

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE GIDA İSRAFI YÖNÜNDEN HASAT SONRASI İŞLEMLER VE KOMBİNE UYGULAMALAR

Dila BEŞEN*, Asiye AKYILDIZ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Adana, Türkiye

Geliş / Received 26.03.2025; Kabul / Accepted: 09.07.2025; Online baskı / Published online: 24.07.2025

Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden hasat sonrası işlemler ve kombine uygulamalar. GIDA (2025) 50 (4) 585-605 doi: 10.15237/ gida.GD25047

Beşen, D., Akyıldız, A. (2025). Post-harvest processes and combined applications in terms of sustainability and food waste -Review. GIDA (2025) 50 (4) 585-605 doi: 10.15237/ gida.GD250247

ÖZ

Küresel ısınmaya bağlı olarak meyve ve sebzelerin üretiminde görülen sorunlar özellikle az gelişmiş ülkelerde gıdaya erişimi kısıtlamaktadır. Hasat sonrası kayıpların azaltılması ve raf ömrünün uzatılması için inovatif, verimli ve çevre dostu metotlar uygulanmalıdır. Bu literatür taramasında, hasat sonrası uygulanan geleneksel metotlar ile yenilebilir kaplama, modifiye atmosferde paketlenme (MAP), ısınlama, UV-C gibi inovatif yöntemlerin kombinasyonunun meyve ve sebzelerin kalite ve raf ömrü üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcak su+gama ısınlaması, MAP+UV-C, 1-Metilsiklopropenin (1-MCP)+UV-C, MAP+ısınlama, yenilebilir kaplama+MAP gibi kombine yöntemlerin tekil uygulamalardan daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu kombine yöntemlerin sinerjik etkisiyle ürün kalitesinin korunması, raf ömrünün uzatılması, ağırlık ve ürün kayıplarının azaltılması sağlanabilmektedir. Bu uygulamalar, gıda israfının, kıtlık riskinin ve tarımsal ürünlerden kaynaklanan karbon emisyonlarının azalmasını sağlayarak sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecektir.

Anahtar kelimeler: Hasat sonrası kayıplar ve engelleme yöntemleri, sürdürülebilirlik, MAP, aktif ve yenilebilir kaplamalar, gıda israfı, raf ömrü, karbon emisyonu

POST-HARVEST PROCESSES AND COMBINED APPLICATIONS IN TERMS OF SUSTAINABILITY AND FOOD WASTE

ABSTRACT

Problems in the production of fruits and vegetables due to global warming restrict access to food especially in underdeveloped countries. Innovative, efficient and environmentally-friendly methods should be applied to reduce post-harvest losses and extend shelf life. In this literature review, the effects of the combination of traditional and innovative post-harvest methods such as edible coating, modified atmosphere packaging (MAP), irradiation, UV-C application on the quality and shelf life of fruits and vegetables were examined. It was observed that combined methods such as hot water+gamma irradiation, MAP+UV-C, 1-Methylcyclopropene (1-MCP)+UV-C, MAP+irradiation, edible coating+MAP provide better results than single applications. With the synergistic effect of these combined methods, product quality can be preserved, shelf life can be extended, and product weight losses can be mitigated. These applications support sustainable development by reducing food waste, famine risk and carbon emissions originating from agricultural products.

Keywords: Post-harvest losses and prevention methods, sustainability, map, active and edible coatings, food waste, shelf life, carbon emission

*Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: dilabesen@hotmail.com

☎: +90 543 728 2000

Dila Beşen; ORCID no: 0009-0003-3992-477x

Asiye Akyıldız; ORCID no: 0000-0001-5584-0849

GİRİŞ

Günümüz dünya düzeninde nüfus artışı, artan gıda talebi, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yol açtığı kuraklık, bilinçsiz kaynak kullanımı ve gıda israfları, dengeli beslenmede önemli rolü olan tarımsal ürünler ile gıda güvenliğini tehdit etmektedir (Mahajan ve ark., 2024). Nüfus artış hızı ile ilgili yapılan çalışmalarda sürdürülebilir kalkınmanın yapı taşlarından olan sürdürülebilir tarımın, ekonomik büyüme, sürdürülebilirlik ve sosyal etki ile gıda güvenliğini sağlaması beklenmektedir (El-Ramady ve ark., 2015). Açlığa son verilmesi, sağlıklı ve kaliteli yaşam, sorumlu üretim ve tüketim gibi Birleşmiş Milletler (UN) Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına (SKA) ulaşmak için verimli kaynak kullanımı ve yenilikçi uygulamalar ile artan küresel gıda arzını karşılayacak iyileştirmeler gıda kayıplarını azaltarak tarımsal ürünlerin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır. Hasat sonrası (HS) kayıplar ve gıda israfı, ekonomik kayıpları ve negatif çevresel etkisi nedeniyle özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük endişe kaynağıdır (Ninama ve ark., 2024; Güneş ve ark., 2024).

Gıda krizinin giderek önem kazandığı son yıllarda global seviyede gıda ürünleri içerisinde meyve ve sebzelerin (MS), türe göre toplam üretim miktarının %28-55 arasında değişen HS kayıp ile en yüksek kayıplara neden olduğu ve kayıpların bazı türler için %60'a kadar çıkabildiği belirtilmiştir (Yahia ve ark., 2019; Opara ve ark., 2021; Ueda ve ark., 2022). HS işlemlerin yetersizliği nedeniyle meyve ve sebzelerin %25-40'ı tüketiciye henüz ulaşmadan gıda kaybı olarak kayıtlara geçmektedir (Gulati ve ark., 2024).

Küresel ısınmaya negatif etkisi olan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), hidroflorokarbonlar (HFC'ler), nitroksit (N₂O), perflorokarbonlar (PFC'ler) ve sülfürheksaflorit (SF₆) gibi sera gazlarının (GHG) salınımında tarımsal faaliyetlerin önemli etkisi bulunmakta ve karbon emisyonu yüksek faaliyetler olarak bilinmektedir (Sentürk ve ark., 2023; Seed ve ark., 2022). Tarımsal ürünlerin verimli kullanılması ve kayıplarının azaltılması bu etkiyi azaltacağından doğru, yeterli ve etkin HS uygulamalar ile ürün karbon ayak izinin azalması mümkün olacaktır.

MS'lerin tedarik zincirinde; hasat, elleçleme, depolama, paketleme ve taşıma gibi aşamalarda meydana gelen HS kayıplar ile gıda israfı, beraberinde önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıpların temel nedenleri arasında; enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, tat, renk, görünüm bozulmaları, büzüşme, mikrobiyolojik bozulmalar, kabuk sertleşmesi ve besin değeri kayıpları gibi fiziksel, biyolojik, kimyasal ve fizikokimyasal etmenler yer almakta olup, biyolojik faktörlerin en belirleyici etken olduğu bilinmektedir (Prusky, 2011; El-Ramady 2015; Singh ve Thakur, 2024).

Meyve ve sebzelerin içerikleri, fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri ile klimakterik özellik gösterip göstermediğine bağlı olarak seçilecek HS uygulamalardan en yüksek fayda sağlanması amaçlanmaktadır. Son yıllarda hızlanan çalışmalar ile raf ömrünü uzatmak, kaliteyi korumak, ağırlık kaybını azaltmak ve HS gıda güvenliğini sağlamak mümkün olmuştur (Tsurayya ve Kartika, 2015; Karoney ve ark., 2024). Geçmişten günümüze kaliteyi koruyarak raf ömrünü artırmak için olgunlaştırma, etilen, 1-MCP, putresin, kalsiyum ve doğal waks uygulamaları, kontrollü ve modifiye atmosfer, soğuk depolama, ısı işlem, ışınlama gibi uygulamalarla yenilebilir kaplama ve filmler, UV-C gibi yöntemler kullanılmaktadır (El-Ramady, 2015). Gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımın desteklenmesi için etilen gibi yaygın uygulamalar, gen modifikasyonu, fitohormonlar gibi yeni biyolojik araçların kullanımı, UV-C, yenilebilir kaplama, ışınlama, modifiye ve kontrollü atmosfer, 1-MCP uygulama gibi metotların kombine kullanılması ile ilgili çalışmalar ve uygulamalar yapılmaktadır (Asrey ve ark., 2023).

Literatür verileri, global raporlar incelenerek hazırlanan bu derleme makale, sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir tarım için meyve sebzelerde HS geleneksel ve inovatif metotlar ile bunların birlikte kullanıldığı uygulamaların literatür sonuçlarını sunmakta ve gıda israflarının minimize edilerek tarım kaynaklı karbon emisyonunun azaltılması için kombine metotların yaygınlaştırılmasında kaynak görevi görmektedir.

HASAT SONRASI İŞLEMLER

Ürünün hasat edildikten sonra tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen sürede uygulanan işlemler, HS işlemler olarak adlandırılmakta olup HS ve işleme olarak iki ana aşamadan oluşmaktadır (Mutiarawati, 2007; Kembaren ve Muchsin, 2021). HS işlemler ürünün tedarik zinciri aşamalarında süre kazanılmasını amaçlarken (Elizabeth ve Anugrah, 2020), işleme ürünün raf ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır (Zam ve ark., 2019; Imahori ve Bai, 2024).

Küresel olarak en çok atık oluşturulan ve israf edilen gıdaların önemli bir kısmını oluşturan meyve sebzeler için kayıpların büyük bölümü hasat sonrasında depolama ve lojistik aşamalarında oluşmaktadır (Chowdhury ve ark., 2025). Artan dünya nüfusu ve paralelinde artan kaynak tüketimi, değişen beslenme alışkanlıkları, olumsuz çevresel etkilerinin küresel ısınma, gıda kıtlığı ve açlık üzerindeki negatif etkisini azaltmak için eyleme geçmek ülkelerin öncelikleri arasında yer almakta, sürdürülebilir tarım ve sürdürülebilir üretim uygulamaları için verimlilik, tasarruf, kayıpların önlenmesi, dengeli beslenme ve yeni yöntemlerle ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Linehan ve ark., 2012; Ananno ve ark., 2021; Görgülü, 2025).

Tedarik zincirindeki teknolojik ilerleme ve dijitalleşme desteğiyle verimliliklerin artırılması, proses hatalarının azalması ve kayıpların azaltılması çalışmaları yapılırken her yıl üretilen gıdaların yaklaşık %30'u atık olarak kayıtlara geçmektedir. Bozulma potansiyeli yüksek gıda grubunda olan taze meyve sebzeler yaklaşık %42'lik oran ile en fazla israf edilen gıda grupları arasında yer almakta ve önlem alınmaması durumunda bu oranın artacağı düşünülmektedir (Porat ve ark., 2018; Sagar ve ark., 2018; Anand ve ark., 2022; Ganesh ve ark., 2022).

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere ülkelerin büyük çoğunluğunda atıkların tamamı geri kazandırılmadığından çevresel problemlere ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Masud ve ark., 2020; Ananno ve ark., 2021). Karbon emisyonuna neden olan gıda atıklarının 1 kg'ı, 2.5 kg CO₂ eşdeğeri karbon emisyonu oluşturmaktadır (Ray ve ark., 2025).

Artan ivme ile yükseleceği düşünülen gıda israfı ve atık miktarını azaltmak için HS verimsiz ve uygun olmayan depolamalara alternatif yöntemler, raf ömrünün uzatılması, bozulma etmenlerinin yönetimi, yapay zeka destekli uygulamaların, gelişmiş sensör uygulamalarının ve yenilikçi paketlenme seçeneklerinin meyve sebze tedarik zincirine entegrasyonu, gıda güvenliği, sürdürülebilir tarım, su ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi ile ilgili küresel sorunların çözümü için kritik önem taşımaktadır (Fadiji ve ark., 2021; Rahardjo ve ark., 2023; Aier ve ark., 2024; Gorgulu, 2025).

Meyve sebzelerde depolama sonrasında oluşan gıda israfını, ürünlerin kalitesini, gıda güvenliğini pozitif yönde etkileyen yeni teknikler ve birden fazla metodun birlikte kullanımının sinerjik etkisi ile kaynaklar verimli kullanılacak ve SKA'na uygun politikaların izlenmesi ile gelecek nesillerin gıda ihtiyacının karşılanabilmesi mümkün olacaktır.

Etilen Yönetimi ve 1-Metilsiklopropan (1-MCP)

Olgunlaşma, meyvelerin tüketime veya işlenmeye hazır hale gelmesi için yumuşama, renklenme, tatlanma ve aroma bileşiklerinin artışı şeklinde gelişen fizyolojik bir süreçtir; olgunlaşma ile solunum ve etilen üretim hızı artmaktadır (El-Ramady, 2015). Meyve sebzelerin olgunlaşma hızını artıran ve doğal olarak bulunan bir metabolizma ürünü olan etilenin yüksek düzeyde maruziyeti erken olgunlaşmaya ve raf ömrünün kısılmasına neden olmaktadır. Bilinen en eski uygulamalardan biri olan etilen yönetimi hasat öncesi koşullar, meyve türü, etilen konsantrasyonu ve maruz kalma süresi, deponun bağlı nemi (RH) ve sıcaklık gibi faktörlerle değişiklik göstermekte ve gıda güvenliğini korurken HS kayıpları azaltmada etkin rol oynamaktadır (Ebrahimi ve ark., 2022; Adegoroye, 2023). Etilen, klimakterik meyvelerde olgunlaşmaya katkı sağlarken, klimakterik olmayan meyve ve yeşil yapraklı sebzelerde yüksek etilen seviyeleri besin değerini ve fiziksel özellikleri negatif etkileyerek kalite kayıplarına neden olmaktadır (Paul ve Pandey, 2014; Asrey ve ark., 2023; Badamosi ve ark., 2024).

Klimakterik meyveler başta olmak üzere meyvelerin en önemli bozulma nedenlerinin başında fazla etilen uygulamasının sonucu olarak meydana gelen hızlı solunum ve etilen salınımına bağlı değişiklikler enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalar gelmektedir (Li YongXin ve ark., 2018; Li ve ark., 2019). Depolama sırasında kontrolsüz ya da yüksek etilen maruziyetine bağlı bozulmaları önlemek için klimakterik özellik gösteren ürünlerle göstermeyenler ayrı depolanmalı ve etilen seviyesi kontrol edilmelidir (Mope ve ark., 2024). Gen modifikasyonları, fitohormonlar, mikroorganizmalar, yenilebilir film ve kaplama ile biyofiltrasyon gibi biyolojik malzemelerin kullanımı, etilen yönetimi ve yüksek etilen maruziyetine bağlı olumsuzlukların

kontrolü için etkili uygulamalardır (Ito ve ark., 2015; Asrey ve ark., 2023). Bu teknolojik yöntemlerin yanında etilen biyosentezini bloke edici ajanlardan aminoetoksivinilglisin, amino-oksiasetik asit, 1-MCP, potasyum permanganat, titanyum dioksit, ozon, brasinosteroidler, salisilik asit, poliaminler, kontrollü ve modifiye atmosfer depolama teknolojileri de yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2015; Onik ve ark., 2021; Alonso-Salinas ve ark., 2024). Düşük konsantrasyonda yüksek etki gösteren, güçlü etilen inhibe edici ajan 1-MCP uygulaması ile ilgili çalışmalarda 1-MCP'nin ürünün raf ömrü ve kalitesine etkileri incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Meyve ve sebzelerde 1-MCP uygulamaları

Meyve/Sebze	Uygulama	Sonuç	Referans
Elma	0,6 µl L ⁻¹ 1-MCP	120 gün depolamada kalitenin korunması	DeEll ve ark., 2002
Erik	0,0, 0,5, 1,0, 2,0 µL L ⁻¹	Yumuşama oranında azalma Raf ömründe artma	Khan ve Singh, 2009
Kivi	1 mg/kg 1-MCP	Meyve çürümesinde azalma Yumuşama oranında azalma Raf ömründe artma	Park ve ark., 2015
Avokado	156.25, 312.5, 625 µg/kg %3.3 1-MCP	Kalitenin korunmasında (2 ay) En etkin doz: 625 µg/kg en yeterli doz: 312.5 µg/kg	Doğan ve ark., 2017
Mandalina	500, 1000, 1500 µg/kg 1-MCP	1500 µg/kg 1-MCP ile 60 güne kadar biyoaktif bileşiklerin korunması	Baswal ve ark., 2021
Kivi	0,5 µL L ⁻¹ 1-MCP	Olgunlaşmada yavaşlama Raf ömründe artma Kalitede iyileşme	Chai ve ark., 2021
Çarkıfelek	1.2 µL L ⁻¹ 1-MCP	Solunum hızında yavaşlama Olgunlaşma süresinde gecikme Kalitenin korunması	Yingwei ve ark., 2021
Armut	0,5, 1,0, 1,5 µL L ⁻¹ 1-MCP	Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe ve kalitede artış En etkin doz: 1,0 1-MCP	Wang ve ark., 2025

Fiziksel işlemler

Fiziksel işlemler meyve sebzelerin büyük kısmında HS kalitenin korunması ve raf ömrünün uzatılmasında güvenli, kimyasal kullanılmayan, kalıntı bırakmayan çevre dostu, etkili uygulamalardan biridir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla termal işlemler, gama ışınlama ve UV-

C uygulaması gibi farklı fiziksel uygulamalar veya biyolojik, kimyasal metotlar ile fiziksel metotların birlikte kullanılmasıyla oluşan sinerjik etkinin ürün kalitesi, raf ömrünün uzatılması ve israfların azalmasına olanak sağlayan uygulamaların bilinirliği artmıştır. 2000 yılından sonra yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde % 56.60 oran

ile en fazla sıcak su uygulaması ile ilgili çalışma yapılmış bunu ozon uygulaması (%20), ışınlama (%16.60) ve düşük sıcaklık uygulamaları (%6.60) takip etmiştir (Vinod ve ark., 2023). Son yıllarda, üründe kalıntı riski yaratmayan ve çevre dostu bir yöntem olan sıcak su uygulamasının, etilen üretimini baskıladığına dair çalışmalar mevcuttur. Meyve ve sebzelerde hasat sonrasında UV-C, ışınlama, ısıtma işlemi, ozon uygulaması, soğuk uygulama, ultrason ve cold plazma gibi fiziksel işlemler kullanılabilmekte; bu işlemlerle meyve sebzelerde kalitenin korunması, raf ömrünün uzatılması mümkün olmakta ve gıda kayıplarına doğrudan etki etmektedir (Fallik ve Ilić, 2021).

Termal işlemler

MS'lere HS uygulanan çevre dostu, kalıntı bırakmayan, ekonomik metot olan ısı uygulama, tek başına ya da diğer metotlarla kombine edilerek kaliteyi koruyup raf ömrünü uzatmaya katkı sağlamaktadır (Liu ve ark., 2012). Isıtma uygulamaları sıcak suya daldırma (SSD), buharlı ısıtma işlemi veya sıcak hava uygulama şeklinde uygulanabilmekte olup soğuk zararını azaltma, mikrobiyolojik inaktivasyon, kalite ve duyu özellikleri koruma, raf ömrünü uzatma etkisi olduğu bilinmektedir (Çizelge 2). Pratik uygulamalarda sık kullanılan SSD'nin, enerji gereksinimi nedeniyle dezavantajlı olarak düşünüldüğü belirtilmektedir. (Vinod ve ark., 2023).

Çizelge 2. Meyve ve sebzelerde termal işlem uygulamaları

Meyve/Sebze	Metot	Parametre	Sonuç	Referans
Domates	Sıcak suya daldırma	40°C, 10 dk	Çürümeye azalma Raf ömründe artma	Boonkorn, 2016
Tatlı portakal	Buharlı ısıtma işlemi	0, 5, 10, 15, 20 dakika (dk)	5-10 dk: Etilen üretimi ve solunum hızında azalma, kalitenin korunması 15 ve 20 dk: kalite bozulması	Hussain ve ark., 2017
Kavun	Sıcak suya daldırma	55°C, 1 dk	Raf ömründe artış, Çürümeye azalma Kalitede artış	Abubakar ve ark., 2020
Elma (<i>Malus spp.</i>)	Sıcak suya daldırma	53-57°C, 3-5 dk	Çürümeye azalma	Petres ve ark., 2020
Üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Sıcak suya daldırma	50°C, 10 dk	Mikrobiyal kalitede iyileşme Çevresel duyarlılık	Chiabrando ve Giacalone, 2020
Guava (<i>Psidium guajava</i>)	Sıcak suya daldırma	45°C, 2 dk	Kalitenin Korunması HS kayıpta azalma Mikrobiyal yükte azalma Raf ömründe artma	Killadi ve ark., 2021
Citron Meyvesi (<i>Citrus medica</i> L.)	Sıcak suya daldırma	50°C, 3 dk 55°C, 1 dk 60°C, 20 dk	50°C ve 55°C: ağırlık kaybında azalma Çürümeye oranında azalma, kalitenin korunması 60°C: ağırlık kaybında artış, kalitede bozulma 55°C: kalitenin korunması ve kayıpların azaltılmasında en etkin doz	Miao ve ark., 2025

İşınlama (radyasyon ve UV-C uygulama)

Meyve ve sebzelerde termal olmayan, zararlı mücadelesi ve mikrobiyolojik bozulmanın engellenmesi ile kaliteyi iyileştirerek raf ömrünün uzatılmasını, ağırlık kaybının azaltılmasını

sağlayan UV, kızılötesi frekans (KÖF), radyo frekans (RF) gibi iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların veya gama (γ) ışını, X ışını ve yüksek enerjili elektron ışınları gibi iyonlaştırıcı radyasyonların belirli doz ve süre uygulanması,

radyasyon teknolojisi olarak bilinmektedir. Yüksek uygulama maliyeti ve tüketicideki algısı nedeniyle kullanımı sınırlı olan teknoloji, pest mücadelesinde pestisit kullanmadan zararlıları kontrol altında tutabilme özelliği ile çevre dostu uygulama olarak öne çıkmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, Gıda ve Tarım Örgütü ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından güvenilir olarak belirtilen bu yöntem, sürdürülebilir tarım uygulamalarına ve açlığın önlenmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Fan ve Niemira, 2020; Ben-Fadhel ve ark., 2021; Bisht ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024).

Ayva için hasat sonrası gama ışınlamasının meyvenin kalitesini koruma ve raf ömrünü uzatma potansiyelini değerlendiren bir çalışmada, ayvalar 0.3–2.1 kGy doz aralığında ışınlanmış ve $15 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta, %85 bağıl nemde depolanmıştır. Çalışmada, ışınlamanın ayvanın depolama kalitesini ortam koşullarında koruduğu belirtilmiştir. Mikrobiyolojik incelemeler sonucunda, 1.8 ve 2.1 kGy dozlarında ışınlanan numunelerde, ortam koşullarında 15 gün depolama sonrasında mikrobiyal yük tespit edilmemiştir. Ayrıca, 30 günlük depolama süresi sonunda mikrobiyal yükte yaklaşık 2.4 log azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 1.8–2.1 kGy doz aralığında uygulanan gama ışınlamasının ayvanın çürümesini önemli ölçüde engellediği ve ortam koşullarında raf ömrünü yaklaşık 40 gün uzattığı belirlenmiştir (Hussain ve ark., 2019).

Meyve ve sebzelerin tekstür, tat, koku, görünüş ve besin değerleri üzerinde minimal etkisi olan radyasyon teknolojisi, depolama süresince etilen üretimini azaltan fiziksel bir işlem olup, olgunlaşmanın gecikmesi, mikrobiyal yükün azaltılması, pest kontrolünün sağlanması ve bunlara bağlı raf ömrünün uzatılması için kullanılmakta ve çalışmalar (Çizelge 3) yapılmaktadır (Kalaiselvan ve ark., 2018; Reddy ve ark., 2018; Jat ve Lakhawat, 2021).

100-400 nm'ye sahip iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak kabul edilen UV ışığı, termal ve kimyasal ihtiyacı olmayan, etileni parçalayabilen, etilen yönetiminde kullanılan, dokuyu ve rengi koruyabilen yenilikçi bir uygulama olup araştırmaların artırılması gerekmektedir (Prajapati

ve ark.; 2021, Bilgin ve ark.; 2024; Mope ve ark., 2024). Dalga boylarına göre dört ana bölgeye ayrılan UV ışınlarından UV-B (280-320 nm) ve UV-C (200-280 nm)'nin meyve kalitesi ve raf ömrünü uzatmada etkisi olduğu bilinmektedir. UV-B biyoaktif bileşikler, radikal temizleme aktivitesini ve/veya antioksidan enzimleri artırabilirken, UV-C antimikrobiyal etkisi ile gıda güvenliği için önemli bir yere sahiptir (Prajapati ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024).

Şeftalilerde HS UV-C uygulamasının yaşlanmaya etki eden gen profilindeki değişiklikler incelenmiş, genomik düzeyde araştırma yapılan çalışmada HS UV-C uygulamanın depolama kalitesini iyileştirme ve şeftalinin raf ömrünü uzatmak için yararlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kan ve ark., 2021). Acı kabak meyvesinde UV-C ışınlamasının malondialdehit ve prolin gibi bileşiklerin etkilerini hafifletmede daha etkili olduğu belirtilmiştir (Prajapati ve ark., 2021).

Gemida ve arkadaşları (2023), sıcak su uygulaması (50°C , 20 dk), UV-C uygulaması (20 dk), deniz yosunu kaplama (%3) yapılmış örnekler ve 20 dk musluk suyunda bekletilmiş (kontrol) örnekleri karşılaştırarak farklı HS uygulamaların domatesin raf ömrü üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada raf ömrü açısından sıcak su (24.40 gün) ile UV-C (25 gün) uygulamalarının sonuçlarının benzer ve kontrol numunesine (19.60 gün) göre üstün olduğu, deniz yosunu kaplamanın ise 28 gün raf ömrü ile en etkili yöntem olduğu belirtilmiştir. Ağırlık kaybı açısından yüksekten aza doğru kontrol (%17.80), sıcak su (%13.60), UV-C (%10), deniz yosunu kaplama (%8.20) olarak sonuçlanmıştır. Sonuç olarak, deniz yosunu kaplamanın (%3) domatesin raf ömrünü 28 gün geciktirirken, ağırlık kaybını azaltma açısından en etkili ve yöntem olduğu, UV-C ve sıcak su uygulamasının ise deniz yosunu ile benzer etki gösterdiği ve birbirini ikame edeceği belirtilmiş, diğer yöntemlerin MS'ler için doğrulanması önerilmiştir.

Çizelge 3. Meyve ve sebzelerde ışınlama uygulamaları

Meyve/Sebze	Uygulam	Parametre	Etki	Referans
	a			
Şeftali, biber, soğan, havuç	KÖF	53-57°C, 3-5 dk	Görsel kalitede gelişme	Rajarithnam, 2011
Çeri domates	UV-C	4,2 kJ/m ²	Etilen üretiminin engellenmesi Kalitenin korunması	Bu ve ark., 2013
Ayva	Gama Işını	0.3–2.1 kGy	Mikrobiyal yükte azalma Çürüme insidansında azalma Raf ömründe artış	Hussain ve ark., 2019
Mango	Gama Işını	400, 800, 1200 Gy	Depolamada ağırlık kaybının azalması	Basir ve Adenan, 2019
Mango	UV-C	0, 4.0, 8.3, 11.7 kJ/m ²	Kalitenin korunması Raf Ömrünün artması	Pristijono ve ark., 2019
Çilek	X-ışını	0–1 kGy	≤1 kGy doz: Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe artma Mikrobiyal yükte azalma Rengin uzun süre korunması Duyusal özelliklerin korunması	Yoon ve ark., 2020
Hünnap	Gama Işını	0,4 ve 1,0 kGy	Raf ömründe artma Etilen üretiminde azalma Ağırlık kaybında azalma Duyusal özelliklerin korunması Etkin doz: 1.0 kGy	Jat ve Lakhawat, 2021
Ejder meyvesi	UV-C	1.0 kJ/m ²	Çürümede gecikme	Ng ve ark., 2022
Şeftali	RF	27 MHz frekans	Kalitede artış	Lara ve ark., 2022
Cara Portakal	Cara Gama Işını	0,3, 0,6, 0,9 kGy	Etkin doz: 0,6 kGy Raf ömründe artış Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Lu ve ark., 2023
Çilek, domates, muz	UV-C	45 C, 2 dk	Çilek: fenolik bileşiklerde artış Muz: raf ömründe artış Domates: mikrobiyal iyileşme	Asrey ve ark., 2024
Domates	X-ışını	0, 150, 400, 600, 1000 Gy	En etkili doz: ≥ 400Gy Raf ömründe artış Mikrobiyal yükte azalma	Yoon ve ark., 2024

Depolama ve modifiye atmosfer paketleme

MS'ler gibi hızlı bozulan ürünler için hasat sonrasında ürün kalitesini ve raf ömrünü önemli ölçüde etkileyen depolama için sıcaklık, nem, hava sirkülasyonu ve depo hijyeni gibi geleneksel kontroller ile yeni teknoloji ve yapay zekâ destekli depolama tekniklerinin kullanılması, ürün tüketiciye ulaşana kadar atık ve israfları önemli ölçüde azaltmaktadır (Loisel ve ark., 2021; Aier ve ark., 2024). Paketleme, taze ürünlerin raf ömrünü

uzatma ve gıda israfını azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Soğuk depolamayı destekleyebilen ve gelişmiş paketleme sistemlerinden biri olan modifiye atmosferde paketleme (MAP), tek ve özellikle farklı yöntemlerle kombine kullanıldığında olumlu sonuçlar alınan, içerisindeki ürünün oksijen (O₂) konsantrasyonunu belirli bir miktar düşürüp, karbondioksit (CO₂) konsantrasyonunu yükselterek ürünün yaşlanmasını yavaşlatan,

kalitesini koruyarak raf ömrünü uzatan etkili ve güvenli bir uygulamadır (Aier ve ark., 2024; Shankar ve ark., 2024; Yun ve ark., 2024). HS kayıpların azaltılmasında sürdürülebilir

paketlemenin önemi benimsenmiş ve literatürde bu konu ile ilgili çalışmalar artış göstermektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Meyve ve sebzelerde MAP uygulamaları

Meyve/Sebze	MAP Parametreleri	Raf Ömrü (gün)	Etki	Referans
Avokado	7°C, %2-5 O ₂ , %3-10 CO ₂	12	Yumuşamada gecikme	Kargwal ve ark., 2020
Guava	12-15°C, %2-5 O ₂ , %2-5 CO ₂	15-20	Olgunlaşma ve soğuk zararın gecikmesi	Kargwal ve ark., 2020
Ananas	0°C, %2-5 O ₂ , %10 CO ₂	12	Soğuk zararın gecikmesi	Kargwal ve ark., 2020
Çilek	4°C, %10 O ₂ , %15 CO ₂ , %75 N ₂ 4°C, %7,5 O ₂ , %17,5 CO ₂ , %75 N ₂	15	Renkte korunması Mikrobiyolojik koruma Raf ömründe artış	Mulla ve ark., 2025

MAP uygulamasının etkinliğinde kullanılan ambalaj filminin kalınlığı, ambalaj filminin gaz geçirgenliği, kullanılan gaz özellikleri, ortam sıcaklığı, ürünün solunum hızı, paket içerisindeki ürün ve paketin hacmi gibi ürün ve ambalaj özellikleri doğrudan etkilidir (Zhang ve ark., 2025).

Zhang ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada HS depolamada etileni parçalayan, etilen emici, MAP ve biyoaktif ambalajlama gibi farklı tekniklerin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada etilen emici ve etilen parçalayan ambalajların etileni uzaklaştırarak, modifiye atmosfer paketlemenin MS'lerin etilene olan duyarlılığını azaltarak, biyoaktif paketlemenin meyve ve sebzelerin fizyolojik aktivitelerini düzenleyerek ve etilen üretimini azaltarak etki ettiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, dört yöntem normal paketleme ile karşılaştırıldığında etilen düzenleyici ambalajların meyve ve sebzeleri kalitesini koruyarak taze tutabilme kabiliyetlerinin üstün olduğunu belirtmiştir.

Kiraz domateslerde (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pasif MAP uygulamasında poli (bütilen adipat-kotereftalat) (PBAT) /poli(e-kaprolakton) (PCL) filmlerin etkisi incelenmiştir. PBAT, PCL ve polietilen filmler, PBAT/PCL karışım filmlerin

farklı ağırlıklarda (%10, %20, %30) kullanıldığı çalışmada biyolojik olarak tamamen parçalanabilen, çevre dostu PBAT/PCL karışım filmler ile paketlenen kiraz domateslerin düşük sıcaklık ve ortam koşullarında polietilen (PE) film ile paketlenenlere göre daha üstün olduğu belirtilmiştir. PBAT/PCL (%20) karışım filmin kullanıldığı domateslerde gaz geçirgenliğinin dengeli olmasına bağlı olarak avantajlı olduğu görülmüştür (Zhang ve ark., 2025).

Yenilebilir kaplama ve uçucu yağ

Küresel ısınmaya önlem olarak yüksek karbon emisyonuna ve mikro plastik birikimine neden olan, biyolojik olarak parçalanmayan, atık oluşturan PE, PET gibi ambalajlar yerine yenilebilir, doğal bileşenlerden oluşan, biyolojik olarak parçalanabilen film ve kaplamaların kullanımı sürdürülebilirlik ve çevre farkındalığının artmasıyla yaygınlaşmaya başlamıştır (Fawole ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2024). Meyve sebzelerin raf ömrünün artırılması ve kalitesinin korunmasında iş gücü ihtiyacı, bakım maliyeti, yan ürünleri ve çevreye olumsuz etkisi bulunan HS geleneksel işlemlere alternatif olarak nem bariyeri görevi gören, solunum ve terleme hızını azaltan, renk değişimi ve ağırlık kaybını yavaşlatan, organik asit kaybı ve nişastanın

şekere dönüşmesi gibi olgunlaşmayla ilgili değişiklikleri geciktiren yenilebilir kaplamalar HS kayıpların azaltılmasında sürdürülebilir bir çözüm olarak kullanılabilir (Çizelge 5). Daldırılarak, püskürtülerek veya fırçalanarak

uygulanabilen yenilebilir kaplamalar çevre dostu, pratik, ekonomik olmaları nedeniyle döngüsel ekonomiyi desteklemektedir (Aier ve ark., 2024; Sharma ve ark., 2024; Emmanuel ve ark., 2025).

Çizelge 5. Meyve ve sebzelerde yenilebilir kaplama ve uçucu yağ uygulamaları

Meyve/Sebze	Kaplama	Etki	Referans
Domates	Adaçayı uçucu yağ + Aloe vera jel asidi kaplama	Çürümede azalma Meyve sıklığının korunması	Tzortzakıs ve ark., 2019
Çilek ve Domates	Narenciye uçucu yağ Adaçayı uçucu yağ	Mikrobiyal aktiviteyi geciktirme Raf ömrünü uzatma	Shehata ve ark., 2020 Tzortzakıs ve ark., 2019
Erik	Polisakkarit bazlı kaplama	Büzülmeyi önleme	Fawole ve ark., 2020
Avokado	Biyopolimer kaplama	Kayıpları azaltma Olgunlaşmayı geciktirme Raf ömründe artış	Ochi ve ark., 2020
Muz	Aloe jel+ limon kabuğu Ekstraktı + gliserol	Antraknoz hastalığında azalma Ağırlık kaybında azalma Çürümede gecikme	Jodhani ve ark., 2022
Biber	Sodyum aljinat + gliserol	Raf ömründe artma Kontrollü ağırlık kaybı, solunum hızı	İşlek ve ark., 2024
Elma	Kitosan	Solunum hızı ve etilen üretim hızında azalma	Shah ve ark., 2024
Muz	Biyopolimer kaplama (kitosan)	Olgunlaşmayı yavaşlatma Kaliteyi koruma Raf ömrünü uzatma	Shinga ve ark., 2025
Elma	Biyopolimer kaplama	Kaliteyi koruma Raf ömrünü uzatma	Mikus ve Galus, 2025
Mandalina	Natürel waks kaplama	Raf ömründe 2 kat artma	Devi ve ark., 2025
Guava	Nar çekirdeği yağı + Jelatin bazlı kaplama	Ağırlık kaybında azalma Yumuşamanın gecikmesi Kalitede ve raf ömründe artma	Shahsavari ve Rastegar, 2025
Dikenli Armut	Polisakkarit bazlı kaplama	Kalitenin korunması	Rodrigues ve ark., 2025

Son yıllarda yapılan çalışmalarda karboksimetil selüloz ve guar gum gibi polisakkarit bazlı kaplamaların meyvelerin raf ömrünü uzatabildiği belirtilmiştir (Tzortzakıs ve ark., 2019; Ziv ve Fallik, 2021; Bhan ve ark., 2022; Gupta ve ark., 2023). Narenciye ve adaçayı gibi aromatik bitki türlerinden elde edilen uçucu yağlar, HS kaliteyi korumaya yardımcı olabilecek antimikrobiyal ve antioksidan özellikler taşıyan, tek başına veya taze

ürünlerin yenilebilir kaplaması için katkı maddesi olarak kullanılabilen ekonomik kaynaklardır (Tzortzakıs ve ark., 2019; Shehata ve ark., 2020; Ziv ve Fallik, 2021; López-Díaz ve ark., 2025). Bununla birlikte, farklı kaplamaların meyve fizyolojisi ve HS performans üzerindeki spesifik etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Ziv ve Fallik, 2021).

Hasat sonrası kombine uygulamalar

Meyve ve sebzelerde HS kayıpları en aza indirme, yoksullukla mücadele, gıda güvenliğini sağlama ve ürün kalitesini koruma konusunda etkinliği yüksek, sürdürülebilir metotların kullanımı giderek önemli hale gelmektedir. Kalitenin stabilizasyonu, gıda güvenliğini sağlanması ve raf ömrünün uzatılmasında tekil uygulamalar her zaman yeterli olmayabilir. Bu nedenle, farklı fiziksel, biyolojik ve kimyasal işlemlerin kombine kullanımı, sinerjik bir etki oluşturarak MS'lerde

yüksek düzeyde koruyucu etki sağlamaktadır. Son yıllarda gıda güvenliği ve gıdaya erişim problemlerinin önlenmesi için gıda kayıplarının azaltılmasında pozitif etkisi olan kombine uygulamalarla ilgili çalışmalar artış göstermektedir (Çizelge 6). Bu çalışmalarda yenilikçi kombine uygulamaların kaliteden ödün vermeden besleyici ürünlerin kullanılabilirliğine katkı sağladığı, raf ömrünü uzattığı ve gıda kayıplarını azalttığı görülmüştür (Elik ve ark., 2019).

Çizelge 6. Meyve ve sebzelerde hasat sonrası kombine uygulamalar

Meyve/Sebze	Kaplama	Etki	Referans
Elma	MAP + Soğuk depolama (15°C) + 1-MCP	Metabolizmanın yavaşlaması Olgunlaşmanın gecikmesi Raf ömrünün artması	da Silva Pinheiro ve ark., 2012
Papaya	Sıcak su (50°C, 10 dk) + gama ışınlama (0.08 kGy, 10 dk)	Raf ömründe artış	Harun-Ar-Rashid ve ark., 2019
Muz	1-MCP % sıvı etofon	Sarı rengin oluşumu fazla Şeker oluşumu fazla Homojen olgunlaşma Raf ömründe artış	Satekge ve ark., 2020
Çilek	UV-C + uçucu yağ	Raf ömrünü ve kalitesinde artış	Amiri ve ark., 2021
Ahududu	MAP + UV-C + Soğuk depolama	Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Gimeno ve ark., 2022
Japon Eriği	1-MCP (625 µg/kg) + MAP	Raf ömründe artış	Uysal ve ark., 2023
Misket Limon	X-ışınlama + balmumu kaplama	Renk değişiminde tutarlılık Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması Raf ömrünün uzatılması	Sun ve ark., 2024
Mango	1-MCP (1.2 mg/kg) + MAP	Çürüme insidansında gecikme Ağırlık kaybında azalma Raf ömründe artış Besin değerinin korunması	Usman ve ark., 2025
Kavun	1, 2, 3 µL L ⁻¹ 1-MCP + Soğuk depolama (8 ± 1 °C, 30 gün)	En etkili doz: 2 µL L ⁻¹ 1-MCP Ağırlık kaybında azalma Kalitenin korunması	Wang ve ark., 2025
Hurma	1-MCP + MAP	Ağırlık kaybını azaltma Meyve kalitesinin korunması	Moon ve ark., 2025

MS'lerde depolama süresince ağırlık kaybının azaltılması, olgunlaşma ve yumuşamanın geciktirilmesi, esmerleşmenin yavaşlatılması ve mikrobiyal bozulmaların baskılanması ile HS kalitenin korunmasında etkili olan kombine

uygulamalar SKA 2 (açlığa son), SKA 3 (sağlık ve kaliteli yaşam), SKA 8 (insana yakışır iş ve ekonomik büyüme), SKA 9 (sanayi, yenilikçilik, altyapı), SKA 12 (sorumlu tüketim ve üretim) ve SKA 13 (iklim eylemi) gibi birden çok

sürdürülebilir kalkınma amacını desteklemektedir (Elik ve ark., 2019; Ali ve ark., 2025).

Misket limon için 5 dakika 50°C su uygulanarak yapılan çalışmada misket limonlar 6 mm delikli 25 µm polipropilen film ile kapatılmış polipropilen tepsilerde 0,6 g etanol buhar pedi (EP) ile paketlenerek uygulanan kombine yöntemin HS kalite, fizyolojik değişiklikler ve klorofil parçalayıcı enzimlerinin aktiviteleri belirlenmiştir. Çalışmada, kombine uygulamanın depolamanın erken döneminde ACC (1-aminosilopropan-1-karboksilik asit) birikimini azaltarak veya etilenin biyosentezinde yer alan ACS (1-aminosilokropan-1-karboksilik asit sentaz) ve ACO (1-aminosilopropan-1-karboksilik asit oksidaz) uyarılmasını ortadan kaldırarak misket limonda etilen üretimini ve solunumu etkili bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada uygulamanın depolamanın erken aşamasında klorofil parçalayıcı peroksidad, Mg-dechelataz ve feofitinaz gibi enzimlerin aktivitesini baskılayarak klorofil bozulmasını etkili bir şekilde engellediği ortaya konmuştur. Kombine yöntemin etkisinin değerlendirildiği çalışmada, misket limonlarda hasat sonrasında klorofil bozulması nedeniyle oluşan kalite kayıplarını azaltarak raf ömrünü uzatmada ve gıda israfının azaltılmasında etkili olabileceği düşünülmektedir (Opio ve ark., 2015; Opio ve ark., 2017).

Gimeno ve arkadaşları 2022 yılında MAP ve UV-C (254 nm dalga boyu) uygulamasının kırmızı ahududuların HS kalitesi üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Çalışma, 2 farklı modifiye atmosfer koşulunda, gaz iletim hızı farklı olan iki farklı film kullanılarak (MAP1: 1805 mL d⁻¹ ve 1570 mL d⁻¹; MAP2: 902 mL d⁻¹ ve 785 mL d⁻¹), 2 farklı yoğunlukta UV-C (UV1: 2 kJ/m² ve UV2: 4 kJ/m²) yapılmıştır. Çalışmada, kombine uygulamanın ahududunun etilen üretimi, solunum hızı, duysal özellikleri, biyoaktif bileşikler (antioksidan kapasitesi ve fenolik bileşikler), fiziksel, fiziko-kimyasal ve mikrobiyolojik kalite özellikleri 6°C'de 12 gün boyunca incelenmiştir. UVC2MAP2 ve MAP2 örnekleri 8 gün sonunda %1.66 çürüme belirtisi gösterirken UVC2MAP2 örneklerinin kontrol numunelerine göre daha

yüksek biyoaktif içeriğe sahip olduğu görülmüştür. UV-C'nin meyvelerin biyoaktif bileşiklerini artırırken, ağırlık kaybı ve sertlik üzerinde pozitif etkisi olduğu ancak etilen üretim ve solunum hızını artırarak raf ömrünün kısılmasına neden olabileceği belirtilmiştir. UV-C ile MAP ve soğuk depolama kombine edildiğinde sinerjik etki ile UV-C uygulamasına göre daha üstün olduğu görülmüş; ahududuyu korumada uygun olduğu, etilen yönetimi için doğru, yeterli doz ve gaz bileşiminin belirlenmesi için yeni çalışmalar yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

'Dwarf Cavendish' muz çeşidinde PE, MAP, 1-MCP+MAP ve MAP+EP ile paketlenen numunelerin 30 günlük depolama (13°C, %90 RH) ve 4 günlük olgunlaştırmanın ardından raf ömürlerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1-MCP ve MAP'ın kombine uygulandığı örnekler depolama sırasında en iyi sonuçları vermesine rağmen depolama sonrası 4 günlük olgunlaştırma sonrası olgunlaşma olmadığı ve şeker bileşimi gibi pazara sunulma kriterlerini sağlamadıkları görülmüştür. MAP+EP uygulanan örneklerin çalışma sonunda kalite özelliklerini sağladığı ve diğer tüm örneklerle kıyasla en yüksek beğeniyi aldığı belirtilmiştir (Akkurt ve ark., 2024).

Kayısı meyvesinde (*Farfia*) yapılan çalışmada, MAP ve 1-MCP uygulamalarının depolama üzerindeki etkisi; kontrol, MAP, 1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP), MAP+1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP) ve RipeLock™ MAP ambalaj + 1-MCP (24 saat, 625 µg/kg 1-MCP) olmak üzere 5 farklı uygulama ile ağırlık kaybı, organoleptik özellikler, biyoaktif bileşikler, solunum ve etilen hızı gibi fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal yönden incelenmiştir. Çalışmada, MAP'ın örneklerinin depolama süresince meyvelerdeki ağırlık kaybını azalttığı, MAP+1-MCP'nin sertliği koruduğu, MAP örneklerinin solunum hızının en düşük olduğu, kontrol numunesinin solunum hızının MAP örneklerine göre %36 daha hızlı olduğu ve MAP+1-MCP uygulanan kayısılarda depolama boyunca (42 gün+2 gün) kalite korunarak ağırlık kaybının azaldığı, dolayısıyla ekonomik kaybı azaltabileceği tespit edilmiştir (Meral ve ark., 2024).

HASAT SONRASI İŞLEMLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ETKİSİ

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği, meyve ve sebze gibi tarımsal ürünlerin verimli ve güvenli üretimi için ciddi bir tehdit oluşturmakta ve üretimlerini negatif etkilemektedir. Tarımsal ürünler için gıda israfları, atıklar ve kaynakların verimsiz kullanımı karbon emisyonunun artmasına ve özellikle az gelişmiş ülkelerde gıdaya ulaşmada zorluklara neden olmaktadır. Yanlış ya da yetersiz uygulamalarla üretilen ürünlerin neredeyse yarısı, tüketiciye ulaşmadan israf olmaktadır. Gelecekte dünya nüfusunun sürdürülebilir şekilde beslenebilmesinde önemli rolü olan meyve ve sebzelerde yaşanan HS kayıpların önlenmesi veya en aza indirilmesi sağlanarak 2030 yılına kadar Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'na ulaşmak mümkün olacaktır (Elik ve ark., 2019; Waluyo, 2024).

Ana hedefi sürdürülebilir üretim ve tüketim olan sürdürülebilir kalkınma, özellikle gelecek nesiller için ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel standartların sağlanmasını amaçlarken, ekonomik büyümede artış, güvenlik, adalet ve çevre gibi sosyal faydaları da birlikte dikkate alan bir yaklaşımdır (Rao, 2011; Sassanelli ve ark., 2019; Niu ve ark., 2022; Mditshwa ve ark., 2023). SKA'ından sürdürülebilir üretim ve tüketime göre (12), HS kayıplar da dahil olmak üzere tedarik zinciri boyunca gıda israfı ve kayıplarının ve beraberinde sera gazının azaltılması hedeflenmektedir (Barrera ve ark., 2021; Ali ve ark., 2024). Tarımsal faaliyetler sonucu oluşan sera gazları, dünya çapında sera gazı emisyonlarının %26'sından fazlasını oluşturmakta ve küresel temiz suyun yaklaşık %70'ini, küresel ekilebilir arazilerin ≈%50'sini tüketmektedir (Kummu ve ark., Poore ve ark., 2018; 2012; Luo ve ark., 2021).

MS'ler gibi bozulabilir ürünlerin HS kayıpları mevsime, ürüne ve yetiştirme bölgesine bağlı olarak %60'a ulaşabilmektedir. Sadece gıda kaybı değil, beraberinde su, enerji, yakıt, gübre ve diğer birçok kaynağın kaybına da neden olan HS kayıpları, artan atık yönetimi maliyetleri, sera gazı emisyonu ve küresel ısınmaya bağlı gıdaya ulaşım problemlerini beraberinde getirmektedir. Sürdürülebilir gıda erişimi için HS uygulamaların

kayıpların azaltılması, enerji verimli yenilikçi sistemlerin kullanımı, atıkların yönetimi, gıda güvenliğinin sağlanması, teknik ve insan gücü kapasitesinin geliştirilmesi, ekosistem yaklaşımı gibi sürdürülebilir tarım ilkeleriyle entegrasyonu çevresel etkiyi en aza indirirken gıda üretimini optimize etmek için önemlidir (Sassanelli ve ark., 2019; Ali ve ark., 2025; Emmanuel ve ark., 2025).

Meyve ve sebzelerde iyi hasat uygulamaları, HS işlemlerde inovatif, teknoloji destekli, atık oluşturmayan ve çevre dostu uygulamaların kullanılmasıyla sağladıkları verimlilik artışı, besin değerini koruması, gıda güvenliğini artırması, atık oluşturma potansiyellerinin düşük oluşu, ürünlerin kalitesini koruyup raf ömrünü uzatarak ekonomiye katkısı ve adil iş gücü uygulamaları nedeniyle gıda israflarının önlenmesinde dikkat çekmektedir. Teknolojideki gelişmelerin merkezinde yapılacak iyileştirmeler ile gıdaya erişim imkânı kısıtlı olanların gıdaya erişimine olanak sağlanırken, israfların azalması, gıda kalitesi ve güvenliğinin artması ve küresel kaynakların korunması mümkün olmaktadır. Ürün kayıplarını azaltan uygulamalar verimli kaynak kullanımının yanında çevre dostu olmaları ve atık miktarını azaltmaları nedeniyle karbon emisyonunu da azaltmaktadır. Su ve enerji kullanımını sınırlayan yenilikçi uygulamaların bu özellikleri karbon emisyonuna pozitif etki ederek küresel ısınmanın negatif etkisi için iyileştirici rol oynamaktadır (Waluyo, 2024).

Sürdürülebilir HS uygulamalar, kayıpların azaltılması, çevreye etkiyi en aza indirmenin yanında gıda güvenliğinin sağlanmasını ve gıdaların kalitesinin korunmasını teşvik etmektedir. Bu teknolojilerdeki gelişmeler, gıda bulunabilirliğini iyileştirmeye, israfı azaltmaya ve büyüyen küresel nüfusu beslemeye yardımcı olma potansiyeline sahiptir. Gıda ürünleri ve içerisinde MS'ler yetiştirme ve işleme aşamalarında toprak, enerji ve su gibi yüksek kaynak ihtiyacı ve ambalaj malzemesi ihtiyacı nedeniyle yüksek karbon emisyonuna neden olmaktadır. MS'ler bu yönüyle çevresel etkisi ve beraberinde sürdürülebilirlik için endişe yaratmaktadır. İklim krizine bağlı su kıtlığının ve yüksek kaynak kullanımının gıda güvenliği ve sürdürülebilir gıda ihtiyacını tehdit

ettiği günümüzde ürünün karbon ve su ayak izini düşürmek için geleneksel metotlar ile düşük enerji ve su gereksinimi olan teknolojik metotların birlikte ya da ayrı ayrı kullanılması önerilmektedir (Emmanuel ve ark., 2025).

Hasat sonrasındaki kayıp ve israfları azaltmak için geleneksel fiziksel ve kimyasal yöntemlere alternatif yenilikçi, sürdürülebilir çözümlerin kullanımı, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarını desteklemesi yönüyle önemli bir avantaj haline gelmiştir (Araújo ve ark., 2024; Ali ve ark., 2025). Son yıllarda kombine HS uygulamalar ile ilgili yapılan çalışmalar, bu uygulamaların meyve ve sebzelerin bozulmasını azaltma, depolama süresini uzatma ve depolama süresince kalitesini korumada etkin olduğunu buna bağlı olarak sağlıklı yaşamı teşvik eden ve gıda erişimini benimseyen küresel amaçlara ulaşmak için önemli bir kaynak görevi gördüğünü göstermektedir.

SONUÇ

MS'ler gibi hasattan sonra hızlı bozulan ürünlerin kalitesi ve güvenliğinin korunarak raf ömrünün uzatılması, gıda israfı ve atıklarını azaltılması ve sürdürülebilir tarımın desteklenmesinde HS metotların önemli etkisi bulunmaktadır. Geleneksel yöntemlerin yeni çevre dostu yöntemlerle birlikte kullanılması, HS işlemlerin başarısını artırmaktadır. Gelecek nesillerin gıdaya erişimini garanti altına alabilmek için ürünlerin lojistik, depolama ve işleme adımlarında çevresel etkisi düşük, etkinliği yüksek HS metotların tekil veya kombine olarak kullanılması, sinerjik etki yaratarak gıda güvenliği ve kaynak verimliliğini artırarak döngüsel ekonomiyi olumlu yönde etkileyeceği öngörülmektedir.

MS çeşitlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri seçilecek farklı metotlardan alınacak sonuca doğrudan etki etmektedir. Son zamanlarda bu konu ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmış olsa da farklı protokollerin birlikte uygulamaları ile ilgili çalışmalar artırılmalıdır.

Sonuç olarak, teorik çalışmaların pratikte yaygın olarak uygulanabilir olması, HS ürünlerin kalitesinin korunarak uzun süre pazarlanabilmesinde ve kayıpların azaltılmasında

önemli bir ilerleme sağlayacaktır. Özellikle yenilebilir kaplamalar ve filmler, modifiye atmosfer paketlemeler, akıllı ambalajlar ve termal olmayan işlemler ile ilgili yapılacak çalışmalar, HS kayıpları azaltma stratejileri tasarlama konusunda rehberlik sağlayacaktır. Sürdürülebilirlik ve gıda israfı yönünden yasal otoritelerin teşvikleri ile üreticilerin sürdürülebilir uygulamaları pratikte kullanması, HS kayıpları önemli ölçüde azaltarak doğrudan ve dolaylı yoldan oluşan karbon emisyonunun azalmasına katkı sağlayacak ve böylece iklim krizinin etkileri azaltılabilecektir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu derleme makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

YAZAR KATKILARI

Dila Beşen, makalenin yazımı, metodolojisi ve yayına hazırlanmasına, Asiye Akyıldız, makalenin değerlendirilmesi ve taslak metnin düzeltilmesinde katkı ve danışmanlık sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Abubakar, M. M., Norida, M., Rafii, M. Y., Nakasha, J. J. (2020). Effects of post-harvest hot water treatments on the fungi contamination, physiology and quality of rock melon fruit. *Australian Journal of Crop Science*, 14(7), 1081-1087.
- Adegrooye, A., Olubunmi-Ajayi, T. S., Akinbola, A. E., Oguntuase, D. T. (2023). Socioeconomic and performance of agripreneurs: A case study of dried melon value chain in Owo local government of Ondo State, Nigeria. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 5(12), 851-862.
- Aier, J., Panda, K. K., Siddiqui, N., Paul, D. (2024). Potential role of post-harvest management in agribusiness. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 110, p. 04001). EDP Sciences.
- Akkurt, F., Yılmaz, E., Şen, F. (2024). Determination of the Effects of Some Post-Harvest Treatments on the Quality of Banana Fruits During Storage and After Ripening. *Meyve Bilimi*, 11(1), 43-51.

- Ali, A., Tan, Y., Medani, K., Xia, C., Abdullahi, N. M., Mahmood, I., Yang, S. (2025). Horticultural postharvest loss' and its socio-economic and environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 373, 123458.
- Ali, M., Ali, A., Ali, S., Chen, H., Wu, W., Liu, R., ..., Gao, H. (2025). Global insights and advances in edible coatings or films toward quality maintenance and reduced postharvest losses of fruit and vegetables: An updated review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70103.
- Alonso-Salinas, R., López-Miranda, S., Pérez-López, A. J., Acosta-Motos, J. R. (2024). Strategies to delay ethylene-mediated ripening in climacteric fruits: Implications for shelf life extension and postharvest quality. *Horticulturae*, 10(8), 840.
- Amiri, A., Mortazavi, S. M. H., Ramezani, A., Mahmoodi Sourestani, M., Mottaghipisheh, J., Iriti, M., Vitalini, S. (2021). Prevention of decay and maintenance of bioactive compounds in strawberry by application of UV-C and essential oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6), 5310-5317.
- Anand, S., Barua, M. K. (2022). Modeling the key factors leading to post-harvest loss and waste of fruits and vegetables in the agri-fresh produce supply chain. *Computers and electronics in agriculture*, 198, 106936.
- Ananno, A. A., Masud, M. H., Chowdhury, S. A., Dabnichki, P., Ahmed, N., Arefin, A. M. E. (2021). Sustainable food waste management model for Bangladesh. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 35-51.
- Araújo, A. S., de Lima, G. S., dos Santos Nunes, I., de Oliveira Farias, J. C. R., Navarro, D. M. D. A. F., Melo, N. F. C. B., ..., Stamford, T. C. M. (2024). Chitosan hydrochloride-gum Arabic-passion fruit seed oil nanoparticle edible coating to control fungal infection and maintain quality parameters of strawberries. *Food Control*, 161, 110360.
- Asrey, R., Sharma, S., Barman, K., Prajapati, U., Negi, N., Meena, N. K. (2023). Biological and postharvest interventions to manage the ethylene in fruit: a review. *Sustainable Food Technology*.
- Badamosi, A. P., Olutumise, A. I., Olukoya, O. P., Adegoroye, A., Aturamu, O. A. (2024). Socioeconomic impacts of flooding and its coping strategies in Nigeria: Evidence from Dagiri community, Gwagwalada area council of Abuja. *Natural Hazards Research*, 4(3), 374-386.
- Barrera, E. L., Hertel, T. (2021). Global food waste across the income spectrum: Implications for food prices, production and resource use. *Food Policy*, 98, 101874.
- Basir, M. Y., Adenan, M. Z. (2019). Investigation the effect of gamma irradiation on mass preservation of the local mango fruit (chokanan sp.). *Health Scope*, 1, 147-148.
- Baswal, A. K., Dhaliwal, H. S., Singh, Z., Mahajan, B. V. C. (2021). Post-harvest application of methyl jasmonate, 1-methylcyclopropene and salicylic acid elevates health-promoting compounds in cold-stored 'kinnow' mandarin (Citrus nobilis Lour x C. deliciosa Tenora) Fruit. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 147-157.
- Ben-Fadhel, Y., Cingolani, M. C., Li, L., Chazot, G., Salmieri, S., Horak, C., Lacroix, M. (2021). Effect of γ -irradiation and the use of combined treatments with edible bioactive coating on carrot preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100635.
- Bhan, C., Asrey, R., Meena, N. K., Rudra, S. G., Chawla, G., Kumar, R., Kumar, R. (2022). Guar gum and chitosan-based composite edible coating extends the shelf life and preserves the bioactive compounds in stored Kinnow fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 2922-2935.
- Bilgin, A. B., Güneş, G. (2024). Effects of ultraviolet-C treatment on postharvest physiologies and decay of berries: A review. *ITU Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 85-100.
- Bisht, B., Bhatnagar, P., Gururani, P., Kumar, V., Tomar, M. S., Sinhmar, R., ..., Kumar, S. (2021). Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and

- vegetables—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 372-385.
- Boonkorn, P. (2016). Impact of hot water soaking on antioxidant enzyme activities and some qualities of storage tomato fruits. *International Food Research Journal*, 23(3), 934.
- Bu, J., Yu, Y., Aisikaer, G., Ying, T. (2013). Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 337-345.
- Chai, J., Wang, Y., Liu, Y., Yong, K., Liu, Z. (2021). 1-MCP extends the shelf life of ready-to-eat 'Hayward' and 'Qihong' kiwifruit stored at room temperature. *Scientia Horticulturae*, 289, 110437.
- Chiabrando, V., Giacalone, G. (2020). Efficacy of hot water treatment as sanitizer for minimally processed table grape. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120364.
- Chowdhury, R., Mim, S. J., Tasnim, A., Ng, K. T. W., Richter, A. (2025). Supply-disposition storage of fresh fruits and vegetables and food loss in the Canadian supply chain. *Ecological Indicators*, 170, 113063.
- da Silva Pinheiro, J. M., Mizobutsi, G. P., Mizobutsi, E. H., Nogueira, B., de Souza, M. H. M. C., Aguiar, M. C. S., ..., Maia, V. M. (2012). Maturation control of sugar apple using 1-methylcyclopropene, modified atmosphere packaging and cooling. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(2), 217-220.
- DeEll, J. R., Murr, D. P., Porteous, M. D., Rupasinghe, H. V. (2002). Influence of temperature and duration of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on apple quality. *Postharvest biology and Technology*, 24(3), 349-353.
- Devi, L. S., Mukherjee, A., Sharma, S., Katiyar, V., Dutta, J., Kumar, S. (2025). Natural wax-based edible coatings for preserving postharvest quality of mandarin orange. *Food Chemistry: X*, 26, 102302.
- Doğan, A., Kurubaş, M. S., Erkan, M. (2017). Farklı dozlarda 1-Metilsiklopropen (1-MCP) uygulamalarının 'Hass' avokado çeşidinin depolanması üzerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 30(2), 71-78.
- Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., Farhoodi, M. (2022). Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 4599-4610.
- El-Ramady, H. R., Domokos-Szabolcsy, É., Abdalla, N. A., Taha, H. S., Fâri, M. (2015). Postharvest management of fruits and vegetables storage. *Sustainable Agriculture Reviews: Volume 15*, 65-152.
- Elik, A., Yanik, D. K., Istanbulu, Y., Guzelsoy, N. A., Yavuz, A., Gogus, F. (2019). Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. *Strategies*, 5(3), 29-39.
- Elizabeth, R., Anugrah, I. S. (2020). Akselerasi hilirisasi produk agroindustri berdayasaing mendongkrak kesejahteraan petani dan ekonomi pedesaan. *Jurnal Mimbar Agribisnis*, 6(2), 890-918.
- Emmanuel, O. K., Aria, J., Jose, D., Diego, C. (2025). Advancements in Postharvest and Food Processing Technology: Ensuring Food Quality and Sustainability.
- Fadiji, T., Bokaba, T., Fawole, O. A., Twinomurinzi, H. (2023). Artificial intelligence in postharvest agriculture: mapping a research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1226583.
- Fallik, E., Ilić, Z. (2021). The influence of physical treatments on phytochemical changes in fresh produce after storage and marketing. *Agronomy*, 11(4), 788. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11040788>
- Fan, X., Niemira, B. A. (2020). Gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation. *Food safety engineering*, 471-492.
- Fawole, O. A., Riva, S. C., Opara, U. L. (2020). Efficacy of edible coatings in alleviating shrivel

- and maintaining quality of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during export and shelf life conditions. *Agronomy*, 10(7), 1023.
- Ganesh, K. S., Sridhar, A., Vishali, S. (2022). Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities-A review. *Chemosphere*, 287, 132221.
- Gemida, J. V., Ardeña, R. A., Pillones, C. T. (2023). Shelf life of Tomato (*Solanum lycopersicum*) in different post-harvest treatments. *International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management*, 3, 41-49.
- Gimeno Martínez, D., González Buesa, J., Oria, R., Venturini, M. E., Arias, E. (2022). Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and UV-C Irradiation on Postharvest Quality of Red Raspberries.
- Gorgulu A. (2025). Sustainable agriculture and climate solutions for the future of food security. *GIDA* (2025) 50 (1) 1-14 doi: 10.15237/gida.GD24099
- Gulati, A., Das, R., Winter-Nelson, A. (2024). *Reducing Post-Harvest Losses in Indian Agriculture-A Case Study of Selected Crops* (No. 20). Indian Council for Research on International Economic Relations (ICRIER), New Delhi, India.
- Gupta, V., Meena, N. K., Sharma, Y. K., Choudhary, K. (2023). Comparative study of different polysaccharide-based edible coatings on physicochemical attributes and bioactive compounds of mango cv. Dashehari fruits. *eFood*, 4(1), e55.
- Güneş, E., Öziyici, H. R., Gübbük, H. (2024). ‘Sel-42’ ve ‘Tainung’ papaya çeşitlerinin soğukta muhafazasında meyve kalite parametrelerindeki değişim üzerine 1-metilsiklopropenin (1-MCP) etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(4), 625-637.
- Harun-Ar-Rashid, M., Borman, B. C., Hasna, M. K., Begum, H. A. (2019). Effects of non-chemical treatments on postharvest diseases, shelf life and quality of papaya under two different maturity stages.
- Hussain, I., Rab, A., Khan, N. U., Sajid, M., Ali, N., Khan, S. M., Ali, S. (2017). Effect of chilling exposure and vapor heat treatment duration on the quality of sweet orange during simulated marketing. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 16(5), 39-47.
- Hussain, P. R., Rather, S. A., Suradkar, P. P., Ayob, O. (2019). Gamma irradiation treatment of quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill): effect on post-harvest retention of storage quality and inhibition of fungal decay. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 118-131.
- Imahori, Y., Bai, J. (2024). Postharvest Management of Fruits and Vegetables—Series II. *Foods*, 13(7), 1049.
- Ito, Y., Nishizawa-Yokoi, A., Endo, M., Mikami, M., Toki, S. (2015). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the RIN locus that regulates tomato fruit ripening. *Biochemical and biophysical research communications*, 467(1), 76-82.
- İşlek, F., Çavuşoğlu, Ş. (2024). Yenipazar Biber Çeşidinde Yenilebilir Kaplama Uygulamalarının Hasat Sonrası Fizyolojisi Üzerine Etkileri. *Ejons International Journal*, 8(3), 366-373.
- Jat, L., Lakhawat, S. S. (2021). Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose level on physiological and consumer traits of Indian ber. Part 1. Cultivar ‘Umran’. *Radiation Physics and Chemistry*, 179, 109209.
- Jodhani, K. A., Nataraj, M. (2021). Synergistic effect of Aloe gel (*Aloe vera* L.) and Lemon (*Citrus Limon* L.) peel extract edible coating on shelf life and quality of banana (*Musa* spp.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2318-2328.
- Kalaiselvan, R. R., Sugumar, A., Radhakrishnan, M. (2018). Gamma irradiation usage in fruit juice extraction. In *Fruit juices* (pp. 423-435). Academic Press.
- Kan, J., Hui, Y., Lin, X., Liu, Y., Jin, C. (2021). Postharvest ultraviolet-C treatment of peach fruit: Changes in transcriptome profile focusing on genes involved in softening and senescence. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15813.

- Kargwal, R., Garg, M. K., Singh, V. K., Garg, R., Kumar, N. (2020). Principles of modified atmosphere packaging for shelf life extension of fruits and vegetables: An overview of storage conditions. *IJCS*, 8(3), 2245-2252.
- Karoney, E. M., Molelekoa, T., Bill, M., Siyoum, N., Korsten, L. (2024). Global research network analysis of fresh produce postharvest technology: Innovative trends for loss reduction. *Postharvest Biology and Technology*, 208, 112642.
- Kembaren, E. T., Muchsin, M. (2021). Pengelolaan Pasca Panen Kopi Arabika Gayo Aceh. *Jurnal Visioner & Strategis*, 10(1).
- Khan, A. S., Singh, Z. (2009). 1-MCP application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during cold storage of 'Tegan Blue' Japanese plum. *Plant Science*, 176(4), 539-544.
- Killadi, B., Gurjar, P. S., Lenka, J., Chaurasia, R., Shukla, D. K. (2021). Optimization of hot water treatment of guava fruits cv.'Shweta' to prolong cold storage. *Int. J. Chem. Stud*, 9, 410-415.
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the total environment*, 438, 477-489.
- Lara, G., Takahashi, C., Nagaya, M., Uemura, K. (2022). Improving the shelf life stability of vacuum-packed fresh-cut peaches (*Prunus persica* L.) by radio frequency heating in water. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 3251-3262.
- Li, S. J., Xie, X. L., Liu, S. C., Chen, K. S., Yin, X. R. (2019). Auto-and mutual-regulation between two CitERFs contribute to ethylene-induced citrus fruit degreening. *Food Chemistry*, 299, 125163.
- Linehan, V., Thorpe, S., Andrews, N., Beaini, F. (2012). Food demand to 2050: Opportunities for Australian agriculture—Algebraic description of agrifood model. In *Proceedings of the Technical Annex to ABARES Outlook Conference Paper* (Vol. 12).
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Tian, S., Norelli, J., HersHKovitz, V. (2012). Effect of heat treatment on inhibition of *Monilinia fructicola* and induction of disease resistance in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 61-68.
- Loisel, J., Duret, S., Cornuéjols, A., Cagnon, D., Tardet, M., Derens-Bertheau, E., Laguerre, O. (2021). Cold chain break detection and analysis: Can machine learning help?. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 391-399.
- López-Díaz, A. S., Antonio-Gutiérrez, O., Palou, E., Mani-López, E., López-Malo, A., Ramírez-Corona, N. (2025). Post-harvest quality preservation of red globe grapes using grape juice-based edible coatings combined with UVC treatment. *Food Chemistry*, 470, 142678.
- Lu, Q., Yang, D., Xue, S. (2023). Effects of postharvest gamma irradiation on quality maintenance of Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) during storage. *LWT*, 184, 115017.
- Luo, N., Olsen, T. L., Liu, Y. (2021). A conceptual framework to analyze food loss and waste within food supply chains: An operations management perspective. *Sustainability*, 13(2), 927.
- Mahajan, M., Singla, P., Sharma, S. (2024). Sustainable postharvest processing methods for millets: A review on its value-added products. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1), e14313.
- Masud, M. H., Karim, A., Ananno, A. A., Ahmed, A. (2020). *Sustainable food drying techniques in developing countries: prospects and challenges* (p. 20220004385). Switzerland: Springer.
- Mditshwa, A., Khaliq, G., Hussein, Z., Ejaz, S. (2023). Sustainable postharvest management practices for fresh produce. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1143759.
- Meral, N., Şen, F., Yılmaz, E. (2024). 'Farfia'Kayısı Meyvelerinin Depolanabilirliğine Modifiye Atmosfer Paketleme ve 1-Metilsiklopropan Uygulamalarının Etkilerinin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(s1), 2060-2068.
- Miao, J., Liu, W., Duan, M., Zhang, B., Shi, W., Chen, S., ..., Zhou, X. (2025). Effects of

- Postharvest Hot Water Treatment on the Preservation of Yunnan Citron. *Available at SSRN* 5099822.
- Mikus, M., Galus, S. (2025). Extending the Shelf Life of Apples After Harvest Using Edible Coatings as Active Packaging—A Review. *Applied Sciences*, 15(2), 767.
- Moon, Y., Shin, M. H., Kim, G. H., Kim, D. H., Kim, Y. H., Ma, K. B., ..., Kim, J. G. (2025). Effects of MAP and 1-MCP Treatments on the Quality of ‘Gampung’ Sweet Persimmon during a Simulated Marketing Period. *Horticultural Science and Technology*, 43.
- Mope, C., Adegoroye, A., Oluwalade, T. A., Adeyelu, A. A. (2024). Ethylene Management in Fresh Produce Transport. *Asian Journal of Food Research and Nutrition*, 3(1), 60-71.
- Mulla, M. F. Z., Shonte, T. T., Pathania, S. (2025). Quality parameters and shelf life of strawberry (cv. Centenary) fruits as affected by active modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vva010.
- Mutiarawati, T. (2007). Penanganan Pasca Panen Hasil Pertanian. *Bandung, Universitas Padjadjaran*, 1-5.
- Ng, L. C., Tan, J. S., Fauziah, T. A. (2022). Efficacy of ultraviolet-c irradiation to suppress fruit decay and retain the postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Malaysian Applied Biology*, 51(1), 119-128.
- Ninama, N., Gangal, L., Khayum, A., SB, H., HM, S., Singh, A. (2024). Post-harvest Biotechnology or Genetic Engineering Solutions: Extending Shelf Life and Reducing Food Waste. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(4), 1-26.
- Niu, Z., Ng, S. J., Li, B., Han, J., Wu, X., Huang, Y. (2022). Food waste and its embedded resources loss: A provincial level analysis of China. *Science of the total environment*, 823, 153665.
- Ochi, D., Yassue-Cordeiro, P. H., Severino, P., Yoshida, C. M. P., da Silva, C. F. (2020). Biopolymers applied as ethylene-scavenging films and coatings. In *Biopolymer Membranes and Films* (pp. 553-573).
- Onik, J. C., Wai, S. C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337, 127753.
- Opara, I. K., Fawole, O. A., Kelly, C., Opara, U. L. (2021). Quantification of on-farm pomegranate fruit postharvest losses and waste, and implications on sustainability indicators: South African case study. *Sustainability*, 13(9), 5168.
- Opio, P., Jitareerat, P., Pongprasert, N., Wongs-Aree, C., Suzuki, Y., Srilaong, V. (2017). Efficacy of hot water immersion on lime (*Citrus aurantifolia*, Swingle cv. Paan) fruit packed with ethanol vapor in delaying chlorophyll catabolism. *Scientia Horticulturae*, 224, 258-264.
- Opio, P., Pongphen, J., Pongprasert, N., Wongs-Aree, C., Suzuki, Y., Srilaong, V. (2015). Postharvest Ethanol vapor treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality of Thai lime (*Citrus Aurantifolia* Swingle cv. paan) Fruit.
- Park, Y. S., Im, M. H., Gorinstein, S. (2015). Shelf life extension and antioxidant activity of ‘Hayward’ kiwi fruit as a result of prestorage conditioning and 1-methylcyclopropene treatment. *Journal of Food science and Technology*, 52, 2711-2720.
- Paul, V., Pandey, R. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability—a review. *Journal of food science and technology*, 51, 1223-1250.
- Petreš, M., Kalajdžić, J., Milić, B., Magazin, N., Stankov, A., Vukotić, J., Grahovac, M. (2020). Effect of hot water treatments on apple fruit rot caused by *Fusarium* spp. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 651-655.
- Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers’ homes: Quantifications, causes, and means of

- prevention. *Postharvest biology and technology*, 139, 135-149.
- Prajapati, U., Asrey, R., Varghese, E., Singh, A. K., Singh, M. P. (2021). Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter gourd fruit during storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100665
- Pristijono, P., Golding, J. B., Bowyer, M. C. (2018). Postharvest UV-C treatment, followed by storage in a continuous low-level ethylene atmosphere, maintains the quality of 'Kensington pride' mango fruit stored at 20 °C. *Horticulturae*, 5(1), 1.
- Prusky, D. (2011). Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. *Food security*, 3, 463-474.
- Rahardjo, B., Yudhanto, W., Aprilia, V. D. (2023). Penerapan Green Economy Melalui Pengolahan Pasca Panen Bagi Kelompok Tani Hortikultura Desa Pogalan Kecamatan Pakis Kabupaten Magelang. *Jurnal Dharma Jnana*, 3(2), 163-172.
- Rajaratnam, S. (Ed.). (2011). *Advances in preservation and processing technologies of fruits and vegetables*. New India Publishing.
- Rao, R. K. (Ed.). (2017). *Agricultural, Allied Sciences & Biotechnology for Sustainability of Agriculture, Nutrition & Food Security*. Mahima Research Foundation and Social welfare.
- Ray, A., Bhonsle, A. K., Singh, J., Trivedi, J., Atray, N. (2025). Examining alternative carbon resources for sustainable energy generation: A comprehensive review. *Next Energy*, 6, 100194.
- Reddy, S. V. R., Sharma, R. R., Gundewadi, G. (2018). Use of irradiation for postharvest disinfection of fruits and vegetables. In *Postharvest disinfection of fruits and vegetables* (pp. 121-136). Academic Press.
- Rodrigues, C., Polesca, C., Bicalho, I., Souza, V. G. L., Coelho, I., Fernando, A. L. (2025). Quality preservation and shelf-life extension of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) using edible coatings. *Foods*, 14(2), 161.
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 17(3), 512-531.
- Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., Terzi, S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 229, 440-453.
- Satekge, T. K., Magwaza, L. S. (2020). The combined effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene on green-life and postharvest quality of banana fruit. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1539-S1551.
- Seed Q., Zhang A., Mustafa A., Sun B., Zhang S., Yang X. (2022). Effect of Long-Term Fertilization On Greenhouse Gas Emissions and Carbon Footprints In Northwest China: A Field Scale Investigation Using Wheat-Maize-Fallow Rotation Cycles, *Journal Of Cleaner Production*. 332:130075.
- Senturk, G.O., Gök, G., Koçyiğit, H. (2023). Tarımda Karbon Ayak İzi ve İklim Değişikliğine Etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 12-24.
- Shah, S. U., Hashmi, M. S., Khan, M. R., Ahmad, A., Riaz, A., Al Shoffe, Y., ..., Ippolito, A. (2024). Integration of chitosan coating and short-term hypobaric treatment extends postharvest life and upregulates defense-related enzymes in apple fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 168(2), 231-247.
- Shahsavari, R., Rastegar, S. (2025). Innovative gelatin-based edible coatings for preserving postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 909-922.
- Shankar, S., Mohanty, A. K., DeEll, J. R., Carter, K., Lenz, R., Misra, M. (2024). Advances in antimicrobial techniques to reduce postharvest loss of fresh fruit by microbial reduction. *npj Sustainable Agriculture*, 2(1), 1-20.
- Shehata, S. A., Abdeldaym, E. A., Ali, M. R., Mohamed, R. M., Bob, R. I., Abdelgawad, K. F. (2020). Effect of some citrus essential oils on post-harvest shelf life and physicochemical

- quality of strawberries during cold storage. *Agronomy*, 10(10), 1466.
- Shinga, M. H., Silue, Y., Fawole, O. A. (2025). Recent Advancements and Trends in Postharvest Application of Edible Coatings on Bananas: A Comprehensive Review. *Plants*, 14(4), 581.
- Singh, S. P., Thakur, R. (2024). Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. *Postharvest Biology and Technology*, 209, 112694.
- Sun, X., Follett, P., Shu, C., Yusufali, Z., Bai, J., Wall, M. (2024). Effect of X-ray irradiation and carnauba wax coating on quality of lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. *HortScience*, 59(5), 684-690.
- Tsurayya, S., Kartika, L. (2015). Kelembagaan dan strategi peningkatan daya saing komoditas cabai kabupaten Garut. *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, 12(1), 1-1.
- Tzortzakis, N., Xylia, P., Chrysargyris, A. (2019). Sage essential oil improves the effectiveness of Aloe vera gel on postharvest quality of tomato fruit. *Agronomy*, 9(10), 635.
- Ueda, J. M., Pedrosa, M. C., Heleno, S. A., Caroch, M., Ferreira, I. C., Barros, L. (2022). Food additives from fruit and vegetable by-products and bio-residues: A comprehensive review focused on sustainability. *Sustainability*, 14(9), 5212.
- Usman, H. M., Hussain, S., Anwar, R., Khan, A. S., Malik, A. U., Ali, M. M., ..., Abbas, A. (2025). Postharvest application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging extends shelf life and maintains eating quality of mango fruit cv. Sufaid Chaunsa. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 49(2), 415-425.
- Uysal, G., Eroğlu, D., Dayıoğlu, A., Şen, F., Oğuz, İ. (2023). Effects of Modified Atmosphere Packaging and 1-Methylcyclopropene Treatment on Quality Properties of Japanese Plum Fruit (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Angeleno') During Cold Storage. *Erwerbs-Obstbau*, 65(5), 1383-1391.
- Vinod, B. R., Asrey, R., Sethi, S., Prakash, J., Meena, N. K., Menaka, M., ..., Shivaswamy, G. (2023). Recent advances in physical treatments of papaya fruit for postharvest quality retention: A review. *EFood*, 4(2), e79.
- Waluyo, T. (2024). Post-Harvest Technological Innovation In Sustainable Agribusiness Management. *Tec Empresarial*, 6(1).
- Wang, H., Li, Y., Wassie, M., Muhammad, M., Bai, S., Shi, H. (2025). The effect of 1-methylcyclopropene on the shelf life of sand pear fruits. *LWT*, 117530.
- Wang, H., Yang, Z., Amanullah, S., Wang, H., Liu, B., Liu, S., ..., Wang, C. (2025) Düşük Sıcaklıkta Depolama ile Birleştirilmiş Hasat Sonrası 1-MCP Tedavisinin Kavunun Fizyolojik Aktiviteleri ve Yenilebilir Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Deşifre Edilmesi. *Bitkiler*, 14(4), 586.
- Yahia, E. M., Gardea-Béjar, A., de Jesús Ornelas-Paz, J., Maya-Meraz, I. O., Rodríguez-Roque, M. J., Rios-Velasco, C., ... ,Salas-Marina, M. A. (2019). Preharvest factors affecting postharvest quality. In *Postharvest technology of perishable horticultural commodities* (pp. 99-128). Woodhead Publishing.
- Yingwei, Q. I., JIANG, Y., Yulong, C. H. E. N., Ling, W. A. N. G., Feiping, C. H. E. N., Zheng, L. U. O., ..., Fanwei, D. A. I. (2025). Effects of 1-MCP on Ethylene Synthesis, Cell Wall Degradation and Related Genes Expression in Passion Fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 96-105.
- Yoon, K. N., Yoon, Y. S., Hong, H. J., Yeom, S. J., Park, J. H., Song, B. S., ..., Kim, J. K. (2024). Extending shelf life and analyzing dosimetric and detection techniques in postharvest tomatoes (*Solanum lycopersicum*) via X-ray irradiation. *LWT*, 201, 116230.
- Yoon, Y. S., Ameer, K., Song, B. S., Kim, J. K., Park, H. Y., Lee, K. C., ..., Park, J. H. (2020). Effects of X-ray irradiation on the postharvest quality characteristics of 'Maehyang'strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). *Food chemistry*, 325, 126817.
- Yun, X., Liu, L., Hu, J., Sun, T., Zhang, J., Dong, T. (2024). Mechanical and gas permeability properties of poly (L-lactic acid)-based films and their application in fresh produce

preservation. *Packaging Technology and Science*, 37(4), 293-317.

Zam, W., Ilyas, I., Syatrawati, S. (2019). Penerapan teknologi pascapanen untuk meningkatkan nilai jual cabai di tanatoraja. *Jurnal Dedikasi Masyarakat*, 2(2), 92-100.

Zhang, H., Han, M., Xie, Y., Wang, M., Cao, C. (2022). Application of ethylene-regulating packaging in post-harvest fruits and vegetables storage: A review. *Packaging Technology and Science*, 35(6), 461-471.

Zhang, J., Wang, Y., Zhang, Y., Guo, J., Li, Y., Dong, T., Yun, X. (2025). Preparation of

PBAT/PCL Films for Passive Modified Atmosphere Packaging of Cherry Tomatoes. *Packaging Technology and Science*.

Zhu, T., Tan, W. R., Deng, X. G., Zheng, T., Zhang, D. W., Lin, H. H. (2015). Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 196-204.

Ziv, C., Fallik, E. (2021). Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss. *Agronomy*, 11(6), 1133.