



MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**POLİPROPİLEN/KENEVİR/HAŞHAŞ SAPI  
POLİMER KOMPOZİTİNE MALEİK  
ANHİDRİT AŞILI POLİPROPİLEN  
(MA-g-PP) KOPOLİMERİNİN İLAVESİNİN  
ETKİLERİ**

GİZEM KARADİREK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL, 2024



MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**POLİPROPİLEN/KENEVİR/HAŞHAŞ SAPI  
POLİMER KOMPOZİTİNE MALEİK  
ANHİDRİT AŞILI POLİPROPİLEN  
(MA-g-PP) KOPOLİMERİNİN İLAVESİNİN  
ETKİLERİ**

GİZEM KARADİREK

(533321016)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR

İSTANBUL, 2024

## **TEŐEKKÜR**

Başta biz kadınlara seğme- seğilme, eğitim ve en önemlisi özgürce yaŐama hakkı tanıyan Gazi Mustafa Kemal Atatürk ve bu ülke pahasına canlarını feda etmiş tüm Őehitlerimize minnet ve saygıyla.

Yüksek lisans sürecim boyunca desteğini esirgemeyen değerli DanıŐmanım Prof.Dr. Münir Taşdemir ve her konuda destekçim ArŐ. Gör. Elif Ulutaş' a teŐekkürlerimi bir borę bilirim.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta annem, babam ve kardeŐim olmak üzere tüm aileme her zaman yanımda oldukları, gösterdikleri sevgi ve güvenleri için sonsuz teŐekkür ederim.

**Eylül, 2024**

**GİZEM KARADİREK**

# İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ.....	6
TABLolar LİSTESİ .....	9
DENKLEMLER LİSTESİ.....	11
SEMBOLLER LİSTESİ.....	12
KISALTMALAR LİSTESİ.....	13
ÖZET.....	14
ABSTRACT.....	15
1.GİRİŞ.....	16
1.1. Çalışma Konusunun Tanımı ve Amacı.....	16
1.2. Malzemenin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	17
1.2.1. Malzemenin tanımı.....	17
1.2.2. Malzemenin sınıflandırılması.....	17
1.2.2.1 Polimerler.....	17
1.2.2.2 Seramikler.....	17
1.2.2.3 Metaller.....	17
1.2.2.4 Kompozitler.....	18
1.3. Kompozit Malzemelerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi.....	18
1.3.1. Kompozit malzemelerin tanımı.....	18
1.3.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması.....	19

1.3.3.	Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması.....	19
1.3.4.	Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması.....	21
1.3.5.	Kompozit malzemelerin kullanım alanları .....	23
1.3.6.	Kompozit malzemelerin performans değerlendirmesi .....	24
1.3.7.	Biyoliflerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi.....	24
1.3.8.	Güçlendirici lifler .....	25
1.3.9.	Lif kaynakları .....	25
1.4.	Lif türleri .....	25
1.4.1.	Kenevir .....	25
1.4.2.	Keten.....	25
1.4.3.	Jüt .....	26
1.4.4.	Kenaf .....	26
1.4.5.	Kenaf .....	26
2.	MATERYAL VE YÖNTEM .....	27
2.1.	Kullanılan Malzemeler .....	27
2.1.1.	Doğal elyaf takviyeli polipropilen (nafiLean) %20 hemp (kenevir) pp + %20 hempfibre.....	27
2.1.2.	Haşhaş saplarından toz üretimi.....	27
2.1.3.	MAPP (Maleik anhidrit aşıllı polipropilen).....	29

2.2.	PP/Haşhaş/MAPP Polimer kompozitinin elde edilmesi.....	29
2.2.1.	Terazi.....	29
2.2.2.	Ekstrüzyon cihazı.....	30
2.2.3.	Etüv cihazı.....	31
2.2.4.	Enjeksiyon makinası.....	31
2.3.	Mekanik Testler.....	33
2.3.1.	Çekme testi.....	33
2.3.2.	Darbe Testi.....	35
2.3.3.	Çentik açma.....	36
2.3.4.	Sertlik testi.....	37
2.4.	Fiziksel Testler.....	38
2.4.1.	Ergime akış indeksi- MFI.....	38
2.4.2.	Yoğunluk testi.....	41
2.4.3.	Nem Tayini.....	42
2.4.4.	HDT yük altında eğilme sıcaklığı belirleme testi.....	43
2.4.5.	Vicat yumuşama sıcaklığı tayini.....	44
2.4.6.	Taramalı elektron mikroskobu-SEM.....	45
3.	BÖLÜM: BULGULAR ve TARTIŞMA.....	47
3.1.	Mekanik Özellikler.....	47
3.2.	Fiziksel Özellikler.....	56
3.3.	Mikroyapı incelemesi.....	63

4. SONUÇLAR.....	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71
TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR.....	73



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Elyaflı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	22
Şekil 1.2. Parçacıklı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	22
Şekil 1.3. Tabakalı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	23
Şekil 1.4. Karma kompozitlerin matris içindeki yerleşimi.....	23
Şekil 1.5. Sektörlere göre kompozit malzeme kullanım oranları .....	24
Şekil 2.1. %20 kenevir elyaf takviyeli polipropilen.....	27
Şekil 2.2. Haşhaş saplarından toz üretimi .....	28
Şekil 2.3. Elektronik Terazı.....	29
Şekil 2.4. Ekstrüzyon makinesi .....	30
Şekil 2.5. Etüv cihazı, numuneler ve V tipi karıştırıcı .....	31
Şekil 2.6. Enjeksiyon makinesi, kalıpları ve test numuneleri .....	32
Şekil 2.7. Çekme testi cihazı .....	33
Şekil 2.8. Çekme testi numune tipleri .....	34
Şekil 2.9. Darbe Testi Cihazı .....	35
Şekil 2.10. Çentik Türleri .....	36
Şekil 2.11. Çentik açma cihazı .....	37
Şekil 2.12. Sertlik testine ait yük ve uçların gösterimi.....	38
Şekil 2.13. Sertlik cihazı .....	36
Şekil 2.14. MFI testi cihazı .....	37
Şekil 2.15. Yoğunluk cihazı .....	40

Şekil 2.16. Nem oranı tayini cihazı .....	42
Şekil 2.17. HDT testi numune boyutları.....	44
Şekil 2.18. HDT test cihazı .....	44
Şekil 2.19. Vicat test cihazı.....	45
Şekil 2.20. SEM cihazı.....	46
Şekil 2.21. Kaplama cihazı.....	46
Şekil 3.1. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi .....	48
Şekil 3.2. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin elastiklik modülü değerlerinin grafiksel gösterimi .....	50
Şekil 3.3. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi .....	51
Şekil 3.4. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin kopma uzama değerlerinin grafiksel gösterimi .....	53
Şekil 3.5. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin Shore D sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi .....	54
Şekil 3.6. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin Izod çentikli darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi.....	55
Şekil 3.7. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin yoğunluk değerlerinin grafiksel gösterimi .....	57
Şekil 3.8. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin nem emme değerlerinin grafiksel gösterimi .....	58
Şekil 3.9. PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin HDT değerlerinin grafiksel gösterimi .....	59

<b>Şekil 0.10</b> PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin grafiksel gösterimi.....	61
<b>Şekil 3.11.</b> PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin MFI değerlerinin grafiksel gösterimi .....	62
<b>Şekil 3.12.</b> PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları .....	63
<b>Şekil 3.12 (devamı)</b> .....	64



## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Lif kaynakları ve üretim kapasitesi .....	26
<b>Tablo 2.1.</b> Deney grupları ve malzeme oranları .....	30
<b>Tablo 2.2.</b> Ekstrüzyon kalıplama parametreleri.....	30
<b>Tablo 2.3.</b> Enjeksiyon kalıplama parametreleri .....	32
<b>Tablo 2.4.</b> Kalınlıklara göre numune boyutları mm (in.).....	34
<b>Tablo 2.5.</b> Metot tanımları, örnek tipleri, çentik tipleri ve çentik boyutları .....	36
<b>Tablo 2.6.</b> Bazı polimerlere ait sınıflar .....	40
<b>Tablo 2.7.</b> Polimer sınıflarına ait sıcaklık ve ağırlıklar .....	40
<b>Tablo 2.8.</b> HDT test metodu .....	43
<b>Tablo 2.9.</b> HDT testi numune ölçüleri .....	44
<b>Tablo 2.10.</b> Vicat yumuşama sıcaklığı test metotları.....	45
<b>Tablo 3.1.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının karıştırılma oranları .....	47
<b>Tablo 3.2.</b> Kenevir-PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının çekme mukavemeti değerleri .....	48
<b>Tablo 3.3.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının elastiklik modülü değerleri .....	49
<b>Tablo 3.4.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının kopma mukavemeti değerleri .....	51
<b>Tablo 3.5.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının kopma uzama değerleri .....	52

<b>Tablo 3.6.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Shore D sertlik değerleri .....	53
<b>Tablo 3.7.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Izod çentikli darbe mukavemeti değerleri .....	55
<b>Tablo 3.8.</b> PP/HH/MAPP polimer kompozitinin polimer kompozitin yoğunluk değerleri .....	56
<b>Tablo 3.9.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının nem emme değerleri.....	57
<b>Tablo 3.10.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının HDT değerleri .....	59
<b>Tablo 3.11.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri .....	60
<b>Tablo 3.12.</b> PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının erime akış indeksi (MFI) değerleri .....	62

## DENKLEMLER LİSTESİ

<b>Denklem (1):</b> Ergime akış indeksi (MFI) denklemi.....	39
<b>Denklem (2):</b> Yoğunluk hesabı denklemi.....	41
<b>Denklem (3):</b> Çekme mukavemeti denklemi.....	47



## SEMBOLLER LİSTESİ

$\Delta V$	: Bağlı hacim kaybı
$\Delta m$	: Ağırlık kaybı
$\sigma_a$	: Akma mukavemeti
$\sigma_k$	: Kopma mukavemeti
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
<b>d</b>	: Yoğunluk
<b>dk</b>	: Dakika
<b>dev</b>	: Devir
<b>F</b>	: Yük
<b>F<sub>max</sub></b>	: Uygulanan en yüksek kuvvet
<b>g</b>	: Gram
<b>GPa</b>	: Gigapascal
<b>J</b>	: Joule
<b>kJ</b>	: Kilojoule
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>m</b>	: Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metrekare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metreküp
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>mm</b>	: Milimetre
<b><math>\mu m</math></b>	: Mikrometre
<b><math>\eta m</math></b>	: Nanometre
<b>N</b>	: Newton
<b>Nm</b>	: Newton metre
<b>sn</b>	: Saniye

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AA</b>	: Alkoldeki ağırlık
<b>ABS</b>	: Akrilonitril bütadien stiren
<b>ASTM</b>	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
<b>DIN</b>	: Alman Standardizasyon Enstitüsü
<b>DSC</b>	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
<b>HDPE</b>	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>HDT</b>	: Isıl Çarpılma Sıcaklığı
<b>ISO</b>	: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
<b>LDPE</b>	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
<b>MA</b>	: Maleik anhidrit
<b>MAPP</b>	: Maleik anhidrit aşılı polipropilen
<b>MFI</b>	: Ergime Akış İndeksi
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>PVC</b>	: Polivinilklorür
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>TG</b>	: Camsı geçiş sıcaklığı
<b>TGA</b>	: Termogravimetrik analiz
<b>TM</b>	: Erime sıcaklığı
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>XRD</b>	: X-ray difraksiyonu

## ÖZET

Bu çalışmada; NAFILean-PF2 555 (%20 kenevir katkılı PP) ticari ismi ile üretilen polipropilene (PP), %20 oranında haşhaş sapları (HH) katılarak bir polimer kompoziti üretilmiştir. Polipropilen ve haşhaş sapları arasındaki arayüzey yapışmasını sağlamak için uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit aşıllı polipropilen (MAPP), %5-10 ve 15 oranlarında katılarak çift vidalı ekstrüderde karıştırılmış ve granül haline getirilmiştir. Ekstrüzyon makinesinde elde edilen granüller kurutulmuş ve enjeksiyon makinesinde standartlara uygun olacak şekilde test numuneleri basılmıştır. Elde edilen polimer kompozitinin mekanik, fiziksel ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için çekme, darbe, sertlik, yoğunluk, erime akış indeksi, nem emme miktarı, vicat yumuşama sıcaklığı ve ısıl çarpılma sıcaklığı (HDT) testleri yapılmıştır. Ayrıca kenevir ve haşhaş saplarının matris içerisindeki dağılımları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir. Analizler sonucunda %20 kenevir katkılı PP (NAFILean-PF2 555) içerisinde haşhaş ve MAPP ilavesiyle; elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, sertlik, yoğunluk, erime akış indeksi, nem emme miktarı, vicat yumuşama sıcaklığı ve Izod darbe mukavemeti, ısı çarpılma sıcaklığı değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. SEM inceleme sonucu kenevir ve haşhaş partiküllerinin homojen olarak dağıldığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, kenevir, haşhaş sapı, mekanik ve fiziksel özellikler, kompozit malzeme.

## **ABSTRACT**

In this study; A polymer composite was produced by adding 20% poppy stalks to the polypropylene (PP) produced under the trade name NAFILean-PF2 555 (20% hemp added PP). To ensure the adhesion of polypropylene and poppy stalks, maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) was added as a compatibility agent at the rates of 5-10 and 15%, mixed in a twin-screw extruder and turned into granules. The granules obtained in the extrusion machine were dried and test samples were molded in the injection molding machine in accordance with the standards. Tensile, Izod impact, hardness, density, melt flow index, moisture absorption amount, vicat softening temperature and thermal distortion temperature (HDT) tests were carried out to determine the mechanical, physical and morphological properties of the obtained polymer composite. In addition, the distribution of hemp and poppy stalks in the matrix was determined by scanning electron microscopy (SEM). As a result of the analysis, with the addition of poppy and MAPP in 20% hemp-containing PP (NAFILean-PF2 555); It was determined how the elasticity modulus, tensile strength, hardness, Izod impact strength, density, melt flow index, moisture absorption amount, vicat softening temperature and thermal distortion temperature values changed. As a result of SEM examination, it was determined that hemp and poppy particles were distributed homogeneously.

**Keywords:** Polypropylene, hemp, poppy stalk, mechanical and physical properties, composite material.

## 1. BÖLÜM: GİRİŞ

Son yıllarda çevre bilincinin artması ve ekolojik sorunlar nedeniyle biyo-fiber katkı polimer kompozit malzemelere ilgi artmıştır. Özellikle otomotiv sektöründe, doğal elyaf katkı kompozitler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Selülozik bazlı doğal elyaflar, ses emme, yenilenebilirlik, çevre dostu olmaları ve hafiflikleri nedeniyle tercih edilir. Bu hafiflik, yakıt verimliliğini artırır (Samuel vd. 2012). Sentetik elyafların maliyetli ve yenilenemez olması nedeniyle, doğal lifler maliyetleri düşürür; ancak, doğal liflerin matrisle uyumunu sağlamak için yüzey işlemleri gereklidir (Mathur vd. 2021). Doğal lignoselülozik lifler, yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliklere sahiptir (Gümüş vd. 2019, Alam vd. 2009, Aslan vd. 2022).

### 1.1. Çalışma Konusunun Tanımı ve Amacı

Bu tez çalışmasında doğal elyaf takviyeli kompozit polipropilen hammaddesinin içerisine Maleik anhidrit ve haşhaş sapı tozu tozu takviyesi yapılmıştır.

Enjeksiyon makinesinde test standartlarına uygun ölçüler ve şekillerde test numuneleri üretildi. Bu numuneler üzerinde çekme, sertlik, darbe, aşınma, sürtünme, yoğunluk, ergime akış indeksi (MFI), Vicat yumuşama sıcaklığı, HDT ısı çarpılma sıcaklığı, SEM, ve nem testleri gerçekleştirildi. Test sonuçları, doğal elyaf takviyeli polipropilen malzemelerin farklı kimyasal ajan yüzdelerindeki mekanik, fiziksel ve morfolojik özelliklerini incelemek için kullanılacaktır.

Bu bölümde çalışmanın konusu ve amacı nedenlere bağlanarak tanımlanacaktır ve bu çalışma konusu ve amacına uygun güncel olarak gelişmesi devam eden kompozit malzemeleri hakkında genel bilgiler aktarılarak çalışma konusu için bir alt yapı oluşturulacaktır.

## **1.2.Malzemenin Tanımı ve Sınıflandırılması**

### **1.2.1. Malzemenin tanımı**

Malzemeler, belirli bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan maddelerdir ve doğal ya da yapay olarak üretilebilir. Örnekler arasında çelik, demir, metal, tuğla ve plastik bulunur.

### **1.2.2. Malzemenin sınıflandırılması**

Malzemeleri dört grupta sınıflandırmak mümkündür.

1. Polimerler
2. Seramikler
3. Metaller
4. Kompozitler

#### **1.2.2.1. Polimerler**

Polimer malzemeler, genellikle karbon, hidrojen ve bazı metal dışı elementlerden (oksijen, azot, silikon) oluşan organik bileşiklerdir. Bu maddeler, genellikle karbon atomlarından oluşan uzun moleküller halinde düzenlenir ve zincir benzeri geniş moleküler yapılar oluşturur. Yaygın kullanılan polimer örnekleri arasında polietilen (PE), naylon (poliamid), polivinilklorür (PVC), polikarbonat (PC), polistiren (PS) ve siklon kauçuk yer alır (Callister, 2013).

#### **1.2.2.2. Seramikler**

Seramikler, ısı ve soğutma işlemleriyle üretilen inorganik, metalik olmayan katılardır. Bu malzemeler, kristal, kısmen kristal veya amorf (örneğin cam) yapılarında olabilir. Seramikler genellikle kristal yapıdadır ve bu nedenle seramik terimi genellikle amorf camlara karşıt olarak inorganik kristal malzemeleri tanımlamak için kullanılır.

#### **1.2.2.3. Metaller**

Metaller, parlak yüzeylere sahip olup ısı ve elektriği etkili bir şekilde iletebilen ve yüksek dayanıklılığa sahip malzemelerdir.

Genellikle tel ve levha şeklinde işlenebilirler. Cıva dışında, metaller genellikle oda sıcaklığında katı halde bulunur. Altın, gümüş, bakır, demir ve alüminyum bu tür metallerin örneklerinden.

#### **1.2.2.4. Kompozitler**

Kompozit malzemeler, metal, seramik ve polimer gibi çeşitli malzemelerin birleşimiyle oluşturulan karma malzemelerdir. Bu malzemeler, tek başına bir malzemenin sunamayacağı özellikleri bir araya getirerek daha üstün performans sağlar (Callister, 2013). Kompozitlerin tasarımında, farklı malzemelerin en iyi özelliklerinin bir araya getirilmesi hedeflenir.

Bu bölümde, kompozit malzemelerin tanımları, sınıflandırmaları, gelişim süreçleri ve kullanım alanları ele alınacaktır. Ayrıca, bu malzemelerin performansları hakkında bilgiler sunulacaktır. Kompozit malzemeler, yüksek performanslı uygulamalar için özel olarak tasarlanmış ve belirli işlevleri karşılamak üzere geliştirilmiştir (Addington, 2005). Bu malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin özelliklerini birleştirerek hem makroskobik hem de mikroskobik seviyede yeni bir malzeme oluşturur (Şahin, 2000).

Kompozitlerde, bileşenler arasında genellikle kimyasal etkileşimler bulunmaz ve bileşenler, optik cihazlarla ayırt edilebilir. Kompozit malzemeler, çeşitli malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirerek homojen bir yapı oluşturmayı amaçlar. Bu malzemeler, matris adı verilen ana faz ve bu matrisin içinde dağıtılmış takviye elemanlarından oluşur (Hahn, 1980).

### **1.3. Kompozit Malzemelerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi**

#### **1.3.1. Kompozit malzemelerin tanımı**

Kompozitler, çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesiyle elde edilir. Bu birleşim, kompozit malzemelerin daha yüksek dayanıklılık, düşük ağırlık veya elektriksel direnç gibi avantajlar sağlamasına olanak tanır. Kompozit malzemelerin kullanımı, temel malzemelerin özelliklerini geliştirmesi ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilmesi nedeni ile tercih edilmekte.

### **1.3.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması**

Kompozit malzemeler, içinde kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve farklı formlarda bulunmaları nedeniyle birçok kriter temelinde sınıflandırılabilir. Bu malzemeler, iki ana kriter kullanılarak sınıflandırılır: malzemenin (matrisin) türü ve takviye formudur.

1. Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması
2. Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması

### **1.3.3. Kompozit malzemelerin matris türlerine göre sınıflandırılması**

Kompozit malzemelerde matrisin üç ana işlevi vardır: takviye elemanlarını bir arada tutmak, yükü bu elemanlara dağıtmak ve elemanları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal matris, başlangıçta düşük viskoziteli olup, takviye elemanlarını etkili bir şekilde çevreleyen katı bir forma dönüşmelidir. Matrisin mekanik özellikleri, takviye elemanlarının performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kompozit malzemeler, matris türüne göre sınıflandırılır (Şahin, 2000).

#### **1.3.3.1. Metal matrisli kompozit malzemeler**

Metalik matrisli kompozitler, metalik faz ile takviye elemanlarının eritme, vakum, emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi gelişmiş teknikler kullanılarak birleştirilmesiyle üretilir. Bu kompozitler, yüksek sıcaklıklar ve dış etkilere karşı dayanıklılıkları sayesinde elektronik aletler, otomobiller ve uzay araçlarının bazı parçalarında kullanılır. Ancak, bu tür kompozitlerin yüksek yoğunlukları, yüksek işleme sıcaklıkları gerektirmeleri ve lif-metal bağlantılarında korozyona yatkınlık gibi bazı dezavantajları da vardır (Şahin, 2000).

#### **1.3.3.2. Seramik matrisli kompozit malzemeler**

Seramik matrisli kompozitler, yüksek teknoloji seramiklerin kullanıldığı ve üstün yapısal ve fonksiyonel özellikler sunan malzemelerdir. Bu kompozitler, sıcak presleme, sıcak statik presleme ve sıvı faz sinterleme gibi yöntemlerle üretilir. Yüksek sıcaklık ve stresli koşullarda mükemmel performans gösterirler (Callister, 1997). Kullanılan seramik bileşenleri arasında  $\text{Li}_2\text{O}_2$ ,  $\text{LiSiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ve  $\text{B}_4\text{C}$  yer alır; bu bileşenler amaca

bağlı olarak tek başına veya birlikte kullanılır. Seramikler genellikle sert ve gevrek olup, yüksek sertlikleri nedeniyle aşındırıcı uygulamalar için uygundur. Ancak plastik olarak şekil almazlar ve yüksek erime sıcaklıklarına sahip olup düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle seramik matrisli kompozitler, askeri zırhlar ve uzay araçları gibi özel alanlarda kullanılır (Geçkinli, 1992).

### **1.3.3.3. Polimer matrisli kompozit malzemeler**

Polimer matrisli kompozitler (PMC'ler), çeşitli avantajları sayesinde endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu tür kompozitler genellikle şu özelliklerle tanımlanır:

- Polimer matrisli kompozitler, korozyona karşı dirençli ve uzun ömürlü malzemelerdir, ayrıca hafif ve işlenmesi kolaydır.
- Bu kompozitler, yüksek mukavemet ve düşük özgül ağırlık özellikleri sayesinde geniş kullanım alanlarına sahiptir.
- Üretim maliyetlerinin düşük olması ve kolay işlenebilirliği, polimer kompozitlerin cazibesini artırır (Callister, 1997).
- Metal ve seramik kompozitlere göre sıvı etkileşimlerine daha yatkındırlar, bu nedenle otomotiv ve makine parçalarında tercih edilirler (Vasiliev & Morozov, 2001).
- Ayrıca, hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde de yaygın olarak kullanılırlar.

Polimer matrisli kompozitler;

- Termoset matrisli kompozitler
- Termoplastik matrisli kompozitler olarak ikiye ayrılmıştır.

En önemli ticari matris termosetler;

- Doymamış poliesterler,
- Epoksiler
- Fenoliklerdir.

Kompozit üretiminde kullanılan Termoset polimerler, kompozit üretiminde genellikle sıvı formda olup, içerisine sertleştirici, katkı ve dolgu maddeleri eklenir. Bu polimerler düşük viskoziteli ve düşük moleküler kütleli sıvılar şeklindedir.

Termosetlerin kimyasal dirençleri ve bazı mekanik özellikleri, termoplastiklere göre daha üstün nitelikler taşır (Saçak, 2005). Ancak, termosetlerin bazı dezavantajları şunlardır:

- **Kalıplama Süresinin Uzunluğu:** Polimerizasyon reaksiyonları nedeniyle kalıplama süreci daha uzun zaman alır.
- **Sıvı Halde Depolama Sorunları:** Oda sıcaklığında uzun süre sıvı formda saklanamazlar.
- **Geri Dönüşüm Güçlüğü:** Termosetler, geri dönüştürülemezler.
- **Düşük Darbe Dayanıklılığı:** Termosetlerin darbe dayanımı genellikle düşüktür.

Termoplastikler, ısıtıldığında eriyip tekrar şekillendirilebilen polimerlerdir. Yaygın olarak kullanılan termoplastik türleri arasında yüksek yoğunluklu ve düşük yoğunluklu polietilen, polipropilen, polistiren, polietilen tereftalat ve polivinil klorür bulunur. Termoplastiklerin en büyük avantajı, kullanımdan sonra tekrar ısıtılarak yeniden şekillendirilebilmeleri, yani geri dönüştürülebilmeleridir (Ahrabi, 2009). Ayrıca, termoplastik matrislerin termosetlere kıyasla şu üstünlükleri vardır:

- **Uzun Süre Depolama:** Oda sıcaklığında sınırsız süre depolanabilirler.
- **Kısa İşleme Süresi:** İşleme süreleri genellikle daha kısadır.
- **Kolay Onarım:** Onarımları daha basit ve hızlı yapılabilir.

Bu avantajlar, termoplastik kompozitlerin birçok uygulamada termoset plastiklerin yerine tercih edilmesine yol açmaktadır.

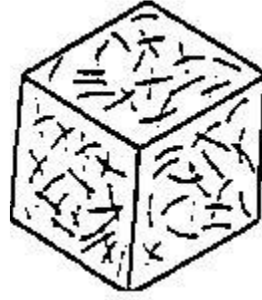
#### **1.3.4. Kompozit malzemelerin takviye formuna göre sınıflandırılması**

Kompozitlerde istenilen özellikleri sağlamak için, kullanılan malzemeler farklı biçimlerde olabilir. Bu malzemelerin formuna göre kompozitler çeşitli türlerde sınıflandırılır.

**Elyafli kompozitler**, ince elyafların bir matris içinde yer almasıyla oluşur. Elyafların matris içindeki düzeni, uzunluk/çap oranı ve elyaf ile matris arasındaki bağlantılar, kompozitin mukavemetini etkileyen önemli faktörlerdir.

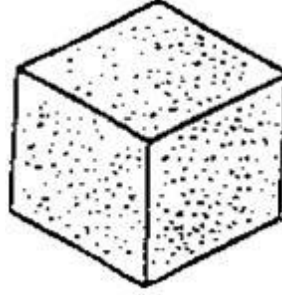
Dayanıklı ve elastik elyaflar, kompozit malzemenin çekme dayanımını, yorulma dayanımını, özgül modülünü ve özgül dayanımını artırır (Şahin, 2000).

Örneğin, cam fiberler, sağlam cam elyaflarının yumuşak bir polimer matris içinde dağılmasıyla elde edilen elyaflı bir kompozit malzemedir.



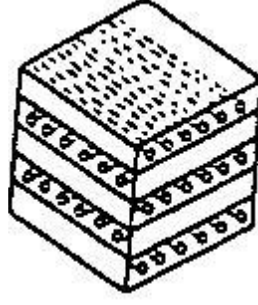
**Şekil 1.1.** Elyafli kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

**Parçacıklı kompozitler**, bir matris içinde parçacıklar şeklinde bulunan malzemelerle yapılan izotropik yapılardır. Bu kompozitler, genellikle özel özellikler sağlamak amacıyla tasarlanır. Beton, çimento içinde kum veya çakıl parçacıkları içeren bir örnektir. Plastik matris içindeki metal parçacıkları ise uçak motoru parçalarında kullanılır (Şahin, 2000).



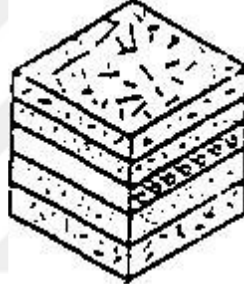
**Şekil 1.2.** Parçacıklı kompozitlerin matris içindeki yerleşimi

**Tabakalı kompozitler**, çeşitli yönlerdeki tabakaların üst üste konulmasıyla yapılan malzemelerdir. Bu yapı, yüksek mukavemet sağlar ve ısı ile neme karşı dayanıklıdır. Hafif ve dayanıklı olmaları nedeniyle metallere göre tercih edilir. Örneğin, kontraplak ağaç kaplama katmanlarından oluşan bir tabakalı kompozittir (Şahin, 2000) .



**Şekil 1.3.** Tabakalı kompozitlerin matrisin içindeki yerleşimi

**Karma (hibrit) kompozitler**, aynı yapıda birden fazla elyaf türü içeren malzemelerdir. Örneğin, kevlar ve grafit elyaflarının bir arada bulunduğu kompozitler bu türdendir. Kevlar, düşük maliyetli ama düşük basma kuvvetli; grafit ise pahalı ama yüksek basma kuvvetli bir elyaftır. Bu iki elyafın birleşimi, kompozitin maliyetini düşürür, tokluğunu artırır ve basma kuvvetini yükseltir.



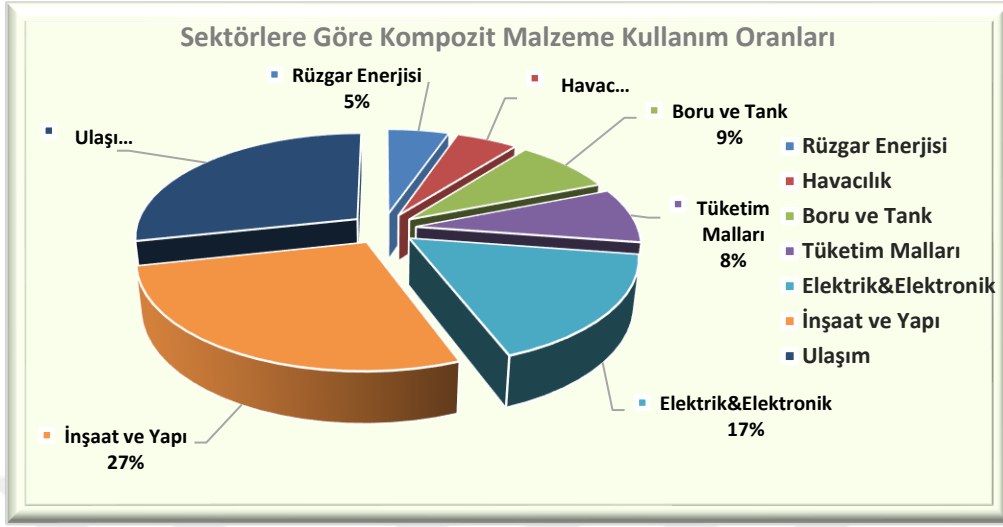
**Şekil 1.4.** Karma kompozitlerin matrisin içindeki yerleşimi

### 1.3.5. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Kompozitlerin düşük özgül ağırlığı, yüksek mukavemeti, şekillendirilebilirliği ve yük taşıma kapasitesi, çeşitli uygulamalarda avantaj sağlar. Üretiminde, mekanik dayanım, korozyon direnci, rijitlik, ağırlık, yüksek sıcaklık dayanıklılığı ve diğer özelliklerin geliştirilmesi hedeflenir. Kompozitler genellikle insan yapımı olup, farklı malzemelerin üç boyutlu birleşimi ile özel özellikler sağlar ve takviye ile matris malzemeleri uyumlu olarak çalışır (Yağcı, 2007).

Dünya genelinde 7,8 milyon ton kompozit malzeme tüketilmektedir ve bu miktarın 2014'te 9,5 milyon tona çıkması beklenmektedir. Kompozit kullanımı son 50 yılda dünya genelinde yıllık %8, Türkiye'de ise %10 oranında artmıştır. Kompozit tüketiminde Asya %36 pay ile 2,8 milyon ton, Kuzey Amerika %35 pay ile 2,7 milyon ton ve Avrupa %22 pay ile 1,7 milyon ton tüketim yapmaktadır (İnkaya, 2011) .

Şekil 1.5 Sektörlere göre kompozit malzeme kullanım oranları



### 1.3.6. Kompozit malzemelerin performans değerlendirilmesi

Kompozit malzemeler, matris ve takviye malzemedenden oluşur. Matris malzeme, takviye malzemeyi tutar, yükü dağıtır ve korur; takviye malzeme ise yapının mekanik dayanımını sağlar. Kompozitlerin özellikleri, matris ve takviye malzemelerin özellikleri, oranları, şekilleri ve aralarındaki bağlara bağlıdır. Malzemenin performansı, bu bileşenlerin sağladığı avantajlar ve dezavantajlarla belirlenir. (Erkan, 2011).

### 1.3.7 Biyoliflerin Tanımı, Gelişim Süreci, Kullanım Alanları ve Performansının İncelenmesi

Biyolifler, plastik kompozitlerde dolgu ve güçlendirici olarak kullanımda artış göstermektedir. Bu lifler, işlenebilirlikleri ve düşük maliyetleri ile tercih edilmektedir. Biyofiber takviyeli kompozitler, çevresel sürdürülebilirlik ve malzeme mevcudiyeti gibi sorunlar yaşansa da, giderek daha yaygın hale gelmektedir. Biyo-bazlı plastiklerin kullanımındaki artış, 2003-2007 döneminde küresel olarak yıllık %38, Avrupa'da ise %48 büyüme sağladı. 2013'ten 2022'ye kadar bu plastiklerin kapasitesinin 0,36 milyon tondan 3,45 milyon tona çıkması beklenmektedir. Nişasta bazlı plastiklerin, üretim hacimlerinde öne çıkması beklenmektedir.

Blendzki ve Gassan, 1999 yılına kadar polimer kompozitlerde kullanılan doğal liflerin takviyesi üzerine incelemelerde bulunmuştur (Bledzki, 1999).

### **1.3.8 Güçlendirici lifler (Reinforcing fibers)**

Son yıllarda, yenilenmeyen kaynakların azalması ve yenilenebilir kaynaklara olan bağımlılığımızın artması konusunda farkındalık yükselmiştir. Bu çağ, selülozik yüzyıl olarak nitelendirilebilir çünkü daha fazla yenilenebilir bitki kaynağı ürünler için keşfedilmektedir. Doğal lifler, sürdürülebilir ve yenilenebilir özellikleri nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır.

### **1.3.9 Lif kaynakları (Fiber source)**

Doğal lifler üreten bitkiler, birincil (lif üretimi için yetiştirilen) ve ikincil (liflerin yan ürün olarak elde edildiği) olarak ikiye ayrılır. Jüt, kenevir, kenaf ve sisal birincil bitkilere, ananas, palmye yağı ve Hindistan cevizi ise ikincil bitkilere örnektir (Staiger, 2008).

## **1.4 Lif türleri**

- a) Saksı Lifleri: Jüt, keten, kenevir, ravi ve kenaf.
- b) Yaprak Lifleri: Abaca, sisal ve ananas.
- c) Tohum Lifleri: Hindistan cevizi, pamuk.
- d) Çekirdek Lifleri: Kenaf, kenevir ve jüt.
- e) Çim ve Kamış Lifleri: Buğday, mısır ve pirinç.
- f) Diğer Türler: Odun ve kök lifleri.

### **1.4.1 Kenevir**

Saksı lifleri, ılıman iklimlerde yetişen ve genellikle tek yıllık olan bitkilerden elde edilir. Kenevir, Avrupa Birliği tarafından gıda dışı tarım için sübvansede edilmektedir ve Avrupa'da bu alandaki gelişimini sürdürmeye yönelik önemli bir girişim olarak değerlendirilmektedir.

### **1.4.2 Keten**

Linum usitatissimum, saksı lifleri grubuna ait bir bitkidir ve ılıman iklimlerde yetişir. Bu bitki, dünyanın en eski lifli bitkilerinden biri olarak kabul edilir.

Keten, bast elyaf olarak bilinir ve özellikle değerli tekstil ürünlerinde kullanılır; ayrıca günümüzde kompozit malzemelerde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 1.4.3 Jüt

Jüt, Corchorus cinsindeki yaklaşık 100 bitki türünden üretilir ve en ekonomik doğal liflerden biri olarak kabul edilir. Ayrıca, yüksek üretim hacmiyle dikkat çeker. Bu lifin en iyi yetiştiği bölgeler arasında Bangladeş, Hindistan ve Çin bulunmaktadır.

### 1.4.4 Kenaf

Kenaf, Hibiscus cinsine ait ve yaklaşık 300 türü bulunan bir bitkidir; Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir hammadde olarak dikkat çekmektedir. Kompozit ürünlerde kullanım için büyük bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda dekortikasyon ekipmanlarındaki gelişmeler ve lif sıkıntısı, kenaf'ın yeniden önem kazanmasını sağlamıştır.

### 1.4.5 Bambu

Bambu (*Bambusa Shreb.*) muson iklimlerinde 40 metreye kadar büyüeyebilen çok yıllık bir bitkidir ve genellikle inşaat, marangozluk, dokuma ve örgü işlerinde kullanılır. Bambu lifinden üretilen perdeler, ultraviyole ışınlarını farklı dalga boylarında emerek, insan sağlığı üzerindeki zararı azaltır.

**Tablo 1** Lif kaynaklarının üretim kapasitesi

Lif Kaynakları	Dünya Üretim Kapasitesi (10 <sup>3</sup> ton)
Bambu	30.000
Jüt	2300
Kenaf	970
Keten	830
Kenevir	214
Hindistan Cevizi	100
Şeker kamışı küspesi	75.000

## 2.MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1 Doğal elyaf takviyeli polipropilen (nafilean) %20 hemp (kenevir) pp + %20 hempfibre

Bu çalışmada kullanılan polipropilen (PP) Automotive Performance Materials (Dijon/Fransa) firmasının NAFILean-PF2 555 (%20 kenevir katkı) ticari koduyla ürettiği üründür. Şekil 2.1’de bu çalışmada kullanılan NAFILean-PF2 555 (%20 kenevir katkı PP) ‘nin fotoğrafı verilmiştir. PP’nin erime akış indeksi (190°C/5 kg) 11,6 g/10dk’dır. Yoğunluğu 0,98 g/cm<sup>3</sup>, elastiklik modül değeri 2650 MPa ve Izod darbe mukavemeti değeri ise 7,5 kJ/m<sup>2</sup>’dir.



Şekil 0.1 %20 kenevir elyaf takviyeli polipropilen

#### 2.1.2 Haşhaş saplarından toz üretimi

Haşhaş gelincik familyasında bir papaver cinsi bitkidir. Haşhaş, yazın sıcak geçen ve orta derecede yağışlı yerlerde yetişir. Anavatamı Doğu Akdeniz olarak bilinmektedir. Hindistan’da ve Anadolu’da çok eskiden beri tarımı yapılmaktadır. Türkiye’nin Ege ve Orta Anadolu Bölgelerinde, başta en çok Afyonkarahisar olmak üzere Denizli, Konya, Uşak ve Burdur illerinde yetiştirilir. Türkiye’de 1933 yılında kurulmuş olan "Uyuşturucu Maddeler İnhisar İdaresi" tarafından kontrollü haşhaş ekimi ve üretimine geçilmiştir.

Sonrasında 1938 yılında kurulmuş olan Toprak Mahsulleri Ofisi'nin denetimi altında üretimine devam edilmiştir. 1971 yılına kadar afyon ve haşhaş tohumu üretimi amacıyla yapılırken, haşhaş kapsüllerinin çizilmesinden elde edilen afyon sakızını da haşhaş üreticilerden Toprak Mahsulleri Ofisi satın almakta, işlemekte ve daha sonra tıbbi amaçlı olarak ihraç etmekteydi. 1971-1974 yıllarında haşhaş üretimi yasaklanmıştır. Haşhaş kapsüllerinin çizilmesiyle elde edilen afyon üretiminin yasaklanmasından dolayı, çizilmemiş haşhaş kapsülü üretimi şeklinde devam edilmiştir. Haşhaş sapları önce Şekil 2.2'de verilen markasız öğütücüde öğütülmüştür. Daha sonra Akyol marka öğütücüde ince olarak öğütülmüştür. Bu çalışmada kullanılan haşhaş sapları Afyonkarahisar Sinanpaşa ilçesinden temin edilmiştir. Atık olan bu ürünün yeniden değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Haşhaş sapları



Kırma makinesi (markasız)



Kırılmış ürün



Öğütme makinesi (Akyol)



Öğütülmüş ürün

**Şekil 0.2** Haşhaş saplarından toz üretimi

### 2.1.3 MAPP (Maleik anhidrit aşıllı polipropilen)

Haşhaş partiküllerinin polipropilen matrise yapışmasını sağlamak amacıyla katılan maleik anhidrit aşıllı polipropilenin ticari ismi Bondyram 1001 CN'dir. Bu ürün Polyram Plastic Industries LTD şirketinden temin edilmiştir. Yoğunluğu  $0,90 \text{ g/cm}^3$ , MFI değeri  $100 \text{ g/10 dak}$  ( $190 \text{ }^\circ\text{C}$ - $2,16\text{kg}$ ) ve erime sıcaklığı ise  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.

## 2.2 PP/haşhaş/MAPP polimer kompozitinin elde edilmesi

### 2.2.1 Terazı

Polimer kompozit üretiminde kullanılacak malzemelerin tartımlarında; DENSİ marka DS-05 model terazi kullanılmıştır. Terazı  $0,5 \text{ g}$  hassasiyetle,  $5 \text{ kg}$  kapasiteli olarak tartım yapmaktadır. Projenin bu aşamasında Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Plastik Laboratuvarında bulunan terazi kullanılmıştır. Tablo 2.1'de bu çalışmada kullanılan karışım oranları verilmiştir.

**Tablo 0.1** Deney grupları ve malzeme oranları

	PP(%20 Hemp)	Haşhaş (%)	MAPP(%)
1.Grup	100	-	-
2.Grup	80	20	-
3.Grup	75	20	5
4.Grup	70	20	10
5.Grup	65	20	15



**Şekil 0.3** Elektronik terazi

## 2.2.2 Ekstrüzyon makinesi

Ekstrüzyon sistemi, plastiklerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastik ürünlerin yaklaşık %30'u bu yöntemle üretilmektedir. Ekstrüzyon makineleri; plastik ürünlerin aynı kesitte, istenilen ölçülerde ve uzunlukta, devamlı olarak elde edilmesini sağlayan makinelerdir. Kısaca ekstrüder olarak adlandırılmaktadır. Tek vidalı ve çift vidalı olarak farklı çeşitleri bulunmaktadır. Çift vidalı ekstrüderler genellikle homojen bir karışım elde etmek için kullanılırlar. Vida dönüş yönüne bağlı olarak, birlikte dönen (içer doğru dönen) ve tersine dönen (dışa doğru dönen) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tersine dönen çift vidalı ekstrüderler özellikle PVC gibi toz hâline getirilmiş malzemeler için kullanılır. Bu projede; tersine dönen (counter rotate) çift vidalı ekstrüder kullanılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan karışımlar manuel olarak karıştırıldıktan sonra daha homojen bir karışım elde etmek amacıyla çift vidalı ekstrüderde eriyik haline getirilmiştir. Kullanılan ekstrüder Mikrosan marka olup boy/çap oranı  $L/D= 30$ 'dur. Tablo 2.2'de ekstrüzyon kalıplama parametreleri verilmiştir.

**Tablo 0.2** Ekstrüzyon kalıplama parametreleri

Proses	Extrusion
Sıcaklık (°C)	180-210
Basınç (bar)	50-55
Vida hızı (dev/dk)	65-70



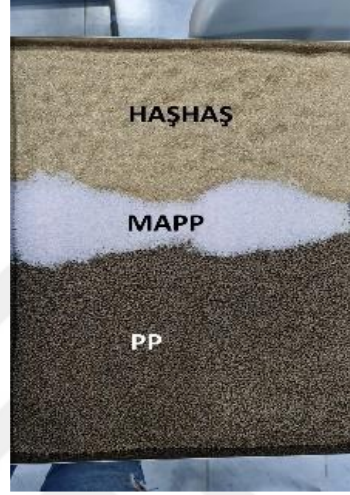
**Şekil 2.4** Ekstrüzyon makinesi

### 2.2.3 Etüv cihazı

Polipropilen, haşhaş sapı tozu ve MAPP elektro. mag M1071P tipi kurutma fırınında 105°C'de 24 saat süresince kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra tüm ürünler Devotrans marka V-Tipi karıştırıcıda 15 dakika boyunca karıştırılmıştır.



Etüv



Malzemeler



V tipi karıştırıcı

Şekil 0.5 Etüv cihazı, numuneler ve V tipi karıştırıcı

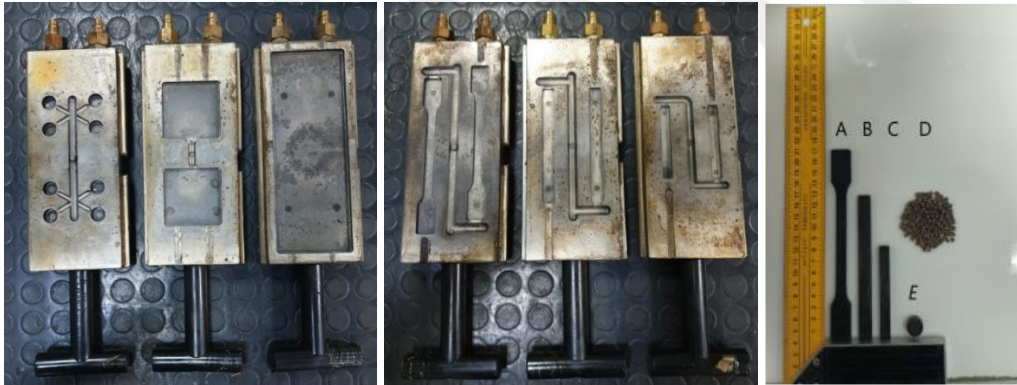
### 2.2.4 Enjeksiyon makinesi

Plastik enjeksiyon kalıplama, sanayide ince kabuklu plastik ürünlerin oluşturulması için uygulanan en önemli yöntemlerden biridir.

Plastik hammaddenin, yüksek sıcaklıkta eritilmesi ve bir kalıp içerisine enjekte edilmesi ile gerçekleştirilen imalat yöntemidir. Etüvde kurutulan kompozit malzemeler; istenilen test numunelerinin kalıplarına göre standartlara uygun olarak enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Enjeksiyon makinesi, kalıplar ve basılan numunelerin fotoğrafları Şekil 2.6'da verilmiştir. Enjeksiyon makinesi kullanım şartları ise Tablo 2.3'de verilmiştir.



Enjeksiyon makinesi



Kalıplar

Test numuneleri\*

Şekil 0.6 Enjeksiyon makinesi, kalıpları ve test numuneleri

\*A; Çekme testi numunesi, B; Eğme testi numunesi, C; Çentik darbe testi numunesi, D; MFI testi numunesi, E; Nem, aşınma testleri numunesi

Tablo 0.3 Enjeksiyon kalıplama parametreleri

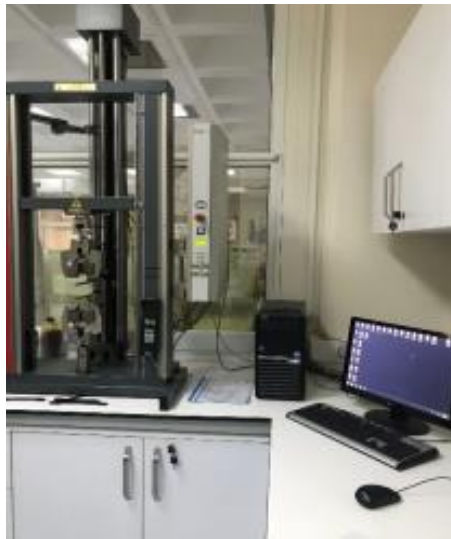
Proses	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	180-210
Basınç (bar)	700-750
Kalıplama süresi (s)	15

## 2.3 Mekanik testler

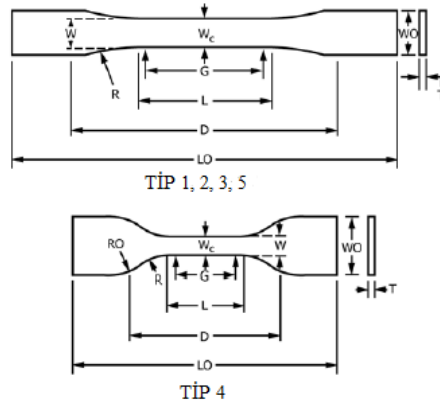
Malzemelerin mekanik davranışlarını incelemek ve yapılarıyla özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla mekanik testler yapılır. Farklı oranlarda hazırlanan polimer kompozitin mekanik özelliklerinin belirlemek için çeşitli testler yapılmıştır.

### 2.3.1 Çekme testi

Mekanik testler arasında en yaygın olarak kullanılan test çekme testidir. Çekme testinde; malzemelerin mekanik davranışlarıyla ilgili elde ettiğimiz sonuçları mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılmaktadır. Çekme testi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırmak amacıyla yapılır. Standartlara uygun olarak hazırlanan numunelerin tek eksen ve sabit bir hızla koparıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Malzemenin kullanım sıcaklığına göre test sıcaklığı belirlenmelidir. Bu testi oda sıcaklığında yapılmıştır. Test sonucunda numunenin gerilim-boyut değiştirme grafiği elde edilmiştir. Grafikten yararlanılarak malzemenin kopma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastiklik modülü ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Çekme testinde numuneye uygulanan gerilimin homojen dağılabilmesi için rijit numunelerde test hızı düşük, sünek malzemelerde test hızı yüksek olarak ayarlanmalıdır. Test hızı; çenelerin ayrılma hızını ifade etmektedir. Bu tezde çekme test hızı 50 mm/dk olarak belirlenmiştir. Çekme testleri; Zwick Z010 marka test cihazı kullanılarak ASTM D 638 standardında bulunan Tip 1 numunesine göre yapılmıştır.



Şekil 0.7 Çekme testi cihazı



Şekil 2.8 Çekme testi numune tipleri

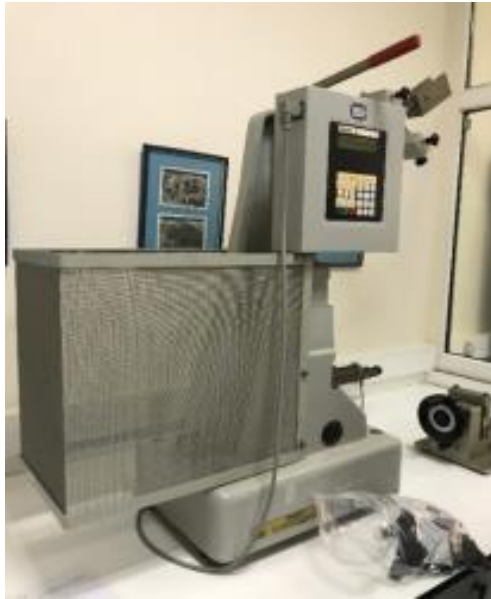
Tablo 2.4 Kalınlıklara göre numune boyutları mm (in.)

Boyutlar (çizimlere bakınız)	≤7 (0,28)		7 ve 14 arası (0,28-0,55)		≥4 (0,16)		Toleranslar
	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5		
W-Dar bölüm genişliği	13 (0,50)	6 (0,25)	19 (0,75)	6 (0,25)	3,18 (0,125)	±0,5 (±0,02)	
L-Dar bölüm uzunluğu	57 (2,25)	57 (2,25)	57 (2,25)	33 (1,30)	9,53 (0,375)	±0,5 (±0,02)	
WO- Genel genişlik, min	19 (0,75)	19 (0,75)	29 (1,13)	19 (0,75)	-	+6,4 (+0,25)	
WO- Genel genişlik, min	-	-	-	-	9,53 (0,375)	+3,18 (+0,125)	
LO- Toplam uzunluk, min	165 (6,5)	183 (7,2)	246 (9,7)	115 (4,5)	63,5 (2,5)		
G-Ölçme uzunluğu	50 (2,00)	50 (2,00)	50 (2,00)	-	7,62 (0,300)	±0,25 (±0,010)	
G-Ölçme uzunluğu	-	-	-	25 (1,00)	-	±0,13 (±0,005)	
D-Çeneler arası mesafe	115 (4,5)	135 (5,3)	115 (4,5)	65 (2,5)	25,4 (1,0)	±5 (±0,2)	
R-Yarıçap	76 (3,00)	76 (3,00)	76 (3,00)	14 (0,56)	12,7 (0,5)	±1 (±0,04)	
RO-Dış yarıçap (Tip 5)	-	-	-	25 (1,00)	-	±1 (±0,04)	

### 2.3.2 Darbe Testi

Gevrek kırılmaya neden olabilecek şartlarda kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde darbe testi kullanılır. Ani darbelere karşı dayanımı yüksek olan malzeme seçimi için; malzemenin kopmaya karşı olan direnci darbe testi ile ölçülmelidir. Tokluk; bir malzemenin kırılmadan önce sönümlendiği enerjinin bir ölçüsüdür. Darbe deneyi süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, malzemenin dayanımının ve tokluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Darbe testi Izod ve Charpy olarak farklı çekiçler kullanılarak yapılabilir. Charpy test numunesi yatık olarak Izod test numunesi dik olarak test cihazına yerleştirilmelidir. Ayrıca darbe testi numuneye çentik açılarak veya çentiksiz olarak da yapılabilir. Darbe testinin uygulama şekline göre test sonuçları değişiklik göstermektedir.

Darbe testi; ASTM D-256-10E1 standartlarına göre Izod çekiç kafası kullanılarak numunelere çentik açılarak ve numuneler üzerine 5,4 kJ'lük sarkaç düşürülerek yapılmıştır. Test numuneleri ISO 180/A standardı Tip 1A'ya göre enjeksiyon makinesinde kalıplanmıştır. Test numunelerini ölçüleri 80x10x4 mm'dir. Çentik sonu derinliği ise 8 mm'dir. Ani yük altında malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarını, kJ/m<sup>2</sup> cinsinden hesaplanmıştır. Zwick marka cihaz kullanılmıştır. Şekil 2.8'de darbe test cihazının fotoğrafı verilmiştir. Numune boyutları ise Tablo 2.5'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



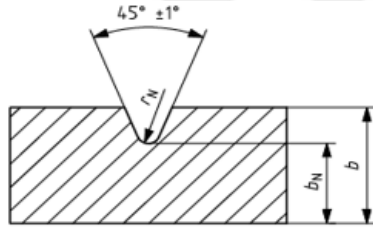
Şekil 0.9 Darbe test cihazı

**Tablo 2.5** Metot tanımları, örnek tipleri, çentik tipleri ve çentik boyutları

Metot	Numune	Çentik Tipi	Çentik Tabanı Yarıçapı, $r_N$	Çentikten Sonra Kalan Genişlik, $b_N$
ISO 180/U	Uzunluk $l=80\pm 2$	Çentiksiz	-	-
ISO 180/A	Genişlik $b=10,0\pm 0,2$	A	$0,25\pm 0,05$	$8,0\pm 0,2$
ISO 180/B	Kalınlık $h=4,0\pm 0,2$	B	$1,00\pm 0,05$	

### 2.3.3 Çentik açma

Kalıplanan Izod darbe testi numunelerine 2 mm derinliğinde çentik açılmıştır. Çentik, ASTM D 256 ve ISO 180/1A standartlarına uygun olarak laboratuvarımızda bulunan CEAST marka çentik cihazı kullanılarak açılmıştır. Çentik türleri Şekil 2.10'da ve Çentik açma cihazının fotoğrafı ise Şekil 2.11'de verilmiştir.

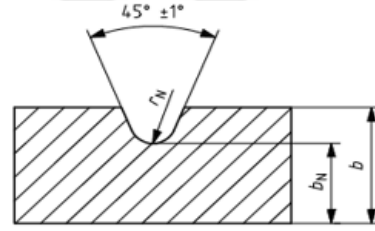


$r_N$ - Çentik tabanının yarıçapı ( $0,25 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ )

$b$ - Numune genişliği ( $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ )

$b_N$ - çentikten sonra kalan genişlik ( $8 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ )

**Tip A**



$r_N$ - Çentik tabanının yarıçapı ( $1 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ )

$b$ - Numune genişliği ( $10 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ )

$b_N$ - çentikten sonra kalan genişlik ( $8 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ )

**Tip B**

**Şekil 2.10** Çentik türleri

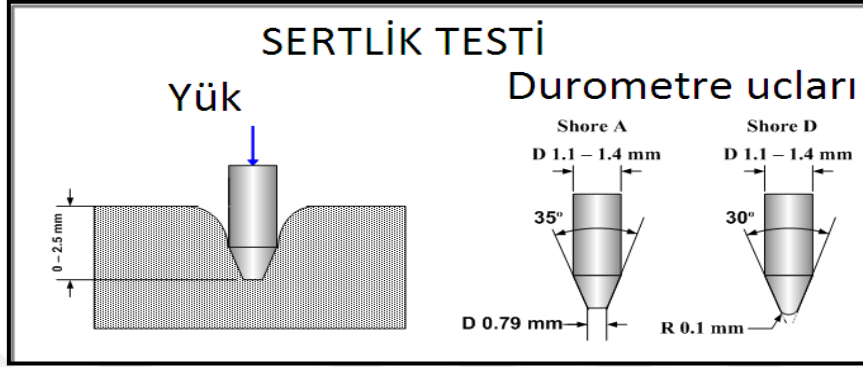


**Şekil 2.11** Çentik açma cihazı

### 2.3.4 Sertlik Testi

Sertlik; malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. İzafi bir ölçüdür. Sertlik testi malzemeler üzerinde sıkça uygulanmaktadır. Test yönteminin kolay oluşu ve malzemeyi diğer test yöntemlerine kıyasla daha az deforme etmesi bunun sebeplerindendir. Ayrıca sertlik miktarı ile diğer mekanik özellikler arasında paralel bir ilişki bulunmaktadır. Plastik ya da esnek malzemelerin sertlik değerini belirlemede durometre kullanılır ve kullanılan yöntem Shore sertlik değeri denir. Ölçümlerde A ve D tipi olmak üzere iki farklı durometre kullanılmaktadır. Bu yöntemler batıcı ucun şekline ve kullanılan ağırlığa göre sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemle, malzemeye batırılan belirli bir ucun batma derinliği ölçülür. A tipi durometreler, yumuşak plastiklerde kullanılır ve uygulanan kuvvet 1 kg'dır. D tipi durometreler ise sertler için uygundur ve uygulanan kuvvet 5 kg'dır. A tipi durometrede ölçüm yaparken elde edilen sonuç 90'ın üzerinde ise D tipi durometre kullanılmalıdır. Eğer D tipi durometrede ölçüm yapıyorsak ve okunan değer 20'nin altında ise A tipi durometre kullanılmalıdır. Test uygulanırken numune düz, sert ve yatay bir zeminde ve durometre dik konumda olmalıdır. Deney numunesinin kenarlarından en az 12 mm içerisinden ölçüm yapılır. En az 6 farklı yerden ölçüm yapılarak ortalamaları alınmalıdır. Ölçümler arası mesafe en az 6 mm olmalıdır. Baskı ayağının deney parçasına tamamen değmesine dikkat edilmelidir. Uç batırıldıktan sonra  $15 \pm 1$  sn sonra değer okunmalıdır. Ani bir ölçme isteniyor uç batırıldıktan 1 sn sonra ölçüm yapılmalıdır. Basınç uygulandığı ilk andaki değer ile basınç uygulandıktan bir süre sonra okunan değerler arasında fark vardır.

Buna polimerlerin sürünme özelliği neden olmaktadır. Sertlik miktarları; Zwick marka test cihazı kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 2.12’de kullanılan uçların görselleri ve Şekil 2.13’de ise sertlik cihazının fotoğrafı verilmiştir. ASTM D2240 test standardına göre Shore D ile numunelerin sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 0.12 Sertlik testine ait yük ve uçların gösterimi



Şekil 0.13 Sertlik cihazı

## 2.4 Fiziksel Testler

### 2.4.1 Ergime akış indeksi-MFI

Bu deney, plastik malzemelerin işlenmesi sırasındaki akma olayını belirlemede kullanılmaktadır. Aynı zamanda hammadde üretiminin aynı kalitede olmasını kontrol edebilmek açısından oldukça önemlidir. Malzemenin ekstrüzyon veya enjeksiyon gibi çalışma şartlarını önceden belirmeye yardımcı olur.

Ekstrüzyonda düşük akma hızına sahip malzemeler kullanılırken, enjeksiyon ile kalıplama da yüksek akma hızına sahip malzemeler kullanılmaktadır. Malzemenin akışı hakkında yorum yapmamızı sağlayan ergime akış indeksi viskozite ile ters orantılıdır. Ergime akışın indeksinin artışı malzemenin akışının arttığını gösterir yani viskozitesi düşmüş demektir. Deney, ISO 1133 standardına göre Zwick marka 4100 model test cihazında yapılmıştır. Deney numunesi; toz, granül şerit, film parçaları vb. çeşitli formlarda olabilir. Bu testte, malzeme belirli bir sıcaklık ile eritilirken üzerine yük uygulanır. Yük, 2,16, 5,00, 21,6 ... kg ağırlığında olur. Ağırlığın baskısıyla malzeme kılcal bir borudan geçerek orifis adı verilen delikten akıtılır ve 10 dk süreyle akan malzeme tartılır. Ardından aşağıda verilen denklem ile ergime akış indeksi hesaplanır. MFI birimi; g/10 dk'dır.

$$MFI = \frac{M \times 600}{T} \quad (1)$$

**Denklem (1):** Ergime akış indeksi (MFI) denklemi

Denklem (1)'de verilen M: toplam ağırlık (g), T: toplam süre (sn)'dir. Test için sıcaklık 190 °C, ağırlık ise 5kg olarak ayarlanmıştır. Şekil 2.14'de bu tez çalışmasında kullanılan MFI cihazın fotoğrafı verilmiştir. Tablo 2.6'da polimer sınıfları ve Tablo 2.7'de ise polimer sınıflarına ait sıcaklık ve ağırlık değerleri verilmiştir.



**Şekil 0.4** MFI testi cihazı

**Tablo 2.6** Bazı polimerlere ait sınıflar

<i>Malzeme</i>	<i>Sınıfı</i>
Asetal	E, M
Akrilik	H, I
Akrilonitril bütadien stiren	G
Selüloz ester	D, E, F
Polietilen	A, B, D, E, F, N
Polikarbonat	O
Polipropilen	L
Polistiren	S, H, I, P
Polietilentreftalat	T
Vinil asetat	L
Poliamid	K, Q, R, S

**Tablo 2.7** Polimer sınıflarına ait sıcaklık ve ağırlıklar

<i>Sınıfı</i>	<i>Sıcaklık (°C)</i>	<i>Ağırlık (kg)</i>
A	125	0,325
B	125	2,160
C	150	2,160
D	190	0,325
E	190	2,160
F	190	21,60
G	200	5,000
H	230	1,200
I	230	3,800
J	265	12,50
K	275	0,325
L	230	2,160
M	190	1,050
N	190	10,00
O	300	1,200
P	190	5,000
Q	235	1,000
R	235	2,160
S	235	5,000
T	250	2,160

## 2.4.2 Yoğunluk testi

Yoğunluk ve özgül hacmin aynı anlama geldiği düşünülse de aralarında az da olsa farklılık vardır. Yoğunluk bir malzemenin 23 °C sıcaklıktaki birim hacminin kütlesidir. Özgül hacim ise belirli hacimdeki plastiğin ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlığın 23 °C/23 °C ile ifade edilir. Bu farkın sebebi 23 °C’de suyun yoğunluğunun 1’den küçük olmasıdır. Yoğunluk ile özgül ağırlık arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik vardır.

$$(\text{Yoğunluk, } 23 \text{ }^\circ\text{C; g/cm}^3) = (\text{Özgül ağırlık, } 23 \text{ }^\circ\text{C}/23 \text{ }^\circ\text{C}) \times 0,99756$$

Yoğunluk testi ISO 2781 standardına uygun olarak Precisa 205A SCS marka cihaz ile yapılmıştır. Yoğunluk birimi g/cm<sup>3</sup>’tür. Test numunesi, hacminin 1 cm<sup>3</sup>’ten az olmaması gerekir. Yüzeyi ve kenarları pürüzsüz, test cihazı için uygun büyüklükte ve şekilde tek bir malzeme parçası olmalıdır. Numunenin kalınlığı her 1 g ağırlık için en az 1 mm olmalıdır. Alkol içinde ve havada tartılan numunenin yoğunluğu aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Yoğunluk} = \frac{HA}{HA-AA} * X \quad (2)$$

**Denklem (2):** Yoğunluk hesabı denklemi

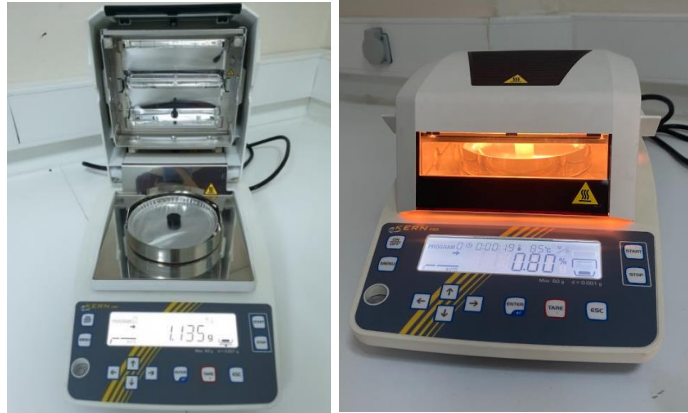
Denklem (2)’de HA: havadaki ağırlık, AA: alkoldeki ağırlık, X: etil alkolün yoğunluğudur (0,79 g/cm<sup>3</sup>). Yoğunluk testi ISO 2781 test standardına göre üç adet numunenin ortalaması alınarak yapılmıştır



**Şekil 0.15.** Yoğunluk cihazı

### 2.4.3 Nem Tayini

Granül halindeki polimerler neme karşı duyarlı olduğundan ağzı kapalı kaplarda korunmalıdır ve nemli ortamlardan uzak tutulmalıdır. Birçok madde yapılarında su bulundurlar. Bu su miktarı havanın nemliliğine veya başka değişkenlere bağlıdır. Bu yüzden malzemeleri kullanmadan önce kurutma işlemine tabi tutarak yapılarında bulunan suyu uzaklaştırmak gerekir. Nem tayini için, polimer ısıtılır ve yapıdaki su buharlaştırılır. Bunun beraberinde maddenin ağırlığında azalma meydana gelir. Buharlaşmanın bitmesiyle ağırlık değişimi durur. Bu değişime bağlı olarak nem oranı hesaplanır. Test numunesi, granül, toz veya farklı formlarda olabilir. Bu projede nem oranı tayini Şekil 2.16'da verilen Kern marka test cihazı ile yapılmıştır.



**Şekil 2.16** Nem oranı tayini cihazı

#### 2.4.4 HDT yük altında eğilme sıcaklığı belirleme testi

Polimerlerin sabit yük altında eğilmeye başladığı sıcaklığı tespit etmek için uygulanan test yöntemidir. Deney düzeneği; deney numunesinin en az 50 mm daldırılabilceği sabit sıcaklıkta bir yağ banyosundan (silikon yağı vb.) ucunda baskı kafası olan bir batırma kolundan oluşur. Yüke ve sıcaklığa bağlı olarak deney parçasında eğilme meydana gelir. Eğilme mesafesi mikrometrik kadranlı bir ölçü cihazı ile gözlemlenir. Cihaz 120 °C/saat  $\pm$  10 °C/saat'lik sabit ısıtma hızına sahiptir. Deney numunesi dikdörtgen kesitli çubuk şeklinde bir parçadır. Test farklı metotlarda uygulanabilir. Ayrıca HDT testine ait iki farklı numune ölçüsü bulunmaktadır. Metotlara ve numune ölçülerine ait bilgiler Tablo 2.8 ve Tablo 2.9'da verilmiştir. Bu projede deney pozisyonu yatay (flatwise), numune ölçüleri 80x10x4 mm olarak seçilmiştir ve metot A'ya göre test yapılmıştır. Bu test ISO 75 standardına göre Devotrans marka üç istasyonlu test cihazında yapılmıştır.

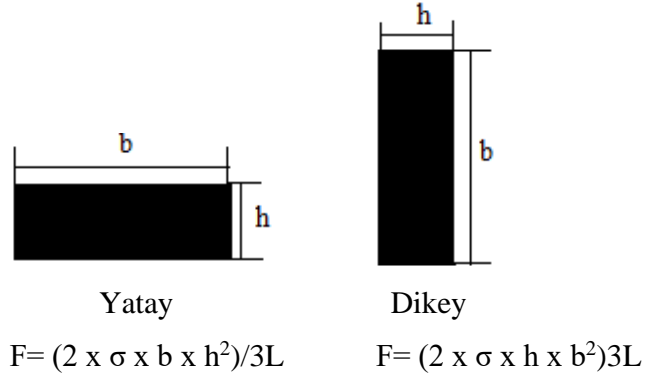
**Tablo 2.8** HDT test metodu

Metot	Eğilme mukavemeti (MPa)
A	1,80
B	0,45
C	8,00

**Tablo 2.9** HDT testi numune ölçüleri

Pozisyon	Ölçüler (mm) (a, b, h)	Mesnetler arası mesafe (mm)	Eğim miktarı (mm)
Dik (edgewise)	120x9,8-15x4,2	100	0,32
Yatay (flatwise)	80x10x4	64	0,34

Deney parçası üzerine uygulanan kuvvet Şekil 2.17'de verilen denklemlere göre hesaplanır. Kuvvet Newton (N) cinsinden verilir. Batma kolunun ve ölçme cihazının ağırlıkları, toplam ağırlıktan çıkartılır. Kalan ağırlık cihaz üzerine uygulanır.



**Şekil 2.17** HDT testi numune boyutları\*

\*  $\sigma$ : eğilme mukavemeti (MPa), b: numune genişliği (mm), h: numune kalınlığı (mm), L: mesnetler arası mesafe (mm)' dir.



**Şekil 2.18** HDT test cihazı

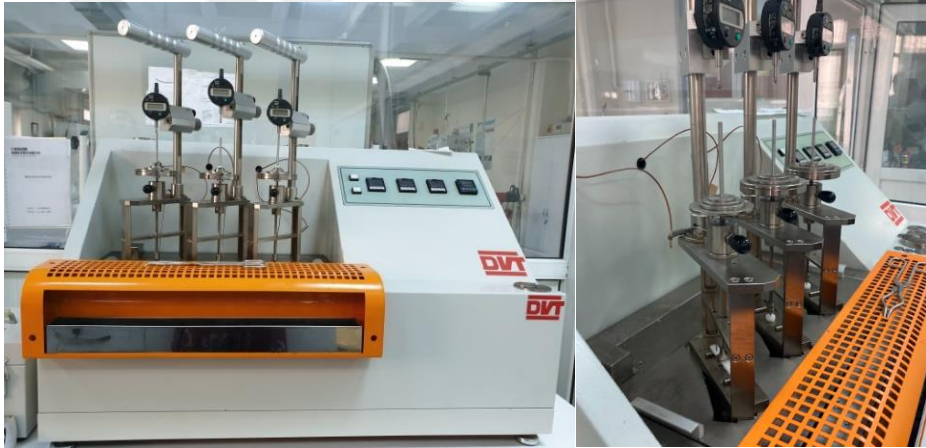
#### 2.4.5 Vicat yumuşama sıcaklığı tayini

Polimerlerin sabit yük altında yumuşamaya başladığı sıcaklığı tayin etmek için kullanılır. Deneş düzeneği; deneş numunesinin en az 35 mm daldırılabilereği sabit sıcaklıkta bir yağ banyosundan (silikon yağı vb.) ucunda batıcı iğnesi olan bir batırma kolundan oluşur. Batıcı uç 3 mm uzunluğunda, yuvarlak kesitli ve kesit alanı  $1 \text{ mm}^2 \pm 0,015 \text{ mm}^2$ 'dir. Deneş parçası üzerine 1000 g'lık yük uygulanır. Batırma kolunun ve mikrometre baskı yayının ağırlığı hesaba katılmalıdır. Uygulanan basınca bağlı olarak batıcı ucun deneş parçasına  $1 \text{ mm}^2$ 'lik yüzeyde 1 mm derinlikte battığı andaki sıcaklık göstergeden okunur. Bu sıcaklık vicat yumuşama sıcaklığını verir.

Ucun batma derinliği  $\pm 0,01$  mm doğrulukla ölçülebilen bir mikrometre ile gözlemlenir. Vicat yumuşama sıcaklığı testi, Devotrans marka üç istasyonlu cihazla ISO 306 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu standartta termoplastik malzemelerin yumuşama sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan dört metot bulunmaktadır. Bu projede Metot A 120 kullanılmıştır.

**Tablo 2.10** Vicat yumuşama sıcaklığı test metotları

Metot	Kuvvet (N)	Isıtma hızı (°C/saat)
Metot A 50	10	50
Metot B 50	50	50
Metot A 120	10	120
Metot B 120	50	120



**Şekil 2.19** Vicat test cihazı

#### 2.4.6 Taramalı elektron mikroskobu-SEM

Taramalı elektron mikroskobunda yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronlar numune üzerine gönderilir. Bu elektron demetinin numune yüzeyine taratılmasıyla elektron ve numune atomları arasında çeşitli etkiler meydana gelir. Bu etkiler uygun alıcılarda toplanır ve sinyal güçlendiricilerden geçirilerek katot ışınları tüpünün ekranına aktarılır. Böylelikle görüntü elde edilir. Modern sistemlerde alıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilerek bilgisayar monitörüne gönderilir. Taramalı elektron mikroskobu üç ana kısımdan oluşur. Optik kolon, numune hücresi, görüntüleme sistemi. Mikroskopta tek seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında numune incelenebilmektedir.

Numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki ayrı grupta incelenmektedir. İnorganik numuneler metal ve metal olmayanlar olarak iki gruba ayrılır. Metaller iletken özelliğe sahip oldukları için numune yüzeyini kaplamadan inceleme yapılabilir. Fakat yüksek çözünürlükte ve kontrasta görüntü elde etmek için metal numunelere dahil numune yüzeylerine altın kaplama yapılmalıdır. Metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyine ise max. 20 mm mertebesinde altın veya karbon ile kaplama yapılır. Böylelikle numuneye iletkenlik kazandırılır. X-ışınları kullanılan analizlerde genellikle karbon kaplama yapılır. Organik numunelerin incelenmesinde numuneler yüksek vakuma dayanıklı olmalıdır. Darbe test numunelerinin kırık yüzeyleri Quorum sc 7620 marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplama süresi 180 sn ve uygulanan elektrik akımı ise 20 mA'dır. Daha sonra numuneler 10 kV altında Zeiss EVO MA 10 marka SEM ile incelenmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan SEM cihazının fotoğrafı Şekil 2.19'da, kaplama cihazının fotoğrafı ise Şekil 2.20'de verilmiştir.



**Şekil 2.20** SEM cihazı



**Şekil 2.21** Kaplama cihazı

### 3.BÖLÜM: BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan çalışmada %5, 10 ve 15 oranında MAPP'nin polipropilen kompozitlerin mekanik, fiziksel, termal ve morfolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

**Tablo 3.1** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının karıştırılma oranları

	PP(%20 Hemp)	Haşhaş (%)	MAPP(%)
1.Grup	100	-	-
2.Grup	80	20	-
3.Grup	75	20	5
4.Grup	70	20	10
5.Grup	65	20	15

#### 3.1 Mekanik özellikler

Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği maksimum kuvvet (çekme diyagramında en yüksek gerilme değeri) çekme mukavemetini verir. Çekme deneyinden elde edilen maksimum yükün, numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Maksimum çekme mukavemeti, çekme dayanımı, çekme gerilmesi gibi farklı kullanımlara sahiptir. Genellikle MPa cinsinden ifade edilir. Çekme mukavemeti Denklem 4'de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{\text{çekme}} = \frac{P_{\text{max}}}{A_0} \quad (3)$$

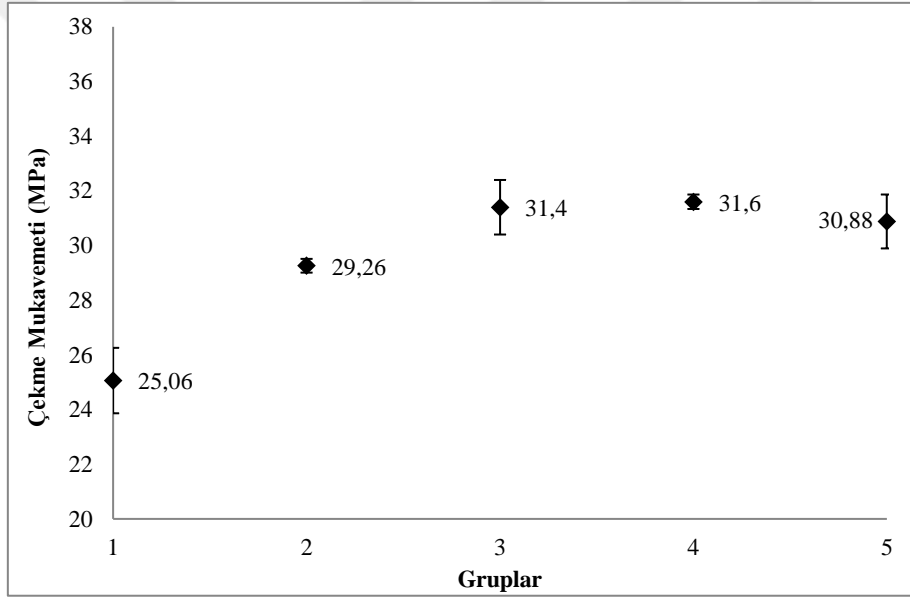
$\sigma_{\text{çekme}}$ : çekme mukavemeti,  $P_{\text{max}}$ : maksimum basınç,  $A_0$ : ilk yüzey alanı

#### Denklem (3): Çekme mukavemeti denklemi

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan çekme testi sonucu elde edilen çekme mukavemeti değeri Tablo 3.2'de ve değerlerin grafiksel gösterimi ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 0.2** Kenevir-PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının çekme mukavemeti değerleri

Gruplar	Çekme Mukavemeti (MPa)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	25,4	23,5	25,3	24,4	26,7	25,06
2	29,2	29,7	29,1	29,2	29,1	29,26
3	29,9	31,4	32,2	32,4	31,1	31,4
4	31,5	31,7	32,0	31,5	31,7	31,68
5	30	31	31	32,4	30	30,88



**Şekil 0.1** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin çekme mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.1'e bakıldığında polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşıllı polipropilen katılmasıyla elde edilen çekme mukavemeti değeri görülmektedir. Grafik incelendiğinde polipropilenin çekme mukavemeti değerinin 25,06 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu katılmasıyla değerin 29,26 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP

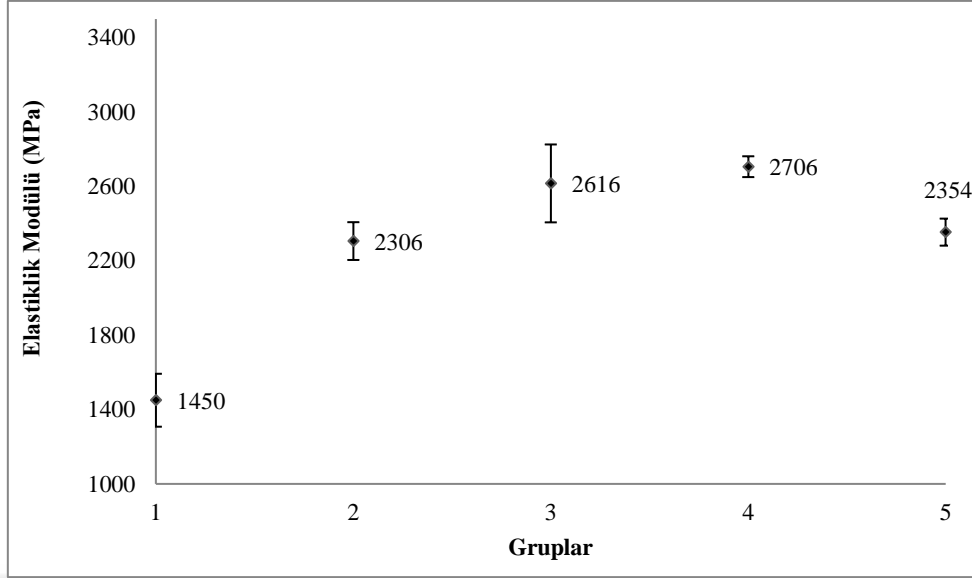
ilavesinde değerin 31,4 MPa'ya çıktığı ve %10 MAPP ilavesinde ise 31,6 MPa'ya çıktığı görülmektedir ki bu değer de en yüksek çekme mukavemeti değeridir.

Polipropilenin ekme mukavemeti değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 26 oranında artış tespit edilmiştir. %15 MAPP ilavesinde ise çekme mukavemeti 30,88 MPa'ya düşmüştür. Elif Ulutaş ve arkadaşları polipropilen içerisine kattıkları selülozik bazlı pirinç kabuklarının oranının artışıyla çekme mukavemeti değerinin de arttığını tespit etmişlerdir (Ulutaş, E. vd. 2019).

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşıllı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan çekme testi sonucu elde edilen elastiklik modülü değerleri Tablo 3.3'de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 0.3** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının elastiklik modülü değerleri

Gruplar	Elastiklik Modülü (MPa)					
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	Ortalama
1	1630	1240	1420	1450	1510	1450
2	2390	2220	2230	2440	2250	2306
3	2370	2430	2710	2870	2700	2616
4	2660	2690	2770	2760	2650	2706
5	2370	2330	2450	2370	2250	2354



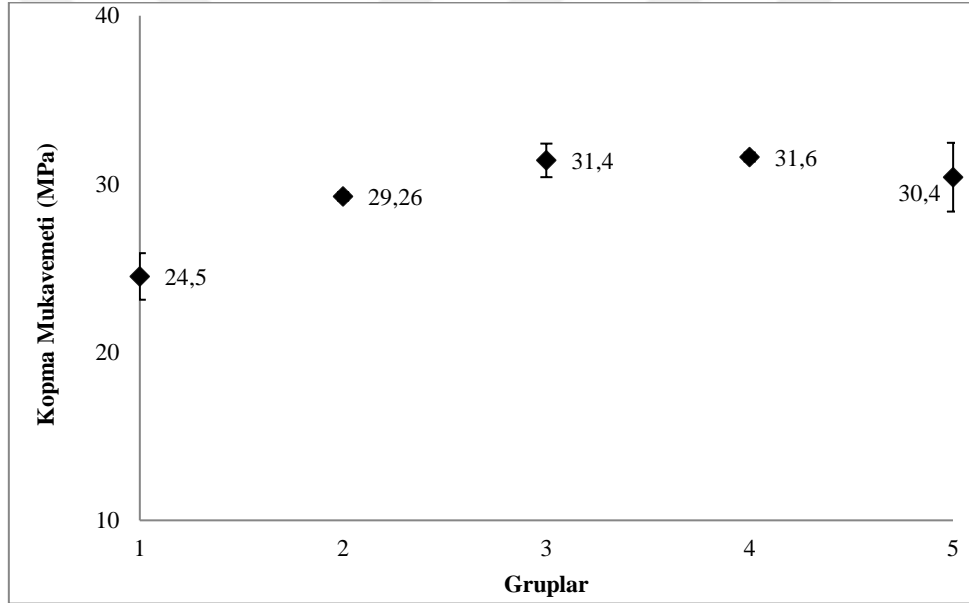
**Şekil 0.2** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin elastiklik modülü değerlerinin grafiksel gösterimi

Grafik incelendiğinde polipropilenin elastiklik modül değerinin 1450 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ilavesi ile bu değer 2306 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer 2616 MPa'ya çıktığı ve %10 MAPP ilavesinde ise 2706 MPa'ya çıktığı görülmektedir ki bu değer en yüksek elastiklik modül değeridir. Polipropilenin elastiklik modül değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 87 oranında artış tespit edilmiştir. %15 MAPP ilavesinde ise değer 2354 MPa'ya düşmüştür. Zilan Teke ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur. Polipropilen içerisine kattıkları karbonize edilmiş ve edilmemiş selülozik bazlı portakal kabuğu tozlarının oranı arttıkça elastiklik modül değerinin de arttığını belirlemişlerdir (Teke, z. vd, 2019). Bir başka çalışmada Nadir Ayrılmış (Ayrılmış, N., vd. 2017) ve arkadaşları polipropilen içerisine kattıkları kayın ağacı toz oranının artmasıyla elastiklik modül değerinin de arttığını rapor etmişlerdir.

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrid aşıllı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan çekme testi sonucu elde edilen kopma mukavemeti değerleri Tablo 3.4'de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.3'de verilmiştir.

**Tablo 0.4** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının kopma mukavemeti değerleri

Gruplar	Kopma Mukavemeti (MPa)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	23,6	23,1	24,7	24,4	26,7	24,5
2	29,2	29,7	29,1	29,2	29,1	29,26
3	29,9	31,4	32,2	32,4	31,1	31,4
4	31,5	31,3	32	31,5	31,7	31,6
5	29	28	30	32,4	32,6	30,4



**Şekil 0.3** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin kopma mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

Grafik incelendiğinde polipropilenin kopma mukavemeti değerinin 24,5 MPa olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu katılmasıyla değer 29,26 MPa'ya çıktığı görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer 31,4 MPa'ya çıktığı ve %10 MAPP ilavesinde ise 31,6 MPa'ya yükseldiği görülmektedir ki bu değer de en yüksek kopma mukavemeti değeridir. Polipropilenin kopma mukavemeti değerini bu grup ile kıyasladığımızda % 29 oranında

artış tespit edilmiştir. %15 MAPP ilavesinde ise kopma mukavemeti 30,4 MPa'ya düşmüştür.

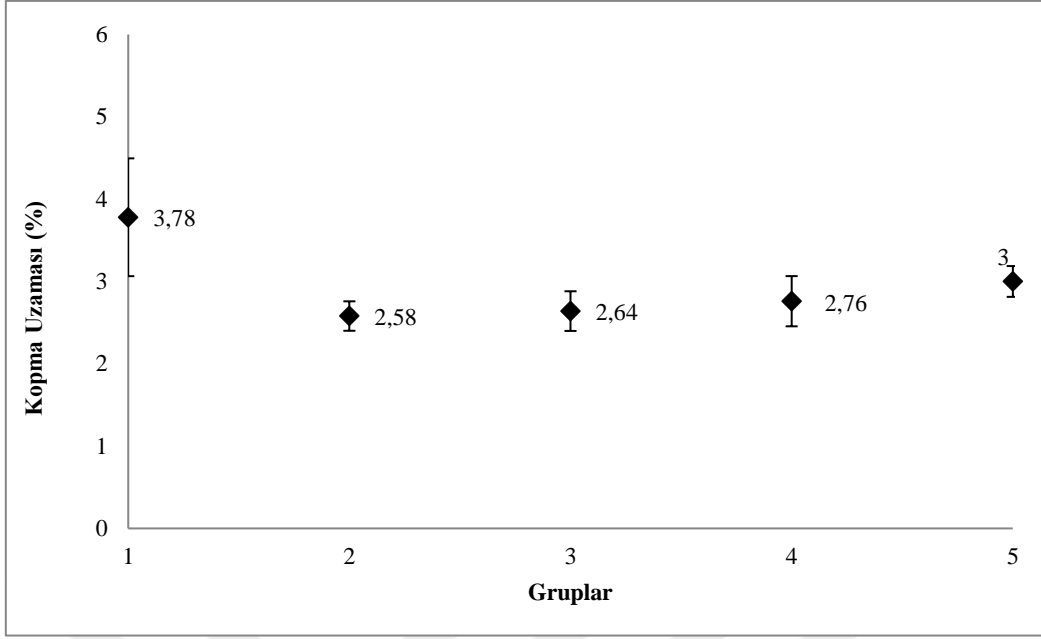
Elif Ulutaş ve arkadaşları polipropilen içerisine kattıkları selulozik bazlı pirinç kabuklarının oranının artışıyla kopma mukavemeti değerinin de arttığını tespit etmişlerdir (Ulutaş, E., vd. 2019). Başka bir çalışmada Beril Eker Gümüş ve arkadaşları (Gümüş, B.E., vd., 2022) yüksek yoğunluklu polietilen içerisine katılan enginar yaprağı toz oranının artışıyla kopma mukavemet değerinin de arttığını tespit etmişlerdir.

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan çekme testi sonucu elde edilen kopma uzama değerleri Tablo 3.5'de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.4'de verilmiştir.

**Tablo 0.5** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının kopma uzama değerleri

Gruplar	Kopma uzaması (%)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	2,7	3,9	4,7	3,7	3,9	3,78
2	2,3	2,5	2,7	2,7	2,7	2,58
3	2,8	2,9	2,5	2,7	2,3	2,64
4	3	3,1	2,8	2,5	2,4	2,76
5	2,7	2,5	2,7	3	2,6	3

Şekil 3.4 incelendiğinde polipropilenin kopma uzamasının %3,78 olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu katılmasıyla değer 2,58'e düştüğü ve %5 MAPP ilavesinde değer değişmediği görülmektedir. Bu iki grup en az uzama gösteren grupları oluşturmuştur. Polipropilenin uzama değerini bu grupların uzama değerleriyle kıyasladığımızda %31,6'lık bir düşüş olmuştur. %10 MAPP ilavesinde ise uzama değeri % 2,76'ya çıkmıştır. %15 MAPP ilavesinde ise kopma uzama değerinin %3'e çıktığı tespit edilmiştir. Zilan Teke ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada (Teke, Z., vd. 2019) polipropilen içerisine kattıkları portakal kabuğu tozlarının oranının artmasıyla % uzama değerinin düştüğünü belirlemişlerdir ki bu çalışma ile paralellik göstermektedir.

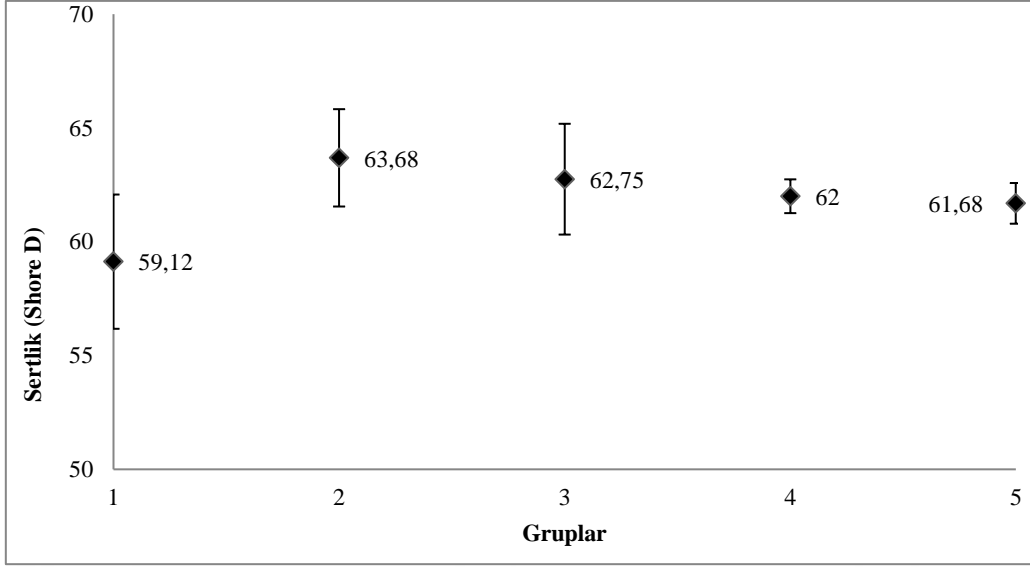


**Şekil 0.4** PP/Haşaş/MAPP polimer kompozitinin kopma uzama değerlerinin grafiksel gösterimi

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan sertlik testi sonucu elde edilen Shore D sertlik değerleri Tablo 3.6'da ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.5'de verilmiştir.

**Tablo 0.6** PP/Haşaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Shore D sertlik değerleri

Gruplar	Shore D Sertlik (%)					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	2,7	3,9	4,7	3,7	3,9	3,78
2	2,3	2,5	2,7	2,7	2,7	2,58
3	2,8	2,9	2,5	2,7	2,3	2,64
4	3	3,1	2,8	2,5	2,4	2,76
5	2,7	2,5	2,7	3	2,6	3



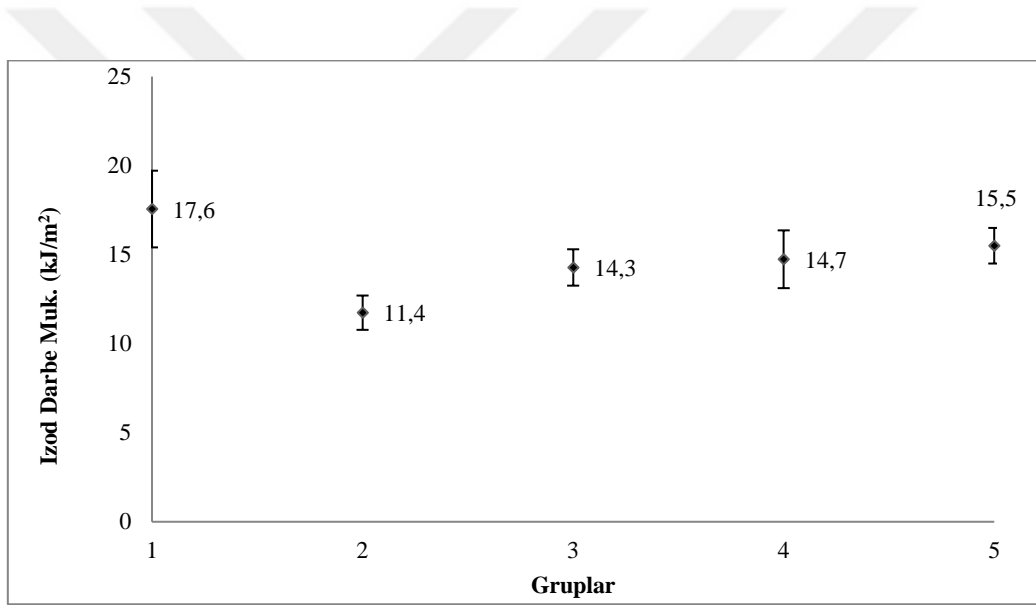
**Şekil 0.5** PP/Haşıhaş/MAPP polimer kompozitinin Shore D sertlik değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.5 incelendiğinde polipropilenin sertlik değerinin 59,12 Shore D olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşıhaş sapı tozu katılmasıyla değer 63,68 Shore D'ye çıktığı görülmektedir. Bu değer elde edilen en yüksek sertlik değeridir. Polipropilen ile kıyaslandığından sertlik değeri % 7,8 oranında artmıştır. Kompozit içerisine %20 haşıhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde sertlik değeri 62,75 Shore D, %10 MAPP ilavesinde 62 Shore D ve %15 MAPP ilavesinde ise sertlik değeri 61,68 Shore D olarak ölçülmüştür. Zilan Teke ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışma ile benzerlik göstermektedir (Teke, Z., vd., 2019).

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşıhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan Izod çentikli darbe testi sonucu elde edilen darbe mukavemeti değerleri Tablo 3.7'de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 0.7** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Izod çentikli darbe mukavemeti değerleri

Gruplar	Izod çentikli darbe mukavemeti (kJ/m <sup>2</sup> )					Ortalama
	Test Numune Sayısı					
	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Numune 5	
1	15,5	19,1	19,9	15,1	18,2	17,56
2	10,5	11,5	12,5	11,3	12,9	11,74
3	13	15,7	13,7	14,3	14,7	14,28
4	14,5	13	17,2	13,7	15,3	14,74
5	14	16,5	16	15	16	15,5



**Şekil 0.6** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin Izod çentikli darbe mukavemeti değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.6 incelendiğinde polipropilenin darbe mukavemeti değerinin 17,6 kJ/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu katılmasıyla değer 11,4 kJ/m<sup>2</sup>'ye düştüğü bu düşüşün polipropilenin değeriyle kıyaslandığında %35 oranında olduğu tespit edilmiştir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer bir miktar artarak 14,3 kJ/m<sup>2</sup> ve %10 MAPP ilavesinde ise 14,7 kJ/m<sup>2</sup>'ye çıktığı görülmektedir. %15 MAPP ilavesinde ise darbe mukavemeti değeri 15,5 kJ/m<sup>2</sup> ölçülmüştür.

Maruf Billah ve arkadaşlarının (Billah, M.M., vd., 2022) yapmış oldukları bir çalışmada polipropilen içerisine kattıkları rattan fiberlerini MAPP ile uyumlaştırarak matrise tutunmalarını sağlamışlar ve dolayısıyla darbe mukavemetinde artış elde etmişlerdir. Diğer taraftan selülozik bazlı dolgu kullanımında dolgu miktarının artışıyla darbe mukavemetinin düştüğünü belirten çalışmalar vardır (Ayrılmış, N. Vd, 2017; Zulkifli N.I., vd., 2015; Zaini M. J., vd., 1996; Bengtsson, M., vd., 2006).

### 3.2 Fiziksel Özellikler

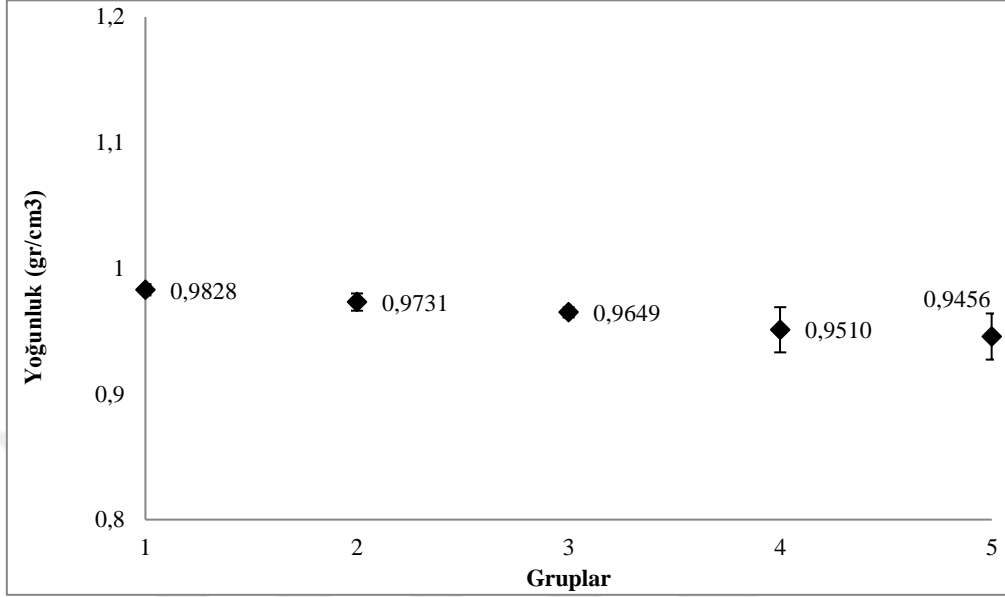
Numunelerin PP/HH/MAPP fiziksel özellik değişimleri incelenmiş ve bu bölümde verilmiştir. Bu kapsamda elde edilen kompozite ait yoğunluk değerleri Tablo 3.8’de ve bu değerlerin grafiksel gösterimleri ise Şekil 3.7’de verilmiştir.

**Tablo 0.8.** PP/HH/MAPP polimer kompozitinin polimer kompozitin yoğunluk değerleri

Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )					
		Havada	Alkolde	Yoğunluk	Ortalama
1	1.Numune	1,4338	0,2866	0,987362	0,98288
	2.Numune	1,4188	0,2732	0,978397	
	3. Numune	1,4926	0,2939	0,983694	
2	1.Numune	1,5905	0,3083	0,979952	0,973096
	2.Numune	1,5998	0,2918	0,96624	
	3.Numune	1,5838	0,2974	0,972638	
3	1.Numune	1,3822	0,2552	0,968889	0,964935
	2.Numune	1,3933	0,2479	0,96098	
	3. Numune	1,3645	0,2492	0,966516	
4	1.Numune	1,3783	0,2179	0,938346	0,951063
	2.Numune	1,3632	0,2458	0,96378	
	3. Numune	1,4068	0,2638	0,972329	
5	1.Numune	1,356	0,2428	0,962307	0,945688
	2.Numune	1,3702	0,2051	0,929069	
	3. Numune	1,3838	0,2441	0,959202	

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi polipropilenin yoğunluk değeri 0,9828 g/cm<sup>3</sup>’tür. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ilavesi ile bu değer 0,9731 g/cm<sup>3</sup>’e düşmüştür. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer 0,9649 g/cm<sup>3</sup>’e düştüğü ve %10 MAPP ilavesinde ise 0,9510 g/cm<sup>3</sup>’e düştüğü görülmektedir. %15 MAPP ilavesinde ise değer bir miktar daha düşerek 0,9456 g/cm<sup>3</sup> değerine gelmiştir. Bu sonuçlar neticesinde kompozit içerisine haşhaş sapı tozunun ilavesi ve MAPP oranının artmasıyla

yoğunluk değerinin düştüğü tespit edilmiştir. MAPP'nin ve haşhaş sapı tozunun yoğunluk değerlerinin polipropilenden düşük olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

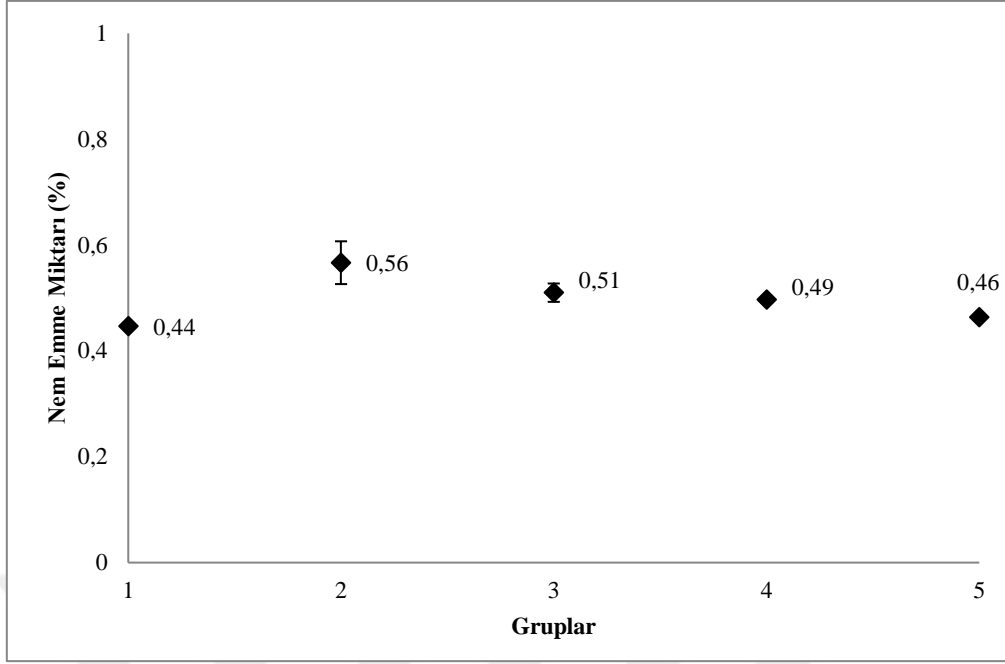


**Şekil 0.7** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin yoğunluk değerlerinin grafiksel gösterimi

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşıllı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan nem emme testi sonucu elde edilen nem emme değerleri Tablo 3.9'da ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 0.9** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının nem emme değerleri

Gruplar	Nem emme miktarı (%)			Ortalama
	Test Numune Sayısı			
	1	2	3	
1	0,45	0,45	0,44	0,44
2	0,52	0,59	0,59	0,56
3	0,5	0,5	0,53	0,51
4	0,5	0,5	0,49	0,49
5	0,47	0,46	0,46	0,46



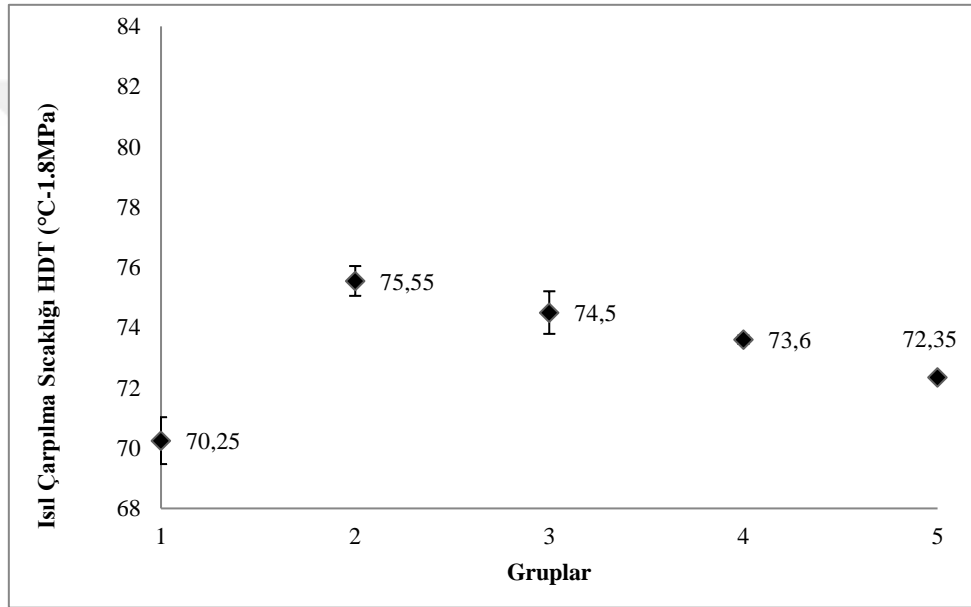
**Şekil 0.8** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin nem emme değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.8’de polipropilenin nem emme değerinin %0,44 olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 oranında haşhaş sapı tozu ilavesi ile bu değer %0,56’ya çıkmıştır. Selülozik bazlı haşhaşın polar karakterde olması daha çok nem çekmesini sağlamaktadır. Banat (Banat, R., 2019) yapmış olduğu bir çalışmada HDPE içerisine kattıkları zeytin çekirdeği tozlarının miktarının artmasıyla su emme değerinin yükseldiğini belirlemiştir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer bir miktar düşerek %0,51’e indiği görülmektedir. %10 MAPP ilavesinde ise nem emme değeri %0,49’a ve %15 MAPP ilavesinde de %0,46’ya düştüğü anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar neticesinde kompozit içerisine selüloz bazlı ve nem çekme özelliği biraz fazla olan haşhaş ilavesiyle nem değerinde yükselme olmuş buna karşılık haşhaşa nazaran daha az nem çekme özelliğine sahip MAPP oranının artmasıyla nem emme değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrid aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan ısı çarpılma sıcaklığı (HDT) testi sonucu elde edilen HDT değerleri Tablo 3.10’da ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.9’da verilmiştir.

**Tablo 0.10** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının HDT değerleri

Gruplar	Isıl çarpılma sıcaklığı (HDT) (°C)		
	Test Numune Sayısı		
	1	2	Ortalama
1	70,8	69,7	70,25
2	75,2	75,9	75,55
3	74	75	74,5
4	73,5	73,7	73,6
5	72,3	72,4	72,35



**Şekil 0.9** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin HDT değerlerinin grafiksel gösterimi

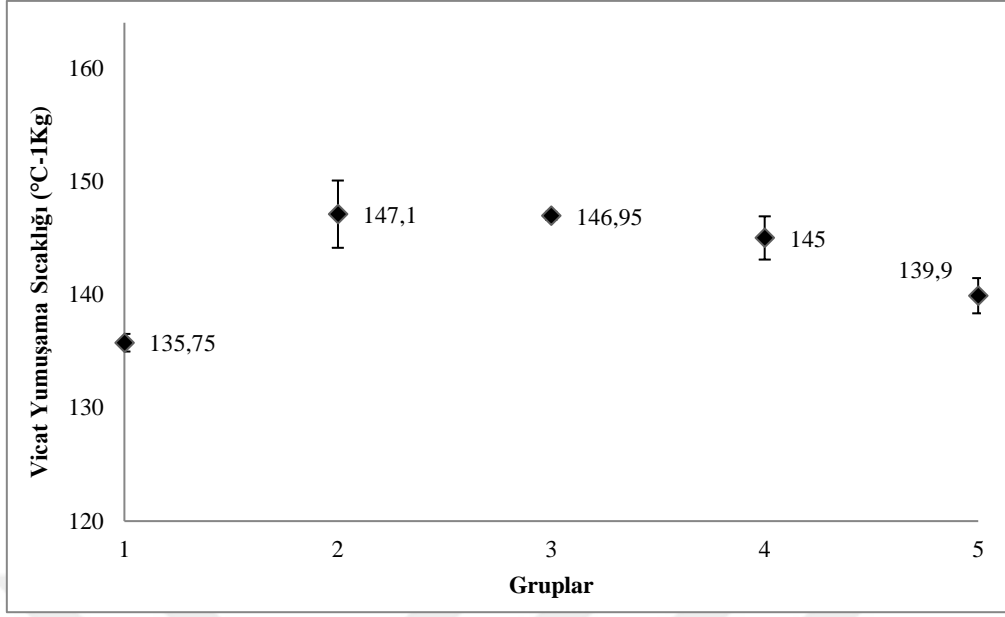
HDT değeri özellikle otomotiv sektöründe kullanılan plastikler için önem arz etmektedir. Sıcaklık arttığında plastik malzemede oluşan deformasyon problemlere sebebiyet vermektedir. HDT değeri malzemenin türüne, kristalizasyon oranına, ilave edilen takviye veya dolgu malzemelerinin türüne ve oranına çok bağlıdır (Kusumaningrum, W.B., vd., 2018). Bunların dışında fiberin boyu ve çapı da HDT değeri için önemlidir (Morreale, M., vd., 2008). Şekil 3.10'da polipropilenin HDT değerinin 70,25 °C olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 oranında haşhaş sapı tozu ilavesi ile bu değer 75,55 °C çıkmıştır. HH ilavesiyle malzeme sertleştiğinden HDT değerinde artış olmuştur.

Kompozitin içerisinde yumuşak bir polimer olan MAPP ilavesi ile sertlik bir miktar azaldığından HDT değerlerinde düşüş tespit edilmiştir. Korkmaz ve arkadaşları (Korkmaz, B., vd., 2018) Ulutaş ve arkadaşları (Ulutaş, E., vd., 2019), Sırtıkara ve arkadaşları (Sırtıkara, M., vd., 2019), ve Taşdemir ve Kaştan (Taşdemir, M., vd.2021) çalışmalarında ısıl çarpılma sıcaklığı değerinin kompozite katılan selülozik katkı ile arttığını belirlemişlerdir. Kompozit içerisinde %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değer bir miktar düşerek 74,50 °C'ye indiği görülmektedir. %10 MAPP ilavesinde ise ısıl çarpılma sıcaklığı değeri 73,60 °C ve %15 MAPP ilavesinde de 72,35 °C'ye düştüğü anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar neticesinde kompozit içerisinde selüloz bazlı haşhaş ilavesiyle HDT değerinde yükselme olmuş buna karşılık elastomer karakterde ve nispeten yumuşak bir malzeme olan MAPP oranının artmasıyla HDT değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Huda ve arkadaşları (Huda, M.S., vd., 2008) yapmış oldukları bir çalışmada PLA içerisinde kattıkları %40 oranındaki Kenaf liflerinin HDT değerini iki kat artırdığını bunun sebebinin ise kristalizasyon sürecinde oluşan spherulitlerden kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisinde haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan Vicat yumuşama sıcaklığı testi sonucu elde edilen Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri Tablo 3.11'de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.10'da verilmiştir.

**Tablo 0.11** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri

Gruplar	Vicat yumuşama sıcaklığı (°C)		
	Test Numune Sayısı		
	1	2	Ortalama
1	135,2	136,3	135,75
2	145	149,2	147,1
3	146,7	147,2	146,95
4	146,7	144	145
5	138,8	141	139,9



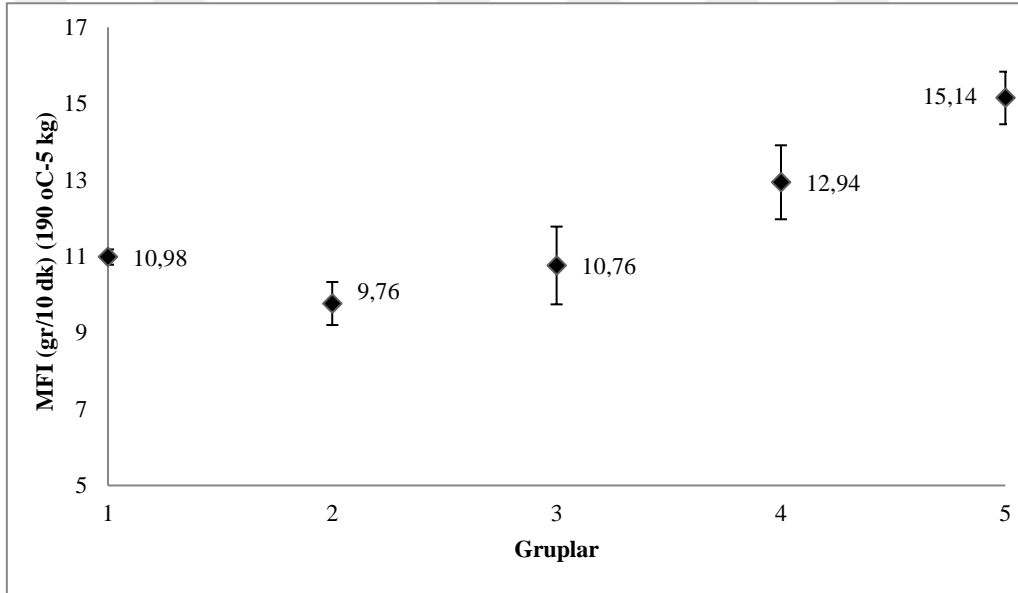
**Şekil 0.10** PP/Haşaş/MAPP polimer kompozitinin Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinin grafiksel gösterimi

Şekil 3.10’da polipropilenin Vicat değerinin 135,75 °C olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 oranında haşaş sapı tozu ilavesi ile bu değer 147,1 °C çıkmıştır. HH ilavesiyle kompozit sertleştiğinden vicat yumuşama değeri artmıştır. Kompozit içerisine %20 haşaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değerin bir miktar düşerek 146,95 °C’ye indiği görülmektedir. %10 MAPP ilavesinde ise Vicat yumuşama sıcaklığı değeri 145 °C ve %15 MAPP ilavesinde de 139,9 °C’ye düştüğü anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar neticesinde kompozit içerisine selüloz bazlı haşaş ilavesiyle Vicat yumuşama sıcaklığı değerinde yükselme olmuş buna karşılık MAPP oranının artmasıyla Vicat değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Kompozitin içerisine yumuşak bir polimer olan MAPP ilavesi ile sertlik azaldığından Vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinde düşüş tespit edilmiştir.

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine uygulanan Erime akış indeksi testi sonucu elde edilen erime akış indeksi (MFI) değerleri Tablo 3.12’de ve bu değerlere ait grafiksel gösterim ise Şekil 3.11’de verilmiştir.

**Tablo 0.12** PP/Haşhaş sapı tozu/ MAPP polimer kompozit gruplarının erime akış indeksi (MFI) değerleri

Gruplar		1	2	MFI 1	MFI 2	Ortalama
1	Ağırlık (gr)	0,4635	0,4517	11,124	10,8408	10,98
	Süre (sn)	25	25			
2	Ağırlık (gr)	0,4069	0,4401	9,7656	10,5624	9,76
	Süre (sn)	25	25			
3	Ağırlık (gr)	0,5741	0,5021	11,482	10,042	10,76
	Süre (sn)	30	30			
4	Ağırlık (gr)	0,6813	0,6128	13,626	12,256	12,94
	Süre (sn)	30	30			
5	Ağırlık (gr)	0,7331	0,7818	14,662	15,636	15,14
	Süre (sn)	30	30			



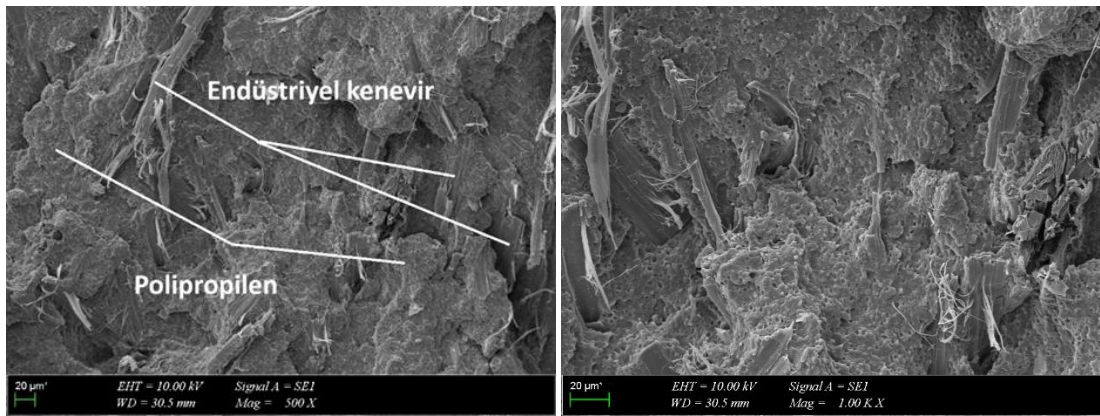
**Şekil 0.11** PP/Haşhaş/MAPP polimer kompozitinin MFI değerlerinin grafiksel gösterimi

Erime akış indeksi değerleri, molekül ağırlığı ile doğrudan ilişkilidir. MFI değerlerine göre plastiğin ne kadar sürede işleneceği belirlenmektedir. Düşük MFI değerine sahip numuneler zor aktıkları için kalıbı daha zor doldurmaktadırlar (Taşdemir ve Şen 2022). Bu test 190 °C ve 5 kg yük altında yapılmıştır. Şekil 3.11’de polipropilenin MFI değerinin 10,98 gr 10<sup>-1</sup> dk. olduğu görülmektedir. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ilavesi ile bu değer 9,76 gr 10<sup>-1</sup> dk.’ya düştüğü görülmektedir.

Matris içerisinde zor akan yani akışkan olmayan haşhaş ilavesi bu düşüşü sağlamıştır. Korkmaz ve arkadaşları (Korkmaz, B., vd., 2018), Aka ve arkadaşları (Aka, A., vd., 2019), Sırtıkara ve arkadaşları (Sırtıkara, M., vd., 2019), Ulutaş ve arkadaşları (Ulutaş, E., vd., 2019) yapmış oldukları çalışmalarda da benzer sonuçları bulmuşlardır. Kompozit içerisine %20 haşhaş sapı tozu ve %5 MAPP ilavesinde değerler bir miktar artarak  $10,76 \text{ gr } 10^{-1} \text{ dk.}$ 'ya çıktığı görülmektedir. % 10 MAPP ilavesinde ise MFI değeri  $12,94 \text{ gr } 10^{-1} \text{ dk.}$ 'ya ve %15 MAPP ilavesinde de  $15,14 \text{ gr } 10^{-1} \text{ dk.}$ 'ya çıktığı anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar neticesinde kompozit içerisindeki MAPP oranının artmasıyla MFI değerinin arttığı tespit edilmiştir. MAPP'nin MFI değerinin polipropilenden yüksek olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır.

### 3.3 Mikroyapı incelemesi

%20 kenevir katkılı Polipropilen içerisine haşhaş sapı tozu ve maleik anhidrit aşılı polipropilen ilavesi ile oluşturulan polimer kompozitine ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.12'de verilmiştir. SEM fotoğraflarında PP matrisi, kenevir ve haşhaş partikülleri net olarak gözükmemektedir. Polipropilen matris içerisinde kenevir ve haşhaş homojen olarak dağılmış ve topaklaşmaya uğramadığı görülmektedir. Hem haşhaş hem de kenevir lifleri, polipropilen matris içerisine iyi tutunduğu, yerlerinden çıkmadığı yani MAPP'nin ilavesi ile ara yüzeyde yapışmanın olduğu anlaşılmaktadır. Zhang ve arkadaşlarının (Zhang, X., vd., 2011) yapmış oldukları çalışmada Polipropilen ile selüloz arasındaki arayüzey yapışması MAPP ve metil akrilik asit glisidil ester aşılı polipropilen kullanarak sağlamışlardır.



1. grup

Şekil 3.12. PP/Hashhaş/MAPP polimer kompozitinin mikroyapı fotoğrafları



5. Grup

Şekil 3.12 (devamı)

## 4.SONUÇLAR

Ekolojik ve ekonomik büyüme açısından tarımsal atıkların polimerlerde dolgu olarak değerlendirilmesi çok büyük önem arz etmektedir. Otomotiv, inşaat ve ambalaj gibi birçok sektörde kullanılmakta olan polimer kompozitlerinin geliştirilmesi bu çalışmanın ana amacını oluşturmuştur. Bu çalışmada ticari olarak üretilen %20 kenevir katkı polipropilen içerisine atık olan kenevir bitkisinin sapları öğütülerek katılmıştır. Polipropilen ve haşhaş partikülleri arasındaki uyumluluğu sağlamak için de kompozitin içerisine değişik oranlarda MAPP eklenmiştir. Elde edilen polimer kompozitinin çekme mukavemeti, elastiklik modülü, kopma mukavemeti, kopma uzaması, yoğunluk, erime akış indeksi, nem emme miktarı, ısıl çarpılma sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklığı değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; PP/HH/MAPP polimer kompozitinde sadece %20 oranında haşhaş ilavesiyle elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve sertlik değerlerinin yükseldiği buna karşılık kopma uzama ve darbe mukavemeti değerlerinin ise düştüğü tespit edilmiştir. Selülozik bazlı ve fazla uzama davranışı göstermeyen haşhaş sapsaplarının ilavesiyle % uzama değeri düşmüştür. Tabi burada haşhaş sapsaplarının rijit karakterde olması da % uzama değerinin düşmesine etkindir. Diğer taraftan kenevir ve haşhaş enerjiiyi fazla absorbe edemediğinden darbe mukavemeti değerinde de düşüşe sebebiyet vermiştir. Kompozitin içerisine MAPP ilavesiyle yukarıda bahsedilen değerlerde ciddi değişimler gözlemlenmiştir. Örneğin kompozitteki MAPP oranının %5 ve 10 oranında artmasıyla elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, darbe mukavemeti ve % uzama değerleri artmıştır. Buna karşılık sertlik değerinde düşüş olmuştur. %15 MAPP ilavesinde ise elastiklik modülü, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti ve sertlik değerleri düşmüş buna karşılık darbe mukavemeti ve %uzama değerleri ise artmıştır. Bu değişimler MAPP'nin elastomerik yapısından kaynaklanmaktadır. Fiziksel özelliklerine bakıldığında yoğunluk ve erime akış indeksi değerlerinde düştüğü buna karşılık nem emme miktarı, ısıl çarpılma sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklığı değerleri ise arttığı tespit edilmiştir. Kompozitin içerisine MAPP ilavesiyle yukarıda bahsedilen değerlerde ciddi değişimler gözlemlenmiştir. Örneğin kompozitteki MAPP oranının %5 ve 15 oranında artmasıyla yoğunluk, nem emme miktarı, ısıl çarpılma sıcaklığı ve vicat yumuşama sıcaklığı değerlerinde düşme buna karşılık erime akış indeksi değerinde bir artış tespit edilmiştir.

SEM fotoğraflarından da anlaşıldığı gibi kenevir ve haşhaş partikülleri matris içerisinde homojen olarak dağılmışlardır. MAPP kullanımı ara yüzeyde yapışmanın artmasını sağlamıştır. Haşhaş saplarının ilavesi ile %20 daha az polimer kullanımı sağlanmış olup ölçülen değerlerde ciddi bir düşüş tespit edilmemiştir.

Sonuç olarak çekme mukavemetinin önemli olduğu yerlerde 4. Grup numune, sertlik değerinin önemli olduğu yerlerde 2. Grup numune ve darbe değerinin önemli olduğu yerlerde 1. Ve 5. Grup numuneler kullanılabilir.



## KAYNAKLAR

Addington, D. S. Smart Materials and New Technologies For the Architecture and Design Professions. Oxford: Architectural Press. (2005).

Ahrabi, A. Z. Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü. (2009)

Aka, A., Tekerek, A.Y., Güler, G., and Taşdemir, M. High density polyethylene/uncarbonized and carbonized waste corn husk polymer composites: physical and wear behaviors. 35th International conference of the polymer processing society, İzmir/Türkiye. (2019)

Ayrılmış N., Taşdemir M., Akbulut T., Water absorption and mechanical performance of PP/HIPS hybrid composites filled with wood flour, Polymer Composites, 38(5), 863-869. (2017)

Banat, R. Olive pomace flour as potential organic filler in composite materials: A brief review. American Journal of Polymer Science, 9 (1), 10-15. <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20190901.02> (2019)

Bengtsson, M., Oksman K., The use of silane technology in crosslinking polyethylene/wood flour Composites, Composites Part A: applied science and manufacturing, 37(5), 752-765. (2006)

Bledzki, G. J. Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science, 24:221-74. (1999).

Billah M.M., Rabbi M.S., Hasan A., Injection molded discontinuous and continuous rattan fiber reinforced polypropylene composite: Development, experimental and analytical investigations, Results Mater., 13, (2022), 1-12.

Callister, W. Materials Science and Engineering, an Introduction. Canada: Wiley (1997).

Callister, W. D. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (8. Baskıdan Çeviri b.). Ankara: Nobel Yayınevi. (2013).

Erkan, Ö. Çocuk Oyun Parklarında Modül Tasarımında Ahşap Plastik Kompozit Malzemenin Kullanım Olanakları.Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. (2011)

Geçkinli, A. E. Seramikler, İleri Teknoloji Malzemeleri. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Matbaası. (1992).

Gümüş, B.E., Yağcı, Ö., Erdogan, C.D., and Taşdemir, M., Dynamical mechanical properties of polypropylene composites filled with olive pit particles, Journal of Testing and Evaluation, 47(4). (2019.)

Gümüş B.E., Yağcı Ö., Taşdemir M., High-density polyethylene/artichoke leaf powder polymer composites: dynamic mechanical, morphological and thermal properties, Iranian Polymer Journal, 31, (2022), 787-797.

Hahn, H. a. Introduction to Composite Materials, Technomic. U.K.: Technomic publishing company Inc. (1980).

Huda, M.S., Drzal, L.T., Mohanty, A.K., and Misra, M.. Effect of fiber surface treatments on the properties of laminated biocomposites from PLA and kenaf fiber, Composites Science and Technology, 68, 424-432. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.022> (2008)

İnkaya, S. Dünyada ve Türkiye’de Kompozit Sektörü, Mühendis ve Makina, Cilt 52, Sayı 613. İstanbul: TMMOB Makina Mühendisleri Odası (2011).

Korkmaz, B., Özhan, A., Peksanlı, A., Tepeyurt, GN., and Taşdemir, M., Investigation on physical and mechanical properties of high density polyethylene/artichoke leaf powder polymer composites. International conference on physical chemistry and functional materials, Fırat University, Elazığ-Türkiye, 136-140. (2018).

Kusumaningrum, W.B., and Munuwar, S.S.. Heat deflection temperature (HDT) of polypropylene composite reinforced cellulose microfibrils of oil palm empty fruit bunch and frond, Wood Research Journal, 9(1), 8-14. <https://doi.org/10.51850/wrj.2018.9.1.8-14> (2018)

Mathur, N.M., Bairwa, K.N., and Raj Kumar, R. A literature review on composite material and scope of sugar cane bagasse. *Int. Journal of Industrial Engineering Research Development*, 5(4), 125–133. (2021)

Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A., and La Mantia. F.P., Effect of adding wood flour to the physical properties of biodegradable polymer, *Composites Part A*, 39, 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.12.002> (2008)

Saçak, M. *Polimer Teknolojisi*. Ankara: Gazi Kitapevi. (2005)

Samuel, O.D., Agbo, S., and Adekanye, T.A. Assessing mechanical properties of natural fibre reinforced composites for engineering applications. *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, 11(8), 780–784. (2012)

Staiger, T. N. *Natural-fibre composites in structural applications*. Cambridge UK: Woodhead Publishing. (2008).

Sırtıkara, M., Teke, Z., Şahin, K.A., and Taşdemir, M. Investigation of the effects of carbonized and uncarbonized orange peel powder on the physical properties of polypropylene. *The international conference on materials science, mechanical and automotive engineering and technology*, Nevşehir/Türkiye. (2019)

Şahin, Y. *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara: Gazi Kitabevi. (2000)

Taşdemir, M., and Kaştan, A., Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin aşınma ve fiziksel özellikleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2) 568-576. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.876152> (2021)

Teke Z., Sırtıkara M., Şahin K.A., Taşdemir M., The Investigation of the effects of carbonized and uncarbonized orange peel powder on the mechanical properties of polypropylene, *The Int. Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Eng. and Tech.*, June 21-23 Cappadocia Türkiye. (2019)

Ulutaş E., Taşdemir M., Koçak E.D., Investigation of mechanical properties of recycled polypropylene/rice huks polymer composite, *The Int. Conference on Materials Science*,

Mechanical and Automotive Eng. and Tech., June 21-23 49-53, Cappadocia Türkiye. (2019),

Vasiliev, V., & Morozov, E. Mechanics and Analysis of Composite Materials. Australia: Elsevier Science Ltd. (2001).

Yağcı, E. Tabakalı Kompozit İnce plakaların Plaka Düzlemine Dik Yükleme Etkisi Altındaki Eğime Analizi, Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. (2007).

Zaini M. J., Fuad M.Y.A., Ismail Z., Mansor M.S., Mustafah J., The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites, Polymer, Int, 40(1), (1996), 51-55.

Zhang, X., Shen, J., Yang, H., Lin, Z., and Tan, S., Mechanical properties, morphology, thermal performance, crystallization behavior, and kinetics of PP/microcrystal cellulose composites compatibilized by two different compatibilizers, J. Thermoplastic Compos. Mater. 24(6), 735-753. <https://doi.org/10.1177/0892705711403527> (2011)

Zulkifli N.I., Samat N., Anuar H., Zainuddin N., Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene/microcrystalline cellulose composites, Mater. Des. 69, (2015), 114-123.