

## Meyve ve Sebzelere Etilen Tutucu İçeren Aktif Ambalajlama Sistemlerinin Uygulanması ve Raf Ömrüne Etkisi

Elif Sezer<sup>1</sup> , Zehra Ayhan<sup>2</sup>  

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 54187 Serdivan, Sakarya

Geliş Tarihi (Received): 05.08.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 06.12.2016

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): zehraayhan@sakarya.edu.tr (Z. Ayhan)

☎ 0 264 295 38 58 📠 0 264 295 56 01

### ÖZ

Etilen birçok meyve ve sebzenin büyümesi, gelişmesi ve raf ömrü üzerinde çeşitli etkileri bulunan gaz formunda doğal bir bitki büyüme düzenleyicidir. Etilenin çok düşük miktarları bile birçok meyve ve sebze de olgunlaşma ve yaşlanma üzerinde etkilidir. Bu yüzden, etilen meyve ve sebzelerin raf ömrü açısından kritik bir faktördür ve büyük ölçüde meyve ve sebzelerin olgunlaşmasına ve tazeliğinin kaybolmasına neden olmaktadır. Raf ömrünün artırılması için, etilen birikiminin önlenmesi gereklidir. Etilenin meyve ve sebzeler üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek ve bu ürünlerde raf ömrünü artırmak için aktif ambalajlama uygulamalarını içeren yeni yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu makalede meyve ve sebzelerde kullanılan aktif ambalajlama sistemlerinden etilen tutucu sistemler ve bu sistemlerin ürün kalitesi ve raf ömrüne etkileri ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Etilen, Meyve ve sebzeler, Aktif ambalajlama, Etilen tutucular

### Application of Ethylene Scavenging Systems on Fruits and Vegetables and Their Effects on Shelf Life

#### ABSTRACT

Ethylene is a naturally occurring gaseous plant growth regulator that has numerous effects on the growth, development and storage life of many fruits and vegetables. A very low amount of ethylene is enough to affect the growth, development, ripening and aging of most fruits and vegetables. Thus, ethylene is a critical factor for the shelf life of fruits and vegetables. It largely causes an increase in maturity and loss in freshness of fruits and vegetables. To restrict negative effects of ethylene on fruits and vegetables and to increase the shelf life of these products, new methods with active packaging applications have been developed. In this paper, ethylene scavenging systems as one of the active packaging systems and the effects of these systems on the quality and shelf life of fruits & vegetables are presented.

**Keywords:** Ethylene, Fruits and vegetables, Active packaging, Ethylene scavengers

### GİRİŞ

Günümüzde sağlıklı ve dengeli beslenmenin giderek önem kazanmasıyla birlikte uzun süre taze kalan ve çabuk bozulmayan gıdalara olan tüketici talebi de artış göstermiştir. Meyve ve sebzeler karbonhidrat, yağ, protein, vitamin ve mineral içerikleriyle insan

beslenmesinde önemli yeri olan gıdalardandır. Meyve ve sebzelerin ürün kalitesi üzerinde üretimlerinden hasat edilmelerine kadar olan süreç kadar, hasat edildikten sonra tüketiciye ulaşana kadar geçirdikleri süreç de oldukça etkilidir. Özellikle hasat sonrasındaki süreçte sağlıklı koşullarda muhafaza raf ömrü ve besin değerlerinin korunması bakımından önem taşımaktadır.

Yapılan son araştırmalarla dünya çapında meyve ve sebzelerin özellikle hasat sonrası kaybının %44 civarlarında olduğu ortaya konmuştur. Oldukça yüksek düzeyde olan bu kaybın önlenmesi ve israfın azaltılması amacıyla meyve ve sebzelerin gerek depolama gerekse de ambalajlama uygulamaları ile taze olarak dayanımlarının artırılması giderek önem kazanan konulardan biri olmuştur [1-3].

Meyve ve sebzeler, diğer gıda gruplarından farklı olarak hasat edilmelerinden sonra da solunumlarını sürdürerek fizyolojik yaşamlarına devam ederler. Meyve ve sebzelerin çoğunda hasat sonrası önemli etkiye sahip olan etilen gazı açığa çıkmaktadır. Etilen, birçok meyvenin büyüme, gelişme ve depolama ömrü üzerine çeşitli etkileri olan doğal bir hormondur. Bu hormon metabolizmanın doğal bir ürünüdür ve bitkiler endojen ve eksojen olarak etilen üretir. Meyve ve sebzeler, hasat sonrası açığa çıkardıkları etilen miktarına göre klimakterik olanlar ve klimakterik olmayanlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar [4, 5]. Etilenin µl/l konsantrasyonlarda pek çok meyve ve sebzede büyüme, gelişme ve depolama ömrü üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır. Etilenin gerek tarımsal kullanımı gerekse de temel biyokimyası ve fizyolojisi son 20-30 yıldır geniş ölçüde çalışmalara konu olmuştur [4]. Biyosentetik yolu Adams ve Yang [6] tarafından açıklanan etilenin, biyosentezinin ve bitkiler üzerindeki etkilerinin karmaşıklığının çözülmesi amacıyla son yıllarda moleküler biyoloji uygulamaları bu alandaki araştırmalara yönelmiştir. Bunun yanı sıra gıda ambalajlama ve depolama alanında etilen gazını kontrol etmek amacıyla geliştirilen sistemlerin depo ve ambalaj

ortamlarında bulunan meyve ve sebzelerin raf ömürlerini uzatmadaki etkilerinin ve etkinliklerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar yapılmıştır [6-11].

## ETİLENİN MEYVE VE SEBZELER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Meyve ve sebzelerin bileşimleri hasatla beraber değişmeye başlar. Meyve ve sebzelerde gerçekleşen metabolizma olayları içinde en önemlileri solunum ve terlemedir. Solunum ve terleme sonucunda serbest kalan ısının bir kısmı hücredeki kimyasal reaksiyonlarda harcanırken büyük bir kısmı etrafa yayılarak ürünü ısıtır. Meyve ve sebzelerde bir aşamadan sonra kimyasal ve biyokimyasal olaylar kontrol dışında kalarak düzensiz bir şekil alırlar. Bununla beraber mikroorganizmalara karşı gösterilen direnç de sona erdiğinden çeşitli mikroorganizmaların hücumuna uğrayarak ayrıca mikrobiyolojik olarak bozulmaya uğrar. Hasat edilmiş meyve ve sebzelerin uygun koşullarda depolanmasıyla taze haldeki niteliklerini bir süreliğine de olsa korumak mümkün olmaktadır [8-11].

Etilen, esasında doğal yollarla üretilen, bitki büyümesini düzenleyici basit iki karbonlu bir gazdır; birçok meyve ve sebze üzerinde büyüme, gelişme ve depolama süresi boyunca etkisini sürdürmektedir. Etilenin mekanizması tam olarak bilinmemekle beraber metiyoninden oluştuğu tahmin edilmektedir. Etilenin meyve ve sebzeler üzerinde çeşitli yararlı ve yıkıcı etkileri bulunmaktadır. Bu yararlı ve zararlı etkiler etilen oluşumunun yeri ve koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Tablo 1) [12, 13].

Tablo 1. Etilenin meyve ve sebzeler üzerindeki yararlı ve zararlı etkileri [11, 14].

Yararlı Etkileri	Zararlı Etkileri
Turunçgillerin sarartılması	Yeşil sebzelerin sararması
Klimakterik meyvelerin olgunlaşması	Yumuşama ve renk solması
Patojenlere karşı savunma	Kahverengileşme ve tatta acılaşıma
Olgunlaşmanın düzenlenmesi	Raf ömrünün kısalması
	Doku kaybı ve tomurcuklanma oluşumu
	Olgunlaşmanın hızlanması ile raf ömrünün kısalması

Meyve ve sebzelerin olgunlaşması sırasında solunumdan bağımsız olarak gerçekleşen bir dizi biyokimyasal tepkime sonucunda oluşan etilen bu ürünler üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilerde bulunur. Meyve olgunlaşmaya başladıkça etilen üretim miktarı da doğru orantılı olarak artış göstermekle birlikte hasat sonrasında da birçok taze üründe etilen üretimi devam eder. Etilen, meyve ve sebzelerin olgunlaşmasında olumlu bir etkisinin olmasının yanında; solunum hızının artmasına neden olarak bu ürünlerin raf ömürlerini kısaltması ve klorofil yıkımını hızlandırıcı rol oynamasıyla olumsuz etkide bulunur. Ortam atmosferinde az miktarda bile etilen bulunması durumunda klimakterik davranan meyveler hızla klimakterik faza girmektedirler. Örneğin yeşil elmaların +5°C ile +10°C'lerde depolanmalarında ortam atmosferinde 1 ppm etilen bulunması klimakterik faza girmelerine neden olmaktadır. Benzer şekilde yeşil muzların bulunduğu ortamda etilen oranı 0.5 ppm'in altına düşürülmezse, muzlar hızla olgunlaşırlar. Ayrıca etilen, klimakterik olmayan meyvelerin de solunum

hızlarının artmasına neden olarak genellikle olumsuz etki göstermektedir. Bunun yanı sıra bazı meyve ve sebzelerin hasattan sonra olgunlaşmalarının düzenlenmesi ve hızlandırılması amacıyla etilen gazı uygulanmaktadır. Depolama sırasında meyvelerdeki etilen oranı baskılanarak kontrol altına alındığında, meyvenin olgunlaşma ve bozulma reaksiyonları da buna bağlı olarak yavaşlamakta ve sonucunda raf ömrünün uzaması sağlanmaktadır [11, 15, 16]. Yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda meyve ve sebzelerin bulunduğu depo ve ambalaj ortamlarında etilenin gerek baskılanarak gerekse de ortamdan uzaklaştırılarak kontrol altına alınması ile bu ürünlerin raf ömürlerinin uzatılabileceğini göstermiştir [11, 12, 17-19].

## ETİLEN TUTUCU SİSTEMLER

Etilenin kontrol altına alınması ile meyve ve sebzelerin raf ömründe uzama sağlanabileceği ortaya konulduktan sonra depo ve ambalaj ortamlarından etilen gazının giderilmesini ve adsorpsiyonunu sağlayan çeşitli

sistemlerin geliştirilmesi ve raf ömrü üzerindeki etkilerinin incelenmesi üzerine çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [17-19]. Etilen üretimini engelleyen ve sınırlayan maddeler Sisler ve arkadaşları tarafından 1970'lerden başlayarak 1990'lı yıllarda devam eden çalışmalarla ortaya konmuştur [20-23]. Meyve ve sebzelerdeki etilenin kontrol altına alınması için geliştirilen çeşitli etilen tutucu sistemler vardır. Bu sistemler etilenin absorplanması, okside edilmesi, etilen üretiminin baskılanması gibi çeşitli mekanizmalarla etilenin kontrol altına alınmasını sağlar [4, 5, 24, 25].

Son yıllarda yapılan çeşitli çalışmalarla 1-metilsiklopropenin (1-MCP) meyve olgunlaşmasını geciktirdiği ortaya konmuştur. 1-MCP'nin etilen reseptör bölgelerine bağlanarak etilen aktivitesini engelleyen bir inhibitör görevi gördüğü kabul edilmektedir. 1-MCP'nin gaz formda olması, fitotoksik olmaması, kokusuz olması ve düşük konsantrasyonlarda bile etkili olması, ticari kullanımı için umut vadetmektedir. 1-MCP meyvelerdeki etilen üretiminin kontrolüyle ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılan bileşiklerden bir tanesidir [5, 26, 28-31].

Etilenin etkisi karbondioksit, gümüş ve birkaç doymamış sıklık olefin gibi çeşitli bileşiklerle de engellenebilmektedir. Nitekim, karbondioksit, kontrollü atmosfer depolamalarında etilenin aktivitesini azaltmak için kullanılmaktadır [4, 11]. Üretilen etilen tutucu sistemlerin bir kısmında ise potasyum permanganat ( $KMnO_4$ ) esaslı tutucular tercih edilmektedir. Potasyum permanganat etileni bir dizi tepkime bağlamında önce asetaldehide sonra asetik aside yükseltgeç, ardından asetik asit karbondioksit ve suya dönüşür. Bunun yanında potasyum permanganat toksik bir maddedir ve gıdayla temas etmemesi gerekir. Bu nedenle gıdayla temas halinde olan ambalajlarda doğrudan kullanılması uygun değildir, ancak kesecikler içinde uygulanabilir. Potasyum permanganatın yüzey alanının arttığı ölçüde etilen tutma kapasitesi artmaktadır. Bu sebeple perlit, alumina, silikajel, vermikülit, aktif karbon veya selit gibi geniş yüzey alanına sahip inert bir taşıyıcı üzerine ilave edilmesiyle yüzey alanı artırılabilir [16, 32, 33].

Pathanagul ve ark. (2012)  $4.62 Na_2O: Al_2O_3: 10 SiO_2: 180 H_2O$  bileşim oranında (molar olarak) Y tipi zeolit NaY, fenil trimetil amonyum bromit (PTAB) ve potasyum nitrat ( $KNO_3$ ) kullanarak üç farklı yöntemle etilen tutucu üretmişlerdir. Zeolit NaY, ilk yöntemde öncelikle PTAB çözeltisi ile sonrasında  $KNO_3$  çözeltisi ile ( $K^+/PTAB$ -zeolit NaY); ikincisinde önce  $KNO_3$  çözeltisi ile ardından PTAB çözeltisi ile ( $PTAB/K^+$ -zeolit NaY) ve üçüncü yöntemde ise karışım halde bulunan PTAB- $KNO_3$  çözeltisi ile muamele edilmiştir ( $K^++PTAB$ -zeolit NaY). Çalışmada üç farklı yöntemle elde edilen örneklerin etilen absorpsiyonundaki etkinlikleri incelenmiş, üç yöntemle de elde edilen örneklerin etilen tutucu etki gösterdiği ancak en yüksek absorplama oranına sahip örneğin  $K^++PTAB$ -zeolit NaY olduğu belirlenmiştir [34]. Srithammaraj ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada etilen tutucu ve sensörü olarak kullanılması amacıyla gözenekli kil malzeme içeren nanokompozit ambalaj filmi elde edilmiştir. Bentonit setil trimetilamonyum bromit (CTAB), dodesilamin ve tetraetoksilan (TEOS) ile muamele edilmesi ile gözenekli

kil heteroyapıları oluşturulmuştur (PCH). PCH'nin metil trietoksilan (MTS) ile muamele edilmesiyle elde edilen nanokompozit HPCH, 3-merkaptopropil trietoksilan (MPTMS) ile muamele edilmesiyle elde edilen nanokompozit ise MPPCH olarak isimlendirilmiştir. Elde edilen PCH, HPCH ve MPPCH nanokompozitleri polipropilen (PP) malzemeyle ambalaj filmi haline getirilmiştir. Filmlerin hem etilen absorplama oranlarını hem de etilen sensörü olarak kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Etilen absorplama kapasitesi en yüksek olan malzeme HPCH olarak belirlenmiş, etilen gaz sensörü olarak kullanılabilir en uygun örneğin ise HPCH'den daha düşük etilen absorplama oranına sahip PCH/PP film olduğu belirtilmiştir. Elde edilen bu malzemelerin meyve ambalajlanmasında etilen tutucu olarak kullanıma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır [35].

Palladyum klorür içeren aktif karbon da etilen tutucu olarak kullanılan sistemlerdendir. Ayrıca, zeolit, kil ve Japon oya taşı gibi minerallerin ambalaj filmlerinde kullanılması ile geliştirilen çeşitli etilen tutucular bulunmaktadır. Ambalaj filmlerine ilave edilen mineraller hem etileni absorbe ederler hem de ambalajın geçirgenlik özelliklerini değiştirirler. Bu sayede  $C_2H_4$  ve  $CO_2$ 'nin daha hızlı difüze olması sağlanır. Bu tür minerallerin kullanıldığı ambalaj materyellerine örnek olarak; Orega bag (Cho Yang Heung San. Co., ABD), Peakfresh™ (Peakfresh Products, Avustralya), Profresh (E.I.A. Warenhandels, Avusturya ve İsrail) ve Tazetut® (Aksoy Plastik, Türkiye) verilebilir [16, 25]. Çay işleme atığı olan kullanılmış çay yapraklarının düşük maliyetli mikro boyutta kullanılmış çay yaprağı tozu (MSTLP) haline getirildiği ve biyosorbent olarak etileni gidermedeki etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada üretilen MSTLP'nin etkili ve ucuz bir biyosorbent olarak etilen gideriminde kullanım potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra etilen adsorplamada kullanılan MSTLP'nin geri kazanılarak on defa daha kullanılabilirliği rapor edilmiştir [36].

## ETİLEN TUTUCULARIN DEPOLAMA VE AMBALAJLAMA UYGULAMALARI

### Meyve ve Sebze Depolamada Kullanılan Etilen Tutucu Sistemler

Meyve ve sebzeler, diğer gıda gruplarından farklı olarak hasat edilmelerinden sonra da solunumlarını sürdürerek fizyolojik yaşamlarına devam ederler. Etilenin bu tür ürünlerin olgunlaşması dolayısıyla da raf ömrü üzerindeki önemli etkileri nedeniyle ambalaj ve depo ortamlarında kontrol edilmesi amacıyla geliştirilen çeşitli etilen tutucu sistemler kivi, muz, avokado gibi tropikal meyvelerin, armut, elma, domates ve benzeri ürünlerin muhafazasında başarıyla kullanılmaktadır [25, 37-41, 44-47]. Etilen tutucu sistemlerin meyve ve sebzelerin ambalajlanmasında uygun bir şekilde kullanılabilmesi için etilen üretim düzeyi ve ürünün etilene karşı duyarlılığının bilinmesi önemlidir. Ayrıca depo ortamının sıcaklık ve bağıl neminin ürün için uygun değerlerde olması da etilen tutucunun başarılı bir şekilde uygulanmasını etkileyen faktörlerdendir [16, 48].

Feng ve ark. [5] tarafından olgun avokado meyvesindeki etilen aktivitesinin 1-metilsiklopropan (1-MCP) ile kontrol edilmesi üzerine yapılan bir çalışmada; 22°C'de 24 saat boyunca çeşitli konsantrasyonlarda 1-MCP ile muamele edilmiş avokado örnekleri, sonrasında havalandırılarak 22°C'de 24 saat boyunca 300 µl/L etilene maruz bırakılmıştır. Ardından olgunlaşmanın tespit edilmesi için 22°C'de etilen bulunmayan ortamda depolanmıştır. Çalışma sonucunda 1-MCP'nin çok düşük konsantrasyonlarda bile etilene bağlı olgunlaşmayı engellediği açıklanmıştır. 24 saat boyunca 30-70 nL/L 1-MCP'ye maruz bırakılan avokado örneklerinin normal olgunlaşma süresine göre 10-12 gün daha uzun sürede olgunlaştıkları rapor edilmiş, 1-MCP'nin avokado meyvesinin hasat sonrası olgunlaşmasının engellenmesinde potansiyel bir inhibitör olduğu vurgulanmıştır. Avokado meyvelerinde 1-MCP olgunlaşmayı 2 hafta geciktirmiş, ardından meyve normal olgunlaşmaya devam etmiştir [5]. Adkins ve ark. [49] avokado meyvesiyle yaptıkları bir diğer çalışmada etilen uygulamasının öncesinde ya da sonrasında ve olgunlaşma süresi boyunca farklı zamanlarda 1-MCP uygulamasının olgunlaşma üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 1-MCP 500 nL/L konsantrasyonunda avokadonun olgunlaşmasının geciktirilmesinde etkili bulunmuştur. Ayrıca avokado meyvesinin olgunlaşmasını sağlamak için yapılan etilen uygulaması sonrasında uygulanan 1-MCP'nin ilerleyen yumuşamayı geciktirmede ticari bir potansiyelinin olduğunu açıklamışlardır. Hershkovitz ve ark. [50]'de benzer şekilde hasat sonrası 300 nL/L 1-MCP uygulamasının Ettinger, Hass ve Pinkerton çeşidi avokadoda 5°C'de 3.5 hafta depolama süresi boyunca klimakterik etilen üretimini geciktirdiğini ve solunumunu yavaşlattığını, soğuk zararlanmasını azalttığını saptamışlardır [50]. Meyer ve Terry [51], avokado meyvesinin 5°C'de depolanması ve ardından 20°C'de olgunlaştırılması süresince 1-MCP'nin ve geliştirilen palladyumlu etilen tutucunun (e+ ® Ethylene Remover) kalite özellikleri üzerine etkilerini karşılaştırmışlardır. 1-MCP her ne kadar 5°C'de depolama boyunca olgunlaşmanın önlenmesinde palladyumlu etilen tutucuya göre daha başarılı olmakla birlikte devamında gelen 20 °C'deki olgunlaştırma periyodunda avokadonun yeterli olgunluğa gelememesine neden olmuştur.

Terry ve ark. [37] geliştirdikleri palladyum içeren etilen tutucu ile muz, avokado ve çilek örnekleri üzerine çalışmışlardır. Palladyum (Pd) içeren bu etilen tutucunun kullanıldığı muz ve avokado örneklerinde etilen üretiminde düşüş görülmüş, etilen tutucu içermeyen kontrol örneklerine göre ürün kalitesinin daha yüksek oranda korunduğu dikkat çekmiştir. Çilek örneğinde ise ticari olarak kayda değer bir değişimin olmadığı belirtilmiştir. Palladyum içeren etilen tutucunun 20°C'de yaklaşık %100 bağıl nemli ortamda yüksek etilen absorplama kapasitesinin (4162 µl/g) bulunduğunu, KMnO<sub>4</sub> içeren tutuculara göre düşük miktarlarda ve yüksek bağıl nem içeren ortamda bile daha etkili olduğu rapor edilmiştir [37]. Pongprasert ve Srialong [52], geliştirdikleri 1-MCP mikro baloncuk yöntemi ile klasik 1-MCP yöntemini karşılaştırmışlardır. 500 nL/L 1-MCP mikro baloncuk çözeltisi içine daldırılan

ve 500 nL/L 1-MCP'ye maruz bırakılan muz örneklerinin 25°C'de 8 günlük depolama periyodu boyunca olgunlaşma sürelerini kıyaslamışlar, mikro baloncuk yönteminin klasik 1-MCP uygulamasına göre 8 günlük depolama süresince kalite özelliklerinin korunmasında daha başarılı bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır [52]. Bower ve ark. [53] da çilek örneklerine farklı oranlarda etilen ve 1-MCP uygulayarak 0 ve 5°C'de depolama boyunca kalite özelliklerini incelemişlerdir. Çilek örneklerinde 1-MCP ile etilen üretiminin azaltıldığını, fakat 1-MCP nedeniyle artan CO<sub>2</sub> üretiminin erken bozulmaya yol açtığını belirlemişlerdir.

Yüzde 1 Pd içeren aktif karbon etilen tutucunun tek başına kullanımı ve aralıklı olarak 175°C'lik ısıl şokla kombine olarak kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada; 8°C'de %85 bağıl nemli ortamda depolanan domates örnekleri üzerinde çalışılmış, her iki yöntemde de olumlu sonuçlar alınmakla birlikte ısıl şok uygulanan örneklerde nispeten daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir [54].

Ozkaya ve Dünder [55] 0°C'de %85-90 bağıl nemli ortamda 8 aylık depolama boyunca Granny Smith elma çeşidi üzerinde 325 ve 650 ppb 1-MCP ile 1800 ve 1000 mg/l difenilaminin (DPA) etkisini karşılaştırmışlardır. DPA ve 1-MCP uygulanan bütün örneklerin kontrol örneğine göre ürün kalitesini daha iyi koruduğunu saptamışlar, bunun yanı sıra genel ürün kalitesi bakımından en verimli uygulamanın 650 ppb 1-MCP olduğunu vurgulamışlardır. Granny Smith elmasında DPA ve 1-MCP uygulamalarının etkisini karşılaştıran başka bir çalışmada ise tam çiçeklenmeden sonra 182 ve 189. günlerde hasat edilen meyvelerin bir kısmına 2000 ppm DPA, bir kısmına da 1.2 ppm 1-MCP uygulanmış, uygulama yapılmayan örnekler kontrol örneği olarak belirlenmiştir. 0°C'de 4 ve 6 ay depolanan örnekler, sonrasında 7 gün 20°C'de muhafaza edilmiştir. Kontrol örneğine göre DPA ve 1-MCP örneklerinin yüzeysel kararmayı kontrol etmede eşit etki gösterdiği tespit edilmekle birlikte 1-MCP uygulamasında DPA uygulamasına göre örneklerin olgunlaşmasının geciktirilmesi ile raf ömrünün uzatılmasında daha etkili olduğu vurgulanmış, ayrıca DPA'ya göre daha az oranda kullanılması dolayısıyla daha az kalıntı bırakması açısından avantajlı olduğu belirtilmiştir [56].

1-2°C'de, %85-90 bağıl nem içeren ortamda (kontrol) 27 günlük depolama periyodu boyunca, kontrollü atmosferde depolanan (%10 O<sub>2</sub> ve %5 CO<sub>2</sub>) ve 1-MCP (0.6 µl/L)'ye maruz bırakılan brokoli örnekleri; depolamadan sonra raf ömrünü belirlemek için 2 ve 4 gün 20°C'de bekletmişlerdir. 1-MCP, 1-2°C'de depolama süresince brokolinin renk ve klorofil kaybını azaltmış, ancak 20°C'de depolamada aynı etkiyi göstermemiştir. Kontrollü atmosferde depolanmanın ürün kalitesinin korunmasında ve raf ömrünün artırılmasında 1-MCP uygulaması ve tek başına soğuk depolamadan (1-2°C) daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kontrollü atmosferde depolanan örnekler 20°C'de 4 günlük raf ömrü sonunda genel beğeni açısından hala tüketilebilir limitin altına düşmemişken, 1-MCP uygulanmış örnekler ve kontrol örnekleri bu limitin altında kalmışlardır [57]. Cao ve ark. [45] tarafından

geliştirilen asitlendirilmiş aktif karbon tozu katkılı PdCl<sub>2</sub>-CuSO<sub>4</sub> bazlı etilen tutucu (AAPC-PdCl<sub>2</sub>-CuSO<sub>4</sub>) ile yapılan çalışmada, PdCl<sub>2</sub> ve CuSO<sub>4</sub>'ün ayrı ayrı farklı oranlarda ve her ikisinin birlikte ilave edilmesiyle üretilen aktif karbon katkılı etilen tutucular brokoli üzerinde denenmiştir. AAPC-PdCl<sub>2</sub>-CuSO<sub>4</sub> uygulamasının, AAPC'nin tek başına uygulanmasına ve AAPC-PdCl<sub>2</sub> kombine uygulamasına karşı etilenin giderilmesindeki etkinliğinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 20°C'de depolanan brokoli örneklerinin raf ömründe yaklaşık 2 gün artış sağlandığı vurgulanmıştır [45].

Amornputti ve ark. [58] durian meyvesinde yaptıkları bir çalışmada; 25°C'de 12 saat boyunca 500 nL/L 1-MCP uyguladıkları meyve örneklerini daha sonrasında 15°C'de %85-90 bağıl nemli ortamda depolamışlardır. Depolama boyunca 3 günde bir alınan örneklerin yarısına analizler yapılmış, diğer yarısı ise 25°C'de %80-90 bağıl nemli ortama alınarak muhafaza edilmiştir. Örneklerin 15°C'de depolandığı süre boyunca 1-MCP uygulamasının etilen üretimi üzerine bir etkisi saptanmamakla birlikte 15°C'den 25°C'ye transfer edilen örneklerde 1-MCP'nin etilen üretimi üzerinde engelleyici bir etkisinin olduğu rapor edilmiştir. Lim ve ark. [46] da 10°C'de 16 saat boyunca 20 µL/L 1-MCP'yle işleme tabi tuttukları, devamında 1°C'de depolanan kivi meyvelerinde işleme tabi tutulmayan kontrol örneklerine göre 5 haftaya kadar meyve sertliği, askorbik asit oranı ve toplam fenolik bileşenlerin daha yüksek oranda korunduğunu rapor etmişlerdir [46]. Depolarda kullanılan etilen tutucu sistemler üzerine yapılmış çalışmalar Tablo 2'de özetlenmiştir.

### Meyve ve Sebze Ambalajlamada Kullanılan Etilen Tutucu Sistemler

Meyve ve sebze ambalajlarında genellikle PE, PP ve PVC gibi ambalaj filmlerine ilave bileşenler ekleyerek gözenek yapılarının etilenin geçişine elverişli ölçüde değiştirilmesi ile etilenin ambalaj içi ortamdan giderilmesi hedeflenmektedir. Ambalaj filminin özelliklerinin değiştirilmesi amacıyla yaygın olarak nano-Ag, nano-TiO<sub>2</sub>, nano ZnO, kaolin ve montmorillonit gibi bileşenler kullanılmaktadır [40, 59-61].

Li ve ark. [59] Çin hünnapı meyvesini nano-Ag, nano TiO<sub>2</sub>, kaolin ve polietilen kullanarak ürettikleri nano malzemeye ambalajlayarak depolama boyunca ürün kalitesini izlemişlerdir. Aynı kalınlıkta polietilen esaslı ambalaj kontrol örneği olarak alınmış ve 12 günlük depolama boyunca meyvenin kalite özellikleri incelenmiştir. Nano ambalajlı örneklerde meyve yumuşaklığı, ağırlık kaybı ve esmerleşmenin kontrol örneklerine göre önemli derecede önlenildiği saptanmıştır. Üretilen bu nano ambalajın Çin hünnapının raf ömrünü uzatmada ve ürün kalitesini artırmada kullanılabileceği belirtilmiştir [59]. Etilene maruz bırakılan kivi örneklerinde, 4°C'de 42 günlük depolama boyunca nanokompozit bazlı ambalajlamanın (nano gümüş, nano-TiO<sub>2</sub> ve montmorillonit karışımı) hasat sonrası kalite özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada ise nanokompozit bazlı ambalajın polietilen ambalajlı kontrol örneğine göre

kalite özelliklerini daha yüksek oranda koruduğu rapor edilmiştir [60].

Nano-ZnO kaplamalı aktif paketlemenin taze kesilmiş fuji elmasının kalite özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, 4°C'de 12 günlük depolama boyunca PVC ambalajlı kontrol örneklerine kıyasla nano-ZnO örneklerinde meyve bozulma oranı, toplam çözünür kuru madde, titrasyon asitliği gibi özelliklerin yüksek oranda korunduğu vurgulanmıştır. Bunun yanında olgunlaşma ve bozulmayı işaret eden malondialdehit, polifenol oksidaz, pirogallol peroksidaz ve kahverengileşme indeksi gibi parametreler bakımından ise nano-ZnO örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla daha düşük değerler elde edilmiştir. Etilen içeriği bakımından da nano-ZnO örneklerinde kontrol örneklerine kıyasla depolama boyunca ambalaj içi etilen oranlarının daha düşük olduğu gözlemlenmiş fakat nano ambalajın etileni baskılama mekanizması üzerine bir yorum getirilmemiştir [40].

Díaz-Mula ve ark. [61] farklı erik çeşitlerini, kontrol (makro gözenekli film), H (polyester (12 µm)-polipropilen (50 µm)) ve M (polyester (12 µm)-polipropilen (50 µm)) olmak üzere farklı ambalaj materyalleri kullanarak pasif modifiye atmosferde ambalajlamış ve 2°C'de %90 bağıl nemli ortamda 35 gün depolamışlardır. Kontrol örneklerine göre raf ömründe ortalama olarak 3-4 haftalık bir artış gözlemlediklerini belirtmekle birlikte M ambalajının H ambalajına göre raf ömrünü uzatmadaki etkisinin daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Bu durumun M ambalajının H ambalajına göre etilen üretimini daha yüksek oranda engellediğinden kaynaklı olabileceğini savunmuşlardır.

Esturk ve ark. [25] pasif modifiye atmosfer altında (~%21O<sub>2</sub> ve %79 N<sub>2</sub>) etilen tutucu içeren (%8 Tazetut® granül, M2) ve içermeyen LDPE malzemeye (M1) ambalajladıkları ve sonrasında 4°C'de 20 gün boyunca depoladıkları brokoli örneklerinin raf ömrünü incelemişlerdir. Depolama sonunda etilen konsantrasyonunu etilen tutucu içermeyen ve içeren ambalajlarda sırasıyla 61.8 ppm ve 0.33 ppm olarak tespit etmişlerdir. Etilen tutucu içeren örneklerin raf ömrünü 20 gün olarak, ambalajsız kontrol örneklerinin ise 5 gün olarak belirlemişlerdir. Etilen tutucu içermeyen ambalajlarda tepe boşluğu oksijen konsantrasyonu %1'in altına düştüğünden anaerobik fermentasyon riskine karşı raf ömrünü 5 günle sınırlamışlardır.

Ketsa ve ark. [42] tarafından yapılan çalışmada; muz örneklerinde 14°C'de depolama periyodu boyunca, raf ömrü üzerinde 1-MCP'nin, pasif modifiye atmosfer depolamanın ve her iki yöntemin birlikte gösterdiği etki incelenmiştir. İki yöntemin uygulanmadığı örnekler kontrol örneği olarak belirlenmiş, tüm örnekler gözeneksiz polietilen malzemeye ambalajlanmıştır. Çalışmada elde edilen veriler sonucunda pasif modifiye atmosfer ve 1-MCP uygulamaları ayrı ayrı uygulandığında her biri 40 gün kadar raf ömrü sağlarken, iki yöntemin kombine bir şekilde uygulandığı yöntemde muz örneklerinin raf ömrü 100 gün olarak belirlenmiştir [42].

Tablo 2. Etilen tutucu sistemlerin meyve ve sebze depolamada kullanımı üzerine yapılmış çalışmalar

Ürün	Sistem	Sıcaklık	Sonuç	Kaynak
Avokado	1-MCP uygulaması	22°C	13 günlük raf ömrü	[5]
Avokado	1-MCP uygulaması	20°C	Olgunlaşmanın geciktirilmesinde etkili	[49]
Avokado	1-MCP uygulaması	5°C	3.5 hafta boyunca ürün kalitesinde artış	[50]
Avokado	Palladyum içeren etilen tutucu	20°C	Ürün kalitesinde önemli derecede artış	[37]
Avokado	Palladyum katkılı etilen tutucu ile 1-MCP uygulamasının kıyaslanması	5°C'de depolama, 20°C'de son olgunlaştırma	İki uygulamada da yakın sonuçlar, 26 güne kadar raf ömrü	[39]
Muz	Palladyum içeren etilen tutucu	20°C	Ürün kalitesinde önemli derecede artış	[37]
Muz	1-MCP uygulaması ile mikro baloncuk yöntemiyle 1-MCP uygulamasının kıyaslanması	25°C	8 günlük depolamada mikro baloncuk yöntemi daha avantajlı	[52]
Çilek	1-MCP uygulaması	0°C, 5°C	Raf ömründe önemli düzeyde bir artış yok	[53]
Çilek	Palladyum içeren etilen tutucu	20°C	Ürün kalitesinde kayda değer bir artış yok	[37]
Domates	3 saat aralıklarla 175°C'lik ısı şok uygulayan cihazın %1 Pd içeren aktif karbon etilen tutucu ile kıyaslanması	8°C	Olgunlaşmayla ilişkili özelliklerin oluşumunda yüksek oranda yavaşlama	[38]
Elma	1-MCP ve DPA uygulamalarının kıyaslanması	0°C	DPA ve 1-MCP uygulamalarının her ikisinde de ürün kalitesinde artış	[55]
Elma	1-MCP ve DPA uygulamalarının kıyaslanması	0°C	6 aylık depolama periyodunda 1-MCP daha avantajlı	[56]
Brokoli	Kontrollü atmosfer (10% O <sub>2</sub> and 5% CO <sub>2</sub> ) ve 1-MCP uygulamalarının kıyaslanması	1-2°C'de depolama	Kontrollü atmosfer depolamanın 1-MCP uygulamasına göre ürün kalitesini daha yüksek oranda koruması	[57]
Brokoli	Asitlendirilmiş aktif karbon tozu katkılı PdCl <sub>2</sub> -CuSO <sub>4</sub> bazlı etilen tutucu	20°C	Raf ömründe 2 gün artış	[45]
Durian meyvesi	1-MCP Uygulaması	15°C ve 25°C	1-MCP 25°C'de 15°C'ye göre daha etkili	[58]
Kivi	1-MCP Uygulaması	1°C	5 haftalık depolama boyunca kontrol örneğine göre daha yüksek ürün kalitesi	[46]

Armut örneğinde yapılan bir çalışmada; farklı oranlarda 1-MCP (0.5 µL/L ve 1.0 µL/L), farklı ambalaj materyalleri (LDPE ve mikro gözenekli LDPE film) ve pasif modifiye atmosfer ambalajlanmanın 210 gün boyunca 0-2°C'de soğuk depolama boyunca kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. 0.5 µL/L 1-MCP uygulanmış ve mikro gözenekli filmle ambalajlanmış örneklerde renk, sertlik, titrasyon asitliği ve C vitamini gibi özellikleri daha iyi düzeyde korunmuştur [43]. Özkaya ve ark. [62] yaptıkları çalışmada hasattan sonraki depolama süresince 1-MCP (0.5 µL/L ve 1 µL/L) uygulaması ile yüksek CO<sub>2</sub> ve düşük O<sub>2</sub> geçirgenliğine sahip Xtend modifiye atmosfer torba ambalajlarının nektarinlerin kalitesi üzerine etkilerini karşılaştırmışlar; 0°C'de 20 gün ve devamında 20°C'de 2 gün depolama süresince 1-MCP ve MAP örneklerinde kontrol örneğine göre ürün

sertliğinin daha iyi düzeyde korunduğunu gözlemlemişlerdir [62]. Vázquez-Celestino ve ark. [47] mango meyvesi üzerinde PrimePro® mikro gözenekli torba (MP) ve 1-MCP'yi tek başına ve kombine olarak; karnauba mumu ve nitrik oksit (NO)'i tek başına ve kombine olarak uygulamışlardır. Mango meyvesinin kalite özelliklerinin korunması bakımından en uygun yöntemin karnauba mumu ve NO'nun kombine uygulaması olduğunu, bu yöntemle 13°C'de 18 güne kadar meyve sertliğinin en iyi düzeyde korunduğunu, ağırlık kaybı ve kurumanın ise diğer uygulamalara nazaran daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [47]. Tablo 3'te meyve ve sebze ambalajlamada kullanılan etilen tutucu sistemler üzerine yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 3. Etilen tutucu sistemlerin meyve ve sebze ambalajlamada kullanımı üzerine yapılmış çalışmalar

Ürün	Yöntem	Sıcaklık	Sonuç	Kaynak
Çin hünnapı	Nano-Ag, kaolin, TiO <sub>2</sub> nano-tozu karışımı polietilen malzemeye ambalajlama	16-26°C	12 günlük depolama boyunca polietilen ambalaja göre daha üstün ürün nitelikleri	[59]
Erik	H (polyester (12 µm)-polipropilen (50 µm)) ve M (polyester (12 µm)-polipropilen (50 µm)) filmleri ile pasif modifiye atmosfer ambalajlama	2°C	3-4 haftalık raf ömrü boyunca M filmi H filmine göre ürün kalitesini korumada daha başarılı	[61]
Kivi	Nanokompozit bazlı ambalajlama (nano gümüş, nano-TiO <sub>2</sub> ve montmorillonit karışımı)	4°C	42 günlük depolama boyunca nanokompozit bazlı ambalaj polietilen kontrol ambalajına göre ürün kalitesini korumada daha başarılı	[60]
Fuji elması	Nano-ZnO kaplamalı aktif paketleme	4°C	12 günlük depolamada nano-ZnO kaplamalı aktif paketleme PVC ambalajlı kontrol örneğine göre ürün kalitesini korumada daha başarılı	[40]
Muz	1-MCP ve gözeneksiz polietilen ile pasif modifiye atmosfer	14°C	Kombine 1-MCP ve pasif MAP uygulaması ile 100 günlük raf ömrü	[42]
Armut	1-MCP (0.5 µL/L ve 1.0 µL/L) ve pasif modifiye atmosfer ambalajlama (normal ve mikro gözenekli LDPE film)	0-2°C'de 210 gün ardından 20°C 7 gün	Kombine 0,5 µl 1-MCP ve mikro gözenekli LDPE film uygulaması ürünün tüm kalite özelliklerini korumada en başarılı yöntem	[43]
Brokoli	Etilen tutucu içeren (%8 Tazetut ® granül) ve içermeyen LDPE malzemelerle Pasif modifiye atmosfer (≈%21O <sub>2</sub> ve %79 N <sub>2</sub> ) ambalajlama	4°C	Etilen tutucu içeren örneklerde 20 günlük raf ömrü	[25]
Domates	Etilen tutucu konulan ve konulmayan dökme polipropilen ambalajla, aktif (%5 O <sub>2</sub> +%5 CO <sub>2</sub> +%90 N <sub>2</sub> ) ve pasif (%21 O <sub>2</sub> + %79 N <sub>2</sub> ) modifiye atmosferde ambalajlama	10°C	Etilen tutucu içeren aktif MAP (%5 O <sub>2</sub> +%5 CO <sub>2</sub> +%90 N <sub>2</sub> ) ile 14 günlük en uzun raf ömrü	[62]
Nektarin	1-MCP (0.5 µL/L ve 1 µL/L) uygulaması ile Xtend torbaları ile modifiye atmosfer ambalajlama (MAP)	0°C'de 40 gün ardından 20°C'de 2 gün	1-MCP ve MAP uygulamalarının her ikisinde de 40 günlük raf ömrü	[62]
Mango	PrimePro® mikro gözenekli torba (MP), 1-MCP'nin tek başına ve kombine uygulaması; karnauba mumu ve NO'nun tek başına ve kombine uygulaması	13°C	Carnauba mumu ile NO kombine uygulamasında 18 güne kadar ürünün kalite özelliklerini korumada en etkili yöntem	[47]

## SONUÇ

Meyve ve sebze grubu ürünlerde hasat sonrasında uygun koşullarda depolama ve ambalajlama yapılmadığı takdirde kısa bir süre içerisinde bozulmalar görülmektedir. Dünya çapında üretilen meyve ve sebzelerin neredeyse yarısının tüketiciye ulaşmadan kayba uğraması raf ömürlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Meyve ve sebzelerin raf ömürlerini artırmak, kalitelerini daha uzun süre korumak, etkin muhafazalarını

sağlamak ve israfları önlemek amacıyla son yıllarda geliştirilmeye başlanan etilen tutucu sistemlerin çoğunun ambalajlama ve depolamada başarı ile uygulandığını söylemek mümkündür. Etilen tutucu olarak kullanılan potasyum permanganat gibi toksik bileşiklerin yerine gaz formda olan, kokusu, düşük miktarlarda etkili ve toksik olmayan 1-MCP gibi bileşikler son birkaç yıldır daha fazla çalışma alanı bulmuştur. Gıda ambalajlamada yaygın olarak kullanılan polietilen ve polipropilen gibi malzemelerin gözenekleri meyve ve sebzelerin ambalajlanmasında elverişli olmadığından gözenek

yapılarının değiştirilmesi amacıyla çeşitli ilave bileşenlerle ambalaj filmleri elde edilmektedir. Zeolit gibi çeşitli mineraller içeren ambalaj filmleri, nano-ZnO, nano-Ag ve nano-TiO<sub>2</sub> içeren ambalaj filmleri de son yıllarda geliştirilen malzemelerdendir. Meyve ve sebzelerin muhafazasında etilen tutucu sistemlerin kullanımıyla ilgili sınırlı sayıda bilimsel çalışmalar yapılmışsa da ekonomik kayıpların önüne geçilebilmesi açısından özellikle endüstriyel olarak uygulanabilirliğin de göz önünde bulundurulduğu daha fazla sayıda çalışmaya ihtiyaç olduğu öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] FAO, 2011. Global food losses and food waste—extent, causes and prevention. Rome: UN FAO.
- [2] Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., Searchinger, T., 2013. Installment 2 of “Creating a Sustainable Food Future” Reducing Food Loss and Waste, Working Paper, World Resources Institute.
- [3] Winkworth-Smith, C. G., Foster, T. J. ve Morgan, W., 2015. The Impact of Reducing Food Loss in the Global Cold Chain, Final Report, The University of Nottingham, United Kingdom.
- [4] Abeles, F.B., Morgan, P.W., Saltveit, M.E., 1992. Ethylene in Plant Biology, vol. 15, 2nd ed. Academic Press, San Diego, California.
- [5] Feng, X., Apelbaum, A., Sisler, E.C., Goren, R., 2000. Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 20: 143–150.
- [6] Adams, D.O., Yang, S.F., 1979. Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 76: 170–174.
- [7] Yang, S.F., 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience* 20: 41–45.
- [8] DellaPenna, D., Giovannoni, J.J., 1991. Regulation of gene expression in ripening tomatoes. In: Grierson, D. (Ed.), *Developmental Regulation of Plant Gene Expression*. Blackie, Glasgow, pp. 182–216.
- [9] Grierson, D., Schuch, W., 1994. Control of ripening. In: Bevan, M.W, Harrison, B.D., Leaver, C.J. (Eds.), *The Production and Uses of Genetically Transformed Plants*. Chapman and Hall, London, pp. 53–62.
- [10] Kanellis, A.K., Chang, C., Kende, H., Grierson, D., 1997. *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene*. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- [11] Saltveit, M.E., 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 15(3): 279–292.
- [12] Taş, E., Ayhan, Z., 2005. Taze meyve ve sebzelerin modifiye atmosferde paketlenmesi (map). *Hasad Gıda* 21(244): 35-42.
- [13] Weiqing, L., Jie, W., Jianfeng, S., Weishuo, L., 2011. Application of high-voltage electrostatic equipment to ethylene removal. *International Journal of Food Engineering* 7(4), DOI: <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2425>
- [14] Price, J.L., and Floros, J.D., 1993. Quality decline in minimally processed fruits and vegetables. *Developments in Food Science* 32: 405-427.
- [15] Döş, A., Ayhan, Z., 2003. Gıdaların modifiye atmosferde paketlenmesi. GAP III. Tarım Kongresi, Şanlıurfa, 2-3 Ekim 2003, s. 437-440.
- [16] Üçüncü, M., 2007. Gıdaların modifiye atmosferde ambalajlanması. *Gıdaların Ambalajlanması*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- [17] Yang, S.F., 1987. The role of ethylene and ethylene synthesis in fruit ripening. In: Thomson, W.W., Nothnagel, E.A., Huffaker, R.C. (Eds.), *Plant Senescence: Its Biochemistry and Physiology*. The American Soc. Plant Physiologists.
- [18] Watada, A.E., 1986. Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. *Food Technology* 40: 82–85.
- [19] Loughheed, E.C., Murr, D.P., Toivonen, P.M.A., 1987. Ethylene and nonethylene volatiles. In *Postharvest Physiology of Vegetables*. Weichmann, J. (Ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 255–276.
- [20] Sisler, E.C., Pian, A., 1973. Effect of ethylene and cyclic olefins on tobacco leaves. *Tobacco Science* 17: 698-720.
- [21] Sisler, E.C., Yang, S.F., 1984. Anti-ethylene effects of *cis*-2-butene and cyclic olefins. *Phytochemistry* 23: 2765-2768.
- [22] Sisler, E.C., Dupille, E., Serek. M., 1996a. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regulation* 18: 79-86.
- [23] Sisler, E.C., Dupille, E., Serek. M., 1996b. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. *Plant Growth Regulation* 18:169-174.
- [24] Maneerat, C., Hayata, Y. 2008. Gas-phase photocatalytic oxidation of ethylene with TiO<sub>2</sub>-coated packaging film for horticultural products. *Transactions of the ASABE* 51(1): 163-168.
- [25] Esturk, O., Ayhan, Z., Gokkurt, T., 2014. Production and application of active packaging film with ethylene adsorber to increase the shelf life of Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *Packaging and Technology and Science* 27: 179-191.
- [26] Sisler, E.C., Wood, C., 1988. Interaction of ethylene and CO<sub>2</sub>. *Physiologia Plantarum* 73(3): 440-444.
- [27] Sisler, E.C., Blankenship, S.M., 1996. Methods of counteracting an ethylene response in plants, U.S.
- [28] Sisler, E.C., Serek, M., 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiologia Plantarum* 100: 577–82.
- [29] Song, J., Tian, M.S., Dilley, D.R., Beaudry, R.M., 1997. Effect of 1-MCP on apple fruit ripening and volatile production. *HortScience* 32: 536.
- [30] Golding, J.B., Shearer, D., Wyllie, S.G., McGlasson, W.B., 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 14: 87–98.
- [31] Watkins, C.B., 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances* 24(4): 389-409.



- [32] Will, R.B.H., Warton, M.A., 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129: 433–438.
- [33] Bhutia, W., Pal, R.K., Sen, S., Jha, S.K., 2011. Response of different maturity stages of sapota (*Manilkara achras* Mill.) cv. Kallipatti to in-package ethylene absorbent. *Journal of Food Science and Technology* 48: 763–768.
- [34] Patdhanagul, N., Rangsiwatananon, K., Siriwong, K., Hengrasmee, S., 2012. Combined modification of zeolite NaY by phenyl trimethyl ammonium bromide and potassium for ethylene gas adsorption. *Microporous and Mesoporous Materials* 153: 30–34.
- [35] Srithamaraj, K., Magaraphan, R., Manuspiya, H., 2012. Modified porous clay heterostructures by organic–inorganic hybrids for nanocomposite ethylene scavenging/sensor packaging film. *Packaging Technology and Science* 25(2): 63–72.
- [36] Tzeng, J.H., Weng, C.H., Huang, J.W., Lin, Y.H., Lai, C.W., Lin, Y.T., 2015. Spent tea leaves: A new non-conventional and low-cost biosorbent for ethylene removal. *International Biodeterioration & Biodegradation* 104: 67–73.
- [37] Terry, L.A., Ilkenhans, T., Poulston, S., Rowsell, L., Smith, A.W.J., 2007. Development of new palladium-promoted ethylene scavenger. *Postharvest Biology and Technology* 45(2): 214–220.
- [38] Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P.J., Valero, D., Serrano, M., 2009. Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber. *Postharvest Biology and Technology* 51(2): 206–211.
- [39] Meyer, M.D., Terry, L.A., 2010. Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry* 121(4): 1203–1210.
- [40] Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y., Zhang, P., 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut “Fuji” apple. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 1947–1955.
- [41] Fernández-León, M.F., Fernández-León, A.M., Lozano, M., Ayuso, M.C., González-Gómez, D., 2013. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality during storage and shelf life: Controlled atmosphere and 1-MCP. *Food Chemistry* 138(1): 564–573.
- [42] Ketsa, S., Wisutiamonkul, A., van Doorn, W.G., 2013. Apparent synergism between the positive effects of 1-MCP and modified atmosphere on storage life of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 85: 173–178.
- [43] Li, F., Zhang, X., Song, B., Li, J., Shang, Z., Guan, J., 2013. Combined effects of 1-MCP and MAP on the fruit quality of pear (*Pyrus bretschneideri* Reld cv. Laiyang) during cold storage. *Scientia Horticulturae* 164: 544–551.
- [44] Pongprasert, N., Srilaong, V., 2014. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 95: 42–45.
- [45] Cao, J., Li, X., Wu, K., Jiang, W., Qu, G., 2015. Preparation of a novel PdCl<sub>2</sub>–CuSO<sub>4</sub>–based ethylene scavenger supported by acidified activated carbon powder and its effects on quality and ethylene metabolism of broccoli during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology* 99: 50–57.
- [46] Lim, S., Han, S.H., Kim, J., Lee, H.J., Lee, J.G., Lee, E.J., 2016. Inhibition of hardy kiwifruit (*Actinidia aruguta*) ripening by 1-methylcyclopropene during cold storage and anticancer properties of the fruit extract. *Food Chemistry* 190: 150–157.
- [47] Vázquez-Celestino, D., Ramos-Sotelo, H., Rivera-Pastrana, D.M., Vázquez-Barrios, M.E., Mercado-Silva, E.M., 2016. Effects of waxing, microperforated polyethylene bag, 1-methylcyclopropene and nitric oxide on firmness and shrivel and weight loss of “Manila” mango fruit during ripening. *Postharvest Biology and Technology* 111: 398–405.
- [48] Taş, E., Ayhan, Z., 2005. Taze Meyve ve Sebzelelerin Modifiye Atmosferde Paketlenmesi (MAP). *Hasad Gıda* 21(244).
- [49] Adkins, M.F., Hofman, P.J., Stubbings, B.A., Macnish, A.J., 2005. Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology* 35(1): 33–42.
- [50] Hershkovitz, V., Saguy, S.I., Pesis, E., 2005. Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biology and Technology* 37(3): 252–264.
- [51] Meyer, M.D., Terry, L.A., 2010. Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry* 121(4): 1203–1210.
- [52] Pongprasert, N., Srilaong, V., 2014. A novel technique using 1-MCP microbubbles for delaying postharvest ripening of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology* 95: 42–45.
- [53] Bower, J.H., Biasi, W.V., Mitcham, E.J., 2003. Effects of ethylene and 1-MCP on the quality and storage life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology* 28(3): 417–423.
- [54] Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P.J., Valero, D., Serrano, M., 2009. Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber. *Postharvest Biology and Technology* 51(2): 206–211.
- [55] Ozkaya, O., Dündar, O., 2009. 1-Methylcyclopropene effects on quality parameters of long term stored apples cv. Granny Smith. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7(1): 52–55.
- [56] Moggia, C., Moya-León, M.A., Pereira, M., Yuri, J.A., Lobos, G.A., 2010. Effect of DPA [Diphenylamine] and 1-MCP [1-methylcyclopropene] on chemical compounds related to superficial scald of Granny Smith apples. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8(1): 178–187.
- [57] Fernández-León, M.F., Fernández-León, A.M., Lozano, M., Ayuso, M.C., González-Gómez, D.,

2013. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality during storage and shelf life: Controlled atmosphere and 1-MCP. *Food Chemistry* 138(1): 564-573.
- [58] Amornputti, S., Ketsa, S., van Doorn, W.G., 2016. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) inhibits ethylene production of durian fruit which is correlated with a decrease in ACC oxidase activity in the peel. *Postharvest Biology and Technology* 114: 69-75.
- [59] Li, H., Li, F., Wang, L., Sheng, J., Xin, Z., Zhao, L., XiaoHu, Q., 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chemistry* 114(2): 547-552.
- [60] Hu, Q., Fang, Y., Yang, Y., Ma, N., Zhao, L., 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Research International* 44(6): 1589–1596.
- [61] Díaz-Mula, H.M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D., 2011. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 1. Effect on organoleptic quality. *Postharvest Biology and Technology* 61(2): 103-109.
- [62] Özkaya, O., Yildirim, D., Dündar, Ö., Tükel, S.S., 2016. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of nectarine fruit. *Scientia Horticulturae* 198: 454–461.
-