



Makale / Research Paper

Yüksek Basınç Homojenizasyon Uygulanmış Yağsız Süt Tozlarının Yenilebilir Film Üretiminde Kullanımı: Film Özelliklerinin Karakterizasyonu

Emin MERCAN^{a*}, Durmuş SERT^b

^aBayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bayburt/TÜRKİYE

^bNecmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya/TÜRKİYE

eminmercan20@hotmail.com

Received/Geliş: 15.06.2021

Accepted/Kabul: 06.08.2021

Öz: Gıdaların ambalajlanması tedarik zincirinde önemli bir rol oynamaktadır ve ambalajlama son işlemin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Yenilebilir filmler ve kaplamalar, gıda kalitesi optimizasyonu için ortaya çıkan stratejilerden biridir. Yenilebilir filmler ve kaplamalar kaliteyi sürdürme, raf ömrünü uzatma ve ambalaj malzemelerinin ekonomik verimliliğine katkıda bulunma potansiyeline sahiptirler. Ayrıca tüketicilerin sağlık kaygılarından dolayı sadece doğal bileşenler içeren yüksek kaliteli ürünlere olan talep artmaktadır. Bu amaçla doğal kaynaklı yeni ambalajlama materyalleri geliştirilmekte ve karakterize edilmektedir. Bu çalışmada, yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulanarak üretilmiş yağsız süt tozu (YST) ilavesinin yenilebilir filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 50 MPa'da YBH uygulanmış süt konsantrasyonundan püskürtülerek kurutmayla YST üretilmiştir. Üretilen YST jelatin bazlı yenilebilir film üretiminde %1, %2 ve %3 oranında kullanılmıştır. Artan oranda YST ilavesi filmlerin yoğunluğunun ve parlaklığının (L*) kontrol örneğine kıyasla artmasına yol açmıştır. Yenilebilir filmlerin hidrofobikliği YST eklenmesiyle artmıştır. Örneklerin kopma uzaması %245.40-295-28 aralığında değişmiş olup artan oranda YST ilavesi bu değeri artırmıştır. Yenilebilir filmlerin dayanım değerleri 2.86-3.75 MJ/m³ aralığında tespit edilmiştir. En düşük dayanım değeri %3 YBH uygulanmış YST ilaveli örnekte en yüksek değer ise kontrol örneğinde belirlenmiştir. Sonuçlar, yağsız süt tozunun, filmlerin gerilme dayanım değerlerini düşürmesi, kopma gerilmesi özelliklerini kısmen iyileştirmesi, daha elastik bir özellik sağlaması ve makul mekanik dayanıklılığı sağlaması açısından yenilebilir film üretimi üzerinde olumlu etkiler yapabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik özellikler; süt tozu; yenilebilir film; yüksek basınç homojenizasyon.

Utilization of High Pressure Homogenization Treated Skim Milk Powders in Edible Film Production: Characterization of Film Properties

Abstract: The packaging of food plays an important role in the supply chain and packaging constitutes an important part of the final processing. Edible films and coatings are one of the emerging strategies for food quality optimization. Edible films and coatings have the potential to maintain quality, extend shelf life and contribute to the economic efficiency of packaging materials. In addition, due to health concerns of consumers, the demand for high quality products containing only natural ingredients has been increased. For this purpose, new packaging materials of natural origin have been developed and characterized. In this project, the effect of the addition of skim milk powder (SMP) produced by applying high-pressure homogenization (HPH) on physical and mechanical properties of edible films was investigated. For this purpose, SMP was produced by spray-drying from HPH-treated milk concentrate at 50 MPa. SMP was used at the rate of 1%, 2% and 3% in the production of gelatin-based edible films. Increasing SMP addition resulted in an increase in the density and brightness (L*) of the films compared to the control sample. The hydrophobicity of edible films increased with the addition of SMP. The elongation at break of the samples varied in the range of 245.40-295-28% and the addition of SMP at

Bu makaleye atf yapmak için

Mercan, E., Sert, D., "Yüksek Basınç Homojenizasyon Uygulanmış Yağsız Süt Tozlarının Yenilebilir Film Üretiminde Kullanımı: Film Özelliklerinin Karakterizasyonu" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(3); 1511-1520.

How to cite this article

Mercan, E., Sert, D., "Utilization of High Pressure Homogenization Treated Skim Milk Powders in Edible Film Production: Characterization of Film Properties" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2021, 8(3); 1511-1520.

ORCID ID: ^a0000-0002-6805-4262; ^b0000-0002-4073-0468

an increasing rate increased this value. The toughness values of edible films have been determined in the range of 2.86-3.75 MJ/m³. The lowest toughness value was determined in the sample containing 3% HPH-treated SMP and the highest value was determined in the control sample. The results showed that SMP can have positive effects on edible film production in terms of reducing the tensile strength values of the films, partially improving the breaking stress properties, providing a more elastic property and providing reasonable mechanical strength.

Keywords: Edible film; high-pressure homogenization; mechanical properties; milk powder.

1. Giriş

Gıdaların tüketiciye güvenli bir şekilde sunulması için gıda ambalajları çok önemli rol oynamaktadır. Ambalaj, gıda ürünlerini çevre şartlarından koruyarak gıda israfını azaltmada önemli bir rol oynamakta bu durum da gıda muhafazasını iyileştirerek depolama ve nakliye sırasında gıda kalitesini etkileyebilmektedir. Piyasada petrokimya kökenli plastik, metal, kâğıt, cam gibi birçok gıda ambalaj malzemesi mevcut olmakla birlikte bu tür gıda ambalajlarının kullanımı atık ve çevre sorunları yaratmaktadır [1]. Dünyadaki daha doğal, kaliteli ve daha güvenli gıdalarla ilgili mevcut tüketici talep ve ihtiyaçları küresel pazarı değiştirmektedir. Çevre kirliliğini artırmayan ve sürdürülebilir işlemlerle üretilen gıda ambalajları da bunun ucuz bir yoludur. Bu nedenle şirketler ve araştırmacılar üretkenliği, gıda kalitesini, tazeliği ve gıda güvenliğini sağlayan sürdürülebilir, biyolojik olarak parçalanabilen ve yenilebilir materyaller geliştirmeye odaklanmışlardır. Araştırmacılar biyopolimerler, biyobozunur ve yenilebilir filmler ve gıda ambalajlamada kaplamalar üretmek üzere film oluşturma özelliklerine ilişkin olarak geleneksel (petrol bazlı) gıda ambalajlamaya alternatif olarak çalışmaktadırlar [2, 3].

Yenilebilir filmler oksijen, karbondioksit ve neme karşı gıda ve çevre arasında yarı geçirgen bir bariyer görevi görmekte ve solunum, su kaybı ve oksidasyon oranlarını azaltmaktadır. Kaplama filmleri, besin içeriğini ve organoleptik özelliklerini korurken ürünün stabilitesini, kalitesini ve güvenliğini artırmak için geleneksel ambalajlar yerine kullanım potansiyeline sahiptir [4, 5].

Biyopolimerler, yenilebilir filmlerde kullanılan polisakkarit, protein ve lipit gibi yapılardan oluşmaktadır [6, 7]. Jelatin, katı film oluşturma yeteneği ile çok çeşitli uygulamalara ve fonksiyonel özelliklere sahip en önemli proteinlerden birisidir. Jelatin, üstün jelleştirici ve emülsifiye edici özelliklerinden dolayı özellikle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Başlıca endüstriyel jelatin kaynakları, domuz ve sığır gibi memelilerin kemikleri ve derisidir [9]. Jelatin bazlı yenilebilir filmler, kolay temin edilebilirliği, iyi biyouyumluluğu, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve düşük antijenitesi nedeniyle raf ömrü boyunca gıdaları oksijene ve ışığa karşı korumak için kullanılabilir [10-12]. Ayrıca, jelatin bazlı filmlerin optik özellikleri genellikle uygun kabul edilmektedir [13]. Protein bazlı filmlerin kırılma kuvvetini ve uzama kabiliyetini mümkün olduğunca azaltmak için gliserol gibi plastikleştiriciler eklenmektedir. Plastikleştirici moleküller, polimer zincirleri boyunca moleküller arası kuvvetlerde azalmaya yol açarak uzayabilirliği, esnekliği, tokluğu ve yırtılma mukavemetini arttırmakta ancak filmlerin mekanik direncini ve bariyer özelliklerini azaltmaktadır [14].

Son yıllarda, gıda endüstrisinde yeni gelişen işleme teknolojilerinin kullanımına olan ilgi artmaktadır. Bu teknolojiler darbeli elektrik alan, yüksek yoğunluklu ultrason, mikrofiltrasyon, süper kritik karbondioksit, ohmik ve mikrodalga ısıtma, ultraviyole ve darbeli ışık, yüksek hidrostatik basınç uygulamalarını kapsamaktadır. Yeni teknolojilerden biri olan yüksek basınç homojenizasyon da (YBH) hali hazırda bazı süt işleme proseslerinde kullanılmaktadır [15].

Yenilebilir film üretiminde süt proteinleri, peynir altı suyu proteini, sodyum kazeinat gibi süt bileşenleri kullanılmasına rağmen YBH uygulanmış süt veya süt tozu kullanımına dair herhangi bir veri bulunmamaktadır [16]. YBH uygulamasının süt tozlarında protein yapısını etkileyerek fonksiyonel özellikleri geliştirdiği bilinmektedir. Artan fonksiyonel özellikler ile birlikte YBH

uygulanmış süt tozlarının yenilebilir film üretiminde kullanımının olumlu etkiler göstereceği düşünülmektedir. Bu olumlu etkiler ile birlikte yenilebilir filmlerde büyük bir sorun olan düşük mekanik direncin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Literatürde farklı süt bazlı ürünlerin yenilebilir film üretiminde kullanımı bulunmaktadır. Bununla birlikte, YBH kullanılmış herhangi bir süt ürününün film üretiminde kullanımı bulunmamaktadır. Bu çalışmada, yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulanarak üretilmiş yağsız süt tozu (YST) ilavesinin yenilebilir filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Süt Tozu Üretiminde Kullanılan Koyulaştırılmış Sütler

Film üretiminde kullanılan süt tozu üretimindeki yağsız koyulaştırılmış süt Enka Süt AŞ'den (Konya) tedarik edilmiştir. Koyulaştırılmış sütün üretimi endüstriyel süt tozu üretim aşamalarına göre gerçekleştirilmiştir. Koyulaştırılmış süt üretimini takiben en kısa içerisinde laboratuvara getirilerek yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış ve süt tozuna işlenmiştir.

2.1.2. Film Oluşturan Çözelti Üretiminde Kullanılan Materyaller

240 Blooma sahip sığır jelatini (Tito, Smart Kimya Tic.ve Danışmanlık Ltd. Şti., İzmir, Türkiye), Konya'da bulunan yerel bir marketten temin edilmiştir. Gliserol (%85, analitik saflıkta) Merck'ten (Darmstadt, Almanya) satın alınmıştır.

2.2. Yüksek Basınç Homojenizasyon Uygulanmış Süt Tozunun Üretimi

Süt tozu üretiminde kullanılacak koyulaştırılmış sütlerin üretimi için alınan her sütün gereken analizleri yapılmış ve uygun olan sütler süzülerek 63°C'de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Sonrasında sütlerin yağ oranları yağsız süt için maksimum %0.15 (tozda maksimum %1.5) oranında olacak şekilde seperatör ile ayarlanmıştır. Yağ oranı standardize edilmiş sütlere 85°C'de 1 dk süreyle pastörizasyon uygulanmıştır. Pastörizasyonu takiben evaporatör ile sütün kuru maddesi yaklaşık %42±2'ye yükseltilmiştir. Koyulaştırılmış yağsız sütün üretimini takiben yüksek basınç homojenizasyon (YBH) işlemi uygulanmasına geçilmiştir. Bu amaçla 5 L koyulaştırılmış yağsız süte Panda Plus 2000 laboratuvar tipi yüksek basınç homojenizatör (GEA Niro Soavi, Parma, İtalya) ile 50 MPa'da YBH işlemi uygulanmıştır. YBH 9 L/saat akış hızında uygulanmıştır. YBH uygulanması sonrasında kurutma aşamasına geçilmiştir. Kurutma uygulanmasında pilot ölçekli püskürtük kurutucu (GEA Niro Atomizer, GEA Process Engineering A/S, Soeborg, Danimarka) kullanılmıştır. Kurutma sırasında giriş sıcaklığı 180°C ve çıkış sıcaklığı 70°C olarak ayarlanmıştır. Yağsız süt tozu üretildikten sonra yaklaşık 1000'er g olacak şekilde 3 kat kraft kâğıt kaplı polietilen torba ile paketlenmiş ve yenilebilir film üretiminde kullanılmıştır.

2.2. Yenilebilir Film Örneklerinin Üretimi

2.2.1. Film Oluşturucu Çözeltilerin Hazırlanması

Toz sığır jelatini 5'lik (w/v) konsantrasyon elde etmek için distile su ile karıştırılmıştır. %10'luk (w/v) gliserol plastikleştirici olarak kullanılmıştır. Elde edilen karışım (kontrol) karıştırılarak 60°C'de 15 dk ısıtılmıştır. Elde edilen kontrol çözeltisi, bir film oluşturucu çözelti olarak %1, %2 ve %3 oranlarında yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış yağsız süt tozu kullanılarak yenilebilir film üretiminde kullanılmıştır. Film oluşturan çözelti formülasyonları Tablo 1'de gösterilmiştir.

2.2.2. Yenilebilir Filmlerin Hazırlanması

Elde edilen film oluşturucu çözelti, kenarlı bir silikon plaka üzerine dökülmüş ve ortam koşullarında 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kuruma işleminin ardından üretilen filmler plaka üzerinden elle soyulmuş ve analizler için kullanılmıştır.

Tablo 1. Farklı oranlarda yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış yağsız süt tozu eklenmesiyle üretilen yenilebilir filmlerde kullanılan film oluşturucu çözeltinin formülasyonu

%	Kontrol	%1	%2	%3
Jelatin	5	5	5	5
Gliserol	10	10	10	10
Yağsız süt tozu	-	1	2	3

2.3. Üretilen Yenilebilir Filmlerin Karakterizasyonu

2.3.1. Film Yoğunluğu

Film yoğunluğu, film ağırlığının film hacmine oranı (film alanı \times kalınlık) olarak hesaplanmış ve sonuçlar g/cm^3 olarak verilmiştir.

2.3.2. Temas Açısı Analizi

Filmlerin yüzey hidrofobikliği, bir temas açısı ölçer (Attention-Theta Lite, Biolin Scientific, Espoo, Finlandiya) kullanılarak belirlenmiştir. Temas açısı, film yüzeyine damlatılan bir damla ($0.5 \mu L$) ultra saf suyun 60 sn tutulmasıyla sabit damla tekniği kullanılarak oda sıcaklığında ölçülmüştür.

2.3.3. Su Aktivitesi Ölçümü

Üretilen yenilebilir filmlerin su aktivitesi (a_w) değerleri Novasina LabMaster- a_w cihazı (Novasina AG, Lachen, İsviçre) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm öncesinde cihazın kalibrasyonu Salt-T bağlı nem standartları (Novasina AG) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.4. Renk Ölçümü

Film örneklerinin renk değeri ölçümleri Chroma Meter CR400 renk ölçüm cihazı (Minolta, Osaka, Japonya) ile D65 (gün ışığı) aydınlatma ve 10° gözlem açısı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerin standart olması için, filmler $Y = 86.4$, $x = 0.3197$, $y = 0.3373$ renk koordinatlarına sahip standart beyaz kalibrasyon tablasının yüzeyine koyulmuştur. L^* , a^* ve b^* değerleri CIELAB renk aralığına göre belirlenmiştir. L^* parlak/koyu (0 siyah, 100 beyaz), a^* yeşil/kırmızı (-60 yeşil, 60 kırmızı) ve b^* mavi/sarı (-60 mavi, 60 sarı) aralığını belirtmektedir.

2.3.5. Mekanik Özellikler

Çekme testleri, kafa hızı 60 mm/dk olan çekme çeneli proba (A/MTG modeli) sahip bir teksür analiz cihazı (TAXT-plus, Stable Micro Systems, Surrey, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk kavrama ayırımı 50 mm'ye ayarlanmıştır. Analiz için, yenilebilir film örnekleri 10 mm genişliğinde ve 80 mm uzunluğunda şeritler halinde kesilmiştir. Analiz sonucunda, kopma uzaması (%) ve dayanım (MJ/m^3) değerleri verilmiştir [16].

2.4. İstatistiksel Analiz

Araştırma sonucu elde edilen verileri analiz etmek için Minitab 18 yazılımı (Minitab LLC, State College, PA) kullanılarak tek yön ANOVA analizi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yenilebilir Filmlerin Yoğunluk, Temas Açısı ve Su Aktivitesi Değerleri

Tablo 2 yüksek basınç homojenizasyon (YBH) uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerin yoğunluk, temas açısı ve su aktivitesi değerlerini göstermektedir. Örneklerin yoğunlukları 1.05-1.28 g/cm³ aralığında bulunmuştur. En düşük değer kontrol örneğinde en yüksek değer ise %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte belirlenmiştir. Artan oranda süt tozu ilavesi filmlerin yoğunluğunu artırmıştır.

Tablo 2. Farklı oranlarda yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış yağsız süt tozu eklenmesiyle üretilen yenilebilir filmlerin yoğunluk, temas açısı ve su aktivitesi değerleri

Örnek	Yoğunluk (g/cm ³)	θ_{60s}	Su aktivitesi
Kontrol	1.05±0.02	50.23±0.85	0.360±0.003
%1	1.13±0.02	52.34±1.05	0.354±0.004
%2	1.20±0.04	54.10±1.50	0.346±0.005
%3	1.28±0.05	56.35±1.65	0.339±0.004
<i>P</i>	**	**	*

$\bar{x} \pm$ standart sapma, n = 3

P*<0.05; *P*<0.01; ns, istatistiki açıdan önemsiz.

Temas açısı (TA), su damlasının temas yüzeyinin noktasındaki teğet çizgisi ile film yüzeyinin taban çizgisi arasındaki açı olarak tanımlanmakta ve genellikle filmin suya karşı direncini ölçmek için kullanılmaktadır [17, 18]. Yenilebilir filmlerin suya dayanıklılığı, kaplanmış gıdanın saklama sırasında suyla temas ettiğinde korunması için önemli bir özelliktir [19]. Temas açısı, bir yüzeyin ıslatılabilirliğinin ölçüsüdür ve yüzeyin hidrofobiklik derecesini belirlemektedir. Temas açısı arttıkça yüzey hidrofobikliğinin arttığı bilinmektedir. Teorik olarak, TA, 0-180° arasında olmaktadır: TA= 0°, sıvının katı yüzey üzerinde tamamen yayıldığını ve TA= 180°, ıslanma olmadığını göstermektedir [20]. Önceki bir çalışmaya göre, hidrofobik yüzeyler 65°'den daha büyük TA gösterirken, hidrofilik yüzeyler 65°'den daha az TA göstermektedir [21]. Bununla birlikte, son yıllarda genel olarak kabul gören, bir malzemeye TA 90°'den büyük olduğunda hidrofobik, TA 90°'den küçükse hidrofilik denilmektedir. Yüzey ıslanabilirliği hem yüzey kimyası hem de pürüzlülükle ilgilidir [22].

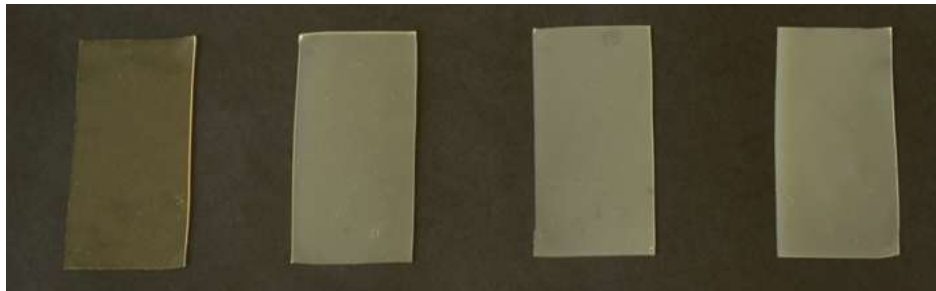
Örneklerin TA değerlerinin 50.23-56.35° aralığında olduğu tespit edilmiştir. Tüm örneklerin TA değerleri 65°'den daha küçük olduğu için hidrofilik özellik gösterdiği ifade edilebilmektedir. Bununla birlikte, artan oranda süt tozu ilavesine bağlı olarak örneklerin TA değerinin arttığı ve hidrofilikliğin azalarak hidrofobikliğin arttığı tespit edilmiştir. En düşük TA değeri kontrol örneğinde en yüksek değer ise %2 YBH uygulanmış süt tozu ilaveli örnekte belirlenmiştir. Artan oranda süt tozu ilavesinin kontrole kıyasla TA değerini artırdığı bulunmuştur. Plastikleştirici olarak gliserolün kullanıldığı kitosan ve peynir altı suyu proteini izolatı filmlerinde temas açısının sırasıyla 77° ve 39° daha düşük olduğu bildirilmiştir [23]. Film hidrofilitésinin azalmasını, amino ve OH protein molekülleri grupları arasındaki hidrojen bağlarının oluşumuna bağlanmıştır. Bu çalışmaya benzer olarak, demineralize peynir altı suyu ve jelatin içeren filmlerin temas açısı ölçümlerinin daha

az hidrofilik karakter gösterdiği bildirilmiştir [24]. Bu durumun, filmlerin artan protein içeriğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Örneklerin su aktivitesi değerleri 0.339-0.360 aralığında bulunmuştur. En düşük değer ise %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte en yüksek değer ise kontrol örneğinde belirlenmiştir. Artan oranda süt tozu ilavesi filmlerin su aktivitesi değerlerini azaltmıştır.

3.2. Yenilebilir Filmlerin Görünüş ve Renk Özellikleri

Yenilebilir filmlerin renk özellikleri, genel görünüm ve tüketicinin kabulüne dayalı önemli faktörlerdir [25]. Şekil 1 üretilen yenilebilir filmlerin görsel özelliklerini göstermek için çekilmiş resimleri göstermektedir. Kontrol örneğinin diğer örneklere kıyasla daha sarı ve koyu renkte olduğu görülmektedir. Diğer örneklerde ise yağsız sütü ilavesine bağlı olarak renginin açıldığı belirlenmiştir. Süt tozu ilave oranının arttıkça bu durumun daha da belirginleştiği görülmektedir.



Şekil 1. Filmlerin genel görünüşleri

YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerin renk değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Örneklerin L* değerlerinin 80.41-86.99 aralığında olduğu belirlenmiştir. Artan oranda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilavesiyle örneklerin L* değerinin arttığı tespit edilmiştir. En yüksek L* değeri %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte en düşük L* değeri ise kontrol örneğinde belirlenmiştir. Artan oranda süt tozu ilavesi filmlerin su aktivitesi L* değerlerini artırmıştır. Bir diğer ifadeyle örneklerin rengi açılmıştır. Bu durum süt tozunun renginden kaynaklanmaktadır. Oysa farklı bir çalışmada, film bileşimlerinde artan pektin içeriği ile L* değerlerinin 91.05’ten 89.13’e önemli ölçüde düştüğünü bulmuşlardır [26].

Tablo 3. Farklı oranlarda yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış yağsız süt tozu eklenmesiyle üretilen yenilebilir filmlerin renk değerleri

Örnek	L*	a*	b*
Kontrol	80.41±0.47	-1.45±0.02	8.24±0.13
%1	82.60±0.67	-1.78±0.07	8.75±0.19
%2	84.81±0.80	-2.02±0.15	9.06±0.40
%3	86.99±0.78	-2.56±0.09	9.45±0.35
P	**	**	*

$\bar{x} \pm$ standart sapma, n = 3

*P<0.05; **P<0.01; ns, istatistiki açıdan önemsiz.

YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerin a* değerleri -1.45 ile -2.56 arasında değişmiştir. Artan oranda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilavesiyle örneklerin a* değeri azalmıştır. En düşük a* değeri %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş

örnekte en yüksek a^* değeri ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Tablo 3'den de görüldüğü gibi, artan oranda süt tozu ilavesi ile filmlerin a^* değerleri azalmıştır. Benzer şekilde, Sert, Üçok [16] en yüksek a^* değerini kontrol örneğinde bulmuşlar ve bu değer film formülasyonuna peynir altı suyu tozu ilavesiyle azaldığını bildirmiştir.

Yenilebilir filmlerin b^* değerleri 8.24-9.45 aralığında bulunmuştur. Artan oranda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilavesiyle örneklerin b^* değerinde artış saptanmıştır. En yüksek b^* değeri %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte en düşük b^* değeri ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Tablo 3'den de görüldüğü gibi, artan oranda süt tozu ilavesi filmlerin b^* değerlerini artırmıştır. Benzer sonuçlar önceki bir çalışmada da bildirilmiştir [16].

3.3. Yenilebilir Filmlerin Mekanik Özellikleri

Yenilebilir filmlerin mekanik özellikleri, filmlerin dış koşullara direncini doğrudan etkilemesi nedeniyle özellikle endüstriyel düzeyde en önemli özellikler arasındadır [26]. Ambalaj olarak tasarlanabilmesi için belirli bir mukavemete sahip olması gereken biyopolimer filmlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir [23].

Tablo 4. Farklı oranlarda yüksek basınç homojenizasyon uygulanmış yağsız süt tozu eklenmesiyle üretilen yenilebilir filmlerin mekanik özellikleri

Örnek	Kopma uzaması (%)	Dayanım (MJ/m ³)
Kontrol	245.40±3.90	3.75±0.14
%1	256.20±4.55	3.38±0.22
%2	276.32±4.15	2.45±0.10
%3	295.28±6.30	2.86±0.21
<i>P</i>	*	**

$\bar{x} \pm$ standart sapma, n = 3

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; ns, istatistiki açıdan önemsiz.

YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerin mekanik özellikleri Tablo 4'de gösterilmektedir. YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen yenilebilir filmlerin kopma uzaması değerleri %245.40-295.28 arasında değişmiştir. Artan oranda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilavesiyle örneklerin kopma uzaması değeri artmıştır. En yüksek kopma uzaması değeri %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte en düşük kopma uzaması değeri ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Tablo 4'den de görüldüğü gibi, artan oranda süt tozu ilavesi ile filmlerin kopma uzaması değerleri artmıştır.

Üretilen yenilebilir filmlerin dayanım değerleri 3.75-2.86 MJ/m³ aralığında tespit edilmiştir. Artan oranda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilavesiyle örneklerin dayanım değeri azalmıştır. En düşük dayanım değeri %3 oranında YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilmiş örnekte en yüksek dayanım değeri ise kontrol örneğinde tespit edilmiştir. Tablo 4'den de görüldüğü gibi, artan oranda süt tozu ilavesi ile filmlerin dayanım değerleri azalmıştır.

Peynir altı suyu protein konsantratu ilaveli filmin kopma mukavemetinin ve uzamasının sırasıyla 0.82 MPa ve %36.58 olduğunu bildirilmiştir [19]. Bununla birlikte, tüm jelatin bazlı filmlerin uzaması oldukça yüksek bulunmuştur. Bu durum, bu çalışmadaki filmlerin üstün uzayabilirlik veya esneme kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Polivinil alkol nanofiberin çekme mukavemeti 3.91 MPa olarak bildirilmiştir [27].

Gliserol, filmin gerilmesi sırasında polimer zincirlerinin yer değiştirmesini kolaylaştıran zincirler arası etkileşimleri azaltmakta, bu durum da filmin kırılmadan deforme olmasını sağlamaktadır [23]. Ayrıca yağsız süt tozunun, filmlerin gerilme mukavemeti ve dayanım değerlerini düşürmesi, kopma gerinim özelliklerini kısmen iyileştirmesi, daha elastik bir özellik sağlaması ve makul mekanik dayanıklılığı sağlaması açısından yenilebilir film üretimi üzerinde olumlu etkiler yapabileceği düşünülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, farklı oranlarda YBH uygulanmış yağsız süt tozu ilave edilerek üretilen jelatin esaslı yenilebilir filmlerin fiziksel, mekanik ve mikroyapısal özellikleri belirlenmiştir. İlk olarak, 50 MPa'da YBH uygulanmış süt konsantresinden püskürterek kurutmaya YST üretilmiştir. Üretilen YST jelatin bazlı yenilebilir film üretiminde %1, %2 ve %3 oranında kullanılmıştır. Artan oranda YST ilavesi filmlerin yoğunluğunun ve parlaklığının (L^*) kontrol örneğine kıyasla artmasına yol açmıştır. Yenilebilir filmlerin hidrofobikliği YST eklenmesiyle artmıştır. Örneklerin kopma uzaması %245.40-295-28 aralığında değişmiş olup artan oranda YST ilavesi bu değeri artırmıştır. Yenilebilir filmlerin dayanım değerleri 2.86-3.75 MJ/m³ aralığında tespit edilmiştir. En düşük dayanım değeri %3 YBH uygulanmış YST ilaveli örnekte en yüksek değer ise kontrol örneğinde belirlenmiştir. Yağsız süt tozunun, filmlerin gerilme dayanım değerlerini düşürmesi, kopma gerilmesi özelliklerini kısmen iyileştirmesi, daha elastik bir özellik sağlaması ve makul mekanik dayanıklılığı sağlaması açısından yenilebilir film üretimi üzerinde olumlu etkiler yapabileceği tespit edilmiştir. Sonuçlar, yağsız süt tozunun, gıda ürününün stabilitesini, kalitesini ve güvenliğini artırmak için alternatif yenilebilir filmlerin geliştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Üretilen filmlerin, süt ürünleri gibi yiyeceklerin raf ömrünü uzatma potansiyeli sunabileceği düşünülmektedir. Bu filmlerin biyolojik olarak parçalanabilirliği, uzun süreli depolamadaki performansları ve gıdalardaki uygulamaları için daha ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2019/01-69001-03 numaralı proje ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında verdiği destekten ötürü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Yazarların Katkıları

EM ve DS filmlerin formülasyonlarını belirledi. EM ve DS numuneyi belirlenen özelliklere göre üretti ve analizler için hazır hale getirdi, test ve analiz çalışmalarını yaptı. EM makaleyi yazdı.

Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Kenneth, M., Betty, B., "Food Packaging—Roles, Materials, and Environmental Issues", *Journal of Food Science*, 2007, 72 (3): 39-55.
- [2]. Mohammadi, R., Mohammadifar, M.A., Rouhi, M., Kariminejad, M., Mortazavian, A.M., Sadeghi, E., Hasanvand, S., *Physico-Mechanical and Structural Properties of Eggshell Membrane Gelatin-Chitosan Blend Edible Films*, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 107 (A): 406-412.

- [3]. Cao, N., Yang, X., Fu, Y., "Effects of Various Plasticizers on Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of Gelatin Films", *Food Hydrocolloids*, 2009, 23 (3): 729-735.
- [4]. Janjarasskul, T., Krochta, J.M., "Edible Packaging Materials", *Annual Review of Food Science and Technology*, 2010, 1: 415-48.
- [5]. Lee, J.Y., Park, H.J., Lee, C.Y., Choi, W.Y., "Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents", *LWT*, 2003, 36 (3): 323-329.
- [6]. Al-Hassan, A.A., Norziah, M.H., "Starch–Gelatin Edible Films: Water Vapor Permeability and Mechanical Properties as Affected by Plasticizers", *Food Hydrocolloids*, 2012, 26 (1): 108-117.
- [7]. Pereda, M., Ponce, A.G., Marcovich, N.E., Ruseckaite, R.A., Martucci, J.F., "Chitosan-Gelatin Composites and Bi-Layer Films With Potential Antimicrobial Activity", *Food Hydrocolloids*, 2011, 25 (5): 1372-1381.
- [8]. Tezel, G.B., Uzuner, S., Akdemir-Evrendilek, G., "Structural and Rheological Properties of Gelatin-Carrageenan Mixtures", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6 (3): 525-532.
- [9]. Liu, D., Liang, L., Regenstien, J.M., Zhou, P., "Extraction and Characterisation of Pepsin-Solubilised Collagen From Fins, Scales, Skins, Bones and Swim Bladders of Bighead Carp (*Hypophthalmichthys nobilis*)", *Food Chemistry*, 2012, 133 (4): 1441-1448.
- [10]. Aider, M., "Chitosan Application for Active Bio-Based Films Production and Potential in the Food Industry: Review", *LWT*, 2010, 43 (6): 837-842.
- [11]. Gómez-Guillén, M.C., Pérez-Mateos, M., Gómez-Estaca, J., López-Caballero, E., Giménez, B., Montero, P., "Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films", *Trends in Food Science & Technology*, 2009, 20 (1): 3-16.
- [12]. Jridi, M., Hajji, S., Ayed, H.B., Lassoued, I., Mbarek, A., Kammoun, M., Souissi, N., Nasri, M., "Physical, Structural, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Gelatin–Chitosan Composite Edible Films", *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 67: 373-379.
- [13]. Chiono, V., Pulieri, E., Vozzi, G., Ciardelli, G., Ahluwalia, A., Giusti, P., "Genipin-Crosslinked Chitosan/Gelatin Blends for Biomedical Applications", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2008, 19 (2): 889-98.
- [14]. Ramos, Ó.L., Reinas, I., Silva, S.I., Fernandes, J.C., Cerqueira, M.A., Pereira, R.N., Vicente, A.A., Poças, M.F., Pintado, M.E., Malcata, F.X., "Effect of Whey Protein Purity and Glycerol Content Upon Physical Properties of Edible Films Manufactured Therefrom", *Food Hydrocolloids*, 2013, 30 (1): 110-122.
- [15]. Mercan, E., Yüksek basınç uygulanmış yağlı ve yağsız süttten üretilen süt tozlarının farklı sıcaklıklarda depolanması süresince bazı fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, Doktora, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, 2019.
- [16]. Sert, D., Üçok, G., Kara, Ü., Mercan, E., "Development of Gelatine-Based Edible Film By Addition of Whey Powders with Different Demineralisation Ratios: Physicochemical, Thermal, Mechanical and Microstructural Characteristics", *International Journal of Dairy Technology*, 2021, 74 (2): 414-424.
- [17]. Khazaei, N., Esmaili, M., Djomeh, Z.E., Ghasemlou, M., Jouki, M., "Characterization of New Biodegradable Edible Film Made From Basil Seed (*Ocimum basilicum* L.) Gum", *Carbohydrate Polymers*, 2014, 102: 199-206.
- [18]. Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., Hosseini, S.M.H., "Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water", *Food Chemistry*, 2010, 122 (1): 161-166.
- [19]. Bahram, S., Rezaei, M., Soltani, M., Kamali, A., Ojagh, S.M., Abdollahi, M., "Whey Protein Concentrate Edible Film Activated with Cinnamon Essential Oil", *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38 (3): 1251-1258.

- [20]. Karbowski, T., Debeaufort, F., Voilley, A., "Importance of Surface Tension Characterization for Food, Pharmaceutical and Packaging Products: A Review", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2006, 46 (5): 391-407.
- [21]. Vogler, E.A., "Structure and Reactivity of Water at Biomaterial Surfaces", *Advances in Colloid and Interface Science*, 1998, 74 (1): 69-117.
- [22]. Ma, Y., Cao, X., Feng, X., Ma, Y., Zou, H., "Fabrication of Super-Hydrophobic Film from PMMA with Intrinsic Water Contact Angle Below 90°". *Polymer*, 2007, 48 (26): 7455-7460.
- [23]. Kurek, M., Galus, S., Debeaufort, F., "Surface, mechanical and barrier properties of bio-based composite films based on chitosan and whey protein", *Food Packaging and Shelf Life*, 2014, 1(1), 56-67.
- [24]. De Jesus, G.L., Baldasso, C., Marcílio, N.R., Tessaro, I.C., "Demineralized Whey–Gelatin Composite Films: Effects of Composition on Film Formation, Mechanical, and Physical Properties", *Journal of Applied Polymer Science*, 2020, 137 (42): 49282.
- [25]. Wu, J., Zhong, F., Li, Y., Shoemaker, C., Xia, W., "Preparation and Characterization of Pullulan–Chitosan and Pullulan–Carboxymethyl Chitosan Blended Films", *Food Hydrocolloids*, 2013, 30 (1): 82-91.
- [26]. Galus, S., Lenart, A., "Development and Characterization of Composite Edible Films Based on Sodium Alginate and Pectin", *Journal of Food Engineering*, 2013, 115 (4): 459-465.
- [27]. Ekrem, M., "Mechanical properties of MWCNT Reinforced polyvinyl Alcohol Nanofiber Mats by Electrospinnig Method", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2017, 4 (2): 190-200.