

Polipropilen Esaslı Kayısı Çekirdeği Kabuğu Tozu Katkılı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of Polypropylene Based Apricot Kernel Shell Powder Additive Composites

Mehmet ALTUĞ^{1*}, Yakup YILMAZ², Yunus ASLAN¹

¹ İnönü Üniversitesi, Malatya OSB Meslek Yüksekokulu, Malatya, Türkiye

² İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, takviye olarak kayısı çekirdeği kabuğu tozu (KÇKT) kullanılarak Polipropilen (PP) matrisli kompozitler üretildi. Bu kompozitlerin yapıları içerisindeki kayısı çekirdeği kabuğu oranı değiştirilerek farklı yapı ve özelliklerde 6 farklı numune hazırlandı. Elde edilen numunelerin mekanik özellikleri incelendi. Öncelikle bu katkılı kompozitlerin FTIR analizi ile kimyasal yapıları doğrulandı. Elde edilen bu yapıların yüzey morfolojileri detaylı olarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelediğimizde N1-saf PP yapısının düz ve filimsi bir yapı gözlemlendi. Katkılı numunelerde kayısı çekirdeği kabuğu miktarı arttıkça düz yüzeylerin yapısının azaldığını ve fraktal yapının arttığı görüldü. Çekme testi sonucunda elastisite modülünde saf PP'ye %25 katkı eklenmesi ile maksimum %40.7'lik bir artış gözlemlenmiştir. Yapıya katkı eklenmesi ile numunelerin çekme mukavemeti azalmış ve kopma uzamasında genel olarak bir değişiklik görülmemiştir. Izod darbe testi sonucunda sönmölen enerji itibarıyla en iyi değer %15 takviyeli numunede 0.27J olarak elde edildi. Eğme testlerinin sonucunda elde edilen elastisite modülü değerlerinde genel bir artış gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Polipropilen, Kayısı çekirdeği kabuğu tozu, Mekanik test.

Abstract

In this study, polypropylene (PP) matrix composites were fabricated using apricot kernel shell powder (AKSP) as reinforcement. Six distinct samples with varying structures and properties were prepared by varying the apricot kernel shell ratio in the structures of these composites. The mechanical properties of the samples were investigated. Firstly, the chemical structures of these doped composites were confirmed by FTIR analysis. A thorough examination of the surface morphology of these structures was conducted using scanning electron microscopy (SEM). This analysis revealed a flat and filamentous structure characteristic of the N1-pure PP structure. As the quantity of apricot kernel shell in the doped samples increased, the structure of the flat surfaces decreased and the fractal structure increased. In consequence of the tensile test, an augmentation of up to 40.7% in the modulus of elasticity was deduced from the incorporation of 25% additive to pure PP. The tensile strength of the specimens decreased with the addition of additives to the structure, and there was no change in the elongation at break in general. The specimen that demonstrated the most effective dissipation of energy in the Izod impact test, with a value of 0.27J, was the 15% reinforced specimen. A general increase was observed in the modulus of elasticity values obtained as a result of flexural tests.

Keywords: Composite, Polypropylene, Apricot kernel shell powder, Mechanical testing.

* Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): mehmet.altug@inonu.edu.tr

Geliş Tarihi (Received):13.05.2025, Kabul Tarihi (Accepted): 22.07.2025

1. Giriş

Kompozit malzemeler iki ya da daha çok malzemeyi bir araya getirilerek farklı özellikler kazandırılarak elde edilen bir malzeme türüdür. Kompozitler çoğu polimer matris malzemelerine dolgu ve takviye bileşenlerinden meydana getirilir [1]. Kompozitler iki fazdan oluşur. Birincil bileşeni matris faz ikincil bileşeni takviye fazıdır. Matris fazı malzemenin oluşturmada ilk sırada yer alır. Dolgu maddelerini dışarıdan gelebilecek darbelere karşı korur. Takviye fazı kompozit malzemeye mukavemet, rijitlik ve dayanım sağlayan dolgu bileşenlerdir [2].

Polimer malzemelere KÇKT atık olarak doğaya atılan bu malzemeyi polimer malzemesiyle katkılayarak polimer matris kompozit elde etmişler [3]. KÇK'nın atık olarak değerlendirilebilmesi için malzemeyi toz haline getirilerek farklı oranlarda polimer malzemeye katkılayarak ısı yalıtımlı [4] doğal kompozit malzemeler üretmişlerdir [5]. Organik olarak kullandıkları katkı elamanları ve oranlarından yeni kompozitlerin matris malzemelerinin mekanik test analizlerini incelemişlerdir. Sonuçlarına bakıldığında olumlu yönde bir iyileşme meydana geldiğini tespit etmişlerdir [6]. Atık olarak pirinç sapının boyutunu küçülterek ile fiber ve matris malzemesine ekleyerek yapı içerisinde matris malzemesine iyi bağlandığını gözlemlemişlerdir [7].

Polipropilenin odun unu ile takviye edildiğinde reolojik ve mekanik özelliklerini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada polipropilene dolgu malzemesi olarak odun unu ekleyerek etkilerini araştırmışlardır [8]. PP matris parçacıklarından kompozit malzeme üretimini hedeflemişlerdir. Üretmiş oldukları bu yapıların mekanik özelliklerinin iyi olmasından dolayı PP malzemesinin birçok avantajından dolayı seçtiklerini belirtmişlerdir [9]. PP'nin mekanik özelliklerindeki değişimlere de odaklanmışlardır. Güçlendirilmiş polipropilenin değişen yüzdelerde saf PP malzemeye göre %11, %16 ve %21 değerinde bir düşüş gözlemlemişlerdir. Darbe testlerinde en yüksek enerji emiliminin %10 katkılı PP kompozitinden olduğunu tespit etmişlerdir [10]. PP malzemedan üretilmiş plastik yapıları parçalarda federlerin deformasyon yönündeki etkilerini araştırmışlardır [11]. PP matris malzemeye alüminyum tozu katkılayarak kompozit malzemeler üretilmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda en düşük viskozite basıncının değeri 1379 KPa ve sıcaklığın ise 250°C katkı oranının ağırlıkça %5 ve tanecik boyutunun ise 210-300 µm ve 44-100 µm değerlerinde en iyi sonuç elde etmişlerdir [12]. Üç farklı basınç üç farklı sıcaklık üç farklı katkı oranı ve üç farklı alüminyum tozu büyüklüğü kullanılarak polipropilen esaslı kompozit malzeme üretilmiş [13] ve bunların eriyik akış indeks özellikleri incelemişlerdir [14].

Bu çalışmada polimer matris malzemesi olarak PP'nin granül formu kullanılmıştır. Ancak katkı maddelerinin ve takviyelerin boyutları ve şekilleri de kompozitlerin özelliklerini belirleme açısından etkili [15] olduğundan dolayı KÇKT'nin partiküllerini 32-75 µm boyutuna getirilerek kullanılmıştır.

Birçok ülkelerde, kayısı meyveleri yaygın olarak yetiştirilmektedir. Sürdürülebilir, yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir ürünlere olan ihtiyaç giderek arttığından [16], kayısı çekirdeği kabuğu ile zenginleştirilmiş biyokompozitlerin kullanımı günümüzde artmaktadır. Genel olarak, KÇK atık malzemelerdir, ancak çevre dostu biyokompozit üretimi için popüler hammaddeler olarak kullanılabilirler. Çalışmada, takviye elemanı olarak kayısı çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak polipropilen matrisli kompozitler hazırlanmıştır. Bu kompozitlerin yapıları içerisindeki kayısı çekirdeği kabuğu oranı değiştirilerek farklı yapı ve özelliklerde numune hazırlanmıştır. Çekme, eğme ve darbe testleri, su emme özellikleri gibi mekanik özellikleri hakkında sonuçları tartışılmıştır. Ek olarak, FTIR ve SEM gibi teknikler kullanılarak bazı karakterizasyon çalışmaları da sunulmuştur.

2. Materyal ve Metod

Polipropilen, otomotiv sanayiinde kullanılan parçalardan, tekstil ve yiyecek paketlemesine kadar çok geniş kullanım alanı olan termoplastik bir polimerdir. Monomer propilenin polimer hâle getirilmesi ile elde edilen polipropilen organik solventlere, asit ve bazlara karşı aşırı derecede dirençlidir. Çalışmada

katkı malzemesi olarak 32-75 μm boyutunda kayısı çekirdeği kabuğu tozu ve matris malzemesi olarak polipropilen kullanılmıştır. Çalışma öncesinde polipropilen ve KÇK tozlarını vakum etüvünde 60°C'de 4 saat boyunca kurutulmuştur. Kullanılan PP ve KÇK tozlarına ait görsel Şekil 1'de verilmiştir. Hazırlanan kompozitlere ait içerikler ve kodlamaları Çizelge 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan PP ve KÇK tozları

Çizelge 1. Matris ve takviye malzemelerinin ağırlık oranları (%)

Numune Kodu	PP Tozu(% ağırl.)	KÇK Tozu(% ağırl.)
N1- PP	100	0
N2-%5	95	5
N3-%10	90	10
N4-%15	85	15
N5-%20	80	20
N6-%25	75	25
N7-%30	70	30

Hazırlanan karışımlar 18 mm çapa sahip ve çift vidalı ekstrüderde granül formatında hazırlanmıştır. Çift vidalı ekstrüderde 65, 140, 175, 185 ve 205°C sıcaklıklarda işlem gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de karışımın hazırlanmasında kullanılan çift vidalı ekstrüder cihazı ve elde edilen granül görseli verilmiştir. Granül formunda hazırlanan numuneler üretime uygun olacak şekilde plastik enjeksiyon kalıplama ile test numunelerinin üretimi gerçekleştirildi. Çekme test numuneleri için ISO 527-2 standartlarına göre 170X20X4 mm boyutunda üretildi. Şekil 3'de çekme test numune ölçüleri ve Şekil 4'de çekme numunelerin görseli verilmiştir.



Şekil 2. Çift vidalı ekstrüder cihazı ve PP+KÇKT katkı granül



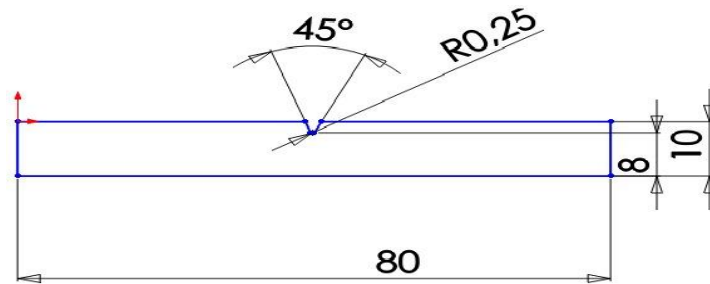
Şekil 3. Çekme test numune ölçüleri



Şekil 4. Çekme test numuneleri

Testler için AHP marka 20 kN çekme gücüne sahip ancak ölçülen numunelerin mekanik mukavemetleri değerlendirilerek hassasiyetin artırılması adına 5 kN'lık bir load cell (yük hücresi) ile donatılmış universal test makinesi kullanıldı. Çekme testlerinde çekme hızı sabit 50 mm/s olarak uygulandı.

Darbe test numuneleri ISO 179 standartlarına göre 80X10X10 mm boyutunda üretildi. Darbe testi için AHP marka 5 j'lık çekice sahip darbe test cihazı kullanıldı. Darbe testleri çentikli olarak izod test geometrisi olarak hazırlandı. Kullanılan çentik 2 mm derinlikte 45° açı ile hazırlanmıştır. Şekil 5'de darbe test numune ölçüsü ve Şekil 6'da darbe test numunelerinin görseli verilmiştir.



Şekil 5. Darbe test numune ölçüsü

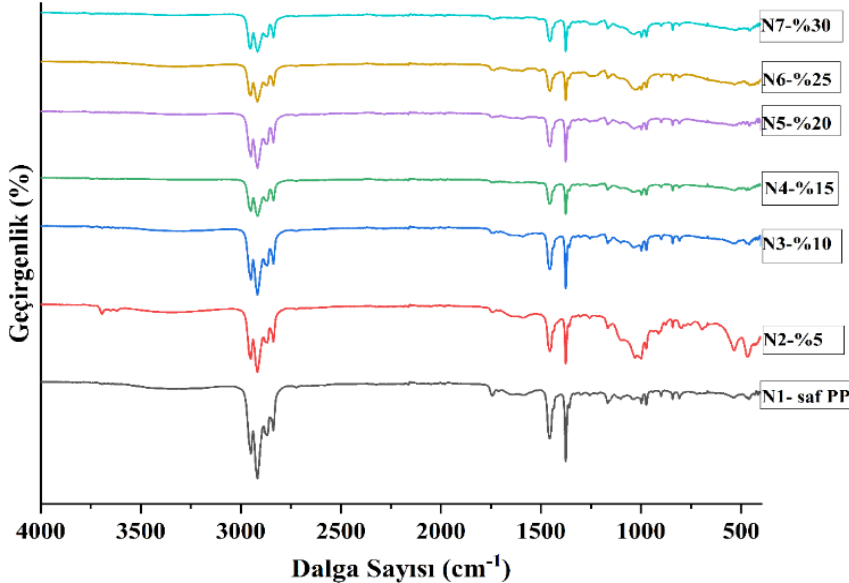


Şekil 6. Darbe test numuneleri

Eğme test numuneleri ISO 178 standartlarına göre 80X10X4 mm boyutunda üretildi. Eğme testi için AHP marka 20 kN çekme gücüne sahip ancak ölçülen numunelerin mekanik mukavemetleri değerlendirilerek hassasiyetin artırılması adına 5 kN'luk bir load cell (yük hücresi) ile donatılmış üniversal test makinesi kullanıldı.

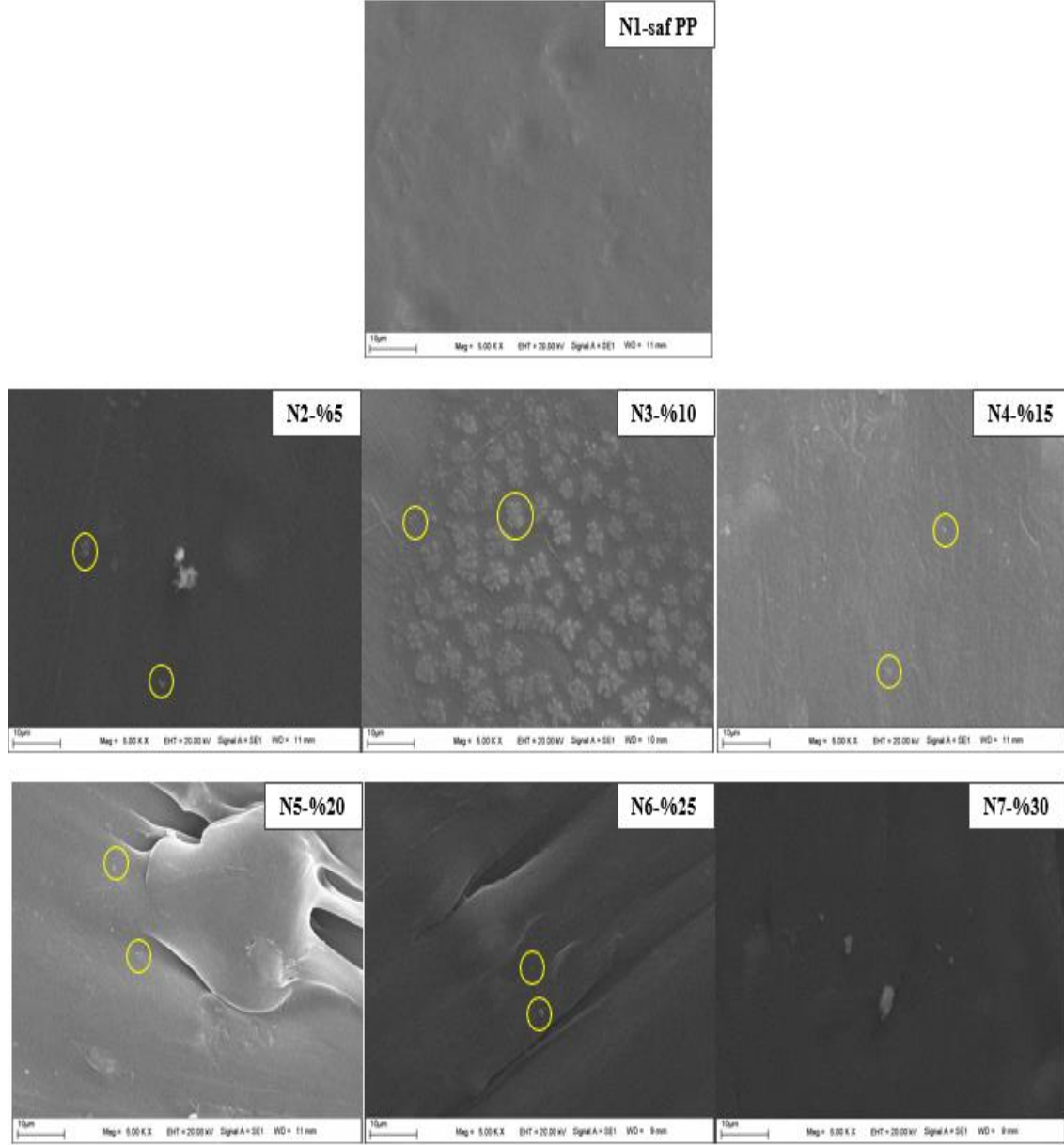
3. Sonuçlar ve Tartışma

Elde edilen kompozit yapılarının kimyasal, morfoloji ve mekanik test analiz sonuçları incelendi. Elde edilen kompozit numunelerin öncelikle FTIR ile kimyasal yapıları doğrulandı. FTIR analizinden elde edilen spektrumlar Şekil 7'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde hem PP hem de KÇKT kaynaklı pikler görülmektedir. 2200-2800-2950 cm^{-1} aralığında polimerik yapıdaki alifatik CH gruplarına ait gerilme titreşimi görülmektedir. Ayrıca 1450 cm^{-1} civarında polimerik yapıdan karbon ile gerilme titreşimi olarak görülmektedir. Diğer önemli pik ise 1050 cm^{-1} oksijen (O) karbon (C) titreşimidir. Eterik bir titreşim olup polipropilen yapısından kaynaklanmaktadır. Ayrıca 1355 cm^{-1} civarında CH ile CH_2 pikleri net olarak görülmektedir. Özellikle polimerik yapıdaki ana karbon iskeletinde bulunan C-C gerilim titreşimi ise 790 cm^{-1} ve 1350 cm^{-1} belirlendi. Bu yapıları kayısı çekirdeği kabuğu katkılanmasıyla selülozik yapıda bulunan eterik gerilme titreşimleri 1200 ile 1400 cm^{-1} aralığında görüldü. Bu değişimin varlığından yapıdaki kayısı çekirdeği kabuğu varlığını bize ispatlamaktadır. FTIR spektrumları tüm yapıyı doğrulamaktadır. N1'den N7'ye gidildikçe pik şiddeti olarak 1200 ile 1400 cm^{-1} pikin şiddetinin arttırdığı ayrıca metil pikindeki pik karakteristiğinin dönüştüğü görülmektedir. Bu değişimin istenen yapının elde edildiğini bize ispatlamaktadır.



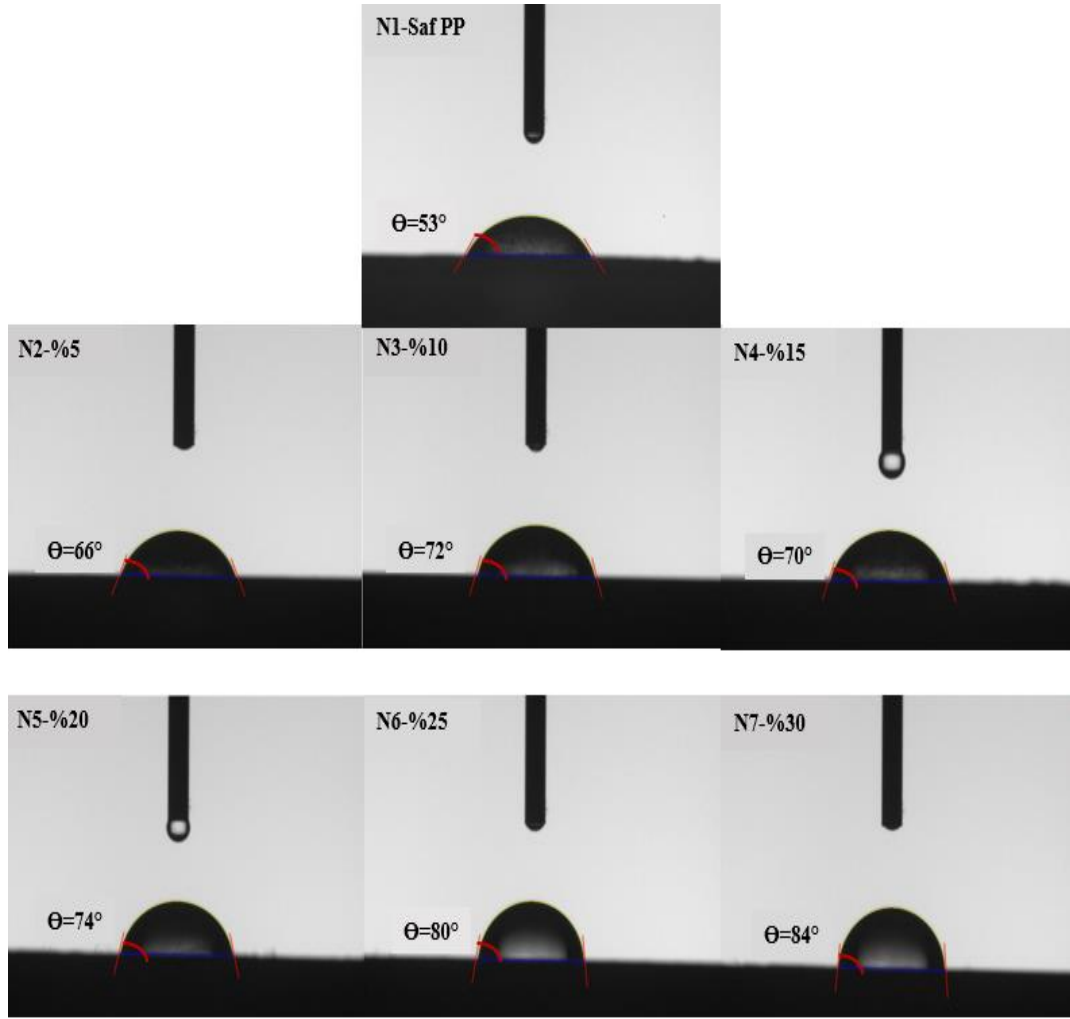
Şekil 7. FTIR grafiği

Elde edilen bu yapıların yüzey morfolojileri ve analizleri de detaylı olarak incelendi. Numuneler 5.00KX kıyaslamalı olarak alınarak Şekil 8'de verildi. N1-saf PP'nin yapısına bakıldığında düz ve filimsi bir yapıda olduğu görülmüştür. Katkılı numunelerin içerisinde küçük partüküller olan kayısı çekirdeği kabuğu yapılarını görüldü. Yapı içerisindeki kayısı çekirdeği miktarı arttıkça düz yüzeylerin yapısının azaldığını ve fraktal yapının arttığı görüntülendi.



Şekil 8. SEM görüntüleri

Sıvı temas açısı analizi su damlacığının bir yüzey üzerinde ne kadar yayıldığına bağlıdır ve su damlacığı ve yüzey arasındaki temas açısı ile ölçülebilir. Temas açısı 90°'den büyük yüzeyler hidrofobiktir. Bu tür yüzeyler üzerinde su damlacıkları yayılmaz damlacık şeklinde kalır. Su damlası hidrofilik yüzeyleri sevmesi sebebiyle yayılma eylemi gösterir. Bu çalışmada, temas açıları (θ) sırasıyla N1 saf PP 53°, N2 66°, N3 72°, N4 70°, N5 74°, N6 80° ve N7 84° olarak elde edildi (Şekil 9). KÇKT katkı oranı arttıkça hidrofilik yüzeylerden hidrofobik yapılar elde edilebileceği sonucuna varılabilir. Saf PP'ye göre kıyaslama yaptığımızda en iyi hidrofilik yapı göstermeyen numune %30 KÇKT katkılı N7'de tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı nem geçirgenliği düşüktür ve rutubet oluşturmaz. Numunenin dayanımını ve kullanım ömrünü artırır.



Şekil 9. Sıvı temas açısı

Çekme testinde her bir numune türü için 3'er adet test gerçekleştirilmiş (Şekil 10) ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 10. Çekme numunesi test sonrası

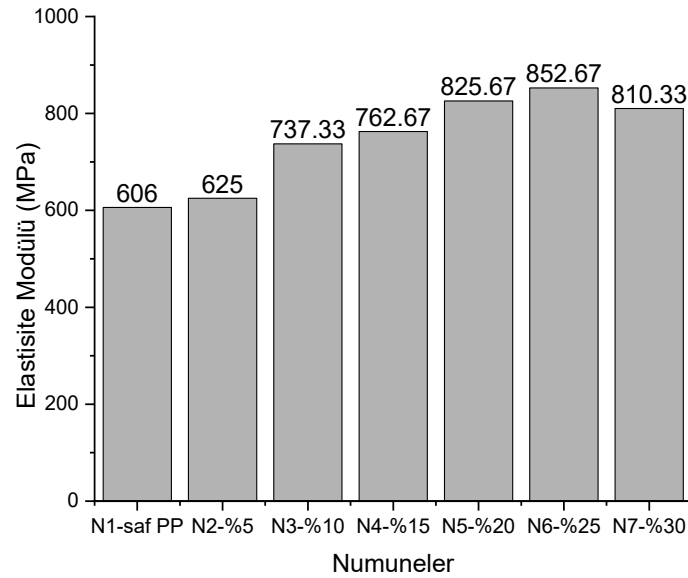
KÇKT takviye oranı arttıkça sünekten gevrek hale geçiş gözlemlenmiş ve tüm kompozit numunelerinde çekme testi sırasında gevrek kırılma gözlemlenmiştir (Şekil 10). Öztürk ve ark. katkı kompozit çalışmalarında karbon fiber takviyenin PLA malzemede kırılma dayanıklılığı arttırdığını gözlemlemişlerdir [17].

Çizelge 2. Çekme test sonuçları

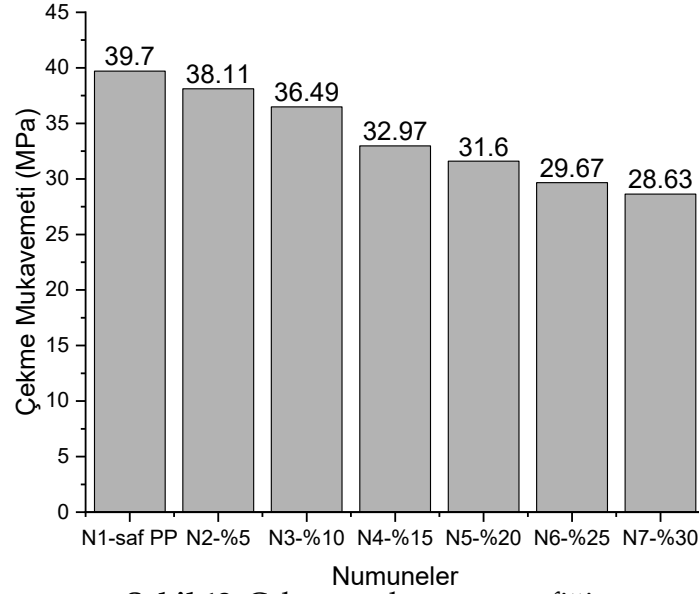
Numuneler	E_t (MPa)	σ_M (MPa)	ϵ_B (%)
N1-saf PP	606	39.70	349.67
N2-%5	625	38.11	22.41
N3-%10	737.33	36.49	19.44
N4-%15	762.67	32.97	18.96
N5-%20	825.67	31.60	10.69
N6-%25	852.67	29.67	9.26
N7-%30	810.33	28.63	8.34

Şekil 11’de çekme test sonucunda elde edilen elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde katkı eklenmesi yapının elastisite modülünü artırmıştır. Saf PP’ye %25 katkı eklenmesi ile maksimum %40.7’lik bir artış gözlenmiştir. Bu artış rijitliğin artırılması açısından istenen ve beklenen bir durumdur. Gauss C. ve ark. çalışmalarında en iyi çekme mukavemet değerlerinin elde ettiklerini tespit etmişlerdir [18].

Çekme mukavemet grafiğinde. KÇKT takviyesinin %30 oranına kadar takviye edilerek numunelerde sünek bir yapıdan kırılğan bir yapıya geçiş tespit edilmiş. Polimer zincirlerinin hareketinin kısıtlanmasından dolayı çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçları Manral ve ark. [19] çalışmalarında da rastlanmıştır. (Şekil 12-13). Takviye maddelerinin topaklaşması çekme özelliğinin bozulmasına yol açmış olduğu düşünülmektedir.

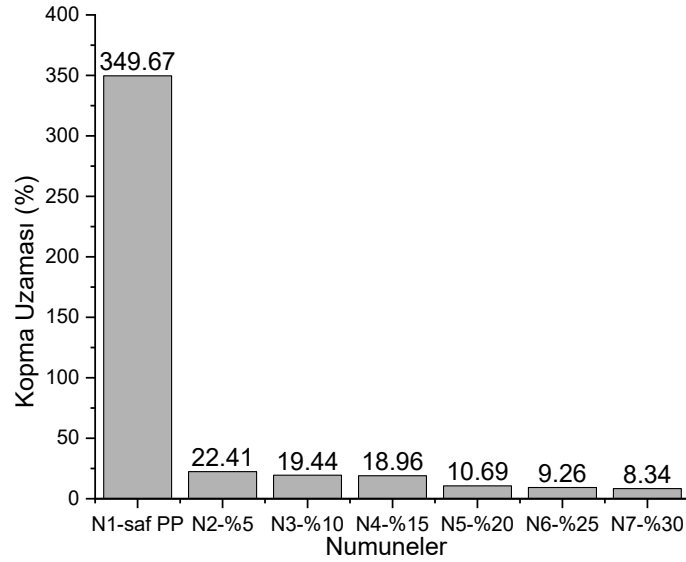


Benzer bir çalışmada Ulutaş ve Taşdemir, saf PP, %10, %20 ve %30 MK/PK (Muz kabuğu/Pirinç kabuğu) takviyeli kompozitlere ait elastisite modül değerleri sırasıyla 640 MPa, 653.4 MPa, 666.2 MPa ve 779.8 MPa olarak ölçmüşlerdir. En yüksek artışın %30 MK/PK karışımı ilavesinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Saf PP, %30 MK/PK ilaveli grup ile karşılaştırıldığında elastiklik modül değerinin %21.8 oranında arttığını tespit etmişlerdir [20].



Şekil 12. Çekme mukavemet grafiği

KÇKT'nin polimer zincirlerinin hareketinin kısıtlanmasından dolayı çekme mukavemet değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlara Ermeýdan ve ark. [21] çalışmaların da rastlanmıştır. Polimer zincir hareketliliğini daha da engelleyerek cam geçiş bölgesinin hafifçe genişlemesine [22] ve ardından biyonano kompozitlerin kopma anında daha düşük çekme mukavemetine ve uzamasına neden olacaktır [23]. Kufel ve Kuciel çalışmalarında, PP matrisine doğal dolgu maddeleri ekleyerek ağırlıkça %10, %15 ve %20 bazalt lifleri (BF) ve öğütülmüş fındıkkabukları (HS) PP matrisine ilave etmişlerdir. Sonuç olarak çekme mukavemetinde ve çekme modülünde bir azalmaya neden olduğunu gözlemlemişlerdir [24].



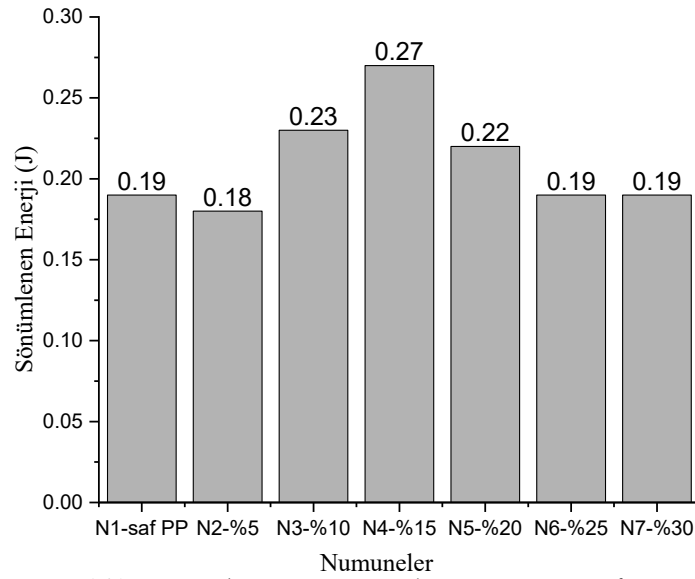
Şekil 13. Kopma uzama grafiği

Izod darbe testi, genellikle plastikler, polimerler ve kompozit malzemeler için kullanılan, malzeme tokluğunu değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Izod darbe test numunelerinin deneyleri yapılarak test sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

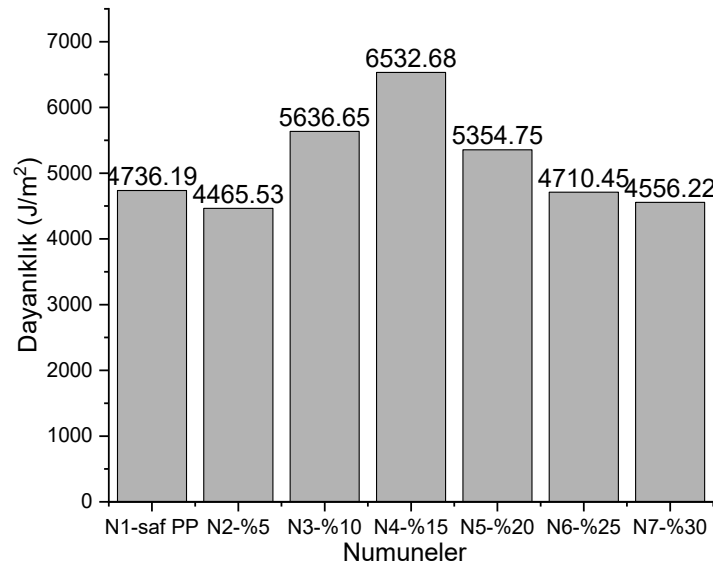
Çizelge 3. Darbe test sonuçları

Numuneler	Sönümlenen Enerji(J)	Dayanıklılık(J/m ²)
N1-saf PP	0.19	4736.19
N2-%5	0.18	4465.53
N3-%10	0.23	5636.65
N4-%15	0.27	6532.68
N5-%20	0.22	5354.75
N6-%25	0.19	4710.45
N7-%30	0.19	4556.22

Izod darbe testi sonucunda sönümlenen enerji itibarıyla en iyi değer %15 takviyeli numunede 0.27J olarak elde edildi ve iyileşme saf PP'ye göre %42'lik bir artış elde edilmiştir. Benzer sonuçları Sanjay ve ark. polimere katkılanan kenaf, kenevir, bambu ve jüt lifleri organik malzemelerden elde ettikleri biyokompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir [[25]. [26]. [27]. [28]].

**Şekil 14.** Darbe testi sönümlenen enerji grafiği

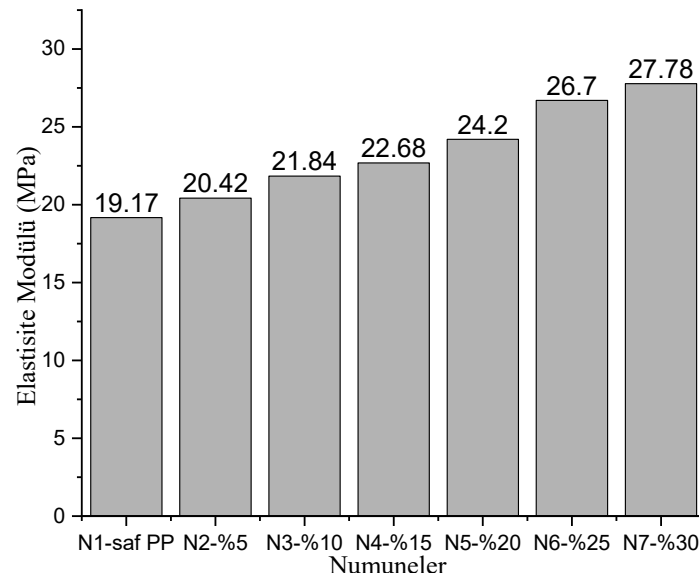
Şekil 15'de darbe testi dayanıklılık (J/m²) grafiği verilmiştir. Grafiğe göre katkı oranı arttıkça dayanıklılık değerlerinde N4- %15 katkıya kadar genel bir artış gözlemlenmiştir.

**Şekil 15.** Darbe testi dayanıklılık grafiği

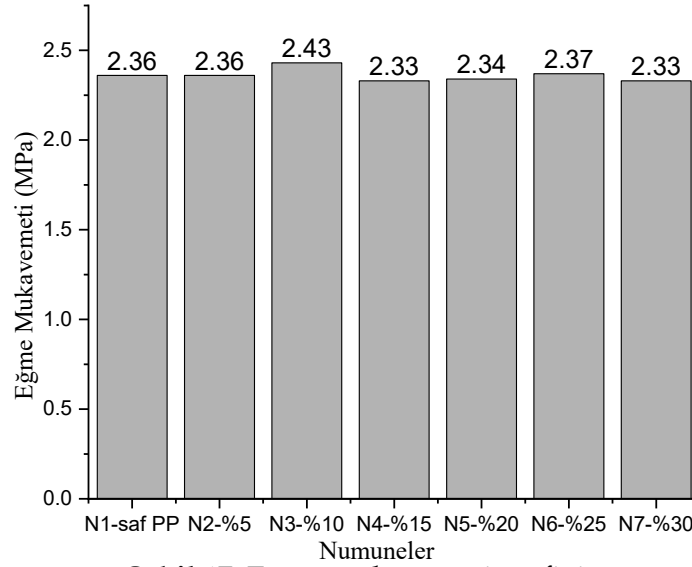
Çizelge 4. Eğme test sonuçları

Numuneler	E_t (MPa)	σ_M (MPa)
N1-saf PP	19.17	2.36
N2-%5	20.42	2.36
N3-%10	21.84	2.43
N4-%15	22.68	2.33
N5-%20	24.2	2.34
N6-%25	26.7	2.37
N7-%30	27.78	2.33

Şekil 16’da eğilme modülü grafiğine göre tüm katkılı numunelerin elastisite değerleri N1, saf PP (19.17 MPa) göre yüksek çıkmıştır. Ayrıca %30 katkılı N7’de 27.78 MPa değeri ile saf PP’ye numunesine göre %44 bir artış görülmüştür. Karakuş ve ark. çalışmalarında ürettikleri kompozit malzemelerinde eğilme modülünü %40’lık bir artış elde etmişlerdir [29]. Bu durumun altında yatan temel nedenin eğilme özelliklerindeki iyileşme organik dolgu KÇKT maddesinin PP matrisine mükemmel şekilde bağlandığını gösterir. Benzer sonuçları Doğru [30] çalışmasında yüksek sıcaklıktaki baskılarda soğutma miktarı az olduğundan katmanlar arasındaki bağlanma daha iyi olur. Sıcaklık arttıkça polimer bağlarının güçlendiğini tespit etmiştir.

**Şekil 16.** Eğme testinin elastisite modül grafiği

Şekil 17’de eğilme mukavemet grafiği verilmiştir. Sonuçlara göre tüm katkılı numunelerin mukavemet değerleri saf PP’ye göre N3’de %2.96 gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlara Ermeşyan ve ark. [21] çalışmalarında gözlemlenmiştir.



Şekil 17. Eğme mukavemeti grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada takviye elemanı olarak kayısı çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak polipropilen matrisli kompozitler hazırlanmıştır. Bu kompozitlerin yapıları içerisindeki kayısı çekirdeği kabuğu oranı değiştirilerek farklı yapı ve özelliklerde numune hazırlanmıştır. Çekme, eğme ve darbe testleri, su emme özellikleri gibi mekanik özellikleri hakkında sonuçları tartışılmıştır. Ek olarak, FTIR ve SEM gibi teknikler kullanılarak bazı karakterizasyon çalışmaları da sunulmuştur. Yukarıdaki tartışmalardan, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Katkılı kompozitlerin FTIR analizi ile kimyasal yapıları doğrulandı.
- Katkılı numunelerde KÇKT miktarı arttıkça düz yüzeylerin yapısının azaldığını ve fraktal yapının arttığını görüldü.
- Sıvı temas açısının analiz sonuçlarına göre en iyi hidrofobik yapıya ($\theta \geq 90$) yakın %30 katkı ($\theta = 84$) N7'de gözlemlendi.
- Çekme testi sonucunda elastisite değerlerinde genel bir artış gözlemlendi. En yüksek değer olan %25 katkı N6 numunesinin değeri 852.67 MPa saf PP'ye göre %40.7'lik bir artış göstermiştir.
- Çekme gerilmesi ve Kopma uzamasında katkı numunelerde bir artış gözlemlenemedi.
- Izod darbe testi sonucunda sönmölen enerji itibarıyla en iyi değer %15 takviyeli numunede 0.27J olarak elde edildi ve iyileşme saf PP'ye göre %42'lik bir artış göstermiştir.
- Eğme testlerinin sonucunda elastisite değerlerinde genel bir artış gözlemlendi. %30 katkı N7 numunesinin değeri saf PP'ye göre %45 bir iyileşme sağlandı.

Kaynaklar

- [1] İlhan R, Feyzullahoğlu E. Cam elyaf takviyeli polyester (ctp) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Derg. 2019; 1: 355–381.
- [2] Kaya Aİ. Kompozit malzemeler ve özellikleri, Poliüretan ve Kompoz. Sanayi Derg. 2016; 8: 38–45.
- [3] Altuğ M, Yılmaz Y. Polilaktik asit (PLA) esaslı organik takviyeli kompozitler. Farklı Mühendislik Yaklaşımlarıyla Kompozit Malzemeler- I, Özgür Yayınları; 2023.
- [4] Hufert J, Grebhardt A, Schneider Y, Bonten C, Schmauder S. Deformation behavior of 3d printed auxetic structures of thermoplastic polymers: pla, pbat, and blends, Polymers (Basel). 2023; 15: 309–314.
- [5] Satyanarayana KG, Arizaga GGC, Wypych F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – an overview, Prog. Polym. Sci. 2009; 34: 982–1021.
- [6] Altuğ M, Yılmaz Y. Polilaktik asit (PLA) esaslı organik takviyeli kompozitler. Farklı Mühendislik Yaklaşımlarıyla Kompozit Malzemeler- I, Özgür Yayınları; 2023.
- [7] Üner B, Bülbül Z. Polimerik malzeme kaplı atık kâğıtlardan üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel yöntemlerle incelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg. 2022; 10: 170–185.

- [8] Gültaş A., Zeyveli M, Kaya S, Altuğ M. Investigation of rheological and mechanical properties of wood flour reinforced polypropylene, *Materwiss. Werksttech.* 2018; 49: 73–88.
- [9] Gültaş A, Altuğ M, Khakzad F. Plastik parçalarda federin gerilmeler üzerindeki etkilerinin araştırılması, *Türk Doğa ve Fen Derg.* 2021; 10: 75–83.
- [10] Gültaş A., Zeyveli M, Kaya S, Altuğ M. Investigation of rheological and mechanical properties of wood flour reinforced polypropylene, *Materwiss. Werksttech.* 2018; 49: 73–88.
- [11] Gültaş A, Altuğ M, Khakzad F. Investigation of rib effects on deformation in plastic part made from polypropylene, *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.* 2019; 25: 444–453.
- [12] Gültaş A, Altuğ M, Temel S. Alüminyum tozu takviyeli polipropilenin viskozite değerlerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.* 2016; 4: 147–158.
- [13] Gültaş A, Altuğ M, Temel S. Mechanical properties of aluminum powder reinforced polypropylene, *Mater. Test.* 2017; 59: 86–93.
- [14] Gültaş A, Temel S, Altuğ M. Alüminyum tozu katkılı polipropilenin ergiyik akış indeksi özelliklerinin incelenmesi investigation of melt flow index properties of polypropylene reinforced aluminum powder, 2017; 20: 51–59.
- [15] Tripathi N, Misra M, Mohanty AK. Durable polylactic acid (PLA)-based sustainable engineered blends and biocomposites: recent developments, challenges, and opportunities, *ACS Eng. Au.* 2021; 1: 7–38
- [16] Verma D, Kenari M. A, Okhawilai M. Matrix materials for coir fibers mechanical and morphological properties, *Woodhead Yayıncılık Kompozit Bilimi ve Mühendisliği Dizisi*, 2022; 107-133.
- [17] Öztürk FH, Öz Ö, Aydın M, Kılıç E, İsa SO, Bektaş U. Sürekli fiber takviyeli kompozit filament üretimi ve yazdırılması. In 4th International Congress on 3D printing (additive manufacturing) technologies and Digital Industry, Antalya, Türkiye; 2019.
- [18] Gauss C, Pickering KL, Tshuma J, McDonald-Wharry J. Production and assessment of poly(lactic acid) matrix composites reinforced with regenerated cellulose fibres for fused deposition modelling, *Polymers (Basel)*. 2022; 14: 3991.
- [19] Manral A, Bajpai PK. Effect of non-acidic chemical treatment of kenaf fiber on physico mechanical properties of pla based composites, *J. Nat. Fibers*, 2022; 19: 5709–5727.
- [20] Ulutaş E, Taşdemir M. Polipropilenin mekanik özelliklerine muz ve pirinç kabuğu tozlarının etkilerinin incelenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.* 2024; 14: 1310–1319.
- [21] Ermeýdan MA, Aykanat O. Pla/boyn biyokompozitlerin termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *NWSA Acad. Journals.* 2019; 15: 226–231.
- [22] Kamal MR, Khoshkava V. Effect of cellulose nanocrystals (CNC) on rheological and mechanical properties and crystallization behavior of PLA/CNC nanocomposites, *Carbohydr. Polym.* 2015; 123: 105–114.
- [23] Zaaba NF, Jaafar M, Ismail H. Tensile and morphological properties of nanocrystalline cellulose and nanofibrillated cellulose reinforced PLA bionanocomposites: A review, *Polym. Eng. Sci.* 2021; 61: 22–38.
- [24] Kufel A, Kuciel S. Hybrid composites based on polypropylene with basalt/hazelnut shell fillers: the influence of temperature, thermal aging, and water absorption on mechanical properties, *Polymers (Basel)*. 2019; 12: 18.
- [25] Sanjay MR, Madhu P, Jawaid M, Senthamarai Kannan P, Senthil S, Pradeep S. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review, *J. Clean. Prod.* 2018; 172: 566–581.
- [26] Hu R, Lim JK. Fabrication and mechanical properties of completely biodegradable hemp fiber reinforced polylactic acid composites, *J. Compos. Mater.* 2007; 41: 1655–1669.
- [27] Moshul Alam AKM, Beg MDH, Reddy Prasad DM, Khan MR, Mina MF. Structures and performances of simultaneous ultrasound and alkali treated oil palm empty fruit bunch fiber reinforced poly(lactic acid) composites, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 2012; 43: 1921–1929.
- [28] Trivedi AK, Gupta MK, Singh H. PLA based biocomposites for sustainable products: A review, *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 2023; 6: 382–395.
- [29] Karakuş K, Başboğa İ, Mengenoğlu F. Termoplastik esaslı polimer kompozitlerin üretilmesinde utilization of forestry ' s wastes in thermoplastic based polymer composites, *Akdeniz Ormanlarının Geleceği Sürdürülebilir Toplum ve Çevre*, 2014; 801–807.
- [30] Dogru A. Production and characterization of fiber reinforced polymer composites by additive manufacturing method. [Doktora tezi]. İzmir: İzmir Katip Çelebi Üniversitesi; 2022.