



MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



EVSEL SİYAH ÇAY ATIĞI DOLGULU  
VİNİLESTER KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

KÜBRA KASAP

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

DANIŞMAN  
Doç. Dr. İlyas KARTAL

İSTANBUL, 2023



MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



EVSEL SİYAH ÇAY ATIĞI DOLGULU  
VINİLESTER KOMPOZİTLERİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ

KÜBRA KASAP

(533319006)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. İlyas KARTAL

İSTANBUL, 2023

## TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanıő aşamasında, kıymetli malumatlarını bana tavsiye olarak paylaőan, kendisinin ne zaman yanına gitsem anlayıőlı bir Şekilde davranan, sabırla ve saygıyla bana yardım eden, her zaman bana faydalı olamaya çalıőan, ilerdeki mesleki yaőamımda bana yararı olacak Şekilde beni o koşullara hazırlayan değerli danışman hocam olan sayın Doç. Dr. İlyas Kartal'a samimi bir Şekilde teőekkÖrlerimi sunuyorum.

Lisans ve yÖksek lisans eğitim hayatım boyunca bana emek veren, bilgi ve tecrÖbelerini benimle paylaőan tÖm kıymetli hocalarıma teőekkÖrÖ bir borç bilirim.

TÖm yaşam serÖvenim boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve hep hissettiğim, sevgi ve ilgiyle yanımda olan aileme ve bu sÖrete bana destek olan tÖm arkadaőlarıma sonsuz teőekkÖr ederim.

# İÇİNDEKİLER

## İçindekiler

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
SEMBOLLER .....	vii
KISALTMALAR .....	viii
ŞEKİL LİSTESİ .....	x
TABLO LİSTESİ .....	xii
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Kompozit Malzemeler ve Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	4
1.1.1. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	5
1.1.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK).....	6
1.1.1.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK).....	7
1.1.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler (SMK).....	8
1.1.2. Takviye Elemanına Göre Sınıflandırma.....	8
1.1.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	9
1.1.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler.....	10
1.1.2.3. Tabaka Yapılı Kompozit Malzemeler.....	11
1.1.2.4. Karma Yapılı Kompozit Malzemeler.....	11
1.2. Yeşil Kompozitler.....	12
1.2.1. Termoset Yeşil Kompozitler.....	13
1.2.2. Termoplastik Yeşil Kompozitler.....	14

1.3. Biyokütlesel Atık.....	16
1.4. Çay Atıkları.....	23
1.5. Literatür.....	24
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
2.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	34
2.1.1. Çay ve Çay Atığı.....	34
2.1.2. Çay Bitkisinin Kimyasal Bileşimi.....	35
2.1.3. Vinilester Reçine.....	36
2.1.4. MEKP (Metil Etil Keton Peroksit) .....	40
2.1.5. Kobalt Naftalat.....	40
2.2. Mekanik Testler.....	41
2.2.1. Çekme Testi.....	41
2.2.2. Darbe Testi.....	43
2.2.3. Sertlik Testi.....	45
2.3. Mikroyapı İnceleme.....	47
2.3.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) .....	47
2.4. Evsel Çay Atığı Dolgulu Vinilester Esaslı Kompozit Malzeme Numunelerinin Elde Edilmesi.....	48
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
3.1. Çekme Mukavemeti.....	53
3.2. Elastisite Modülü.....	54
3.3. Izod Darbe Mukavemeti.....	55
3.4. Shore D Sertlik Değeri.....	56
3.5. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri.....	56
4. SONUÇLAR.....	61

KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	72



## ÖZET

### EVSEL SİYAH ÇAY ATIĞI DOLGULU VİNİLESTER KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kompozit malzemeler birden fazla özelliği yapısında bulunduran mühendislik malzemeleridir. Isı, nem gibi özelliklere karşı iyi bir dayanım göstermesi, metal gibi malzemelere göre hafif olması, yüksek dayanım direnci göstermesi, düşük maliyetli olması, aşınma direnci, şık görünümü gibi özellikleri ve daha birçok özelliği nedeniyle günümüzde çok tercih edilmektedir.

Günümüzde tercih edilen kompozit çeşitlerinden biri de yeşil kompozitlerdir. Doğaya ve çevreye uyum sağlama özelliği, atıkları kullanma özelliği, sağlam bir dayanım göstermesi, basit bir şekilde işleme tabi tutulabilmesi ve yeni üretim tekniklerine ihtiyaç duyulmayan, mikro veya nano boyutta üzerinde işlem yapılabilen, geri dönüştürülebilirlik özelliği olan, yenilenebilir niteliğine sahip, sürdürülebilir bir kompozit olduğu için çok tercih edilmektedir.

Yenilenebilirlik özelliği olan rezervlerin kullanılabilmesi nedeniyle, petrokimya ve mineraller gibi maddelere olan gereksinimi azaltabilir, böylece gezegenimizde daha az doğal kaynağın tükenmesine sebep olmaktadır. Geçtiğimiz senelerde bu gibi yeşil kompozitler için ticari mamuller ve uygulamalar geliştirilmekte olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada evsel siyah çay atığı vinilester matrisinde dolgu olarak kullanılmıştır. Evsel siyah çay atığına vinilester eklenerek birbirinden farklı kombinasyonlar hazır hale getirilmiştir. Birbirinden farklı olan bu kombinasyon reçinelerden her birinin içine ilave edilen evsel siyah çay atığı ağırlık oranı %0, %5, %10, %15, %20, %25 olarak ayarlanmasına karar verilmiştir ve bu şekilde hazırlanmıştır, bu çalışma aşamasında toplamda birbirinden farklı 6 kompozit test numunesi kullanılmıştır. Numuneler çekme, darbe ve sertlik testi gibi mekanik özellikleri incelenmeye tabi tutulmuş ve testin neticesinde grafiklerle sonuçlar gösterilmiştir. Numunelerin SEM testi sonucunda ortaya çıkan görüntüleri de incelenmiştir. Bu deneyde evsel siyah çay atıklarının bu kompozit türünde dolgu olarak kullanılmasının tetkik edilmesi ile birlikte kompozitte bulunan dolgu oranının katkısı da incelenmeye tabii tutulmuştur.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF VINYLESTER COMPOSITE MATERIALS FILLED WITH DOMESTIC BLACK TEA WASTE**

Composite materials are engineering materials that have more than one feature in their structure. It is highly preferred today due to its good resistance to heat and humidity, being light compared to materials such as metal, high strength resistance, low cost, wear resistance, stylish appearance and many other features.

One of the preferred composite types today is green composites. It is a sustainable composite with its ability to adapt to nature and the environment, its ability to use wastes, its robust resistance, its simple processing and no need for new production techniques, can be processed on micro or nano scale, can be recycled, have the feature of renewable is highly preferred.

Due to the use of renewable reserves, it can reduce the need for substances such as petrochemicals and minerals, thus causing the depletion of fewer natural resources on our planet. It is known that commercial products and applications have been developed for such green composites in the past years.

In this study, domestic black tea waste was used as a filler in vinylester matrix. By adding vinylester to domestic black tea waste, different combinations are made ready. It was decided to set the weight ratio of domestic black tea waste added into each of these combination resins, which are different from each other, as 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and it was prepared in this way. composite test sample was used. The mechanical properties of the samples such as tensile, impact and hardness tests were examined and the results were shown with graphics at the end of the test. The images of the samples, which emerged as a result of the SEM test, were also examined. In this experiment, together with examining the use of domestic black tea wastes as a filler in this type of composite, the contribution of the filling ratio in the composite was also examined.

## **SEMBOLLER**

**MPa:** Mega Paskal

**J:** Joule

**J/m:** Joule/Metre

**mm:** Milimetre

**W/w:** Çözünen maddenin kütlesi/çözelti kütlesi

**°C:** Santigrat derece

**J/yıl:** Joule/yıl

**cm:** Santimetre

**kJ:** Kilojoule

**kJ/m<sup>2</sup>:** Kilojoule/metrekaare

**kg:** Kilogram

**sn:** Saniye

**Å:** Ångström

**gr:** Gram

## **KISALTMALAR**

**PMK:** Polimer Matrisli Kompozitler

**MMK:** Metal Matrisli Kompozitler

**SMK:** Seramik Matrisli Kompozitler

**UHMWPE:** Ultra Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilen

**PLA:** Poliaktik Asit

**PP:** Polipropilen

**LOI:** Limit Oksijen İndeksi

**ASTM:** Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu

**SiC:** Silisyum Karbür

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** Alümina

**Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:** Silisyum Nitrür

**AlN:** Alüminyum Nitrür

**TiB<sub>2</sub>:** Titanyum Diborür

**B<sub>4</sub>C:** Bor Karbür

**TiN:** Titanyum Nitrür

**TiC:** Titanyum Karbür

**NO<sub>x</sub>:** Azot Oksit x

**SO<sub>2</sub>:** Kükürtdioksit

**W:** Watt

**MEKP:** Metil Etil Keton Peroksit

**BPO:** Benzoil Peroksit

**HDT:** Heat Deflection Temperature

**RTM:** Reçine Transfer Metodu

**SMC:** Tabaka Kalıplama Bileşikleri

**BMC:** Sıcak Presleme Kalıplama Hamuru



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Şekil 1.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Şekil 1.3 Yerleşim Tiplerine Göre Elyaf Kompozitler

Şekil 1.4 Tabaka Yapılı Kompozit Malzeme

Şekil 1.5 Dünyadaki Biyokütle Dağılımı ve Potansiyeli

Şekil 1.6 Biyokütle Dönüşüm Süreçleri

Şekil 2.1 Epoksi ve Metakrilik Asitten Elde Edilen Vinilester Reçinesi

Şekil 2.2 Çekme Testi Numunesi

Şekil 2.3 Çekme Testi Cihazı

Şekil 2.4 Darbe Testi Cihazı

Şekil 2.5 Durometre Sertlik Test Cihazı

Şekil 2.6 SEM Numune Kaplama Cihazı

Şekil 2.7 SEM Testi Cihazı

Şekil 2.8 Kuruduktan Sonra Eysel Siyah Çay Atığının Öğütülmemiş Hali

Şekil 2.9 Fakir SMS 410 Tipi Blender

Şekil 2.10 Eysel Siyah Çay Atığı Öğütülmüş Hali

Şekil 2.11 Deneyde Kullanılan Kalıp Ayırıcı

Şekil 2.12 Deneyde Kullanılan Teflon Kalıp

Şekil 2.13 Döküm Sonrası Elde Edilen Deney Numuneleri

Şekil 3.1 Çekme Mukavemeti Grafiği

Şekil 3.2 Elastisite Modülü Grafiği

Şekil 3.3 Izod Darbe Testi Grafiği

Şekil 3.4 Shore D Darbe Testi Grafiği

**Şekil 3.5** %0 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

**Şekil 3.6** %5 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

**Şekil 3.7** %10 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

**Şekil 3.8** %15 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

**Şekil 3.9** %20 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

**Şekil 3.10** %25 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü



## **TABLO LİSTESİ**

**Tablo 1.1** Biyokütle Kaynakları Kullanılan Çevrim Teknikleri, Bu Teknikler Kullanılarak Elde Edilen Yakıtlar Ve Uygulama Alanları

**Tablo 2.1** Çay Yapraklarının Kimyasal Bileşimi

**Tablo 2.2** Numune Kompozisyonları



## 1. GİRİŞ

Dünyada gereksinimlerin ve çevresel kaynaklı endişelerin artmasıyla beraber gelişmiş malzemelerin üretilmesi için büyük çabalar harcanmıştır ve bu çabalara araştırmalarda yer verilmiştir. Kompozit malzemeler, değişik malzeme gruplarının gelişmiş özelliklerini birleştirerek iyileştirilmiş özellikler ortaya çıkardığı için bu araştırmalarda kendisine büyük yer verilmiştir. Bir kompozit malzeme oluşturulurken iki ya da daha çok maddenin makro boyutlarda ve birbiri içerisinde birbirine karışmadan birleşmesinden meydana gelmektedir. Bu maddelerden birinin ya da birden çoğunun takviye malzemesi olarak isimlendirilirken takviye malzemesini sarmalayan diğer oluşan yapıya ise matris yapısı olarak tanımlanmıştır [1].

Kompozit malzemeleri karışım diye adlandırılan molekül sel yapıdan ayıran en esas özellik; iki ana bileşen olan (matrisin ve takviye fazın) kompozit malzemelerin iç bölgesinde belirgin bir şekilde görünmesi ve birbiri içerisinde çözünmemesidir [2].

Günümüzde otomotiv sektörü, havacılık sektörü, sağlık sektörü, spor sektörü, denizcilik sektörü benzeri alanlarda kullanımı giderek artan kompozit malzemeler bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin en mühim ve en sık üretilip geliştirilmekte olan çeşitlerinden biri de polimer matrisli kompozitlerdir. Kompozitlerde matris malzemesi (epoksi, vinilester, polyester vb.) ile takviye malzemesi (cam, karbon elyaf, aramid vb.) birleştirilerek oluşan yapının tek başına bulunan ana yapıdan daha iyi özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir. Korozyon direnci ve hafif olma gibi gösterdiği iyi mekanik özellikler sebebiyle bu kompozit malzemeler günümüzde revaçtadır. Fakat bazı mekanik özellikler (darbe ve yorulma hasarı vb.) aleyhinde olan yüksek duyarlılık sebebiyle, bu kompozit malzemelerin darbeye maruz kaldıktan sonra tekrar eski haline döndürülmesi bir hayli zordur [3].

Bu bağlamda kompozit malzeme, doğal veya yapay olarak üretilenin tersine çok fazla bir malzemedir. Ayrıca, bileşen fazlar kimyasal olarak farklı olmalı ve farklı arayüzlerle birbirinden ayrılmalıdır. Kompozit malzemeler tasarlama aşamasında, yeni nesil malzemeler üretmek için çeşitli metaller, seramikler ve polimerler birleştirilir. Birçok kompozit malzeme, çevresel ve yüksek sıcaklık direnci gibi sertlik, tokluk ve mekanik özelliklerin kombinasyonunu geliştirmek için tasarlanmıştır. Kompozit malzemelerin

çoğu iki fazdan oluşur. Biri sürekli olan ve diğer fazı çevreleyen, genellikle dağınık faz olarak adlandırılan matris olarak bilinir. Kompozitin özellikleri, kurucu fazların özelliklerinin, bunların göreceli miktarlarının ve dağılmış fazların geometrisinin bir fonksiyonudur [4].

Matris malzemesi, uygulanan kuvveti arayüzey aracılığıyla takviye fazına iletilmesini sağlar ve dağıtım işlemi yapar. Bu nedenle takviye fazını planlandığı gibi yerinde bırakarak hasarı önlemektedir. Kompozit malzemede yük transferi yapan takviye elemanının işlevini yapabilmesi için matris malzemesinin mekanik özellikleri çok önemlidir. Takviye malzemesi, üretim sırasında matris fazının tane boyutunu kontrol eder ve aktarılan yükü paylaşır. Matris yapısı ve takviye elemanı arasındaki yapıştırıcı görevi gören ara yüzey bağı, çoğunlukla kırılma özelliği göstermesine karşın, takviye fazına meydana gelen kuvveti iletmektedir. Bu bölge ise malzemenin elastik modülüne tesir eden en mühim yerdir. Böylece, kompozitlerin dayanımı ise istenen arayüzey bağlanmasına bağlı olduğu gözlemlenmiştir [5].

Kompozit malzeme üretmek ile malzemenin kendisinde birden fazla faydalı özelliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu özelliklerden bazıları şunlardır; mukavemet, rijitlik, korozyon ve kimyasal dayanım, yorulma mukavemeti, aşınma vb. Aynı zamanda birbirinden değişik şartlara uygunluk gösterebilme, özel hedeflere yönelik işlerde çalışabilme, beklenen özelliklere karşı iyi bir davranış sergileyebilme, yüksek mukavemet/özkütle oranı, yüksek modül/ağırlık oranı ile birlikte hafif olabilme özelliği ile birlikte benzeri pozitif meziyetlerle kompozit malzemeler hakkında; çok fazla revaçta olan bir malzeme grubu gibi bir pozisyona gelmektedir ve havacılık sektörü, uzay sektörü, savunma sanayi sektörü benzeri birden fazla yerde kullanılmak için tercih edilmektedir. [6-9].

Polimer matrisli kompozit malzemeler; genellikle petrokimya bazlı ürünlerden oluşmaktadır aynı zamanda bu çağda en fazla kullanım yerine sahip malzemeler diye literatürde yer almaktadır. Polimerik kompozitler korozyon karşı direnç gösteren, uzun vakitler kullanmaya karşı dirençli, üzerinde işlem yapabilmenin basit bir şekilde olabilmesi, bir şekil verilebilen, her birimdeki kütleinin kaldırabileceği kadar yük kapasitesi olan yüksek malzemelerdir [10].

Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler şeklinde iki gruba göre sınıflandırılabilir. Termoset matrisler; lif takviyeli kompozit üretiminde çokça kullanılmaktadır ve likit olarak bulunabilirler, katılaştırıcı denen bir maddenin eklenmesiyle ilk başta jel kıvamına gelirler, daha sonra ise katılaşmaktadırlar. Termoset reçineler ise izotropik yapıda bulunurlar. Lif takviyesi yapılmış kompozit üretiminde sıklıkla az viskozite özelliği gösterdikleri için seçilmektedirler [11].

Bununla birlikte bütün bu faydalı özelliklerine karşılık geleneksel petrol bazlı kompozitler zehirli malzemelerdir ve biyobozunur özelliği göstermezler. Ömrünün sonuna gelmiş günümüzde alışılmış kompozit malzemelerin tekrar üretilmesi çok güçtür ve ekonomik olarak yüksek fiyatlıdır. Bu yüzden hem toprağa gömerek hem de yakma yoluyla yok edilir. Tahrip edilen malzemeler ve hızla azalan doğal kaynaklar nedeniyle oluşan kirlilik önümüzdeki seneler için oldukça yüksek bir engel teşkil etmektedir. Günümüzde buna benzer nedenlerle geçtiğimiz senelerde çevresel kaygılar ve adli makamlardan gelen talepler ile; sürdürülebilir ve doğa dostu olan işlem görmemiş maddelere karşı alaka da arttı. Mühendislik uygulamalarında kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak seçilen doğal liflerin ve yardımcı malzeme diye adlandırılan ahşap malzemelerin kullanım alanları yaygınlaşmakta ve yeşil kompozit teriminin popülerliği artmaya başlamaktadır [12-13].

Yeşil kompozitler bileşenlerinden birinin veya birkaçının tabii menşelerden ortaya çıkan geliştirilmiş ve revaçta olan kompozit malzeme grubundan sayılmaktadır. Biyobozunurluk çevre sorunlarına ve tükenen mabulalara alternatif bulma, kullanım kolaylığı, cilde zarar vermeme, gelir elde etme etkinliği, artırılmış kıvrılma gibi olumlu özellikler ile aktivasyon ses geçirmezlik ve geri dönüşüm geleneksel kompozitlere alternatifler sunar. Doğada bulunan liflerden ve yapıtaşlarına parçalanabilen polimerlerden yapıldığı için yeşil kompozitlerin yirmi birinci yüzyılın ekosistem sorunlarına büyük bir etki sağlayacağına inanılıyor ve petrol kaynaklarının küçülmesi için ümit aşıl原因 bir etki oluşturuyor. Bütün bu pozitif özellikler ile doğayla barışık yeni bir polimerik kompozit malzeme olarak geliştirilen yeşil kompozitler ticarete ve mühendisliğe yönelik uygulamalarda teknik-düşük maliyetli fayda veren özellikler göstermekte ve küresel pazarın güçlü askısı olarak görülmektedir. Bu nedenle günümüz bilim adamları, akademisyenleri ve araştırmacılarına yönelik yeşil kompozitler için bir temel malzeme olarak kullanılıp kullanılmayacaklarına bakılmaksızın bugün piyasada

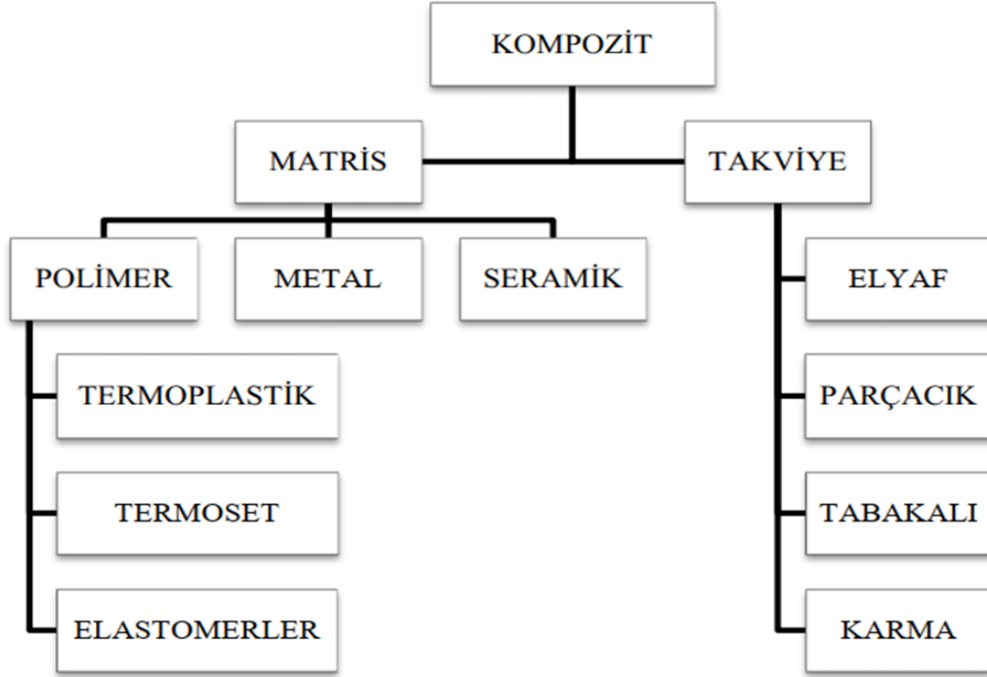
satışa sunulan birden fazla polimerik malzemelerin niteliklerini ve uyumluluğunu araştırmak giderek daha önemli hale gelmektedir [14-15].

Bunun gibi bütün pozitif nitelikler sayesinde bu araştırmanın gayesi ve hedefi de ortaya çıkması gerekmektedir. Bu çalışmanın içerisinde doğal dolgu olan evsel siyah çay atığı kullanılması uygun görülmüştür. Doğal olan takviye malzemeleri ile çalışılarak bu araştırmada bir yeşil kompozit üretmek için çaba sarfedilmiştir. Termoset vinilester adlı reçine cinsine ilave edilen dolgu katkıların aynı zamanda kompozit malzemenin mekanik niteliklerine karşı nasıl bir etki göstereceği de incelenmiştir.

### **1.1. Kompozit Malzemeler ve Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler, mekanik dayanım gösteren değişik geometrik parçalardan (örneğin lif) ve bunun gibi parçaları bir arada tutan polimerik, metal ya da seramik malzemelerden oluşmaktadır. İç sistemlerinde farklı yapılar olabilen kompozit malzemelerin sınıflandırılabilmesi için birbirinden değişik biçimlerde yapılabilmektedir. En sık tercih edilen sınıflandırma şekli ise yapısında bulunmakta olan matris ve takviye malzemesine nazaran yapılabilmektedir.

Kompozit denilen malzeme türünde matris adında bir temel komponent bulunmaktadır aynı zamanda yüksek mukavemet değerlerine sahip ve yüksek elastisite modülüne haiz olan “takviye edici” diye adlandırılan biçiminde diğer komponentlerden oluşmaktadır. Kompozit malzeme, birbirinden farklı şekilde bulunan matris malzeme cinsine göre polimer, metal ve seramik olarak sınıflandırılabilir aynı zamanda yapısal bileşenler şeklinde olanlar da takviye fazına göre sınıflandırılabilir.



Şekil 1.1 Kompozit Malzemelerin Literatürdeki Sınıflandırılması

### 1.1.1. Matris Malzemesine Göre Sınıflandırma

İleri derecede performansa sahip olan kompozit bir malzemeyi üretebilmek için ana bileşenlerden oluşan matris malzemesinde bulunan elyaf kısımları arasında emmesi sağlanmalı, matris malzemesinin içerisinde bulunan elyafları üzerinde ıslatma işlemini gösterebilmeli, kimyevi özellikler ile farklı koşullarda yapışma sağlanabilmesi için arada bağ oluşturmalı, düşük basınç ve düşük sıcaklık anında süratli olarak katılma sağlanmalıdır. Bağ yapısından farklı olarak üretim işlemi zamanında ya da ileri işlem aşamalarında matris katmanı ile elyaf katmanları ilişkisinde diğer etkileşimler olmamalı, ayrıca matris katmanı arada dengeli bir davranış sergilemesi gerekmektedir. Üretim aşaması sırasında matris uyumu nedeniyle fiber katmanı madde kaybı gibi bir zarara denk gelmemelidir [16].

Kompozitler için sıcaklık, kimyasal etkileşimler ve neme karşı direnç öncelikle matris malzemesi tarafından belirlenmektedir. Bununla birlikte, takviye malzemesinin ayrıca sıcaklığa dayanıklı olması gerekir. Kompozitlerde kullanım için doğru matrisi seçmek birçok önemli işlevi yerine getirir. Bununla birlikte, partikül takviyeli kompozitlerde

matrisin rolü sınırlı kalmaktadır. Matris malzemesi, partikül takviyesinde tüm partikülü tutarken aşağıdaki işlevleri yerine getirir.

a) Düzenlenmiş elyafları bütün şekilde yönlendirip fiziksel oluşan enerjiyi elyaf katmanına gönderir. Bunun gibi özellikler sayesinde ortaya çıkan kayma ya da çekme gibi niteliklerle beraber basma yükleri altında mühim bir değer taşımaktadır.

b) Fiber adı verilen bileşenleri çevre kaynaklı etkenler ile darbe etkilerinden korumaktadır. Fiberglass takviye edilmiş kompozit malzemelerde en kullanımı revaçta olan matris kısımların çoğunda, korozyon denilen bozulmalara karşı son derece hassastır. Farklı matris katmanların üretimi sırasında fiber kısımlar ile tepkimeye girmektedir. Çoğu etkenlere baktığımızda matris malzemesi seçilmesi kadar elyaf malzemesi seçilmesi de önemli görülmektedir.

c) Çatlak gibi istenmeyen etkileri durdurmaktadır. Kullanılacak olan elyaf katmanları genellikle ileri derecede mukavemet ve elastikiyet modülü gösterir. Fakat aşırı gevrek özellik gösterirler. Elyaflar farklı farklı birimlerin içindeymiş gibi davranış gösterirken matris malzemesi de kırılma olana kadar serbest şekilde yük taşıma görevini yerine getirmektedir. Bunun gibi nedenlerden dolayı bir çatlak ise ani bir şekilde kırılmalara sebebiyet vermez. Örnek verecek olursak, fiber katmanına herhangi bir etki geldiğinde parçalanırsa gerilmenin yanındaki elyaf katmanına bile uğramadan matris katmanına geçiş yapar. Bunun gibi sebeplere bakıldığında fiber ve matris katmanları arasında yer alan ara yüzey bağ etkisinin kompozit malzemenin tokluğu için bayağı mühimdir. Bunun gibi gereksinimlerin büyük bir kısmını karşılayan malzeme çeşitleri hafif metal alaşımları ya da termoset malzemelerdir [17].

Matris malzeme çeşidine göre kompozitleri üç temel başlıkta toplayabiliriz. Bunlar;

1. Polimer matrisli kompozitler
2. Metal matrisli kompozitler
3. Seramik matrisli kompozitler

#### **1.1.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)**

Matris malzeme şeklinde polimer türleri kullanılmaktadır. Bağlayıcı olarak polimer çeşitleri ya da diğer kimyasal maddeler kullanılabilir. Takviye malzemesi için

seçilen malzemelerden metallerin, ağaç tozlarını, camların ve pudraların kullanılması uygun görülmektedir. İstenilen şekilde termoplastik malzemeler ya da termoset plastikten oluşan cam ve matrisin uygun kombinasyonundan üretilebilmektedir. Cam-karbon liflerinin mekanik ve fiziksel faydaları sebebiyle birden fazla alanda asbest, metal, pamuk iplik ve yapay elyaf şeklinde liflere karşı daha çok kullanılmaktadır. Ayrıca cam elyaf içeren kompozitler, yüksek kuvvetleri iletebilir şekilde olmalarına karşın cam maddesinin kırılma özelliği sebebiyle bayağı düşük dayanıma sahiptirler.

#### **1.1.1.2. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)**

Metal matris içeren kompozitler içim matris malzeme olmasıyla birlikte; çelik, dökme demir ve alüminyum benzeri metal malzemeler kullanılmaktadır. Takviye malzemesi kullanılmayacak şekilde metal biçimde olan bağlayıcılarda kullanılması tercih edilmektedir. Bu çeşit kompozit malzemelerde takviye malzemesi olarak, ağaç tozu, seramik, plastik, metal, pudra kullanılması revaçtadır [18].

Kompozit malzemeler için hafif denilen metal çeşitlerine uygun olarak matris malzemesi seçilerek kullanılırsa oldukça etkili olmaktadır. Bu kompozitler plastik malzemelere bakıldığında yüksek elastikiyet modülü sahip olduğunu aynı zamanda da yüksek dayanıma ve tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki özellikleri de etkili bir biçimde görülmektedir. Ancak metal matris içeren kompoziti üretmeye çalışmak oldukça zor olmaktadır. Bu tip malzemeler elyaf katmanı ile arasında mükemmel bir ara yüzey bağlanma özelliği göstermezler. Metal malzemelerle en kolay bir şekilde bağ oluşturan bileşen ise silisyum karbürle sarılmış boron fiber malzemedir. Fakat bu tür fiberlerin maliyeti yüksektir.

Metal matris kompozitlerde sıkça kullanılmakta olan matris içeren malzeme, iyi bir tokluk özelliği ve düşük yoğunluk gibi mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır. Bu gibi hafif metal alaşımların, sağlam bir mukavemet, yoğunluk oranlarına haiz oldukları için hafif yapı konstrüksiyonlarında oldukça sık şekilde tercih edilmektedir. Başka spesifik niteliği ise havadaki yapıya karşı korozyon direncinin yüksek olmasıdır. Sıklıkla Mg, Ti, Al, Zn, Cu ve Ni matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ama Alüminyum alaşımları ile Magnezyum ve Titanyum alaşımları sık bir şekilde kullanılmaktadır ve tercih edilmektedir.

### **1.1.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)**

Seramikler, bir ya da birden fazla metal malzemesinin, metal dışı malzemelerle birleştirilmesi ve sinterlenmesi neticesinde ortaya çıkan organik olmayan özel malzemeler olarak tanımlanmıştır. Ayrıca tabiatta bulunmakta olan kayaların dış etkilere maruz kalarak parçalanmasıyla ortaya çıkan kil ve kaolen benzeri malzemeler yüksek sıcaklıkta pişirilmeyle meydana gelen malzemelerdir. Bunlar değişik şekilde alüminatlar, silikatlar ve metal oksitlerden oluşur. Kararlı bir yapı olarak davranışı gösterirler. Bu nedenle de fazla sert ve gevreklerdir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklara karşı dayanım özelliği gösterirler.

Seramik malzemeler gevrek yapıları malzemelerin çeşitlerinden biridir. Bu nedenle çentik yapılar, mikro yapıdaki noksanlıklar ve mikro çatlaklar bunun gibi malzemelerin üzerinde gerilim birikimlerine sebebiyet verirler. Böyle durumlar nedeniyle seramik malzemenin çekme mukavemetini düşürmektedir. Basma mukavemetleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Ancak mikro yapıdaki noksanlıkları azaltarak ve bayağı ince çaplı fiberler üreterek oldukça dayanım özelliği gösteren kompozitler üretilebilmektedir [19].

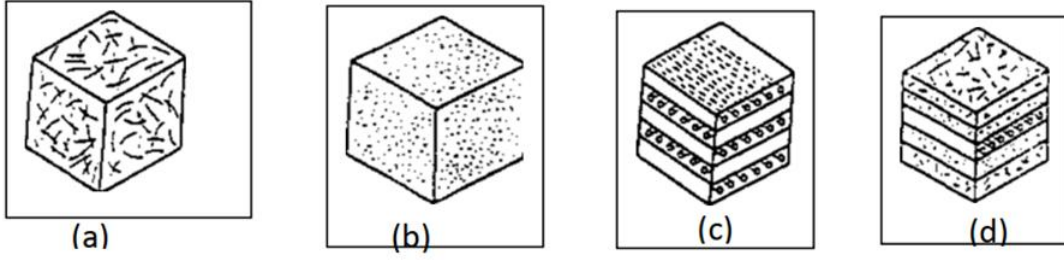
Seramikler aynı zamanda yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir ve nispi olarak düşük özkütle özelliği göstermektedir. Seramik malzemelerin tokluk özellikleri yönüyle düşük malzemeler olarak bilinmektedirler. Bunlar; SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN, TiB, B<sub>4</sub>C gibi bileşiklerdir. Bunun gibi bileşikler farklı yapıya sahiptirler.

Seramik malzemelere seramik elyaflar ilave edilmesi sonucunda mukavemet yükselmektedir ve tokluk özelliği de artmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, bunun gibi malzemelerin savunma sanayisi sektörü haricindeki biyomalzeme üretimi yapan sektörlerde de kullanılmasına sebebiyet vermiştir [20].

### **1.1.2. Takviye Elemanına Göre Sınıflandırma**

Takviye elemanı, kompozit malzemenin mekaniksel dayanıklılık özelliğini değiştirmektedir. Mukavemeti arttırmak için çoğunlukla kompozit malzemenin içerisindeki hacmin yüzde onu geçmesi gerekmektedir. Takviye elemanları, biçimlerine ve matris yapısının içerisinde konumlandıkları yere göre dört değişik sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar;

1. Elyaf takviyeli
2. Parçacık takviyeli
3. Tabakalı
4. Karma kompozit malzeme



Şekil 1.2 Takviye Elemanına Göre Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

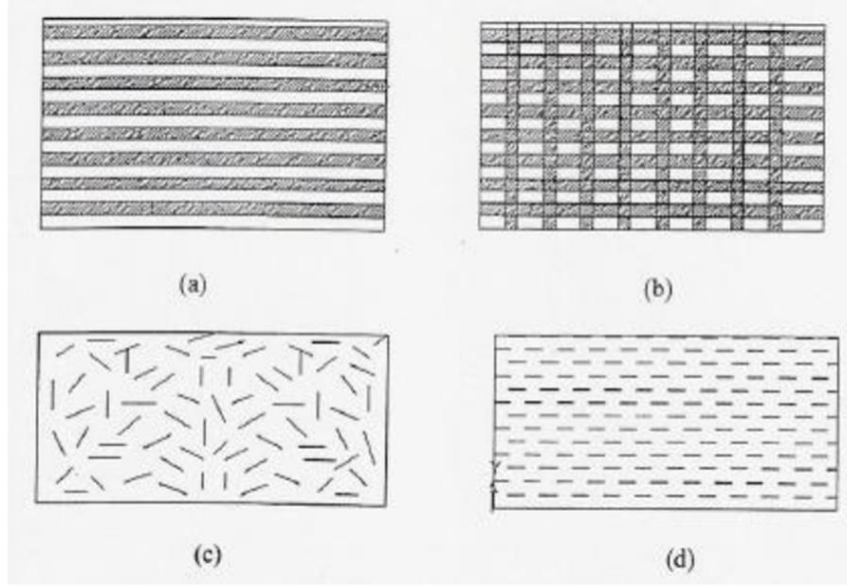
#### 1.1.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler

Bunun gibi kompozit malzeme türü matris yapısı içerisinde ince fiberlerin konulmasıyla ortaya çıkmıştır. Fiber yapıların matris malzeme içerisinde yerleşimi kompozit malzemesinin dayanıklılığını büyük oranda tesir eden faktörlerden biridir. Boyu uzun olan fiberler matris malzeme içerisinde birbirine benzer olacak bir biçimde yerleştirilmeleri halinde fiberler yönünde yüksek miktarda mukavemet kazanılır, fiberlere dik yönde ise oldukça düşük değerlerde mukavemet ortaya çıkmaktadır, iki boyutta istiflenmiş elyaf yapılı takviyelerle iki doğrultuda da aynı miktarda mukavemet kazanılır, matris yapısı içerisinde eşit miktarda paylaştırılmış biçimde bulunan uzun olmayan elyaf yapıları ile izotrop bir yapı meydana gelmektedir. Fiber yapıların gösterdiği mukavemet, kompozit malzemenin dayanıklılığı için bayağı önemlidir.

Fiber yapılarıdaki boy/çap dengesi arttıkça matris yapısından fiber yapılara doğru transfer edilen yükteki ölçüsü de bir hayli artma eğilimi göstermektedir. Mukavemet için fiber yapısının kusursuz olarak bulunması da oldukça mühim bir konudur [21].

Kompozitler malzemelerde kullanılmakta olan elyaf lar sürekli bir şekilde ya da kesikli bir biçimde olmaktadır. Sürekli yapıdaki elyaf lar oldukça uzun bir şekilde olabilirler aynı zamanda kompozit malzeme tarafından iletilen yüklerin taşınması için devamlı bir

yol sağlayabilirler. Hakikatteyse bu elyafa benzeyen yapı, işlem şekli nedeniyle oluşan hareketlenmelerden dolayı ulaşılması pek de olabilesi zor gerçekleştirilecek bir haldir. Kesikli yapıdaki elyaflar kısa boydadır (boy/çap oranı yaklaşık 100). Kesikli elyaflar oldukça dayanıklılık gösteren kristallerdir [22].



Şekil 1.3 Yerleşim Tiplerine Göre Elyaf Kompozitler

- Tek yönlü pekiştirilmiş sürekli fiber kompozit
- Örgü formunda fiberlerle pekiştirilmiş kompozitler
- Rastgele yönlü sürekli fiber kompozit
- Yönlendirilmiş sürekli fiber kompozit

#### 1.1.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozit Malzemeler

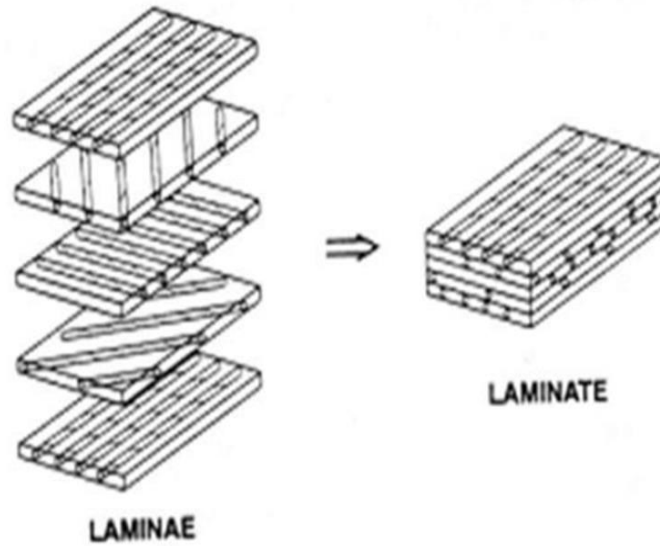
Matris yapılı malzeme içerisindeki diğer malzeme yapısının küçük parçalar şeklinde bulunması halinde meydana gelir. İzotrop yapıda bulunurlar. Yapının içerisinde bulunan parçacıkların sertliklerine göre mukavemeti değişmektedir. Fazla kullanılan bir diğer çeşit ise plastik malzemenin matrisi içerisindeki küçük metal parçacıklardır. Metal küçük parçalar elektrik ve ısı transferlik sağlamaktadırlar. Metalin içinde bulunan matris yapısı içerisindeki seramik yapılı küçük parçalar bulundurmakta olan yapı birimlerinin sıcaklığa karşı dayanıklılıkları ve gevrek halde bulunmaları büyük ölçüde bir değer verir [23].

Uçak motor parçalarının yapımında sıklıkla kullanılan seramik parçacık içermekte olan yapılar metal matriks içinde bulunmaktadır ve bu parçacıkların sert olduğu ve yüksek sıcaklığa karşı ise mukavemeti fazla olduğu gözlemlenmiştir.

### 1.1.2.3. Tabaka Yapılı Kompozit Malzemeler

Tabaka yapılı kompozitler, değişik malzemelerde bulunan katman halinde bulunan yapıların yapışkan tarzında bir şeyle birleştirilebildikleri, eklenmiş bir kuvvet, mukavemet ya da değişik bir yarar sağlayabilmek için üretilen kompozit malzemeleridir [24].

Tabakalı kompozit malzemenin yapısı dünya çapında en çok kullanılan yapıya sahip bir çeşittir. Birbirinden apayrı olan fiber yapılı yönlenmelerdeki katmanların birleşimiyle bayağı yüksek dayanım değerleri ortaya çıkmaktadır. Isıya karşı ve rutubete karşı dayanıklı bir yapı gösterirler. Metal malzemelerden oldukça hafif ve dayanıklı bir halde buldukları için tercih edilmektedirler. Sürekli halde bulunan fiber takviye edilmiş tabakalı yapıdaki kompozitler birçok sektörde kullanılmaktadırlar [25].



Şekil 1.4 Tabaka Yapılı Kompozit Malzeme

### 1.1.2.4. Karma Yapılı Kompozit Malzemeler

İki veya ikiden daha fazla fiber cinsinin benzer kompozit yapı içerisinde yer alması mümkündür. Bu tür kompozit çeşidine karma kompozit denmektedir. Bunun gibi

sektörler son üretilmiş türdeki kompozit malzemelerin gelişimine olanak veren yerdir. Örneğin, kevlar malzemesi oldukça tok aynı zamanda da düşük maliyeti olan fiber malzemedir. Ancak basma denilen mukavemet değeri düşük olduğu gözlemlenmiştir. Grafit ise düşük toklukta, pahalı olmasına karşın mükemmel basma dayanımı gösteren bir fiber malzemedir. Buna benzer iki tane fiber malzemenin kompozit içeriği yapısında karma kompozit malzemesinin tokluk değeri grafit denilen yapıli kompozitten oldukça üstün olmasına karşın, düşük maliyetlidir. Kevlar fiberli kompozitten çok daha yüksek bir değerde ise basma mukavemet değeri vardır [26].

## 1.2. Yeşil Kompozitler

Yapısında bulunan bileşen yapılarının birinin veya birkaçının doğal rezervlerden elde edilmesi zorunlu olan değerli bir kompozit türüdür. Kendisinde bulunan olumlu ve güzel özellikler sebebiyle (biyobozunurluk gösterme, rahat bir şekilde işlem görebilme, ses geçirmezlik, tekrar eski haline dönüştürülebilme, ekosistem sorunlarına ve artış göstermeyen kaynaklara karşı çözüm gösterme vb. gibi) klasik tarzdaki kompozitlere karşı alternatif seçenekler göstermektedir. Günümüzdeki ekosistem problemlerine büyük bir katkı vereceği için kompozitler, doğal liflerden ve biyobozunurluk içeren polimerlerden oluşmuştur. Günümüzdeki tükenen petrol rezervleri için kompozitler alternatif bir yol olarak görülmektedir. Bütün bu pozitif özelliklerle birlikte ekosistem dostu olarak tanımlanabilen yeşil kompozitler, ticarete ve mühendislik platformunda teknolojik ve ekonomik olarak büyük bir yarar sağlamakta ve küresel satışlarda büyük bir etkiye neden olmaktadır. Birbirinden farklı polimerik özelliklerin bulunması sebebiyle yeşil kompozitlerin matris malzemesi olarak kullanılmasının doğru olup olmayacağı konusundaki araştırmalar gün geçtikçe akademisyenler, bilim insanları ve araştırmacılar için büyük bir önemiyet oluşturmaktadır [27-28].

Geçtiğimiz yıllarda bitki liflerinin kullanılması dünya çapında önemli bir etki bırakmıştır. Çünkü ekosistem dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen bir malzeme ortaya çıkarabilmek için uygun görülmüştür. Muz, pamuk, bambu, sisal ve jüt vb. gibi doğal bitkilerden ortaya çıkan lifler ve bazı tohumlar polimer matrisli kompozitlerde takviye olarak tercih edilmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin, temel malzeme olarak yapay olmayan bitki lifleriyle takviyelendirildiği biyokompozitlere ‘yeşil kompozitler’ denilmektedir. Yenilenebilir matris malzemesinden ve yenilenebilir

takviye malzemesinden elde edilen yeşil kompozitler, biyolojik yapıda bulunan bileşiklerdir. Kompozit malzeme için takviye malzemesinde kullanılacak uygun elyafın ayarlanabilmesi için, malzemede rijitlik ve mukavemet özelliklerinin iyi derecede olması gerekir [29].

Kompozit malzemenin matris malzemesinin hibrit olması isteniyorsa iki veya ikiden fazla bitki lifinin bir araya getirilmesi gerekmektedir. Böyle oluşan yapılara hibrit yeşil bileşik denir. Kompozit malzeme tasarımının herkes tarafından beğeniliyor olabilmesi için geleneksel yapıdaki kompozit malzemelerin eksik özelliklerinin tamamlanabilmesi adına yüksek mekanik özellikler geliştirilmektedir. Fiber ve matris arasındaki uyumluluk, hibrit yeşil kompozitin istenen özelliklerini elde etmek için çok önemlidir. Kompozit malzemenin nihai özelliklerinin istenilen özellikte olabilmesi için, bitki lifi seçimi çok önemli bir konudur. Hindistancevizi, kenevir, bambu, kenevir ve keten gibi lifler, yüksek yapısal özelliklerinden dolayı tüketim malları, düşük maliyetli evler ve fiberglas gibi kısımlarda kullanılmıştır [30].

Son yıllarda kısa sürede dünyaya tanıtılan kompozit malzemeler, uzay sistemleri, otomobiller, spor malzemeleri benzeri günlük yaşamın birden çok alanında vazgeçilmez bir konudur. Kompozit malzemeler çoğu zaman, bir polimer yapısına (epoksi, polietilen, polipropilen vb.) matrise lifler (cam, karbon, aramid vb.) katılarak oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanımının artmasının tercih edilmesinin yanı sıra, kalıplanan malzemenin tükettiği atıklar da sorunlara neden olmaktadır. Bir başka deyişle de kompozit malzemenin geri dönüşümünü zorlaştıran şey yapısında birbirine bağlı bulunan lif ve matris tabakalardır [31].

### **1.2.1. Termoset Yeşil Kompozitler**

Soya fasulyesi ve keten tohumu gibi doğal yağlardan üretilen reçinelerin, günümüzde kullanılan petrokimyasallardan üretilmiş olan belirli bir sıcaklıkta sertleşebilen reçinelerin yerine kullanılabilmesi düşünülmektedir. Doğal yağlar ucuz maliyetli, fazla miktarda ve yenilenebilen maddelerdir. Yapısında bulunan çift bağlar ve ester grupları gibi yapılara sayesinde malzemenin aktif gruplarına bağlanarak polimerik bir reaksiyon gösterebilirler. Yağ asitlerinde bulunan trigliseritlere yaslanırlar. Popülaritesi çok olan reçinelerden biri epoksitlenmiş doğal yağdır ve anhidrit yapılarla çapraz bağ

kurmuşlardır. Diğer popülaritesi yüksek olanlar ise doğal poliollerden oluşan poliüretanlar ve petrokimya hammaddelerinden üretilen diizosiyanatlardır. Kompozitlerin kullanılma hazırlanması için üretilen yağlardan biri de akrilat epoksitlenmiş yağlardır. Akrilat epoksitlenmiş yağların oluşması için ise akrilik asit tepkimesi ile epoksitlenmiş doğal yağların bir araya getirilmesi gerekir. Kompozit endüstrisinde üretimi yapılan ‘kapalı kalıp’ tekniğiyle termoset biyokompozitlerde üretilmektedir. Reçine formülasyonu, reçineyi oluşturmak için birden fazla maddelerin hassas oranlarda birleştirilmesi işlemidir. Reçine formülasyonu gerçekleştirilmesi için istenilen sıcaklık ayarlanır. İlk başta kalıp sertleştirme işleminden geçirilir ve sıkıştırma kalıplama veya alternatif olarak bir vakum uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Bu alana karşı yüksek ilgiye rağmen, ticarete kullanılması için geliştirilen çalışmalar az olduğundan dolayı yeşil kompozitlerin bu konudaki üretim hacmi çok gelişmemiştir. Piyasada soya yağı içeren yeşil kompozitler sürünmüştür [32].

### **1.2.2. Termoplastik Yeşil Kompozitler**

Üzerinde en çok araştırma yapılan ve ticarete birçok varyasyonu geliştirilen ayrıca yapısı bakımından biyolojimize uyumlu olan polimerlerden biri PLA’dır. Birçok çalışma, NFC’lerde matris malzemesi olarak PLA’nın kullanılabilceğini uygun görmüştür. Termoplastik yeşil kompozitler, sınırlı bir yükte (maksimum % 50 w/w) ortaya çıkabileceği açıktır. Elyafın içindekiler bakımından %50’den fazla seviyelerde olduğunda, bu durum termoplastik kompozit üretimi için matriste homojen bir lif dağılımını ortadan kaldıran tekniklerden bahsedilebilir. Bileşik ve enjeksiyon kalıplama benzeri standart ve az maliyetli donanımlarla işlenebilen plastik üretimi yapılabilen termoplastik yeşil bileşikler mevcuttur. Bu teknikler göz önünde bulundurularak bir sonuca varıldığında; uzun liflerin sıkıştırma kalıplama yöntemleri, kısa liflerin ise bileşik ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri ile üretimi söz konusudur. Günümüzde bir sürü kompozit üretimi yapan işletme ürün kataloglarına doğal liflerle takviye edilerek üretilmiş PLA kompozitleri eklemiştir. Yeşil kompozitlerin ticarileşmesi, biyolojik bazlı matris türevlerinden dolayı büyük bir oranda olmasına karşın henüz geliştirilme sürecindedir [33].

Ekosistem dostu olan çalışmalar da kompozit malzemenin yenilenebilir rezervlerden ortaya çıkması üzerinde çalışılmaktadır [34].

Günümüzden yıllar önce yapılan çalışmalarda harç malzemesine keçinin kılının eklenerek malzeme geliştirmeye çalıştıklarını düşünürsek, kompozit malzemelerin çok uzun yıllardır bizimle olduğu varsayımını çıkarabiliriz. Yakın dönem olan 1938 senesinde ise Henry Ford, ilk defa yapılan araba gövde paneli üretebilmek için doğal lif olan soya fasulye bazlı reçine kullanmıştır [35].

Otomotiv, mobilya, inşaat ve ambalaj üretilen sektörlerde yeşil kompozitler çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [36-38].

Ağaç unu ve odun yongası gibi çok ucuz dolgular inşaat ve mobilya gibi sektörlerin uygulamalarında kullanmak için tercih edilmektedir. Birçok sektörün uygulamalarında yeşil kompozitler kullanılarak bunlardan iyi bir performans göstermesi istenmiştir. Kompozitlerdeki bu çeşit tasarım düzenlemelerinde istenilen özelliklerde bir malzeme ortaya çıkarabilmek için bambu, muz, jüt ve kenaf gibi lifler kullanmayı tercih etmişlerdir [39].

Ekosisteme uyumlu bir etki bırakması sayesinde ve yer üzerinde yol alan araçların ağırlığını %10-30 oranında azaltmış kadar hafif olabilmeleri için gerekenden az yakıt kullanımı sağlayabildikleri için günümüzde kullanım açısından revaçtadır [40-42].

Daimler-Benz adındaki araba markası tarafından yaklaşık 1991 senesinden bu yıllara kadar, cam lifi benzeri liflerin yerine kullanılacak doğal kaynaklı lifleri bulabilmek için gerekli araştırmalar yapılmaktadır [43-44].

Hindistan cevizi ilave edilmiş lif takviyeli kompozitleri temel alarak 1996 senesinde, Mercedes firmasının E-sınıfı araçlarının kapı panellerinin ise jüt lifi ilave edilmiş takviyeli kompozit malzemelerden üretilmiştir [45-47].

Evrende kullanımı büyük bir hızla artan yeşil kompozitler belli başlı araba markalarının ilk baştaki tercihi olmuştur ve halen Mercedes-Benz firması için de kullanılmaya devam edilmektedir [48-50].

Yeşil kompozit kullanımı gelecek yüzyılın vazgeçilmez malzemelerinden olacak ve bu malzemelerden beklenen istekleri iyi bir şekilde karşılayacaktır.

### 1.3. Biyokütlesel Atık

Enerji tüketimi ülkelerin refah seviyelerinin bir göstergesi olmakla beraber, insanların rahat bir yaşam geçirmeleri için çok önemlidir. İlerleyen ve büyüyen teknoloji ile birlikte, artan nüfusu da göz önüne alırsak enerjiyi harcamadaki artan miktar olan enerjiyi bütün evrende bilindiği üzere vatanımızda da mühim bir sorun olması itibariyle gözler önüne sermektedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları çok hızlı bir şekilde tükenmekte ve yok olurken de natural yaşam yerleri ve ekosistemde geri dönülmez tahribatlara neden olması, istikbaldeki kuşakların hayatlarını büyük oranda etkilemesi sonucuna varılmıştır. Buna benzer nedenlerden, yenilenebilir enerji rezervlerinden faydalanma amaçlı araştırmalar yapılması geçtiğimiz senelerde çok büyük bir etkiye yol açmıştır.

Hammadde ve enerji rezervlerinin mevcut kapasitelerinin belli bir miktarda olmasının yanı sıra, hammaddeye ve enerjiye karşı gereksinim devamlı ve çok süratli bir tarzda artma eğilimi göstermektedir. Aynı zamanda birincil enerji kaynaklarının miktarının sınırlı halde bulunması, insanoğlunu yıllardır bulamadığı yenilikçi rezervler aramaya teşvik etmektedir. Birincil enerji kaynaklarının hammaddelerinin sınırlı olmasıyla birlikte, yakıtın fiyatının yükselmesi, nüfus miktarının artması, endüstriyel yapılaşma, milli rezervlerin incelenmesinin zorunlu hale getirilmesi, elde bulunan yakıtların ekosisteme bıraktığı negatif etkileri ve mevsim değişimi problemi yenilikçi enerji aktarımı sayesinde, yenilenebilir enerji rezervlerinin kullanımının gerekliliği büyük önem arz etmektedir.

Ekosistemin birçok yerinde bulunan tarımda kullanılan malzemelerden farklı kimyasal olarak, fiziksel olarak, biyolojik olarak metotlarla üretimi yapılan, ticarete kullanılabilen, başlıca özellikleri biçilmiş olan katı, sıvı ve gaz hallerinde ortaya çıkan bitki kaynaklı enerji rezervleridir. Biyokütle, yaşambilimle ilgilidir ve fosil bir kökenli olmayan organik madde kitlesidir. Başlıca temel bileşenleri bitkisel ve hayvansal olan doğal maddelerden oluşan enerjiye ise biyokütle enerjisi denmektedir. Biyokütle, bir asırlık süreçten daha az zamanda yenilenebilen, doğada çoğalan bitkiler, hayvan artıkları, yiyecek sanayisi ve orman ürünleri ile şehirlerdeki atıkları kapsayan bütün inorganik olmayan maddeler şeklinde tanımlanabilmektedir [51].

Dünyada artmakta olan popülasyon ve sanayileşme ile git gide artmakta olan enerji ihtiyacını ekosistemin yapısını bozmadan ve sürdürülebilir olarak elde edecek kaynaklardan en önemli olanlarından birisi biyokütle enerjisidir.

Biyokütle enerjisi türlü türlü özellikleri ile kendini ön plana atmaktadır. Özellikleri şu şekilde açıklanabilir:

- Birden çok mekânda yetiştirilme
- Üretim ve çevrim gibi teknolojik uygulamalara hâkim olunması
- Küçük birimlerde enerji üretimi için gereken uygun olma halini sorgulama
- Az olan ışık kuvvetlerinin yeterli olup olmaması
- Bir yerde biriktirilebilir olma
- 5-35 °C arasındaki sıcaklıklara yeterli olup olmama durumu
- Bireylerin toplumsal ekonomik iyileştirmelerinin mühim olması
- Doğa dostu olma (NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi bileşikler havaya bırakmalarının az olması)
- Sera etkisi olayının az görülmesi
- Dünyamızda karbondioksit dengesinin sağlanmaya çalışılması
- Asit yağmurlarına neden olmaması [52].

İnsanoğlunun dünyanın var olduğu zamanlardan günümüze varan süreçte hep enerji kaynaklarına ihtiyacı olmuştur ve bu kaynaklardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu biyolojik yapıda bulunan kaynaklardır. Enerji üretmek için kullanılan biyolojik kökenli kaynaklardan ehemmiyetli olanı doğanın içinde bulunan kendine yer edinmiş odun benzeri malzemelerdir. Ağacın ana kısmından alınan tomruk, sanayi odunu benzeri malzemelerden arta kalan diğer parçalar ve ağacın temel parçalarından enerji çıkarabilmek için kullanılmaktadır ve bu sırada bu yöntem önemlidir.

Biyokütle kaynaklı enerjiden ısı, elektrik ile araçların kendi enerjisini üretebilmesi için de yakıt üretimi sağlanmaktadır. Klasik ve endüstride kullanılan metotlarla yakma veya dolaylı yoldan yakma sayesinde biyokütle enerjisinden hem ısı hem de elektrik ortaya çıkmaktadır. Katı, sıvı ve gaz hallerinde bulunan biyoyakıt üretimi yapılarak biyokütle

enerjisinin, enerji üretimi teknolojisi sektöründe kullanılabilmesi için doğrudan yakma ve belirli bir takım fiziksel ve kimyasal yöntemlerle meydana gelmektedir.

Geçtiğimiz senelerde süratli bir şekilde artan sanayiye yöneliş, nüfustaki artma, şehirleşme ve hayat kalitesinin güzelleşmesi benzeri faktörler enerji rezervlerinin git gide yok olmasına neden olurken bir yandan da enerji kullanımının artmasına neden olmuştur. Evrende enerjiyi tüketme yoğunluğu bir asır öncesine kıyasla takriben 17 kat arttığı gözlemlenmiştir. Neticesinde enerjiye bağlı açığı kapatabilmek için yaşadığımız evrende biyokütle ile alakalı araştırmalara olan ilgi çok fazla artış göstermiştir. Biyokütle enerjisinin düşük maliyet ve çevreye olan etkisi açısından pozitif nitelikleri göz önüne alındığında biyoenerji mevzusuna alaka gün geçtikçe artış eğilimi göstermektedir. Biyokütle enerjisi yaşadığımız evrende dördüncü sırada tercih edilen bir enerji kaynağıdır. Biyoenerji gelecek asrın başta gelen enerji kaynaklarından olacağı birçok ülke tarafından uygun görülmektedir [53].

Var olan bu büyük enerji potansiyeli, değişik sosyal ve ekonomik faydaları sayesinde gelecekteki en mühim yenilenebilen enerji rezervlerinden olabileceği hususunda bir karar verilmiştir. Biyokütle enerji kaynakları aracısız bir şekilde ısıtma ve elektrik üretme gayesiyle kullanılması uygun görülmüştür. Aynı zamanda katı, gaz ve likit halde bulunabilen yakıtlara dönüştürülebilmektedir. Endüstriden çıkan, tarımdan kalan atıklar ya da orman atıkları biyokütle enerjisi şeklinde kullanılmakta, ayrıca ağaç ve şeker kamışı benzeri enerji üretmekte bitkiler sadece enerjiye çevrilerek kullanılabilmek için üretimi yapılmaktadır [54-55].

Yapısında klorofil bulunduğu için yeşil renkten oluşan bitkiler güneşten gelen enerjiyi fotosentez denilen bir reaksiyon nedeniyle kimyasal enerjiye çevirerek depolayabilmesi neticesinde ortaya çıkan aynı zamanda yaşayan canlı türlerinin menşei olarak da ortaya çıkabilen biyokütle, organik madde kaynakları olarak literatürde yerini almıştır. Biyokütle enerjisi denilen enerji kaynağının ana bileşim elemanlarından olan karbohidrat bileşikleri olarak adlandırılan bitki kökenli ya da hayvansal kökenli bütün natürel maddelerden oluşmaktadır. Bunun gibi rezervlerden ortaya çıkan enerji biyokütle enerjisi denilerek literatürde kayda geçilmiştir. Özet olarak anlatılmak istenirse, bir yüzyıllık vakitten az zamanda yenilenebilme özelliği olan, yeryüzünde ve denizlerde yetişebilen bitki çeşitleri, hayvanlardan kalan atıklar, besin üretim işletmeleri ve

ormandan yararlanılarak üretilen ürün çeşitleri gibi bütün organik maddeler şeklinde adlandırılabilir [56-58].

Biyokütle yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Var olan birtakım bitki ve hayvanlardan temin edilen, fosilleşmiş olmayan ve yenilenebilme niteliği gösteren aynı zamanda çürüyebilen bir madde kitlesi diye tarif edilebilir. Biyokütle kaynakları, organik atıklardan oluşan bütün organik maddelere denen bir addır. Biyokütle yaklaşık bir asırdan da az bir zamanda oluşabilen ve yenilenebilen bir çeşittir. Biyokütle atıkları hem karada hem de suda çoğalan bitkilerden, hayvan atıklarından, şehirlerden, sanayi bölgelerinden ve belediye yerlerinden kalan atıkların değerlendirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Biyokütle kaynakları, farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden geçerek belirli özelliklerde oluşabilen katı, sıvı ve gaz hallerinde biyoenerjiye dönüşebilmektedir. Biyokütle kaynaklarının temel yapı taşları karbonhidrat bileşiklerinden oluşmaktadır. Biyoenerji; katı, sıvı ve gaz halinde bulunabilen maddelerden ortaya çıkan bir enerji türüdür. Aynı zamanda elektrik üretiminde de kullanılabilir [59].

Biyokütle denince belli bir mekânda, belli bir zamanda, belli bir alan içinde bulunan ve yaşamakta olan yerin üstünde veya altında bulunan belirli bitki ve hayvan kökenli maddelerin benzeri olduğu sonucuna varılmaktadır. Evrende yaşamakta olan hayvanlar ve mikroorganizmaların çoğunun oluşturduğu maddelere biyokütle denmektedir. %90 oranındaki maddeler ormanlarda yetişen ağaçların gövdelerinde, yapraklarında ve dallarında bulunmaktadır. Yıllık biyolojik madde üretimi yaklaşık olarak  $5 \times 10^{19}$  ton olabileceği konusunda varsayımlar vardır. Üretilen bu biyokütle miktarı fotosentez sonucu ortaya çıkan tüm birincil biyokütleden çok fazla olmaktadır [60].

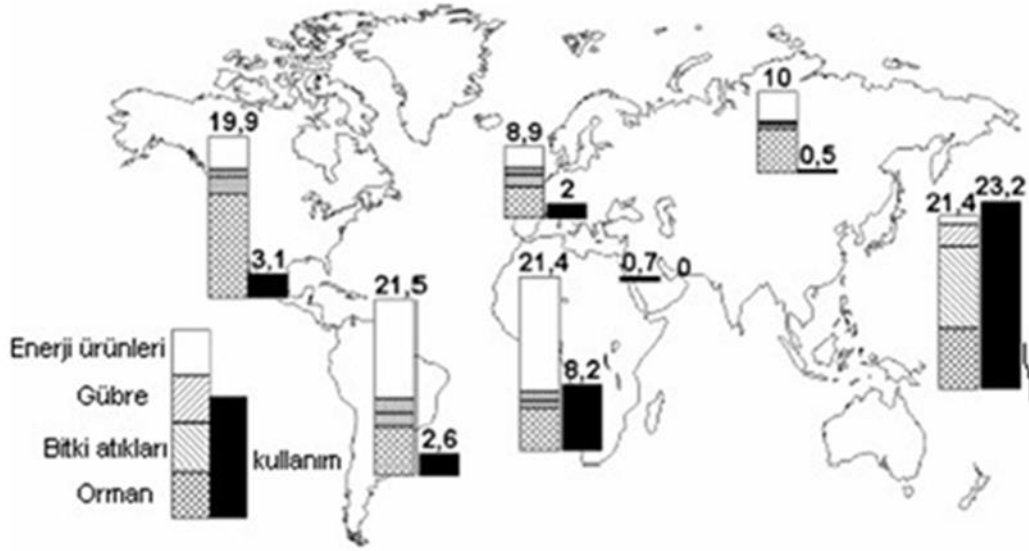
Biyokütle denilen enerjiyi, modern veya klasik olarak iki farklı kategoride değerlendirmek gerekmektedir. Birinci kategoride, konvansiyonel denilen ormandan temin edilen yakılabilecek odun ve aynı zamanda yakacak şeklinde de kullanılabilen bitki ve hayvanlardan kalan atıklardan oluştuğu görülmüştür. İkinci kategoride ise literatürde modern biyokütle enerjisi şeklinde geçmektedir. Tarıma bağlı endüstri atıkları olarak adlandırılmaktadır ve tarım yerlerindeki bitkisel atıklar, şehirde oluşan atıklar ve orman-ağaç endüstrisi atıkları gibi atık çeşitleri örnek olarak sayılabilir.

Bunun gibi materyalleri; katı, sıvı ve gaz yakıtlara dönüştürülebilmek için ise biyokütle yakıt teknikleri ile işlemek gerekmektedir [61].

Biyokütle, kendi kendine yenilenebilen mühim bir rezerv olmasıyla birlikte elektrik ve başka enerji türlerinin üretim kısmında kullanılmaktadır. Biyokütle, güneşten gelen enerjiyi bir süre biriktirerek organik madde şeklinde yine ve yeniden enerjiye dönüştürülebilmektedir. Biyokütle kaynaklarına örnek verecek olursak tarım kökenli bitkiler ve atıklar, endüstriyel atık olan odun atıkları ve çiftlik hayvanlarının atıkları benzeri maddeler söz konusu olabilir. Biyoyakıt üretimi için gerçekleştirilen teknoloji sayesinde biyokütledeki var olan enerjiyi ulaşım, ısınma ve elektrik üretmede etkili bir biçimde kullanım göstermiştir. Bu modern zamanda tesislerden çıkan atıklar, tarım kökenli atıklar ve yiyecek üretiminden kalan atıklar ile kullanılmayan maddeler olan çöplerden ortaya çıkan metan gazı kullanılmıştır [62].

Biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji sayesinde evrenimizin ihtiyacı olan enerjinin bir kısmını karşılamaktadır. Bazı ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre tüketim daha fazla olduğu görülmüştür. Biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyle evrenin enerji tüketiminin yüzde 14'nü karşıladığı, refah seviyesi yüksek ülkelerde ise tüketim oranı yüzde 43'lere ulaştığı gözlemlenmiştir. Dünyada birçok ülkenin hızla gelişim gösterdiğini varsayarsak yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisinin de önümüzdeki yıllarda kullanımını artacağı düşünülmektedir [63-65].

Dünyadaki biyokütle dağılımı ve potansiyeli şekil 1.5de belirtilmiştir.



Şekil 1.5 Dünyadaki Biyokütle Dağılımı ve Potansiyeli

Biyokütle enerji kaynağı en çok kullanılan bir enerji çeşidi olup enerji kaynakları sıralamasında kullanım açısından dördüncü konumdadır. Gelecekte kullanılacak temel enerji kaynaklarından birinin de biyokütle enerjisi olacağı düşünülmektedir. Örnek verecek olursak İsveç, Avusturya ve Finlandiya gibi ülkeler biyokütle kaynaklarından enerji elde ederek kendi ülkelerinin ihtiyacı olan enerjiyi karşılamaktadırlar. İsveç biyokütle kaynaklarının %16'sını, Avusturya ise %13'ünü kullanmaktadır. Finlandiya ise biyokütle enerji kaynaklarının çoğunu kullanarak kendi ülkesine büyük bir fayda sağlamıştır [66-67].

Biyokütle kaynaklarından iki şekilde yakıt ortaya çıkarılabilmektedir. Fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçleri olarak adlandırılmaktadır. Fiziksel süreçler kısmında kırma ve öğütme, filtrasyon işlemi, kurutma, birikitleme ve ekstraksiyon süreçlerinden geçmektedir. Dönüşüm süreçleri kısmında biyokimyasal ve termokimyasal süreçlerden geçmektedir [68].



Biyokütle	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi, ısınma
Tarım atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon, havasız çürütme	Metan	Ulaşım araçları, ısınma
Çöpler (Organik)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz		Sentetik yağ Roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve Hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Motorin	Ulaşım araçları, ısınma, seracılık

**Tablo 1.1** Biyokütle Kaynakları Kullanılarak Üretilen Yakıtlar ve Uygulama Alanları

Bu yakıtların elde edilmesinde kullanılan termokimyasal ve biyokimyasal süreçler şeklinde adlandırılan birçok yeni teknikler ortaya çıkmış ve seneler içerisinde verim bir şekilde artmıştır. Gelecekteki senelerde böyle teknolojik olanakların ortaya çıkmasının yanı sıra, sadece biyokütle enerji kaynakları ile çalışabilen geniş termik santrallerin inşasının hakkında planlar yapılmaktadır. Avrupa ülkelerinden İsveç ve Finlandiya benzeri gelişmişlik seviyesindeki ülkelerin bazı yerlerinde biyokütle kaynakları kullanılması için santraller yapılmıştır ve elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Ülkelerine olumlu bir katkısı olduğu için halen daha yeni santral inşaatları yapılmaktadır [72].

Biyo-tabanlı endüstriyel ürün teknolojisi, 1960'lı yıllarda "Yeşil Devrim" tanımıyla büyük ses getirmeye başladı. Biyolojik ürünlerdeki biyolojik madde içeriği su ve inorganik maddeler hariç daha yüksek olmalıdır. Biyolojik kökenli endüstride üretilmiş ürün çeşitleri; biyomalzemeler, biyoyakıtlar ve biyokimyasallar şeklinde sınıflandırılabilir. 21. yüzyıl, çeşitli alanlarda "biyoteknoloji yüzyılı" şeklinde anılmakta ve biyoürünlerin, dolayısıyla biyoyakıtların hayatımızdaki biyorafineri uygulamalarında giderek daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir [73].

#### 1.4. Çay Atıkları

Ülkemizde yetişen çayların çoğu atık olarak ele ele geçmektedir. Yapılan son araştırmalara göre yaklaşık %17'si atık olarak toplanmaktadır. Yurdumuzun pek çok yerinden toplanan atık çayların ortalaması 40.000 ton olduğu düşünülmektedir. Ekosisteme atılan atıkların çoğu çürümeye bırakılmıştır ve doğada uzun süre kalmasından dolayı büyük bir ekosistemde kirliliğe neden olmaktadır. Çay atıkları fosfor bakımından fakir olmasına rağmen; karbon, azot, klor ve potasyum gibi atomlar

yönüyle zengindir. Çay atığının karbon/azot oranı yirmi altıdır. Çay atığının pH derecesi 5,3'tür.

Çay atıklarının yapısında tannik asit bulunmasından dolayı hayvan yemi olarak kullanılması uygun değildir. Çünkü yapısında protein metabolizmasını engelleyen bir aside sahiptir. Bu çay atıklarının tavuk yemi olarak kullanılabilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Çay atıkları yüzde 2 olarak seyreltilmiş olan klorsuz suyun içine koyularak elde edilmektedir. Böylece yapısındaki protein hiçbir şekilde değişmeyerek tannik asitten kurtarılmış olur. Çay atıkları kompost yapılarak, kafein üretimi yapılarak, torfla karıştırılarak gübre biçiminde üretilmektedir veya pellet şekline dönüştürülüp yakıt olarak da kullanılabilir. Teorik olan yapılan araştırmalara bakıldığında organik bileşenlere sahip olan çay atıklarıyla çeşitli inovasyonlar yapılarak biyogaz üretimi de yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Şu ana kadar vatanımızda bu konuyla ilgili bir üretim gerçekleşmemiştir. Çay atıklarından biyogaz üretimi yapılması ülkemiz için enerji üretimine katkı sağlayabileceğinden dolayı büyük önem arz etmektedir [74].

### **1.5. Literatür**

Doğada kendiliğinden oluşan malzemelere müdahale ederek natürel malzemelerin kullanılabilir şekle çevrilmesi, gevrek yapılı malzemelerin bitkisel ya da hayvansal kökenli lif maddeleriyle takviye edilerek kırılğan halinin ortadan kaldırılması için çaba sarf edilmesi, önceki zamanlardan itibaren insan ırkı tarafından birçok kez denenmiştir. Bu duruma en güzel misallerden biri ise, kilden yapılmış çamur içine bitkisel sap ve lifler katılarak malzemenin üretim aşamasında ve kullanım sırasındaki mukavemetinin artırılmasıyla oluşan kerpiç malzemesidir. Bugünkü yaşamda ise dünyanın en başındaki zamanlardan bu yana kadar naturel malzemelere olan merak ve beklentiler, artmakta olan çevre kaynaklı endişeler, azalmakta olan kaynaklar ve resmi makamların istekleri benzeri mühim problemlerin neticesinde büyük bir oranda artmıştır aynı zamanda ilerleyen ve büyüyen teknoloji ile bütünleşerek bir hayli faydalı araştırmalar ortaya çıkmıştır.

Bu zamana kadar olan literatür bilgileri incelendiğinde; naturel atıkların kullanılarak üretilen kompozit malzemeler hakkında pek çok miktarda çalışmalar yapılmıştır. Bu yapılan çalışmalara bakıldığında, bu çalışmada da diğerleri gibi doğal takviyeler kullanımına başvuruldu. Bu çalışmada doğal takviye olarak evsel çay atığı kullanımı

görüldü. Kompozit malzemelerde çay atığının doğal bir takviye şeklinde kullanıldığını ve pozitif özelliklerinin ortaya çıktığını kanıtlayan çalışmalar da mevcuttur.

Sağbaş ve arkadaşları, 'Keten Lifleri ile Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması' isimli konu üzerinde çalışma hazırladılar. Elle yatırma yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmada değişik oranlardaki keten lifleri ve polyester esaslı reçine birbirine karışarak kompozit malzeme ortaya çıkarıldı. Katılacak lif oranı ile çekme ve darbe dayanım değerlerine bakılarak aralarındaki ilişkiyi karşılaştırmak gerektiğini gözlemlendi. Bu yüzden polyester bazlı malzemenin keten lifleri ile takviye edilmesi örneği seçildi ve bu durumun çekme ve darbe dayanımını arttırdığı sonucuna varıldı [75].

Yöney ve arkadaşları, "Keten Lif Takviyesinin Vinilester Matrisli Kompozitlerin Darbe Mukavemeti Üzerindeki Etkisi" konusu üzerinde çalışma yapmışlardır. Yapılan bu araştırma çalışmasında, vinilester cinsindeki reçineye farklı oranlar halinde olan keten ve bambu lifleri eklenerek kompozit malzemelerin üretimi yapıldı. Keten lif takviye edilmiş kompozit malzeme numunelerinin darbe mukavemetinin bambu lif takviye edilmiş malzeme numunelerine göre yaklaşık iki kat kadar yükseldiği gözlemlendi. Darbe dayanımındaki artış, SEM incelemeleri ile de gözlemlendi. Yapılmış incelemelere bakılarak ulaşılan neticeler sonucunda liflerin kırılması ve sıyrılmasıyla birlikte kırılma enerjisinin sarf edildiği görüldü, bu çalışmada keten lif malzemesinin darbe mukavemetini artırıcı benzeri bu pozitif niteliği 'çalışmada' gözlemlendiği sonucuna varıldı [76].

Kartal ve arkadaşları, 'Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi' adlı çalışmalarında matris malzemesi kısmına vinilester polimeri seçilerek, doğal dolgu malzemesi olarak ise kestane ve gürgen talaşları harcanarak yeşil kompozit üretimi gerçekleştirdiler. Kestane/Gürgen talaşı oranı ağırlıkça %5-%20 arasında değişik oranlar kullanılarak lif malzemesi oranıyla çekme, darbe, sertlik vs. benzeri değerler arasında olan yakınlık karşılaştırılmış, vinilester bazlı malzemelerin kestane/gürgen ile takviye edilmesinin ardından mekanik özelliklerde bir miktar iyileşme gözlemlendi. Bu araştırma sonucunda yalnızca kestane ağacı talaşı malzemesinin kompozit üretiminde dolgu katkı malzemesi olarak kullanabileceği görüldü [77].

Boriaa ve arkadaşları, “Hibrid Bazalt / Keten Vinilester Kompozitlerin Düşen Ağırlık Etki Davranışlarının Modellenmesi” adlı araştırmalarında keten elyaf tabaka kısımlarının bazalt elyaf deri malzemeleri arasında ana malzeme şeklinde kullanılmasının, gerilme özellikleri açısından görevdeşlik bir tavır ortaya çıkardığı sonucuna ulaşıldı. Açık bir şekilde, bu birleşimin, plastik şekil değişimi özelliği gösterdiği, bazalt malzemesinin gevreklik özelliğini azaltarak, malzemenin kendisine elastikiyet verdiği, düşme testinden ortaya çıkan neticelere bakılarak kanıtlandı ve onaylandı [78].

Huo ve arkadaşları, araştırmalarında keten elyaf takviye edilmiş kompozitlere yüzey modifikasyon yöntemlerinin neticelerini müşahade etmişlerdir. Değişik işlemlerden geçirilen keten elyaf malzemelerle hazırlanmış birbirinden değişik keten katkıli vinilester reçinesi eklenmiş kompozit malzemesiyle E-camı katkıli vinilester kompozit malzemesinin mekanik performansındaki değişiklikler birbiriyle mukayese edildi. Çalışma için hazırlanmış keten katkıli vinilester kompozitler sırasıyla; herhangi bir yöntemden geçirilmemiş keten ile üretilmiş keten katkıli vinilester kompozit, keten elyaf malzemesi sıcak suyla temizlenmiş keten katkıli vinilester kompozit, asetik anhidrit maddesiyle prosedürden geçirilmiş keten katkı malzemesiyle hazırlanmış keten katkıli vinilester kompozit ve akrilik asit maddesiyle yöntemden geçirilmiş keten maddesiyle hazırlanmış bir keten katkıli vinilester kompozittir. Keten elyaf katkıli vinilester kompozitler ile E-camı katkıli vinilester kompozit ise vakum destekli reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretildiler. Akrilik asit yöntemi, işlemde geçirilmemiş keten katkıli kompozite göre karşılaştırıldığında ara yüzey kayma dayanımını ve katmanlar arasındaki kayma dayanımını yaklaşık olarak yüzde 30 oranında arttırdığı gözlemlendi. Çalışmanın verdiği neticelere bakılarak; kompozit malzemeye uygun olan yüzey modifikasyonu yöntemi seçilerek, keten malzemesi takviye edilmiş kompozit malzemenin mekanik özellikleri cam elyaf takviye edilmiş kompozitle kıyaslanabilir duruma geldiği neticesine ulaşıldı [79].

Ramnath ve arkadaşları, araştırmalarında jüt malzemesi, keten malzemesi ve cam elyaf malzemesiyle takviye edilmiş karma kompozit malzemesinin mekanik özelliklerini inceleyerek jüt ve cam elyaf takviye edilmiş kompozit malzemeyle mukayese edildi. Kompozit malzemeler elle yatırma yöntemi ile imal edildi. Karma kompozit malzemeler, yatay bir şekilde yerleştirilmiş olan jüt elyaf katmanları arasına dik bir

şekilde yerleştirilmiş olan keten elyaf konuldu. Cam elyaf malzemesinin katmanlarının çift taraflı iki dış yüzeyinde yüzey düzgünlüğünü ve mukavemetini kazanmak için yapıldı. Kompozitin bütün hacminin üçte biri olacak şekilde jüt ve keten elyaf harcandı. Araştırmanın neticesine bakıldığında karma doğal kompozitin çekme derecesinin iyi olduğu ve eğilme özelliklerinin de iyi bir davranış sergilediği gözlemlendi [80].

Croccolo ve arkadaşları, birbirinden değişik olan iki ekosistem dostu reçine cinsini birbirinin aynısı olan keten elyaf malzemeleriyle takviye edilerek üretimini yaptıkları kompozit malzemelerin mekanik davranış özelliklerini mukayese ettiler. 32 tane deney malzemesi numunesi çekme testi, eğme testi ve kayma testinde harcandı. Çekme testinde ve eğilme testinde ortaya çıkan neticeler kalite standartlarına uygun olduğu gözlemlendi. Fakat kayma testi neticesinde uygun olmayan kırılma modları açısından bakıldığında göz önüne alınmamasına karar verildi. O yüzden yapılan mukayese yalnızca çekme ve eğilme testi sonuçları için yapılması gerekmektedir. Yapılan testlerden sonra ortaya çıkan neticeye bakıldığında izohtalik reçine cinsi mukavemet ve sertlik özellikleri bakımından bakıldığında vinilester reçineden oldukça iyi mekanik özellikler göstermiştir. İzofhtalik reçine ile üretilen kompozit türünde mikroskobik boyutta takviye ve matris arasında yapışma mukavemetinin iyi halde olduğu fakat yeterli ölçüde hava muhtevası kaldığı gözlemlendi. Neticeye bakıldığında İzofhtalik reçine cinsinin mekanik davranış özelliklerinin arttırılabilmesi için keten elyaf takviyesi yapılması gerektiği ve tradisyonel reçineler harici değerlendirilebilir hale geldiği sonucuna varıldı [81].

Zhang ve arkadaşları, araştırmalarında tek taraflı keten ve cam elyaf takviye edilmiş karma kompozit malzemenin mekanik davranış özelliklerini araştırdılar. Bu deneyin hedefi, doğal ve sentetik elyafların beraber kullanılmasının nasıl sonuçlar verdiğini gözlemlemektir. Karma kompozitlerin gerilme özellikleri cam elyaf muhtevasının arttırılmasıyla gelişme gözlemlendi. Keten ve cam elyaf malzemesinin düzenlenme hizasının gerilme dayanımını ve deformasyonunun tesir altında kaldığı gözlemlendi. Karma kompozit malzemelerin kırılmaya karşı tokluğu ve katmanlar arasındaki kayma dayanımı cam elyaf takviye edilmiş kompozitlere kıyasla yüksek olduğu sonucuna varıldı. Bu gibi makro seviyedeki neticelere bakıldığında keten elyaf malzemesinin yapısı, keten elyaf malzemesinin pütürlü yüzey özelliği ve keten-cam elyaf malzemesinin tabakaları arasında ilişkiyle ilgilidir [82].

Kaya N. çalışmasında fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviyelendirilmiş termoset kompozit malzemelerde reçine çeşidinin fiziksel davranış özelliklerine etkisini inceledi. Bu çalışmada çevresel sorunların çözümüne katkıda bulunmalarının yanında birçok fiziksel özelliklerde gelişmelere dahi imkân verdiği bilinmiş tarımsal kökenli atıkların ahşap bazlı kompozit malzemesinin levha üretiminde kullanılıp kullanılmayacağı incelendi aynı zamanda üretilmiş levhalı kısımların fiziksel davranış özelliklerine ve mekanik davranış özelliklerine göre seçilen reçine çeşidinin kattığı etki araştırıldı. Araştırmalarda kullanılmış ahşap menşeli katkı malzemelerinin çeşidi ve adedi, üretim kademesindeki şartlar (uygulanmakta olan basınç ile sıcaklık) ve yapıştırmak için kullanılacak yapıştırıcı çeşidi benzeri etkenler, üretilebilecek ahşap kompozit malzemesi levhaların özelliklerini, mekanik mukavemetini, nerede ve nasıl hangi amaçlanan hedef için kullanılabileceğini belirleyen başlıca parametreler ortaya çıkmıştır. Bu levhaların geri dönüşüm kapasitesi olan, çevre dostu malzemelerden seçilerek yapılmış olması, işleme ve nakletme kolaylığı ve üretim maliyetleri de göz önünde bulundurulursa ve hazırlanmış deney örneklerinden bazıları dışında büyük bölümünün standart özellikleri sağladığı dikkat edilirse levhaların çok fazla yük taşımayacak mekanlarda ve yaş yerlerde kullanılmasının yerinde bir karar olabileceği sonucuna varıldı. Gerekli direnç özelliklerine malik olması ve ekosisteme yararlı olmaları benzeri sebepleri haricinde yurdumuzda atık varlığı fazla mevcut olan bu gibi malzemelerin değerlendirilebilmesi ve orman işletmeciliği için başka bir seçenek olarak gösterilebilmeleri hem ekonomik kalkınmada mühim bir davranış gösterecek hem de katı atık oluşmasına karşı duracaktır [83].

Kartal, İ. çalışmasında değişik ölçülerde kord bezi ile takviyelendirilmiş termoset kompozit malzemeler hazırladı. Tek yönlü ve ortogonal şekilde takviye edilmiş polyester matris bazlı kompozit malzemenin elle yatırma yöntemi ile üretilmesi ve lif oranındaki değişim/yönlenmedeki değişime bakılarak kırılma özellikleri gözlemlendi. Neticelelere bakıldığında lif oranının artmasıyla mekanik özelliklerde değişimler ortaya çıkmış, ortogonal şekilde takviyelendirilmiş kompozitlerin tek doğrultu şeklinde takviyelendirilmiş kompozitlerle karşılaştırıldığında iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip bir halde olduğu gözlemlendi [84].

Usta ve arkadaşları, farklı miktarlardaki atık pamuklarla polipropilen polimerini birlikte karıştırarak, üretilmiş kompozit malzeme yapısının mekanik davranış ve akışkanlık

davranış özellikleri incelendi ve lif malzemesi oranının incelenmiş niteliklere tesiri araştırılmıştır. Polipropilen polimer malzemesine %97'e %3 ile %94'e %6 miktarlarında telef edilmiş pamuk atıkları ilave ederek üretilmiş kompozit malzemenin elastikiyet modülü, akma ve kopma dayanımı ve sertlik miktarlarında azalış meydana geldiği, uzama ve Izod darbe mukavemeti değerlerinde artmakta olan elyaf miktarlarına bağlı olarak artma eğilimi gösterdiği gözlemlendi [85].

Demirer ve arkadaşları “Öğütülmüş Fındık Kabuğunun Polipropilen Kompozitlerde Dolgu Maddesi Olarak Kullanılabilirliği” isimli araştırmalarında, polipropilen katkılı matris içerisindeki fındık kabuğu miktarı arttıkça Elastikiyet modülü, sertlik, sıcaklık değişmesi ve Vicat yumuşama sıcaklığı gibi özelliklerin sayısal verilerinin de arttığı, çekme mukavemeti, ayrılma kuvveti, ayrılma uzaması, Izod darbe testi etkisi ve eriyik indeksi sayısal verilerinin azaldığı neticelerine ulaştılar [86].

Yükseloğlu ve arkadaşları, bu araştırmada ise, yün benzeri kumaş atıklarının kullanımı sağlanarak hafif ağırlıkta kompozit malzeme üretimi gerçekleştirmek istenmiştir. Bu çalışmada takviye malzemelerinden çizgi yönünde olan yün kumaş atıkları ile bunların kullanılması uygun görülmüştür. Ek olarak, test numunelerinin teker teker incelenmesi kararına varıldı ve elektron mikroskobunda kırık yüzey morfolojileri üzerinde gözlem yapıldı. Ortaya çıkan neticeye bakılarak, yün kumaş ve bu kumaşların atıklarından üretilmiş olan takviyeli kompozit malzemelerin tekstil kompozitleri şeklinde hafif ağırlıklı ürünler üretebilmek amacı yapı endüstrisinde kullanılabileceği sonucuna varıldı [87].

Taşdemir ve arkadaşları, çalışmalarında ziraat sektöründen kalan hurma çekirdeği kullanarak polimer esaslı kompozit malzeme üretimi yapıldı ve ahşap malzeme olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Polimerik bağlayıcı olarak üre formaldehit reçinesi bu çalışmada araştırma yapmak için seçildi. Kompozit malzemelerin mekanik davranış mukavemeti ile yandırmazlık özelliği birbirinden değişik polimer ve dolgu maddesi karışım oranlarında (1/1, 1/2, 1/3 ve 1/4) araştırıldı. Kimyasal yapısındaki polimer miktarının artması mekanik davranış dayanımını arttırdığı gibi yanmazlığın da artmasını sağlamıştır. Aynı miktarda polimer ile dolgu maddesi içermekte olan kompozit malzemede mekanik mukavemet 6,2 MPa ve Limit Oksijen İndeksi (LOI) değeri 50 olması karşılaştırıldı ve uygulandı. Katkı maddesi şeklinde adlandırılan yapının

eklenmesiyle nane lifinin mekanik mukavemeti iyileştirdiği gözlemlendi. Kompozit malzemedeki dolgu maddesinin artmasıyla su absorbe etmesindeki artması da araştırmak için incelendi. Yapılan araştırma neticesine göre hurma çekirdeği kullanılarak hazırlanmış polimer esaslı kompozit malzemenin ahşap malzemelere göre alternatif sayılabileceği gözlemlendi [88].

Aral ve arkadaşları, çalışmalarında tekstilden arta kalan malzemelerin geri dönüştürülerek bir amaca hizmet etmesi için polimerlere katılarak yeni bir polimerik kompozit malzemesi ortaya çıkarılmaya çalışıldı. Kompozitin takviye malzemesi olarak üç tane birbirinden değişik bez ayağı diye isimlendirilen kumaş kullanıldı. İki tanesi %100 polyester malzemedden diğeri ise %100 pamuk malzemedden üretildi. Matris malzemesi olarak ise doymamış polyester reçine kullanılması uygun görüldü. Kullanılan kumaş çeşidi dizilim olarak tek yönlü ve sürekli bir halde bulunabilirken küçük boyutlarda ve rastgele bir dizilime de sahip olmaları mümkündür. Küçük levhalar halinde üretilmiş olan numunelerin darbe ve çekme testi yapılmış ve çıkan neticeler birbiriyle mukayese edildi. Bu uygulamalar sonucu ortaya çıkan neticelere bakıldığında saf reçineden üretilen kompozite bakarak diğerleriyle mukayese edildiğinde üretilmiş bütün kompozit numunelerde darbe mukavemeti ortaya çıkardığı gözlemlendi. Çekme testi çıktıları değerlendirildiğinde kompozit levhaların iyi bir uzama sonucu verdiği ve saf reçineyle mukayese edildiğinde iyi bir sünek davranış sağladığı gözlemlendi [89].

Narlıoğlu ve arkadaşları çalışmalarında, yapılan mekanik testin neticelerine bakarak yüzde 10 odun unu eklendi ve kompozit malzeme numunesinin en yüksek dirence sahip olduğu gözlemlendi. %50 odun unu eklenmiş kompozit malzeme numunesinde en yüksek eğilme direncine sahip olduğu gözlemlendi. Aynı zamanda kompozitler incelendiğinde en yüksek darbe direncinin %20 odun unu eklenmiş kompozit malzeme numunesinde olduğu ortaya çıktı [90].

Akbaş ve arkadaşları, polipropilen (PP) ile atık fındık kabuklarından üretilen unları birbirinden değişik miktarlarda kullanarak polimerik kompozit malzeme üretimi yapmış, ekstrüzyon ile pres kalıplama yöntemleriyle oluşturulan kompozit malzemelerin; eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti ve darbe dayanımı, kendiliğinden şişme ve kendiliğinden su alma değerleri incelemeye tabi tutuldu. En

yüksek değerin yüzde 30 oranında fındık kabuğu unu harcanarak üretilen kompozitlerden ortaya çıktığı neticesine varıldı [91].

Borazan ve arkadaşları, kestane kabuklarının poliestere kaolin katarak kompozit malzemelerine tesiri incelendi. Neticesinde, kestane kabuklarının miktarı arttıkça lif malzemesi ile kaolin malzemesinin eklenmesiyle, polimer kompozit malzemelerinin mekanik davranış özelliklerini değiştirdiği gözlemlendi [92].

Deniz ve arkadaşları, çalışmalarında RTV 2 (İki Kimyasal Bileşenli, Oda Sıcaklığında Donan) silikon kalıplara döküm yoluyla üretilmiş yumurta kabuğu takviye edilmiş epoksi bazlı kompozit numunelerin mekanik özellikleri araştırıldı. ASTM-D638 ve ASTM-D790 standartları gibi kurallara uygun olarak hazırlanan test numuneleri, saf epoksi ve epoksi reçinenin ağırlıkça %5, %10, %20, %30 ve %40 yumurta kabuğu tozu takviye edilerek hazırlandı. Bir sonraki aşamada, kompozit numunelere çekme ve üç nokta eğilme testleri yapıldı. Uygulanan birkaç test neticesinde ağırlıkça %5 oranında olan yumurta kabuğu tozuyla elde edilmiş polimer kompozitin en iyi değeri verdiği gözlemlendi. %5'ten %40'a kadar artırılan takviye elemanın çekme mukavemeti değerlerinde ciddi oranda düşüş olduğu tespit edildi. Yapılan testler sonucunda %20 oranında yumurta kabuğu tozu bulunan kompozit numunede en yüksek mukavemet gözlemlendi. Takviye elemanı olan yumurta kabuğu tozunun ağırlıkça %20'den fazla ilave edildiğinde kompozit numunenin eğilme mukavemeti değerlerinde düşüş gözlemlendi. Neticeye bakıldığında yumurta kabuğu takviye edilmiş polimer bazlı kompozit numunelerin çekme ve eğilme neticelerine bakıldığında ağırlıkça takviye malzemesi katılma oranına göre büyük bir önem arz ettiği gözlemlendi [93].

Topsakal ve arkadaşları, yapılan bu çalışmada bir polimer kompozite takviye malzemesi olarak lif katıldı ve katılan lif oranının takviye malzemesi olarak araştırılması gözlemlendi. Polimer beton yapımında faz malzemesi olarak seçilebilecek birden çok lif türü vardır. Bunlardan bazıları polipropilen, karbon, cam ve çelik gibi lif çeşitleridir. Bisfenol-A epoksi vinilester reçine ve beş tane birbirinden değişik oranda (% 0-3-6-9-12 oranlarında) faz malzemesi olarak kullanılarak polimer-lif kompozit üretimleri tek tek yapıldı. Üretimi yapılmış numuneler üzerinde reaksiyon sıcaklığı, ultra ses geçiş hızı, schmidt çekici ile yüzey sertliği, eğilme ve basınç testleri yapıldı. Test sonuçlarına bakılarak incelenmiş olan özellikler lif tipi ve oranına göre incelenerek

değişimin varlığı görülmekle birlikte, eğilme mukavemeti değerinin artması için liflerin (polimer-lif) kompozit malzemede kullanılması tavsiye edildi [94].

Supian ve arkadaşları çalışmalarında, hurma lifi (yaprak sapı, ağaç gövdesi, meyve sapı ve yaprak kılıfı) takviyeli epoksi kompozitler ile yapısal olmayan ve yarı yapısal uygulamalara uygun hurma/bambu hibrit kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemektedir. Farklı olan kompozitler, sıkıştırma kalıplama yöntemiyle birlikte bir elle yatırma tekniği kullanılarak üretildi. Hurma lifi/bambu hibrit kompozit ve saf kompozitler çekme, eğilme ve düşük hızlı darbe testi gibi farklı mekanik testler ile ayırt edilmektedir. Sıvı suya ve çevresel koşullara maruz kalma, biyobazlı kompozitlerin dayanıklılığını etkilemektedir. Farklı kompozitlerin su emme davranışı ve kalınlık şişmesi, yoğunluktaki farklılıklar ve fiziksel performans üzerindeki etkileri ayrıca araştırıldı. Hurma lifi/bambu hibrit kompozitinin deneysel sonuçları, hibridizasyonsuz hurma lifi kompoziti ile karşılaştırılırsa en yüksek mekanik özellikleri gösterdi. Hurma/bambu için çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve darbe tokluğu değerleri hibrit kompozit sırasıyla 39.16 MPa, 61.10 MPa ve 12.70 J/m'de kaydedildi. İlginç bir şekilde, kalınlık şişmesi ve su emme sonuçlarının fiziksel testi, hurma lifi/bambu hibrit kompozitinin tekli hurma lifli kompozit ile karşılaştırıldığında %27.68 ve %15.39 daha az sergilediğini göstermiştir. Bu nedenle sonuçlar, hurma lifi/bambu hibrit kompozitinin yapısal olmayan ve yarı yapısal bileşenler olarak uygulanma olabirliğine sahip olduğunu keşfetti [95].

Kartal ve arkadaşları, çalışmalarında açık teflon kalıptan yararlanılarak dört çeşit kompozit malzeme üretildi; matris malzemesi olarak vinilester reçinesi seçilmiş takviye malzemesi olarak da bambu ve cam lifleri seçildi. Kompozitlerde bambu lifi-vinilester, cam lifi- vinilester, bambu+cam lifi-vinilester grupları için lif/reçine ağırlık oranı %12 olarak araştırma için seçildi. Lif/reçine ağırlık oranı %24 olarak seçilen bambu+cam lifi-vinilester kompoziti hazırlandı. Kompozitlerde bambu ve cam lifi beraber takviye edilmesinin mukayese edilmesi, bambu+cam lifinin birlikte karıştırılıp takviye edilmesinin tesirine benzer araştırmaların yanı sıra lif ağırlık oranının verdiği tesir de incelendi. Kompozit numunelerin; çekme, 3 nokta eğme, darbe ve sertlik testleri yapıp, neticeler birbiriyle mukayese edildi [96].

Kartal ve arkadaşları, çalışmalarında kestane odun unu boyutunun kestane-odun unu dolgulu vinilester kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, matris malzemesi olarak vinilester polimeri ve doğal dolgu maddesi olarak üç farklı boyutta (0–150, 150–315 ve 315–400 mm) kestane unu kullanılarak kompozit numuneler üretilmiştir. Her boyut kombinasyonunda dört farklı matris/dolgu oranı (%5, 10, 15 ve %20 ağırlık) kabul edildi. Bu karışımlar daha sonra test numunelerini üretmek için teflon kalıplara döküldü. Kompozit numuneler üzerinde Izod darbe, üç nokta eğilme, sertlik ve çekme dayanımı testleri yapıldı. Ayrıca numunelerin kırık yüzeylerinde taramalı elektron mikroskobu kullanılarak morfolojik incelemeler yapıldı. Dolgu maddesi olarak küçük boyutlu kestane unu ile yapılan kompozitlerin, kompozit uygulamaları için üstün özelliklere sahip olduğu sonucuna varıldı [97].

İ. Kartal çalışmasında, gürgen talaş boyutunun polietilenin mekanik özelliklerine etkisi inceledi. Bu amaçla polietilene farklı boyutlarda gürgen talaşı ilave edildi. Gürgen talaşı polietilen matrise ekstrüzyon yöntemi ile dört farklı ağırlık oranında (%5, 10, 15 ve 20) ilave edildi. Bu karışımlardan enjeksiyon kalıplama ile test numuneleri hazırlandı. Numuneler üzerinde çekme, Izod darbe ve sertlik testleri yapılmıştır. Elastik modül, artan gürgen talaş içeriği ile arttı. Ancak kopma uzaması ve Izod darbe dayanımı değerleri düştü. Gürgen talaş boyutunun artmasıyla elastisite modülü, çekme dayanımı, kopmada uzama ve Izod darbe dayanımı değerleri azaldığı gözlemlendi. Kompozit numunelerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelendi. Sonuçlar, gürgen talaşının polimer bazlı kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir [98].

Yapılan bütün bu araştırma çalışmaları doğal lif ve doğal dolgu olarak yenilenebilir, yeşil diye adlandırılan kompozit malzemelerin araştırma çalışmalarında kullanılmak üzere günümüzde bir hayli ehemmiyet verildiğini vurgulamaktadır. Şüphesiz bu alakalar ve ehemmiyetin altında çevresel sorunlar, resmi makamların istekleri, değişmekte olan dünya gibi oldukça mühim unsurlar içermektedir. Bunun gibi problemlere çare bulabilme arzusunun günümüzde var olduğunu, günler geçtikçe buna benzer araştırma çalışmalarını daha çok arttırmakla, tekrardan dönüştürülebilir malzemelerin küresel pazarlama piyasasında da geniş bir alanı kaplayacağı öngörülmektedir.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1. Çay ve Çay Atığı

Çay bitkisi latin kökenli bilimsel sınıflandırmaya bakarsak Theaceae ailesinin *Camellia* türüne aittir (*Camellia sinensis* veya *Thea sinensis*)[99].

Çay bitkisi nemli iklimde yetişmekte olup hep yeşil kalabilen, kısa boylu, uzun yıllar canlılığını kaybetmeyen çalı cinsinde bir ağaç türüdür. Çay bitkisi takribi olarak 40 tane birbirinden farklı ülkede ekilip, yetiştirilmektedir. İklim şartlarına bakılarak çay bitkisinin yarı tropik bir bitki olduğu gözlemlenmiştir [100-102].

Dünyaya bakıldığında çayla zanaat yapılabilen yerlerin %87,8'i Asya kıtasında, %9,8'i bütün Afrika kıtasında, geriye kalmış olan yüzde 2,4'lük kısmı ise Güney Amerika kıtasında, Okyanusya kıtasında ve tüm Avrupa kıtalarında yer almaktadır. Türkiye'ye bakıldığı zaman çay ziraat ekim yerlerine bakıldığında %2,8 yüzdesi ile dünyadaki ülkedeki yerlere bakılarak yapılan araştırma sıralamasında yedinci sırada yerini almıştır. Dünyanın pek çok yerinde çay üretimi yapılmaktadır fakat en çok nerelerde yapılır diye araştırıldığında başlıca var olan çay üreten ülkeler sırasıyla sayılacak olursa; Hindistan, Çin, Kenya, Türkiye ve Vietnam gelir denmektedir [103].

Türkiye'de çayla ilgili yapılan tarım, yaklaşık olarak 205000 üretim yapan kişi tarafından 762000 dönüm bir alanda küçük bir aile işletmeciliği biçiminde yapılarak ve senelik yaklaşık olarak ortalama 220000 ton kuru çay üretimi yapılmaktadır. Çay ziraatı ile çay üzerinden yapılan ticaretle birlikte, devlet ekonomisine de 300 milyon dolarlık bir sermaye vermekte ve 1 milyon insan topluluğunun geçimini ondan kazanmasına neden olarak bölgesel göçün azalmasında büyük bir rol oynamaktadır.

Günümüzde bu güzel Türkiye'mizde çay endüstrisi, Rize, Trabzon, Artvin ve Giresun gibi illerde yetiştirme yapılmaktadır. Çay bulunan yerlerin kapasitesi bakımından en büyüğü %65'lik bir yüzdeyle Rize'de bulunmaktadır. Daha sonra kapasite büyüklüğü olarak yüzde 21'i Trabzon ilçesinde, yüzde 11'i Artvin ilçesinde, yüzde 3'ü ise Giresun ilçesinde bulunmaktadır. 1937 yılında ülkemize ithal edilen tohumlar sayesinde Türkiye'de çay bahçeleri ekilmeye başlanarak yetiştirilmiştir [104].

Kuru çay üretimi esnasında; lif, çöp ve toz şeklinde ortaya çıkan büyük oranda çay atığı olduğu gözlemlenmiştir. Atıklardan oluşan madde yapılarının ekosisteme düzensiz bir şekilde ortaya atılan çürümeye bırakılan ya da çöp atık depolama yerlerine boşaltılmasına uygun olmadığı kararına varılmıştır. Çay atıkları, yapısına uyumlu katkı maddeleriyle birleştirilip geliştirilerek organik gübreye dönüştürülebilmektedir. Kullanılması için organik gübre durumuna gelen çay atıkları toprağın kimyasal yapısı, fiziksel yapısı ve organik yapısı hakkında pozitif bir tesir bıraktığı gözlemlenmiştir. Çay atıklarından gübre temin etmek iyi bir sonuç verdiği için dolayı, çay tarım alanlarının yakınlarında üretim tesisleri yapılmalıdır [105].

### 2.1.2. Çay Bitkisinin Kimyasal Bileşimi

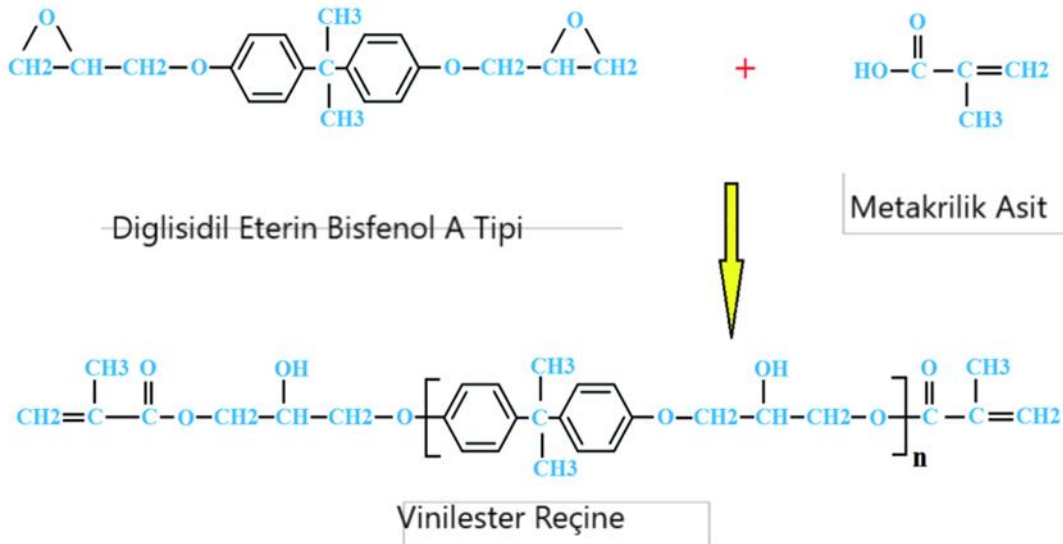
Çayın genel olarak yapısal bileşiminde; enzimler, kateşinler, alkaloidler, azotlu bileşikler, karbohidratlar, vitaminler, pigmentler, uçucu maddeler ve mineraller benzeri birçok değişik yapısal özellikte kimyasal bileşikler içermektedir [106].

	Bileşenler	Yapraktaki miktarı (% kuru maddede)
	Flavanoller	17-30
	Flavanoller ve flavanol glukozitler	3-4
	Lökantosiyeninler	2-3
	Polifenolik asitler ve depsitler	≈ 5
Sıcak suda çözünenler	Toplam Polifenoller	≈ 30
	Kafein	≈ 3-4
	Aminoasitler	≈ 4
	Basit Karbohidratlar	≈ 4
	Organik asitler	≈ 0,5
	Polisakkaritler	≈ 13
Sıcak suda az çözünenler	Proteinler	≈ 15
	Kül	≈ 5
	Selülöz	≈ 7
	Lignin	≈ 6
Suda çözünmeyenler	Lipitler	≈ 3
	Pigmentler	≈ 0,5
	Uçucu bileşenler	0,01 – 0,02

**Tablo 2.1** Çay Yapraklarının Kimyasal Bileşimi

### 2.1.3. Vinilester Reçine

Vinilester polimerinden üretilen aynı zamanda literatürde geçen reçine çeşididir. Vinilester reçineler, epoksi reçine ve doymamış asidin tepkimeye sokulması sonucu ortaya çıkan bir reçine türüdür. Stiren monomer yapısında çözünen metakrilik asit ile bisfenol A (BPA) epoksi reçinesinin tepkimeye girmesiyle elde edilen en çok kullanılan sürümüdür. Ortam şartlarına gösterdiği dayanma direnci tanınmaktadır böylece yüksek reaktiviteleri ile tam kürlenmeye geçişinde polyester malzemesinden hem basit şekilde hem de süratli bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Vinilester reçineler termoset reçineler olmakla beraber, epoksi reçinelerde avantajın olmasıyla ile doymamış polyester reçinelere göre has basit bir şekilde işlenebilme ve süratli bir şekilde sertleşebilme benzeri nitelikleri birleştirerek geliştirilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte mekanik mukavemet ve harikulade bir korozyon direnci göstermektedir. Bunun gibi seçkin özelliklerine bakılarak epoksi reçinelerdeki benzeri mudil süreç türü ya da ona mahsus bir kullanma yeteneği istilzam etmezler. Bunun gibi nedenlerden araştırmamızda matris malzemesi olarak vinilester reçine kullanılmasına karar verildi [107-108].



Şekil 2.1 Epoksi ve Metakrilik Asitten Elde Edilen Vinilester Reçinesi

Vinilester reçineler, 1960'lı yılların başında ilk olarak Shell Chemical Company aracılığıyla Epocryl reçineleri ismi verilerek ticarete pazarlamaya sunulmuştur. Vinil ester adlı reçineleri günümüzde, oda sıcaklığında bile sertleşebilen en önemli

malzemelerden biri olarak anılır hale gelmiş. Birbirinden farklı kimyevi yerlerde kusursuz bir dayanıklılık sağlayan malzemeler olacak şekilde günümüzde kabul görmüştür. Vinil ester reçineleri, genellikle doymamış polyester ailesiyle birlikte anılmaktadır. Epoksi reçineler ile doymamış polyesterlerle ilgili yapılan çalışmalara bakarak vinilesterlerle ilgili çalışmaları karşılaştırdığımızda literatürde vinilesterlerle ilgili daha az çalışma yapıldığı gözlemlenmiştir. Günümüzde ise sertleşmiş vinilesterlerin diğer ester yapısı bulunan reçinelere göre mükemmel özellikler göstermesi gözlemlenmiştir. Ticari olarak vinilesterler yüksek bir başarı elde etmiş ve sanayide giderek revaçta olmaya başlaması ile birlikte vinilester ile ilgili yapılan çalışmalar bir geniş yelpaze ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle günümüzde geliştirilerek ticarete kazandırılan tüm vinilester reçinelerinin çoğunluğunun patentli olması şaşırtıcı bir durum olmaktan çıkmıştır [109].

Vinilester reçineleri, epoksi reçineler ile doymamış yapıdaki polyester malzemelerin mükemmel özelliklerini birleştirip oluşturulmuştur. İdeal oda sıcaklığında kolay bir şekilde işlenebilme özelliği gösterirler. Epoksi reçineler denilen yakın mekanik özelliklere sahiptirler. Polyester reçinelere bakıldığında maliyeti ucuzdur, mükemmel bir kimyasal dayanıma sahiptir ayrıca epoksi reçineler ile karşılaştırıldığında kütle oranı ile tepkime şartları üstünde oldukça çok denetim sağlamaktadırlar. Bunlarla beraber, vinilester ağ örgülerinin fiziksel davranış özellikleri bakımından korozyona karşı direnç özelliği, çoğunlukla doymamış polyesterlerin gösterdiği dirençten oldukça iyi olduğu görülmüştür. Bu durum kısmi olarak vinilesterler reçinelerinin, tepkime zincirlerinin baş ve son kısımlarında reaktif çift bağlara sahip olduğuna yorulurken, doymamış yapılu polyester reçineler, zincirler doğrultusunda dağıtılan reaktif çift bağlara sahiptirler. Böylelikle kesişen ilişki yoğunluğunun, vinilester reçinelerde oldukça güzel kontrol edildiği gözlemlenmiştir. Ester yapılı grupların bulunduğu konum itibariyle, bunun gibi ürünlerin üstün kimyasal dayanıma da katkı sağladığı görülmüştür. Bunun gibi ester yapılı gruplar için, reçine maddesinin hidroliz reaksiyonuna tabii tutulduğu için en hassas olan bölümleridir denilebilir. Bu yüzden vinil esterler için yalnızca özel lokasyon bölgelerinde tepkimeler oluşabilmekte ve molekül çitasının temelinde çoğunluğuna bakıldığında tepkimelerden bir tesir görmemektedir. MEKP, BPO ve Trigonox gibi maddeler vinilester reçineler için en çok kullanılmakta olan katalizör maddeleridir aynı zamanda yüzde 1 ile 2 hacim frekans

aralığında kullanılmaktadırlar. Trigonox adlı katalizör, vinilester reçinelerde köpürmemeye niteliğiyle bilinmektedir. Kobalt Naftalin maddesi bir destekleyicidir aynı zamanda çoğunlukla reçineye reçinenin ağırlığı üzerinden yüzde 0,2 ile 0,4 oranında eklenmektedir. Hammadde olarak elde edilen bisfenol-A, vinilester reçineleri arasındaki en bilinen çeşididir. BPA denilen (Bisfenol A) olan vinilester türünün çapraz bağlanabilme yoğunluğunun epoksi reçinesinin moleküler ağırlığının artmasıyla azalmaktadır, çünkü çapraz bağlanabilmenin metakrilat yapısı bölgelerinde moleküler zincirinin ucunda yer almaktadır. Çift yapılu karbon bağı yalnızca moleküldeki yapı birimlerinin son kısmında bulunmaktadır. [110].

Epoksi esaslı vinilester reçineler, klasik polyester reçinelerden başka bir kimyevi düzeni olduğundan dolayı fazla bir yüksek ısı ile kimyasal (asidik ve bazik ortam) mukavemeti vardır aynı zamanda kendine özgü yapısındaki niteliklerle beraber mekanik davranış özellik değerleri ile belirli bir yüklenme altında deformasyon sıcaklığı (HDT) değerleri de normal değerlerin üstünde çıkmıştır. Vinilester reçineler, ortam şartlarına (sıcaklık ile nem gibi), polyester reçinelerden oldukça az miktarda duyarlılık gösterirler. Bir başka özellik olarak ise vinilester reçineler polyester reçinelerden oldukça çok germeye karşı tolerans göstermektedir. Bunun gibi özellik, malzemeye zayıf vermeden hasarları oldukça kolay bir şekilde absorbe etmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda zor şartlar sebebiyle çatlaklıklar ortaya çıkarma ihtimali de oldukça azdır. Vinil ester reçineler polyester reçinelerden oldukça kuvvetli olmakla beraber, epoksi reçinelerden oldukça dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Vinilester reçineler kürlenme esnasında oldukça az miktarda büzülme gösterirler. Vinilester reçinelerin kalıplanma şartları polyesterler reçinelerinkine çok benzemektedir. Baskın üstün özelliği ise lif ile matris tabakaları arasındaki ilişkide güçlendirilmiş yapı mukavemetine haiz olmalarını gerektirir. Fakat sertleşme süreci esnasında malzemede yüksek oranda büzülme gözlemlenmektedir.

Vinilester yapılu reçineler ve polyester reçineler kendi kimyasal yapıları açısından epoksi yapılu reçinelerin çeşitlerine bakıldığında iki çeşidin de en üstün niteliklerini yapısal özelliklerinde göstermiş olan bir reçine çeşididir. Vinilester reçineler, epoksi reçinelere benzer yüksek mekanik mukavemet değerleri gösterirken aynı zamanda da polyester reçineler gibi kolay işlenebilme özelliği göstermektedirler. Yüksek kimyevi mukavemet ile mekaniksel davranış mukavemeti gerektirmekte olan çalışmalarda

bisfenol-A epoksi reçine esaslı vinilester yapılı reçineler daha çok tercih edilmektedir. Solvente karşı dirençleri, hidrolitik mukavemeti, asit-baz ortamına karşı gösterdiği kimyasal dayanımları normal değerlerin üzerindedir. El yatırması yöntemi, Reçine Transfer Kalıplama (RTM) yöntemi, infüzyon ve pultrüzyon yöntemleriyle, sıcak kalıplama yöntemleri (SMC ve BMC kompozitleri için belirlenmiş performanslarda) için kullanıma elverişlidir.

Vinilesterler reçinelerin çapraz bir şekilde birbirine bağlanması, polyesterlerdekinden oldukça fazla üstün özellik gösterir. Bu nedenle vinilester reçineler çekirdek malzemelere polyester reçinelerden oldukça fazla şekilde bağlanarak birbirlerine yapışırlar. Delaminasyonlarında ise (kompoziti oluşturan tabakaların birbirinden ayrılması anlamına gelmektedir) oldukça az miktarda problem açığa çıkar. Vinilester adlı reçineler, molekül yapılı zincirde oldukça az miktarda boşluk yer bulunmaktadır. Bunun gibi osmoz olayı nedeniyle şişmeye sebep olan su geçişine zıt olacak şekilde oldukça yüksek dayanım göstermesini sağlamaktadır. Üstün avantajları sağlaması sebebiyle vinilester yapılı reçineler, deniz araçları, otomotiv parçaları, rüzgâr tribünü kanatları ve kimyasal madde ile çalışmakta olan tesislerde izolasyon malzemesi şeklinde kullanılması uygun görülmüştür. Bunun gibi yerlerin haricinde havacılık ve savunma sanayi endüstrisinde yüksek performans sağlayan kompozit malzeme üretimi yapmak için çokça önerilen bir reçine cinsidir. Vinilester reçinenin ağ yapısı, sair polimer malzeme çeşitlerinden oldukça yüksek olarak güzel mekanik davranış özellikleri ile sıcaklık dayanımı gösterdiği için iyileşmiş kompozit türündeki malzemeler elde edebilmek için matris malzemesi şeklinde tercih edilmektedirler [111].

Yapılan bu çalışmada el döküm yöntemi kullanarak matris malzemesi için en uygun olan Bisphenol-A epoksi bazlı vinilester reçinesi (E275-Erco Boya, İstanbul) kullanımı uygun görüldü.

#### **2.1.4. MEKP (Metil Etil Keton Peroksit)**

Metil etil keton peroksit, çözücü şeklinde bilinen ve sıkça kullanılmakta olup revaçta olan toksik özellik gösteren bir maddedir. Oda sıcaklığı şartlarında yapılmakta olan araştırma çalışmaları için pek çok yerde kullanılmakta olan bir başlatıcı olarak bilinmektedir. Polimerizasyon işlemini başlatabilmek için zorunlu olması gereken

enerjiyi sağlamaktadır. Duru ve rengi olmayan sıvı çeşididir. Sağlam ve şiddetli bir oksitleme özelliği olan görevli olmasıyla beraber aşındırıcı olarak bilinmektedir. Metil etil keton peroksit plastik üretim aşamalarında sertleştirici madde olarak kullanılmaktadır.

Yapılan deney çalışmalarında tepkime başlatan madde olarak %50 aktif metil etil keton peroksit (Erco Boya, İstanbul) kullanımı uygun görüldü. Plastik üretiminde sertleştirici madde olan MEKP, bu deneyde bütün numuneler için vinilester reçinenin ağırlıkça %2'si olacak şekilde kullanımı uygun görüldü.

### **2.1.5. Kobalt Naftalat**

Kobalt naftalat adlı hızlandırıcılar, peroksitleri bağlarını aktif hale getiren kimyevi tarzdaki maddelerdir. İşlem şartlarına bakılarak ve bağımlı kalarak, reçine ya da jelkot reçinesi ilave edilmeli, daha sonrasında dikkatli bir şekilde karıştırma işlemi yapıp peroksit maddesi eklenmesi gerekir. Kobalt naftalat gibi hızlandırıcı maddelerinin pek çoğu peroksiti oda sıcaklığı koşullarında ya da ondan da düşük sıcaklıklarda aktif hale getirmektedir. Bu yapılan deney çalışmasında hızlandırıcı olacak şekilde reçine cinsinin ağırlıkça yüzde 1'i oranında kobalt naftalat (Erco Boya, İstanbul) tercih edildi ve oda sıcaklığında kullanımı uygun görüldü.

## **2.2. Mekanik Testler**

### **2.2.1. Çekme Testi**

Çekme testi, mühendislikte ve ticaretle yaygın olarak kullanılan bir test yöntemidir. Bir malzeme çekme testine maruz bırakıldığında malzemenin belli başlı mekanik özelliklerini ve sünekliği hakkında bilgi vermektedir. Bu özellikler şunlardır; elastikiyet modülü, çekme dayanımı, boyut değişimi yüzdesi vb. benzeri özelliklerdir.

Malzemenin türüne göre ya enjeksiyon türü kalıplamayla ya da düz levha malzemesinden belli kalıplarla kesme işlemi yapılarak test numunesi hazırlanmaktadır. Bu deneyde üretilen numuneler için teflon kalıp kullanıldı. Malzeme cinsinin kullanılma sıcaklığına bakılarak test yapılacak yerin sıcaklığı ayarlanmaktadır. Çekme testi genellikle oda sıcaklığı koşullarında yapımı uygun görüldü. Test numunesi test makinesinin ağızlarına düzgün bir biçimde bağlanmaktadır. Test numunesinin türüne

bakılarak çekilme hızı belli kriterlerde ayarlanmaktadır. Test cihazının ağızları test numunesine gerilim uygulama yaparken cihazda bu sırada test numunesinin gerilim-boyut değişimi grafiğini ortaya çıkarır. Bu çıkan grafiğe göre ve test numunesinin üstünde yapılmakta olan birtakım ölçülere bakılarak test numunesinin mekanik davranış özellikleri açısından iyi yorumlar yapılabilmektedir.



**Şekil 2.2** Çekme Testi Numunesi

Bu deney çalışmasında yapılan çekme testi ISO 527 kalite standardına bakılarak hazırlanmış olan numunelere yapıldı. Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Teknolojisi Laboratuvarında bulunan Zwick Z010 marka test cihazı ile yapıldı.

Çekme testi yapılacak test numuneleri, iki taraflı çene tarafından tutularak yerleştirilir ve gerilimin homojen dağıtılması sağlanır. Bunun için ise rijit test numunelerinde test yapılma hızı düşük tutulmalı, sünek tarzdaki malzemelerde ise yüksek hız olacak şekilde ayarlanması daha doğru olacağı kararlaştırıldı. Bu tarzdaki kurala bakarak malzeme numunesinin çekme testi hızını dakikada 5 mm olacak şekilde belirlendi. Test sıcaklığı ise malzeme numunesinin kullanım sıcaklığına bakarak belirlenmiştir bunun da oda sıcaklığı olmasına karar verildi. Yapılan test neticesinde malzeme numunesinin gerilim-boyut değişim grafiği ortaya çıktı. Grafiğe bakıldığında malzemedeki kopma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastikiyet modülü ile yüzde uzama değerleri gibi özelliklere ulaşıldı.



**Şekil 2.3** Çekme Testi Cihazı

### **2.2.2. Darbe Testi**

Darbe testi sayesinde, plastik türündeki bir malzemenin elastik bölgede kırılma direncine karşı gösterdiği dayanımın ne kadar olduğu belirlenir. Kullanılan plastik malzeme, dış taraftan gelebilecek olan bir şok darbesine karşı belirli miktarlarda direnç gösterir. Şok denilen darbeden kaynaklanan enerji miktarının malzeme tarafından da absorbe edilmesi oldukça az bir zamanda meydana gelmektedir. Bazı polimer malzemeler dışarıdan gelmekte olan şok darbe enerjisini büyük hacme dağıtamazlar aynı zamanda düşük çarpma dayanımı göstermektedirler.

Belirli yüksek yerden serbest bir şekilde düşmeye bırakılmakta olan ağırlığı olan sarkacın en yüksek enerji miktarında test numunesini kırabilmesi beklenir. Ağırlığı olan sarkacın kendisinde bulunan enerjinin birazı ise test numunesini kırmada harcanmaktadır. Artmakta olan enerjinin ise ağırlığı bulunan sarkacın belirli yüksekliğe kadar çıkabilmesini gerektirir. Belirli bir ağırlığı olan sarkacın serbest düşmeye bırakıldığı yüksek yerden test numunesini kırıp kalan enerjiyle çıktığı yüksekliğin

farkının potansiyel enerjisi bize test numunesinin çentik darbe enerjisini kazandırmaktadır.

Darbe testi iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan biri Izod darbe testidir, diğeri ise Charpy darbe testidir. Izod darbe testinde malzeme test cihazına dik olarak yerleştirilir. Charpy darbe testinde ise malzeme test cihazına yatay olarak yerleştirilir. Darbe testi yapılmadan önce numuneye çentik açılmaktadır ama numune gevrekse çentik açılmadan da test yapılabilir. Bu uygulama şeklinden dolayı darbe testi sonuçları değişiklik göstermektedir.

Plastik malzeme numunesi, darbe test cihazı üzerinde bulunan numune yerleştirilen yere mihvere konulduğunda dik duracak şekilde bağlanır. Numunenin 3 cm'lik kısmı görünecek şekilde bağlanmalıdır. Testin uygulanması esnasında, belirlenmiş bir yüksek konumdan serbest düşmeye bırakılarak 5,4kJ'lük sarkaç, numunenin üstüne gelecek şekilde ayarlanarak numunenin kırılmasını sağlar. Belirli bir potansiyel enerjiye sahip olan sarkaç serbest düşme esnasında var olan enerjisinin az enerji içeren kısmını, test yapılacak numuneyi kırabilmek için kullanırken, test numunesinin kırılmasının ardından sarkaçta geriye kalan bir miktar enerji, sarkacın başlangıçtaki potansiyel enerjisinin bir miktar daha artarak sarkacın daha yükseğe çıkmasına neden olmuştur. Yapılan testin neticesinde ortaya çıkan kinetik enerji sayesinde sarkacın sahip olduğu potansiyel enerjiyi arttırdığı gözlemlenmiştir ve bu potansiyel enerji test numunesinin darbe dayanımını vermiştir. International Organization for Standardization 180 standardına uyarlanarak hazırlanmış çentiği olmayan test numunelerinin darbe dayanımı, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Teknolojisi Laboratuvarında bulunan Zwick B5113.30 markalı darbe test aygıtında 5,4 J'lük Izod darbe çekici kullanıma geçirilerek testi yapıldı. Ani şok yüklemesi altında kalan malzemenin parçalanması için zorunlu olan enerji miktarı, kJ/m<sup>2</sup> türünden hesaplanmaktadır.



**Şekil 2.4** Darbe Testi Cihazı

### **2.2.3. Sertlik Testi**

Bu test yöntemi sert olmayan yumuşak plastiklerin mekanik özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek için yapılan bir uygulamadır. Sertlik testi sayesinde malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç gözlemlenir. Bu metotla, malzemenin esneklik modülü ve viskoelastik özellikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek mümkündür. Bu metotla, belli koşullarda malzemeye batırılmakta olan belirli bir ucun ne kadar battığı ölçülmektedir. Sertlik değeri, batıcı ucun batma miktarı ile ters orantılı şekilde gerçekleşmesidir. Ne kadar az batarsa daha serttir denilebilir. Batan uç kısmının biçimi ve uygulanmış güç ortaya çıkan neticeleri etkilemektedir. Malzeme numunesinden oldukça sert olan bir batmakta olan uç, test numunesine batırılmaktadır aynı zamanda batıcı ucun batma miktarı ölçülmektedir.

Plastik malzemelerde veya elastik malzemelerde ise sertlik değerinin ölçülebilmesi için durometre ölçüm cihazı kullanılmaktadır, kullanılmakta olan test yöntemine ise Shore cihazının sertlik değeri denmektedir. Test ölçümleri A durometresi ve D durometresi denilen birbirinden farklı iki değişik durometreden yararlanarak yapılmaktadır. Bunun gibi test yöntemini, batan uç kısmın biçimine ve kullanılmış ağırlığın cinsine bakarak

sınıflandırmak mümkündür. Test malzemesi numunesine batırılmakta olan belli miktardaki bir ucun batmakta olan derinliği ölçülerek ortaya çıkan sonuçlar yazılır. A tip durometrelerde yumuşak yapılı plastik malzemelere uygulanmakta olan bir testtir ve üzerine konulacak kütle ise 1 kg olacak şekilde belirlendi. D tip durometrelerde ise sert plastiklerde uygulanmakta olan bir testtir ve üzerine konulacak kütle ise 5 kg olarak belirlendi. A tip durometre cihazında ölçüm yapıldığında ortaya çıkan netice 90'ın üstünde olursa D tipi denem durometreye geçilir. D tipi denem durometre cihazında ölçülen değer ise 20'den az çıkıyorsa A tipi durometreye geçilmek zorundadır. Sertlik testi numuneye yapılırken durometre kendi halinde dik konumda, test numunesi ise sert, düz ve yatay olacak şekilde yerde olmak zorundadır. Yapılmakta olan deney yapılırken numunenin kenar kısımlarından en az 12 mm içeri kısımda kalacak biçimde ölçüm yapılmaktadır. Basıcı uç test yapılacak numuneye bütünüyle değmemesi gereklidir. Aniden ölçme yapılmak istenmiyorsa batıcı ucun batırılma işlemi gerçekleştirildiğinden 15±1 sn. sonra görünen değer okunup, not edilmelidir. Test numunesine ait sertlik değeri ölçümleri, Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunmakta olan Zwick marka Shore D test cihazında, 15 saniye kadar bir miktar zaman bekleyerek test işlemi uygulanmıştır.



Şekil 2.5 Durometre Sertlik Test Cihazı

## 2.3. Mikroyapı İnceleme

### 2.3.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Malzemelerin mikroyapısının incelenmesinde kullanılmaktadır. Test numunesine gönderilen elektron ışınlarıyla tarayarak yapılan bir görüntüleme işlemidir. Malzemenin görüntüsünü büyük ölçeklerde büyütür ve görüntülenmesini sağlamaktadır. Bu şekilde polimerlerin morfolojisi tanımlamaya çalışılır. Katı ve organik olmayan malzeme türlerinin mikro analiz ile hasar analizlerinde oldukça etkili olacak şekillerde uygulanmaktadır. Elektron ışını ile gönderen mikroskop ile malzemenin mikroyapı incelemesi yapılmaktadır. Birden çok kere büyütülerek malzemenin mikroyapısı hakkında yüksek çözünürlüklü görüntüler ortaya çıkarır aynı zamanda gözle görülemeyen oldukça küçük nitelikleri ile unsurları tamamen ölçebilmektedir. 10 Ångström kalınlığında olan altın/paladyum alaşımlarıyla kaplanarak test numunelerine yapılan SEM görüntüleme incelemeleri ise Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında bulunmakta olan Polaron SC markasındaki test cihazı sayesinde gerçekleştirildi.



Şekil 2.6 SEM Numune Kaplama Cihazı



**Şekil 2.7** SEM Testi Cihazı

#### **2.4. Evsel Çay Atığı Dolgulu Vinilester Esaslı Kompozit Malzeme Numunelerinin Elde Edilmesi**

Bu tezdeki kompozit malzemede kullanılan doğal dolgu ise evsel siyah çay atığı, Doğu Karadeniz Bölgesindeki Rize ilinde yetişen çay elde edildi. Çaykur Tiryaki markalı siyah çay demlenip içildikten sonra geriye kalan posası atık olarak adlandırılabilir. Siyah çay atığı, boş bir tepsiye konularak güneşli bir yerde kurumaya bırakıldı. Yaklaşık 1 hafta kurutuldu.



**Şekil 2.8** Kuruduktan Sonra Eysel Siyah Çay Atığının Öğütülmemiş Hali

Kuruduktan sonra ev tipi Fakir SMS 410 marka blenderle öğütüldü. Yaklaşık 3 dakika öğütme işlemi sürdü.



**Şekil 2.9** Fakir SMS 410 Tipi Blender

Çalışmada üretilen kompozit, evsel siyah çay atığı-vinilester kombinasyonudur. Evsel siyah çay atığı farklı oranlarda (%0, %5, %10, %15, %20, %25 olarak) vinilestere eklenerek kompozit malzeme oluşturuldu. Ağırlık ölçümleri yapılabilmesi için Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Yüzey İnceleme Laboratuvarında bulunmakta olan hassas terazi sayesinde bu çalışma yapılabilirdi.



**Şekil 2.10** Evsel Siyah Çay Atığı Öğütülmüş Hali

Kompozit malzemede katılan oran etkisinin incelenip gözlemlenebilmesi adına her bir kombinasyon için çay atığı/reçine karışımının ağırlıkça oranı %0, %5, %10, %15, %20, %25 olacak bir şekilde 6 orana ayrıldı aynı zamanda bu araştırma çalışmasında toplamda 6 tane birbirinden farklı kompozit türü üretildi. Çekme testi için toplamda 30 numune üretildi. Diğer mekanik testler için ise toplamda 54 numune üretildi. Mikroyapı İnceleme testi olan SEM için ise 18 numune üretildi.

Vinilester Reçine (gr)	Çay Katılma Oranı (%)	Evsel Siyah Çay Atığı (gr)	Hızlandırıcı Ko-Na (%1)	Sertleştirici MEKP (%2)
50	0	0	0,5	1
50	5	2,5	0,5	1
50	10	5	0,5	1
50	15	7,5	0,5	1
50	20	10	0,5	1
50	25	12,5	0,5	1

**Tablo 2.2** Numune Kompozisyonları

Farklı boyutlardaki çay atıkları 50 gr olacak şekilde Bisphenol-A adı verilen epoksi reçine bazlı vinilester reçineye (E275-Erco Boya, İstanbul) her bir kombinasyon örneği için tek tek %0, 5, 10, 15, 20 ve 25 oranları uygulanarak eklendi, homojen yapılı bir duruma gelebilmesi için bir kısa zaman karıştırılarak işlemde geçirildi. Reçinenin karışıma katılarak sertleşme gösterebilmesi için yüzde 2 oranında metil etil keton peroksit (Erco Boya, İstanbul) denilen sertleştiriciyi, kullanılan hızlandırıcı ise yüzde 1 oranında kobalt naftalat (Erco Boya, İstanbul) katıldı.

Hazırlanmış olan karışımlar, el döküm yöntemi uygulanarak düzgün ve pürüzsüz bir zemin üzerine konulan teflon malzemeden yapılmış bir kalıp aletine dökülmesi gerekti. Karışımlar hazırlanmadan önce kompozit malzemenin daha rahat bir şekilde çıkarılabilmesi için kalıp ayırıcı sürüldü.



**Şekil 2.11** Deneyde Kullanılan Kalıp Ayırıcı

Kürlenme yapılabilmesi için test numunelerini belirli bir sıcaklıktaki oda koşullarına bırakılarak yaklaşık 2 saat boyunca kurutuldu ve daha sonra kalıptan sökülerek çıkarılma işlemi gerçekleştirildi.



**Şekil 2.12** Deneyde Kullanılan Teflon Kalıp

Kalıptan çıkarılan; International Standart of Organization 527 numaralı standarda bakılarak hazırlanmış test numunelerinin çekme testi deneyi, Zwick markalı Z010 üniversal tipi çekme test cihazında dakikada 5 mm olan çekme testi hızı ile yapılması uygun görüldü. International Standart of Organization 180 numaralı standarda bakılarak hazırlanmış çentiksiz test numunelerinin darbe dayanımı, Zwick marka B5113.30 adlı darbe test cihazı üzerindeki 5,4 J'lük Izod çekici kullanıma katılarak test işlemi gerçekleştirildi. Sertlik testi ölçüm değerleri Zwick markalı Shore D adlı test cihazında, yaklaşık 15 saniye kadar bekletilerek yapılması uygun görüldü. Numunelerin SEM görüntüleri incelendi. Bu çalışma için uygulanan test çeşitlerinde farklı her grup için 5 ayrı test numunesi hazırlanarak ölçülen değerlerin toplanarak ortalamasının ne kadar olduğu da böylelikle ortaya çıktı.

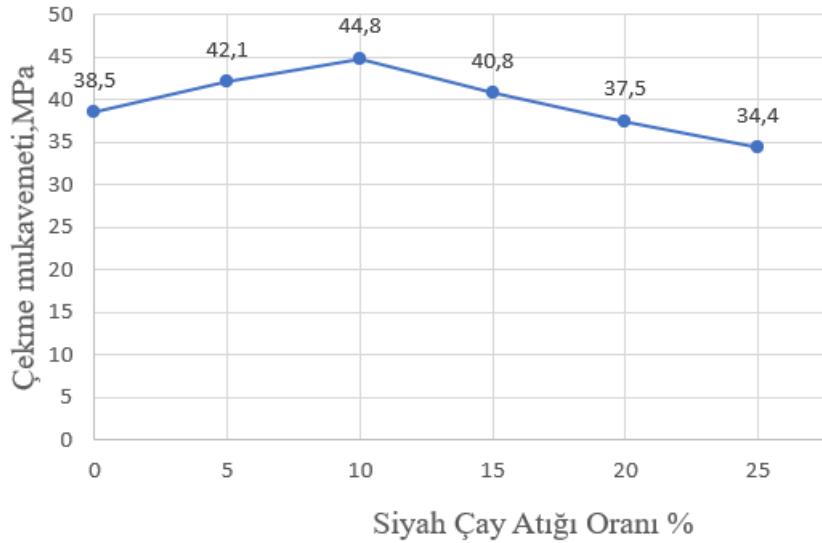


**Şekil 2.13** Döküm Sonrası Elde Edilen Deney Numuneleri

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Çekme Mukavemeti

Parçacık takviye edilmiş bir polimer matris yapısında olan kompozitteki çekme mukavemeti değeri, matris yapısı ile parçacık takviyeler arasındaki aktif yük geçişine bağlı olarak değişmektedir. Tanecik katkı maddesi oranı, elyaf tabakasının partikülleriyle reçine arasındaki bağlanabilme kuvveti benzeri etkenler, mukavemeti de o oranda etkilemektedir. Çekme testi neticelerine bakılarak, bu deney çalışmasında en yüksek çekme mukavemeti sayısal değerine %10 çay atığı dolgulu vinilester esaslı kompozitte olduğu gözlemlendi. Çekme testi sonuçları incelendiğinde, çay atığının katkı oranı arttıkça kompozit malzemelerde çekme mukavemeti sayısal değerlerinin artmakta olduğu da gözlemlendi. Aynı zamanda neticeye bakarak, üretilen kompozitlerin tamamında çay atığı katkı oranı miktarının fazlalaştırılmasıyla çekme dayanımında bir miktar azalma ortaya çıktığı da gözlemlendi.



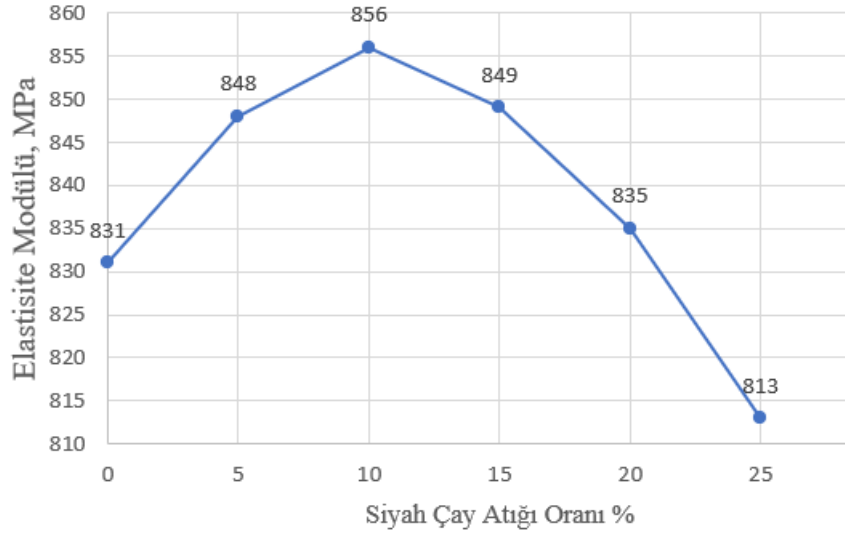
Şekil 3.1 Çekme Mukavemetinin Siyah Çay Atığı Oranı ile Değişimi

Bütün test numuneleri çekme test cihazında gevrek davranış gösterdiği gözlemlendi. En iyi sonuçlar %10 evsel çay atığı dolgulu vinilester kompozit malzeme de gözlemlendi.

#### 3.2. Elastisite Modülü

Parçacık takviye edilmiş polimer matris yapısındaki kompozitin çekme modülü sayısal değeri, polimer matris yapısına yüksek sertlikteki parçacık takviye edilerek

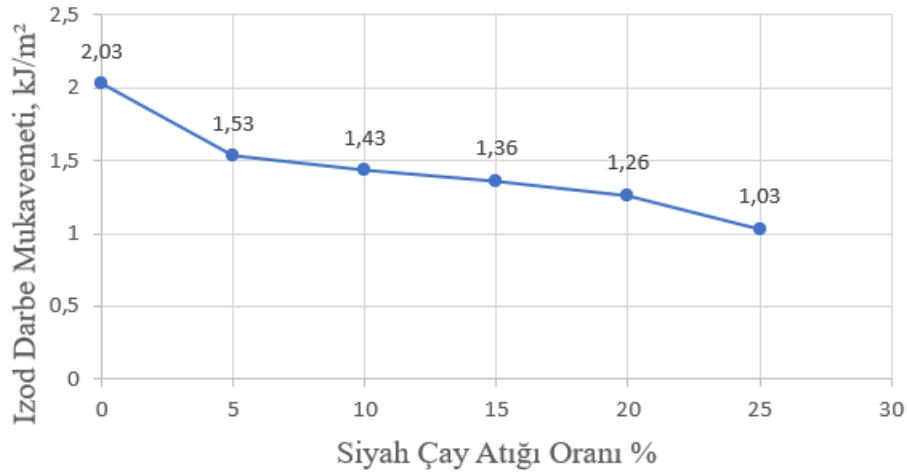
arttırılabilmektedir. Çekme modülü değeri, lifte bulunan toplam yüke bağımlıdır aynı zamanda da parçacık boyut büyüklüğünü ile ara yüzey yapışma kabiliyetinden ise bağımsızdır. Bu yapılan deney çalışmasında çekme testinin neticelerine bakıldığında çay atığı oran değeri arttıkça, Elastisite modülünün değerinin de arttığı, %10 siyah çay atığı oranında değerin zirveye ulaştığı gözlemlendi. Siyah çay atığı oranı daha da arttığında ise elastisite modülü değerinin azaldığı da gözlemlendi.



Şekil 3.2 Elastisite Modülünün Siyah Çay Atığı Oranıyla Değişimi

### 3.3. Izod Darbe Mukavemeti

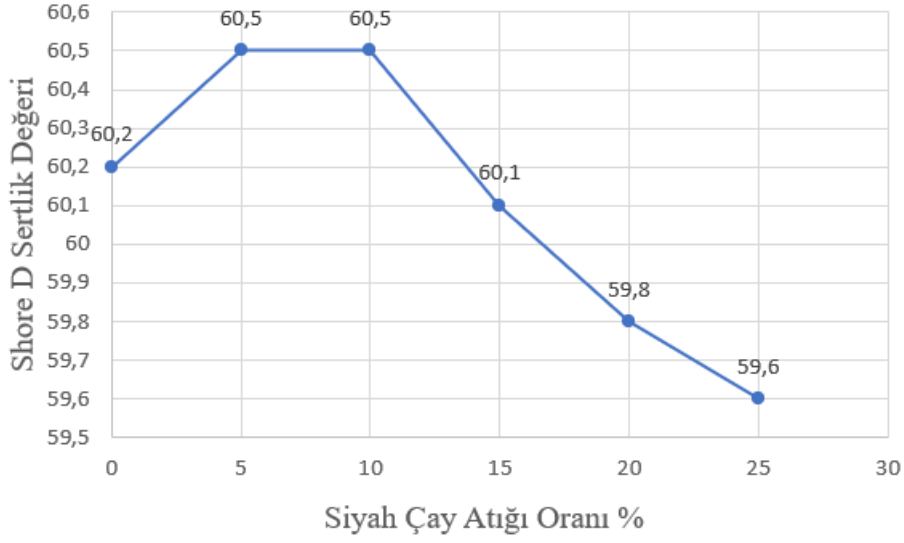
Izod darbe mukavemetinin siyah çay atığı oran değerine bakılarak değişim miktarı hakkında inceleme yapıldığında, çay atıklarının katılma oranının artması ile kompozitin darbe direnci miktarında biraz azalma gözlemlendi. En yüksek darbe dayanımına sahip ise saf vinilester kompozittir.



**Şekil 3.3** Izod Darbe Mukavemetinin Siyah Çay Atığı Oranıyla Değişimi

### 3.4. Shore D Sertlik Değeri

Shore D adı verilen sertlik testi değerlerinin incelenmesi yapıldığında, evsel çay atığı eklenmesiyle sertlik testi değerlerinde bir miktar artma ortaya çıktığı görüldü. Çıkan grafiğe bakıldığında en yüksek sertlik değerine sahip olan kompozitin, katkı oranı en düşük iki çay atığı oranlarında gözlemlendi. %5 ve %10 çay atık oranlarında hem en yüksek sertlik değeri hem de iki oranda aynı sertlik değeri gözlemlendi. %10 oranında çay atığı olan numunenin test edilmesinden sonra genelinin sertlik test sonucu değerlerinde bir azalma gözlemlendi. Siyah çay atığı oranının biraz fazlaşmasıyla gözenek miktarının artması, karışabilirlik ve viskozitenin artması, döküm işleminin zorlaşması benzeri faktörlerin sertlik testini etkilediği düşünülmektedir. Siyah çay atığı oranı miktarı artma eğilimi gösterdikçe sertlik sonucu değerlerinde azalma ortaya çıkması da birtakım nedenlerden dolayı ortaya çıktığı düşünülmektedir.

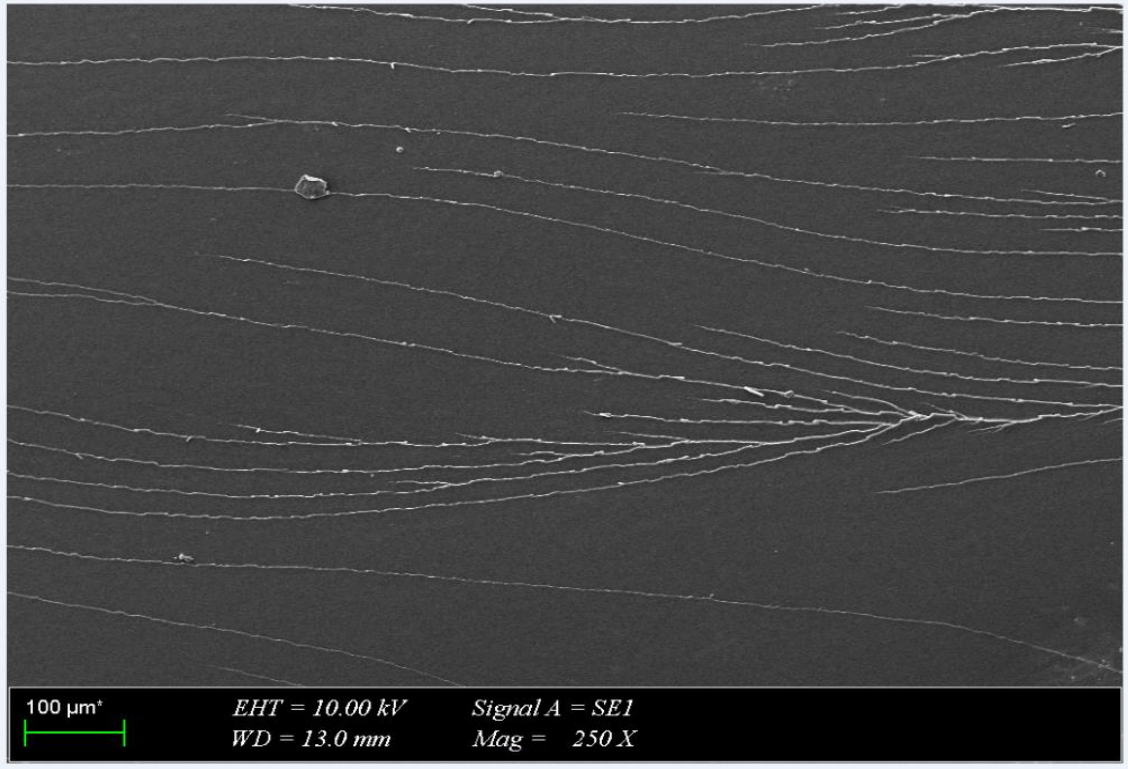


Şekil 3.4 Shore D Sertlik Değerinin Siyah Çay Atığı Oranıyla Değişim Grafiği

### 3.5. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri

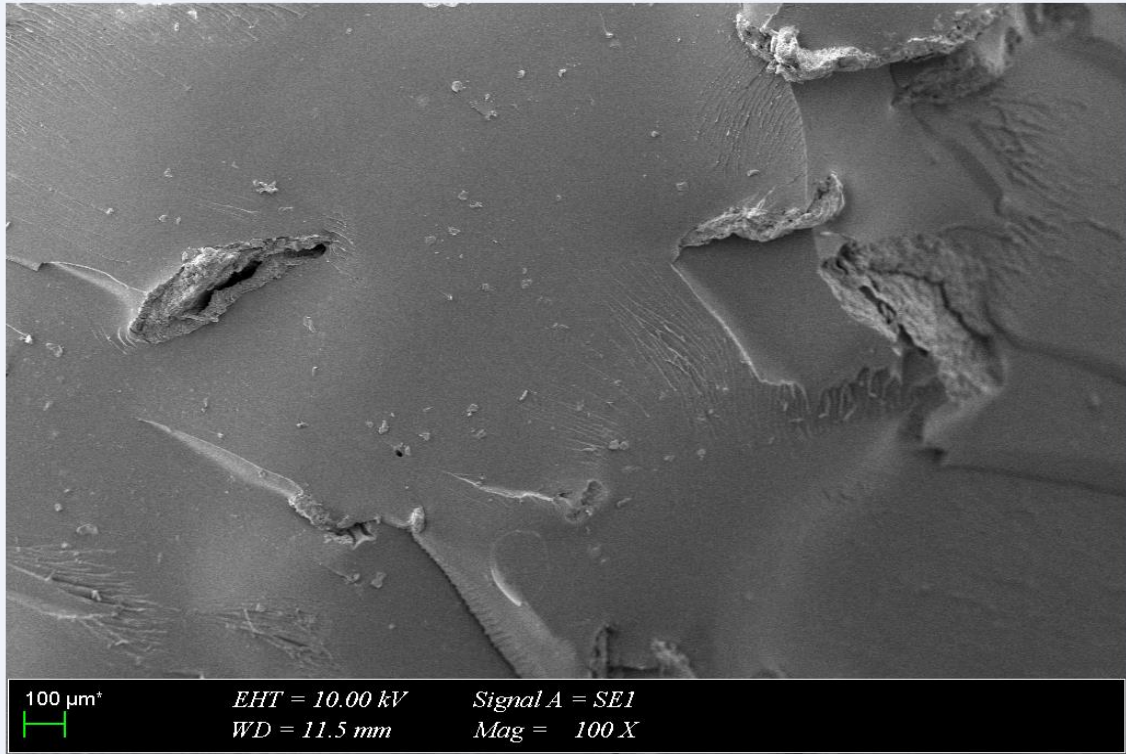
Test numuneleri 10 Å kalınlığındaki altın/paladyum alaşımı ile kaplaması yapıldı. SEM testinin tamamı Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında yer alan Polaron SC markalı cihaz sayesinde gerçekleştirildi. Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da birbirinden farklı boyutlardaki siyah çay atıklarının SEM testi altındaki görüntüleri elde edildi.

Aşağıda fotoğrafı verilen Şekil 3.5'i incelediğimizde saf vinilester kompozitin kırık yüzeyinde hasar çizgileri ve boşluksal kalıntılar oluştuğu gözlemlendi. Diğer evsel siyah çay atığı katkılı kompozitlere göre daha az hasara uğramış olduğunu da gözlemlendi.

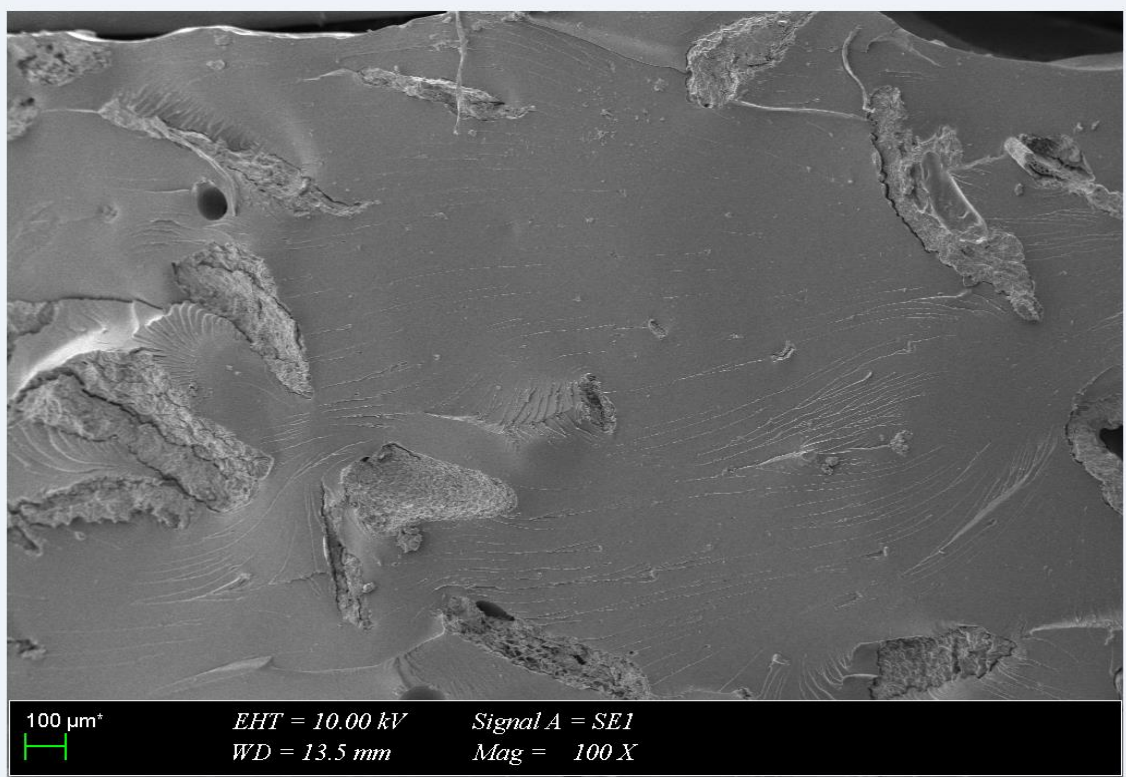


**Şekil 3.5** %0 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

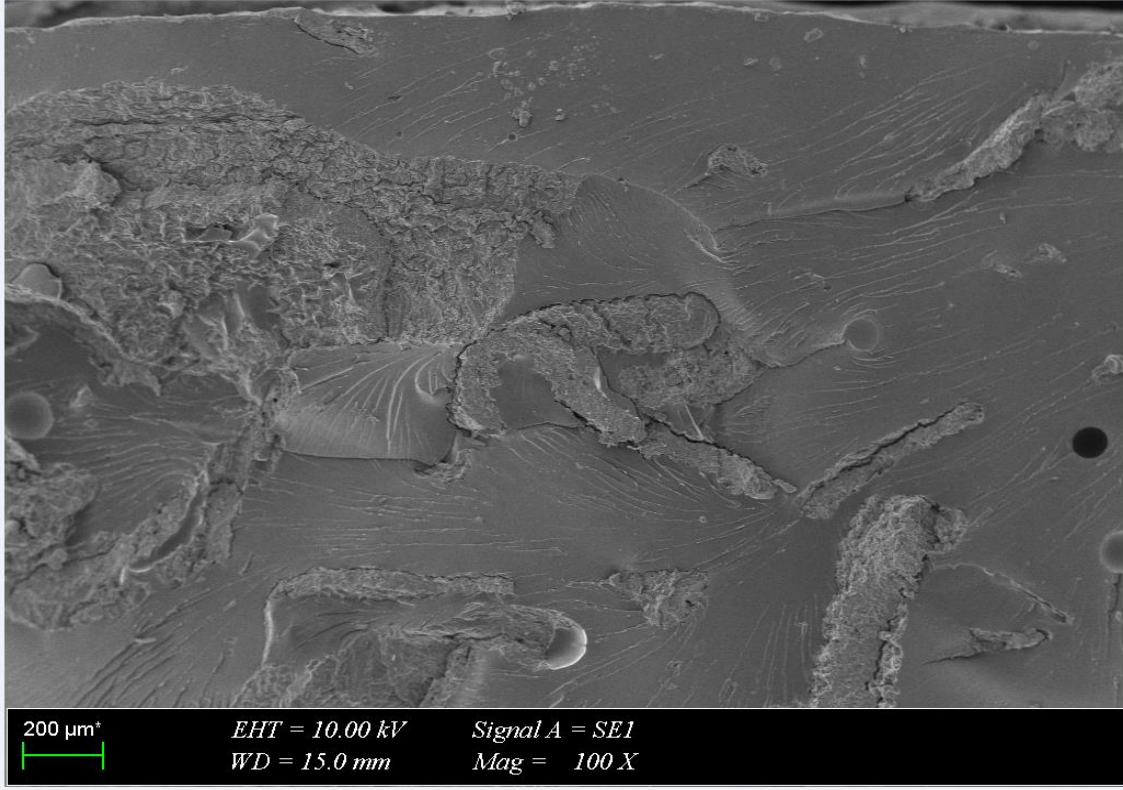
Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki evsel siyah çay atığının kopma bölgesi yüzeylerini incelediğimizde boşluk şeklinde kalıntılar ve oyuklar ile şiddetli kopma sonucu oluşan çizgisel yarılmaları gözlemlendi.



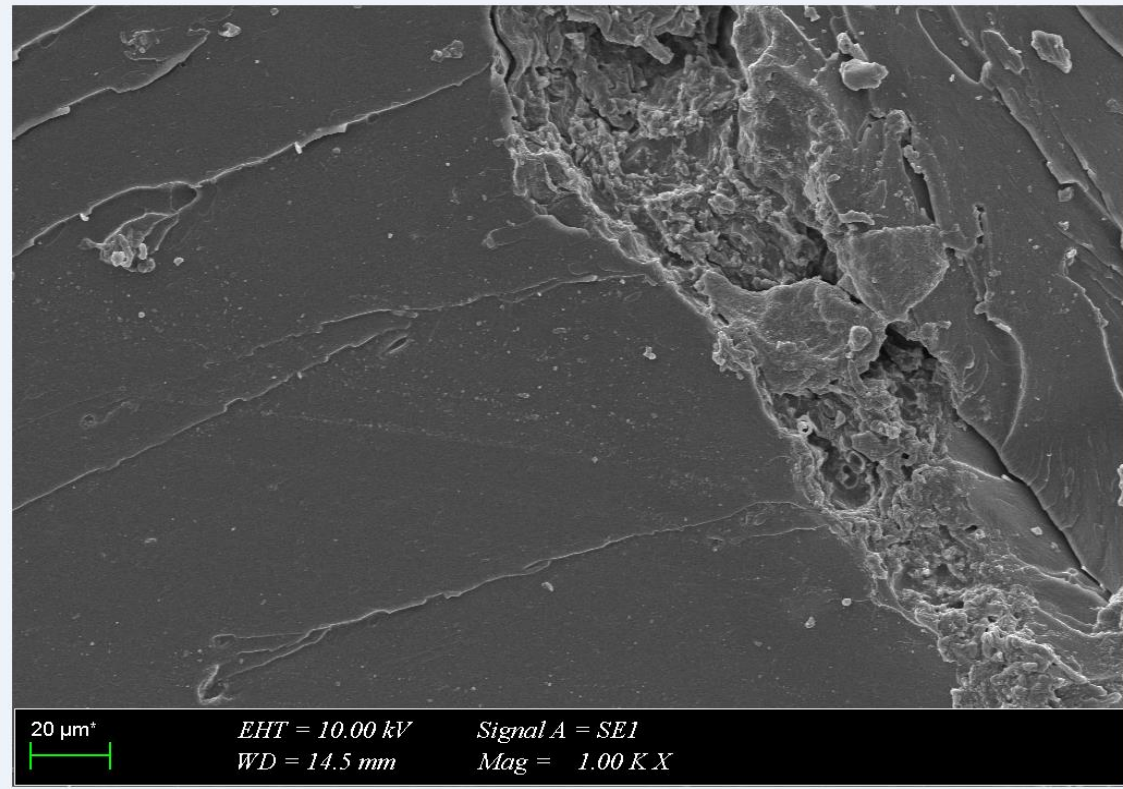
Şekil 3.6 %5 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü



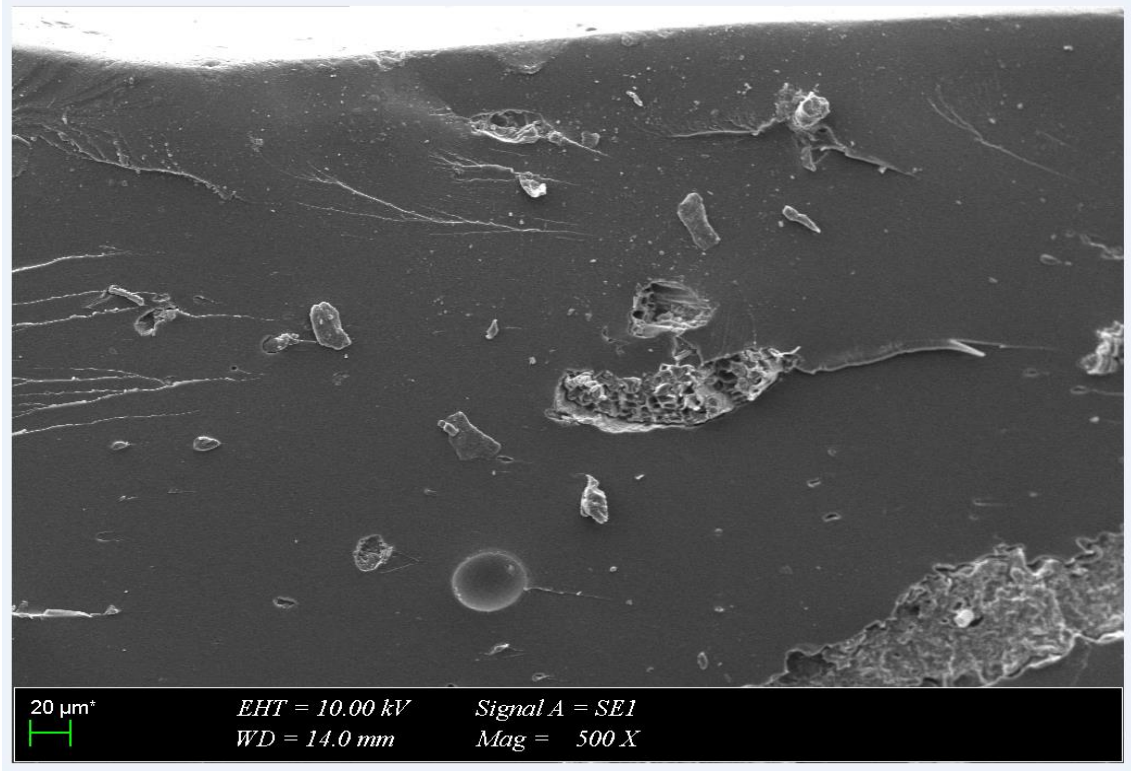
Şekil 3.7 %10 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü



Şekil 3.8 %15 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü



Şekil 3.9 %20 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü



**Şekil 3.10** %25 evsel siyah çay atığı dolgulu kompozite ait SEM görüntüsü

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada evsel siyah çay atığı kompozit malzemede dolgu olarak kullanımı incelendi. Vinilester yapılı bu kompozit malzemelerde dolgu oranı arttıkça mekanik özelliklerde az da olsa bir iyileşme gözlemlendi. Çekme testi sonucu yapılan grafiğe bakıldığında %10 oranındaki evsel siyah çay atığı dolgusunun daha iyi bir mukavemet gösterdiği gözlemlendi. Çay atığı oran değeri arttıkça, Elastisite modülünün değerinin de %10 siyah çay atığı oranına kadar arttığı ve %10 siyah çay atığı oran değerinde maksimum bir değer gösterdiği gözlemlendi. Aynı zamanda da siyah çay atığı oranı daha da arttığında ise Elastisite modülü değerinin azaldığı da gözlemlendi. Darbe testi grafiğine bakıldığında ise en iyi mukavemet değeri saf vinilester kompozit malzemede olduğu gözlemlendi. Sertlik testi grafiğine bakılarak bir yorum yapılması gerekirse siyah çay atığı oranının %5-10 olduğu oranda mukavemetin en yüksek değeri gösterdiği gözlemlendi. SEM testi sonuçlarına bakıldığında saf vinilester kompozitin kırık yüzeyinde hasar çizgileri ve boşluksal kalıntılar oluştuğu gözlemlendi. Diğer evsel siyah çay atığı katkılı kompozitlere göre daha az hasara uğramış olduğunu da gözlemlendi. Evsel siyah çay atığı dolgulu oranlara bakıldığında kopma bölgesinde boşluk şeklinde kalıntılar ve oyuklar ile şiddetli kopma sonucu oluşan çizgisel yarılmalar gözlemlendi. Bütün test sonuçlarına baktığımızda %10 evsel siyah çay atığı dolgulu vinilester kompozitin iyi bir sonuç verdiği gözlemlendi. Bu tez çalışmasının sonucunda özellikle evsel siyah çay atığı dolgulu kompozit uygulamalarında evsel siyah çay atığının dolgu olarak kullanılabilceği değerlendirildi.

## KAYNAKLAR

- [1] Sanjay, M. R., G. R. Arpitha, and B. Yogesha. "Study on mechanical properties of natural glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review." *Materials today proceedings* (2015), 2.4-5: 2959-2967.
- [2] Sabu, T., Kuruvilla, J., Kumar, M., Goda, K., Sreekala M. S. (2012) *Introduction to Polymer Composites*, Polymer Composites, 1st Edition., Springer, Boston, MA.
- [3] Post, W., et al. "Healing of a glass fibre reinforced composite with a disulphide containing organic-inorganic epoxy matrix." *Composites Science and Technology* (2017), 152: 85-93.
- [4] William D. Callister, J. D. (2014). *Composites*. J. D. William D. Callister içinde, *Materials Science and Engineering An Introduction* (s. 636). United States America: Wiley.
- [5] Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4), 269-281.
- [6] Chou, T. ve Ko, F. (1989) *Textile Structural Composites*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- [7] Kandpal, B.C., Chaurasia, R., Khurana, V. (2015) Recent Advances in Green Composites – A Review, *International Journal For Technological Research In Engineering (IJTRE)*, 2, 742-747.
- [8] William D. Callister, J. D. (2014). *Composites*. J. D. William D. Callister içinde, *Materials Science and Engineering An Introduction* (s. 636). United States America: Wiley.
- [9] Qu, J. (1993). The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials*, 14(4), 269-281.
- [10] Vasiliev, V. V., Morozov, E. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials*: Elsevier Publ.
- [11] Itoh, M., Inoue, K., Hirayama, N., Sugimoto, M., Seguchi, T. (2002). Fiber reinforced plastics using a new heat-resistant silicon based polymer. *Journal of materials science*, 37 (17), 3795-3801.

- [12] Santulli, C., Sarasini, F., Tirillò, J., Valente, T., Valente, M., Caruso, A.P., Infantino, M., Nisini, E., Minak, G. (2013). Mechanical Behaviour of Jute Cloth/Wool Felts Hybrid Laminates, *Materials and Design*, vol. 50, pp. 309–321.
- [13] Yan, L., Chouw, N., Jayaraman, K. (2014). Flax Fibre and Its Composites, *Composites: Part B Engineering (Compos Part B- Eng)*, vol. 56, pp. 296-317.
- [14] Thakur, V. K., Thakur, M.K., Gupta, R.K. (2014). Review: Raw Natural Fiber–Based Polymer Composites, *International Journal of Polymer Anal. Charact. (IJPAC)*, vol. 19, pp. 256–271.
- [15] Paul, W., Jan, I., Ignaas, V. (2003). Natural Fibers: Can They Replace Glass in Fiber Reinforced Plastics, *Comput Sci Technol*, vol. 63, pp.1259–1264.
- [16] Aztekin, K. 2010. Termoset Polyester Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliğinin AISI 1050 İle Karşılaştırmalı Olarak Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [17] Yüce, İ. 2007. Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- [18] Hüner, Ü. 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- [19] Yüce, İ. 2007. Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- [20] Acet, R.C. 2011. Kompozit Malzemelerden Üretilen Müzik Aletlerinin Ses Performansının İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Lisans Tezi.
- [21] Yırtımcı, A.Y.O. 2011. Kompozit Levhalarda Yüzey Formunun Ve Çevresel Aşınmanın Darbe Performansına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.

- [22] Groover, M.P. 2015. Modern İmalatın Prensipleri, 4.Basım Çeviri, Nobel Yayınları.
- [23] Çetin, E. 2007. Anilin ve Poli(Etilen Teraftalat) Kullanarak Kimyasal Polimerizasyon Yöntemi ile İletken Kompozit Lif Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [24] Ünal, O. (2006). Yapı Malzemeleri Ders Notları. Akdeniz Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği Bölümü.
- [25] Acet, R.C. 2011. Kompozit Malzemelerden Üretilen Müzik Aletlerinin Ses Performansının İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Lisans Tezi.
- [26] Çetin, E. 2007. Anilin ve Poli(Etilen Teraftalat) Kullanarak Kimyasal Polimerizasyon Yöntemi ile İletken Kompozit Lif Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [27] [Thakur, V. K., Thakur, M.K., Gupta, R.K. (2014). Review: Raw Natural Fiber–Based Polymer Composites, International Journal of Polymer Anal. Charact. (IJPAC), vol. 19, pp. 256–271.
- [28] Paul, W., Jan, I., Ignaas, V. (2003). Natural Fibers: Can They Replace Glass in Fiber Reinforced Plastics, Comput Sci Technol, vol. 63, pp.1259–1264.
- [29] Ramesha, M., & Palanikumar, K. (2017). Hemachandra Reddyc Plant Fibre Based Bio-Composites: Sustainable And Renewable Green Materials, Elsevier 79, 558-584.
- [30] Ramesh M, Palanikumar , K., & Reddy , K. (2013). Mechanical Property Evaluation Of Sisal–Jute–Glass Fibre Reinforced Polyester Composites, Compos Part B-Eng ;48, 1–9.
- [31] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, Materials Today, P. 22-29.
- [32] Zini, E., Scandola, M. (2011). Green Composites: An Overview, Polymer Composites,32,1905-1915.

- [33] Fowler, P., Hughes, J., Elias, R. (2006). Biocomposites: Technology, Environmental Credentials And Market Forces, *J.Sci. Food. Agric.* 86, 1781-1789.
- [34] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, *Bioresource Technology* 99 4661-4667.
- [35] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, *Materials Today*, P. 22-29.
- [36] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, *Materials Today*, P. 22-29.
- [37] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, *Bioresource Technology* 99 4661-4667.
- [38] Maya J. J., Sabu T.,(2008).Biofibres And Biocomposites, *Carbohydrate Polymers* 71 343-364.
- [39] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, *Materials Today*, P. 22-29.
- [40] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, *Materials Today*, P. 22-29.
- [41] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, *Bioresource Technology* 99 4661-4667.
- [42] Maya J. J., Sabu T.,(2008).Biofibres And Biocomposites, *Carbohydrate Polymers* 71 343-364.
- [43] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, *Bioresource Technology* 99 4661-4667.
- [44] Maya J. J., Sabu T.,(2008).Biofibres And Biocomposites, *Carbohydrate Polymers* 71 343-364.
- [45] Netravali A.N., Chabba S., (2003). Composites Get Greener, *Materials Today*, P. 22-29.
- [46] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, *Bioresource Technology* 99 4661-4667.

- [47] Maya J. J., Sabu T.,(2008).Biofibres And Biocomposites, Carbohydrate Polymers 71 343-364.
- [48] Ashori A.,(2008).Wood-Plastic Composites As Promising Green-Composites For Automotive Industries!, Bioresource Technology 99 4661-4667.
- [49] Maya J. J., Sabu T.,(2008).Biofibres And Biocomposites, Carbohydrate Polymers 71 343-364.
- [50] Environmental Certificate, Mercedes-Benz C-Class, Mercedes-Benz Resmi Belgeleri, Daimlerchrysler AG, Mercedes Car Group, Daimlerchrysler Communications, [Http://Www.Daimlerchrysler.Com](http://www.Daimlerchrysler.Com) Ivens Jan., Verpoest Ignaas., Natural Fibres: Can They Replace Glass İn Fibre Reinforced Plastics Composites Science And Technology 63 (2003) 1259-1264.
- [51] Acarođlu, M. (2008). “Türkiye’de Biyokütle-Biyoetanol ve Biyomotorin Kaynakları ve Biyoyakıt Enerjisinin Geleceđi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES’2008), 17-19 Aralık 2008, Sayfa:351-362, İstanbul.
- [52] Türe, S. (2001). “Biyokütle Enerjisi”, Temiz Enerji Vakfı, Sayfa: 1-5. Ankara.
- [53] Anonim 2011a. “Youth for Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları”, Biyokütle Enerjisi, <http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf> (E.T: 01.04.2014).
- [54] Perlack, R.D., Wright, L.L, Huston, M.A. ve Schramm, W.E. (1995). “Biomass Fuel From Woody Crops For Electric Power Generation”, ORNL-6871, L. Martin Energy Systems, Inc.,September 21 1995. , Oak Ridge, Tennessee.
- [55] Hall, D.O. (1997). “Biomass Energy in Industrialized Countries-A”, View of the Future For Ecol Manag., 91 p:17-45.
- [56] İllez B. (2004). “Güneş Enerjisi Destekli Sürekli Beslemeli Tip Biogaz Üreticinin Oluşturulması” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Güneş Enerjisi A.B.D, İzmir.
- [57] Olgun, H. ve Tırıs M. (2001). “Atıkların Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanılması”, Teknoloji Günleri Alternatif Enerji Sistemleri Sempozyumu (29 Mart 2001), İstanbul.

- [58] Tüplek A. (2011). “Odun Talaşı Ve Tozundan Pelet Biyoyakıt Üretilmesi Ve Yanma Analizi”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [59] Aksoğan Korkmaz, A., Bulut Deniz, M. (2019), “Sürdürülebilir Temiz Enerji Biyokütle: Enerji Üretimindeki Payı ve Ekonomiye Katkıları”, II. Uluslararası Battalgazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Tam Metin Kitabı, (1), ss 141-149.
- [60] Saraçoğlu, N., ‘Türkiye nin enerji üretiminde biyokütle kaynaklarından yararlanma olanakları’, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 485-497, (2004).
- [61] Akkaya, A.V., Akkaya, E. K., Dağdaş , A., ‘Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan incelenmesi’, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 37-44, İstanbul, 2002.
- [62] Saraçoğlu, N., ‘Türkiye nin enerji üretiminde biyokütle kaynaklarından yararlanma olanakları’, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 485-497, (2004).
- [63] Enerji raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara,(1998).
- [64] Jones, M.R., ‘Biomass for energy (General)’, Biomass handbook. O. Kinati, C. W. Hall, K. Wagener, S. Tsuru, T. Suzuki, S. Sudo(Eds.) Gordon & Breach Publishers, Amsterdam, 97-107, (1989).
- [65] Ateş, F., ‘Biyokütlenin sabit yatak pirolizine katalizörün etkisi’, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 467-474, (2004).
- [66] Karayılmazlar S., Saraçoğlu N., Çabuk Y. ve Kurt R. (2011). “Biokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi”, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 13, Sayı: 19, Sayfa: 63-75, Bartın.
- [67] Anonim 2011a. “Youth for Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları”,  
Biyokütle Enerjisi,  
<http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf> (E.T: 01.04.2014).
- [68] <http://www.elektrikport.com/makale-detay/yesilden-gelen-enerji-biyokutle2bolum/8571#ad-image-6>, 2014, (Şekil İngilizceden Türkçeye çevrilmiştir.)
- [69] Ateş, F. (2004). “Biokütlenin Sabit Yatak Pirolizine Katalizörün Etkisi”, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, Sayfa: 467-474, 26-28 Mayıs 2004, İstanbul.

- [70] Karaca, C. (2009). “Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
- [71] Anonim 2011a. “Youth for Habitat Türkiye, Sürdürülebilir Enerji Eğitimi Kitapları”, Biyokütle Enerjisi, <http://www.habitaticingenclik.org.tr/dl/yayinlar/enerji/BiyoKutle.pdf> (E.T: 01.04.2014).
- [72] Anonim 2011c. “Biyokütle Çevrim Teknolojileri”, <http://www.anadolutayfasi.net/kimya/54694-biyotuklecevrimeknolojileri.html>, (E.T: 03.04.2014).
- [73] Karaosmanoğlu, F. (2006). “Biyoyakıt Teknolojisi ve İTÜ Araştırmaları”, ENKÜS 2006-İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, Bildiri Kitabı, Sayfa: 110-146, 22-23 Haziran 2006, İstanbul.
- [74] Çay Atıklarının Değerlendirilmesi. 2016. <http://www.mnecevre.com/cay-atiklarinindegerlendirilmesi-2> (Erişim Tarihi: 03.15.2017).
- [75] Sağbaş, A., Kahraman, F. ve Koyuncu, M. (2009) Keten Lifleri ile Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 185-192.
- [76] Yöney H., Yükseloğlu S. M. ve Demirer H. (2008), Keten Lif Takviyesinin Vinilester Matrisli Kompozitlerin Darbe Mukavemeti Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, 2. Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi ve Sergisi, 30 Nisan- 02 Mayıs, Şanlıurfa, Türkiye.
- [77] Kartal, İ., Naycı, G. & Demirer, H. (2019). Kestane/Gürgen Talaşı Dolgulu Vinilester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 723-728.
- [78] Boriaa S., Pavlovicb A., Fragassab C., ve Santullic C. (2016) Modeling of Falling Weight Impact Behavior of Hybrid Basalt/Flax Vinylester Composites, Prodecia Engineering, 167, 223-230.
- [79] Huo S., Thapa A.ve Ulven C. (2013) Effect of Surface Treatments on Interfacial Properties of Flax Fiber Reinforced Composites, Adv Compos. Mater., 22, 109- 121.

- [80] Ramnath V., Manickavasagam B., Elanchezhian V. M., C., Krishna V., Karthik C., Saravanan K (2014) Determination of Mechanical Properties of Intra-layer Abaca-Jute-Glass Fiber Reinforced Composite, *Materials and Design*, 60, 643-652.
- [81] Croccolo D., De Agostinis, M., Fini, S., Liverani, A., Marinelli, N., Nisini, E. (2015) Mechanical Characteristics of Two Environmentally Friendly Resins Reinforced with Flax Fibers. *Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, 61, 217-226.
- [82] Zhang, Y., Li, Y., Ma, H. ve Yu, T. (2013) Tensile and Interfacial Properties of Unidirectional Flax/Glass Fiber Reinforced Hybrid Composites, *Composites Science and Technology*, 88, 172-177.
- [83] Kaya, N. (2017). Fındık ve Çeltik Kabukları ve Odun Talaşı İle Takviye Edilmiş Termoset Kompozitlerde Reçine Türünün Fiziksel Özelliklere Etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 1076-1086.
- [84] Kartal, İ., (2018). Kord bezi ile takviye edilmiş polyester kompozitlerin kırılma özelliklerinin incelenmesi. *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (2), 396-400.
- [85] Usta I., Akalın M., Koçak D., Merdan N. (2003) Farklı Oranlardaki Pamuk Atıkları ile Desteklenmiş PP Polimerinin Oluşturduğu Kompozit Yapının Mekanik ve Akış Özelliklerinin İncelenmesi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16, 405-410.
- [86] Demirer H., Kartal İ., Yıldırım A., Büyükkaya K. (2018) The Utilisability of Ground Hazelnut Shell as Filler in Polypropylene Composites, *Acta Physica Polonica*, 134, 254-256.
- [87] Sevhan Müge YÜKSELOĞLU, Mehmet ÇALIŞKAN (2015): Mechanical and Thermal Properties of Wool Waste Fabric Reinforced Composites, *Tekstil ve Mühendis*, 22: 97, 14-20.
- [88] Taşdemir, H.M., Şahin, A., Karabulut A.F., Gürü, M., (2017). Nane lifi katkılı atık hurma çekirdeğinden üretilen kompozit malzemenin özelliklerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi*, 34 (1), 409-420.
- [89] Aral, N., Berkeralp, Ö.B., Bakkal, M., Sadıkoğlu, T.G., (2009). Atık Kumaş Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Darbe ve Çekme Davranışlarının İncelenmesi. *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 19 (2), 139-144.

- [90] Narlıoğlu N., etin N.S., Alma M. H. (2018) Karaçam Testere Talaşının Polipropilen Kompozitlerin Mekanik zelliklerine Etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1, 38-45.
- [91] Akbaş S., Güleç T., Tufan M., Taşcıoğlu C., Peker H. (2013) Fındık Kabuklarının Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi, *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, 14, 50-56.
- [92] Borazan A., Adiguzel G. (2018) Influence of the Addition Chestnut Shell to Kaolin/Polyester Composites, *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7, 937-943.
- [93] Deniz, M.E., Güneş, A., (2021). Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 453-468.
- [94] Topsakal A., Özel C., (2018). Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik zelliklere Etkisi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (1), 107-116.
- [95] Supian, A.B.M., Jawaid, M., Rashid. B., Fouad, H., Saba, N., Dhakal H.N., Khiari R., (2021). Mechanical and physical performance of date palm/bamboo fibre reinforced epoxy hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 1330-1341.
- [96] Kartal, İ., Naycı, G., Demirer, H., (2019). Cam ve Bambu Lifleriyle Takviyelendirilmiş Vinilester Kompozitlerinin Mekanik zelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3 (1), 34-37.
- [97] İ. Kartal, G. Naycı, H. Demirer, The effect of chestnut wood flour size on the mechanical properties of vinyl ester composites, *Emerging Materials Research*, 9(3), 960-965, 2020.
- [98] İ. Kartal, Effect of hornbeam sawdust size on the mechanical properties of polyethylene composites, *Emerging Materials Research* 9(3): 979–984, 2020.

- [99] Aykaç, G., Uzun, M.B., Özçelikay, G. (2013). Tea In Every Aspect “Camellia sinensis”-Her Yönüyle Çay “Camellia sinensis”. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 4(1), 1.
- [100] Alikılıç, D. (2016). Çay’ın Karadeniz Bölgesi İçin Önemi ve Tarihi Seyri. Journal of Black Sea Studies, 21, 269-280.
- [101] Lin, Y.S., Tsai, Y.J., Tsay, J.S., Lin, J.K. (2003). Factors affecting the levels of tea polyphenols and caffeine in tea leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 1864-1873.
- [102] Kuo, K., Weng, M., Chiang, C., Tsaj, Y., Lin-Shiau, S., Lin, J. (2005). Comparative studies on the hypolipidemic and growth suppressive effects of oolong, black, pu-erh, and green tea leaves in rats. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 480-489.
- [103] FAO Yearbook Production 1984. 38, 326 s.
- [104] [http://www.zmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=25738&tipi=38&sube=0](http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=25738&tipi=38&sube=0) (15 Nisan 2017)
- [105] DPT, Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Gıda Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Çay Sanayi Alt Komisyon Raporu, DPT Yayınları, Ankara, 2001.
- [106] Tea biochemistry in practice. Advances in Food Research 24, 229-286.
- [107] Blankenship, L.T., White, M.N., Puckett, P.M. (1989). Vinyl Ester Resins: For Composites, Dow Chemical U.S.A, Freeport, Texas, pp. 1-36.
- [108] Astrom, B.T. (1997). Manufacturing of Polymer Composites, Department of Aeronautics, Royal Insitute of Technology, Chapman & Hall, pp. 1-175.
- [109] Rosu, D., Cascaval, C.N., Rosu, L. (2006) Degradable and Biocompatible Polymers, Tehnopress Editure, Iassy-Romania, 459.
- [110] Guo, Z., Liang, X., Pereira, T., Scaffaro, R., Hahn, H.T. (2007) Synthesis Techniques for Polymer Nanocomposites, Compos.Sci. Technol., 67, 2036.
- [111] Manson, J., Wakeman, M.; Bernet, N. (2000) Comprehesive Composite Materials, 2nd, Elsevier Science, Amsterdam.