


Sitrik Asit ile Modifiye Edilmiş Mısır Nişastası/Mikrokristalin Selüloz Filmlerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Nedim Gürler

Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Tunceli, Türkiye

drnedimgurler@gmail.com 

Makale gönderim tarihi: 25.08.2020, Makale kabul tarihi: 29.12.2020

Öz

Bu çalışmada gliserol ile plastikleştirilmiş modifiye mısır nişastası/mikrokristalin selüloz (NS) kompozit filmlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine sitrik asitin etkisi incelendi. Filmler dökme metoduyla hazırlandı. FTIR spektroskopisinde nişasta ile sitrik asitin çapraz bağlanması sonucu güçlü bir hidrojen bağı olduğu görüldü. NS filmlerine farklı oranlarda (%1, %5, %10 ve %20) sitrik asit ilave edildi. %1 oranında sitrik asitin eklenmesiyle NS1 filminin mekanik gerilimi sitrik asit içermeyen NS filmine göre daha iyi bir gerilme kuvveti sergiledi. Ayrıca NS1 filminde en düşük su buharı geçirgenliği (SBG) ve çözünürlük meydana geldi. NS filminin SBG $5.56 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ iken, %1 sitrik asit ilavesi ile $5.41 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ olup, SBG azalmaktadır. Filmlerin optik özellikleri de incelendi. NS filmleri, sitrik asit içeren filmlere göre daha opaktır, ayrıca çapraz bağlayıcı konsantrasyonu arttıkça opaklık azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çapraz bağlayıcı, mısır nişastası, mikrokristalin selüloz

Physical and Mechanical Properties of Citric Acid Modified Corn Starch/Microcrystalline Cellulose Films

Abstract

In this study, the effect of citric acid on physical and mechanical properties on glycerol plasticized modified corn starch/microcrystalline cellulose (SC) composite films were investigated. The films were prepared by the casting method. FTIR spectroscopy showed that strong hydrogen bond interactions were formed as a result of the crosslinking of starch and citric acid. Citric acid was added to SC films in different proportions (1%, 5%, 10% and 20%). With the addition of 1% citric acid, the mechanical stress of SC1 exhibited a better tensile strength than SC film without citric acid. In addition, for SC1, the lowest water vapor permeability (WVP) and solubility occurred. While WVP of SC film was $5.56 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, it was $5.41 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ with the addition of 1% citric acid, WVP was decreased. Optical properties of the films were also studied. SC films were more opaque than films containing citric acid, moreover, the higher the crosslinker concentration, the lower the opacity.

Keywords: Crosslinker, corn starch, microcrystalline cellulose

GİRİŞ

Yenilenebilir materyal temelli biyobozunur malzemelerin üretimi, son zamanlarda yapılan araştırmalar arasında sıklıkla yer almaktadır. Çünkü araştırmacılar, yüksek maliyetli petrol türevi plastiklerin kullanımlarının yerine alternatif arayışlar içerisine girmektedirler (Cheng ve ark., 2013). Biyobozunur malzeme olarak nişasta, ucuz ve bol miktarda bulunan bir biyomalzemedir. Nişasta ağ yapısındaki moleküler arası kuvvetler ve hidrojen bağlarından dolayı nişastayı işlenebilir yani termoplastik nişastaya dönüşmesine direnç

göstermektedir. Nişastayı daha işlenebilir hale getirmek için ortama plastikleştirici eklenmesiyle, saf nişastanın işlenebilir kararlılığı da arttırılmaktadır (Zhou ve ark., 2008; Khan ve ark., 2017).

Doğal formuyla nişasta soğuk suda çözünmez. Jelatinleşme sıcaklığı olarak ta adlandırılan kritik sıcaklığın ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) altında nişasta granülleri suyu emer ve birkaç katına kadar şişer, bu işlem amilozun granül dışında difüzyonuna bağlanabilmektedir. Kritik sıcaklığın ötesinde ise şişmiş olan nişasta granülleri çok küçük kümecik

(topluluk) veya partiküllere ayrılır ve jelatinleşmiş nişasta ile sonuçlanır. Nişasta çok kırılabilir ve yüksek su emme kapasitesine sahip olduğu için; mekanik, kristal ve su emilim özellikleri kimyasal yöntem ile iyileştirilebilir (Cyras ve ark., 2005). Bir diğer olay, nişastanın retrogradasyonudur. Sulu ortamda α -1-4 glikozidik bağ ile bağlanmış amiloz molekülleri birbirine yaklaştığında, glikoz birimlerindeki hidroksil gruplar arasındaki hidrojen bağları sonucu çözünmeyen kristal bir yapı meydana getirirler. Yani nişasta yeniden kristalize olmuş olur ki bu olay da retrogradasyon olarak adlandırılır. Retrogradasyonu önlemek için üre, formamit ve asetamit gibi amit grubu içeren plastikleştiriciler kullanılır. Ancak amit grubu içeren plastikleştiriciler toksik olduğundan, fast-food servis gereçleri, gıda ambalajları, eczane, biyomedikal uygulama gibi birçok uygulamada kullanılmasına izin verilmemektedir. Bu soruna alternatif olacak ve retrogradasyonu önleyecek madde olarak sitrik asit önerilebilir. Sitrik asit aynı zamanda vücudun toksik olmayan metabolik bir ürünüdür (Krebs veya sitrik asit döngüsü) ve insanlarda kullanımı için Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration, FDA) tarafından onaylanmıştır (Shi ve ark., 2007). Toksik özelliği olmayan sitrik asit, diğer maddelere kıyasla beslenme açısından zararsızdır. Nişasta hidroksil grupları ile sitrik asitteki karboksilik grupları arasında yeni kimyasal bağlara yol açar ve sonuç olarak hidrofilik karakter özelliği azalır ve retrogradasyon da önlenmiş olur. Dolayısıyla çapraz bağlama, nişastanın retrogradasyonunu kısıtlayarak onun özelliklerinin iyileşmesine de yardımcı olur (Seligra ve ark., 2016).

Doğal nişastanın malzeme özelliklerini ve film oluşumunu iyileştirmek için de nişastanın çapraz bağlanması gerekmektedir. Su, gliserol, ksilitol veya polietilen glikol gibi plastikleştiriciler, polimer matrisin camsı geçiş sıcaklığını (T_g) düşürerek, çatlak ve deliklerin oluşumunu önler (Menzel ve ark., 2013). Nişastanın çapraz bağlanması, nem içeriğini en aza indirmek ve moleküler hareketliliği azaltarak onun bariyer özelliklerini iyileştirmede kullanılan bir metottur. Nişastayı çapraz bağlamada kullanılan kimyasallar dikloroasetik asit, fosfor oksiklorit, sodyum trimetafosfat, epiklorohidrin, kalsiyum hidroksit, zirkonyum asetat, glutaraldehit ve değişik

polikarboksilik asitlerdir. Gıda ambalajlamada çapraz bağlayıcı olarak kullanılan ve polikarboksilik asit sınıfından olan sitrik asitin kullanılmasının avantajı, yukarıda da bahsedildiği gibi beslenme açısından zararsız olması ve herhangi bir kalıntı bırakmamasıdır (Zuraida ve ark., 2012; Olson ve ark., 2013).

Nişastanın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bir diğer uygulama ise biyopolimerlerle harmanlamaktır. Farklı bir biyopolimer nişasta ile karıştırıldığında, benzer kimyasal özelliklerinden dolayı iyi etkileşime girip mekanik özelliğini iyileştirmektedir. Buna örnek olarak, selüloz kristalitleri veya mikro-fiberin selüloz nişastaya eklenerek suya karşı dayanıklılığının iyileştirilebilir. Bu davranış, nişastanın hidrofilik özelliğine kıyasla selüloz liflerinin oldukça kristalli hidrofobik karakteriyle ilgilidir. Ayrıca selüloz fiberlerin daha yüksek ve daha uzun termal direncine bağlı olarak termal kararlılık göstermesi de buna örnek gösterilebilir. Mikrokristalin selülozun insan sağlığı üzerinde hiçbir zararlı etkisi yoktur ve ayrıca gıda maddeleri, kozmetik, ilaç, kağıt ve tekstil endüstrilerine kadar çeşitli uygulama alanlarında ürün ve işleme özelliklerini iyileştirmek için oldukça etkili bir katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Ma ve ark., 2008). Bu çalışmada nişasta bazlı filmlerde en iyi mekanik ve bariyer özelliklerini gösteren nişasta kuru ağırlığının %10 oranında mikrokristalin selüloz kullanılmıştır (Ma ve ark., 2008). Gliserolle plastikleştirilmiş mısır nişastası/mikrokristalin selüloz (NS) karışımına farklı oranlarda sitrik asit ile güçlendirilmiş filmler dökme metoduyla hazırlandı. Filmlerin FTIR spektrumu, mekanik gerilim, çözünürlük, su buharı geçirgenliği ve optik özellikleri incelenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Mısır nişastası, sitrik asit ($C_6H_8O_7$), susuz kalsiyum klorür ($CaCl_2$), sodyum klorür ($NaCl$) ile plastikleştirici olarak kullanılan gliserol ($C_3H_8O_3$) Sigma-Aldrich firmasından satın alındı. Mikrokristalin selüloz Alfa Aesar şirketinden temin edildi. Magnezyum nitrat hekza hidrat ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ise J.T. Baker firmasından tedarik edildi. Çalışmada kullanılan kimyasallar uygun saflıktadır. Deneylerde Millipore Direct-Q3 saf su cihazı kullanıldı.

Filmlerin Hazırlanması

5 g mısır nişastası (N) ve nişasta kuru ağırlığının %10'u kadar yani 0.5 g mikrokristalin selüloz (S) distile su içeren balon jøjeye bırakıldı. 75 °C'de 15 dakika 85 mL ve jelatinize olması sağlandı. Daha sonra üzerine plastikleştirici olarak 5 mL su içerisinde 2 mL gliserol çözülerek balon jøjeye aktarıldı ve aynı sıcaklıkta 15 dakika daha homojenizasyonu sağlandı. Başka bir beher içerisinde nişasta kuru ağırlığının farklı oranlarında (%1, %5, %10 ve %20) sitrik asit ilave edilmeden önce aşırı asitlikten kurtulmak için 15 mL su içerisinde 15 dakika oda sıcaklığında çözüldü. Sıcaklık 90±2 °C'ye yükseltilerek sitrik asit balon jøjeye eklendi ve 120 dakika boyunca 1500 rpm'de karıştırıldı. Reaksiyon bittikten sonra oda sıcaklığında soğutuldu ve 85 mm iç çapındaki plastik petri kabına dökülerek 45 °C'de 2 gün boyunca kurutuldu. Daha sonra filmler çıkarılarak analize hazır hale getirildi. Filmlerin kalınlık ölçümü INSIZE marka dijital mikrometre ile ölçüldü. Mekanik test ve su buharı geçirgenliği testi için kalınlıkları ölçüldü. Her film için rastgele altı farklı yerden kalınlık ölçümü yapılarak ortalamaları kullanılmıştır. Hazırlanan karışım bileşimi Çizelge 1'de gösterildi.

FTIR Spektroskopisi

Filmlerin FTIR spektrumu için 400-4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında, 4 cm⁻¹ çözünürlükte ve 32 tarama hızında Jasco 6700 marka ATR-FTIR cihazı kullanıldı. Spektrumlar oda sıcaklığında ve herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan doğrudan alındı.

Çözünürlük

Filmlerin su içerisinde çözünürlükleri Sanyang ve ark., (2016) metoduna göre yapıldı. Bunun için 2 cm çapında filmler kesildi ve 105 °C'de 24 saat kurutuldu. Kurutulan filmlerin ilk ağırlıkları tartıldı (Wi). Daha sonra her film numunesi 50 mL beher içerisinde 30 mL su içerisine bırakıldı ve 24 saat içerisindeki farklı zamanlarda 150 rpm'de beherler oda sıcaklığında karıştırıldı. Son olarak çözünmeyen kısım süzgeç kağıdı yardımıyla süzülde ve geriye kalan kısım ise tekrar 105 °C'de 24 saat kurutularak tekrar tartım alındı (Ws). Eşitlik 1'e göre % çözünürlük hesaplandı.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = [(W_i - W_s) / W_i] \times 100 \quad (1)$$

Su Buharı Geçirgenliği (SBG)

Filmlerin su buharı geçirgenliği (SBG) ASTM 1996 standardına göre (Galdeano ve ark., 2013) bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirildi. Filmler 6 mm yarıçapında dairesel olarak kesildi. Filmler içerisinde susuz CaCl₂ içeren 4.5 cm yüksekliğindeki cam şişe kapağının ortası delik olan kısmına yerleştirildi ve kapağın etrafı parafilm ile sarıldı. Filmler oda sıcaklığında desikatör içerisinde doymuş sodyum klorür (%75 bağıl nem) ortamına bırakıldı ve 24 saat içerisindeki farklı zamanlarda (s) 8 tartım alınarak, zamana karşı şişe içerisindeki kalsiyum klorür absorbe ettiği su miktarı (g) grafiği çizildi. Her bir eğim (g/s), film alanına (m²) bölünerek su buharı geçiş oranı (SBGT) hesaplandı. Deneyler üç tekrarlı olarak yapıldı. SBG (g Pa⁻¹ s⁻¹ m⁻¹) ise aşağıdaki Eşitlik 2 ve 3'e göre hesaplandı.

$$\text{SBGT} = \frac{g/s}{m^2} \quad (2)$$

$$\text{SBG} = \left[\frac{\text{SBGT}}{P(H_1 - H_2)} \right] \times b \quad (3)$$

Burada; b: film kalınlığı (m), P: doymuş suyun buhar basıncı (Pa), H₁: desikatör içerisindeki bağıl nem (%75), H₂: nüfuz edilen cam şişe içerisindeki bağıl nem (%0), bu şartlar altında P(H₁-H₂) 1753.55 Pa'dır (Galdeano ve ark., 2013).

Mekanik Test

Filmlerin gerilme kuvveti ve uzaması ASTM D882-02 standardına göre yapılmıştır. Test için Zwick-Roell 5 kN kapasiteli çekme cihazında, 1 mm dak⁻¹ ve çeneler arası mesafe 30 mm olacak şekilde çekme testi yapıldı. Makas yardımıyla 1×7 cm kesilen filmler, mekanik test öncesinde 25 °C'de %53±2 bağıl nem oranına sahip olan doymuş Mg(NO₃)₂·6H₂O çözeltisi ile etüv içerisinde 48 saat şartlandırıldı. En az beş adet filmin ortalaması alınarak mekanik gerilimi ve uzaması hesaplandı.

Optik Özellik

Filmlerin opaklık testi için UV1800 Shimadzu marka spektrometre cihazı kullanılmıştır. Örnekler 10×30 mm ebatlarında kesilerek küvetin iç yüzeyine yerleştirilmiş ve farklı dalga boylarında (400 nm, 600 nm ve 800 nm) absorbanslar alınmıştır. Film opaklığı absorbans×dalga boyu (abs×nm) olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 1. Film bileşimi ve kodları

Film	Film Bileşenleri			
	Mısır nişastası (g)	Mikrokristalin Selüloz (g)	Sitrik asit (%)	Gliserol
N	5	-	-	2 mL
NS	5	0.5	-	2 mL
NS1	5	0.5	%1	2 mL
NS5	5	0.5	%5	2 mL
NS10	5	0.5	%10	2 mL
NS20	5	0.5	%20	2 mL

İstatistiksel Analiz

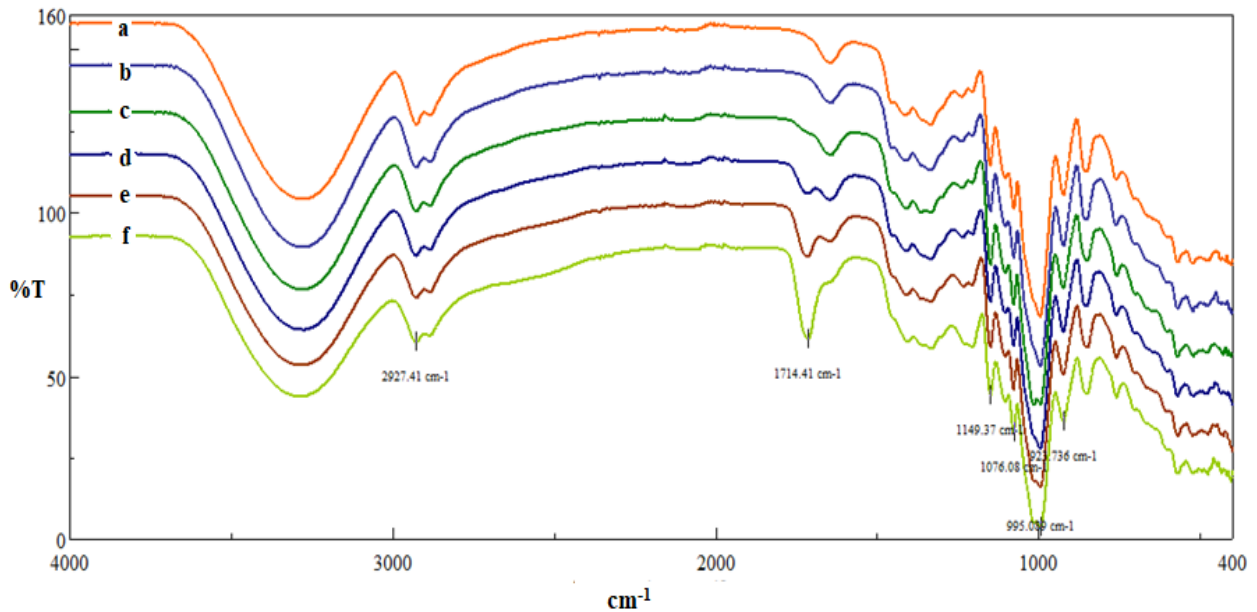
Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde IBM SPSS Statics24 programı kullanılarak ANOVA testi yapıldı. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları tanımlamak için çoklu karşılaştırmalı Tukey testi yapılmıştır. İstatistiksel analiz mekanik gerilim, % uzama ve çözünürlük testleri için uygulanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

FTIR Spektroskopisi

Sitrik asit içeren ve içermeyen filmlere ait FTIR spektrumları Şekil 1'de gösterilmiştir. 3000-3550 cm^{-1} geniş ve yayvan gerilme titreşimi nişasta, su ve

gliserolden kaynaklanan hidroksil (OH) grubuna aittir. 2927.41 cm^{-1} ve 2884.99 cm^{-1} pikler alifatik C-H gerilmesidir (Seligra ve ark., 2016). 1714.41 cm^{-1} 'de görülen pik sitrik asitin karboksil grubundan kaynaklı ester bağı titreşim pikidir. Sitrik asit oranı arttıkça karbonil (C=O) pik şiddeti de artmaktadır. 1149.37 cm^{-1} ve 1076.08 cm^{-1} 'de pikler nişastanın C-O-H yapısındaki C-O gerilme titreşimlerine (Shi ve ark., 2007), 1012.15 cm^{-1} ve 995.08 cm^{-1} 'de pikler ise nişastanın C-O-C yapısındaki C-O titreşimine aittir (Jiugao ve ark., 2005). 1646.32 cm^{-1} karakteristik pik nişasta yapısına bağlanmış olan suyu ifade etmektedir (Ma ve ark., 2009).

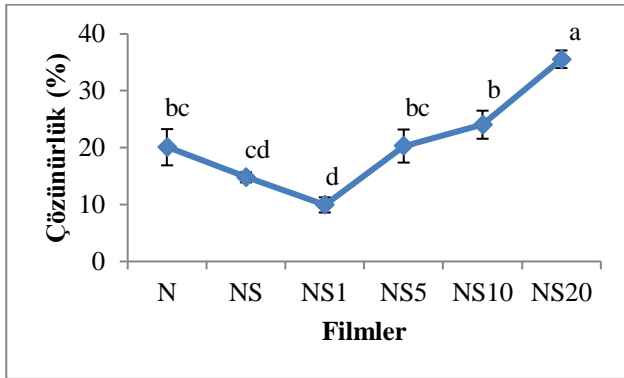


Şekil 1. Filmlere ait FTIR spektrumları, a;N, b;NS c;NS1 d;NS5 e;NS10 f;NS20

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.785250

Çözünürlük

Çözünürlük ölçümlerinin sonuçları Şekil 2’de gösterildi. Çapraz bağlanma reaksiyonları fiziksel ve kimyasal olarak nişasta molekülleri arasındaki bağı güçlendirir ve bunun sonucunda çözünürlük azalmaktadır (Menzel ve ark., 2013). Saf nişasta yani N filmi hidrofilik yapıda olduğundan, mikrokristalin ile harmanlanmış NS filmine göre yüksek çözünürlüğe sahiptir. NS filmlerine %1 sitrik asit ilavesi ile çözünürlük azalmakta iken (%9.94), aşırı miktarda sitrik asit ilavesi ile plastikleştirici gibi davrandığından su içerisindeki çözünürlükte artmaktadır. Bu durum nişastanın su ile etkileşimine girmesine ve nişasta molekülleri arasındaki hidrojen bağı azaltarak çözünürlük artışına sebep olması şeklinde açıklanabilir (Ghanbarzadeh ve ark., 2011).

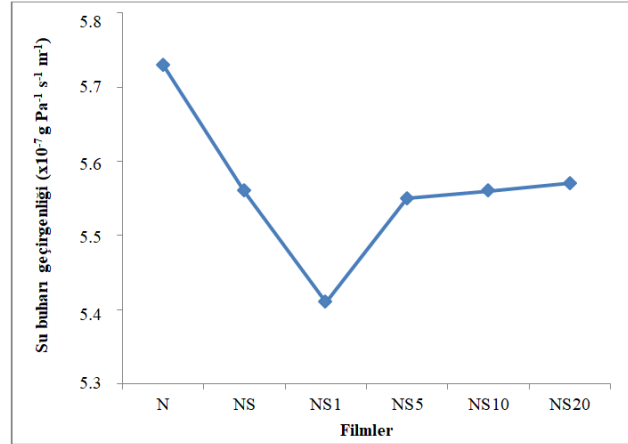


Şekil 2. Filmlere ait çözünürlük değerleri

Su buharı Geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği Şekil 3’te gösterilmiştir. Gıda ambalajlama filmlerinde, gıda ile çevresindeki atmosfer arasındaki nem transferi mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır (Reddy ve Yang, 2010; Seligra ve ark., 2016). Sitrik asit içermeyen mısır nişastası (N) ve mısır nişastası/mikrokristalin selüloz (NS) filmlerinde su buharı geçirgenliği sırasıyla $5.73 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ve $5.56 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ olmaktadır. NS filmlerine %1 oranında sitrik asit ilavesi ile bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalma NS filmine sitrik asitin çapraz bağlanması ile daha sıkı bir yapı oluşturması ve sonuç olarak moleküllerin hareketlerinin kısıtlanarak su buharı geçirgenliğinin azalması ile açıklanmaktadır. %1’den fazla sitrik asit ilavesi ile su buharı geçirgenliği artmaktadır. %5, %10 ve %20 sitrik asit ilavesi ile su buharı geçirgenliği sırasıyla $5.55 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, $5.56 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ve $5.57 \times 10^{-7} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$

1 m^{-1} şeklinde artmaktadır. Bu artış aşırı sitrik asit ilavesinin plastikleştirme etkisine bağlanabilir. Benzer bir durum Ghanbarzadeh ve ark., (2011) tarafından nişasta karboksimetil selüloz filmlerine sitrik asitin aşırı ilavesi ile su buharı geçirgenliğinin arttığını bildirmişlerdir.



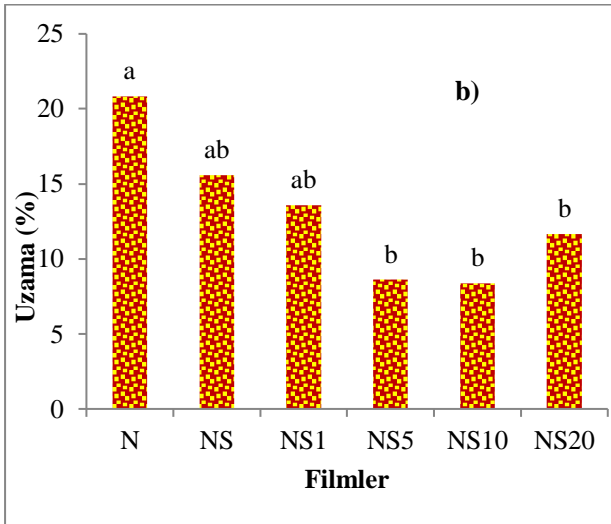
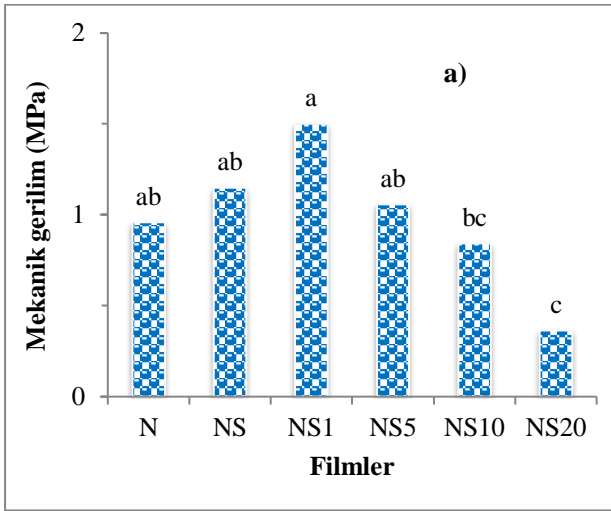
Şekil 3. Filmlerin su buharı geçirgenlikleri

Mekanik Özellik

Nişasta/mikrokristalin selüloz filmlerinin mekanik özellikleri üzerine sitrik asitin etkisi Şekil 4a’da gösterilmiştir. NS, NS1, NS5, NS10 ve NS20 filmlerinin mekanik gerilmeleri sırasıyla 1.15 MPa, 1.50 MPa, 1.05 MPa, 0.84 MPa ve 0.36 MPa’dır. NS filmleri, %1 sitrik asit ilavesi ile en yüksek gerilme kuvvetine sahip iken, %1’den fazla ilave edildiğinde ise azalmaktadır. Çapraz bağlanma ile moleküller arasında daha iyi etkileşimler olduğundan, çapraz bağı olmayanlara göre gerilme kuvveti daha fazladır. %1’den fazla sitrik asit ilavesi ile aşırı çapraz bağlanmadan dolayı nişasta moleküllerinin hareketliliği sınırlandırılmakta ve daha düşük gerilme mukavemetine yol açmaktadır. Reddy ve Yang, (2010) mısır nişastasının sitrik asit ile çapraz bağlanması sonucunda, %5’e kadar sitrik asit ilave edildiğinde yüksek gerilme kuvvetine sahip olduğunu, %5’ten sonra ise gerilme kuvvetinin azaldığını bildirmişlerdir. Benzer durum, sitrik asit, nişasta ile güçlü etkileşimler oluşturabildiğini ve nişasta moleküllerinin etkileşimini zayıflatabileceğini, böylece nişasta molekülleri arasındaki kaymayı da kolaylaştırmaktadır. Bunun sonucu olarak, sitrik asit miktarı arttıkça mekanik gerilimin azaldığını bildirdiler (Jiugao ve ark., 2005). Filmlerin % uzama değerleri ise Şekil 4b’de

Araştırma makalesi/Research article
DOI: 10.29132/ijpas.785250

gösterildi. %1 sitrik asit ilavesi ile %13.56 uzama meydana geldi. Sitrik asit içeriği %5, %10 ve %20 olduğunda ise % uzama sırasıyla %8.6, %8.36 ve %11.6 artarak devam etmiş olup, sitrik asit plastikleştirici olarak davrandı ve makromoleküller arasında etkileşim azaldı. Sonuç olarak ise gerilme kuvveti azalırken, % uzama ise artmaktadır (Ghanbarzadeh ve ark., 2011).

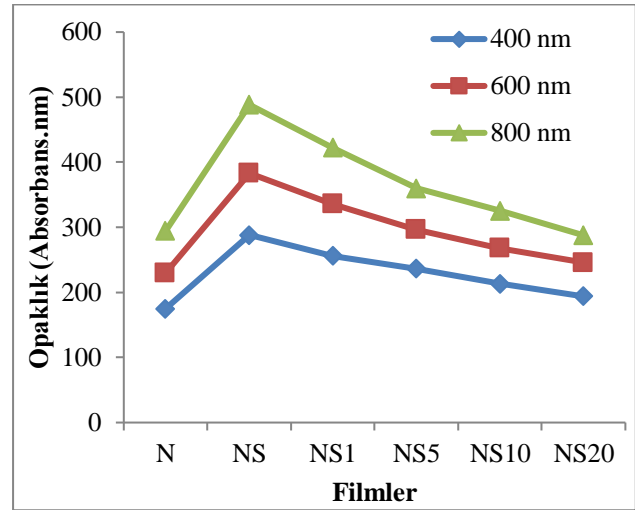


Şekil 4. a) Filmlere ait mekanik gerilim ve b) filmlerin % uzama değerleri

Optik Özellik

Şekil 5'te farklı dalga boylarında filmlere ait opaklık verilmiştir. Mısır nişastası filmi, mikrokristalin selüloz ile karıştırıldığında; NS filmleri sitrik asit içeren ve içermeyen filmlere göre daha opak olduğu ve daha fazla ışık absorpsiyonu

meydana getirdiği görülmektedir. Benzer durum Gürler ve ark., (2020) tarafından da tespit edildi. NS filmlerine sitrik asit ilavesinin artan konsantrasyonlarında, filmlerin daha şeffaf olmasına neden olmaktadır.



Şekil 5. 400 nm, 600 nm ve 800 nm dalga boylarındaki opaklık değerleri

SONUÇ

Dökme metoduyla hazırlanan ve çapraz bağlayıcı olarak sitrik asitin kullanılmasıyla üretilen mısır nişastası/mikrokristalin selüloz filmlerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Düşük miktarda sitrik asit ilavesi ile mekanik özelliklerin artmasına rağmen, çapraz bağlanma sonucu moleküllerin hareketleri kısıtlandığından dolayı su buharı geçirgenliği ve çözünürlük azalmıştır. Mısır nişastası/mikrokristalin selüloz (NS) filmlerinin artan sitrik asit oranları ile daha şeffaf hale geldikleri görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan mısır nişastası, mikrokristalin selüloz ve sitrik asit toksik olmadığından fosil yakıt kökenli plastiklere karşı alternatif ve çevre dostu bir malzeme olarak kullanılabilirliği önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar bu çalışmada herhangi bir şekilde çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKLAR

- Cheng, J., Zheng, P., Zhao, F., Ma, X.,** 2013. The composites based on plasticized starch and carbon nanotubes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59:13-19.
- Cyras, V.P., Tolosa Zenklusen, M.C., Vazquez, A.,** 2005. Relationship between structure and properties of modified potato starch biodegradable films. *Journal of Applied Polymer Science*, 101(6):4313-4319.
- Galdeano, M.C., Wilhelm, A.E., Mali, S., Grossmann, M.V.E.,** 2013. Influence of thickness on properties of plasticized oat starch films. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(4):637-644.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., Entezami, A.A.,** 2011. Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and Products*, 33(1):229-235.
- Gürler, N., Paşa, S., Alma, M.H., Temel, H.,** 2020. The fabrication of bilayer poly(lactic acid) films from cross-linked starch as eco-friendly biodegradable materials: Synthesis, characterization, mechanical and physical properties. *European Polymer Journal*, 109:588.
- Jiugao, Y., Ning, W., Xiaofei, M.,** 2005. The effects of citric acid on the properties of thermoplastic starch plasticized by glycerol. *Starch-Stärke*, 57(10):494-504.
- Khan, B., Niazi, M.B.K., Hussain, A., Jahan, Z.,** 2017. Influence of carboxylic acids on mechanical properties of thermoplastic starch by spray drying. *Fibers and Polymers*, 18(1):64-73.
- Ma, X., Chang, P.R., Yu, J.,** 2008. Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3):369-375.
- Ma, X., Chang, P.R., Yu, J., Stumborg, M.,** 2009. Properties of biodegradable citric acid-modified granular starch/thermoplastic pea starch composites. *Carbohydrate Polymers*, 75(1):1-8.
- Menzel, C., Olsson, E., Plivelic, T.S., Andersson, R., Johansson, C., Kuktaite, R., Koch, K.,** 2013. Molecular structure of citric acid cross-linked starch films. *Carbohydrate polymers*, 96(1):270-276.
- Olsson, E., Hedenqvist, M.S., Johansson, C., Järnström, L.** 2013. Influence of citric acid and curing on moisture sorption, diffusion and permeability of starch films. *Carbohydrate Polymers*, 94(2):765-772.
- Reddy, N., Yang, Y.,** 2010. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry*, 118(3):702-711.
- Sanyang, M.L., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M. R., Sahari, J.,** 2016. Development and characterization of sugar palm starch and poly (lactic acid) bilayer films. *Carbohydrate Polymers*, 146:36-45.
- Seligra, P.G., Jaramillo, C.M., Famá, L., Goyanes, S.** 2016. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent. *Carbohydrate Polymers*, 138:66-74.
- Shi, R., Zhang, Z., Liu, Q., Han, Y., Zhang, L., Chen, D., Tian, W.,** 2007. Characterization of citric acid/glycerol co-plasticized thermoplastic starch prepared by melt blending. *Carbohydrate Polymers*, 69(4):748-755.
- Zhou, J., Zhang, J., Ma, Y., Tong, J.,** 2008. Surface photo-crosslinking of corn starch sheets. *Carbohydrate Polymers*, 74(3):405-410.
- Zuraida, A., Yusliza, Y., Anuar, H., Muhaimin, R.M. K.,** 2012. The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics. *International Food Research Journal*, 19(2):715.