

Kapsaisin Uygulamasıyla Biberde Depolama Sırasında Kalite Kayıplarının Geciktirilmesi*

Derya ERBAŞ^{1*}, Mehmet Ali KOYUNCU¹

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, ISPARTA/TÜRKİYE

*Bu çalışma Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince (Proje No: 2020-BTAP1-0066) desteklenmiştir.

Alınış tarihi: 18 Mart 2024, Kabul tarihi: 26 Haziran 2024

Sorumlu yazar: Derya ERBAŞ, e-posta: deryaerbas@isparta.edu.tr

Öz

Amaç: Bu çalışmada, Bellisa RZ F1 (35-508) kapyta biber (*Capsicum annuum*) çeşidinde kapsaisin uygulamalarının depolama boyunca meyve kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem: Optimum aşamada derilen biber meyveleri hemen laboratuvara nakledilmiştir. Çeşit özelliklerini yansıtan üniform ve kaliteli biberler seçilerek ön soğutmaya tabi tutulmuştur. Ön soğutmadan sonra meyveler uygulamalar için 4 gruba ayrılmıştır. Biberler 0.1, 0.5 ve 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ kapsaisin içeren çözeltiye ve saf suya (kontrol) 1 dk süre ile daldırılmıştır. Daldırma işleminden sonra tüm biberler fazla suyun uzaklaştırılması için 30 dakika 12 ± 1 °C sıcaklıkta bekletilmiş ve modifiye atmosfer poşetlerine yerleştirilmiştir. Uygulama yapılan tüm meyveler 8 ± 1 °C ve % 90 ± 5 oransal nemde 6 hafta ve her 7 günün sonunda artı 2 gün oda koşullarında (20 ± 1 °C ve % 60 ± 5 oransal nem) depolanmıştır. Biberlerde ağırlık kaybı, meyve sertliği, suda çözünabilir kuru madde, titre edilebilir asitlik, solunum hızı, poşet içi gaz bileşimi, kabuk rengi ve duyusal kalite özelliği soğukta depolama ve raf ömrü süresince belirlenmiştir.

Araştırma bulguları: Kapsaisin uygulamalarının genel olarak biberlerde ağırlık kaybı ile solunum hızını azaltmada ve meyve sertliğini, asitlik ve duyusal kaliteyi korumada kontrol grubuna göre daha etkili olduğu görülmüştür. Titre edilebilir asitlik hariç belirtilen kalite özellikleri bakımından en iyi sonuç 0.1 $\mu\text{L L}^{-1}$ uygulamasından elde edilmiştir.

Sonuç: Kapsaisin uygulamalarının uygun doz ve süre seçildiğinde biber ve benzeri ürünlerin depolanması

sırasında kalite kayıplarının geciktirilmesinde ümitvar olabileceği görülmüştür. 0.1 $\mu\text{L L}^{-1}$ kapsaisin uygulanmış Bellisa RZ F1 (35-508) kapyta biber çeşidinin, MAP içerisinde belirtilen koşullarda 28 gün depolanabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biber, Depolama, Kalite, Kapsaisin, MAP, Raf ömrü

Delaying of Quality Losses in Pepper by Capsaicin Treatment During Storage

Abstract

Objective: In study, the effect of capsaicin treatments on postharvest quality of capia pepper cv. Bellisa RZ F1 (35-508) (*Capsicum annuum*) during storage was investigated.

Materials and Methods: The pepper fruits, which were harvested at the optimum stage, were transported to the laboratory immediately. The uniform fruit, reflecting the characteristics of variety, were selected and pre-cooled. After pre-cooling, the fruit were divided into 4 groups for treatments. Peppers were immersed in a solution containing 0.1, 0.5 and 1 $\mu\text{L L}^{-1}$ capsaicin and distilled water (control) for 1 minute. After dipping, all peppers were kept at 12 ± 1 °C for 30 minutes to remove excess water and placed in modified atmosphere bags. All treated fruit were stored at 8 ± 1 °C and $90 \pm 5\%$ relative humidity for 6 weeks and plus 2 day at room conditions (20 ± 1 °C and $60 \pm 5\%$ relative humidity). Weight loss, fruit firmness, TSS, TA, respiration rate, gas composition in MAP, skin color,

and sensory quality of peppers were determined during cold storage and shelf life.

Results: Capsaicin treatments were, in general, more effective in reducing the weight loss and respiration rate, and preserving fruit firmness, acidity and sensory quality of peppers compared to the control group.

The best result in terms of these quality characteristics, except for titratable acidity, was obtained from the 0.1 $\mu\text{L L}^{-1}$ treatment.

Conclusion: It has been observed that capsaicin treatments may be promising tool for delaying quality losses of pepper and similar products during storage when the appropriate dose and duration are selected. It was determined that the capia pepper cv. Bellisa RZ F1 (35-508) treated with 0.1 $\mu\text{L L}^{-1}$ capsaicin could be stored for 28 days in MAP under this conditions.

Keywords: Capsaicin, MAP, Quality, Pepper, Shelf life, Storage

Giriş

Türkiye 31.590.000 ton toplam sebze üretimiyle Çin, Hindistan ve Amerika'dan sonra dünyanın en çok sebze üreten dördüncü ülkesi konumundadır. Türkiye'de neredeyse her bölgede biber yetiştirilmekte olup, toplam biber üretiminin % 49 (1.482.000 ton) 'luk kısmını salçalık kapyra tipi biberler oluşturmaktadır (TÜİK, 2024). Kapyra tipi biberlerde tüketim çeşitliliğinin çok olması ve giderek artması bu biberin üretim miktarında da artışa neden olmaktadır (Bozkurt, 2019). Ayrıca besin içeriği ve sağlık açısından önemi nedeniyle dünya mutfaklarının vazgeçilmez bir sebzesi konumundadır. Biber üretimindeki bu artışlara biberin besin içeriğinin de katkı sağladığı düşünülmektedir. Nitekim günlük belirli oranda tüketildiği zaman, kanser ve kardiyovasküler hastalıkları önlemede önemli rol aldıkları belirtilmiştir. Bunların yanında askorbik asit, karetonoitler (likopen ve zeaxanthin) ve zengin antioksidan içeriği ile de oldukça faydalı olduğu bildirilmiştir (Ghasemnezhad ve ark., 2011). 100 gram taze kırmızıbiber yaklaşık 130 mg askorbik asit içermekte ve bu değer portakalın içerdiği askorbik asit miktarından 2.5-3 kat fazla olduğu belirtilmiştir (Cerit, 2015). Gerek sanayi gerekse sofralık olarak tüketilen biberlerin derim zamanının aynı dönemlere denk gelmesi, ürün yığılmalarına ve derim sonrası kayıplara neden olmaktadır. Bu

yüzden biberlerin derim sonrası kalitesinin korunarak pazara daha uzun süre ürün arzı gerekmektedir. Böylelikle ürünün farklı alanlarda kullanılmak üzere tüketim ve ihracat miktarının artırılması mümkün olacaktır.

Son yıllarda tüketicilerin ve üreticilerin bilinçlenmesine paralel olarak bahçeden sofraya kadar olan her aşamada, ürünlerde kimyasal uygulamalara karşı ciddi itirazlar oluşmakta ve bu uygulamalara kısıtlayıcı önlemler getirilmektedir. Son zamanlarda dünyadaki eğilim, derim sonrası kimyasal kullanımını azaltmaya yöneliktir (Mari ve ark., 2007). Bu nedenle mevcut çalışmada, biberlerde doğal olarak bulunduğu değerlerden nispeten yüksek dozlarda dışardan uygulanacak kapsaisinin, meyvede derim sonrası kalitenin korunmasında kimyasal kullanımına alternatif olup olamayacağı irdelenmiştir. Elde edilen sonuçların kapsaisinin miktarını artırmayı hedefleyen işahçılara da fikir verebileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu tür bileşiklerin ekstrakte edildiği ürün grubuna daha yüksek dozlarda uygulanarak olumlu sonuçlar alınabilmesi, organik ürünlerde de bu bileşiklerin kullanılabilirliğinin önünü açacaktır.

Kırmızı biberlerde temel fitokimyasal maddeler kapsaisinoidlerdir (da Silva Dias, 2022) ve bu fitokimyasalların sentezlendiği ve biriktiği yer meyvenin etli kısmından ziyade tohumların bağlı olduğu zarımsı plasentadır. *Capsicum* türlerinin meyvelerindeki kapsaisinoidlerin, yetiştirme koşullarına, genotipe ve gelişme dönemine bağlı olarak farklı miktarlarda bulunduğu ve *Capsicum* türlerinin kuru ağırlık bazında 0.22-20.00 mg kapsaisinoid g^{-1} içerdiği bildirilmiştir (Estrada ve ark., 2002; Rahman ve Inden, 2012; Arabacı, 2015). Kapsaisinoidler içerisinde en önemli acılık maddesi kapsaisindir (%69). Kapsaisin, acı kırmızı biberlerden ekstrakte edilen antimikrobiyal özelliği olan doğal bir bileşiktir. Bulunduğu ürünlerde bazı antioksidan maddelerin ve ilgili enzimlerin seviyelerini arttırarak onların savunma sistemlerini iyileştirdiği bilinmektedir. Kapsaisinin çok güçlü bir antioksidan olduğu, antimitojenik, antikanser ve antiinflamatuvar özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca kas ve eklem ağrılarına karşı analjezik etki gösterdiği ve patojenik bakterilere karşı antimikrobiyal etkisinin olduğu belirtilmiştir (Surh, 2002; Muchena, 2009; Aza-González ve ark., 2011; Luo ve ark., 2011). Arın (2018) kapsaisinin metabolizmayı hızlandırdığını, yağ metabolizmasını düzelttiğini ve endorfin salgısını arttırarak yüksek

dozlarda alındığında ağrılarının şiddetini azaltabileceğini ifade etmiştir. Bunlara ek olarak Japonya ve Çin’de yapılan araştırmalarda doğal kapsaisinın lösemi hücrelerinin gelişimini nispeten engelleyebildiğini bildirmişlerdir (Mortensen ve Mortensen, 2009). Bütün bu özelliklerinden dolayı kapsaisinle ilgili tıp ve tarımla ilgili bazı alanlarda değişik çalışmalar yürütülmüştür. Ancak bahçe ürünlerinde derim sonrası dönemde etkilerinin incelendiği detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmanın kurgulanmasında bu alandaki eksiklik önemli olmuştur.

Biberin üretimi ve tüketimindeki ciddi artışa rağmen, derim sonrası ile ilgili çalışmaların sayısı oldukça azdır. Öyle ki ülkemizde hala kapa biberlerinin derimden tüketici sofrasına ulaşıncaya kadar olan zincirde ciddi kayıplara uğradığı bilinmektedir. Biberlerde depolama ve taşıma süreçlerinde görülen ağırlık kaybı (su kaybı), üşüme zararı, doku yumuşaması, çürüklük gelişimi ve fizyolojik bozukluklar önemli kalite ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Maalekuu ve ark., 2006; Sakaldaş, 2012). Ayrıca *Botrytis cinerea* (gri küf) ve *Alternaria alternata* biberlerin depolanmasında karşılaşılan en yaygın çürüklük etmenleri olup, önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Rodov ve ark., 1995; Fallik ve ark., 1999).

Repellent olarak zararlılara (Arın, 2018) ve fungal patojenlere karşı kullanılabilmesi (Diaz ve ark., 2004; Kraikruan ve ark., 2008; Aza-González ve ark., 2011) rapor edilmiş kapsaisinın, biberlerde depolama sırasında kalite kayıplarını azaltmak için kullanılması anlamlıdır. Günümüzde insanlığın en önemli sorunları arasında sağlıklı bir yaşam ve beslenme gelmektedir. Bu yüzden tüketicilerin kaliteli ve besin değeri yüksek olan ürünlere olan talepleri her geçen gün artmaktadır.

Tüketicilerin istekleri doğrultusunda, ürün muhafazasında kimyasal madde kullanımının azaltılması ve doğal bileşenler ile ürünlerin depolanma ve raf ömrünün uzatılması konuları giderek önem kazanmaktadır. Acı biberlerden elde edilen kapsaisinın biberlere dışarıdan uygulandığında yeme kalitesini etkilemeden, derim sonrası kayıpları azaltacağı görüşü bu nedenle önemlidir.

Bu bilgiler doğrultusunda mevcut çalışmanın amacı, derim sonrası kapsaisin uygulamasının Kapa tipi Bellisa RZ F1 biber çeşidinde depolama boyunca kalite değişimine etkisini belirlemektir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada materyal olarak Antalya bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen kapa biber tipine ait Bellisa RZ F1 (35-508) çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşit Antalya’da ticari olarak yetiştiricilik yapan bir üretici serasından temin edilmiştir. Materyal temin edilen serada kültürel işlemler (sulama, gübreleme, ilaçlama vb. gibi) muntazam olarak yapılmıştır. Bellisa RZ F1 (35-508), örtü altı yetiştiriciliğine uygun, meyve tutumu iyi, verimli, çatlamaya dayanıklı ve tatlı bir çeşittir. Meyve yapısı uzun ve düz, meyveler olgunlaştığında kırmızı parlak renkte ve depolanmaya uygundur (Anonim, 2024).

Yöntem

Biberlerin derimi, kapsaisin uygulamaları ve depolama

Biber meyveleri irilik, şekil, renk ve kaliks bölgesi sağlamlığı dikkate alınarak optimum dönemde bahçe makası kullanılarak elle derilmiştir (Sakaldaş, 2012; Erdoğan, 2015). Derimden hemen sonra biberler soğutmalı araçla Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Derim Sonrası Fizyolojisi Laboratuvarına getirilmiştir. Çatlamış, sapı kopmuş ve mekanik olarak zararlanmış biberler seçilerek deneme dışı bırakılmıştır. Seçilen biberler 3-4 °C’de ve % 90±5 oransal nem koşullarında biber et sıcaklığı 7-8 °C’ye düşünceye kadar hava ile ön soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön soğutmadan sonra biberler her grupta 54 kg biber olacak şekilde 4 gruba ayrılmıştır. Daha sonraki işlemler sırasında (daldırma, kurutma ve paketlenme) biber meyvelerinin tekrar yüksek sıcaklıklara ulaşmaması için paketlenme ve kurutmanın yapıldığı oda sıcaklığı 12 ±1 °C’de tutulmuştur. Biberler 0.1, 0.5 ve 1 µL L⁻¹ kapsaisin (Sigma-Aldrich) içeren çözeltiliye ve saf suya (kontrol) 1 dk süre ile daldırılmıştır. Daldırma işleminden sonra 30 dk 12 ±1 °C sıcaklığa sahip odada fan altına kurutulmuş ve MAP’lara yerleştirilmiştir (3 kg ± 100 g). Önceki yıllarda biberlerde kapsaisin ile daldırma uygulaması yapılmış çalışma bulunmadığı için doz ve süreler ön deneme sonuçları ve başka kaplama maddesi uygulamalarıyla ilgili çalışmalardan (Erdoğan, 2015) faydalanılarak belirlenmiştir. Yayıcı yapıştırıcı olarak Tween 20 (%0.01) kullanılmıştır. Denemede düşük yoğunluklu polietilen (LPDE)’den üretilmiş, 20 µ kalınlığında ve mikroperforasyon deliklere sahip biberler için geliştirilmiş modifiye atmosfer poşetleri kullanılmıştır.

Ambalajlanmış biberler $8^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve $\%90\pm 5$ (Erdoğan, 2015) oransal nem koşullarında 6 hafta süreyle depolanmıştır. Raf ömrü çalışmaları için biberler soğukta muhafazadan sonra 2 gün 20°C ve $\% 60\pm 5$ oransal nem koşullarında bekletildikten sonra soğukta muhafaza sürecinde yapılan analizler yinelenmiştir. Başlangıçta ve soğukta depolama boyunca haftalık (7 gün) aralıklarla biberlerde aşağıda detaylandırılan fiziksel ve biyokimyasal analizler yapılmıştır.

Fiziksel ve kimyasal analizler

Ağırlık kayıpları: Biberlerde meydana gelen ağırlık kayıpları, bu amaçla ayrılan MAP'ların her dönem tartılıp başlangıç ağırlığına oranlanması yoluyla belirlenmiştir. Raf ömrü çalışmalarında ise her dönem başlangıcında tartılan örnekler 2 gün sonunda tekrar tartılmış ve aradaki fark üzerinden ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Ölçümler 0.01 g hassasiyetindeki terazi (Scaltec SBA51) ile yapılmış ve belirtilen formüle göre $\%$ olarak hesaplanmıştır.

Ağırlık kaybı ($\%$) = $(\text{İlk ağırlık} - \text{Son ağırlık}) / \text{İlk ağırlık} \times 100$

Kabuk rengi: Depolama boyunca biberlerdeki renk değişimini belirlemek için depodan çıkartılan biber örneklerinin (tekerrürde 10 adet) orta kısmından ve iki tarafından renk cihazı (CR 300 Minolta) kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde Commission Internationale l'Eclairage (CIE) L^* , a^* , b^* ile a^* ve b^* değerlerine göre hesaplanan hue açısı (h°) ve kroma (C^*) değerleri kullanılmıştır (Altıkardes ve ark., 2018).

$$h^{\circ} = \tan^{-1} (b^* / a^*)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

Meyve sertliği (delme kuvveti): Ölçümler deneme başlangıcında ve her analiz döneminde depolardan çıkarılan biberlerin ekvatorial çevresinden alınan kare ($20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$) parçalar üzerinde gerçekleştirilmiştir (Manolopoulou ve ark., 2010). Her tekerrürde 10 adet meyve kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri tekstür cihazı (Lloyd Marka LF Plus, Ametek, U.K.) ile bağlı olduğu bilgisayara yüklenen Nexygen (versiyon 4.1) paket programı kullanılarak yapılmıştır. 50 N 'luk load cell ile 100 mm dk^{-1} değişmez hızda 2 mm (Manolopoulou ve ark., 2010) çapındaki silindirik uç hazırlanan biber parçalarına 2 mm batırılmış ve elde edilen maksimum kuvvet Newton (N) cinsinden verilmiştir.

Suda çözünebilir kuru madde miktarı (SÇKM): SÇKM ölçümleri için biberlerin suyu katı meyve sıkacağı yardımıyla çıkartıldıktan sonra dijital

refraktometre (Atago Pocket PAL-1) ile ölçülmüş ve sonuçlar $\%$ olarak verilmiştir.

Titre edilebilir asitlik (TEA) miktarı: Katı meyve sıkacağı yardımıyla çıkartılan meyve suyundan 10 mL alınmış ve 0.1 N 'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile pH değeri 8.1 oluncaya kadar pH metre (Hanna) kullanılarak titre edilmiştir. Sonuçlar harcanan baz (sodyum hidroksit) üzerinden (sitrik asit cinsinden) hesaplanmış ve $\text{g } 100\text{ mL}^{-1}$ olarak verilmiştir (Sakaldaş, 2012).

Solunum hızı: Depolama boyunca belirtilen aralıklarla depodan çıkarılan biberler 3 L hacmindeki gaz sızdırmaz cam kavanozlara yaklaşık $500\pm 50\text{ g}$ olacak şekilde tartılarak ağzı sıkıca kapatılmıştır. Meyveler oda koşullarında ($20\pm 1^{\circ}\text{C}$) $1-1.5\text{ s}$ bekletilmiş (Lim ve ark., 2009) ve bu süre sonunda kavanozlardan gaz kaçırmaz plastik şırınga ile $15-20\text{ mL}$ hava alınarak doğrudan gaz kromatografisine (Agilent GC-6890N) enjekte edilmiştir. Solunum hızı aşağıdaki formüle göre hesaplanmış ve $\text{mLCO}_2\text{ kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ olarak verilmiştir.

$$\text{Solunum hızı} = [(\text{CO}_2 \text{ üretilen} + \text{CO}_2 \text{ absorblanan}) / (s \times M)]$$

Modifiye atmosfer poşet içi gaz bileşimi: Poşet içi gaz bileşimleri, infared gaz analizörü (Systec Instrument Gaspac) ile her analiz döneminde depodan çıkarılan MAP'larda yapılmıştır. Cihazın iğneli ucu poşet içerisine sokularak poşet içindeki CO_2 ve O_2 değerleri $\%$ olarak belirlenmiştir.

Duyusal değerlendirmeler: Meyvelerin duyuşal değerlendirilmesinde tat için 1-5 skalası (1 = çok kötü; 2 = kötü; 3 = orta; 4 = iyi; 5 = çok iyi) kullanılmıştır. Değerlendirme flüoresan ışık altında ve kokusuz bir ortamda 7 kişilik panelist grubu tarafından yapılmıştır (Erbaş ve Koyuncu, 2016).

İstatistik analiz

Deneme, faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemeden elde edilen veriler JMP7 paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş her analiz dönemi ve her depolama uygulamaları ortalamaları arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testine ($P < 0.05$) göre belirlenmiştir.

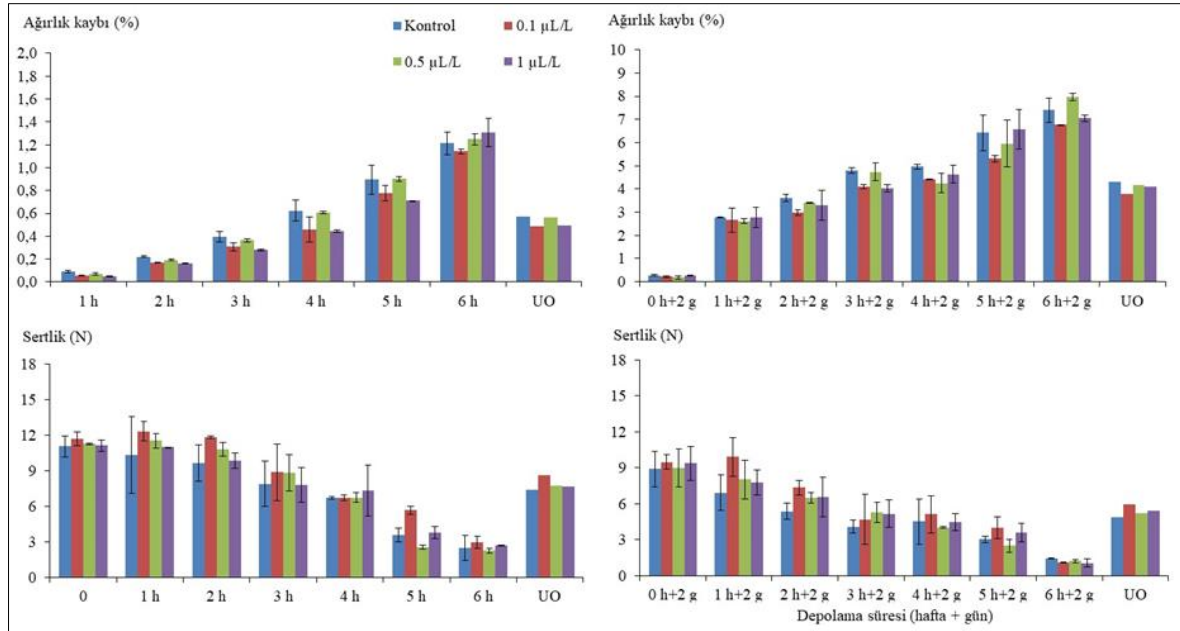
Bulgular ve Tartışma

Ağırlık kaybı

Ağırlık kaybı soğukta depolama boyunca düzenli olarak artmış ve altıncı haftanın sonunda $\% 1.14$ ($0.1\ \mu\text{L L}^{-1}$) ile $\% 1.30$ ($1\ \mu\text{L L}^{-1}$) arasında değişmiştir (Şekil 1).

Ağırlık kaybının bu denli az olması MAP'ın su buharı geçirgenliğini sınırlandırmasından kaynaklanmıştır. Nitekim Poudel ve ark. (2021) MAP içerisinde depolanan biberlerde ağırlık kaybının kontrole göre önemli düzeyde az olduğunu, hatta gözenek sayısı ve büyüklüğünün su kaybı hızını etkilediğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada, depolamanın ilk dört haftasında kapsaisin uygulanmış biberlerde, ağırlık kaybı kontrol grubuna kıyasla daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir ($P < 0.05$). Son iki haftada ise yüksek dozlarda ($0.5-1 \mu\text{L L}^{-1}$) ağırlık kaybı kontrol örnekleriyle benzer düzeylerde ya da kısmen yüksek olmuştur. Bu bulgu $0.5 \mu\text{L L}^{-1}$ uygulamalarının zamanla biberde su kaybını hızlandıracak düzeyde kabuk yapısını etkileyebileceğini akla getirmektedir (Şekil 1). Ortalama verilere göre, kontrol örneklerinde az da olsa ağırlık kaybının yüksek olması kapsaisinin

solunumu kısmen baskılamasıyla (Şekil 4) ilişkilendirilebilir. Ağırlık kaybında benzer değişim raf ömrü sürecinde de gözlenmiştir. Ancak oda koşullarında hem ortam koşullarına ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\% 60 \pm 5$) hem de örneklerin açıkta bekletilmesine bağlı olarak ağırlık kayıpları önemli düzeyde artmıştır. Depolamanın beşinci haftasında tüm uygulamalarda ağırlık kaybı $\% 5$ 'i geçmiş ve muhafaza sonunda $\%6.77$ ($0.1 \mu\text{L L}^{-1}$) ile $\%7.96$ ($0.5 \mu\text{L L}^{-1}$) arasında değişmiştir (Şekil 1). Örneklerin açıkta bekletilmesi yanında, ortam sıcaklığının yüksek olması hem doğrudan ürün-ortam arasındaki su buharı basıncı farkını artırarak hem de solunumu hızlandırarak (Şekil 4) ağırlık kaybı artışını hızlandırmıştır. Benzer şekilde Kumar ve ark. (2021) oda koşullarında depolanan biberlerde, ağırlık kaybının soğuktakilere kıyasla üç kattan fazla olduğunu rapor etmişlerdir.



Şekil 1. Depolama boyunca biberlerde meydana gelen ağırlık kayıpları (%) ve sertlik (N) değişimleri

Meyve sertliği

Biberlerde meyve sertliği tüketici tercihini etkileyen en önemli kalite kriterlerinden birisidir (Maurya ve ark. 2020). Çalışmamızda meyve sertliği uzayan depolama süresine paralel olarak tüm uygulamalarda düzenli olarak azalmıştır. Başlangıçta 11.27 N olan ortalama sertlik değeri, depolama sonunda 2.60 N olarak ölçülmüştür. Her ne kadar uygulamaların etkisi istatistik olarak önemsiz (Tablo 1) olsa da, kapsaisin uygulamalarının tümünde meyve sertliği, depolama boyunca kontrol örneklerine göre kısmen yüksek bulunmuştur. Ortalama değerlere göre en sert biberler (8.58 N) 0.1

$\mu\text{L L}^{-1}$ uygulamasından elde edilirken, bunu sırasıyla $0.5 \mu\text{L L}^{-1}$ (7.70 N), $1 \mu\text{L L}^{-1}$ (7.65 N) ve kontrol örnekleri (7.38 N) takip etmiştir (Şekil 1). Biberlerde selüloz, pektin, metil esteraz, poligalakturonaz ve β -galaktosidaz gibi enzimlerin meyve yumuşamasında rol aldığı bilinmektedir (Poudel ve ark., 2021). Kapsaisinin hem bu enzimlerin aktivitelerini hem de solunum hızını yavaşlatarak (Şekil 4) biberlerin daha sert kalmalarına neden olduğu farz edilmektedir. Keza kapsaisinoidlerin bahçe ürünlerinde bazı enzim aktivitelerini etkilediği rapor edilmiştir (Crombie, 1999). Ayrıca antimikrobiyal özelliği yüksek olan kapsaisinin, meyvelerde mikrobiyal

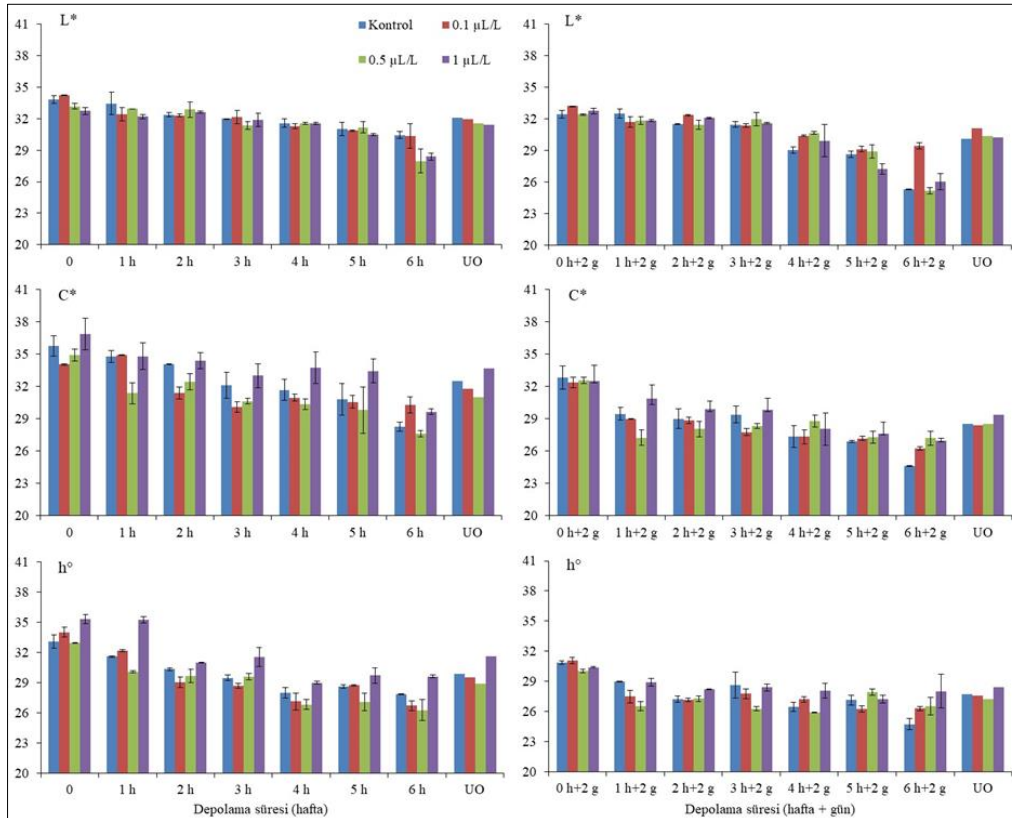
yükü düşürerek de meyve sertliğinin korunmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Beklendiği gibi oda koşulları biberlerde yumuşamayı hızlandırmış ve depolama sonunda meyve sertliği 1 N seviyesine kadar düşmüştür.

Depolamanın ilk dört haftasında kapsaisin uygulamaları meyve sertliğini kısmen korusa da, bu aşamadan sonra kapsaisinin sertlik üzerine etkisi ortadan kalkmıştır. Bunda enzim faaliyetlerini doğrudan etkileyen yüksek ortam sıcaklığının etkili olduğu düşünülmektedir.

Kabuk rengi

Biberlerde kabuk rengi pazarlama sırasında, tüketici beğenisini doğrudan etkileyen başlıca görsel kalite parametrelerinden birisidir (Pekşen ve ark., 2023). Dolayısıyla depolama sırasında renk değişimini yavaşlatan uygulamalar biber muhafazası için önemlidir. Çalışmamızda L^* , C^* ve h° renk değerleri üzerine kapsaisin uygulamalarının etkisi istatistik olarak önemli çıksa da ($P < 0.05$), renkteki bu değişim anlamlı bulunmamıştır. Her üç renk parametresi soğukta depolama ve raf ömrü çalışmalarında

muhafaza sonunda başlangıç değerlerine kıyasla azalmıştır (Şekil 2). Benzer şekilde Pekşen ve ark. (2023) L^* değerinin, Sharma ve ark. (2018) h° açısı değerinin biberlerde depolama süresince azaldığını kaydetmişlerdir. Çalışmamızda oda koşullarında yüksek sıcaklığın etkisi ile renk değerlerindeki değişim daha hızlı olmuştur. Soğukta depolama sonunda en yüksek ortalama L^* değeri (32.10) kontrol örneklerinde bulunurken, C^* ve h° değerleri $1 \mu\text{L L}^{-1}$ uygulamasından (sırasıyla 33.70 ve 31.63) elde edilmiştir. Görüldüğü gibi biberlerde uygulamaların kontrole kıyasla renk üzerine anlamlı sayılabilecek bir etkisi saptanamamıştır. Ancak L^* değerinin kontrol örneklerinde kısmen yüksek çıkması yaşlanmaya bağlı olarak hakim kırmızı rengin açılmasıyla açıklanabilir. C^* değeri uygulama yapılan biberlerde oda koşullarında son haftalarda (5. ve 6. hafta) kontrole göre daha yüksek olmuştur. Bu farklılığın soğukta depolamada görülmemesi ortam koşullarının tüm uygulamalarda renk değişimini yavaşlatmasıyla açıklanabilir.



Şekil 2. Depolama boyunca biberlerde meydana gelen renk değerleri (L^* , C^* ve h°) değişimleri

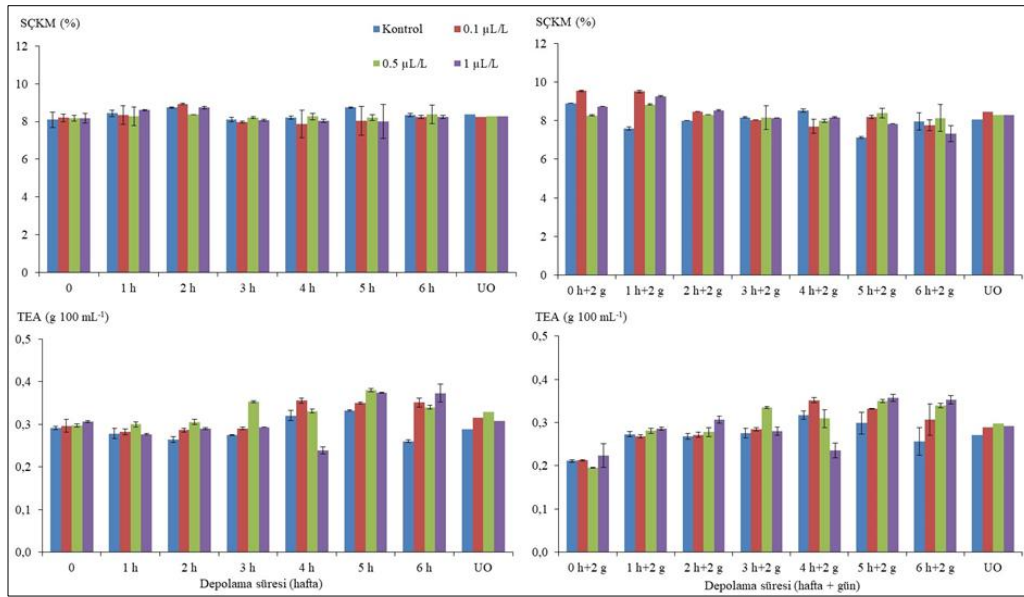
Suda çözünebilir kuru madde miktarı

SÇKM miktarı bahçe ürünlerinde büyük oranda suda çözünen şekerlerden oluşmaktadır. Meyvelerde

metabolik aktivitenin önemli bir göstergesi olan solunum hızı ile su kaybının, oransal olarak SÇKM değeri üzerine etkili olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada soğukta depolama boyunca dalgalanmalar olmakla beraber depolama sonunda tüm uygulamalarda SÇKM değerleri kısmen yükselmiştir. Ancak raf ömrü sürecinde depolama sonunda bu değerler azalmıştır. Soğukta muhafaza sırasında başlangıçta ortalama %8.16 olan SÇKM değeri altıncı hafta sonunda % 8.29 olmuştur. Oda koşullarında ise bu değer depolama sonunda % 7.80 olarak saptanmıştır (Şekil 3). Benzer şekilde Lwin ve ark. (2022) oda koşullarında depoladıkları biberlerde SÇKM miktarının depolama sonunda azaldığını bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada soğukta depolama sırasında SÇKM miktarı artarken, raf ömrü

sürecinde azalması, yüksek sıcaklığa bağlı olarak artan solunumla karbonhidratların daha fazla tüketilmesi ile ilişkilendirilebilir. Klimakterik ürünlerin aksine biber ve benzeri klimakterik olmayan türlerde, derim sonrası net bir SÇKM birikimi görülmemektedir. Bu türlerde derim sonrası SÇKM değişimi su kaybı ve solunum hızına göre yüzde olarak değişiklik göstermektedir. Diğer taraftan Pekşen ve ark. (2023) ve Yeboah ve ark. (2023), bulgularımızı destekler nitelikte soğukta depolama sırasında biberlerde SÇKM miktarlarının oransal olarak arttığını saptamışlardır.



Şekil 3 Depolama boyunca biberlerde meydana gelen SÇKM (%) ve TEA (g 100 mL⁻¹) değerleri

Titre edilebilir asitlik miktarı

Depolama sonunda hem soğukta muhafaza hem de oda koşullarında biberlerde başlangıç değerlerine göre TEA miktarları artmıştır. Bu değişim istatistik olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur (Tablo 1). Soğuk odada depolamanın ilk iki-üç haftasında kısmen azalan asitlik değerleri geri kalan sürede artış göstermiştir. Oda koşullarında ise genel olarak düzenli bir artış olmuştur (Şekil 3). Biberlerde depolama boyunca asitlik değişiminde farklı çalışmalarda değişik sonuçlar elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda depolama süresince azalış olduğu kaydedilirken (Poudel ve ark., 2021; Şimşek, 2022), kimi araştırmalarda (Kumar ve ark., 2021; Pekşen ve ark., 2023) bulgularımızda olduğu gibi artış saptanmıştır. Diğer taraftan Kaynaş ve Özelkök (2018) ile Barbosa ve ark. (2020) biberlerde muhafaza sırasında TEA miktarının depolamanın ilk dönemlerinde arttığını ve daha sonra azaldığını

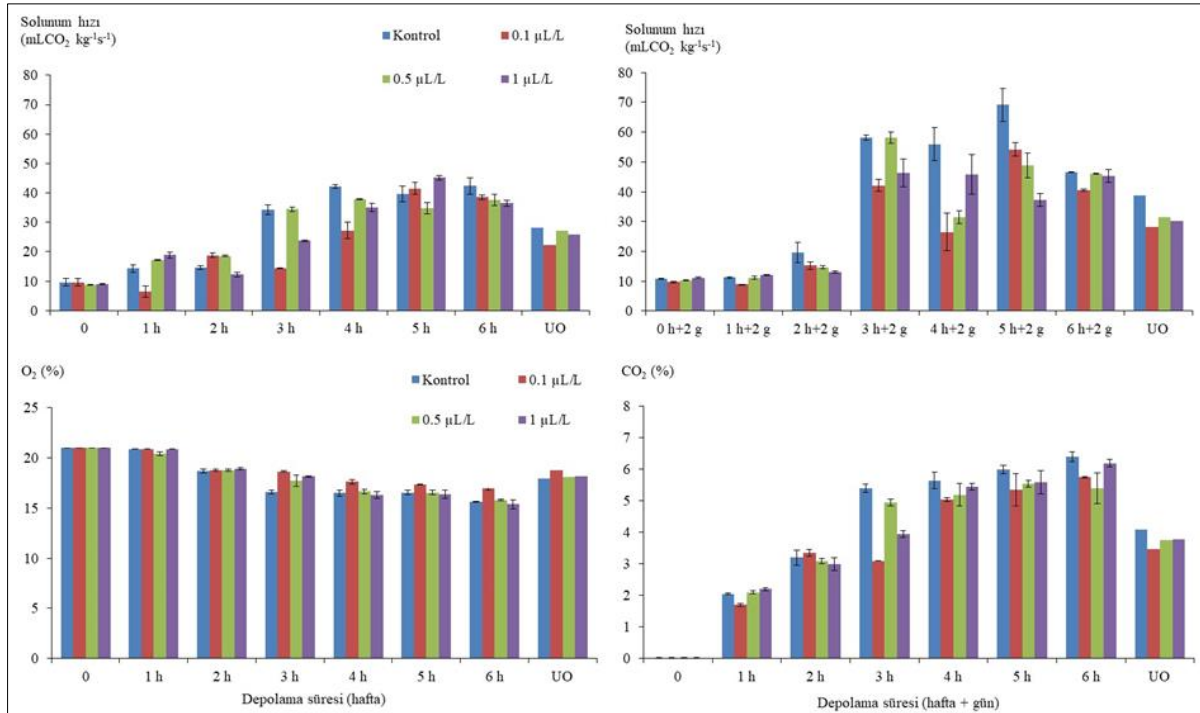
belirtmişlerdir. Bu farklılıklar depolanan biber çeşitleri, uygulamalardaki değişkenlikler ve depolama koşullarındaki çeşitlilikten kaynaklanmış olabilir. Kumar ve ark. (2021) ise hem soğukta hem de oda koşullarında depolama boyunca asitlik artışını solunum ve enzim aktivitesinin yavaşlamasıyla ilişkilendirmişlerdir. Keza çalışmamızda oda koşullarında ortalama asitlik değerlerinin kısmen düşük olması, organik asitlerin artan solunumda (Şekil 4) daha fazla tüketilmesi gerçeği ile uyumludur. Benzer şekilde her iki ortamda da depolama sonunda kontrol örneklerine göre kapsaisin uygulanmış biberlerde asitliğin yüksek kalması (Şekil 3), kapsaisinin solunumu baskılanmasıyla açıklanabilir.

Solunum hızı

Meyvelerde solunum bazı spesifik enzimlerin görev aldığı bir dizi oksidasyon reaksiyonlarını içermekte olup, metabolik aktivitenin en belirgin göstergesidir.

Solunum hızını yavaşlatan uygulamalar, bahçe ürünlerinde derim sonrası kayıpları geciktirerek depolama ömrünü uzatır. Denememizde kapsaisin uygulamaları soğukta depolama sırasında biberlerin solunum hızını ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) kontrol örneklerine göre önemli derecede ($P < 0.05$) azaltmıştır. Tüm uygulamalarda depolama boyunca solunum hızları artmış, ancak özellikle $0.1 \mu\text{L L}^{-1}$ uygulaması başta olmak üzere kapsaisin uygulanmış biberlerde artış daha az olmuştur. En düşük ortalama solunum hızı değeri $22.35 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ile $0.1 \mu\text{L L}^{-1}$ uygulamasından elde edilirken, bunu sırasıyla $1 \mu\text{L L}^{-1}$ ($25.80 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), $0.5 \mu\text{L L}^{-1}$ ($27.05 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) ve kontrol grubu izlemiştir ($28.16 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) (Şekil 4). Kapsaisin uygulamasının başta solunum enzimleri olmak üzere biberlerde antioksidan maddelerin sentezini ve olgunlaşmada görev alan enzimlerin aktivitelerini etkileyerek solunum hızını azalttığı düşünülmektedir. Ayrıca güçlü bir antimikrobiyal ajan olan kapsaisinin meyvedeki mikrobiyal yükü düşürerek solunumu baskılamış

olabileceği düşünülmektedir. Nitekim Şimsek (2022), kapy biberlerinde benzer özellik gösteren ozon uygulamalarıyla depolama boyunca solunum hızının baskılandığını saptamıştır. Benzer şekilde Chen ve ark. (2016), ozon ve benzeri uygulamaların POD, SOD ve PAL aktivitelerini artırarak ve PPO aktivitesini inhibe ederek biberlerde antioksidan savunma sisteminin etkinliğini artırdığını ve böylece solunum hızını baskıladığını bildirmişlerdir. Raf ömrü sürecinde solunum hızında benzer eğilim gözlemlenmiş ve beklendiği gibi daha yüksek değerler elde edilmiştir. Oda koşullarında başlangıçta ortalama $10.47 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ olarak ölçülen solunum hızı, depolama sonunda 40.53 ($0.1 \mu\text{L L}^{-1}$) - $46.59 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Kontrol) arasında değişmiştir. Raf ömrü sürecinde artan ortam sıcaklığı solunum hızının yükselmesine sebep olmuştur. Önceki yıllarda biberlerde yürütülen muhafaza çalışmasında da benzer eğilim görülmüştür (Şimsek, 2022).



Şekil 4 Depolama boyunca biberlerde meydana gelen solunum hızı ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) ve MAP içi gaz (% O_2 ve CO_2) bileşimi değişimleri

Modifiye atmosfer poşet içi gaz bileşimi

Ambalajın gaz geçirgenliği, ürünün ağırlığı ve solunum hızı, ambalajdaki O_2 ve CO_2 konsantrasyonunu etkilemekte olup, bu değerler ürünün solunum hızını yansıtmaktadır. Bu çalışmada ambalaj malzemesi ve poşetteki biber ağırlığının tüm

uygulamalarda aynı olması nedeniyle poşetlerin O_2 ve CO_2 kompozisyonu sadece biberlerin solunum hızına bağlı olarak değişmiştir. Beklenildiği gibi muhafaza boyunca O_2 oranları azalırken, CO_2 oranlarında artışlar saptanmıştır. Başlangıçta % 21.00 olan O_2 konsantrasyonu depolamanın son gününde % 15.40 ile 17.00 arasında değişmiştir.

CO₂ oranları tüm uygulamalarda depolama boyunca artarak altıncı hafta sonunda kontrol örneklerinde % 6.40' a kadar ulaşmıştır. Bu değer kapsaisin uygulanmış biberlerde depolama sonunda % 5.40 (0.5 µL L⁻¹) ile % 6.20 (1 µL L⁻¹) arasında değişmiştir (Şekil 4). Önceki yıllarda biberlerle yürütülen çalışmalarda elde edilen poşet içi gaz bileşimi çalışma bulgularımızla uyum içerisinde olup, O₂ konsantrasyonu azalırken CO₂ konsantrasyonu artmıştır (Chitravathi ve ark., 2015; Sharma ve ark., 2018; Maurya ve ark., 2020; Frans ve ark., 2021). Mevcut çalışmada ortalama en yüksek O₂ (% 18.76) ve en düşük CO₂ (% 3.48) değeri 0.1 µL L⁻¹ uygulamasında saptanmıştır (Şekil 4). 0.1 µL L⁻¹ uygulamasından elde edilen bu sonuçlar solunum hızının bu uygulamada istatistik olarak ($P < 0.05$) daha düşük olduğunu doğrulamaktadır. Keza poşet içi gaz bileşimi, ürünlerin metabolik aktivitesi dolayısıyla solunum hızı hakkında bilgi veren önemli

bir kriterdir. Solunum hızı bölümünde bahsedildiği gibi, kapsaisin uygulamaları kontrole kıyasla biberlerin solunum hızını baskılamış ve böylece torbaların O₂ ve CO₂ konsantrasyonlarını değiştirerek biberlerin olgunlaşma süreçlerini ve yaşlanmasını geciktirmiştir.

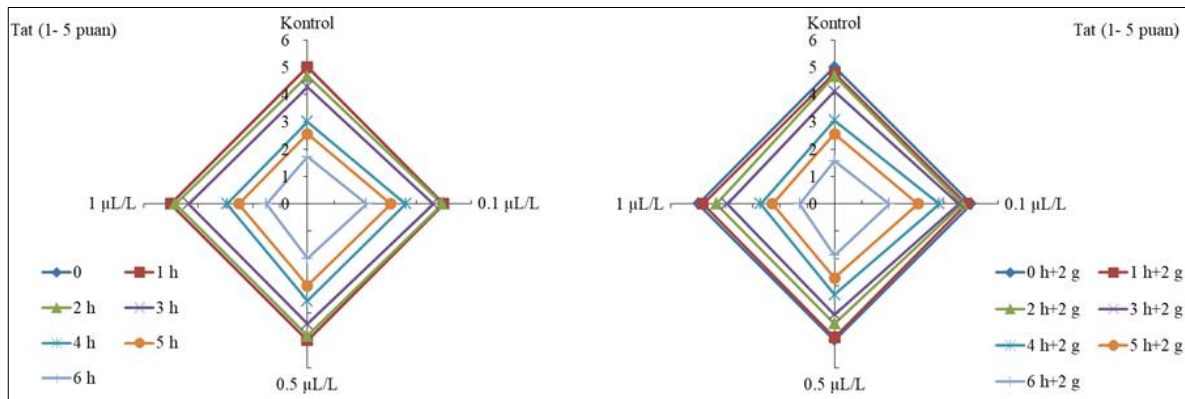
Duyusal kalite özelliği

Duyusal kalite özellikleri tüketicinin ürünü alırken tercihini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Tüketici görsellikle tat ve lezzet arasında bir ilişki kurarak satın alma tercihine yön verir. Bahçe ürünlerinde uzayan depolama süresine bağlı olarak duyusal kalite parametrelerini olumsuz etkilediği bilinmektedir (Echeverria ve ark., 2008). Bu çalışmada da uzayan muhafaza süresine paralel olarak hem soğukta hem de oda koşullarında tat puanları azalmıştır. Bu azalışlar istatistik olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. İncelenen kalite parametreleri üzerine uygulamaların, depolama süresinin ve uygulama × depolama süresi interaksiyonunun önemlilik (P) değerleri

P değerleri	Soğukta muhafaza			Raf ömrü		
	DS	U	DS × U	DS	U	DS × U
Ağırlık kaybı	<.0001	0.0289	0.8128	<.0001	0.0978	0.9324
Meyve sertliği	<.0001	0.2159	0.9987	<.0001	0.2415	0.9965
Meyve kabuk rengi						
L*	<.0001	0.0657	0.0224	<.0001	0.1094	0.0065
C*	<.0001	<.0001	0.1105	<.0001	<.0001	0.0039
h°	<.0001	<.0001	0.0593	<.0001	<.0001	0.0086
SÇKM	0.2151	0.8692	0.9982	<.0001	0.0228	<.0001
TEA	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001
Solunum hızı	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0083	0.1662
MAP içi gaz bileşimi						
O ₂ konsantrasyonu	<.0001	<.0001	0.0267	-	-	-
CO ₂ konsantrasyonu	<.0001	0.0013	0.0133	-	-	-
Tat	<.0001	<.0001	0.2431	<.0001	<.0001	0.0797

DS: Depolama süresi, U: Uygulamalar, C*: Kroma, h°: Hue açısı değeri



Şekil 5. Depolama boyunca biberlerde meydana gelen tat değeri değişimleri

Ancak 0.1 ve 0.5 µL L⁻¹ kapsaisin uygulanmış örneklerde duyusal kalite kayıpları daha yavaş olmuştur. 1 µL L⁻¹ kapsaisin uygulaması biberlerde tadı olumsuz etkilemiştir. Çok düşük dozlarda bile

oldukça etkili olan kapsaisinin bu dozu, panelistler tarafından tat için yüksek bulunmuştur. Depolamanın beşinci haftasında sadece 0.1 ve 0.5 µL L⁻¹ kapsaisin uygulanmış biberler 3.00 ve üzeri

puanlar olarak panelistlerce orta kalite sınıfına dahil edilmiştir. Yüksek doz kapsaisin uygulanmış örnekler bu özelliklerini üçüncü, kontrol grubu ise dördüncü haftadan sonra yitirmiştir. 0.1 µL L⁻¹ kapsaisin her iki koşulda da depolama boyunca tat kalitesini en iyi koruyan uygulama olmuştur. Görüldüğü gibi solunumu en iyi baskılayan uygulama (0.1 µL L⁻¹) biberlerde tat kaybını da geciktirmiştir (Şekil 5). Benzer şekilde yüksek antimikrobiyal etkiye sahip ozon uygulamalarında, 1 ppm biberlerde depolama boyunca kontrole kıyasla tadı korurken (Şimşek, 2022), yüksek dozlar (7-9 ppm) tadı olumsuz yönde etkilemiştir (Alwi ve Ali, 2015).

Sonuç

Depolama boyunca ağırlık kaybı ile solunum hızını yavaşlatması, titre edilebilir asitlik ve duyu kaliteyi korunması bakımından kapsaisin uygulamaları kontrole kıyasla ümitvar sonuçlar vermiştir. Ancak kapsaisinin renk değerleri üzerine etkisi bu ölçüde belirgin olmamıştır. Genel olarak belirtilen kalite özellikler bakımından en iyi sonuç 0.1 µL L⁻¹ uygulamasından elde edilmiştir. Kapsaisinin uygun doz, uygulama süre ve şekli seçildiğinde biber ve benzeri ürünlerin depolanması sırasında kalite kayıplarının geciktirilmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir. 0.1 µL L⁻¹ kapsaisin uygulanmış Bellisa RZ F1 (35-508) kapyta biber çeşidinin, MAP içerisinde belirtilen koşullarda 28 gün soğukta depolanabileceği belirlenmiştir. İki günlük raf ömrü süreci dikkate alındığında soğukta depolama süresinin kısmen azalabileceği göz ardı edilmemelidir. Doz başta olmak üzere değişik uygulama süre ve metotları kullanılarak kapsaisin ile yürütülecek muhafaza çalışmalarından ümitvar sonuçlar alınabileceği kanaatindeyiz.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların katkı beyanı

DE ve MAK araştırmanın bütün aşamalarına eşit katkıda bulunmuştur.

Kaynaklar

Altıkardeş, E., Koyuncu, M. A., & Erbaş, D. (2018). Hıyarlarda salisilik asit uygulaması ile depolama süresinin uzatılması ve kalite kayıplarının azaltılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(2), 143-150. <http://dx.doi.org/10.29278/azd.476188>

Alwi, N. A., & Ali, A. (2015). Dose-dependent effect of ozone fumigation on physiological characteristics,

ascorbic acid content and disease development on bell pepper (*Capsicum annuum* L.) during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 558-566. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1419-2>

Arabacı, Ç. (2015). *Kapsaisinin biberde (Capsicum annuum L.) çimlenme, çıkış ve bitki gelişimine etkisi*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Tekirdağ.

Arın, L. (2018). Kapsaisin ve tarımda kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(4), 21-27. <https://doi.org/10.21597/jist.409273>

Aza-González, C., Núñez-Palenius, H. G., & Ochoa-Alejo, N. (2011). Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Cell Reports*, 30, 695-706. <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0968-8>

Barbosa, C., Machado, T. B., Alves, M. R., & Oliveira, M. B. P. (2020). Fresh-cut bell peppers in modified atmosphere packaging: Improving shelf life to answer food security concerns. *Molecules*, 25(10), 2323. <https://doi.org/10.3390/molecules25102323>

Bozkurt, S. B. (2019). *Kapyta tipi biber (Capsicum annuum L. cv. Kapyta) yetiştiriciliğinde kullanılan organik gübrelerin bitki gelişimi ve meyve kalitesi üzerine etkileri*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Bursa.

Cerit, İ. (2015). *Kırmızı biberin (Capsicum annuum L.) fonksiyonel ve mikrobiyal özellikleri üzerine modifiye atmosferde paketlenmenin etkisi*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

Chen, J., Hu, Y., Wang, J., Hu, H., & Cui, H. (2016). Combined effect of ozone treatment and modified atmosphere packaging on antioxidant defense system of fresh-cut green peppers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 1145-1150. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12695>

Chitravathi, K., Chauhan, O. P., & Raju, P. S. (2015). Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.). *Food Packaging and Shelf Life*, 4, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.02.001>

Crombie, L. (1999). Natural product chemistry and its part in the defence against insects and fungi in

- agriculture. *Pesticide Science*, 55(8), 761-774. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199908\)55:8<761::AID-PS26>3.0.CO;2-Zopen_in_newISSN](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199908)55:8<761::AID-PS26>3.0.CO;2-Zopen_in_newISSN)
- da Silva Dias, J. C. (2022). Nutritional quality and health benefits of vegetables. *Emerging Trends in Disease and Health Research*, 4, 7-35. <https://doi.org/10.9734/bpi/etdhr/v4/15660D>
- Díaz, J., Pomar, F., Bernal, A., & Merino, F. (2004). Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry Reviews*, 3, 141-157. <https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047801.41574.6e>
- Echeverría, G., Graell, J., Lara, I., & López, M. L. (2008). Physicochemical measurements in 'Mondial Gala®' apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability. *Postharvest Biology and Technology*, 50(2-3), 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.05.002>
- Erbaş, D., & Koyuncu, M. A. (2016). 1-metilsiklopropen uygulamasının Angeleno erik çeşidinin depolanma süresi ve kalitesi üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53(1), 43-50. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/en/pub/zfdergi/issue/17213/179871>
- Erdoğan, A. Ö. (2015). *Kapya biberinde bazı hasat sonrası uygulamaların depolama kalitesine etkileri*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Estrada, B., Bernal, M. A., Díaz, J., Pomar, F., & Merino, F. (2002). Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annuum* L. in relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1188-1191. <https://doi.org/10.1021/jf011270j>
- Fallik, E., Grinberg, S., Alkalai, S., Yekutieli, O., Wiseblum, A., Regev, R., Beres, H., & Bar-Lev, E. (1999). A unique rapid hot water treatment to improve storage quality of sweet pepper. *Postharvest Biology and Technology*, 15(1), 25-32. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00066-0)
- FAO, (2024, Şubat). Food and agriculture organization corporate statistical database. Erişim adresi <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Frans, M., Aerts, R., Ceusters, N., Luca, S., & Ceusters, J. (2021). Possibilities of modified atmosphere packaging to prevent the occurrence of internal fruit rot in bell pepper fruit (*Capsicum annuum*) caused by *Fusarium* spp. *Postharvest Biology and Technology*, 178, 111545. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111545>
- Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002>
- Kaynaş, K. & Özelkök, İ. S. (2018). Kandil dolma biber çeşidinin modifiye ve kontrollü atmosfer koşullarında depolanma olanağı. *Meyve Bilimi*, 5(2), 49-56. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/en/pub/meyve/issue/42420/478630>
- Kraikruan, W., Sangchote, S., & Sukprakarn, S. (2008). Effect of capsaicin on germination of *Colletotrichum capsici* conidia. *Agriculture and Natural Resources*, 42(3), 417-422. Erişim adresi <https://www.thaiscience.info/journals/Article/TKJN/10471600.pdf>
- Kumar, N., Ojha, A., Upadhyay, A., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Effect of active chitosan-pullulan composite edible coating enrich with pomegranate peel extract on the storage quality of green bell pepper. *LWT - Food Science and Technology*, 138, 110435. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110435>
- Lim, C. S., Kang, S. M., Cho, J. L., & Gross, K. C. (2009). Antioxidizing enzyme activities in chilling-sensitive and chilling-tolerant pepper fruit as affected by stage of ripeness and storage temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(1), 156-163. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.1.156>
- Luo, X. J., Peng, J., & Li, Y. J. (2011). Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. *European Journal of Pharmacology*, 650(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2010.09.074>
- Lwin, H. P., Lee, J., & Lee, J. (2022). Perforated modified atmosphere packaging differentially affects the fruit quality attributes and targeted major metabolites in bell pepper cultivars stored at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, 301, 111131. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111131>

- Maalekuu, K., Elkind, Y., Leikin-Frenkel, A., Lurie, S., & loss, lipid content, membrane integrity and LOX activity in ripe pepper fruit after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 42(3), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.06.012>
- Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering*, 106(4), 535-543. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.003>
- Mari, M., Neri, F., & Bertolini, P. (2007). Novel approaches to prevent and control postharvest diseases of fruits. *Stewart Postharvest Review*, 3(6), 1-7. <https://doi.org/10.2212/spr.2007.6.4>
- Maurya, V. K., Ranjan, V., Gothandam, K. M., & Pareek, S. (2020). Exogenous gibberellic acid treatment extends green chili shelf life and maintain quality under modified atmosphere packaging. *Scientia Horticulturae*, 269, 108934. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108934>
- Mortensen, J. M., & Mortensen, J. E. (2009). The power of capsaicin. *Journal of Continuing Education*, 11(1), 8-13. Erişim adresi <https://jonathanmortensen.com/publications/Capsaicin.pdf#page=10>
- Muchena, J. K. (2009). *Studies of capsaicinoids contents of locally grown and commercial chilles using reversed-phase high performance liquid chromatography*. (Master thesis). East Tennessee State University, ABD.
- Peksen, A., Ates, U., Ic, S., & Ozturk, B. (2023). Impact of biodegradable mulches on qualitative characteristics and bioactive compounds of capia pepper (*Capsicum annum* L.) under cold storage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3), 4412-4425. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01359-4>
- Poudel, S., Gautam, I. P., Ghimire, D., Pandey, S., Dhakal, M., & Regmi, R. (2021). Modified atmosphere packaging of capsicum for extending shelf life under coolbot condition. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(1), 120-129. <https://orcid.org/0000-0002-4003-1333>
- Rahman, M. J., & Inden, H. (2012). Effect of nutrient solution and temperature on capsaicin content and yield contributing characteristics in six sweet pepper (*Capsicum annum* L.) cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 524-529. Erişim adresi <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123099109>
- Rijk Zwaan, Sebze Tohumları, Tatlı Biber. (2024, 19 Şubat). Erişim adresi: <https://www.rijkszwaan.com.tr/sebze-tohumlar%C4%B1/tatl%C4%B1-biber/bellisa-rz-f1-35-508-prdCA10874-ctgCrops.sweet-pepper>
- Rodov, V., Ben-Yehoshua, S., Fierman, T., & Fang, D. (1995). Modified-humidity packaging reduces decay of harvested red bell pepper fruit. *HortScience*, 30(2), 299-302. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.2.299>
- Sakaldaş, M. (2012). *Çanakkale yöresinde yetiştirilen California biber tipinde farklı hasat sonrası uygulamaların kaliteye etkileri*. (Yayımlanmamış doktora tezi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Çanakkale.
- Sharma, K. D., Cardona, J. A., Sibomana, M. S., Herrera, N. G. S., Nampeera, E., & Fallik, E. (2018). Quality attributes of modified atmosphere packaged bell pepper (*Capsicum annum* L.) during storage. *Journal of Nutrition, Food Research and Technology*, 1(2), 56-62. <https://orcid.org/10.30881/jnfrt.00012>
- Surh, Y. J. (2002). More than spice: capsaicin in hot chili peppers makes tumor cells commit suicide. *Journal of the National Cancer Institute*, 94(17), 1263-1265. <https://doi.org/10.1093/jnci/94.17.1263>
- Şimşek, Y., 2022. *Ozon uygulamasının Kaptan kırmızı biber (Capsicum annum) çeşidinde depolama boyunca kalite değişimi üzerine etkileri*. (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- TUIK, (2024, Şubat). Türkiye istatistik kurumu, bitkisel üretim istatistikleri. Erişim adresi <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Yeboah, S., Hong, S. J., Park, Y., Choi, J. H., & Eum, H. L. (2023). Postharvest quality improvement of bell pepper (*Capsicum annum* L. cv. Nagano) with forced-air precooling and modified atmosphere packaging. *Foods*, 12(21), 3961. <https://doi.org/10.3390/foods12213961>