



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BADEM KABUĞU TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

TARIK CAN

(526617012)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın BOZTOPRAK

İSTANBUL, 2021



MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES



**INVESTIGATION OF MECHANICAL
PROPERTIES OF BIO-COMPOSITE
MATERIALS REINFORCED WITH
ALMOND SHELL**

TARIK CAN

(526617012)

MASTER THESIS

Department of Polymer Science and Technology

Thesis Supervisor

Asst. Prof. Yalçın BOZTOPRAK

ISTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Tarık CAN'ın “**Badem Kabuğu Takviyeli Biyokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**” başlıklı tez çalışması, 27 Eylül 2021 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın BOZTOPRAK (Danışman)

Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR (Üye)

Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Murat YAZICI (Üye)

Marmara Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 2021 tarih ve sayılı kararı ile Tarık CAN'ın Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES

Tarık CAN, a Master of Science student of Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, defended his thesis entitled “**Investigation Of Mechanical Properties Of Bio-Composite Materials Reinforced With Almond Shell**”, on Sep 27, 2021 and has been found to be satisfactory by the jury members.

Jury Members

Asst.Prof. Yalcin BOZTOPRAK (Advisor)

Marmara University

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR (Jury Member)

Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Murat YAZICI (Jury Member)

Marmara Üniversitesi

APPROVAL

Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences Executive Committee approves that Tarık CAN be granted the degree of Master of Science in Department of Polymer Science and Technology on 2021. (Resolution no:).

Director of the Institute

Prof. Dr. Bulent EKICI

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yalçın BOZTOPRAK'a lisansüstü tez çalışmalarım boyunca desteklerini ve tavsiyelerini eksik etmediği ve tüm aşamalarda bana her zaman yardımcı olduğu için en içten teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Lisansüstü tez çalışmamın testlerinin yapılmasında laboratuvar cihazlarının kullanımında yardımcı oldukları için Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇAKIR'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tez sürecinde beni motive eden ve manevi desteğini her zaman hissettiğim sevgili arkadaşım Verda ZİNCİRKIRAN'a ve diğer tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak beni bugünlere getiren ve maddi-manevi desteklerini bir an bile eksik etmeyen ailem Sema CAN, Zeki CAN, Gamze CAN ve Mehmet Fırat CAN'a beni sevgileriyle destekledikleri için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2021

Tarık CAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
SEMBOLLER	v
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Güncel Çalışmalar	2
1.2. Kompozit Malzemeler.....	5
1.2.1. Kompozit malzemelerin tarihçesi	5
1.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları	6
1.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	7
1.2.4. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	8
1.3. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri	12
1.3.1. Paralel yük altında elastik modülü.....	13
1.3.2. Dik yük altında elastik modülü	15
1.4. Polimer Matrisli Kompozitler	16
1.4.1. Polimer matrisli kompozitlerin sınıflandırılması	16
1.4.2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri.....	19
1.5. Takviye Malzemeleri	22
1.5.1. Karbon lifi.....	23
1.5.2. Cam lifi	23
1.5.3. Doğal takviye malzemeleri	24
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
2.1. Malzemeler.....	27
2.2. Yöntem.....	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4. SONUÇLAR	46
KAYNAKÇA	47
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÖZET

BADEM KABUĞU TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Çevre bilincindeki artış, takviye malzemesi olarak doğal liflerin kullanıldığı biyokompozit malzeme üretme çalışmalarına hız kazandırmıştır. Doğal lifler düşük maliyet, toksik olmama, düşük yoğunluklu olma ve geri kazanılabilme özellikleriyle dikkat çekmektedir. Biyokompozit malzemelerde kullanılan doğal lifler yerel kaynaklardan yararlanmaya ve çevresel etkileri göz önünde bulundurarak malzemeler ve teknolojiler geliştirmeye olanak tanımaktadır.

Bu tez çalışmasında, badem kabuğu ile takviyelendirilmiş green epoksi matrisli biyokompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu amaç için öncelikle badem kabukları, uygun sıcaklık ve sürede kurutucu fırın içerisinde kurutulmuştur. Kurutulmuş olan badem kabukları, öğütücü vasıtasıyla 45 mikron'dan daha küçük boyutlara gelecek şekilde öğütülmüştür. Boyut tasnifini yapabilmek adına Elek Sarsma Cihazı ile elek analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca badem kabuklarına yüzey modifikasyonu işlemi uygulanmıştır.

%5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarındaki badem kabuğu partikülleri ile epoksi reçinesi karıştırılarak biyokompozit numuneler elde edilmiştir. Elde edilen biyokompozit numuneler yoğunluk, darbe, üç nokta eğme, çekme, sertlik ve aşınma testine tabi tutulmuştur, SEM ve FTIR analizleri yapılmıştır.

Badem kabuğu oranının artmasıyla biyokompozit numunelerin tamamında (BK1 ve BK2) sertliğin ve yoğunluğun arttığı görülmüştür. Badem kabuğu takviyesinin biyokompozit malzemenin eğilme ve çekme dayanımını arttırdığı, darbe ve aşınma dayanımını ise azalttığı görülmüştür. MDI ile yüzey modifikasyonu yapılmış badem kabuğu içeren biyokompozit malzemede ise darbe dayanımının arttığı, diğer mekanik özelliklerin ise azaldığı gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Biyokompozit, badem kabuğu, epoksi reçine, yeşil epoksi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BIO-COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH ALMOND SHELL

The increase in environmental awareness has accelerated the efforts to produce biocomposite materials using natural fibers as reinforcement material. Natural fibers attract attention with their low cost, non-toxicity, low density and recyclability. Natural fibers used in biocomposite materials allow to benefit from local resources and to develop materials and technologies considering environmental impacts.

In this thesis, the mechanical properties of green epoxy matrix biocomposite materials reinforced with almond shell were investigated. For this purpose, first of all, almond shells were dried in a drying oven at the appropriate temperature and time. The dried almond shells were ground to sizes smaller than 45 microns by means of a grinder. In order to be able to classify the size, sieve analysis was carried out with the Sieve Shaking Device. In addition, surface modification process was applied to almond shells.

Biocomposite samples were obtained by mixing 5, 10, 15, 20 and 25% almond shell particles with epoxy resin. Obtained biocomposite samples were subjected to density, impact, three-point bending, tensile, hardness and abrasion tests, SEM and FTIR analyzes were made.

It was observed that the hardness and density increased in all of the biocomposite samples (BK1 and BK2) with the increase of the almond shell ratio. It has been observed that almond shell reinforcement increases the flexural and tensile strength of the biocomposite material and decreases the impact and abrasion resistance. It was observed that the impact resistance increased and other mechanical properties decreased in the biocomposite material containing almond shell surface modified with MDI.

Key Words: Bio-composite, almond shell, epoxy resin, green epoxy

September 2021

Tarık CAN

SEMBOLLER

A	: Kompozit malzemenin toplam kesit alanı
A_f	: Lifin kesit alanı
A_m	: Matrisin toplam kesit alanı
E_1	: Kompozit malzemenin life paralel yöndeki elastiklik modülü
E_2	: Kompozit malzemenin life dik yöndeki elastik modülü
E_f	: Lifin elastik modülü
P	: Uygulanan yük
P_f	: Lif malzemesinin yoğunluğu
P_m	: Matris malzemesinin yoğunluğu
V_f	: Lifin kompozitteki hacim oranı
V_m	: Matrisin kompozitteki hacim oranı
W_f	: Lif malzemesinin ağırlığı
W_m	: Matris malzemesinin ağırlığı
σ_1	: Ortalama gerilme
ρ_c	: Kompozit malzemenin yoğunluğu
ρ	: Numunenin yoğunluğu
A	: Numunenin havadaki ağırlığı
B	: Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı
ρ_0	: Yardımcı sıvının yoğunluğu
ρ_L	: Havanın yoğunluğu

KISALTMALAR

EDS	: Energy Dispersive Spectroscopy
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
PE	: Poli Etilen
FRP	: Fiber Reinforced Polymer
MMK	: Metal Matrisli Kompozitler
PET	: Poli Etilen Teraftalat
PMK	: Polimer Matrisli Kompozitler
PP	: Poli Propilen
SEM	: Scanning Electron Microscopy
SMK	: Seramik Matrisli Kompozitler
YM	: Yüzey Modifikasyonu
BK1	: Yüzey Modifikasyonsuz Badem Kabuğu İçeren Malzeme
BK2	: Yüzey Modifikasyonlu Badem Kabuğu İçeren Malzeme

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Matris ve takviye elemanı.....	5
Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	8
Şekil 1.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	10
Şekil 1.4. Parçacık Takviyeli Kompozitler.....	11
Şekil 1.5. Tabakalı Kompozitler.....	11
Şekil 1.6. Karma (Hibrid) Kompozitler.....	12
Şekil 1.7. Lif eksenine paralel yönde yük uygulanan kompozit malzeme..	15
Şekil 1.8. Lif eksenine dik yönde yük uygulanan kompozit malzeme..	15
Şekil 1.9. Termoplastik Polimer Zincir Yapısı.....	17
Şekil 1.10. Termoset Polimer Zincir Yapısı.....	18
Şekil 1.11. Polimer matrisli kompozitlerin üretim aşamaları.....	20
Şekil 1.12. El Yatırma Yöntemi.....	21
Şekil 1.13. Püskürtme Yöntemi.....	21
Şekil 1.14. Pres (Basınçlı) Kalıplama Yöntemi.....	22
Şekil 1.15. Karbon Lifi.....	23
Şekil 1.16. Cam Lifi.....	24
Şekil 1.17. Badem Kabukları.....	25
Şekil 2.1. Green epoksi ve sertleştirici	27
Şekil 2.2. Badem kabuğu unu.....	28
Şekil 2.3. Badem kabuğu SEM görüntüsü.....	28
Şekil 2.4. Vakumlu fırın.....	29
Şekil 2.5. Elek Sarsma Cihazı.....	29
Şekil 2.6. Mekanik karıştırıcı.....	30
Şekil 2.7. Ultrasonik homojenizatör	30
Şekil 2.8. Kürlenmiş biyokompozit malzeme	31
Şekil 3.1. Shore D sertlik cihazı.....	32
Şekil 3.2. Shore D yüzey sertlik sonuçları	33
Şekil 3.3. Izod darbe dayanımı test cihazı.....	34
Şekil 3.4. Izod darbe dayanımı sonuçları	34
Şekil 3.5. Zwick Z010 çekme cihazı	35
Şekil 3.6. Çekme dayanımı ve % uzama test sonuçları.....	36
Şekil 3.7. 3 nokta eğme test sonuçları.....	39
Şekil 3.8. Yoğunluk test kiti ve hassas terazi.....	41
Şekil 3.9. Yoğunluk sonuçları.....	41
Şekil 3.10. Yüzey modifikasyonu yapılmamış ve yapılmış badem kabuğu FTIR analizi.....	42
Şekil 3.11. Yüzey Modifikasyonu yapılmamış %5 badem kabuklu malzeme SEM	43

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. FTIR değerleri.....	25
Tablo 3.1. BK1 ve BK2 numunelerinin çekme testi sonuçları.....	35
Tablo 3.2. 3 nokta eğme test sonuçları	38
Tablo 3.3. Aşınma test sonuçları..	40



1. GİRİŞ

Global endüstride birçok alanda sıklıkla polimer kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler kompostlanabilir olmadıkları için kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra doğada ciddi tahribata sebebiyet vermektedirler.

Bu tahribatı önlemek amacıyla birçok endüstriyel ürün, geri dönüştürülebilir biyokompozit malzemelerden oluşmaya başlamıştır. Son yıllarda hem akademik çalışmalar hem de endüstriyel ürünler biyokompozit malzemeleri odağına almıştır. Doğa dostu sürdürülebilir ürünler üretebilmek için biyokompozit malzemeler önemli bir alternatiftir.

Kompozit malzemelerde takviye olarak doğal dolgu maddelerinin kullanılması, daha az sanayileşmiş ülkelerde yerel kaynaklardan yararlanma ve çevresel etkileri göz önünde bulundurarak malzeme ve teknolojiler geliştirmeye olanak tanımaktadır. [1]

Polimer kompozitler ve doğal dolgu maddeleri, çevreye minimum etki eden düşük maliyetli malzemelerdir ve polimer dolgu maddeleri matris içerisinde homojen olarak dağıldığında ara yüzeyde iyi yapışma sağlanır ve üstün mekanik özellikler elde edilir. Kompozit malzemenin etkinliği, büyük ölçüde polimer matrisinden (sürekli faz) dolgu maddelerine (dağılmış faz) gerilmeyi transfer etme yeteneğine bağlıdır. Bununla birlikte doğal dolgu maddelerinin birçoğunun hidrofilik yapıya sahip olması, polimer zincirleri ile uygun bir homojenizasyon elde etmekte zorluklara yol açması, iyi yapışma olmadığı takdirde dolgu maddeleri ve polimer matrisi arasında zayıf bir yapışma sağlaması iyi bilinmektedir. [2]

Jüt, muz lifi, ceviz kabuğu, fındık kabuğu gibi çeşitli doğal dolgu maddeleri, polimer kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Doğal dolgu maddeleri ile takviyelendirilmiş kompozitlerin mekanik özellikleri; partiküllerin dağılma durumuna, ara yüzey yapışmasına, partikül yüzey morfolojisine ve partikül miktarına bağlıdır. Parçacık büyüklüğü mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. [3]

Ilıman bölgelerde yetiştirilen bademin kabuğu endüstriyel olarak kullanılabilir. Her yıl dünyada yaklaşık 1 milyon tonun üstünde badem kabuğu atık olarak çıkmaktadır. Lignoselülozik bir yapıya sahip olan badem kabuğu, biyokompozit malzemelerde kullanılabilecek doğal bir takviye malzemesidir. [4]

Toprağa gömülen ya da yakılan badem kabuklarını endüstriyel bir hammadde olarak kullanmak döngüsel ekonomiye katkı sağlayabilir. Tarım atıklarının yakılması hem daha faydalı kullanılabilecek bir hammaddenin israf edilmesi hem de hava kirliliğine neden olması anlamına gelmektedir. [5]

1.1. Güncel Çalışmalar

Mevcut küresel durum, sentetik ve tehlikeli malzemelerin değiştirilmesinde yardımcı olan hayati avantajları nedeniyle yeni biyobazlı malzemelerin geliştirilmesinde büyük bir etkiye sahiptir. Çevre bilincinin artışıyla polimer kompozitler için alternatif takviye malzemeleri olarak doğal lifler kullanılmaya başlamıştır. Çevre duyarlılığı nedeniyle doğal elyaflarla takviyelendirilmiş yeşil kompozitler kullanılmaktadır. Badem kabuğu ile takviyelendirilmiş biyokompozit malzemelerin mekanik özelliklerine referans olabilecek güncel akademik çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

Orue A. ve arkadaşları biyokompozit malzemeler hazırlamak için ağırlıkça %10 epoksitlenmiş keten tohumu yağı ile plastikleştirilmiş polilaktik asit polimere farklı miktarlarda ceviz kabuğu unu eklemiştir. Bu çalışmanın yeniliği, alkali ile işlenmiş ceviz kabuğu unu ve plastikleştirilmiş PLA matrisine dayalı biyokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonudur. Alkali muamelesi, ceviz kabuğunun selülozik olmayan bileşenlerinin büyük kısmını ortadan kaldırarak termal stabiliteyi ve kristallik indeksini geliştirmiştir. Ayrıca alkali muamelesi, ceviz kabuğu ile plastikleştirilmiş PLA matrisi arasındaki yapışmayı geliştirmiş ve sonuç olarak kompozitin gerilme mukavemeti değeri, muamele edilmemiş muadiline kıyasla yaklaşık %50 artmıştır. Bununla birlikte işlenmiş ceviz kabuğuna sahip biyokompozitlerin gerilme mukavemeti ve Young modülü değerleri, dolgu içeriğine bakılmaksızın neredeyse sabit kalmıştır. Ceviz kabuğunun eklenmesinden sonra kopma uzaması azalmasına rağmen, hazırlanan biyokompozitler plastikleştirilmemiş PLA polimerine benzer süneklik göstermiştir. [6]

El Moumen A. ve arkadaşları argan kabuğunun agregalarına dayalı olarak polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin 3 boyutlu sayısal simülasyonlarını geliştirmişlerdir. Mikroyapı, polipropilen (PP) matrisine ve doğal agregalara karşılık gelen iki fazdan oluşmaktadır. İmalat sürecinde argan kabuğunun öğütülmesi nedeniyle agrega şekilleri, kırılmış agregalar yüzeylerine göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Yayınlanan çalışmaların çoğu, algoritma formülasyonlarındaki doğal basitleştirme nedeniyle bu tür kompozitlerin mekanik davranışını sayısal olarak incelemek için küresel veya elipsoidal formların kullanıldığını göstermektedir. Ancak basit mikroskobik temelli bu kompozitlerin gerçek mikro yapıları, agregaların şeklinin küresel değil, çokyüzlü bir form aldığını göstermektedir. Bu çalışmada mikro yapı Poisson çokyüzlü ve PP matrisinin bir kombinasyonu olarak tanımlanmış ve modellenmiştir. Sayısal modelde elde edilen agrega morfolojisi, genellikle PP matrisinin takviyesi olarak kullanılan birçok argan kabuğu tozununkine benzerdir. Bu teknik, %28'e kadar farklı donatı hacmi fraksiyonlarına sahip modellerin oluşturulmasına izin vermektedir. Bu kompozitlerin mekanik özelliklerini tahmin etmek için sayısal homojenizasyon tekniğini kullanmışlardır. 3D çok yüzlü model ile elde edilen sayısal sonuçları, ilgili deneysel veriler ve literatürde bildirilen analitik modellerle karşılaştırmışlardır. Biyokompozitlerin etkili elastik özelliklerinin tahmin edilmesinde en çok kullanılan mikromekanik şemaların performansı tartışılmıştır. [7]

Saindane U.V. ve arkadaşları, çeşitli araştırmacılar tarafından doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin geliştirilmesi için kullanılan çeşitli üretim yöntemlerini ortaya koymuşlardır. Sürtünme dayanımı yüksek malzemeler; otomotiv, havacılık ve endüstriyel fren sistemlerinde uygulamaya sahiptir. Kinetik enerji, sürtünme malzemesinin sağladığı sürtünme ile termal enerjiye dönüştürülür. Bu görevi yerine getirmek için sürtünme malzemesinin tüm çalışma koşullarında sabit sürtünme katsayısına sahip olması gerekir. Isıya ve suya dayanıklı olmalıdır. Yüksek termal kararlılığa ve düşük aşınma oranına sahip olmalıdır. Bu gereksinimleri karşılamak için kompozit sürtünme malzemeleri genellikle deneyime veya yeni bir formülasyon yapmak için bir deneme yanılma yöntemine dayalı olarak tasarlanır. Bağlayıcıların, liflerin, dolgu ve katkı maddelerinin seçimi, sürtünmeli kompozitin yeni formülasyonuna karar vermede anahtar rol oynar. Saindane ve arkadaşları piyasada bulunan sürtünme malzemeleri ile üretilen malzemeleri karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sürtünme malzemeleri hakkında fikir vermektedir. [8]

Vinod A. ve arkadaşları biyofiberler, biyopolimerler, biyofilmler ve biyokompozitlerdeki sınırlamaların üstesinden gelmek için işleme tekniklerindeki, karakterizasyonlardaki ve yöntemlerdeki ilerlemeyi sunan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu, araştırmacılara ve bilim adamlarına biyomedikal, ticari ve mühendislik sektörlerinde potansiyel kullanımları için gelişmiş biyobazlı malzemeler ve kompozitler hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. İnşaat ve mühendislik alanında yenilenebilir biyobazlı malzemelerin kullanılması, daha yeşil ve daha temiz bir çevreye yol açacak şekilde israfları, çöp sahalarını ve toksik emisyonları azaltarak sürdürülebilirliği arttıracaktır. [9]

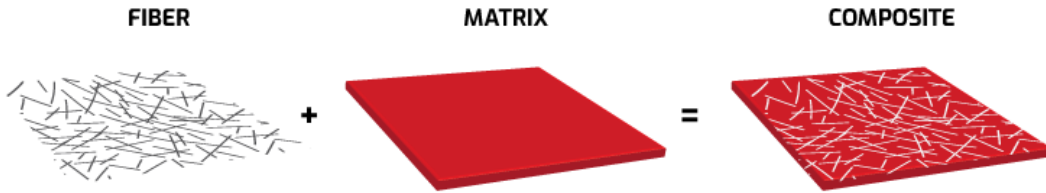
Ramos M. ve arkadaşları iki farklı uyumlaştırıcı, maleinize keten tohumu yağı ve Joncryl ADR 4400 içeren ve içermeyen ağırlıkça %10 ve 25 oranında INZEA F2 biyopolimer ve badem kabuğu tozu (ASP) içeren polyester bazlı biyokompozitleri, bir ekstrüderde ergiyik karıştırarak ve ardından enjeksiyonla kalıplamaya hazırlayarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. ASP'nin ince (125–250 m) ve kaba (500–1000 m) frezeleme boyutlarının etkisini de değerlendirmişlerdir. Ağırlıkça %25'de hem ince hem de kaba ASP ilavesiyle elastik modülünde bir gelişme gözlemlenmiştir. Maleinize keten tohumu yağı ve Joncryl ADR 4400'ün eklenmesi, düşük dolgu maddesi içeriklerinde bir miktar uyumlaştırma etkisi oluştururken daha yüksek miktarda ASP, ara yüzeyde bazı boşluklar oluşmasına sebep olmuştur. Lignoselülozik dolgu maddesinin nispeten düşük termal stabilitesi ve parçalanması ile ilgili olan termal stabilitede bir miktar azalma gösterilmiştir. Eklenen modifiye ediciler, nihai biyokompozitlere bir miktar arttırılmış termal direnç sağlamıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetri ve termogravimetrik analizle yapılan termal analiz, polimer matrisinde iki farklı polyesterin varlığını ortaya koymuştur; bunlardan birinde kompostlama koşulları altında ağırlıkça % 25 ve % 10 içeren biyokompozitler için 28 ve 90 gün sonra tam parçalanma gözlenmiştir. Yapılan çalışmada geliştirilen biyokompozitlerin, yüksek dolgu içeriklerinde kompostlanabilir malzemeler olarak kullanım potansiyeline sahip olduğu sonucuna varmışlardır. [10]

Boujelben M. ve arkadaşları kimyasal olarak işlenmemiş ve uyumsuz badem kabuğu tozu (ASP) partikülleri ile güçlendirilmiş doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE) bazlı biyokompozitlerin kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Biyokompozit malzemeler, polimer tozunun katı halde benzer yoğunluğa sahip ASP partikülleri ile karıştırılmasına dayanan bir işlem ile hazırlanmıştır. Karıştırma için termokompresyon tekniği kullanılmıştır. LLDPE/ASP kompozitlerinde ASP'nin kütle oranı, ağırlıkça %10

ile ağırlıkça %40 arasında değişmiştir. ASP ağırlık yüzdesinin biyokompozitlerin mekanik ve yapısal özellikleri üzerindeki etkileri çekme, sertlik testleri ve ayrıca mikroskobik gözlemlerle araştırılmıştır. Polimer matris içinde ASP parçacıklarının homojen olarak dağılması, ağırlıkça %20'den az ASP için gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %20'den fazla ASP olduğunda dolgu maddesi partiküllerinin topaklaşması gözlemlenmiştir. Ayrıca ASP partikül oranı arttıkça biyokompozitlerin elastik modülünün arttığı, gerilme mukavemeti ve sünekliğin ise azaldığı sonucuna varılmıştır. [11]

1.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler en az iki farklı malzemenin birleşmesiyle oluşmaktadır. Bu malzemeler birbiri içerisinde çözünmeden bir araya gelmektedirler. Farklı özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesiyle özelliklerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Tek yapılı malzemede bulunmayan özellikler, kompozit malzemelerde biraraya getirilebilmektedir.



Şekil 1.1. Matris ve takviye elemanı.

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri diğer malzeme türlerinden farklılaşmaktadır. En az iki farklı yapıdan oluşması sebebiyle yöne göre değişik özellikler gösterebilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik ve kimyasal dayanımları oldukça iyidir. Hafif ve kullanım ömürlerinin uzun olması, birçok sektörde tercih edilmesini sağlamaktadır.

1.2.1. Kompozit malzemelerin tarihçesi

Kırılgan olan bazı malzemelere çok eski dönemlerden beri bitki lifleri ilave edilerek dayanım kazandırılmaktadır. Kerpiç evler iyi bir örnektir. Kerpicing dayanımını

artırabilmek için killi çamur içerisine bitki lifleri eklenmiştir. Ok ve yay gibi çeşitli savaş aletlerinde de bu yöntem kullanılmıştır. 19. yy'da sentetik taş plakalar yapılmıştır. Kompozit endüstrisindeki en önemli on yıl olarak kabul edilen 1930'lar, bugün hala kullanılan reçinelerin gelişimine öncülük etmiştir. 1935'te Owens Corning ilk cam elyafı tanıttı ve elyaf takviyeli polimer (FRP) endüstrisini başlattı. 1936'da doymamış polyester reçineleri patentlendi. Sertleşme özellikleri nedeniyle doymamış polyester reçineler, günümüzde imalatla reçineler için baskın seçimdir. 1938'de epoksiler gibi diğer yüksek performanslı reçine sistemleri de kullanıma sunuldu. 1961'de ilk karbon fiberin patenti alındı ve birkaç yıl sonra ticari olarak temin edilebilir hale geldi. Karbon fiberler, havacılık, otomotiv, spor malzemeleri ve tüketim malları gibi daha da fazla uygulamada kullanım için termoset parça sertliği/ağırlık oranlarını iyileştirdi. 1960'larda deniz pazarı, kompozit malzemelerin en büyük tüketicisiydi. 1990'ların ortalarına gelindiğinde kompozit malzemeler ana üretim ve inşaatla daha yaygın hale geldi. Metal ve mühendislik ürünü termoplastikler gibi geleneksel malzemelere uygun maliyetli bir alternatif olarak termoset kompozitler; cihaz, inşaat, elektrik ve ulaşım endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan bileşenlerdi.

1.2.2. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemelerin hayatımızda önemli bir yeri vardır. Araba, ev, çeşitli eşyalar, borular ve birçok farklı sektörde bu malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin birçok yararı vardır. Öne çıkan önemli özellikleri hafiflik, korozyona dayanım, esneklik ve dayanıklılıktır. Kompozit malzemeler, günümüzde kullanılan en dayanıklı malzemelerdendir. Uçaklarda, otomobillerde ve daha birçok araçta bu malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır.

Kompozitler anizotropiktir, yani malzeme özellikleri; takviye malzemelerinin yerleştirilme düzenine ve katmanlarının sayısına bağlı olarak değişmektedir. Bu, nihai ürünün özelliklerini sağlayabilmeleri için tasarımcılara mühendislik esnekliği sağlar. Mukavemet söz konusu olduğunda yapısal tasarımı etkileyen dört ana faktör vardır: özgül dayanım, gerilme, kesme ve basma dayanımı. Mühendisler, tasarımcılar ve şartname hazırlayıcılar yüksek özgül mukavemete sahip malzemeler aramaktadır. Kompozit malzemeler hafif olmalarının yanı sıra dayanıklı malzemelerdir. Beton ve seramik gibi malzemeler genellikle daha yüksek basınç dayanımına, ancak daha düşük çekme

dayanımına sahiptir. Tersine, kompozitler tipik olarak basınç dayanımlarından daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptir. Sıkıştırmada yüklenen kompozitler bükülebilir veya ezilebilir. Bu nedenle bir uygulama için seçilen belirli elyaf ve reçine kombinasyonu için sıkıştırma yüklemesini değerlendirmek ve formülasyonu buna göre ayarlamak önemlidir.

Elyaf takviyeli kompozitler, diğer malzemelerinkini aşan mükemmel ağırlık / mukavemet oranları sunar. Örneğin; karbon fiber takviyeli kompozitler çelikten yüzde 70, alüminyumdan yüzde 40 daha hafiftir. Hafif parçalar üretmek, çeşitli nedenlerle ulaşım, altyapı ve havacılık gibi endüstriler için kritik öneme sahiptir. Hafif kompozitlerin kullanımı ve montajı kolaydır, projelerdeki maliyetleri azaltabilir ve düzenlemelere ve standartlara uyumun sağlanmasına yardımcı olabilir.

Hafif kompozit malzemelerin en önemli özelliklerinden bir tanesi, bu malzemelerin taşınması ve montaj işleminin kolay yapılabilmesidir.

Kompozit malzemeler ile hazırlanan ürünler, şiddetli farklı sıcaklık koşullarına karşı uzun vadede mukavemet sağlar. Kompozit malzemeler sıklıkla dış mekânlar, kimyasal işleme uygulamaları ve diğer zorlu ortamlar için uygun malzemelerdir. Polimer matrisli kompozitler korozyona maruz kalmaz. Yıllarca kimyasal üretim tesislerinde kullanılabilen polimer kanal sistemlerinin birçok örneği vardır.

Kompozit yapılar son derece uzun bir ömre sahiptir. Bu, düşük bakım gereksinimleriyle birleştirildiğinde kompozitler birçok uygulama için tercih edilen malzeme haline gelmektedir.

1.2.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozit malzemeler günümüzde birçok sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Cihaz endüstrisi için termoset kompozitler; kurutucularda, buzdolaplarında, dondurucularda, ocaklarda, fırınlarda, bulaşık makinelerinde kontrol panelleri, tutamaklar, düğmeler, havalandırma kaplamaları, yan kaplamalar, motor gövdeleri ve diğer birçok bileşen için kullanılır.

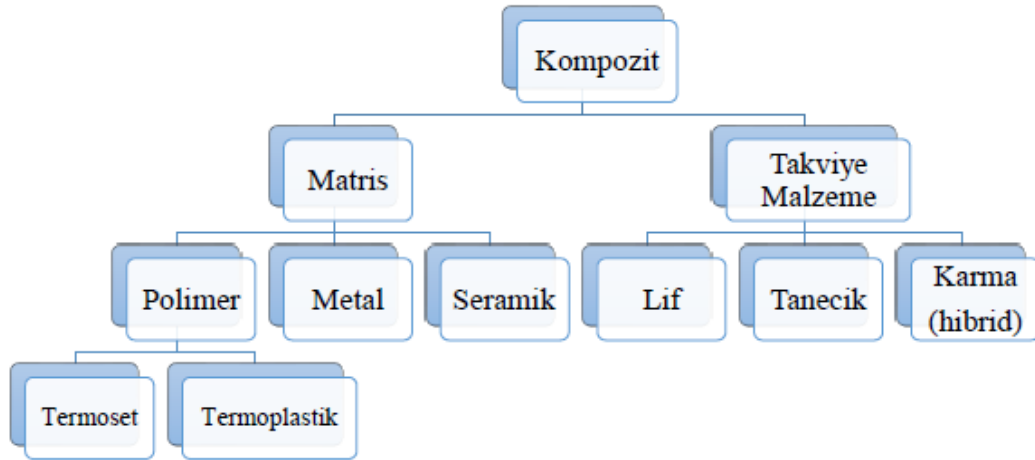
Kompozitler; kimyasal işleme tesisleri, kâğıt hamuru ve kâğıt dönüştürme, petrol ve gaz rafinerileri ve su arıtma tesisleri gibi aşındırıcı ortamlardaki uygulamalar için de idealdir. Yaygın uygulamalar arasında fanlar, ızgaralar, tanklar, kanallar, davlumbazlar, pompalar

ve dolaplar bulunur. Ark ve iz direnci de dahil olmak üzere güçlü dielektrik özelliklere sahip termoset bileşenleri; trafo merkezi ekipmanı, mikrodalga antenler, kutup hattı donanımı ve baskılı kablolama panolarında da tercih edilmektedir. Uygulamalar ve bileşenler; ana şalter, motor kontrolleri, ayırıcı izolatörler, kontrol sistemi bileşenleri, devre kesiciler, ark olukları, ark kalkanları, terminal blokları, terminal panoları, ölçüm cihazları, veri yolu destekleri ve aydınlatma bileşenlerini içerir.

Korozyon direnci ve hafiflik özellikleri ile deniz kompozit uygulamaları, askeri, ticari ve eğlence amaçlı tekneler ve gemiler için tekne gövdeleri, perdeler ve diğer bileşenleri içerir. [12]

1.2.4. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemenin çeşidine göre sınıflandırılabilir. 3 çeşit matris vardır: polimer, seramik ve metal. Kullanılan takviye malzemesine göre de 3'e ayrılır: tanecik katkı, lif katkı ve hibrit kompozit malzemeler. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 1.2'de özetlenmiştir.



Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.

Kompozit malzemeler en az iki farklı yapıdan oluşmaktadır. Bir yapı matris malzeme görevi görüyorken diğer yapı takviye malzemesi görevi görmektedir.

Kompozit malzemelerde kullanılabilecek en avantajlı malzeme, epoksi reçinesidir. Metal ve seramiklerin sırasıyla ağırlık ve kırılma dezavantajları vardır. Bu nedenle kompozit malzeme üreticileri çoğunlukla polimer matris malzemesi kullanırlar [13].

1.2.4.1 Matris malzeme cinsine göre sınıflandırma

a) Metal matrisli kompozitler (MMK)

Metal matrisli kompozitler, şu anda akademik mecrada geniş bir ilgi uyandırır da plastik muadilleri kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır. Metal matrisler, polimer muadilleri tarafından sunulanlardan daha yüksek mukavemet, kırılma tokluğu ve sertlik sunar. Polimer kompozitlere göre korozif ortamda yüksek sıcaklığa dayanabilirler. Çoğu metal ve alaşım matris olarak kullanılabilir ve bunlar belirli bir sıcaklık aralığında kararlı olması gereken ve reaktif olmayan takviye malzemeleri gerektirir. Bununla birlikte malzeme seçimi için yol gösterici kriter, esas olarak matris malzemesine bağlıdır. Hafif metaller, sıcaklık uygulaması için matris oluşturur ve yukarıda belirtilen nedenlere ek olarak takviyeler yüksek modül ile karakterize edilir. [30].

b) Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Seramik malzemeler, sert ve kırılğan malzemelerdir. Seramikler genel olarak çok güçlü iyonik bağ ve bazı durumlarda kovalent bağ sergileyen katı malzemeler olarak tanımlanabilir. Yüksek ergime noktaları, iyi korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda stabilite ve yüksek basınç dayanımı gibi özellikler, seramik esaslı matris malzemeleri 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozulmayan bir yapısal malzeme gerektiren uygulamalar için ideal seçim haline getirir. Doğal olarak seramik matrisler, yüksek sıcaklık uygulamaları için bariz seçimdir.

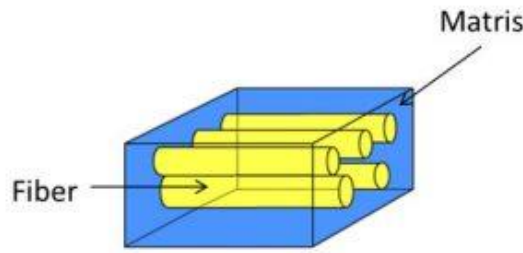
c) Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Polimer matrisli kompozitler, matrisin bir termoset veya bir termoplastik polimer olmasına göre sınıflandırılabilir. Termoset matrisli kompozitler geleneksel olarak çok daha yaygındır ancak termoplastik matrisli kompozitler şu anda hızlı bir gelişim sürecinden geçmektedir. Termoplastik matrisli kompozitlerin termoset matrisli kompozitlere kıyasla avantajları arasında daha düşük üretim maliyetleri, kütleme olmaması, sınırsız raf ömrü, yeniden işleme, düşük nem içeriği, kaynaklanabilirlik vb. özellikler yer alır. Termoplastik kompozitlerin bazı dezavantajları ise yüksek viskoziteye ve yüksek işleme sıcaklıklarına sahip olması ve fiber veya parçacık takviyeli malzemelerde yüzey işlemleri gerçekleştirme ihtiyacıdır. [31].

1.2.4.2. Takviye Malzeme Cinsine Göre Sınıflandırma

a) Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf takviyeli polimerler, aynı zamanda, askeri uygulamalarda olduğu kadar elektrikte de ileri teknoloji, yüksek kaliteli malzemeler olarak potansiyelleri ile bilinirler. Her ne kadar fiber takviyeli plastiklerin uygulamaları hala köprü güvertesi parçaları, kirişler, takviye çubukları, destek kabloları veya korkuluklar gibi güçlendirilmiş plastikten yapılmış daha küçük parçalarla sınırlıdır. Son yıllarda, nakliye ve elektronik uygulamalara ek olarak, bina ve inşaat için iyi bir şekilde çizilmek üzere güçlendirilmiş plastikler de kurulmuştur. Fiber Takviyeli Plastiklerin ulaşımındaki başlıca uygulama alanlarından bazıları otomotiv, havacılık, denizcilik ve diğer ilgili sektörlerdir. Enerji/elektronik sektöründe, yüksek gerilim anahtarları, kriyostatlar, kuru transformatörler ve daha pek çok şeyin imalatında kullanılır. Son zamanlarda, karbon fiber takviyeli polimerler, roket nozülleri gibi ileri teknik uygulamalar için de kullanılmaktadır. [14].

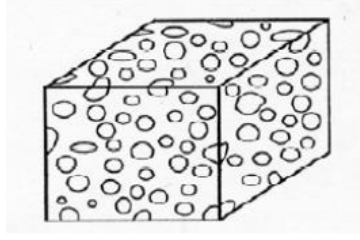


Şekil 1.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler.

b) Parçacık takviyeli kompozitler

Bir parçacığın uzun boyutu yoktur. Parçacık kompozitleri, ikinci bir malzemenin matrisinde dağılmış bir malzemenin parçacıklarından oluşur. Parçacıklar herhangi bir şekle veya boyuta sahip olabilir, ancak genellikle küresel, elipsoidal, çokyüzlü veya düzensiz şekillidir. Daha sonra katılaşan bir sıvı matrise eklenebilirler; yaşlanma sertleşmesi gibi bir reaksiyonla yerinde büyütülür; ya da birlikte preslenebilirler ve daha sonra bir toz prosesi ile aralarına yayılabilirler. Parçacıklar, matris ile uyumlu hale getirilmek üzere işlenebilir veya böyle bir işlem yapılmadan dahil edilebilirler. Parçacıklar çoğunlukla diğer malzemelerin eklenmesiyle ucuz malzemelerin

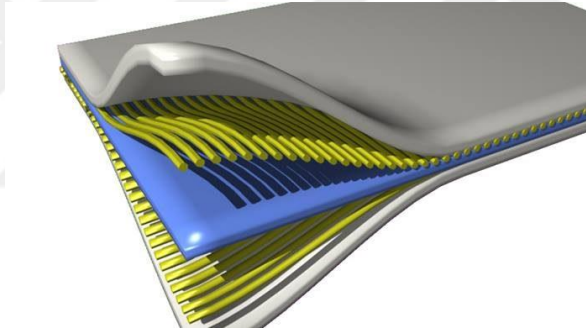
mukavemetini veya diğer özelliklerini geliştirmek için kullanılır. [32].



Şekil 1.4. Parçacık Takviyeli Kompozitler.

c) Tabakalı kompozitler

Tabakalı kompozitler sıklıkla kullanılan bir kompozit yapısıdır. Yüksek dayanıma sahip olan bu kompozit yapının diğer yapılardan daha avantajlı olduğu yönleri vardır. Özellikle nem ve sıcaklık dayanımlarıyla dikkat çekmektedirler. Hafif olmaları sebebiyle metal malzemelere göre daha çok tercih edilirler. [15].



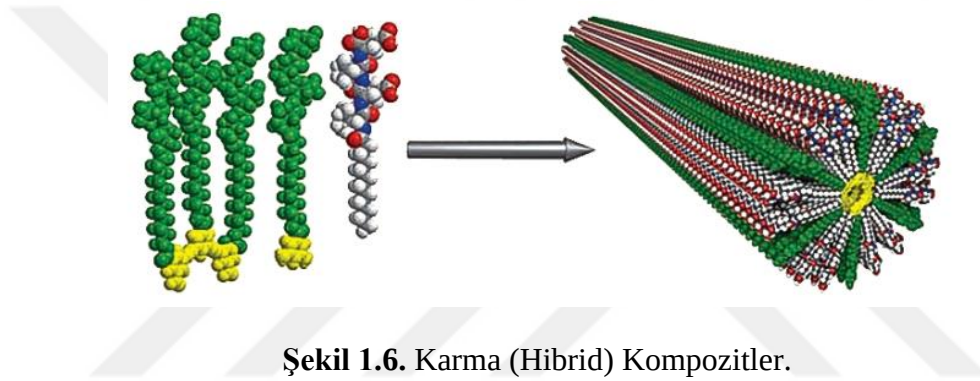
Şekil 1.5. Tabakalı Kompozitler.

d) Karma (Hibrid) kompozitler

Nispeten yeni bir lif takviyeli kompozit, tek bir matriste iki veya daha fazla farklı lif türünün kullanılmasıyla elde edilen hibrittir; melezler, yalnızca tek bir fiber tipi içeren kompozitlerden daha iyi bir özellik kombinasyonuna sahiptir. Çeşitli fiber kombinasyonları ve matris malzemeleri kullanılır, ancak en yaygın sistemde hem karbon hem de cam fiberler bir polimerik reçineye dahil edilir. Karbon fiberler güçlü ve nispeten serttir ve düşük yoğunluklu bir takviye sağlar; ancak, pahalıdır. Cam elyaflar ucuzdur ve karbon sertliğinden yoksundur. [33].

Cam-karbon hibriti daha güçlü ve daha sağlamdır, daha yüksek darbe direncine sahiptir ve karşılaştırılabilir tüm karbon veya tamamen cam takviyeli plastiklerden daha düşük bir

maliyetle üretilebilir. İki farklı lifin birleştirilmesinin birkaç yolu vardır, sonuçta genel özellikleri etkileyecektir. Örneğin, liflerin tümü hizalanabilir ve birbiriyle yakından karıştırılabilir; veya laminasyonlar, her biri birbiri ardına sıralanan tek bir fiber tipinden oluşan katmanlardan oluşan yapılabilir. Hemen hemen tüm melezlerde özellikler anizotropiktir. Hibrit kompozitler gerilim altında gerildiğinde, başarısızlık genellikle felaket değildir (yani aniden meydana gelmez). Karbon fiberler ilk başarısız olanlardır ve bu sırada yük cam fiberlere aktarılır. Cam elyafların arızalanması üzerine, matris fazı uygulanan yükü sürdürmek zorundadır. Nihai bileşik arıza, matris fazınıniki ile uyumludur. Hibrit kompozitler için temel uygulamalar, hafif arazi, su ve hava taşımacılığı yapısal bileşenleri, spor malzemeleri ve hafif ortopedik bileşenlerdir. [34].



Şekil 1.6. Karma (Hibrid) Kompozitler.

1.3. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Bir malzemeye yük uygulandığında gösterdiği davranışlara göre o malzemenin mekanik özellikleri belirlenir. Kompozit malzeme, uygun şekilde düzenlenmiş veya dağıtılmış iki veya daha fazla fiziksel ve kimyasal olarak farklı fazdan oluşan bir malzemedir. Kompozit bir malzeme, genellikle, bileşenlerinden herhangi biri tarafından izolasyonda gösterilmeyen özelliklere sahiptir. Bu tanıımı kullanarak, çok çeşitli mühendislik malzemelerinin bu kategoriye girdiği belirlenebilir. Örneğin beton, Portland çimentosu ve agrega karışımı olduğu için kompozittir. Fiberglas levha, bir polimer içine gömülmüş cam elyaflarından yapıldığından bir kompozittir. Birkaç farklı tipte fiberin tek bir matrise dahil edilmesi, hibrit biyo-kompozitlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Hibrit kompozitlerin davranışı, doğal avantajlar ve dezavantajlar arasında daha uygun bir dengenin olduğu ayrı bileşenlerin ağırlıklı toplamıdır. Ayrıca, iki veya daha fazla lif türü içeren bir hibrit kompozit kullanıldığında, bir lif türünün avantajları diğerinde eksik olanlarla tamamlanabilir. Sonuç olarak, uygun malzeme tasarımı ile maliyet ve

performansta bir denge sağlanabilir. Hibrit bir kompozitin özellikleri esas olarak lif içeriğine, tek tek liflerin uzunluğuna, oryantasyona, liflerin birbirine karışma derecesine, lifin matrise bağlanmasına ve her iki lifin düzenine bağlıdır. Hibrit kompozitin gücü ayrıca tek tek liflerin kopma gerilimine de bağlıdır. Maksimum hibrit sonuçları, lifler yüksek derecede gerinim uyumlu olduğunda elde edilir. [16].

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri diğer malzemelere göre farklılık gösterir. Çünkü diğer malzemeler çoğunlukla izotropiktir. [35]. Kompozit malzemeler ortotropik veya anizotropik özellik gösterebilirler. [25].

1.3.1. Paralel yük altında elastik modülü

Lif eksenine paralel yük uygulandığında matris ve lif uzama miktarları aynıdır. Aşağıdaki gibi gösterilebilir. [36].

$$\varepsilon_f = \varepsilon_m$$

ε_f : Lifin gerçek uzaması

ε_m : Matrisin gerçek uzaması

Lifteki gerilme matristen büyükse yükü lif taşımaktadır.

$$P_1 = \sigma_1 \cdot A \quad (1.1)$$

A: Kompozit malzemenin kesit alanı

P_1 : Yük

σ_1 : Ortalama gerilme

Kompozit malzemeye yük uygulanınca hem lif hem matris bu yükü taşır. Bu nedenle:

$$P = P_f + P_m \quad (1.2)$$

P_f : Life uygulanan yük

P_m : Matrise uygulanan yük

Homojen dağılmış lifler hacim ve alan oranlarının eşit olmasını sağlar.

$$P_f = \sigma_f \cdot A_f \quad (1.3)$$

$$P_m = \sigma_m \cdot A_m \quad (1.4)$$

A_f : Lif kesit alanı

A_m : Matris kesit alanı

$$P = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (1.5)$$

V_f : Lifin kompozit içindeki hacim oranı

V_m : Matrisin kompozit içindeki hacim oranı

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.6)$$

E : Elastiklik Modülü

ε : Gerçek uzama

$$E_1 = E_f \cdot (A_f / A) + E_m \cdot (A_m / A) \quad (1.7)$$

$V_f = A_f / A$ ve $V_m = A_m / A$ olduğu için;

$$E_1 = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (1.8)$$

Matris ve lifin hacim oranları 1 den büyük olamaz.

$V_m + V_f = 1$ 'dir. $V_m = 1 - V_f$ olduğundan:

$$E_1 = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad [37]. \quad (1.9)$$

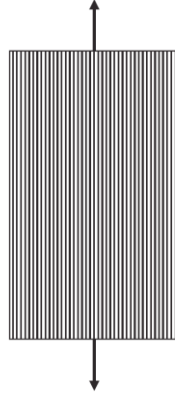
Denklemdaki semboller:

E_1 : Kompozit malzemenin elastiklik modülü,

E_f : Life ait elastiklik modülü,

E_m : Matrise ait elastiklik modülü

1.9 'daki denkleme Voight Denklemi adı verilmektedir [20].



Şekil 1.7. Lif eksenine paralel yönde yük uygulanan kompozit malzeme.

1.3.2. Dik yük altında elastiklik modülü

Şekil 1.8'deki gibi life dik kuvvet uygulanırsa lif ve matriste farklı gerilmeler gerçekleşir.



Şekil 1.8. Lif eksenine dik yönde yük uygulanan kompozit malzeme. [38].

Bundan dolayı:

$\sigma_f = \sigma_m = \sigma_2$ olur. Uzama miktarları ise:

$$\varepsilon_f = \sigma_2 / E_f \text{ ve } \varepsilon_m = \sigma_2 / E_m \quad (1.10)$$

şeklinde yazılabilir. Kompozit malzemedeki uzama miktarı, ε_2 ;

$$\varepsilon_2 = V_f \cdot \varepsilon_f + V_m \cdot \varepsilon_m \quad (1.11)$$

$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2$ değerini de yerine yazarak düzenlediğimizde;

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2 = E_2 \left((V_f \cdot \sigma_2) / E_f + (V_m \cdot \sigma_2) / E_m \right) \quad (1.12)$$

Veya:

$$E_2 = (E_f \cdot E_m) / (E_f \cdot V_m + E_m \cdot V_f) \quad (1.13)$$

$$(E_2 / E_m) = 1 / (V_m + V_f \cdot (E_m / E_f)) \quad (1.14)$$

1.13 teki denklem ‘‘REUSS denklemi’’ olarak bilinir. [20].

1.4. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matris kompozitler (PMK'ler), gadget bileşenlerinden çok çeşitli otomotiv aksesuarlarına kadar modern yaşamın neredeyse her alanında mevcuttur. Adından türetilen, yani birçok tekrar eden birim anlamına gelen polimerler, genellikle bir zincir oluşturmak için kimyasal olarak birbirine bağlanan karbon ve hidrojen dallarından oluşur. [38]. Kompozit olarak sıklıkla kullanılan polimerler ya termoplastik polimerler, termoset polimerler ya da elastomerlerdir. Ancak, mukavemet ve sertlik gibi bazı eksikliklerden muzdariptirler. Bu eksiklikleri gidermek için, mekanik özelliklerini geliştirmek için takviyeler polimer malzemelere entegre edilir. [16].

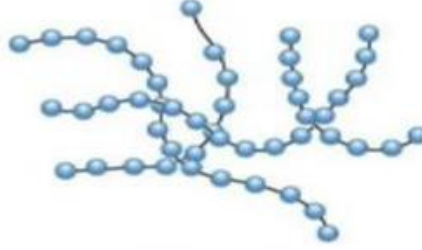
1.4.1. Polimer matrisli kompozitlerin sınıflandırması

Kompozit malzemelerde polimer matris malzemesi olarak termoplastik ve termoset polimerler kullanılmaktadır.

1.4.1.1. Termoplastik matrisli kompozitler

Termoplastik polimerler, fiziksel özelliklerini değiştirmeden kalıplanabilen, eritilebilen ve yeniden kalıplanabilen polimerlerdir. Termoplastik matris kompozitler, çok iyi darbe direnci ve hasar toleransı ile termosetlerden daha sert ve daha az kırılıgandır. Matris eritilebildiğinden, kompozit malzemelerin onarımı daha kolaydır ve kolayca yeniden kalıplanabilir ve geri dönüştürülebilir. Termoplastik kompozitler, termosetlerden daha az yoğundur ve bu da onları ağırlık açısından kritik uygulamalar için uygun bir alternatif haline getirir. Termoplastik kompozitlerin üretim süreci, plastiği eritmek ve lifleri

matrisle emprenye etmek için gereken yüksek sıcaklıklar ve basınçlar nedeniyle daha fazla enerji yoğunudur. Gerekli enerji, termoplastik kompozitleri termosetlerden daha maliyetli hale getirir. [39].



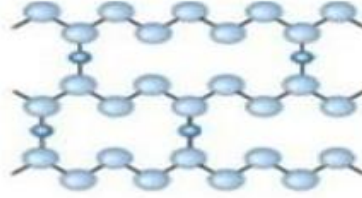
Şekil 1.9. Termoplastik Polimer Zincir Yapısı.

1.4.1.2. Termoset matrisli kompozitler

Termoset polimerler, katı bir formda kürlenmiş ve orijinal kürlenmemiş formlarına geri döndürülemeyen polimerlerdir. Termoset matrislerle yapılan kompozitler güçlüdür ve çok iyi yorulma mukavemetine sahiptir. Son derece kırılmandır ve düşük darbeye tokluğuna sahiptirler. Termoset matris termoplastikler gibi erimeyeceği için yaygın olarak yüksek ısı uygulamaları için kullanılırlar. Sıvı reçine ile çalışmak çok kolay olduğu için termoset kompozitler genellikle daha ucuz ve üretilmesi daha kolaydır. Termoset yeniden kalıplanmadığı veya yeniden şekillendirilemediği için termoset kompozitlerin geri dönüştürülmesi çok zordur; sadece kullanılan takviye lifi geri kazanılabilir. [17].

Termoset kompozit matrisler, polyesterleri, vinil esterleri, epoksileri, bismaleimidleri, siyanat esterleri, poliimidleri ve fenolikleri içerir. Epoksiler şu anda düşük ve orta sıcaklıklarda (275 °F'ye kadar) kullanılan baskın reçinelerdir. Bismaleimidler esas olarak 275–350 °F sıcaklık aralığında kullanılır. Çok yüksek sıcaklık uygulamaları için (550–600 °F'ye kadar), poliimidler genellikle tercih edilen malzemedir. Epoksilerle yaklaşık olarak aynı sıcaklıklarda kullanılabilen polyesterler ve vinil esterler, ticari uygulamalar için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır ancak düşük özelliklerinden dolayı yüksek performanslı kompozit matrisler için nadiren kullanılmaktadır. Siyanat esterleri, hem epoksiler hem de bismaleimidlerle rekabet etmek üzere tasarlanmış ve daha düşük nem emme ve çekici elektriksel özelliklerde bazı avantajlar sunan, ancak önemli ölçüde daha

yüksek bir fiyata bazı avantajlar sunan nispeten yeni bir reçine sınıfıdır. Fenolikler, olağanüstü duman ve yangın direnci sunan ve sıklıkla uçak iç bileşenleri için kullanılan yüksek sıcaklık sistemleridir. Yüksek kömür verimleri nedeniyle, karbon-karbon bileşenleri için ablatör ve öncü olarak da kullanılabilirler. [40].



Şekil 1.10. Termoset Polimer Zincir Yapısı.

a) Epoksi Reçineler

Bir termoset reçine veya termoset, ısı veya radyasyon gibi sertleştirme yöntemini kullanarak sertleşen veya sert bir şekle giren bir polimerdir. Kütleme işlemi, kovalent kimyasal bağlarla çapraz bağlanmış bir polimer ağı sunduğundan geri döndürülemez. [18]. Isıtma üzerine, termoplastiklerin aksine, termosetler, sıcaklık termosetinin bozulmaya başladığı noktaya ulaşana kadar katı kalır. [19]. "Epoksi", "epoksi reçine" veya "epoksit" (Avrupa), a-epoksi, 1,2-epoksi vb. terimleri, bir oksiran veya epoksi halkasının varlığı ile karakterize edilen geniş bir reaktif bileşik grubunu belirtir. Bu, zaten başka bir şekilde birleşmiş iki karbon atomu ile bağlanmış bir oksijen atomu içeren üç üyeli bir halka ile temsil edilir.

b) Polyesterler

Polyester reçineler, dibazik organik asitler ve polihidrik alkollerin reaksiyonu ile oluşan sentetik reçinelerdir. Maleik Anhidrit, doymamış polyester reçinelerinde diasit işlevselliğine sahip yaygın olarak kullanılan bir hammaddedir. Doymamış polyester reçineler, tabaka kalıplama bileşiminde, toplu kalıplama bileşiminde ve lazer yazıcıların tonerinde kullanılır. [41]. Fiberglas takviyeli plastik denilen fiberglas ile güçlendirilmiş polyester reçinelerden imal edilen duvar panelleri tipik olarak restoranlarda, mutfaklarda, tuvaletlerde ve yıkanabilir az bakım gerektiren duvarlar gerektiren diğer

alanlarda kullanılır. Ayrıca yerinde kürlenen boru uygulamalarında da yaygın olarak kullanılırlar. ABD'deki Ulaştırma Departmanları da bunları yollarda ve köprülerde bindirme olarak kullanmak için belirtir. Bu uygulamada Polyester Beton Kaplamalar olarak bilinirler. Bunlar genellikle izoftalik asit bazlıdır ve genellikle %50'ye kadar yüksek seviyelerde stiren ile kesilir. Polyesterler, ankraj cıvatası yapıştırıcılarında da kullanılır, ancak epoksi esaslı malzemeler de kullanılır. [54]. Birçok şirket, esas olarak koku sorunları nedeniyle, ancak aynı zamanda stirenin potansiyel bir kanserojen olduğu endişeleri nedeniyle stiren içermeyen sistemler kullanmaya devam ediyor ve sunmaya devam ediyor. Çoğu polyester reçinesini, genellikle stiren olan reaktif bir seyreltici içinde bir polyester çözeltisinden oluşan viskoz, soluk renkli sıvılardır, ancak vinil toluen ve çeşitli akrilatları da içerebilir. [42].

1.4.2. Polimer matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri

Çoğu yeni malzemede olduğu gibi, yüksek performanslı polimer kompozitlerin geliştirilmesi, performansın en azından eskiden maliyetten daha önemli olduğu askeri ve daha sonra havacılık, ihtiyaçlar tarafından yönlendirildi. Yeni ve geliştirilmiş malzeme arayışı askeri ihtiyaçlar ve istekler tarafından yönlendirilmeye devam ederken, çoğu polimer kompozit türü ticari malzemeler haline geldi. [43]. Özelleştirilmiş malzeme konseptinden meta malzeme konseptine bu geçiş, malzeme performansındaki iyileştirmelerin sona erdiği anlamına gelmez, ancak geliştirmenin vurgusu tasarım, imalat ve nihayetinde maliyetteki iyileştirmelere kaymıştır, böylece kavramın göreceli uygunluğunu yansıtmaktadır. Yüksek performanslı kompozitler alanındaki ana geliştirme çabaları askeri k kenliyken, elektrik ve tekne yapım endüstrilerinde büyük ölçüde paralel bir gelişme gerçekleşti. Elektrik uygulamalarında, iletken olmayan bir mühendislik malzemesine duyulan ihtiyaç ilgiyi artırdı, oysa kompozit teknelerin üretim maliyeti, dayanıklılık ve çok daha az bakım ihtiyacı açısından daha erken avantajlara sahip olduğu bulundu. Yaklaşık eşit paylarla ABD ve Avrupa'nın hakim olduğu uluslararası kompozit pazarı, sağlıklı bir hızla büyümeye devam ediyor. Hakim uygulama alanları, özellikle elektrik yalıtımı ve korozyon direncine değer verilen ulaşım ve inşaat, ardından tüketiciler ürünleri ve spor malzemeleridir. [21].

Kompozit endüstrisine özgü, birçok farklı üretim sürecinden bir ürün yaratma yeteneği

vardır. Uygun maliyetli ürünler üretmek için kompozit üreticisinin kullanabileceği çok çeşitli işlemler vardır. İmalat süreçlerinin her biri, üretilecek ürünlerin türünü tanımlayan özelliklere sahiptir. Bu avantajlıdır çünkü bu uzmanlık, üreticinin müşteri için en iyi çözümü sağlamasına olanak tanır.



Şekil 1.11. Polimer matrisli kompozitlerin üretim aşamaları [22].

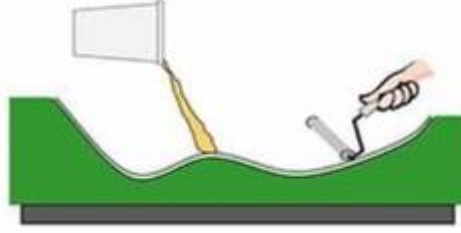
Termoset polyesterler, elyaf takviyeli plastiklerde yaygın olarak kullanılır ve epoksiler, gelişmiş kompozit reçineler için mevcut pazarın çoğunu oluşturur. Başlangıçta, bu reçinelerin viskozitesi düşüktür; bununla birlikte, termoset reçineler, polimer zincirlerini çapraz bağlayan ve böylece tüm matrisi üç boyutlu bir ağda birbirine bağlayan kimyasal reaksiyonlara girer. Bu işleme kürleme denir [44].

1.4.2.1. El yatırma yöntemi

El yatırması kalıplama, istenilen kalınlık elde edilene kadar matris reçine tabakası ile takviye ve boyama yapılmış kumaşların katman katman serilmesi yöntemidir. Bu, en çok zaman ve emek tüketen kompozit işleme yöntemidir, ancak havacılık kompozit ürünlerinin çoğu, otoklav yöntemiyle birlikte bu yöntemle yapılır. Yerleştirme prosedüründe yer alan el montajı nedeniyle, uzun lifler kontrollü oryantasyon kalitesi ile hizalanabilir. Bu yöntemin bir başka avantajı, düzensiz şekilli ürünleri yerleştirme yeteneğidir. Bu avantajlar, fiberglas tekne ve küvet imalatı dahil olmak üzere düşük performanslı kompozitlerde kullanılmaktadır. [45].

El yatırması, güçlendirilmiş plastik laminatlar üretmek için kullanılan en eski ve en basit

yöntemdir. El yatırma süreçleri için sermaye yatırımı nispeten düşüktür. En pahalı ekipman parçası, reçine ve jel kaplama uygulaması için tipik olarak bir püskürtme tabancasıdır. Bazı imalatçılar, bu adım için bir püskürtme tabancasına gerek kalmaması için reçineyi kalıplara döker veya fırçalar. Yapılabilecek parçanın boyutunda neredeyse hiçbir sınır yoktur. Kalıplar ahşap, sac ve alçıdan yapılabilir. [46].



Şekil 1.12. El Yatırma Yöntemi [23].

1.4.2.2. Püskürtme yöntemi

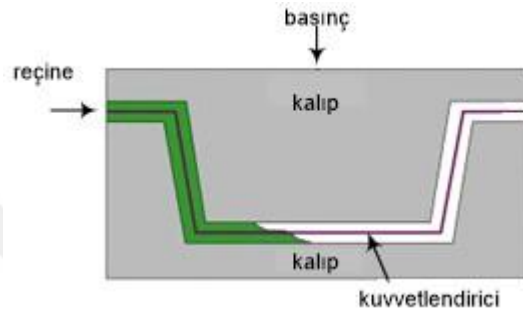
Püskürtmeli kalıplama, bir püskürtme tabancası ve bir elyaf kesici kullanılarak elle yatırma yönteminden çok daha az emek gerektirir. Ancak sadece kısa elyaf takviyeli kompozitler yapılabilir. Kesiciye sürekli bir lif beslenir ve doğranır. Doğranmış lif, reçine sisi ve katalizör akışı ile bir kalıba püskürtülür ve ayrı memelerden verilir. Püskürtülen elyaf ve reçine karışımı, kalıp üzerinde oda sıcaklığında kısa sürede kürleşir ve ürün üretilir. Püskürtme işlemi nedeniyle büyük ve karmaşık şekilli nesneler kolaylıkla yapılabilir. [21].



Şekil 1.13. Püskürtme Yöntemi [23].

1.4.2.3. Pres (basınçlı) kalıplama yöntemi

Reçine transfer kalıplama, plastiğin kapalı bir kalıba enjekte edildiği enjeksiyon kalıplamaya oldukça benzeyen bir üretim yöntemidir. [47]. RTM işleminde ön kalıp (önceden kesilmiş takviye parçası/parçaları) kalıba yerleştirilir, kalıp kapatılır ve termoset plastik matris kalıba enjekte edilir, matris kürlendikten sonra parça çıkarılır. Kapalı bir kalıp prosesi olarak emisyonlar, püskürtme veya elle yatırma gibi açık kalıp proseslerinden daha düşüktür. [48].



Şekil 1.14. Pres (Basınçlı) Kalıplama Yöntemi [23].

1.5. Takviye Malzemeleri

Takviyeler, nihai ürüne uygulanan yükler doğrultusunda uyarlanmış özellikler sağlayacak şekilde yönlendirilebilir. Birçok malzeme polimerleri güçlendirme yeteneğine sahiptir. Ahşabın içindeki selüloz gibi bazı malzemeler doğal olarak oluşan ürünlerdir. Bununla birlikte, çoğu ticari takviye insan yapımıdır. Kullanıcının tasarım gereksinimlerini karşılamak için ticari olarak temin edilebilen birçok takviye formu vardır. Fiber mimarisini uyarlama yeteneği, ağırlık ve maliyet tasarrufuna dönüşen bir ürünün optimize edilmiş performansını sağlar. [49].

Fiberin birçok formu kompozit laminatlarda takviye olarak kullanılsa da, cam elyafları, üretimi ucuz oldukları ve nispeten iyi mukavemet-ağırlık özelliklerine sahip oldukları için güçlendirilmiş plastiklerde kullanılan elyafların yüzde 90'ından fazlasını oluşturur. [26].

Malzemedan bağımsız olarak, çok çeşitli proseslere ve nihai ürün gereksinimlerine hizmet edecek formlarda takviyeler mevcuttur. [27]. Takviye olarak sağlanan malzemeler arasında fıtıl, öğütülmüş elyaf, kıyılmış teller, sürekli, kıyılmış veya ısıyla şekillendirilebilir mat bulunur. Takviye malzemeleri, benzersiz fiber mimarileri ile

tasarlanabilir ve ürün gereksinimlerine ve üretim sürecine bağılı olarak önceden şekillendirilebilir. [50].

1.5.1. Karbon lifi

Karbon lifleri, PAN (poliakrilonitril), suni ipek ve perdeler dahil olmak üzere organik öncülerden yapılır ve son ikisi genellikle düşük modüllü lifler için kullanılır. "Karbon" ve "grafit" lifleri terimleri tipik olarak birbirinin yerine kullanılır, ancak grafit teknik olarak PAN bazlı karbon lifleri için yüzde 93-95'e karşılık yüzde 99 karbon bileşiminden daha fazla olan liflere atıfta bulunur. Karbon fiber, tüm takviye fiberleri arasında en yüksek mukavemeti ve sertliği sunar. Yüksek sıcaklık performansı özellikle karbon fiberler için olağanüstüdür. PAN bazlı fiberlerin en büyük dezavantajı, temel malzemenin maliyetinin ve enerji yoğun bir üretim sürecinin bir sonucu olan yüksek nispi maliyetleridir. Karbon fiber kompozitler, cam veya aramidden daha kırılmandır. Karbon fiberler, metallerin yanında kullanıldığında galvanik korozyona neden olabilir. Bu durumun önüne geçmek için cam ve reçine gibi bir bariyer malzemesi kullanılmaktadır. [51].



Şekil 1.15. Karbon Lifi.

1.5.2. Cam lifi

Bir alümina-kireç-borosilikat bileşimine dayalı olarak, "E" veya "E-CR" camdan üretilen lifler, yüksek elektriksel yalıtım özellikleri, neme karşı düşük hassasiyetleri ve yüksek mekanik özellikleri nedeniyle polimer matrisli kompozitler için baskın takviye olarak kabul edilir. E-CR camı, üstün korozyon direnci özelliklerine sahip olmasıyla E-camdan ayrıca ayrılır. Diğer ticari bileşimler arasında daha yüksek mukavemete, ısı direncine ve modüle sahip "S" cam, daha yüksek modüllü H-cam ve mükemmel korozyon direncine sahip AR cam (alkali dirençli) bulunur. Cam genellikle iyi bir darbeye dayanıklı elyafır ancak karbon veya aramitten daha ağırdır. Cam elyaflar, belirli biçimlerde çelikten daha

güçlü olan mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Alt modül, sertliğin kritik olduğu durumlarda özel tasarım işlemi gerektirir. Cam fiberler radyo frekansı radyasyonuna karşı şeffaftır ve radar anteni uygulamalarında kullanılır. [27].



Şekil 1.16. Cam Lifi.

1.5.3. Doğal takviye malzemeleri

Biyokompozit malzemelerde kullanılan doğal takviye malzemeleri sürdürülebilir ve çevre dostu ürünler üretilmesini sağlarlar. [53].

Kompozit üretiminde kullanılan bitkisel lifler 4 sınıfa ayrılır. Tohum, sak, yaprak ve meyve lifleri kullanılabilmektedir. [28].

1.5.3.1. Keten lifi

Keten lifi biyokompozit malzemelere hafiflik özelliği ve darbe dayanımı sağlayabilmektedir. Bisiklet ve tenis raketi gibi endüstriyel ürünlerde kullanılabilen doğal bir liftir. [29].

1.5.3.1. Badem kabuğu

Badem (*Prunus amygdalus*) günümüzde dünyada en çok yetiştirilen ve en köklü meyvelerden biridir. Dünyada çok ve değişik alanlarda kültürü yapılan bir meyve türü olan badem, ülkemizde de özellikle son yıllarda oldukça büyük önem kazanmıştır.

Lignoselülozik yapıya sahip olan badem kabukları termal dayanım sıcaklıkları yüksek olan hemiselüloz, selüloz ve lignin katmanlarından oluşmaktadır.

Badem kabuğunun kompozitlerde kullanımının avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük yoğunluk,
- Özgül çekme dayanım özellikleri,
- Yenilenebilir olması,
- Düşük maliyet,
- Hafiflik,
- Sertlik,
- Çevre duyarlılığı,
- Toksik özelliğinin olmaması.



Şekil 1.17. Badem Kabukları

Tablo 1.1. FTIR değerleri

Wavenumber (cm ⁻¹)	Functional Group	Cause
3300~3500	-OH	cellulose, hemicellulose
2900~2935	-CH	-
1640~1735	C=O	lignin, hemicellulose
1580~1605	benzene ring	lignin
1455~1465	-CH ₃ O	lignin
1320~1430	-CH	-
1221~1230	C-C C-O	lignin
1025~1035	C-O	cellulose, hemicellulose, and lignin
885~895	R ₂ C=CH ₂	-
810~833	benzene ring	-

H. Essabir ve arkadaşları, badem kabuğu parçalarını termoplastik matriste (polipropilen (PP)) takviyelendirici olarak kullanmışlardır. Çeşitli partikül içerikleri için (ağırlıkça %5, 10, 15, 20, 25, 30), uyumlaştırıcı (maleik anhidrit aşılınmış polipropilen; SEBS-g-MA) içeren ve içermeyen badem kabuğu partikülleri içeren kompozit malzemeler incelenerek araştırılmıştır. Mekanik, termal ve reolojik özellikleri belirlenmiştir.

Sonuçlara göre; %30 oranında partikül yüklemesinde, sırasıyla %56,2 ve %35 Young modülündeki bir kazanca karşılık gelen, maleik anhidrit uyumlaştırıcısı olmayan ve olan matriks içindeki badem kabuğu parçalarının kullanılmasından kaynaklı mekanik ve reolojik özelliklerde belirgin bir iyileşme gözlenmiştir. Termal analiz, partiküllerin kompozitlere dahil edilmesinin, başlangıç termal bozunma sıcaklıklarında artışa neden olduğunu ortaya çıkarmıştır [1].

P. Liminana ve arkadaşları farklı uyumlaştırıcı ailelerinin (epoksi, maleik anhidrit ve akrilik) kullanılması ile ağırlıkça %30 badem kabuğu unu içeren poli (bütilen süksinat) (PBS) kompozit özelliklerinin geliştirilmesini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre monomer ile zayıf uyumlaşma gerçekleşirken üç bitkisel yağ türetilmiş uyumlaştırıcı (ELO, ESBO ve MLO) sünek özelliklerde önemli artışa neden olmaktadır. Bu bitkisel yağ türetilmiş uyumlaştırıcılar, poliester tipi polimerler ve kompozitleri ile lignoselülozik malzemelerin uyumlaştırılmasında farklı bir çevre dostu çözüm sunabilmektedir [2].

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde laboratuvar çalışmalarında kullanılmış olan kimyasal malzemeler, ekipmanlar ve yöntemler hakkında bilgi verilecektir.

2.1. Malzemeler

Epoksi reçineler, yüksek mukavemet ve modülü, mükemmel kimyasal ve korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık, düşük sünme ve yüksek sıcaklıkta makul performans sergileyen ve ısıyla sertleşen termoset polimer sınıfıdır.



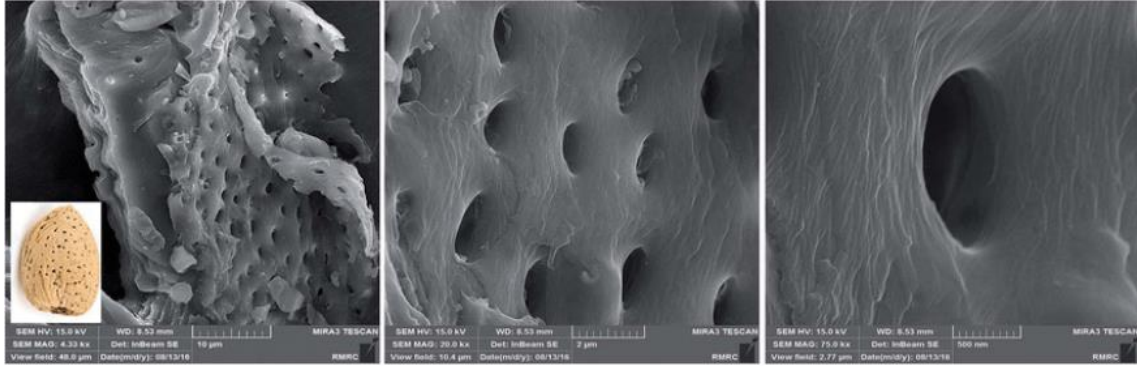
Şekil 2.1. Green epoksi ve sertleştirici.

Bu nedenle fiber takviyeli kompozit malzemeler için matris reçineleri olarak ve yapısal yapıştırıcılarda, yüzey kaplamalarında ve elektrik laminatlarında yaygın olarak kullanılırlar.

Bu çalışmada green epoksi malzeme kullanılmıştır. Green epoksi, doğal (bitkisel) kökenli bir reçinedir. Bu özelliğinden dolayı sürdürülebilir bir üründür. Sürdürülebilirlik konusundaki hassasiyetin artmasıyla doğal kökenli epoksi malzemelerin kullanımı da artmaktadır. Green epoksi reçinesi olarak SICOMIN adlı markanın SR GREENPOXY 56 olan kimyasalı kullanılmıştır. Ayrıca sertleştirici olarak da aynı markanın SD SURF CLEAR ticari isimli kimyasalı kullanılmıştır. SR GreenPox 56, moleküler yapısının %56'sı kadarı bitki kaynaklı olan bir epoksi reçinesidir.



Şekil 2.2. Badem kabuğu unu



Şekil 2.3. Badem kabuğu SEM görüntüsü

Badem kabuğu, yenilebilir tohumların çıkarılması sürecinde ayrılan badem ağacı meyvesinin lignoselülozik materyal olan organik bir kalıntısıdır. Badem kabuğunun endüstride önemi yoktur ve genellikle yakılır veya çöpe atılır. Badem kabuğu yapısında %38,5 selüloz, %28,8 hemiselüloz, %29,5 lignin barındırmaktadır.

Bu çalışmada badem kabukları biyokompozit malzeme üretmek için kullanılmıştır. Malzeme üretiminde 45 mikrondan küçük boyutlardaki badem kabuğu unu kullanılmıştır. Yüzey modifikasyonu için Metilen Difenil İzosiyanat (MDI) ve aseton kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Temin edilmiş olan bademlerin kabuklarını ayırabilmek için mengene yardımıyla kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kırılmış olan badem kabukları 100 °C sıcaklıkta 24 saat

süreyle vakumlu bir fırında kurutulmuştur.



Şekil 2.4. Vakumlu fırın

Kurutulmuş badem kabukları, bir öğütücü değirmen vasıtasıyla öğütülmüştür. Boyut sınıflandırması yapmak için Elek Sarsma Cihazı ile elek analizi yapılmıştır.



Şekil 2.5. Elek sarsma cihazı

Yapılan elek analizi sonrasında partikül ebatı 45 mikron altında olan badem kabukları, biyokompozit malzeme üretiminde kullanılmıştır. Partikül boyutlarının küçük seçilmesinin mekanik özellikleri olumlu etkileyeceği düşünülmüştür. 45 mikrondan küçük boyutlardaki badem kabukları 100 °C sıcaklıkta 24 saat süreyle vakumlu bir fırında kurutulmuştur.

Yüzey modifikasyonu için 1000 g aseton ve 50 g izosiyanat bir beherde 15 dakika mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Üzerine 200 g badem kabuğu ilave edilip 30 dakika mekanik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra süzme işlemi yapılarak oda sıcaklığında vakumlu fırında aseton uzaklaştırılmıştır.

Green epoksi reçine içerisine sırasıyla %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında (ağırlıkça) olacak

şekilde badem kabuğu unu ilave edilmiştir ve mekanik karıştırıcıda 5 dakika 3000 rpm’de karıştırılmıştır.



Şekil 2.6. Mekanik karıştırıcı

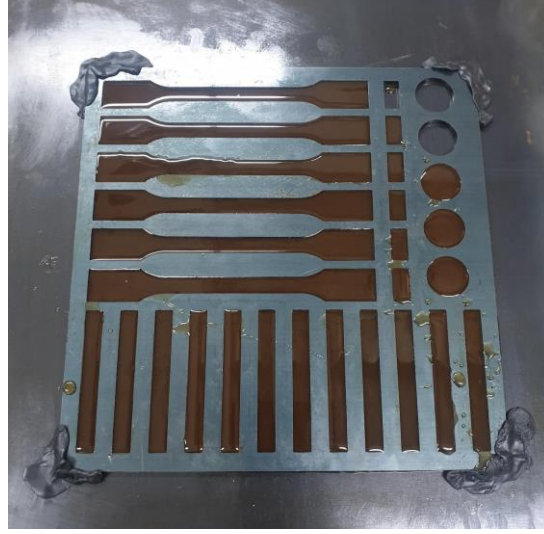
Her bir numune 40 °C ve -1 bar’da 10 dakika vakumlu fırında tutulmuştur ve karıştırma işlemi esnasında oluşan hava kabarcıkları yok edilmiştir. Vakumlu fırından çıkarılıp üzerine %37 oranında sertleştirici ilave edilmiştir. Mekanik karıştırıcı ile 200 rpm’de 5 dakika karıştırılmıştır ve hava kabarcıklarını yok etmek için karışım kısa bir süre 40 °C’de fırında bekletilmiştir. Son adım olarak homojen dağılım sağlamak ve aglomera oluşumunu önlemek için ultrasonik homojenizatörde 10 dakika bekletilmiştir.



Şekil 2.7. Ultrasonik homojenizatör

Kalıplara dökülmüş malzemeler kürlenme işlemi için 24 saat oda sıcaklığında ve ardından 40 ° C’de 18 saat etüv fırında bekletilmiştir.

Toplamda 10 farklı biyokompozit malzeme elde edilmiştir ve her bir numune için aynı işlem adımları uygulanmıştır.



Şekil 2.8. K rlenmiş biyokompozit malzeme

Kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra oluşan biyokompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemek için Shore D sertlik, Izod darbe, çekme , 3 nokta eğme ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk  l  mleri ve SEM, FTIR analizleri yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Green epoksi ve farklı yüzdelerde badem kabuğu unu içeren biyokompozit malzemelerin mekanik testlerinden elde edilen bulguların değerlendirilmesi bu bölümde yapılmıştır. Yüzey modifikasyonu yapılmış olan badem kabukları kullanılarak elde edilen biyokompozit malzemelerin mekanik özellikleri ile yüzey modifikasyonu yapılmadan kullanılan badem kabuklarıyla elde edilen biyokompozit malzemelerin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

Numuneler aşağıdaki şekilde kodlanmıştır.

BK1: Yüzey modifikasyonu yapılmamış badem kabuğu

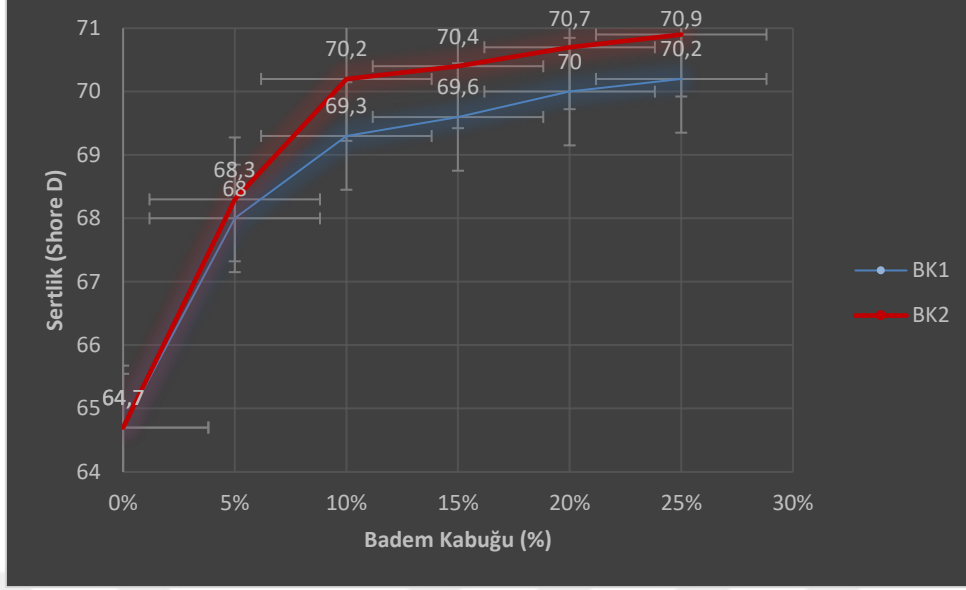
BK2: Yüzey modifikasyonu yapılmış badem kabuğu

Shore D Sertlik Testi

Malzemelerin yüzey sertliğini ölçmek için Zwick marka sertlik cihazında Shore D sertlik testi yapılmıştır. Her bir numune için 10 sertlik ölçümü yapılarak elde edilen değerlerin ortalamaları alınmış olup bu değerler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Shore D sertlik cihazı



Şekil 3.2. Shore D yüzey sertlik sonuçları

Çalışma sonucunda badem kabuğu oranının artmasıyla biyokompozit malzemenin yüzey sertliğinin arttığı görülmüştür.

En yüksek yüzey sertliği değeri %25 badem kabuğu içeren malzemede görülmüştür.

Badem kabuklarına yüzey modifikasyonu yapılması biyokompozit malzemenin sertliğini anlamlı bir oranda değiştirmemiştir. Literatürde badem kabuğu kullanılarak elde edilen biyokompozit malzemelerde de sertliğin arttığı görülmektedir. Çalışmaların sonuçları paralellik göstermektedir. Özellikle badem kabuklarına yüzey modifikasyonu yapılması, biyokompozit malzemenin sertliğini anlamlı bir oranda değiştirmemiştir.

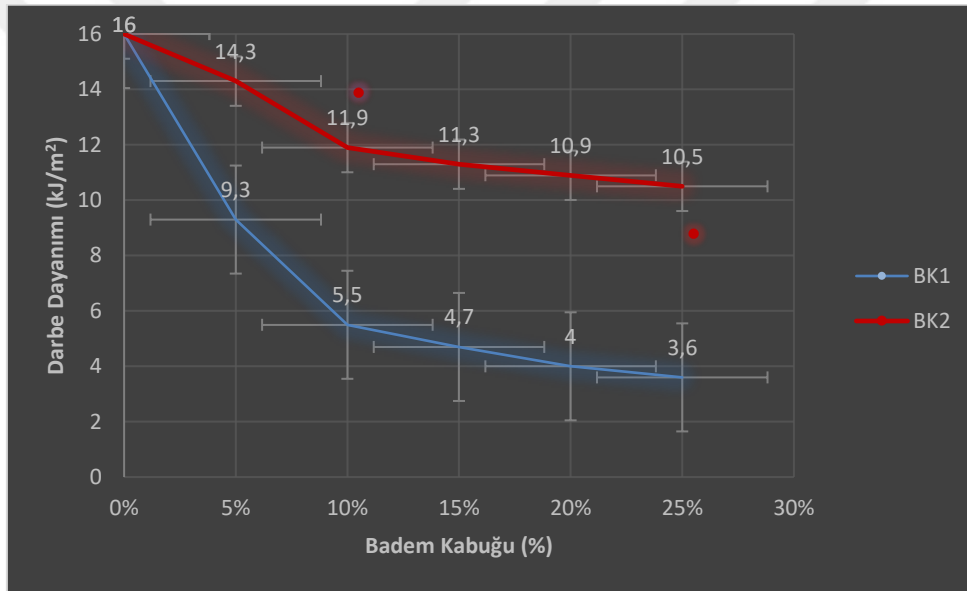
Badem kabuğu, yapısından dolayı serttir, bu yapısından dolayı malzemelerin sertliğinde artış gözlenmiştir.

Izod Darbe Testi

Malzemelerin darbe dayanımını tespit edebilmek için Izod darbe testi uygulanmıştır. Numune boyutları 80x10x4 mm'dir. Çentiksiz numuneler ISO 180 standardına göre 5,4 J Izod darbe çekicine sahip Zwick B5113.30 Izod darbe cihazı kullanılarak test edilmiştir. Her grup için 5 numune kullanıldı ve elde edilen değerlerin ortalamaları alındı. Elde edilen değerler Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Izod darbe dayanımı test cihazı



Şekil 3.4. Izod darbe dayanımı sonuçları

Çalışma sonucunda badem kabuğu oranının artmasıyla biyokompozit malzemenin darbe dayanımının azaldığı görülmüştür. % 25 badem kabuğu içeren malzemenin en düşük darbe dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Yüzey modifikasyonu yapılmış badem kabuklarından oluşan biyokompozit malzemelerin darbe dayanımında ise yine bir azalma görülmektedir. Fakat BK1 numunelerine göre darbe dayanımı daha yüksektir, yani yüzey modifikasyonunun yapılması darbe dayanımının artmasına sebep olmuştur. Bu da badem kabuğu partikülleri ile matris ara yüzeyindeki yapışmanın daha iyi olması ve badem kabuğunun sert yapısının darbeyi absorbe etmesi ile açıklanabilir.

Singh VK. Ve arkadaşlarının [56] epoksi reçineye ilave ettikleri badem kabuğu oranının artmasıyla darbe dayanımının azaldığını gözlemlmeleri bizim sonuçlarımız ile de örtüşmektedir.

Çekme Testi

ISO 527 standardına göre çekme testleri yapılmıştır. Numuneler Zwick Z010 üniversal çekme cihazında 2 mm/dak. sabit bir çekme hızı ile tek eksenli gerilmeye tabi tutuldu.



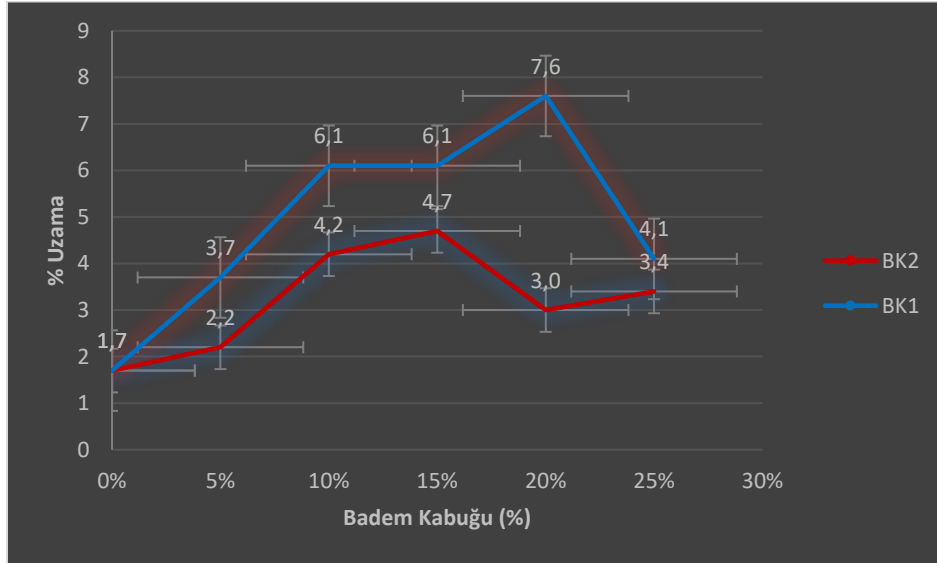
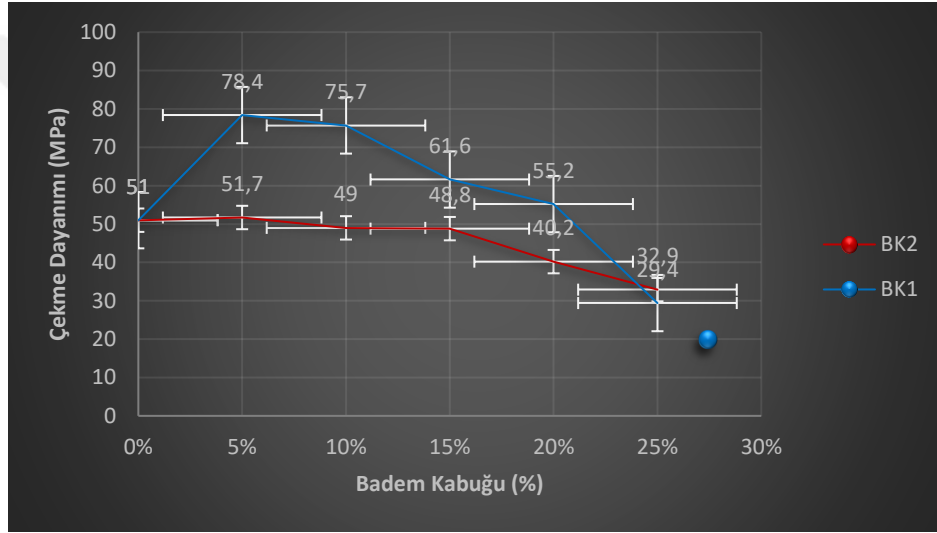
Şekil 3.5. Zwick Z010 çekme cihazı

Her grup için 5 numune kullanılmıştır ve ortalamaları hesaplanmıştır. Çekme dayanımı, elastiklik modülü ve % uzama sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. BK1 ve BK2 numunelerinin çekme testi sonuçları

% Badem Kabuğu (BK1)	E_t MPa	σ_M MPa	ϵ_{tM} %
0	3300	51	1,7
5	190	78,4	3,7
10	371,0	75,7	6,1
15	485,5	61,6	6,1
20	372,0	55,2	7,6
25	158,0	29,4	4,1

% Badem Kabuğu (BK2)	E_t MPa	σ_M MPa	ε_{tM} %
0	3300	51	1,7
5	345	51,7	2,2
10	391	49	4,2
15	283	48,8	4,7
20	383,0	40,2	3,0
25	386,0	32,9	3,4



Şekil 3.6. Çekme dayanımı ve % uzama test sonuçları

Çalışma sonucunda badem kabuğu oranı %5 olan numunede çekme dayanımının en yüksek olduğu, diğer oranlarda çekme dayanımının düştüğü fakat bu düşüşün % 25 oranına sahip olan numunede daha fazla olduğu görülmüştür.

Yüzey modifikasyonu yapılmış olan numunelerde ise BK1 numunelerine göre çekme dayanımının daha düşük olduğu fakat %15'e kadar matris malzemesinin dayanımı ile hemen hemen aynı olduğu, %15 sonrasında ise kayda değer bir düşüş olduğu görülmüştür. Buradan sonuç olarak yüzey modifikasyonunun çekme dayanımını düşürdüğü anlaşılmaktadır.

Hindistan'da Arun K. Chaudhary ve arkadaşlarının [55] epoksi reçineye badem kabuğu unu ilave ederek yaptıkları çalışma sonucunda da badem kabuğu oranı arttıkça çekme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Yaptığımız çalışma da bu sonuçlarla paralellik göstermektedir.

% uzama eğrileri incelendiğinde yüzey modifikasyonu yapılmış olan biyokompozit malzemelerde yapının daha gevrek olduğu anlaşılmaktadır. Bu da BK2 numunelerinin çekme dayanımının düşük olmasının, gevrek yapıya sahip olmasından kaynaklandığını gösteriyor. En yüksek uzama değerine sahip olan numunenin BK1 grubundan % 20 badem kabuğu içeren numunenin olduğu görülmektedir.

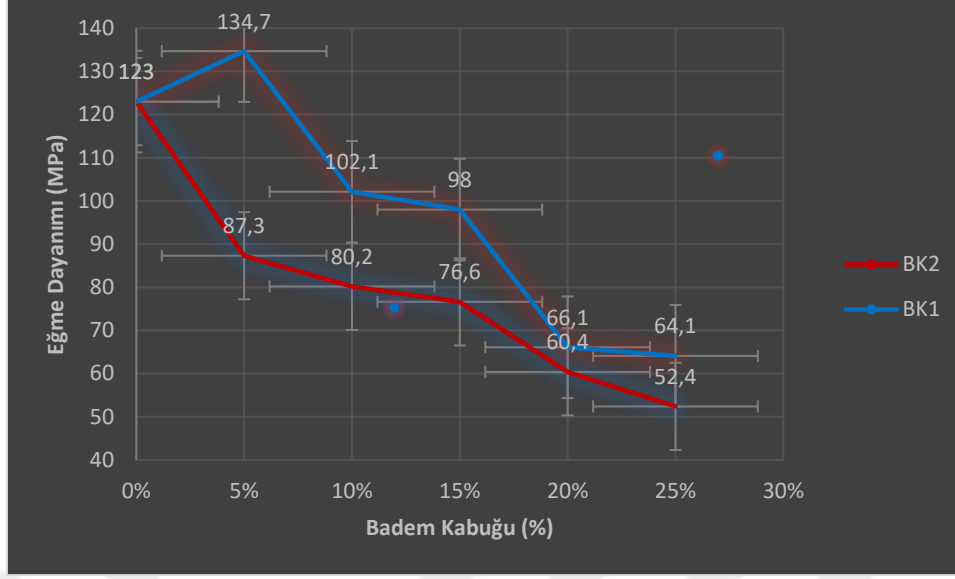
3 Nokta Eğme Testi

Biyokompozit numunelerin eğilme mukavemetleri, Zwick Z010 universal çekme cihazında 2 mm/dak. test hızıyla belirlendi. Testler EN ISO 14125 standardına göre yapıldı. Numune boyutları 80x10x4 mm idi ve her grup için 5 numune kullanıldı. L/d oranı 16:1 olarak tutuldu.

Tablo 3.2. 3 nokta eğme test sonuçları

% Badem Kabuğu (BK1)	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %
0%	3300	123	6,4
5%	4880	134,7	3,7
10%	6755,0	102,1	1,7
15%	6523	98	1,6
20%	3360,0	66,1	1,7
25%	5120,0	64,1	1,4

% Badem Kabuğu (BK2)	E_f MPa	σ_{fM} MPa	ϵ_{fM} %
0%	3300	123	6,4
5%	3150	87,3	2,9
10%	2770,0	80,2	2,6
15%	1980	76,6	2,6
20%	2730,0	60,4	2,0
25%	4010	52,4	1,3



Şekil 3.7. 3 nokta eğme test sonuçları

%5 badem kabuğu içeren numunede eğme dayanımı artarken bu orandan sonra badem kabuğu oranının artmasıyla eğme dayanımının azaldığı görülmüştür. En yüksek eğme dayanımı değeri %5 badem kabuğu içeren numunede görülürken en düşük eğme dayanımı ise %25 badem kabuğu içeren numunede görülmüştür.

Yüzey modifikasyonu yapılmış numunelerde ise eğme dayanımı azalmıştır.

Pin On Disk Aşınma Testi

Pin On Disk aşınma testi Devotrans marka GT-7012-T aşınma cihazında yapılmıştır. Her bir numune 250 g yük altında ve 72 rpm’de test edilmiştir. 10x4x20 mm boyutlarındaki numuneler test cihazına monte edildikten sonra her bir tur 250 devir olmak üzere toplam 1000 tur çevrim yapılmıştır ve ağırlık kaybı farkları hesaplanmıştır. Her oran için 3 farklı numune ile aşınma testi yapılmıştır. Ağırlık kaybı sonuçlarına göre aşınma miktarları % olarak hesaplanmış olup sonuçlar Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Aşınma test sonuçları

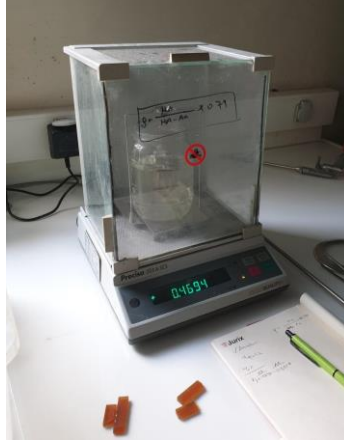
% Badem Kabuğu (BK1)	% Aşınma Miktarı	% Badem Kabuğu (BK2)	% Aşınma Miktarı
0%	0,2400	0%	0,2400
5%	0,0484	5%	0,0775
10%	0,0413	10%	0,0856
15%	0,0306	15%	0,0804
20%	0,0280	20%	0,0911
25%	0,0316	25%	0,0991

Çalışma sonucunda BK1 numunelerde badem kabuğu ilavesinin aşınma dayanımını azalttığı görülmüştür. Aşınma dayanımı azalmasına rağmen badem kabuğu takviyeli numunelerde badem kabuğu oranı arttıkça aşınma dayanımının arttığı görülmüştür. Yüzey modifikasyonun ise aşınma dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir.

Badem kabuğu takviyeli biyokompozit numuneler içerisinde en yüksek aşınma dayanımına sahip olan numunenin % 20 badem kabuğu içeren BK1 numunesinin olduğu, en düşük aşınma dayanımına sahip olan numunenin ise % 20 ve 25 oranlarında badem kabuğu içeren BK2 numunesinin olduğu görülmektedir.

Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk ölçümleri için Precisa marka 205 A SCS model hassas terazi cihazı kullanılmıştır. Her bir orandan 3'er adet ölçüm alınmıştır. Ortalaması alınan değerler Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



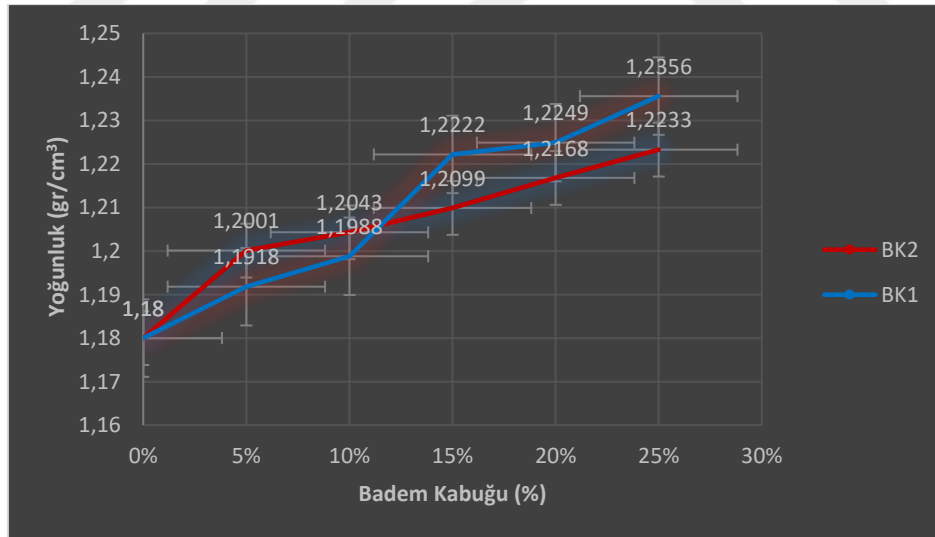
Şekil 3.8. Yoğunluk test kiti ve hassas terazi

Her oran için numunelerin hem havadaki ağırlığı hem de alkoldeki ağırlığı ölçülmüştür ve aşağıdaki formüle göre yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{HA}{HA-AA} \times 0,79$$

HA: Havadaki ağırlık

AA: Alkoldeki ağırlık

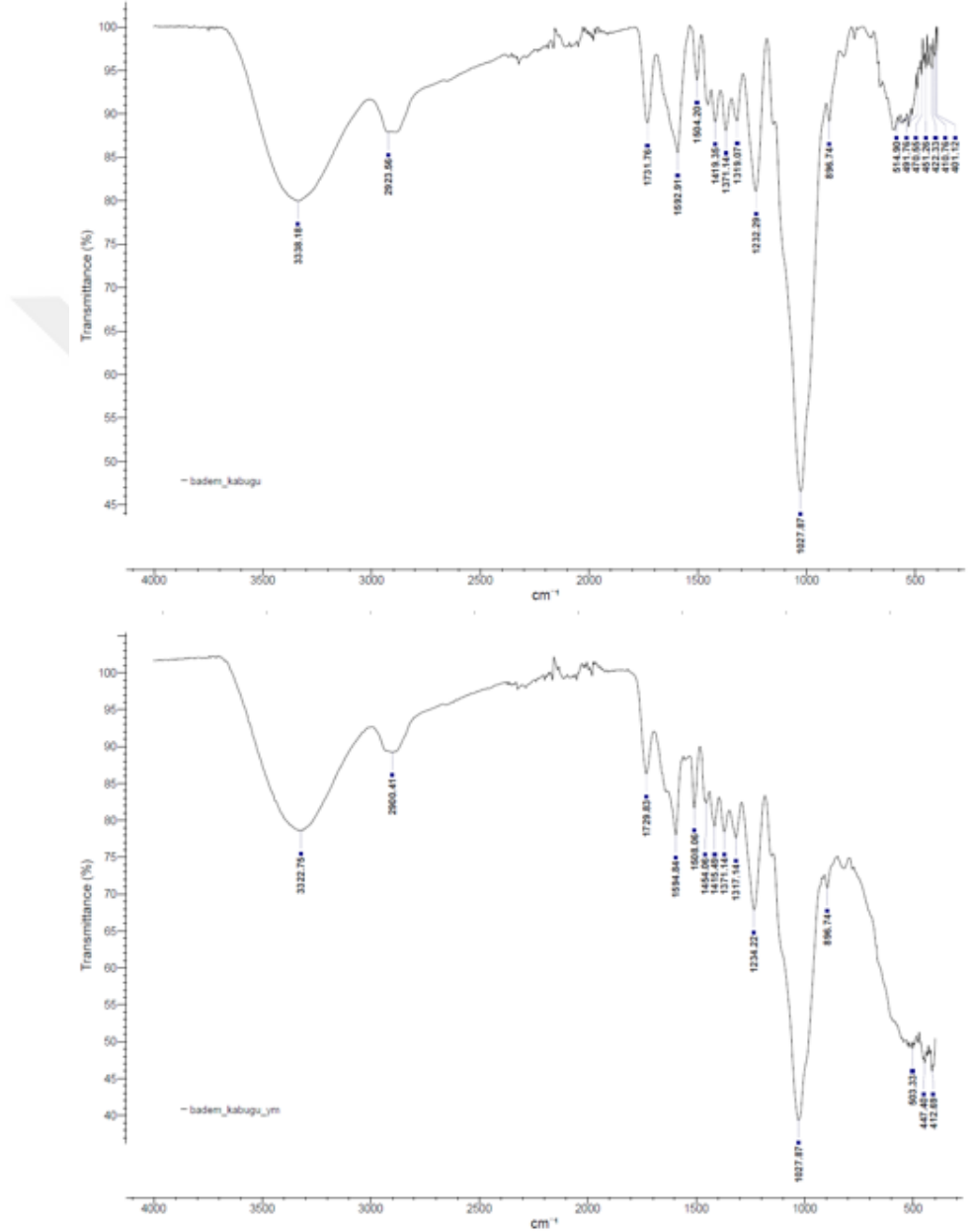


Şekil 3.9. Yoğunluk sonuçları

Çalışma sonucunda badem kabuğu oranının artmasıyla biyokompozit numunelerin yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Biyokompozit numuneler içerisinde en yüksek yoğunluk değeri % 25 badem kabuğu içeren malzeme olurken en düşük yoğunluk ise %5 badem kabuğu içeren malzeme olmuştur. Badem kabuklarına yüzey modifikasyonu

yapılması biyokompozit malzemenin yoğunluğunu kayda değer miktarda değiştirmediği görülmüştür.

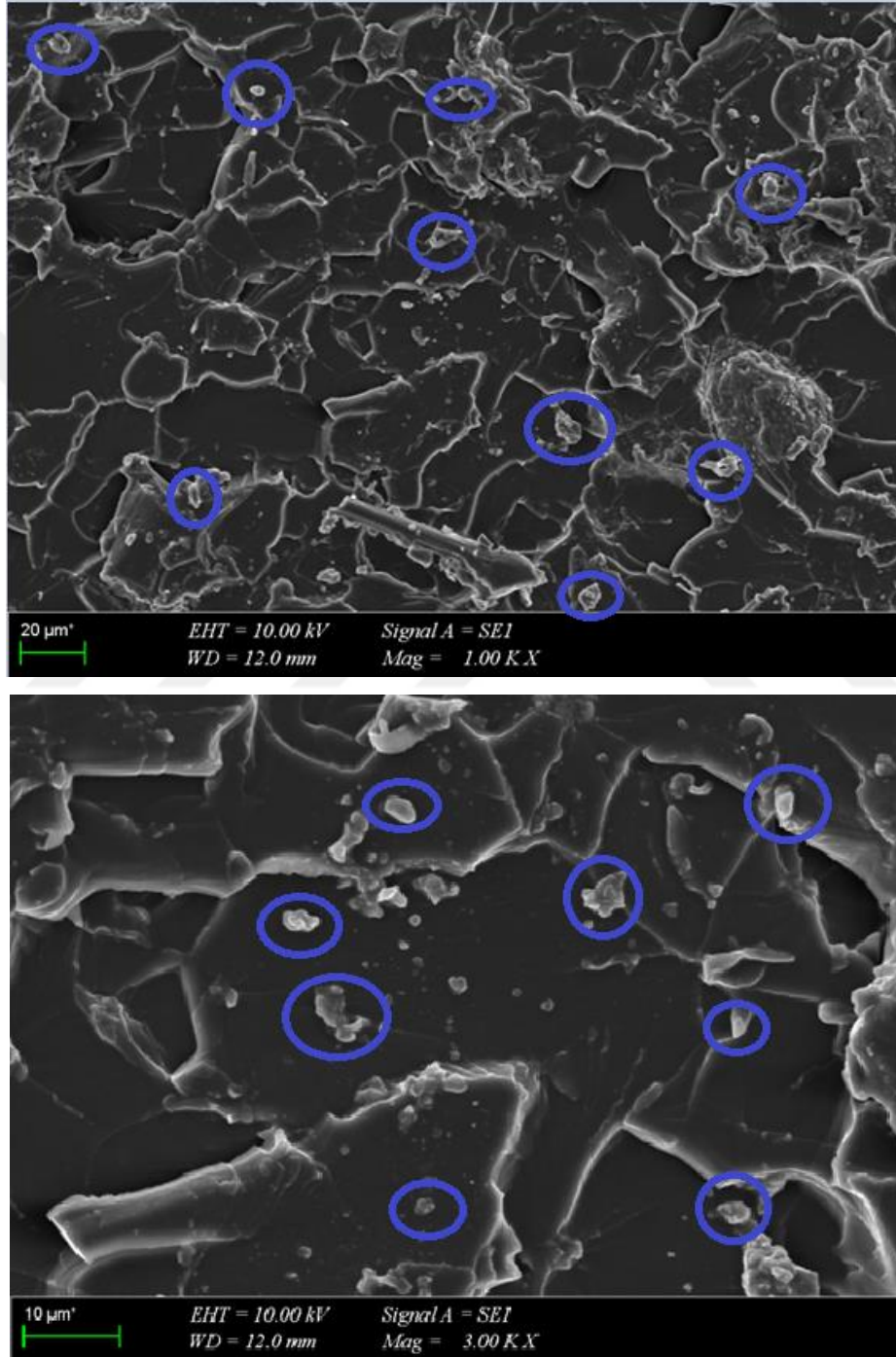
FTIR ve SEM Analizi



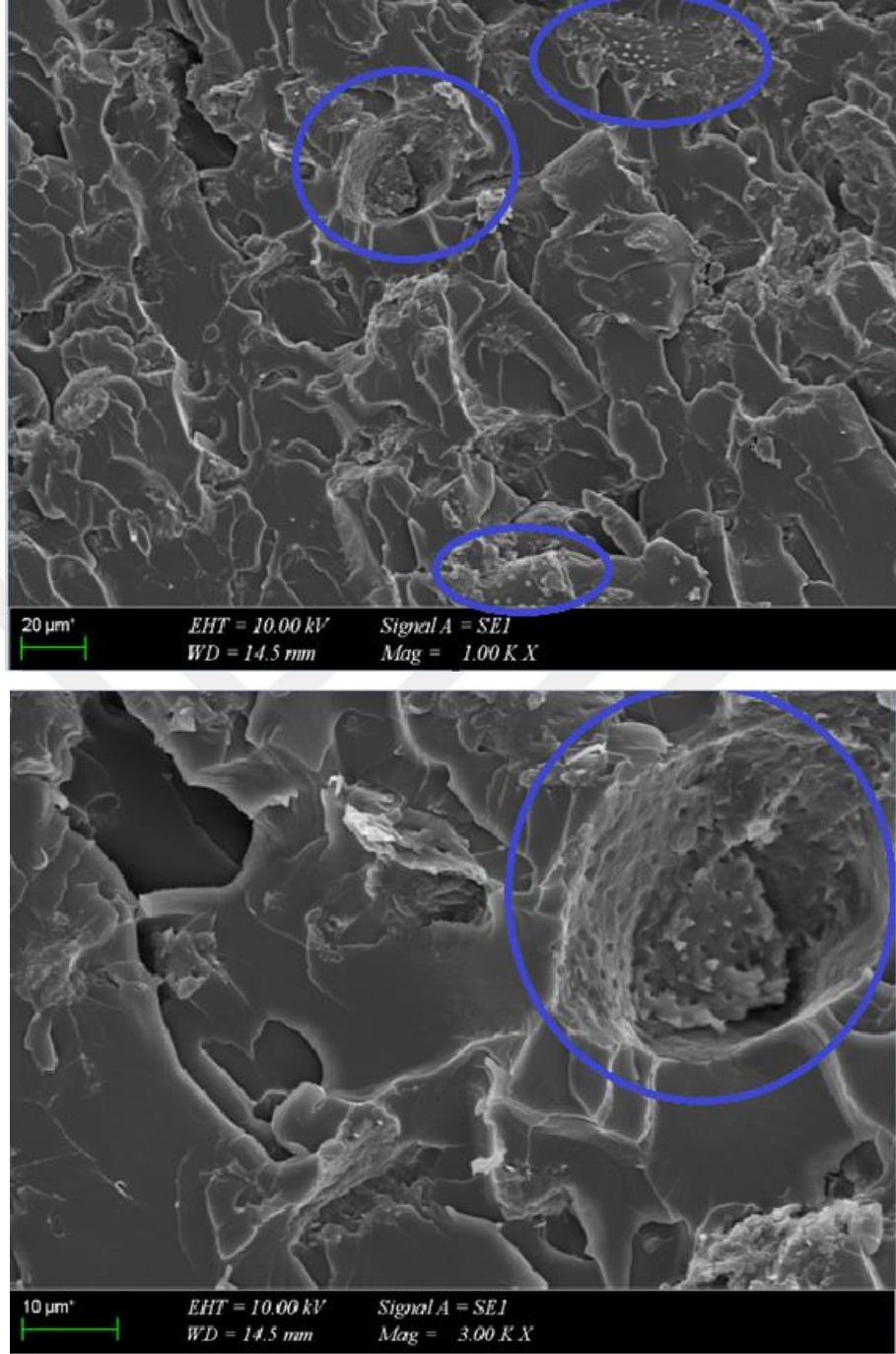
şekil 3.10. Yüzey modifikasyonu yapılmamış ve yapılmış badem kabuğu FTIR analizi

3300-3500 arasındaki pikler -OH pikidir ve sellzolik ve hemisellzolik yapıya işaret eder. 1027'lerdeki pikte C-O bağının pikidir ve sellz, hemiselülöz ve lignin yapılarına işaret eder. 890-1600'ler arasında -CH₃O ve C-C C-O fonksiyonel gruplarının olduğu lignin

yapılarına ait karakteristik pikler vermiştir. 1730'da hemiselüloz C=O fonksiyonel grubunun varlığından dolayı karakteristik bir pik vardır. Yüzey modifikasyonu yapılmış badem kabuğunun 3300'lerde verdiği N-H pikinin izosiyanatının varlığından da kaynaklandığı yani her 2 pikin çakıştığı söylenebilir.



Şekil 3.11. Yüzey Modifikasyonu yapılmamış %5 badem kabuklu malzeme SEM



Şekil 3.12. Yüzey Modifikasyonu yapılmamış %25 badem kabuklu malzeme SEM

%5 badem kabuğu içeren ve yüzey modifikasyonu yapılmış olan BK2 biyokompozit numunenin SEM görüntülerinden partikül dağılımının homojen olduğu, bununla birlikte %25 badem kabuğu içeren biyokompozit malzemenin yapısında badem kabuklarında aglomerasyon olduğu gözlemlenmektedir. Bu aglomerasyon da malzemenin mekanik özelliklerinin azalmasına etki etmiştir. Badem kabuğu oranının arttırılması aglomerasyonun da artmasına neden olmaktadır.

Literatürdeki diğer çalışmalarda yüzey modifikasyonu için kullanılmış olan NaOH, alkol vb. kimyasallar selülozik dolgu maddesinin polimerik matris ile uyumlaşmasını artırırken MDI bu etkiyi göstermemiştir.

Yüzey modifikasyonunda kullanılan izosiyanat badem kabuklarındaki hidroksi gruplarıyla tepkimeye girer. Yüzey modifikasyonu yapılmış badem kabuklarından oluşan biyokompozit malzemelerin çekme ve eğme dayanımlarının düşmüş olmasının nedeni izosiyanatın hidroksi gruplarıyla yeterince tutunamamasıdır.

Elde edilen biyokompozit malzemenin kullanım alanları:

SR GreenPoxy 56 / SD Surf Clear, özellikle yelken ve sörf tahtalarının üretimi için özel olarak formüle edilmiş, şeffaf, su geçirmez bir laminasyon epoksisidir. Ayrıca sörf onarımları, palet kutuları ve fişleri, şablon ve şablon kaplama vb. uygulamalarda kullanılabilecek bir malzemedir.

Tezin bir sonraki bölümünde bulgulardan ve değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar özetlenerek paylaşılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yüzey modifikasyonu yapılmış ve yapılmamış olan badem kabuğu takviyeli biyokompozit malzemelerin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Sert yapısı ile bilinen badem kabuğu, green epoksi reçine içerisine %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında katıldığında mekanik özellikler değişmiştir.

Badem kabuğu oranının artmasıyla biyokompozit malzemenin yüzey sertliği ve yoğunluğunun arttığı; % 5 badem kabuğu ilavesinin eğme ve çekme dayanımını arttırdığı, darbe ve aşınma dayanımlarının ise azaldığı görülmüştür.

Yüzey modifikasyonu yapılan badem kabuğu takviyeli biyokompozit numunelerde sertliğin ve yoğunluğun kayda değer bir şekilde değişmediği, darbe dayanımının BK1 numunelere göre daha yüksek olduğu ve çekme, eğme, aşınma dayanımlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Epoksi matris ile badem kabuğunun yüzeylerinin daha kuvvetli bağlanması için badem kabuğunun matris içerisindeki dağılımının homojen olması ve aglomerasyon oluşmaması gerekmektedir. Bu nedenle badem kabuğu kullanım oranını artırmak, mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.

Badem kabuğunun biyokompozit malzeme eldesinde kullanılmasının endüstriyel açıdan fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Havuz kenarlarının, bahçe ve parklarda oturma yerlerinin zeminlerinde ve bu gibi yerlerde kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. H. Essabir, S. Nekhlaoui, M. Malha, M.O. Bensalah, F.Z. Arrakhiz, A. Qaiss, R. Bouhfid, Bio- composites based on polypropylene reinforced with Almond Shells particles: Mechanical and thermal properties, *Materials and Design*, 2013;51;225-230.
2. P. Liminana, D. Garcia-Sanoguera, L. Quiles-Carrilo, R. Balart, N. Montanes, Development and characterization of environmentally friendly composites from poly (butylene succinate) (PBS) and almond shell flour with different compatibilizers, 2018;144;153-162.
3. F. Z. El Mechtali, H. Essabir, S. Nekhlaoui, M. O. Bensalah, M. Jawaid, R. Bouhfid, A. Qaiss, Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene Reinforced with Almond Shells Particles: Impact of Chemical Treatments, 2015;12;483-494.
4. Pasqualonea, B. Laddomadab, A. Spinac, A. Todarod, C. Guzmàne, C. Summoa, G. Mitab, V. Giannoned, Almond by-products: Extraction and characterization of phenolic compounds and evaluation of their potential use in composite dough with wheat flour, *Food Science and Technology*, 89;2018;299-306.
5. L. Quiles-Carrilloa, N. Montanesa, C. Sammonb, R. Balarta, S. Torres-Giner, Compatibilization of highly sustainable polylactide/almond shell flour composites by reactive extrusion with maleinized linseed oil, *Industrial Crops & Products*, 111;2018; 878-888.
6. Orue A., Eceiza A., Arbelaiz A. (2020) The use of alkali treated walnut shells as filler in plasticized poly (lactic acid) matrix composites. *Industrial Crops & Products*, 145 (111993).
7. El Moumen A., N'Guyen F., Kanit T., Imad A. (2020) Mechanical properties of poly-propylene reinforced with Argan nut shell aggregates: Computational strategy based microstructures. *Mechanics of Materials*, 145 (103348).
8. Saindane U. V., Soni S., Menghani J. V. (2020) Recent research status on synthesis and characterization of natural fibers reinforced polymer composites

- and modern friction materials – An overview. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1616-1620.
9. Vinod A., Sanjay M.R., Suchart S., Jyotishkumar P. (2020) Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 258 (120978).
 10. Ramos M., Dominici F., Luzi F., Jimenez A., Garrigos M. C., Torre L., Puglia D. (2020) Effect of Almond Shell Waste on Physicochemical Properties of Polyester-Based Biocomposites. *Polymers*, 12 (835).
 11. Boujelben M., Abid M., Kharrat M., Dammak M. (2020) Production and mechanical characterization of LLDPE biocomposite filled with almond shell powder. *Polymers and Polymer Composites*, 10 (1177).
 12. Strong, A. B.: *History of Composite Materials – Opportunities and Necessities*, Birgham Young University.
 13. Aran A. “Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler”, İ.T.Ü Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, Türkiye, (1990) 1-50 MK. 575 Ders Notları.
 14. Şahin Y.: “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitabevi, İstanbul, Türkiye, (2001).
 15. Armatlı K. M.: “Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri (1999), s7.
 16. Kaw, A. K.: “Kompozit Malzeme Mekaniği”, Efil Yayınevi, (2014).
 17. Lefteri C. 2007: *Materials for Inspirational Design*, RotoVision, England.
 18. Almeida J. H. S., Souza S. D. B., Botelho E. C., Amico S. C., "Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Filament-Wound Composite Laminates Exposed to Hygrothermal Conditioning", *Journal of Materials Science*, 51, (2016) 4697-4708.
 19. Graupner N., Endres H. J. Mussig J., "Influence of Fiber Fineness, Fiber Maturity, and Nep Content on the Properties of Natural Fiber Reinforced Cotton-Epoxy Composites", *Journal of Natural Fibers*, 5, (2008) 289-315.
 20. Özdemir, Y.: "Biyokompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi", *Yüksek Lisans*, Marmara Üniversitesi, (2019).
 21. Biron, M., 2007: *Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastic Users*, Elsevier – Butterworth-Heinemann: Oxford.

22. Gay D., and Hoa V.S., 2007: Composite Materials: Design and Application, CRC Pres – Boca, Raton.
23. <https://www.re-coma.com/ctp/imlati/> (Erişim Tarihi: Kasım 2020)
24. Biron, M.: "Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastic Users", (2007).
25. Jones R. M.: "Mechanics of Composite Materials", (1975).
26. CTP Teknolojisi, Cam Elyaf Sanayi A.S. yayınıdır.
27. Hull D, and Clyne T. W., 1996: An Introduction to Composite Materials, Cambridge University pres, Cambridge, UK.
28. Kalia, S., Averus, L., Njuguna, J., Dufrense, A. ve Cherian, B. M. (2011). Natural Fibers, Bio and Nanocomposites. Int. J. Polymer Sci.
29. Bos, H. L.; Müssig, J.; Oever, V. D.; Martien, J. A.: "Mechanical Properties of Short-Flax-Fibre Reinforced Compounds", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37, (2006) 1591-1604.
30. Genc, G.; Ozdemir, Y.: "Comparison of Flexural Properties of Luffa and Jute Fibers", 4th International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS), Kiev, Ukraine, (2019) 365-368.
31. Shen, J.; Xie, Y. M.; Huang, X.; Zhou, S.; Ruan, D.: "Behaviour of Luffa Sponge Material under Dynamic Loading", International Journal of Impact Engineering, 57, (2013) 17-26.
32. Genc, G.; El Hafidi, A.; Gning, P. B.: "Comparison of the Mechanical Properties of Flax and Glass Fiber Composite Materials", Journal of Vibroengineering, 14, (2012) 572-581.
33. Genc, G.: "Dynamic Properties of Luffa Cyclindrica Fiber Reinforced Bio-Composite Beam", Journal of Vibroengineering, 17, (2015) 1615-1622.
34. Demir, H.; Top, A.; Balköse, D.; Ülkü, S.: "Dye Adsorption Behavior of Luffa Cyclindrica Fibers", Journal of Hazardous Materials, 153, (2008) 389-394.
35. Lai, S. M.; Kao, Y. H.; Liu, Y. K.; Chiu, F. C.: "Preparation and Properties of Luffa Fiber- and Kenaf Fiber-Filled Poly(Butylene Succinate-Co-Lactate)/Starch Blend-Based Biocomposites", Polymer Testing, 50, (2016) 191-199.
36. Smith, W. F. K. N. G.: "*Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği*", (2006).
37. Rye, J. A.: "Natural Fiber Defined", Journal of the American Dietetic Association,

- 78, (1981) 390-390.
38. Maziah, M.; Zuraida, A. R.; Halimi, M. S.; Zulkifli, H. S.; Sreeramanan, S.: "Influence of Boron on the Growth and Biochemical Changes in Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr) Inoculated Banana Plantlets", *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 26, (2010) 933-944.
 39. Genc, G.; Akkus, N.; Toptas, E.: "How the Resin Impregnation Affects the Strength Loss of Carbon Fiber in Filament Winding Process?", in *25th Annual International Conference on Composites or Nano Engineering* vol. 1 Rome, Italy: 1, (2017) 42-44.
 40. Ramesh, M.; Palanikumar, K.; Reddy, K. H.: "Mechanical Property Evaluation of Sisal-Jute-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", *Composites Part B-Engineering*, 48, (2013) 1-9.
 41. Mazumdar, S. K.: "Composites Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering.", (2002).
 42. Onal, L.; Karaduman, Y.; Arslan, C.: "Preparation and Mechanical Characterization of Luffa Fibre Reinforced Low Density Polyethylene Composites", *Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings*, 2015, (2015) 1-6.
 43. HerreraFranco, P.; ValadezGonzalez, A.; CervantesUc, M.: "Development and Characterization of a Hdpe-Sand Natural Fiber Composite", *Composites Part B-Engineering*, 28, (1997) 331-343.
 44. Supri, A. G.; Ismail, H.: "Recycled High Density Polyethylene/Natural Rubber/Chicken Feather Fibers (Rhdpe/Nr/Cff) Composites: The Effect of Fiber Loading and Benzyl Urea", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 52, (2013) 1316-1322.
 45. Graupner, N.; Endres, H. J.; Mussig, J.: "Influence of Fiber Fineness, Fiber Maturity, and Nep Content on the Properties of Natural Fiber Reinforced Cotton-Epoxy Composites", *Journal of Natural Fibers*, 5, (2008) 289-315.
 46. Almeida, J. H. S.; Souza, S. D. B.; Botelho, E. C.; Amico, S. C.: "Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Filament-Wound Composite Laminates Exposed to Hygrothermal Conditioning", *Journal of Materials Science*, 51, (2016) 4697-4708.

47. Vatangül, E.: "Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Ansys 10 Programı Ile Isıl Gerilme Analizi", Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, (2008).
48. Ersoy, M. S.: "Lif Takviyeli Polimerik Kompozit Malzeme Tasarımı", Yüksek Lisans, Kahramanmaraş Sütçü İmam ÜNİVERSİTESİ, (2005).
49. Yusuf, Ş.: "Kompozit Malzemelere Giriş", Seçkin Yayınevi, (2015).
50. Mohanta, N.; Acharya, S. K.: "Mechanical and Tribological Performance of Luffa Cylindrica Fibre-Reinforced Epoxy Composite", *Bioresources*, 10, (2015) 8364-8377.
51. Mohanta, N.; Acharya, S. K.: "Implementations of the Taguchi Design for the Erosive Wear of Luffa Cylindrica Fiber-Reinforced Epoxy Hybrid Composite", *Journal of Polymer Engineering*, 35, (2015) 391-399.
52. Essabir, H.; Hilali, E.; El Minor, H.; Bensalah, M. O.; Bouhfid, R.; Qaiss, A.: "Mechanical and Thermal Properties of Polymer Composite Based on Natural Fibers: Moroccan Luffa Sponge/High Density Polyethylene", *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 9, (2015) 350-357.
53. Zdart, J.; Jesionowski, T.: "Luffa Cylindrica Sponges as a Thermally and Chemically Stable Support for *Aspergillus Niger* Lipase", *Biotechnology Progress*, 32, (2016) 657-665.
54. Saw, S. K.; Purwar, R.; Nandy, S.; Ghose, J.; Sarkhel, G.: "Fabrication, Characterization, and Evaluation of Luffa Cylindrica Fiber Reinforced Epoxy Composites", *Bioresources*, 8, (2013) 4805-4826.
55. Arun K. Chaudhary, P. C. Gope, V. K. Singh: " Effect of Almond Shell Particles on Tensile Property of Particleboard", *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (1) (2013) 109-112.
56. Singh VK, Bansal G, Agarwal M and Negi P: " Experimental Determination of Mechanical and Physical Properties of Almond Shell Particles Filled Biocomposite in Modified Epoxy Resin ", *J Material Sci Eng* (2016), 5:3

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı: Tarık CAN

Yabancı Dil: İngilizce

EĞİTİM BİLGİSİ

Mezuniyet Yılı	Okul/Üniversite Adı
2016	Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, (Lisans) Kimya Mühendisliği (İngilizce)
2010	Mehmet Niyazi Altuğ Anadolu Lisesi (Fen)

İŞ TECRÜBESİ

Meslek	Firma Adı/Yıl
Kimya Mühendisi	Baydemirler Tekstil Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2016-2017)
Kimya Mühendisi	Sapro Temizlik Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2018-Devam Ediyor)