



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FINDIK, FISTIK VE KAYISI ÇEKİRDEĞİ
KABUĞU TOZLARI İLE KÜLLERİNİN
KARAKTERİZASYONU VE KOMPOZİT
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Rojin YALÇIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**OCAK-2020
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Rojin YALÇIN tarafından hazırlanan “Fındık, Fıstık ve Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozları ile Küllerinin Karakterizasyonu ve Kompozit Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması 09/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP



Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Eyüp BAŞARAN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Sahnaz TIGREK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Rojin YALÇIN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FINDIK, FISTIK VE KAYISI ÇEKİRDEĞİ KABUĞU TOZLARI İLE KÜLLERİNİN KARAKTERİZASYONU VE KOMPOZİT ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Rojin YALÇIN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2020, 79 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Eyüp BAŞARAN

Teknolojik gelişmelerle beraber demir, çelik, alüminyum gibi geleneksel malzemeler yetersiz kalmakta ve bu malzemelerin yerine kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Çünkü kompozit malzemeler düşük ağırlıkta yüksek mukavemet oranı gibi avantajlar sunmaktadır. Kompozitlerde; cam, karbon ve aramid gibi fiber takviyeler ve silisyum karbür, bor karbür gibi seramik partiküller genellikle takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak bu tür takviye elemanlarının geri dönüşümündeki zorlukları, çevreye olan olumsuz etkileri ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle bilim insanlarını doğal takviye elemanlarıyla üretilen kompozit malzemelere yönlendirmiştir. Bu çalışmada fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabukları takviye elemanı olarak kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu doğrultuda, takviye elemanları öğütülerek 0-300 µm, 300-600 µm ve 600-850 µm tane boyutlarında toz partiküller elde edilmiştir. Toz partiküllerin bir kısmı 600 °C ve bir kısmı da 900 °C de kül haline getirilmiştir. Bu toz partiküllerin ve küllerin kimyasal analizleri ile selüloz, kül, nem ve metal miktarları, X-Işını Kırınım (XRD) ve Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometre (FT-IR) analizleri ile yapısal özellikleri karakterize edilmiştir. Ayrıca, poliestere matris malzemesine, bu toz partiküllerden ve küllerden ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Toz partikül ve küllere ait kimyasal ve yapısal özelliklerin, üretilen bu kompozitlerin yoğunluğu, ısı iletkenliği, çekme dayanımı, eğme dayanımı ve basma dayanımı gibi fiziksel, termal ve mekanik özelliklerine etkisi analiz edilmiştir. XRD analizlerinden fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarında gözlenen selüloz yapısının kül etme işlemi ile parçalanarak değiştiği tespit edilmiştir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının FT-IR ile incelenen yüzey fonksiyonel yapılarında gözlenen piklerin ağırlıklı olarak selüloz, hemiselüloz yapılarından kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu tozundaki selüloz (%28,40), hemiselüloz (%24,12) ve lignin (%54,63) miktarlarının fındık ve fıstık kabuğu tozlarından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Fındık kabuğu tozunun rutubet miktarı (%10,04) en yüksek elde edilmiştir. Bunu sırasıyla fıstık kabuğu tozu (%8,19) ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu (%6,48) takip etmiştir. En yüksek kül miktarı, %8,57 ile kayısı çekirdeği kabuğu tozunda, en düşük ise %1,53 ile fındık kabuğu tozunda gözlemlenmiştir. Kül etme sıcaklığının artması çok az da olsa elde edilen kül miktarını düşürmüştür. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının element analizlerinde, azot, karbon, hidrojen ve oksijen elementleri görülmüştür. Ağır metal analizlerinde ise Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn ve Si gibi ağır metaller rastlanmıştır. Kayısı çekirdeği kabuğundaki bulunan ağır metal miktarlarının fındık ve fıstık kabuğundakilerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Saf poliestere malzemesinin yoğunluğu (1,145 gr/cm³), fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve küleriyle üretilen kompozitlerin yoğunluklarından düşük elde edilmiştir. Kompozit malzeme içerisindeki takviye oranı arttıkça, kompozitin yoğunluğu artmıştır. Kompozit malzemelerde, en

yüksek yoğunluk %30 kayısı çekirdeği kabuğu külü takviyeli kompozitten 1,406 gr/cm³ olarak elde edilirken, en düşük yoğunluk %10 fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitten 1,205 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Saf poliester malzemesinin (0,151 W/mK) ısı iletim katsayısı, saf poliester malzemesine ilave edilen takviye elemanı ile artmıştır. En yüksek ısı iletim katsayısı %30 fındık kabuğu külü takviyeli kompozitten 0,207 W/mK elde edilirken, en düşük ısı iletim katsayısı %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitten saf poliester malzemeninki kadar oluşmuştur. Poliester malzemesine ilave edilen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları, matris malzemesinin 31,54 MPa olan çekme dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak matris malzemesine düşük oranlarda ilave edilen toz partiküller eğme ve basma dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturmuştur. Genel olarak 300-600 µm tane boyutundan elde edilen değerler 0-300 µm ve 600-850 µm tane boyutlarındakinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Kül takviyeli kompozitlerin tüm mekanik özellikleri, saf poliesterinkinden oldukça kötü çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Basma Dayanımı, Çekme Dayanımı, Doğal Kompozit, Doğal Toz Partikül, Eğme Dayanımı, Isıl İletkenlik, Kimyasal Analiz, Kül, Yoğunluk.

ABSTRACT

MS THESIS

CHARACTERIZATION OF HAZELNUT, PISTACHIO AND APRICOT KERNEL SHELL POWDERS AND ASHES, AND DETERMINATION OF THEIR COMPOSITE PROPERTIES

Rojin YALÇIN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Yahya Hışman ÇELİK

2020, 79 Pages

Jury

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Assoc. Prof. Yahya Hışman ÇELİK

Asst. Prof. Dr. Eyüp BAŞARAN

Traditional materials such as iron, steel, and aluminum are inadequate with technological developments, and composite materials are used instead of these materials. Because composite materials offer advantages such as low weight/high strength ratio. In composites, fiber reinforcements such as glass, carbon, and aramid, and ceramic particles such as silicon carbide and boron carbide are generally used as reinforcing elements. However, due to the difficulties in the recycling such reinforcing elements, and their negative impacts on the environment, and their high production costs, scientists have been directed to the composite materials produced with natural reinforcing elements. In this study, composite materials were produced by using hazelnut, pistachio, and apricot kernel shells as reinforcement elements. In this respect, powder particles of 0-300 µm, 300-600 µm and 600-850 µm grain sizes were obtained by grinding the reinforcing elements. Some of the powder particles were turned into ash at 600 °C and also 900 °C. Cellulose, ash, humidity and metal contents with the chemical analysis of these powder particles and ashes, and structural properties with X-Ray Diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) analyses were characterized. In addition, composite materials were produced by adding 0%, 10%, 20% and 30% by weight of these powder particles and ashes to the polyester matrix material. The effect of chemical and structural properties of powder particles and ashes on the physical, thermal and mechanical properties of these composites such as density, thermal conductivity, tensile strength, flexural strength and compressive strength were analyzed. The XRD analysis revealed that the cellulose structure observed in hazelnut, pistachio and apricot kernel shell powders was changed by being broken down with the ashing process. The peaks observed in surface functional structures of hazelnut, pistachio and apricot kernel shell powders with FT-IR were mainly caused by cellulose and hemicellulose structures. The amounts of cellulose (28.40%), hemicellulose (24.12%) and lignin (54.63%) in the apricot kernel shell powder were observed to be higher than those of hazelnut and pistachio shell powders. The humidity content of hazelnut shell powder (10.04%) was obtained as the highest. This was followed by pistachio shell powder (8.19%) and apricot kernel shell powder (6.48%), consecutively. The highest amount of ash was observed in apricot kernel shell powder with 8.57%, while the lowest amount of ash was observed in hazelnut shell powder with 1.53%. Increase in ashing temperature slightly decreased the amount of ash obtained, though. Nitrogen, carbon, hydrogen, and oxygen elements were seen in the elemental analyzes of hazelnut, pistachio and apricot kernel shell powders. In the heavy metal analyses, heavy metals such as Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn, and Si were found. It was observed that the amount of the heavy metal found in the apricot kernel shell was higher than that of hazelnut and pistachio shells. The density of the pure polyester material (1.145 g/cm³) was lower than the density of the

composites produced with hazelnut, pistachio and apricot kernel shell powders, and ashes. As the reinforcement ratio in the composite material increased, the density of the composite increased. The highest density in the composite materials was obtained from 30% apricot kernel shell ash reinforced composite as 1.406 gr/cm³, while the lowest density was obtained from 10% hazelnut shell powder reinforced composite as 1.205 gr/cm³. In composite materials, the highest density was obtained from 30% apricot kernel ash reinforced composite as 1.406 gr/cm³, while the lowest density was obtained from 10% hazelnut shell powder reinforced composite as 1.205 g/cm³. The coefficient of thermal conductivity of the pure polyester material (0.151 W/mK) increased with the reinforcement element added to the pure polyester material. The highest coefficient of thermal conductivity was obtained from 30% hazelnut shell ash reinforced composite as 0.207 W/mK, while the lowest coefficient of thermal conductivity consisted of 10% apricot kernel shell powder reinforced composite, as the same of pure polyester material. Hazelnut, pistachio and apricot kernel shell powders added to polyester material adversely affected the tensile strength of the matrix material, which had at 31.54 MPa. However, powder particles added to the matrix material at low rates had a positive effect on flexure and compressive strength. In general, values obtained from 300-600 µm grain size gave better results than grain sizes of 0-300 µm and 600-850 µm. All the mechanical properties of the ash reinforced composites were considerably worse than those of pure polyester.

Keywords: Ash, Bending Strength, Chemical Analysis, Compressive Strength, Density, Natural Composites, Natural Powder Particle, Tensile Strength, Thermal Conductivity.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması; Türkiye'nin farklı bölgelerinde yetişen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının değerlendirilmesi doğrultusunda hazırlanmıştır. Buradaki amaç, hem çevre bilinci uyandırıp geri dönüşümü sağlamak hem de ekonomik açıdan alternatif yeni malzemeler üretmektir.

Bu tez çalışması; Giriş, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Deneysel Sonuçlar ve Tartışma, Genel Sonuçlar olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, konunun önemine vurgu yapılarak gerekli literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Genel Bilgiler bölümünde, doğal fiber kompozitler, polimer matris ve doğal lifler hakkında genel bilgilere değinilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde, fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabukları ile doğal toz partiküllerin üretimi, bu toz partiküllere ait kimyasal ve fiziksel özelliklerin hangi araç ve yöntemlerle belirlendiği açıklanmıştır. Ayrıca Toz partiküller ile kompozit malzemenin üretimine ve üretilen bu kompozitlerin yoğunluğu, ısı iletkenliği, çekme, eğme ve basma dayanımları gibi fiziksel, termal ve mekanik özelliklerin nasıl belirlendiğine ve hangi makine ve teçhizatın kullanıldığına değinilmiştir. Deney Sonuçları ve Tartışma bölümünde, elde ettiğimiz deney sonuçlar literatür ışığında yorumlanmıştır. Genel Sonuçlar bölümünde ise araştırmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde verilmiştir.

Bu tez çalışmasının belirlenmesi, oluşumu ve araştırılması boyunca her fırsatta eleştirileriyle beni yönlendiren, ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e, kimyasal analizlerin yapılmasında bilgi, birikim ve tecrübelerini bizden esirgemeyen Öğr. Gör. Kadir Serdar ÇELİK'e ve Hasan AKDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emek sahibi olan aileme şükranlarımı sunarım.

Rojin YALÇIN
BATMAN-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xv
SİMGELER.....	xvi
KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	2
2. GENEL BİLGİLER.....	9
2.1. Doğal Fiber Kompozitler	9
2.2. Polimer Matris	11
2.3. Doğal Lifler.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Doğal Takviye Elemanları ve Özelliklerinin Belirlenmesi.....	17
3.1.1. Selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarının belirlenmesi	18
3.1.2. Rutubet miktarının belirlenmesi	20
3.1.3. Kül miktarının belirlenmesi	21
3.1.4. Element ve ağır metal miktarının belirlenmesi.....	21
3.1.5. XRD ve FT-IR analizleri	23
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi	24
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	30
4.1. Doğal Takviye Elemanlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	30
4.1.1. Selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları	30
4.1.2. Rutubet miktarları	30
4.1.3. Kül miktarları.....	31
4.1.4. Element ve ağır metal miktarları	33
4.1.5. XRD analiz sonuçları.....	39
4.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	41
4.2.1. Yoğunluk	41
4.2.2. Isı iletkenlik Özellikleri	44
4.2.3. Çekme dayanımı	49
4.2.4. Eğme dayanımı	55
4.2.5. Basma dayanımı.....	60
4.3. Toz partikül ve Kompozitlerin FT-IR Analizleri.....	65

5. GENEL SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Doğal fiber takviyeli polimer kompozitlerde organik atık ve kalıntıların kullanılması için olası yollar.....	10
Şekil 2.2. Doğal malzemelerin sınıflandırılması	12
Şekil 2.3. Bazı bitki temelli doğal elyaflar	13
Şekil 3.1. Doğal takviye elemanlarının öğütülmesinde kullanılan aşınma cihazı	17
Şekil 3.2. Toz partikül haline getirilmiş doğal takviye elemanları.....	17
Şekil 3.3. 600 °C ve 900 °C’de kül haline getirilmiş toz partiküller.....	18
Şekil 3.4. Rutubet miktarının belirlenmesinde kullanılan toz partiküller.....	20
Şekil 3.5. Doğal toz partiküllerinin asit içerisinde çözünürleştirme işlemi.....	22
Şekil 3.6. Element analiz kromotogramları	22
Şekil 3.7. Bazı elementlerin Intensity eğrileri	23
Şekil 3.8. Bazı elementlerin kalibrasyon eğrileri	23
Şekil 3.9. Toz partiküllerin kompozit malzemede kullanılabilmesi için nemden arındırılması	24
Şekil 3.10. Dikdörtgen ve silindirik kalıplardaki kompozit malzemeler.....	25
Şekil 3.11. Dikdörtgen ve silindirik kalıplardaki kompozit malzemeler.....	25
Şekil 3.12. Çekme ve eğme numunelerini plazma makinesinde kesimi	26
Şekil 3.13. Çekme ve eğme numunelerinin boyutları	26
Şekil 3.14. Basma numunelerinin ince dilimleme makinesinde kesimi	26
Şekil 3.15. Çekme, eğme ve basma deney numunelerinin görüntüleri	27
Şekil 3.16. Isı transferi analizörü.....	27
Şekil 3.17. Çekme deneyinin görüntüsü	28
Şekil 3.18. Basma deneyinin görüntüsü	28

Şekil 3.19. Eğme deneyinin görüntüsü	29
Şekil 4.1. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının selülöz, hemiselülöz ve lignin grafiği	30
Şekil 4.2. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ortalama rutubet grafiği	31
Şekil 4.3. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 600 °C ve 900 °C'deki ortalama kül grafiği	33
Şekil 4.4. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının element analiz grafiği.....	33
Şekil 4.5. Fındık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği	36
Şekil 4.6. Fıstık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği	37
Şekil 4.7. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği.....	37
Şekil 4.8. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ortalama ağır metal miktarı grafiği	38
Şekil 4.9. Fındık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin XRD analiz grafiği	39
Şekil 4.10. Fıstık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin XRD analiz grafiği	40
Şekil 4.11. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin XRD analiz grafiği	40
Şekil 4.12. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin yoğunluk grafiği.....	42
Şekil 4.13. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin yoğunluk grafiği.....	44
Şekil 4.14. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin λ_{ort} grafiği	46
Şekil 4.15. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin $c_{p,ort}$ grafiği	46
Şekil 4.16. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin α_{ort} grafiği.....	46

Şekil 4.17. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin λ_{ort} grafiği	48
Şekil 4.18. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin ρ_{ort} grafiği	49
Şekil 4.19. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin α_{ort} grafiği.....	49
Şekil 4.20. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	50
Şekil 4.21. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	51
Şekil 4.22. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	52
Şekil 4.23. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	53
Şekil 4.24. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	54
Şekil 4.25. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri.....	54
Şekil 4.26. Çekme deneyi sonucu bazı kompozitlerdeki kopma bölgeleri	55
Şekil 4.27. Eğme deneyinin yapılışı	56
Şekil 4.28. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	56
Şekil 4.29. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	57
Şekil 4.30. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri	58
Şekil 4.31. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	59
Şekil 4.32. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	59
Şekil 4.33. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri	59

Şekil 4.34. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	61
Şekil 4.35. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	62
Şekil 4.36. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri	63
Şekil 4.37. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	63
Şekil 4.38. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri.....	64
Şekil 4.39. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri	64
Şekil 4.40. Basma deneyinde meydana gelen deformasyonlar	65
Şekil 4.41. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının FT-IR spektrumları	65
Şekil 4.42. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının 600 °C’deki küllerinin FT-IR spektrumları.....	67
Şekil 4.43. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının 900 °C’deki küllerinin FT-IR spektrumları.....	67
Şekil 4.44. Fındık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları	68
Şekil 4.45. Fındık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları	68
Şekil 4.46. Fıstık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları	69
Şekil 4.47. Fıstık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları	69
Şekil 4.48. Kayısı çekirdeği kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları.....	70
Şekil 4.49. Kayısı çekirdeği kabuğu/Poliester kompozitler ile poliestere malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları.....	70

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Bazı termoplastik ve termosetlerin özellikleri	11
Tablo 2.2. Bazı bitkisel doğal elyafların bileşenleri	14
Tablo 2.3. Bazı doğal ve doğal olmayan liflerin mekanik özellikleri	15
Tablo 2.4. Doğal fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri	15
Tablo 2.5. Doğal fiberlerin lif içeriği	16
Tablo 4.1. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının selülöz, hemiselülöz ve lignin miktarları	30
Tablo 4.2. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının rutubet miktarları	31
Tablo 4.3. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 600 °C'deki kül miktarları.....	32
Tablo 4.4. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 900 °C'deki kül miktarları.....	32
Tablo 4.5. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ağır metal miktarları (mg/kg).....	34
Tablo 4.6. 600 °C için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerine ait ağır metal miktarları (mg/kg).....	35
Tablo 4.7. 900 °C için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerine ait ağır metal miktarları (mg/kg).....	35
Tablo 4.8. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri	42
Tablo 4.9. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri	43
Tablo 4.10. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri	45
Tablo 4.11. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri	48

SİMGELER

cp	: Özgöl ısı (J/kgK)
cp_{ort}	: Ortalama özgöl ısı (J/kgK)
K	: Kül miktarı (%)
m	: Kurutma kabının darası (gr)
m_0	: Kurutma kabı ve kurutma kabına konulan toz partiküllerin ağırlığı (gr)
m_1	: Kurutma işlemi sonucu oda sıcaklığında alınan sabit tartım (gr)
m_2	: Toz partikül ağırlığı (gr)
m_3	: Oda sıcaklığında sabit tartıma getirilen kül miktarı (gr)
m_4	: Kompozit numune ağırlığı (gr)
R	: Rutubet miktarı (%)
λ	: Isı iletim katsayısı (W/mK)
λ_{ort}	: Ortalama ısı iletim katsayısı (W/mK)
ρ	: Yoğunluk (gr/cm ³)
ρ_{ort}	: Ortalama yoğunluk (gr/cm ³)
v	: Kompozit numune hacmi (cm ³)
α	: Termal yayılma (m ² /s)
α_{ort}	: Ortalama termal yayılma (m ² /s)

KISALTMALAR

DNS	: Dinitrosalisilik asit
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometre
MeGlcA	: Metil galakturonik asit
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVC	: Polivinil klorür
SEM	: Taramalı elektron mikroskop
TPU	: Termoplastik poliüretan
YBSK	: Yüksek basınçlı sıvı kromatografi
XRD	: X – Işını kırınım

1. GİRİŞ

Daha önceki zamanlarda matris malzemesi olarak çamura takviye elemanı olarak saman ilavesiyle üretilen kerpiçler, ev yapımında kullanılan kompozitler iken son zamanlarda plastik, seramik ve metalik matris malzemelerine farklı takviye elemanı ilave edilerek üretilen karbon, cam ve aramid fiber takviyeli plastik kompozitler ve/veya Al matrisli SiC takviyeli metal matrisli kompozitler uzay, havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılan kompozitlerdir. Bu doğrultuda kompozitler hızla ilerlemekte ve yeni pazarlar bulmaktadır (Kumar ve ark., 2015).

Polimerlerin geliştirilmesi, kompozit malzemelerde polimer matrisli kompozitlere olan ilgiyi arttırmıştır. Bu ilginin başında kompozitlerin daha hafif ve daha düşük maliyetli olması, kullanımının daha kolay olması ve iyi termal, akustik ve yalıtım özelliklerine sahip olması gelmektedir. Polimer matrisli kompozitlerde, polimer matris malzemesine farklı sentetik ve doğal takviye elemanları ilave edilerek istenilen özellikler kazandırılmaktadır. Sentetik fiber takviyeli kompozitler daha iyi mekanik özellikler gösterdiğinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak, sentetik kompozitlerin ham madde ve üretim maliyetinin yüksek olması, doğada geri dönüşümünün gerçekleşmemesi veya zaman alması gibi nedenlerden dolayı bazı alanlarda yerini doğal takviyeli kompozitlere bırakmıştır. Bu nedenle, doğal elyafa olan ilgi, onu sentetik elyaflara eşit ve hatta daha üstün hale getirmek için çok sayıda modifikasyona neden olmuştur. Doğal liflerin kalitesinde böylesine muazzam değişiklikler nedeniyle, bu lifler kompozitlerde hızla bir takviye malzemesi olarak ortaya çıkmaktadır (Kalia ve ark., 2009). Polimer matrisli (termoplastik ve termoset) kompozitlerde doğal liflerin takviye malzemeleri olarak kullanılması, ham maddelerin en iyi şekilde kullanılması ile ilgili olumlu çevresel faydalar sağlar. Günümüzde sentetik elyaf yerine lignoselüloz biyolojik elyafın takviye malzemeleri olarak kullanımı üzerine çalışmalar yoğun şekilde sürdürülmektedir (Dittenber ve GangaRao, 2012). Bugün, Avrupa'da bitki esaslı dolgu maddeleri ile yapılan kompozitlerin yarısından fazlası inşaatta (%30) ve otomotiv endüstrisinde (%25) kullanılmaktadır. Ancak endüstriyel ekipman (%10), elektronik (%9), spor (%8), metalurji ve nakliye (%6), elektronik teknoloji (%6), hava ve uzay sanayii (%3), tıp (%1) ve demiryolu (%1) gibi uygulamalarda da kullanılmaktadırlar (Zimniewska ve ark., 2011). Bitki bazlı dolgu maddeleri içerisinde ahşap-polimer kompozitler en yaygın kompozitler grubunu oluşturmaktadır. Toz, talaş ve fiber gibi değişik geometriye sahip doğal malzemeler %5

ila %90 arasında takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Nova-Enstitüsüne göre 2010 yılında Avrupa'daki otomotiv ve inşaat endüstrisinde ahşap kompozitlerin kullanımı 315 bin tona ulaşırken, doğal kompozitlerin oranı 145 bin tondur. 2020 yılında ahşap kompozit talebinin 2,5 kat artarak 830 bin tona ulaşacağı ve doğal kompozitlerin ise 320 bin ton olacağı tahmin edilmektedir. Bu pazar durumu, özellikle bitki örtüsünün yetişmediği ülkelerde ilginç bir alternatif sunan, yıllık bitkilerin yenilenemez bölümlerinden elde edilen ligno-selüloz elyafların odun biokütlesinin yerini alması ile sonuçlanmaktadır. Ligno-selüloz dolgu maddelerinin bir kaynağı sebze atığıdır; bunlar, tarım sektöründe büyük miktarlarda olmasına rağmen, bu kaynak yaygın değildir (Hopson ve Carus, 2010).

Türkiye'de üretilen fındığın dünya pazarında yıllık üretimi yaklaşık %70 olup Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının 2016 verilerine göre toplam üretim miktarı 420.000 tondur (BÜGEM, 2017). Türkiye'de üretilen Antep fıstığının dünya pazarındaki payı yaklaşık %15 tir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2016 verilerine göre yıllık Antep fıstığı üretimi 170.000 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2016). Ayrıca, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının 2016 verilerine göre Türkiye'de üretilen kayısı miktarı 730.000 ton olup dünya pazarındaki payı yaklaşık %10'dur. Türkiye'nin farklı bölgelerinde yetişen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının değerlendirilmesi, ekonomik ve çevre bilinci açısından oldukça önemlidir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının değerlendirilmesi göz önünde bulundurulduğunda, ciddi bir doğal takviye elemanından bahsedilebilir (Açıkalın ve ark., 2012).

Bu çalışmada; fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu toz haline getirilmiştir. Bu tozların bir kısmı ise küle dönüştürülmüştür. Tozlara ve küllere ait kimyasal ve fiziksel analizler yapılarak; bu analizlerin, kompozitin yoğunluğu, ısı iletkenliği, çekme, eğme ve basma dayanımı gibi fiziksel, termal ve mekanik özelliklerine etkisi analiz edilmiştir.

1.1. Literatür Çalışması

Doğal fiber takviyeli kompozitlerle ilgili olarak son zamanlarda yapılan çalışmalara aşağıda değinilmiştir.

Tong ve ark. (1995), doğal fiber takviyeli kompozitlerin aşınmaya karşı davranışını incelemek için bir dizi deneysel çalışma yapmışlardır. Doğal fiber olarak

bambu lifini tercih etmişlerdir. Bambu lifi ile üretilen farklı yönlendirme açılarına sahip doğal kompozitin döner disk tipi aşınma test cihazı ile aşınma testlerini gerçekleştirmişlerdir. Aşınmış yüzeylerin mikro morfolojisini taramalı elektron mikroskobuyla incelemişlerdir. Aşındırma yüzeyine göre bambu lifinin aşınma performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Normal yönlendirilmiş tabakaların paralel yönlendirilmiş tabakalara göre daha yüksek sürtünme direnci sergilediğini tespit etmişlerdir.

Joshi ve ark. (2004), doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelere alternatif olarak geliştirildiğini vurgulayarak, doğal elyaf takviyeli kompozitlerle cam elyaf takviyeli kompozitlerinin çevreye olan etkilerini incelemişlerdir. Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin, cam elyaf takviyeli kompozitlere kıyasla daha düşük kirletici emisyonlara, daha düşük sera gazı emisyonlarına, artırılmış enerji geri kazanımına, bileşenlerinin biyolojik olarak daha hızlı bozulabilir olmalarına ve dolayısıyla çevresel açıdan avantajlar sağladığına değinmişlerdir.

Karahan ve ark. (2006), doğada atık halde bulunan malzemelerin geri dönüşümünü sağlamak ve çevreye yarar sağlamak amacıyla doğal bambu lifleri hakkında ayrıntılı bilgi veren bir çalışma yapmışlardır. Doğal bambu liflerinin çevreye ve insan sağlığına zarar vermediğini, mükemmel nem absorbe etme, hızlı buharlaşma ve özellikle anti bakteriyel özellikleri sayesinde tekstil mamulüne fonksiyonel özellikler kazandırdığını vurgulamışlardır.

Singha ve Thakur (2008), son zamanlarda artan çevresel farkındalık ve bilinç doğrultusunda doğal liflerin önemini vurgulayarak polimer matris temelli üre-formaldehit reçinede takviye elemanı olarak Hibiscusabdariffa lifini içeren yeni bir tip doğa dostu kompozit üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitin sentezi ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Ayrıca rastgele yönlendirilmiş ve özenle karıştırılmış Hibiscusabdariffa lif takviyeli polimer kompozitlerinin gerilme, sıkıştırma ve aşınma özellikleri gibi statik mekanik özelliklerini de incelemişlerdir. İlk önce üre-formaldehit reçinenin optimum mekanik özelliklerini tespit etmişlerdir. Daha sonra Hibiscusabdariffa fiberlerini reçineye ilave ederek mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Elyaf (parçacık boyutu, kısa elyaf ve optimize edilmiş reçine kullanılarak uzun lif) takviyesinin üre-formaldehit reçinesinin gerilme mukavemeti, basınç dayanımı ve aşınma direnci gibi mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttığını gözlemlenmiştir. Mekanik davranış durumunda üre-formaldehit reçinesine ilave

edilen parçacık takviyesinin kısa lif takviyesine kıyasla daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kalia ve ark. (2009), polimer matris esaslı kompozitler içinde önceden muamele edilmiş doğal elyafların kullanımı içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. Doğal liflerin yüzey modifikasyonunun fiberlerin ve fiber takviyeli polimer kompozitlerin özelliklerine etkisini de tartışmışlardır.

Xie ve ark. (2010), hidrofilik doğal elyaflar ile polar olmayan polimerler (termoplastikler ve termosetler) arasındaki yüzey uyumsuzluğuna bağlı olarak ortaya çıkan bileşiklerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine olumsuz etkilerini azaltmak, yüzey yapışmasını arttırmak ve bileşiklerin özelliklerini geliştirmek için üretecekleri kompozitlerin içerisine trialkoksisilanlar ilave etmişlerdir.

El-Shekeil ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada, kenaf lifi takviyeli termoplastik poliüretan (TPU) kompozitlerin çekme, eğme, darbe, sertlik ve aşınma direnci gibi mekanik özellikler ile Termogravimetrik (malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı) analiz gibi termal özellikleri üzerine kenaf lifi takviye oranının (%20, %30, %40 ve %50) etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarında, %30'luk elyaf takviye oranından en iyi çekme mukavemet değerinin elde edildiğini tespit etmişlerdir. Artan elyaf oranının eğilme mukavemetinin ve modülünün artmasına ve aşınma kaybının azalmasına katkı sağladığını, darbe mukavemetinin ise düşmesine neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Kompozitlerde %30'luk elyaf takviye oranına kadar bir takviye yüklemesinin kompozitin sertlik değerinin artmasına katkı sağladığını belirtmişlerdir. Ancak fiberlerin kompozitin termal kararlılığını düşürdüğünü de gözlemlemişlerdir.

Dittenber ve GangaRao (2012), altyapı işlemlerinde doğal kompozitlerin kullanımını içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, doğal elyaflara yönelimin en önemli sebeplerinin ekolojik (geri dönüştürülebilir olmalarından dolayı enerji verimliliğini sağlamaları) ve ekonomik (hafif, düşük maliyet, iyi termal özellikler, akustik yalıtım özelliklerine sahip olmaları) avantajlar sağlaması olduğunu belirtmişlerdir.

Akbaş ve ark. (2013), ekstrüzyon ve pres kalıplama yöntemiyle polipropilen ve farklı oranlardaki atık fındık kabuklarıyla (%0, %30, %40 ve %50) elde ettikleri toz karışımlardan kompozit malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozit malzemelerin

çekme, darbe, kalınlığına şişme ve su alma değerlerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre en iyi sonucun %30 fındikkabuğu oranına sahip kompozitlerden sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bhaskar ve Singha (2013), 200-800 µm parçacık boyutlarına sahip hindistan cevizi takviyeli kompozitlerde, ağırlıkça takviye oranının (%20, %25, %30 ve %35) kompozitin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deney sonucunda su emiliminin ağırlıkça partikül oranının artmasıyla arttığını, basma dayanımının ise %30 ağırlıkça partikül oranına kadar arttığını daha sonra %35 partikül ağırlık oranına sahip kompozitlerde ise azaldığını tespit etmişlerdir.

Harle (2014) yaptığı derleme çalışmasında, doğal elyaf takviyeli polimer kompozitlerin, sentetik kompozitlerden çok daha fazla dikkat çektiğini, özellikle düşük maliyeti ile inşaat malzemesi üretmek için takviye elemanı olarak doğal elyafların kullanılmasının son derece önemli olduğunu vurgulamıştır. Doğal elyafların üstün korozyon direnci, mükemmel termo-mekanik özellikleri ve yüksek dayanım/ağırlık oranı nedeniyle inşaat sektöründe geleneksel sentetik elyaflara göre birtakım avantajlar sunduğunu öne sürmüştür.

Ramesh ve ark. (2014), doğal elyafları sentetik liflere dahil etmişlerdir ve polimer reçine matrisinde takviye malzemesi olarak cam, sisal ve jüt lifleri kullanılarak kısmen çevre dostu hibrit kompozitler geliştirmişlerdir. Bu çalışmadaki amaçları kesme hızı, ilerleme oranı ve kesici takım çapını değiştirerek hibrit kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini vurgulamaktır.

Chandramohan ve Rajesh (2014) yaptıkları çalışmada, yenilenebilir kaynakların sağladığı avantajlar üzerinde durmuşlardır. Takviye elemanı olarak Hindistan'da bol miktarda var olan doğal lifleri (Sisal, Rosella ve Muz) takviye elemanı olarak, biyo epoksi reçineyi ise matris malzemesi olarak kullanıp doğal fiber kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin delinmesinde oluşan ilerleme kuvvetini ve momentini deneysel olarak inceleyip yapay sinir ağı ile modellemişlerdir.

Udhayasankar ve ark. (2015), Hindistan cevizi kabuğu tozunun, kimyasal bileşimi nedeniyle kompozit malzeme üretiminde iyi bir doğal elyaf takviye malzemesi olarak kullanılabileceğini vurgulayarak, bu elyaf takviyeli kompozitlerin üretim sürecini ve metodunu anlatmışlardır. Ayrıca Hindistan cevizi takviyeli kompozitler üzerine

yapılmış literatür çalışmalarını inceleyerek, farklı yöntemlerle üretilmiş bu kompozitin mekanik özellikleri hakkında bilgiler vermişlerdir.

Kumar ve ark. (2015), doğal fiber kompozitler üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, yüksek mukavemet, düşük maliyet, kolay temin edebilme, düşük yoğunluk, doğada geri dönüştürülebilir olması ve minimum çevre kirliliği için doğal fiber takviyeli kompozitlere olan ihtiyacın her geçen gün arttığını vurgulamışlardır. Bu yüzden, yakıt tasarrufu, düşük üretim maliyeti, püskürtme performansı gibi özellikler göz önüne alınarak üretilen doğal fiber takviyeli kompozitlerin bazı uygulama alanlarında kullanılabileceğine değinmişlerdir.

Baştürk ve ark. (2015), meşe palamudu ve çam palamudu tozları ile güçlendirilmiş epoksiden oluşan kompozit malzemelerin sertliğini ve çekme özelliklerini dolgu tipine ve içeriğine bağlı olarak araştırmışlardır. Bu doğrultuda, epoksi reçine içerisine hem meşe palamudu tozu hem de çam palamudu tozu ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında ayrı ayrı eklenerek döküm yoluyla kompozit üretimini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra elde edilen kompozitlerin sertlik ve çekme özelliklerini kıyaslamışlardır. Yarı statik gerilme testleri ve sertlik ölçümleri esas alındığında çam palamudu takviyeli kompozitlerin meşe palamudu takviyeli kompozitlere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca takviye oranındaki artışın kompozitin sertlik değerinin artmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Salasinska ve Ryszkowska (2015), yüksek yoğunluklu polietilen matrisli farklı boyut ve orana sahip ayçiçeği kabuğu ve fıstık kabuğu takviyeli doğal elyaf kompozitler üretmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlerin çentik darbe mukavemetini, sertliğini ve gerilme mukavemetini incelemişlerdir. Kompozitlerdeki darbe mukavemetinin önemli derecede takviye oranındaki lignin fraksiyonundan, dolgu dağılımından ve polimerin parçacık ıslatma etkinliğinden etkilendiğini, en yüksek sertlik değerinin yüksek takviye oranına sahip ayçiçeği takviyesinden elde edildiğini, yüksek mukavemet değerinin yüksek takviye oranına sahip kompozitlerde gözlemlendiğini tespit etmişlerdir.

Omrani ve ark. (2016), doğal elyaf takviyeli kompozitlerin tribolojik davranışlarını incelemek ve tribolojinin baskın bir rol oynadığı çeşitli uygulamalarda doğal takviyelerin kullanılabilirliği araştırmak için derleme bir çalışma yapmışlardır. Doğal takviyeli polimer matrisli kompozitlerde; takviye oranına, yüke ve kayma hızına

bağlı sürtünme katsayısının ve aşınma değerlerinin nasıl değiştiği analiz etmişlerdir. Genellikle, olumlu ekonomik ve çevresel yönleri ve iyi tribolojik özellikleri nedeniyle, doğal kompozitlerin birçok uygulamada istihdam için iyi bir potansiyel teşkil etmekte olduğunu vurgulamışlardır.

Jayabal ve ark. (2016), doğal yeşil kabuklu elyaf ile güçlendirilmiş vinil ester kompozitlerin çekme, eğme, darbe dayanımlarını ve termal iletkenliklerini araştırmışlardır. Ürettikleri kompozitlerde, oluşan yüzey çatlak problemlerinin giderilmesi için kompozitlere çeşitli biyo-parçacıklar ilave etmişlerdir. Ürettikleri biyo-kompozitlerin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile görüntülerini inceleyerek analizler yapmışlardır. Çekme ve eğme dayanımları için en iyi değerlerin, pirinç kabuğunun ilave edildiği biyo-kompozitlerden elde edildiğini vurgulamışlardır.

Väisänen ve ark. (2016), tarımsal ve orman sanayi atıklarının ve kalıntılarının doğal fiber-polimer kompozitlerde kullanılmasını içeren derleme bir çalışma yapmışlardır. Doğal fiber-polimer kompozitlerin organik atık ve kalıntı materyallerin kullanılmasında ekolojik açıdan samimi ve oldukça iyi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca bu organik atıkların ve kalıntıların yakın gelecekte yapılan bilimsel çalışmalar doğrultusunda nasıl kullanılabileceğini ayrıntılı olarak ele almışlardır.

Chand ve Dwivedi (2016), jüt elyaf takviyeli polipropilen (PP) kompozitler ile bu kompozitlerin üretiminde birleştirici madde olarak kullanılan maleikanhidridin üretilen kompozitin abrazif aşınma davranışına etkisini incelemişlerdir. Aşınma deneylerini farklı kayma mesafesi ve kayma yüklerinde gerçekleştirmişlerdir. Birleştirici madde kullanılarak üretilen kompozitlerin diğer kompozite göre aşınma direncinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Pickering ve ark. (2016) yaptıkları derleme çalışmasında, doğal fiber takviyeli kompozit malzemelerin gelişimini ve onların mekanik performanslarını araştırmışlardır. Özellikle mekanik özellikler üzerinde doğal fiber takviyesi ile polimer matris malzemesi arasında oluşan bağın oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Zhang ve ark. (2017), titanyum ve alaşımlarının daha geniş bir alanda kullanımını arttırmak için kıvılcım plazma sinterleme yöntemini kullanarak titanyum içerisine farklı hacimlerde çekirdek kabuğu ilave etmişlerdir. Çekirdek kabuğu ilavesinin alaşımların mekanik ve aşınma davranışları üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Optik mikroyapı gözlemleri sonucu, çeşitli sürekliliklere sahip çekirdek kabuğu ve

titanyum alaşımının içerisinde Ti-O ağı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Basma deneylerinden artan takviye oranının Ti-O alaşımının mukavemetini arttırdığını ve sünekliğini azalttığını görmüşlerdir. Bunun alaşım içerisindeki oksijenin varlığı ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak artan takviye oranının Ti-O alaşımının aşınma direncini de iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Optimum takviye oranının hacimce %70 çekirdek kabuğunun ilavesiyle elde edildiği sonucuna varmışlardır.

Chauhan ve Bhushan (2017) yaptıkları çalışmada, doğal takviyeli kompozitlerle ilgili karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözümlenmesi için derleme bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca, doğal takviyelerle güçlendirilmiş polimer matris kompozitlerin çeşitli fiziksel ve mekanik özelliklerini de incelemişlerdir.

2. GENEL BİLGİLER

Son zamanlarda endüstriyel uygulamalarda, fiziksel ve mekanik özellikleri artırmak için polimerlere dahil edilen takviye elemanları kullanılarak farklı polimerlerden yararlanma girişimleri önemli ölçüde artırılmıştır (Omranı ve ark., 2016). Bu girişimlerdeki amaç hafif, kolay işlenebilirlik, düşük maliyet, düşük çevre kirliliği gibi faydalardır. Yeni jenerasyonlu biyolojik esaslı kompozit yapıların varlığı için yapılan artış, petrol bazlı toksin içeren ürünlerin kullanımını azaltmaktır.

Doğada bulunan birçok doğal maddelerden bitki lifi elde edilebilir (Udhayasankar ve ark., 2015). Bunlar Hindistan cevizi lifi, kenaf lifi, yağ palmyesi lifi, Antep fıstığı kabuğu, yer fıstığı kabuğu, ceviz kabuğu ve pirinç kabuğu, termoset ve termoplastik matrisler ile takviye edilerek kompozit malzemeler üretilebilir (Baştürk ve ark., 2015). Doğal elyaflar, kompozitin mukavemet ve rijitliğini arttıran takviye elemanları olarak işlev görürler. Cam, karbon ve aramid gibi sentetik takviye elyafları belirli performans aralıklarıyla üretilebilirken, doğal elyafların özellikleri elyafın kaynağına, bitkinin yaşına ve ön şartlandırma işlemine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. Ancak polimerlerde takviye elemanı olarak cam elyaf yerine yenilenebilir liflerin kullanılması ekolojik bir bakış açısından daha avantajlıdır. Dahası, doğal lifler, sentetik fiberlerle karşılaştırıldığında daha düşük sağlık riski oluşturur. Bu da kompozit imalatında dikkate alınması gereken önemli bir konudur (Väisänen ve ark., 2016).

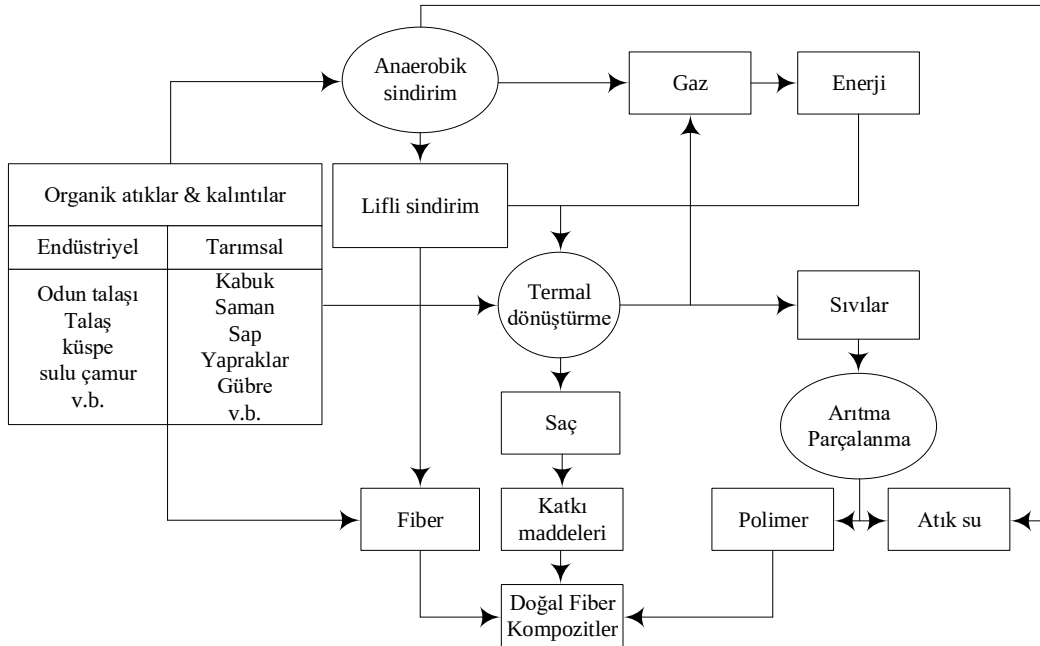
2.1. Doğal Fiber Kompozitler

Yeni nesil biyolojik esaslı kompozit yapıların varlığı için yapılan artış, petrol bazlı toksin içeren ürünlerin kullanımını azaltmaktadır. Hindistan cevizi lifi, kenaf lifi, yağ palmyesi lifi, antepfıstığı kabuğu, yer fıstığı kabuğu, ceviz kabuğu ve pirinç kabuğu, matris malzemeleri ile kombine edilerek doğal fiber takviyeli kompozit malzemeler üretilebilir (Baştürk ve ark., 2015).

Doğal fiber kompozitler, matris malzemesi ve organik takviye lifi olmak üzere iki ana unsurdan oluşur (Väisänen ve ark., 2016) ve sınıflandırma bu iki ana unsura göre de yapılabilir. Matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma; polimer matris kompozitleri, metal matris kompozitleri ve seramik matris kompozitleri içerirken, organik takviye lifine göre yapılan sınıflandırma ise fiber takviyeli kompozitleri,

laminer kompozitleri ve partiküllü kompozitleri içerir. Fiber takviyeli kompozitler, ayrıca kesikli veya sürekli formda olabilirler. Elyaf takviyeli kompozitler, matris içine gömülü elyaflardan oluşur. Bu kompozitlerin özellikleri lif uzunluğuna göre değişirse, süreksiz bir elyaf veya kısa elyaf kompozit olduğu düşünülebilir. Laminer kompozitler, matris tarafından bir arada tutulan materyal tabakalarından oluşan sandviç yapılar kategorisindedirler. Parçacık kompozitler ise bir matris gövdesine dağıtılan veya gömülmüş parçacıklardan oluşur. Parçacıklar gevrek veya toz halde olabilir. Beton ahşap ve yonga levhaları bu kategorideki örneklerdir (Kumar ve ark., 2015).

Son yıllarda kompozit malzemeler alanında önemli bir dal olan doğal elyaf takviyeli polimer kompozitler araştırılmıştır. Doğal lifler odun, hamur, pamuk, kabuk, fındık kabukları, küspe, mısır koçanı, bambu, tahıl, saman ve sebze (örneğin keten, jüt, kenevir, sisal ve ramie) gibi farklı kökenlere sahiptir. Bu elyaflar ağırlıklı olarak selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektinlerden oluşur. Cam elyafı ve karbon elyafları gibi geleneksel inorganik dolgu maddeleri ile karşılaştırıldığında, bolluk ve bu nedenle düşük maliyet, biyolojik bozunabilirlik, işleme esnasında esneklik ve daha az makine aşınması, asgari sağlık tehlikeleri, düşük yoğunluk, arzu edilen elyaf boy oranı ve nispeten yüksek gerilme ve eğilme modülü gibi birçok avantaj sağlamaktadırlar (Xie ve ark., 2010). Şekil 2.1’de özellikle endüstriyel ve tarımsal alanlarda kullanılan organik atık ve kalıntıların farklı aşamalardan geçirilerek polimer matrise eklenmesiyle elde edilen doğal fiber kompozitlerin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 0.1. Doğal fiber takviyeli polimer kompozitlerde organik atık ve kalıntıların kullanılması için olası yollar (Väisänen ve ark., 2016)

2.2. Polimer Matris

Polimer matris malzemeleri termoset ve termoplastik olarak sınıflandırılabilir. Doğal kompozitte matris malzemesinin en önemli kısıtlayıcı faktörü, doğal elyafların termal bozunumunu önlemek için genellikle 200 °C'nin altında olması gereken işleme sıcaklığıdır. Termoplastikler, termosetlere göre geri dönüştürülebilirlik ve yeniden şekillendirilebilirlik gibi birçok avantaja sahiptir ve bu nedenle yakın zamanda bildirilen çalışmaların çoğunun bu tür polimerler üzerinde (polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC)) yoğunlaştığı görülmektedir. Poliüretan (PU), epoksi ve poliesterler doğal kompozitlerde kullanılan en yaygın termosetlere örnektir. Tablo 2.1'de doğal kompozitlerde kullanılan en yaygın termoplastikler ve termosetlerin bazı özellikleri verilmiştir (Väisänen ve ark., 2016).

Tablo 0.1. Bazı termoplastik ve termosetlerin özellikleri (Väisänen ve ark., 2016)

Polimer	Termoplastik				Termoset		
	PE	PP	PS	PVC	PU	Epoksi	Poliester
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,91-0,96	0,9-0,92	1,04-1,06	1,4	1,2	1,1-1,4	1,04-1,46
Erime Sıcaklığı (°C)	105-140	160-176	110-135	100-260	-	-	-
Çekme Mukavemeti (MPa)	15-78	26-41	25-69	41-52	28-40	35-100	41-90
Elastik Modülü (GPa)	0,055-1,5	1-1,8	4-5	2,8	0,025	3-6	2,1-4,4
Kopma Uzunluğu (%)	2-800	15-700	1-3	40-80	600-720	1-6	1-3

Matris malzemelerinin kompozit yapının gerilme ve yük taşıma kapasitesindeki rolü düşük olmasına rağmen fiberleri bir arada tutma kabiliyeti, yükleri fibere ileten bir yük aktarım organı özelliği taşıması ve fiberin çevresel faktörlerden korunması gibi pek çok faydaları vardır (Green, 2007). Ayrıca takviye elemanlarını bağlama görevini üstlenen matrisler genellikle daha düşük ağırlık ve maliyetle geleneksel düzeneklere göre mekanik olarak eşdeğer veya daha güçlü yapılar sağlar. Bu matrislerin genel avantajları;

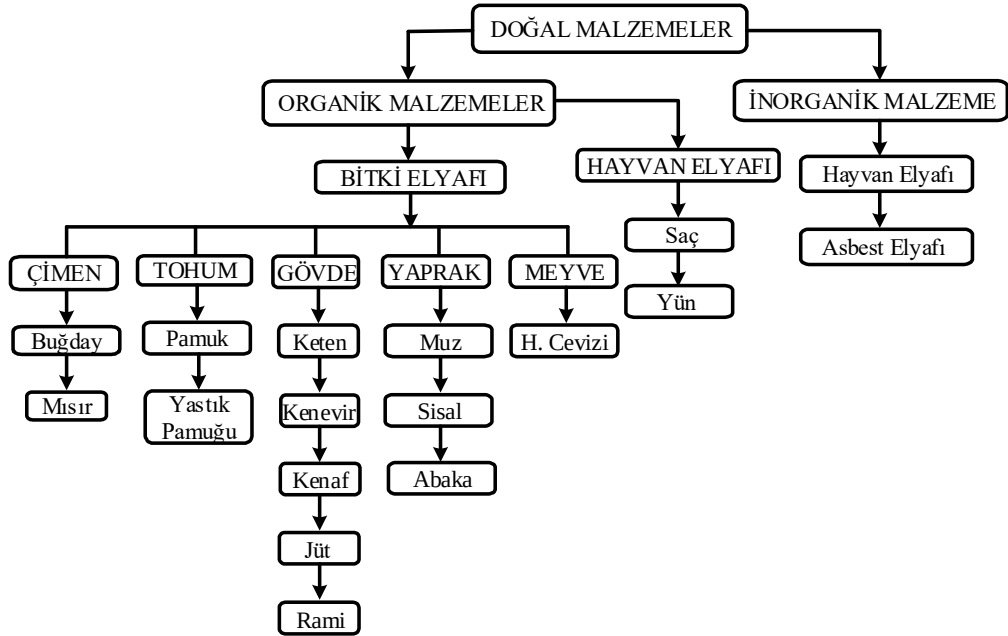
1. Daha geniş gerilme alanı ve düzenli gerilme dağılımı sergilemesi,
2. Çeşitli şekillerde ince ya da kalın malzemeleri birleştirmesi,
3. Benzer veya farklı materyalleri birleştirmesi ve benzer olmayan malzemeler arasındaki elektrokimyasal korozyonu en aza indirmesi veya engellemesi,
4. Yorulma ve döngüsel yüklere karşı direnç sağlaması,
5. Isı transferine ve elektrik iletkenliğine karşı izolasyon özelliği,
6. Çeşitli ortamlara karşı sızdırmazlık sağlaması,
7. Titreşimi sönmülmesi,
8. İyi mukavemet/ağırlık oranı sunmasıdır (Rajasekar ve ark., 2017).

Dezavantajları ise;

1. Kararlı bağlar elde etmek için hassas işlemlere ihtiyaç duyulması,
2. Üst servis sıcaklıklarının çoğu durumda yaklaşık 177 °C, özel yapışkanlarda ise 371 °C’de olması,
3. Çoğu yapıştırıcı için katı proses kontrolü gerektirmesi,
4. Yapışkan mafsalin kullanım ömrünün maruz kaldığı ortama göre değişmesi,
5. Doğal ya da bitkisel kökenli yapışkanların küf, bakteri, kemirgen ve haşere tarafından saldırıya maruz kalabilmesi,
6. Çözücü solventlere maruz kaldığında çözünebilmesi,
7. Sağlığa zarar verebilmesidir (Rajasekar ve ark., 2017).

2.3. Doğal Lifler

Doğada bulunan bitki, tohum, kamış, yaprak, hindistancevizi gibi birçok maddelerden doğal malzemeler elde edilebilir. Şekil 2.2’de doğal malzemelerin sınıflandırılması görülmektedir (Udhayasankar ve ark., 2015).



Şekil 0.2. Doğal malzemelerin sınıflandırılması (Udhayasankar ve ark., 2015)

Kompozitlere dahil edilmek üzere doğal elyafların potansiyel ve bol kaynağının olması gerekmektedir. Şekil 2.3’te doğada bol miktarda bulunan doğal liflere örnekler verilmiştir.



Şekil 0.3. Bazı bitki temelli doğal elyaflar (Udhayasankar ve ark., 2015)

Doğal liflerin kimyasal bileşimleri, farklı lif türleri arasında geniş ölçüde değişir, ancak en bol kimyasal bileşenler tipik olarak selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Diğer bileşenler arasında ekstraktlar, kül, pektin ve mumlar bulunur (Väisänen ve ark., 2016;

Koronis ve ark., 2013; Avella ve ark., 2009). Tablo 2.2’de bazı bitkisel doğal elyafların bileşenleri verilmiştir.

Tablo 0.2. Bazı bitkisel doğal elyafların bileşenleri (Udhayasankar ve ark., 2015)

Lif Türü	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Kül (%)	Nem (%)	Mikroelyaf açısı (°)	Mumlar
A-ELYAF LİFİ								
Keten lifi	71	18,6-20,6	2,2	2,3	-	10	5-10	1,7
Keten tohumu	43-47	24-26	21-23	-	5	-	-	-
Kenevir	57-77	14-22,4	3,7-13	0,9	0,8	9	2-6,2	0,8
Jüt	45-71,5	13,6-21	12-26	0,2	0,5-2	13	8	0,5
Kenaf	31-57	21,5-23	15-19	-	0,5-2	-	-	-
Rami	68,6-91	5-16,7	0,6-0,7	1,9	-	16	16	2
B-YAPRAK LİFİ								
Ağaç lifi	47-78	10-24	7-11	10	0,6-1	16	16	2
Abaka	56-63	15-17	7-9	-	-	8	-	<1
Henequen	77,6	4-8	13,1	-	-	-	-	-
Muz	64	10	5	11	-	-	-	-
C-TOHUM LİFİ								
Pamuk	88	5,7	16	8	-	-	-	-

Selüloz, insanoğlunun kullandığı en eski ve en bol polimer olup elyafların mukavemetini sağlar. Formülü $C_6H_{10}O_5$ olan selüloz, glikozidik (β -1,4) bağ selülozuyla bağlanmış β -D-glukopiranoz birimlerinden oluşan doğrusal bir homopolisakarittir ve oldukça hidrofilik özellik ve yüksek yüzey enerjisi sergiler. Her bir glikoz monomeri üç hidroksil grubundan (CH_2OH , OH ve O) oluşur. Bu da zincirler arasında güçlü bir hidrojen bağı etkileşimine yol açar (Martinez ve ark., 2017; Iyer, 2015). Selüloz, bitki hücre duvarlarının ana bileşenidir ve normal ve intermoleküler hidrojen bağları ağı kurulması yoluyla daha fazla kristalleşme eğilimi gösterir. Çeşitli uygulamalara sahip olan selüloz ticari olarak mevcuttur ve belirli türde bakteriler kullanarak kimyasal olarak yüksek saflıkta ve kuvvetle üretilebilir. Selüloz sert bir polimerdir ve 62-500 MPa yüksek çekme mukavemetine ve %4 uzamaya sahiptir (Charrier ve Bouhtour, 2017).

Hemiselüloz, doğal olarak bulunan en bol polisakaritten biridir. Hemiselüloz, bitkilerin hücre duvarında bir matris oluşturmak üzere selüloz ve lignin ile etkileşime girer. Amorf ve dallı bir polimerdir, mevcut iki hidroksil grubu vardır. Bu özellikler hemiselülozları selülozdan kimyasal maddeler ve/veya ısı ile parçalamayı kolaylaştırır. Hemiselüloz, pentoz (D-Ksiloz ve L-arabinoz), heksoz (D-Glikoz, D-Galaktoz, D-Mannoz ve L-Ramnoz) ve üronik asit üniteleri (metil galakturonik asit [MeGlcA]) bulunan heterojen bir monosakarit bileşimine sahiptir (Martinez ve ark., 2017).

Lignin, temel olarak fenilpropan birimlerinin temelini oluşturan karmaşık ve amorf bir polimerik malzemedir. Ligninler hem fenolik hem de alifatik olmak üzere hidroksil (OH) gruplarına sahiptir. Ligninlerin reaktivitelerini arttırmak için pek çok kimyasal modifikasyonu yapılmaktadır (Charrier ve Bouhtour, 2017).

Pektin, bitkilerin ve meyvelerin hücre duvarlarının başlıca bağlama bileşenidir. Kimyasal olarak polisakkarittir, galakturonik asit moleküllerinin birbirlerine düz zincir halinde birleşmesi ile oluşur. Tablo 2.3'te bazı doğal ve sentetik liflerin mekanik özellikleri, Tablo 2.4'te doğal fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ve Tablo 2.5'te doğal fiberlerin lif içeriği verilmiştir.

Tablo 0.3. Bazı doğal ve doğal olmayan liflerin mekanik özellikleri (Udhayasankar ve ark., 2015)

Fiber Türü	Yoğunluk(g/cm ³)	Gerilme (MPa)	Elastisite Modülü(GPa)	Uzama(%)
Doğal lifler				
Kenevir	1,48	514	24,8	1,6
Keten	1,50	345-1100	27,6	1,2-3,2
Jüt	1,3-1,45	398-773	13-26,5	1,3-4,6
Rami	1,5	220-938	44-128	2-3,8
Ağaç lifi	1,45	468-640	9,4-22	2-14
Hindistan cevizi	1,2	175-220	4-6	5-30
Pamuk	1,5-1,6	287-597	5,5-12,6	3-10
Yumuşak ağaç	1,5	1000	40	-
Bambu	1,4	500-740	30-50	2
Sentetik lifler				
E-Cam	2,5	2000-3500	70	2,5-3
S-Cam	2,5	45-70	86	2,8
Karbon	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7
Aramid	1,4	4000	230-240	1,4-1,8

Tablo 0.4. Doğal fiberlerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Dittenber ve GangaRao, 2012)

Elyaf Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Uzunluk (mm)	Çap (µm)	Gerilme (MPa)	Gerinim (GPa)	Özgül Modül	Uzama (%)
Abaka	1,5	-	-	400-980	6,2-20	9	1,0-10
Alfa	0,89	-	-	35	22	25	5,8
Küspe	1,25	10-300	10-34	222-290	17-27,1	18	1,1
Bambu	0,6-1,1	1,5-4	25-40	140-800	11-32	25	2,5-3,7
Muz	1,35	300-900	12-30	500	12	9	1,5-9
Hin. cevizilifi	1,15-1,46	20-150	10-460	95-230	2,8-6	4	15-51,4
Pamuk	1,5-1,6	10-60	10-45	287-800	5,5-12,6	6	3-10
Curauna	1,4	35	7-10	87-1150	11,8-96	39	1,3-4,9
Keten	1,4-1,5	5-900	12-600	343-2000	27,6-103	45	1,2-3,3
Kenevir	1,4-1,5	5-55	25-500	270-900	23,5-90	40	1-3,5
Heneguen	1,2	-	-	430-570	10,1-16,3	11	3,7-5,9
Isora	1,2-1,3	-	-	500-600	-	-	5-6
Jüt	1,3-1,49	1,5-120	20-200	320-800	8-78	30	1-1,8
Kenaf	1,4	-	-	223-930	14,5-53	24	1,5-2,7
Isırgan	-	-	-	650	38	-	1,7
Palmye	0,7-1,35	-	150-500	80-248	0,5-3,2	2	17-25
Piassava	1,4	-	-	134-143	1,07-4,59	2	7,8-21,9
Palf	0,8-1,6	900-1500	20-80	180-1627	1,44-82,5	35	1,6-14,5
Rami	1,0-1,55	900-1200	20-80	400-1000	24,5-128	60	1,2-4,0
Sisal	1,33-1,5	900	8-200	363-700	9,0-38	17	2,0-7,0

Tablo 0.5. Doğal fiberlerin lif içeriği (Dittenber ve GangaRao, 2012)

Elyaf Türü	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Balmumu (%)	Mikrofiber Açısı (°)	Nemli İçerik (%)
Abaka	56-63	20-25	7-13	1	3	-	5-10
Alfa	45,4	38,5	14,9	-	2	-	-
Küspe	32-55,2	16,8	19-25,3	-	-	-	-
Bambu	26-65	30	5-31	-	-	-	-
Muz	63-67,6	10-19	5	-	-	-	8,7-12
Hin. cevizi lifi	32-43,8	0,15-20	40-45	3-4	-	30-49	8,0
Pamuk	82,7-90	5,7	<2	0-1	0,6	-	7,85-8,5
Curauna	70,7-73,6	9,9	7,5-11,1	-	-	-	-
Keten	62-72	18,6-20,6	2-5	2,3	1,5-1,7	5-10	8-12
Kenevir	68-74,4	15-22,4	3,7-10	0,9	0,8	2-6,2	6,2-12
Henequen	60-77,6	4-28	8-13,1	-	0,5	-	-
Isora	74	-	23	-	1,09	-	-
Jüt	59-71,5	13,6-20,4	11,8-13	0,2-0,4	0,5	8,0	12,5-13,7
Kenaf	31-72	20,3-21,5	8-19	3-5	-	-	-
Isırgan	86	10	-	-	4	-	11-17
Palmiye Yağ.	60-65	-	11-29	-	-	42-46	-
Piassava	28,6	25,8	45	-	-	-	-
Palf	70-83	-	5-12,7	-	-	14,0	11,8
Rami	68,685	13-16,7	0,5-0,7	1,9	0,3	7,5	7,5-17
Sisal	60,78	10,0-14,2	8,0-14	10,0	2,0	10-22	10-22

Doğal liflerin kimyasal bileşimlerinde geniş çeşitlilik bulunmasına rağmen hemen hemen tüm doğal organik liflerin bir hidrofilik yapısı vardır. Bunun nedeni, hemiselülozlar ve pektinler gibi heteropolisikarelerde hidroksil (OH) ve karboksilik asit (COOH) gruplarının varlığından kaynaklanmaktadır (Koronis ve ark., 2013; Avella ve ark., 2009). Buna ek olarak selüloz, hidroksil grupları bakımından zengindir. Fakat selüloz, mikrofiberlerin yüksek doğrusallığını ve kristalliğini azaltır. Bununla birlikte, mikrofiberlerin yüzeyindeki serbest OH grupları, önemli miktarlarda su emme konusunda hassastırlar.

Lignin, linyo selülozik malzemelerin üçüncü önemli yapısal organik polimeridir. Lignin, hücre duvarı, özellikle hemiselülozların karbonhidrat esaslı fraksiyonlarının aksine hidrofobik bir yapıya sahiptir. Doğal fiber kompozitlerde kullanılan matris polimerlerinin çoğunluğu hidrofobiktir ve bu da polimerler tarafından bitki liflerinin zayıf yüzey ıslanmasına yol açar (George ve ark., 2001). Bu durum, bozulmuş stres aktarımı ve bileşik içerisinde boşluklarının oluşmasına neden olabilir (Adekunle, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Doğal Takviye Elemanları ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmalarda, doğal takviye elemanları olarak ülkemizde bol miktarda bulunan fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabukları kullanıldı. Bu doğal takviye elemanları ELE marka Los Angeles aşınma makinesinde öğütüldü (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Doğal takviye elemanlarının öğütülmesinde kullanılan aşınma cihazı

Öğütülen takviye elemanları 300, 600 ve 850 μm boyutlarındaki eleklerden geçirilerek 0-300 μm , 300-600 μm ve 600-850 μm toz partikül gruplarına ayrıldı (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Toz partikül haline getirilmiş doğal takviye elemanları

Toz partikül haline getirilen takviye elemanlarının selüloz, hemiselüloz, lignin, rutubet, kül, element ve ağır metal analizleri yapıldı. Ayrıca 600 µm boyut üzerindeki partiküller 600 °C ve 900 °C sıcaklıklarda yakılarak kül haline getirildi (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. 600 °C ve 900 °C’de kül haline getirilmiş toz partiküller

Şekil 3.3’te verilen küllerin de ağır metal analizleri yapıldı. Tozların ve küllerin X-Işını Kırınım (XRD) ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (FT-IR) ile analizleri gerçekleştirilerek bu partiküllerin yapısal özellikleri tespit edildi.

3.1.1. Selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarlarının belirlenmesi

Ön işlemler, ağzı kapaklı şişelerde su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları %2 (a/h)’lık $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 ve NaOH çözeltileri ile 60 °C’de, 1/10 katı-sıvı oranında 25 dakika ön işleme tabi tutuldu. Çalışmalara daha sonra NaOH ile devam edildi. NaOH derişiminin (%0,5; 2,25; 4,0 (a/h)), ön işlem zamanının (30, 60 ve 120 dak), sıcaklığın (30, 60, 90 °C) ve katı sıvı

oranın (1/10-1/20-1/40 gram/mL), ön işlem görmüş ham maddenin kimyasal bileşimine ve enzimatik hidroliz üzerine etkileri incelendi.

Toz halindeki ham maddeler, filtre kâğıdıyla süzülüp saf su ile nötrleştirildikten sonra hava ile %60 neme kadar kurutuldu. Enzimatik hidroliz deneyleri için ham maddeler, plastik torbalara konularak buzdolabında saklandı. Daha sonra ham maddedeki lignin, selüloz ve hemiselüloz miktarları belirlendi. Enzimatik hidroliz deneyleri, çalkalamalı inkübatör içerisinde gerçekleştirildi. Ön işleme tabi tutulmuş tozların enzimatik hidroliz işlemlerinde 60 FPU/g (kuru ham madde) selüloz enzimi (Celluclast 1,5L®, Novozyme) ve 40-CBU/g (kuru ham madde) β -glukozidaz enzimi (Novozyme 188) karışımı kullanıldı ve katı sıvı oranı 1/20 olacak şekilde sabit tutuldu. Yapılan bütün deneyler; 50 °C sıcaklıkta, pH 4.8'de, 100 rpm karıştırma hızında, 48 saat boyunca gerçekleştirildi. Analizi yapılacak lignin tayini için, ham maddeden 300 mg şişelere alındı, üzerine 3 mL %72'lik sülfürik asit eklenerek 1 dakika boyunca karıştırıldı. 30 °C'de, 60 dakika çalkalamalı su banyosunda karıştırılan örneklerdeki H₂SO₄ derişimi daha sonra 84 mL saf su ile %4 oluncaya kadar seyreltildi ve 121 °C'deki otoklavda 60 dakika hidroliz işlemine tabi tutuldu. Yapılan bu işlemin ardından ham madde kaba filtreden geçirilip süzüldü. Filtre üzerinde kalan katı ham maddeler, su yardımıyla yıkandıktan sonra 105 °C'de etüvde kurutulup tekrar tartıldı. Kurutulan ham maddeler daha sonra kül fırınında 900 °C'de 24 saat yakıldı ve ardından krozede kalan kül tartılıp kaydedildi. Lignin miktarı, kuru temel üzerinden hesaplandı. Lignin tayininde, filtre kâğıdından ayrılan süzüntüde bulunan glukoz ve sellobiyoz miktarlarından biyokütlede bulunan selüloz; ksiloz, arabinoz, mannoz ve galaktozun miktarlarının toplamı üzerinden ise biyokütlede bulunan hemiselüloz miktarları hesaplandı. Enzimatik hidroliz sıvılarının içermiş olduğu indirgen şeker miktarları, Dinitrosalisilik asit (DNS) yöntemi ile spektrofotometrik olarak, monomerik şekerleri ise yüksek basınçlı sıvı kromatografi (YBSK) ile belirlendi. Monomerik şeker bileşiklerinin YBSK yöntemi ile miktarlarının belirlenmesi çalışmalarında dörtlü pompa, refraktif indeks dedektör, otomatik enjeksiyon ünitesi ve kolon fırınından oluşan Agilent 1100 serisi YBSK sistemi kullanıldı. Ayırımlar 80 °C'de Aminex HPX 87P kolonda (Biorad, Hercules/USA) gerçekleştirildi. Hareketli faz olarak 0.6 mL/dak akış hızında saf su kullanıldı. Böylelikle % selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları hesaplandı.

3.1.2. Rutubet miktarının belirlenmesi

Rutubet miktarının belirlenmesi için kurutma kapları, 105 °C'deki Blulab TT107 marka etüvde kurutuldu. Daha sonra oda sıcaklığına gelmesi için desikatörde bekletildi. Kurutma kaplarının darası, 0,001 g hassasiyetine sahip Shimadzu ATX224 marka analitik hassas terazide tartılarak alındı. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğuna ait toz partiküllerinin her birinde 3'er gram alınarak kurutma kaplarına konuldu ve ağırlıkları hesaplandı. Kurutma kapları 105 °C sıcaklığa sahip etüve yerleştirildi. Kurutma işlemi 1 saat 30 dakika sürdü. Daha sonra kurutulan toz partiküller oda sıcaklığına getirebilmek için desikatöre konuldu ve tartımı yapıldı. Sabit tartım alınıncaya kadar bu işleme devam edildi. Yüzdelik rutubet miktarı, denklem 1 kullanılarak hesaplandı.

$$R = \left[\frac{m_0 - m_1}{m_0 - m} \right] \times 100 \quad (1)$$

Burada; R : % rutubet miktarı, m : kurutma kaplarının darası, m_0 : kurutma kabı ve kurutma kabına konulan toz partiküllerin ağırlığı, m_1 : kurutma işlemi sonucu oda sıcaklığında alınan sabit tartım sıcaklığıdır. Şekil 3.4'te rutubet deneylerinin yapılışında kroze ve toz partiküllerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.4. Rutubet miktarının belirlenmesinde kullanılan toz partiküller
a) Fındık kabuğu, b) Fındık kabuğu, c) Kayısı çekirdeği kabuğu

3.1.3. Kül miktarının belirlenmesi

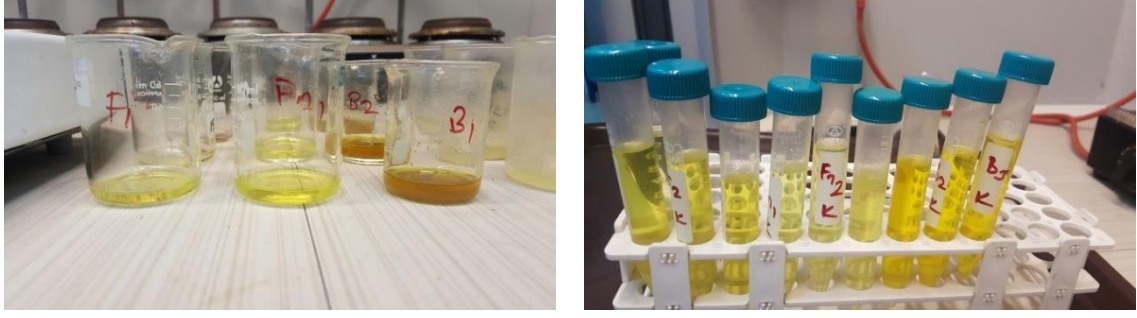
Kül miktarının belirlenmesi için doğal partiküllerin yakılmasında kullanılacak olan boş krozenin darası alındı. Elde edilen doğal toz partiküllerin her birinden yaklaşık olarak 3'er gram krozenin içine konuldu. Kroze, sıcaklığı 600 °C'ye ayarlanmış kül fırınında (Protherm-Furnaces) 5 saat bekletildi. Daha sonra krozeler desikatöre alınarak oda sıcaklığına getirilinceye kadar beklendi. Oda sıcaklığına gelen partiküllerin tartımı yapıldı. Benzer işlemler 900 °C'de kül haline getirilen takviye elemanları için de gerçekleştirildi. Böylelikle toz partiküllerin 600 °C ve 900 °C sıcaklıklarındaki yüzdelik kül miktarı denklem 2 kurularak hesaplandı.

$$K = m_3 \times \left(\frac{100}{m_2} \right) \times (100 / (100 - K)) \quad (2)$$

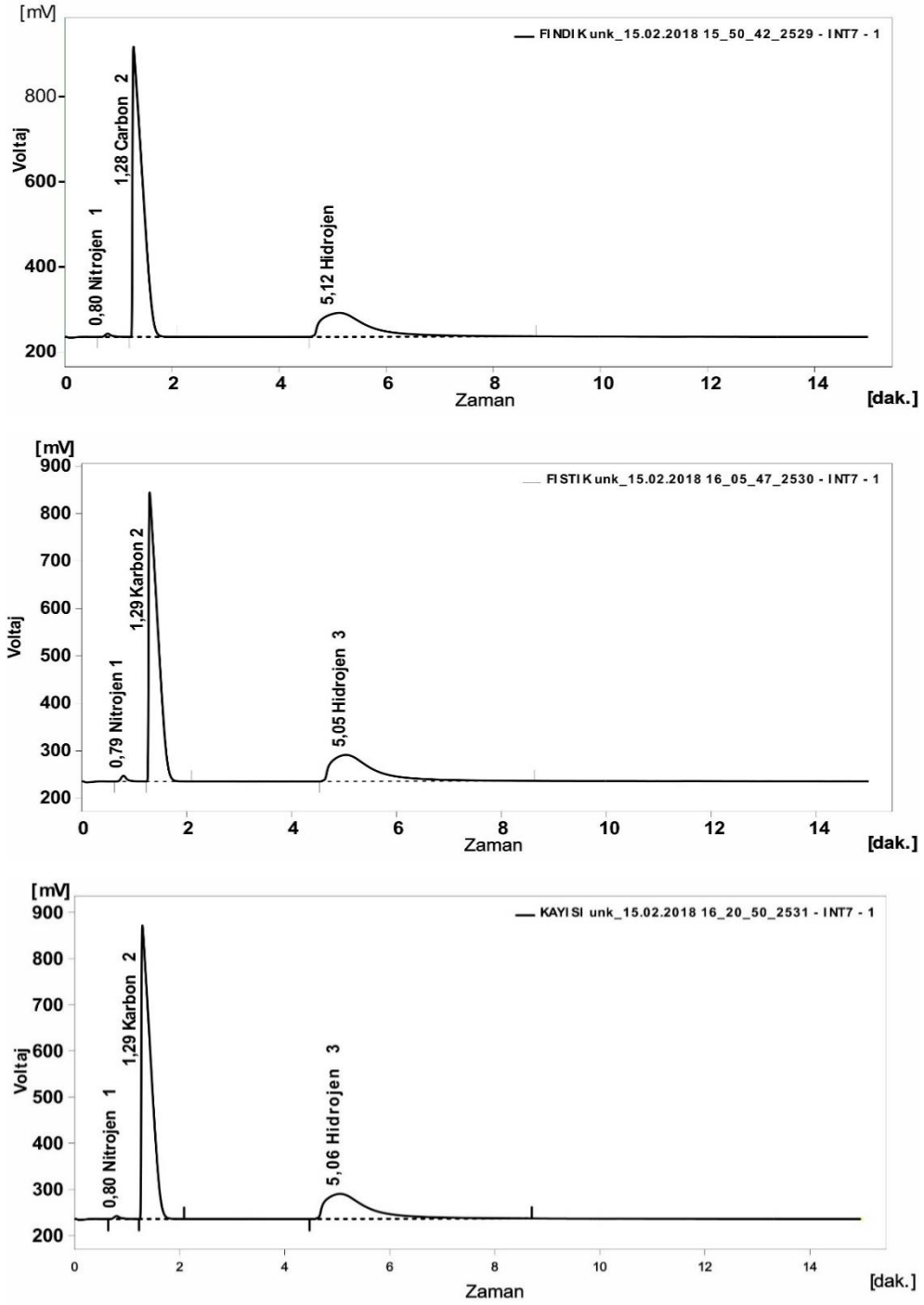
Burada; K: % kül miktarı, m_2 : toz partikül ağırlığı, m_3 ise oda sıcaklığında sabit tartıma getirilen kül miktarıdır.

3.1.4. Element ve ağır metal miktarının belirlenmesi

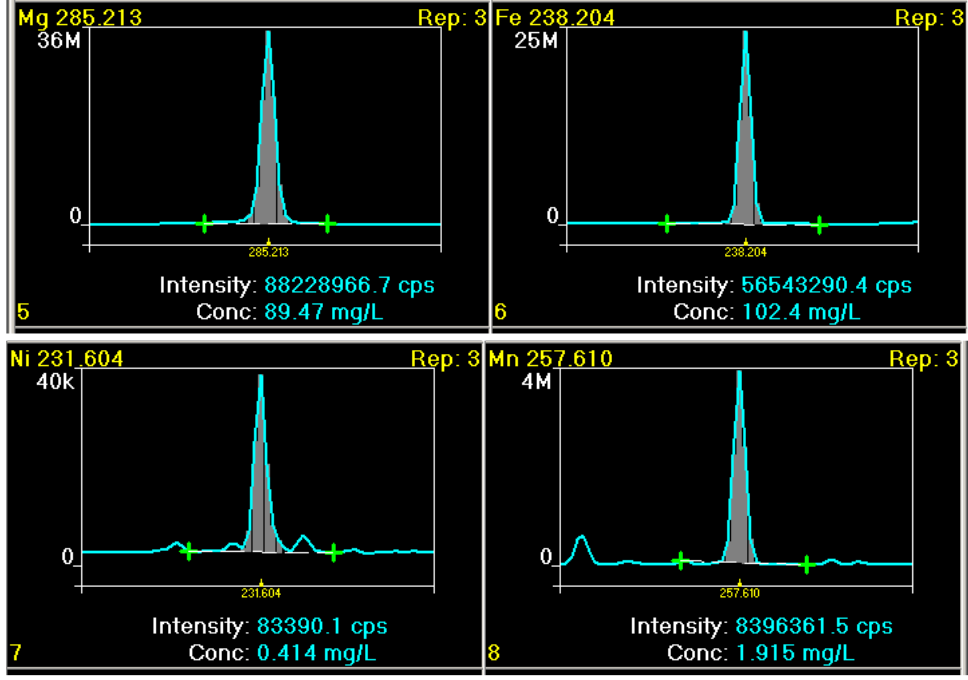
Thermo FLASH 2000 Series CHNS cihazı ile toz partiküllerin element analizleri yapıldı, ayrıca basınç ve sıcaklık kontrolü için analitik mikrodalga fırın (Milestone, ETHOS-A) yardımı ile toz ve kül partiküllerinin içerisindeki metalik maddelerin oranları belirlendi. Toz numunesinden yaklaşık olarak 0,4 g alınarak teflona konuldu. Çözünürleştirme işlemi üzerine 10 mL derişik HNO₃-HCl-HF (5:3:2; v/v/v) karışımı eklenerek gerçekleştirildi. Doğal toz partiküllerinin asit içerisinde çözünürleştirme işlemi Şekil 3.5'te verilmiştir. Berrak sıvılar içerisindeki Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn ve Si konsantrasyonları, Perkin Elmer Optima 7000 DV marka indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) ile ölçüldü. Her bir deney 3 tekrarlı olarak yapıldı. Şekil 3.6'te doğal takviye elemanlarının element analiz kromatogram grafikleri, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de ise bazı elementlerin sırasıyla yoğunluk ve kalibrasyon eğrileri verilmiştir.



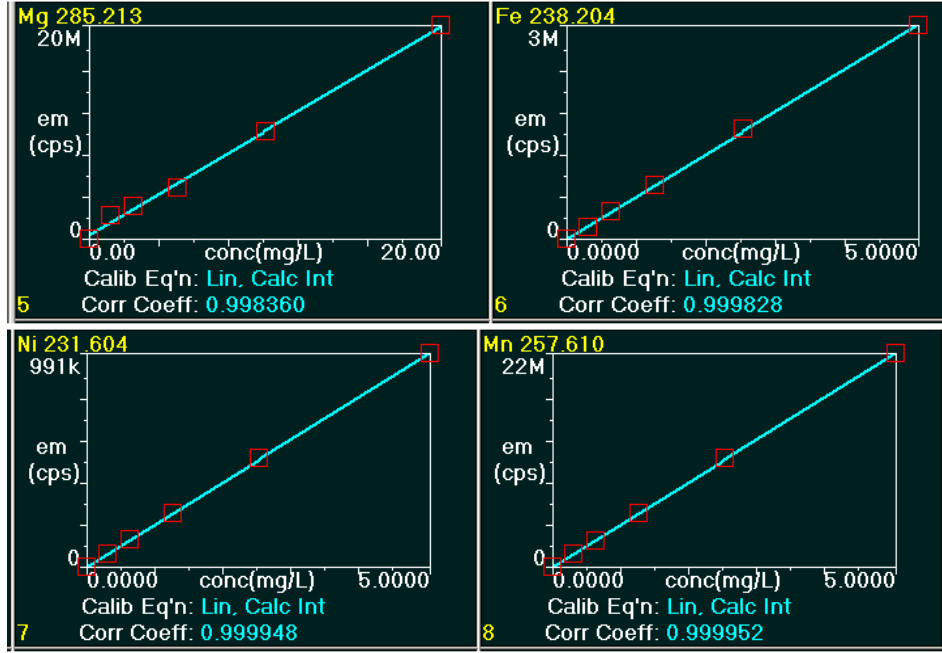
Şekil 3.5. Doğal toz partiküllerinin asit içerisinde çözündürleştirme işlemi



Şekil 3.6. Element analiz kromotogramları



Şekil 3.7. Bazı elementlerin Intensity eğrileri



Şekil 3.8. Bazı elementlerin kalibrasyon eğrileri

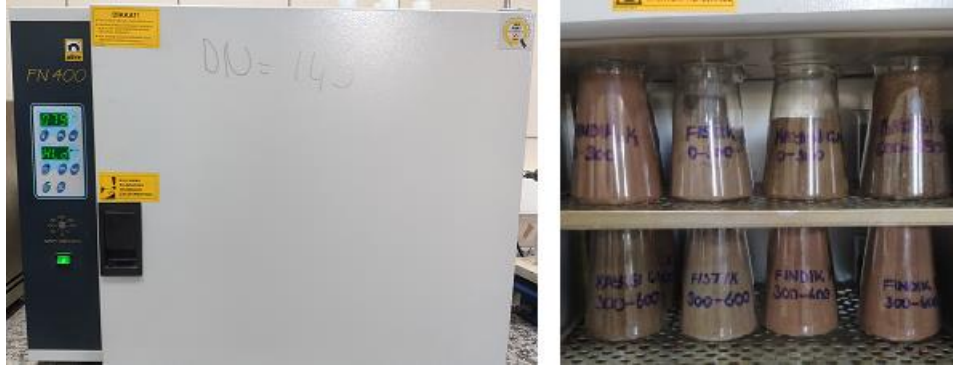
3.1.5. XRD ve FT-IR analizleri

Tozların yapısal özelliklerinin belirlenmesi için filtresi=Ni, anodu=Cu ($\text{CuK}\alpha=1.541871 \text{ \AA}$), akımı=15 mA, gerilimi= 35 kV, kâğıt hızı=2 cm/dak., gonyometre hızı= 2 °/dak., Yarıkları=1° 0.15 mm 1° 0.30 mm, Kağıt aralığı=20=5-35° ve zaman sabiti=1 sn. olan Rigaku marka Miniflex-2 model XRD cihazı kullanıldı.

Numunelerin yüzey fonksiyonel yapısını incelemek üzere ise toz haline getirilmiş numunelerin infrared spektrumları, Perkin Elmer marka Spectrum 100 model ve ATR (Attenuated total reflection) özellikli FT-IR cihazı ile kaydedildi.

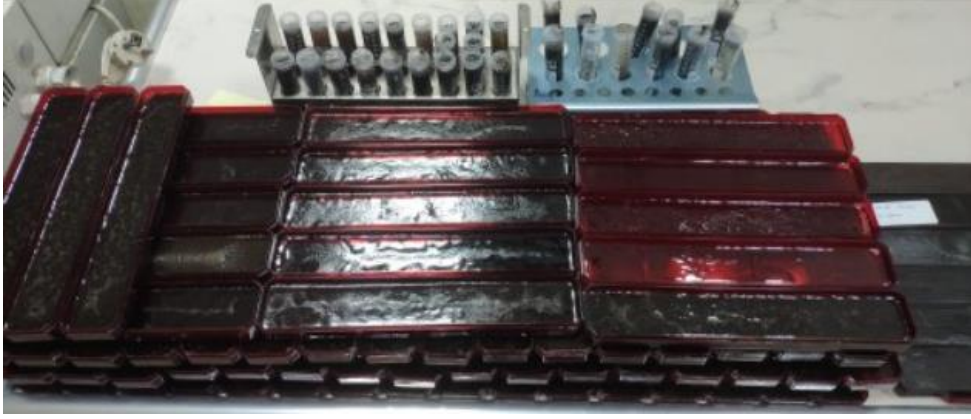
3.2. Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ve küllerine ait fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliklerin kompozit malzeme üzerindeki etkilerini belirlemek için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları 105°C'ye ayarlanmış FN 400 marka etüve konularak nemden arındırılması sağlandı (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Toz partiküllerin kompozit malzemede kullanılabilmesi için nemden arındırılması

Doğal kompozit malzeme üretmek için Poliber marka döküm tipi poliester matris malzemesine 0-300 μm , 300-600 μm ve 600-850 μm boyutlarına ve %0, %10, %20 ve %30 oranlarına sahip nemden arındırılmış fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile külleri ilave edildi. Bu işlem esnasında 0.0001 g ölçüm hassasiyetine sahip hassas teraziden faydalandı. Poliester matris malzemesine doğal takviye elemanları ilave edildikten sonra bu malzemelerin birbiri içerisinde dağılması için karıştırma işlemi yapıldı. Karışımın kürleşebilmesi için karışım içerisine hızlandırıcı ve sertleştirici ilave edilerek bir müddet daha karıştırıldı. Elde edilen bu karışımların bir kısmı, 40 mm genişliğe ve 220 mm uzunluğuna sahip plastik dikdörtgen kalıplara kalınlığı yaklaşık 5 mm olacak şekilde, bir kısmı ise 15 mm çapında 110 mm boyuttaki plastik silindirik kalıplara döküldü. Numunelerin kalıpların içerisinden kolaylıkla çıkartılabilmesi için döküm yapılacak kalıpların içerisine daha önceden kalıp ayırıcı sürüldü. Dikdörtgen ve silindirik kalıplara dökülmüş karışım malzemelerinin görüntüleri Şekil 3.10'da verilmiştir.



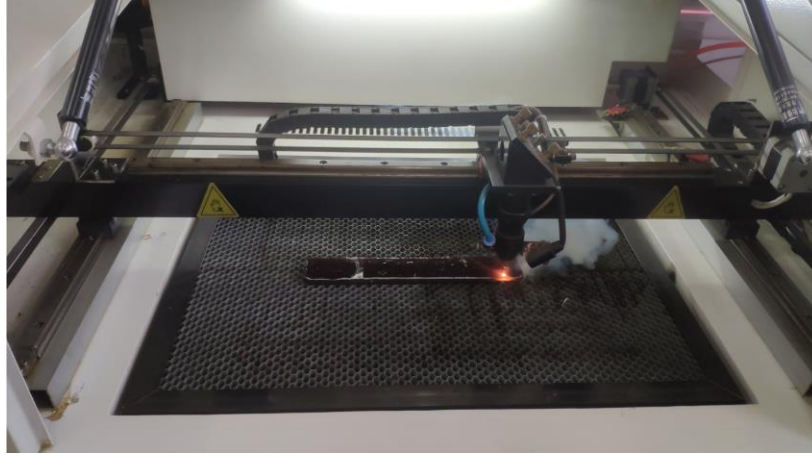
Şekil 3.10. Dikdörtgen ve silindirik kalıplardaki kompozit malzemeler

Kalıplardaki karışımlar, 24 saat oda sıcaklığında kürlenmeye bırakıldı. Bu süre zarfından sonra kompozit malzemeler kalıplardan çıkartıldı ve iki hafta boyunca oda sıcaklığında tutuldu. Üretilen ve kalıptan çıkartılan kompozit malzemeler Şekil 3.11’de verilmiştir.

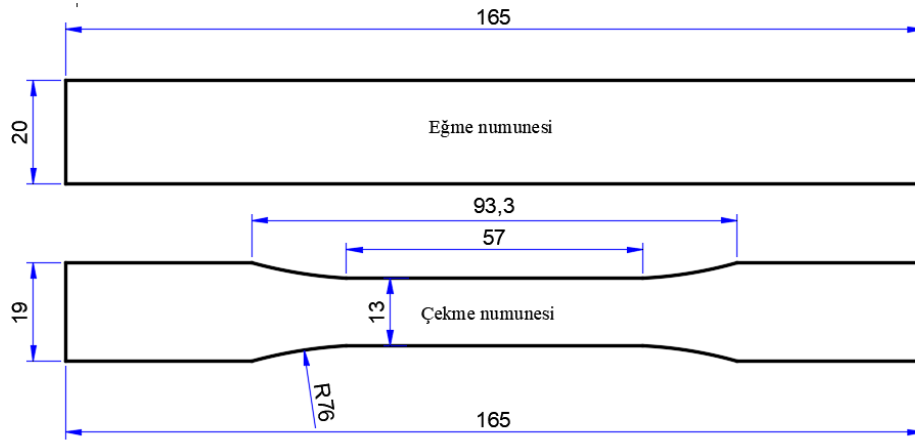


Şekil 3.11. Dikdörtgen ve silindirik kalıplardaki kompozit malzemeler

Dikdörtgen kalıplardan çıkartılan kompozit malzemelerin çekme ve eğme deneylerinin yapılabilmesi için kompozit malzemeler, DWin 450 marka plazma makinesinde (Şekil 3.12) Şekil 3.13’te verilen ölçülerde kesildi.

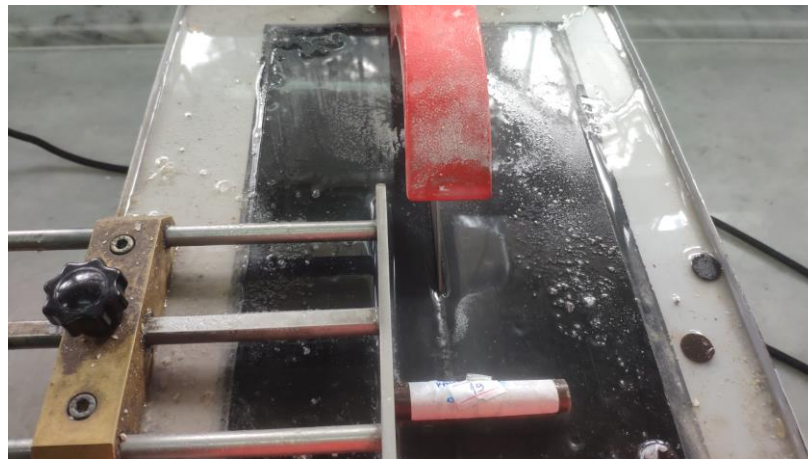


Şekil 3.12. Çekme ve eğme numunelerini plazma makinesinde kesimi



Şekil 3.13. Çekme ve eğme numunelerinin boyutları

Silindirik kalıplardan çıkartılan kompozit malzemeler ise basma deneylerine tabi tutula bilmeleri için çapın 1,5 katı olacak şekilde, diğer bir deyişle 22,5 mm uzunluğunda Silica-Gem ince dilimleme makinesinde kesildi (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Basma numunelerinin ince dilimleme makinesinde kesimi

Boyutları hazır hale getirilmiş çekme, eğme ve basma deney numunelerinin görüntüleri Şekil 3.15'te verilmiştir.



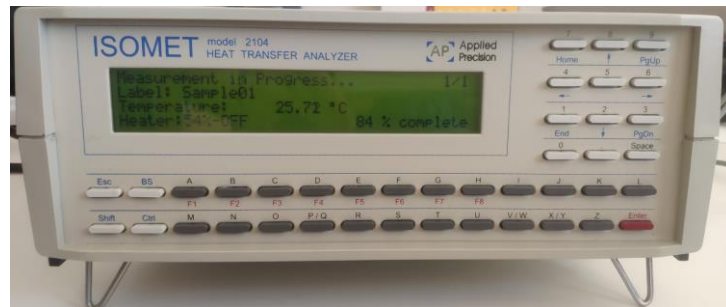
Şekil 3.15. Çekme, eğme ve basma deney numunelerinin görüntüleri

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ve külleri ile üretilen polimer matrisli kompozitler, gerekli makineler ile istenilen boyutlara getirildikten sonra çekme, eğme ve basma deneylerine geçilmeden önce bu kompozitlerin yoğunlukları, ısı iletkenlik özellikleri ve FT-IR analizleri yapıldı.

Kompozitlerin yoğunlukları (ρ), eğme numunelerinin 0,0001 g ölçüm hassasiyetine sahip hassas terazide tartılarak ağırlıklarının belirlenmesi (m_4) ve eğme numunesinin geometrisine bağlı hacimlerinin hesaplanması (v) ile denklem 3 kullanılarak hesaplandı.

$$\rho = m_4/v \quad (3)$$

Kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri, uygulama hassasiyeti 0,04-0,30 W/mK ve uygulama sıcaklığı -15....50° olan ISOMET model API 2104 seri numaralı ısı transfer analizörü ile gerçekleştirildi (Şekil 3.16). Ayrıca kompozitlerin yapısı Perkin Elmer Spectrum 100 marka ve ATR özellikli FT-IR analizleri ile incelendi.

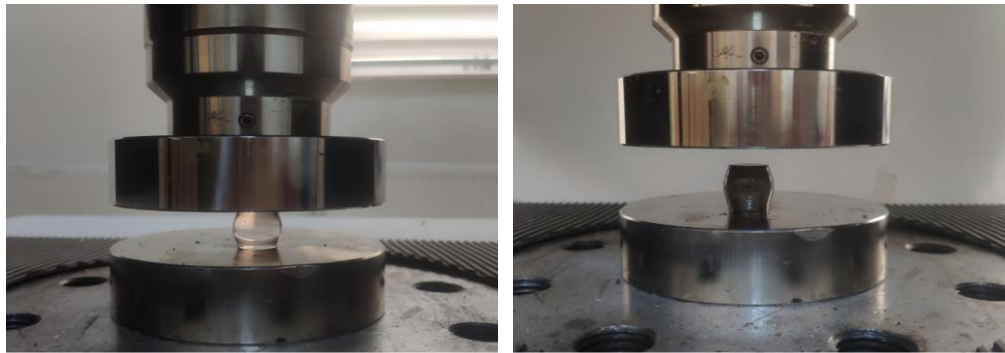


Şekil 3.16. Isı transferi analizörü

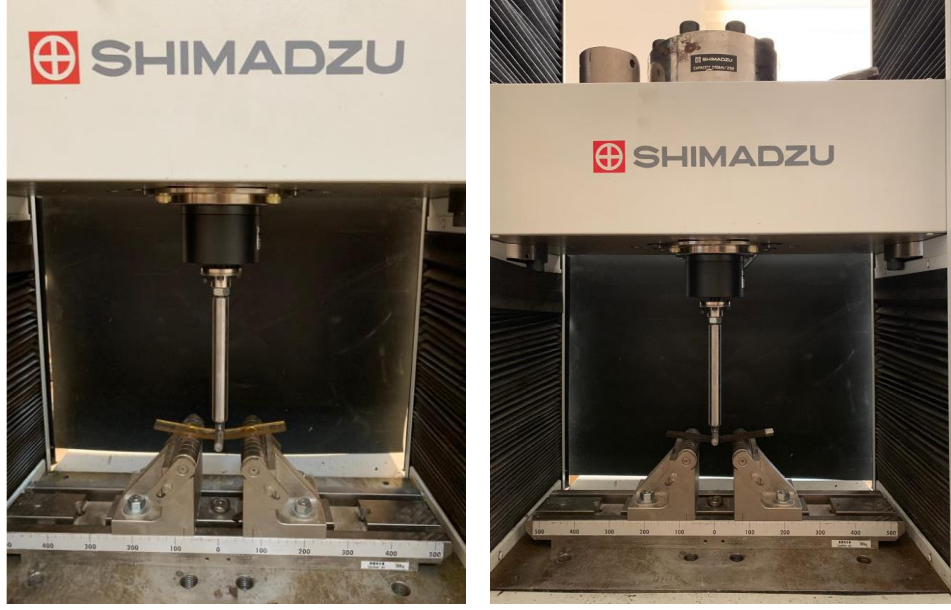
Çekme, basma ve eğme deneyleri 5 kN kapasiteli Shimadzu AG-IC model üniversal test cihazında yapıldı. Tüm deneyler, 1 mm/dak ilerleme hızında gerçekleştirildi. Üç nokta eğme deneylerinde, alt mesnetler arası mesafe 80 mm olarak ayarlandı. Çekme, basma ve eğme deneylerinin görüntüleri sırasıyla Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.17. Çekme deneyinin görüntüsü



Şekil 3.18. Basma deneyinin görüntüsü



Şekil 3.19. Eğme deneyinin görüntüsü

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

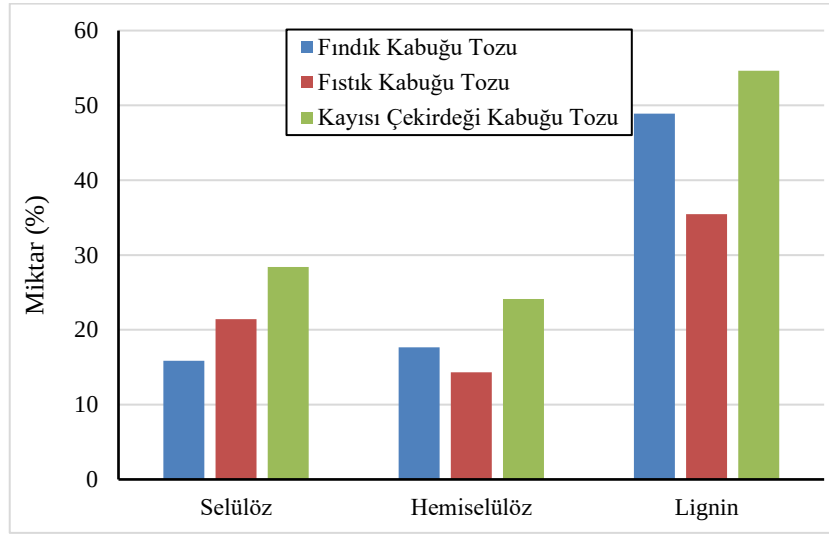
4.1. Doğal Takviye Elemanlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

4.1.1. Selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarına ait ham selüloz, hemiselüloz ve lignin oranları Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu oranlara ait grafiksel görünüm ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının selüloz, hemiselüloz ve lignin miktarları

<i>Toz cinsi</i>	<i>Selüloz Miktarı (%)</i>	<i>Hemiselüloz Miktarı (%)</i>	<i>Lignin Miktarı (%)</i>
Fındık Kabuğu Tozu	15,84	17,64	48,91
Fıstık Kabuğu Tozu	21,41	14,31	35,46
Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu	28,40	24,12	54,63



Şekil 4.1. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının selüloz, hemiselüloz ve lignin grafiği

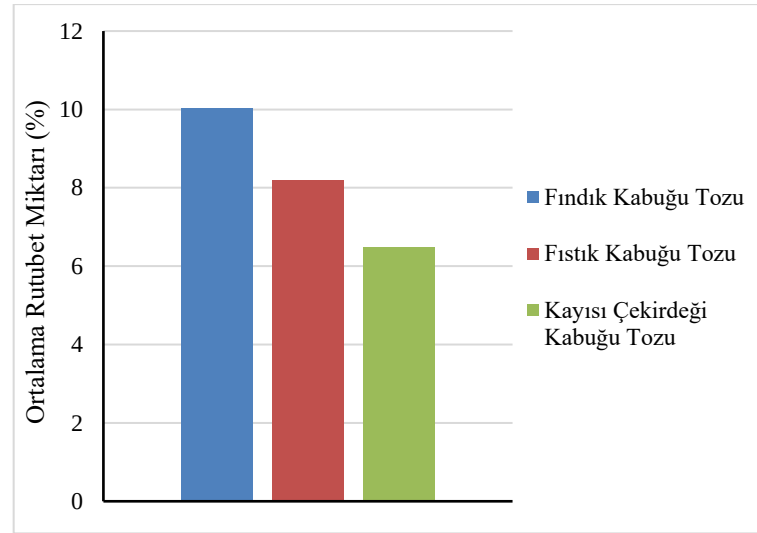
Tablo 4.1 ve Şekil 4.1’e göre selüloz miktarları, düşük orandan yüksek orana göre sıralanacak olursa, en düşük %15,84 ile fındık kabuğu tozundan, daha sonra %21,41 ile fıstık kabuğu tozundan ve en yüksek ise %28,40 ile kayısı çekirdeği kabuğu tozundan elde edildiği görülmektedir. Hemiselüloz açısından %24,12 ile kayısı çekirdeği kabuğu tozu en yüksek içeriğe, %14,31 ile fıstık kabuğu tozu en düşük içeriğe sahiptir. Lignin miktarları açısından da değişim hemiselüloz miktarlarında olduğu gibidir.

4.1.2. Rutubet miktarları

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarına ait rutubet miktarları Tablo 4.2’de, ortalama rutubet miktarı grafiği ise Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının rutubet miktarları

	<i>Boş Kroze Ağırlığı (gr)</i>	<i>Numune Ağırlığı (gr)</i>	<i>Etiv Sonu Kroze+Numune Ağırlığı (gr)</i>	<i>Rutubet Miktarı (%)</i>	<i>Ortalama Rutubet Miktarı (%)</i>	<i>Standart Sapma (±)</i>
Fındık Kabuğu Tozu						
1. Deney	17,8115	3,0021	20,5111	10,07	10,04	0,061
2. Deney	17,6203	3,0017	20,3198	10,08		
3. Deney	18,6866	3,0004	21,3876	9,97		
Fıstık Kabuğu Tozu						
1. Deney	19,3606	3,0023	22,1126	8,33	8,19	0,294
2. Deney	18,8478	3,0053	21,6011	7,86		
3. Deney	17,8743	3,0014	20,6235	8,40		
Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu						
1. Deney	19,2555	3,0002	22,0618	6,46	6,48	0,021
2. Deney	17,6622	3,0009	20,4682	6,49		
3. Deney	19,4365	3,0001	22,2414	6,50		

**Şekil 4.2.** Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ortalama rutubet grafiği

Tozların rutubet miktarı, her bir toza ait üç deney yapılarak hesaplanmıştır. Yapılan üç deneyin ortalaması alınarak ortalama rutubet miktarı belirlenmiştir. Belirlenen rutubet miktarlarına göre nemi bünyesinde tutma kapasitesi en fazla fındık kabuğu tozunun, en az ise kayısı çekirdeği kabuğu tozunun tuttuğu görülmüştür.

4.1.3. Kül miktarları

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları 600 °C'ye ayarlanmış kül fırınında 5 saat bekletilerek kül haline getirilmiştir. Ayrıca bu tozlar 900 °C'ye ayarlanmış kül fırınında 5 saat bekletilerek de kül haline getirilmiştir. Fındık, fıstık ve

kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 600 °C'deki kül miktarları Tablo 4.3'te, 900 °C'deki kül miktarları ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

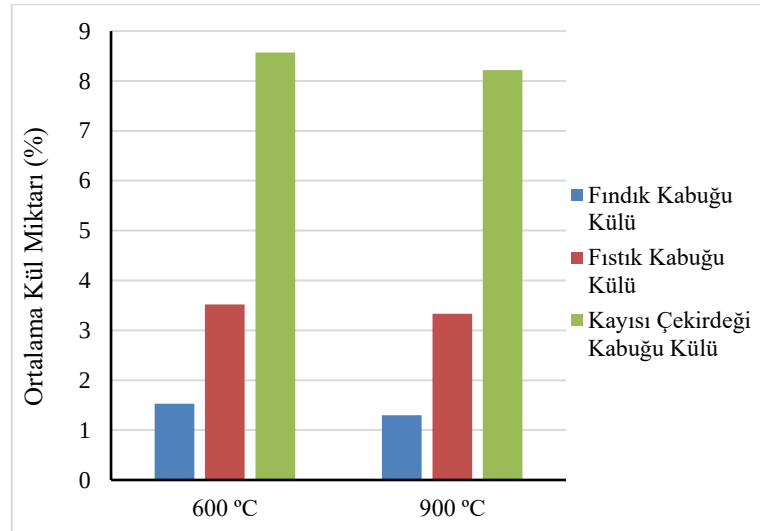
Tablo 4.3. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 600 °C'deki kül miktarları

600 °C Kül	Boş Kroze Ağırlığı (gr)	Numune Ağırlığı (gr)	Kroze +Numune Ağırlığı (gr)	Nem Miktarı (%)	Kül Miktarı (%)	Ortalama Kül Miktarı (%)	Standart Sapma (±)
Fındık Kabuğu							
1. Deney	13,15375	3,0174	13,5152	10,07	1,53	1,53	0,030
2. Deney	13,839	3,0238	13,8512	10,08	1,56		
3. Deney	12,95645	3,0389	12,0222	9,97	1,50		
Fıstık Kabuğu							
1. Deney	11,54675	3,0327	11,6282	8,33	3,56	3,52	0,036
2. Deney	14,18155	3,0097	14,0848	7,86	3,49		
3. Deney	12,498	3,0214	12,5951	8,40	3,51		
Kayısı Çekirdeği Kabuğu							
1. Deney	15,70255	3,0504	10,9464	6,46	8,57	8,57	0,020
2. Deney	17,0363	3,0072	14,3278	6,49	8,59		
3. Deney	14,97835	3,0007	11,2656	6,50	8,55		

Tablo 4.4. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 900 °C'deki kül miktarları

900 °C Kül	Boş Kroze Ağırlığı (gr)	Numune Ağırlığı (gr)	Kroze +Numune Ağırlığı (gr)	Nem Miktarı (%)	Kül Miktarı (%)	Ortalama Kül Miktarı (%)	Standart Sapma (±)
Fındık Kabuğu							
1. Deney	12,8333	3,0895	12,8752	10,07	1,30	1,30	0,025
2. Deney	13,8766	3,0468	13,9120	10,08	1,33		
3. Deney	12,7956	3,0166	13,9730	9,97	1,28		
Fıstık Kabuğu							
1. Deney	11,5665	3,0286	11,6635	8,33	3,38	3,33	0,043
2. Deney	14,2244	3,0863	14,4745	7,86	3,31		
3. Deney	12,7334	3,0034	11,7573	8,40	3,30		
Kayısı Çekirdeği Kabuğu							
1. Deney	17,5466	3,0393	20,9506	6,46	8,29	8,22	0,076
2. Deney	15,9850	3,0366	20,2308	6,49	8,17		
3. Deney	14,8333	3,0067	19,1710	6,50	8,15		

Tozların kül miktarları, her bir küle ait üç deney yapılarak hesaplanmıştır. Yapılan üç deneyin ortalaması alınarak ortalama kül miktarı belirlenmiştir. 600 °C ve 900 °C'deki ortalama kül miktarları Şekil 4.3'te verilmiştir.

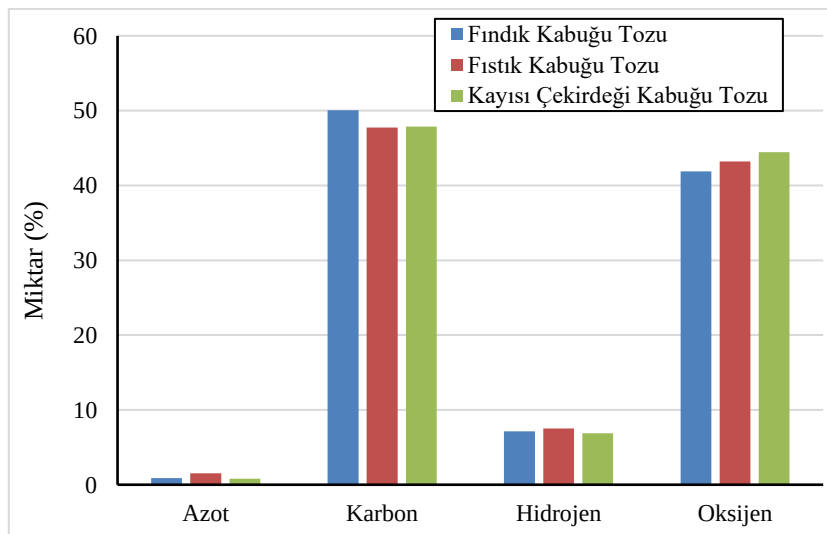


Şekil 4.3. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının 600 °C ve 900 °C'deki ortalama kül grafiği

600 °C'deki kül oranlarına bakıldığında rutubet miktarının aksine en az kül oranı %1,53 ile fındık kabuğu tozundan, en fazla %8,57 ile kayısı çekirdeği kabuğu tozundan elde edilmiştir. Bu durum, kayısı çekirdeği tozu içerisinde yüksek miktarda uçucu olmayan inorganik metallerin olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. 900 °C'deki kül oranlarına bakıldığında ise 600 °C'deki kül oranlarındaki gibi en az kül oranı fındık kabuğu tozundan, en fazla ise kayısı çekirdeği kabuğu tozundan elde edilmiştir. Ancak 900 °C'deki kül oranları 600 °C'dekinden kısmen daha düşük elde edilmiştir.

4.1.4. Element ve ağır metal miktarları

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının elementel analiz sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının element analiz grafiği

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının element analizlerinde, bu tozlara ait yapılarda azot, karbon, hidrojen ve oksijen elementlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Bunlardan karbon ve oksijenin yüzdelik miktarının oldukça büyük yer kapladığı görülmüştür. Yapıda, tüm toz partiküllerin ortalama olarak %48,5'e yakın karbon, %43,5'e yakın oksijen, %7 civarlarında hidrojen ve %1 civarlarında azot içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca fıstık kabuğu tozunun en yüksek azot ve hidrojen içeriğine, fındık kabuğu tozunun en yüksek karbon içeriğine ve kayısı çekirdeği kabuğu tozunun ise en yüksek oksijen içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ve küllerinin ağır metal analiz sonuçlarının belirlenmesinde her numune için 3 adet deney yapılmıştır. Yapılan bu deneylerle numunelerdeki ağır element tipleri ve miktarları belirlenmiştir. Ayrıca 3 deneyin ortalaması alınarak ortalama element miktarları hesaplanmıştır. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile onların 600 °C ve 900 °C'deki küllerine ait ağır metal analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ağır metal miktarları (mg/kg)

	<i>Fındık Kabuğu Tozu</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	1,32	524,70	1404	124,40	16,54	136	20,74	4,76	6,49	0,08	170,50
2. Deney	1,68	545,50	1635	148,10	29,95	157	19,35	5,30	6,35	0,79	178,60
3. Deney	1,58	599,00	1552	118,50	27,52	236	23,57	5,25	6,52	-0,68	166,50
Ortalama	1,52	556,40	1530	130,33	24,67	176	21,22	5,10	6,45	0,06	171,86
	<i>Fıstık Kabuğu Tozu</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	1,38	377,90	1559	151,60	264,9	380	29,84	5,47	4,98	2,99	155,30
2. Deney	1,58	435,30	1692	170,80	308,6	413	34,14	6,32	5,13	1,07	151,90
3. Deney	1,93	461,50	1688	144,40	315,2	467	30,60	7,02	5,68	0,29	153,20
Ortalama	1,63	424,90	1646	155,60	296,2	420	31,52	6,27	5,26	1,45	153,46
	<i>Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	1,74	4640	1379	149,80	661,80	1903	19,95	25,78	9,91	2,02	412,10
2. Deney	1,67	4367	1710	205,50	679,40	1741	13,73	24,53	10,17	2,20	252,10
3. Deney	1,65	4745	1953	214,80	761,40	1890	14,77	27,66	10,95	1,15	218,50
Ortalama	1,69	4584	1680	190,03	700,86	1844	16,15	25,99	10,34	1,79	294,23

Tablo 4.6. 600 °C için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerine ait ağır metal miktarları (mg/kg)

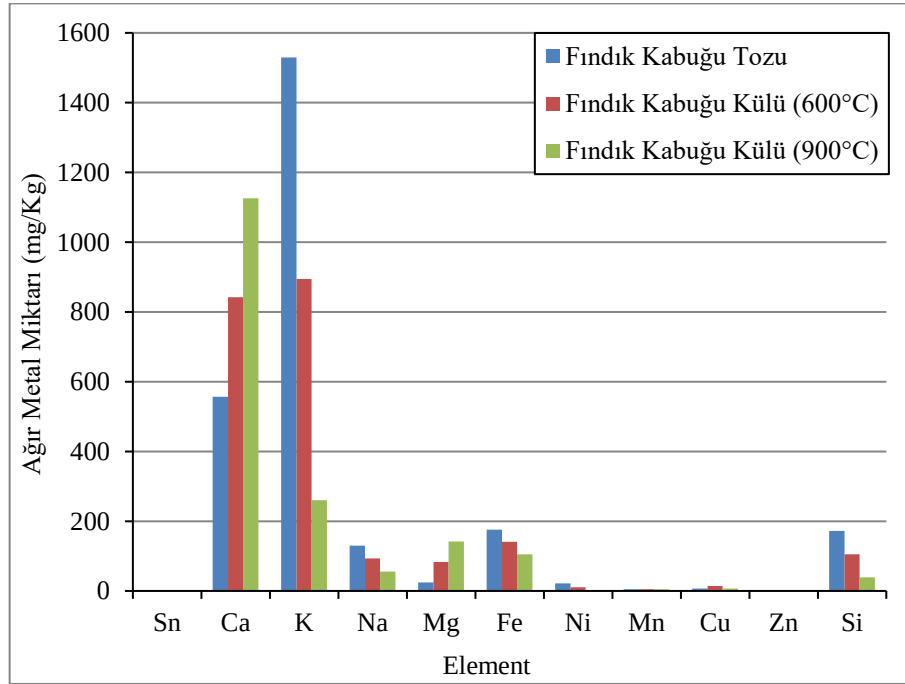
	<i>Fındık Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	0,67	798	813	93,00	68,32	118,65	8,02	4,53	5,85	0,05	106,87
2. Deney	0,86	834	980	103,35	106,32	131,75	10,2	4,80	31,00	0,26	107,80
3. Deney	0,80	894	890	87,55	74,61	172,05	12,6	5,82	5,87	-	101,75
Ortalama	0,77	842	894	93,63	83,08	140,81	10,3	5,05	14,20	0,16	105,47
	<i>Fıstık Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	0,70	827	810	86,82	281,70	360	15,6	5,88	4,63	0,65	89,73
2. Deney	0,86	970	886	98,31	313,90	394	18,5	6,93	5,32	0,01	91,74
3. Deney	0,99	982	885	92,10	317,25	410	16,0	6,90	5,31	-	90,42
Ortalama	0,85	926	860	92,41	304,28	388	16,7	6,57	5,08	0,33	90,63
	<i>Kayısı Çekirdeği Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	0,32	1565	345,12	62,15	440,22	824,60	3,65	22,42	10,50	1,45	48,69
2. Deney	0,38	1486	352,24	65,25	452,18	816,25	4,02	21,99	9,98	1,42	45,74
3. Deney	0,29	1598	354,18	64,78	446,11	818,36	3,61	20,78	10,04	1,38	49,65
Ortalama	0,33	1549	350,51	64,06	446,17	819,73	3,76	21,73	10,17	1,41	48,02

Tablo 4.7. 900 °C için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerine ait ağır metal miktarları (mg/kg)

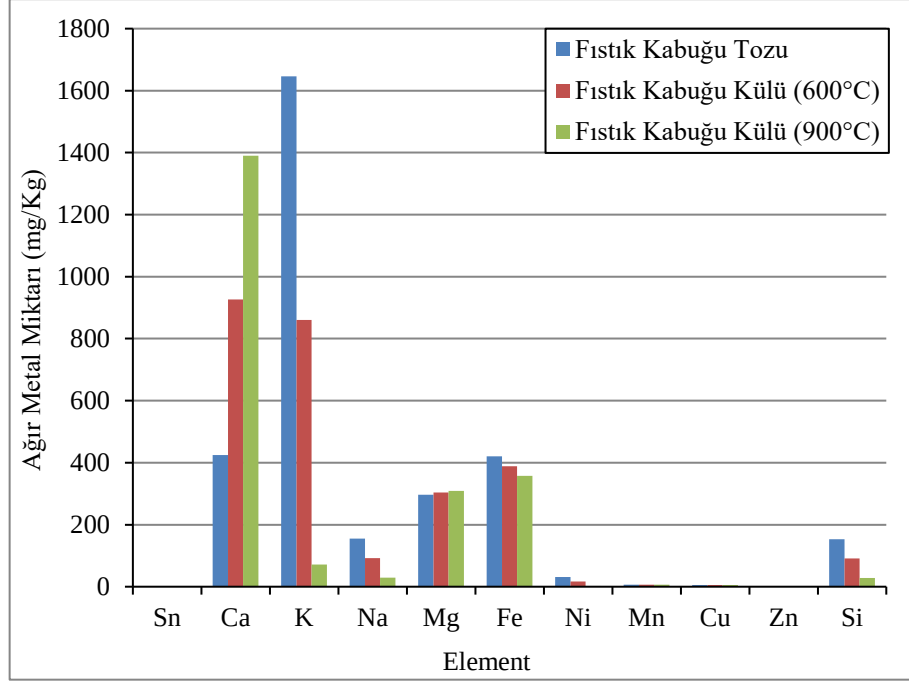
	<i>Fındık Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	-	1121	324,60	56,66	119,70	106,50	1,07	4,31	5,70	-	36,99
2. Deney	-	1187	228,30	49,22	184,50	108,10	1,73	6,40	8,50	-	36,26
3. Deney	-	1071	223,61	61,60	120,10	101,30	1,30	4,30	5,22	-	43,24
Ortalama	-	1126	260,10	55,80	141,45	105,30	1,36	5,00	6,47	-	38,84
	<i>Fıstık Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	0,13	1501	81,42	25,82	319,30	376,10	2,97	7,55	5,50	-	31,59
2. Deney	0,05	1394	70,16	39,80	307,90	354,90	1,45	6,79	4,95	-	27,64
3. Deney	0,03	1277	62,58	22,05	298,50	340,40	1,39	6,30	4,28	-	24,16
Ortalama	0,07	1390	71,38	29,22	308,56	357,13	1,93	6,88	4,91	-	27,80
	<i>Kayısı Çekirdeği Kabuğu Külü</i>										
	Sn	Ca	K	Na	Mg	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	Si
1. Deney	0,19	1887	238,00	38,52	345,20	590,40	2,14	15,81	7,80	1,16	36,37
2. Deney	0,21	1894	261,60	35,66	344,60	595,10	2,02	15,93	6,68	1,11	36,38
3. Deney	0,19	1468	250,03	36,53	411,80	604,80	2,81	20,83	11,57	1,28	36,42
Ortalama	0,20	1583	249,87	36,90	367,20	596,66	2,32	17,52	8,68	1,18	36,39

Tablolar incelendiğinde, fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğunda Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn ve Si ağır metal elementlerine rastlandığı ve bunların miktarlarında takviye cinsine bağlı olarak farklılıklar olduğu analiz edilmiştir. Bu analizleri daha iyi yorumlayabilmek için tablolarda verilen değerleri grafiksel olarak incelemek daha uygun olacaktır. Fındık kabuğu tozu ile küllerine, fıstık kabuğu tozu ile küllerine, kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile küllerine ve fındık, fıstık, kayısı çekirdeği kabuğu tozlarına ait ağır metal analiz grafikleri sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Şekil 4.5 incelendiğinde, fındık kabuğu tozu ve küllerinde Ca, K, Na, Mg, Fe ve Si ağır element miktarlarının Sn, Ni, Mn, Cu ve Zn ağır element miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Fındık kabuğu tozu, kül haline getirildiğinde, içerisinde bulunan Ca ve Mg miktarlarının arttığı görülmüştür. Bu artış, kül etme sıcaklığının artmasıyla devam etmiştir. Ancak Ca ve Mg ağır elementlerinin aksine Sn, K, Na, Fe, Ni ve Si ağır elementlerindeki miktar, kül etme işlemiyle düşmüştür.

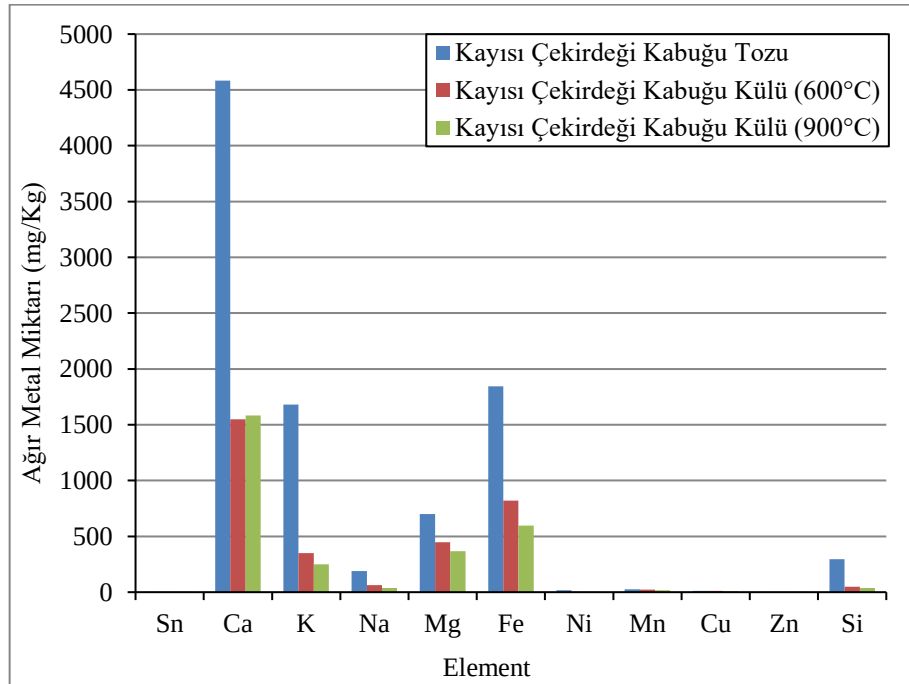


Şekil 4.5. Fındık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C’deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği



Şekil 4.6. Fıstık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği

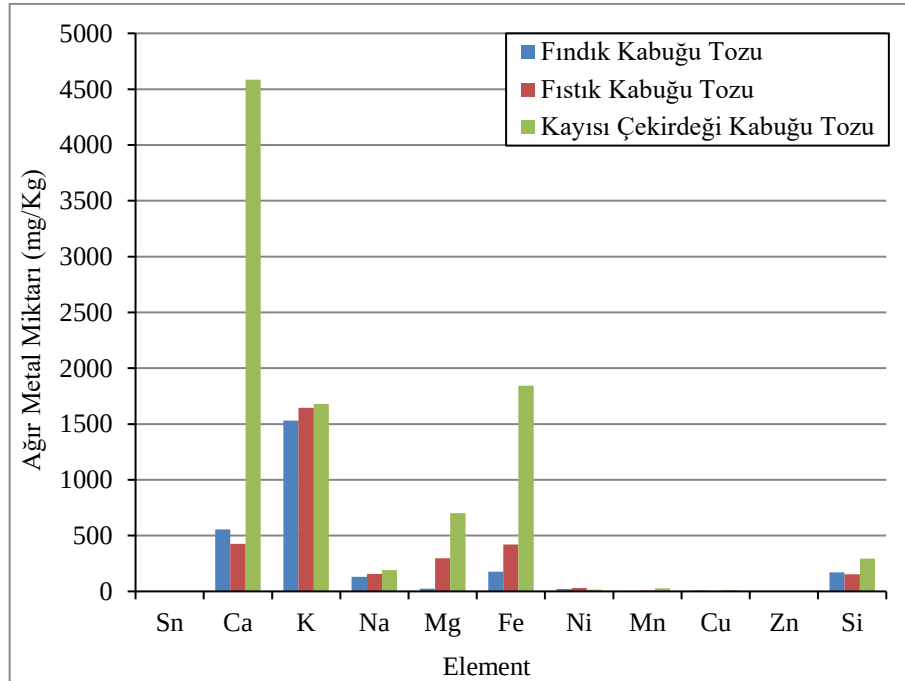
Şekil 4.6 incelendiğinde, fındık kabuğu tozu ve küllerindeki gibi fındık kabuğu tozu ve küllerinde de Ca, K, Na, Mg, Fe ve Si ağır element miktarlarının Sn, Ni, Mn, Cu ve Zn ağır element miktarlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Fındık kabuğu tozu, kül haline getirildiğinde, fındık kabuğu tozunda olduğu gibi Ca ve Mg miktarlarının aksine Sn, K, Na, Fe, Ni ve Si miktarları azalmıştır.



Şekil 4.7. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C'deki küllerinin ortalama ağır metal miktarı grafiği

Şekil 4.7 incelendiğinde, diğer doğal partikül tozlarında olduğu gibi kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve küllerinde de ağır metal cinsleri ve miktarları benzer eğilim sergilemiştir. Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de kül haline getirilmiş doğal partiküllerde Na, Ni ve Si’nin uçucu formda olduğu, kayısı çekirdeği kabuğu tozunda bulunan bu uçucu formdaki elementlerin diğer partiküllerden daha belirgin davranış sergilediği söylenebilir. Ayrıca tüm doğal partikül tozlarda bulunan Fe, Mg ve Si gibi bazı ağır metal elementlerin oksit oluşturma özelliği bulunmaktadır. Bu partikül tozların kül haline getirilmesi ile ağır metal elementlerinin dış yüzeylerinin oksit ile kaplandığı ve bu yüzden ağırlık miktarlarında düşüş olduğu düşünülmektedir.

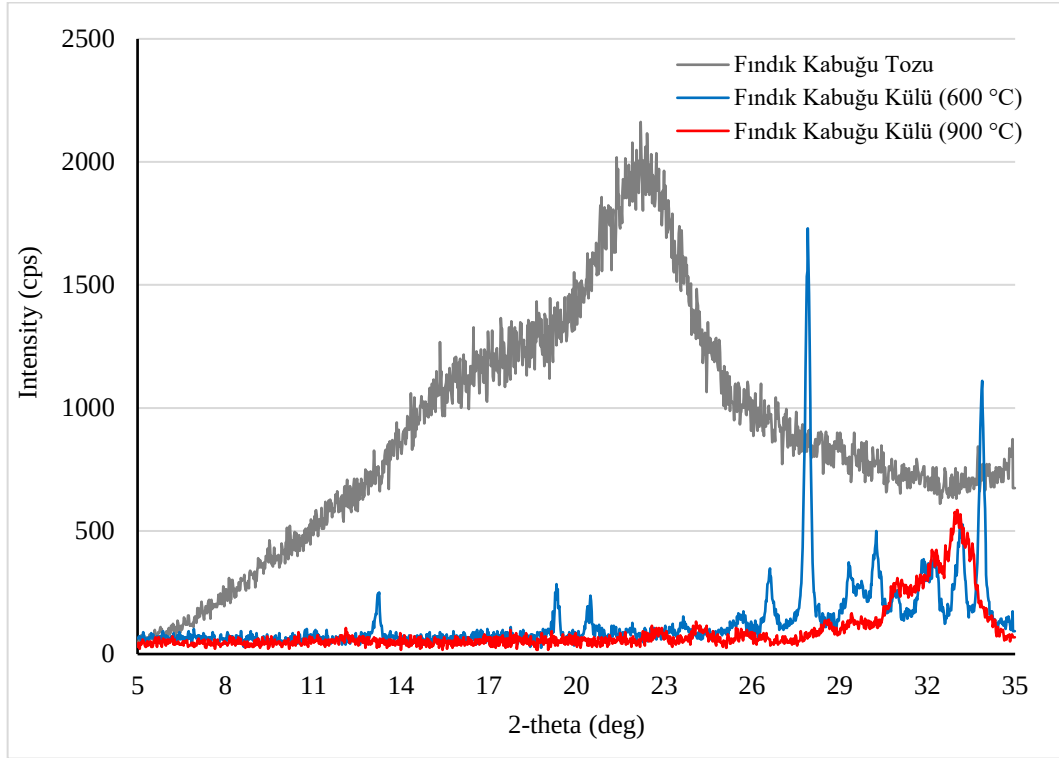
Şekil 4.8 incelendiğinde ise kayısı çekirdeği kabuğunda bulunan tüm ağır element miktarlarının genel olarak fındık ve fıstık kabuğu tozlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle Ca, Mg ve Fe elementleri kayısı çekirdeği kabuğu tozunda diğer doğal partiküllere nazaran çok daha fazla tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonlarda toksin nitelikte olduğu bilinen Mn, Sn, Ni ve Cu gibi elementlerin miktarlarında ise ciddi düzeyde düşme belirlenmiş olup, bazı numunelerde düşüş ölçülebilecek konsantrasyonun altındadır.



Şekil 4.8. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının ortalama ağır metal miktarı grafiği

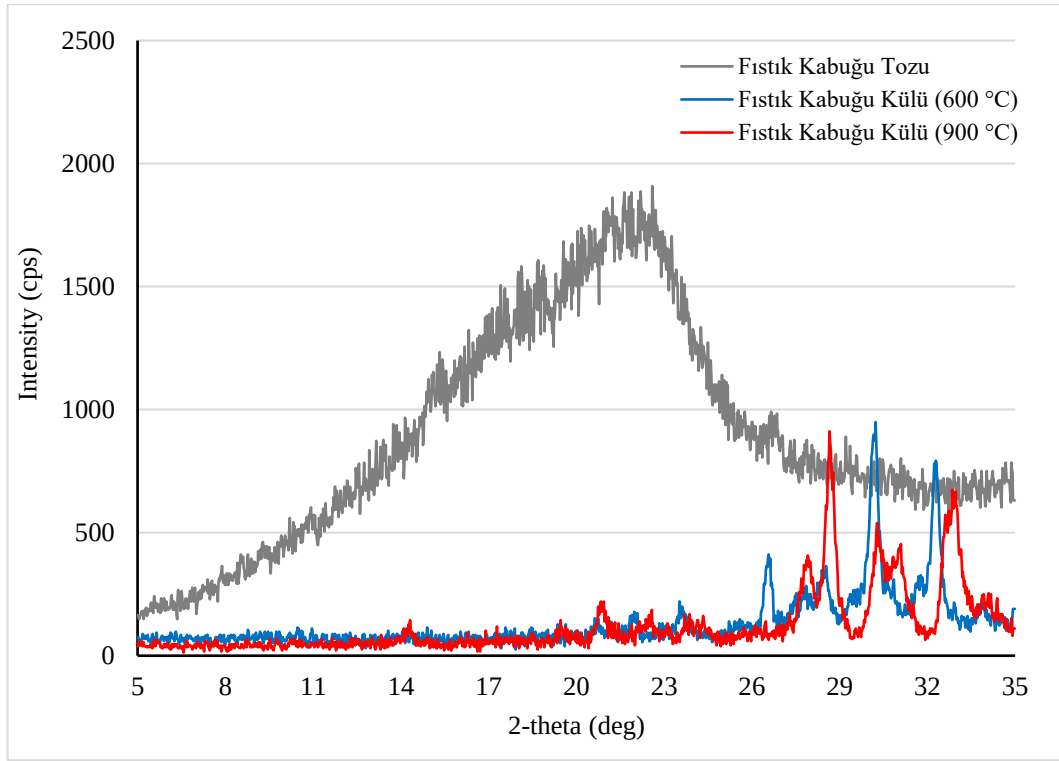
4.1.5. XRD analiz sonuçları

Fındık kabuğu tozu ve küllerinin, fıstık kabuğu tozu ve küllerinin, kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve küllerinin XRD analiz grafikleri sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

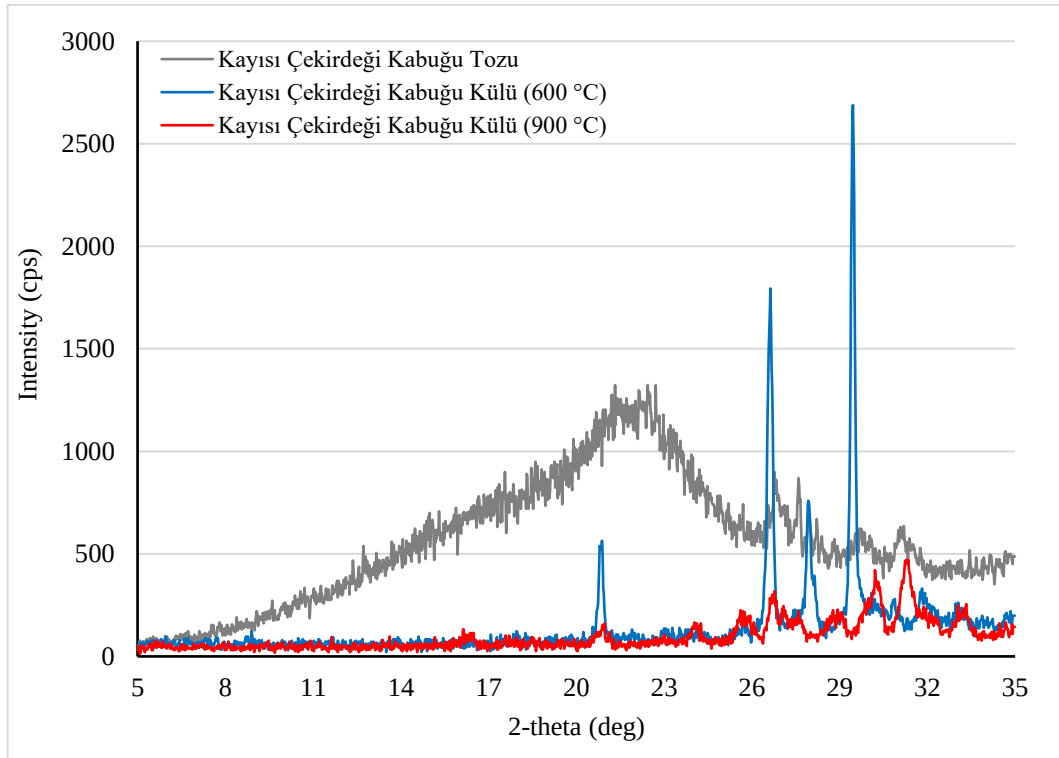


Şekil 4.9. Fındık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C’deki küllerinin XRD analiz grafiği

Şekil 4.9’da fındık kabuğu tozunun 2θ , 23.06° ’de bir pik oluşturduğu gözlemlenmiştir. 600 °C’deki fındık kabuğu külü 2θ , 13.21° , 19.30° , 20.46° , 26.58° , 29.30° , 30.20° , 32.23° , 33.16° ve 33.86° ’lerde pikler oluşturmuştur. 900 °C’deki fındık kabuğu külü ise 2θ , 33.31° ’de pik oluşturmuştur.



Şekil 4.10. Fıstık kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C’deki küllerinin XRD analiz grafiği



Şekil 4.11. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile 600 °C ve 900 °C’deki küllerinin XRD analiz grafiği

Şekil 4.10’da fıstık kabuğu tozunun 2θ , 22.45° ’de, 600 °C’deki fıstık kabuğu külünün 2θ , 26.500° , 28.51° , 30.166° , 31.68° , 32.260° ’lerde ve 900 °C’deki fıstık kabuğu külünün ise 2θ , 20.78° , 24.1° , 27.86° , 28.638° , 30.31° , 32.63° ’lerde pikler

oluşturduğu görülmüştür. Şekil 4.11’de ise kayısı çekirdeği kabuğu tozunun 20, 22.59°, 26.74°’lerde, 600 °C’deki kayısı çekirdeği kabuğu külünün 20, 20.874°, 26.623°, 27.907°, 29.449° ve 900 °C’deki kayısı çekirdeği kabuğu külünün ise 20, 25.67°, 26.65°, 29.05°, 30.338°, 31.26°, 33.25°’lerde pikler oluşturduğu görülmüştür.

XRD spektrumları göz önüne alındığında; fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarında gözlenen pik yeşil bitkilerin hücre duvar yapısının en önemli bileşenlerinden olan selüloze (tip I polimorf) ait olduğu belirtilmektedir (Lopes ve ark., 2012; Khodadadi ve ark., 2017). Doğal partikül tozlarının farklı sıcaklıklarda kül edilmesiyle her bir numunede ciddi farklılaşma olduğu gözlemlenmiş ve selüloza ait pikler kaybolmuştur. Bu değişikliklerin sebebinin yüksek sıcaklıkta selüloz yapısındaki parçalanma sonrası kalan kimyasal gruplardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

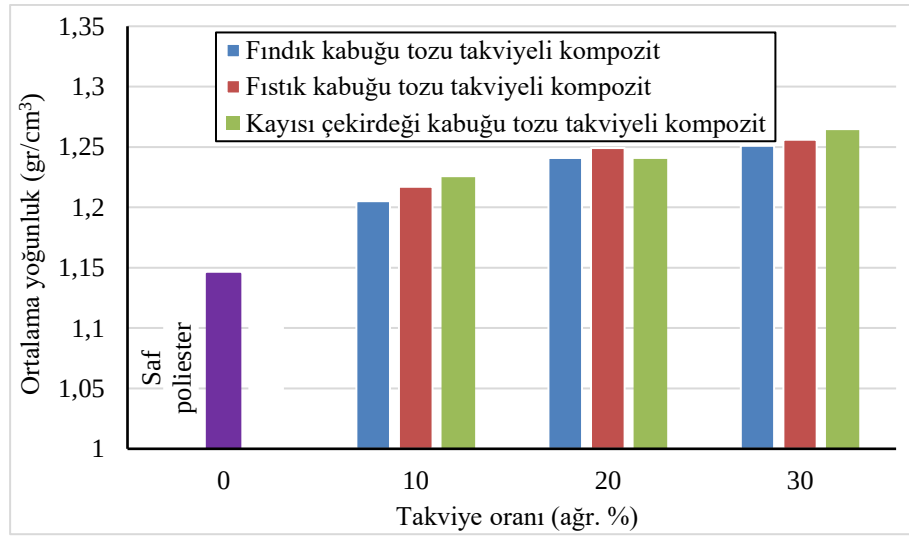
4.2.1. Yoğunluk

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin karakteristik özelliklerini bir araya getirerek daha üstün özellikli bir malzeme üretmek için kullanıldıkları için bu malzemelerin özellikleri, geleneksel malzemelere göre farklılıklar göstermektedir. Yoğunluk, bunlardan biridir ve malzemenin birim hacimdeki madde miktarını belirler. Bu yüzden bir malzemeyi oluşturan tüm bileşenlerin kütleli ağırlığı yoğunluk için önem arz etmektedir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ve külleri ile üretilen kompozitlerin yoğunlukları (ρ) denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozunun farklı malzeme cinsi, takviye oranı, tane boyutu için elde edilen yoğunluk (ρ) değerleri Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8’de, malzeme cinsi ve takviye oranının yoğunluk üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Ancak tane boyutu, yoğunluk üzerinde bir etki oluşturmamıştır. Bu durum beklenen bir durumdur. Bu yüzden, her üç tane boyutu ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerlerinin ortalaması alınarak ihmal edilen tane boyutuna bağlı ortalama yoğunluk (ρ_{ort}) değeri de hesaplanmıştır. Takviye oranına ve cinsine bağlı yoğunluk değişiminin daha iyi okunabilmesi için Tablo 4.8’de verilen ortalama yoğunluk değerleri (ρ_{ort}) grafik haline dönüştürülmüştür (Şekil 4.12).

Tablo 4.8. Saf poliestere ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri

Malzeme	Takviye Oranı (ağr. %)	Tane Boyutu (μm)	Yoğunluk- ρ (gr/cm^3)	Ortalama Yoğunluk- ρ_{ort} (gr/cm^3)
Saf poliestere	0	-	1,145	1,145
Fındık kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	1,205	1,205
		300-600	1,205	
		600-850	1,206	
	20	0-300	1,242	1,241
		300-600	1,238	
		600-850	1,242	
	30	0-300	1,250	1,251
		300-600	1,249	
		600-850	1,254	
Fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	1,218	1,217
		300-600	1,216	
		600-850	1,216	
	20	0-300	1,250	1,249
		300-600	1,247	
		600-850	1,249	
	30	0-300	1,254	1,256
		300-600	1,256	
		600-850	1,258	
Kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	1,225	1,225
		300-600	1,226	
		600-850	1,224	
	20	0-300	1,241	1,240
		300-600	1,238	
		600-850	1,241	
	30	0-300	1,264	1,264
		300-600	1,263	
		600-850	1,265	

**Şekil 4.12.** Saf poliestere ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin yoğunluk grafiği

Şekil 4.12’de, saf poliestere fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğuna ait doğal toz partiküllerinin ilave edilmesi ile üretilen kompozitlerin yoğunluklarının arttığı görülmüştür. Väisänen ve ark., (2016) poliester malzeme yoğunluklarının 1,04 gr/cm³ ile 1,46 gr/cm³ arasında, Dittenber ve GangaRao, (2012) ve Udhayasankar ve ark., (2015) ise bazı doğal fiberler yoğunluklarının 1 gr/cm³ ile 1,6 gr/cm³ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Yaptığımız çalışmada, saf poliester yoğunluğunun 1,145 gr/cm³ olduğu ve bu poliester malzemeye doğal takviye elemanının ilavesi ile yoğunluk değerinin 1,264 gr/cm³’e çıktığı görülmüştür. Bu durum, takviye elemanlarına ait yoğunluk değerinin saf poliesterin yoğunluğundan fazla olmasındandır. Kompozitler arasında en düşük yoğunluğa sahip olanı, fındık kabuğu tozu ile üretilenidir. Bunu sırasıyla fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu olanları takip etmiştir. Doğal partikül tozlarına ait ağır element miktarlarının yoğunluk üzerinde önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir.

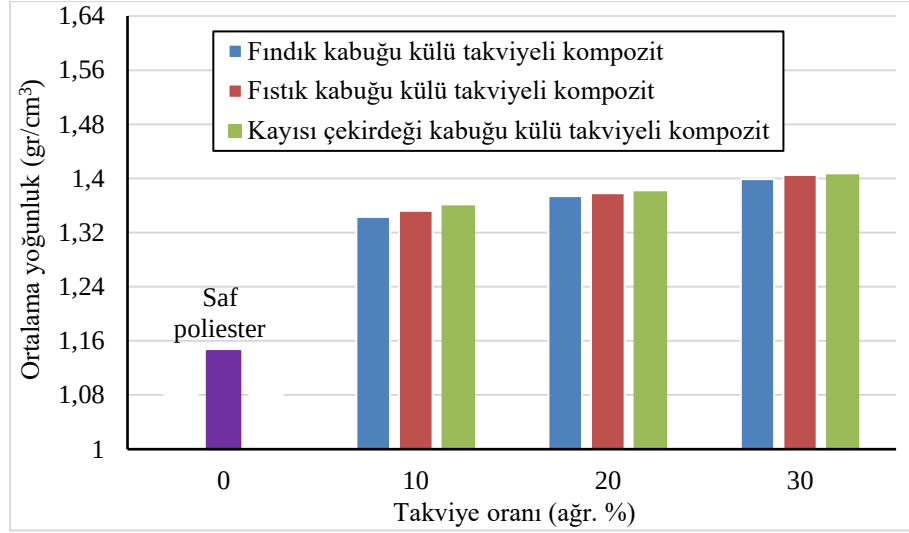
Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerinin farklı kül etme sıcaklığı ve takviye oranı için elde edilen yoğunluk (ρ) değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri

Malzeme	Takviye Oranı (ağr. %)	Kül Etme Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk- ρ (gr/cm ³)	Ortalama Yoğunluk- ρ_{ort} (gr/cm ³)
Saf poliester	0	-	1,145	1,145
Fındık kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	1,338	1,343
		900	1,347	
	20	600	1,372	1,374
		900	1,376	
	30	600	1,397	1,399
		900	1,401	
Fıstık kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	1,350	1,352
		900	1,354	
	20	600	1,374	1,378
		900	1,382	
	30	600	1,404	1,405
		900	1,405	
Kayısı çekirdeği kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	1,351	1,360
		900	1,369	
	20	600	1,378	1,381
		900	1,384	
	30	600	1,405	1,406
		900	1,407	

Tablo 4.9’da takviye oranının yoğunluk üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Ancak takviye cinsi ve kül etme sıcaklığının yoğunluk üzerinde pek fazla bir etkisi olmamıştır. Bu yüzden, fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu külleri

ile üretilen kompozitlerin yoğunluklarında, kül etme sıcaklıkları ihmal edilerek her iki kül etme sıcaklığı ile üretilen kompozitlerin ortalama yoğunluk (ρ_{ort}) değerleri hesaplanmıştır. Doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin takviye oranına ve cinsine bağlı ortalama yoğunluk (ρ_{ort}) değişim grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Saf poliester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin yoğunluk grafiği

Doğal partikül küllerinin matris malzemesine eklenmesiyle elde edilen kompozitlerin yoğunluk değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu artış matris malzemesinin takviye elemanı cinslerinden daha düşük yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca takviye elemanlarındaki Fe, Si ve Zn gibi ağır metallerin varlığı, kompozitin yoğunluğunun artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

4.2.2. Isı iletkenlik Özellikleri

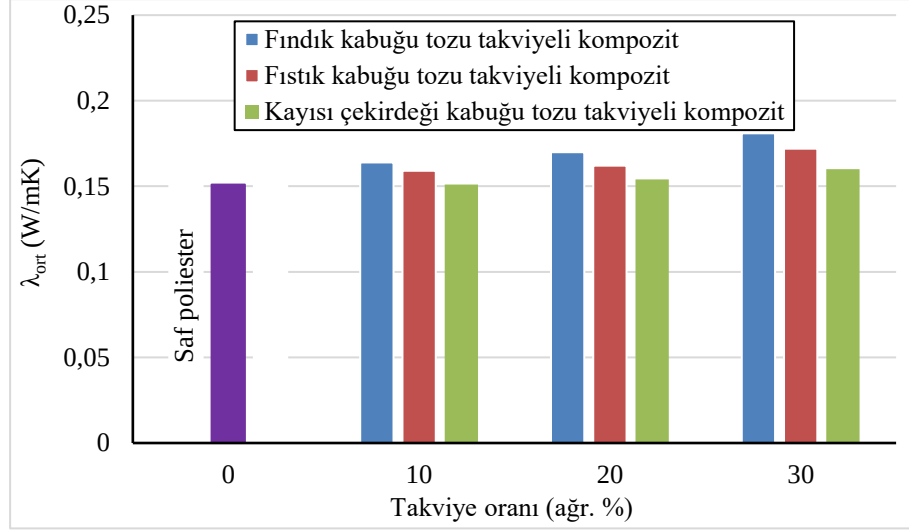
Yoğunluk gibi ısı iletkenlik özellikleri de malzemenin karakteristik özelliklerindendir. Bu özellik, kompoziti oluşturan bileşenlere bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. ISOMET model API 2104 seri numaralı ısı transfer analizörü ile ölçülen doğal partikül tozlarına ait ısı iletim katsayısı (λ), özgül ısı (c_p) ve termal yayılma (α) gibi ısı iletkenlik özellikleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10'da malzeme cinsi ve takviye oranının yoğunluk değerlerinde olduğu gibi ısı iletkenlik özelliklerinde de önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Düşük (0-300 μm) ve orta tane boyutlarına (300-600 μm) sahip kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri (ısı iletim katsayısı ve termal yayılma) genellikle birbirine yakın olarak elde

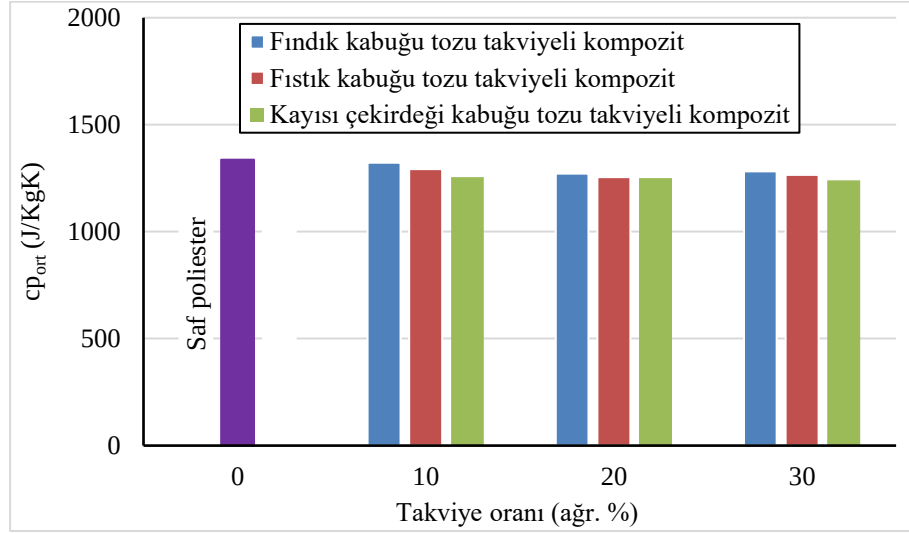
edilmesine rağmen, yüksek tane boyutuna (600-850 μm) sahip kompozitlerinki saf poliesterinkine yaklaşmıştır. Ancak özgül ısı hesaplamasında, bu durum kısmen farklılık göstermiştir. Her ne kadar bu farklılıklar görülse de her üç tane boyutu ile üretilen kompozitlerin ortalaması alınarak, ortalama ısı iletkenlik özellikleri de Tablo 4.10'da verilmiştir ve ortalama ısı iletkenlik özelliklerinin grafikleri çizilmiştir. Ortalama ısı iletim katsayısı (λ_{ort}), ortalama özgül ısı ($c_{p_{\text{ort}}}$) ve ortalama termal yayılma (α_{ort}) grafikleri sırasıyla Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri

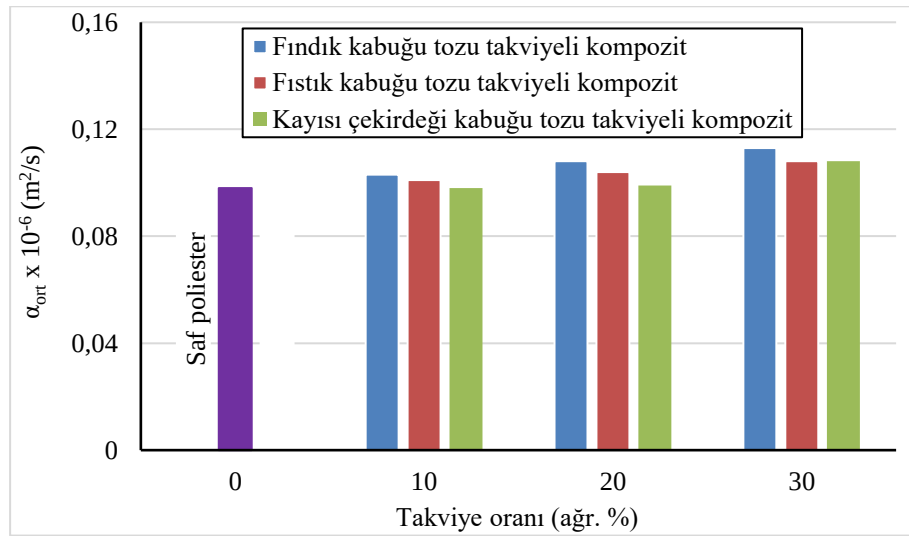
Malzeme	Takviye Oranı (ağr. %)	Tane Boyutu (μm)	λ (W/mK)	λ_{ort} (W/mK)	cp (J/kgK)	$c_{p_{\text{ort}}}$ (J/kgK)	α (m^2/s) $\times 10^{-6}$	α_{ort} (m^2/s) $\times 10^{-6}$
Saf poliester	0	-	0,151	0,151	1336,34	1336,34	0,098	0,098
Fındık kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	0,167	0,164	1344,59	1322,15	0,104	0,103
		300-600	0,168		1311,69		0,106	
		600-850	0,158		1310,18		0,100	
	20	0-300	0,175	0,170	1296,23	1270,96	0,109	0,108
		300-600	0,173		1268,27		0,110	
		600-850	0,163		1248,37		0,105	
	30	0-300	0,189	0,181	1295,74	1281,69	0,117	0,113
		300-600	0,184		1288,87		0,114	
		600-850	0,171		1260,45		0,109	
Fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	0,160	0,159	1296,71	1292,75	0,101	0,101
		300-600	0,159		1290,60		0,102	
		600-850	0,158		1290,93		0,101	
	20	0-300	0,163	0,162	1271,70	1254,63	0,103	0,104
		300-600	0,165		1243,12		0,106	
		600-850	0,158		1249,07		0,102	
	30	0-300	0,174	0,172	1275,75	1265,90	0,109	0,108
		300-600	0,176		1266,00		0,111	
		600-850	0,165		1255,97		0,105	
Kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozit	10	0-300	0,154	0,151	1265,74	1254,56	0,100	0,098
		300-600	0,152		1264,66		0,098	
		600-850	0,146		1233,29		0,096	
	20	0-300	0,154	0,154	1249,45	1250,21	0,100	0,099
		300-600	0,156		1260,03		0,100	
		600-850	0,151		1241,16		0,098	
	30	0-300	0,159	0,160	1234,07	1239,32	0,120	0,108
		300-600	0,161		1242,61		0,103	
		600-850	0,160		1241,28		0,102	



Şekil 4.14. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin λ_{ort} grafiği



Şekil 4.15. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin $c_{p,ort}$ grafiği



Şekil 4.16. Saf poliester ve doğal partikül tozları ile üretilen kompozitlerin α_{ort} grafiği

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ilaveli kompozitler arasında, ortalama ısı iletim katsayısı (λ_{ort}) poliester malzemesine en yakın olanı, kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozittir. Bunu, sırasıyla fıstık ve fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitler takip etmiştir. Takviye oranının artması, ortalama ısı iletim katsayısını (λ_{ort}) arttırmıştır. En yüksek ortalama ısı iletim katsayısı (λ_{ort}), %30 fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitten elde edilmiştir. En düşük ise %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitten ölçülmüştür. Bu değer saf poliester matris malzemesininki ile aynıdır.

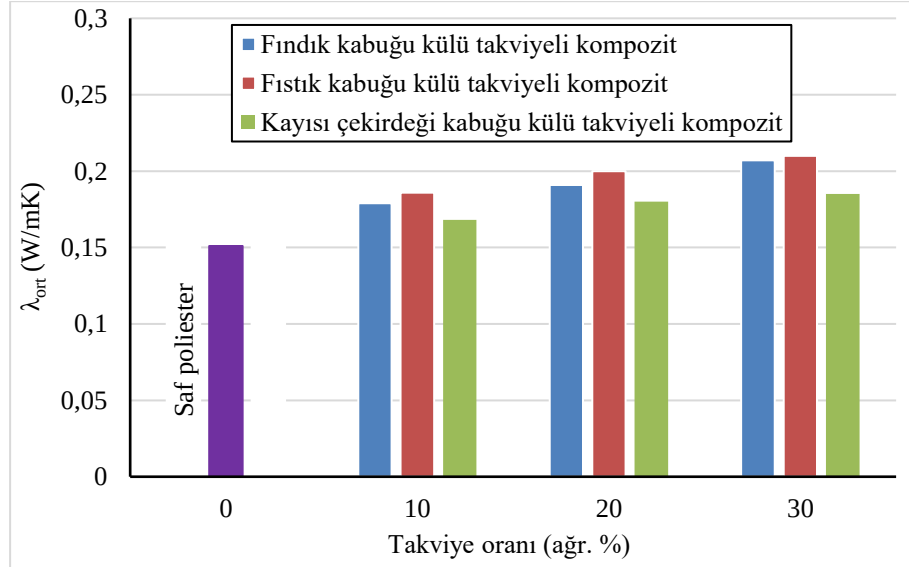
Şekil 4.15'teki grafik incelendiğinde, poliestere doğal partikül tozu eklenmesi, ortalama özgül ısı (cp_{ort}) değerini düşürmüştür. Bu düşüş takviye oranının artması ile devam etmiştir. Özgül ısı (cp) değerinin elde edilmesinde, malzemenin yoğunluğu (ρ) da hesaplama katıldığı için bu düşüş doğaldır. Saf poliesterin özgül ısı (cp) değerine en yakın olan kompozit, %10 fındık kabuğu tozu takviyeli kompozittir.

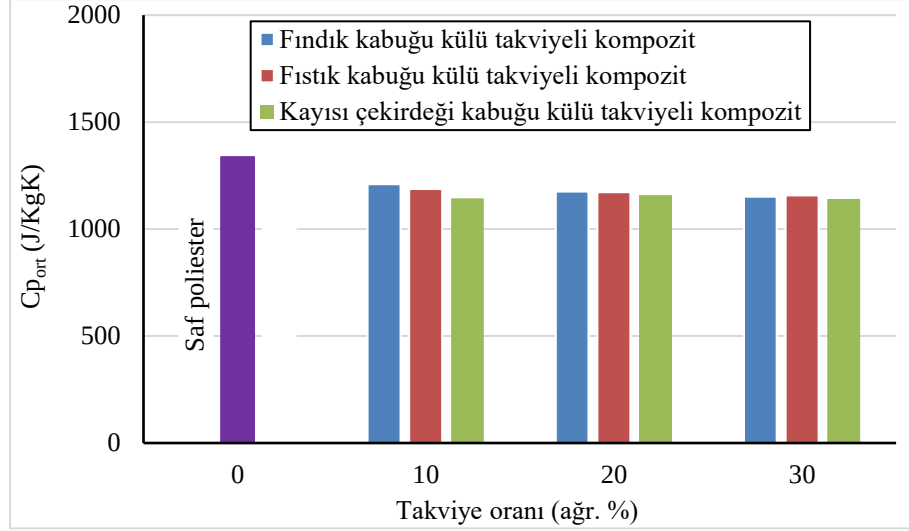
Şekil 4.16'daki ortalama termal yayılma (α_{ort}) grafiklerine bakıldığında, fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin sütun grafikleri, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilen ortalama ısı iletim katsayısı (λ_{ort}) ve ortalama özgül ısı (cp_{ort}) sütun grafiklerine benzer olarak elde edilmiştir.

Doğal partikül küllerinin ısı iletim katsayısı (λ), özgül ısı (cp) ve termal yayılma (α) gibi ısı iletkenlik özellikleri Tablo 4.11'de verilmiştir. Fındık ve fıstık külü takviyeli kompozitlerde, doğal partiküllere ait tozların kül etme sıcaklığı arttıkça, ısı iletim katsayısının (λ) ve termal yayılmanın (α) düştüğü görülmüştür. Ancak kayısı kabuğu çekirdeği külü takviyeli kompozitlerde, kül etme sıcaklığına bağlı ısı iletim katsayısında (λ) ve termal yayılma (α) değerinde pek fazla değişme olmamıştır. Tablo 4.11'de, ihmal edilen kül etme sıcaklığına bağlı ortalama ısı iletkenlik katsayısı (λ_{ort}), ortalama özgül ısı (cp_{ort}) ve ortalama termal yayılma (α_{ort}) değerleri de verilmiştir ve bu değerlere ait grafikler ise sırasıyla Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir.

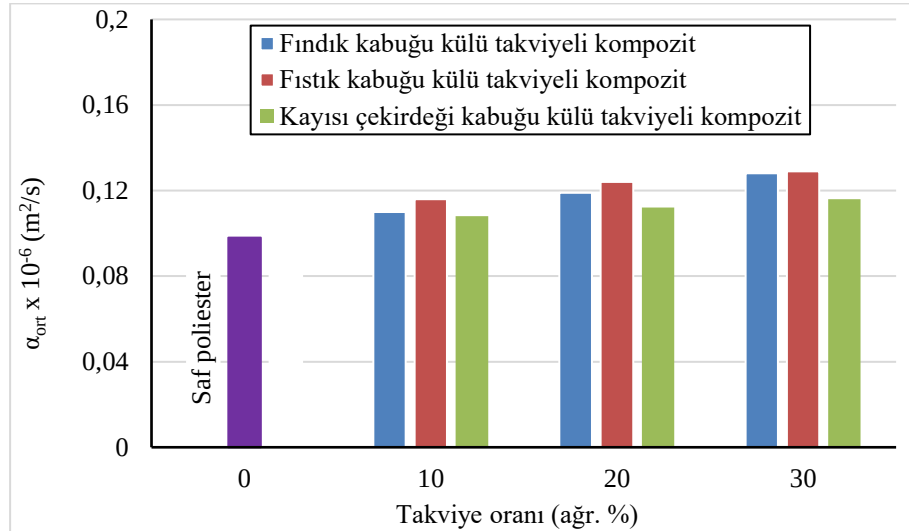
Tablo 4.11. Saf poliestere ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin ısı iletkenlik özellikleri

Malzeme	Takviye Oranı (ağr. %)	Kül Etme Sıcaklığı (°)	λ (W/mK)	λ_{ort} (W/mK)	cp (J/kgK)	cp _{ort} (J/kgK)	α (m ² /s) x 10 ⁻⁶	α_{ort} (m ² /s) x 10 ⁻⁶
Saf poliestere	0	-	0,151	0,151	1336,34	1336,34	0,098	0,098
Fındık kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	0,186	0,179	1210,57	1210,16	0,115	0,110
		900	0,171		1209,72		0,105	
	20	600	0,207	0,191	1180,36	1175,09	0,128	0,119
		900	0,175		1169,81		0,109	
	30	600	0,233	0,207	1159,92	1150,97	0,144	0,128
		900	0,180		1142,02		0,112	
Fıstık kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	0,202	0,186	1199,88	1186,88	0,125	0,116
		900	0,169		1173,87		0,106	
	20	600	0,230	0,200	1185,93	1171,94	0,141	0,124
		900	0,170		1157,95		0,106	
	30	600	0,246	0,210	1154,22	1157,01	0,152	0,129
		900	0,173		1159,79		0,106	
Kayısı çekirdeği kabuğu küllü takviyeli kompozit	10	600	0,166	0,168	1146,97	1143,43	0,107	0,108
		900	0,169		1139,88		0,108	
	20	600	0,177	0,180	1160,73	1158,51	0,110	0,112
		900	0,183		1156,28		0,114	
	30	600	0,184	0,185	1131,55	1141,38	0,116	0,116
		900	0,186		1151,21		0,115	

**Şekil 4.17.** Saf poliestere ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin λ_{ort} grafiği



Şekil 4.18. Saf poliestester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin $c_{p_{ort}}$ grafiği



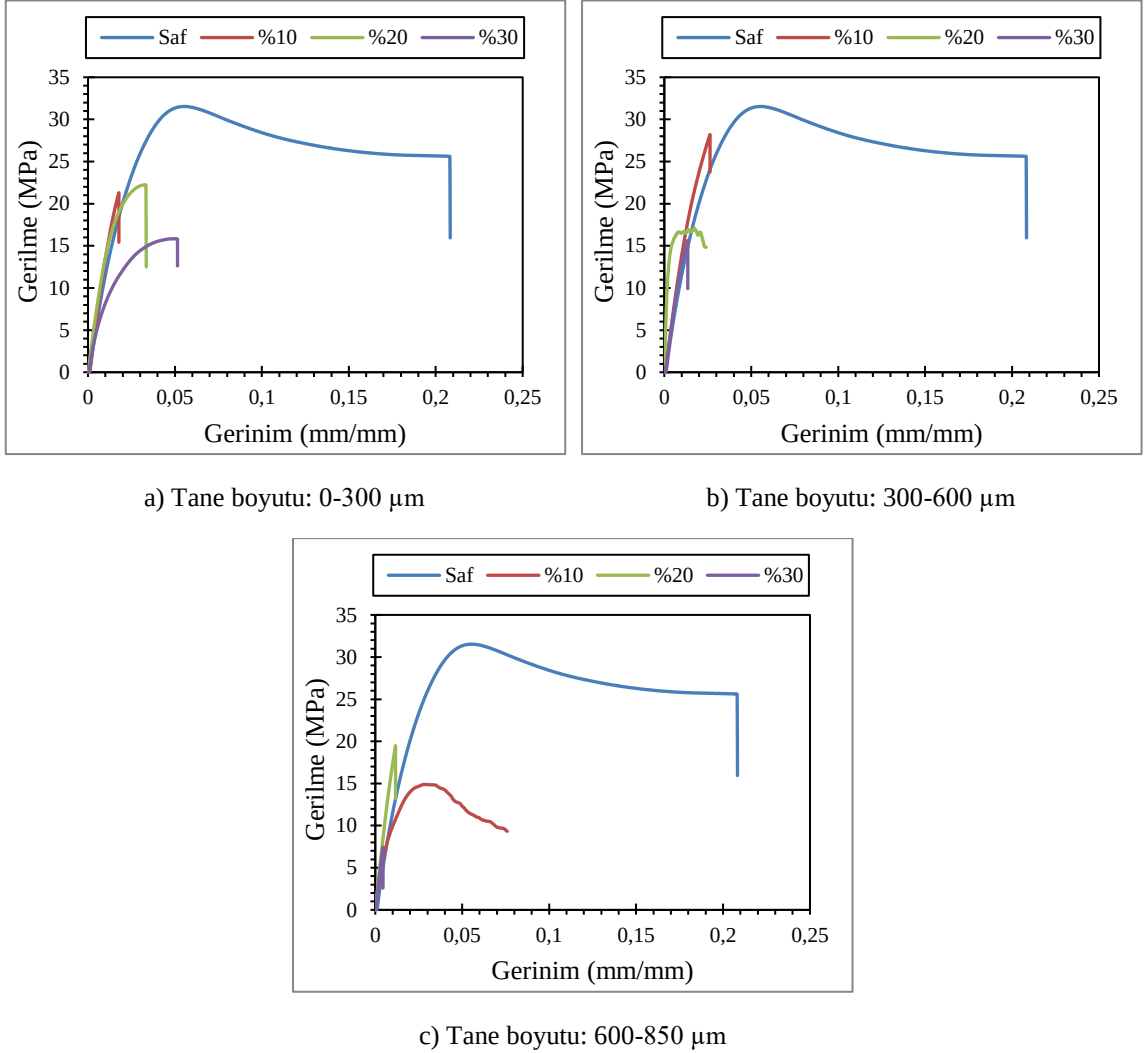
Şekil 4.19. Saf poliestester ve doğal partikül külleri ile üretilen kompozitlerin α_{ort} grafiği

Matris malzemesine, doğal partikül toz ve kül ilavesinin eklenmesiyle elde edilen kompozitin ısı iletim katsayısının arttığı görülmüştür. Bu artış, matris malzemesinin takviye elemanı cinslerinden daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, doğal takviye elemanlarında bulunan Cu gibi metallerin varlığı, kompozitin ısı iletim katsayısının artmasında önemli bir rol oynamaktadır.

4.2.3. Çekme dayanımı

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külleriyle üretilen kompozitlerin çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bu kompozitlerin çekme

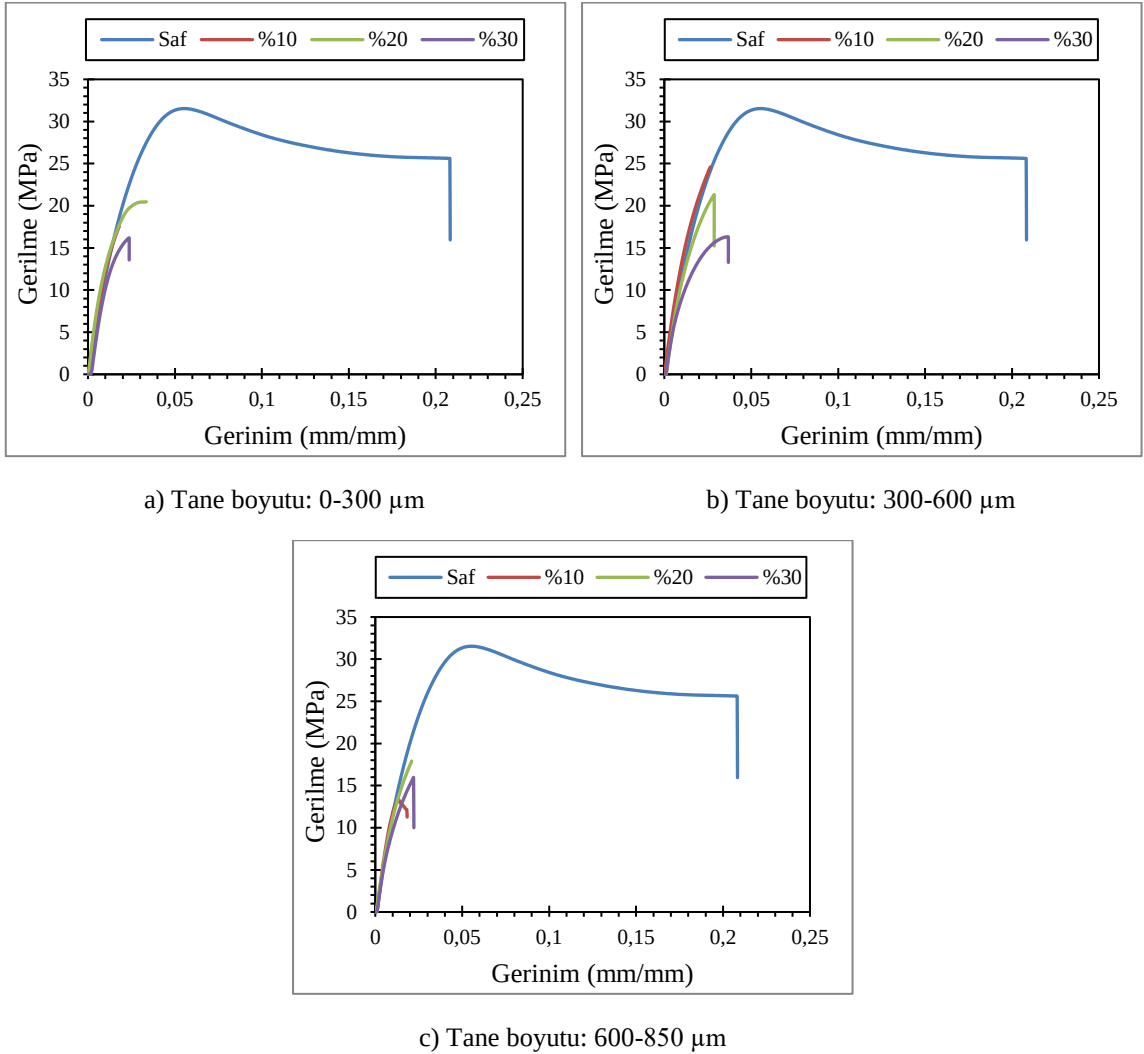
dayanımları, kompozitte matris malzemesi olarak kullanılan poliester malzemenin çekme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin çekme dayanım grafikleri Şekil 4.20’de, fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin çekme dayanım grafikleri Şekil 4.21’de ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin çekme dayanımları Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Şekil 4.20’de, saf olarak gösterilen poliester malzemenin gerilme dayanımının kompozitlerinkinden daha yüksek olarak elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu değer yaklaşık olarak 31,54 MPa’dır. Şekil 4.20.a’da, 0-300 μm tane boyutuna sahip fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin gerilme-gerinim grafiğine bakıldığında, maksimum gerilme miktarı (22,24 MPa) %20 takviye oranına sahip kompozitten elde edilirken, en düşük gerilme miktarı (15,85 MPa) %30 takviye oranına sahip

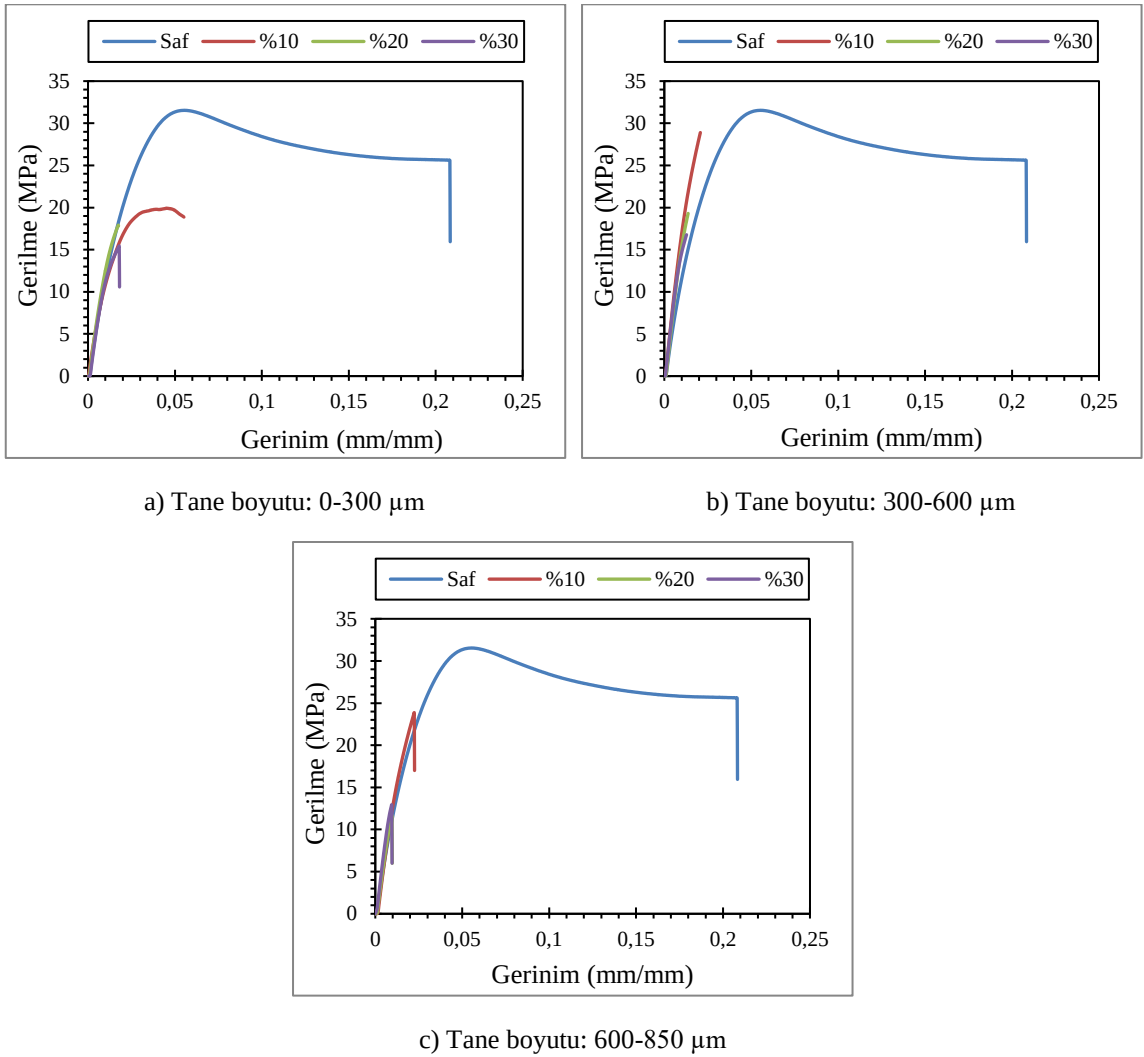
kompozitten elde edilmiştir. %10 takviye oranına sahip kompozitin çekme dayanımı (21,30 MPa) ise %20 takviye oranına sahip kompozitinkine yakın elde edilmiştir. Şekil 4.20.b'de, tane boyutu 300-600 μm iken en yüksek çekme dayanım değeri (28,20 MPa) %10 takviye oranına sahip kompozitten elde edilmiştir. Bu değer, saf poliesterinkine en yakın olanıdır. %20 ve %30 takviye oranına sahip kompozitlerin ise çekme dayanımları sırasıyla 17,10 MPa ve 15,63 MPa'dır. Şekil 4.20.c'd ise 600-850 μm tane boyutu için elde edilen çekme dayanımları, Şekil 4.20.a'da verilen 0-300 μm tane boyutu gibi en yüksek ve en düşük sırasıyla %20 ve %30 takviye oranına sahip kompozitlerden elde etmiştir. Bu tane boyutu için %10, %20 ve %30 takviye oranlarından elde edilen değerler sırasıyla 14,89 MPa, 19,49 MPa ve 7,44 MPa'dır.



Şekil 4.21. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Şekil 4.21'de, 0-300 μm tane boyutuna sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin gerilme-gerinim grafiğine bakıldığında, %10 ve %20 takviye oranları için

gerilme miktarları (sırasıyla 19,61 MPa ve 20,61 MPa) birbirlerine yakın değer gösterirken, %30 takviye oranına için gerilme miktarında (16,20 MPa) bir düşüş söz konusudur. 300-600 μm ve 600-850 μm tane boyutlarına sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri, 0-300 μm tane boyutuna sahip kompozitinki gibi benzer eğilim göstermiştir. En yüksek çekme dayanımı, 300-600 μm tane boyutuna ve %10 takviye oranına sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitten 28,11 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük çekme dayanımı, 600-850 μm tane boyutuna ve %10 takviye oranına sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitten 13,28 MPa olarak elde edilmiştir.



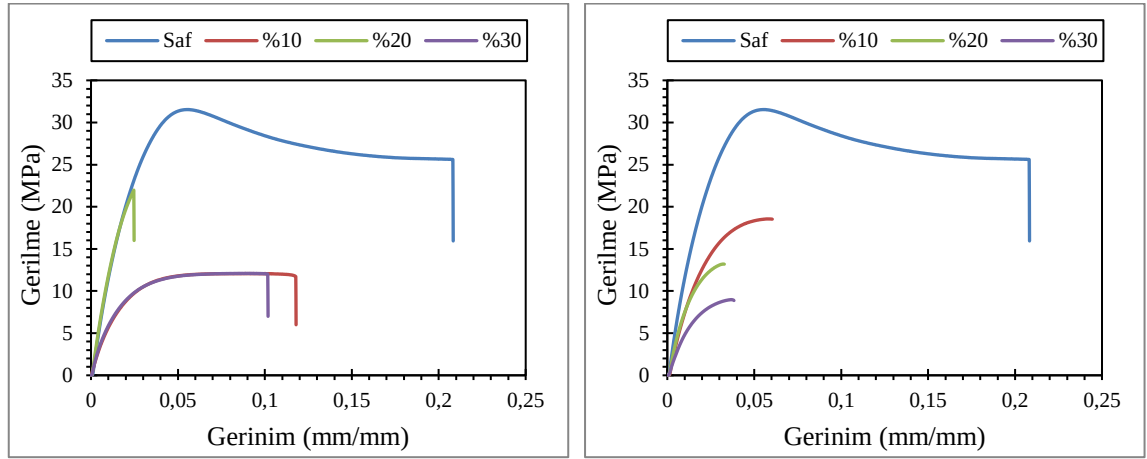
Şekil 4.22. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitlerde, 0-300 μm tane boyutu için çekme dayanımları büyükten küçüğe sırasıyla %10, %20 ve %30 takviye oranından elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla

19,92 MPa, 17,91 MPa ve 15,44 MPa'dır. 300-600 μm tane boyutu için çekme dayanımları, 0-300 μm tane boyutunda olduğu gibi en yüksek %10 ve en düşük %30 takviye oranından elde edilmiştir. %10 takviye oranından elde edilen değer 28,90 MPa iken, %30 takviye oranından elde edilen değer 16,74 MPa'dır. 600-850 μm tane boyutuna sahip fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitler için ise %20 ve %30 takviye oranına sahip kompozitlerin gerilme miktarları birbirlerine yakın gözlemlenmiştir. Bu değerler sırasıyla 11,67 MPa ve 12,94 MPa'dır. En yüksek çekme dayanımı %10 takviye oranından 23,87 MPa olarak elde edilmiştir.

Saf poliester malzeme ile karşılaştırıldığında, matris malzemesine fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyelerinin kompozitin gerilim ve gerinim değerlerini azalttığı görülmüştür.

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerinin gerilim ve gerinim değerleri sırasıyla Şekil 4.23 – Şekil 4.25'te verilmiştir.

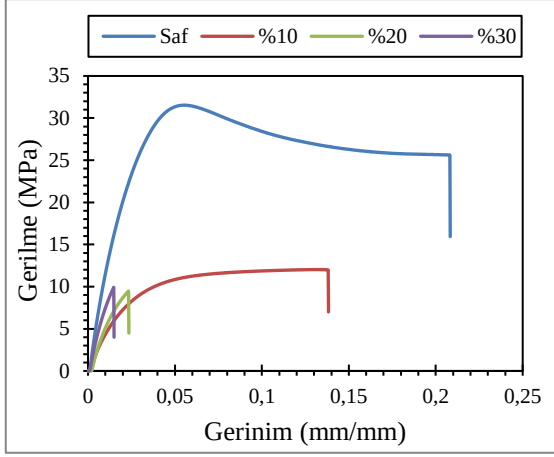


a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C

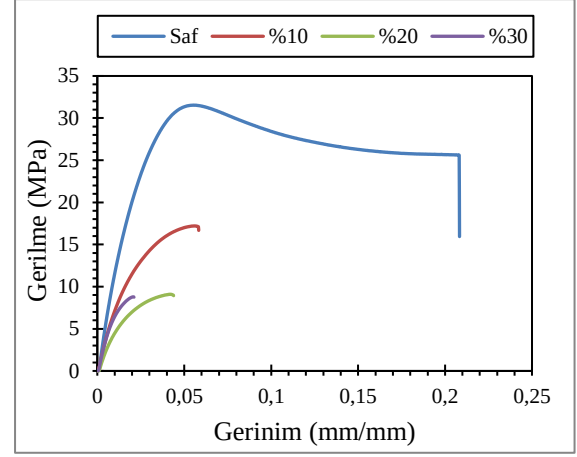
a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.23. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerde (Şekil 4.23), 600 °C kül etme sıcaklığı için maksimum gerilme değeri (21,98 MPa) %20 takviye oranından elde edilirken, 900 °C kül etme sıcaklığı için 18,56 MPa ile %10 takviye oranından elde edilmiştir. 600 °C için %10 ve %30 takviye oranlarından elde edilen gerilme değerleri yaklaşık 12,09 MPa olarak birbirinin benzeri çıkmıştır. 900 °C için en düşük gerilme değeri %30 takviye oranından 8,98 MPa olarak gözlemlenmiştir. Kül etme sıcaklığının artması çekme dayanımının azalmasına neden olmuştur.



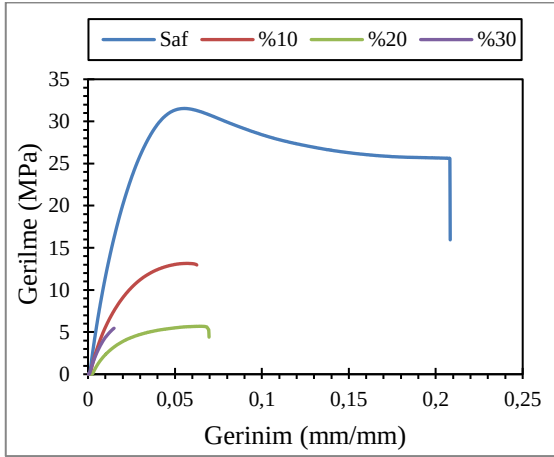
a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



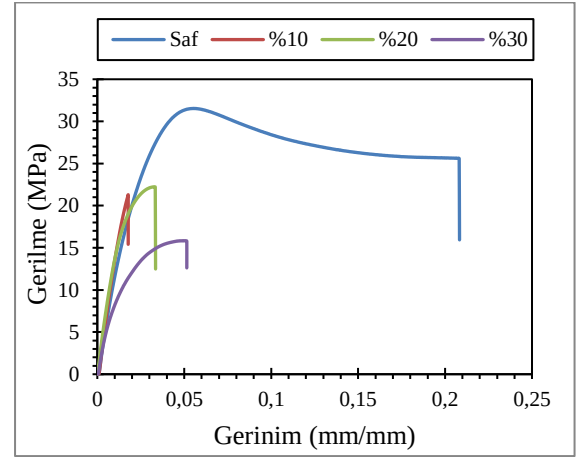
a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.24. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin çekme dayanımları, fındık kabuğu külü ile üretilenlerinkinden daha düşük elde edilmiştir. 600 °C ve 900 °C kül etme sıcaklığı için en yüksek gerilme değerleri %10 takviye oranından elde edilmiştir. Bu değerler, 600 °C için 12,02 MPa ve 900 °C için 17,02 MPa'dır. Diğer takviye oranlarından elde edilen değerler birbirine yakın olarak elde edilmiş olup ortalama değerleri yaklaşık 9,20 MPa'dır. Fıstık kabuğu külünün poliester malzemeye ilave edilmesi çekme dayanımını oldukça düşürmüştür.



a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

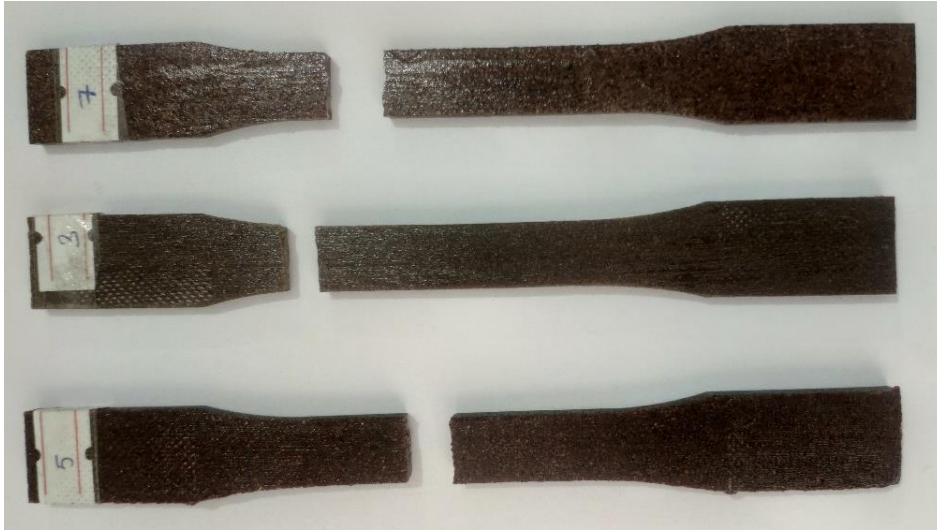
Şekil 4.25. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin gerilme-gerinim grafikleri

Kayısı çekirdeği kabuğu külü takviyeli kompozitlerde, diğer farklı kül tiplerinde olduğu gibi çekme dayanımları düşmüştür. Ancak 600 °C kül etme sıcaklığında, en düşük çekme dayanımları kayısı çekirdeği kabuğu küllerinden elde edilmiş olup bu

değer 5,45 MPa'dır. 900 °C kül etme sıcaklığında ise en yüksek çekme dayanımı kayısı çekirdeği kabuğu küllerinden elde edilmiştir.

Şekil 4.20-4.25'te görüldüğü gibi saf poliester malzemesine doğal partikül tozlarının ve küllerinin eklenmesi çekme dayanımını ve gerinim değerini düşürmüştür. Essabir ve ark. (2013) ve Fiore ve ark. (2014) yaptıkları çalışmalarda, saf poliester malzemesine ilave ettikleri takviye elemanlarının çekme dayanımını düşürdüğünü belirtmişlerdi. Bu doğrultuda, elde edilen sonuçlar literatüre uygundur.

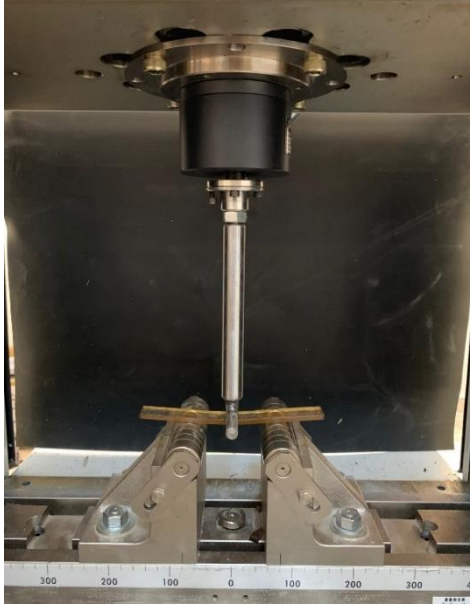
Çekme deneyleri yapılan bazı kompozitlerin kopma bölge görüntüleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Kopmalar, ince kesit alanının bulunduğu yerlerde oluşmuştur. Bazı kompozit numuneler merkezden, bazıları ise merkezden saparak kopmuştur. Bu durumun topaklanma ve/veya üretim hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



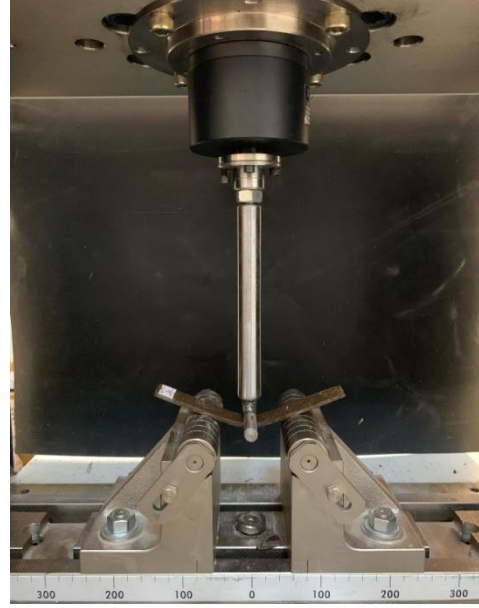
Şekil 4.26. Çekme deneyi sonucu bazı kompozitlerlerdeki kopma bölgeleri

4.2.4. Eğme dayanımı

Saf poliester malzeme ile fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külleriyle üretilen kompozitlerin eğme dayanımları uygulanan kuvvete bağlı olarak ölçülmüştür. Saf poliesterin ve kompozitlerin eğme kuvvetleri, 3 nokta eğme deneyinden (Şekil 4.27) elde edilen verilerin bilgisayara aktarılmasıyla çizilmiştir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 4.28 – Şekil 4.30'da verilmiştir.

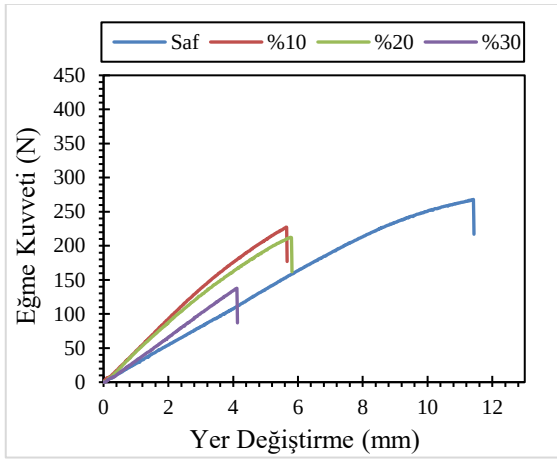
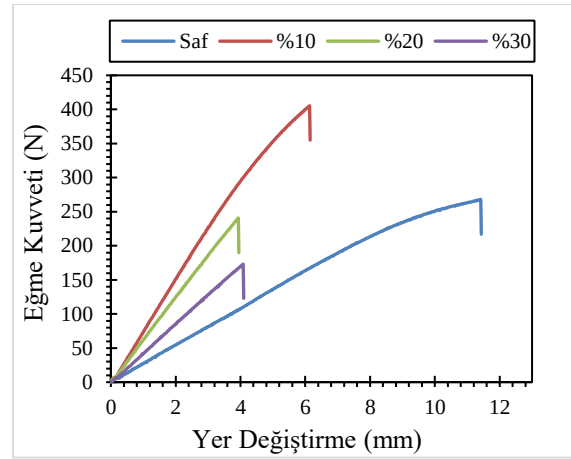
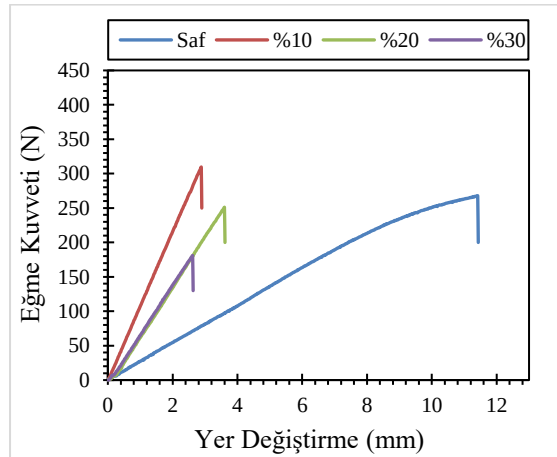


a) Saf poliester



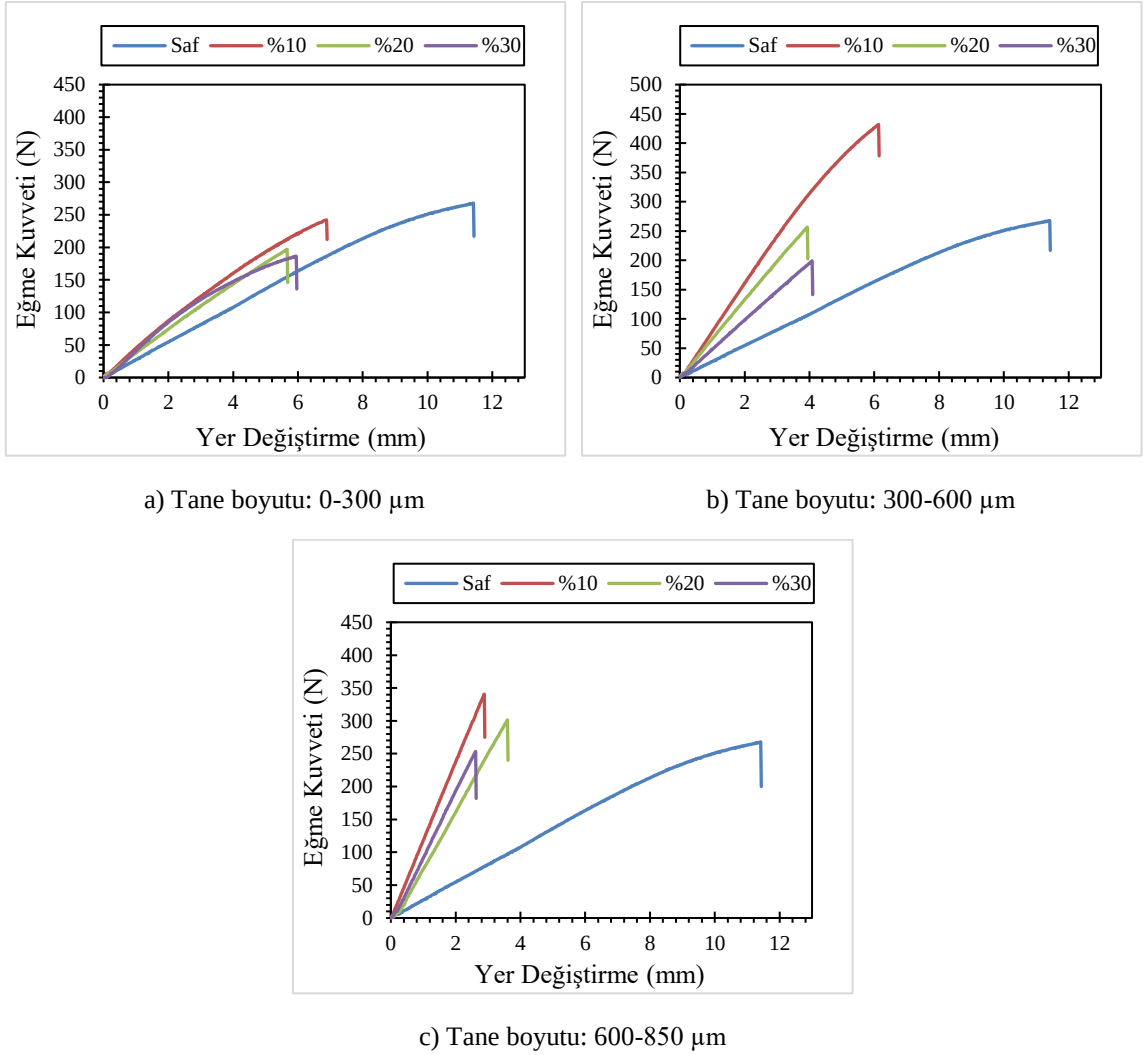
b) Kompozit

Şekil 4.27. Eğme deneyinin yapılışı

a) Tane boyutu: 0-300 μm b) Tane boyutu: 300-600 μm c) Tane boyutu: 600-850 μm

Şekil 4.28. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

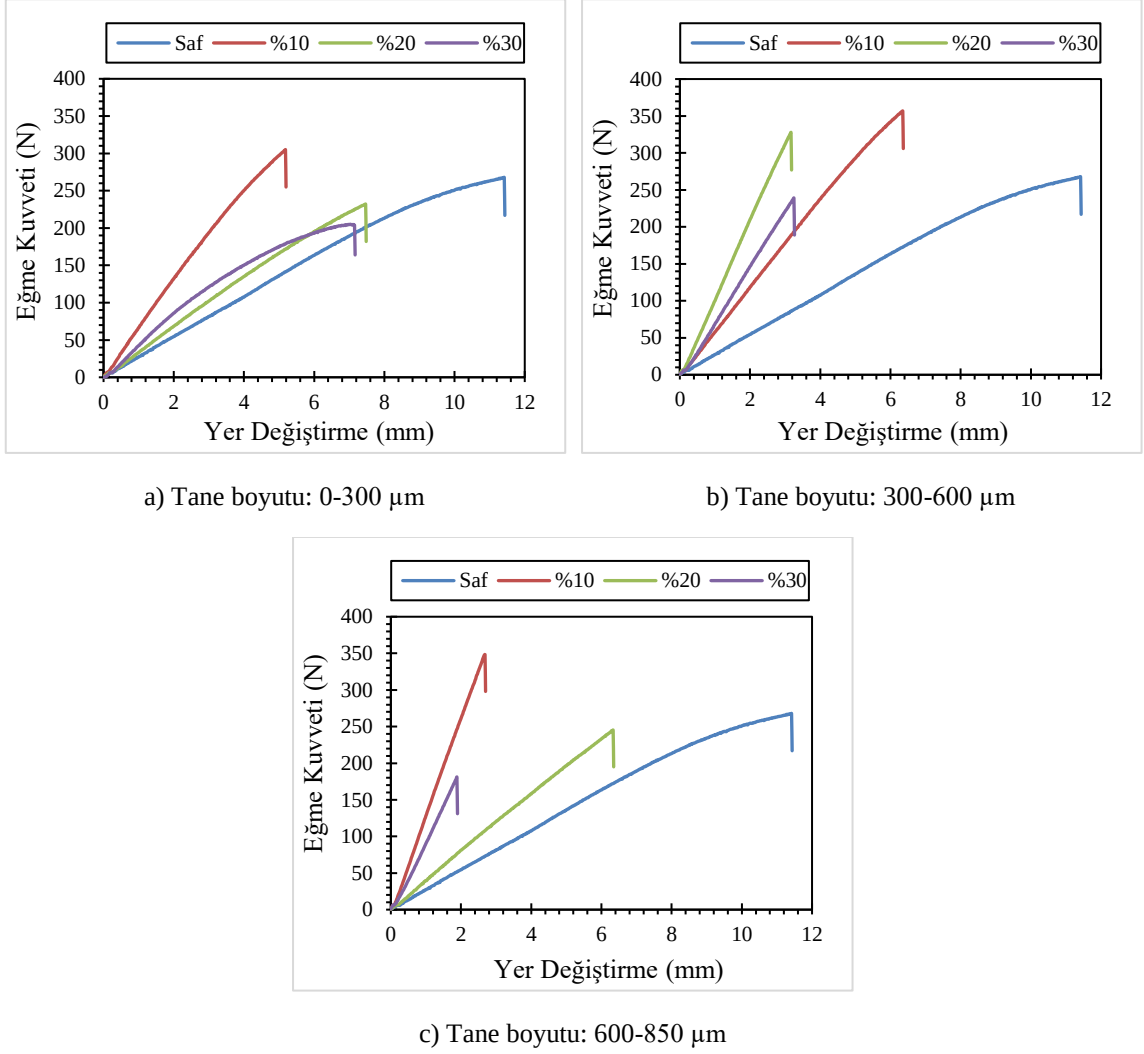
Şekil 4.28’de, fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvvetleri incelendiğinde, saf poliester malzemeye göre 0-300 μm tane boyutu için takviye oranı arttıkça eğme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Saf poliesterin maksimum eğme kuvveti 268 N iken, takviye oranı arttıkça bu değerler %10, %20 ve %30 için sırasıyla 227 N, 212 N ve 138 N olarak elde edilmiştir. Ancak 300-600 μm ve 600-850 μm tane boyutları için %10 takviye oranlarından elde edilen eğme kuvvetleri saf poliesterinkinden yüksek çıkmıştır. Bu değerler 300-600 μm tane boyutu için 405 N, 600-850 μm tane boyutu için 310 N’dir.



Şekil 4.29. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

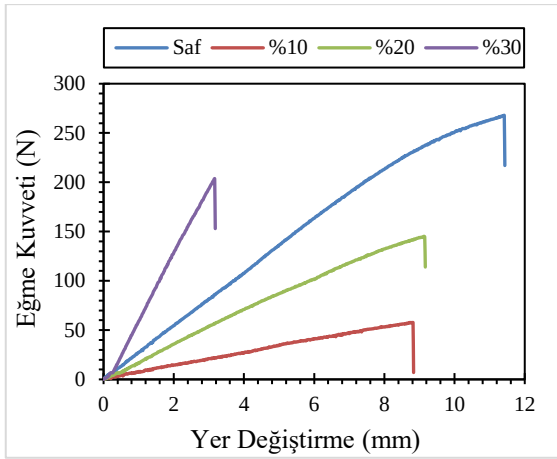
Şekil 4.29’da fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerde olduğu gibi fıstık kabuğu takviyeli kompozitlerde de tane boyutu için benzer eğilimler elde edilmiştir. Ancak fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerden elde edilen değerler genellikle daha yüksek çıkmıştır. 0-300 μm için, %10, %20 ve %30 için elde edilen eğme kuvvetleri

sırasıyla 242 N, 196 N ve 186 N'dir. 300-600 μm tane boyutunda bu değerler sırasıyla 432 N, 257 N ve 199 N iken, 600-850 μm tane boyutunda 340 N, 301 N ve 253 N'dir.

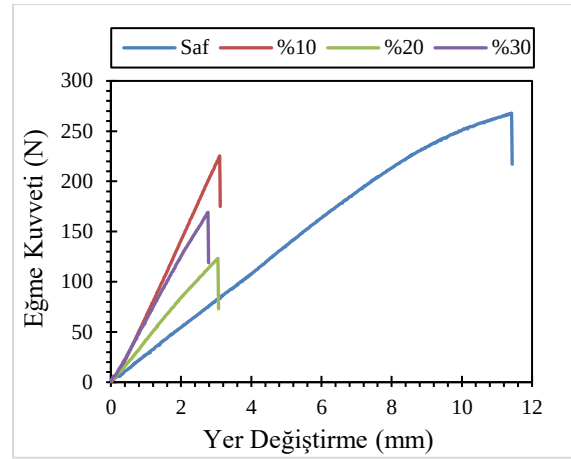


Şekil 4.30. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

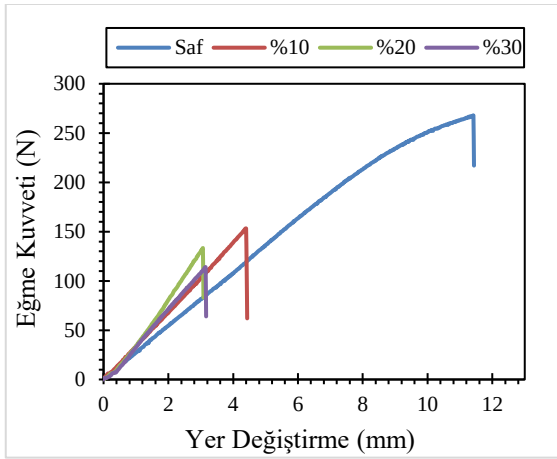
Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerde (Şekil 4.30), %10 takviye oranı için tüm tane boyutlarından elde edilen eğme kuvvetleri saf poliesterinkinden yüksek çıkmıştır. 0-300 μm , 300-600 μm ve 600-850 μm tane boyutları için elde edilen bu değerler sırasıyla 305 N, 356 N ve 348 N'dir. Ancak bu değerler 300-600 μm tane boyutuna sahip hem fındık kabuğu tozu hem de fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin eğme kuvvetlerinden düşük elde edilmiştir. Kayısı çekirdeği kabuğu takviyeli kompozitlerde minimum eğme kuvveti, 600-850 μm tane boyutuna ve %30 takviye oranına sahip kompozitten elde edilmiştir. Elde edilen bu değer 181 N'dir. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerinin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 4.31 – Şekil 4.33'te verilmiştir.



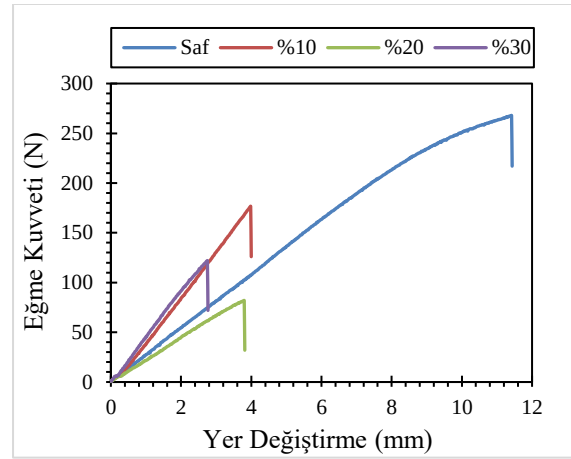
a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



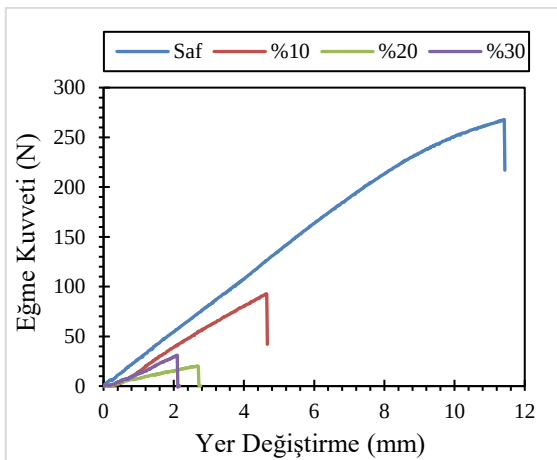
a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.31. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

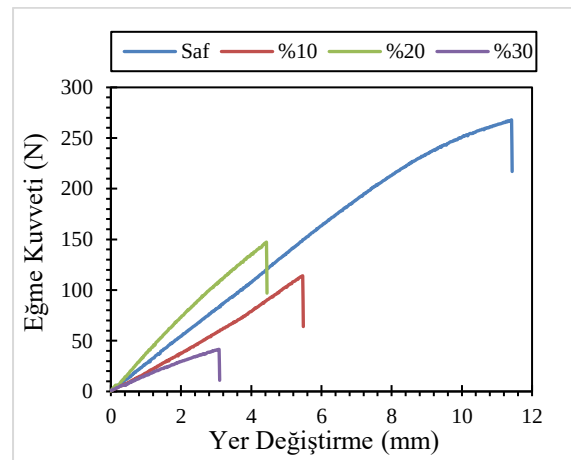
a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.32. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

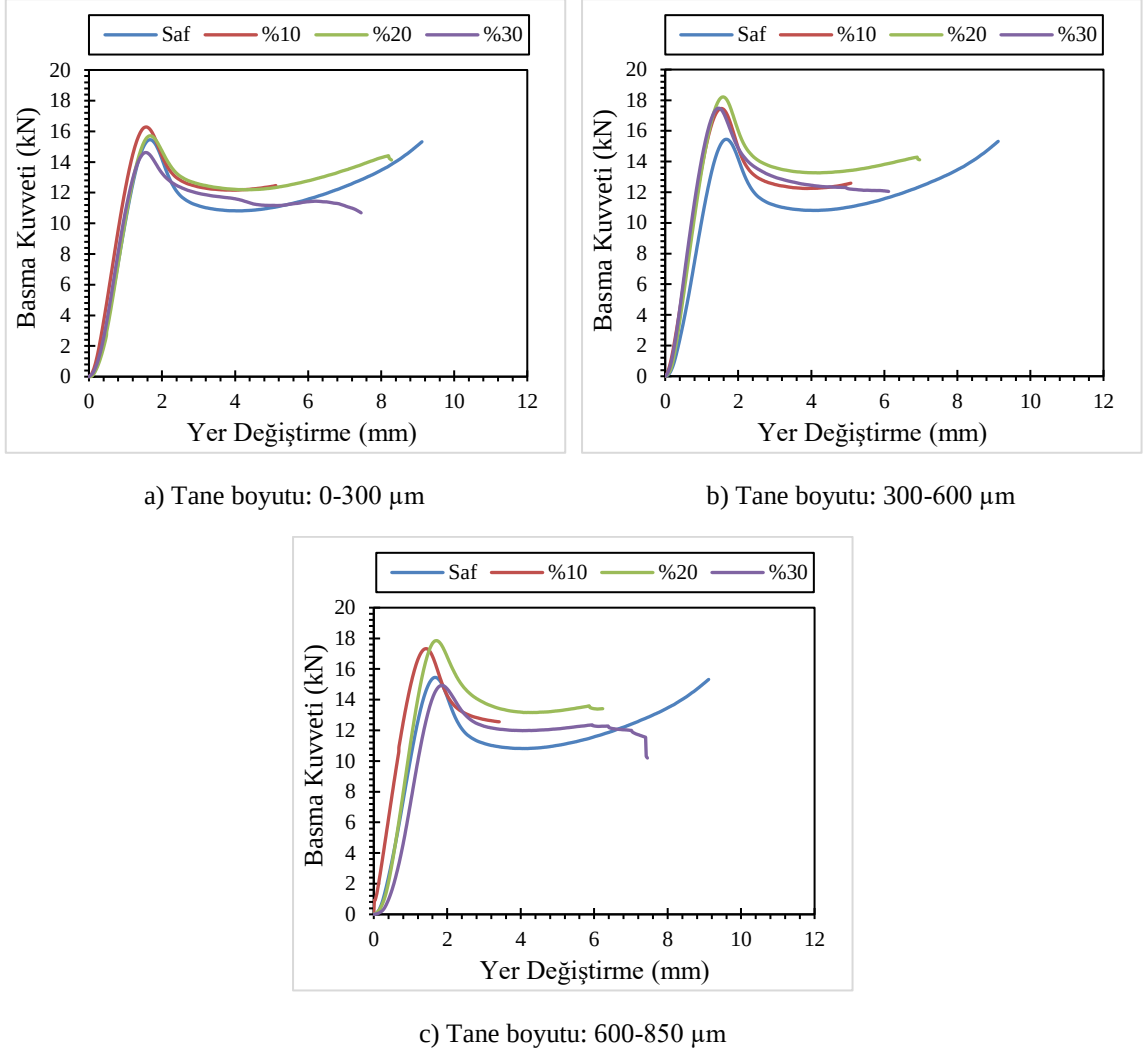
Şekil 4.33. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin eğme kuvveti – yer değiştirme grafikleri

Şekil 4.31 – Şekil 4.33’te verilen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu külü takviyeli polimer matrisli kompozitlerin eğme dayanımları saf poliesterininkinden oldukça düşük ve kötü elde edilmiştir. Ayrıca bu küllerden elde edilen eğme dayanım grafikleri düzensiz ve birbirinden farklı çıkmıştır. Her ne kadar kül takviyeli kompozitlerin eğme kuvvetleri saf poliesterininkinden düşük çıksa da 600 °C kül etme sıcaklığına göre 900 °C kül etme sıcaklığından elde edilen değerlerin daha düzenli olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.5. Basma dayanımı

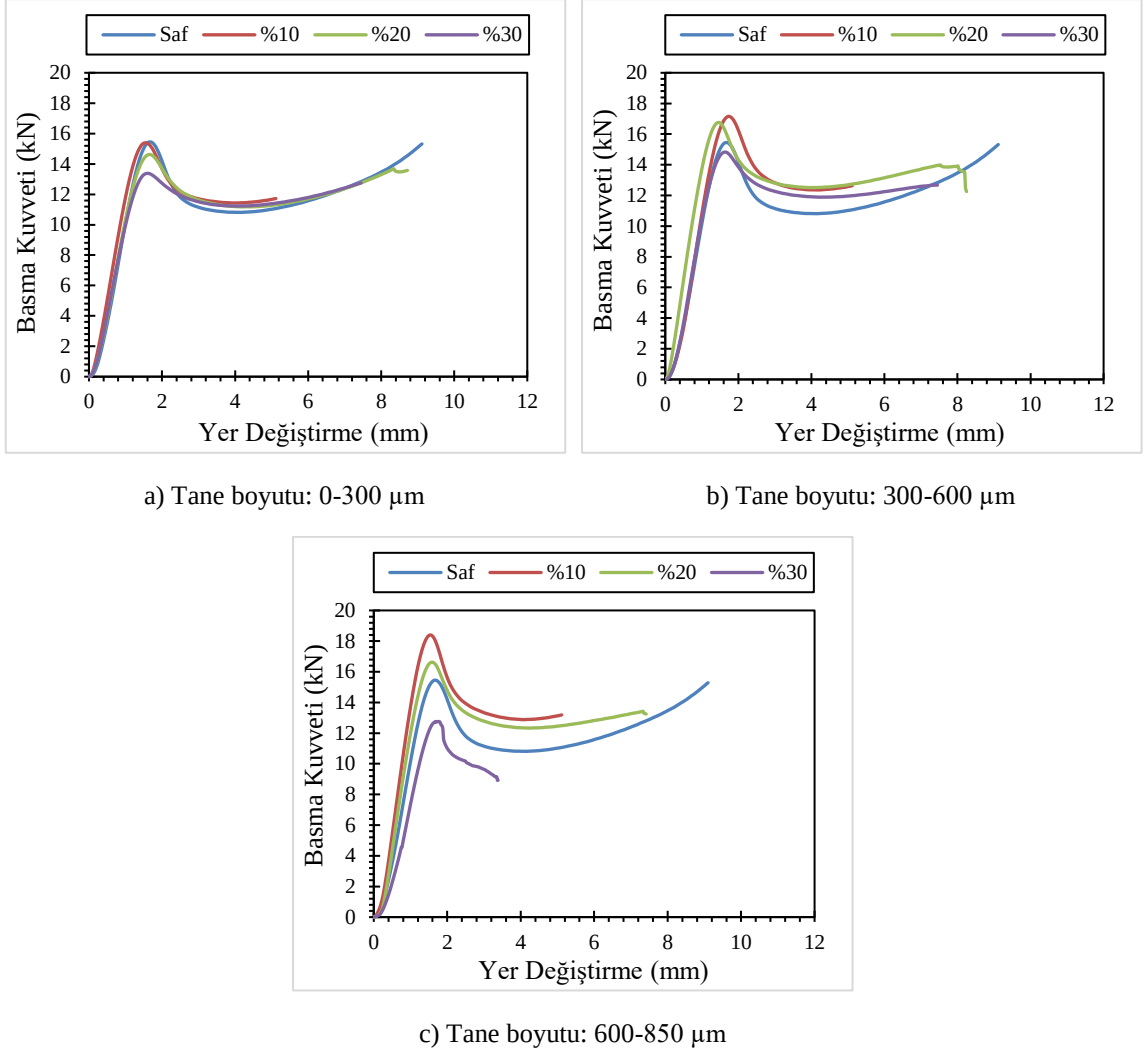
Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külleriyle üretilen kompozitlerin basma dayanımları, eğme dayanımında olduğu gibi kesit alanına uygulanan kuvvete bağlı olarak ölçülmüştür. Kesit alanı, saf poliester malzemesi ve tüm kompozitler için sabittir ($176,715 \text{ mm}^2$). Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri Şekil 4.34 – Şekil 4.36’da verilmiştir.

Saf poliesterin basma kuvveti 15450 N’dir. Şekil 4.34’te, 0-300 µm tane boyutuna sahip fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerde, %10 ve %20 takviye oranı için basma kuvveti değerleri saf poliester malzemeninkinden yüksek çıkmıştır. 0-300 µm takviye boyutu için en yüksek basma kuvveti %10 takviye oranına sahip kompozitten 16283 N olarak elde edilmiştir. %20 takviye oranından elde edilen değer ise 15705 N’dir ve saf poliester malzemesine oldukça yakındır. %30 takviye oranın basma kuvveti 14616 N’dir ve saf poliester malzemenin basma kuvvetinden düşük çıkmıştır. 300-600 µm tane boyutuna sahip fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitler için tüm takviye oranından elde edilen basma kuvvetleri saf poliester malzemeninkinden yüksek çıkmıştır. Ancak en yüksek basma kuvveti %20 takviye oranından 18215 N olarak elde edilmiştir. %10 ve %20 takviye oranlarının basma kuvvetleri (sırasıyla 17459 N, 17458 N) birbirine yakındır. 600-850 µm tane boyutuna sahip fındık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerde, 0-300 µm tane boyutunda olduğu gibi %30 takviye oranındaki basma kuvveti (14930 N) saf poliester malzemeninkinden düşük elde edilmiştir. %10 ve %20 takviye oranlarının basma kuvvetleri, 0-300 µm ve 300-600 µm tane boyutlarınınkinin arasında elde edilmiştir. Elde edilen değerler, %10 takviye oranı için 17324 N ve %20 takviye oranı için 17849 N’dir ve birbirine yakındır.



Şekil 4.34. Fındık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri

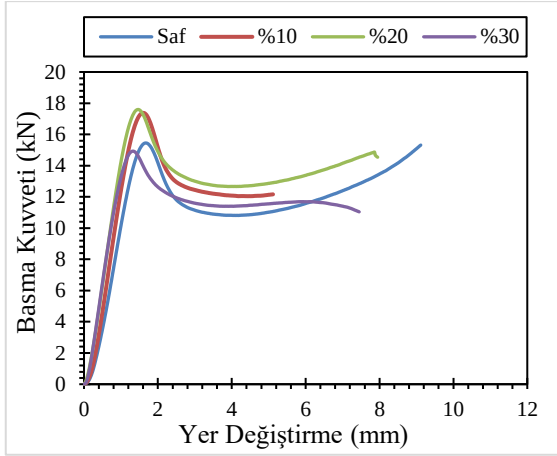
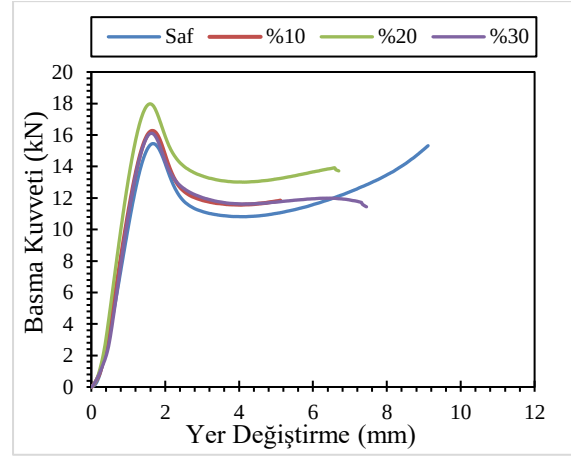
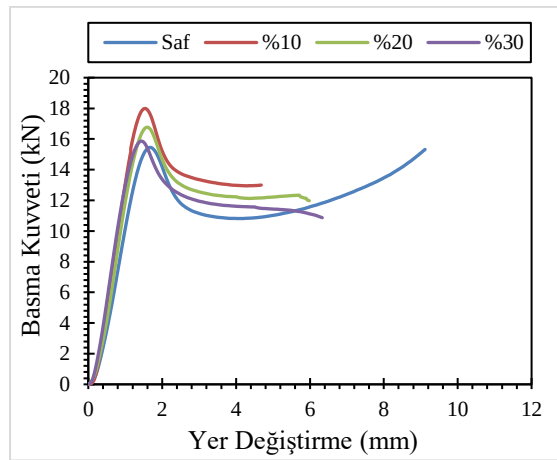
Şekil 4.35’te verilen fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin basma kuvvetleri incelendiğinde, 0-300 μm tane boyu için %10 takviyeli oranından elde edilen değer (15396 N), saf poliester malzemeninkine oldukça yakın olmasına rağmen daha düşüktür. Takviye oranı arttıkça düşüş devam etmiştir. 300-600 μm tane boyu için %10 ve %20 takviyeli oranlarından sırasıyla 17157 N ve 16759 N elde edilen basma kuvveti değerleri saf poliesterinkinden yüksekken, takviye oranının %30’a çıkmasıyla basma kuvveti 14828 N’a düşmüştür. Tane boyutunun 600-850 μm olması durumunda ise maksimum basma kuvveti %10 takviye oranından 18398 N olarak elde edilmiştir ve tüm tane boyutlarına sahip kompozitlerin basma kuvvetlerinden yüksek çıkmıştır. Ancak %30 takviye oranı için durum tam tersidir. Tüm tane boyutları göz önünde tutulsa bile en düşük basma kuvveti bu takviye oranından 12761 N olarak ölçülmüştür. %20 takviye oranı için 0-300 μm ve 300-600 μm tane boylarından elde edilen değerler yakın gözlemlenmiştir.



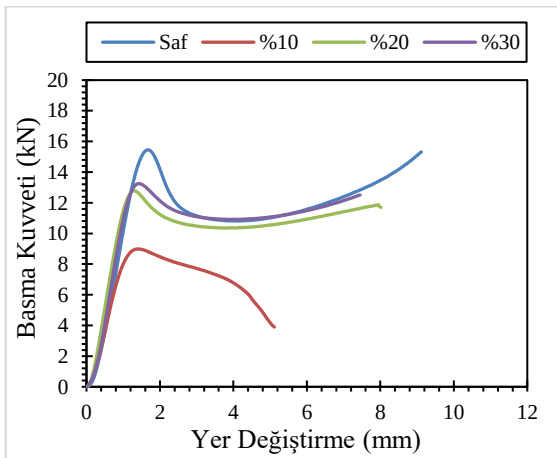
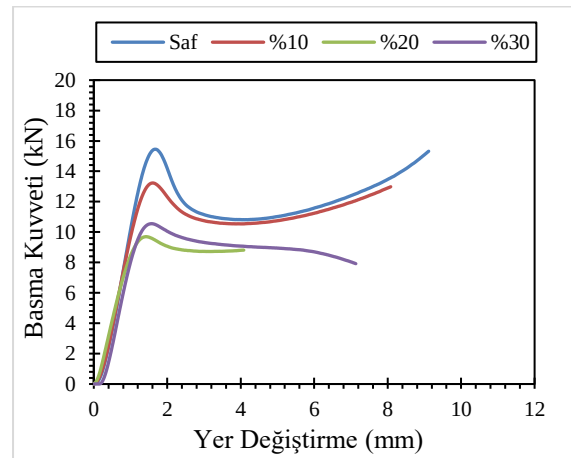
Şekil 4.35. Fıstık kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri

Şekil 4.36’da kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitler için verilen basma kuvvetleri incelendiğinde ise elde edilen değerlerin ve grafik eğrilerinin hem fındık kabuğu tozu takviyeli hem de fıstık kabuğu tozu takviyeli kompozitlerinkine benzer olduğu gözlemlenmiştir. 0-300 μm tane boyu için %10, %20 ve %30 takviye oranlarından elde edilen basma kuvveti değerleri sırasıyla 17381 N, 17598 N ve 14928 N’dir. Bu değerler sırasıyla 300-600 μm tane boyu için 162462 N, 17977 N ve 16109 N iken, 600-850 μm tane boyutu için ise 17988 N, 16766 N ve 15859 N’dir. %30 takviye oranına ve 0-300 μm tane boyutuna sahip kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitin basma kuvveti saf polyaster malzemeninkinden düşük çıkmasına rağmen diğer takviye oranı ve tane boyutu için elde edilen basma kuvveti değerleri saf poliester malzemeninkinden yüksek elde edilmiştir.

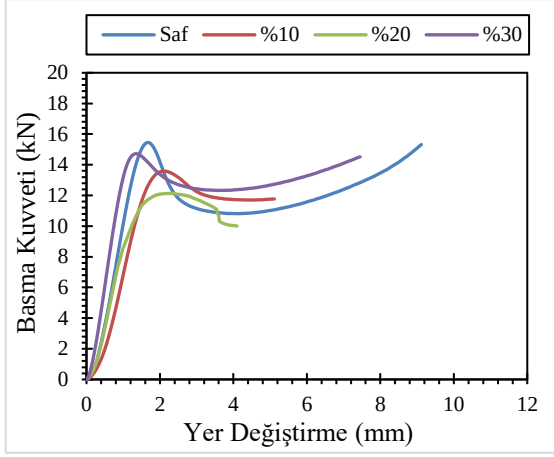
Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerinin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri Şekil 4.37 – Şekil 4.39’da verilmiştir.

a) Tane boyutu: 0-300 μm b) Tane boyutu: 300-600 μm c) Tane boyutu: 600-850 μm

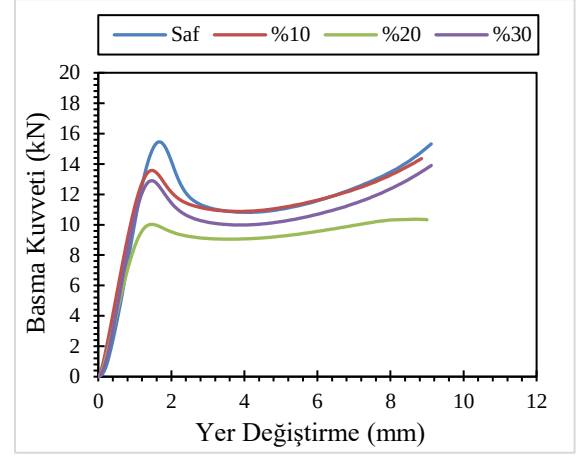
Şekil 4.36. Kayısı çekirdeği kabuğu tozu ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri

a) Kül etme sıcaklığı: 600 $^{\circ}\text{C}$ a) Kül etme sıcaklığı: 900 $^{\circ}\text{C}$

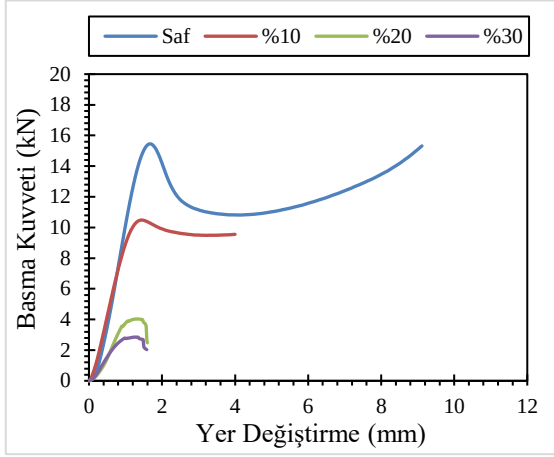
Şekil 4.37. Fındık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri



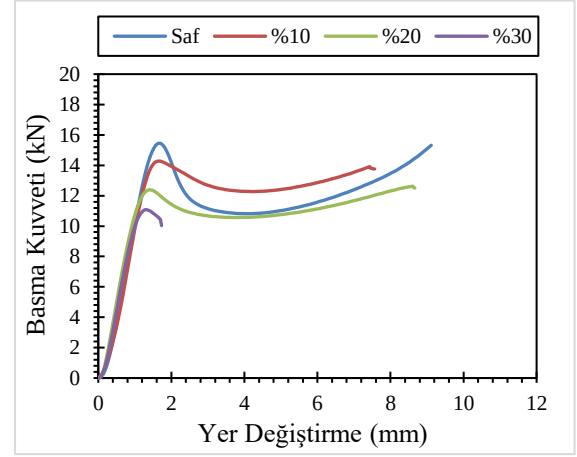
a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.38. Fıstık kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri

a) Kül etme sıcaklığı: 600 °C



a) Kül etme sıcaklığı: 900 °C

Şekil 4.39. Kayısı çekirdeği kabuğu külü ile üretilen kompozitlerin basma kuvveti – yer değiştirme grafikleri

Çekme ve eğme deneylerinde olduğu gibi fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu külü takviyeli kompozitlerin basma dayanımları da saf poliesterinkinden düşük elde edilmiştir. Doğal partiküllere ait tozların kül edilmesi ve bu küller ile kompozit üretmek, kompozitlerin basma dayanımlarını iyileştirmemiştir. Bilakis saf poliester malzemenin dayanımını oldukça düşürerek olumsuz etki bırakmıştır.

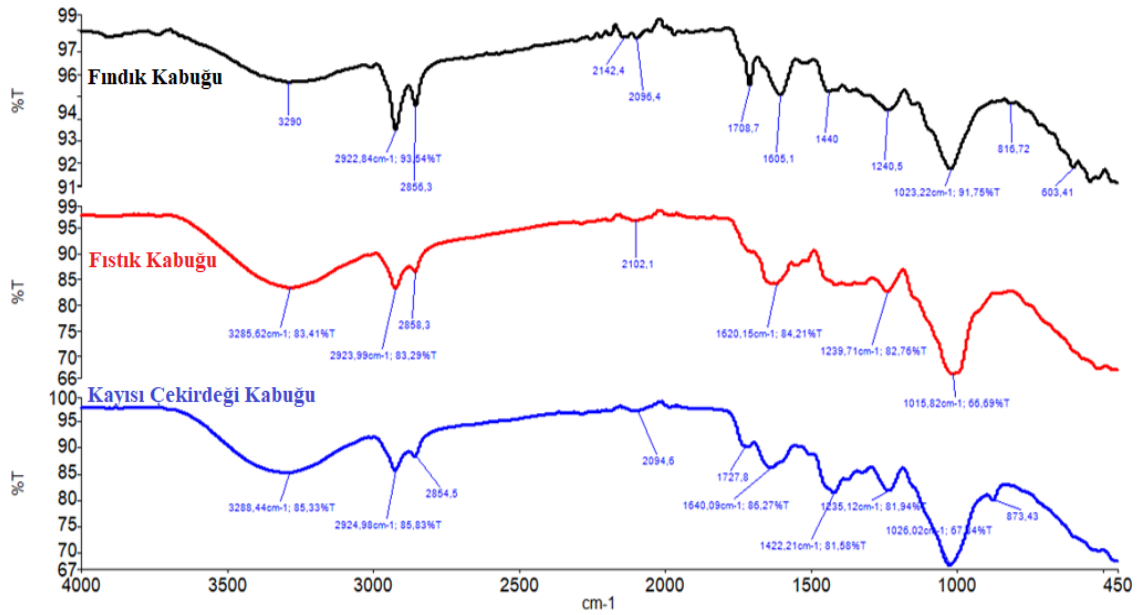
Basma deneyi yapılan şekillerin görüntülerine bakıldığında (Şekil 4.40), saf poliester malzemenin basınç altındaki deformasyonu fiçilaşma şeklinde, kompozitlerinki ise kısmen fiçilaşma ve gevreklikten dolayı dağılma şeklinde olmuştur. Ayrıca küçük tane boyutuna sahip kompozitlerde meydana gelen deformasyon daha yüksek gözlemlenmiştir. Bu durum basma dayanımı grafiklerine de yansımıştır.



Şekil 4.40. Basma deneyinde meydana gelen deformasyonlar

4.3. Toz partikül ve Kompozitlerin FT-IR Analizleri

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarına ait FT-IR analiz grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarının FT-IR spektrumları

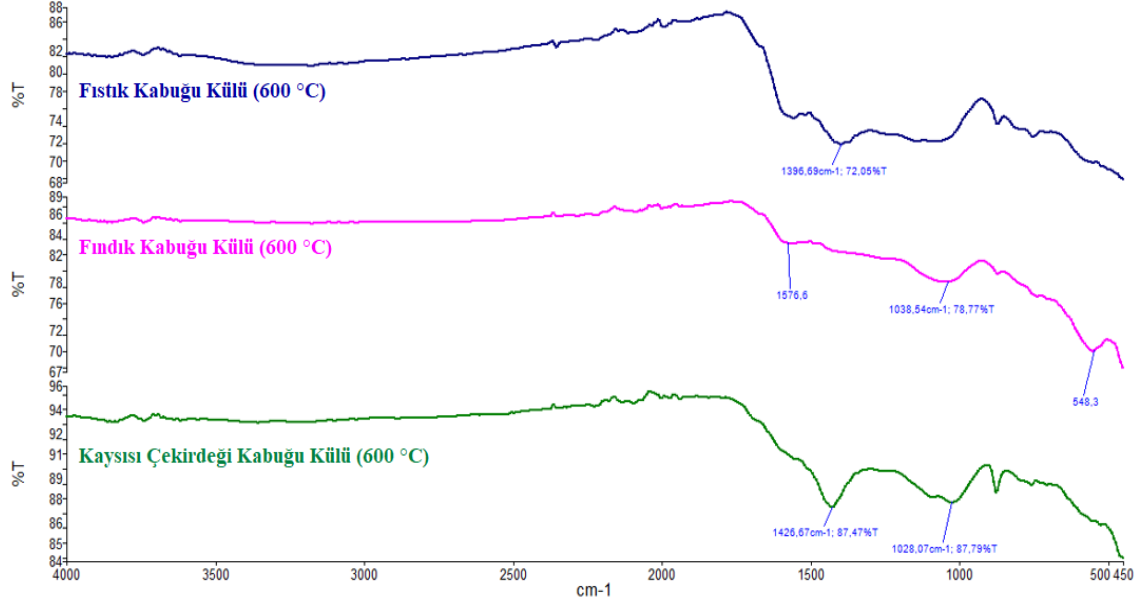
Fındık kabuğunun FT-IR spektrumunda görülen 3288 cm^{-1} dalga boyundaki pik, sudaki hidroksil ya da fenolik bileşiklere bağlı olarak ortaya çıkan hidroksil gruplarına ait O-H gerilme bandına ait titreşime karşılık gelmiştir. Metil ($-\text{CH}_3$) veya metilen ($-\text{CH}_2-$) gibi alifatik yapıyı gösteren C-H simetrik ve asimetrik gerilme titreşimlerinin $2924\text{--}2855\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında olduğu görülmüştür. 1713 cm^{-1} dalga boyundaki çok şiddetli keskin pik, hemiselüloz yapısından kaynaklanan karbonil grubuna ait $\text{C}=\text{O}$

titreşimleridir. Yaklaşık 1600 cm^{-1} dalga boyundaki pik; aldehit, keton ve karboksili asit gruplarından kaynaklanan $\text{C}=\text{O}$ asimetrik gerilmelerini gösterdiği bilinmektedir (Zhang, ve ark., 2015). 1237 cm^{-1} dalga boyundaki pikler olası ester veya fenolik yapılar olarak değerlendirilebilir (Boztepe, 2011). $\text{C}-\text{O}$ gerilim titreşimleri 1023 cm^{-1} dalga boyunda olduğu bildirilmiştir (Kaya ve ark., 2018; Reder ve ark., 2014).

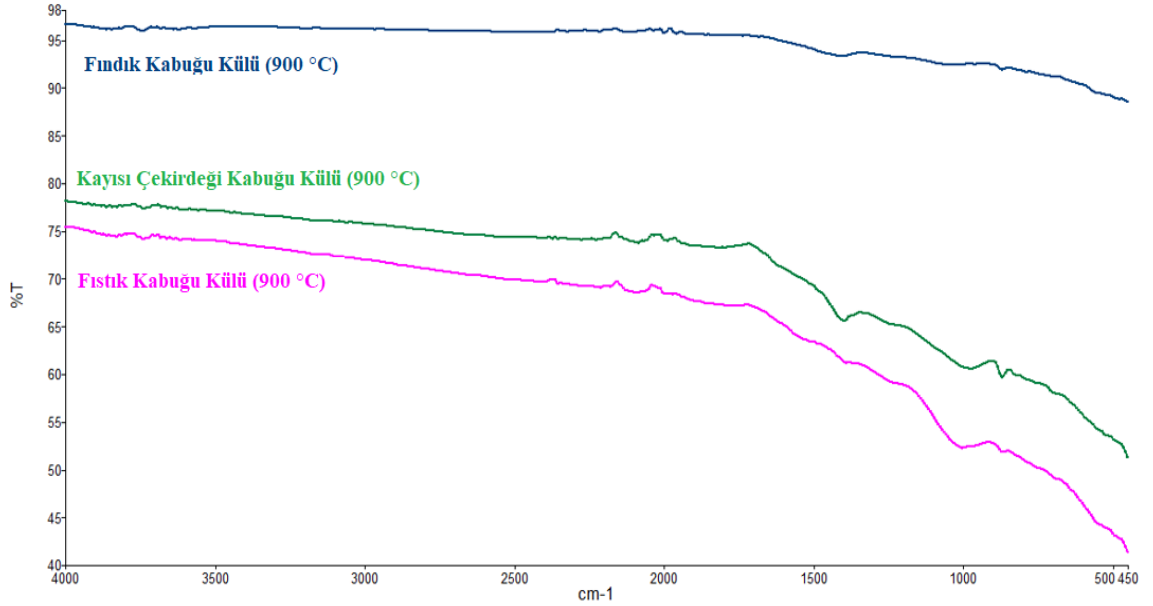
Fıstık kabuğuna ait FT-IR spektrumuna baktığımızda, 3285 cm^{-1} dalga boyundaki geniş pik, hidroksil grubunun ($-\text{OH}$) varlığına ait bir göstergedir. 2857 ve 2924 cm^{-1} dalga boyundaki pikler $-\text{CH}_2$, CH_3 gruplarının $\text{C}-\text{H}$ gerilme titreşimleridir (Taşar ve ark., 2015). 1620 cm^{-1} dalga boyunda bulunan pik, karbonil grubuna ait $\text{C}=\text{O}$ geriliminden kaynaklanmaktadır. 1369 cm^{-1} dalga boyu, alkan ve alkil gruplarında titreşim olarak değerlendirilebilir. $\text{C}=\text{C}$ gerilmesine ait titreşim 1239 cm^{-1} dalga boyunda saptanmıştır (Komnitsas ve ark., 2015). 1015 cm^{-1} dalga boyunda selüloz ve hemiselülozun $\text{C}-\text{OH}$ gerilme titreşimleri olduğu görülmüştür.

Kayısı çekirdeği kabuğuna ait spektrumda, kayısı çekirdeği kabuğunun ana bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi yapılara ait pikler gözlemlenmiştir. 3288 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen geniş pik $-\text{OH}$ grubuna karşılık gelmektedir. 2925 cm^{-1} dalga boyundaki soğurma bandı, $\text{C}-\text{H}$ gerilme titreşimlerine aittir. $\text{C}=\text{O}$ gerilme titreşim piki, 1727 cm^{-1} dalga boyunda olduğu görülmüştür. 1615 cm^{-1} dalga boyundaki başka bir şiddeti az soğurma piki, H_2O moleküllerinin bükülme titreşimleriyle ilişkilendirilebilir. 1422 cm^{-1} dalga boyundaki soğurma bandı $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$ ve $-\text{CH}$ gruplarına ait $\text{C}-\text{H}$ eğilme titreşimlerini göstermektedir. Ayrıca, 1235 cm^{-1} ve 1026 cm^{-1} dalga boyundaki pikler $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ve $\text{C}-\text{O}-(\text{H})$ fonksiyonel grupları ile ilişkilidir (Demiral ve ark., 2009; Demiral ve Kul, 2014).

Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerin $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deki küllerinin FT-IR analiz grafikleri karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.42. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının 600 °C'deki küllerinin FT-IR spektrumları

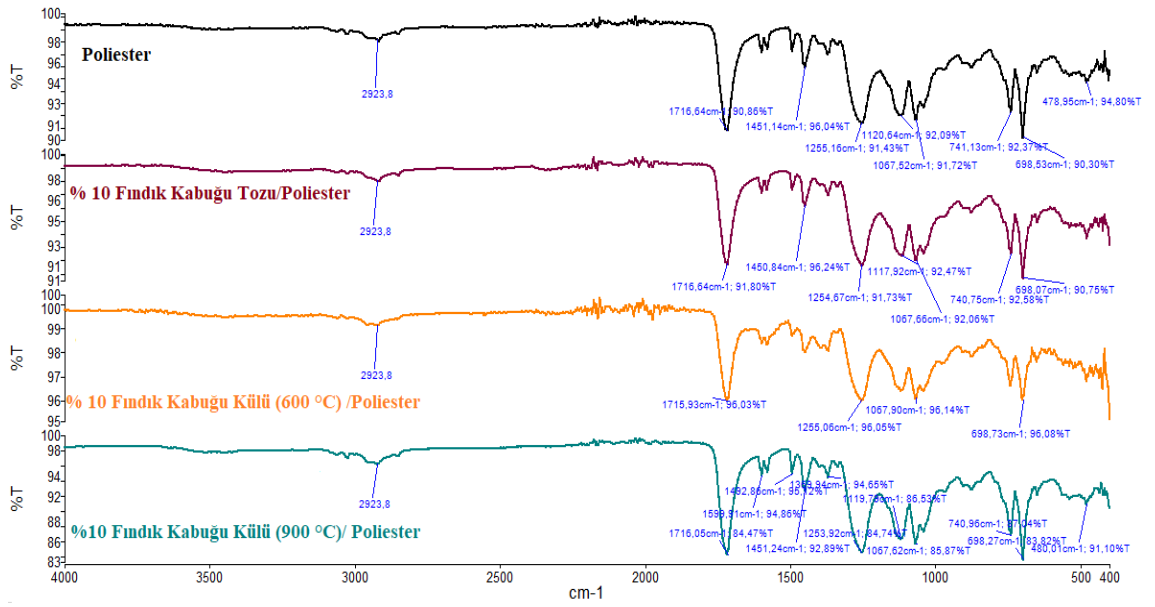


Şekil 4.43. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuklarının 900 °C'deki küllerinin FT-IR spektrumları

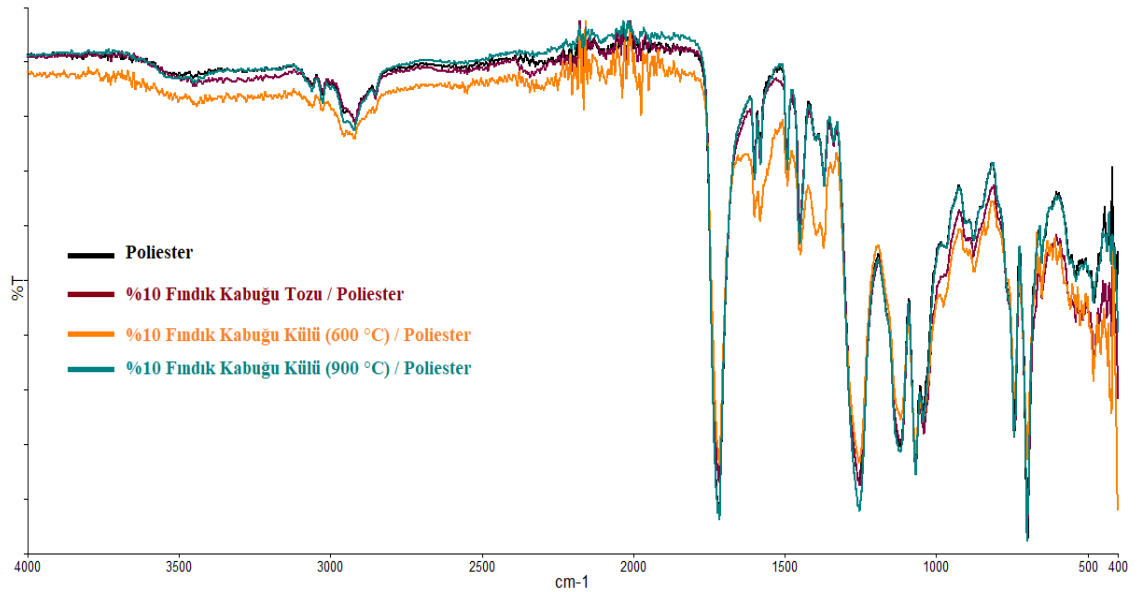
Şekil 4.42 ve Şekil 4.43 incelendiğinde, fındık, fıstık ve kayısı küllerinin FT-IR spektrumlarındaki 3228 cm^{-1} ve 3285 cm^{-1} dalga boyunda bulunan -OH gerilme bandının ve $2925\text{--}2855\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında görülen -CH gerilme pik şiddetlerinin kül etme işlemi sıcaklığının artması ile azaldığı ve $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ kül etme sıcaklığında ise tamamen yok olduğu görülmektedir. FT-IR spektrumları detaylı olarak incelendiğinde, hidroksil grubuna ait -OH gerilme titreşim bandının genişlediği ve kaydığı saptanmıştır. Ayrıca $1723\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ dalga boyları arasında görülen $\text{C}=\text{O}$

grubuna ait gerilme bantlarının şiddetleri ise sıcaklığın artmasıyla azalmıştır. Yüksek kül etme sıcaklıklarında C=O gerilme bandının bulunmadığı belirlenmiştir. Ham doğal partikül takviyelerinde, kül etme sıcaklığının artmasıyla termal bozulmaya dayanıklı yapıların varlığının kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bu, doğal partikül takviyelerinin yapılarında meydana gelen değişim literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmektedir (Sharma ve ark., 2002; Taşar ve ark., 2015).

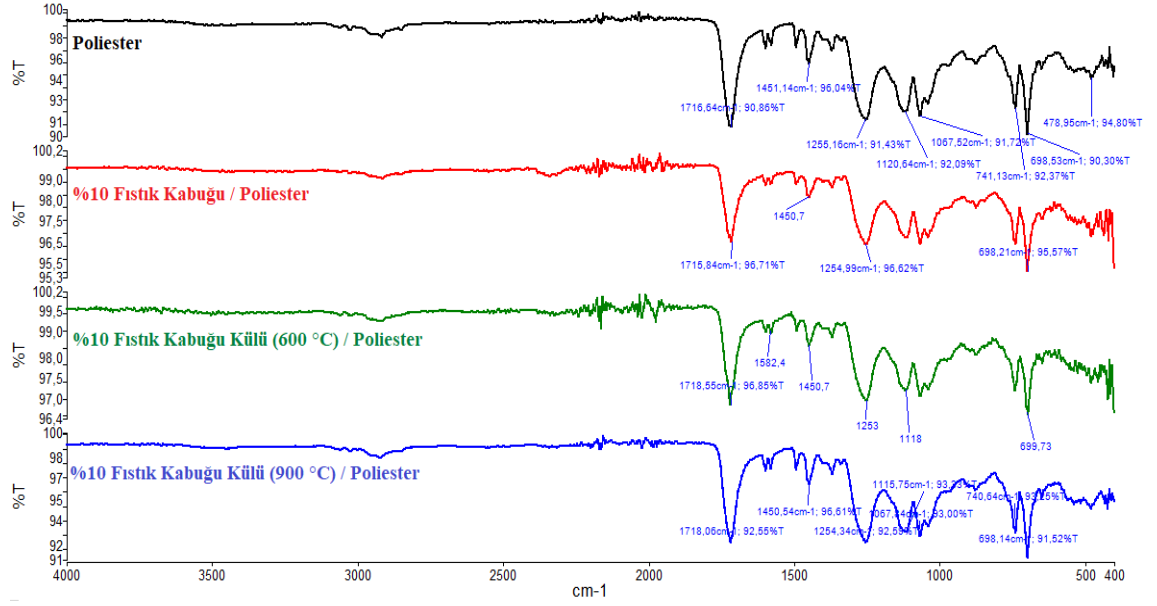
Saf polyester malzeme ve %10 fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ve külleriyle üretilen kompozitlerin karşılaştırmalı ve çakıştırmalı FT-IR analiz grafikleri Şekil 4.44-Şekil 4.49'da verilmiştir.



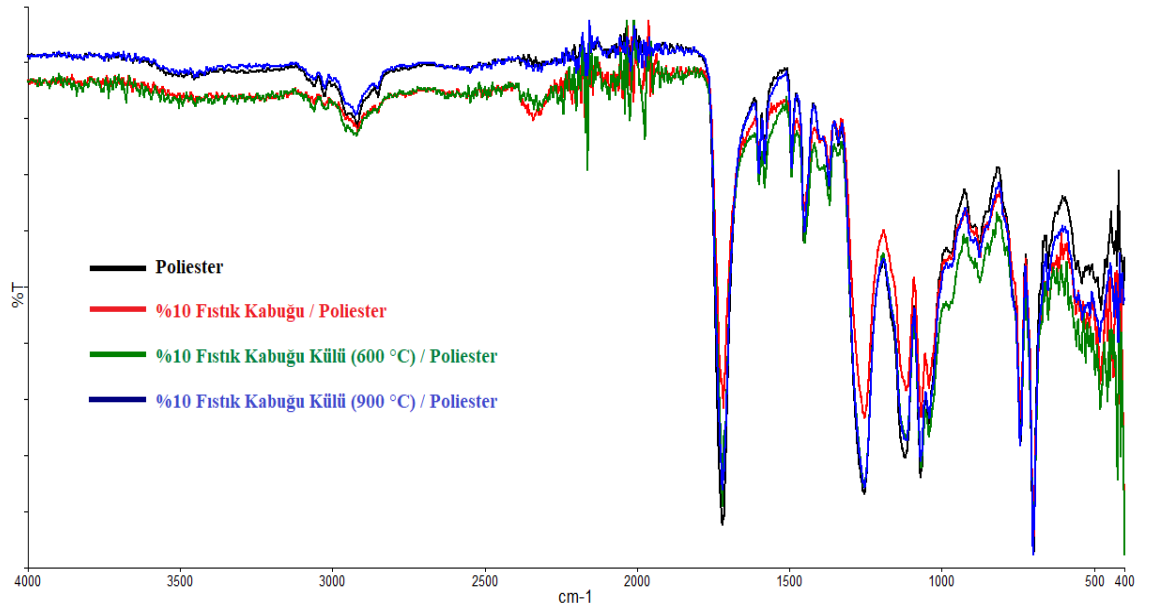
Şekil 4.44. Fındık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları



Şekil 4.45. Fındık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin çakıştırmalı FT-IR spektrumları



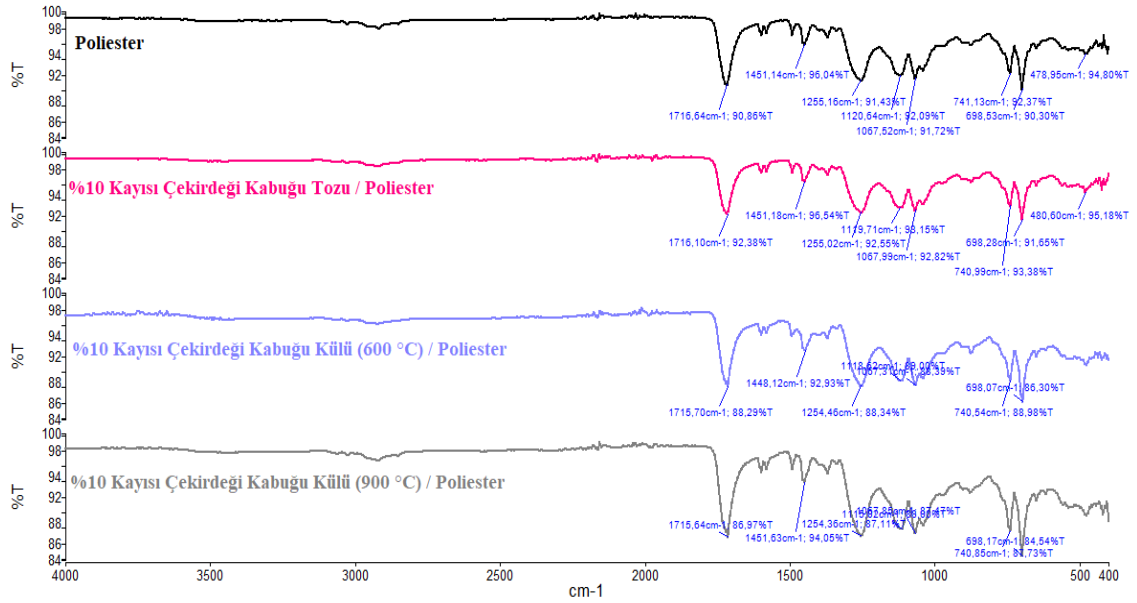
Şekil 4.46. Fıstık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları



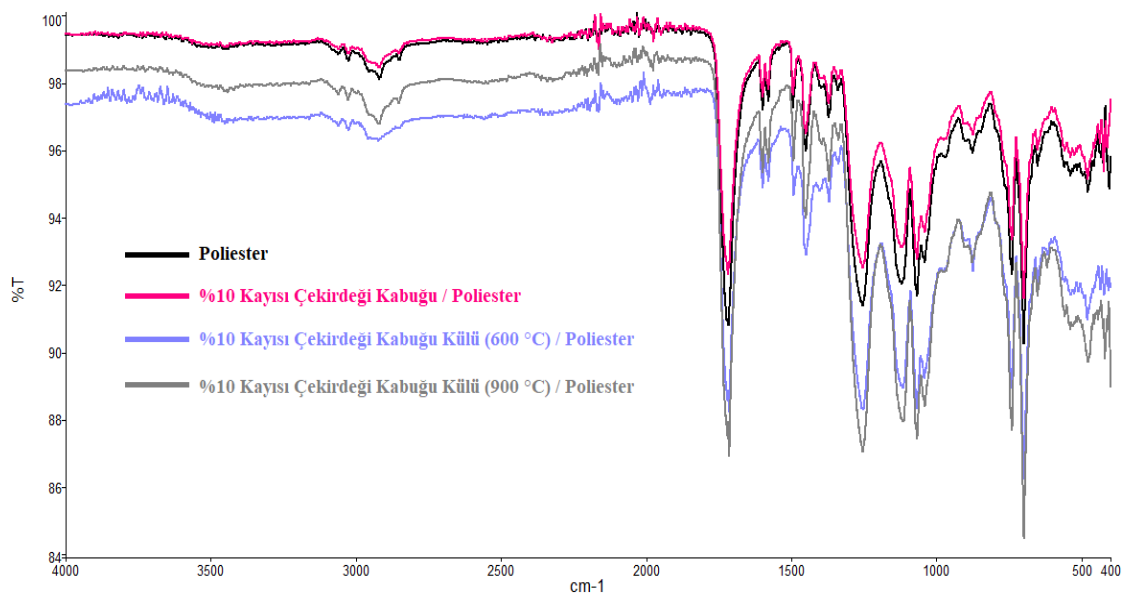
Şekil 4.47. Fıstık kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları

Şekil 4.44-Şekil 4.49'daki spektrumlar incelendiğinde, kompozitlerin oluşumunda poliesterin yapısında yeni bir pik oluşumuna ya da piklerde kaymaya sebep olabilecek bir değişim görülmemiştir. Fakat, kompozitlerde poliester oranının fazlalığından dolayı yaklaşık olarak 3025 cm^{-1} 'de aromatik C-H gerilme bandı, 2913 cm^{-1} ve 2852 cm^{-1} 'de alifatik C-H gerilme bandı, 1716 cm^{-1} C=O, 1600 cm^{-1} 'de ve 1450 cm^{-1} dalga boylarında C=C titreşimlerine ait aromatik halka gerilmelerinden kaynaklanan piklerin yükseklikleri değişmektedir. Bu takviye elemanlarının poliester ile

oluşturdukları kompozitlerinin ve poliesterin spektrumları karşılaştırıldığında, piklerde herhangi bir kayma veya yeni bir pikin oluşmadığı ve sonuç olarak, kompozitlerde kullanılan takviye elemanı olan fındık, fıstık ve kayısı kabuklarının matrisin (poliester) yapısında herhangi bir değişmeye sebebiyet vermediği görülmektedir. Ayrıca, FT-IR pikleri büyük ölçüde benzerlik göstermesinden dolayı karışımı oluşturan malzemeler birbirleriyle mekaniksel olarak tutundukları belirlenmiştir.



Şekil 4.48. Kayısı çekirdeği kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları



Şekil 4.49. Kayısı çekirdeği kabuğu/Poliester kompozitler ile poliester malzemenin karşılaştırmalı FT-IR spektrumları

5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, doğal partikül takviyeli kompozitler üretmek için fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu kullanıldı. Öncelikle bu doğal malzemeler öğütülerek farklı tane boyutlara getirildi. Elde edilen farklı tane boyutlarındaki doğal toz parçacıkların selüloz, hemiselüloz, lignin, rutubet, kül, element ve ağır metal analizleri yapıldı. Ayrıca doğal toz parçacıklarının bir kısmı ise farklı sıcaklıklarda yakılarak kül haline dönüştürüldü. Kül haline dönüştürülmüş takviye elemanlarının da ağır metal analizleri yapıldı. Tozların ve küllerin XRD ve FT-IR analizleri gerçekleştirilerek bu partiküllerin yapısal (fiziksel ve kimyasal) özellikleri tespit edildi. Tespit edilen tüm özellikler ile ilgili sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- ✓ Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarında lignin miktarları yüksek, selülöz ve hemiselülöz miktarları ise düşük ve birbirine yakındır. Kayısı çekirdeğinin lignin, selülöz ve hemiselülöz miktarları fındık ve fıstık kabuklarından daha yüksektir.
- ✓ Fındık kabuğu tozunun rutubet miktarı en yüksektir. Bunu sırasıyla fıstık kabuğu tozu ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu takip etti.
- ✓ Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları arasından en yüksek kül miktarı kayısı çekirdeği kabuğu tozundan elde edildi. Fındık kabuğu tozundan elde edilen kül miktarı ise en düşük çıktı. Kül etme sıcaklığının artması çok az da olsa kül miktarını düşürdü. Kayısı çekirdeğinden elde edilen kül miktarı fındık kabuğu tozundan elde edilenin ortalama 6 katı, fıstık kabuğu tozundan elde edilenin ise ortalama 2,5 katıdır.
- ✓ Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları, azot, karbon, hidrojen ve oksijen elementlerini içermektedir. Bu elementlerden karbon yapının yaklaşık %48,5'ini oluşturmaktadır. Karbon elementinden sonra yapıda en çok oksijen elementi bulunup yapı içerisindeki oranı yaklaşık %43,5'tir.
- ✓ ICP-OES ile elde edilen ağır metal analizlerinde, fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ve küllerinde Sn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ni, Mn, Cu, Zn ve Si gibi ağır metallerin olduğu tespit edildi. Kayısı çekirdeği kabuğundaki bulunan ağır metal miktarlarının fındık ve fıstık kabuğu çekirdeklerinkinden daha yüksek olduğu belirlendi. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu küllerinde oksitlenme eğiliminde olan elementlerin miktarları düşmüştür.

- ✓ XRD analizlerinden fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarında gözlenen tip I selüloz yapısının kül etme işlemi sonrasında parçalanmasından ötürü değiştiği tespit edildi. Ayrıca fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği tozlarının FT-IR ile incelenen yüzey fonksiyonel yapılarında gözlenen piklerin ağırlıklı olarak selüloz, hemiselüloz yapılarından kaynaklı olduğu belirlendi.

Yukarıda maddeler halinde özellikleri belirlenen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarına ve küllerine ait takviye elemanları polimer matris malzemesine eklenerek doğal toz parçacıklar ve küller ile kompozitler üretildi. Üretilen kompozitlerin yoğunlukları, ısı iletkenlik özellikleri ve FT-IR analizleri yapılarak fiziksel özellikleri tespit edildi. Ayrıca kompozitlerin çekme, eğme ve basma deneyleri gerçekleştirilerek mekanik özellikleri belirlendi. Kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- ✓ Saf poliester malzemesinin yoğunluğu fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve küleriyle üretilen kompozitlerin yoğunluklarından düşük elde edildi. Kompozit malzeme içerisindeki takviye oranı arttıkça, kompozitin yoğunluğu arttı. Ayrıca fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu külleri ile elde edilen kompozitlerin yoğunluğu fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile üretilen kompozitlerin yoğunluğundan yüksek elde edildi. Kompozitler arasında en yüksek yoğunluğa sahip olanı, %30 takviye oranı ile kayısı çekirdeği kabuğu külü olmuştur. Bunu sırasıyla %30 fıstık ve %30 fındık kabuğu külü takip etti. Benzer davranış toz partikül takviyeli kompozitlerde de gözlemlendi.
- ✓ Saf poliester malzemesinin 0,151 W/mK olan ortalama ısı iletim katsayısı, saf poliester malzemesine ilave edilen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külleri ile arttı. Kompozit malzeme içerisindeki takviye oranının artması da ortalama ısı iletim katsayısını arttırdı. Saf poliesterin ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve ısı yayılım katsayısına en yakın değerler %10 kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitlerden elde edildi.
- ✓ Poliester malzemesine ilave edilen fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve külü matris malzemesinin çekme dayanımını ve gerinim değerini düşürdü. Her ne kadar çekme dayanımı düşse de 300-600 µm tane boyutundan elde edilen değerler 0-300 µm ve 600-850 µm tane boyutlarından daha iyi elde edildi. Genel olarak takviye oranının artması da çekme dayanımını olumsuz etkiledi.

- ✓ Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu takviyeli kompozitlerin %10 takviye oranı için eğme kuvvetine bağlı dayanımları, saf poliester malzemeninkinden daha iyi elde edildi. Takviye oranının artması eğme dayanımını düşürdü. Genel olarak 300-600 μm tane boyutundan elde edilen değerler 0-300 μm ve 600-850 μm tane boyutlarındakinden daha iyiydi. Ayrıca kül takviyeli kompozitlerin eğme dayanımı saf poliesterinkinden oldukça kötü çıktı.
- ✓ Eğme dayanımında olduğu gibi basma dayanımında da doğal takviye elemanı tozları ile üretilen kompozitlerin basma kuvvetine bağlı dayanımları saf poliesterinkinden iyiydi. Takviye oranının artması, bazı deneylerde basma dayanımı düşürse de değerler %10 ve %20 takviye oranlarında genel olarak saf poliesterinkinden daha yüksekti. Kül takviyeli kompozitlerde basma dayanımı oldukça düşük değerlerde görüldü.
- ✓ Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozlarında olduğu gibi bu tozlar kullanılarak üretilen kompozitlerin FT-IR ile incelenen yüzey fonksiyonel yapılarında da gözlenen piklerin ağırlıklı olarak selüloz ve hemiselüloz yapılarından kaynaklı olduğu belirlendi.

KAYNAKLAR

- Açıklım, K., Karaca, F. and Bolat, E., 2012, Pyrolysis of pistachio shell: Effects of pyrolysis conditions and analysis of products, *Fuel*, 95, 169–177.
- Adekunle, K. F., 2015, Surface treatments of natural fibres—A review: Part 1. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 5, 41–46.
- Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşçioğlu, C. ve Peker, H., 2013, Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 50-56.
- Avella, M., Buzarovska, A., Errico, M. E., Gentile, G. and Grozdanov, A., 2009, Eco-challenges of bio based polymer composites, *Materials*, 2(3), 911–925.
- Baştürk, S. B., Kanbur, K., Polatoğlu, İ. and Yürekli, Y., 2015, Mechanical properties of acorn and pine cone filled polymer composites, *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 14(2), 144-153.
- Bhaskar, J. and Singh, V. K., 2013, Water absorption and compressive properties of coconut shell particle reinforced-epoxy composite, *Journal of Materials and Environmental Science*, 4(1), 113-118.
- Boztepe, A., 2011, Çeşitli biyoatık malzemelerin gazlaştırılması ve elde edilen ürünlerin karakterizasyonu, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- BÜGEM, 2017, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, *BÜGEM Faaliyetleri*, Mart, [Ziyaret Tarihi: 10.09.2018].
- Chandramohan, D. and Rajesh, S., 2014, Study of machining parameters on natural fiber particle reinforced polymer composite material, *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 12(3), 72-77.
- Charrier, F. and Bouhtoury, E., 2017, Innovative green foams: opportunities and challenges in industrial potential applications, Edit by Inamuddin, *Green polymer composites technology: Properties and applications*, Taylor & Francis Group, CRC Press.
- Chand, N. and Dwivedi, U., 2016, Effect of coupling agent on abrasive wear behaviour of chopped jute fibre-reinforced polypropylene composites, *Wear*, 261, 1057-1063.
- Chauhan, S. and Bhushan, R. K., 2017, Study of polymer matrix composites with natural particulate/fiber in PMC: a review, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(3), 1168-1179.
- Demiral, İ., Atilgan, N. G. and Şensöz, S., 2009, Production of biofuel from soft shell of pistachio (*Pistacia vera L.*), *Chemical Engineering Communication*, 196, 104-115.

- Demiral, İ. and Kul, Ş. Ç., 2014, Pyrolysis of apricot kernel shell in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and char, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107, 17-24.
- Dittenber, D. B. and GangaRao, H. V. S., 2012, Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), 1419–1429.
- El-Shekeil, Y. A., Sapuan, S. M., Abdan, K. and Zainudin, E. S., 2012, Influence of fiber content on the mechanical and thermal properties of kenaf fiber reinforced thermoplastic polyurethane composites, *Materials & Design*, 40, 299-303.
- Essabir, H., Hilali, E., Elgharad, A., El Minor, H., Imad, A., Elamraoui, A. and Al Gaoudi, O., 2013, Mechanical and thermal properties of bio-composites based on polypropylene reinforced with nut-shells of argan particles, *Materials & Design*, 49, 442–448.
- Fiore, V., Scalici, T., Vitale, G. and Valenza, A., 2014, Static and dynamic mechanical properties of Arundo Donax fillers-epoxy composites, *Materials & Design*, 57, 456–464.
- George, J., Sreekala, M. S. and Thomas, S., 2001, A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites, *Polymer Engineering and Science*, 41(9), 1471–1485.
- Green, K. J., 2007, Multiscale fiber reinforced composites using a carbon nano fiber/epoxy nanophased matrix: Processing, properties, and thermomechanical behavior, *University of Alabama at Birmingham, the Thesis of Master of Science*, Birmingham, Alabama.
- Harle, S. M., 2014, The performance of natural fiber reinforced polymer composites, *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(3), 285-288.
- Hopson, J. and Carus, M., 2010, European hemp fiber for diverse bio-based products. *Hurth: Nova-Institut*.
- Iyer, A. K., 2015, Characterization of composite dust generated during milling of uni-directional and random fiber composites, *Master of Science in Mechanical Engineering, University of Washington*.
- Jayabal, S., Ramprasath, R., Prithivirajan, R., Sathiyamurthy, S. and Christal, K., 2016, Mechanical performance of bio particulated natural green husk coir fiber-vinyl ester composites, *International Journal of ChemTech Research*, 9(2), 65-69.
- Joshi, S. V., Drzal, L. T., Mohanty, A. K. and Arora, S., 2004, Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 35(3), 371-376.

- Kalia, S., Kaith, B. and Kaur, I., 2009, Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites – a review, *Polymer Engineering and Science*, 1253–1272.
- Karahan, H. A., Öktem, T. ve Seventekin, N., 2006, Doğal bambu lifleri, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 236-240.
- Kaya, N., Yıldız, Z. and Ceylan, S., 2018, Preparation and characterisation of biochar from hazelnut shell and its adsorption properties for methylene blue dye, *Journal of Politeknik*, 21(4), 765-776.
- Khodadadi, B., Bordbar, M. and Nasrollahzadeh, M., 2017, Green synthesis of Pd nanoparticles at apricot kernel shell substrate using *Salvia hydrangea* extract: Catalytic activity for reduction of organic dyes, *Journal of Colloid and Interface Science*, 490, 1-10.
- Komnitsas, K., Zaharaki, D., Pylitis, I., Vamvuka, D. and Bartzas, G., 2015, Assessment of pistachio shell biochar quality and its potential for adsorption of heavy metals, *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 805-816.
- Koronis, G., Silva, A. and Fontul, M., 2013, Green composites: A review of adequate materials for automotive applications, *Composite Part B: Engineering*, 44(1), 120–127.
- Kumar, R., Singh, T. and Singh, H., 2015, Natural fibers polymeric composites with particulate fillers – A review report, *International Journal of Advanced Engineering Research and Applications*, 1(1), 21–27.
- Lopes, L. P.C., Martins, J., Esteves, B. and De Lemos, L.T., 2012, New products from hazelnut shell, *5th International Conference on Environmentally Compatible Forest Products (PROCEEDINGS OF ECOWOOD'12)*, 83-90, 5-7 September, Fernando Pessoa University, Oporto, Portugal.
- Martinez, A., Egüés, I., Gordobil, O., Labidi, J. and Fernandes, S. C. M., 2017, Bio-based new materials for packaging applications, Edit by Inamuddin, *Green polymer composites technology: Properties and applications*, Taylor & Francis Group, CRC Press.
- Omrani, E., Menezes, P. L. and Rohatgi, P. K., 2016, State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green material world, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(2) 717-736.
- Pickering, K. L., Aruan Efendy, M.G. and Le, T. M., 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.

- Rajasekar, R., Moganapriya, C., Sathish Kumar, P., Navaneethakrishnan, P. and Inamuddin, 2017, Binders such as adhesives, gums, wallpaper paste, resins or any subclass in polymer division, Edit by Inamuddin, Green polymer composites technology: Properties and applications, *Taylor & Francis Group*, CRC Press.
- Ramesh, M., Palanikumar, K. and Hemachandra Reddy, K., 2014, Experimental investigation and analysis of machining characteristics in drilling hybrid glass-sisal-jute fiber reinforced polymer composites, *5th International & 26th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference (AIMTDR 2014)*, 461-466.
- Reder, M., Ciemniowska-Zytkewicz, H., Sujka, K., Koczon, P., Matlingiewicz, A. and Lipinska, E., 2014, Use of FT-IR spectroscopy combined with discriminant analysis for identification of hazelnuts Infected by *Aspergillus flavus*, *Academic Food Journal*, 12(2), 11-18.
- Salasinska, K. and Ryszkowska, J., 2015, The effect of filler chemical constitution and morphological properties on the mechanical properties of natural fiber composites, *Composite Interfaces*, 22(1), 39–50.
- Sharma, R. K., Wooten, J. B., Baliga, V. L., Martoglio-Smith, P. A. and Hajaligol, M. R., 2002, Characterization of char from the pyrolysis of tobacco, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50(4), 771-783.
- Singha, A. S. and Thakur, V. K., 2008, Mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites, *Bulletin of Materials Science*, 31(5), 791–799.
- Taşar, Ş., Kaya, F. and Özer, A., 2015, A study on the pyrolysis of peanut shells at different isothermal conditions and determination of the kinetic parameters, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(7), 306-313.
- Tong, J., Ren, L., Li, J. and Chen, B., 1995, Abrasive wear behaviour of bamboo, *Tribology International*, 28(5), 323-327.
- TÜİK, 2016, Türkiye İstatistik Kurumu 2016 verileri, (http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001), [Ziyaret Tarihi: 10.09.2018]
- Udhayasankar, R. and Karthikeyan, B., 2015, A review on coconut shell reinforced composites, *International Journal of ChemTech Research*, 8(11), 624-637.
- Väisänen, T., Haapala, A., Lappalainen, R. and Tomppo, L., 2016, Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A Review, *Waste Management*, 54, 62–73.
- Xie, Y., Hill, C. A. S., Xiao, Z., Militz, H. and Mai, C., 2010, Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(7), 806–819.

- Zhang, Y. S., Zhang, W., Huo, W. T., Hu, J. J. and Zhang, L. C., 2017, Microstructure, mechanical and wear properties of core shell structure particles in forced Ti-O alloys, *Vacuum*, 139, 44-50.
- Zhang, W., Jiang, S., Wang, K., Wang, L., Xu, Y., Wu, Z., Shao, H., Wang, Y. and Miao, M., 2015, Thermogravimetric Dynamics and FTIR analysis on oxidation properties of low-rank coal at low and moderate temperatures, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 35, 39-50.
- Zimniewska, M., Wladyka-Przybylak, M. and Mankowski, J., 2011, Cellulosic bast fibers, their structure and properties suitable for composite applications. In: Kalia, S., Kaith, B.S. and Kaur, I., (eds). *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites*, New York, NY: Springer-Verlag.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rojin YALÇIN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman/16.05.1993
Telefon : 05414050199
Faks : -
e-mail : rojingunes2637@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Fatih Lisesi, Batman	2011
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Batman, Merkez	2017
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman, Merkez	-
Doktora	: -	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI: Konstrüksiyon ve İmalat

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR*

Yalçın, R., Çelik, Y.H., (2019), Doğal fiber takviyeli kompozitler üzerine bir derleme çalışması. IESS 2019, 353-362.

Kılıçkap, E., Çelik, Y.H., Yalçın, R., Demir, M.E., (2019), Kayısı çekirdeği kabuğu takviyeli kompozitlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. IESS 2019, 736-745.