



Farklı Biyokütlelerden Elde Edilen Nişasta ile Akıllı Biyoplastik Malzeme ve Odun Biyoplastik Kompozit Üretimi

Ferhat ÖZDEMİR^{1*}, Doğu RAMAZANOĞLU²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 46060, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 46060, Kahramanmaraş

Öz

Bu çalışmanın amacı, petrol türevi ambalajların insan sağlığına ve çevreye verdiği zararı en aza indirebilmek için farklı biyokütlelerden elde edilen nişasta esaslı çevre dostu alternatif akıllı biyoplastik ve odun biyokompozit ambalaj malzemelerinin üretilmesidir. Bu malzemelerden, biyoplastik özellikte olan A, B, C ve D numunelerinin üretim şartları aynı olup; A ve B numuneleri üretiminde buğday nişastası kullanılmıştır. İçerdikleri yağ miktarları sırasıyla 4 ve 2 ml'dir. C ve D numunelerinin yapımında mısır nişastası kullanılmıştır. Yağ içerikleri sırasıyla, 4 ve 2 ml'dir. Akıllı odun biyokompoziti olarak üretilen E, F ve G numunelerinin üretiminde sırasıyla, % 25, % 50 ve % 75 oranında mısır nişastası ve içerdikleri yağ miktarı 4 ml olarak sabitlenmiştir. Petrol türevi ambalaj malzemelerine alternatif olması hedeflenen numunelerin sudaki çözünme (%), su alma (%), yoğunluk (g/cm³) ve yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; en yüksek ve en düşük suda çözünme değerleri sırasıyla % 100 ile D numunesi ve % 8,01 ile F numuneleridir. Suda alma (%) değerleri, en yüksek % 242 ile B numunesi en düşük ise % 108 değeri ile E numunesi bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü sonucu R_a, R_z ve R_{max} değerleri sırasıyla, 3.53, 18.8 ve 25.1 µm olarak en iyi A numunesi ve 10.4, 43.8 ve 55.0 µm değerleri ile en pürüzlü yüzey olarak D numunesinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Petrokimya, biyokütle, akıllı biyoplastik, akıllı odun biyoplastik kompozit

Production of Bioplastic Composite and Wood Bioplastic Composite with Starch from Different Biomasses

Abstract

The aim of this study is to produce environmentally friendly alternative smart bioplastic and wood biocomposite packaging materials obtained from different biomasses in order to minimize the harm to human health and environment of petroleum derived packages. The production conditions of the A, B, C and D samples of these materials, which are bioplastic, are the same; Wheat starch was used to produce A and B samples. The amount of fat they contain is 4 and 2 ml respectively. Corn starch was used to make C and D samples. they contain 4 and 2 ml respectively. In the production of E, F and G samples produced as smart wood biocomposite, including 25%, 50% and 75% corn starch respectively and the amount of fat they contain were fixed as 4 ml. Dissolution (%), water uptake (%), density (g/cm³) and surface roughness values of the samples which were targeted to be alternative to petroleum derived packaging materials were determined. According to the results obtained; The highest and lowest water dissolution values are 100 % D sample and 8.01 % F sample respectively. The highest and lowest absorbance (%) value were found respectively as 242 % for sample B and 108 % for sample E. As a result of surface roughness measurements, R_a, R_z and R_{max} values were determined as 3.53, 18.8 and 25.1 µm for sample A and 10.4, 43.8 and 55.0 µm for sample D, respectively. Thus, sample A has the smoothest surface and sample D has the roughest surface.

Keywords: Petrochemical, biomass, smart bioplastics, smart wood bioplastic composite.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Ferhat ÖZDEMİR (Dr.); Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 46060, Kahramanmaraş - Türkiye. Tel: +90 (344) 300 1752, Fax: +90 (344) 300 1712, E-mail: ferhatozd@hotmail.com

ORCID No: 0000-0002-2282-1884

Geliş (Received) : 10.04.2019

Kabul (Accepted) : 12.06.2019

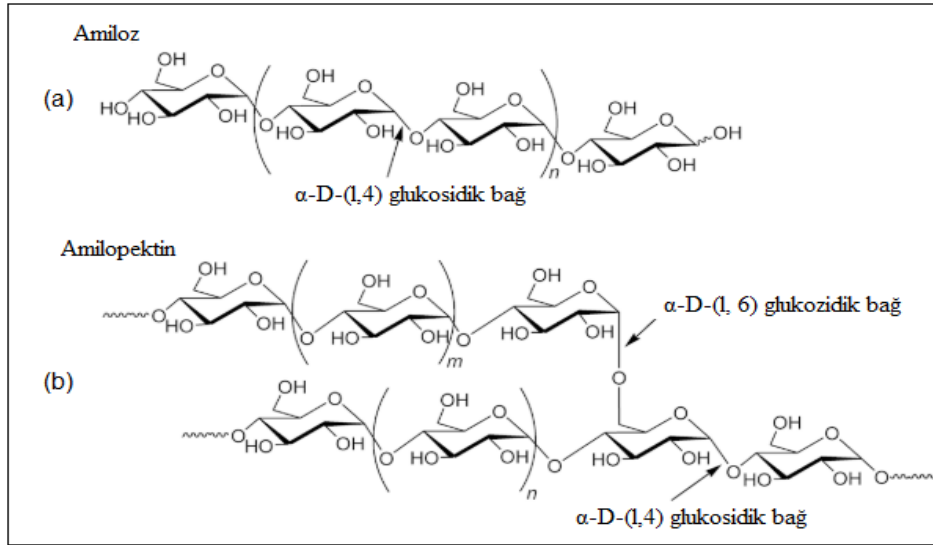
Basım (Published) : 15.08.2019

1. Giriş

Bugün, sentetik polimer ya da petrokimyasal plastikler olarak tanımladığımız polietilen tereftalat (PET), polietilen (PE), polistiren (PS), poliamidler (PA) gibi birçok ürün, ambalaj malzemesi üretiminin temelini oluşturmaktadır (Sharma ve ark. 2017); (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018). Dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu karşılayan petrolün % 6-8' lik kısmı bu tür sentetik polimerlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ama bu oran küçük miktarda gibi gözükse de toplam tüketime sağladığı katkı ile ham petrol fiyatlarında artışa neden olmaktadır (Averous ve ark. 2001). Aynı zamanda, sentetik polimerler, tarımdan otomobile, inşaat sektöründen spor aletlerinin üretimine kadar birçok alanda kullanıldığı için tüketim oranı gelişen sanayileşme ve nüfus miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Geri dönüşümü olmayan bu sentetik polimerler çevre için ciddi tehdit oluşturmaktadır (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018). Özellikle, bu sentetik polimerlerden yapılmış plastik poşetler doğada uzun yıllar bozulmadan kalmaktadırlar (Tharanathan, 2003).

Son 10 yılda, plastik endüstrisi ve akademik kuruluşlar bir araya gelerek petrokimyasalların yerine, yenilenebilir ham madde arayışı ile ilgili çalışmalar yapmaya başlamıştır (Avella ve ark. 2009). Böylelikle yenilenebilir kaynaklardan elde edilecek plastikler petrole olan bağımlılığı azaltacak aynı zamanda petrol türevi muadillerinin yerini alarak çevre kirliliğinin kısmen azalmasına neden olacaktır (Stevens, 2002). Doğal polimerleri sentetiklerden ayıran en önemli fark yapılarında bulunan ve biyoçözünür olmalarını sağlayan oksijen (O₂) ve azot (N₂) gazlarıdır (Biliaderis, 1998). Biyolojik esaslı polimerler fosil kaynaklı polimerlerin yerini alırken çevreye verdikleri toksik etkisinde azaltılması gibi önemli bir avantaj sağlamaktadırlar (Imre ve Pukanszky, 2013).

Yeryüzündeki tüm organik malzemelerin %75'i polisakkaritlerden oluşmaktadır. En önemli polisakkarit nişastadır. Bitkiler nişastayı kendi bünyelerinde sentezler ve enerji rezervleri olarak biriktirirler. Daha çok bitkilerin tohum ve köklerinde bulunan nişasta dünya genelinde en çok mısırdan elde edilir (Asaf, 2008). Bitkilerin bir dizi yaş proseslere maruz bırakılması ile ekstrakte edilen nişasta, anhidroglikoz polimerleri olan amiloz ve amilopektinden oluşur (Şekil 1.) Amiloz esas olarak α -D-(1,4) glukosidik bağları ile bağlı olan doğrusal bir polimerdir (Şekil 1.a).



Şekil 1. Nişastanın yapısındaki anhidroglikoz polimerleri olan (a): Amiloz ve (b): Amilopektin yapıları Prabhu ve Prashantha, (2016).

Şekil 1.b'deki gibi α -D-(1,5) glukosidik bağlarla amilozların birbirine bağlanmasıyla oluşan periyodik dallı yapılar amilopektinleri oluşturur. Nişastadaki amiloz ve amilopektin içeriği nişastanın ait olduğu biyokütleyle bağlıdır. (Prabhu ve Prashantha, 2016); (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018). Nişasta mısır, buğday, pirinç, patates, vb. bitkilerde bolca bulunmaktadır (Ali ve ark. 2017). Nişasta, çevre dostu malzemelerde büyük oranlarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, petrol türevi polimerler kullanılarak üretilen plastik malzemelerin insan ve çevre sağlığına verdiği zararın önlenmesi için farklı biyokütleler olan mısır ve buğday nişastaları kullanılarak biyoplastik ve kompozit üretilebilirliği ile üretilen bu akıllı malzemelerin bazı fiziksel ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

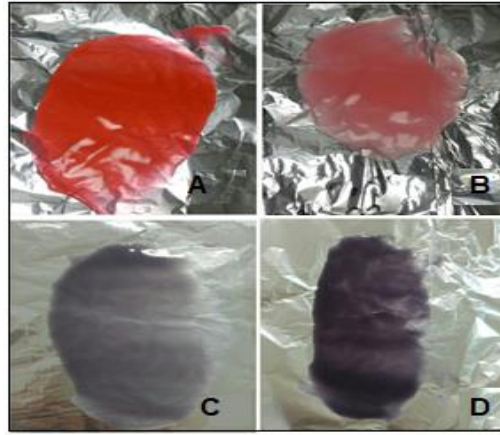
2.1. Materyal

Mısır ve buğday nişastası, elma sirketi (% 4-5 asetik asit), ayçiçek yağı Kahramanmaraş'ta bulunan yerel bir marketten, Kızılçam odunu (60 mesh) ise KSÜ Orman Fakültesinde elde edilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Buğday ve mısır nişastasından biyoplastik eldesi

A numunesi koyu kırmızı renkte olup (Şekil 2.a) yapımı için 2.5 gram buğday nişastası hassas terazide tartılmıştır. İçerisinde 25 ml saf su bulunan 500 ml'lik behere alındı üzerine nişastanın uzun zincir moleküllerinin kırılması için 3 ml (% 4-5) asetik asit (CH_3COOH) eklenmiş ve bir müddet karıştırılmıştır. Daha sonra üzerine kırılan polimer zincirlerinin tekrar rekristalize olması için plastikleştirici olarak 4 ml ayçiçek yağı eklenmiş ve manyetik karıştırıcı yardımıyla jelleşme oluncaya kadar yaklaşık $75\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 15 dk. ısıtılmıştır. Daha sonra alüminyum folyo kağıdı üzerine serilerek $120\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 45 dakika kurumaya bırakılmıştır. Pembe renkli olan B numunesinin (Şekil 2.b) eldesi A numunesi ile aynı olup sadece 4 ml yerine 2 ml yağ eklenmiştir. Aynı yöntem mısır nişastası ile de yapılmış ve 2 ml yağ eklenerek C numunesi (Şekil 2.c), 4 ml yağ eklenerek D numunesi üretilmiştir (Şekil 2.d).



Şekil 2. Buğday ve mısır nişastaları kullanılarak elde edilen biyoplastikler; (a): 2,5g buğday nişastası ve 4 ml yağ, (b): 2,5g buğday nişastası ve 2 ml yağ, (c): 2,5g mısır nişastası ve 2 ml yağ, (d): 2,5g mısır nişastası ve 4 ml yağ içermektedir.

2.2.2. Akıllı odun-biyoplastik kompozitlerinin hazırlanışı.

Akıllı odun-biyoplastik kompozitlerinin hazırlanmasında buğday nişastası yerine mısır nişastasının kullanılması tercih edilmiştir. Bunun nedeni, mısır nişastasının suya karşı direncinin buğday nişastasından daha iyi olmasıdır (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018). E numunesi için 2.5 gram, F numunesi için 5 gram ve G numunesi için 7.5 gram mısır nişastası tartılarak üzerlerine 60 mesh'lik 2.5'er gram kızılçam odunu eklenmiştir. Daha sonra sırasıyla bu karışımlar (odun unu/ mısır nişastası) 500 ml'lik behere alınmış, üzerlerine 50 ml saf su eklenmiş ve karıştırılmıştır. Karışıma 6 ml % 4-5 asetik asit (CH_3COOH) ve 4 ml ayçiçek yağı eklenmiştir. Jelleşme gözlemleninceye kadar $75\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 15 dk. ısıtılmıştır. Şekil 3'te sırasıyla, % 25, % 50 ve % 75 oranında mısır nişastası içeren odun plastik jel numuneler E, F ve G kodları ile verilmiştir. Jel kıvamında olan bu karışımlar alüminyum folyo üzerine serilerek, $120\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 45 dakika boyunca kurutulmuştur.



Şekil 3. Akıllı odun biyoplastik kompozitlerin (E): %25 mısır nişastası (F): %50 mısır nişastası (G): %75 mısır nişastası.

Çözünürlük testi 1992 yılında Gontard ve arkadaşları tarafından denklem (1)'e göre belirlenmiştir. Her bir numuneden 2 cm çapında numune örnekleri alınarak, 24 saat boyunca 105° C'de kurutma ve sterilizasyon fırınında inkübe edilmiştir. Daha sonra, örnekler tartılmış (W_i) 175 rpm' de 50 ml saf suyun içerisinde çalkalanmıştır. Sudan çıkarılan numuneler tekrar kurutulup tartılmış ve denklemde yerine konulan değerler sonucunda akıllı biyoplastik ve odun biyokompozit numunelerinin sudaki çözünürlükleri hesaplanmıştır.

$$S = (W_i - W_f) / W_i \times 100 \quad (1)$$

W_i : Başlangıçtaki kütle; W_f : Son kütle.

2.2.4. Su Alma (%)

24 saat suda bekletildikten sonra tartım ölçüleri alınan akıllı biyoplastik ve odun biyoplastik kompozitlerinin su alma (%) değerleri (2)'de verilen formüle göre hesaplanmıştır

$$SA = [(M_y - M_k) / M_k] \times 100 \quad (2)$$

M_k = Örneğin ilk ağırlığı (g); M_y = Örneğin suda bekledikten sonraki ağırlığı (g); SA = su alma oranı (%) olarak verilmiştir.

2.2.5. Yoğunluk testi (g/cm^3)

Numunelerin laboratuvar şartlarındaki hava kuru ağırlıkları ölçüldü. Daha sonra, oda sıcaklığında numuneler suya daldırılarak sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Daldırma öncesi ve sonrası ağırlıkları alınan numunelerin yoğunlukları (3)'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Yoğunluk (g/cm^3) = [M_h / M_s] \quad (3)$$

Burada; M_h = Örneğin havadaki ağırlığı (g); M_s = Örneğin sudaki ağırlığı (g) olarak verilmiştir.

2.2.6. Yüzey pürüzlülüğü (μm)

Buğday ve mısır nişastasından elde edilen biyoplastiklerin yüzey pürüzlülüğü Marsurf M 300 cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 4). Burada, (R_a): ortalama pürüzlülük değerini, (R_z): en düşük 5 ve en yüksek 5 toplam 10 noktanın ortalama pürüzlülük değerini ve (R_{max}): en derin ve en yüksek iki tepe noktası arasındaki değeri ifade etmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ISO 4287 standardına göre Marsurf M 300 cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. Akıllı biyoplastik numunelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri.

3. Bulgular ve Tartışma

Buğday ve mısır nişastaları kullanılarak elde edilen biyoplastik jellerin kurutma sonrası görüntüleri Şekil 5'te

verilmiştir. Bu biyoplastiklere ait suda çözünme (%), su alma (%), yoğunluk değerleri ile yüzey pürüzlülüğü parametre değerleri belirlenmiştir.



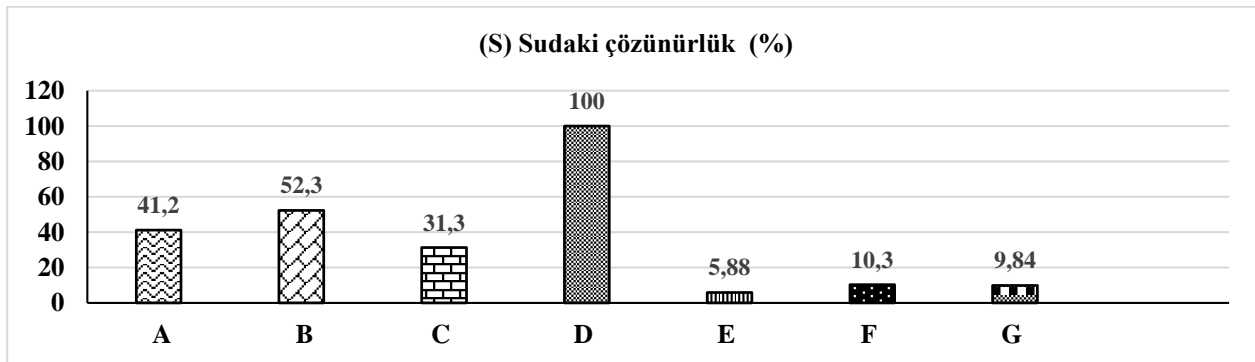
Şekil 5. Buğday ve mısır nişastasından elde edilen akıllı biyoplastik ve odun-biyoplastik kompozitlerinin 120 °C'de 45 dakika kurutma sonrası görüntüleri.

Elde edilen Akıllı biyoplastiklerin ve odun-biyoplastik kompozitlerinin suda çözünme (%) değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Akıllı biyoplastiklerin ve odun-biyoplastik kompozitlerinin suda çözünme (%) değerleri.

Numune adı	(W _i) Başlangıçtaki kütle (g)	(W _f) Son kütle (g)	(S) Sudaki çözünürlük (%)
A	0.17	0.10	41.2
B	0.30	0.14	52.3
C	0.16	0.11	31.3
D	0.15	0.00	100
E	0.17	0.16	5.88
F	0.29	0.26	10.3
G	0.61	0.55	9.84

Tablo 1'de buğday ve mısır nişastaları ile üretilen biyoplastiklerde en fazla suda çözünme yüzdeleri yağ içeriği fazla olan A ve D numunelerinde sırasıyla %41.2 ve %100 olarak bulunmuştur. Mısır nişastası ile elde edilen biyoplastiklerin sudaki çözünürlükleri içerdikleri yağ miktarı az olsa bile buğday nişasta esaslı biyoplastikten daha fazladır. Buğday nişasta esaslı B numunesi ve mısır nişasta esaslı C numunesinin sudaki çözünürlükleri ise sırasıyla % 52.3 ve % 31.3 olarak hesaplanmıştır. Farklı yapı ve boyuttaki kristallerdeki tahribat farklı kütle kayıplarına neden olmaktadır (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018). Kızılcım odunu ilavesi ile yapılan odun-biyoplastik kompozit numuneleri olan E, F ve G numunelerin suda çözünme yüzdeleri sırasıyla, % 5.88, % 10.3 ve % 9.84' dür. Burada kızılcım odunu ile mısır nişastasının (1:1) oranda karışımı sonucu elde edilen E numunesi su dayanımı en iyi olan akıllı odun biyoplastik kompoziti olarak belirlenmiştir (Şekil 6).

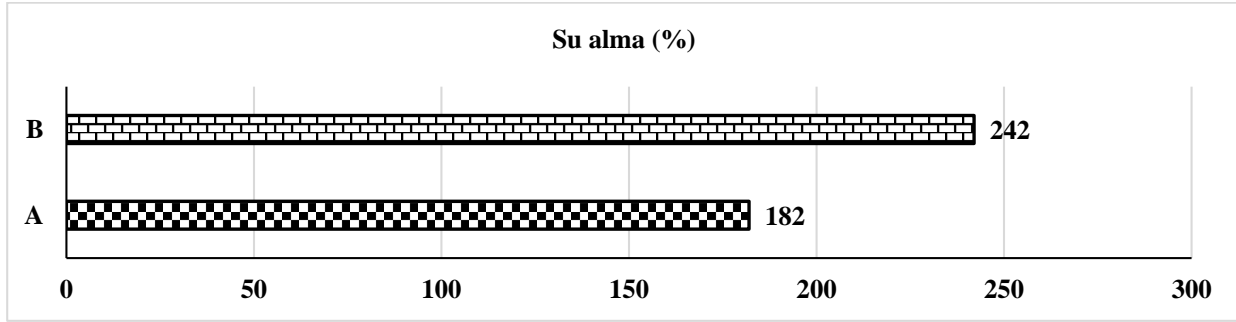


Şekil 6. Akıllı biyoplastik ve odun biyoplastik kompozitlerinin suda çözünme değerleri.

Akıllı biyoplastik ve odun biyokompozitlerinin elde edilen su alma (%) değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

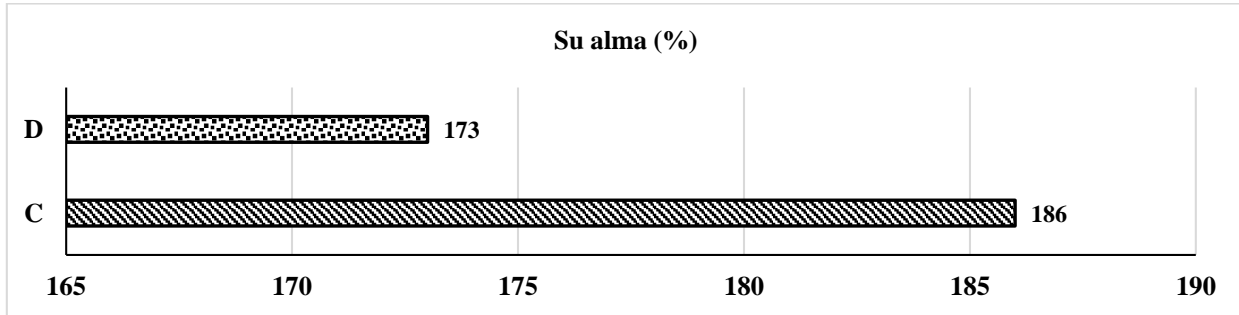
Tablo 2. Su alma değerleri

Numune adı	A	B	C	D	E	F	G
Kuru ağırlık (M_k)	0,17	0,26	0,14	0,15	0,12	0,23	0,25
Yaş ağırlık (M_y)	0,48	0,89	0,40	0,41	0,25	0,51	0,57
Fark	0,31	0,63	0,26	0,26	0,13	0,27	0,32
Su tutma (%)	182	242	186	173	108	117	128



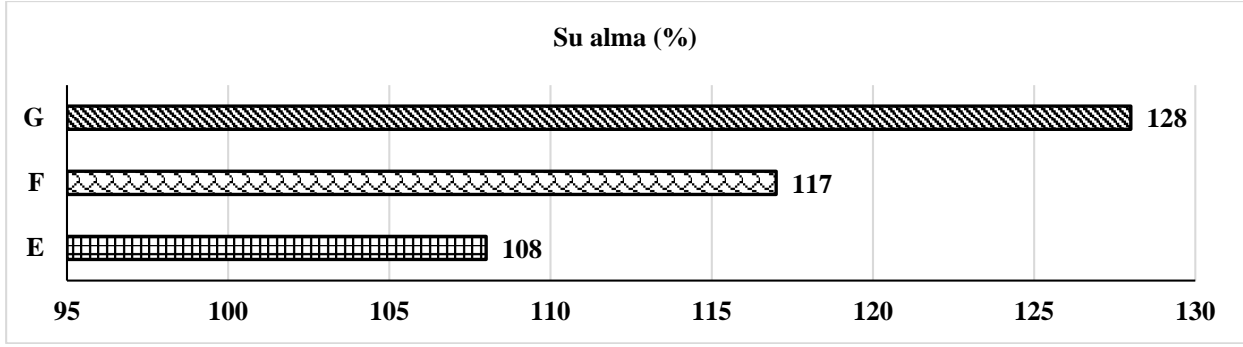
Şekil 7. Buğday nişasta esaslı akıllı biyoplastiklerin su alma (%) yüzdeleri.

Üretim sırasında kullanılan yağ miktarı ile su alma yüzdeleri ters orantılı olarak değişim gözlenmiştir (Şekil 7). 4 ml ayçiçek yağı kullanılarak hazırlanan A numunesinin su alma değeri % 182 iken, 2 ml Ayçiçek yağı kullanılarak hazırlanan B numunesinin su alma değeri % 242 olarak bulunmuştur. Burada plastikleştirici olarak kullanılan yağ hidrofobik yapısı sebebiyle üretilen biyoplastik malzemenin su alma direncini artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 8. Mısır nişastası esaslı akıllı biyoplastiklerin su alma (%) değerleri.

Mısır nişastası esaslı biyoplastiklerin üretimi sırasında eklenen yağ miktarı ve buna bağlı su alma (%) değerlerinin etkileşimi Şekil 8'de gösterilmiştir. 4 ml ayçiçek yağı kullanılarak hazırlanan D numunesinin su alma değeri % 173 iken, 2 ml Ayçiçek yağı kullanılarak hazırlanan C numunesinin su alma değeri % 186 olarak bulunmuştur. Burada, plastikleştirici olarak kullanılan yağ hidrofobik yapısıyla üretilen biyoplastik malzemenin su direncini geliştirmiştir. Mısır ve buğday olarak farklı iki biyokütleyle ait nişastalar kullanılarak üretilen biyoplastiklerin su almaları içerdikleri yağ oranı ile ters orantılı olarak bulunmuştur. Aynı miktarlarda yağ içeren numuneler kıyaslandığında mısır nişastası ihtiva eden kompozit numunelerin buğday nişastası numunelerine oranla su alma oranı daha azdır. Birçok çalışmada bunun nedeni olarak lipit oranı, (Pan ve Jane, 2000), nişasta parçacıklarındaki boyut farklılığı (Whistler ve BeMiller, 1996), içerdikleri amiloz ve Amilopektin Yamin ve ark. (1999) oranları olduğu belirtilmiştir (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018).



Şekil 9. Mısır nişastası esaslı akıllı odun-biyoplastiklerin kompozitlerin su alma (%) değerleri

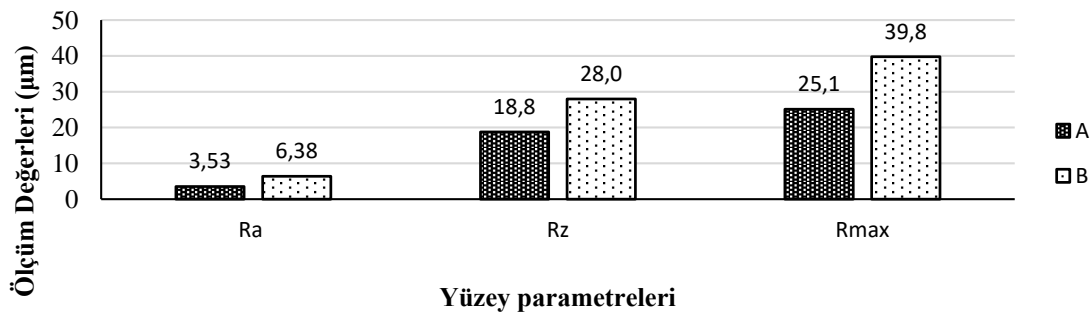
Farklı yüzdelerde mısır nişastası eklenip kızılçam odununu içerikleri sabit tutulan odun-biyoplastik kompozitlerinin su alma yüzdeleri Şekil 9'da görülmektedir. Burada, nişasta miktarının artması ile su alma yüzdelerinde doğru orantılı bir artış görülmektedir. Kızılçam odununu ve nişasta partikülleri arasında ısı işlem sonucu oluşan polimerleşmenin sebep olduğu makro moleküller boşluklar daha fazla suyun kompozit yapısında tutulmasına neden olduğu düşünülmektedir. Numunelerin elde edilen yoğunluk değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin yoğunlukları.

Numune Kodu	A	B	C	D	E	F	G
$M_h = \text{Örneğin havadaki ağırlığı (g)}$	0,193	0,626	0,134	0,440	0,265	0,369	0,451
$M_s = \text{Örneğin sudaki ağırlığı (g)}$	0,188	0,621	0,125	0,421	0,118	0,356	0,437
$d_n = \text{Numunenin yoğunluğu (g/cm}^3\text{)}$	1,03	1,01	1,07	1,05	2,25	1,04	1,03

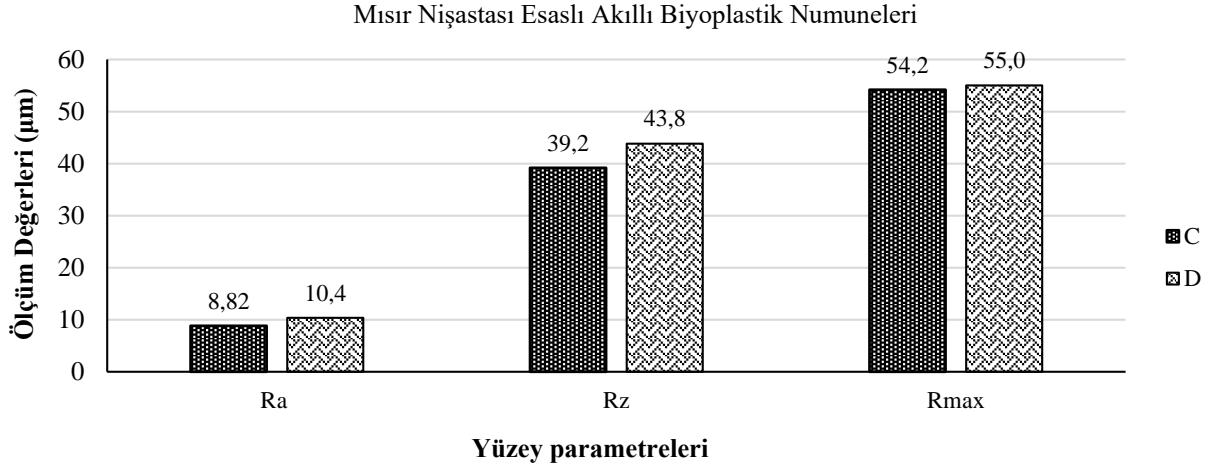
Tablo 3'te görüldüğü üzere buğday esaslı biyoplastik numuneleri olan A ve B numunelerinin yoğunlukları sırasıyla 1.03 ve 1.01 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Mısır esaslı biyoplastik numuneleri olan C ve D numuneleri ise 1.07 ve 1.05 g/cm³ olarak bulunmuştur. Burada, mısır nişastasından üretilen biyoplastiklerin yoğunluğu buğday nişastasından elde edilen biyoplastiklerden daha fazladır. Daha hafif bir biyoplastik üretimi için buğday nişastasının kullanılması bir avantaj sağlayabilir. Akıllı biyoplastik numuneler arasında B ve C numuneleri daha az yağ kullanılarak üretilen biyoplastiklerdir. A ve D numuneleri ise daha fazla yağ (plastikleştirici) kullanılan numunelerdir. Yoğunluk değerleri ile kıyaslama yapıldığında biyoplastik malzemelerin üretiminde kullanılan yağ miktarının nihai ürünün yoğunluğu üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Akıllı odun-biyoplastik kompozitlerine ait E, F ve G numunelerinin yoğunluk değerleri sırasıyla 2.25, 1.04 ve 1.03 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Odununu miktarının sabit, mısır nişastası miktarlarının farklı olduğu bu üç akıllı odun-biyoplastik kompozit numunesinde kullanılan mısır nişastası miktarındaki artış malzemenin daha hafif olmasını sağlamıştır. Bunun nedeni hidrofobik özellik gösteren mısır nişastası moleküllerinin (Özdemir ve Ramazanoğlu, 2018) hidrofilik özellik gösteren odununu çevreleyerek birbirlerinden uzaklaştırmasıyla meydana gelen boşlukların birim alana düşen kütle miktarını azalmasından kaynaklı olabilir. Buğday nişastasından üretilen biyoplastiklerin yüzey pürüzlülüklerine ait Ra, Rz ve Rmax parametre değerleri Şekil 10'da verilmiştir.

Buğday Nişastası Esaslı Akıllı Biyoplastik Numuneleri



Şekil 10. Buğday nişastasından üretilen biyoplastiklerin yüzey pürüzlülük değerleri.

Buğday nişasta esaslı biyoplastiklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde içerdikleri yağ oranı ile ters orantılı olarak iyileşme görülmektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi A numunesinin R_a , R_z ve R_{max} değerleri sırasıyla 3.53, 18.8 ve 25.1 μm iken % 50 daha az yağ içeren B numunesinin değerleri 6.38, 28.0 ve 39.8 μm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 11. Mısır nişastasından üretilen biyoplastiklerin yüzey pürüzlülükleri.

Mısır nişastasından üretilen biyoplastik malzemelerin yüzey ölçüm parametreleri olan R_a , R_z ve R_{max} değerleri sırasıyla C numunesi için 8.82, 39.2, 54.2 μm ; D numunesi için 10.4, 43.8 ve 55.0 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 11). Bu değerlere bakıldığında biyoplastik buğday nişasta eklenen numunelerden farklı olarak içerdikleri yağ miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artma görülmüştür. Bunun nedeni, farklı biyokütlelere ait olduklarından nişasta boyutlarının karakteristik özellikleri (Whistler ve BeMiller, 1996), içerdikleri lipit oranı, (Pan ve Jane, 2000) amiloz ve amilopektin içeriklerinin farklı olması Yamin ve ark. (1999) ve protein, fosfat, granül yapıları amiloz ve amilopektin oranları nişastanın fonksiyonel özelliklerini ve sanayide kullanım alanlarında belirlemede önemli rol üstlenmektedir (Ölçer ve Akın, 2008). Daha önceki yapılan çalışmalar ışığında, bu çalışmada buğday ve mısır nişastaları ile üretilen biyoplastiklerde kullanılan aynı oranlardaki yağ oranlarının yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerinin farklı olması yapılarındaki fonksiyonel grupların değişen miktarlarının bir yansıması olması muhtemeldir. Ayrıca, bu çalışmada üretilen tipik bir akıllı biyoplastik ile günümüz petrol türevi muadil plastiğin satış fiyatı (Tablo 4)'de verilmiştir. Laboratuvar şartlarında üretilen numune muadiline kıyasla en az 6 kat daha maliyetli gibi görülmekte üretilimi için tamamen biyoatık olarakda temin edilebileceği göz ardı edilmemelidir.

Tablo 4. Tipik bir biyoplastiğin maliyet hesabı.

Biyoplastik İçin Gerekli Malzemeler	Fiyatları Kg / ₺	1 Kg İçin Gereken Miktar ve Fiyatlar	1 Kg Biyoplastiğin Maliyeti	1 Kg Petrol türevi Plastiğin Satışı
Mısır Nişastası (M.N.)	8	1000 gr.	8 ₺.	
Ayçiçek Yağı (A.Y.)	12	1600 ml.	19.2 ₺.	60.8 ₺.
Elma Sirkesi (E.S.)	14	2400 ml.	33.6 ₺.	10 ₺.

4. Sonuç ve Öneriler

Günlük hayatta kullandığımız petrol türevi malzemelerin insan sağlığı başta olmak üzere çevre ve diğer yaşam formlarına verdiği zararı engellemek için çevre dostu olarak biyokütle esaslı akıllı biyoplastik ve odun-biyoplastik kompozitlerinin üretilebilirliği hakkında yapılan bu çalışma sonucunda;

1. Sudaki çözünürlükleri içerdikleri yağ miktarına ve nişastanın türüne bağlıdır. Yağ miktarı arttıkça suda çözünme yüzdelerinde azalma görülmüştür. Bunun yanında, mısır nişastası esaslı numunelerin suya dayanımının daha iyi olduğu belirlenmiştir.
2. Biyoplastik numunelerinin su alma yüzdeleri suda çözünürlükte olduğu gibi içerdikleri yağ miktarı

ile ters orantılıdır. Odun-biyoplastik kompozitlerinde ise nişasta miktarı arttıkça su alma yüzdesi artmıştır.

3. Yağ miktarının biyoplastik malzemenin yoğunluğu üzerine bir etkisi tespit edilmemiştir. Akıllı odun-biyoplastik kompozitlerinin içerdikleri nişasta miktarı arttıkça yoğunluk değerlerinde azalma belirlenmiştir.
4. Yüzey pürüzlülük parametrelerinde buğday esaslı biyoplastiklerde yağ içeriği arttıkça iyileşme tespit edilirken, mısır nişastası ile yapılan biyoplastik numunelerde yağ miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünde artış görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü parametre değerleri nişastanın türüne bağlı olarak farklılık göstermiştir.

Kaynaklar

1. **Ali A, Yu L, Liu H, Khalid S, Meng L, Chen L (2017)**. Preparation and Characterization of Starch-Based Composite Films Reinforced by Corn and Wheat Hulls. *Journal of Applied Polymer Science*, 134
2. **Asaf KS (2008)**. Synthesis and Properties of Starch Based Biomaterials. University of Groningen, Groningen.
3. **ASTM D 792 (2004)**. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. **Averous L, Fringant C, Moro L (2001)**. Starch-Based Biodegradable Materials Suitable for Thermodynamics Packaging. *Starch/Starke*, 53, 368-371.
5. **Avella M, Vlieger JJD, Errico ME, Fischer S, Vacca P, Voipe MG (2009)**. Biodegradable Starch/Clay Nanocomposite Films for Food Packaging Applications. *Food Chemistry*, 93, 548-558.
6. **Biliaderis CG (1998)**. Structures and Phase Transitions of Starch Polymers, in *Polysaccharide Association Structures in Food*. Marcel Dekker, Walter RH, New York, pp. 57-168.
7. **Gontard N, Guilbert S, Cuq JL (1992)**. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*. (57): pp. 190–195.
8. **Prabhu NT, Prashantha K (2016)**. A Review on Present Status and Future Challenges of Starch Based Polymer Films and Their Composites in Food Packaging Applications, *Polymer Composites*. 39 (7): 2499-2522.
9. **Sharma C, Manepalli PH, Thatte A, Thomas S, Kalarikkal N, Alavi S (2017)**. Biodegradable Starch/PVOH/Laponite RD-Based Bionanocomposite Films Coated with Graphene Oxide: Preparation and Performance Characterization for Food Packaging Applications. *Colloid and Polymer Science*, 295, 1695-1708.
10. **Stevens ES (2002)**. *Green Plastics: An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*. Princeton University Press, Princeton.
11. **Imre B, Pukanszky B (2013)**. Compatibilization in Bio-Based and Biodegradable Polymer Blends. *European Polymer Journal*, 49, 1215-1233.
12. **ISO 4287 (1984)**. Help file of Ultra Software .Taylor and Hobson.
13. **Ölçer H, Akın B (2008)**. Starch: Biosynthesis, Granule Structure and Genetic Modifications. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (016), 1-12.
14. **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.
15. **Tharanathan RN (2003)**. Biodegradable Films and Composite Coatings: Past, Present, and Future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
16. **Pan DD, Jane JL (2000)**. Internal structure of normal maize starch granules revealed by chemical surface gelatinization. *Biomacromolecules*, 1, 126–132.
17. **Whistler RL, BeMiller JN (1996)**. Starch. In: R. L. Whistler & J. N. BeMiller (Eds), *Carbohydrate chemistry for food scientists* (pp. 117–151). St. Paul, MN: Eagan Press.
18. **Yamin FF, Lee M, Pollak LM, White PJ (1999)**. Thermal properties of starch in corn variants isolated after chemical mutagenesis of inbred line B73. *Cereal Chemistry*, 76, 175–181.