 kestane tozu ve %3 gri kaolin takviyeli polyester kompozit numunelerin TG, DTG ve DTA eğrileri a) C1GP ve b) C6GP.

Grafikler incelendiğinde; bütün kompozit numuneler gözeneklerdeki ve yüzeylerindeki tutulan suyun buharlaşmasından dolayı 100 °C-140 °C arasında ağırlık kaybına uğramıştır. TG eğrisi kompozit numunelerinde bozunmanın tek kademedeyi gerçekleştirdiğini göstermektedir. Kompozitlerin termal kararlılıkları 330 °C-360 °C'ye kadar sağlanmıştır ve yaklaşık 480 °C'de kestane kabuğu ve kaolin yanması meydana gelmiştir. Grafiklere bakıldığında bütün kompozit numunelerin DTA eğrileri endotermiktir.

5. TARTIŞMA

5.1. Eğilme Mukavemeti

Polyester kompozit numunelerde eğilme dayanımı 49,03-62,19 N/mm² arasında değişmiştir. Kaolin takviyeli kompozitlerin (CBP ve CGP) eğilme dayanımı CP kodlu kompozit numunelerinkinden daha yüksek değerdedir. Eğilme mukavemeti değeri en düşük en fazla öğütülmüş kestane kabuğu ilave edilen C6P (hacimce %10 oranında) kompozit numunelerinde elde edilmiş; en yüksek eğilme mukavemeti değerine ise hacimce %3 öğütülmüş kestane kabuğu ilave edilen ve beyaz kaolin takviyesi yapılan C1BP kompozit numunelerinde ulaşılmıştır. Şekil 4.1’de görüleceği üzere hacimce %3’lük kestane kabuğu ilavesiyle ve kestane kabuğu tozuna kaolin ilave edilmesiyle mukavemetin pozitif yönde geliştirilmesi sağlanmıştır.

Eng ve arkadaşlarının (2014) yaptığı çalışmada; hidrofilik fiber dolgunun hidrofobik matris içinde kompozit malzemede mekanik mukavemeti düşürdüğü belirlenmiştir (Eng vd., 2014). Şekil 4.1’de görüldüğü gibi kestane kabuğu ve kestane kabuğu-kaolin/polyester kompozitlerde elde edilen sonuçlar, katılan kestane kabuğu lif oranı arttıkça mekanik mukavemetlerinde artan oranda literatürle uyumlu olarak azalma göstermiştir. Aranguren ve arkadaşları (1999) yaptığı çalışmada; selüloz kaynaklı lif takviyesi artışının polyester ve dolgunun homojen dağılımını ve mukavemet artışını olumsuz etkilediğini, bu nedenle farklı partikül boyutları ve dolgu karışım oranlarıyla ara yüzey gelişiminin sağlanabileceğini ifade etmişlerdir (Aranguren vd., 1999). Araştırma konusu olan kestane kabuğunun daha iyi mukavemet sonuçlarını verebilmesi bu durumda farklı takviyelerin kullanımı ve farklı partikül boyutlarının çalışılmasıyla sağlanabilir.

5.2. Elastik Modül

Kompozit numunelerinde elastik modül artan kestane kabuğu miktarıyla değişmiştir. Öğütülmüş kestane kabuğu ve buna ilave olarak kaolin takviye içeren polyester kompozit numunelerde elastik modül değerleri 4132,19-5575,00 MPa arasında belirlenmiştir. Elastik modül değerlerinde %23 artış ile en iyi gelişme beyaz kaolin takviyesi yapılan kompozitlerde sağlanmıştır. Şekil 4.2’de kestane kabuğu tozuna kaolin ilave edilmesiyle, kompozitlerin elastik modülünde oluşan değişim görülmektedir. Buna göre gri kaolin takviyesi yapılan C6GP kompozitler de en yüksek elastik modül değerlerine ulaşıldığı belirlenmiştir. Bu duruma, kompozitlere ait SEM görüntülerinin

yer aldığı şekil 4.6 ve 4.7’de görüldüğü gibi, beyaz kaolin kullanılan kompozitlerde kestane kabuğu lifleri tek tek homojen dağılım gösterirken gri kaolin takviyesinin olduğu kompozitlerde demet halinde kopuk liflerin yer almasının yol açtığı düşünülmüştür.

Leong ve arkadaşları (2004) yaptığı çalışmada; kompozit malzeme üretiminde kaolin takviyesinin partikül boyutu ve kristal yapıya bağlı olarak polimer matrisin hareketliliğini etkilediğini sonuçta kompozitlerin elastik modülünü arttırdığını ifade etmişlerdir (Leong vd., 2004).

5.3. Sertlik Ölçümü

Kestane kabuğu dolgulu kompozit numunelerinde, kestane kabuğu tozunun artmasıyla Şekil 4.3’ te görüleceği gibi sertlik değerleri artmakta ve bu durum literatürle de uygunluk göstermektedir. Rafeeq ve Hussein (2013) yaptıkları çalışmada; kompozit malzemelerde yüzey sertliğinin, matris ve dolgu ara yüzeyindeki bağlanmaya ayrıca dolgu maddelerinin matris içindeki dağılımına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kestane kabuğu partiküllerinin birbirine yakın olduğundan matrisin hareketini kısıtlayarak, gerilmelerin liflere aktarılmasıyla kompozitlerin arttığını ifade etmişlerdir (Rafeeq ve Hussei, 2013).

5.4. Darbe Testi

Warnes ve arkadaşlarının (2015) yaptıkları çalışmada; odun ve kenevir numunelerinin lifli yapıya sahip olmaları nedeniyle kompozitlerin düşük darbe dayanımına sahip olduklarını ifade etmişlerdir (Warnes vd., 2015). Şekil 4.4’te görüldüğü üzere kestane kabuğu ve kestane kabuğu-kaolin/polyester kompozitlerde elde edilen sonuçlar; literatürle uyumlu bir şekilde lif oranı arttıkça azalma göstermiştir.

5.5. Fiziksel Özellikler

Chern-Chief ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları çalışmada; selülozik fiber dolgunun sahip olduğu hidroksil grupları nedeniyle kompozitlerin su emme yüzdelerinde artış olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte kompozit malzemelerdeki boşlukların artmasıyla, bu boşlukları doldurmak için de su isteğinin arttığını ve daha yüksek su emme değerlerine sahip olduklarını da ifade etmişlerdir (Chern-Chief vd., 2014). Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi; hidrofilik özellik taşıyan selüloz miktarı artan oranda kestane kabuğu tozunun eklenmesiyle bütün kompozit numunelerine göre daha

yüksek su emme yüzdesinin gelişmesine yol açmıştır. Aynı zamanda kompozit numunelere artan oranda kestane kabuğu ilavesi; kompozitlerin açık gözeneklilik yüzdesini arttırırken, yığın yoğunluğunda ise azalma sağlamıştır.

5.6. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizi

Şekil 4.5a'da yer alan SEM görüntüsünde, öğütülmüş kestane kabuğunun homojen bir dağılım göstermediği görülmektedir. Düzensiz şekillere sahip topraklanmış kestane kabukları ve kestane kabuğunun iç kısmından gelen farklı boyutlarda lifler görülmektedir. Öğütülmüş kestane kabuğu tozu numunesinde lif uzunlukları genellikle 150-200 µm arasında olsa da 650 µm uzunluğunda da lifler yer almaktadır.

Perez-Fonseca ve arkadaşlarının (2014) yaptıkları çalışmada; birleştirme ajanının (polipropilen greft maleik anhidrit) kullanılmasının polimer/lifler arasında iyi bir yapışma sağladığını ve polimer/lif arasındaki boşlukların azalmasına yol açtığını ifade etmişlerdir (Perez-Fonseca vd., 2014). Bununla birlikte literatüre bakıldığında, Bodur (2016) yaptığı çalışmada; kompozitlere maleik anhidritin katkısıyla, polimer matrisin bitkisel lifin çevresini sardığını ve bu durumun yük transferini kolaylaştırmasıyla matris/lif arasındaki boşluklu yapının azaldığı gözlemlenmiştir (Bodur, 2016).

Yılmaz (2013) yaptığı çalışmada; kaolinin kompozit yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığını ve genel olarak kompozitlerde topaklanma olmadığını gözlemleyerek, kaolin ilavesinin yapıdaki gözeneklilik miktarının azalmasına neden olduğunu belirtmiştir (Yılmaz, 2013). Şekil 4.6-4.7'de; artan oranda kestane kabuğu ilavesinin yapıldığı kompozitlerin kırık yüzeylerinden alınan görüntülerde, boşlukların artış gösterdiği belirlenmiştir. Matris dağılımının kaolin ilavesiyle iyileşmesi literatürle uyumlu olarak sağlanmıştır. Yığılmalar gri kaolinde daha az, boşluklar daha fazla yer almıştır. Fibril yapının beyaz kaolinde tek tek dağılımı sağlanmıştır. Eğme test sonuçlarına göre de beyaz kaolin ve kestane kabuğu tozu olan reçeteler daha iyi sonuçlar vermiştir.

Beyaz kaolinin ve en az oranda öğütülmüş kestane kabuğunun bulunduğu polyeester kompozitte; lifler gömülü olarak bulunmakta ve polyeester matrisle kaynaşmasının daha iyi olduğu görülmektedir. SEM görüntüleri, Oksman ve arkadaşlarının (2003) yaptıkları çalışmayla uyum göstermektedir (Oksman vd., 2003).

Kırık yüzeyli CGP kompozitlerde zayıf dolgu ve matris bağı gelişmiş ve liflerin bazılarının koptuğu gözlemlenmiştir. Sahari ve Maleque (2016) tarafından yapılan çalışmayla uyumlu olarak, matris ve dolgu arasında oluşan süreksiz-kesikli kaynaşmanın, hidrofilik dolguların hidrofobik polimer matris tarafından yeteri kadar nemlendirilmemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Sahari ve Maleque, 2016).

5.7. Termogravimetrik (TGA) Analiz

Tüm kompozitlerdeki toplam kütle kaybı artan dolgu oranıyla azalmıştır. Bu da daha fazla oranda katılan kestane dolgusuyla daha iyi bir termal stabilitenin elde edildiğini göstermektedir. Kaolin ile birlikte kestane kabuğunun kullanıldığı kompozitlerin termal stabilitesi daha düşüktür. Kaolinit fazı fazla olan beyaz kaolinde stabilite kaybı daha az olmuştur. Elde edilen sonuçlar; Salmah ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir (Salmah vd., 2013). Şekil 4.8-4.10 incelendiğinde; kompozitlerin termal kararlılıklarının 330 °C-360 °C'ye kadar sağlanmış olduğu, kestane kabuğu ve kaolin yanmasının 480 °C civarında olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; atık kestane kabuğunun, katma değerli polyester kompozit ürüne dönüştürülebilmesi için farklı reçeteler uygulanmıştır. Kestane kabuğu tozu/polyester kompozit üretiminde kaolin tozu ilavesi kompozit mukavemetini arttırmıştır. Artan kestane kabuğunun lifli yapısı tüm reçetelerde elastik modülün gelişmesini sağlamıştır. Kompozitlerin hem gözeneklilikleri hem de su emmeleri artan kestane kabuğu tozu miktarıyla artan oranda etkilenmiştir. Kestane kabuğu atığı/polyester kompozitlerine ilave edilen iki farklı kaolinin floresans spektroskopisinde (XRF) belirlenen kimyasal bileşimleri, elde edilen analiz sonuçlarını desteklemektedir. Kompozit malzemenin mekanik direncinin artmasında kaolin dolgusunun sahip olduğu Al_2O_3 önemli bir etki göstermiştir. XRF sonuçlarına göre; beyaz kaolin %44 Al_2O_3 , gri kaolin %20 Al_2O_3 içeriğine sahiptir ve en yüksek mekanik mukavemete de beyaz kaolin ilave edilen kompozitlerde ulaşılmıştır. Benzer şekilde SiO_2 'te kompozitlerin elastik modülünü geliştirmiştir. Beyaz kaolinin yapısında %45, gri kaolinde %59 oranında bulunan SiO_2 gri kaolinin ilave edildiği kompozitlerde en yüksek elastik modül değerine ulaşılmasını sağlamıştır.

Kestane kabuğu atığı ve/veya kaolin/polyester kompozitlere yaklaşık $800\text{ }^{\circ}C$ 'de yapılan ısıtma işlemi sonucunda polyester kompozit numunelerde kütle kaybı belirlenmiştir. Bu durum kompozit numunelerin daha kolay bozunur bir malzeme olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

Kalıp döküm yöntemi ile gerçekleştirilen polyester kompozitlerin üretiminde karşılaşılan güçlükler nedeniyle üretim şekli ekstrüder olarak değiştirilerek ve enjeksiyonlu kalıplama yöntemi uygulanarak daha homojen özellikler taşıyan kompozit üretimi mümkün olacağı düşünülmektedir. Kestane kabuğu atığı ve/veya kaolin/polyester kompozitlerin mekanik ve fiziksel analiz sonuçlarına göre; CP kompozitlerin masa, raf gibi orta yükleri taşıyabilecek iç mekan uygulamalarında, CBP kompozitler yüksek mukavemetlerinden dolayı yer döşemelerinde ve CGP kompozitler yüksek elastik modüle sahip olmalarından dolayı oyuncak, ayakkabı tabanı gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılabileceği ön görülmektedir.

Kestane kabuğu atığı ve kaolin/polyester kompozit ürünlerinin başarılı bir şekilde ticarileştirilmesi; uygun maliyetli bir üretim sürecinin geliştirilmesine ve sürdürülebilir ürünler için bir pazar kurulmasına bağlıdır.

KAYNAKLAR

- Akçıl A. Ve Tuncuk A. (2006). Kaolenlerin Safsızlaştırılmasında Kimyasal ve Biyolojik Yöntemlerin İncelenmesi. *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2): 59 – 69.
- Al-Asade J.Z. ve Al-Murshdy M.J. (2008). An Investigation of Kaolin Influences on Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Composites, *Journal of Kerbala University*, 5, 1-6.
- Anaklı, D. (2008). Poli (2-etil anilin)-Kaolinit Malzemelerin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Anonim, (2013). Kestane Raporu, *Aydın Ticaret Borsası*, 8-9.
- Aranguren M. I., Reboredo M. M., Demma G., Kenny J., (1999). Oak sawdust and hazelnut shells as fillers for a polyester thermoset. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57, 325-330.
- Arrakhiz F.Z., El Achaby M., Benmoussa K., Bouhfid R., Essassi E.M., Qaiss A. (2012). Evaluation of mechanical and thermal properties of Pine cone fibers reinforced compatibilized polypropylene. *Mater Design*, 40, 528-535.
- Arthanarieswaran V.P., Kumaravel A., Kathirselvam M. (2014). Evaluation of mechanical properties of banana and sisal fiber reinforced epoxy composites: Influence of glass fiber hybridization, *Mater Design*, 64, 194-202.
- Ataş A. (2007). Dokuma Fiber Takviyeli Paralel Pim Delikli Tabakalı Polyester Kompozit Plakaların Statik Yük Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Avcı E. (2015), Ormandaki Atıkları Kullanılarak Elde Edilen Ahşap Plastik Kompozitlerin Dış Mekan Mobilyalarında Kullanımı, *Selçuk-Teknik Dergisi*, Özel Sayı-1 (UMK-2015), 577-589.
- Ayyasamy K., Eswaran S., Kandasamy P. ve Subramanian C. (2014). Polyester Clay Composite: Preparation and Characterization, *Research and Reviews:Journal of Chemistry*, 2, 2319-9841.
- Balkan, R. (2006). Bentonit, Kaolin ve Sepiyolitin Bazı Organik Moleküller Absorplamasının İnfrared İncelemeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bektaş I. (2014). Utilization of Quercus suber L. bark in manufacture of wood Polypropylene composites, *3rd International Non-wood Forest Products Symposium Proceedings*, 1016-1022.
- Bilici İ. (2012). Atık Plastiklerden Kompozit Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu. *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Bingöl, Y. C. (2008). Karbon-Fiber Takviyeli Polimer Matriksli Kompozit Bisiklet Kadrosu Üretimi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bodur M. S, (2016). Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerde Lif / Matris Ara Yüzey İyileştirme Çalışmaları ve Çevresel Koşullara Göre Karakterizasyonu. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bulut, Y ve Erdoğan, U.H. (2011). Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *The Journal of Textiles and Engineers*, 18(82): 26-35.
- Carvalho, L.H., De Souza, G.C., d'Almeida, J.R.M. (2006). Comparison of Mechanical Behavior of Plain Weave and Plain Weft Knit Jute Fabric Polyester Reinforced Composites. *Polymer Plastics Technology And Engineering*, 45, 791-797.
- Chensong D. ve Ian J.D. (2011). Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites. *Elsevier, Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2751–2756.
- Chern Chiet E., Nor Azowa I., Norhazlin Z., Hidayah A., Wan M.d. ZinWan Y. (2014). Impact strength and flexural properties enhancement of methacrylate silane treated oil palm mesocarp fiber reinforced biodegradable hybrid composites. *The Scientific World Journal*, 8, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/213180>.
- Çıbık, A. (2011). Denizli Yöresi Anadolu Kestanesi (*Castanea Sativa* Mill.)'nin Bazı Morfolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dagwa I. M., Adama K. K. ve Alu N. O. (2015). Tensile and Hardness Property Evaluation of Kaolin-Sisal Fibre-Epoxy Composite. *Nigerian Journal of Technology*, 34(4), 750-760.
- Doğanay, S. ve Ulcay, Y. (2007). Farklı Oranlarda Takviye Edilmiş Cam Lifi Polyester Kompozitlerinin Deniz Suyu Etkisi Altında Yorulma Davranışının İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(2), 85-95.
- Eng C. C., Ibrahim N. A., Zainuddin N, Ariffin H., Yunus W. Z., (2014). Impact Strength and Flexural Properties Enhancement of Methacrylate Silane Treated Oil Palm Mesocarp Fiber Reinforced Biodegradable Hybrid Composites. *The Scientific World Journal*, 8, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/213180>.
- Evstatiev, M. Fakirov, S. Kirasteva, B. ve Cunha, A. M. (2002). Recycling of Poly(ethylene terephthalate) as Polymer-Polymer Composites. *Polymer Engineering and Science*, 42(4), 826-835.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Gündüzalp A.A. ve Güven S. (2016). Waste and Waste Types, Waste Management. *Recycling and Consumer: Çankaya Municipality and Instance of Neighbourhood Consumers*, Ankara, 1-19.
- Hammajam A., Zahari Nur I. ve Sapuan S. M. (2013). Review of Agro Waste Plastic Composites Production, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1(5):271-279.
- Hosseini, M. R., Pazouki, M., Ranjbar, M., & Habibian, M. (2007). Bioleaching of iron from highly contaminated Kaolin clay by *Aspergillus niger*. *Applied Clay Science*, 37(3-4), 251–257.
- Ivanić, M., Vdović, N., De Brito Barreto, S., Bermanec, V. ve Sonđi, I., (2015). Mineralogy, surface properties and electrokinetic behaviour of kaolin clays derived from naturally occurring pegmatite and granite deposits. *Geologia Croatica*, 68(2), 139–145.
- İlhan, R. ve Feyzullohođlu E. (2019). Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf lar ve Dolgu Maddeleri. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (2): (355-381).
- Kaymakci A. ve Ayrilmis N. (2014). Waste Chesnut Shell as a Source of Reinforcing Fillers for Polypropylene Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(8), 1054-1064.
- Kendir G., Öztürk A., Körođlu A. (2016). *Castanea Sativa* Mill. (Kestane), Meyve ve Yaprak Anatomisi. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 40(2): 1-18.
- Leong Y. W., Abu Bakar M. B., Mohd. Ishak Z. A., Ariffin A., Pukanszky B. (2004). Comparison of the Mechanical Properties and Interfacial Interactions Between Talc, Kaolin, and Calcium Carbonate Filled Polypropylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 3315–3326.
- Nagarajan V., Mohanty A.K. ve Misra M. (2013). Sustainable Green Composites: Value Addition to Agricultural Residues and Perennial Grasses. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 1, 325–333.
- Perez-Fonseca A.A., Robledo-Ortiz J.R., Ramirez-Arreola D.E., Ortega-Gudiño P, Rodrigue D, González-Núñez R. (2014). Effect of hybridization on the physical and mechanical properties of high density polyethylene–(pine/agave) composites, *Mater Design*, 64, 35-43.
- Rafeeq S.N. ve Hussein S. M. (2013). Characteristic of Hybrid Chestnut Shell Fillers/Epoxy Composite. *Eng. & Tech. Journal*, 31, 3, 368-380.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Raju G. U., Kumarappa S., Gaitonde V. N. (2012). Mechanical and physical characterization of agricultural waste reinforced polymer composites. *J. Mater. Environ. Sci.*, 3:(5), 907-916.
- Ramesh P., Prasad D.B., Narayana KL. (2018). ‘Characterization of kenaf fiber and its composites: A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 37(11): 731-737.
- Saxena, M., Pappu, A., Sharma, A., Haque, R., & Wankhede, S. (2011). Composite Materials from Natural Resources: Recent Trends and Future Potentials, *Advances in Composite Materials -Analysis of Natural and Man-Made Materials*, Dr. Pavla Tesinova (Ed.), 121-162.
- Sevencan, G. (2011). 1x1 Rib Örgü Yapısındaki Karbon ve Cam Elyafından Elde Edilen Hibrit Kompozit Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak.
- Sewench N.R. ve Samah M.H (2013). Characteristic of Hybrid Chestnut Shell Fillers/Epoxy Composite. *Engineering and Technology Journal*, 31(3), 368-380.
- Strengl V., Popelkova D. ve Grygar M.T. (2014). Composite Pigments Based on Surface Coated Kaolin and Metakaolin. *Applied Clay Science*, 2, 149-158.
- Subaşı, B. (2004), Kestane Sektör Profili, *İstanbul Ticaret Odası, Etüt ve Araştırma Şubesi Raporu*, İstanbul.
- Şahin, Y. (2006). *Kompozit Malzemelere Giriş*. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 424.
- Vasiliev V.V. ve Morozov, E.V. (2001). *Mechanics and Analysis of Composite Materials*. Elsevier Science Ltd.
- Warnes J., Witt M., Anderson R., Shar S. (2015). Advances in Utilizing Whole Trees for Composites. *Proceedings of Scientific Session 90 XXII IUFRO World Congress*, 12 Ağustos, Avustralya, 42-45.
- Wu C.S. ve Liao H.T. (2014). The mechanical properties, biocompatibility and biodegradability of chestnut shell fibre and polyhydroxyalkanoate composites. *Polymer Degradation and Stability*, (99), 274-282.
- Yağcı S., Altan A., Göğüs F. ve Maskan M. (2006). Gıda Atıklarının Alternatif Kullanım Alanları, *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, Bolu, 499-502.
- Yılmaz E., (2013). Epoksi/Kaolin Kompozitlerinin Hazırlanması ve Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Zahrabi, A. A. (2009). Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Zegeye, A., Yahaya, S., Fialips, C. I., White, M. L., Gray, N. D., ve Manning, D. A. C. (2013). Refinement of industrial kaolin by microbial removal of iron-bearing impurities. *Applied Clay Science*, 86, 47–53.
- Zor, M. (2018). *Kompozit Malzemelerle İlgili Genel Bilgiler*. Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir.

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Günce ALP
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa – 06.06.1988

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

2015 / Ar-ge Laboratuvarı / FİSTAŞ Fantezi İplik San. Ve Tic. A.Ş.
2014 / Kalite Kontrol Laboratuvarı / FİSTAŞ Fantezi İplik San. Ve Tic. A.Ş.

Akademik Çalışmalar

Bildiri

Akpinar Borazan A., Alp G., (2016). *The Influence of Chemical Pretreated Chestnut Wastes and Pinecones Filler Content on Properties of Polyester Composites*. 1st International Congress, İstanbul, Turkey.

Akpinar Borazan A., Alp G., (2017). *The Chestnut Shell/Kaolin -Reinforced Hybrid Polyester Composite: Preparation, Characterization*. 15th International Conference on Environmental Science and Tehnology, Rhodes, Greece.

Alp G., Akpinar Borazan A., (2017). *Influence of The Addition Of Increasing Amount Chestnut Shell to Bentonite/Polyester Composites*. 3rd International Conference on Science, Ecology and Technology, Rome, Italy.

Makale

Akpinar Borazan A., Alp G., (2018). *Influence of The Addition Chestnut Shell to Kaolin/Polyester Composites*. Journal of Engineering Research and Applied Science. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 12(2).

Akpinar Borazan A., Açıkgöz Ç., Gökdaı D., Alp G., (2017). *The Influence of Chemically Pre-Treated Chestnut Waste And Pinecone Filler Content on The Properties of Polyester Composites*. *Environment and Ecology Research*, 5(3).

Tarih: 20/01/2020