

Atık muz kabuğu, biber sapı ve kızılçam odun unu kullanılarak biyoplastik kompozit üretimi

Ferhat Özdemir^{a,*}, Doğu Ramazanoğlu^b

Özet: Bu çalışmanın amacı, çeşitli biyokütle atıklarının ahşap esaslı kompozit yapı malzeme üretimine doğrudan kazanımlarının sağlanmasıdır. Böylelikle mobilya sektörünün milli kaynaklarımız olan ormanlarımız üzerindeki yükün azaltılması amaçlanmıştır. Ek olarak masif ürünler yerine alternatifleri olan ahşap esaslı kompozit türlerinin zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla; muz kabuğu başta olmak üzere, gliserin, mısır nişastası, biber sapı (100 mesh) ve kızılçam odun unu (60 mesh) kullanılarak hazırlanan 16 farklı biyoplastik numunesi üretilmiştir. Daha sonra, hazırlanan bu örneklerin asidik ve bazik ortamdaki çözümleri incelenmiştir ve ASTM D 792 standartlarına uygun olarak yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; asidik ortamdaki en düşük ve en yüksek çözünme değerleri % 6.7 ve % 61.9 olup sırasıyla G₁₄O₈ ve G₇O₂ numunelerine aittir. Bazik ortamda ise sırasıyla, % 14.3 ile G₇O₈ ve % 35.7 çözünme değeri ile G₇B₁ numunesi belirlenmiştir. Üretilen biyoplastik kompozitler arasında yoğunluğu en yüksek olan 2.29 g/cm³ değeri ile G₇O₈ numunesi, en düşük ise 1.03 g/cm³ ile G₇B₇ ve G₁₄B₇ numunelerinin olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Muz kabuğu, Kızılçam, Biber sapı, Biyoplastik

Production of wood-based eco-friendly bioplastic composites using waste banana peel, pepper stalk and red pine wood flour

Abstract: The aim of this study is to provide the direct recovery of various biomass wastes to the production of wood based composite materials. Thus, it is aimed to reduce the burden on our forests, which are the national resources of the furniture sector. In addition, it is aimed to enrich wood-based composite types with alternatives instead of massive products. For this purpose; 16 different bioplastic specimens were produced using banana peel, glycerin, corn starch, pepper stalk (100 mesh) and pine wood flour (60 mesh). Then, the dissolution of these samples in acidic and basic medium were examined and density values were determined in accordance with ASTM D 792 standards. According to the results obtained; The lowest and highest dissolution values in the acidic medium were 6.7% and 61.9%, respectively, belonging to G₁₄O₈ and G₇O₂ samples. In the basic medium, respectively, G₇O₈ with 14.3 % and G₇B₁ sample with 35.7% dissolution value were determined. Among the produced bioplastic composites, G₇O₈ sample had the highest density of 2.29 g/cm³ and G₇B₇ and G₁₄B₇ samples had the lowest value of 1.03 g/cm³.

Keywords: Banana peel, Red pine, Pepper stem, Bioplastic

1. Giriş

Günlük yaşantımızda kullandığımız malzemeler arasında en önemlilerden biri petrol türevi polimerler olan plastiklerdir. Doğada bozunmaları çok uzun sürmesi gibi bazı olumsuz yönleri olsa da esnek olmaları, kolay şekil alabilmeleri ve ekonomik olmalarından dolayı birçok sektörde farklı türevlerinin kullanıldığı yaygın olarak bilinmektedir. Son zamanlarda, biyoplastiklerin bakteriler tarafından sentezi üzerine yapılan araştırmalardan dolayı biyoplastiklere olan ilgi artmıştır. Biyopolimerik malzemeler termoplastik olmalarından dolayı daha çok polipropilene benzer özellik göstermekle beraber sertlikleri polietilene göre yaklaşık dört kat daha fazladır. Organik çözücüler yardımıyla sıvı halde buldukları biyokütlelerden uzaklaştırılıp kristalleştirilerek kullanılırlar. Yaşam alanlarında kullandığımız eşyaların çoğu plastik malzemeler kullanılarak üretilmiştir. 2010 yılında dünya

genelinde yaklaşık 265 milyon ton plastik üretilmiştir (Şprajcar vd., 2012). Özellikle polimer filmler çeşitlilik, düşük maliyet ve geçirgenlikleri nedeniyle ambalaj sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen (PE) ve polivinil klorür (PVC) ambalaj sektöründe en çok kullanılan petrol türevi ürünlerdir. Bu sentetik ürünler doğal yollar ile bertaraf edilemezler (Qin vd., 2015). Biyolojik yollardan parçalanamayan bu plastik malzemeler katı atık kirliliğini artırır.

20. yüzyılın başlarında biyoplastiklere olan yoğun ilginin giderek artmaktadır. Özellikle, nişasta içeriğinin yüksekliğinden dolayı muz kabukları en yaygın kullanılan biyokütle atıklarının başında gelmektedir. Bir muz kabuğunun yaklaşık % 18.5'i nişastadan oluşmaktadır (Astuiti ve Erprihana 2014). Muz kabukları olgunlaştıkça yapılarında bulunan şeker miktarı artar. Bunun sebebi yapılarında bulunan nişastanın olgunlaşma tamamlanmaya

✉ ^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Onikişubat Kahramanmaraş

^b Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ferhatozd@hotmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 10.04.2019, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.09.2019



Citation (Atıf): Özdemir, F., Ramazanoğlu, D., 2019. Atık muz kabuğu, biber sapı ve kızılçam odun unu kullanılarak biyoplastik kompozit üretimi. Turkish Journal of Forestry, 20(3): 267-273.

DOI: [10.18182/tjf.551787](https://doi.org/10.18182/tjf.551787)

kadar şeker moleküllerine dönüşmesidir. Muz kabuğu olgun halde nişasta bakımından zengin bir kaynağa dönüşür (Soltani vd., 2010). Mısır da nişasta kaynağı bakımından zengin bir kaynak olup insanoğlunun temel besinleri arasındadır.

Henry Ford'dun otomobil parçalarının üretimine mısır ve soya fasülyesi kullanımıyla başlamıştır. Günümüzde, biyoplastikler küresel pazardaki yüksek talebinden dolayı üretim çalışmaları açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Doğal polimerlerden makromoleküller ve şeker yağ asidi, dissakarit gibi daha küçük moleküller biyoplastik üretiminde kullanılan ana hammaddelerdendir.

Nişasta biyoplastiklerin ana hammaddelerinden biridir. Nişasta iki glikoz biriminin birbirlerine bağlanması ile oluşan uzun polimer zincirlerinden oluşan doğal bir polimerdir. Amiloz ve amilopektin olarak adlandırılan dallanmış kademeli yapıları vardır. Erişebilirliğinin kolay olması, düşük maliyet, yenilenebilirlik ve biyoçözünübilirlikleri olduğu için nişasta biyoplastik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nişasta ısı ve mekanik uygulama ile plastikleştirici varlığında bir termoplastik gibi davranabilir (Agustin vd., 2014). Doğal nişasta bazlı filmler yüksek su afinitesi ve kırılabilirliği ile sınırlı olduğundan, diğer doğal biyopolimerler genellikle filmlerin özelliklerini değiştirmek ve iyileştirmek için dolgu maddeleri olarak eklenir (Bof vd., 2015).

Bu çalışmada, mısır nişastasının ko-biyopolimer olarak muz kabuklarında ana biyopolimer kaynağı olarak kullanımı ile çevre dostu odun-biyoplastik üretimi için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bunlara ilaveten, kızılçam odunu ve biber sapının kullanılması ile alternatif kaynak sağlanması amaçlanmıştır. Farklı biyokütlelerden alınan nişastanın giliserin ile polimerizasyonunun farklı boyutlardaki biber sapı ve kızıl çam odunu ile desteklenmesiyle üretilen odun-biyoplastik kompozitinin yoğunluk değerleri ile asidik ve bazik ortamdaki çözümleri üzerine olan etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve metod

2.1. Materyal

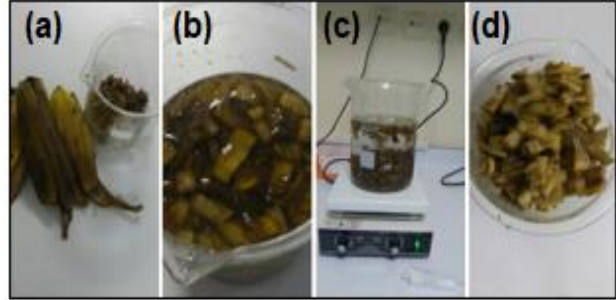
Biyoplastik üretiminde, mısır nişastası, elma sirkesi (% 4-5 asetik asit), yerel marketten, asit çözelti olarak Merck KGaA 64271 Darmstadt, Germany firmasından temin edilen % 37 HCl stok çözeltisi kullanılmıştır. Baz çözeltilerinin hazırlanmasında kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) TEKKİM firmasından tedarik edilmiştir. Kızılçam odunu (60 mesh) Kahramanmaraş Orman İşletmesinden tedarik edilen odundan ve biber sapı (100 mesh) ise ticari bir firmadan elde edilmiştir. Odun ve biber sapının eleme işlemi KSÜ Orman Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır.

2.2. Metod

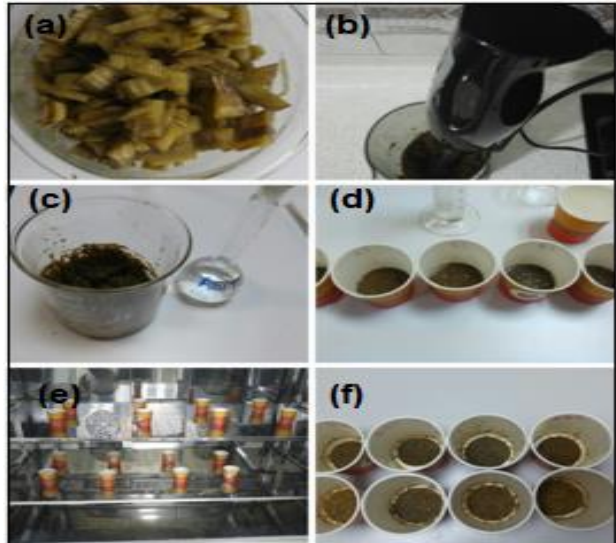
Numunelerin üretimi sırasında ko-biyopolimer olarak mısır nişastası, ana polimerizasyon maddesi olarak ise muz kabukları kullanılmıştır. Böylelikle, biyoplastik üretimine yeni bir yaklaşım getiren bu çalışmada dolgu malzemesi olarak farklı oranlarda ilave edilen biber sapı (100 mesh) ve kızılçam odunu (60 mesh) ile laboratuvar şartlarında 16 farklı biyoplastik kompozit numunesi üretilmiştir.

2.2.1. Muz kabuklarının hazırlanması

Yaklaşık 250 gram muz kabuğu bıçak yardımıyla parçalanmıştır (Şekil 1.a). 500 ml'lik cam behere alınan parçalanmış muz kabukları burada 15 dakika boyunca % 4-5 asetik asit (CH_3COOH) içeren elma sirkesinde bekletilmiştir (Şekil 1.b). Asit çözeltisinden süzülerek alınan muz kabukları 30 dk boyunca saf suda kaynatılmıştır (Şekil 1.c). Sonra sudan çıkarılan muz kabukları oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır (Şekil 1.d). Odun-biyoplastik kompozitlerinin hazırlanması Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 1. Muz kabuklarının hazırlanması (a): doğrama; (b): asetik asit ile müdahale; (c): kaynatma; (d): oda sıcaklığında soğutma



Şekil 2. Odun-biyoplastik kompozitlerinin hazırlanması (a): ön işlem görmüş muz kabukları; (b): blendır işlemi; (c): muz kabuğu püresi; (d): kalıplama; (e): Fırınlama; (f): Kurutulmuş odun-biyoplastik numuneleri

2.2.2. Odun-biyoplastik kompozitlerinin hazırlanışı

İlk olarak, muz kabukları el blenderı kullanılarak püre haline getirilmiştir. Sonra, püre haline getirilen muz kabuklarından 10 gram tartılarak 50 ml'lik cam behere aktarılmıştır. Üzerine, 3 ml 0.5 M hidroklorik asit (HCl) çözeltisi eklenmiş ve karıştırılmıştır. Karışıma 2 ml %7 gliserin çözeltisi ilave edilmiştir. Ko-polimer olarak hazırlanan 3 ml'lik % 4'lük mısır nişastası çözeltisi eklenerek karıştırılmıştır. Son olarak, karışımın pH değerinin nötralizasyonu için 3 ml 0.5 M sodyum hidroksit çözeltisi eklenmiştir. Aynı şekilde hazırlanan ve %7 ve %14 gliserin ihtiva eden bu çözeltilerden her biri 8'li olmak üzere 2 grup oluşturulmuştur. Bu gruplar sırasıyla %2, %4, %6 ve %8 kızılçam odununu 60 mesh'lik ve %1, %3, %5 ve %7 biber sapı 100 mesh'lik olmak üzere toplam 16 farklı biyoplastik kompozit karışım içerikleri Çizelge 1'de verildiği gibi hazırlanmıştır. Elde edilen bu kompozitler %7 oranında gliserin içerenleri 130 °C'de 2 saatte, %4 gliserin içerenleri ise 4 saat süreyle kurutulmuştur (Çizelge 1).

2.2.3. Yoğunlukların hesaplanması

Yoğunluk testi ASTM D 792 standartlarına göre (2.1)'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Burada numune boyutu için herhangi bir boyutlandırma yapılmamıştır. Öncelikle numunelerin laboratuvar şartlarındaki kuru ağırlıkları tartılmıştır (Şekil 3). Daha sonra, oda sıcaklığında numuneler suya daldırılarak sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Hesaplanan numunelerin % 7 gliserin içeren numunelerin yoğunluk değerleri Çizelge 2'de verilmiş ve Şekil 4'de gösterilmiştir. % 14 gliserin içeren biyokompozit numunelerinin hesaplanan yoğunluk değerleride Çizelge 3'de verilmiş ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

$$\text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)} = [M_k/M_y] \quad (2.1)$$

Burada; M_k = Örneğin kuru ağırlığı (g); M_y = Örneğin yaş ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

2.2.4. Asidik ortamdaki çözünürlük yüzdelerinin hesaplanması

Çözünürlük Gontard ve arkadaşları tarafından (2.1) deki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır (Gontard vd.,1992). 24 saat boyunca 105 °C'de kurutma ve sterilizasyon fırınında inkübe edilen örnekler daha sonra tartılmıştır (W_i) ve 0.5 M 15 ml'lik hidroklorik asit (HCl) çözeltisinde 24 saat bekletildikten sonra yıkanarak etüvde kurutulmuş (Şekil 6) ve son tartımları alınmıştır.

Denklem (2.2)'e göre yerine konulan değerler sonucunda biyoplastik ve odun biokompozitlerinin oda sıcaklığında asidik ortamdaki çözünürlükleri hesaplanmıştır (Çizelge 4).

Burada, W_i : Başlangıçtaki kütle ; W_f : Son kütle.

$$S = [(W_i - W_f) / W_i] \times 100 \quad (2.2)$$

2.2.5. Bazik ortamdaki çözünürlük yüzdelerinin hesaplanması

Üretilen odun-biyoplastik kompozitlerinin bazik ortamdaki çözünürlük değerleri (2.1) deki denklem kullanılarak belirlenmiştir (Gontard vd.,1992). 24 saat

boyunca 105°C'de ısıtma işlemine tabi tutulan numunelerin ilk ölçümleri (W_i) tartılarak yazılmıştır. 0.5 M 15 ml'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılarak 24 saat boyunca oda sıcaklığında bazik ortama maruz bırakılan numuneler ertesi gün saf su ile yıkanarak etüvde kurutulmuştur (Şekil 8). Tartımları alınan numuneler denklem (2.1) kullanılarak bazik ortamdaki çözünürlük değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5'de gösterilmiştir.

3. Odun-biyoplastik Kompozitlerinin Analizi

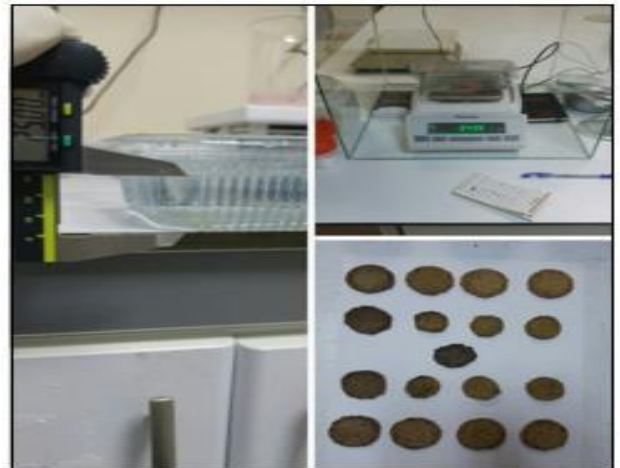
3.1. Yoğunluk analizleri

Gliserin oranına bağlı olarak yoğunluk değerleri Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir.

Gliserin oranının % 7 olduğu odun-biyoplastik kompozit numuneleri G₇B₁, G₇B₃, G₇B₅, ve G₇B₇ numuneleri sırasıyla % 1, % 3, % 5 ve % 7 oranlarında biber sapı (100 mesh) içermektedir. Bu numunelerin içerdikleri biber sapı miktarı ile yoğunlukları ters orantılı olarak değişim göstererek sırasıyla, 1.08, 1.07, 1.06 ve 1.03 g/cm³ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Kızılçam odunu (60 mesh) içeren G₇O₂, G₇O₄, G₇O₆ ve G₇O₈ numuneleri ise % 2, % 4, % 6 ve % 8 oranlarında içerdikleri odunu miktarındaki artışla hesaplanan yoğunluk değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmiş olup sırasıyla, 1.21, 1.47, 1.64 ve 2.29 g/cm³ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

Çizelge 1. Hazırlanan biyoplastik kompozitlerin içerikleri

Numune adı	İçerik	
G ₇ B ₁	% 1	
G ₇ B ₃	% 3	Biber sapı
G ₇ B ₅	% 5	100 mesh
G ₇ B ₇	% 7	
G ₇ O ₂	% 2	
G ₇ O ₄	% 4	Odun unu
G ₇ O ₆	% 6	60 mesh
G ₇ O ₈	% 8	
G ₁₄ B ₁	% 1	
G ₁₄ B ₃	% 3	Biber sapı
G ₁₄ B ₄	% 5	100 mesh
G ₁₄ B ₇	% 7	
G ₁₄ O ₂	% 2	
G ₁₄ O ₄	% 4	Odun unu
G ₁₄ O ₆	% 6	60 mesh
G ₁₄ O ₈	% 8	



Şekil 3. Yoğunluk ölçümü

Çizelge 2. Gliserin oranı % 7 olan numunelerin yoğunlukları

Numune adı	G ₇ B ₁	G ₇ B ₃	G ₇ B ₅	G ₇ B ₇	G ₇ O ₂	G ₇ O ₄	G ₇ O ₆	G ₇ O ₈
M _k = Örneğin kuru ağırlığı (g)	0.13	0.30	0.19	0.35	0.17	0.25	0.23	0.32
M _y = Örneğin yaş ağırlığı (g)	0.12	0.28	0.18	0.34	0.14	0.17	0.14	0.14
Yoğunluk = (g/cm ³)	1.08	1.07	1.06	1.03	1.21	1.47	1.64	2.29

Çizelge 3. Gliserin oranı % 14 olan numunelerin yoğunlukları

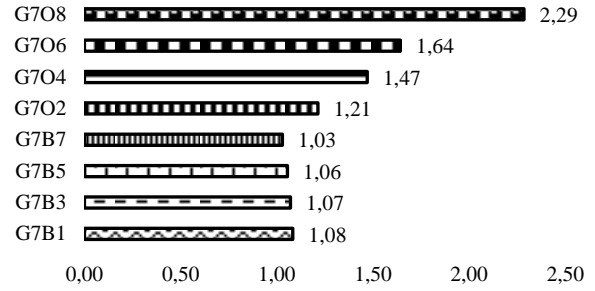
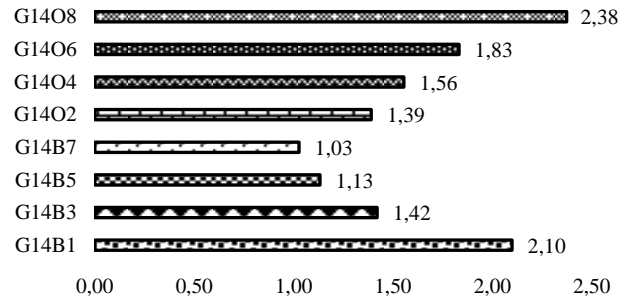
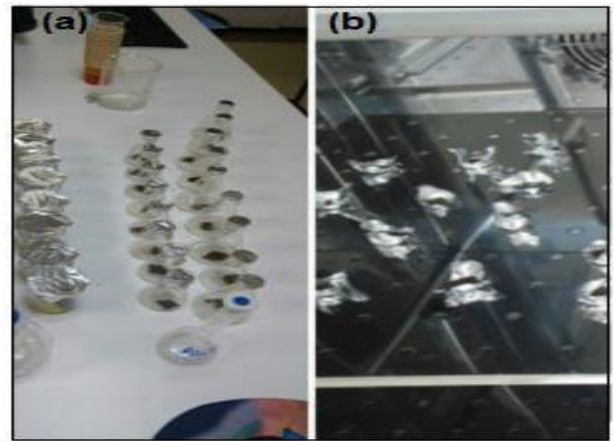
Numune adı	G ₁₄ B ₁	G ₁₄ B ₃	G ₁₄ B ₅	G ₁₄ B ₇	G ₁₄ O ₂	G ₁₄ O ₄	G ₁₄ O ₆	G ₁₄ O ₈
M _k = Örneğin kuru ağırlığı (g)	0.21	0.27	0.34	0.37	0.32	0.14	0.22	0.19
M _y = Örneğin yaş ağırlığı (g)	0.10	0.19	0.30	0.36	0.23	0.09	0.12	0.08
Yoğunluk = (g/cm ³)	2.10	1.42	1.13	1.03	1.39	1.56	1.83	2.38

Gliserin oranının % 14 olduğu G₁₄B₁, G₁₄B₃, G₁₄B₅, ve G₁₄B₇ numuneleri sırasıyla %1, %3, %5 ve %7 oranlarında biber sapı (100 mesh) içermektedir. Bu numunelerin içerdikleri biber sapı miktarı ile yoğunlukları ters orantılı olarak değişim göstermiş ve sırasıyla, 2.10, 1.42, 1.13 ve 1.03 g/cm³ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Kızıl çam odununu (60 mesh) içeren G₁₄O₂, G₁₄O₄, G₇O₆ ve G₇O₈ numuneleri ise %2, %4, %6 ve %8 oranlarında içerdikleri odununu miktarındaki artışla hesaplanan yoğunluk değerlerinde doğrusal bir artış gözlenmiş olup sırasıyla, 1.39, 1.56, 1.83 ve 2.38 g/cm³ olarak tespit edilmiştir (Şekil 5).

3.2. Asitlik ortamdaki çözünürlük (%)

Gliserin miktarının % 7 ve % 14 olduğu numunelerin asit dayanımları kıyaslandığında asit dayanımının en iyi olduğu numune % 14 oranında gliserin ve %8 oranında kızılçam odununu (60 mesh) içeren %6,67'lik asitte çözünürlük değeri ile G₁₄O₈ numunesi olmuştur. Sonraki en yüksek dayanım oranına sahip numune ise asidik ortamdaki %12,0'lık çözünme ile %7 gliserin ve %7 biber sapı içeren G₇B₇ numunesi olmuştur. Asit dayanımının en zayıf olduğu numune ise %7 gliserin ve %2 kızılçam odununu içeren G₇O₂ numunesi olup çözünürlük değeri %61,9 tespit edilmiştir. Sonraki en az asidik ortama direnç gösteren numune ise % 45'lik çözünme değeri ile %7 gliserin %4 Kızılçam odununu ihtiva eden G₇O₄ numunesidir. Asidik ortamdaki çözünürlük dayanımı biber sapı içeren numunelerde nisbeten odununu içerenlere göre daha az görülmüştür (Şekil 7). Bunun nedeni odun ununa kıyasla daha küçük olmasından dolayı polimerizasyon sırasında daha homojen bir karışım göstermiş ve aynı zamanda boyutta küçüklüğün yüzey alanında artışa sebep olmasından kaynaklı gliserin ile yaptığı kimyasal bağların fazlalığı ve sahip olduğu nano boyuttaki fonksiyonel grupların çeşitliliğinden kaynaklanabilir.

G₇B₁, G₇B₃, G₇B₅, ve G₇B₇ numunelerindeki gliserin miktarı dolgu malzemesi olan biber sapı miktarı ile (1:1) oranına geldikçe malzemenin asidik ortamdaki çözünme direncinde artış gözlemlenmiştir. Daha önceki çalışmamızda nişasta ve odununun (1:1) oranında kullanılmasıyla elde edilen biyokompozit numunelerinin suda çözünmeye karşı daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2019). G₁₄B₁, G₁₄B₃, G₁₄B₅, ve G₁₄B₇ örneklerine bakıldığında plastikleştirici olarak kullanılan gliserin oranının iki katına çıkarılması sadece bu oranı (1:1) zayıflatmıştır.

Şekil 4. Gliserin oranı % 7 olan odun-biyoplastik kompozitlerinin yoğunluk değerleri (g/cm³)Şekil 5. Gliserin oranı % 14 olan odun-biyoplastik kompozitlerinin yoğunluk değerleri (g/cm³)

Şekil 6. Odun-biyoplastik kompozitlerinin (a): 0.5 M'lık HCl çözeltisine maruz bırakılması ve (b): kurutulması

3.3. Bazik ortamdaki çözünürlük (%)

Odun-biyoplastik kompozit numunelerinin hazırlanması ve biyoplastiklerin bazik ortamdaki çözünme değerleri sırasıyla Şekil 8 ve Çizelge 5’de verilmiştir.

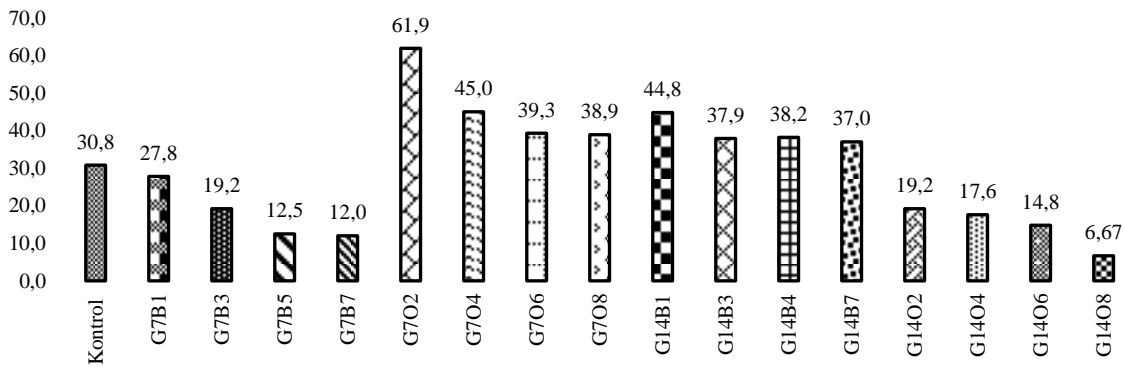
Bazik ortamdaki yüzde (%) çözünürlük oranları Şekil 9’da verilen odun-biyoplastik kompozitlerinin içinde % 7 gliserin ve % 8 Kızılçam odun unu içeren G₇O₈ numunesi % 14,3’lük çözünme değeri ile en iyi dayanımı göstermiştir. G₇O₈ numunesini takiben ikinci en iyi dayanım % 14 gliserin ve % 3 biber sapı içeren G₁₄B₃ numunesinde görülmüştür. Biber sapı içeren odun-biyoplastik kompozitleri bazik ortamdaki çözünürlük oranları (%) asidik ortamın aksine kızılçam odun unu içeren numunelere kıyasla daha fazla görülmektedir. Bunun nedeni selüloz içeriklerinin sert ve yumşak odunlara oranla daha fazla iken ekstraktif madde ve lignin içeriğinin önemli ölçüde az olmasından kaynaklanabilir (Guntekin vd., 2008). Daha önce yapılan benzer çalışmalarda, boyutlar arasındaki oran miktarının tahribat esnasındaki kaybedilen kütle miktarları ile doğrusal orantılı olduğu belirlenmiştir (Özdemir ve Ramazanoğlu 2018). Ayrıca, farklı biyokütlerden alınan dolgu maddelerinin gösterdiği kimyasal etkileşimler karakteristik olmuştur (Bilgin vd., 2014). Boyutsal (Whistler ve BeMiller, 1996) ve karakteristik morfolojik özellikleri ile sahip oldukları fonksiyonel grupların polimerizasyonu sırasında oluşturdukları moleküller arası kimyasal bağ özelliklerinden ve rekristalizasyon özelliklerindeki farklılıktan kaynaklandığı ifade edilmektedir (Pan ve Jane, 2000).

Çizelge 4. Biyoplastiklerin asitteki çözünme değerleri

Numune Adı	(Wi) Başlangıçtaki kütle (gr.)	(Wf) Son kütle (gr.)	(S) Asitte çözünürlük (%)
Kontrol	0.13	0.09	30.8
G ₇ B ₁	0.18	0.13	27.8
G ₇ B ₃	0.26	0.21	19.2
G ₇ B ₅	0.32	0.28	12.5
G ₇ B ₇	0.25	0.22	12.0
G ₇ O ₂	0.21	0.08	61.9
G ₇ O ₄	0.20	0.11	45.0
G ₇ O ₆	0.28	0.17	39.3
G ₇ O ₈	0.18	0.11	38.9
G ₁₄ B ₁	0.29	0.16	44.8
G ₁₄ B ₃	0.29	0.18	37.9
G ₁₄ B ₄	0.34	0.21	38.2
G ₁₄ B ₇	0.27	0.17	37.0
G ₁₄ O ₂	0.26	0.21	19.2
G ₁₄ O ₄	0.17	0.14	17.6
G ₁₄ O ₆	0.27	0.23	14.8
G ₁₄ O ₈	0.27	0.25	6.67

Çizelge 5. Biyoplastiklerin bazik ortamdaki çözünme değerleri

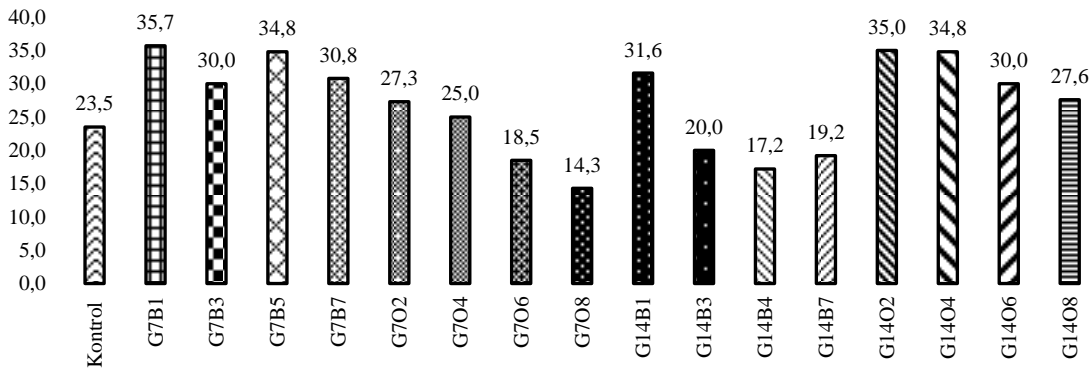
Numune adı	(Wi) Başlangıçtaki kütle (gr.)	(Wf) Son kütle (gr.)	(S) Bazda Çözünürlük (%)
Kontrol	0.17	0.13	23.5
G ₇ B ₁	0.14	0.09	35.7
G ₇ B ₃	0.20	0.14	30.0
G ₇ B ₅	0.23	0.15	34.8
G ₇ B ₇	0.26	0.18	30.8
G ₇ O ₂	0.11	0.08	27.3
G ₇ O ₄	0.20	0.15	25.0
G ₇ O ₆	0.27	0.22	18.5
G ₇ O ₈	0.35	0.30	14.3
G ₁₄ B ₁	0.19	0.13	31.6
G ₁₄ B ₃	0.15	0.12	20.0
G ₁₄ B ₄	0.29	0.24	17.2
G ₁₄ B ₇	0.26	0.21	19.2
G ₁₄ O ₂	0.20	0.13	35.0
G ₁₄ O ₄	0.23	0.15	34.8
G ₁₄ O ₆	0.30	0.21	30.0
G ₁₄ O ₈	0.29	0.21	27.6



Şekil 7. Odun-biyoplastik kompozitlerinin asidik ortamdaki çözünürlükleri (%)



Şekil 8. odun-biyoplastik kompozitlerinin (a): 0.5 M'lık NaOH çözeltisine maruz bırakılması ve (b): sonrasında kurutulması



Şekil 9. Odun-biyoplastik kompozitlerinin bazik ortamdaki çözünürlükleri (%)

4. Sonuçlar

Yapılan deneyler sonucunda odun-biyoplastik kompozit numunelerinin yoğunluk değerleri başta olmak üzere asidik ve bazik ortamdaki çözünürlüklerinin (%) hesaplanması sonucunda; Yoğunluk analizinde kızılçam odunu miktarının yoğunluğu arttırırken, artan biber sapı oranının yoğunluğu azaltmıştır. Bunun nedeni kızılçam odunu biber sapına kıyasla daha fazla ekstraktif madde ve lignin içermesinden dolayı birim alana düşen kütle miktarındaki artıştan kaynaklanmıştır.

Asidik ortamda (%) çözünürlük miktarının belirlenmesinde biber sapı içeren odun-biyoplastik kompozit numunesinin dayanımının odunu içerenlere kıyasla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Kızılçam dolgu maddeli kompozitlerin yapılarındaki ekstraktif maddeler asidik ortamdaki etkileşimi hızlandırmış ve odunu (60 mesh) parçacıklarının biber sapına (100 mesh) göre büyük olması kompozit yapıda meydana gelen kütle kayıplarının daha fazla olmasını sağlayarak çözünme oranını artırdığı görülmüştür. Ayrıca, odunu yapısında bulunan lignin, asidik ortamda bazik ortama göre daha az çözünme eğilimi gösterir. Bu nedenle lignin ve ekstraktif madde içeriğinin az olduğu biber sapı dolgu kompozitlerin asidik ortamdaki dayanımlarının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bazik ortamda (%) çözünürlük miktarının tespitinde kızılçam odunu ihtiva eden odun-biyoplastik kompozit numunesinin dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun

nedeni ise kızılçam odunu içerdiği lignin oranının biber sapına oranla önemli ölçüde fazla olması ve yapıdan ayrılmak için bazik ortamı tercih etmesidir. Ligninin selülozik yapıdan uzaklaşması için çözünme ortamındaki hidroksil OH⁻ iyon konsantrasyonunun fazlalığı etkili olmaktadır.

Üretilen odun biyoplastik numunelerinde plastikleştirici olarak kullanılan gliserin miktarının yoğunluk ve farklı çözeltilerde (asidik/bazik) bozunma dayanımlarını nasıl etkilediği incelendiğinde her iki dolgu malzemesi için gliserin miktarındaki artış nihai ürünün yoğunluğunu arttırmıştır. Ayrıca asidik ortama maruz bırakılan biber sapı içeren örneklerdeki gliserin artışı malzemenin çözünme dayanımını olumsuz etkilemiştir. Fakat, kızılçam odunu katkılı biyokompozitlerdeki gliserin artışı çözünme dayanımlarını iyileştirmiştir. Bazik ortamda ise biber sapı içeren kompozitlerdeki gliserin miktarı artışı çözünme dayanımını artırırken kızılçam odunu içeren numunelerdeki gliserin miktarındaki artış kompozitlerin bazik ortamda çözünme dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Her iki biyokompozit türü içinde, gliserin miktarındaki artışı asidik ve bazik çözeltilerde farklı performans göstermesi yapılan çalışmanın hem literatür hemde kendi içerisinde uyumlu olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- ASTM D 792, 2004. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Astuiti, P., Erprihana, A.A., 2014. Antimicrobial edible film from banana peels as food packaging. American Journal of Oil and Chemical Technologies, 2,2, 65-70.
- Agustin, M.B., Ahmmad, B., Alonzo, S.M.M., Patriana, F.M., 2014. Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 33, 2205-2213.
- Bilgin, S., Ertekin, C., Kürklü, A., 2014. Alternatif yakıt olarak sera bitki atığı briketlerinin yakılması ve baca gazı emisyon değerlerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 1, 11-17.
- Bof, M.J., Bordagaray, V.C., Locaso, D.E., García, M.J., 2015. Chitosan molecular weight effect on starch-composite film properties. Food Hydrocoll, 51: 281-294.
- Gontard, N., Guilbert, S., Cuq, J.L., 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. Journal of Food Science, 57, 190-195.
- Guntekin, E., Uner, B., Sahin, H.T., Karakus, B., 2008. Pepper stalks (*Capsicum annuum*) as raw material for particleboard Manufacturing. Journal of Applied Sciences, 8(12): 2333-2336.
- Pan, D.D., Jane, J.L., 2000. Internal structure of normal maize starch granules revealed by chemical surface gelatinization. Biomacromolecules, 1: 126-132.
- Šprajcar, M., Horvat, P., Kržan, A., 2012. Biopolymers and Bioplastics: Plastics Aligned with Nature: National Institute of Chemistry.
- Soltani, M., Alimardani, R., Omid, M., 2010. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system. Australian Journal of Crop Science, 46, 443-447.
- Özdemir, F., Ramazanoğlu, D., 2019. Farklı biyokütlelerden elde edilen nişasta ile akıllı biyoplastik malzeme ve odun biyoplastik kompozit üretimi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(2): 377-385.
- Özdemir, F., Ramazanoğlu, D., 2018. Nişasta esaslı dilatant sıvıların akıllı darbe absorban malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. 3. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, 24-26 Ekim 2018, Çukurova Üniversitesi, Kongre Merkezi, Adana, Türkiye, 1054.
- Qin, Y., Yang, J., Xue, J., 2015. Characterization of antimicrobial poly (lactic acid)/poly (trimethylene carbonate) films with cinnamaldehyde. Journal of Materials Science, 50, 1150-1158.
- Whistler, R.L., BeMiller, J.N., 1996. Starch carbohydrate chemistry for food scientists. St. Paul, MN: Eagan Press, USA, 117-151.