



Yenilebilir Mikro Boyutlu Kompozit Kaplama Uygulamalarının Albion Çilek Meyvelerinin Soğukta Muhafazasına Etkisi

Araştırma Makalesi/Research Article

Atf İçin: Yıldız E., Hancı F., (2024). Yenilebilir Mikro Boyutlu Kompozit Kaplama Uygulamalarının Albion Çilek Meyvelerinin Soğukta Muhafazasına Etkisi. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 7(2):101-110

To Cite: Yıldız E., Hancı F., (2024). Effect of Edible Micro Sized Composite Coating Applications on Cold Storage of Albion Strawberry Fruits, Journal of Erciyes Agriculture and Animal Science, 7(2):101-110

Ercan YILDIZ^{1*}, Fatih HANCI¹

¹Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Kayseri

*sorumlu yazar: ercanyildiz@erciyes.edu.tr

Ercan YILDIZ ORCID No: 0000-0003-1445-2385, Fatih Hancı ORCID No: 0000-0002-2015-0351

Yayın Bilgisi

Geliş Tarihi: 04.10.2024

Revizyon Tarihi: 21.10.2024

Kabul Tarihi: 21.10.2024

doi: 10.55257/ethabd.1561278

Anahtar Kelimeler

Biyopartikül, Yeşil sentez, Yenilebilir kaplama, Muhafaza süresi.

Keywords

Bioparticle, Green synthesis, Edible coating, Cold storage period.

Özet

Çilek meyvelerinin hasattan sonraki en büyük sorunlardan biri derim sonrası ömürlerinin kısa oluşudur. Bu gerçekten hareketle planlanan bu çalışmada, kitosan mikropartikülü (KMP) ve selenyum mikropartikülü (SeMP) ile kekik esansiyel yağı (Yağ) kombinasyonlarından oluşturulan yeni nesil aktif gıda koruyucu kaplama ajanlarının Albion çilek çeşidine ait meyvelerin derim sonrası kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Meyveler yenilebilir kolloid solüsyonla kaplandıktan sonra 4 oC'de tutulmuş ve 0, 5, 10, 15 ve 20. günlerde kalite parametrelerine yönelik analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda kolloid solüsyonla kaplama uygulamalarından KMP+SeMP uygulaması ve bunu takiben KMP+SeMP+Yağ uygulamasının ağırlık kaybı, solunum ve çürüme oranlarını azalttığı, renk değerleri (L*, chroma ve hue), meyve eti sertliği, suda çözünür kuru madde (SÇKM) miktarı, titre edilebilir asit (TEA) ve C vitamini içerikleri ile toplam fenolik, antosiyanin ve antioksidan kapasitesini korumada en etkili uygulamalar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarını çilek meyvelerinin kalitesinin korunmasında ve derim sonrası raf ömrünün uzatılmasında kullanılabilecek yenilebilir kaplamalar olabileceğini göstermektedir. Çalışma sonuçları derim sonrası çabuk bozulan ürünlerde ve raf ömrünün uzatılmasında yeni teknoloji ile üretilen mikro boyutlu kompozit kaplama ajan/ajanlarının elde edilme sürecine katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu sonuçlar gelecekte bu ve benzer konularda yapılması olası çalışmalara ışık tutma amacıyla kullanılabileceği söylenebilir.

Characterization of Different Pepper Genotypes and Inbred Lines regarding Plant Growth and Leaf Physiological Parameters

Abstract

One of the biggest problems of strawberry fruits after harvest is their short life. In this study, the effects of the new generation active food preservative coating agents formed from combinations of micro sized chitosan (CH) and selenium (Se), and thyme essential oil (Oil) on the quality of Albion strawberry fruits after harvest were investigated. After the fruits were coated with edible colloid solution, they were kept at 4 oC and quality parameter analyses were performed on days 0, 5, 10, 15 and 20. As a result of the study, it was determined that the application of CH+Se and the subsequent application of CH+Se+Oil from colloid solution coatings reduced weight loss, respiration and decay rates. Also, it was determined that these applications were the most effective applications in preserving color values (L*, chroma and hue), fruit flesh firmness, total soluble solid (TSS) amount, acidity and vitamin C contents and total phenolics, anthocyanin and antioxidant capacity. These results show that CH+Se and CH+Se+Oil applications can be used as edible coatings to preserve the quality of strawberry fruits and extend their shelf life after harvest. The results of the study will contribute to the process of obtaining micro sized composite coating agent/agents produced with new technology in extending the shelf life. In addition, it can be said that these results can be used to guide possible future studies on similar topics.

1. GİRİŞ

Çilek, dünya çapında en çok tüketilen meyve türlerinden biridir. Vitamin, mineral ve besin içeriğinin yüksek olması nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir meyve türüdür. Çilek, renk, aroma ve lezzet gibi üstün duyuşsal özelliklerine bağılı olarak taze ve işlenerek yoğun şekilde tüketilmektedir (Yaman ve Yılmaz, 2022; Yang ve Kim, 2023). Çileğin yüksek metabolik aktivitesi nedeniyle çabuk bozulması ve hasattan sonra hızla kayıplara maruz kalması pazarlamasında ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Barikloo ve Ahmadi, 2018). Fiziksel zararlanmalar ve mikroorganizmalar tarafından oluşan bozulmalar çilekte meyve sertliğine, kalitesine, renk bozulmasına ve hasat sonrası kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle çilekte hasat sonrası kalite ve besin değerini korumak için uygun yöntemleri belirlemek önemlidir (Fernandez-Leon ve ark. 2013).

Günümüzde gıda sektöründe hasattan sonra oluşan kayıpları en aza indirmek ve ürünlerin raf ömrünü uzatmak amacıyla yeni teknolojiler için bir arayış vardır. Gıdaların raf ömrünü uzatmak için çevre dostu teknolojiler önem arz etmektedir. Son yıllarda meyvelerin yenilebilir materyallerle kaplanarak muhafaza ömrünün uzatılması yöntemi gittikçe popüler hale gelmiştir. Gıdaların yüzeyinde sıvı formda yenilebilir maddenin ince bir tabakasına yenilebilir kaplama denir. Bunlar proteinler, polisakkaritler ve lipit bazlı bileşiklerden oluşur. Yenilebilir kaplamalar uçucu yağlar, özütler, polifenoller ve antioksidan ajanları ayrı ayrı veya kombinasyon halinde içerebilen biyolojik olarak parçalanabilir maddelerdendir (Pham ve ark. 2023).

Yenilebilir kaplamalar için farklı biyopolimerler kullanılmaktadır. Kitosan yenilebilir kaplamalarda sıklıkla kullanılan bir polisakkarittir (Moustafa ve ark. 2019). Taze meyvelerin korunması için biyoaktif ambalajlamada mikrobiyolojik kitosan kullanımı çevre dostu bir uygulamadır (Melo ve ark. 2018). İnsan yaşamı için önemli bir eser element olan selenyumun (Se) ana kaynağı diyetdeki besinlerdir (Roman ve ark. 2014). Tuzun inorganik formları olan sodyum selenit ve sodyum selenat, besin zenginleştirme ve diyet takviyesinde yaygın olarak kullanılır (Mueller ve ark. 2009). Kitosan ile selenyum gibi elementler, bitkisel uçucu yağlar veya bunların bileşenleri gibi biyolojik olarak aktif bileşiklerin karışımı taze meyvelerin hasat sonrası çürümesini kontrol etmede önemli potansiyele sahiptir (Perdones ve ark. 2016). Yenilebilir film kaplamalarına bitki esansiyel yağları ve özleri eklemek, antimikrobiyal etkiyi artırarak mikroplara karşı gıda güvenliğini ve gıda kalitesini korunmasını sağlamaktadır (Li ve ark. 2024).

Kolloidler bir malzemenin mikroskobik olarak dağılmış ve çözünemeyen malzemelerin bir sıvı içerisindeki karışımıdır. 1-1000 nm arasında değişen boyutlara sahip kolloidler, üretimden tüketime kadar

geçen sürede ürünlerin raf ömrünü ve tazeliğini etkili şekilde uzatmaktadır (Kontogeorgis ve ark. 2022). Kolloidler hem nano boyuttaki hem de mikro boyuttaki parçacıkları ifade eden genel bir terimdir. 100 nm'nin altındaki parçacıklar nano boyutlu malzeme olarak kabul edilmesine rağmen büyük boyutlu parçacıklarda nano olarak kabul edilmektedir. Nanomalzeme olarak kullanılan parçacıkların boyutları parçacıkların konsantrasyonuna ve ortamın pH değerine göre değişiklik göstermektedir. Nitekim, yapılan bir çalışmada elde edilen kitosan bazlı nanopartiküllerin ortalama boyutunun 140-237 nm (Feyzioglu ve Tornuk, 2016), bir başka çalışmada ise 532-716 nm (Keawchaoon ve Yoksan, 2011) arasında değiştiği bildirilmiştir. Kolloidal sistemler az miktarda aktif maddeye ihtiyaç duyması nedeniyle düşük maliyetlidir (John ve ark. 2023).

Çalışmada, çilek gibi kolay bozulan ürünlerde derim sonrası bozulmalara neden olan mikroorganizmaların ve patojenlerin gelişmesini engelleyen, antimikrobiyal özellik gösteren yenilebilir mikro boyutlu partikülleri geliştirmek ve pratikte uygulanabilirliğini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında organik kaynaklı kitosan ile siyah çay yaprağı ekstraktları kullanılarak yeşil sentez yoluyla sentezlenen selenyum parçacıkları birleştirilmiş ayrıca oluşturulan bu kombinasyonlara kekik bitkisinden elde edilen esansiyel yağ eklenmiştir. Çalışmada kolloidal kompozit kaplama solüsyonlarının buzdolabı koşullarında (4 °C) tutulan çilek meyvelerinde derim sonrası kalite parametrelerine etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada gerek kitosandan gerekse selenyumdan mikro boyutlu partiküller elde edilmiştir. Kitosan partikülü iyonik jelleşme yöntemi baz alınarak İlk ve ark. (2017) tarafından modifiye edilen metot ile, selenyum partikülü ise siyah çay yaprağı ekstraktı kullanılarak yeşil sentez yoluyla (Mareedu ve ark. 2021) mikro boyutlu duruma getirilmiştir. Elde edilen mikro boyutlu kompozitler farklı kolloid solüsyonlar şeklinde (kitosan mikropartikülü (KMP), KMP+Selenyum mikropartikülü (SeMP), KMP+Kekik esansiyel yağı ve KMP+SeMP+Kekik esansiyel yağı) Albion çilek çeşidinin meyvelerine uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan çilek meyveleri sabah erken saatlerde toplanarak laboratuvar koşullarına ulaştırılmıştır. Örneklerin bir kısmı başlangıç analizleri için ayrılırken, diğer örnekler püskürtme yöntemiyle kaplamak üzere kullanılmıştır. Kolloid solüsyonlar %1 oranında etkili madde içerek şekilde hazırlanmış olup, esansiyel yağ oranı ise 1000 ppm olarak ayarlanmıştır. Örneklerden kontrol (hiçbir uygulama yapılmayan) ile kaplanmış olanlar buzdolabı koşulları olan 4 °C'de tutulmuştur. Her bir uygulama üç tekerrürlü, her tekerrürde 150 g örnekle çalışılmıştır. Örneklerde muhafaza süresi boyunca

kalite parametrelerinde meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla 0, 5, 10, 15 ve 20. günlerde ölçümler yapılmıştır.

Çalışma kapsamında meyvelerin muhafaza süresince ağırlık kaybı oranı (%), çürüme oranı (%), solunum oranı (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), meyve dış rengi, meyve eti sertliği (N), suda çözünür kuru madde (SÇKM) miktarı (%), titre edilebilir asit (TEA) içeriği (%), C vitamini içeriği (mg/100 g askorbik asit), toplam fenolik miktarı (mg/100 g gallik asit), toplam antioksidan kapasitesi (% inhibisyon) ve toplam antosiyanin miktarı (µg cy-3-glu/g) tayin edilmiştir. Ağırlık kayıp oranı muhafaza başlangıcındaki ve her bir analiz dönemindeki ağırlıklar arasındaki fark bulunarak, çürüme oranı meyve yüzeyindeki misel gelişim belirtileri takip edilerek saptanmıştır. Solunum oranı meyvelerin dış ortama verdiği CO₂ miktarının bir dijital karbondioksit analizatörü ile ölçülmesiyle (Öztürk, 2020), meyve dış rengi CIE L*, a* ve b* cinsinden (McGuire, 1992) renk ölçer (Minolta, model CR-400, Tokyo, Japan) yardımıyla belirlenmiştir. Meyve eti sertliği 5 mm uçlu el penetrometresiyle (Effegi model FT 327), SÇKM miktarı ise meyve suyu örneğinden dijital refraktometre (PAL-1, McCormick Fruit Tech. Yakima, ABD) kullanılarak tespit edilirken, TEA içeriği seyreltilmiş meyve suyu örneğinin pH 8.1'e ulaşana kadar 0.1 N sodyum hidroksit (NaOH) ile titre edilmesi ve harcanan çözelti miktarının formüldeki yerine konmasıyla sitrik asit cinsinden hesaplanmıştır. Biyokimyasal özelliklerden C vitamini içeriği Özdemir ve Dündar (2006) tarafından kullanılan yöntemle; toplam fenol miktarı Singleton and Rossi (1965) de tarif edildiği üzere Folin-Ciocalteu's kimyasalı kullanılarak; toplam antioksidan kapasitesi Brand-Williams ve ark. (1995)'nın belirttiği DPPH yöntemiyle; toplam antosiyanin miktarı ise pH farkı metodu kullanılarak (Giusti ve ark. 1999) belirlenmiştir.

Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Veriler

JMP Pro 17.0 istatistik paket programından yararlanılarak, varyans analizleri gerçekleştirilmiş ve varyans analizi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli çıkan parametre değerleri LSD testi ile karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ağırlık kaybı oranı üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistik olarak önemsiz olurken, kaplama uygulaması ve muhafaza süresi istatistik olarak önemli etkiye sahip olmuştur (p<0.05). Çileklerin ağırlık kayıp oranları tüm uygulamalarda muhafaza süresince artış göstermiştir. Muhafaza süresinin ortalamasına göre en düşük ağırlık kaybı oranı KMP+SeMP uygulamasında tespit edilirken, bu uygulamayı KMP+SeMP+Yağ uygulaması izlemiştir. En yüksek ortalama ağırlık kaybı oranı kontrol grubunda belirlenmiştir (Çizelge 1). Çalışmadan elde edilen bu sonuçlar, kolloid solüsyon kaplamaların solunum ve nem kaybını en aza indiren yarı geçirgen bir bariyer oluşturarak ağırlık kaybını etkili bir şekilde azaltabileceğini gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (Duran ve ark. 2016; Jafarzadeh ve ark. 2018). KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamaları, çileklerin ağırlık kaybını en aza indiren etkili yöntem olmuştur. Bu durum, çileklerin derim sonrası ömrünü uzatmak ve tazeliğini korumak için bu uygulamaların kullanılabilirliğini göstermektedir. Çalışmada özellikle mikro boyutlu kitosan ve selenyumun birlikte uygulamasıyla daha iyi performans alınmıştır. Bu durum bu bileşiklerin sinerjik etkisinin yüksek olmasından dolayı (Dorazilová ve ark. 2020) bunlarla oluşturulan kaplamaların yapısal bütünlüğünün iyileştiğini ve böylece nemin bitkisel dokuda tutulumunun artırıldığını göstermektedir.

Çizelge 1. Kaplama uygulamalarının muhafaza süresince meyvelerin ağırlık kaybı, solunum hızı ve çürüme oranına etkisi

Muhafaza süresi (gün)	Kontrol	KMP	KMP+Yağ	KMP+SeMP	KMP+SeMP +Yağ	Ortalama
Ağırlık kaybı (%)						
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00 e
5	3.17	2.64	2.18	1.50	1.97	2.29 d
10	4.97	4.15	3.79	3.20	3.50	3.92 c
15	6.51	5.45	5.57	4.81	4.33	5.33 b
20	7.77	7.11	6.75	6.20	6.52	6.87 a
Ortalama	4.48 a ^(*)	3.87 b	3.66 bc	3.14 d	3.26 cd	
Solunum oranı (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)						
0	148.90 a	139.06 b	133.33 c	118.35 d	117.70 d	131.47
5	32.26 f-i	29.28 h-m	28.62 j-m	26.52 m	27.32 lm	28.80
10	34.37 e-g	31.18 g-k	30.48 h-l	28.23 k-m	29.08 i-m	30.67
15	35.66 ef	32.34 f-i	31.61 g-k	29.27 h-m	30.16 h-l	31.81
20	36.00 e	32.64 e-h	31.91 g-j	29.54 h-m	30.44 h-l	32.11
Ortalama	57.44	52.90	51.19	46.38	46.94	
Çürüme oranı (%)						
0	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00

5	12.50 j	6.25 k	0.00 l	0.00 l	0.00 l	3.75
10	43.75 f	31.25 h	37.50 g	31.25 h	25.00 i	33.75
15	68.75 b	56.25 d	56.25 d	56.25 d	50.00 e	57.50
20	81.25 a	68.75 b	68.75 b	62.50 c	62.50 c	68.75
Ortalama	41.25	32.50	32.50	30.00	27.50	

(*): Her bir parametre içindeki farklılıklar ayrı harflerle gösterilmiştir.

Solunum oranı üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). 4 oC koşullarında tutulan çileklerde muhafaza süresinin 10. gününden itibaren KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarıyla diğer uygulamalardan daha düşük solunum oranı belirlenmiştir. Diğer yandan çilek meyvelerinde muhafazanın 5. gününden sonra muhafaza süresince solunum oranında da artış gözlemlenmiştir (Çizelge 1). Solunum oranı, meyvelerin metabolik faaliyetlerinin bir göstergesi olarak, çileklerin tazeliğini ve derim sonrası ömrünü etkileyen önemli bir faktördür. Genel olarak meyve ve sebzelerin solunum oranı ne kadar yüksekse, depolanabilirlik ve raf ömrü süresi o kadar kısa olmaktadır (Jafarzadeh ve ark. 2021). Mikro boyutlu partiküllerle yapılan benzer çalışmalarda, bunların kullanımının taze ürünlerin gaz değişim özelliklerini değiştirdiği, solunum oranlarını etkili bir şekilde azalttığı ve olgunlaşmayı geciktirdiği ortaya konulmuştur (Abdulraheem and Moshood, 2021).

Denemede 4°C koşullarında tutulan Albion çilek çeşidinde çürüme oranı üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli olmuştur ($p<0.05$). Çilek meyvelerinde muhafaza süresinin 5. gününden itibaren KMP+SeMP+Yağ uygulaması çürüme oranının düşürülmesi açısından oldukça etkili olmuştur. Muhafaza süresinin 20. gününde en düşük çürüme oranı KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu uygulamalar, çileklerin derim sonrası ömrü boyunca tazeliğini koruyarak çürümeyi geciktirmede en etkili yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Elde ettiğimiz bulgular mikro boyutlu partikül kaplamaların meyve ve sebzelerde mikrobiyal bulaşmayı engelleyen ve bozulmayı geciktiren antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu öne süren araştırmalarla (Wadhvani ve ark. 2016; Indumathi ve ark. 2019; Wang ve ark. 2020a) uyumlu bulunmuştur. Kaplama ajanı kullanımı sonucu çürümenin engellenmesiyle ilgili bulgularımız, muhtemelen kaplama ajanlarının fiziksel bariyer oluşturması yanında kekik esansiyel yağının

antimikrobiyal etkisi nedeniyle olabilir (Pinto ve ark. 2006; Mith ve ark. 2014). Ayrıca kitosan meyvelerde patojen gelişimini engelleyen bariyer görevi görmesi nedeniyle derim sonrasında çürümenin azalmasında katkı sağlamaktadır (Butler ve ark. 1996). Kitosanın çileklerde çürümeyi azalttığı yönündeki çalışmalar (Hernandez-Munoz ve ark. 2008; Gol ve ark. 2013; Sangsuwan ve ark. 2016) bulgularımız ile uyumluk göstermiştir.

Meyve dış rengi kroma ve hue değerleri üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli olurken, L* değeri üzerine kaplama uygulaması ve muhafaza süresi istatistiki olarak ayrı ayrı önemli etkiye sahip olmuştur ($p<0.05$). Meyve renginin parlaklığını ifade eden L* değeri muhafaza süresi uzadıkça azalma eğilimi göstermiştir. Muhafaza sonunda tüm uygulamaların istatistiki olarak farklılığı olmasa da kontrole göre daha yüksek L* değeri içerdiği belirlenmiştir. Muhafaza süresinin ortalamasına göre en yüksek L* değeri KMP+SeMP+Yağ ve KMP uygulamalarında tespit edilmiştir. Genel olarak uygulamalar çileklerin muhafaza boyunca rengini koruma konusunda etkili olmuştur. Renk göstergelerinden olan kroma ve hue değerleri üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiki olarak önemli olmuştur ($p<0.05$). Muhafaza süresinin uzamasına bağlı olarak her iki renk göstergesi de azalış eğilimi göstermiştir. Bu renk parametreleri üzerine uygulamalar arasında istatistiki farklılık olmakla birlikte genel olarak uygulamalar kontrole göre meyvenin kroma ve hue değerlerini daha iyi korumuş ve renk tonunun daha uzun süre boyunca sabit kalmasına yardımcı olmuştur (Çizelge 2). Yenilebilir kaplamalar nem ve gazlara karşı yarı geçirgen bariyer görevindedir ve mikrobiyal zararın kontrol altına alınmasını, renk ve dokunun korunmasını sağlar (Bourtoom, 2008). Ayrıca yenilebilir kaplamaların çilek meyvelerinin parlaklık, kroma ve hue değerlerindeki azalmayı yavaşlattığını söyleyebiliriz. Nitekim literatür bilgileri de bu yöndedir (Vargas ve ark. 2006; Sangsuwan ve ark. 2016).

Çizelge 2. Kaplama uygulamalarının muhafaza süresince meyvelerin dış renk değerleri üzerine etkisi

Muhafaza süresi (gün)	Kontrol	KMP	KMP+Yağ	KMP+SeMP	KMP+SeMP+Yağ	Ortalama
			L* değeri			
0	33.18	34.58	33.07	33.84	34.35	33.80 a
5	30.66	32.24	31.37	31.96	32.44	31.73 b
10	29.03	30.70	29.89	30.38	31.16	30.23 c
15	27.37	29.58	28.98	29.59	29.43	28.99 d
20	26.94	27.56	27.42	28.03	28.40	27.67 e
Ortalama	29.44 c ^(*)	30.93 a	30.14 b	30.76 ab	31.16 a	

Kroma değeri						
0	33.38 ab	34.10 a	34.17 a	33.73 a	34.03 a	33.88
5	31.94 cd	31.42 c-e	31.62 c-e	32.24 bc	31.24 c-e	31.69
10	29.82 fg	29.81 fg	29.45 gh	30.79 d-f	30.79 d-f	30.13
15	29.97 fg	30.50 e-g	29.44 gh	30.60 ef	28.60 hi	29.82
20	26.86 j	28.44 hi	28.22 i	28.41 hi	27.81 ij	27.95
Ortalama	30.39	30.85	30.58	31.15	30.49	
Hue değeri						
0	36.15 a	36.87 a	36.74 a	36.40 a	36.70 a	36.57
5	34.71 b	34.19 bc	34.19 bc	34.91 b	33.91 bc	34.38
10	32.59 de	32.58 de	32.02 ef	33.46 cd	33.46 cd	32.82
15	32.74 de	33.27 cd	32.01 ef	33.27 cd	31.27 fg	32.51
20	29.63 h	31.21 fg	30.79 g	31.08 fg	30.48 gh	30.64
Ortalama	33.16	33.62	33.15	33.82	33.16	

(*): Her bir parametre içindeki farklılıklar ayrı harflerle gösterilmiştir.

Meyve eti sertliği üzerine kaplama uygulaması ve muhafaza süresi ayrı ayrı istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olurken ($p<0.05$), bu parametre muhafaza süresince azalma eğiliminde olmuştur. Uygulamaların ortalamasına göre en yüksek meyve eti sertliği KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarında tespit edilmiştir (Çizelge 3). Meyve eti sertliği, çileklerin tazeliğini ve ticari değerini koruması açısından önemli bir kalite parametresidir. Özellikle meyve eti sertlik kaybının yavaşlatılması, çileklerin tüketiciye daha uzun süre taze ve dayanıklı bir şekilde sunulmasına olanak tanınmaktadır. Yenilebilir kaplamalar çilek meyvelerinin oksijen alımına azaltarak metabolik aktiviteyi azaltmakta ve buna paralel olarak olgunlaşma sürecini yani yumuşamayı yavaşlatmaktadır. Çalışma bulgularımız ile uyumlu sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Sogvar ve ark. 2016; Barikloo ve Ahmedi, 2018).

SÇKM miktarı üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken ($p<0.05$), muhafaza süresince SÇKM miktarı genel olarak artış göstermiştir. Muhafaza süresinin 5. gününden itibaren en düşük SÇKM miktarı KMP+SeMP uygulamasında tespit edilmiştir (Çizelge 3). Brix yüzdesi olarak ifade edilen SÇKM miktarı çözünmüş katıların (şekerler, askorbik asit ve mineraller gibi) yüzdesini temsil ederken, ürünlerde tatlılığın ve genel lezzet profilinin bir göstergesidir. Yaş meyve ve sebzelerde gerek muhafaza gerekse raf ömrü süresince şekerlerin solunumda kullanılması sonucu SÇKM miktarında azalmalar meydana gelebilirken, su kayıplarının konsantrasyon etkisinden dolayı bu parametrede artışların meydana gelmesi daha kuvvetli ihtimaldir (Hernandez-Munoz ve ark. 2008; Velickova ve ark.

2013). Diğer yandan uygulanan doğrudan kaplama ajanları, meyve ve sebzelerde solunum oranını düşürerek metabolitlerin sentezini ve kullanımını geciktirmekte ve böylece SÇKM miktarında azalmaya neden olmaktadır (Xing ve ark. 2020). Nitekim bulgularımızda ortaya çıkan kontrol grubunun uygulamalara göre daha yüksek SÇKM miktarı göstermesi bunu doğrulamaktadır.

TEA içeriği üzerine uygulama ve uygulama*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunurken, muhafaza süresinin etkisi önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Çalışma kapsamında çilek meyvelerinde muhafaza süresince TEA içeriğinin azaldığı gözlenmiştir. Genel olarak KMP+SeMP uygulaması TEA içeriğini koruma konusunda daha başarılı uygulama olurken, uygulamalar sonucu kontrol grubuna göre daha yüksek TEA içeriği belirlenmiştir (Çizelge 3). Bunun nedeni, kaplama ajanının organik asit metabolizmasıyla bağlantılı enzim aktivitesini inhibe ederek üründeki organik asitlerin bozulma hızını yavaşlatması olabilir. Yaş meyvelerde bekletme süresince TEA içeriğinde meydana gelen değişimlerin solunumla bağlantılı olduğu, organik asitlerin solunum ile tüketildiği ve sonucunda asit içeriğinin azaldığı belirtilmektedir (Rivera-Pastrana ve ark. 2007). Hasat sonrası kaplama ajanı uygulamasının ürünlere metabolik aktiviteyi yavaşlattığı, bunun sonucunda da sentez ve parçalanma mekanizmalarını geciktirdiği bilinmektedir (No ve ark. 2007). Farklı meyve ve sebzelerle yapılan çalışmalarda kaplama uygulamasının kontrol ile karşılaştırıldığında TEA içeriğinde meydana gelen azalmayı yavaşlattığı belirtilmiştir (Song ve ark. 2016; Candir ve ark. 2018; Çınar ve Sabir, 2021; Dulta ve ark. 2022a).

Çizelge 3. Kaplama uygulamalarının muhafaza süresince meyvelerin sertliği, SÇKM miktarı ve TEA içeriğine etkisi.

Muhafaza süresi (gün)	Kontrol	KMP	KMP+Yağ	KMP+SeMP	KMP+SeMP +Yağ	Ortalama
Meyve eti sertliği (N)						
0	6.77	6.81	6.79	7.50	7.45	7.06 a
5	5.18	5.28	5.28	5.84	5.78	5.47 b
10	3.58	3.75	3.76	4.17	4.12	3.88 c
15	2.51	2.72	2.75	3.05	3.00	2.81 d
20	0.79	0.99	0.92	1.87	1.86	1.29 e

Ortalama	3.77 b ^(*)	3.91 b	3.90 b	4.49 a	4.44 a	
SÇKM miktarı (%)						
0	9.77 i	9.83 g-i	9.77 i	9.80 hi	9.83 g-i	9.80
5	9.90 f-h	9.90 f-h	9.90 f-h	9.83 g-i	9.90 f-h	9.89
10	10.00 d-f	10.03 c-e	9.93 e-g	9.83 g-i	10.10 b-d	9.98
15	10.03 c-e	10.03 c-e	10.17 b	9.90 f-h	10.00 d-f	10.03
20	10.43 a	10.07 b-d	10.13 bc	10.03 c-e	10.13 bc	10.16
Ortalama	10.03	9.97	9.98	9.88	9.99	
TEA içeriği (%)						
0	0.78	0.80	0.78	0.80	0.79	0.79 a
5	0.77	0.80	0.75	0.83	0.77	0.79 a
10	0.74	0.77	0.72	0.80	0.74	0.75 ab
15	0.68	0.72	0.69	0.75	0.69	0.71 b
20	0.66	0.71	0.68	0.72	0.70	0.69 b
Ortalama	0.73	0.76	0.72	0.78	0.74	

(*): Her bir parametre içindeki farklılıklar ayrı harflerle gösterilmiştir.

C vitamini içeriği üzerine kaplama uygulaması ve muhafaza süresi ayrı ayrı istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olmuştur ($p<0.05$). Çileklerin C vitamini içeriği muhafaza süresince azalmıştır. Uygulamaların ortalamasına göre kolloid solüsyon ile kaplanan ürünlerde kontrole göre daha yüksek C vitamini içeriği belirlenmiştir (Çizelge 4). C vitamininin depolama sırasında ısı, ışık ve enzimler tarafından kolaylıkla parçalandığı rapor edilmiştir (Frias ve Oliveira, 2001). Diğer yandan ürünlerde meydana gelen su kaybı, C

vitamini içeriği kaybına yol açabilen oksidasyonu arttırmıştır (Nunes ve ark. 1998). Kitosanın yenilebilir kaplamalara ilavesi ile O₂ difüzyonunu azaltması ve solunum hızını yavaşlatması meyvelerin C vitaminini bozucu oksidasyonu geciktirilebilir (Amal ve ark. 2010). Yenilebilir kaplama uygulamalarının meyvelerin C vitamini içeriğini azalmasını yavaşlattığı konusunda literatür bilgileri (Gol ve ark. 2013; Emamifar ve Mohammadzadeh, 2015) çalışmamızın sonuçlarımız ile uyumludur.

Çizelge 4. Kaplama uygulamalarının muhafaza süresince C vitamini içeriği, toplam fenol miktarı, toplam antioksidan kapasitesi ve toplam antosiyanin miktarına etkisi

Muhafaza süresi (gün)	Kontrol	KMP	KMP+Yağ	KMP+SeMP	KMP+SeMP +Yağ	Ortalama
C vitamini içeriği (mg/100 g askorbik asit)						
0	51.02	52.01	51.51	53.19	52.47	52.04 a
5	49.02	50.52	50.55	50.77	50.28	50.23 b
10	47.87	47.06	48.35	48.10	48.44	47.96 c
15	46.55	46.97	46.72	46.60	46.40	46.65 d
20	43.37	44.99	44.84	45.32	45.22	44.75 e
Ortalama	47.57 b ^(*)	48.31 a	48.39 a	48.80 a	48.56 a	
Toplam fenolik miktarı (mg/100 g gallik asit)						
0	335.95 i	338.91 i	335.21 i	338.54 i	337.06 i	337.13
5	351.25 g	348.54 g	350.77 g	344.47 h	345.58 gh	348.12
10	372.51 e	370.77 e	368.17 ef	363.18 f	366.32 f	368.19
15	397.80 c	393.73 c	387.06 d	386.10 d	384.47 d	389.83
20	407.80 a	406.69 a	402.62 a-c	399.62 bc	404.84 ab	404.31
Ortalama	373.06	371.73	368.77	366.38	367.65	
Toplam antioksidan kapasitesi (% inhibisyon)						
0	68.79	69.19	70.21	71.11	70.40	69.94 a
5	64.38	65.46	67.46	67.56	67.76	66.52 b
10	62.38	63.43	65.20	65.46	65.98	64.49 c
15	59.95	60.95	62.45	62.91	63.82	62.02 d
20	58.69	59.67	61.03	61.59	62.70	60.74 e
Ortalama	62.84 c	63.74 c	65.27 b	65.73 ab	66.13 a	
Toplam antosiyanin miktarı (µg cy-3-glu/g)						
0	248.53	249.93	248.15	249.76	249.04	249.08 e
5	255.89	255.08	255.65	252.61	253.16	254.48 d
10	266.13	264.31	264.03	261.62	263.14	263.85 c
15	278.28	275.83	273.12	272.66	271.87	274.35 b
20	283.10	282.90	280.60	279.16	281.68	281.49 a
Ortalama	266.39 a	265.61 a	264.31 ab	263.16 b	263.78 b	

(*): Her bir parametre içindeki farklılıklar ayrı harflerle gösterilmiştir.

Toplam fenolik miktarı üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çalışma bulgularına göre muhafaza süresince toplam fenol miktarının arttığı gözlenmiştir. Muhafaza süresinin 5. gününden itibaren KMP+SeMP

uygulamasıyla istatistiksel olarak diğer uygulamalardan daha düşük toplam fenolik miktarı belirlenirken, bu uygulamayı KMP+SeMP+Yağ uygulaması izlemiştir. Toplam fenolik miktarının ortalama değerlere göre kontrol grubunda en yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4). Fenolik bileşikler meyvelerde renk ve tat oluşumunda önemli bir etkiye sahip olan sekonder metabolitlerdir. Hasat sonrası yaş meyve ve sebzelerin fenolik madde içeriğinde değişimler meydana gelmekte ve bu değişimleri tür, çeşit, hasat zamanı, kültürel uygulamalar ile depolama süresi gibi birçok faktör etkilemektedir. Özellikle muhafaza çalışmalarında depolama süresinin uzaması ile birlikte fenolik bileşik içeriklerinin %40-60 oranında arttığı belirlenmiştir (Valero ve ark. 2011). Bulgularımızda muhafaza periyodunda kolloid solüsyon ile kaplanan ürünlerde kontrole göre daha düşük toplam fenol miktarı belirlenmiştir. Muhafaza süresince bu artışı geciktirmede yapılan kaplama uygulamaları etkili olmuştur. Bulgularımızla uyumlu olarak mikro boyutlu kompozit uygulanarak muhafaza edilen pek çok üründe toplam fenol miktarı kontrol ürünlerine göre daha düşük olmuştur (Sogvar ve ark. 2016; Kou ve ark. 2019; Wang ve ark. 2020b; Valizadeh ve ark. 2021). Mikro boyutlu kompozit uygulamalarının kontrol ile karşılaştırıldığında fenol miktarındaki artışı yavaşlatmasındaki en önemli etkisinin solunum ve buna bağlı olarak yaşlanmayı geciktirmesi olarak düşünülebilir.

Toplam antioksidan kapasitesi üzerine kaplama uygulaması ve muhafaza süresi ayrı ayrı istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olurken, kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi önemsiz bulunmuştur ($p < 0.05$). Muhafaza süresi arttıkça antioksidan kapasitesinde azalış gözlemlenmiştir. Çalışmada KMP+SeMP+Yağ uygulaması en yüksek antioksidan kapasitesini sağlarken, bu uygulamayı KMP+SeMP uygulaması takip etmiştir. Tüm uygulamalarda zamanla antioksidan kapasitesinde bir azalma gözlenmiş olsa da uygulamalar bu azalmayı yavaşlatmada etkili olmuştur (Çizelge 4). Antioksidan kapasitesi, çileğin sağlık açısından faydalı bileşenlerinden biridir ve özellikle derim sonrası raf ömrü boyunca bu kapasitenin korunması, meyvenin besin değerinin yüksek kalmasını sağlar. Yaş meyvelerde besinsel içeriğinin korunmasında hasat sonrası koşulların önemli olduğu bilinmektedir. Kolloid solüsyonla kaplamanın antioksidan kapasite değerindeki azalışı yavaşlatmada etkili olduğu belirlenmiştir. Nitekim mikro boyutlu kompozit uygulanan pek çok yaş meyve ve sebze toplam antioksidan kapasite değeri kontrol ürünlerine göre daha yüksek olmuştur (Gonzalez-Saucedo ve ark. 2019; Nguyen ve ark. 2020; Arabpoor ve ark. 2021; Cid-Lopez ve ark. 2021; Dulta ve ark. 2021; 2022b). Araştırmacılar antioksidan aktivitenin kolloid solüsyonla kaplama sonucu daha yüksek olmasının fenolik bileşik miktarındaki kayıpları azalmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Diğer yandan toplam antioksidan kapasite değerinin

korunmasında kaplama ajanlarına kekik yağının eklenmesinin daha etkili sonuçlar verdiği bulgularımızla paralel bulgular kiraz meyvesiyle çalışan Metin (2022) tarafından da saptanmıştır. Genel olarak uygulamaların ürünlerde metabolik aktiviteyi yavaşlatarak yaşlanmayı geciktirdiği ve sonucunda besinsel kayıpları önlediği sonucuna varılmıştır.

Toplam antosiyanin kapasitesi üzerine kaplama uygulaması*muhafaza süresi interaksyonunun etkisi önemsiz bulunurken, kaplama uygulaması ve muhafaza süresi istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olmuştur ($p < 0.05$). Çalışmada muhafaza süresince toplam antosiyanin miktarı artış eğilimi göstermiştir. Uygulamaların ortalamasına göre toplam antosiyanin miktarı üzerinde en az artış KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarında tespit edilmiştir (Çizelge 4). Antosiyaninler meyve ve sebzelerin kırmızı-mavi renginden sorumlu olan (Mullen ve ark. 2002) ve insan sağlığı için yararlı etkilere sahip (García -Alonso ve ark. 2004) bir grup fenolik bileşiktir. Ayrıca antosiyaninler, güçlü antioksidan özelliklere sahiptirler. Antosiyanin miktarının korunması, çileklerin raf ömrü boyunca besin değerinin yüksek kalmasını sağlayabilir. Çalışmada toplam antosiyanin miktarının artışı TEA içeriğindeki azalmaya bağlanabilir. Nitekim benzer sonuçlar Sogvar ve ark. (2016) tarafından da bildirilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda kolloid solüsyonla kaplama uygulamalarından KMP+SeMP uygulaması ve bunu takiben KMP+SeMP+Yağ uygulamasının ağırlık kaybı, solunum ve çürüme oranlarını azalttığı, renk değerleri (L^* , chroma ve hue), meyve eti sertliği, SÇKM miktarı, TEA ve C vitamini içerikleri ile toplam fenol, antosiyanin ve antioksidan kapasitesini korumada en etkili uygulamalar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar KMP+SeMP ve KMP+SeMP+Yağ uygulamalarını çilek meyvelerinin kalitesinin korunmasında ve derim sonrası raf ömrünün uzatılmasında kullanılabilir yenilebilir kaplamalar olabileceğini göstermektedir. Çalışma sonuçları derim sonrası çabuk bozulan ürünlerde ve raf ömrünün uzatılmasında yeni teknoloji ile üretilen mikro boyutlu kompozit kaplama ajan/ajanlarının elde edilme sürecine katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu sonuçlar gelecekte bu ve benzer konularda yapılması olası çalışmalara ışık tutma amacıyla kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen FBA-2023-12370 kodlu proje sonuçlarının bir kısmını içermektedir.

KAYNAKLAR

Abdulraheem, M.I., Moshood, A.Y., 2021. Effects of nanoparticles on improvement in quality and shelf life of fruits and vegetables. *Plant Biol Crop Res.*, 4(2): 1042.

- Amal, S.A., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, H.E., Alsanius, B.W., 2010. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3): 88-97.
- Arabpoor, B., Yousefi, S., Weisany, W., Ghasemlou, M., 2021. Multifunctional coating composed of *Eryngium campestre* L. essential oil encapsulated in nano-chitosan to prolong the shelf-life of fresh cherry fruits. *Food Hydrocolloids*, 111: 106394.
- Barikloo, H., Ahmadi, E., 2018. Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging. *Scientia Horticulturae*, 240: 496-508.
- Bourtoom, T., 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 237-248.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C.L.W.T., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Butler, B.L., Vergano, P.J., Testin, R.F., Bunn, J.M., Wiles, J.L., 1996. Mechanical and barrier properties of edible chitosan films as affected by composition and storage. *Journal of Food Science*, 61(5): 953-956.
- Cid-López, M.L., Soriano-Melgar, L.D.A.A., García-González, A., Cortéz-Mazatán, G., Mendoza-Mendoza, E., Rivera-Cabrera, F., Peralta-Rodríguez, R.D., 2021. The benefits of adding calcium oxide nanoparticles to biocompatible polymeric coatings during cucumber fruits postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 287: 110285.
- Candir, E., Ozdemir, A.E., Aksoy, M.C., 2018. Effects of chitosan coating and modified atmosphere packaging on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate fruit cv. 'Hicaznar'. *Scientia Horticulturae*, 235: 235-243.
- Çınar, S., Sabir, F.K., 2021. Kirazda hasat sonrası kitosan ve aloe vera uygulamalarının soğukta muhafaza süresince kalite özelliklerine etkisi. *Alatarım*, 20(2): 114-122.
- Dorazilová, J., Muchová, J., Šmerkova, K., Diviš, P., Kopel, P., Kociová, S., Veselý, R., Pavlináková, V., Adam, V., Vojtová, L., 2020. Synergistic effect of chitosan and selenium nanoparticles on biodegradation and antibacterial properties of collagenous scaffolds designed for infected burn wounds. *Nanomaterials*, 10(10): 1971.
- Dulta, K., Koçarsoy-Ağçeli, G., Chauhan, P., Chauhan, P.K., 2021. Biogenic production and characterization of CuO nanoparticles by *Carica papaya* leaves and its biocompatibility applications. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 31(4): 1846-1857.
- Dulta, K., Koçarsoy Ağçeli, G., Thakur, A., Singh, S., Chauhan, P., Chauhan, P.K., 2022a. Development of alginate-chitosan based coating enriched with ZnO nanoparticles for increasing the shelf life of orange fruits (*Citrus sinensis* L.). *Journal of Polymers and the Environment*, 30(8): 3293-3306.
- Dulta, K., Koçarsoy Ağçeli, G., Chauhan, P., Jasrotia, R., Chauhan, P. K., Ighalo, J.O., 2022b. Multifunctional CuO nanoparticles with enhanced photocatalytic dye degradation and antibacterial activity. *Sustainable Environment Research*, 32: 1-15.
- Duran, M., Aday, M.S., Zorba, N.N.D., Temizkan, R., Büyükcın, M.B., Caner, C., 2016. Potential of antimicrobial active packaging 'containing natamycin, nisin, pomegranate and grape seed extract in chitosan coating' to extend shelf life of fresh strawberry. *Food and Bioproducts Processing*, 98: 354-363.
- Emamifard, A., Mohammadzadeh, M., 2015. Preparation and application of LDPE/ZnO nanocomposites for extending shelf life of fresh strawberries. *Food Technology and Biotechnology*, 53(4): 488-495.
- Fernandez-Leon, M.F., Fernandez-Leon, A.M., Lozano, M., Ayuso, M.C., Amodio, M.L., Colelli, G., González-Gómez, D., 2013. Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 31(2): 302-313.
- Feyzioglu, G.C., Tornuk, F., 2016. Development of chitosan nanoparticles loaded with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for antimicrobial and antioxidant delivery applications. *LWT - Food Science and Technology*, 70: 104-110.
- Frias, J.M., Oliveira, J.C., 2001. Kinetic models of ascorbic acid thermal degradation during hot air drying of maltodextrin solutions. *Journal of Food Engineering*, 47(4): 255-262.
- García-Alonso, M., Rimbach, G., Rivas-Gonzalo, J.C., de Pascual-Teresa, S., 2004. Antioxidant and cellular activities of anthocyanins and their corresponding vitisins a studies in platelets, monocytes, and human endothelial cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11): 3378-3384.
- Giusti, M.M., Rodriguez-Saona, L.E., Wrolstad, R.E., 1999. Spectral characteristics, molar absorptivity and color of pelargonidin derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(11): 4631-7.
- Gol, N. B., Patel, P. R., & Rao, T. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 185-195.
- González-Saucedo, A., Barrera-Necha, L.L., Ventura-Aguilar, R.I., Correa-Pacheco, Z.N., Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., 2019. Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L.) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149: 74-82.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., Gavara, R., 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2): 428-435.
- Ilk, S., Sağlam, N., Özgen, M., Korkusuz, F., 2017. Chitosan nanoparticles enhances the anti-quorum sensing activity of kaempferol. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94: 653-662.
- Indumathi, M.P., Sarojini, K.S., Rajarajeswari, G.R., 2019. Antimicrobial and biodegradable chitosan/cellulose acetate phthalate/ZnO nano composite films with optimal oxygen permeability and hydrophobicity for extending the shelf life of black grape fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132: 1112-1120.
- Jafarzadeh, S., Alias, A.K., Ariffin, F., Mahmud, S., 2018. Physico-mechanical and microstructural properties of semolina flour films as influenced by different

- sorbitol/glycerol concentrations. *International Journal of Food Properties*, 21(1): 983-995.
- Jafarzadeh, S., Nafchi, A.M., Salehabadi, A., Oladzad-Abbasabadi, N., Jafari, S.M., 2021. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Colloid and Interface Science*, 291: 102405.
- John, A., Črešnar, K.P., Bikiaris, D.N., Zemljč, L.F., 2023. Colloidal solutions as advanced coatings for active packaging development: focus on PLA systems. *Polymers*, 15(2): 273.
- Keawchaon, L., Yoksan, R., 2011. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 84(1): 163-171.
- Kontogeorgis, G.M., Holster, A., Kottaki, N., Tsochantaris, E., Topsøe, F., Poulsen, J., Bache, M., Liang, X., Blom, N.S., Kronholm, J., 2022. Water structure, properties and some applications – A Review. *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis*, 6: 100053.
- Koraqi, H., Petkoska, A.T., Khalid, W., Sehrish, A., Ambreen, S., Lorenzo, J.M., 2023. Optimization of the extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) using response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 16(6), 1030-1042.
- Kou, X., He, Y., Li, Y., Chen, X., Feng, Y., Xue, Z., 2019. Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Food Chemistry*, 270: 385-394.
- Li, S., Jiang, S., Jia, W., Guo, T., Wang, F., Li, J., Yao, Z., 2024. Natural antimicrobials from plants: recent advances and future prospects. *Food Chemistry*, 432: 137231.
- Mareedu, T., Poiba, V., Vangalapati, M., 2021. Green synthesis of iron nanoparticles by green tea and black tea leaves extract. *Materials Today: Proceedings*, 42: 1498-1501.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12): 1254-1255.
- Melo, N.F.C.B., de MendonçaSoares, B.L., Diniz, K.M., Leal, C.F., Canto, D., Flores, M.A., Stamford, T.C.M., 2018. Effects of fungal chitosan nanoparticles as eco-friendly edible coatings on the quality of postharvest table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 139: 56-66.
- Metin, D., 2022. Hasat Sonrası Kekik Yağı ve Kitosan Uygulamalarının '0900 Ziraat' Kiraz Çeşidinde Muhafaza Süresince Meyve Kalitesine Etkileri. *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi*, 64 s.
- Mith, H., Dure, R., Delcenserie, V., Zhiri, A., Daube, G., Clinquart, A., 2014. Antimicrobial activities of commercial essential oils and their components against food-borne pathogens and food spoilage bacteria. *Food Science and Nutrition*, 2(4): 403-416.
- Mullen, W., McGinn, J., Lean, M.E., MacLean, M.R., Gardner, P., Duthie, G.G., Crozier, A., 2002. Ellagitannins, flavonoids, and other phenolics in red raspberries and their contribution to antioxidant capacity and vasorelaxation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18): 5191-5196.
- Moustafa, H., Youssef, A.M., Darwish, N.A., Abou-Kandil, A.I., 2019. Eco-friendly polymer composites for green packaging: Future vision and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 172: 16-25.
- Mueller, A.S., Mueller, K., Wolf, N.M., Pallauf, J., 2009. Selenium and diabetes: an enigma?. *Free Radical Research*, 43(11): 1029-1059.
- Nguyen, V.T., Nguyen, D.H., Nguyen, H.V., 2020. Combination effects of calcium chloride and nano-chitosan on the postharvest quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 162: 111103.
- No, H.K., Meyers, S.P., Prinyawiwatkul, W., Xu, Z., 2007. Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *Journal of food science*, 72(5): R87-R100.
- Nunes, M.C.N., Brecht, J.K., Morais, A.M.M.B., Sargent, S.A., 1998. Controlling temperature and water loss to maintain ascorbic acid levels in strawberries during postharvest handling. *Journal of Food Science*, 63(6): 1033-1036.
- Özdemir, E.A., Dündar, Ö., 2006. The effects of fungicide and hot water treatments on the internal quality parameters of Valencia oranges. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(1): 142-146.
- Öztürk, B. (2020). Raf ömrü süresince karayemiş meyvesinin (*Prunus laurocerasus* L.) kalite özellikleri üzerine modifiye atmosfer paket ve aloe vera uygulamalarının etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3): 399-406.
- Perdones, Á., Escriche, I., Chiralt, A., Vargas, M., 2016. Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on volatile profile of strawberries during storage. *Food Chemistry*, 197: 979-986.
- Pham, T.T., Nguyen, L.L.P., Dam, M.S., Baranyai, L., 2023. Application of edible coating in extension of fruit shelf life. *AgriEngineering*, 5(1): 520-536.
- Pinto, E., Pina-Vaz, C., Salgueiro, L., Goncalves, M.J., Costa-de Oliveira, S., Cavaleiro, C., Palmeira, A., Rodrigues, A., Martinez-de-Oliveira, J., 2006. Antifungal activity of the essential oil of *Thymus pulegioides* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *Journal of Medical Microbiology*, 55: 1367-1373.
- Rivera-Pastrana, D.M., Béjar, A.A.G., Martínez-Téllez, M.A., Rivera-Domínguez, M., González-Aguilar, G.A., 2007. Postharvest biochemical effects of UV-C irradiation on fruit and vegetables. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4): 361-372.
- Roman, M., Jitaru, P., Barbante, C., 2014. Selenium biochemistry and its role for human health. *Metallomics*, 6(1): 25-54.
- Sangsuwan, J., Pongsapakworawat, T., Bangmo, P., Sutthasupa, S., 2016. Effect of chitosan beads incorporated with lavender or red thyme essential oils in inhibiting *Botrytis cinerea* and their application in strawberry packaging system. *LWT*, 74: 14-20.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3): 144-158.
- Sogvar, O.B., Saba, M.K., Emamifar, A., Hallaj, R., 2016. Influence of nano-ZnO on microbial growth, bioactive content and postharvest quality of

- strawberries during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35: 168-176.
- Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L., Zhang, Y., 2016. Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 119: 41-48.
- Valero, D., Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Castillo, S., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Serrano, M., 2011. Postharvest treatments with salicylic acid, acetylsalicylic acid or oxalic acid delayed ripening and enhanced bioactive compounds and antioxidant capacity in sweet cherry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10): 5483-5489.
- Valizadeh, M., Behnamian, M., Dezhsetan, S., Karimirad, R., 2021. Controlled release of turmeric oil from chitosan nanoparticles extends shelf life of *Agaricus bisporus* and preserves its postharvest quality. *Food Bioscience*, 44: 101401.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González-Martínez, C., 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2): 164-171.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V.D., Moldão-Martins, M., 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 52(2): 80-92.
- Wadhvani, S.A., Shedbalkar, U.U., Singh, R., Chopade, B.A., 2016. Biogenic selenium nanoparticles: current status and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100: 2555-2566.
- Wang, W., Yu, Z., Alsammarraie, F.K., Kong, F., Lin, M., Mustapha, A., 2020a. Properties and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol-modified bacterial nanocellulose packaging films incorporated with silver nanoparticles. *Food Hydrocolloids*, 100: 105411.
- Wang, L., Shao, S., Madebo, M.P., Hou, Y., Zheng, Y., Jin, P., 2020b. Effect of nano-SiO₂ packing on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit under ambient temperature storage. *Food chemistry*, 315: 126295.
- Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., Zheng, Y.I., 2020. Effect of chitosan/Nano-TiO₂ composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 263: 109135.
- Yaman, M., Yilmaz, K., 2022. The effects of different chemicals on runner yield and quality of 'Kabarla' strawberry young plants grown in Cappadocia region. *Erwerbs-Obstbau*, 64: 85-90.
- Yang, J.W., Kim, H.I., 2023. An overview of recent advances in greenhouse strawberry cultivation using deep learning techniques: A review for strawberry practitioners. *Agronomy*, 14(1): 34.