



**T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**ORTOFTALİK POLYESTER REÇİNE MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN  
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İLAYDA ARSLAN OCAK**

**218115014**

**DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ**

**YALOVA  
TEMMUZ 2024**



T.C.  
YALOVA ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

ORTOFTALİK POLYESTER REÇİNE MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ  
VE KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlayda ARSLAN OCAK  
218115014

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ

YALOVA  
TEMMUZ 2024

## ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “ORTOFTALİK POLYESTER REÇİNE MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

İlayda ARSLAN OCAK



## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda üstün bilgisiyle bana her zaman yol gösteren ve destek olan sayın danışman hocam Doç. Dr. İdris KARAGÖZ 'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Numunelerin üretimi sırasında yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans öğrencisi arkadaşım Aysu ÇAVUŞOĞLU' na teşekkür ederim.

Eğitim öğretim hayatım süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Mübeccel AYDIN'a, babam Levent ARSLAN'a, kardeşim İzelya ARSLAN'a, sevgili eşim Turgay OCAK'a ve canım kızım Meva Alina OCAK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2023/YL/0017 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkür ederim.

Temmuz – 2024

İlayda ARSLAN OCAK

## İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tezin Amacı .....	2
1.2. Literatür Özeti.....	3
1.3. Hipotez .....	7
2. MALZEME VE METOT .....	9
2.1. Malzemeler .....	9
2.1.1. Ortoftalik polyester reçine .....	9
2.1.2. Antep fıstığı kabuğu.....	10
2.1.3. Talk .....	11
2.2. Antep Fıstığı Kabuklarının Öğütülmesi ve Elenmesi.....	11
2.3. Karışımların Hazırlanması ve Test Numunelerinin Üretilmesi .....	12
2.4. Çekme Testi.....	12
2.5. Üç Nokta Eğme Testi .....	13
2.6. Charpy Darbe Testi.....	13
2.7. Shore D Sertlik Ölçümü .....	14
2.8. Glossmetre Parlaklık Ölçümü.....	15
2.9. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi .....	15
2.11. Termogravimetrik Analiz (TGA) .....	16
2.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi .....	17
2.13. Taramalı elektron mikroskopu (SEM).....	18
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	19
3.1. Çekme Testi Sonuçları.....	19
3.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları .....	20
3.3. Charpy Darbe Testi Sonuçları .....	22
3.4. Shore D Sertlik Ölçüm Sonuçları .....	23
3.5. Glossmetre Parlaklık Ölçüm Sonuçları .....	23
3.7. Fourier Transform Infrared Spektrometre (FT-IR) Analiz Sonuçları .....	24

3.8. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları .....	28
3.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Sonuçları .....	32
3.10. Morfolojik İnceleme Sonuçları.....	35
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	39
4.1. Sonuçlar.....	39
4.2. Öneriler.....	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ .....	47



## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

### SİMGELER

E : Elastik modül  
 $\varepsilon$  : Yüzde uzama

### KISALTMALAR

AFK : Antep Fıstığı Kabuğu  
MEK : Metil Etil Keton  
SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskopi)



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Polyester reçinelerin avantaj ve dezavantajları.....	2
Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan parametreler .....	9
Tablo 2.2. İLKESTER P®-053 kodlu polyester reçineye ait özellikler.....	10
Tablo 3.1. Çekme testine ait sayısal sonuçlar .....	20
Tablo 3.4. Glossmetre parlaklık ölçüm sonuçları .....	24



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan reçine ve ambalaj kutuları .....	9
Şekil 2.2. Antep fıstığı ve kabuğuna ait görseller .....	10
Şekil 2.3. Talkın görünümü.....	11
Şekil 2.4. Antep fıstığı kabuklarının öğütülmesi ve elenmesine ait görseller.....	11
Şekil 2.5. Karışımların hazırlanması ve test numunelerinin üretimine ait görseller .....	12
Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan çekme test cihazı .....	13
Şekil 2.7. Shore D sertlik ölçüm cihazı .....	14
Şekil 2.8. Glossmetre parlaklık ölçüm cihazı.....	15
Şekil 2.9. Çalışmada kullanılan Perkin Elmer Spectrum marka FT-IR cihazı.....	16
Şekil 2.10. Çalışmada kullanılan Seiko, TG/DTA 6300 model TGA cihazı .....	17
Şekil 2.11. Çalışmada kullanılan Mettler Toledo TGA/DSC2 Star System marka DSC cihazı( Selçuk Üniversitesi İleri Araştırma ve Uygulama Merkezi) .....	17
Şekil 2.12. Çalışmada kullanılan SEM cihazı .....	18
Şekil 3.1. Çekme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması .....	19
Şekil 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması.....	21
Şekil 3.3. Charpy darbe test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması .....	22
Şekil 3.5. Antep fıstığı kabuğuna ait FT-IR grafiği .....	25
Şekil 3.6. PESAW01 kodlu numuneye (saf polyster reçine) ait FT-IR grafiği.....	26
Şekil 3.7. PESAW02 kodlu numuneye (%40 Antep fıstığı kabuğu katkılı) ait FT-IR grafiği.....	26
Şekil 3.8. PESAW04 kodlu numuneye (%20 Antep fıstığı kabuğu + %20 talk katkılı) ait FT-IR grafiği.....	27
Şekil 3.9. PESAW06 kodlu numuneye (%40 talk katkılı) ait FT-IR grafiği .....	27
Şekil 3.10. PESAW01 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	28
Şekil 3.11. PESAW02 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	29
Şekil 3.12. PESAW03 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	29
Şekil 3.13. PESAW04 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	30
Şekil 3.14. PESAW05 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	31
Şekil 3.15. PESAW06 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği .....	31
Şekil 3.16. PESAW01 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	32
Şekil 3.17. PESAW02 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	32
Şekil 3.18. PESAW03 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	33
Şekil 3.19. PESAW04 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	34
Şekil 3.20. PESAW05 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	34

Şekil 3.21. PESAW06 kodlu numuneye ait DSC grafiği.....	35
Şekil 3.22. Saf polyester numunesine ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 520X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	35
Şekil 3.23. PESAW02 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 520X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	36
Şekil 3.24. PESAW03 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 478X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	36
Şekil 3.25. PESAW04 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 397X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	37
Şekil 3.26. PESAW05 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 473X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	37
Şekil 3.27. PESAW06 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 449X büyütme mikro yapı görüntüleri.....	38



# ORTOFTALİK POLYESTER REÇİNE MATRİSLİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

## ÖZET

Bu çalışma, ortoftalik polyester reçine matrisine Antep fıstığı kabuğu ve talk eklenmesinin polyester matrisli hibrit kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir. Çalışmada, saf polyester dahil olmak üzere, toplam dolgu oranı %40 olacak şekilde, farklı oranlarda (%10, 20, 30 ve 40) Antep fıstığı ve talk dolgu malzemeleri birlikte ve ayrı ayrı kullanılarak altı adet numune hazırlanmıştır. Kompozitlerin hazırlık süreci, Antep fıstığı kabuklarının öğütülmesi, elek makinesinde boyutsal olarak sınıflandırılması ve polimer döküm yöntemiyle test numunelerinin üretilmesini içermektedir. Sonrasında, polyester matrisli hibrit kompozitlerin mekanik, termal, yüzey parlaklığı ve mikroyapısal özellikleri karakterize edilmiştir. Çekme ve üç nokta eğilme testleri, Antep fıstığı ve talk eklenmesinin sertlik ve mekanik özellikler üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kompozitin mekanik özellikleri üzerinde Antep fıstığı kabuğuna oranla talkın etkisi daha yüksektir. Karışımda talk oranı arttıkça çekme mukavemeti, çekme elastisite modülü, eğilme mukavemeti ve eğilme elastisite modülü artmıştır. Darbe test sonuçlarında da benzer bir durum gözlenmiş, ancak en yüksek darbe mukavemet değeri PESAW03 kodlu %30 Antep fıstığı kabuğu ve %10 talk içeren kompozitte  $5.04 \pm 0.53$  kJ/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Kompozitlerin sertliği, saf polyestere oranla düşük olarak elde edilmiştir. Yüzey parlaklığı ölçümleri, daha yüksek talk içeriğinin kompoziti daha mat hale getirdiğini göstermiştir. Karışımda Antep fıstığı kabuğu oranı arttıkça yoğunluk azalırken, talk oranındaki artış kompozitin yoğunluğunu artırmıştır. Termal analiz sonuçları, talk içeriğinin kompozitin termal stabilitesini artırdığını, Antep fıstığı kabuğunun ise bu stabiliteyi bir miktar azalttığını göstermiştir. Mikroyapısal analizler, talkın kompozit içindeki daha homojen dağılımı sayesinde çatlak direncini artırdığını, ancak Antep fıstığı kabuğunun yer yer yoğunluk farklarına neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, polyester matrisli hibrit kompozitlerin performansını optimize etmek için dolgu malzemesi oranlarının dikkatlice seçilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hibrit kompozitler, Polyester kompozitler, Antep fıstığı kabuğu, Talk, Biyokompozit

# PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF HYBRID COMPOSITES WITH ORTHOPHTHALIC POLYESTER RESIN MATRIX

## ABSTRACT

This study comprehensively analyzes the effects of adding pistachio shell and talc to an orthophthalic polyester resin matrix on the properties of polyester matrix hybrid composites. In the study, a total of six samples were prepared using different ratios of pistachio shell and talc fillers, both together and separately, with a total filler content of 40%, including pure polyester. The preparation process of the composites involves grinding the pistachio shells, classifying them dimensionally using a sieve machine, and producing test samples through the polymer casting method. Subsequently, the mechanical, thermal, surface gloss, and microstructural properties of the polyester matrix hybrid composites were characterized. Tensile and three-point bending tests showed that the addition of pistachio shell and talc significantly affects the stiffness and mechanical properties. The effect of talc on the mechanical properties of the composite is higher compared to pistachio shell. As the talc ratio increases in the mixture, tensile strength, tensile modulus, flexural strength, and flexural modulus also increase. Similar trends were observed in impact test results; however, the highest impact strength was obtained as  $5.04 \pm 0.53$  kJ/m<sup>2</sup> in the PESAW03 composite containing 30% pistachio shell and 10% talc. The hardness of the composites was found to be lower compared to pure polyester. Surface gloss measurements indicated that higher talc content makes the composite more matte. While the increase in pistachio shell content decreases the density, the increase in talc content increases the density of the composite. Thermal analysis results showed that talc content enhances the thermal stability of the composite, whereas pistachio shell slightly reduces this stability. Microstructural analyses demonstrated that the homogeneous distribution of talc within the composite enhances crack resistance, whereas pistachio shell causes density variations in certain areas. These findings emphasize that careful selection of filler material ratios is essential to optimize the performance of polyester matrix hybrid composites.

**Keywords:** Hybrid composites, Polyester composites, Pistachio shell, Talc, Biocomposite

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çoğu endüstride, tek başına kullanımında karşılaması gereken dayanıklılıkta ve verimde olmayan malzemelerin istenilen özellikleri sağlaması amacıyla başka bir malzemeyle beraber üretimi gerçekleştirilen kompozitlerin sahip olduğu avantajlardan dolayı kullanımları oldukça yaygındır.

Polyester reçinelerin kullanım alanı oldukça geniştir. Tercih sebebi katıldığı malzemeyi güçlendirmek olan polyester reçineler sıklıkla yapısal mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Polyester reçineler, korozyona (metal ve alaşımlarının, içinde buldukları ortam etkisi ile iyon taşınması sonucunda, kimyasal aşınmaya uğraması ve bunun sonucunda fiziksel özelliklerinin bozulması olayı) dayanıklı polimer kompozitlerin üretimine imkân veren bir polimer malzemedir. Polyester reçineler doymuş polyesterler ve doymamış polyesterler olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Doymuş polyester reçineler termoplastik özellikler gösteren, enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan malzemelerdir. Doymamış polyesterler ise, uygun bir katalizör aracılığı ile yapı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. Polyester reçinelerin en yaygın olarak kullanılan türü doymamış polyester reçinedir. Polyester reçineler; (i)ortoftalik polyester, (ii)izoftalik polyester ve (iii)tereftalik polyester olmak üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır.

Polyester reçineler saf halde açık sarı renktedirler ve kullanım alanlarına bağlı olarak pigmentler aracılığıyla istenilen renkte elde edilebilir. Polyester reçine uygulamalarında, sıklıkla dolgu maddeleri de kullanılmaktadır. Polyester reçinelerin kullanıldığı polimer kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri dolgu maddeleri ile iyileştirilebilmektedir.

Dikarboksilik asitler ve polihidrik alkollerin (glikoller) kondenzasyon polimerizasyonu sonucu oluşan polyester reçinelerin, sıvı, jel ve film gibi farklı formları bulunmaktadır. Atmosferik koşullara dayanıklı olması nedeniyle polyester reçinelerden hazırlanan kompozitler endüstride farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Polyester reçinelerin başlıca uygulama alanları arasında; elyaf, plastik, kompozit ve kaplama uygulamaları gelmektedir. Polyester reçinelerin en fazla kullanıldığı alan kompozit malzeme üretimidir. Özellikle inşaat, havacılık ve otomotiv endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Polyester matrislerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.1'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 1.1. Polyester reçinelerin avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Düşük viskozite	Zayıf elyaf/matris bağ mukavemeti
Düşük maliyet	Gevrekleşmeye eğilim
Kolay uygulanabilirlik	Zayıf kimyasal direnç
Atmosferik koşullara dayanım	

Günümüzde, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve özellikle polimerlerin yoğun kullanıldığı sektörlerde çevresel etkilerin azaltılması, malzeme bilimi ve mühendislik alanında önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu bağlamda, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve yeniden kullanımı hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük faydalar sağlamaktadır. Antep fıstığı kabuğu, özellikle Türkiye gibi Antep fıstığı üretiminde dünya lideri olan ülkelerde bol miktarda bulunabilen ve genellikle atık olarak değerlendirilen bir biyokütle türüdür. Antep fıstığı kabuğu, yüksek selüloz ve lignin içeriği ile dikkat çekerken, aynı zamanda düşük yoğunluk ve iyi mekanik özellikler sergileyen doğal bir malzeme olarak öne çıkmaktadır. Bu özellikleri, Antep fıstığı kabuğunu kompozit malzeme üretimi için potansiyel bir takviye maddesi haline getirmektedir. Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve birleşimindeki her bir malzemenin üstün özelliklerini bir araya getiren yapılar olarak tanımlanır. Özellikle polyester reçineleri ile takviye edilen kompozitler, hafiflik, yüksek mukavemet ve iyi kimyasal direnç gibi özellikleriyle birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, Antep fıstığı kabuğunun polyester matriksli kompozit malzemelerin üretimindeki potansiyel kullanımı araştırılacaktır. Antep fıstığı kabuğu takviyeli polyester kompozitlerin mekanik, termal ve kimyasal özellikleri incelenecek ve bu malzemelerin çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygunluğu değerlendirilecektir.

## 1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, Antep fıstığı kabuğu gibi doğal ve atık bir malzemenin polyester matriste dolgu malzemesi olarak kullanılarak yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülerek

hem ekonomik kazanımlar sağlamak hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, kompozit malzeme bilimi ve çevre mühendisliği alanlarında yeni ufuklar açacak bulgular elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tez çalışması, ülkemizde bol bulunan ve yerel bir tarımsal atık olan Antep fıstığı kabuklarının ve talkla birlikte hibrit dolgu şeklinde kullanılmasıyla endüstriyel bir malzeme olan polyester kompozitlerin mukavemet, dayanıklılık ve yapısal özellikleri üzerindeki etkilerini sistematik bir şekilde değerlendirecektir. Bunlara ek olarak bu çalışma, sürdürülebilir malzeme geliştirme, atık yönetimi ve kompozit teknolojileri alanındaki bilgi birikimine katkıda bulunarak gelecekteki endüstriyel uygulamalar için önemli bir referans oluşturacaktır.

## 1.2. Literatür Özeti

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü istatistiklerine göre, Türkiye dünyanın en büyük Antep fıstığı üreticilerinden biridir (Alsaadi ve diğ., 2018). Özel iklim koşulları ve arazi gereksinimleri nedeniyle, Antep fıstığı yetiştirme ağaçları Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde, Gaziantep, Şanlıurfa ve Siirt gibi yerlerde yaygındır. Türkiye'de büyük miktarlarda üretilen Antep fıstığı kabukları hasattan sonra yakılmakta ya da tarlada bırakılmaktadır. Antep fıstığı kabuklarının polimer kompozit endüstrilerinde hammadde olarak kullanılması konusunda ise çok fazla çalışma yapılmamaktadır. Bu nedenle, Antep fıstığı kabuklarının polimer kompozitlerde dolgu maddesi olarak kullanımı ekonomik ve çevresel açıdan çok önemlidir.

Antep fıstığı kabuğu, yüksek dayanıklılık, sertlik ve elastik modül özelliklerine sahip olan ve kimyasal bileşimi (%42 selüloz, %13.5 lignin, %3.11 selüloz lignin, %1.26 kül, ve %0.18 ekstrakt) çeşitli uygulamalar için uygun bir malzeme olarak öne çıkar (Al-Obaidi ve diğ., 2020; Rizal ve diğ., 2020). Kabukların karakteristik rengi bejden beyaza kadar değişir ve bazen doğal mermer granüllerini anımsatan çok hafif bir toz halinde bulunabilirler. Bu özellikleri, Antep fıstığı kabuklarını çok yönlü biyo-bazlı bileşenler olarak değerli kılar. Bu dolgu maddesi ile polimer kompozitlerin üretimi birçok mühendislik uygulaması için uygundur. Termal ve yanma özelliklerinin inceleyen araştırmacılar (Şahin, 2006; Gürü ve diğ., 2009) uçucu kül kullanarak alev geciktirici olarak Antep fıstığı kabuk parçacıkları ile doldurulmuş polimer kompozit sunta levhaların termal özelliklerini ve yanma özelliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak, Antep fıstığı kabuk parçacıklarının esneklik, sertlik ve yangın geciktirici özelliklerinin arttığı ve inşaat uygulamalarında güvenli ve ekonomik olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Partikül kompozitlerin mikro yapısı SEM kullanılarak

karakterize edilmiştir. Karağaç (2014), mikro Antep fıstığı kabuk parçacıkları ile doldurulmuş kauçuk matrisin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini araştırmıştır. Sonuçlar, kopma uzamasının arttığını ve SEM görüntülerinin çeşitli partikül boyutlarında partikül aglomerasyonunu gözlemlediğini, daha büyük partiküllerin örnek kırılması için zayıf noktalar oluşturduğunu göstermiştir.

Doymamış polyester, epoksi ve diğer polimerlere kıyasla düşük maliyetinin yanı sıra kolay üretim ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık veya yapı malzemeleri endüstrisi gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir dizi uygulama, polimer kompozitler için polimer matris olarak polyester reçinelerini geniş çapta kullanmaktadır; su tanklarından otomobillere ve yapı malzemelerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Akovalı, 2001; Gharbi ve diğ., 2014; Alsaadi ve diğ., 2018).

Alsadi ve diğ. (2018) Antep fıstığı kabuğu ile doldurulmuş polyester kompozitlerin çekme, eğilme ve Charpy darbe davranışı incelenmiştir. Araştırmacılar, çekme, eğilme ve Charpy darbe testlerinde, Antep fıstığı kabuğu tozu ilavesinin polyester matris kompozitlerinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini tespit etmişler ve yüksek parçacık içeriklerinde mekanik özelliklerde önemli kayıplar bulunmasına rağmen, çevre dostu ve düşük maliyetli partikül polimer kompozitlerin üretilebileceği, Antep fıstığı kabuğunun partikül dolgu maddesi olarak kullanımının faydaları olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Genellikle ahşap ve plastik kompozitlerin üretiminde biyo-dolgu olarak kullanılırlar, bu sayede kompozit malzemelerin yoğunluk/mukavemet oranını artırır (Ozen ve diğ., 2024). Thiagarajan ve diğ., (2021), vakum destekli reçine enfüzyon yöntemini kullanarak cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerde %1, %2 ve %3 ağırlık yüzdelerinde Antep fıstığı kabuk tozu ekleyerek mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Çetin ve diğ., (2022), kabuk artıklarını karbonlaştırarak esnek elektriksel iletken polimer kompozitler üretmiş ve eklenme oranının artmasıyla iletkenlik değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Salazar-Cruz ve diğ., (2022), NaOH çözeltilerinde kabuk partiküllerini kimyasal olarak değiştirerek bunların termal özelliklerini incelemiş ve polipropilen kompozitlerin termal özelliklerinin kabuk miktarı arttıkça iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Ozen ve diğ. (2024), Antep fıstığı kabuğunun dolgu malzemesi olarak kullanımı incelemişlerdir. Araştırmacılar, maksimum çekme ve eğilme gerilmelerinde sırası ile %8 ve %15'lik bir iyileşme tespit ettiklerini, sertlik ve yoğunluk değerlerinin sırası ile %8 ve %1,7 oranlarında arttığını, mikroyapı analizi sonucunda ise

numunelerde herhangi bir hava kabarcığının oluşmadığı ve topaklanma meydana gelmediği tespit etmişlerdir.

Packowski ve Gawdzik (2024) fıstık kabukları (*Pistacia vera* L.) içeren, ve geri dönüştürülmüş poli(etilen tereftalat) bazlı doymamış polyester reçine ve bisfenol-A bazlı vinil ester reçinesi içeren kompozitler üzerine yaptıkları çalışmalarında, hızlandırılmış yaşlanmanın reçinenin ilave çapraz bağlanmasına yol açtığını, dolgu maddesinin ise UV ışığını emdiği gözlemlemişlerdir. Ayrıca; daldırma sırasında polimer matrisin aseton içinde bozunduğunu, buna karşın antep fıstığının eklenmesi su emilimini arttırdığını ve plastikleştirme etkisi gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Farklı tarımsal atıkların dolgu malzemesi olarak kullanılmasıyla ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Odun talaşı, fındık kabuğu, ceviz kabuğu, selüloz, kamış lifi, patlıcan sapı, ayçiçeği kabuğu, badem kabuğu, kakao ve okaliptüs lifi gibi organik katkı maddeleri, doğal ve çevre dostu olmaları nedeniyle polimer özelliklerini artırmada umut vaat etmektedirler (Çakır ve Karagöz, 2023). Lif ve tekstil yüzey takviyeli kompozit malzemeler geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler. Son zamanlarda, cam lif gibi sentetik karşılıklarına alternatif olarak bitki lifleri önemli birer seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Gerçekten de, bazı bitki lifi tabanlı termoplastik kompozitler mobilye, ambalaj, inşaat ve otomotiv gibi endüstrilerde giriş yapmış durumdadır (Onat ve diğ., 2013; Cengiz ve diğ., 2021). Bu kompozitlerde buğday sapı, pirinç kabuğu, kenevir lifleri, ceviz kabuğu, fındık kabuğu ve çeşitli kurutulmuş meyve kabukları gibi tarımsal atıklar doğal lif olarak kullanılmaktadır. Ancak, sadece odun talaşı ve fındık kabuğu gibi organik katkı maddelerine bağlı kalmak istenilen termal ve mekanik özelliklerin elde edilmesini engelleyebilir. Geri dönüşüm zorluklarıyla başa çıkmak ve daha çevre dostu malzemelerin gelişimini teşvik etmek için plastiklerdeki inorganik katkı maddelerinin yaygınlığını azaltmak son derece önemlidir.

Araştırmalar, organik bileşenlerin (örneğin fındık kabuğu gibi) ve inorganik katkı maddelerinin (kalsit, talk, wollastonit ve kil gibi) harmonik bir karışımının kompozit malzemelerin termal ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir (Kandemir ve diğ., 2023). Çavuşoğlu ve ark. (2023a), fındık kabuğu dolgulu polipropilen (PP) ile araç güneşlikleri üretmişlerdir. Araştırmacılar sadece fındık kabuğu eklemenin kompozit yapının mekanik özelliklerini azalttığını ve farklı inorganik katkı maddeleri ile kompozit özelliklerinin artırılabilirliğini belirtmişlerdir. Karagöz (2024), farklı oranlarda ceviz kabuğu kullanarak PLA matrisli kompozitler ürettiği bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ceviz kabuğunun kompozit yoğunluğunu azalttığını, bu da ağırlığın önemli bir faktör olduğu

uygulamalarda avantajlı olduğunu belirtmiştir. Çavuşoğlu ve ark. (2023b), CK ve PP kullanarak yaptıkları çalışmada, CK içeriği arttıkça malzemenin renginde önemli bir değişiklik gözlemlemişlerdir. Ceviz kabuğu esaslı yeşil kompozitlerin çeşitli alanlarda uygulama bulabileceğini ve farklı özelliklere sahip yeşil kompozit malzemeler oluşturmak için diğer organik ve inorganik malzemelerle birleştirilebileceğini önermişlerdir.

Srivastava ve ark. (2013), ağırlık yüzdeleri %10 ila %40 arasında değişen CK parçacıkları kullanarak yenilikçi bir epoksi kompozit malzeme hazırlamışlardır. CK parçacıklarının ağırlığı ile su emme kapasitesinin doğru orantılı olarak arttığını bulmuşlardır. Mekanik testler, %30 CK içeren kompozitin en yüksek çekme mukavemetine ulaştığını göstermiştir. Nitin ve Singh [9], ağırlıkça %10 ila %40 arasında değişen CK parçacıklarını dolgu malzemesi olarak kullanarak epoksi matrisli kompozitler hazırlamışlardır. %10 CK içeren kompozitin maksimum çekme mukavemetinin 42.95 MPa olduğunu, dolgu miktarı arttıkça bu değer 34.0 MPa'ya düştüğünü rapor etmişlerdir. Elastisite modülünde ise küçük bir değişiklik gözlemlemişlerdir. Akbaş ve ark. (2013), PP ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimer matrislerinde CK tozu kullanarak dolgu malzemesi olarak test etmişlerdir. Kopçalı polipropilen maleik anhidrit (MAPP) bağlayıcı ajan olarak eklenmiştir. En iyi sonuçlar, sırasıyla %47, %3 ve %50 CK tozu-MAPP-PP içeren kompozitlerde çekme, eğilme ve darbe dayanımı için elde edilmiştir. Bağlayıcı ajanın çekme ve eğilme dayanımını artırdığını, PE tabanlı kompozitlerde ise darbe dayanımı üzerinde minimal bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Mohammed (2014), %0 ila %25 arasında değişen CK tozu ağırlık yüzdeleri ile LDPE kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Dolgu miktarı arttıkça elastisite modülünde bir artış gözlemlemişlerdir. En başarılı mekanik özellikler, %5 ve %10 CK içeren kompozitlerde elde edilmiştir. Tüm kompozitler, saf LDPE'ye kıyasla daha düşük kırılma uzaması göstermiştir. Obidiegwu ve ark. (2014), matris malzemesi olarak PP kullanan ve %0 ila %20 arasında değişen CK tozu ağırlık yüzdeleri ile kompozitler hazırlamışlardır. Çekme mukavemetinin, dolgu miktarı arttıkça azaldığını, kırılma uzamasının da azaldığını bulmuşlardır. Sertlik ve su emilimi ise dolgu miktarıyla artmıştır. Ancak, çekme özelliklerinde önemli bir iyileşme gözlenmemiştir.

Garcia ve ark. (2011), polipropilene nanokil ve cam lifi eklemenin sürtünme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tüm malzemeler için yüzeyin artan pürüzlülüğünün sürtünme katsayısını artırdığını bulmuşlardır. Örneğin, saf PP'nin sürtünme katsayısı 0.32 iken, %300 pürüzlülük artışı ile 0.42'ye yükselmiştir. PP + %6 Nanokil, ilk başta 0.23 olan en düşük katsayıya sahiptir, aynı pürüzlülük artışı ile 0.34'e yükselmiştir. PP + %10 Cam lifi + %2

Nanokil ise PP + %10 Cam lifi ile benzer bir katsayı göstermiştir. Prabhu ve ark. (2016), polipropilen üzerine kalsiyum karbonat eklemenin mekanik ve tribolojik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu eklemenin ardından Rockwell sertliğinin 55'ten 68'e yükseldiğini ve çekme mukavemetinin %6.06 arttığını bulmuşlardır. Aşınma testleri, aynı CaCO<sub>3</sub> eklemesi ile aşınma oranının  $1.44 \times 10^{-15}$  mm<sup>3</sup>/Nm'den  $1.20 \times 10^{-15}$  mm<sup>3</sup>/Nm'ye düştüğünü göstermiştir. Sürtünme katsayısı da %18 artarak 0.49'dan 0.58'e yükselmiştir, 18 dakika sonra 0.58'e ulaşmıştır.

### **1.3. Hipotez**

Antep fıstığı kabuğu takviyeli polyester kompozit malzemeler, otomotiv, havacılık ve raylı taşıma araçlarında geleneksel dolgu maddeleri ile takviye edilmiş polyester kompozitlere göre üstün mekanik, termal ve kimyasal özellikler sergileyebilir. Bu malzemeler, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet gibi özellikleri sayesinde ağırlık tasarrufu ve performans artışı sağlayarak, sürdürülebilir malzeme geliştirme ve atık yönetimi açısından önemli avantajlar sunar. Antep fıstığı kabuğu gibi yerel ve bol bulunan bir tarımsal atığın kullanımı, maliyetleri düşürerek ekonomik kazanımlar sağlarken, çevresel etkileri de azaltabilir. Polyester reçinelerin düşük maliyet, kolay uygulanabilirlik ve atmosferik koşullara dayanıklılık gibi avantajları, Antep fıstığı kabuğu ile takviye edildiğinde daha da iyileşebilir. Bu kompozit malzemeler, özellikle inşaat, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanım için uygun bir alternatif oluşturarak, sürdürülebilir ve yüksek performanslı malzeme çözümleri sunabilir.



## 2. MALZEME VE METOT

### 2.1. Malzemeler

Çalışmada matris malzemesi olarak İLKESTER P®-053 kodlu KP döküm tipi ortoftalik polyester reçine, dolgu malzemesi olarak ise Antep fıstığı kabuğu ve Asil Kimya'dan temin edilen Talk 5 kodlu talk kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan parametreler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan parametreler

Kod	Polyester (%w)	Antep Fıstığı Kabuğu (%w)	Talk (%w)
PESAW01	100	-	-
PESAW02	60	40	-
PESAW03	60	30	10
PESAW04	60	20	20
PESAW05	60	10	30
PESAW06	60	-	40

#### 2.1.1. Ortoftalik polyester reçine

İlkalem ticaret (İstanbul, Türkiye) tarafından üretilen döküm tipi İLKESTER P®-053 kodlu polyester reçine, genel olarak standart döküm uygulamaları için geliştirilen, ortoftalik doymamış bir polyester reçinedir. Reçine, içeriğine eklenen dolgularla iyi uyum sağlayabilen yapıya sahiptir. Reçine döküm sonrası hızlı ve kararlı bir şekilde şekil alması yapılan çalışmada tercih edilmesini sağlamıştır. Ortoftalik polyester reçineye ait özellikler Tablo 2.2'de ve ambalajına ait görseli ise Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan reçine ve ambalaj kutuları

Tablo 2.2. İLKESTER P®-053 kodlu polyester reçineye ait özellikler

Özellik	Açıklama
Görünüm	Şeffaf
Parlama noktası	32 °C
Kendi kendine tutuşma derecesi	490 °C
Kaynama noktası (Stiren)	145,2 °C
Spesifik ağırlık	1.11 -1.12 (20 °C)
Suda çözünürlük	Çözünmez
Uçucu yüzdesi, %w	34-36
Viskozite (Brookfield RVT)	500-700 cps. (#2, 20 rpm, 20 °C)

### 2.1.2. Antep fıstığı kabuğu

Antep fıstığı (*Pistacia vera*) dünyada ve ülkemizde üretimi ve tüketimi yaygın olan yenilebilen kabuklu meyvedir. Antep fıstığı ağacı diğer ağaç türlerine göre daha uzun ömürlüdür. Tahmini yaşam süresi 250 ila 300 yıl arasındadır. Antep fıstığı kabuğunun uzun ömürlü oluşu, biyobozunur hibrit kompozitlerde tercih edilebilir bir madde olarak kullanımında tercih edilebilir bir biyomalzeme sayılabilir. Aynı zamanda ülkemizin dünyanın önde gelen antep fıstığı üreticilerinden oluşu malzemeyi kullanım açısından ekonomik bir alternatif haline getirir. Dünyadaki Antep fıstığı üretim oranları göz önüne alındığında; Antep fıstığı kabuğunun kompozit üretiminde kullanılabilirliği onu ülkemiz çiftçileri açısından ekonomik bir alternatif haline getirmektedir. Türkiye, dünya Antep fıstığı üretiminin %12'sini karşılamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Çalışmada antep fıstığının sert kabuk kısmı kullanılmıştır. Kabuk üzerinde iç kısma air kalan yumuşak kalıntılar hava yardımıyla temizlenerek ayrıştırılmıştır.



Şekil 2.2. Antep fıstığı ve kabuğuna ait görseller

### 2.1.3. Talk

Genel olarak hidratlanmış magnezyum silikadan oluşan bir mineraldir. Talk doğada çoğunlukla bütün, nadir olarak da kristaller olarak da bulunabilirler. Talk  $H_2Mg_3(SiO_3)_2$  ya da  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$  kimyasal formülüne sahiptir. Çalışmada talk 5 kodlu, 44 mikron elek bakiyesi ve yoğunluğu 2,73 gr/ml olan talk kullanılmıştır. Talkın genel görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Talkın görünümü

### 2.2. Antep Fıstığı Kabuklarının Öğütülmesi ve Elenmesi

Kompozit üretimi için Antep fıstıkları sert kabuksu dış kısımları ayrılarak temizlendi ve kabuk kısmı Şekil 2.4'te verilen hububat öğütücüsü kullanılarak öğütüldü. Şekil 2.4'te Antep fıstığı kabuklarının öğütülmek üzere hububat öğütücüsüne konulması işlemi ve Antep fıstığı kabuklarının öğütme sonrası görüntüsü verilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde değişimlere sebep olmaması amacıyla Antep fıstığı kabukları elenerek farklı boyutlarda sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.4. Antep fıstığı kabuklarının öğütülmesi ve elenmesine ait görseller

### 2.3. Karışımların Hazırlanması ve Test Numunelerinin Üretilmesi

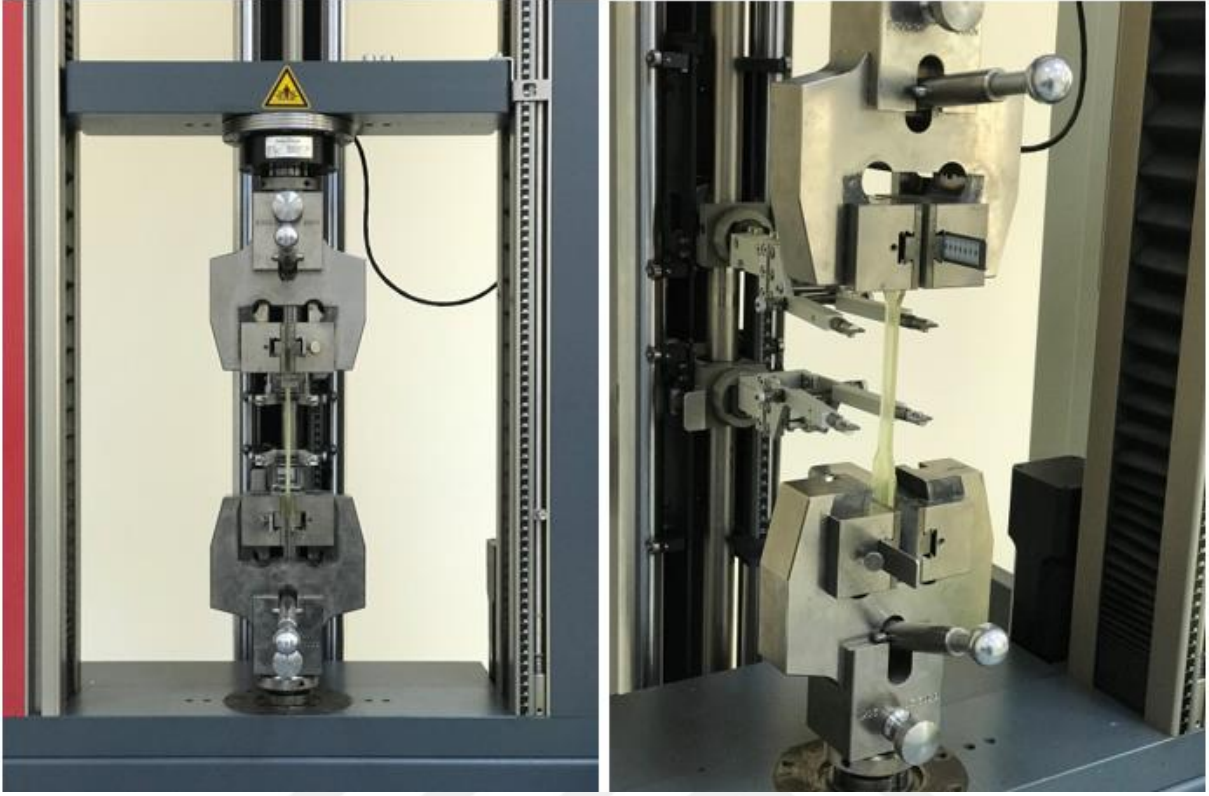
Çalışmada hububat öğütücüde öğütülen Antep fıstığı kabukları çeşitli ölçeklerdeki eleklerden elenerek numune üretimine hazır hale getirilmiştir. Numune üretiminde elek kullanımının amacı Antep fıstığı kabuklarının reçineyle ve kullanılan dolguyla daha homojen yapıda olabilmesi içindir. Karışımların hazırlanması ve üretimi yapılan test numuneleri şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Karışımların hazırlanması ve test numunelerinin üretimine ait görseller

### 2.4. Çekme Testi

Çekme testi şekil 2.6'da görülen Zwick/Roel Z020 test cihazında yapılmıştır. Numunelerin testi 5 mm/dk çekme hızı ile yapılmış ve sonuç olarak elastik modül (E), çekme mukavemeti (Mpa), yüzde uzama( $\epsilon$ ) ve stress (Mpa) değerleri belirlenmiştir. Çekme testinde numuneler test cihazının çeneleri arasına sabitlenmiş ve sonrasında çekilmiştir. Test cihazı numunelere çekme testi uygularken, cihaz testi yapılan her bir numunenin(gerilim-uzama) boyut değişim grafiğini çıkartarak numunelerin mekanik özellikleri yorumlanmıştır.



Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan çekme test cihazı

## 2.5. Üç Nokta Eğme Testi

Üretimi yapılan test numunelerinin üç nokta eğme testi şekil 2.6’da gösterilen Zwick/Roel Z020 test cihazında basma aparatının takılmasıyla yapılmıştır. Numunelerin testi 2 mm/d baskı olacak şekilde yapılmıştır. Numuneler belirlenen aralık ve ölçüde iki uç arasında yerleştirilerek baskı oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile numunelerin eğilme özelliklerinin tespit edilmesini sağlamıştır.

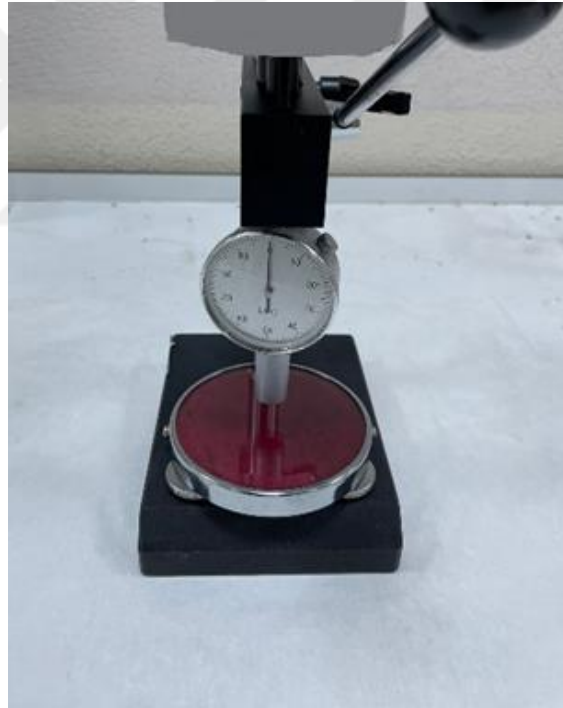
## 2.6. Charpy Darbe Testi

Darbe testlerinin yapılaş amacı, üretilen malzemelerdeki kırılmaya neden olacak gerilme birikimini darbe esnasında malzeme tabanına yapay olarak uygulayarak malzemenin darbe esnasında dinamik zorlamalara karşı göstereceği mukavemeti hesaplamaktır. Darbe deneyinde, numunenin yapay kuvvet altında kırılması için gereken enerji miktarının doğru

tayin edilmesi gerekir. Elde edilen bu değer o malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır.

## 2.7. Shore D Sertlik Ölçümü

Çalışmada numunelerin sertlik ölçümleri için Shore D ölçü birimi kullanılmıştır. Shore terimi malzemelerin sertliğini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Shore değeri genel olarak Shore A ve Shore D olmak üzere parametrede yapılmaktadır. Shore A yumuşak kauçuk malzemelerin sertlik ölçümünde Shore D ise daha sert ve rijit nesnelere değerlerine sertlik ölçümüne bakılmak için kullanılmaktadır. (Adıbelli, Ü.) Shore değeri ölçümü durometre adı verilen cihazla yapılmaktadır. Ölçümlerde şekil 2.7' de gösterilen Loyka marka Ceast model durometre kullanılmıştır.



Şekil 2.7. Shore D sertlik ölçüm cihazı

Sertlik ölçümünde durometrenin göstergesine bağlanmış bir iğne yardımı ile numuneye batma oranı ile ölçülmektedir. Dalma ucu, standartlarca belirlenmiş bir yaylı sistem tarafından hareket ettirilir ve batırılan malzeme üzerinde ne kadar az yol almış ise malzemenin sertliği o kadar yüksektir.(Adıbelli Ü.,2022)

## 2.8. Glossmetre Parlaklık Ölçümü

Çalışmada numunelerin estetik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Parlaklık ölçümlerinde kullanılan Elcometer marka micro-gloss 60 model cihaz şekil 2.8’de gösterilmiştir. Doğru bir ölçüm elde etmek için parlaklık karakteristikleri aynı olan yüzeylerin ölçümlerinde, aynı sonuçlar elde edilmelidir. Parlak yüzeylerde genellikle yüzey parlaklığı birden fazla ölçümle elde edilmekteyken mat yüzeyler için tek ölçüm genellikle yeterli gelmektedir. Parlaklık ölçüm cihazları üç farklı derece kullanarak ölçüm yaparlar. Mat yüzeylerde 20° tercih edilirken parlak olan yüzeylerde ölçüm açısı 85° tercih edilmektedir. 60° ölçüm yapan türleri ise genellikle hem mat hem parlak yüzeylerde ölçüm yapılırken tercih edilmektedir. Cihazın çalışma prensibi ise şu şekildedir; ışık belirlenen açı ile yüzeye yansıtılır ve cihazın öbür tarafındaki sensöre ulaşır. Yüzeye yansıyan ışığın miktarı ölçülerek cihaz kaynağından gelen ışığın miktarına göre oranlanır ve çıkan sonuç parlaklık birimi olarak ölçülür.

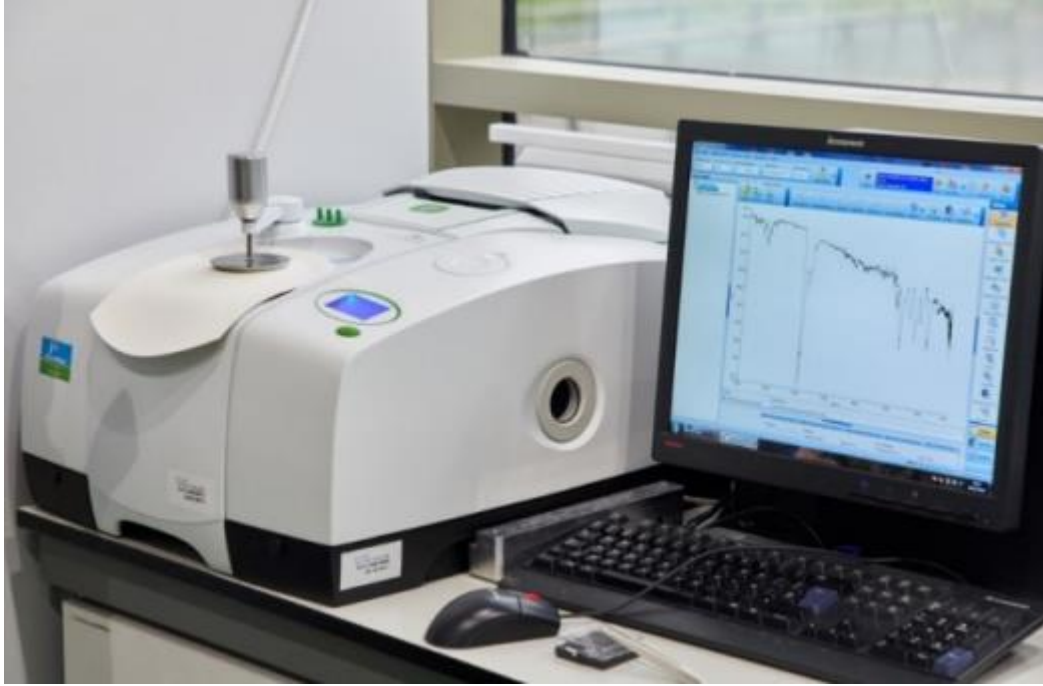


Şekil 2.8. Glossmetre parlaklık ölçüm cihazı

## 2.9. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

Kızılötesi (IR) spektroskopisi, organik veya inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde kullanılan bir cihazdır. IR spektrumu, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon piklerinin çözülmesi ile belirlenmektedir. (Tuba Büyüksırt, Hakan Kuleaşan,2013) FTIR testinin yapılmasının amacı

test edilmek istenen numunenin yapısında bulunan fonksiyonel grupların aynı karakterde olup olmadığını, yapısındaki bağların durumu, bağlanma şekli ve organik yapısının belirlenmesidir. Çalışmada kullanılan Perkin Elmer Spectrum marka FT-IR cihazı şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Çalışmada kullanılan Perkin Elmer Spectrum marka FT-IR cihazı

### **2.11. Termogravimetrik Analiz (TGA)**

Çalışmada numunelerin TG/DTG değerlerini ölçmek için TGA analizi kullanılmıştır. TG/DTG verileri, aynı deney şartları altında elde edilen ölçümler kullanılarak, aynı monomerden elde edilmiş polimerlerin termal kararlılıklarının ölçümünde ve polimer-polimer veya polimer-katkı etkileşimlerinin gözlemlenmesinde kullanılmaktadır. TGA analizi numuneler ısıtıldığında meydana gelen ağırlık değişiminin izlenerek uçucu bileşenlerinin termal stabilitesini gözlemlmek için kullanılmaktadır. Çalışma prensibi açısından kullanılan en basit ve pratik yöntemlerden biridir. Çalışmada kullanılan Termal Gravimetrik Analiz/Dinamik Termal Analiz (TG/DTA) Sistemi (Seiko, TG/DTA 6300) model TGA ölçüm cihazı şekil 2.10’da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Çalışmada kullanılan Seiko, TG/DTA 6300 model TGA cihazı

## 2.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analizi

DSC, numune parça soğutulması/ısıtılması veya sabit sıcaklıkta tutulması esnasında soğrulan enerji miktarını ölçerek referans numune ile farklılığın saptanması esasına dayanan bir ısıl test yöntemidir. Çalışmada DSC camısı geçiş sıcaklığının (Tg) belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. DSC testi ISO 11357-1 Standardına göre Konya Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında bulunan ve Şekil 2.11’de görseli verilen Mettler Toledo TGA/DSC2 Star System marka test cihazında 25 - 250 °C arasında ve 10 mm/dk ısıtma hızında yapılmıştır.



Şekil 2.11. Çalışmada kullanılan Mettler Toledo TGA/DSC2 Star System marka DSC cihazı( Selçuk Üniversitesi İleri Araştırma ve Uygulama Merkezi)

### 2.13. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Yapılan çalışmada üretimi gerçekleştirilen test numunelerinin morfolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla SEM cihazıyla yakın yüzey özelliklerinin görüntülenmesi gerçekleştirilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibi genel olarak testi gerçekleştirilecek numune üzerine yöneltilen bir elektron topluluğuyla numune yüzeyini tarayarak katot ışınları tüp ekranına aktarılmasıyla görüntü elde edilmesi şeklindedir.



Şekil 2.12. Çalışmada kullanılan SEM cihazı



Tablo 3.1. Çekme testine ait sayısal sonuçlar

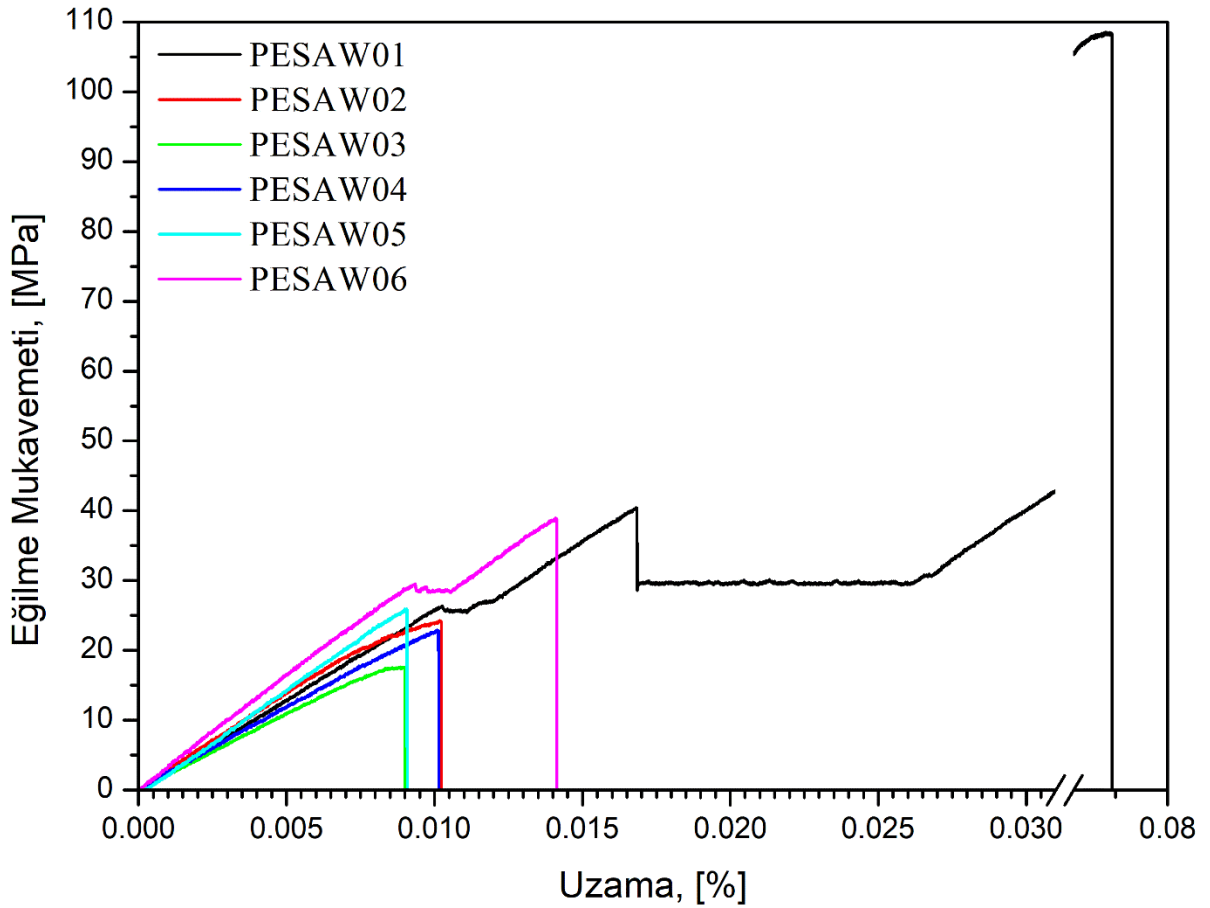
Numune Kodu	Elastisite Modül (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
PESAW01	1639,45±40,30	49,98±25,46	4,69±3,47
PESAW02	1263,47±324,49	15,29±4,02	1,60±0,65
PESAW03	1019,28±394,97	14,33±3,25	2,53±1,12
PESAW04	1236,97±236,61	18,74±1,58	2,15±0,45
PESAW05	1644,79±104,47	19,82±1,69	1,30±0,11
PESAW06	1617,24±421,36	27,35±6,93	1,96±0,15

### 3.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

Üç nokta eğilme testi sonucuna ait Tablo 3.2’de ve Üç nokta eğilme testine ait grafiklerin karşılaştırılması ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Saf polyesterin eğilme mukavemeti 98.55 MPa ve eğilme elastisite modülü ise 2717,79 MPa olarak elde edilmiştir. Saf polyestere %40 oranında Antep fıstığı kabuğu eklendiğinde eğilme mukavemeti %76,05 oranında azalmıştır. Saf polyestere %40 talk eklendiğinde ise eğilme mukavemeti %65,02 azalmıştır. Kompozite Antep fıstığı kabuğu ve talk birlikte eklendiğinde, talk oranı arttıkça kompozitin eğilme mukavemet değeri ve elastisite modülünün arttığı görülmüştür. Eğilme mukavemeti üzerinde Antep fıstığı kabuğuna oranla talkın daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Kompozitlerde en yüksek eğilme mukavemeti %40 talk katkılı PESAW06 kodlu numunede 34,47 MPa olarak elde edilmiştir. Kompozitlerde en yüksek eğilme elastisite modülü %40 talk katkılı PESAW06 kodlu numunede 2893,37 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek eğilme uzaması saf polyesterde 0,0644 mm/mm ve kompozitlerde ise PESAW06 kodlu kompozitte (%40 talk katkılı) 0,0139 mm/mm olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.2. Üç nokta eğme testine ait sayısal sonuçlar

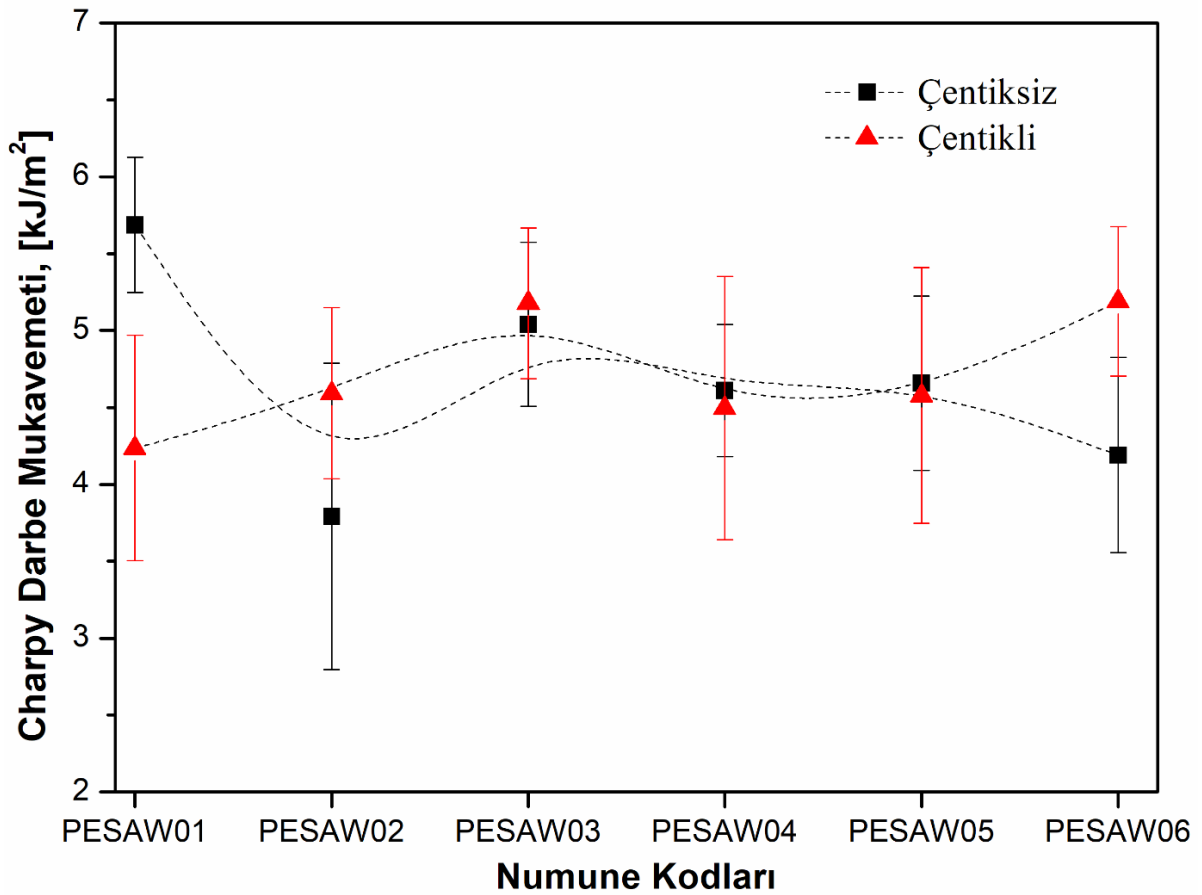
Numune Kodu	Elastisite Modül (MPa)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Eğilme Uzaması (mm/mm)
PESAW01	2717,79±162,37	98,55±21,35	0,0644±0,0165
PESAW02	2758,30±282,12	23,60±2,74	0,0105±0,0028
PESAW03	2027,14±188,02	17,65±0,72	0,0101±0,0008
PESAW04	2378,95±128,28	23,45±2,07	0,0101±0,0008
PESAW05	2718,59±495,94	23,71±2,86	0,0098±0,0019
PESAW06	2893,37±381,59	34,47±5,08	0,0139±0,0004



Şekil 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması

### 3.3. Charpy Darbe Testi Sonuçları

Darbe testi hazırlanan kompozit numunelere çentikli ve çentiksiz olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların x-y grafiği şeklinde karşılaştırılması Şekil 3.3'te verilmiştir. İlk olarak numuneler üzerinde çentik açılarak kırılma oranları kolaylaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığı zaman en yüksek darbe mukavemetini gösteren numunenin PESAW01 olduğu görülmüştür. PESAW01 saf reçine numunesidir. PESAW01den sonra en yüksek mukavemet değerini PESAW03 çentikli numunenin gösterdiği gözlemlenmiştir. PESAW03 %30 Antep Fıstığı kabuğu ve %10 talk içermektedir. Yapılan test sonucunda PESAW02 (%40 Antep fıstığı kabuğu katkılı) numunesi haricinde diğer numunelerde de şekil 3.3'te gösterildiği gibi PESAW01 kodlu saf reçine numunesine ait sonuca yakın sonuçlar ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Charpy darbe test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması

### 3.4. Shore D Sertlik Ölçüm Sonuçları

Shore D genellikle daha sert ve rijit nesnelerin değerlerine sertlik ölçümüne bakılmak için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada numunelerin termoset olması sebebiyle sertlik ölçüm değerleri Shore D değeri üzerinden hesaplanmıştır. Numunelerin Shore D değerleri tablo 3.3'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3. Shore D sertlik ölçümüne ait sayısal sonuçlar

Numune Kodu	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm	ORT.	Standart Sapma
PESAW01	84	82	84	85	83	83.6	1.1
PESAW02	78	81	78	81	81	79.8	1.6
PESAW03	75	74	76	77	80	76.4	2.3
PESAW04	77	78	76	75	75	76.2	1.3
PESAW05	83	79	77	81	81	80.2	2.3
PESAW06	79	80	77	81	79	79.2	1.5

PESAW01 numune kodlu saf polyestere ait ölçüm ortalaması 83.6 N olarak ölçülmüştür. Numunelerin ortalamaları karşılaştırıldığı zaman en yüksek değerlere sahip numunelerin PESAW02 ve PESAW05 kodlu numuneler olduğunu görmekteyiz. PESAW02 %40 Antep fıstığı kabuğu içermektedir. PESAW05'in içeriği ise %10 Antep Fıstığı kabuğu ve %30 talk şeklindedir. Saf polyestere %30 oranında Antep fıstığı ve %10 oranında talk eklendiğinde PESAW05 kodlu numunenin Shore D ortalamasının %3,82 oranında azaldığı görülmüştür.

### 3.5. Glossmetre Parlaklık Ölçüm Sonuçları

Çalışmada kullanılan Antep fıstığı kabuğu, talk ve polyester reçine katkılı 6 adet numunenin glossmetre parlaklık ölçüm sonuçları Tablo 3.4'te gösterilmektedir. PESAW01 numune kodlu saf polyesterin yüzey parlaklığı 56,52 GU olarak ölçülmüştür. %40 Antep fıstığı kabuğu katkılı PESAW02 numunesinin parlaklık kaybının %28,86 olduğu görülmüştür. Diğer numune örneklerine kıyasla parlaklık kaybının en az olduğu test numunesi PESAW02 kodlu

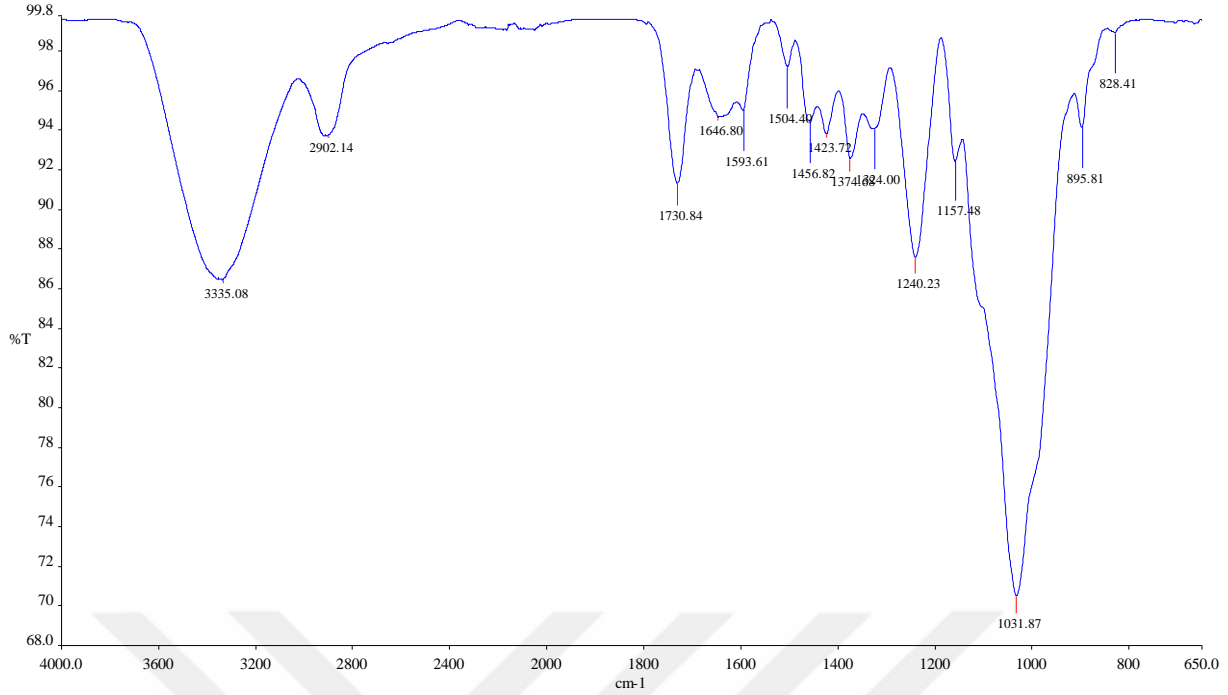
numunedir. Talk katkılı numunelerde parlaklık kayıplarının arttığı görülmüştür. PESAW03 kodlu numunede (%30 Antep fıstığı kabuğu + %10 talk) iki dolgunun beraber kullanımında parlaklık kaybının en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Talk oranının arttıkça numunelerdeki parlaklık kaybının kısmen daha az olduğu söylenebilir. Antep fıstığı kabuğunun talk olmadan kullanımında parlaklık üzerinde daha iyi bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4. Glossmetre parlaklık ölçüm sonuçları

Numune Kodu	Yüzey Parlaklık Değeri (GU 60°)	Parlaklık Kaybı (%)	Parlaklık sınıfı
PESAW01	56,52	-	İpek mat
PESAW02	41,34	26,86	İpek mat
PESAW03	7,36	86,98	Mat
PESAW04	12,92	77,15	Yarı mat
PESAW05	13,16	76,72	Yarı mat
PESAW06	13,9	74,41	Yarı mat

### 3.7. Fourier Transform Infrared Spektrometre (FT-IR) Analiz Sonuçları

Antep fıstığı kabuğunun FT-IR spektrumuna ait grafik Şekil 3.5'te verilmiştir. Antep fıstığı kabuğunun FT-IR spektrumunda genellikle organik bileşiklerin karakteristik pikleri bulunmaktadır. Bu bileşikler arasında selüloz, lignin, ve diğer bitkisel materyallerin kalıntıları yer alır. Su, selüloz ve lignin gibi bileşenlerin varlığı nedeniyle,  $3335\text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda geniş ve güçlü O-H streç pikleri gözlemlenmektedir. Bu piklerin su ve hidroksil gruplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Metil (CH<sub>3</sub>) ve metilen (CH<sub>2</sub>) gruplarının bükülme pikleri genellikle  $1400\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$  arasında görülmektedir. Lignin ve diğer fenolik bileşenlerden kaynaklanan C=O ve aromatik C=C streç pikleri  $1600\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$  arasında gözlemlenmiştir. Selüloz ve lignin gibi polisakkaritlerin varlığı  $1000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  dalga boyları arasında C-O streç piklerinin oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca antep fıstığı kabuğunun sahip olduğu lignin içeriğinden dolayı,  $1500\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$  arasında aromatik C-C streç pikleride görülmektedir.

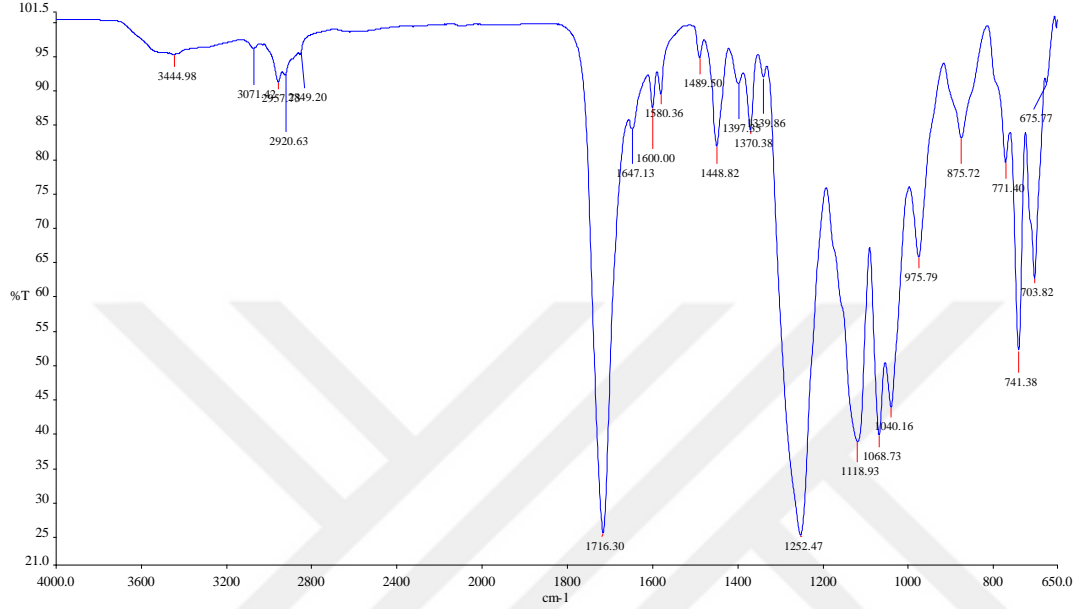


Şekil 3.5. Antep fıstığı kabuğuna ait FT-IR grafiği

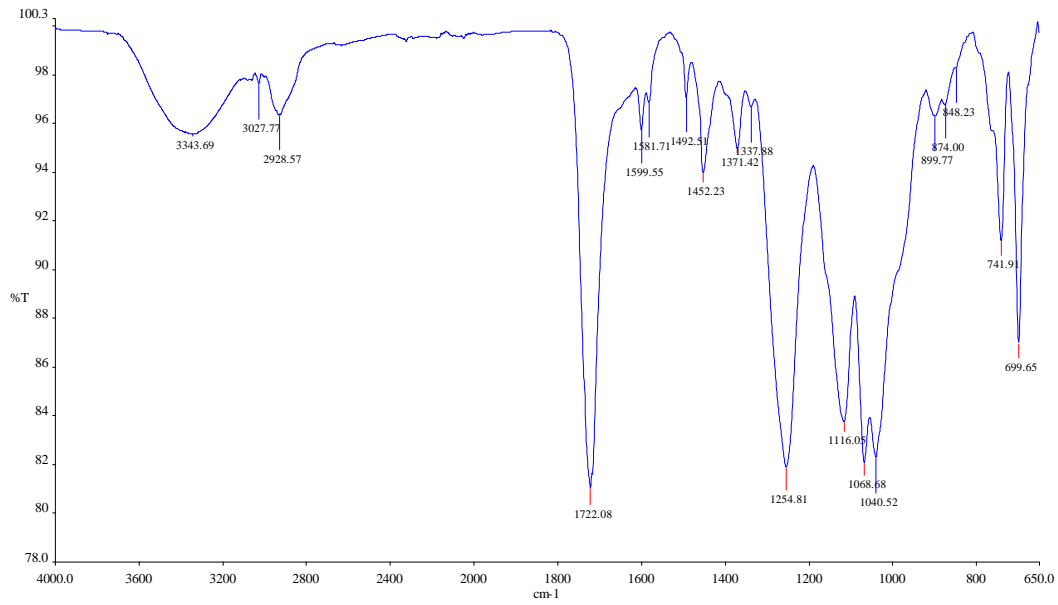
Saf polyesterin FT-IR spektrumuna ait grafik Şekil 3.6'da verilmiştir. Grafikte FT-IR spektrumuna ait belirgin piklere rastlanmıştır. Polyesterlerde ester grubunun varlığından dolayı,  $1716\text{ cm}^{-1}$  civarında güçlü bir C=O (karbonil) streç piki görülmektedir. Polyesterlerin özelliklerinden biri de polietilen glikol (PEG) ve tereftalik asit türevlerinin polikondenzasyonu ile oluşmalarıdır. Bu nedenle, polyesterlerin FT-IR spektrumunda,  $1100\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  arasında C-O-C streç pikleri görülmektedir. Tereftalik asit türevleri içeren polyesterlerde, aromatik halkanın varlığından dolayı  $1500\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$  arasında aromatik C-C streç pikleri mevcuttur. Poliesterlerde metilen (CH<sub>2</sub>) ve metil (CH<sub>3</sub>) gruplarının bükülme pikleri de  $1200\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$  arasında mevcuttur.

Talk katkılı kompozitlerde talkın karakteristik piklerinin varlığı görülmektedir. Talk (magnezyum silikat), FT-IR spektrumunda belirli karakteristik piklere sahiptir. Talkın en belirgin pikleri,  $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$  arasında Si-O-Si asimetrik streç pikleridir. Bu pikler, silikat yapıların karakteristik özelliklerinden kaynaklanır ve talkın temel yapı birimi olan silikat zincirlerinden gelir. Si-O-Si simetrik streç pikleri, genellikle  $800\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  arasında yer almaktadır. Asimetrik streç piklerine benzer şekilde, silikat zincirlerinden kaynaklanırlar. Talkın yüzeyinde veya yapısında adsorbe edilmiş su moleküllerinden kaynaklanan O-H bükülme pikleri genellikle  $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$  arasında görülmektedir. Talk yüzeyindeki

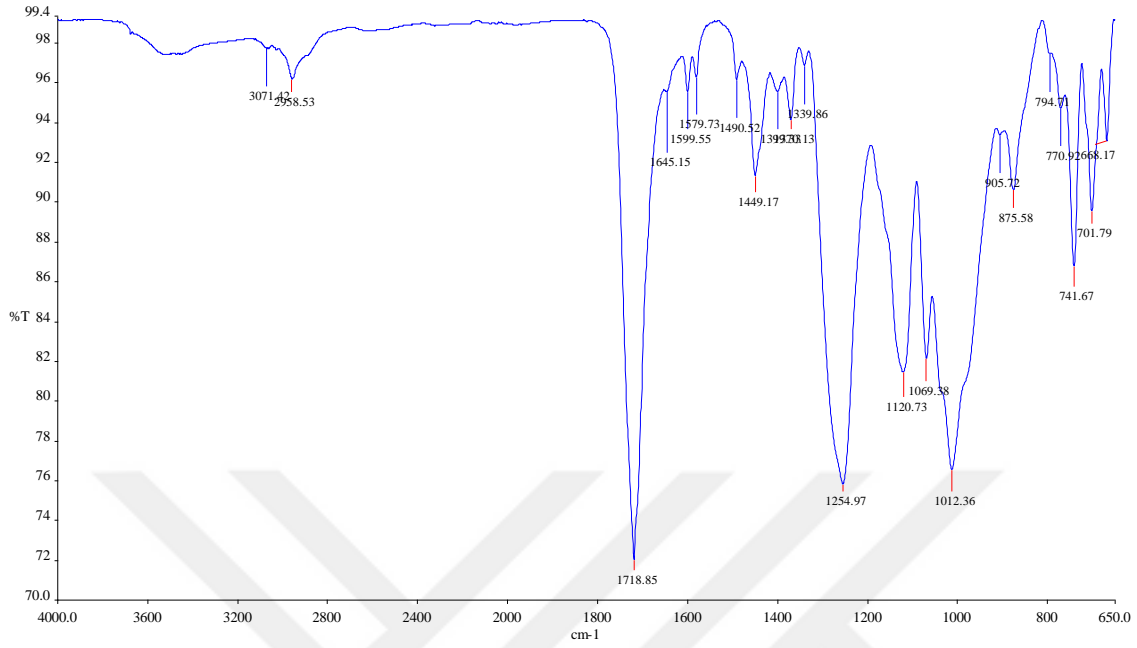
hidroksil grupların varlığına bağlı olarak O-H streç pikleri genellikle 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  arasında gözlemlenmektedir. PESAW02 (Şekil 3.7), PESAW04 (Şekil 3.8) ve PESAW06 (Şekil 3.9) kodlu kompozitlerin FT-IR spektrumuna ait grafikler altta verilmiştir. Kompozitler genel olarak polyester, Antep fıstığı kabuğu ve talkın karakteristik piklerini sergilemektedir.



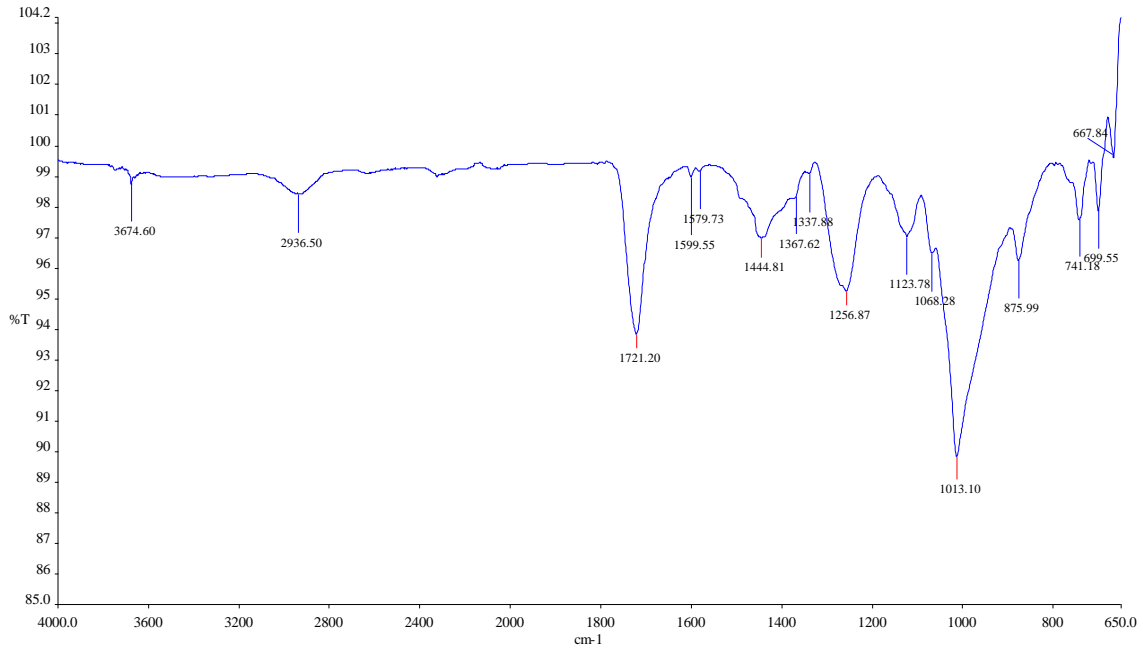
Şekil 3.6. PESAW01 kodlu numuneye (saf polyester reçine) ait FT-IR grafiği



Şekil 3.7. PESAW02 kodlu numuneye (%40 Antep fıstığı kabuğu katkı) ait FT-IR grafiği



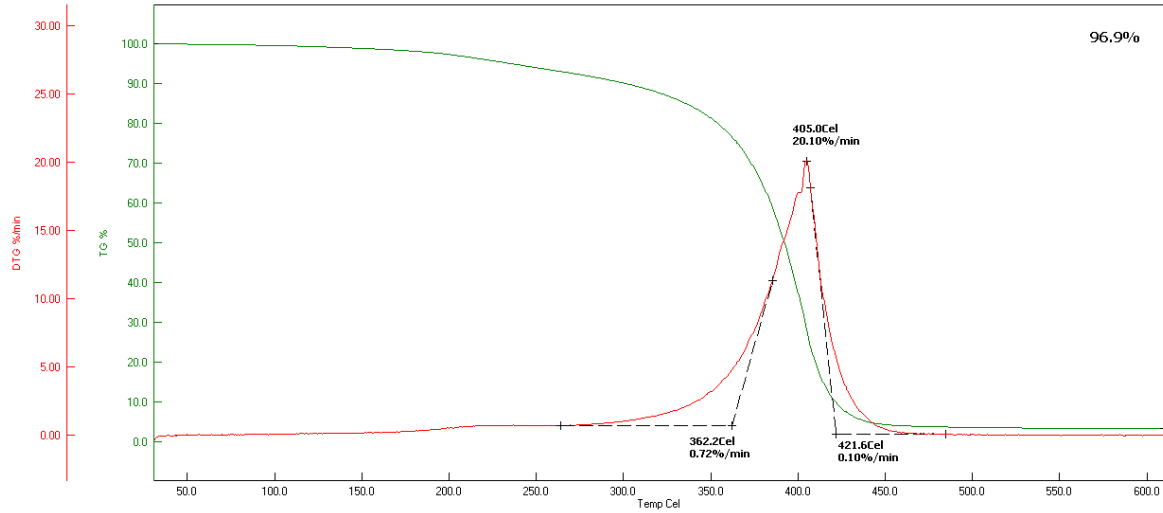
Şekil 3.8. PESAW04 kodlu numuneye (%20 Antep fıstığı kabuğu + %20 talk katkılı) ait FT-IR grafiği



Şekil 3.9. PESAW06 kodlu numuneye (%40 talk katkılı) ait FT-IR grafiği

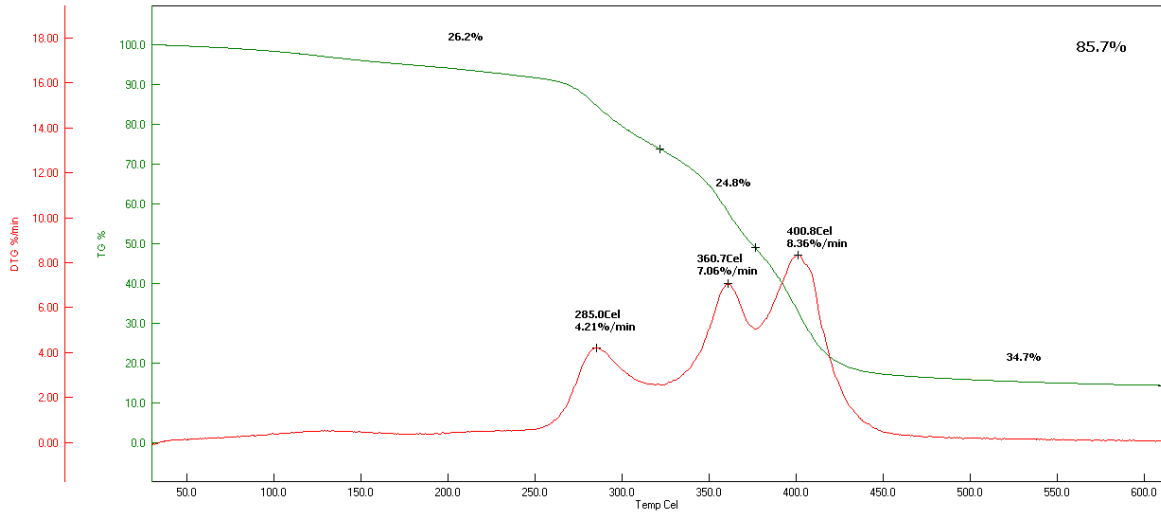
### 3.8. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

PESAW01 kodlu saf polyestere ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Saf polyesterin (PESAW01) TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %3,1 olarak elde edildi. Saf polyester için T5 sıcaklığı 362,2 °C, T50 sıcaklığı 405 °C ve Tmaks sıcaklığı 421,6 °C olarak ölçülmüştür.



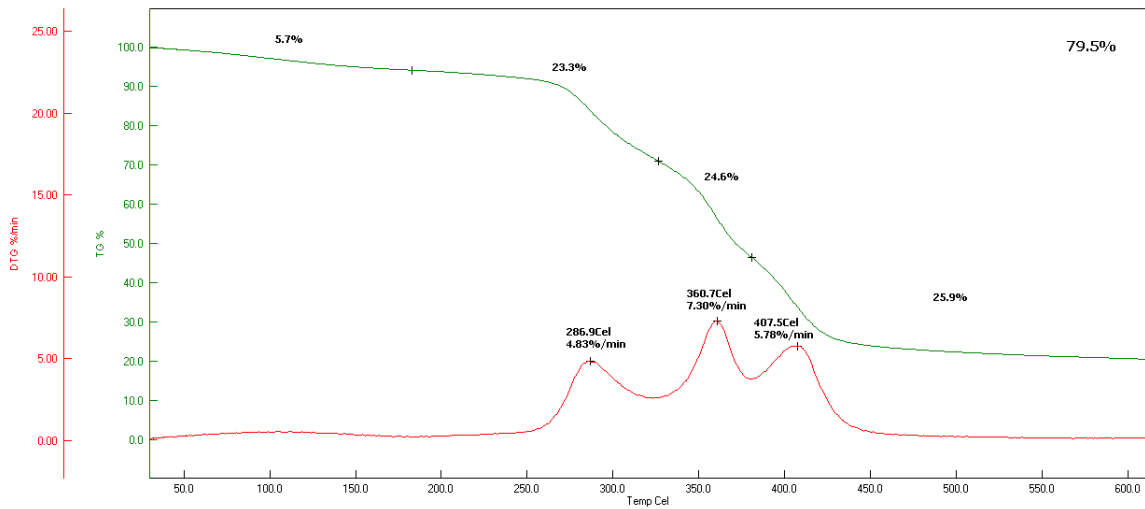
Şekil 3.10. PESAW01 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

PESAW02 kodlu %40 Antep fıstığı kabuğu katkıli kompozite ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.11'da verilmiştir. PESAW02 kodlu kompozitin TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %14,3 olarak elde edildi. Kalıntı miktarındaki artışın Antep fıstığı kabuklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. PESAW02 kodlu kompozit için T5 sıcaklığı 285 °C, T50 sıcaklığı 360,7 °C ve Tmaks sıcaklığı 400,8 °C olarak ölçülmüştür. Antep fıstığı kabuğunun katılması saf polyesterin T5, T50 ve Tmaks sıcaklıklarını düşürmüştür.



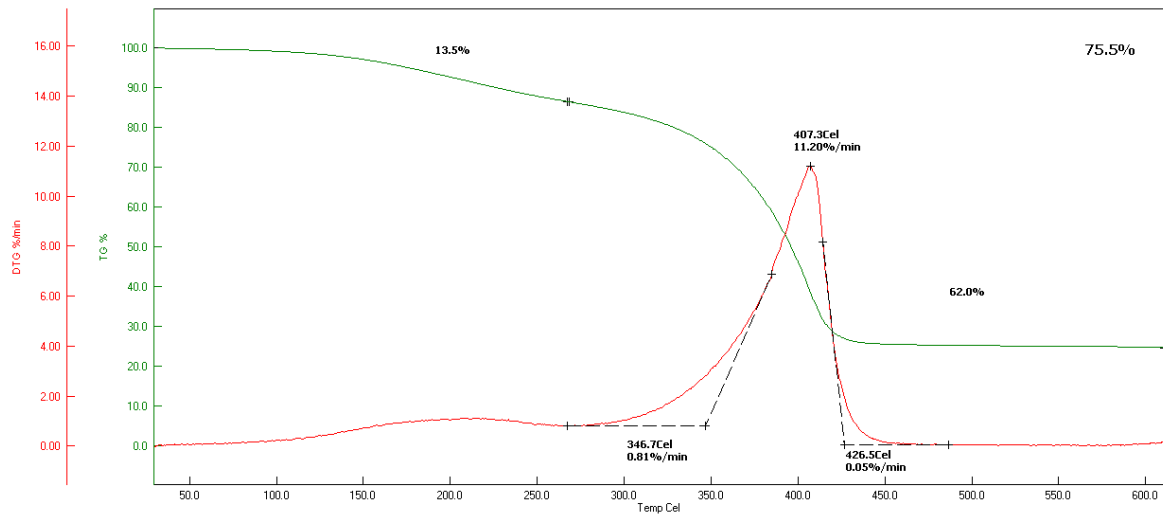
Şekil 3.11. PESAW02 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

PESAW03 kodlu %40 Antep fıstığı kabuğu + %10 talk katkılı kompozite ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.12’de verilmiştir. PESAW03 kodlu kompozitin TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %20,5 olarak elde edildi. Kalıntı miktarındaki artışın PESAW02’ye göre fazla olmasının sebebinin PESAW03 numunesindeki Antep fıstığı kabuğu oranının %30’a düşürülerek %10 oranında eklenen talktan kaynaklandığı düşünülmektedir. PESAW03 kodlu kompozit için T5 sıcaklığı 286,9 °C, T50 sıcaklığı 360,7 °C ve Tmaks sıcaklığı 407,5 °C olarak ölçülmüştür. Saf polyestere %30 oranında Antep fıstığı kabuğu ve %10 oranında talkın katılması saf polyesterin T5, T50 ve Tmaks sıcaklıklarını düşürmüştür.



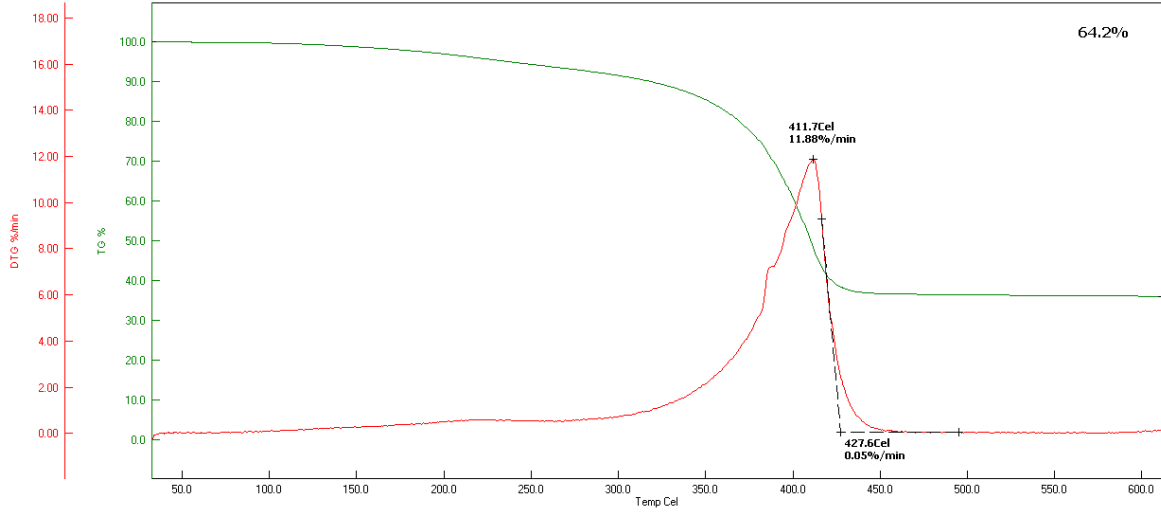
Şekil 3.12. PESAW03 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

PESAW04 kodlu %20 Antep fıstığı kabuğu + %20 talk katkılı kompozite ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.13'te verilmiştir. PESAW04 kodlu kompozitin TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %24,5 olarak elde edildi. Kalıntı miktarındaki artışın PESAW03'e göre fazla olmasının sebebinin PESAW03 numunesindeki Antep fıstığı kabuğu oranının %20'ye düşürülerek %20 oranında eklenen talktan kaynaklandığı düşünülmektedir. PESAW04 kodlu kompozit için T5 sıcaklığı 346,7 °C, T50 sıcaklığı 407,3 °C ve Tmaks sıcaklığı 426,5 °C olarak ölçülmüştür. Saf polyestere %20 oranında Antep fıstığı kabuğu ve %20 oranında talkın katılması saf polyesterin T5, T50 ve Tmaks sıcaklıklarını arttırmıştır.



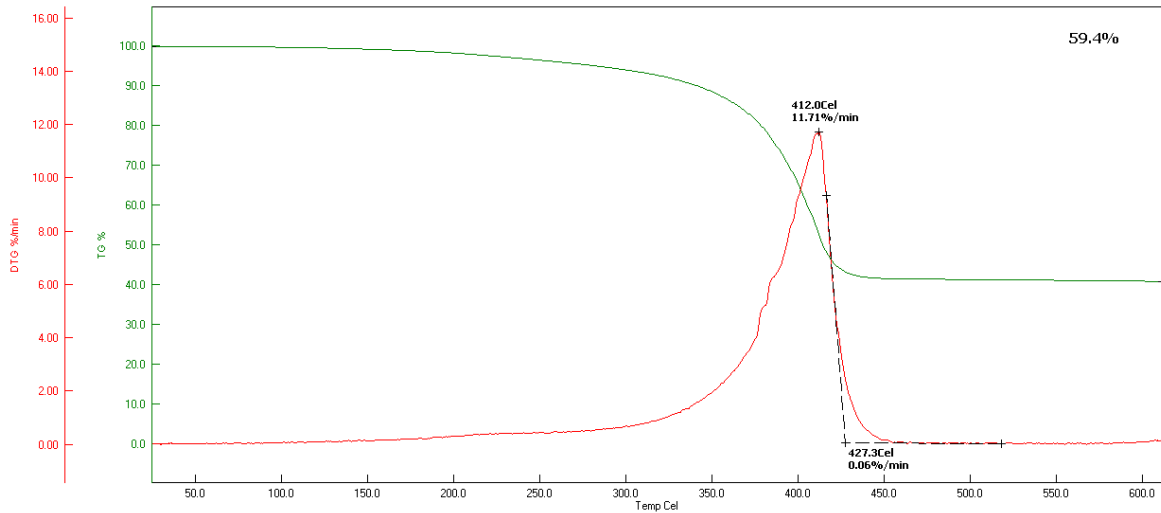
Şekil 3.13. PESAW04 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

PESAW05 kodlu %10 Antep fıstığı kabuğu + %30 talk katkılı kompozite ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.14'te verilmiştir. PESAW05 kodlu kompozitin TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %35,8 olarak elde edildi. Kalıntı miktarındaki artışın PESAW04'e göre fazla olmasının sebebinin PESAW05 numunesindeki Antep fıstığı kabuğu oranının %10'a düşürülerek %30 oranında eklenen talktan kaynaklandığı düşünülmektedir. PESAW05 kodlu kompozit için T50 sıcaklığı 411,7 °C ve Tmaks sıcaklığı 427,6 °C olarak ölçülmüştür. Saf polyestere %10 oranında Antep fıstığı kabuğu ve %10 oranında talkın katılması saf polyesterin T50 ve Tmaks sıcaklıklarını arttırmıştır.



Şekil 3.14. PESAW05 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

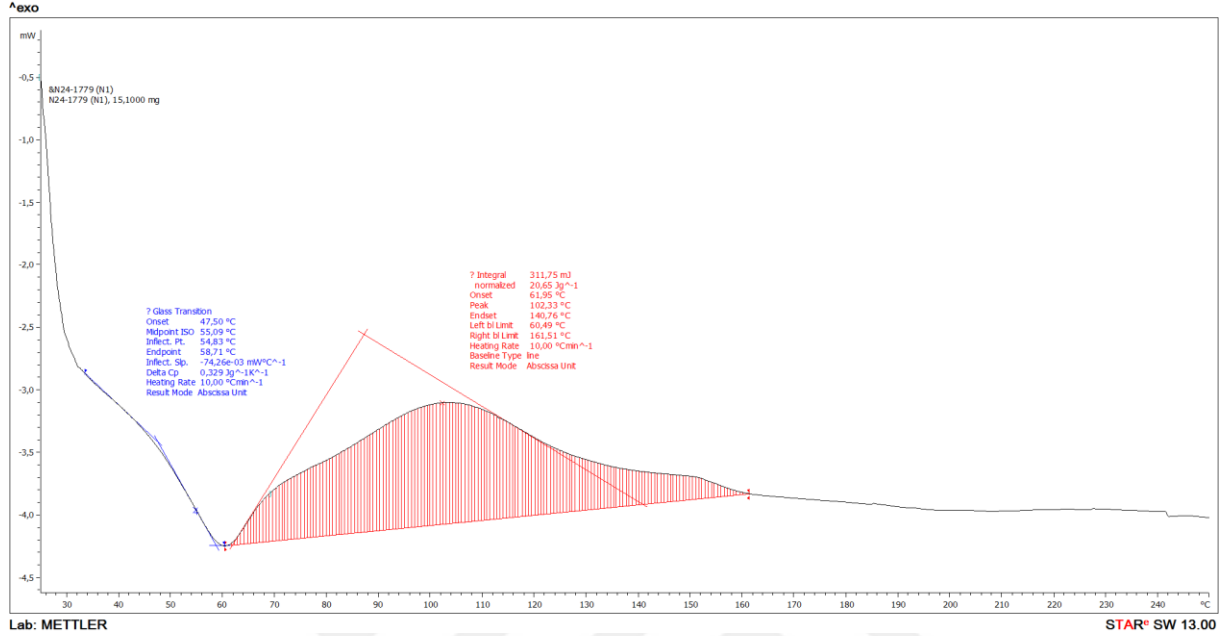
PESAW06 kodlu %40 talk katkılı kompozite ait TG ve DTG grafikleri Şekil 3.15'te verilmiştir. PESAW06 kodlu kompozitin TGA testi sonucunda kalıntı miktarı %40,6 olarak elde edildi. Kalıntı miktarındaki artışın talk miktarının en yüksek seviyede (%40 oranında) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. PESAW06 kodlu kompozit için T50 sıcaklığı 412,0 °C ve Tmaks sıcaklığı 427,3 °C olarak ölçülmüştür. Talkın katılması saf polyesterin T50 ve Tmaks sıcaklıklarını arttırmıştır.



Şekil 3.15. PESAW06 kodlu numuneye ait TG/DTG grafiği

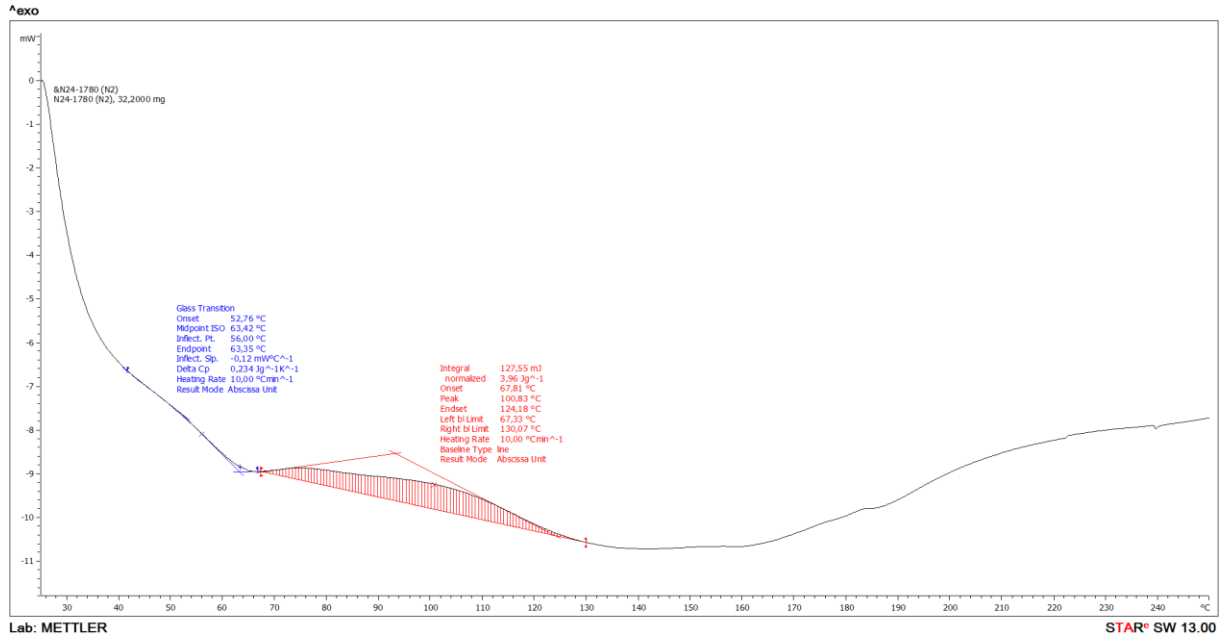
### 3.9. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Sonuçları

Saf reçineye (PESAW01) ait DSC grafiği Şekil 3.16’da verilmiştir. Saf reçine için Tg sıcaklığı 55,09 °C ve erime entalpisi 0.329 J/g olarak ölçülmüştür.



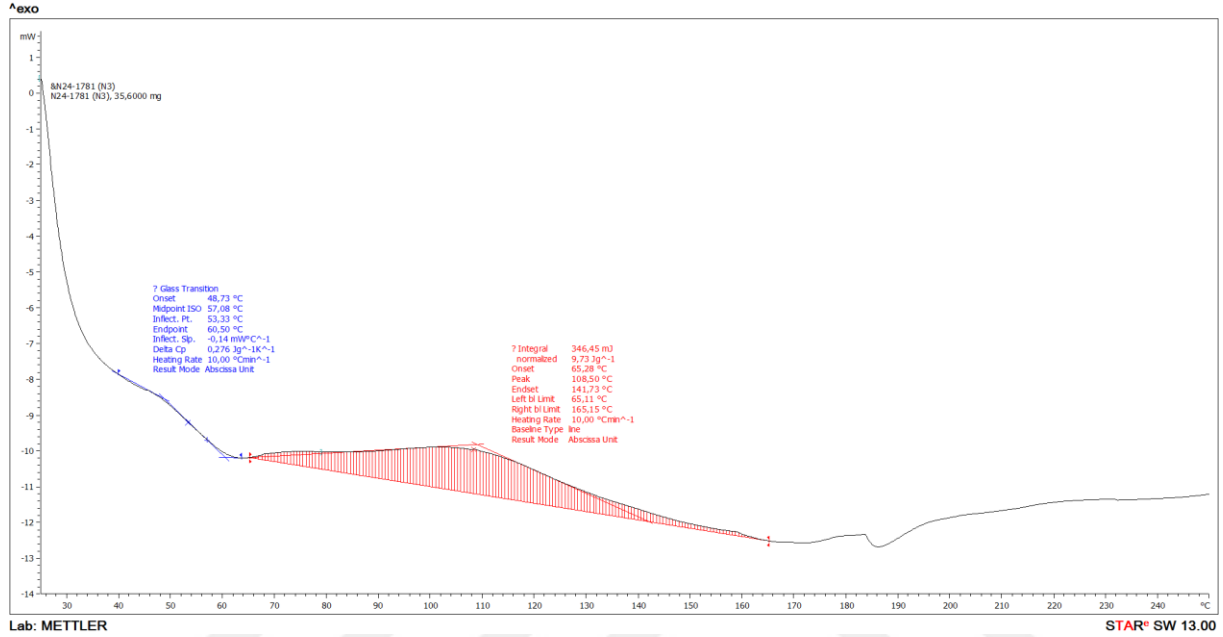
Şekil 3.16. PESAW01 kodlu numuneye ait DSC grafiği

PESAW02 kodlu kompozite ait DSC grafiği Şekil 3.17’de verilmiştir. PESAW02 kodlu kompozit için Tg sıcaklığı 63,42 °C ve erime entalpisi 0.234 J/g olarak ölçülmüştür. Reçineye Antep fıstığı kabuğu eklendiğinde kompozitin Tg sıcaklığı artmıştır.



Şekil 3.17. PESAW02 kodlu numuneye ait DSC grafiği

PESAW03 kodlu kompozite ait DSC grafiği Şekil 3.18’de verilmiştir. PESAW03 kodlu kompozit iÇin Tg sıcaklığı 57,08 °C ve erime entalpisi 0.276 J/g olarak lŐlmŐtr. ReÇineye Antep fıŐtıđı kabuğu ve talkın birlikte eklenmesi saf reÇine ve yalnızca Antep fıŐtıđı kabuğu eklenen PESAW02 kodlu kompozite gre Tg sıcaklığını dŐrmŐtr.

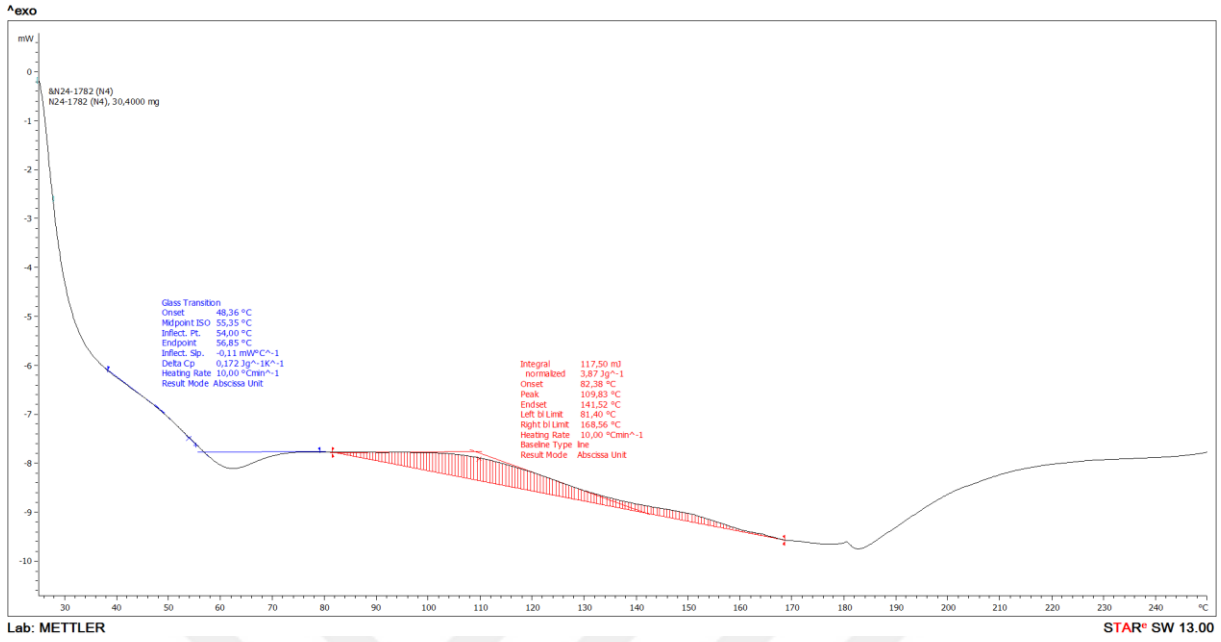


Şekil 3.18. PESAW03 kodlu numuneye ait DSC grafiği

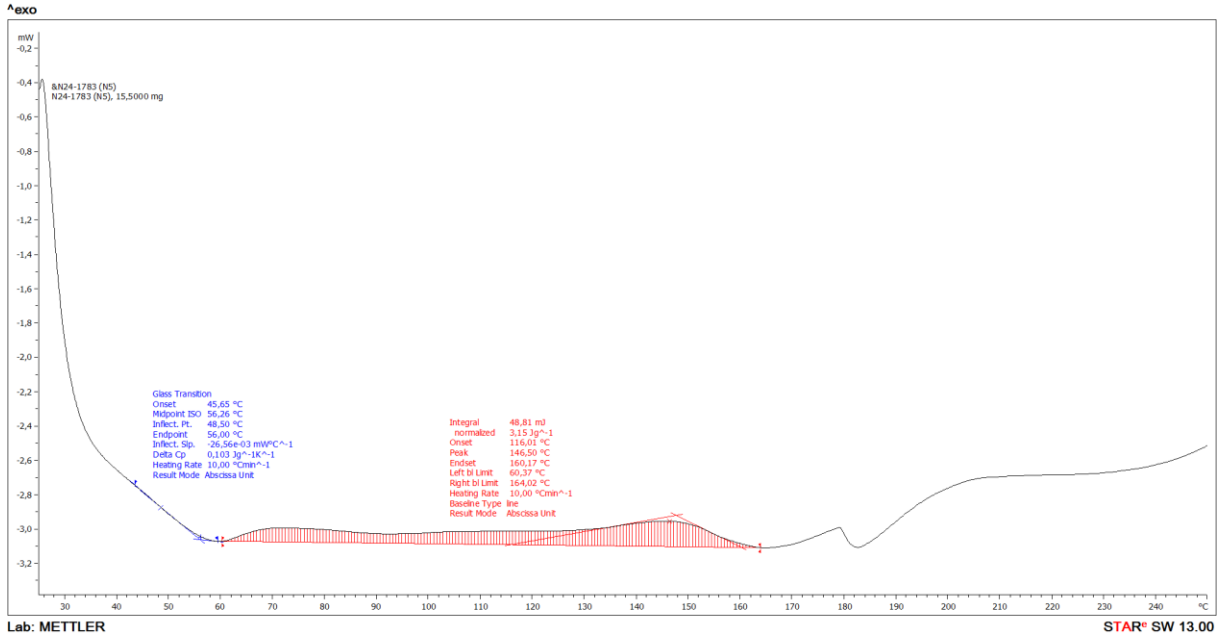
PESAW04 kodlu kompozite ait DSC grafiği Şekil 3.19’da verilmiştir. PESAW04 kodlu kompozit iÇin Tg sıcaklığı 55,35 °C ve erime entalpisi 0.172 J/g olarak lŐlmŐtr. ReÇineye Antep fıŐtıđı kabuğu ve talkın eşit bir Şekilde birlikte eklenmesi %30 Antep fıŐtıđı kabuğu + %10 talk eklenen PESAW03 kodlu kompozite gre Tg sıcaklığını dŐrmŐtr.

PESAW05 kodlu kompozite ait DSC grafiği Şekil 3.20’de verilmiştir. PESAW05 kodlu kompozit iÇin Tg sıcaklığı 56,26 °C ve erime entalpisi 0.103 J/g olarak lŐlmŐtr. PESAW05’te reÇineye eklenen talk oranının arttırılmasıyla (%10 Antep fıŐtıđı kabuğu +%10 talk), Antep fıŐtıđı kabuğu ve talkın eşit bir Şekilde birlikte eklenmiŐ olan PESAW04 kodlu kompozite gre Tg sıcaklığının arttığı grlmŐtr.

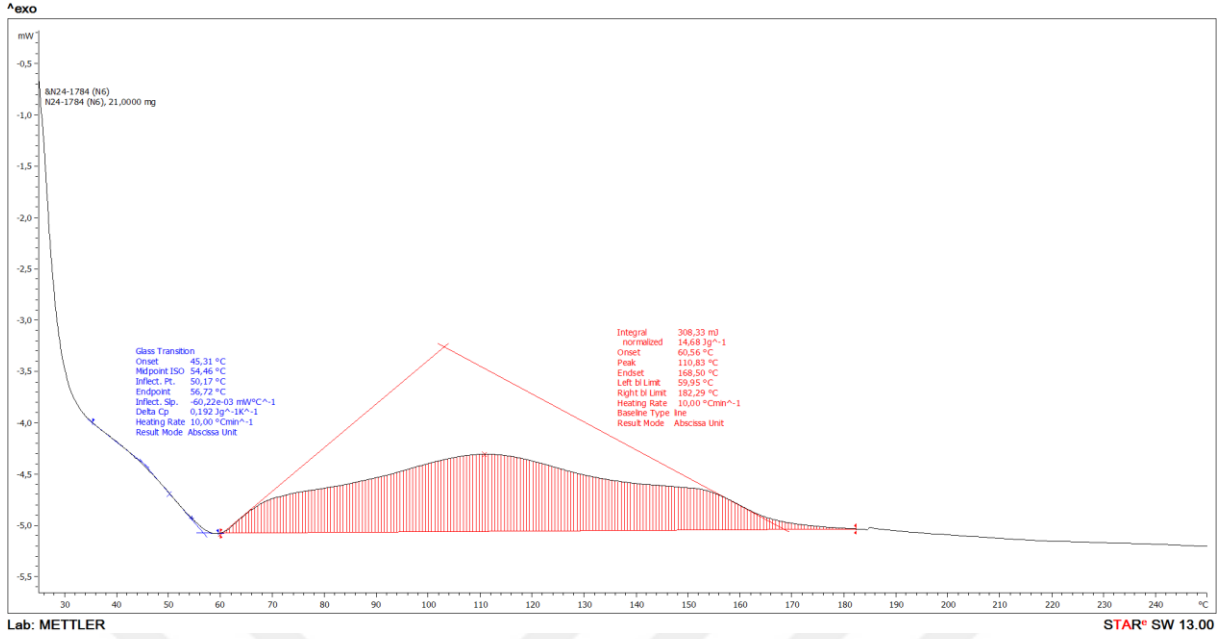
PESAW06 kodlu kompozite ait DSC grafiği Şekil 3.21’de verilmiştir. PESAW06 kodlu kompozit iÇin Tg sıcaklığı 54,46 °C ve erime entalpisi 0.192 J/g olarak lŐlmŐtr. Saf reÇineye %40 oranında talk eklendiğinde kompozitin Tg sıcaklığı artmıŐtir.



Şekil 3.19. PESAW04 kodlu numuneye ait DSC grafiği



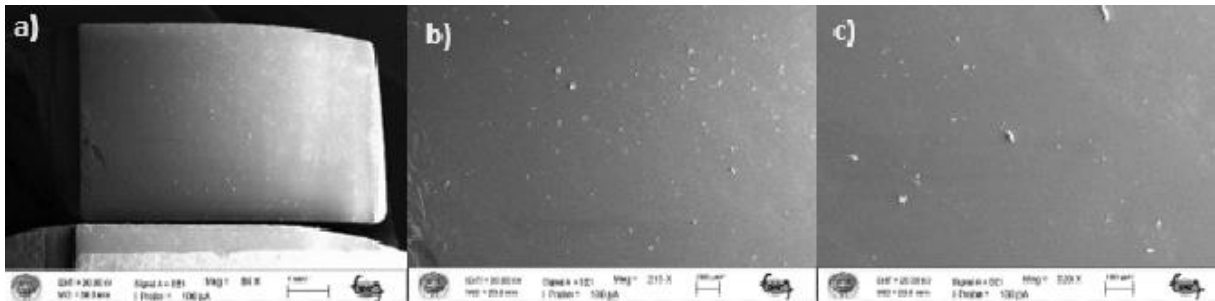
Şekil 3.20. PESAW05 kodlu numuneye ait DSC grafiği



Şekil 3.21. PESAW06 kodlu numuneye ait DSC grafiği

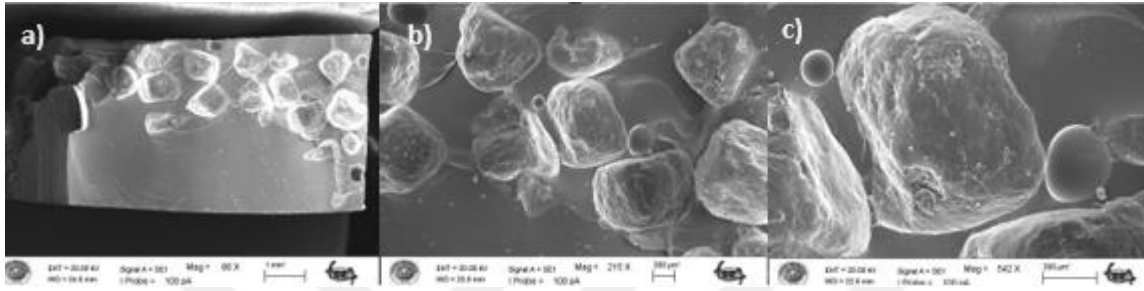
### 3.10. Morfolojik İnceleme Sonuçları

Taramalı elektron mikroskopuyla numunelerin 86X, 215X ve 520X büyütme SEM görüntüleri çekilmiştir. Çalışmada SEM analizi yapılmasının amacı ana malzeme olan polyester içerisinde, takviye malzemesi olarak kullanılan Antep fıstığı ve talk gibi malzemelerin polyester içerisinde dağılımını incelemektir. Saf polyestere (PESAW01) ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.22’de verilmiştir. Saf polyester numunesine ait SEM görüntülerinde kırılma veya herhangi bir boşluk görülmemektedir.



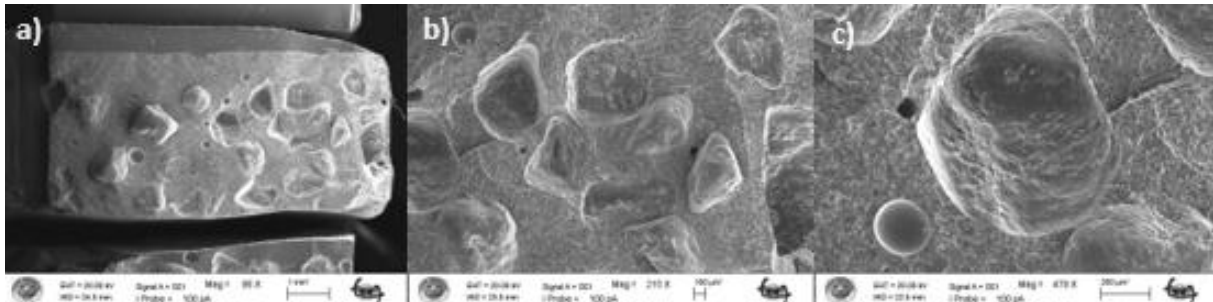
Şekil 3.22. Saf polyester numunesine ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 520X büyütme mikroyapı görüntüleri

PESAW02 kodlu numuneye ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.23'te verilmiştir. PESAW02 saf polyestere %40 Antep fıstığı kabuğu eklenmesiyle elde edilen numunedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, dolgunun homojen dağılmadığı ve polyester reçine içerisinde dolgunun ıslanmayı zorlaştırdığı görülmektedir. Ayrıca kürlenme esnasındaki hava boşlukları görüntülenebilmektedir. Talk eklenmesiyle daha homojen bir yapı elde edileceği düşünülmektedir.



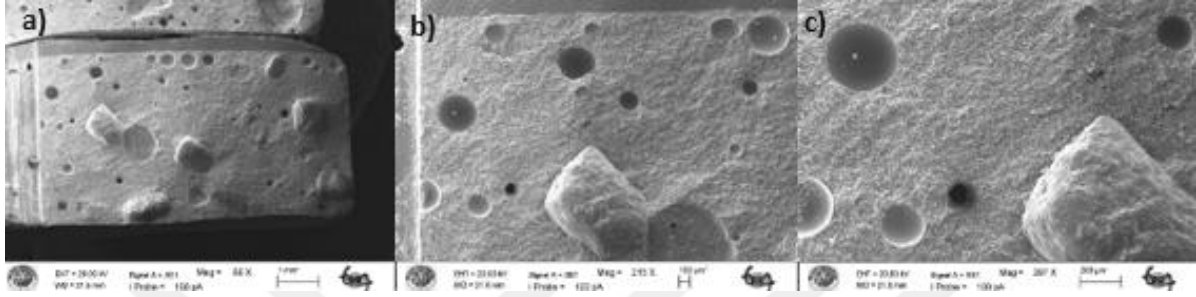
Şekil 3.23. PESAW02 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 520X büyütme mikroyapı görüntüleri

PESAW03 kodlu numuneye ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.24'te verilmiştir. PESAW03 kodlu numune %30 Antep fıstığı kabuğu + %10 talk içeren numunedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, şekil 2.23'te ki PESAW02'ye göre Antep fıstığı kabuğu oranının %30'a düşmesi ve talkın %10 oranında eklenmesiyle daha homojen bir yapı oluştuğu gözlemlenmektedir. PESAW03 numunesinde de kürlenme esnasındaki hava boşlukları görüntülenebilmektedir.



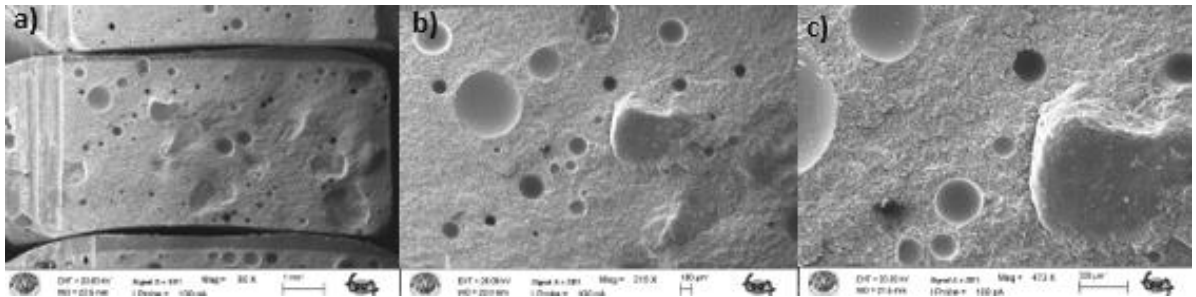
Şekil 3.24. PESAW03 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 478X büyütme mikroyapı görüntüleri

PESAW04 kodlu numuneye ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.25'te verilmiştir. PESAW04 kodlu numune %20 Antep fıstığı kabuğu + %20 talk içeren numunedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, şekil 2.24'te ki PESAW03'e göre Antep fıstığı kabuğu ve talk oranının eşitlendiği zaman yapının homojenliğinin arttığı görülmektedir. PESAW04 numunesinde de kurlenme esnasındaki hava boşlukları görüntülenebilmektedir.



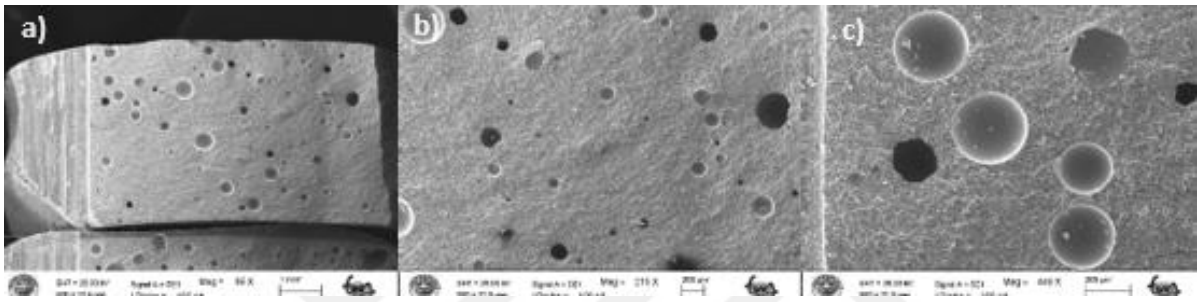
Şekil 3.25. PESAW04 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 397X büyütme mikroyapı görüntüleri

PESAW05 kodlu numuneye ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.26'te verilmiştir. PESAW05 kodlu numune %10 Antep fıstığı kabuğu + %30 talk içeren numunedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, şekil 2.25'te ki PESAW04'e göre talk oranının Antep fıstığı oranına göre fazla olmasıyla birlikte yapının homojenliğinin arttığı görülmektedir. PESAW05 numunesinde de kurlenme esnasındaki hava boşlukları görüntülenebilmektedir. Talk oranı %30 olan numunede talkın, talk oranının %10 olduğu numuneye oranla reçine tarafından çok daha iyi bir şekilde ıslatıldığı görülmektedir.



Şekil 3.26. PESAW05 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 473X büyütme mikroyapı görüntüleri

PESAW06 kodlu numuneye ait SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 3.27’de verilmiştir. PESAW06 kodlu numune %40 talk içeren numunedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, şekil 2.26’da ki PESAW05’e göre talk oranının daha yüksek olup Antep fıstığı eklenmediğinde yapının, görüntülenmesi yapılan numuneler arasında en homojen yapıya sahip numune olduğu söylenebilir. PESAW06 numunesinde de kürlenme esnasındaki hava boşlukları diğer numunelere göre daha az olmasına rağmen görüntülenebilmektedir. Şekil 3.23.’te ki %40 katkılı PESAW02 numunesine baktığımız zaman Antep fıstığına oranla talkın reçine içerisinde daha iyi ıslanma özelliği olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.27. PESAW06 kodlu numuneye ait (a) 86X, (b) 215X ve (c) 449X büyütme mikroyapı görüntüleri

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 4.1. Sonuçlar

Yapılan çalışmanın amacı ülkemizde her gün artan karbon ayak izinin azaltılması ve ülke ekonomisine katma değer olarak kazandırmak amacıyla sadece yakıt olarak kullanılan Antep fıstığı kabuklarının değerlendirilerek daha kullanışlı bir hale çevirmek ve biyokompozit üretimi gerçekleştirmektir.

Farklı oranlardaki tarımsal atık ürününün (Antep fıstığı kabuğu) ve talkın, reçineyle homojen karışımı sağlanarak dökümü gerçekleştirilen kompozit malzeme ve özellikleri ile ilgili aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Testlerde kullanılmak üzere Antep fıstığı kabuğu öğütülerek elenmiş ve reçineyle farklı oranlarda karıştırılarak döküm yöntemiyle 1 tanesi saf reçine olmak üzere 6 adet numune elde edilmiştir.
2. Referans örneklerine ait test sonuçlarına göre çalışmada üretimi yapılan numunelerin özellikleri karşılaştırıldığında ortaya çıkan değerlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.
3. Numunelerin çekme testine ve üç nokta eğme testine ait değerleri incelenmiş ve sonuç olarak numunelerdeki Antep fıstığı kabuğu oranı arttıkça çekme mukavemeti ve eğilme mukavemetinin saf reçineye göre azaldığı belirlenmiştir. Numunelerdeki talk oranının artmasıyla Antep fıstığı katkılı numunelere göre çekme mukavemeti ve eğilme mukavemetinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Üç nokta eğme testine ait elastisite modülünün 1 adet numune (PESAW03) hariç 5 adet numunede saf reçineye göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
4. Yapılan Charpy darbe testi sonuçlarına göre çentiksiz numunelerin darbe dayanımlarının, darbe testi grafiği yorumlandığı zaman daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. PESAW01 kodlu saf reçine numunesiyle mukayese edildiğinde numuneler arasındaki saf reçineye en yakın darbe dayanımı sonucunu talk oranı ve Antep fıstığı kabuğu oranı eşit olan PESAW03 kodlu numunenin sağladığı belirlenmiştir. En düşük değer %40 Antep fıstığı kabuğu içeren PESAW02 kodlu numuneye ait olduğu görülmüştür. %40 talk içeren PESAW06 kodlu numunenin talk ve Antep fıstığı kabuğu içeren numuneden daha düşük darbe dayanımı sonucu verdiği görülmüştür.

5. Yapılan Shore D Sertlik ölçüm sonuçlarına göre en yüksek sertlik ölçümü ortalamasına PESAW01 kodlu saf reçine numunesi sahiptir. Saf reçineyle mukayese edildiği zaman diğer 5 numunenin Shore D sertlik ölçümüne ait sayısal sonuçların gösterildiği tabloda da görüleceği gibi saf reçineye yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.
6. Numunelere uygulanan glossmetre parlaklık ölçüm sonuçlarına göre saf reçine numunesiyle mukayese edildiğinde içeriğinde en yüksek oranda Antep fıstığı kabuğu bulunduran numunenin (PESAW02 %40 Antep fıstığı kabuğu) en az parlaklık kaybını yaşadığı görülmüştür.
7. Yapılan TGA testi sonuçlarına göre saf reçine numunesine ait T50 ve Tmaks sonuçlarıyla mukayese edildiği zaman iki adet numunenin daha yüksek T50 ve Tmaks sonuçları verdiği görülmüştür. Bu numuneler en yüksek T50 sıcaklığı değerini gösteren PESAW06 (%40 talk katkılı) ve en yüksek Tmaks değerini gösteren PESAW05 (%30 talk + %10 Antep fıstığı kabuğu) numuneleridir. Saf reçineye talk ve Antep fıstığı kabuğu eklenmesiyle T50 ve Tmaks değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Saf reçineyle karşılaştırıldığı zaman en düşük kalıntı miktarını PESAW02 (%40 Antep fıstığı kabuğu) numunesinin sağladığı gözlemlenmiştir.
8. Numunelere uygulanan DSC testinin grafiklerine bakıldığı zaman en yüksek Tg sıcaklığına sahip numunenin %40 Antep fıstığı kabuğu katkılı PESAW02 numunesi olduğunu görürüz. Reçineye talk katılmasıyla Tg değerinin, içeriğinde oran olarak en yüksek Antep fıstığı kabuğu oranına sahip numuneye göre daha az yükseldiği veya %40 talk katkılı PESAW06 numunesinde belirlendiği gibi düştüğü gözlemlenmiştir.
9. Yapılan FT-IR testinde polyesterin, talkın ve Antep fıstığı kabuğunun karakteristik pikleri gözlemlenmiştir. Dolgu türü ve içeriğine bağlı olarak pik yoğunluklarının değiştiği tespit edilmiştir.
10. Numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde görülen %40 Antep fıstığı kabuğu katkılı PESAW02 numunesine ait görüntüdeki homojen dağılımın olmaması ve hava boşlukları Antep fıstığı kabuğu ve reçine arasındaki yapısal uyumluluğun zayıf olduğunu göstermektedir. Numunelere katılan talk oranının artmasıyla görülen uyumsuzluğun azaldığı gözlemlenmiştir. En homojen yapıya sahip ve en az hava boşluğu görülen numune %40 talk katkılı PESAW06 numunesidir.

## 4.2. Öneriler

Yapılan çalışmada organik kompozitlerin üretiminde çeşitli biyolojik atıkların (fıstık kabuğu, fındık kabuğu vb.) reçinelerle birlikte kullanılarak istenilen mekanik ve morfolojik değerlere yakın biyokompozit ürün yapılabilceği belirlenmiştir. Reçine malzemenin matris olarak kullanıldığı termoset kompozitlerde, değişik oranlarda Antep fıstığı kabuğu ve talkın birlikte kullanılarak malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenerek sonuçlar yapılan çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; Antep fıstığı kabuğu kullanılarak farklı özelliklere sahip yeni biyokompozit polimer kompozitlerin üretilebileceğini ve çeşitli endüstriyel alanlarda yapılan bu biyokompozitlerin kullanılabilceğini göstermektedir.





## KAYNAKLAR

- Şahin, M (2006). *Antep fıstığı kabuklarından polimer kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Alsaadi, M., Erkliğ, A., Albu-khaleefah, K. (2018). Effect of Pistachio Shell Particle Content on the Mechanical Properties of Polymer Composite. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 4689–4696
- Gürü, M., Şahin, M., Tekeli, S., & Tokgöz, H. (2009). Production of polymer matrix composite particleboard from pistachio shells and improvement of its fire resistance by fly ash. *High Temperature Materials and Processes*, 28(3), 191-195.
- Karaağaç, B. (2014). Use of ground pistachio shell as alternative filler in natural rubber/styrene–butadiene rubber-based rubber compounds. *Polymer Composites*, 35(2), 245-252.
- Akovali, G. (Ed.). (2001). *Handbook of composite fabrication*. iSmithers Rapra Publishing.
- Gharbi, A., Hassen, R. B., & Boufi, S. (2014). Composite materials from unsaturated polyester resin and olive nuts residue: The effect of silane treatment. *Industrial Crops and Products*, 62, 491-498.
- Ozen, M., Demircan, G., Acikgoz, A., Alptekin, H., Kısa, M. (2024). A Sustainable Bio-Filler for Epoxy Composites: Use of Pistachio Shell Powder. *OKU Journal of The Institute of Science and Technology*, 7(1), 150-165.
- Thiagarajan, A., Velmurugan, K., & Sangeeth, P. P. (2021). Synthesis and mechanical properties of pistachio shell filler on glass fiber polymer composites by VARIM process. *Materials Today: Proceedings*, 39, 610-614.
- Çetin, M. Ş., Demirel, A. S., Toprakçı, O., & Toprakci, H. A. K. (2022). Karbonize edilmiş antep fıstığı kabuk atıklarından iletken, esnek polimer kompozit üretimi ve karakterizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(2), 711-722.
- Paçzkowski, P., & Gawdzik, B. (2024). Synthesis, characterization and degradation studies of eco-friendly composites from thermoset resins with pistachio shell waste. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-16.
- Salazar-Cruz, B. A., Chávez-Cinco, M. Y., Morales-Cepeda, A. B., Ramos-Galván, C. E., & Rivera-Armenta, J. L. (2022). Evaluation of thermal properties of composites prepared from pistachio shell particles treated chemically and polypropylene. *Molecules*, 27(2), 426.
- Cakir Yigit, N., & Karagoz, I. (2023). A review of recent advances in bio-based polymer composite filaments for 3D printing. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 62(9), 1077-1095.

- Cengiz Ö, Karagöz İ, Demirel H (2021) *Fındık Kabuğu ve Talk Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Mekanik ve Isıl Özelliklerinin İncelenmesi*. 8. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu. ss. 152-159. 18-19 Haziran, Eskişehir, Türkiye.
- Onat A, Pazarlioglu S, Sancak E, Ersoy S, Beyit A, Erdem R (2013) *Thermal and mechanical properties of walnut shell and glass fiber reinforced thermoset polyester composites*. Asian Journal of Chemistry 25 (4), 1947-1952.
- Kandemir M, Karagöz İ, Sepetçioğlu H (2023) *Experimental Investigation of Effects of the Nucleating Agent on Mechanical and Crystallization Behavior of Injection-Molded Isotactic Polypropylene*. El-Cezeri 10(1), 109-120.
- Çavuşoğlu A, Uysal N, Yazıcı M, Şahin P, Karagöz İ (2023) *Sustainable Innovation: Hazelnut Shell-Enhanced Polypropylene Composites for Eco-Friendly Automotive Applications*. 13th International Fiber and Polymer Research Symposium, 3-4 Nov, Bolu, Turkey.
- Karagöz İ (2024) *Production and characterization of sustainable biocompatible PLA/walnut shell composite materials*. Polymer Bulletin, 1-21.
- Çavuşoğlu A, Uysal N, Aslan HÇ, Karagöz İ (2023) *Sürdürülebilirlik için çevre dostu yeşil kompozit malzemelerin üretimi: Ceviz kabuğu ve polipropilen karışımlarının karakterizasyonu*. 12th International Fiber and Polymer Research Symposium, 5-6 May, Yalova, Turkey.
- Srivastava N, Singh V Bhaskar J (2013) *Compressive behavior of walnut (Juglans L.) shell particles reinforced composite*. Usak University Journal of Material Sciences, 1, 23-30.
- Nitin S, Singh V (2013) *Mechanical behavior of walnut reinforced composite*. Journal of Materials and Environmental Science, 4 (2), 2013.
- Akbaş S, Tufan M, Güleç T, Temiz A (2013) *Utilization of walnut shells as filler in polymer composites*. International Caucasian Forestry Symposium, 974-953.
- Mohammed AJ (2014) *Study the effect of adding powder walnut shells on the mechanical properties and the flame resistance for low density polyethylene (LDPE)*. International Journal of Science and Technology, 3 (1), 18-22.
- Obidiegwu M, Nwanonenyi S, Eze I, Egbuna I (2014) *The effect of walnut shell powder on the properties of polypropylene filled composite*. The International Asian Research Journal, 2 (01), 22-29.
- Garcia M, Fasce L, Pettarin V, Viana J, Pontes A, Frontini P, Pouzada A (2011) *Synergistic effects of nanoclay and SGF on tribological and dynamic properties of polypropylene composites*.
- Prabhu R, Mendonca S, Bhat T (2016) *Mechanical and Tribological Properties of Injection Moulded Modified CaCO<sub>3</sub>/PP, LDPE Composites*. American Journal of Materials Science 2016, 6(4A): 61-66.
- Adıbelli Ü, (2022) *Ceviz Kabuğu Dolgulu Epoksi Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi* [yüksek lisans tezi]. Yalova Üniversitesi.

Büyüksırt İ, Kuleaşan H, (2013). *Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (Ftir) Spektroskopisi Ve Gıda Analizlerinde Kullanımı*, GIDA (2014) 39 (4): 23





## ÖZGEÇMİŞ

İlayda ARSLAN OCAK 2021 yılında Yalova Üniversitesi Polimer Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2022 Bahar döneminde Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Polimer Malzeme Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans eğitimine başladı.

## TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

1. İ. Arslan Ocak, A. Çavuşoğlu, H. Sepetçioğlu, İ. Karagöz (2024). “Ortoftalik Polyester Reçine Matrisli Hibrit Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu” 3.Bilisel Uluslararası Truva Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, 25-26 Mayıs, Çanakkale, ISBN:978-625-6501-82-9

