



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

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

**FARKLI TARIMSAL ATIKLARIN POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİNDE DOLGU
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYSU ÇAVUŞOĞLU

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ

**YALOVA
TEMMUZ 2025**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
POLİMER MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

FARKLI TARIMSAL ATIKLARIN POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİNDE DOLGU
MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYSU ÇAVUŞOĞLU
228115006

DANIŞMAN: DOÇ. DR. İDRİS KARAGÖZ

YALOVA
TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım “Farklı Tarımsal Atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılmasının İncelenmesi” 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.

Aysu ÇAVUŞOĞLU





Aileme ithafen,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi birikimi, yol göstericiliği ve sabrıyla her zaman yanımda olan, akademik gelişimime büyük katkı sağlayarak yolumu aydınlatan değerli danışman hocam Doç. Dr. İdris KARAGÖZ'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Yasemin BALÇIK TAMER ve Doç. Dr. Harun SEPETÇİOĞLU hocalarıma da özel olarak teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesinde katkı sağlayan ve sürece destek olan Fompak Otomotiv firmasına ve Naci UYSAL'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca attığım her adımda koşulsuz sevgileriyle beni destekleyen aileme en derin şükranlarımı sunuyorum. Sevgili annem Gülsüm ÇAVUŞOĞLU, babam Erdoğan ÇAVUŞOĞLU, canım abilerim Akın ÇAVUŞOĞLU, Halil ÇAVUŞOĞLU ve ailemizin biricği köpeğimiz Zico, sizlerin varlığı benim en büyük gücüm oldu. Her zaman üzerimde gölgenizi, kalbimde desteğinizi hissettim. Beni ayakları yere tam basan bir birey olarak yetiştirdiğiniz için teşekkür ederim. İyi ki varsınız.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (**Proje No: 2023/YL/0014**) teşekkür ederim. Ayrıca, TÜBİTAK BİDEB 2210-D Lisansüstü Eğitim Burs Programı kapsamında bursiyer olarak desteklenmiş olmaktan büyük bir onur duyuyorum. Sağladıkları bu değerli destek için ilgili kurumlara teşekkür ederim.

Temmuz – 2025

Aysu ÇAVUŞOĞLU

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Araştırması.....	2
1.3. Hipotez	13
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
2.1. Kullanılan Malzemeler	15
2.1.1. PP	15
2.1.2. %20 Talk katkılı Polipropilen.....	17
2.1.3. Ceviz kabuğu	17
2.1.4. Fındık kabuğu	18
2.1.5. Badem kabuğu	18
2.1.6. Antep fıstığı kabuğu.....	19
2.1.7. Yerfıstığı kabuğu	20
2.1.8. Kenevir tohum posası	20
2.1.9. Ayçiçeği küspesi	21
2.1.10. Zeytin pirinası	21
2.2. Numunelerin hazırlanması.....	22
2.3. Mekanik Testler	23
2.3.1. Çekme testi	23
2.3.2. Üç nokta eğme testi.....	24
2.3.3. Darbe testi	24
2.3.4. Sertlik testi	25
2.4. Isıl Testler	25
2.4.1. Isıl deformasyon (HDT) testi	25
2.4.2. Vicat yumuşama sıcaklığı testi	26
2.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) testi	26
2.4.4. Termogravimetrik analiz (TGA) deneyi	26

2.5. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Karakterizasyonu	27
2.5.1. Yoğunluk Ölçümü.....	27
2.5.2. Su absorpsiyon testi	28
2.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) testi.....	28
2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi	28
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	31
3.1. Çekme Test Sonuçları.....	31
3.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları	32
3.3. Darbe Test Sonuçları	34
3.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları	36
3.5. Isıl Deformasyon Sıcaklığı (HDT) Testi Sonuçları	37
3.6. VICAT Analiz Sonuçları	37
3.7. DSC Analiz Sonuçları	38
3.8. TGA Analiz Sonuçları	40
3.9. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	47
3.10. Su Absorpsiyon Ölçüm Sonuçları	47
3.11. FT-IR Analiz Sonuçları	48
3.12. Mikroyapı Görüntüleme Sonuçları	58
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
4.1. Sonuçlar	71
4.2. Öneriler.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

E	: Elastisite Modülü
μ	: Mikron

KISALTMALAR

MFI	: Erime Akış İndeksi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
FE-SEM	: Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopu
XRD	: X Işını Kristalografisi
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
HDT	: Isıl Deformasyon Sıcaklığı
TGA	: Termogravimetrik Analiz
PLA	: Polilaktikasit
PMMA	: Polimetilmetakrilat
LAYPE	: Linear Alçak Yoğunluklu Polietilen
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ABS	: Akrilonitril Bütadiyen Strien
PP	: PP
UV	: Ultra Viole
Xc	: Kristallik Yüzdesi
Tg	: Camı Geçiş Sıcaklığı
Tm	: Erime Sıcaklığı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan karışım miktarları	15
Tablo 2.2. Moplen EP 3307 teknik özellikler	16
Tablo 2.3. Hostacom M2 N01 teknik özellikler	17
Tablo 3.1. Çekme test sonuçlarına ait sayısal veriler	32
Tablo 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarına ait sayısal veriler	33
Tablo 3.3. Çentikli ve Çentiksiz Charpy darbe test sonuçları	34
Tablo 3.4. Isıl deformasyon (HDT) sıcaklığı test sonuçları	37
Tablo 3.5. VICAT test sonuçları	38
Tablo 3.6. DSC test sonuçları	40
Tablo 3.7. Yoğunluk ölçüm sonuçları	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Tarımsal atık şeması.....	1
Şekil 1.2. Poliüretan kompozitlerin SEM görüntüleri [1]	3
Şekil 1.3. Liminana ve ark. Ürettiği kompozitler [12]	5
Şekil 1.4. Farklı uyumlaştırıcılar ile geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ve kenevir lifli kompozit malzemelerin gösterimi [18].....	7
Şekil 1.5. Yüksek yoğunluklu polietilen kompozit numuneler [32]	9
Şekil 1.6. Çift vidalı ekstrüde ile eriyik harmanlama işlemi [35]	10
Şekil 1.7. Yer fıstığı kabuğu ve nano alümina katkılı yüksek yoğunluklu polietilen kompozitler [45]	12
Şekil 2.1. PP'nin kimyasal yapısı [50]	16
Şekil 2.2. Ceviz katmanlı yapısı [50]	18
Şekil 2.3. Fındık katmanlı yapısı [51]	18
Şekil 2.4. Badem katmanlı yapısı [55]	19
Şekil 2.5. Antep fıstığı katmanlı yapısı [58]	19
Şekil 2.6. Yer fıstığı katmanlı yapısı yapısı [60].....	20
Şekil 2.7. Kenevir tohumu posası.....	21
Şekil 2.8. Ayçiçeği Küpesi.....	21
Şekil 2.9. Zeytin Pirinası.....	22
Şekil 2.10. Tarımsal atıkların öğütülme işlemine ait görsel.....	22
Şekil 2.11. Antep fıstığı kabuğu dolgulu PP kompozit üretim şeması.....	23
Şekil 2.12. Zwick/Roell marka Z020 model test cihazı ile çekme testi görseli	24
Şekil 2.13. Loyka marka durometer	25
Şekil 3.1. Çekme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması	31
Şekil 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması.....	33
Şekil 3.3. Çentikli ve çentiksiz darbe test sonuçlarının x-y grafiği şeklinde karşılaştırılması	35
Şekil 3.4. Çentikli ve çentiksiz darbe test sonuçlarının sütun grafiği şeklinde karşılaştırılması	35
Şekil 3.5. Sertlik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 3.16. % Su absorpsiyon kapasitesi grafiği	48

TARIMSAL ATIKLARIN POLİMER KOMPOZİTLERDE DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANILMASININ İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde sürdürülebilir malzeme üretimi ve çevre koruma, küresel ölçekte önemli bir öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda, tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi ve polimer kompozit üretiminde kullanımı hem çevre hem de ekonomik açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Bu tez çalışması, tarımsal atıkların polimer kompozit malzemelerin üretiminde kullanımının potansiyelini ve bu kullanımın çevresel ve ekonomik etkilerini daha ayrıntılı bir şekilde araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, farklı tarımsal atıkların – fındık kabuğu, ceviz kabuğu, badem kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, yer fıstığı kabuğu, kenevir tohumu posası, ayçiçeği küspesi, zeytin pirinası gibi atıkların – polimer kompozit üretiminde nasıl kullanılabileceğine odaklanmaktadır. Bu tarımsal atıklar, PP matris ile %20 oranında karıştırılarak granül formuna getirildi. Granül formuna getirilen malzemelerden enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test numuneleri üretildi. Granül formuna getirilen malzemelerden enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test numuneleri üretildi. Üretilen test numunelerine mekanik testler (çekme testi, eğme testi, darbe testi, sertlik ölçümü), ısı testler (DSC, TGA, FT-IR vb.) uygulandı ve mikroyapı görüntülemeleri analizleri yapıldı. SEM analizlerine göre, saf PP homojen ve sünek bir yapı sergilerken, biyobazlı katkılar dolgu-matris arayüzünde boşluklar ve çekilme izleri ile daha zayıf bağlanma göstermiş; Antep fıstığı kabuğu ve zeytin pirinası katkılarında ise daha iyi bütünleşmiş kompakt yapılar gözlemlenmiştir. Çekme ve üç nokta eğme testleri, tarımsal atıkların eklenmesini kompozitin mekanik özelliklerini üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Darbe test sonuçları incelendiğinde en yüksek darbe mukavemeti PPAW01 numune kodlu referans malzeme olan saf PPde gözlemlenmiştir. Tarımsal atık katkısının darbe mukavemetini düşürdüğü tespit edilmiştir. Parametrelerin Shore D sertlik değerlerini tarımsal atık katkıların artırdığı fakat talk katkısı kadar etkili olmadığı belirlenmiştir. Parametrelerin yoğunluk ölçüm sonuçları incelendiğinde tarımsal atık katkılarının kompozitleri hafiflettiği görülmektedir. TGA analizleri sonucunda, saf PP ‘nin tek aşamalı termal bozunma gösterdiği, tarımsal atık katkılı kompozitlerin ise hemiselüloz, selüloz ve lignin kaynaklı çok kademeli bozunma profiline sahip olduğu; bu yapıların katkı türüne bağlı olarak kalıntı oranlarını artırdığı ve ısı kararlılığı etkilediği belirlenmiştir. Parametrelerin ısı özellikleri incelendiğinde talk kadar olmasa da tarımsal atık katkıların PP’nin ısı özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atık, Yeşil Kompozitler, Polipropilen, Sürdürülebilirlik

INVESTIGATION OF THE USE OF DIFFERENT AGRICULTURAL WASTES AS FILLER MATERIAL IN POLYMER COMPOSITE PRODUCTION

ABSTRACT

Today, sustainable material production and environmental protection have become an important priority on a global scale. In this context, the recycling of agricultural wastes and their utilization in the production of polymer composites has a great potential both environmentally and economically. This thesis aims to further investigate the potential of utilization of agricultural wastes in the production of polymer composite materials and the environmental and economic impacts of this utilization. The study focuses on how different agricultural wastes - hazelnut shells, walnut shells, almond shells, peanut shells, pistachio shells, hemp seed pulp - can be used in the production of polymer composites. These wastes were mixed with a polypropylene matrix at a ratio of 20% to form granules. Test specimens were produced from the granulated materials by injection molding method. Test specimens were produced by injection molding method from the granulated materials. Mechanical tests (tensile test, bending test, impact test, hardness measurement), thermal tests (DSC, TGA, FT-IR etc.) and microstructure imaging analysis were performed on the test specimens. According to SEM analysis, pure PP exhibited a homogeneous and ductile structure, while biobased additives showed weaker bonding with voids and shrinkage marks at the filler-matrix interface; while better integrated compact structures were observed in pistachio and olive pomace additives. Tensile and three-point bending tests showed that the addition of agricultural waste had an effect on the mechanical properties of the composite. When the impact test results were analyzed, the highest impact strength was observed in pure polypropylene, the reference material with sample code PPAW01. It was determined that agricultural waste additive decreased the impact strength. It was determined that agricultural waste additives increased the Shore D hardness values of the parameters, but not as effective as talc additives. When the density measurement results of the parameters are examined, it is seen that agricultural waste additives lighten the composites. As a result of TGA analyses, it was determined that pure PP showed a single-stage thermal degradation, while composites with agricultural waste additives had a multistage degradation profile due to hemicellulose, cellulose and lignin; these structures increased the residue rates depending in the additive type and affected the thermal stability. When the thermal properties of the parameters were analyzed, it was determined that agricultural waste additives improved the thermal properties of PP, although not as much as talc.

Keywords: Agricultural Waste, Green Composites, Polypropilen, Sustainability

1. GİRİŞ

Günümüzde sürdürülebilir malzeme üretimi ve çevrenin korunması, küresel ölçekte tüketiciler ve üreticiler için önemli bir öncelik haline gelmiştir. Fosil kaynakların tükenmesi ve sentetik polimer atıklarının neden olduğu uzun süreli çevre kirliliği, endüstriyel sektörleri daha sürdürülebilir ve çevre dostu malzeme alternatif arayışını başlatmıştır. Tarımsal süreçlerden elde edilen büyük miktarda lignoselülozik biyokütlenin kullanılması, yalnızca atıkları azaltmaya yardımcı olmakla kalmıyor, aynı zamanda bu kalıntıları yüksek değerli mühendislik malzemelerine dönüştürerek sürdürülebilir bir malzeme döngüsünün geliştirilmesini de destekliyor. Polimer kompozitler alanında, tarımsal atıkları geleneksel inorganik dolgu maddelerine çevre dostu bir alternatif olarak dâhil etmek, karbon ayak izini düşürme ve doğal kaynakların daha verimli kullanımını teşvik etme gibi hedeflerle uyumludur. Bu bağlamda, tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi ve polimer kompozit üretiminde kullanımı hem çevre hem de ekonomik açıdan büyük bir potansiyele sahiptir.



Şekil 1.1. Tarımsal atık şeması

Bu tez çalışması, tarımsal atıkların polimer kompozit üretiminde kullanımının özgün bir yaklaşım sunması bakımından önemli bir özgün değer taşımaktadır. Literatürde bu konuda sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte, tarımsal atıkların polimer kompozitlerde kullanımının potansiyel avantajları ve zorlukları daha derinlemesine incelenmemiştir. Bu çalışma, tarımsal atıkların kompozit malzemelerdeki mekanik, termal ve geri dönüşüm özellikleri üzerindeki etkilerini sistemli bir şekilde değerlendirecektir. Aynı zamanda, tarımsal atıkların polimer kompozit üretiminde endüstriyel uygulamalarının sürdürülebilirlik hedeflerine olan katkısını analiz etmekte ve bu alanda gelecekteki potansiyeli araştırmaktadır.

Bu çalışmanın özgün değeri ayrıca, tarımsal atıkların sürdürülebilir malzeme üretimi ve çevresel koruma alanlarında yeni bir yaklaşım sunmasıdır. Polimer kompozit malzemelerin üretiminde geleneksel olarak kullanılan güçlendirici malzemelerin yerine tarımsal atıkların kullanımı, daha çevre dostu ve doğal kaynakları daha verimli kullanmamıza olanak tanır. Bu bağlamda, bu çalışma, gelecekteki malzeme üretimi stratejilerinin dönüştürülmesine ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada alternatif yolların araştırılmasına yönelik bir özgün katkı sunmaktadır. Bu tez çalışması, tarımsal atıkların polimer kompozit üretimindeki kullanımının özgün bir perspektif sunması ve bu kullanımın çeşitli yönlerini detaylı bir şekilde incelemesi nedeniyle değerli ve özgün bir kaynak olarak kabul edilebilir. Bu çalışmanın sonuçları, malzeme bilimcileri, mühendisleri ve sürdürülebilirlik uzmanlarını yeni fikirlerle ilhamlandırabilir ve gelecekteki araştırmaların ve uygulamaların temelini oluşturabilir.

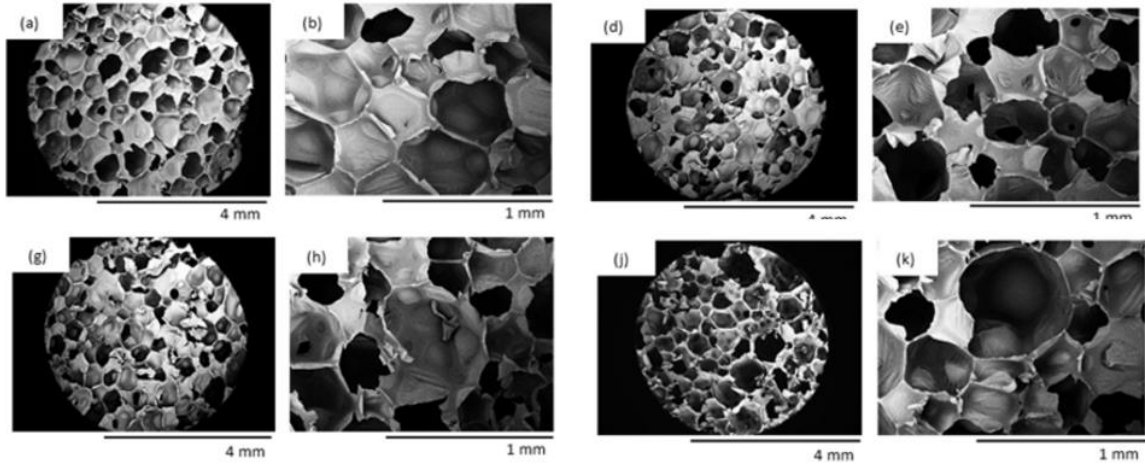
1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışması, tarımsal atıkların polimer kompozit malzemelerin üretiminde kullanım potansiyelini ve bu kullanımın çevresel ve ekonomik etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Tarım üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların genellikle çevresel sorunlara yol açtığı göz önüne alındığında, bu atıkların etkili bir şekilde değerlendirilmesi ve polimer kompozitlerde kullanılması, sürdürülebilir malzeme üretimi konusunda önemli bir adım olabilir. Bu çalışma, tarımsal atıkların kompozit malzemelerin mekanik, termal ve geri dönüşüm özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyerek, polimer kompozit üretiminde bu atıkların kullanımının avantajlarını ve potansiyel zorlukları analiz etmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, tarımsal atıkların polimer kompozit malzemelerde kullanımının endüstriyel uygulamalarını ve bu uygulamaların sürdürülebilirlik hedeflerine katkısını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, tarımsal atıkların kompozit malzemelerde kullanımının çevresel etkilerini azaltma, geleneksel malzeme kaynaklarının tasarruflu kullanımını teşvik etme ve yeşil teknolojilere yönelik bir yol haritası çizme açısından önemli bilgiler sunmayı amaçlamaktadır. Bu tez çalışması, tarımsal atıkların polimer kompozit üretiminde kullanılmasının potansiyelini ve bu kullanımın sürdürülebilir malzeme üretimi ve çevresel koruma açısından faydalarını derinlemesine anlamayı hedeflemektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılan analizler ve bulgular, gelecekteki malzeme üretimi ve atık yönetimi stratejilerinin şekillendirilmesine katkı sağlayabilir.

1.2. Literatür Araştırması

Czlonka ve ark. [1] poliüretan köpüklerde %1, 2 ve 5 oranlarında ceviz kabuğu ve yüzey modifikasyonu yapılmış silanize ceviz kabuklarını dolgu maddesi olarak kullanarak ürettikleri

kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelenmişlerdir. Yapılan mekanik ve termal testlerin sonuçlarına göre silanize ceviz kabuklarının kompozitin Tg'sini ve depolama modülünü artırarak yüzey modifikasyonu yapılmamış ceviz kabuklarına göre daha iyi mekanik ve termal özellikler gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 1.2'de bulunan SEM görüntülerinde %1 ve 2 dolgu oranlarında küçültülmüş hücre boyutu ve daha homojen bir yapı görülürken oran arttıkça açık hücre sayısında da artış görülmüştür. Czlonka ve ark. [2] dolgu maddesi olarak perlit, montmorillonit ve halloysit ile modifiye edilmiş %2 oranında ceviz kabuğu kullanarak poliüretan köpük kompozitler üretmişlerdir. Hazırlanan bu kompozitlerin reolojik, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Poliüretan kompozitlerde en iyi sonuçlar halloysit ile modifiye edilmiş ceviz kabuklarından elde edilmiş ve ceviz kabuğunun alev geciktirici bileşiklerle modifiye edilmesi ile daha yüksek termal ayrıştırma sıcaklıkları, gelişmiş alev direnci ve daha iyi termal stabilite özellikleri elde edilmiştir. Güngör ve ark. [3] yaptıkları çalışmada etilen-propilen-dien monomer (EPDM) kauçuğuna biyobazlı kompozit üretmek amacıyla bis[3-(trietoksisilil)propil] tetrasülfid ile yüzey modifikasyonu yapılmış atık ceviz kabuklarını dolgu maddesi olarak ekleyerek hazırladıkları kompozitlerin reolojik, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitte ceviz kabuğu oranının artması ile hareketli kalıp reometre testlerindeki tork değerini iyileştirdiği, çekme dayanımında artış olduğunu ve termal testler, şişme testi ve çapraz bağ yoğunluğu analizlerinde önemli bir etkisinin olmadığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 1.2. Poliüretan kompozitlerin SEM görüntüleri [1]

Kuram [4], çeşitli oranlardaki fındık ve ceviz kabukları ile ABS polimerini kullanarak ürettiği kompozitlerin morfolojik, reolojik ve mekanik özelliklerini inceleyerek en iyi sonuçları %5 fındık kabuğu, %15 ceviz kabuğu oranında elde ederken %20 fındık ve ceviz kabuğu

oranlarının mekanik özelliklerde azalma gösterdiğini tespit etmiştir. Ayrıca ceviz kabuğunun fındık kabuğuna göre mekanik özellikleri ve MFI'ı artırdığını gözlemlemiştir. Balart ve ark. [5] %10-40 aralığında fındık kabuğunu dolgu maddesi olarak PLA matrisli yeşil kompozitler üretmek için kullanmışlardır. Fındık kabukları lignoselülozik malzemeler oldukları için PLA zincirleri üzerinde hafif bir çekirdekletirici etki sağlayarak, hazırlanan kompozit numunelerde kristallik oranını artırarak boyutsal kararlılık üzerinde olumlu bir etki sağladığı ve fındık kabuğu oranı arttıkça numunelerin sertliğinin de arttığı yapılan analizler sonucunda görülmüştür. Araştırmacılar, fındık kabuğu oranının %30-40 olduğu PLA matrisli yeşil kompozitlerde dengeli mekanik özellikler, tam biyobozunurluk ve malzeme maliyetinde dikkate değer bir düşüş görüldüğü için ticari açıdan en iyi formülasyonlar olduklarını belirtmişlerdir. Ceraulo ve ark. [6] Mater-Bi biyo-esaslı plastiğine %10 ve 30 oranlarında fındık kabuğu ekleyerek elde ettiği kompozit malzemelerin morfolojik, mekanik, termal ve reolojik özelliklerini saf Mater-Bi plastiği ile karşılaştırarak incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda fındık kabuğunun; kompozitlerin viskozitesini artırdığını, yapı içerisinde çekirdekletirici ajan olarak hareket ederek kristalleşme özelliğini desteklediğini ve matris ile zayıf ara yüzey etkileşimi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar polimer matrisin sertliğini, darbe dayanımını ve termomekanik direncini artırdığı için ürettikleri kompozit malzemelerin endüstriyel uygulamalarda pratik kullanımı için büyük bir potansiyeli temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Kumar ve ark. [7] alkali ile işlenmiş farklı oranlarda yer fıstığı kabuğunun bazalt elyafı ile güçlendirilmiş LAYPE kompozitlerine hibritleştirici etkisini araştırmışlardır. %20 bazalt takviyeli LAYPE'e %15'e kadar alkali ile işlem görmüş yer fıstığı kabuğunun eklenmesinin kompozitin mekanik, termal ve termomekanik özelliklerini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. FE-SEM analizlerine göre alkali ile işlem görmüş yer fıstığı kabuklarının matris içerisinde tamamen dağıldığını ve matris arasındaki boşluğu azalttığını görmüşlerdir. Oulidi ve ark. [8] poliamid 6 (PA6) matrisine %5 ila %20 arasında farklı miktarlarda yer fıstığı kabuğu tozu karıştırarak biyokompozitler üretmişlerdir. Hazırlamış oldukları biyokompozitleri; Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X ışını kırınım analizi (XRD), diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), termogravimetrik analiz (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak karakterize etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda biyokompozitlerin iyi takviye/matris etkileşimi sergiledikleri, matris içerisinde yer fıstığı kabuğunun değişmez kristallik ve homojen bir dağılım gösterdiğini ve yüksek yer fıstığı oranına sahip numunelerin termal ayrışma sıcaklıklarında önemli değişiklikler tespit edilmiştir. Usman ve ark. [9] geri

dönüştürülmüş PP matris ile yer fıstığı kabuğu ve sodyum hidroksit (NaOH) ile yüzey modifiasyonu işlemi görmüş yer fıstığı kabuğunun iki farklı tanecik boyutu kullanarak ürettikleri yeşil kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Yer fıstığı kabuğu oranı arttıkça kompozitin sertliğinin, termal kararlılığının ve kristalliliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yer fıstığı kabuğu ve sodyum hidroksit (NaOH) ile yüzey modifiasyonu işlemi görmüş yer fıstığı kabuklarından üretilen kompozitlerin gerilme mukavemeti, 0–250 µm parçacık boyutuna sahip yüzey modifiasyonu işlemi görmüş yer fıstığı kabuklarından üretilen kompozitlerden daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.



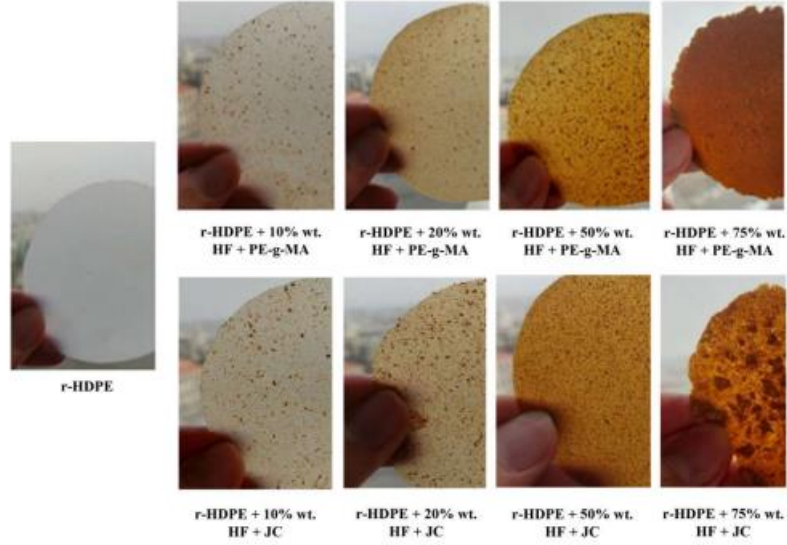
Şekil 1.3. Liminana ve ark. Ürettiği kompozitler [12]

Bouljelben ve ark. [10] %5 ile 40 arasındaki farklı oranlarda badem kabuğu ve LAYPE matris ile hazırladıkları biyokompozitlerin mekanik ve mikro yapısal özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Badem kabuğu yüksek tokluk ve sertlik özellikleri sayesinde üretilen biyokompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve düşük badem kabuğu oranlarında homojen mikro yapıları ile güçlü takviye-matris arayüzüne sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kirubakaran ve ark. [11] bu çalışmalarında yüzey modifikasyonu işlemi görmüş ve görmemiş badem kabuğu tozlarını ve keten lifini, vinil ester reçinesi ile karıştırılarak elde edilen kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelemişlerdir. Araştırmacılar alkali ile yüzey modifikasyonu işleminin, keten lifi/badem kabuğu dolgu maddesi ve matris arasındaki arayüzey etkileşimini geliştirdiği için çekme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir. Liminana ve ark. [12] epoksi, maleik anhidrit ve akrilik gibi farklı yağ türevli uyumlaştırıcılar kullanarak %30 badem kabuğu tozu içeren poli (bütilen süksinat) (PBS) kompozitlerinin mekanik, morfolojik, termal ve termomekanik özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bu çalışma ile kullanılan çeşitli uyumlaştırıcı yağların biyokompozitin özelliklerini geliştirdiğini ve çevre dostu kompozitler üretmek için olumlu etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Altun ve ark.

[13] ara yüzey etkileşimini artırmak için alkalın-silan ile yüzey modifikasyon işlemi gören (%0-30 dolgu oranı aralığında) fıstık kabuğu tozları ve maleik anhidrit aşılantı PLA ile üretilmiş oldukları biyokompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelemiştirler. Yapılan analizler sonucunda %20 oranında işlem görmüş olan fıstık kabuğu ve maleik anhidrit aşılantı PLA ile hazırlanmış olan kompozitlerin optimum mekanik özelliklere sahip olduğu ve SEM analizinde maleik anhidrit aşılantı PLA ve işlem görmüş olan fıstık kabuğu arasındaki elyaf/matris ara yüzey etkileşiminin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Salazar-Cruz ve ark. [14] araştırmalarında PP ve kimyasal olarak işlenmiş fıstık kabuğu parçacıkları ile hazırlanmış kompozitlerin termal özelliklerini incelemiştirler. Araştırmacılar, kimyasal olarak işlenmiş fıstık kabuğunun matris üzerinde çekirdeklenme etkisi ile kristallliği artırdığını, saf PPE kıyasla sertlik ve elastik modülünü artırdığını ve fıstık kabuğunun varlığının termomekanik davranış üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ramraji ve ark. [15] keten lifi ve vinil ester reçinesi ile el yatırması yönteminde üretecekleri kompozitlere farklı oranlarda alkalın ve asitlen ile yüzey modifikasyonu işlemi görmüş badem kabuğu eklemiştirler ve hazırladıkları kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştirler. Çalışma sonunda işlem görmüş olan badem kabuğu tozunun eklenmesi, kompozitin gerilme ve eğilme mukavemetini artırdığı, kompozitlerin mukavemet ve sertliğinde olumlu bir artış olduğunu ve etkili stress aktarımı nedeniyle daha düşük dereceden matris çatlaması, lif kırılması ve ayrılma gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Quiles ve ark. [16] %30 sabit oranında badem kabuğu ve PLA'nın farklı oranlarda maleinleştirilmiş keten tohumu yağı ile uyumlaştırılması ile elde edilen kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada maleinleştirilmiş keten tohumu yağının düşük oranlarda (%1-5) kullanılması, mekanik ve termal özellikleri iyileştirdiğini ve PLA matrislerini güçlendirmek için kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Demirer ve ark. [17] bu çalışmalarında, öğütülmüş fındık kabuğunun göreceli sertliği, karakteristik rengi ve bulunabilirliği nedeniyle PP matrisli kompozitlerde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranında öğütülmüş fındık kabuğu PP matrisi ile ekstrüzyon yoluyla karıştırılmış ve bu karışımlardan enjeksiyon kalıplama ile test numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde çekme, Izod darbe, sertlik, yoğunluk, eriyik akış indeksi, ısıl sapma ve Vicat yumuşama noktası testleri yapılmıştır. PP matriste öğütülmüş fındık kabuğu miktarı arttıkça elastik modülü, sertlik, ısıl sapma ve Vicat yumuşama sıcaklığı değerleri artmıştır. Ancak çekme mukavemeti, kopma kuvveti, kopma uzaması, İzod darbesi ve eriyik akış indeksi değerleri düşmüştür.



Şekil 1.4. Farklı uyumlaştırıcılar ile geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ve kenevir lifli kompozit malzemelerin gösterimi [18]

Xanthopoulou ve ark. [18] geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ile polietilen aşılı maleik anhidrit ile ön işlem görmüş kenevir liflerini kullanarak sürdürülebilir kompozitler üreterek bu kompozitlerin mekanik, termal ve antioksidan özelliklerini incelemişlerdir. Geri dönüştürülmüş polietilene kenevir liflerinin takviye edilmesiyle, üretilen kompozitlerin elastik modülünde iyileşme görülmüştür. Çalışmanın sonunda kenevir lifi oranı arttıkça, kompozitin bozunurluğunun yanında antioksidan özellik göstererek termal işlemler sırasında kompoziti koruyarak oksidatif bozunmasını geciktirdiği tespit edilmiştir. Moonart ve ark. [19] potasyum permanganat ve silan ile kimyasal işlem gören kenevir lifleri ve doğal kauçuktan hazırladıkları biyokompozitleri, işlem görmemiş kenevir lifi ile hazırlanan biyokompozitlerle karşılaştırarak mekanik, morfolojik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerde kenevir lifi oranının artması ile kavrulma ve sertleşme sürelerinin arttığının, silan ile işlem görmüş kenevir lifinin diğer kompozitlere göre daha iyi bir ara yüzey etkileşimi sağlamıştır ve %5 oranında silan ile işlem görmüş kenevir lifinin en iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Moonart ve ark. yaptıkları bu çalışma ile silan ile işlem görmüş kenevir liflerinin diğer liflere göre doğal kauçuk ile gelişmiş uyumluluk gösterdiği sonucuna varmışlardır.

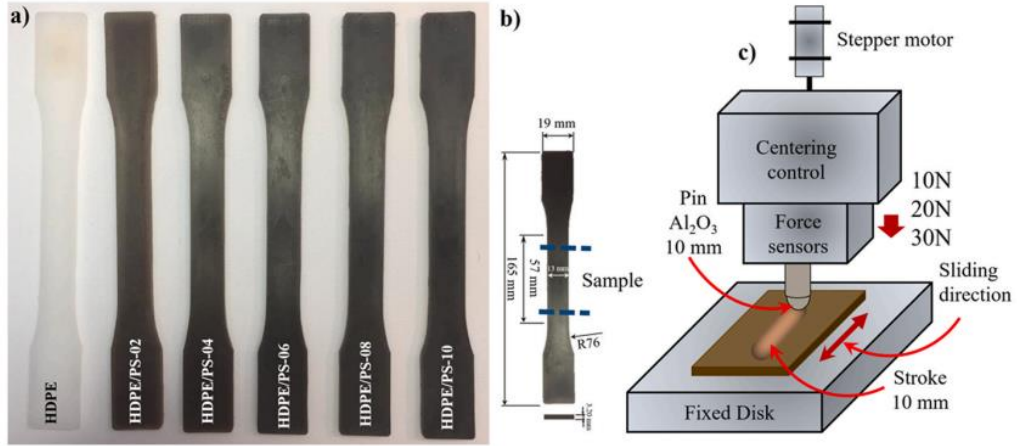
Çelebi ve ark. [20] bu çalışmalarında biyokompozitlerin oksidatif ve renk stabilitesinin arttırmak için PP kopolimeri ve %30 dolgu oranında fıstık kabuğu ile hazırladıkları biyokompozitlere, iki farklı UV katkı maddesi ekleyerek kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. UV katkı maddesi katılan kompozitler, UV'ye maruz kaldıktan sonra mekanik özelliklerinin daha az etkilendiğini ve kompozitlerde renk bozulmasının da

önlendiğini gözlemlemişlerdir. Çetin ve ark. [21] karbonize edilmiş olan antep fıstığı kabukları ve poli[stiren-b-(etilen-ko-butilen)-b-stiren] polimeri ile çözeltiden dökme yöntemini kullanarak elde ettikleri esnek ve iletken kompozitleri film haline getirerek mekanik, morfolojik ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma da antep fıstığı kabuğunun karbonizasyon işlemi sonrasında iletken dolgu maddesine dönüştürülerek farklı sektörlerde kullanımı ile katma değere sahip olabileceği sonucuna varmışlardır. Leszczynska ve ark. [22] yer fıstığı, fındık, ceviz ve fıstık kabukları ile ürettikleri sert poliüretan köpük kompozitlerin morfolojik, mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda doğal dolgu maddelerinin kullanılması viskozite ve su absorpsiyonunu artırırken, yoğunluğu düşürdüğü gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar üretilen kompozitlerin yüksek boyutsal stabiliteye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Mohammed ve ark. [23] yakın zamanda yapmış olduğu bu çalışmada dört farklı tanecik boyutu ve 3 farklı dolgu oranı kullanarak fıstık kabuğu ve PMMA polimerinden ürettikleri biyokompozitlerin mekanik davranışlar üzerindeki performansını incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada hazırlanan kompozitlerde dolgu oranı artmasıyla sıkıştırma mukavemetinin arttığını ve eğilme mukavemetinin azaldığı belirtilmiştir.

Sarraj ve ark. [24]0 silikon bazlı malzemeler ile kahve, ceviz, fıstık, kestane ve bira üreticilerinin kullanılmış tahıl atıklarından ürettikleri biyokompozitlerin yapay deniz suyu koşullarında yaşlanma etkisi altında mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler göre dolgu maddelerinin genel olarak sertliği iyileştirdiği, esnekliği azalttığını ve hızlandırılmış yaşlanma ile kopma değerindeki gerilmenin arttığı sonucuna varmışlardır. Rivera-armenta ve ark. [25] çalışmalarında PP ve dolgu oranı %2 ile 10 arasında olacak şekilde Jatropha Curcas kabuğu ve fıstık kabuğu tozları ile elde ettikleri biyokompozitlerin viskoelastik davranışlarını değerlendirmişlerdir. Kompozite eklenen Jatropha Curcas kabuğu ve fıstık kabuğu tozlarının çekirdeklenme etkisi ile kristallik yüzdesinin, ısı kararlılığın arttığını ve kompozitlerin ayrışmaya yatkınlığının azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca dolgu parçacıklarının varlığının enerji dağılımı için yüksek kapasite oluşturmasıyla sönümleme faktörünün arttığı belirtilmiştir. Thiagarajan ve ark. [26] vakum destekli reçine infüzyon kalıplama yöntemiyle cam elyaf / epoksi kompozit ve %1, 2 ve 3 oranlarında fıstık kabuğu ile hazırladıkları biyokompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozit içerisinde fıstık kabuğunun eklenmesiyle elyaf ve matris arasında iyi bir bağ olduğu, çekme ve eğilme mukavemetinin arttığı yani mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Lohar ve ark. [27] çalışmalarında ceviz kabuğu, yumurta kabuğu, beyaz mermer tozu dolguları ve PLA ile filament olarak ürettikleri kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Doğal dolgu maddelerinin eklenmesiyle saf

PLA'ya göre yoğunluğun arttığını, erime sıcaklığının düştüğünü ve diğer dolgu maddelerine göre ceviz kabuğunun çekme mukavemetini ve uzamayı iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

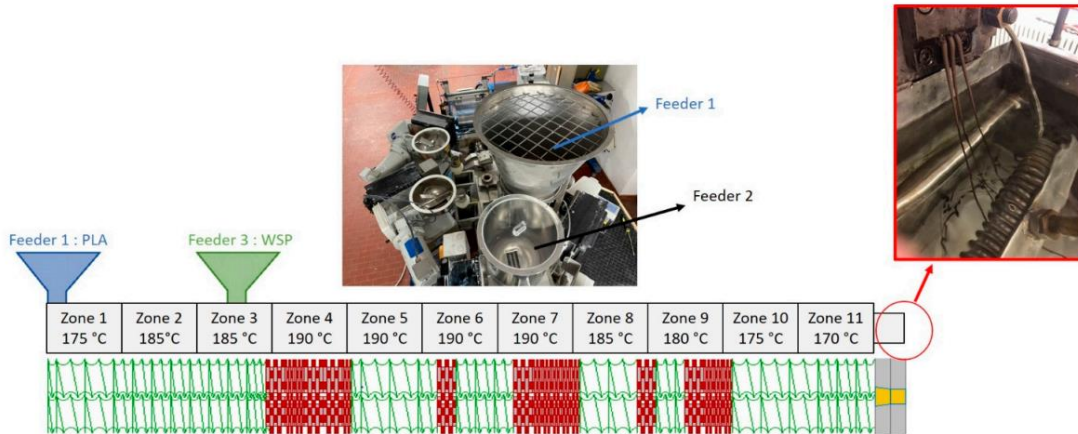
Mishra ve ark. [28] PLA ve ceviz kabuğu tozları ile sıkıştırarak kalıplama yöntemini kullanarak ürettiği biyokompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozite ceviz kabuğunun eklenmesiyle sertlik ve bozunma hızının arttığını ve ceviz kabuğunun yapıda oluşturduğu boşluklar nedeniyle çekme mukavemetinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Montava-Jorda ve ark. [29] 4/1 oranında PLA/ poli(ϵ -kaprolakton) (PCL), farklı oranlarda ceviz kabuğu ve %5 oranında keten tohumu yağı ile biyokompozitler üretmişlerdir. Hazırladıkları kompozitlerde keten tohumu yağının ısı kararlılığı iyileştirirken sertliği azalttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmada matris içerisinde dağılmış ceviz kabuğu parçacıkları daha iyi yük aktarımını sağladıkları için yüksek mekanik ve termal performansa sahip malzemeler elde edilebileceği belirtilmiştir. Orue ve ark. [30] bu çalışmalarında plastikleştirici olarak %10 epoksitlenmiş keten tohumu kullanarak, alkali işlem görmüş ceviz kabuğu ve PLA'dan biyokompozitler hazırlamışlar ve karakterizasyonunu yapmışlardır. Alkali işlemi sonrasında matris ve dolgu arasındaki yapışmanın iyileştiğini ve işlem görmemiş muadiline kıyasla kompozitin çekme dayanımının %50 oranında arttığını tespit edilmiştir. Ayrıca kompozitte ceviz kabuğu ilavesinden sonra kopma uzaması azalmasına rağmen kompozitlerin sünekliği saf PLA ile benzer değerlere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 1.5. Yüksek yoğunluklu polietilen kompozit numuneler [32]

Gargol ve ark. [31] %5, 10, 20 ve 30 dolgu oranları olmak üzere kenevir ve epoksi ile biyokompozitler hazırlayarak bu kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Hazırlanan tüm kompozitlerin artan kenevir oranı ile sertliğinin azaldığını, malzemenin titreşim sönümleme kabiliyetinin arttığını ve belirli bir sıcaklığa kadar hazırlanan

tüm kompozitlerin termal kararlılığa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Garcia ve ark. [32] Şekil 1.5'te görünen % 30 sabit dolgu oranında beş farklı badem kabuğu çeşidi ve nişasta polimeri ile ürettikleri biyokompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Dolgunun etkisi ile kompozitlerin çekme ve darbe dayanımının azaldığını, eğilme modülünün ve sertliğinin biraz arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, farklı badem kabuklarının kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerinde önemli değişiklikler göstermediğini tespit etmişlerdir. Quiles-Carillo ve ark. [33] %25 sabit dolgu oranında badem kabuğu ve PLA'dan ürettikleri biyokompozitlere epoksi bazlı stiren akrilik oligomer, aromatik karbodiimid ve maleinleştirilmiş keten tohumu yağı gibi uyumlaştırıcılar ekleyerek kompozitlerin termal, mekanik özellikleri ve su alımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonrasında, uyumlaştırıcıların dolgu/matris arasındaki boşluğu önemli ölçüde azaltarak gerçekleştirdiği ara yüzeyinde iyileştirmeleri sayesinde mekanik ve termal özellikleri üzerinde olumlu etkilerin olduğu ancak su alımı üzerinde nispeten düşük etki gösterdiği sonucuna varmışlardır. Song ve ark. [34] PLA ve NaOH/silan ile işlenmiş ve işlenmemiş olan badem kabukları ile ürettikleri biyokompozit filamentlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin termal kararlılığının NaOH/silan eklenmesiyle arttığını gözlemlemişler ve analizlerin sonucuna göre gözenekli yapı iskelelerinin daha hafif kemik implantları ve bazı yapısal parçaları üretmek için potansiyel sergilediğini belirtmişlerdir.



Şekil 1.6. Çift vidalı ekstürde ile eriyik harmanlama işlemi [35]

Aliotta ve ark. [35] iki farklı tanecik boyutuna sahip fındık kabuğu ve PLA ile %20, 30 ve 40 dolgu oranlarında laboratuvar ve endüstriyel ölçekli Şekil 1.6'da gösterilen ekstrüzyon makinelerinde ürettikleri biyokompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Fındık kabuğunun matris içerisinde çekirdekleştirici etkisi ile yapıdaki kristalliliğin arttığını ve eriyik viskozitelerinde yapı içerisine çok fazla su almaları nedeniyle belirgin bir düşüş

olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca endüstriyel ölçekli ekstrüzyon makinesinde ürettikleri kompozitlerin laboratuvar ölçekli makinada ürettiklerine göre mekanik özelliklerinde iyileştirmeler görüldüğünü ve kompozitlerin kolayca işlenebilir olduğunu belirtmişlerdir. Husainie ve ark. [36] dolgu oranı %1, 2.5 ve 5 olacak şekilde selüloz, kitin, fındık ve yumurta kabuğu ile poliüretan köpüklerden ürettikleri biyokompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Doğal dolgu malzemelerinin poliüretan köpük içerisinde homojen dağılım ve köpürme gösterdiğini, kompozitlerin hidrolizi sonrasında mukavemetin ve esnekliğin arttığını ancak ayırık yırtılma özelliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Kocaman ve ark. [37] sebasik asit ve epiklorohidrin arasındaki esterleşme reaksiyonu ile sentezlenen çift bağlara sahip yeni bir biyo epoksi reçine ile alkali, akrilik asit ve asetik anhidrit ile ön işlem görmüş ve görmemiş fındık kabukları ile ürettikleri kompozitlerin mekanik, morfolojik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar ön işlem görmüş fındık kabukları ile hazırlanmış olan numelerin kopma uzaması, çekme mukavemetleri ve Vicat sıcaklığının arttığını, epoksi reçinenin yüzeyinin hidrofobikliğini azaldığını gözlemlemişlerdir. Gurbanov ve ark. [38] fındık kabuğu ve PPden elde edilen kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin saf PP ile karşılaştırılmasıyla darbe dayanımlarının arttığını, dolgu oranının artmasıyla mekanik özelliklerinin düştüğünü fakat su absorpsiyonlarının arttığını gözlemlenmiştir.

Kufel ve ark. [39] PP ve dolgu oranları %10, 15 ve 20 olacak şekilde aynı miktarda bazalt lifleri ve fındık kabuğunu kullanarak biyokompozitler hazırlamışlardır. Bu kompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Dolguların kompozitte çekme mukavemetini, elastisite modülünü, termal ve sürünme stabilitesini iyileştirdiği ve termal yaşlanmadan sonra, çekme mukavemeti ve elastisite modülünün önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Bourchak ve ark. [40] havacılık ve diğer hafif hibrit kompozit uygulamaları için yer fıstığı kabuğu, ananas/kevlar elyafları ve vinil ester reçinesi ile el yatırması tekniğiyle ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler doğrultusunda hacimce %5 oranında yer fıstığı kabuğu eklenmiş kompozitlerin çekme, darbe, eğilme ve sertlik değerlerinin arttığı ve hacimce %3 oranında yer fıstığı kabuğu eklenmiş kompozitlerin yorulma ömrünün arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Kumar ve ark. [41] ABS ve alkali işlenmiş ve işlenmemiş yer fıstığı kabuklarından ürettikleri biyokompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Saf ABS'e kıyasla tüm kompozitlerin darbe dayanımları, kopma uzaması, çekme tokluğu ve termal kararlılığının azaldığı ve dolgu oranının artmasıyla kompozitlerin sertliğinin ve camsı geçiş

sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Zaaba ve ark. [42] elektron ışını hızlandırıcı kullanarak ışınladıkları geri dönüştürülmüş PP ve yer fıstığı kompozitlerin, ışınlanmamış olan kompozitler ile 6 ay doğal hava koşullarına maruz bırakıldıktan sonra mekanik ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Işınlanmış kompozitlerin çekme dayanımı ve modülünün arttığını, kopma uzamasının azaldığını ve termal stabilitelerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca SEM görüntülerine göre gözenek ve mantar penetrasyonu ile her iki kompozitte de karbonil indeksin arttığı ve ışınlanmış olan kompozitlerin diğer kompozitlere göre doğal ayrışma bozulmasına karşı daha dirençli olduğunu tespit etmişlerdir. Zaaba ve ark. [43] elektron ışını ışınlaması altında geri dönüştürülmüş PP ve yer fıstığı kabuğundan ürettikleri kompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini incelemişlerdir. Işınlanmış olan kompozitlerde çekme mukavemeti ve modülünün arttığını, kopma uzamasının azaldığını ve jel içerik analizine göre elektron ışını ışınlamasının bileşenler arasında çapraz bağlanmayı indüklediğini gözlemlemişlerdir. Garcia ve ark. [44] %2, 4, 6 ve 8 dolgu oranlarında yer fıstığı kabuğu ve HDPE ile ürettikleri kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. %10 dolgu oranında çekme geriliminin azaldığını ve elastik modülü arttırdığını, % 2 gibi düşük dolgu oranlarının düşük yük seviyelerinde HDPE'nin ısı bozulma sıcaklığı sınırını arttırabileceğini ve dolgunun tribolojik özelliklere herhangi bir katkısının olmadığını gözlemlemişlerdir. Girmurugan ve ark. [45] HDPE, yer fıstığı kabuğu ve nano alümina kullanarak HDPE matris içerisine sadece dolgu maddelerini ayrı ayrı ve birlikte kullanarak ürettikleri bu kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda nano alümina dolgu maddesinin kompozitlerin sertliğini arttırdığını ve her iki dolgununda sıkıştırma mukavemetini ve gerilimini arttırdığını tespit etmişlerdir.



Şekil 1.7. Yer fıstığı kabuğu ve nano alümina katkılı yüksek yoğunluklu polietilen kompozitler [45]

Guna ve ark. [46] pirinç kabuğu, yer fıstığı kabuğu ve PP ile ürettikleri biyokompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerin alçı panellerle karşılaştırılması

sonucunda kompozitlerin maksimum çekme ve eğilme mukavemetine sahip olduğu, alev dirençlerinin birbirine eş değer olduğu ve su emme yüzdesinin alçı panellerden daha düşük olduğu tespit etmişlerdir. Zaaba ve İsmail [47] bu çalışmalarında doğal dolgu maddesi olarak hidrojen peroksit ile işlem görmüş ve işlem görmemiş yer fıstıklarını ve geri dönüştürülmüş PP kullanarak ürettikleri kompozitleri 6 ay hava koşullarına maruz bıraktıktan sonra mekanik ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitlerde dolgu oranı arttıkça mekanik özelliklerin düştüğünü ve karbonil indeksin arttığını, işlenmiş dolgu maddelerinin diğerine göre çekme özelliklerinin arttığını, bozunmadan daha az etkilendiğini ve düşük kristallığe sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Zhang ve ark. [48] doğal dolgu maddesi olarak yer fıstığı, pirinç ve ceviz kabuklarını kullanarak ürettikleri HDPE matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Lif içeriğinin artmasıyla üç kompozitinde darbe mukavemetlerinin azaldığını, sürünme dirençlerinin arttığını ve eğilme ve çekme özelliklerinin önce arttığını daha sonra azaldığını gözlemlenmişlerdir. Ayrıca üç kompozit arasından pirinç kabuğu/HDPE'nin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

1.3. Hipotez

Bu tez, fındık, ceviz, antep fıstığı, badem ve fıstık kabukları ile kenevir tohumu posası, ayçiçeği küspesi ve zeytin pirinası gibi çeşitli tarımsal atık türlerinin polimer kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmasının yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmayıp aynı zamanda elde edilen kompozitlerin mekanik, termal ve geri dönüştürülebilirlik performansını da geliştirdiği hipotezine dayanmaktadır. Uygun dolgu oranları ve işleme koşulları altında, bu biyobazlı atıkların geleneksel inorganik dolgularla karşılaştırılabilir, hatta onları aşan malzeme özellikleri sunabileceği önerilmektedir. Ek olarak, bu tür doğal dolguların kullanımının kompozitlerin termal kararlılığını ve kristallliğini iyileştirmesi beklenmektedir. Hipotez ayrıca tarımsal atıklarla güçlendirilmiş kompozitlerin yüksek yeniden işlenebilirlik göstereceğini ve endüstriyel uygulamalar için hem ekonomik hem de ekolojik faydalar sunarak dairesel üretim sistemlerine etkili bir şekilde entegre edilebileceğini varsaymaktadır. Bu nedenle, bu araştırma, yenilikçi ve sürdürülebilir potansiyelleri ile tarımsal atıkların yüksek performanslı, çevre dostu kompozit malzemelere dönüştürülebileceği öncülüne dayanmaktadır.



2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

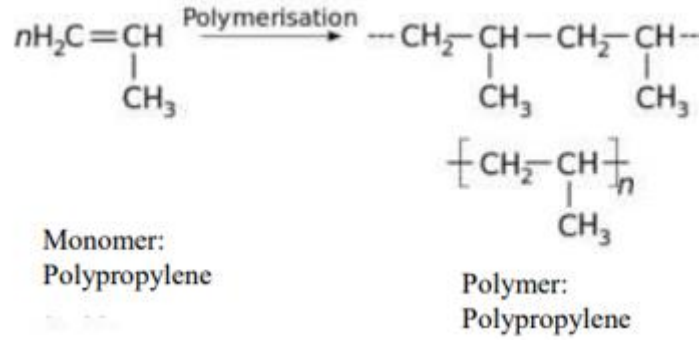
Bu tez çalışmasında polimer kompozitlerde matris malzemesi olarak Moplen EP 3307 PP (PP) polimeri, dolgu malzemesi olarak fındık kabuğu, ceviz kabuğu, badem kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, yer fıstığı kabuğu, kenevir tohumu posası, ayçiçeği küspesi ve zeytin pirinası kullanılmıştır. Bu çalışmada hazırlanan polimer kompozitlerin karışımları ve içerikleri Tablo 2.1’de verilen oranlara göre hazırlanmıştır.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan karışım miktarları

Parametre Kodları	PP (%)	Tarımsal Atık	Tarımsal Atık (%)	Talk (%)
PPAW01	100	-	-	-
PPAW02	80	-	-	20
PPAW03	80	Fındık Kabuğu	20	-
PPAW04	80	Ceviz Kabuğu	20	-
PPAW05	80	Badem Kabuğu	20	-
PPAW06	80	Antep Fıstığı Kabuğu	20	-
PPAW07	80	Yer Fıstığı Kabuğu	20	-
PPAW08	80	Kenevir Tohumu Posası	20	-
PPAW09	80	Ayçiçeği Küspesi	20	-
PPAW10	80	Zeytin Pirinası	20	-

2.1.1. PP

PP, uzun bir hidrokarbon zincirinden oluşan yaygın bir termoplastiktir. Temel yapı taşı olan propilen monomerinin yapısında bir adet metil gurubu ve bir adet çift bağlı karbon atomu bulunur. Propilenin polimerizasyonu ile yapısında bulunan karbon çift bağları kırılarak uzun hidrokarbon zinciri oluşur. PP’nin yapısı Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. PP'nin kimyasal yapısı [50]

En yaygın kullanılan polimerlerden olan PP'nin, yarı kristalin yapıları, moleküler yapıları, molekül ağırlıkları ve molekül ağırlık dağılımları, kristallik dereceleri ve morfoloji gibi özellikleri fiziksel ve mekanik özelliklerinin kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Düşük yoğunluk, iyi sertlik, kolay işlenebilirlik, düşük üretim maliyeti, iyi mekanik özellikleri ve geri dönüştürülebilir olması PP'e birçok uygulama alanı için avantaj sağlamaktadır.

Deneyisel çalışmalarda matris malzemesi olarak lyondellbasell firmasına ait Moplen EP 3307 ticari ismi ile bilinen PP hammadde kullanılmıştır. PP'ye ait teknik özellikler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Moplen EP 3307 teknik özellikler

PP	Değer	Birim	Standart
Yoğunluk	0,9	g/cm ³	ISO 1183
MFR(230°C, 2,16 kg)	15	g/10min	ISO 1183
Çekme Dayanımı	20	MPa	ISO 527-1,-2
Elastik Modülü	1100	MPa	ISO 178
Çentikli Darbe (23°C)	N.B.	kJ/m ²	ISO 180
Çentikli Darbe (0°C)	10	kJ/m ²	ISO 180
Çentikli Darbe (-20°C)	7	kJ/m ²	ISO 180
Çentikli Darbe (-30°C)	6	kJ/m ²	ISO 180
HDT (0,45 MPa)	95	°C	ISO 75B-1,-2

2.1.2. %20 Talk katkılı Polipropilen

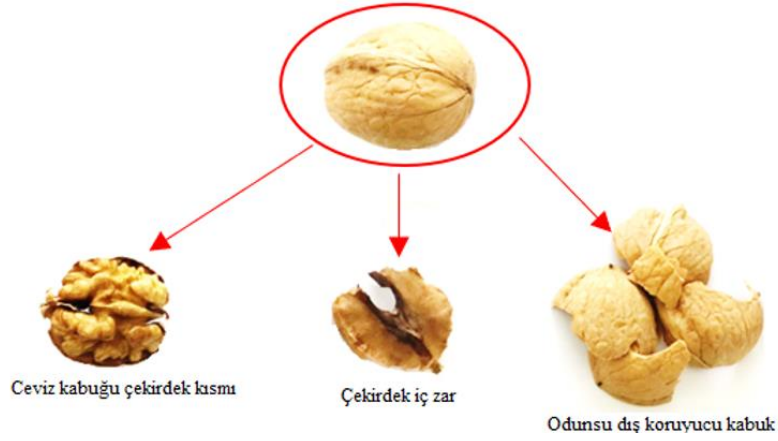
Bu çalışmada referans malzeme olarak, lyondellBasell firmasına ait Hostacom M2 N01 ticari ismi ile bilinen %20 talk katkılı PP hammaddesi tercih edilmiştir. Üretilen bu biyokompozitlerin mekanik ve termal özellikleri, endüstride kabul görmüş bu talk katkılı PP kompozitleriyle karşılaştırılarak, tarımsal atıkların potansiyel bir alternatif olup olmayacağı değerlendirilecektir. %20 talk katkılı bu PP hammaddesinin özellikleri Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Hostacom M2 N01 teknik özellikler

%20 Talk Katkılı PP	Değer	Birim	Standart
Yoğunluk	1,06	g/cm ³	ISO 1183
MFR(230°C, 5 kg)	9	g/10min	ISO 1183
Çekme Dayanımı	32	MPa	ISO 527-1,-2
Elastik Modülü	2700	MPa	ISO 178
Çentikli Darbe (23°C)	4	kJ/m ²	ISO 180
Çentiksiz Darbe (23°C)	50	kJ/m ²	ISO 180
HDT (0,45 MPa)	120	°C	ISO 75B-1,-2

2.1.3. Ceviz kabuğu

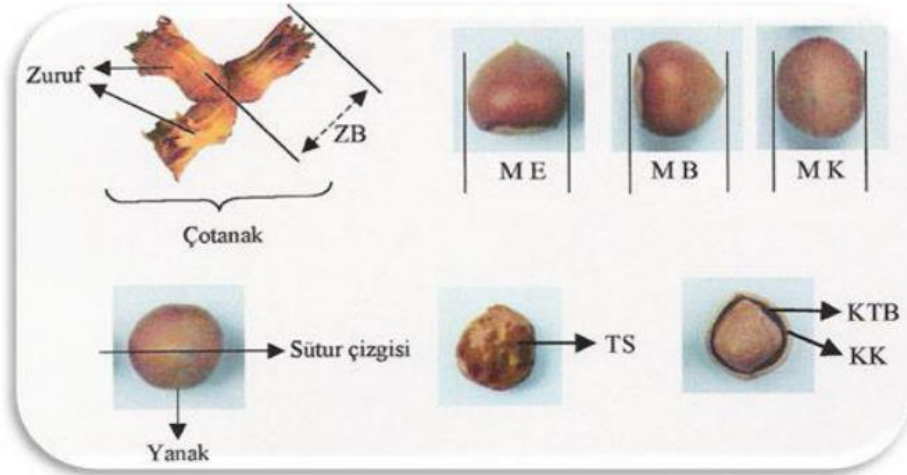
Bu çalışmada, polimer kompozit üretiminde dolgu malzemelerinden biri olarak Kahramanmaraş Çağlayancerit'e özgü Maraş-18 cinsi ceviz kabukları kullanılmıştır. Yoğunluğu 1,0-1,2 g/cm³ aralığında değişen ceviz kabukları, yapısal olarak sert odunsu bir dış kabuk ve iç kısımda bariyer görevi gören bir zardan meydana gelmektedir. Ceviz kabukları neme ve suya duyarlıdır ve kimyasal bileşiminde %41 oranında lignin ve %36,7 oranında selüloz bulunan ceviz kabuklarında ayrıca hemiselüloz ve diğer bileşenler de yer almaktadır. Çalışmada, iç zarın topaklaşmaya neden olması sebebiyle ayrıldığı ve yalnızca sert odunsu kabuk kısmı öğütülerek kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Ceviz katmanlı yapısı [50]

2.1.4. Fındık kabuğu

Bu çalışmada dolgu malzemesi Giresun yöresine özgü tombul fındık çeşidinden elde edilmiştir. Fındık kabuklarının incelenmesi belirgin bir çift katmanlı yapı ortaya koymuştur. En dıştaki katman sert ve dayanıklı bir dokuya sahipken, altındaki iç katman belirgin şekilde daha yumuşak ve daha gevşek bir bileşime sahiptir. Numune hazırlama işlemi sırasında daha yumuşak olan iç katman dikkatlice çıkarılmış ve sadece sert dış kabuk öğütülerek deneylerimizde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Şekil 2.3’de fındık kabuğunun katmanlı yapısını göstermektedir.



Şekil 2.3. Fındık katmanlı yapısı [51]

2.1.5. Badem kabuğu

İç kısmından ayrıldıktan sonra badem kabukları genellikle atık olarak atılır veya yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak kullanılan badem kabukları sert

lignoselülozik yapıya sahip tarımsal atık olarak sınıflandırılmıştır. Bu kabuklar yüksek mekanik mukavemet gösterir ve selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenler açısından zengindir. Kompakt ve lifli morfolojileri onları kompozit sistemlerde takviye dolgu maddeleri olarak özellikle uygun hale getirmektedir. Kullanımdan önce kabuklar, boyutsal stabilizasyon elde etmek ve polimer matrisle uyumluluklarını artırmak için öğütme ve kurutma işlemlerine tabi tutulmuştur [52-54].



Şekil 2.4. Badem katmanlı yapısı [55]

2.1.6. Antep fıstığı kabuğu

Bu çalışmada, sert ve lifli lignoselülozik yapıları nedeniyle dolgu malzemesi olarak Antep fıstığı kabukları kullanılmış ve bu kabuklar değerli bir tarımsal atık türü olarak sınıflandırılmıştır. Yüksek karbon içerikleri ve dikkate değer termal kararlılıkları onları kompozit üretiminde kullanım için özellikle uygun hale getirmektedir. Polimer matrise dahil edilmeden önce, kalan yumuşak iç kalıntılar hava temizleme yoluyla giderilmiş ve uyumlu bir parçacık boyutu elde etmek için yalnızca sert kabuk kısmı öğütülmüştür. Bu işleme yaklaşımı, kabukların kompozit yapıya mekanik katkısını artırmakla kalmaz, aynı zamanda yeterince kullanılmayan bir biyokütleyi yeniden kullanarak sürdürülebilir malzeme geliştirmeyi hedefler [56, 57].



Şekil 2.5. Antep fıstığı katmanlı yapısı [58]

2.1.7. Yerfıstığı kabuğu

Bu çalışmada kullanılan fıstık kabukları, yüksek lignin ve selüloz içerikleriyle karakterize edilen dayanıklı bir tarımsal yan üründür. Lifli yapıları, onları kompozit malzemelerde takviye edici dolgu maddeleri olarak oldukça uygun hale getirir. Ek olarak, geri dönüştürülebilirlikleri ve biyokömüre dönüştürülme potansiyelleri, sürdürülebilir malzeme seçimi ilkeleriyle uyumlu çevresel avantajlar sunmaktadır. Kullanımdan önce kabuklar, tüm fiziksel safsızlıklardan temizlendi, öğütüldü ve polimer matrisle homojen bir karışım sağlamak için işlendi [47, 59].



Şekil 2.6. Yer fıstığı katmanlı yapısı yapısı [60]

2.1.8. Kenevir tohum posası

Bu çalışmada, doğal bileşimi ve yüksek lif içeriği nedeniyle değerli olan ve onu çevre dostu biyokompozitler için mükemmel bir hammadde haline getiren kenevir tohumu posası, dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Yağ çıkarma işleminin ardından kalan lifli kalıntı, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve hafif yapısıyla dikkat çekerken, aynı zamanda polimer matrislerle uyumlu fiziksel özellikler de sergilemektedir. Kenevir tohumu posasının düşük yoğunluğu ve doğal karbon içeriği, sürdürülebilir ve işlevsel kompozit malzemelerin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır [61, 62].



Şekil 2.7. Kenevir tohumu posası

2.1.9. Ayçiçeği küspesi

Bu çalışmada, yağ çıkarıldıktan sonra geriye kalan protein ve lif açısından zengin yan ürün olan ayçiçeği küspesi dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Yüksek karbon içeriği ve doğal bileşimi ile karakterize edilen bu bitki bazlı kalıntı, biyokompozitlerde kullanım için değerlendirilmiştir. Düşük maliyeti ve Türkiye'de yaygın olarak bulunması sayesinde ayçiçeği küspesi, sürdürülebilir malzeme geliştirme için ekonomik olarak uygulanabilir bir seçenek sunmaktadır [63, 64].



Şekil 2.8. Ayçiçeği Küspesi

2.1.10. Zeytin pirinası

Selüloz, hemiselüloz ve lignin açısından zengin lifli bir tarımsal atık olan zeytin pirinası, zeytinyağı üretiminin bir yan ürünüdür. Biyokompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanıldığında, etkili atık yönetimini desteklerken doğal kaynakların tüketimini azaltmaya katkıda bulunur. Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak bulunması nedeniyle zeytin pirinası yerel

kaynaklı ve uygun maliyetli bir alternatif sunmaktadır. Bu çalışmada, zeytin pirinası polimer matrisle uyumluluğu sağlamak için öğütülmüş ve kurutulmuş ve kompozit üretiminde etkili bir dolgu maddesi olarak kullanılmıştır [65].



Şekil 2.9. Zeytin Pirinası

2.2. Numunelerin hazırlanması

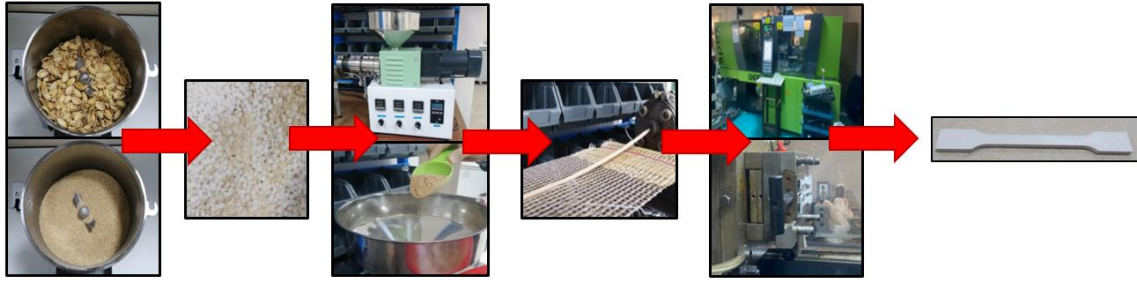
Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan fındık kabuğu, badem kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, yer fıstığı kabuğu, kenevir tohumu posası, ayçiçeği küspesi ve zeytin pirinası fabrikalardan atık olarak temin edildi. Bu tarımsal atıklar içerilerinde bulunan dal, çırpı, taş vb. gibi yabancı maddelerden ve iç zarlarından ayıklandı. Ayıklanan tarımsal atıklar Şekil 2.10'da gösterilen Lavion marka HC500 model hububat öğütücüsünde öğütüldü. Öğütülen tarımsal atıklar elek makinesi yardımıyla mesh gruplarına göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.10. Tarımsal atıkların öğütülme işlemine ait görsel

Eriyik harmanlama işlemi öncesinde tarımsal atıkların içerisinde barındırdıkları nemi uzaklaştırmak için etüv içerisine 100 °C'de 2 saat kurutma işlemi uygulandı. Bu işlemten sonra 120 mesh tanecik boyutundaki tarımsal atıklar ve PP Tablo 2.1'de verilen karışım oranlarına

uygun bir şekilde terazi yardımı ile tartıldı ve mekanik karıştırma yöntemi ile karıştırıldı. Robodigg marka tek vidalı ekstrüderde eriyik harmanlama işlemi ile karışımlar elde edildi ve granül formuna getirildi. Granül formuna getirilmiş malzemeler en az 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra Yalova Üniversitesi, Polimer Araştırma Lab.'da bulunan Engel firmasının 800 kN'luk plastik enjeksiyon makinesinde 300 kN kapama basıncı, 15 °C besleme bölgesi sıcaklığı ve 21 0°C kalıplama sıcaklığında enjeksiyonla kalıplanarak test numunleri üretildi. Kullanılmış olan ekstrüzyon makinesi, enjeksiyon makinesi ve test numunesi kalıbı Şekil 2.11'de verilmiştir.



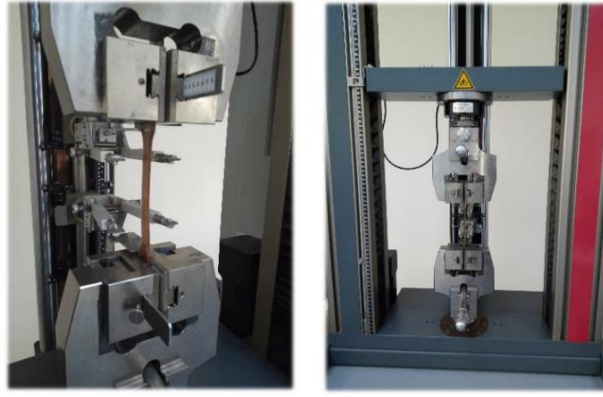
Şekil 2.11. Antep fıstığı kabuğu dolgulu PP kompozit üretim şeması

2.3. Mekanik Testler

Hazırlanan tarımsal atık dolgulu polimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, çekme testi, üç nokta eğme testi, darbe testi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Mekanik testler Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma Lab. bünyesinde bulunan mekanik test cihazları ve ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Çekme testi

Çekme testi, malzemenin gerilme deformasyon değerlerinin belirlendiği bir mekanik testtir. DIN EN ISO 527-1 standardına göre hazırlanmış olan numuneler, çekme test cihazının alt ve üst çenesine bağlanması ile 50 mm/dk çekme hızı ile tek eksende numune kopana kadar çekme kuvveti uygulanarak gerçekleşen bir testtir. Çekme testi sırasında, cihaz gerilim-boyut değişim grafiği çizmekte ve çekme mukavemeti (MPa), kopma uzaması (%), elastisite modülü (E) gibi değerleri vermektedir. Bu grafikte kesitteki uzama miktarına bakılarak malzemenin mekanik özellikleri hakkında yorum yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında çekme testi Şekil 2.12'de gösterilen Zwick/Roell marka Z020 model test cihazında yapıldı.



Şekil 2.12. Zwick/Roell marka Z020 model test cihazı ile çekme testi görseli

2.3.2. Üç nokta eğme testi

Üç nokta eğme testi, bir noktaya yük uygulayarak eğilmedeki elastikiyet modülünü, eğilme gerilimini ve eğilme geriniminin belirlendiği bir malzeme testidir. Bu test ile DIN EN ISO 527-2 standardına uygun bir şekilde hazırlanan ve iki mesnet arasına yerleştirilen numunelerin orta noktasına kuvvet uygulanarak esneklik mukavemeti, kırılma noktasındaki uzama ve numuneye uygulanan maksimum kuvvet tayin edilmektedir. Üç nokta eğme testi Zwick/Roell marka Z020 model test cihazında test aparatlarının değiştirilerek aynı cihazda gerçekleştirildi. Test numuneleri 64 mm arası açıklık olan iki destek arasına yerleştirilecek ve 2 mm/dk basma hızında eğilmeye maruz bırakıldı.

2.3.3. Darbe testi

Izod darbe testi, istenilen standartlara uygun olarak hazırlanan numuneleri orta noktasından bir sarkaçla vurarak bir numunenin kırılması için gereken enerjiyi ölçmektedir. ISO 294-1 standartlarına uygun olarak hazırlanan numune test cihazının çenesine dikey ve çentik kısmı sarkaca bakacak şekilde yerleştirilir. Sarkaç belirli bir yükseklikten bırakılarak numunenin çentik kısmından çok yönlü gerilim ile kırılması sağlanır. Bu test ile numunenin kırılmaya karşı gösterdiği direnç belirlenmektedir. Instron marka 120D model test cihazı ile ISO 179-1 standardına uygun olarak çentikli Izod darbe testi 150° - 5 J'luk sarkaç çekici açısı ve enerjisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Charpy darbe testinde Izod darbe testinin aksine numune yatay bir şekilde konumlandırılır. İki ucu mesnete dayanacak şekilde konumlandırılan numuneye belirli bir yükseklikten serbest bırakılan sarkacın çarpması ile numunenin kırılması sağlanır. Bu test ile numune üzerinde meydana gelen çok eksenli gerilmelerin etkisi ile deney parçasının kırılmasını sağlayan enerji belirlenmektedir.

2.3.4. Sertlik testi

Durometre, ölçü birimi Shore olan ve polimerik malzemelerin cihaz ucunda bulunan iğnesinin malzemeye batmaya olan direncini gösteren bir test cihazıdır. Kauçuk ve elastomerler gibi yumuşak malzemelerde Shore A birimi ile ölçülürken, sert ve rijit plastiklerin sertlik ölçümünde Shore D ölçü birimi kullanılmaktadır. Ölçüm sırasında cihazın iğnesi malzemeye tamamı batıyorsa cihazın göstergesi 0 değerini gösterirken, iğne numuneye batmıyorsa 100 değerini göstermektedir. Bu çalışmada numunelerin sertlik ölçümleri Yalova Üniversitesi Polimer İşleme Laboratuvarında bulunan Şekil 2.13'te gösterilen Loyka marka durometer cihazı ISO 868 standartlarına uygun bir şekilde ölçülmüştür.



Şekil 2.13. Loyka marka durometer

2.4. Isıl Testler

Plastiklere uygulanan termal analizler, plastiğin fiziksel özellikleri, ısı geçişleri, yaşlanma süreçleri ve dolgu malzemelerinin ve çeşitli üretim koşullarının malzeme üzerindeki etkisi hakkında bilgi vermektedir. Hazırlanan tarımsal atık dolgulu polimer kompozitlerin ısı özellikleri üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkilerinin belirlenebilmesi için numunelere ısı testleri uygulanmıştır. Isıl testler sonucunda; malzemenin ısı enerjisi karşısında gösterdiği davranışların anlaşılmasının yanı sıra erime, kristallenme, bozunma ve yumuşama sıcaklığı gibi birçok değer hakkında bilgi sahibi olunmasına yardımcı olmaktadır. Isıl testler Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Selçuk Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı ve Fompak Otomotiv bünyesinde bulunan test cihazları kullanılarak yapılmıştır.

2.4.1. Isıl deformasyon (HDT) testi

Isıl Deformasyon (HDT) testi, plastiklerin belirli bir yük ve yüksek sıcaklık altında deformasyona karşı direncini ölçer. Bu tezde, HDT testi ISO 75 A standardına uygun bir CEAST test makinesi kullanılarak gerçekleştirildi. Numuneler, dakikada 2°C oranında sıcaklık artırılırken 1,8 MPa'lık bir yüke tabi tutuldu. Numuneler 0,33 mm'lik bir sapmaya ulaşana kadar test bir silikon yağ banyosunda gerçekleştirildi.

2.4.2. Vicat yumuşama sıcaklığı testi

Vicat yumuşama sıcaklığı, plastikler gibi belirgin bir erime noktasına sahip olmayan malzemelerin yumuşama noktasını belirlemek için kullanılır. Bu test, numuneyi bir yağ banyosuna yerleştirmeyi ve belirli bir yük uygulayan bir iğnenin, sıcaklık kademeli olarak artarken numunenin yüzeyine 1 mm nüfuz ettiği sıcaklığı ölçmeyi içerir. Bu çalışmada, testler ISO 306-B120 standardına uygun olarak bir CEAST Vicat-HDT cihazı kullanılarak yürütülmüştür. Sıcaklık, dakikada 2 °C hızla 39 °C'den yükseltilmiştir.

2.4.3. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) testi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC), bir numunenin ısıtma, soğutma veya izotermal tutma sırasında emdiği veya saldığı enerji miktarını referans bir malzemeyle karşılaştırarak ölçen analitik bir tekniktir. Bu yöntem, cam geçiş sıcaklığı (T_g), erime sıcaklığı ve kristalleşme sıcaklığı gibi polimerler için kritik termal parametrelerin belirlenmesini sağlar.

Bu çalışmada, hazırlanan numunelerin erime ve kristalleşme sıcaklıkları ile kristalleşme derecesi, Seiko DSC 7020 cihazından elde edilen verilere dayanarak hesaplanacaktır. Testler, dakikada 10 °C'lik bir ısıtma hızıyla -50 ila 250 °C'lik bir sıcaklık aralığında gerçekleştirildi.

Numuneler için kristallik yüzdesi (%X_c), %X_c'nin kristallik derecesini, ΔH°_m'nin %100 kristal PPin erime entalpisini (209 J/g olarak alınmıştır) ve ΔH_m'nin numunenin ölçülen erime entalpisini temsil ettiği aşağıdaki denklem (Eş 2.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H^\circ_m \times (\%PP)} \times 100 \quad (2.1)$$

Ek olarak, DSC testlerinden elde edilen erime sıcaklıkları, Gibbs-Thomson denklemi (Eş 2.2) kullanılarak numunelerin kristal kalınlığının hesaplanmasına olanak tanır. Bu kapsamlı termal analiz, incelenen polimer kompozitlerin yapı-özellik ilişkilerine dair değerli bilgiler sağlar.

$$\frac{T_m}{T^\circ_m} = 1 - \frac{2\sigma_e}{\lambda \Delta H_m} \quad (2.2)$$

2.4.4. Termogravimetrik analiz (TGA) deneyi

Termogravimetrik Analiz (TGA), polimer malzemelerin termal kararlılığını ve bozunma davranışını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir termal analiz tekniğidir. Bu

yöntemde, numuneler belirli bir sıcaklık aralığında kontrollü bir oranda ısıtılırken, zaman içindeki kütle değişimlerinin hassas ölçümleri kaydedilir. TGA yalnızca ayrışma sıcaklıklarını belirlemekle kalmaz, aynı zamanda malzeme içindeki nemin, katkı maddelerinin ve diğer bileşenlerin buharlaşmasını da tespit eder. Bu, bir polimer sistemindeki her bir bileşenin termal tepkilerinin ayrıntılı bir analizini sağlamaktadır.

Ek olarak, oksidatif bir ortamda yürütülen TGA, oksidasyonun başlangıç sıcaklığını ve ilişkili kütle kaybını belirleyebilir ve polimerin ömrü ve performans sınırları hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Bu çalışmada, TGA testleri bir Seiko TG/DTA 6300 cihazı kullanılarak gerçekleştirildi.

2.5. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Karakterizasyonu

Bu test çalışması kapsamında hazırlanan kompozitlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri ve su absorpsiyon ölçümleri ile kompozitlerin fiziksel davranışları değerlendirilmiş; FT-IR ve SEM analizleri ile kimyasal yapı ve yüzey morfolojileri karakterize edilmiştir. FT-IR analizleri Yalova Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilirken, SEM görüntüleme çalışmaları Konya Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında yapılmıştır.

2.5.1. Yoğunluk Ölçümü

Bir maddenin birim hacimdeki kütlesine yoğunluk denir. Bu çalışmada tarımsal atıkların malzemenin yoğunluğuna etkisini ölçmek için her bir parametrenin yoğunluk ölçümleri piknometre ile ISO 1183 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Piknometre genelde ince taneli malzemelerin ya da sıvıların yoğunluklarının ölçümünde kullanılmaktadır. Önce boş ve kuru piknometrenin ağırlığı (m_0) hasas terazide ölçülür, ardından yoğunluğu ölçülecek olan kompozitin granülleri piknometrenin içerisine konur ve piknometrenin (m_1) tartımı alınır. Granüllerin bulunduğu piknometrenin içerisine distile su ile doldurulur ve hassas terazi de tartımı alınır. Son olarak piknometre boşaltılır ve içerisinde sadece distile su ile doldurularak tartımı alınır. Aşağıda bulunan formüller kullanılarak kompozitlerin yoğunlukları hesaplanır.

$$\text{Katı maddenin kütlesi: } m_k = m_1 - m_0 \quad (2.3)$$

$$\text{Sıvı yer değiştirmesi: } \Delta m = (m_3 - m_0) - (m_2 - m_1) \quad (2.4)$$

$$\text{Katı hacmi: } V_k = \frac{\Delta m}{\rho_{su}} \quad (2.5)$$

$$\text{Katı yoğunluğu: } \rho_k = \frac{m_k}{V_k} \quad (2.6)$$

2.5.2. Su absorpsiyon testi

Plastikler uzun karbon zincirlerinden oluştukları ve kimyasal yapılarında polar gruplar bulundurmadıkları için su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturmazlar. Bu nedenle yapılarında çok fazla nem bulundurmazlar. Fakat tarımsal atıklarda bulunan selüloz ve hemiselüloz gibi bileşenlerin yapısında bulunan hidrofilik olan hidroksil grupları (-OH) su molekülleri ile hidrojen bağları oluşturarak tarımsal atıkların nem çekmesine neden olmaktadır. Su absorpsiyon analizi ile kompozitlerde kullanılan tarımsal atıkların malzemenin nem çekme özelliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kompozitlerden kesilen parçaların kuru tartımları alınarak suya daldırıldı ve 744 saat boyunca su içerisinde bekletildi ve 24 saatlik periyodlar halinde su içerisinde çıkartılıp parçaların tartımları alındı. Kompozitlerin su emilim kapasitleri aşağıda bulunan formül yardımı ile hesaplandı.

$$\text{Su absorpsiyon yüzdesi} = \left(\frac{f_w - I_w}{I_w} \right) \times 100 \quad (2.7)$$

f_w : Son ağırlık

I_w : İlk ağırlık

2.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) testi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) Spektroskopisi, moleküler titreşimlerin karakterizasyonu için yaygın olarak kullanılan güçlü bir analitik tekniktir. Kimyasal yapıları tanımlamada, malzeme bileşimlerini analiz etmede ve çeşitli maddelerdeki saflık seviyelerini değerlendirmede önemli bir rol oynar.

FT-IR cihazı kızılötesi ışık emilimi ilkesiyle çalışmaktadır. Bir numune kızılötesi radyasyona maruz bırakıldığında, molekülün kimyasal bağlarının titreşim modlarıyla etkileşimler nedeniyle belirli dalga boyları emilir. Bu emilim desenleri moleküler yapının oldukça karakteristik özellikleridir. Kullanılabilir bir spektrum oluşturmak için cihaz, ham interferometrik verileri yorumlanabilir bir IR spektrumuna dönüştüren Fourier dönüşümü olarak bilinen matematiksel bir işlem uygulamaktadır.

2.6. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu'nun (SEM) temel çalışma prensibi, odaklanmış bir elektron demetini bir numunenin yüzeyine yönlendirmek ve yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturmak için ortaya çıkan etkileşimleri tespit etmeye dayanır. Bu teknik, özellikle kırık yüzeylerini

analiz etmek ve polimerik kompozitlerdeki dolgu dispersiyonunu ve arayüz bağıı anlamak için faydalıdır.

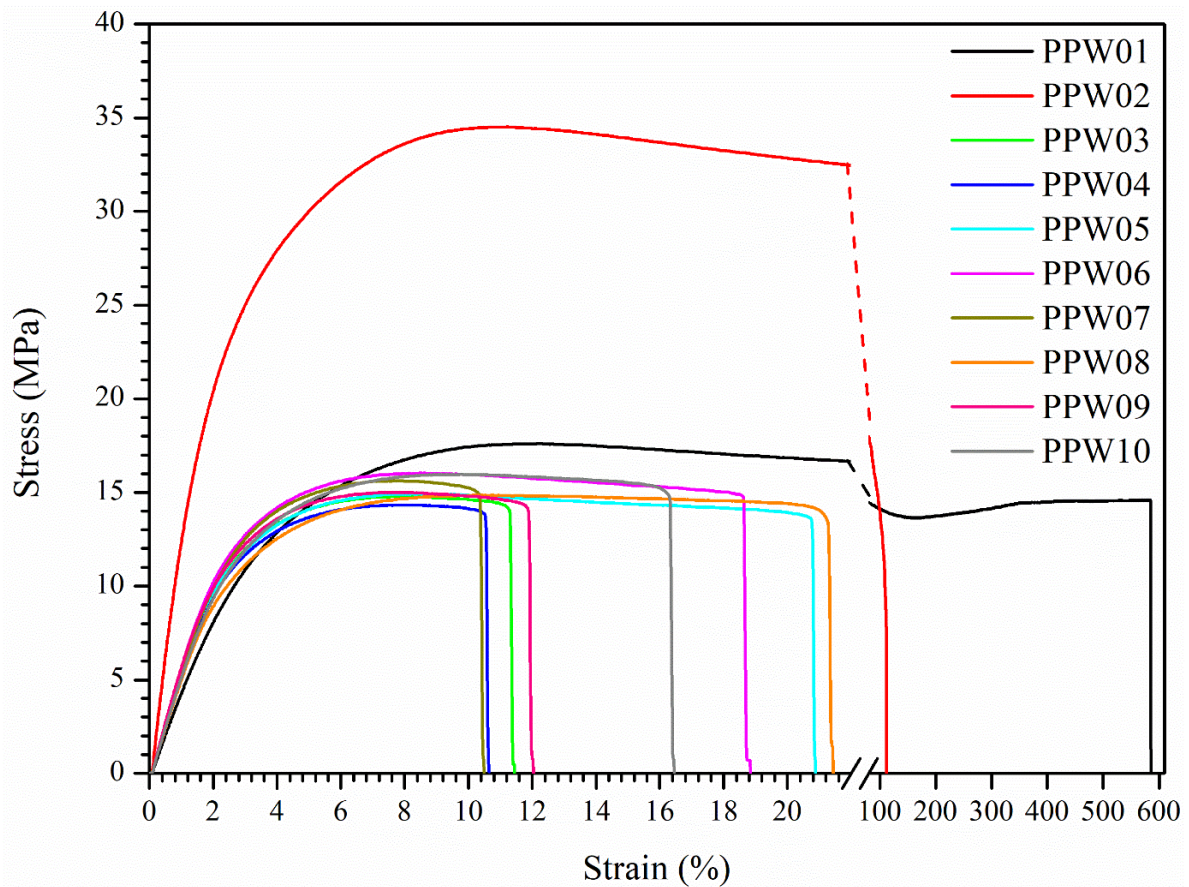
Bu çalışmada, SEM görüntüleme, Konya Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan bir ZEISS EVO LS10 taramalı elektron mikroskobu kullanılarak gerçekleştirildi. Polimer bazlı test numunelerinin iletken olmayan yapısı nedeniyle, numunelerin 0,18 mbar vakum altında yaklaşık 5–7 nm kalınlığında ince bir altın tabakasıyla püskürtme kaplaması yapılarak yüzey iletkenliği artırıldı. Kaplama işlemi, görüntü netliğini artırmak ve analiz sırasında şarj etkilerini önlemek için bir Cressington 108 Sputter Coater kullanılarak gerçekleştirildi. İletkenliği daha da artırmak için, altın kaplamadan önce numuneler ve numune tutucu arasına bakır bant uygulandı. Altın, detaylı SEM görüntülemesi için ideal olan düzgün bir iletken tabakanın sağlanması için 240 saniye boyunca biriktirildi.



3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Çekme Test Sonuçları

Tablo 3.1’de çekme test sonuçlarına ait tüm sayısal verilere yer verilmiştir. Tüm parametrelerin çekme test sonuçlarının karşılaştırılmalı grafiği Şekil 3.1’de verilmiştir. Çekme test sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme mukavemeti 34,2 MPa ile PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı kompozitinde elde edilmiştir. Tarımsal atık katkılı parametrelerin çekme mukavemeti sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme mukavemeti 15,56 MPa ile PPAW06 numune kodlu %20 Antep fıstığı katkılı kompozite aitken tarımsal atık katkılı parametrelerde bu değer PPAW08 numune kodlu %20 kenevir tohumu posası katkılı kompozitinde 14,64 MPa kadar düşmektedir. Tablo 3.1’de elastisite modül değerleri incelendiğinde en yüksek elastisite modülü 1238,06 MPa ile PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı kompozite ait olduğu ve 401,6 MPa ile en düşük elastisite modülü PPAW01 numune kodlu referans parametresi olan PP’de elde edilmiştir. Tarımsal atık katkılı parametrelerin elastisite modülü incelendiğinde talk katkılı kompozitin elastisite modülü kadar olmasa da 485,65-530,04 MPa aralığında elastisite modülü değerleri ile referans numune olan PPAW01’den daha yüksek elastisite modülü elde edilmiştir.



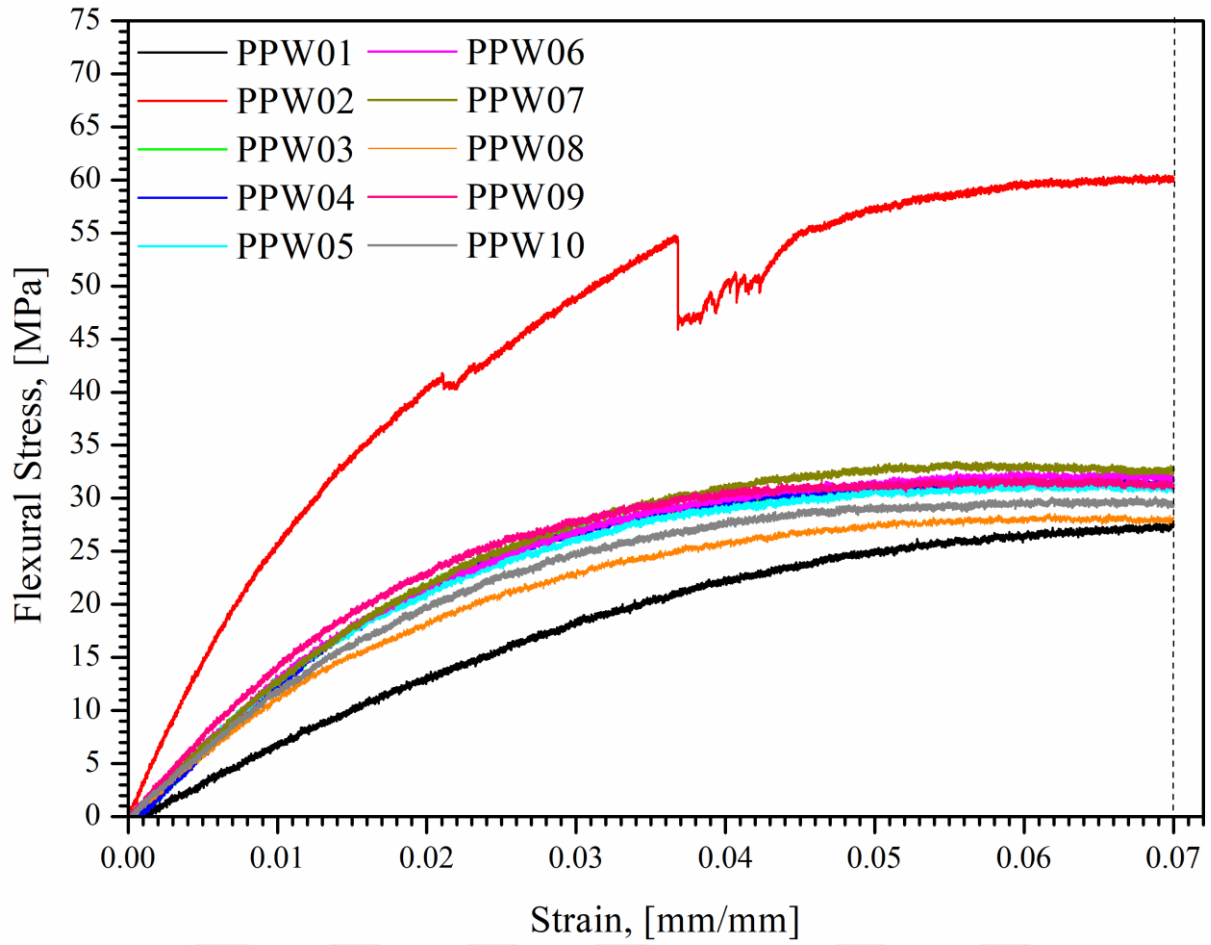
Şekil 3.1. Çekme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması

Tablo 3.1. Çekme test sonuçlarına ait sayısal veriler

Numune Kodu	Elastik Modül (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması
PPAW01	401,60±10,75	16,43±2,01	502,53±278,64
PPAW02	1238,06±28,59	34,2±1,31	131,02±50,49
PPAW03	519,04±10,18	14,68±0,28	11,87±2,25
PPAW04	512,21±13,29	14,68±0,88	11,04±1,48
PPAW05	520,66±4,17	14,77±0,33	17,59±1,89
PPAW06	530,04±7,04	15,56±0,25	15,98±3,06
PPAW07	511,13±8,64	15,37±0,38	10,98±2,21
PPAW08	487,88±9,09	14,64±0,53	23,79±1,87
PPAW09	546,11±12,88	14,72±0,60	10,61±2,13
PPAW10	485,65±4,05	15,55±0,48	17,90±2,67

3.2. Üç Nokta Eğme Test Sonuçları

Üç nokta eğme testine ait sonuçlar Tablo 3.2’de, grafiksel olarak karşılaştırılması ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Tablo 3.2 incelendiğinde PPAW01 numune kodlu referans malzeme olan PP’nin eğme mukavemeti 28,66 MPa bulunmuştur. En yüksek eğilme mukavemeti PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı kompozite aittir. Tarımsal atık katkılı parametreler incelendiğinde referans malzeme olan PP’e göre eğilme mukavemeti değerleri 28,63-32,49 MPa arasında elde edilerek referans numuneye göre eğilme mukavemeti değerleri arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması

Tablo 3.2. Üç nokta eğme test sonuçlarına ait sayısal veriler

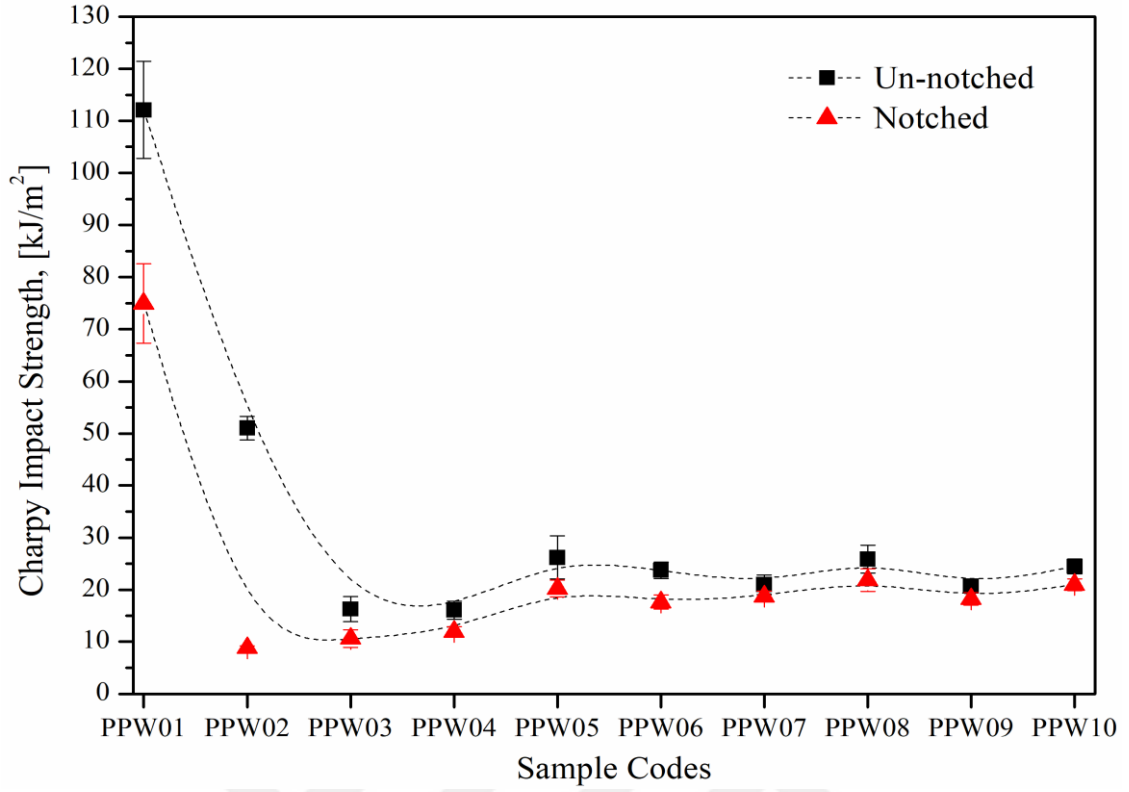
Numune Kodu	Elastik Modül (MPa)	Eğilme Mukavemeti (MPa)	Uzama (mm/mm)
PPAW01	886,76±81,55	28,66±0,82	0,07±0,00
PPAW02	2611,19±43,50	60,08±0,79	0,07±0,00
PPAW03	1298,40±37,83	30,88±0,50	0,07±0,00
PPAW04	1301,54±19,43	31,08±0,39	0,07±0,00
PPAW05	1256,86±12,58	30,74±0,39	0,07±0,00
PPAW06	1277,63±24,88	31,74±0,44	0,07±0,00
PPAW07	1313,14±28,42	32,49±0,34	0,07±0,00
PPAW08	1127,49±19,14	28,63±0,31	0,07±0,00
PPAW09	1379,70±8,63	31,58±0,48	0,07±0,00
PPAW10	1169,43±22,53	30,01±0,37	0,07±0,00

3.3. Darbe Test Sonuçları

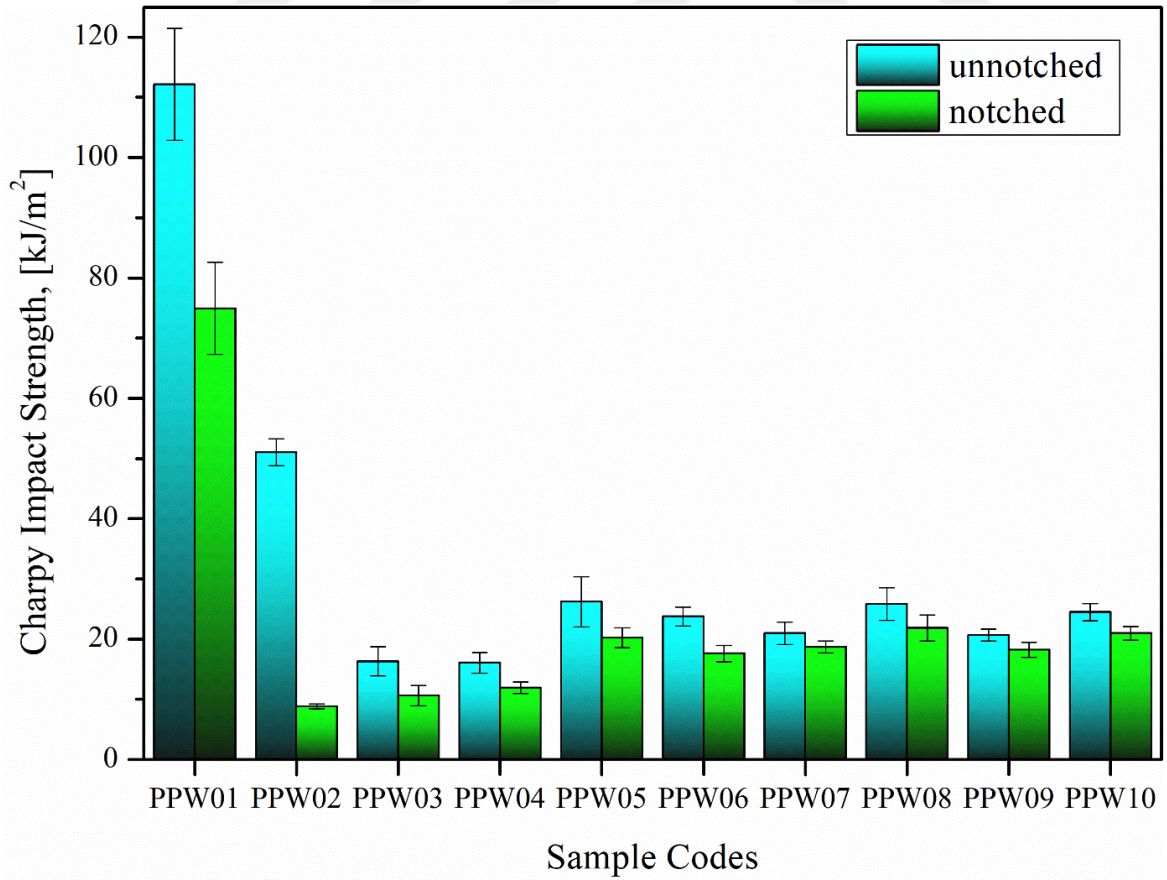
Izod ve Charpy darbe testlerine ait sayısal veriler Tablo 3.3'te, sayısal sonuçların grafiksel karşılaştırılması Şekil 3.3'te çizgi grafiği olarak Şekil 3.4'te sütun grafiği olarak verilmiştir. Tablo 3.3'te bulunan çentikli ve çentiksiz darbe test sonuçları incelendiğinde en yüksek darbe mukavemeti PPAW01 numune kodlu referans malzeme olan PP'de, ardından PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı kompozitte elde edilmiştir. Tarımsal atık katkılı kompozitlerin çentiksiz darbe mukavemeti sonuçları incelendiğinde referans numunelere göre darbe mukavemetleri düşmüştür, çentikli darbe mukavemeti sonuçları incelendiğinde ise tarımsal atık katkılı kompozitlerin darbe mukavemetlerinin PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı kompozite göre daha iyi darbe mukavemetleri olduğu söylenebilir.

Tablo 3.3. Çentikli ve Çentiksiz Charpy darbe test sonuçları

Numune Kodu	Charpy Darbe Özellikleri	
	Çentiksiz Darbe Mukavemeti, kJ/m ²	V-Çentikli Darbe Mukavemeti, kJ/m ²
PPAW01	112,12±9,29	74,96±7,63
PPAW02	51,03±2,25	8,81±0,40
PPAW03	16,31±2,42	10,62±1,69
PPAW04	16,09±1,72	11,93±0,96
PPAW05	26,21±4,18	20,21±1,64
PPAW06	23,75±1,58	17,62±1,36
PPAW07	20,97±1,88	18,71±1,01
PPAW08	25,85±2,71	21,85±2,18
PPAW09	20,65±0,97	18,23±1,22
PPAW10	24,50±1,44	20,97±1,13



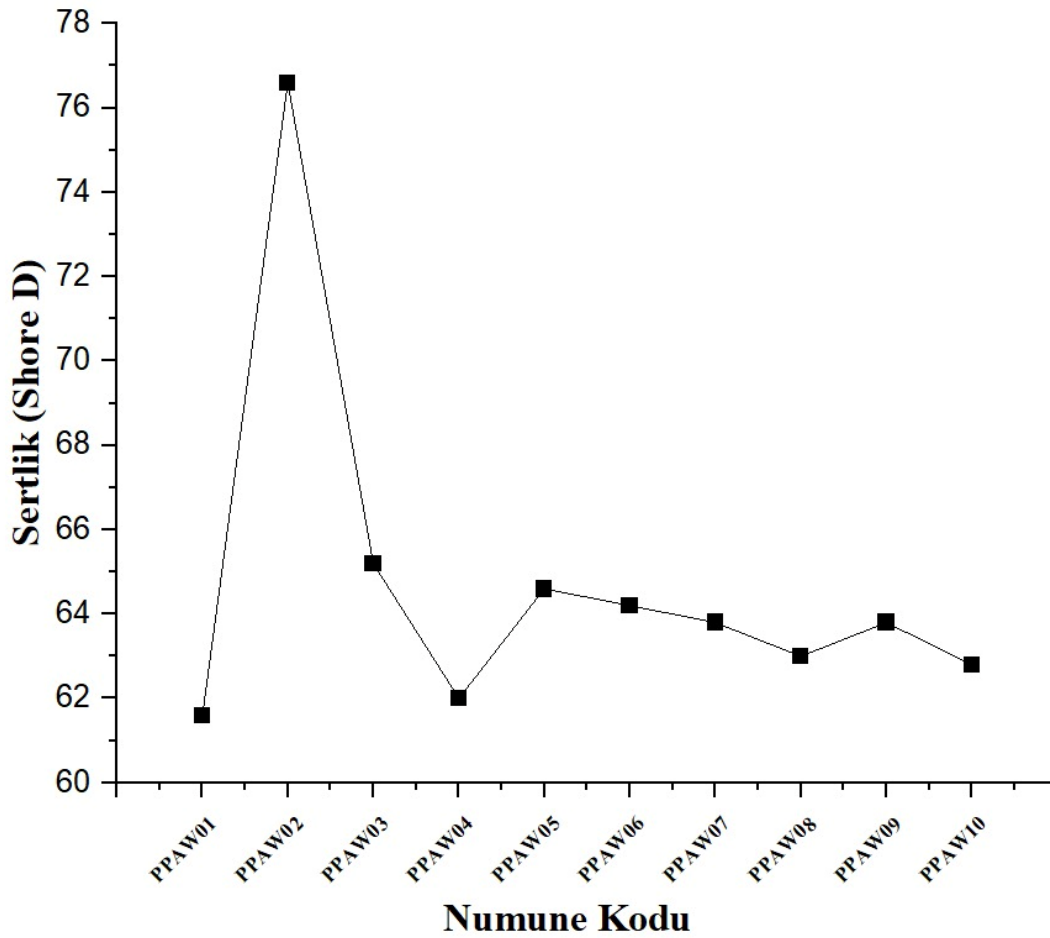
Şekil 3.3. Çentikli ve çentiksiz darbe test sonuçlarının x-y grafiği şeklinde karşılaştırılması



Şekil 3.4. Çentikli ve çentiksiz darbe test sonuçlarının sütun grafiği şeklinde karşılaştırılması

3.4. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmadaki parametrelerin Shore D sertlik ölçüm sonuçları Şekil 3.5'te verilmiştir. Referans malzeme olan PPAW01 numune kodlu PP ortalama 62 Shore D değerindeyken; PPAW02 numune kodlu %20 talk katkılı PP ortalama 77 Shore D ile en yüksek sertlik değerine ulaşmıştır. Bu durum, talk katkısının matris içinde sertliği önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Talk katkılı parametre ile tarımsal atık katkılı parametrelerin sertlik değerleri ile karşılaştırıldığında tarımsal atık katkılı kompozitlerin sertlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Özellikle, PPAW03 numune kodlu %20 fındık katkılı PP kompoziti tarımsal atık katkılı parametrelerin arasında ortalama 65 Shore D değeri ile en yüksek sertlik değerine sahiptir. Talk ile kıyaslandığında lignoselülozik kökenli tarımsal atık katkılarının sertliği artırma potansiyelleri daha düşüktür, fakat Şekil 3.5 incelendiğinde referans parametreye göre tarımsal atık katkısının parametrelerde sertlik değerini iyileştirdiği görülmektedir.



Şekil 3.5. Sertlik ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması

3.5. Isıl Deformasyon Sıcaklığı (HDT) Testi Sonuçları

Bu çalışmada üretilmiş olan numunelere ısı ve sabit bir yük altında HDT testi uygulanmıştır. HDT sıcaklığı numunelerin 0.33 mm eğilme gösterdiği sıcaklık olarak belirlenmiştir. Bu test ile tarımsal atıkların PP'nin ısııl deformasyon sıcaklığı üzerinde etkisi parametrelerin HDT sıcaklıkları karşılaştırılarak incelenmiştir. Tablo 3.4'te HDT testi uygulanan numunelerin HDT sıcaklık değerleri verilmiştir.

Tablo 3.4. Isıl deformasyon (HDT) sıcaklığı test sonuçları

Numune Kodu	HDT Sıcaklığı (°C)
PPAW01	64,1
PPAW02	108,8
PPAW03	73,8
PPAW04	71,8
PPAW05	83,0
PPAW06	78,6
PPAW07	84,8
PPAW08	76,5
PPAW09	88,3
PPAW10	80,7

Tablo 3.4'te incelendiğinde en düşük HDT değeri numune kodu PPAW01 olan referans numunesi PP'de ve en yüksek HDT değeri PPAW02 numune kodu olan %20 talk katkılı PP'de belirlenmiştir. Tarımsal atık katkılı parametreler incelenecek olursa en yüksek HDT değerine sahip tarımsal atık katkılı parametre PPAW09 numune kodlu olan %20 ayçiçeği küspesi katkılı parameter de ve en düşük HDT değerine sahip parametre ise PPAW04 numune kodlu %20 ceviz kabuğu katkılı numunede gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.4 genel olarak incelendiğinde tarımsal atık katkılı parametrelerin talk katkılı parametre kadar olmasa da HDT değerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

3.6. VICAT Analiz Sonuçları

Bir termoplastik malzemenin yağ banyosuna yerleştirildikten sonra kademeli olarak artan sıcaklıkla beraber belirli bir yük uygulanarak yüzeye batırılan iğnenin 1 mm battığındaki

sıcaklığına VICAT yumuşama sıcaklığı denilmektedir. Termoplastik malzemelerin belirli bir erime sıcaklığı olmadığı için bu tarz malzemelerde malzemelerin yumuşama sıcaklığına bakılmaktadır. Tablo 3.5'te VICAT yumuşama sıcaklığı test sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.5. VICAT test sonuçları

Numune Kodu	VICAT Yumuşama Sıcaklığı (°C)
PPAW01	46,5
PPAW02	98,7
PPAW03	35,5
PPAW04	55,2
PPAW05	57,5
PPAW06	53,9
PPAW07	51,1
PPAW08	59,8
PPAW09	66,8
PPAW10	54,7

Tablo 3.5 incelendiğinde en düşük vicat yumuşama sıcaklığı PPAW03 numune kodlu %20 fındık kabuğu içeren parametreyken en yüksek vicat yumuşama sıcaklığı PPAW02 numune kodlu %20 talk içeren parametredir. Talk dolgusu kompozitin kristal faz oranını artırarak PP'nin amorf yapısını kısıtlar ve segmental hareketliliği azaltır. Bu sayede kompozitin rijitliği artırarak yumuşamaya karşı direnç sağlamaktadır. Tablo 3.5 genel olarak incelendiğinde tarımsal atıkların referans numune olan PPAW01 numune kodlu PP'nin VICAT yumuşama sıcaklığını arttırdığı gözlemlenmiştir. Tarımsal atıkların kimyasal bileşenlerinde bulunan selülozun kristal yapısı talk ile aynı görevi görerek PP'nin amorf yapısını kısıtlayarak kompozitin rijitliğini arttırarak VICAT yumuşama sıcaklığını arttırmaktadır.

3.7. DSC Analiz Sonuçları

Saf PP ve %20 tarımsal atık katkısı içeren PP kompozitlerine ait DSC analizine ilişkin sonuçlar Tablo 3.6'da sunulmaktadır. Termal davranışların değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu analiz, katkı maddelerinin PP matrisinin kristallenme karakteristikleri üzerindeki etkisini

ortaya koymaktadır. Saf PP'e (PPAW01) ait erime sıcaklığı yaklaşık 164,63°C, erime entalpisi ise -54,03 J/g olarak belirlenmiştir. %20 oranında talk katkısı içeren PPAW02 numunesinin DSC eğrisi incelendiğinde, 163,44°C civarında bir erime sıcaklığı ve -64,01 J/g'lık entalpi değeri gözlenmektedir. Bu değer, saf PP'ye kıyasla hafif bir T_m düşüşü olmasına karşın, kristallenme derecesinde artışı işaret eden daha yüksek bir entalpiye sahiptir. Talk, inorganik bir dolgu maddesi olarak, kristallenme çekirdeği görevi görerek PP matrisinde kristal yapıların oluşumunu kolaylaştırabilir. Bu durum, entalpi artışıyla doğrudan ilişkilendirilmiştir.

Tarımsal atık içeren kompozitlerde ise genel olarak kristallenme davranışının zayıfladığı gözlemlenmektedir. Örneğin, %20 ceviz kabuğu katkılı PP (PPAW04) numunesinde erime sıcaklığı 163,31°C olup, entalpi değeri -37,21 J/g olarak ölçülmüştür. Entalpi değerinin düşüklüğü, katkının kristal yapıların düzenli oluşumunu engellendiğini ve matrisin daha amorf bir yapı kazandığını düşündürmektedir. Benzer şekilde, %20 ayçiçeği küspesi (PPAW09) ve zeytin pirinası (PPAW10) katkılı kompozitlerde de sırasıyla -50,45 J/g ve -49,37 J/g gibi saf PP'ye kıyasla daha düşük entalpi değerleri elde edilmiştir.

%20 badem kabuğu katkılı PPAW05 numunesine ait entalpi verisi elde edilememiş olmakla birlikte, 162,44°C'lik erime sıcaklığı, katkının kristal yapı üzerine zayıflatıcı etkisinin olduğunu işaret etmektedir. Bunun yanında, %20 antep fıstığı (PPAW06) ve yer fıstığı (PPAW07) katkılı PP kompozitlerinde gözlenen entalpi değerlerinin -49,62 J/g ve -51,54 J/g seviyelerinde olması, bu katkıların nispeten daha iyi matris uyumu gösterdiğini, ancak yine de saf PP'ye kıyasla kristallenme üzerinde sınırlı olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Kenevir tohumu posası katkılı PPAW08 numunesinde ise erime sıcaklığı 163,58°C iken entalpi değeri -46,33 J/g olarak bulunmuştur. Bu değer, katkının kristalleşme sürecini kısmen sınırladığına işaret etmektedir. Doğal katkıların içerdiği lignin, selüloz ve diğer kompleks organik yapılar, polimer matris içerisinde kristal bölgelerin oluşumunu fiziksel engellemelere bağlı olarak azaltabilmektedir.

Sonuç olarak, DSC verileri katkı maddelerinin PP matrisine fiziksel olarak dağıldığını, katkı tipine bağlı olarak kristal yapı üzerinde düzenleyici veya bozucu etkiler yarattığını göstermektedir. İnorganik bir katkı olan talk, kristallenmeyi artırıcı yönde etki gösterirken, lignoselülozik bazlı katkıların kristallenme derecesini düşürdüğü, buna bağlı olarak da ısı enerji absorpsiyon kapasitelerinde (entalpi) azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, katkı-matris etkileşiminin kompozitlerin ısı performansını açısından kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3.6. DSC test sonuçları

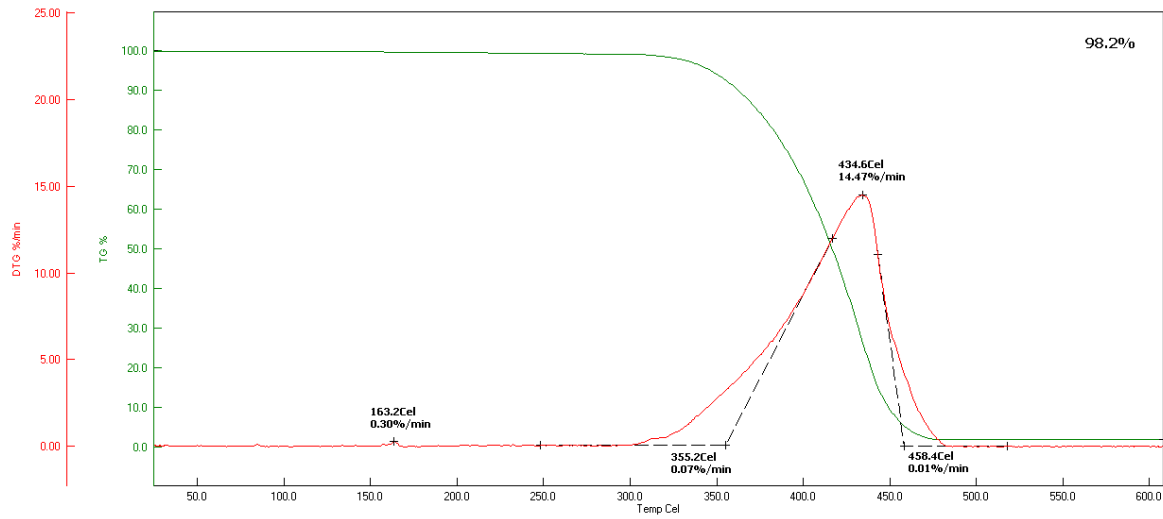
Numune Kodu	Entalpi ΔH (J/g)	Erime Sıcaklığı(T_m) °C
PPAW01	-54,03	164,63
PPAW02	-64,01	163,44
PPAW03	-51,82	163,52
PPAW04	-37,21	163,31
PPAW05	-	162,44
PPAW06	-49,62	164,41
PPAW07	-51,54	163,79
PPAW08	-46,33	163,58
PPAW09	-50,45	163,14
PPAW10	-49,37	164

3.8. TGA Analiz Sonuçları

TGA analizlerinden elde edilen TG ve DTG eğrileri ise sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.15'te yer almaktadır. Termal analiz sonuçlarına göre, saf PP yalnızca tek bir karakteristik bozunma zirvesi sergilerken, tarımsal atık katkılı PP kompozitlerinde iki belirgin bozunma zirvesi gözlenmiştir. Saf PP'nin bozunması yaklaşık 430–500 °C aralığında gerçekleşmiş ve %1,8 oranında kalıntı bırakmıştır. Bu bağlamda, 430 °C civarındaki ana zirve, PP'nin termal bozunma sürecini yansıtmaktadır. Kompozit örneklerinde gözlenen ilk bozunma aşaması ise katkı malzemesindeki hemiselüloz, selüloz ve lignin bileşenlerinin ayrışmasına işaret etmektedir. 40–140 °C arasındaki kütle kaybı, numunelerdeki serbest su ve uçucu bileşiklerin uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Ceviz kabuğu (WS) içeren kompozitlerde termal bozunma yaklaşık 220 °C'de hemiselülozun parçalanmasıyla başlamakta, 320 °C civarında ise selülozun ayrışmasıyla devam etmektedir [50–54]. Bu sıcaklıklar, düşük sıcaklık aralığında selüloz ve hemiselülozun, daha yüksek sıcaklıklarda ise ligninin bozunmasını temsil etmektedir.

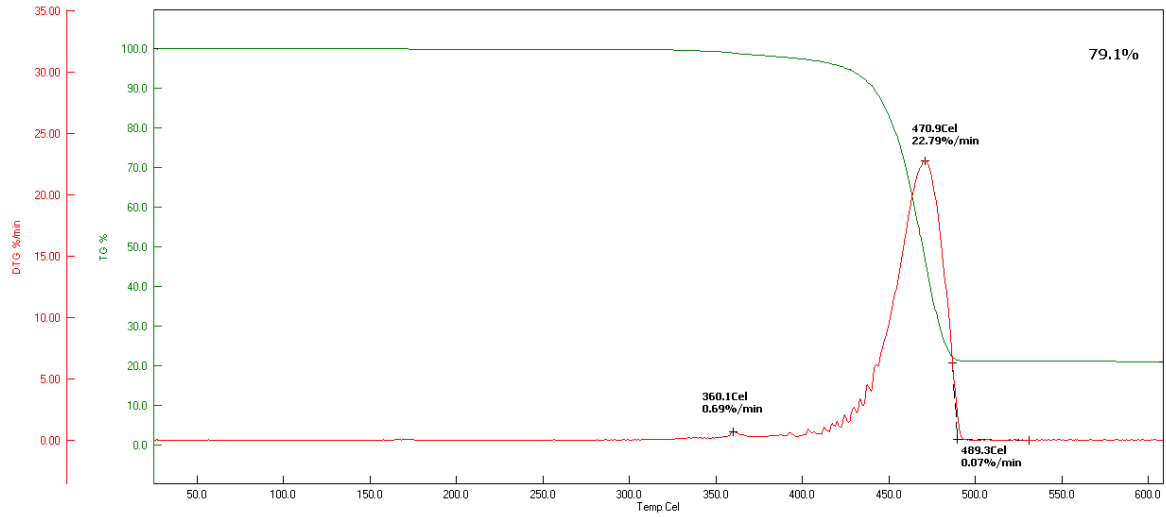
Saf PP'ye ait TG ve DTG eğrisi Şekil 3.6'da verilmiştir. TGA sonuçlarına göre, saf PP'nin bozunması tek bir ana aşamada gerçekleşmiştir. Yaklaşık 430 °C'de başlayan bozunma süreci, 500 °C'ye kadar devam etmiş ve bu aralıkta örnek kütlelerinin %98,2'si kaybedilmiştir. Bu durum, PP'nin yüksek oranda uçucu ürünlere ayrıştığını ve geride yalnızca %1,8 oranında bir

kalıntı bıraktığını göstermektedir. DTG eğrisine göre maksimum bozunma hızı 434,6 °C’de ve 14,47 %/dak olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık, PP zincirlerinin en yoğun şekilde parçalandığı noktayı ifade etmektedir. Bozunma öncesi düşük sıcaklıklarda (örn. 163,2 °C ve 355,2 °C) çok düşük oranlı kütle kayıpları gözlemlenmişse de, bu bölgelerdeki değişimler önemli bir termal ayrışmaya işaret etmemektedir. 458,4 °C sonrası bozunma hızı neredeyse sıfıra yaklaşmıştır, bu da PP’nin büyük oranda tamamıyla ayrıştığını göstermektedir. Elde edilen bu sonuçlar, saf PP’nin tek aşamalı ve yoğun bir termal bozunma mekanizmasına sahip olduğunu ve katkı içermeyen yapısının yüksek ısıl kararlılık sunduğunu ortaya koymaktadır.



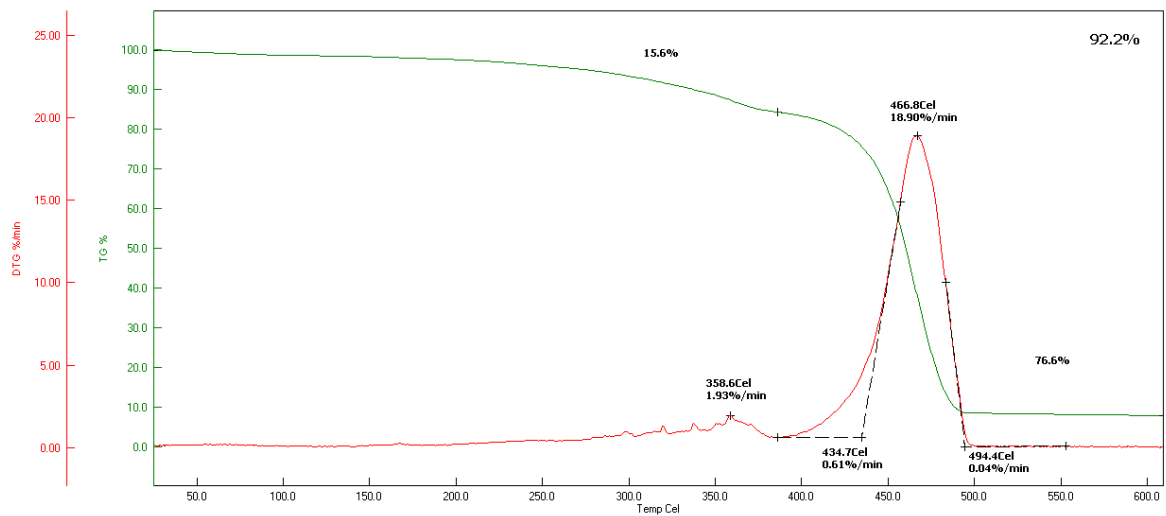
Şekil 3.6. PPAW01 kodlu referans numuneye ait TG ve DTG grafiği

PPAW02 numunesine ait TG ve DTG eğrileri (Şekil 3.7) incelendiğinde, iki belirgin bozunma aşaması gözlemlenmiştir. İlk kütle kaybı 40–140 °C aralığında gerçekleşmiş olup, bu kayıp serbest nemin ve uçucu bileşiklerin uzaklaşmasına bağlanmıştır. Yaklaşık 220 °C civarında başlayan ikinci aşama, tarımsal atıklarda bulunan hemiselülozun bozunmasına işaret etmektedir. Bunu takiben, 320–350 °C civarında selülozun ayrışması gerçekleşmiştir. DTG eğrisindeki ikinci maksimum pik ise yaklaşık 430–440 °C aralığında gözlemlenmiş ve bu durum PP matrisinin termal bozunmasına karşılık gelmiştir. Kompozit yapı, katkısız PP’ye kıyasla daha karmaşık ve çok aşamalı bir bozunma profili sunmaktadır.



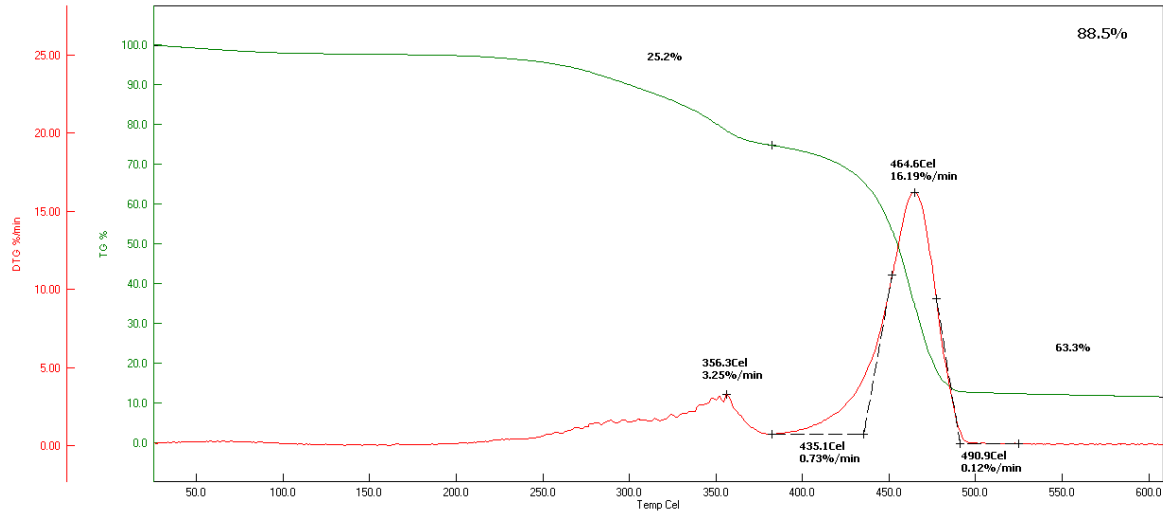
Şekil 3.7. PPAW02 kodlu %20 talk katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

PPAW03 numunesinde (Şekil 3.8) benzer şekilde çok kademeli bir bozunma davranışı tespit edilmiştir. İlk evrede (yaklaşık 100 °C'ye kadar) düşük oranlı bir kütle kaybı görülmüş, bu kaybın nemin uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 220 °C civarında hemiselülozun, 320–340 °C aralığında ise selülozun bozunduğu gözlenmiştir. DTG eğrisi üzerinde 430–435 °C civarında belirgin bir maksimum pik tespit edilmiş ve bu değer PP'nin esas bozunma sıcaklığını temsil etmektedir. Kompozit yapıdaki lignin içeriği nedeniyle 450 °C civarında da düşük yoğunluklu bir bozunma devam etmiştir.



Şekil 3.8. PPAW03 kodlu %20 fındık kabuğu katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

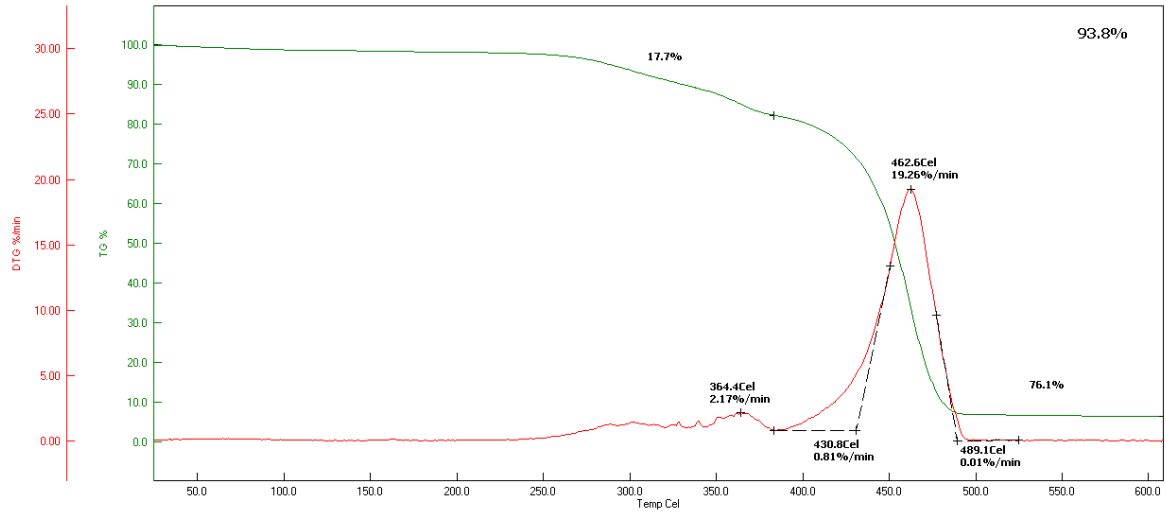
PPAW04 kodlu numune (Şekil 3.9), önceki numunelerle benzer termal davranış göstermiştir. İlk kütle kaybı evresi 50–150 °C aralığında olup, nem ve uçucuların uzaklaşmasını temsil eder. Yaklaşık 225 °C'de başlayan ikinci kademeli ayrışma hemiselülozdan kaynaklanmış, bunu takiben 320–350 °C civarında selülozun ayrışması meydana gelmiştir. DTG eğrisindeki maksimum bozunma hızı 430–438 °C civarında gerçekleşmiş ve PP matrisinin ayrışma süreci olarak değerlendirilmiştir.



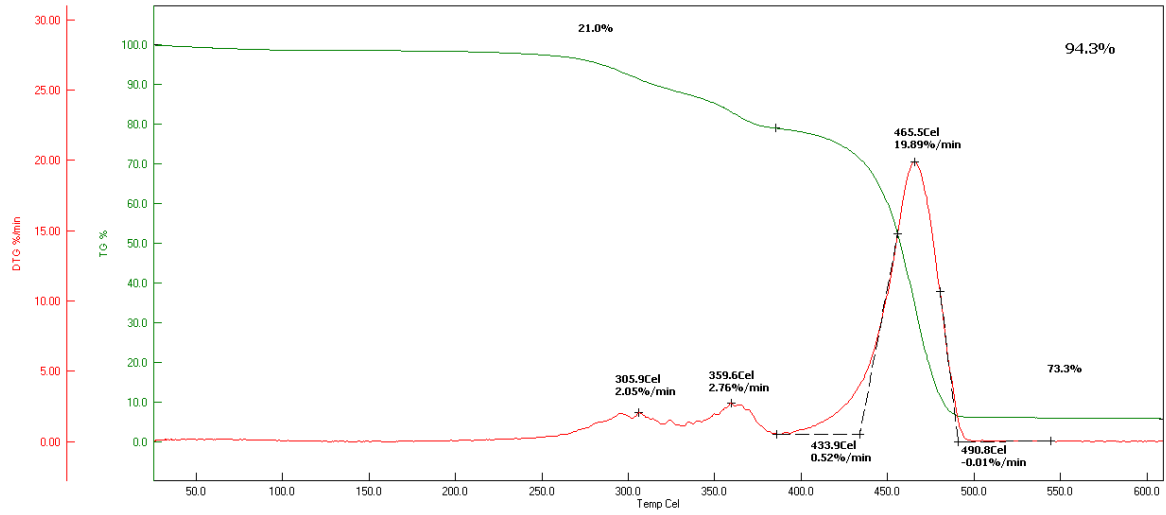
Şekil 3.9. PPAW04 kodlu %20 ceviz kabuğu katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

PPAW05 numunesi (Şekil 3.10) için TG eğrisi, önceki kompozitlere benzer şekilde çok kademeli bir bozunma profili sergilemiştir. Yaklaşık 100 °C altında nem kaybı gözlenmiş, ardından 220–230 °C aralığında hemiselülozun parçalanması ile belirgin bir kütle kaybı meydana gelmiştir. 320–340 °C aralığında selülozun ayrışması izlenmiş, 430 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda ise PP matrisinin ana termal bozunma evresi gözlemlenmiştir. Kalıntı oranı saf PP'ye göre daha yüksek bulunmuş, bu durum katkı malzemesinin ısı olarak daha dirençli bileşenleri (özellikle lignin) içerdiğini göstermektedir.

PPAW06 kodlu numunede (Şekil 3.11) TG eğrisi üç farklı ayrışma aşaması sergilemiştir. 40–120 °C aralığında nem kaybı yaşanmış, 220–250 °C aralığında hemiselülozun parçalanması ve ardından 320–360 °C arasında selülozun ayrışması gerçekleşmiştir. DTG eğrisinde bu bölgelerde belirgin pikler bulunmuş, ayrıca 430–440 °C civarında PP matrisinin ayrışma sıcaklığı net olarak tespit edilmiştir. Kalıntı oranı katkısız PP'ye göre belirgin şekilde artmıştır.



Şekil 3.10. PPAW05 kodlu %20 badem kabuğu katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

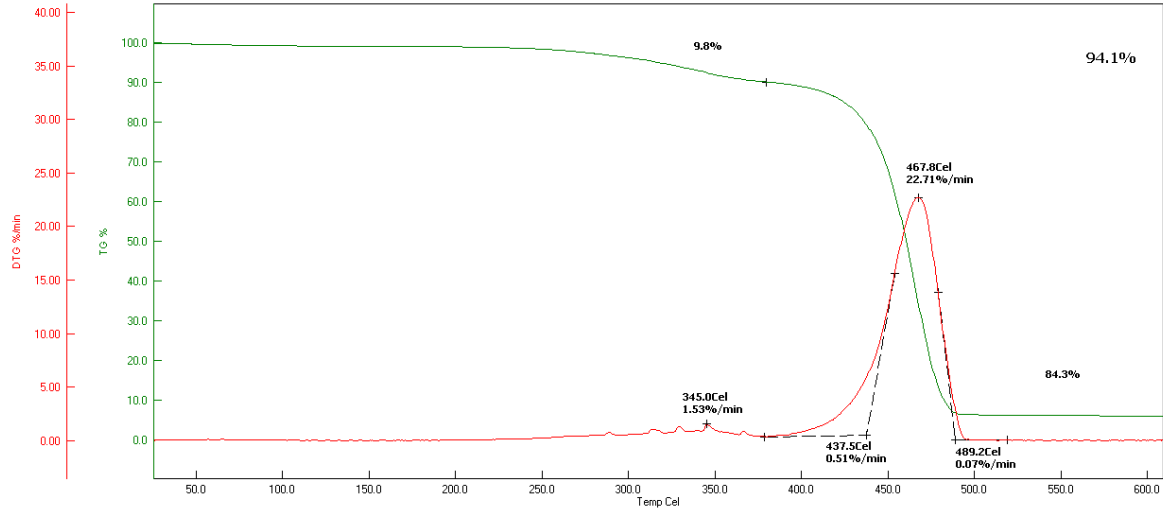


Şekil 3.11. PPAW06 kodlu %20 Antep fıstığı kabuğu katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

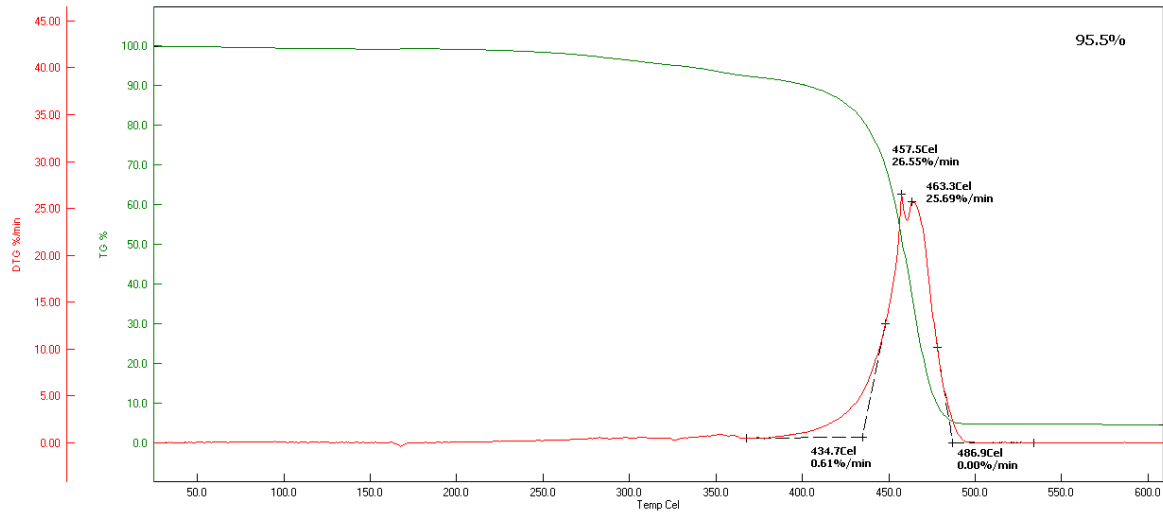
PPAW07 numunesinde (Şekil 3.12) düşük sıcaklıkta nem kaybının ardından, 230 °C’de başlayan hemiselüloz bozunması ve 330 °C civarında selüloz ayrışması gözlenmiştir. DTG eğrisindeki en yüksek zirve, PP'nin karakteristik termal bozunma sıcaklığı olan 435 °C civarındadır. Bozunma sonunda oluşan kalıntının, lignin gibi daha ısıl kararlı organik bileşenlerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

PPAW08 numunesi (Şekil 3.13) TGA sonuçlarına göre 100 °C’nin altında su ve uçucuların kaybını, 220–320 °C aralığında ise hemiselüloz ve selüloz bileşenlerinin bozunmasını

göstermektedir. 430–440 °C civarındaki ana bozunma zirvesi, PP matrisinin ayrışmasını ifade etmektedir. DTG eğrisinde bu aşamalar net bir şekilde ayrılmakta olup, katkı maddesinin bozunma davranışına önemli katkı sağladığı görülmektedir.



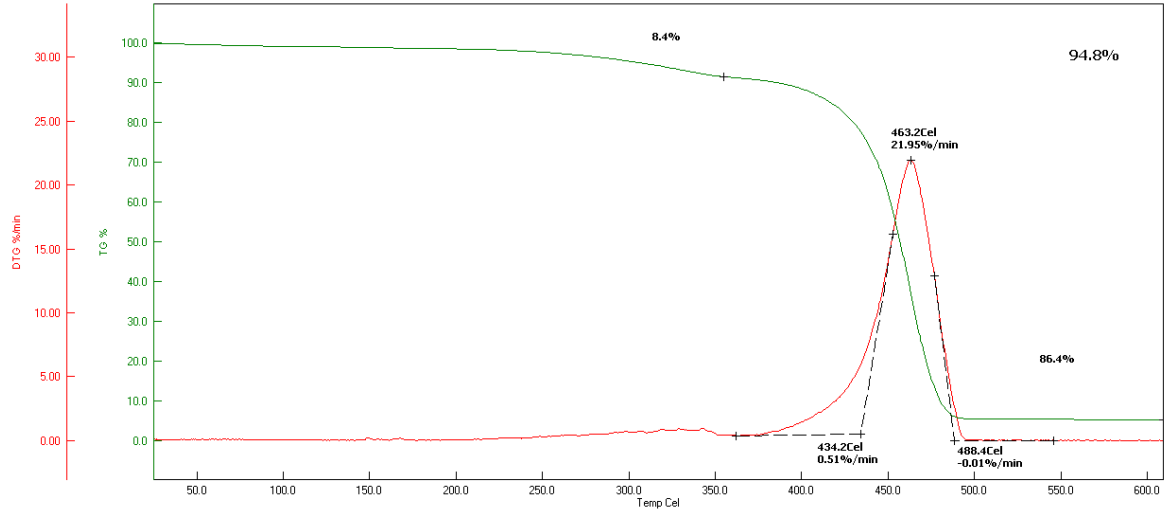
Şekil 3.12. PPAW07 kodlu %20 yer fıstığı kabuğu katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği



Şekil 3.13. PPAW08 kodlu %20 kenevir tohumu posası katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

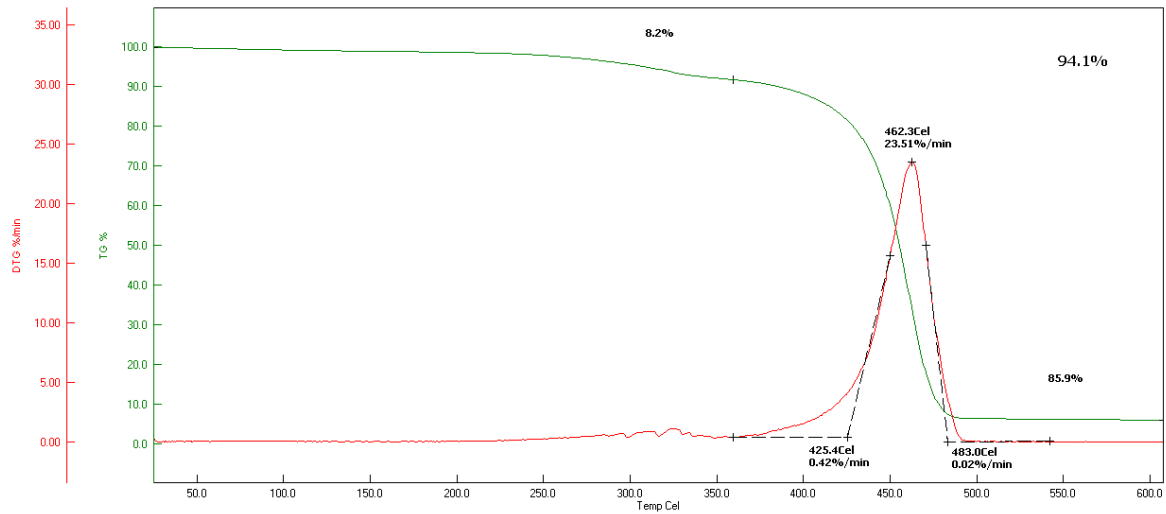
PPAW09 numunesinde (Şekil 3.14) TG eğrisinde üç aşamalı bir ayrışma paterni gözlemlenmiştir. Düşük sıcaklıklardaki nem kaybını takiben, yaklaşık 230 °C’de başlayan

hemiselülozun bozunması ve 330 °C’de selülozun ayrışması ile devam eden süreç, 435 °C'deki PP bozunması ile tamamlanmıştır. DTG eğrisi bu süreçleri belirgin piklerle desteklemektedir.



Şekil 3.14. PPAW09 kodlu %20 ayçiçeği küspesi katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

PPAW10 numunesine (Şekil 3.15) ait termogravimetrik analiz sonuçları, kompozit yapının çok aşamalı ayrışma gösterdiğini teyit etmektedir. İlk kütle kaybı 40–140 °C arasında gerçekleşmiş, 220–250 °C civarında hemiselüloz, 320–340 °C arasında ise selüloz bozunması meydana gelmiştir. 430–440 °C aralığındaki DTG zirvesi PP fazının ayrışmasını ifade etmektedir. Bozunma sonunda kalan kalıntı oranı, ceviz kabuğunun lignin içeriğine bağlı olarak artış göstermiştir.



Şekil 3.15. PPAW10 kodlu %20 zeytin pirinası katkılı numuneye ait TG ve DTG grafiği

3.9. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Tarımsal atıkların PP'nin yoğunluğu üzerindeki değişimleri piknometre ile yoğunluk ölçümü yapılarak incelenmiştir. Tablo 3.7'te kompozitlerin yoğunluk ölçüm sonuçları verilmiştir. Yoğunluk ölçüm sonuçları birbirleriyle kıyaslandığında PPAW02 parametresinde talk dolgu malzemesinin PP'nin yoğunluğunu +15,58 artırdığı görülmüştür. Tarımsal atık katkılı kompozitlerde genel olarak yoğunluğun azaldığı gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre tarımsal atıklarda en düşük yoğunluk badem kabuğu ile üretilmiş olan PPAW05 kompozitinde görülmüştür.

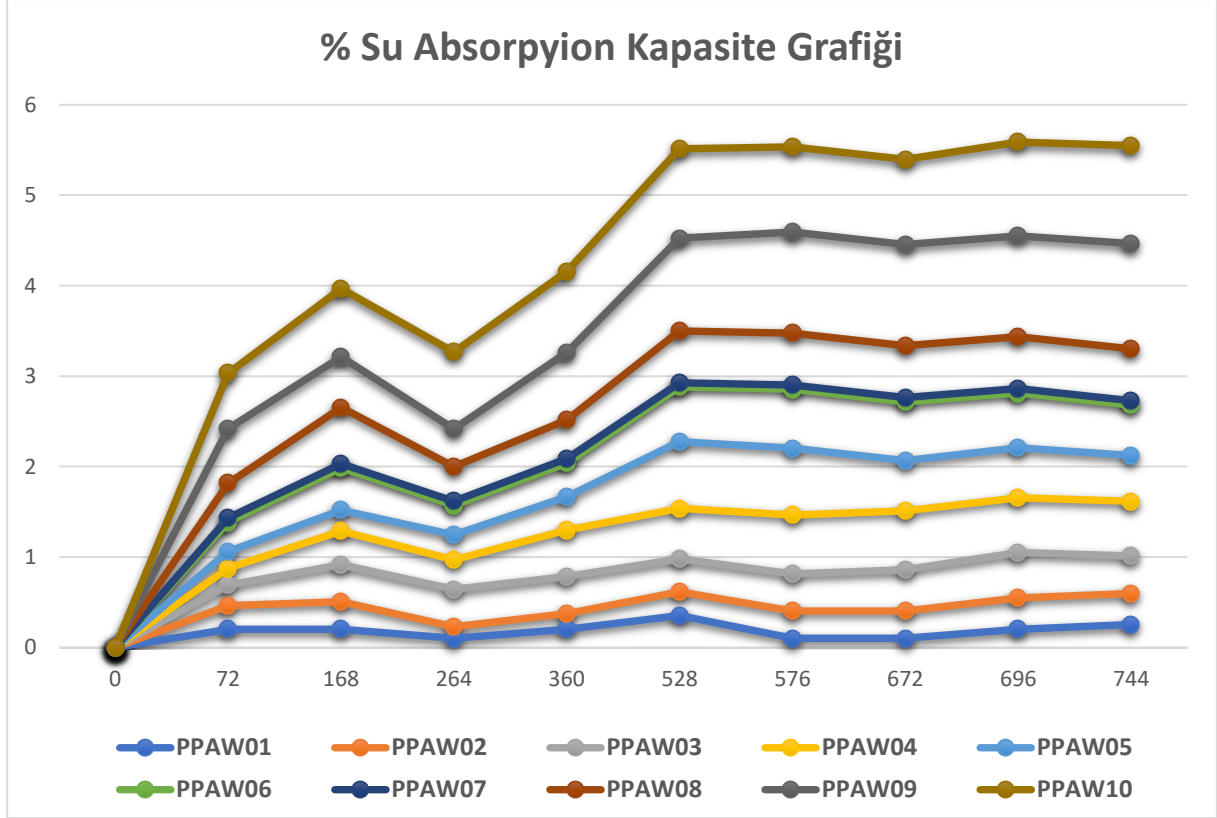
Tablo 3.7. Yoğunluk ölçüm sonuçları

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Değişim (%)
PPAW01	0,9863	-
PPAW02	1,14	+15,58
PPAW03	0,7795	-20,96
PPAW04	0,7364	-25,33
PPAW05	0,5621	-44,56
PPAW06	0,7470	-24,26
PPAW07	0,944	-4,28
PPAW08	0,8782	-10,96
PPAW09	0,9668	-1,97
PPAW10	0,7709	-21,83

3.10. Su Absorbsiyon Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmadaki parametrelerin su absorpsiyon kapasite sonuçları Şekil 3.16'da verilmiştir. En düşük % su absorpsiyon değeri PPAW01 numune kodlu saf PP'de gözlemlenirken, en yüksek değer PPAW10 numune kodlu %20 zeytin pirinası katkılı parametrede görülmüştür. Matris görevi gören ve kompozitlerin çoğunu oluşturan PP'nin tipik davranışı olan su emilimine direnen hidrofobik yapısı tüm parametrelerde belirgindir. Buna karşılık, tarımsal atıklar suyu emme eğilimindedir; bu özellik tarımsal atıklardaki selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi organik

bileşiklerin doğal gözenekliliğine ve PP ile tarımsal atıkalr arasındaki zayıf arayüz yapışmasına atfedilebilir. Tarımsal atıkların hidrofilik yapısı suya olan yakınlıklarını artırarak kompozite su nüfuz etmesini sağlar. Ayrıca tarımsal atıkların yapısının gözenekliliği, dolgu malzemesi-matris arayüzeyinde oluşan boşluklarla birlikte dolgu malzemesinin içinde su tutulmasına yol açar ve bu da kompozitin su absorpsiyon kapasitesini artırmaktadır [66,67].

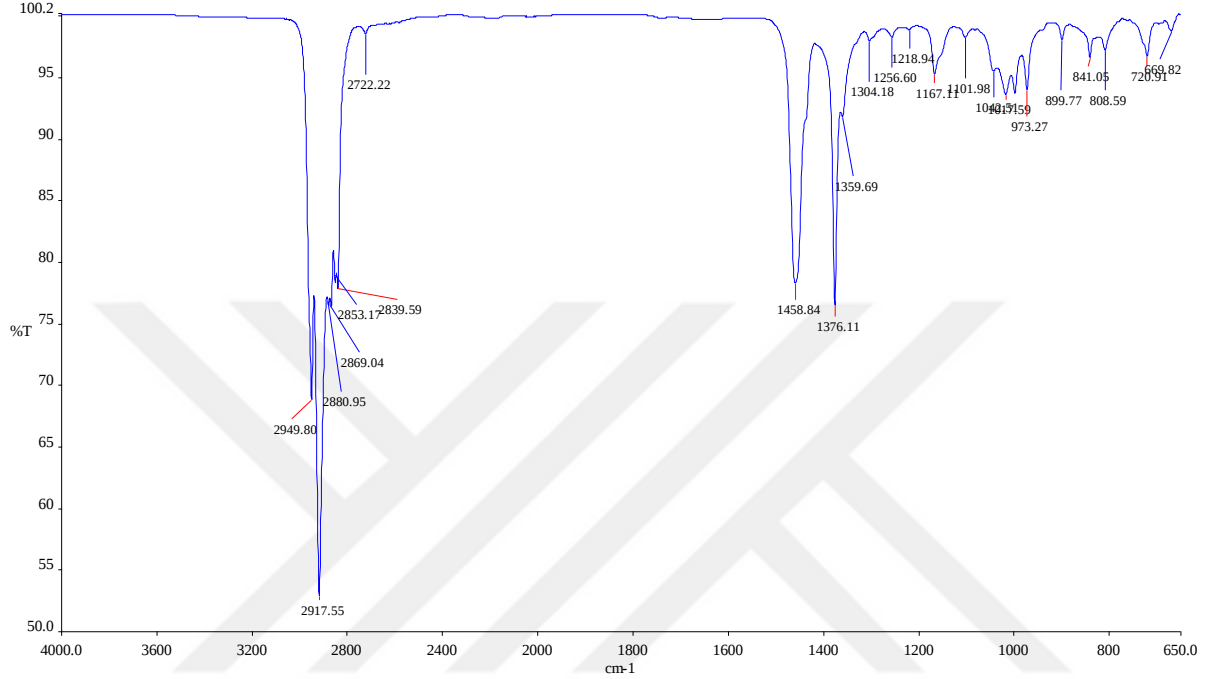


Şekil 3.16. % Su absorpsiyon kapasitesi grafiği

3.11. FT-IR Analiz Sonuçları

Saf PP'nin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen FT-IR analizine ait sonuçlar Şekil 3.17'de verilmiştir. Saf PP FT-IR analizinde karakteristik bantlarla uyumlu sonuçlar vermiştir. Spektrumda $2950-2840\text{ cm}^{-1}$ aralığında gözlenen güçlü pikler, polipropilenin alifatik yapısına karşılık gelen $-CH_2-$ ve $-CH_3$ gruplarının asimetrik ve simetrik gerilme titreşimlerine işaret etmektedir. 1458 ve 1376 cm^{-1} civarında ortaya çıkan bantlar, metil gruplarının bükülme (deformasyon) titreşimlerine karşılık gelmekte olup, bu değerler literatürde saf PP için rapor edilen tipik değerlerle uyumludur. Ayrıca, $1167-973\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen orta şiddetteki pikler C-C ve C- CH_3 gerilme titreşimlerine aitken, yaklaşık 841 cm^{-1} civarındaki dar ve karakteristik pik, izole metil gruplarının dışa bükülme titreşimini yansıtmaktadır ve PP'nin ayırt edici bir işaretidir. 720 cm^{-1} civarında gözlemlenen zayıf bant

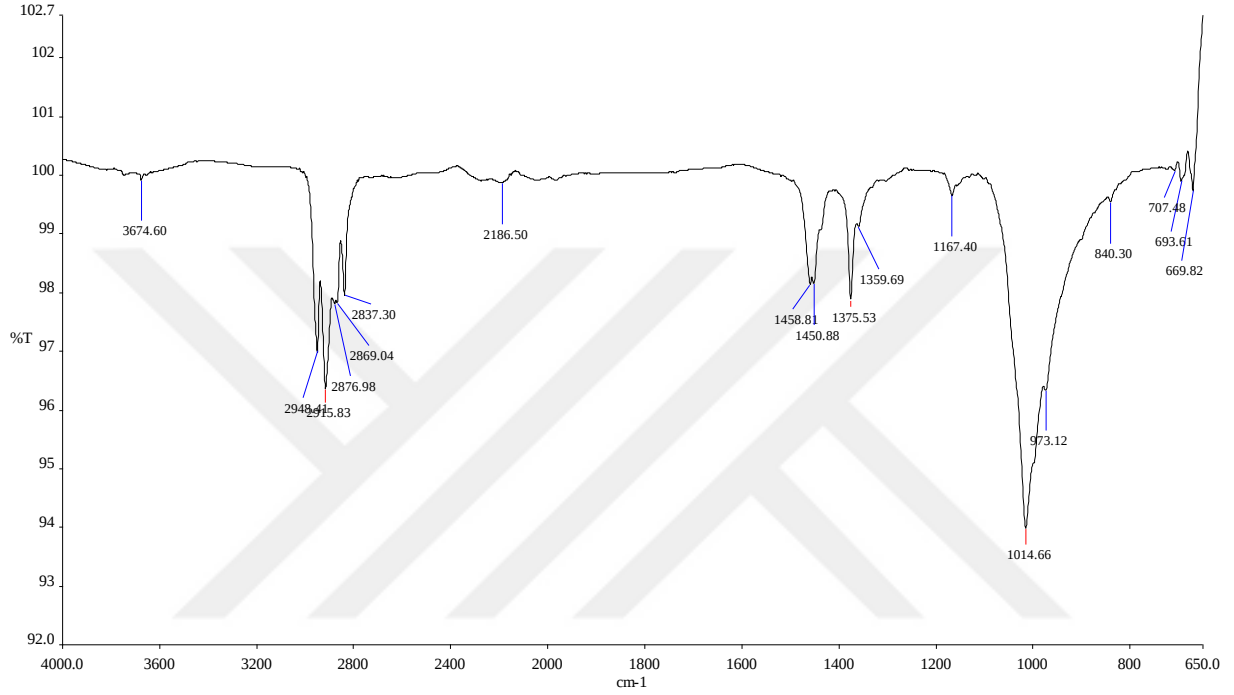
ise $-CH_2-$ gruplarının dışa bükülme titreşimini göstermekte olup kristalin faz hakkında bilgi vermektedir. Analiz sonucunda, spektrumda karbonil ($C=O$), hidroksil ($-OH$) ya da aromatik yapı gibi başka fonksiyonel gruplara ait herhangi bir belirtiye rastlanmamıştır. Bu durum, kullanılan PP numunesinin katkısız ve yüksek saflıkta olduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 3.17. PPAW01 kodlu referans numuneye ait FT-IR grafiği

%20 talk katkılı PP'nin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen FT-IR analizine ait sonuçlar Şekil 3.18'de verilmiştir. %20 talk katkılı PP kompozitine ait FT-IR spektrumu, hem PP'ye özgü karakteristik piklerin hem de talk mineraline ait belirgin bantların varlığını ortaya koymaktadır. Spektrumda $2950-2837\text{ cm}^{-1}$ aralığında $-CH_2-$ ve $-CH_3$ gruplarının C-H gerilme titreşimlerine ait pikler, 1458 ve 1375 cm^{-1} civarında ise $-CH_3$ gruplarının bükülme titreşimleri tespit edilmiş olup, bu pikler saf PP yapısına ait karakteristik özelliklerin korunduğunu göstermektedir. Ayrıca, $1167-973\text{ cm}^{-1}$ aralığında yer alan C-H ve C-C gerilme titreşimleri ile $840-808\text{ cm}^{-1}$ 'deki C-H dışa bükülme titreşimleri de polimer matrisin yapısal bütünlüğünü sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, talk mineraline özgü pikler de spektrumda belirgin şekilde yer almaktadır. Özellikle yaklaşık 1014 cm^{-1} 'de görülen geniş bant, talkın yapısındaki Si-O-Si gerilme titreşimlerine işaret etmektedir. Benzer şekilde, yaklaşık 670 cm^{-1} civarında gözlemlenen bantlar Mg-O veya Si-O-Mg bükülme titreşimleriyle ilişkilidir ve talk katkısının matriste varlığını doğrulamaktadır. Bazı örneklerde $3600-3700\text{ cm}^{-1}$ aralığında zayıf bir omuz yapısında görülen sinyal ise talkın yapısal

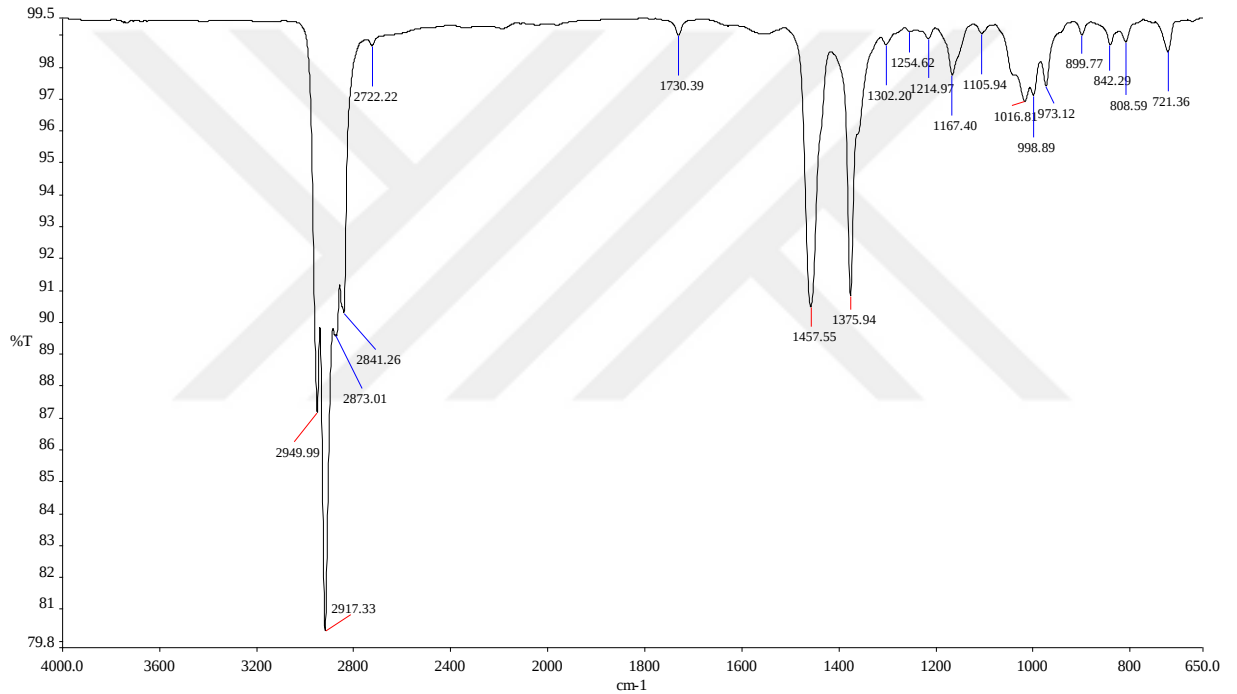
hidroksil gruplarından kaynaklanan –OH titreşimlerine bağlanabilir. Tüm bu veriler, talk katkısının PP matrisine fiziksel olarak disperse olduğunu ve polimerle kimyasal bir bağ oluşturmadığını göstermektedir. Ayrıca katkı ilavesine bağlı olarak bazı bant şiddetlerinde azalma veya değişim gözlenmiş, bu durum talkın matristeki dağılımı ve FT-IR ışınlamının soğurulmasına etkisiyle ilişkilendirilmiştir.



Şekil 3.18. PPAW02 kodlu %20 talk katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

Fındık kabuğu katkılı PP'nin yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen FT-IR analizine ait sonuçlar Şekil 3.19'da verilmiştir. %20 oranında fındık kabuğu katkılanmış PP kompozitine ait FT-IR spektrumu, saf PP'ye ait karakteristik bantlarla büyük ölçüde örtüşmekte olup, PP matrisinin yapısal bütünlüğünü koruduğunu göstermektedir. Daha önce saf PP için belirtilen 2950–2840 cm^{-1} aralığındaki –CH₃ ve –CH₂– gruplarının C–H gerilme titreşimleri, 1455 ve 1375 cm^{-1} civarındaki C–H bükülme titreşimleri, 1166–973 cm^{-1} aralığındaki C–H ve C–C gerilme titreşimleri ile 840–808 cm^{-1} 'deki dışa bükülme titreşimleri bu kompozit spektrumunda da açıkça gözlemlenmektedir. Fındık kabuğu katkısına bağlı olarak, PP'ye özgü bantlara ek olarak bazı yeni bantlar ve/veya mevcut bantlarda şiddet değişimleri meydana gelmiştir. Özellikle 3200–3600 cm^{-1} aralığında zayıf ancak algılanabilir şekilde beliren geniş bant, fındık kabuğunda bulunan lignoselülozik yapıya ait –OH (hidroksil) gruplarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bant, doğal katkı maddesinin polimer matrisine entegre olduğunu ve yüzeyde hidrofilik grupların varlığını işaret etmektedir. Ayrıca, 1730–1750 cm^{-1}

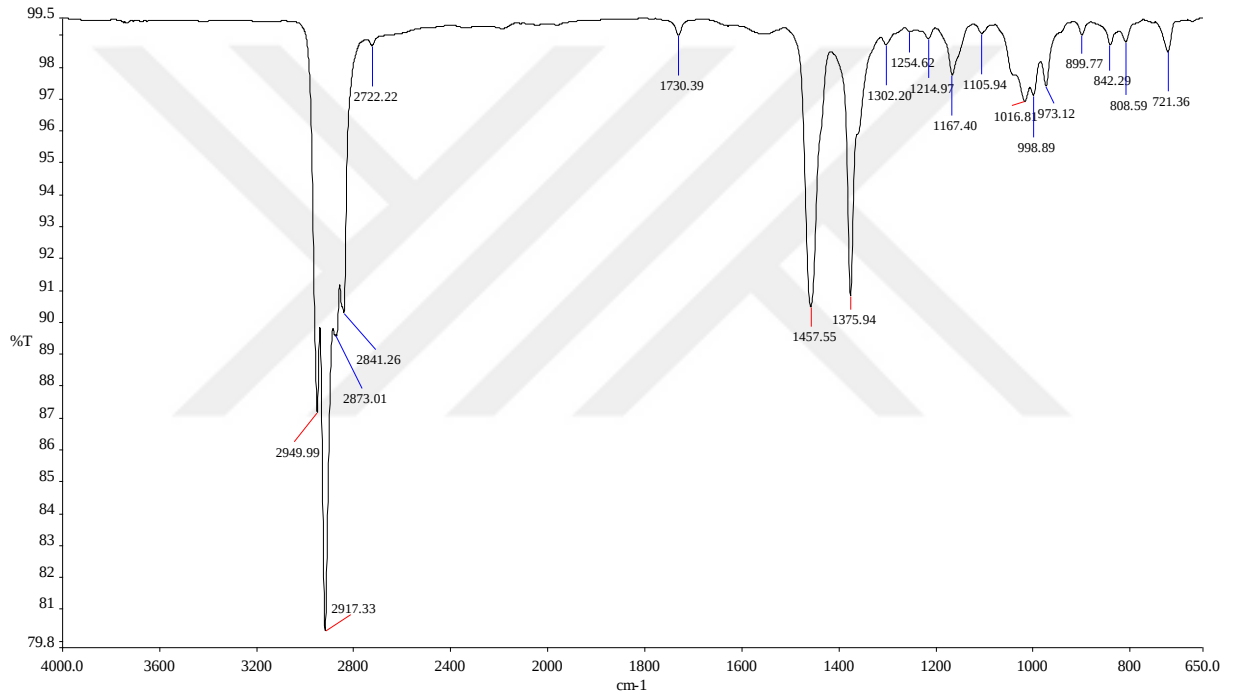
civarında gözlemlenebilecek zayıf bir pik, fındık kabuğundaki hemiselüloz veya ester yapılarından kaynaklanan C=O gerilme titreşimine işaret edebilir; ancak bu bant oldukça zayıf olabilir ve katkı oranına bağlı olarak belirginleşir. Genel olarak, FT-IR spektrumunda belirgin bir kimyasal bağ oluşumuna dair yeni fonksiyonel grup oluşumu gözlemlenmemiştir. Bunun yerine, fındık kabuğundaki doğal bileşenlere ait fonksiyonel gruplar spektrumda zayıf bantlar şeklinde yer almakta olup, bu durum katkının matrise fiziksel olarak dağıldığını ve polimer yapısıyla sınırlı düzeyde etkileşim gösterdiğini düşündürmektedir. Pik şiddetlerinde yer yer gözlemlenen azalmalar veya genişlemeler, katkı miktarının spektral absorpsiyon üzerindeki etkisiyle ilişkilidir.



Şekil 3.19. PPAW03 kodlu %20 fındık kabuğu katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

Şekil 3.20’de %20 ceviz kabuğu katkılanmış PP’nin yapısal özelliklerini belirlemek amacı ile yapılan FT-IR analizinin grafiği verilmiştir. Elde edilen spektrum, saf PP’ye ait karakteristik bantlarla büyük oranda örtüşmekte olup, PP matrisinin yapısal bütünlüğü koruduğunu göstermektedir. Daha önce saf PP için tanımlanan 2950-2840 cm^{-1} aralığındaki $-\text{CH}_3$ ve $-\text{CH}_2$ - gruplarına ait C-H gerilme titreşimleri ile 1166-973 cm^{-1} aralığındaki C-C ve C-H gerilme titreşimleri, ayrıca 840-721 cm^{-1} bölgesindeki dışa bükülme titreşimleri bu kompozitte de net bir şekilde gözlemlenmektedir. Ceviz kabuğu katkısına bağlı olarak, PP’ye özgü bantlara ek olarak bazı yeni bantlar oluşmuş ve mevcut bantlarda şiddet değişimleri meydana gelmiştir. Özellikle 3200-3600 cm^{-1} aralığında gözlemlenen geniş ve zayıf bant, ceviz kabuğunun

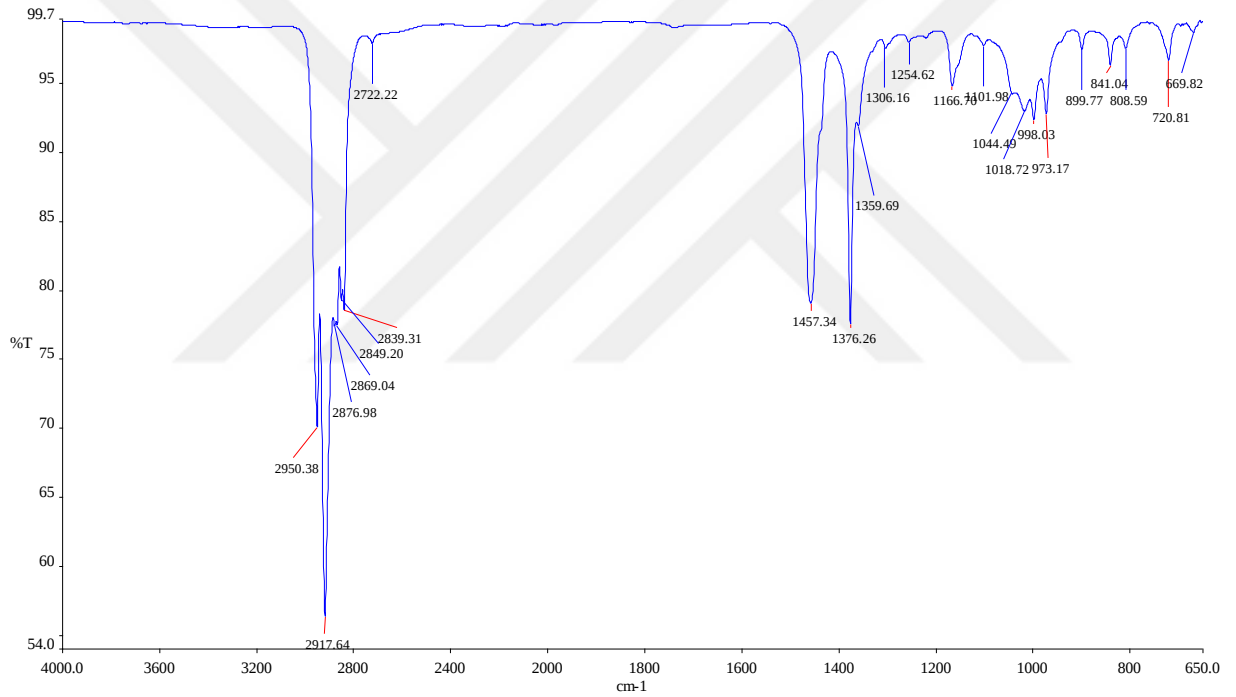
lignoselülozik yapısında bulunan –OH (hidroksil) gruplarının gerilme titreşimlerine işaret etmektedir. Bu bant, doğal katkının matris içerisinde fiziksel olarak dağılmış olduğunu ve yüzeyde hidrofilik yapıların varlığını göstermektedir. Ayrıca 1730-1750 cm⁻¹ aralığında ortaya çıkan zayıf bir pik, ceviz kabuğundaki hemiselüloz ve lignin bileşenlerinden kaynaklanan C=O gerilme titreşimi ile ilişkilendirilebilir. Bu pik, katkı miktarına bağlı olarak değişen belirginlikte olabilir. Genel olarak spektrumda yeni bir kimyasal bağ oluşumuna dair belirgin bir bant gözlemlenmemiştir; bu durum katkının PP matrisi ile kimyasal değil, fiziksel etkileşim yoluyla birleştiğini göstermektedir. Pik şiddetlerinde gözlemlenen yerel artışlar, azalmalar veya genişlemeler, ceviz kabuğu katkısının spektral absorpsiyon üzerinde etkili olduğunu ve polimerin yapısal düzenine kısmi değişiklikler getirdiğini düşündürmektedir.



Şekil 3.20. PPAW04 kodlu %20 ceviz kabuğu katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

%20 oranında badem kabuğu katkılanmış PP kompozitinin yapısal karakterizasyonunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilen FT-IR analizine ait sonuçlar Şekil 3.21’de verilmiştir. Spektrum incelendiğinde, saf PP’ye ait karakteristik bantların büyük ölçüde korunduğunu ve PP matrisinin yapısal bütünlüğünü muhafaza ettiği görülmektedir. 2950-2840 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen C-H ve C-C gerilme titreşimleri ve 840-721 cm⁻¹ bölgesindeki dışa bükülme titreşimleri, PP yapısının karakteristik spektral izlerini yansıtmaktadır. Badem kabuğu katkısına bağlı olarak spektrumda bazı bantlarda şiddet farklılıkları gözlemlenmiş, bunun yanında 3200-3600 cö-1 aralığında zayıf ancak geniş bir bant dikkat çekmiştir. Bu bant, badem kabuğunun

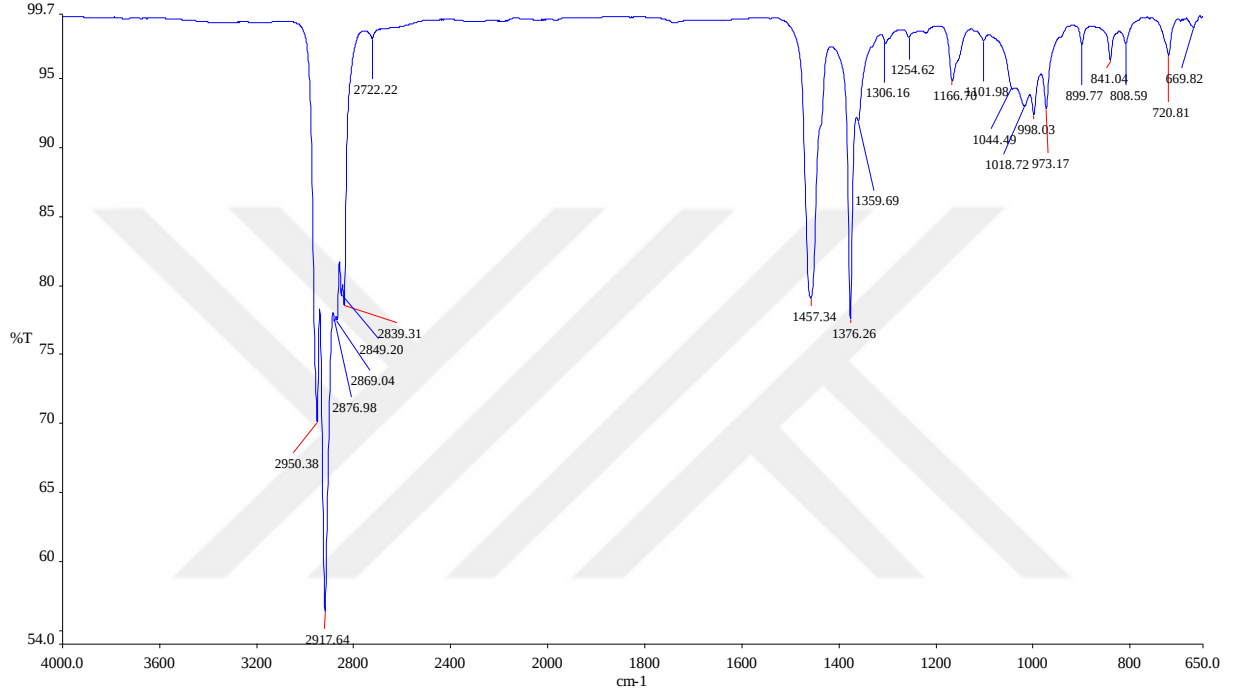
lignoselülozik yapısında bulunan –OH (hidroksil) gruplarına ait gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır ve doğal dolgu maddesinin matrise entegre olduğunu göstermektedir. Ayrıca 1730 cm⁻¹ civarında çok zayıf bir pik, badem kabuğunda yer alan hemiselüloz veya ester içerikli yapılar nedeniyle ortaya çıkabilen C=O gerilme titreşimi ile ilişkilendirilebilir. Bu bant, katkı oranına bağlı olarak belirgin hale gelebilmekte ve dolgunun spektral etkisini göstermektedir. Yeni fonksiyonel gruplara ait net bir pik gözlemlenmemiş olup, bu durum badem kabuğu katkısının polipropilen matrisiyle kimyasal bağlanma yerine fiziksel dağılım yoluyla bir etkileşim gösterdiğine işaret etmektedir. Pik şiddetlerinde yer yer gözlenen artış, azalma ya da genişlemek, katkı malzemesinin FT-IR absorpsiyon davranışı üzerindeki etkilerini yansıtmakta olup, kompozit yapıda fiziksel ve morfolojik değişimlere işaret etmektedir.



Şekil 3.21. PPAW05 kodlu %20 badem kabuğu katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

Şekil 3.22’de, %20 oranında Antep fıstığı kabuğu katkısı içeren PP kompozitine ait FT-IR spekturumu sunulmaktadır. Elde edilen spektrum, polipropilenin karakteristik bantlarını büyük ölçüde koruduğunu göstermekte ve PP matrisinin yapısal bütünlüğünü sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. 2950-2840 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen –CH₃ ve –CH₂ gruplarına karşılık gelen C-H gerilme titreşimleri ile 1457 ve 1376 cm⁻¹ civarındaki bükülme (deformasyon) titreşimleri kompozitin temel yapısının PP karakteri taşıdığını doğrulamaktadır. Ayrıca 1306-973 cm⁻¹ aralığında yer alan C-C ve C-H gerilme titreşimleri ile 840-721 cm⁻¹ bölgesindeki dışa bükülme modları da saf PP yapısıyla uyumlu olarak gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, badem kabuğu

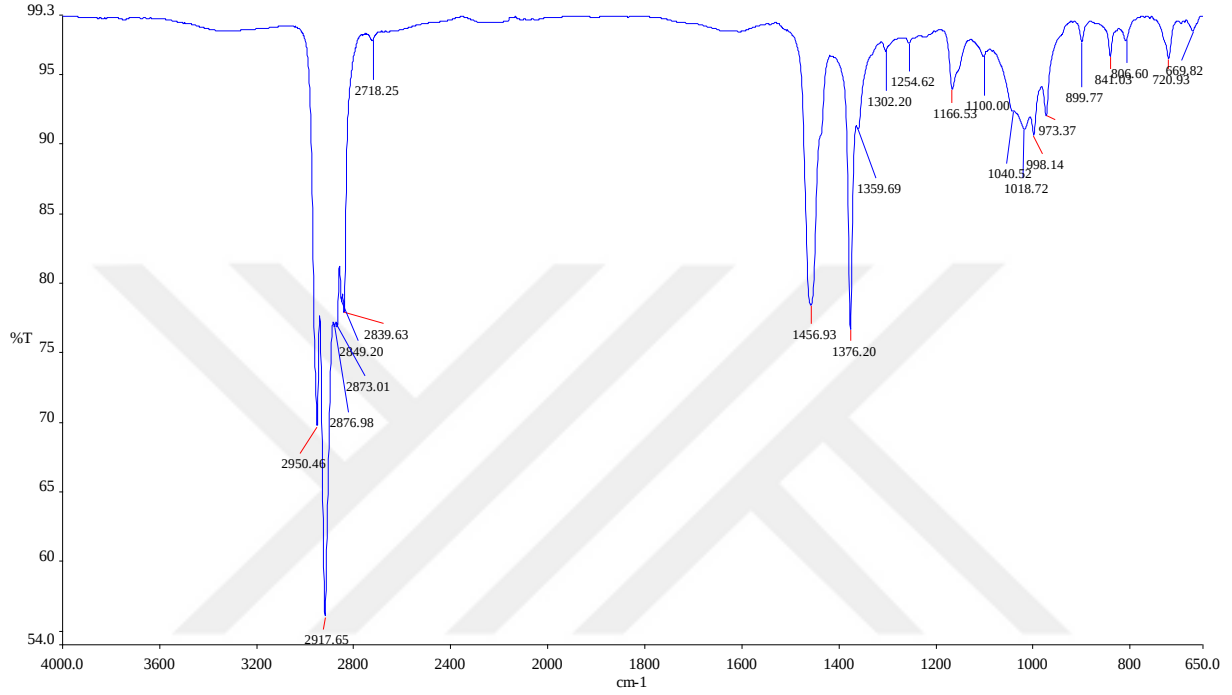
katkısının etkisiyle spektrumda bazı farklılıklar meydana gelmiştir. 3200 – 3600 cm^{-1} aralığında ortaya çıkan geniş ve zayıf bant, katkı maddesinin lignoselülozik yapısından kaynaklanan –OH gruplarının varlığını işaret etmektedir. Bu bant, doğal katkının polimer matrise fiziksel olarak entegre olduğunu ve yüzeyde hidrofilik grupların bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, 1730 cm^{-1} civarında beliren zayıf bir pik, badem kabuğunda bulunan hemiselüloz veya ester yapılarından kaynaklanabilecek C=O gerilme titreşimlerine işaret edebilir.



Şekil 3.22. PPAW06 kodlu %20 Antep fıstığı kabuğu katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

Şekil 3.23'te %20 oranında yer fıstığı kabuğu katkısı içeren PP kompozitine ait FT-IR spektrumu sunulmaktadır. Spektrumda gözlemlenen bantlar, polipropilenin karakteristik yapısının büyük ölçüde korunduğunu ve matrisin yapısal bütünlüğünün devam ettiğini göstermektedir. 2950.48-2917.65 cm^{-1} civarındaki belirgin pikler, sırasıyla –CH₃ ve –CH₂ gruplarına ait C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. Bu durum, PP'nin alifatik yapısını doğrulamakta ve temel yapının polipropilen karakterine olduğunu ortaya koymaktadır. 1456.93-1376.2 cm^{-1} 'deki bantlar ise –CH₃ gruplarının bükülme titreşimleri ile ilişkilidir. 1302.2-973.37 cm^{-1} aralığında gözlenen bantlar, C-C ve C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelirken; 840-720 cm^{-1} gibi daha düşük dalga sayılarında görülen pikler, PP'ye özgü metil gruplarının dışa bükülme modlarını yansıtmaktadır. Buna ek olarak, 3200-3600 cm^{-1} aralığında geniş bir absorpsiyon bandı gözlemlenmemekle birlikte, 2839-2876 cm^{-1} gibi dalga sayılarında yer alan küçük sapmalar, yer fıstığı kabuğunun lignoselülozik yapısındaki –OH gruplarının

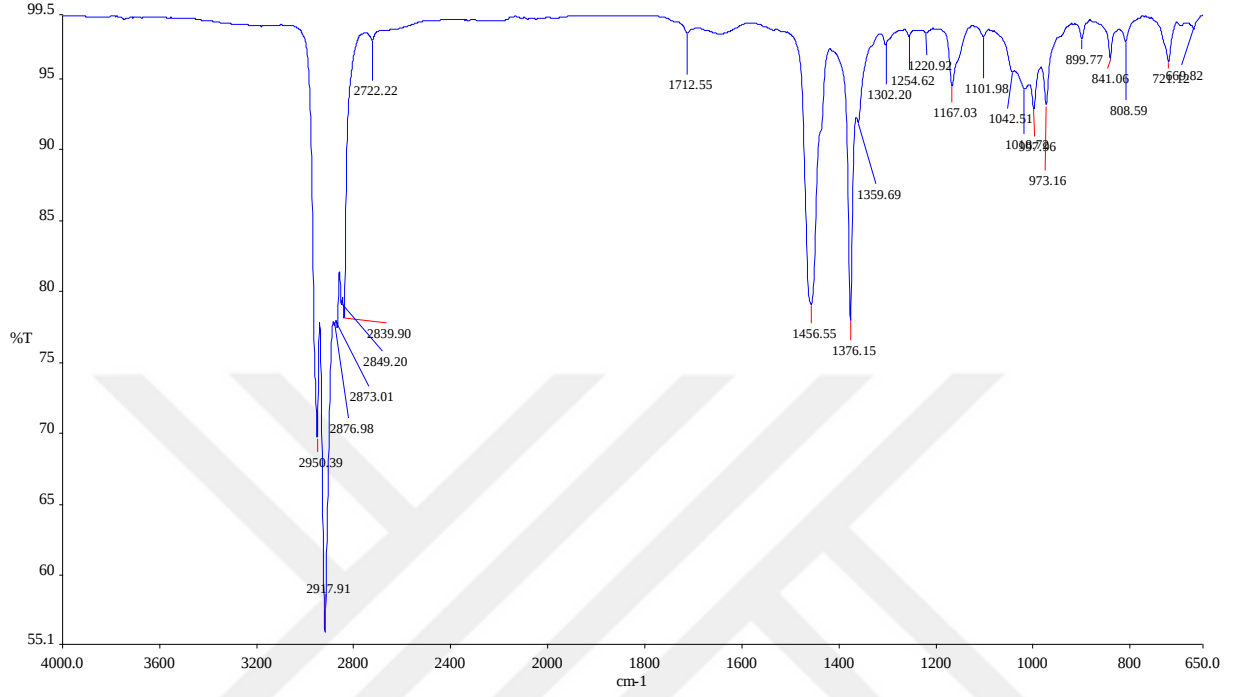
varlığına işaret ediyor olabilir. Bu, doğal katkının polimer matrisine fiziksel olarak entegre olduğunu ve yüzeyde hidrofilik gruplar barındırdığını göstermektedir. Ayrıca, 1736-1456 cm⁻¹ civarında gözlemlenen bantlar, yer fıstığı kabuğunda bulunabilecek hemiselüloz, lignin veya ester yapılarından kaynaklanan C=O gerilme titreşimlerine işaret edebilir. Bu pikler, doğal katkı maddesinin kompozit yapı üzerindeki etkisini ve kimyasal etkileşim potansiyelini göstermektedir.



Şekil 3.23. PPAW07 kodlu %20 yer fıstığı katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

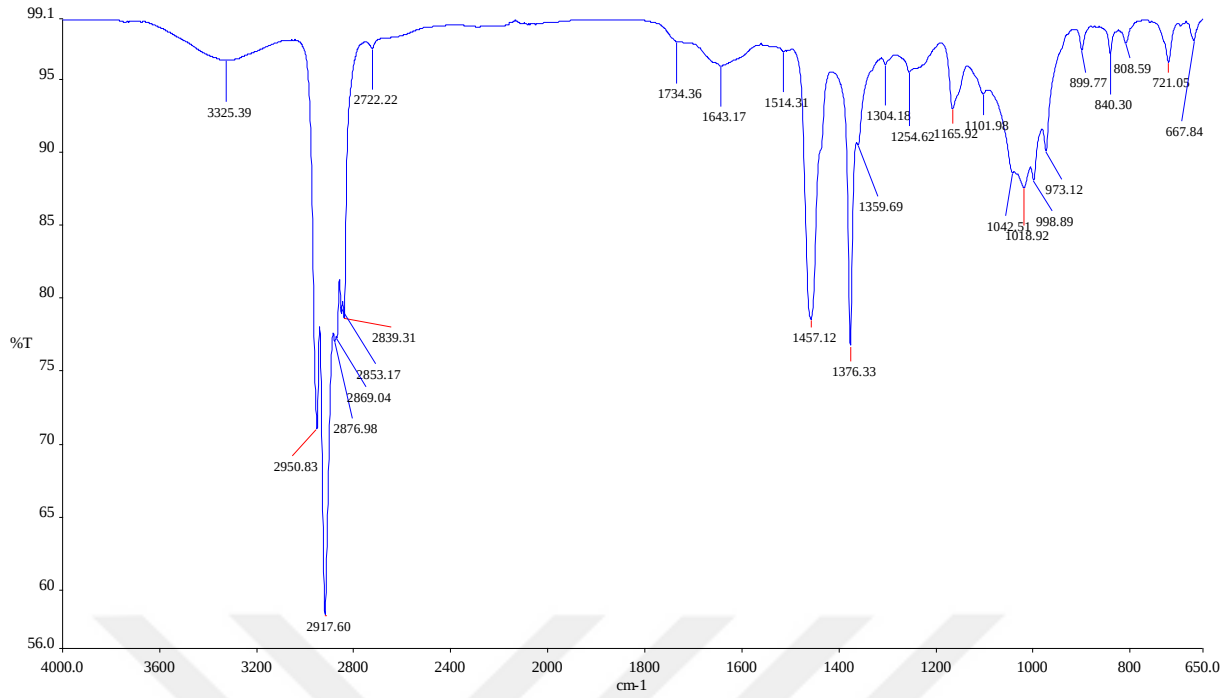
%20 oranında kenevir tohumu katkısı içeren PP kompozitine ait FT-IR spektrumu Şekil 3.24'te sunulmaktadır. Elde edilen spektrum, PP karakteristik bantlarını büyük ölçüde koruduğunu göstermekte ve PP matrisinin yapısal bütünlüğünü sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. 2959-2876 cm⁻¹ bölgelerinde gözlemlenen bantlar sırasıyla –CH₃ ve –CH₂ gruplarına karşılık gelen C-H gerilme titreşimlerini temsil etmektedir. Bu durum, kompozit yapının temelinde PP'nin alifatik karakterinin korunduğunu göstermektedir. 1456-1376 cm⁻¹'de görülen bantlar, -CH₃ gruplarının bükülme titreşimlerine işaret etmektedir. 1302-973 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen C-C ve C-H gerilme titreşimlerine ait bantlar ile 899-720 cm⁻¹ bölgelerindeki dışa bükülme modları, PP'nin karakteristik yapılarını yansıtmaktadır. Kenevir tohumu katkısının etkisiyle, spektrumda bazı yeni bantların ortaya çıktığını ve mevcut bantlarda küçük değişimler gözlemlendiği görülmektedir. Özellikle 1712 cm⁻¹ civarında beliren yeni bir bant, kenevir tohumunun yapısında bulunan hemiselüloz, lignin ya da yağ asidi esterlerinden kaynaklanabilecek C=O gerilme titreşimlerine işaret edebilir. Ayrıca 2839- 2849 cm⁻¹ gibi

bölgelerde gözlenen zayıf bantlar, kenevir tohumunun lignoselülozik yapısından kaynaklı –OH grupları veya –CH içeren farklı bileşenlerin varlığını düşündürülebilir. Bu durum, doğal katkının PP matrisine fiziksel olarak entegre olduğunu ve yüzeyde hidrofilik grupların bulunduğunu göstermektedir.



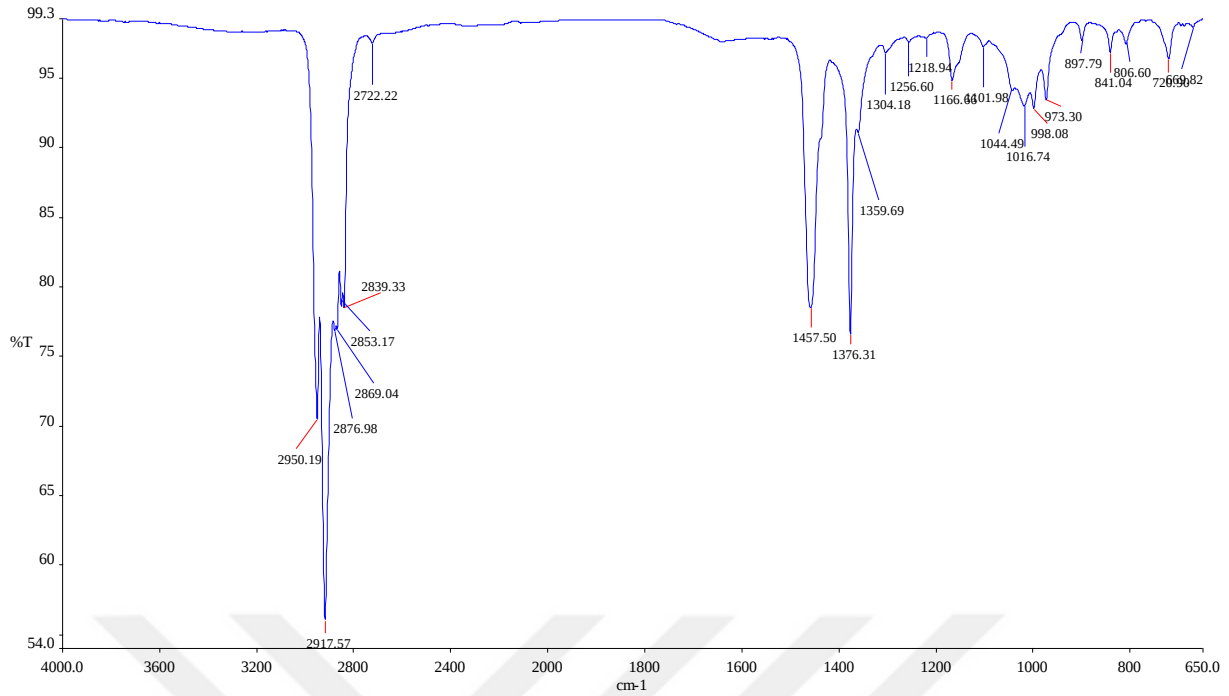
Şekil 3.24. PPAW08 kodlu %20 kenevir tohumu posası katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

Şekil 3.25'te, %20 oranında ayçiçeği küspesi katkısı içeren PP kompozitine ait FT-IR spektrumu sunulmaktadır. Spektrumda gözlemlenen bantlar, PP'nin karakteristik yapısını koruduğunu ve PP matrisinin temel yapısal özelliklerinin sürdüğünü göstermektedir. 2950-2876 cm⁻¹ bölgelerinde yer alan pikler, sırasıyla –CH₃ ve –CH₂ gruplarına ait C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmekte olup, PP'nin alifatik yapısının korunmuş olduğunu doğrulamaktadır. 1457-1376 cm⁻¹ civarındaki bantlar, –CH₃ gruplarına ait deformasyon titreşimlerini göstermektedir. 1304-721 cm⁻¹ bölgelerinde görülen dışa bükülme modları da PP'nin karakteristik yapı taşları olarak gözlemlenmiştir. Ayçiçeği küspesi katkısının varlığı, spektrumda yeni bantların belirmesine ve bazı mevcut bantların şiddetinde değişikliklere yol açmıştır. Özellikle 3325 cm⁻¹ civarında görülen geniş bant, lignoselülozik yapıdan kaynaklanan –OH gruplarına işaret etmektedir. Bu bant, doğal katkı maddesinin hidrofilik karakterini ve polimer matrisle fiziksel etkileşimini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.25. PPAW09 kodlu %20 ayçiçeği küspesi katkılı numuneye ait FT-IR grafiği

%20 oranında zeytin pirinası katkısı içeren PP kompozitin ait FT-IR spektrumu Şekil 3.26’da sunulmuştur. Spektrumda gözlemlenen 2950-2876 cm-1 bölgelerindeki bantlar, PP’nin alifatik yapısına ait karakteristik 2876 cm-1 bölgelerindeki bantlar, PP’nin alifatik yapısına ait karakteristik –CH₃ ve –CH₂ gruplarının C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmekte olup, polimer matrisin temel yapısının korunduğunu göstermektedir. Zeytin pirinası katkısının varlığı ise spektrumda yeni bantların ortaya çıkmasına ve bazı bantların şiddetine değişimlere neden olmuştur. Özellikle 3320-3400 cm-1 civarında beliren geniş bant, zeytin pirinasının yapısında bulunan lignoselülozik bileşenlere ait –OH gruplarının varlığını göstermektedir. Bu bant, katkı maddesinin hidrofilik karakterini ve PP matrisiyle fiziksel etkileşimini ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra 1722 cm-1 civarında gözlemlenen pik, hemiselüloz ve lignin yapılarından kaynaklanan C=O gruplarına işaret etmektedir. 1457-1376 cm-1 ve 1218-1044 cm-1 aralığında gözlenen yoğun bantlar ise lignin ve selüloz kaynaklı aromatik ve alifatik bileşenlerin titreşim modları ile ilişkilidir. Bu bulgular, Zeytin pirinasının kompozit yapı içerisinde korunduğunu ve matrise katkı sağladığını göstermektedir.



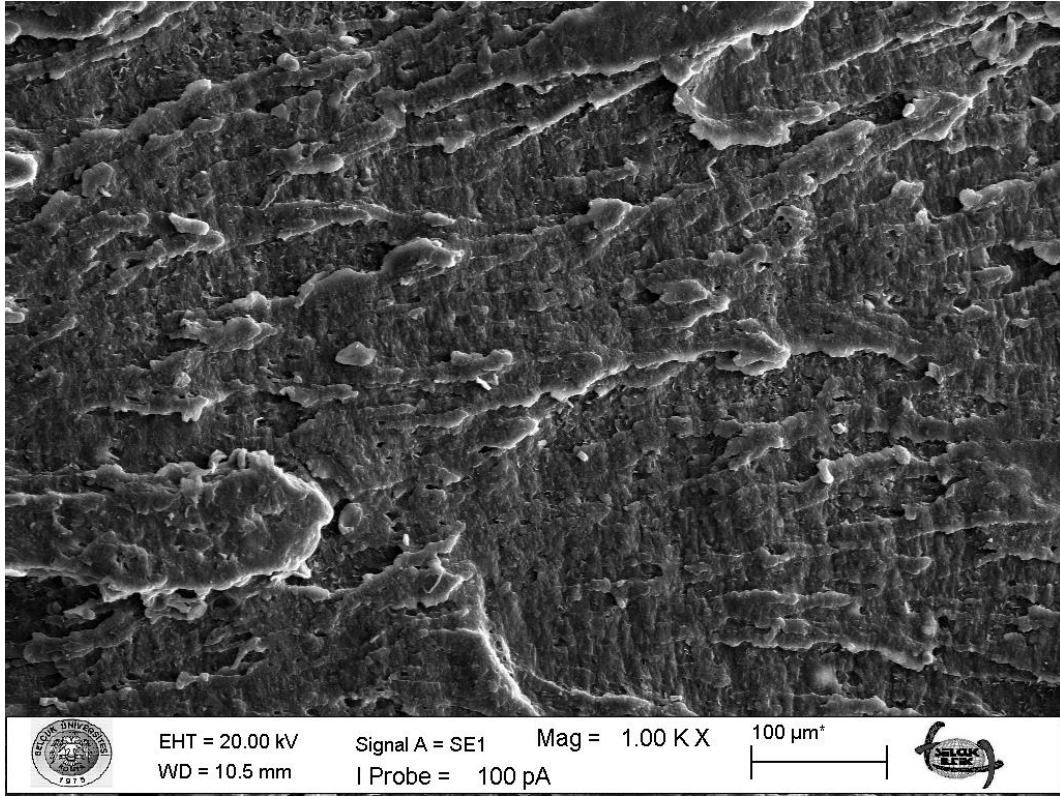
Şekil 3.26. PPAW10 kodlu %20 zeytin pirinası numuneye ait FT-IR grafiği

3.12. Mikroyapı Görüntüleme Sonuçları

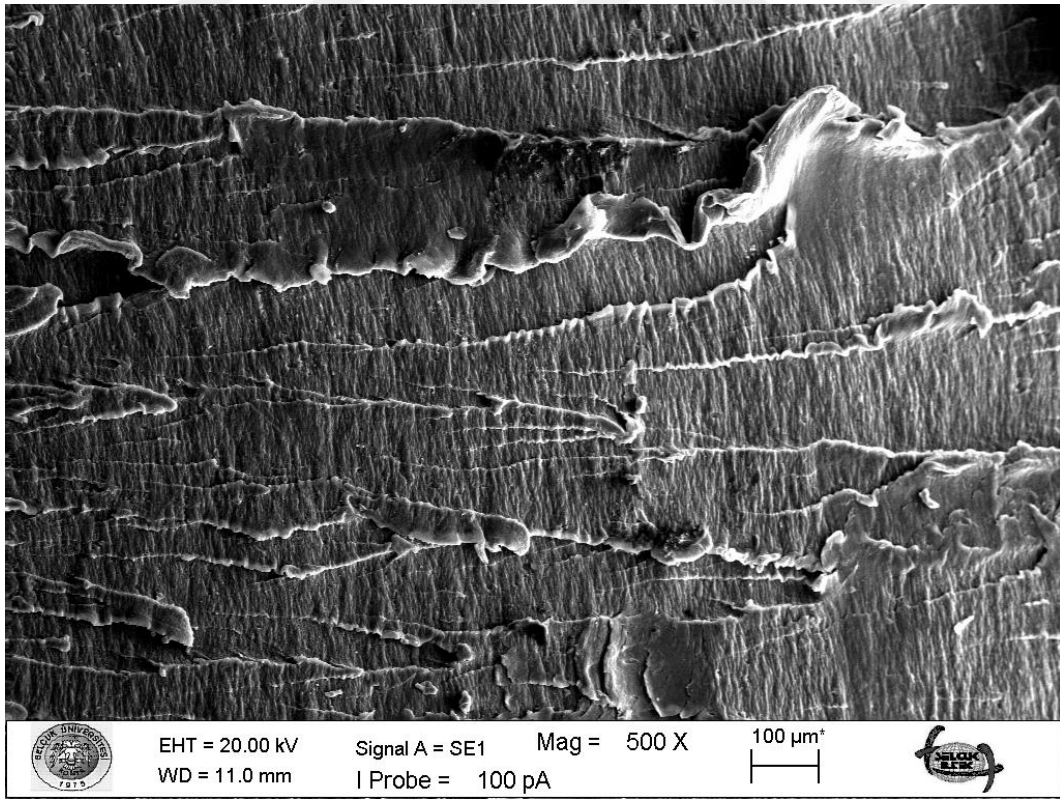
Saf PP numunesine ait SEM görüntülerinde (Şekil 3.27.), kırılma yüzeyinin düzgün ve homojen olduğu, herhangi bir faz ayrışması ya da boşluk gözlenmediği dikkat çekmektedir. Bu yapı, PP'nin kendi içinde uyumlu ve sünek bir davranış sergilediğini göstermektedir. Lif ya da partikül içermemesi nedeniyle, matris bütünlüğü oldukça yüksektir ve gevrek kırılma izleri bulunmamaktadır.

Saf PP'de homojen ve uyumlu matris yapısı sünek kırılmaya işaret ederken, dolgu katkılı kompozitlerde arayüz kalitesi dolgu türüne bağlı olarak değişmiştir. Mineralli talk katkısı iyi uyum ve homojen dağılım göstererek mekanik performansı olumlu etkilerken, lifsi biyodolgularda (ceviz, badem, yer fıstığı, kenevir tohumu) arayüz boşlukları ve lif çekilmeleri gözlenmiştir. Bu, hidrofilik dolgu ile hidrofobik PP arasındaki uyumsuzluğa bağlı mekanik dayanım kaybına yol açabilir. Öte yandan antep fıstığı ve zeytin pirinası gibi biyodolgular daha iyi entegrasyon ve az boşlukla daha olumlu sonuçlar vermiştir. Böylece dolgu tipi ve yüzey özellikleri, kompozitin mikro yapısı ve mekanik davranışında belirleyici olmaktadır.

Talk katkılı numunede (Şekil 3.28.), matris-filler arayüzü genel olarak uyumlu görünmekle birlikte, bazı bölgelerde talk parçacıkları etrafında sınırlı boşluklar gözlenmiştir. Talkın homojen dağıldığı ve kırılma yüzeyinde çatlak ilerlemesini engelleyen bariyer görevi gördüğü anlaşılmaktadır. Bu durum, mekanik dayanımın artışına katkı sağlayabilir.



(a)



(b)

Şekil 3.27. PPAW01 kodlu numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

Fındık kabuğu içeren numunenin (Şekil 3.29.), kırılma yüzeyinde lif benzeri yapılar ve düzensiz parçacıklar belirgin şekilde görülmektedir. Kompozit içinde bazı liflerin matrisle yeterince bütünleşmediği ve çekilme izlerinin bulunduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, zayıf ara yüzey bağlanmasına ve lif çekilmesine işaret eder. Mekanik performans açısından bu tür boşluklar kırılma dayanıklılığı artırabilir.

Ceviz kabuğu katkılı kompozit numuneye (Şekil 3.30.), ait SEM görüntülerinde, matris içerisinde gömülü çok sayıda dolgu partikülünün bulunduğu ve bu parçacıkların bazılarının çevresinde belirgin arayüz boşluklarının olduğu tespit edilmiştir. Ceviz kabuklarının doğal yapısında bulunan yüksek lignin ve hemiselüloz oranı, bu liflerin hidrofilik karakter kazanmasına neden olmakta ve bu durum, apolar yapıya sahip polipropilen (PP) matrisiyle yeterli düzeyde fiziksel bağ kurulmasını zorlaştırmaktadır. Gözlenen boşluklar ve çekilme izleri, dolgu-matris arasındaki zayıf yapışmayı açıkça ortaya koymakta; bu da yük transferinin efektif şekilde gerçekleşmesini engelleyerek özellikle darbe dayanımı ve çekme mukavemeti gibi mekanik özelliklerde azalmaya yol açabileceğini düşündürmektedir.

Badem kabuğu içeren kompozit numunenin (Şekil 3.31.), kırılma yüzeyleri, oldukça dağınık ve düzensiz bir morfolojik yapı sergilemektedir. SEM analizleri, bazı badem kabuğu partiküllerinin matristen ayrıldığına ve çevresinde belirgin debonding (kopma) izlerinin oluştuğuna işaret etmektedir. Bu tür çekilme izleri ve arayüz çevresindeki boşluklar, partiküllerin PP matrisiyle yeterince ıslanamadığını ve bağlanamadığını göstermektedir. Lif-matris etkileşiminin zayıf olması, kırılma anında enerji emilimini sınırlandırarak kırılmanın daha gevrek karakterde gerçekleşmesine neden olabilir. Bu durum, kompozit malzemenin tokluk ve çatlak yayılımına karşı direncini olumsuz yönde etkileyebilecek önemli bir dezavantajdır.

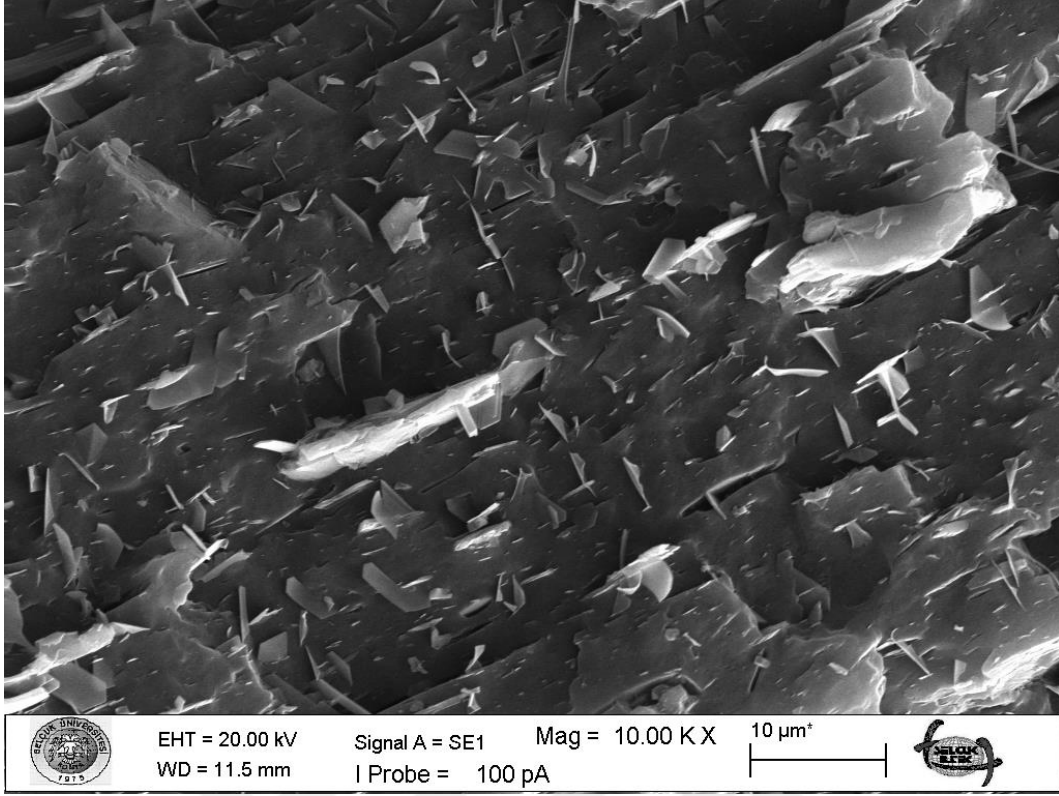
Antep fıstığı kabuğu katkılı kompozitte (Şekil 3.32.), gözlenen kırılma yüzeyleri, diğer tarımsal atık katkılı örneklerle kıyasla daha homojen ve kompakt bir yapı sunmaktadır. SEM görüntülerine göre, dolgu partikülleri matris içerisinde nispeten iyi dağılmış olup, dolgu-matris arayüzünde daha az sayıda boşluk ve ayrılma izine rastlanmıştır. Bu durum, antep fıstığı kabuğunun yüzey kimyasının PP ile daha uyumlu olduğunu veya daha etkili bir dispersiyon sağlandığını düşündürmektedir. Partiküllerin matrise iyi entegre olması, yük transfer mekanizmasının daha etkin işlemlerini sağlayarak kompozit malzemenin mekanik performansını olumlu yönde etkileyebilir. Bu yapı, özellikle çekme ve eğilme gibi yükleme koşullarında daha kararlı davranışlar sergileyebilir.

Yer fıstığı kabuğu içeren kompozit numunede (Şekil 3.33), bazı dolgu partiküllerinin etrafında keskin kırılma izleri ve belirgin ayrışma bölgeleri gözlemlenmiştir. SEM analizleri, dolgu parçacıklarının PP matrisiyle yeterli seviyede bağ kuramadığını, bunun da arayüzde çekilme boşluklarına ve zayıf etkileşimlere yol açtığını göstermektedir. Debonding bölgeleri, dış yükler altında çatlak başlangıcına zemin hazırlayabilecek potansiyel zayıf noktalar oluşturmaktadır. Bu durum, kompozit yapının kırılabilirliğini artırarak özellikle darbeli yükleme koşullarında malzemenin performansını sınırlandırabilir.

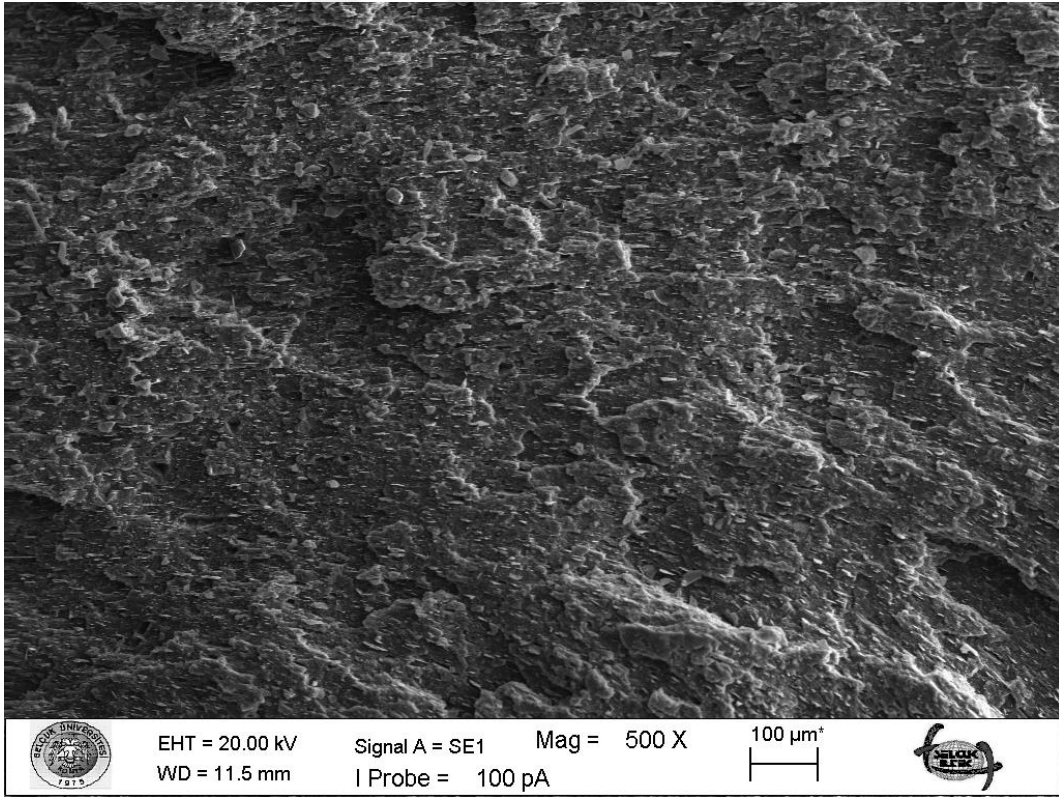
Kenevir tohumu posası içeren kompozitte (Şekil 3.34.), gözlenen lifsi yapılar oldukça belirgin olup, bu liflerin bir kısmı matristen tamamen kopmuş veya yerinden oynamış şekilde tespit edilmiştir. Arayüz çevresindeki geniş boşluklar, lif-matris etkileşiminin oldukça zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. Liflerin yüzey özellikleri nedeniyle polipropilen ile uyumsuzluğu, yeterli ıslanmayı engellemekte ve bu durum bağ gücünü düşürmektedir. Bu zayıf yapışma, gerilme altındaki kompozit yapıda erken lif çekilmesine ve yük aktarımında düzensizliklere neden olarak mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyebilir.

Ayçiçeği küspesi katkılı numunenin SEM görüntüleri (Şekil 3.35), oldukça heterojen bir morfolojik yapı ve düzensiz partikül dağılımı ortaya koymaktadır. Matris ile dolgu partikülleri arasında geniş çaplı kopmalar ve ayrılmalar gözlemlenmiş, bu durum arayüz bağlarının zayıf olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Organik katkının düşük polariteye sahip matrisle uyumsuzluğu, bağlanma kuvvetlerini sınırlandırmakta ve bunun sonucunda kırılma yüzeylerinde boşluklu yapılar meydana gelmektedir. Bu yapılar, mekanik yükler altında çatlak oluşumunu kolaylaştırarak kompozitin mukavemet ve süneklik gibi özelliklerini ciddi şekilde düşürebilir.

Zeytin pirinası katkılı kompozit numunede (Şekil 3.36.), dolgu partiküllerinin matris içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmış olduğu ve arayüz çevresinde çok sınırlı boşlukların yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu yapı, dolgu maddesinin polipropilen ile daha iyi uyum sağladığını ve ıslanabilirliğin daha başarılı gerçekleştiğini göstermektedir. Arayüzdeki bu yapışma başarısı, yük altında daha etkili bir stres aktarımı sağlayarak çatlak ilerlemesini yavaşlatabilir ve mekanik dayanımın korunmasına katkı sunabilir. Dolgu malzemesinin termal ve kimyasal özelliklerinin PP ile uyumu sayesinde bu numunenin diğer biyobazlı katkılara kıyasla daha dengeli bir mekanik performans sergilemesi beklenmektedir.

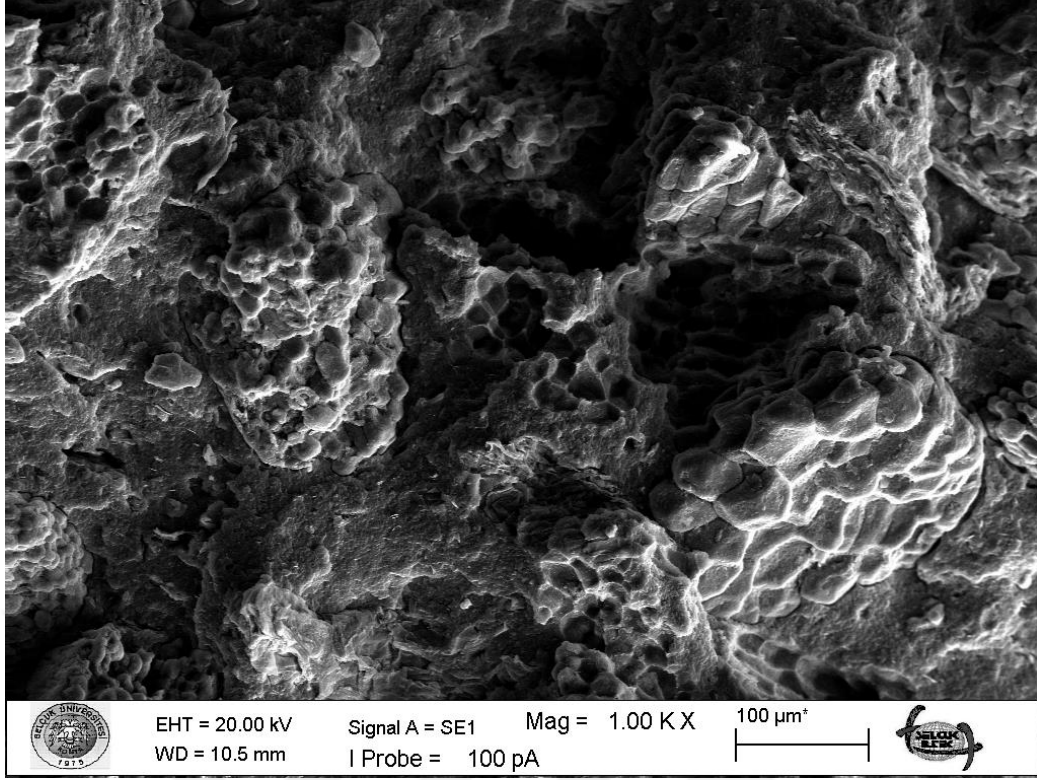


(a)

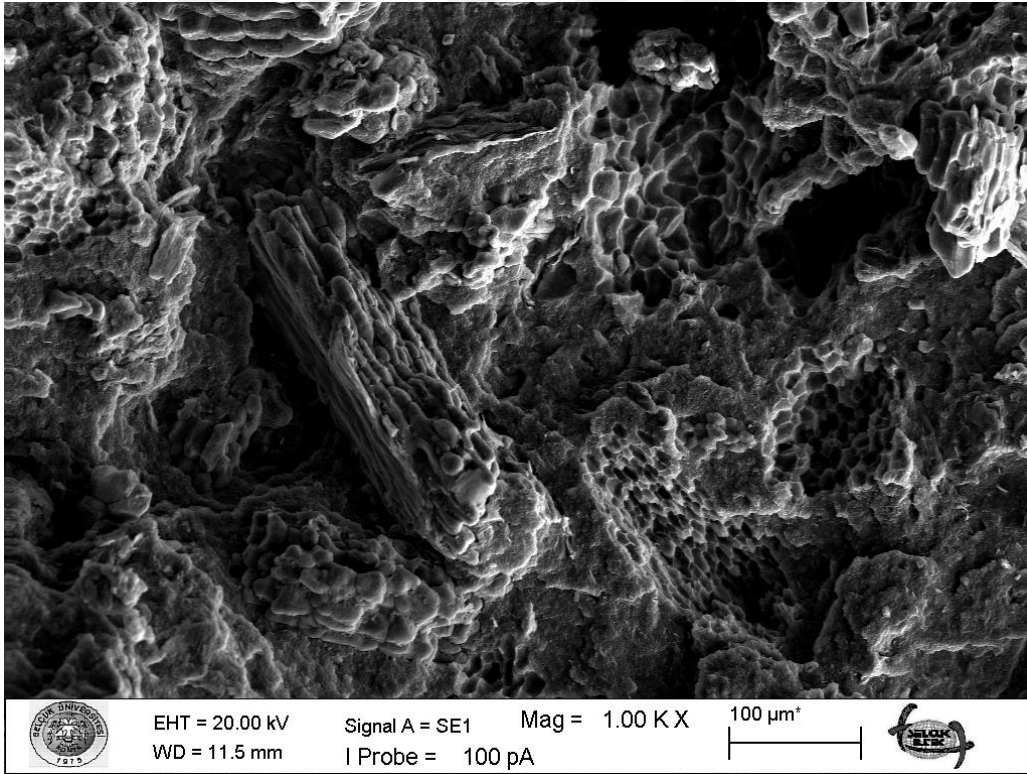


(b)

Şekil 3.28. PPAW02 kodlu numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

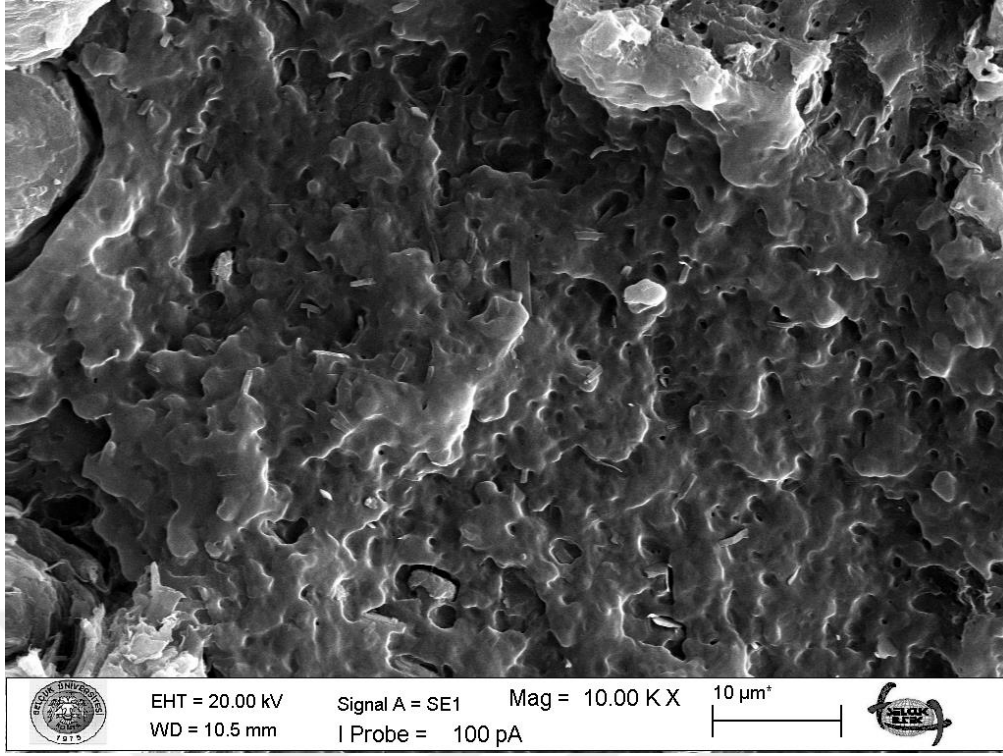


(a)

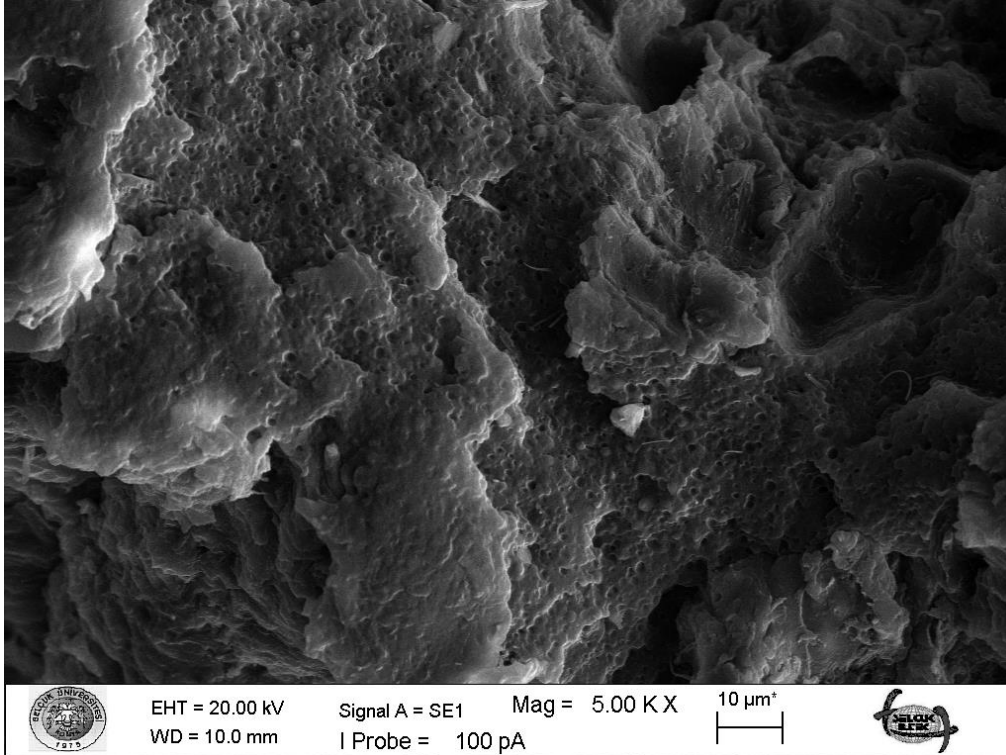


(b)

Şekil 3.29. PPAW03 kodlu %20 fındık kabuğu katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

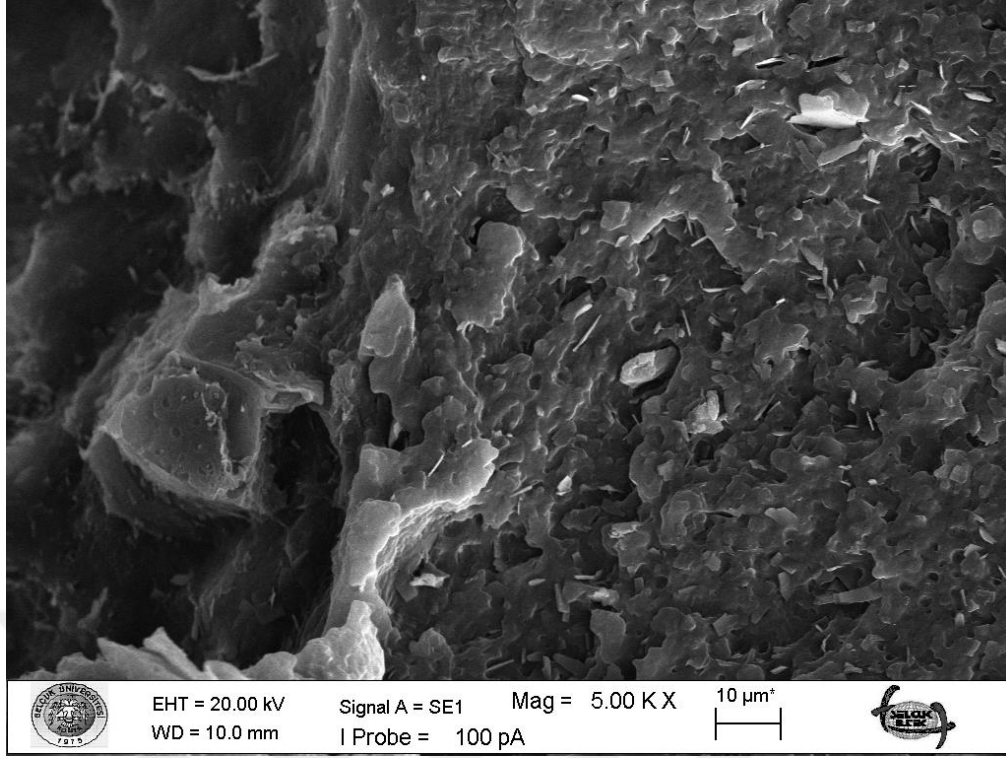


(a)

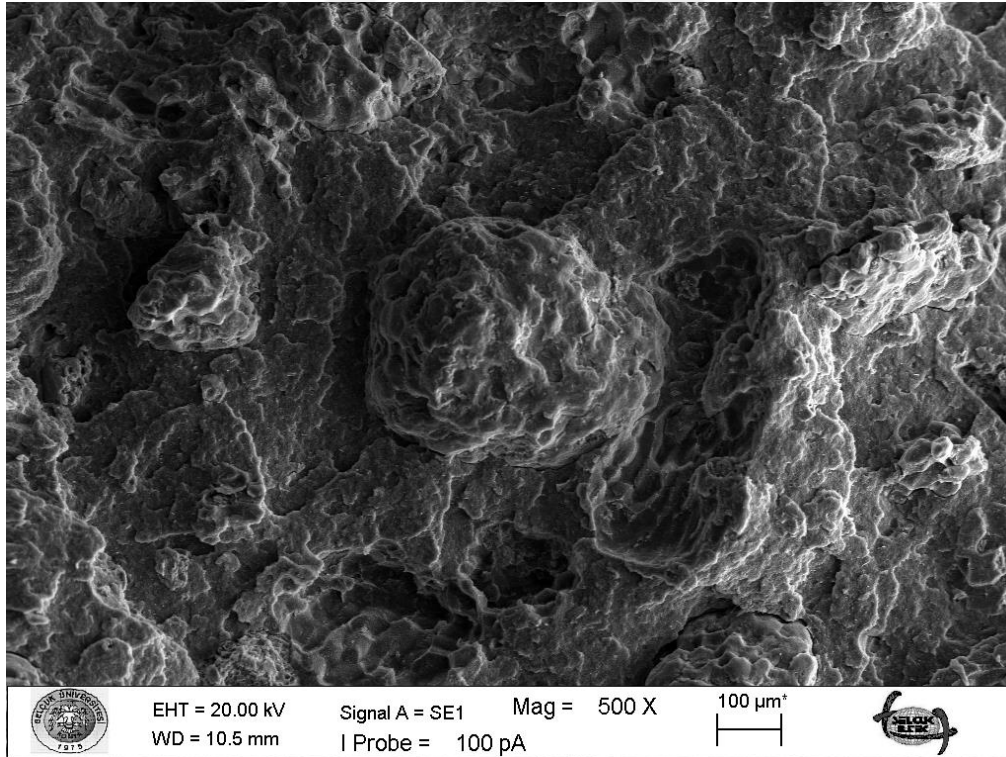


(b)

Şekil 3.30. PPAW04 kodlu %20 ceviz kabuğu katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

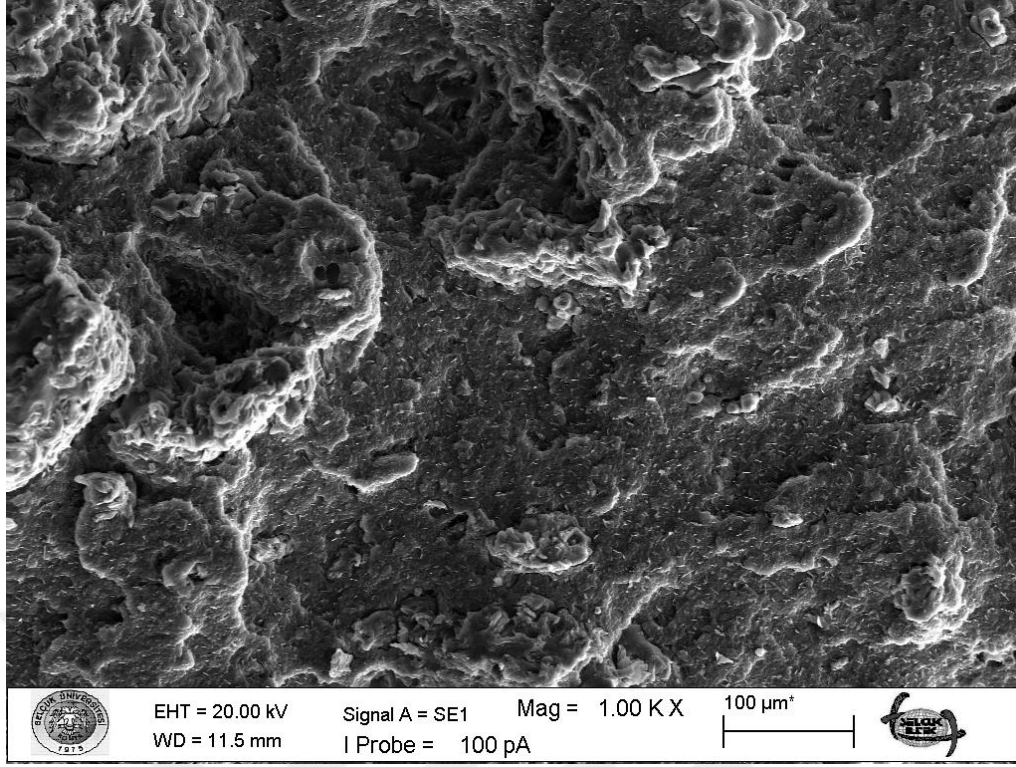


(a)

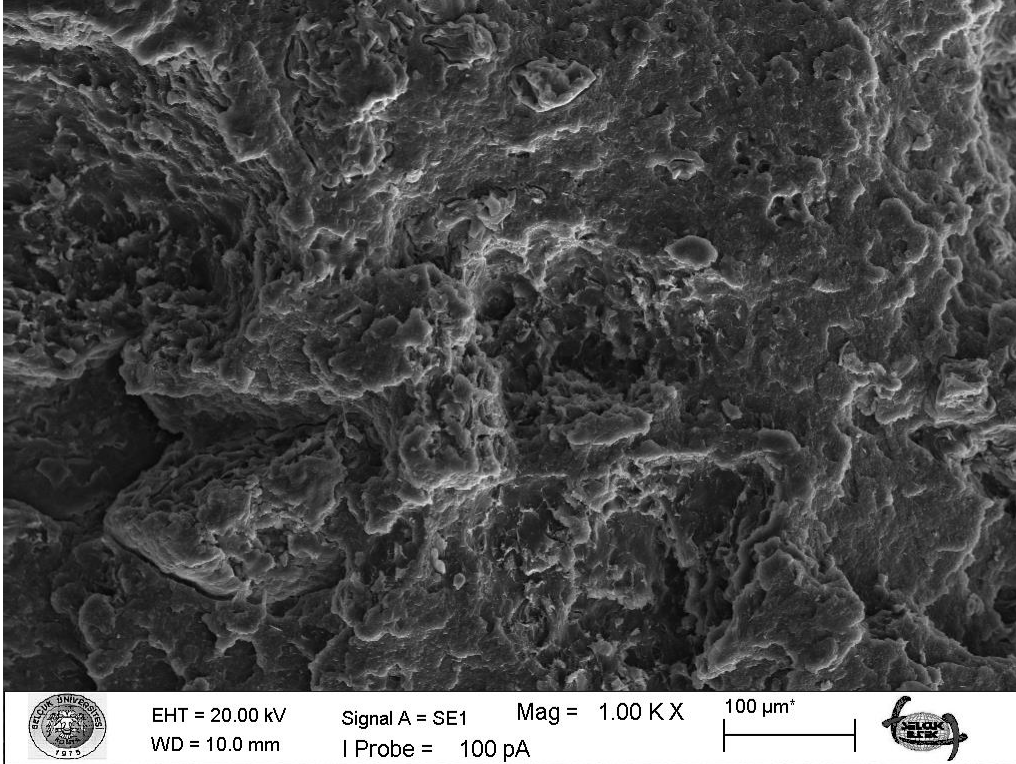


(b)

Şekil 3.31. PPAW05 kodlu %20 badem kabuğu katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

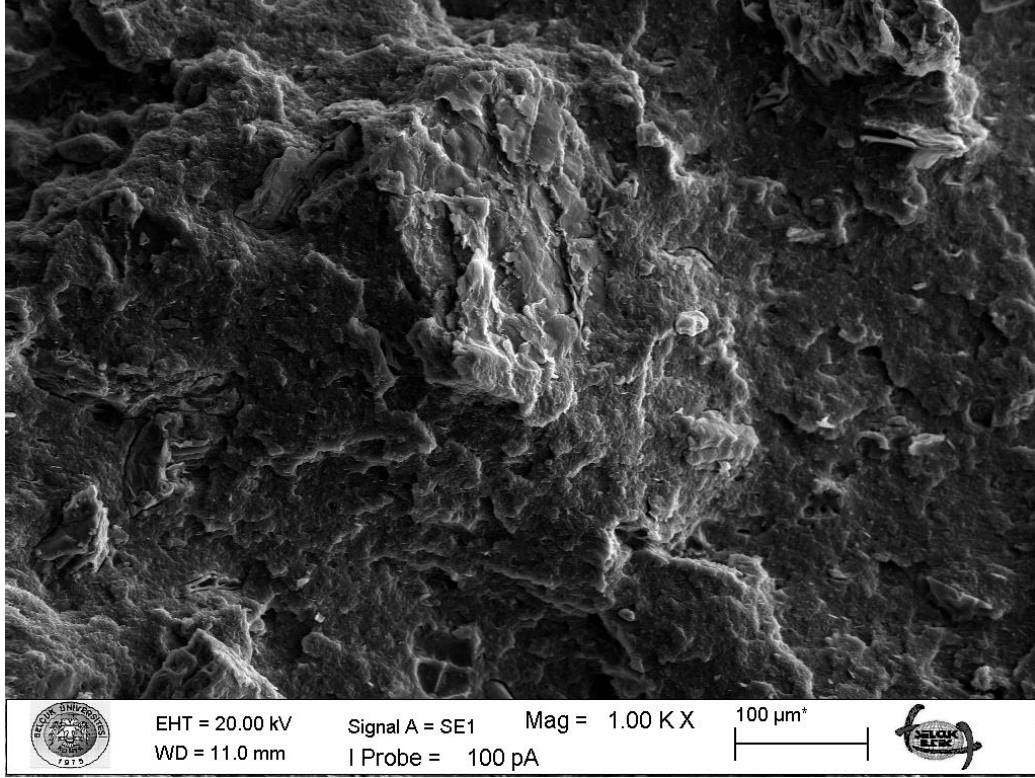


(a)

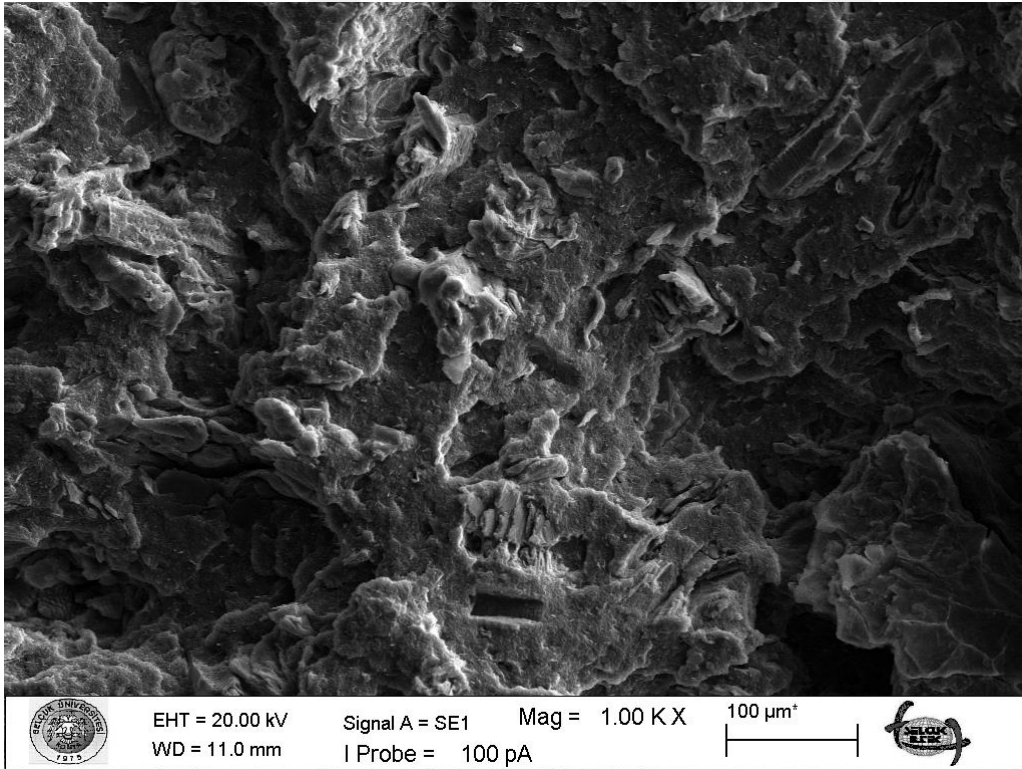


(b)

Şekil 3.32. PPAW06 kodlu %20 Antep fıstığı kabuğu katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

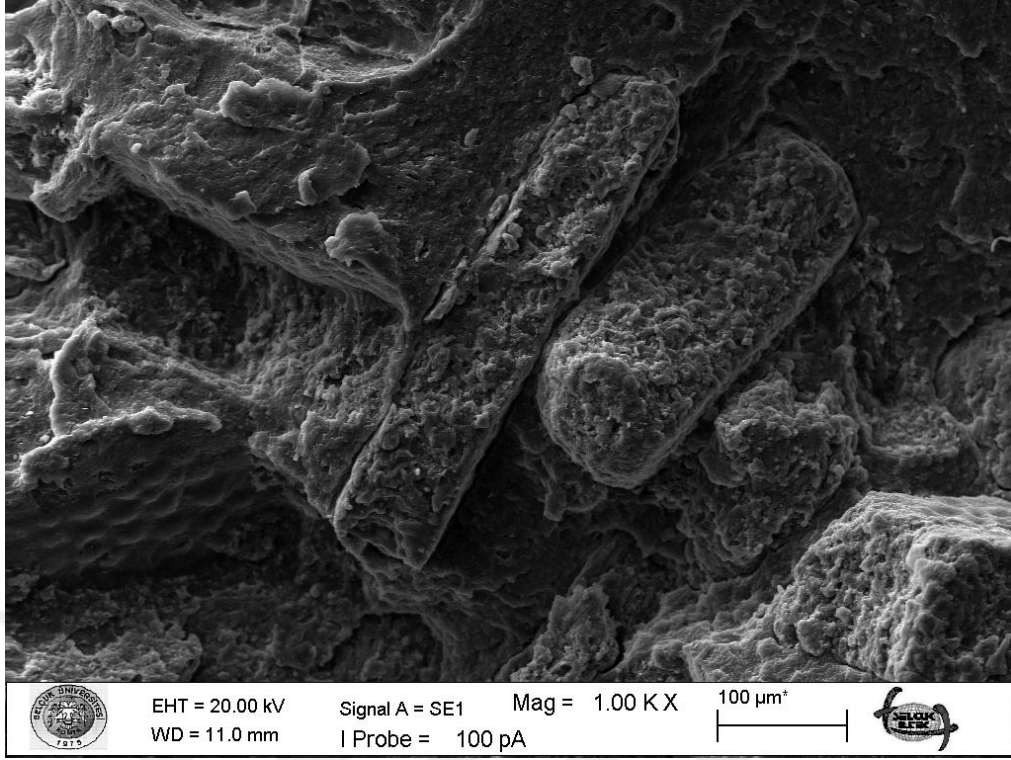


(a)

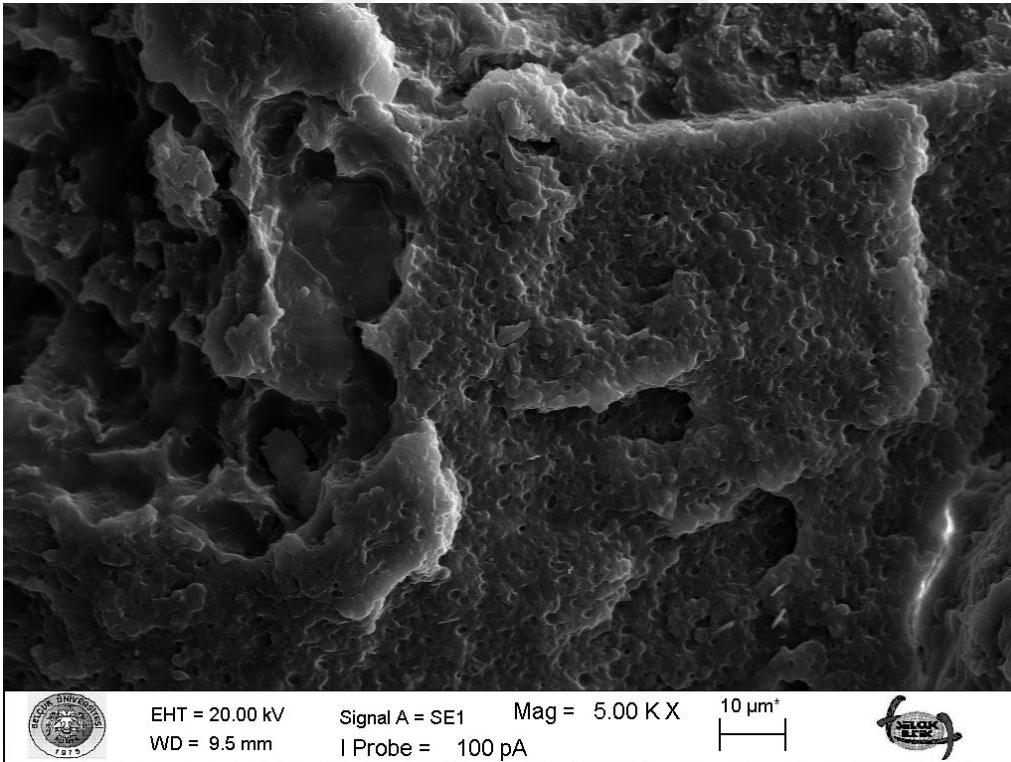


(b)

Şekil 3.33. PPAW07 kodlu %20 yer fıstığı kabuğu katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

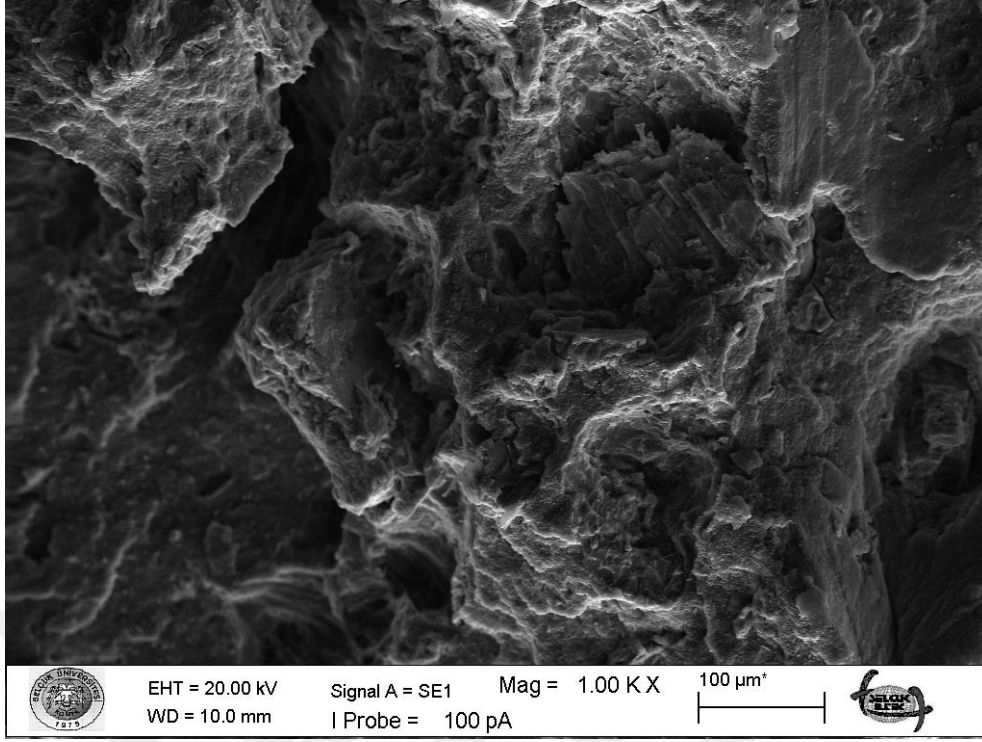


(a)

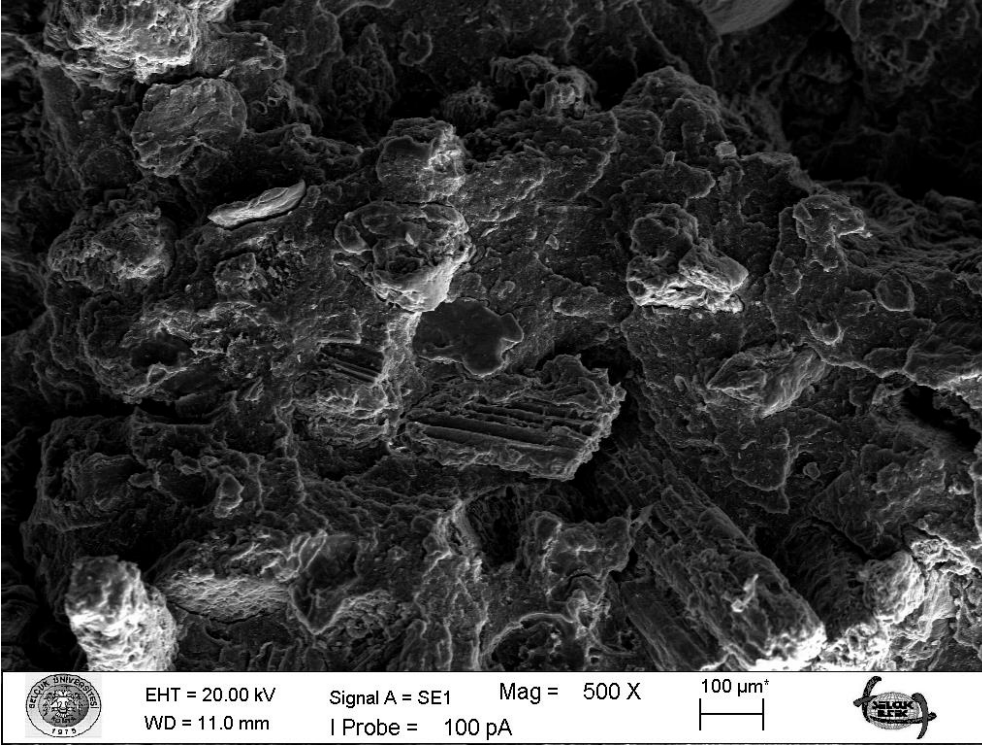


(b)

Şekil 3.34. PPAW08 kodlu %20 kenevir tohumu posası katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

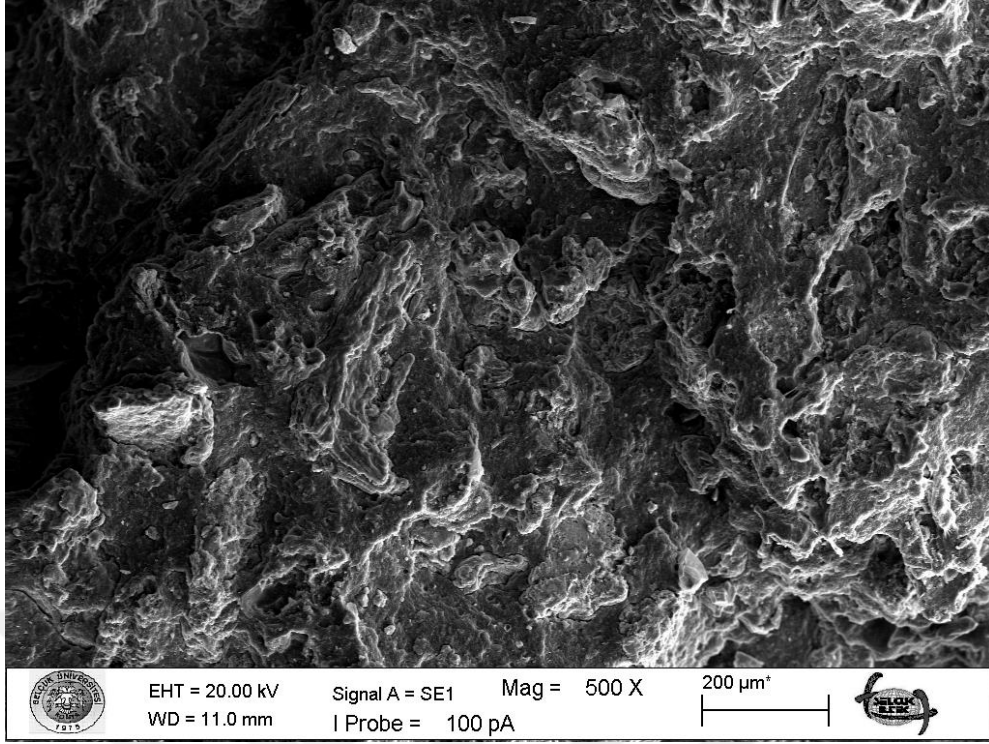


(a)

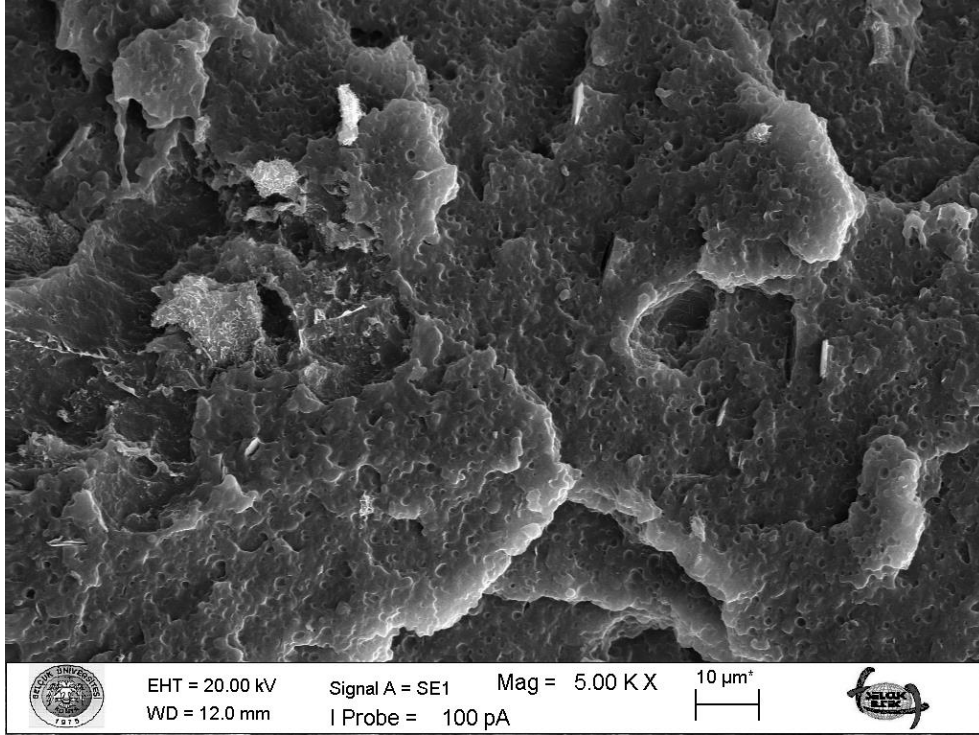


(b)

Şekil 3.35. PPAW09 kodlu %20 Ayçiçeği küspesi katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri



(a)



(b)

Şekil 3.36. PPAW10 kodlu %20 Zeytin pirinası katkılı numuneye ait çentikli (a) ve çentiksiz (b) SEM görüntüleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Günümüzde sürdürülebilir malzeme üretimi ve çevre koruma, küresel ölçekte önemli bir öncelik haline gelmiştir. Bu bağlamda, tarımsal atıkların geri dönüştürülmesi ve polimer kompozit üretiminde kullanımı hem çevre hemde ekonomik açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Bu tez çalışmasında farklı tarımsal atıkların ve talk dolgu malzemesinin %20 oranında PP matrisle homojen bir şekilde karıştırılması ile üretilen yeşil kompozitlerin mekanik, termal, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmaya ait sonuçlar aşağıdaki gibi açıklanabilir;

1. Testlerde kullanılmak üzere fındık, ceviz, badem, Antep fıstığı, yer fıstığı kabukları, kenevir tohumu posası, ayçiçeği küspesi ve zeytin pirinası öğütülüp PP matrisle homojen bir şekilde eriyik harmanlama yöntemi ile karıştırılarak bir adet saf PP ve bir adet %20 talk katkılı numune olmak üzere toplamda 10 adet numune üretilmiştir.
2. Referans parametreler ile tarımsal atık katkılı parametrelerin test sonuçları kıyaslandığında test sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.
3. Mekanik testlerden çekme testi ve üç nokta eğme test sonuçları incelendiğinde tarımsal atık katkılı parametrelerin test sonuçlarının %20 talk katkılı parametre kadar iyi olmadığı belirlenmiştir. Fakat referans malzeme olan saf PP ile sonuçları kıyaslandığında çekme ve üç nokta eğme test değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
4. Darbe testi sonuçları incelendiğinde çentikli ve çentiksiz darbe testinde en iyi mekanik davranışı $112,12 \text{ kJ/m}^2$ ve $74,96 \text{ kJ/m}^2$ ile referans malzeme olan saf PP sergilemiştir. Çentiksiz darbe testinde referans malzemeden sonra en iyi sonuç $51,03 \text{ kJ/m}^2$ ile %20 talk katkılı parameter ile elde edilmiştir. Tarımsal atık katkılı parametrelerin değerleri $16,09\text{-}26,21 \text{ kJ/m}^2$ arasındadır. Çentikli darbe test sonuçları kıyaslandığında tarımsal atık katkılı parametrelerin performansları %20 talk katkılı parametreye göre daha iyi olduğu görülmüştür.
5. Sertlik ölçüm sonuçları kıyaslandığında en yüksek Shore D sertlik değerinin %20 talk katkılı parametreye ait olduğu gözlemlenmiştir. Tarımsal atık katkılı parametrelerin Shore D sertlik değerleri incelendiğinde tarımsal atık katkısının talk kadar olmasa da referans malzemeye göre sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

6. HDT test sonuçlarına göre en düşük HDT değeri referans numunesi PP'de ve en yüksek HDT değeri %20 talk katkılı PP'de belirlenmiştir. Tarımsal atık katkılı parametreler incelenecek olursa en yüksek HDT değerine sahip tarımsal atık katkılı parametre %20 ayçiçeği küspesi katkılı parametrede ve en düşük HDT değerine sahip parametre ise %20 ceviz kabuğu katkılı numunede gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar genel olarak incelendiğinde tarımsal atık katkılı parametrelerin talk katkılı parametre kadar olmasa da HDT değerini artırdığı gözlemlenmiştir.
7. Numunelere uygulanan VICAT analiz sonuçlarına göre Talk dolgusunun kristal yapısı PP matrisin amorf yapısını kısıtlayarak VICAT yumuşama sıcaklığını artırmaktadır. Tarımsal atıkların kimyasal bileşenlerinde bulunan selülozun kristal yapısı talk ile aynı görevi üstlenerek PP'nin segmental hareketlerini kısıtlayarak VICAT yumuşama sıcaklığını artırdığı gözlemlenmiştir.
8. Numunelere uygulanan DSC analizleri değerlendirildiğinde, en yüksek erime entalpisi değerine sahip numunenin %20 talk katkılı PP (PPAW02) olduğu görülmektedir. Bu durum, talkın kristallenme üzerinde teşvik edici bir etkisi olduğunu ve matris içinde düzenli Kristal yapı oluşumunu desteklediğini göstermektedir. Diğer katkı maddeleriyle hazırlanan kompozitlerde ise, katkı türüne bağlı olarak entalpi değerlerinde genel bir azalma gözlenmiştir. Özellikle lignoselülozik içerikli ceviz, badem ve ayçiçeği küspesi katkılarının, PP matrisinin kristallenme davranışını baskılayarak daha düşük kristallik derecelerine neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, katkı tipinin ve dağılımının PP kompozitlerinin ısı özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymaktadır.
9. TGA analizleri sonucunda, saf PP'nin tek aşamalı termal bozunma gösterdiği, tarımsal atık katkılı kompozitlerin ise hemiselüloz, selüloz ve lignin kaynaklı çok kademeli bozunma profiline sahip olduğu; bu yapıların katkı türüne bağlı olarak kalıntı oranlarını artırdığı ve ısı kararlılığı etkilediği belirlenmiştir.
10. Yapılan yoğunluk ölçüm sonuçları birbiriyle kıyaslandığında talk dolgu malzemesinin PP'nin yoğunluğunu artırdığı tarımsal atık katkılı kompozitlerde ise genel olarak yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir.
11. Su absorpsiyon kapasitesi analiz sonuçları incelendiğinde hidrofobik bir yapıya sahip olan saf PPin en düşük % su absorpsiyon değerine sahip olduğu görülmüştür. Tarımsal atık katkılı kompozitlerin analiz sonuçları incelendiğinde tarımsal atıkların hidrofilik yapıları ve matris ile dolgu arasındaki zayıf ara yüzey yapışması nedeniyle referans

malzemeye göre % su absorpsiyon değerleri yüksektir. En yüksek değer %20 zeytin pirinası katkılı parametrede görülmüştür.

12. FTIR Yapılan FT-IR analizlerinde, polipropilen matrisin karakteristik piklerinin korunduğu, talk ve lignoselülozik katkılarının ise kendilerine özgü bantları ile spektrumda yer aldığı belirlenmiştir; ayrıca katkı türü ve içeriğine bağlı olarak bazı bantlarda şiddet değişimleri ve yeni pik oluşumları gözlemlenmiştir.

13. SEM analizlerine göre, saf PP homojen ve sünek bir yapı sergilerken, talk dolgusunun çatlak ilerlemesini engelleyici etkisiyle arayüz uyumu iyi seviyede olduğu, biyobazlı katkılarda ise lif yapısı ve kimyasal bileşime bağlı olarak arayüz boşlukları, lif çekilmeleri ve zayıf bağlanma gibi morfolojik bozuklukların mekanik dayanımı sınırladığı, antep fıstığı ve zeytin pirinası katkılarında ise daha uyumlu ve kompakt yapılarla olumlu sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

4.2. neriler

Farklı tarımsal atıkların dolgu malzemesi olarak kullanıldığı kompozitlerin mekanik ve ısıll özellikleri incelendiğinde saf PP'ye göre özelliklerinin iyileştiği görülse bile talk katkılı parametre ile sonuçları kıyaslandığında tarımsal atıkların mekanik ve ısıll özellikleri genel olarak yetersiz kalmaktadır. Tarımsal atık katkılı kompozitlerin mekanik ve ısıll özelliklerini daha fazla iyileştirmek amacıyla termoplastik matris oranı azaltılıp talk dolgusu eklendiği benzer çalışmalar yapılarak sonuçlar bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir. Tarımsal atık katkılı kompozitlere talk eklenmesi darbe dayanımını artıracak ve ısıll özellikleri daha fazla iyileştirecektir.



KAYNAKLAR

- [1] Członka, S., Strąkowska, A., & Kairytė, A. (2020). The impact of hemp shives impregnated with selected plant oils on mechanical, thermal, and insulating properties of polyurethane composite foams. *Materials*, 13(21), 4709.
- [2] Członka, S., Kairytė, A., Miedzińska, K., & Strąkowska, A. (2021). Polyurethane composites reinforced with walnut shell filler treated with perlite, montmorillonite and halloysite. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14), 7304.
- [3] Güngör, A., Akbay, I. K., & Özdemir, T. (2019). Waste walnut shell as an alternative bio-based filler for the EPDM: Mechanical, thermal, and kinetic studies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 145-155.
- [4] Kuram, E. (2020). Rheological, mechanical and morphological properties of hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.)/walnut (*Juglans regia* L.) shell flour-filled acrylonitrile butadiene styrene composite. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(6), 2107-2117.
- [5] Balart, J. F., Montanes, N., Fombuena, V., Boronat, T., & Sánchez-Nacher, L. (2018). Disintegration in compost conditions and water uptake of green composites from poly (lactic acid) and hazelnut shell flour. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 701-715.
- [6] Ceraulo, M., La Mantia, F. P., Mistretta, M. C., & Titone, V. (2022). The use of waste hazelnut shells as a reinforcement in the development of green biocomposites. *Polymers*, 14(11), 2151.
- [7] Kumar, P., Singh, J., Kumari, N., Jurail, S. S., Verma, D., & Maurya, A. K. (2022). Study of mechanical and thermal behavior of alkali modified groundnut shell powder reinforced ABS composites. *Polymer Composites*, 43(7), 4569-4587.
- [8] Oulidi, O., Nakkabi, A., Boukhelifi, F., Fahim, M., Lgaz, H., Alrashdi, A. A., & Elmoualij, N. (2022). Peanut shell from agricultural wastes as a sustainable filler for polyamide biocomposites fabrication. *Journal of King Saud University-Science*, 34(6), 102148.
- [9] Usman, M. A., Momohjimoh, I., & Usman, A. O. (2020). Mechanical, physical and biodegradability performances of treated and untreated groundnut shell powder recycled polypropylene composites. *Materials Research Express*, 7(3), 035302.
- [10] Boujelben, M., Abid, M., Kharrat, M., & Dammak, M. (2021). Production and mechanical characterization of LLDPE biocomposite filled with almond shell powder. *Polymers and Polymer Composites*, 29(4), 271-276.
- [11] Kirubakaran, R., Rajkumar, K., & Rajesh, M. (2022). Influencing behavior study of natural almond shell filler on the tensile, thermal, and free vibrational properties of flax fiber intertwined vinyl ester composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 12959-12970.
- [12] Liminana, P., Quiles-Carrillo, L., Boronat, T., Balart, R., & Montanes, N. (2018). The effect of varying almond shell flour (ASF) loading in composites with poly (butylene succinate (PBS) matrix compatibilized with maleinized linseed oil (MLO). *Materials*, 11(11), 2179.

- [13] Altun, M., Celebi, M., & Ovali, S. (2022). Preparation of the pistachio shell reinforced PLA biocomposites: effect of filler treatment and PLA maleation. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35(9), 1342-1357.
- [14] 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.
- [15] Ramraji, K., Rajkumar, K., & Sabarinathan, P. (2019). Tailoring of tensile and dynamic thermomechanical properties of interleaved chemical-treated fine almond shell particulate flax fiber stacked vinyl ester polymeric composites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(11), 2311-2322.
- [16] Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Garcia-Garcia, D., Carbonell-Verdu, A., Balart, R., & Torres-Giner, S. (2018). Effect of different compatibilizers on injection-molded green composite pieces based on polylactide filled with almond shell flour. *Composites Part B: Engineering*, 147, 76-85.
- [17] Demirer, H. A. L. İ. L., Kartal, İ. L. Y. A. S., Yıldırım, A., & Büyükkaya, K. (2018). The utilisability of ground hazelnut shell as filler in polypropylene composites. *Acta Phys. Pol. A*, 134, 254-256.
- [18] Xanthopoulou, E., Chrysafi, I., Polychronidis, P., Zamboulis, A., & Bikiaris, D. N. (2023). Evaluation of eco-friendly hemp-fiber-reinforced recycled HDPE composites. *Journal of Composites Science*, 7(4), 138.
- [19] Moonart, U., & Utara, S. (2019). Effect of surface treatments and filler loading on the properties of hemp fiber/natural rubber composites. *Cellulose*, 26(12), 7271-7295.
- [20] Celebi, M., Altun, M., & Ovali, S. (2022). The effect of UV additives on thermo-oxidative and color stability of pistachio shell reinforced polypropylene composites. *Polymers and Polymer Composites*, 30, 09673911221081700.
- [21] Cetin, M. S., Demirel, A. S., Toprakci, O., & Toprakci, H. A. K. (2023). Sustainable, bio-based conductive materials from peanut waste for flexible electronics and tunable piezoresistive strain sensors. *Materials Science and Engineering: B*, 287, 116140.
- [22] Leszczyńska, M., Ryszkowska, J., & Szczepkowski, L. (2020). Rigid polyurethane foam composites with nut shells. *Polimery*, 65(10), 728-737.
- [23] Mohammed, Z. H., & Salman, S. D. (2023). The influence of pistachio shell addition on the mechanical behavior of self-curing PMMA composites. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(6), 1-15.
- [24] Sarraj, S., Szymiczek, M., Machoczek, T., & Mrówka, M. (2021). Evaluation of the impact of organic fillers on selected properties of organosilicon polymer. *Polymers*, 13(7), 1103.
- [25] Rivera-Armenta, J. L., Salazar-Cruz, B. A., Espindola-Flores, A. C., Villarreal-Lucio, D. S., De León-Almazán, C. M., & Estrada-Martinez, J. (2022). Thermal and thermomechanical characterization of polypropylene-seed shell particles composites. *Applied Sciences*, 12(16), 8336.

- [26] 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.
- [27] Lohar, D. V., Nikalje, A. M., & Damle, P. G. (2022). Development and testing of hybrid green polymer composite (HGPC) filaments of PLA reinforced with waste bio fillers. *Materials Today: Proceedings*, 62, 818-824.
- [28] Mishra, S. K., Dahiya, S., Gangil, B., Ranakoti, L., Singh, T., Sharma, S., ... & Siengchin, S. (2022). Mechanical, morphological, and tribological characterization of novel walnut shell-reinforced polylactic acid-based biocomposites and prediction based on artificial neural network. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.
- [29] Montava-Jordà, S., Quiles-Carrillo, L., Richart, N., Torres-Giner, S., & Montanes, N. (2019). Enhanced interfacial adhesion of polylactide/poly (ϵ -caprolactone)/walnut shell flour composites by reactive extrusion with maleinized linseed oil. *Polymers*, 11(5), 758.
- [30] Orue, A., Eceiza, A., & Arbelaiz, A. (2020). The use of alkali treated walnut shells as filler in plasticized poly (lactic acid) matrix composites. *Industrial crops and products*, 145, 111993.
- [31] Gargol, M., Klepka, T., Klapiszewski, Ł., & Podkościelna, B. (2021). Synthesis and thermo-mechanical study of epoxy resin-based composites with waste fibers of hemp as an eco-friendly filler. *Polymers*, 13(4), 503.
- [32] Ibáñez García, A., Martínez García, A., & Ferrándiz Bou, S. (2020). Study of the influence of the almond shell variety on the mechanical properties of starch-based polymer biocomposites. *Polymers*, 12(9), 2049.
- [33] Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Garcia-Garcia, D., Carbonell-Verdu, A., Balart, R., & Torres-Giner, S. (2018). Effect of different compatibilizers on injection-molded green composite pieces based on polylactide filled with almond shell flour. *Composites Part B: Engineering*, 147, 76-85.
- [34] Song, X., Guan, W., Qin, H., Han, X., Wu, L., & Ye, Y. (2022). Properties of poly (lactic acid)/walnut shell/hydroxyapatite composites prepared with fused deposition modeling. *Scientific Reports*, 12(1), 11563.
- [35] Aliotta, L., Vannozzi, A., Bonacchi, D., Coltelli, M. B., & Lazzeri, A. (2021). Analysis, development, and scaling-up of poly (lactic acid)(PLA) biocomposites with hazelnuts shell powder (HSP). *Polymers*, 13(23), 4080
- [36] Husainie, S. M., Deng, X., Ghalia, M. A., Robinson, J., & Naguib, H. E. (2021). Natural fillers as reinforcement for closed-molded polyurethane foam plaques: Mechanical, morphological, and thermal properties. *Materials Today Communications*, 27, 102187.
- [37] Kocaman, S., & Ahmetli, G. (2020). Effects of various methods of chemical modification of lignocellulose hazelnut shell waste on a newly synthesized bio-based epoxy composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(4), 1190-1203.
- [38] Gurbanov, N. A., Abbasov, I. I., Ismayilova, K. H., & Hasanova, N. A. (2018). Production of polypropylene matrix polymer composites with hazelnut shell fillings, physical and mechanical properties. *Nanosistemi Nanomater. Nanotehnologii*, 16(3), 559-565.

- [39] Kufel, A., & Kuciel, S. (2019). Hybrid composites based on polypropylene with basalt/hazelnut shell fillers: The influence of temperature, thermal aging, and water absorption on mechanical properties. *Polymers*, 12(1), 18.
- [40] Bouchak, M., Ajaj, R., Khalid, M., Juhany, K. A., VR, A. P., & Alshahrani, H. (2023). Development of light weight sustainable pineapple/kevlar hybridized fiber and peanut husk cellulose toughened vinyl ester biocomposite for unmanned aerial vehicle applications. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 29(3), 448-457.
- [41] Kumar, P., Singh, J., Kumari, N., Jurail, S. S., Verma, D., & Maurya, A. K. (2022). Study of mechanical and thermal behavior of alkali modified groundnut shell powder reinforced ABS composites. *Polymer Composites*, 43(7), 4569-4587.
- [42] Fasihah Zaaba, N., Ismail, H., & Jaafar, M. (2018). Recycled polypropylene/peanut shell powder (RPP/PSP) composites: Property comparison before and after electron beam irradiation. *Polymer Composites*, 39(9), 3048-3056.
- [43] Fasihah Zaaba, N., Ismail, H., & Jaafar, M. (2018). Recycled polypropylene/peanut shell powder (RPP/PSP) composites: Property comparison before and after electron beam irradiation. *Polymer Composites*, 39(9), 3048-3056.
- [44] García, E., Louvier-Hernández, J. F., Cervantes-Vallejo, F. J., Flores-Martínez, M., Hernández, R., Alcaraz-Caracheo, L. A., & Hernández-Navarro, C. (2021). Mechanical, dynamic and tribological characterization of HDPE/peanut shell composites. *Polymer Testing*, 98, 107075.
- [45] Girimurugan, R., Shilaja, C., Pradeep, G. M., Maheskumar, P., & Santhiyagu, I. A. (2022). An experimental study on compressive properties of high density polyethylene-nano alumina-groundnut shell hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 68, 2226-2232.
- [46] Guna, V., Ilangovan, M., Rather, M. H., Giridharan, B. V., Prajwal, B., Krishna, K. V., ... & Reddy, N. (2020). Groundnut shell/rice husk agro-waste reinforced polypropylene hybrid biocomposites. *Journal of Building engineering*, 27, 100991.
- [47] Zaaba, N. F., & Ismail, H. (2019). Effects of natural weathering on the degradation of alkaline-treated peanut shell filled recycled polypropylene composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 25(1), 26-34.
- [48] Zhang, Q., Li, Y., Cai, H., Lin, X., Yi, W., & Zhang, J. (2019). Properties comparison of high density polyethylene composites filled with three kinds of shell fibers, *Results in Physics*, 12: 1542–1546.
- [49] Deepa, A. (2021). Influence of novel machining induced molecular changes on the mechanical and damage characterization of self reinforced polymer composites.
- [50] Çavuşoğlu, A., Uysal, N., Aslan, H. Ç., & Karagöz, İ. (2023, May). Sürdürülebilirlik için çevre dostu yeşil kompozit malzemelerin üretimi: Ceviz kabuğu ve PP karışımlarının karakterizasyonu. In *12th International Fiber and Polymer Research Symposium* (pp. 5-6).
- [51] Çavuşoğlu, A., Uysal, N., Yazıcı, M., Şahin, P., & Karagöz, İ. Sustainable Innovation: Hazelnut Shell-Enhanced Polypropylene Composites for Eco-Friendly Automotive Applications.

- [52] Li, X., Liu, Y., Hao, J., & Wang, W. (2018). Study of almond shell characteristics. *Materials*, 11(9), 1782.
- [53] Silva, V., Oliveira, I., Pereira, J. A., & Gonçalves, B. (2025). Almond By-Products: A Comprehensive Review of Composition, Bioactivities, and Influencing Factors. *Foods*, 14(6), 1042.
- [54] Omri, A., Benzina, M., & Ammar, N. (2013). Preparation, modification and industrial application of activated carbon from almond shell. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(6), 2092-2099.
- [55] <https://free3d.com/tr/3d-model/broken-almond-shell-with-almond-6291.html>
- [56] Apaydin-Varol, E., Pütün, E., & Pütün, A. E. (2007). Slow pyrolysis of pistachio shell. *Fuel*, 86(12-13), 1892-1899.
- [57] Alsaadi, M., Erklığ, 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.
- [58] ilayda tez
- [59] Sattar, M. S., Shakoor, M. B., Ali, S., Rizwan, M., Niazi, N. K., & Jilani, A. (2019). Comparative efficiency of peanut shell and peanut shell biochar for removal of arsenic from water. *Environmental science and pollution research*, 26, 18624-18635.
- [60] https://tr.pngtree.com/freepng/peanuts-seed-nutshell-peanut_19920844.html
- [61] Fragassa, C., Vannucchi de Camargo, F., & Santulli, C. (2024). *Sustainable Biocomposites: Harnessing the Potential of Waste Seed-Based Fillers in Eco-Friendly Materials*. *Sustainability* 2024, 16, 1526.
- [62] Ahir, M., Bodhak, C., & Gupta, R. K. (2024). Harnessing Enhanced Flame Retardancy in Rigid Polyurethane Composite Foams through Hemp Seed Oil-Derived Natural Fillers. *Polymers*, 16(11), 1584.
- [63] Lomascolo, A., Uzan-Boukhris, E., Sigoillot, J. C., & Fine, F. (2012). Rapeseed and sunflower meal: a review on biotechnology status and challenges. *Applied microbiology and biotechnology*, 95(5), 1105-1114.
- [64] Lin, M. J. Y., Humbert, E. S., & Sosulski, F. W. (1974). Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of food science*, 39(2), 368-370.
- [65] Nasopoulou, C., & Zabetakis, I. (2013). Agricultural and aquacultural potential of olive pomace. a review.
- [66] RaviKumar, P., Rajeshkumar, G., Prakash Maran, J., Al-Dhabi, N. A., & Karuppiah, P. (2022). Evaluation of mechanical and water absorption behaviors of jute/carbon fiber reinforced polyester hybrid composites. *Journal of Natural Fibers*, 19(13), 6521-6533.
- [67] Gupta, M. K., & Singh, R. (2019). PLA-coated sisal fibre-reinforced polyester composite: Water absorption, static and dynamic mechanical properties. *Journal of composite materials*, 53(1), 65-7.

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2018 yılında girdiği Yalova Üniversitesi Polimer Mühendisliği Bölümünden 2022 yılında mezun oldu. 2022 yılından beri Yalova Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü Polimer Malzeme Mühendisliği yüksek lisans programında eğitim almaya devam etmektedir. Otomotiv sektöründe Ar&Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

1. Çavuşoğlu, A., Uysal, N., Yazıcı, M., Şahin, P., & Karagöz, İ. Sustainable Innovation: Hazelnut Shell-Enhanced Polypropylene Composites for Eco-Friendly Automotive Applications.

DİĞER YAYIN VE ESERLER

1. Çavuşoğlu, A., Uysal, N., Aslan, H. Ç., & Karagöz, İ. (2023, May). Sürdürülebilirlik için çevre dostu yeşil kompozit malzemelerin üretimi: Ceviz kabuğu ve PP karışımlarının karakterizasyonu. In *12th International Fiber and Polymer Research Symposium* (pp. 5-6).
2. Çavuşoğlu, A., & Karagöz, İ. (2023). Recycled EPS and epoxy based composite materials: the combination of sustainability and performance. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 35(3), 379-388.
3. Çavuşoğlu, A., Balçık Tamer, Y., Karagöz, İ., (2024, January). Assessment of Sustainable and Eco-Friendly Filler Particles from Different Lignocellulosic Agricultural Biowastes. In *14th International Fiber and Polymer Research Symposium*.
4. Karagöz, İ., Mutlu, D., Çavuşoğlu, A., Çelebi, M., & Ceylan, Ö. (2024). A comprehensive study on the effect of small rates of walnut shell and talc fillers on the thermal, mechanical, and morphological properties of epoxy hybrid composites. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.
5. Tamera, İ. M., Çavuşoğlu, A., Sepetçioğlu, H., & Karagöz, İ. Mechanical and thermal properties examination of HDPE filled with nanoclay and walnut shell's.
6. Karagöz, İ., Tamer, İ. M., Çavuşoğlu, A., & Sepetçioğlu, H. (2024). Investigation of mechanical, thermal, and morphological properties of walnut shell and nano clay reinforced HDPE composites. *Materials Today Communications*, 41, 110905.
7. Karagöz, İ., Ocak, İ. A., Çavuşoğlu, A., & Sepetçioğlu, H. (2025). Advancing sustainable materials: characterization of pistachio shell and talc filled polyester composites. *Colloid and Polymer Science*, 1-16.
8. Çavuşoğlu, A., Orhun, T., Balçık Tamer, Y., Sepetçioğlu, H., Karagöz, İ., (2025,May). Investigation of Mechanical Properties of Polycarbonate/ASA/Walnut Shell Composites. In *16th International Fiber and Polymer Research Symposium*.
9. Çavuşoğlu, A., Orhun, T., Balçık Tamer, Y., Sepetçioğlu, H., Karagöz, İ., (2025,May). Eco-Friendly ASA Composites Reinforced with Walnut Shell as a Sustainable Filler. In *16th International Fiber and Polymer Research Symposium*.
10. Karagöz, İ., Duyar, H. İ., Çavuşoğlu, A., & Sepetçioğlu, H. (2025). Synergistic Effects on the Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of HDPE Composites Reinforced With Walnut Shell and Nano-Calcium Carbonate. *Journal of Applied Polymer*