

Meyve ve Sebzelerde Denge Modifiye Atmosfer Ambalajlamaya Etki Eden Faktörler

Serkan Kartal, Mehmet Seçkin Aday, Cengiz Caner

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü
E-posta: ccaner@comu.edu.tr

ÖZET

Denge modifiye atmosfer ambalajlama (DMAA) teknolojisi özellikle taze meyve ve sebze gibi solunum yapan ürünlerin raf ömürlerinin artırılmasında uygulanan yeni bir ambalajlama tekniğidir. DMAA ambalaj içindeki atmosferin, ürünün solunumu ve gazların ambalaj boyunca transferi ile modifiye edilmesi olarak tanımlanabilmektedir. DMAA uygun depolama sıcaklığında, ambalaj içindeki oksijen (O₂), karbondioksit (CO₂) ve nemin doğru ayarlanmasıyla, solunum, olgunlaşma ve etilen (C₂H₄) üretiminin yavaşlatılmasını sağlayarak ürünün daha uzun depolanmasına olanak sağlar. Ambalaj içinde iyi bir denge modifiye atmosfer (DMA) oluşturmak için, taze meyve ve sebzelerin özelliklerinin, film geçirgenliğinin ve optimum ambalaj tasarımının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu derlemede, meyve ve sebzelerde denge modifiye atmosfer ambalajlamaya etki eden faktörler bu konuda yapılan önceki çalışmalar ışığında derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denge modifiye atmosfer ambalajlama (DMAA), Ambalaj, Meyve, Sebze, Raf ömrü

Factors Effecting Equilibrium Modified Atmosphere Packaging of Fruit and Vegetables

ABSTRACT

Equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) is a new technique used to extend the shelf life of fresh fruits and vegetables. EMAP can be defined as a modification of the atmosphere inside package achieved by respiration of product and transfer of the gases through the packaging. Manipulating the amount of oxygen (O₂), carbon dioxide (CO₂) and moisture within the packaging at the appropriate storage temperature, the modified atmospheric packaging enables the produce to live longer by delaying respiration, ripening and ethylene production. For favorable EMAP, intrinsic properties of fresh fruit and vegetables, film permeabilities and optimal package design should be known. In this review, factors effecting equilibrium modified atmosphere packaging of fruit and vegetables have been reviewed.

Key Words: Equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP), Package, Fruit, Vegetable, Shelf life

GİRİŞ

Denge modifiye atmosfer taze meyve ve sebze gibi ürünlerin solunum oranlarının yavaşlatılmasıyla raf ömürlerinin uzatıldığı yeni gıda ambalajlama teknolojilerine güzel bir örnektir. Meyve ve sebzeler diğer taze gıdalardan (örneğin et ve balık) farklı olarak hasat sonrası metabolik faaliyetlerine devam etmektedirler. Paketlenmiş meyve ve sebzelerin (taze-kesilmişler de dahil), solunum hızı ve kullanılan filmlerin geçirgenlik oranları eşleştirilerek ambalaj (ortam) içindeki O₂ ve CO₂ oranlarının bir denge haline getirilmesi bu yöntemin esasıdır. Taze meyve ve

sebzelerin duyuşal özelliklerinin yanı sıra mikrobiyal kalitesinin korunması; düşük O₂ (%1-5) ve yüksek CO₂ konsantrasyonu (%5-10) ve depolama sıcaklığı (4°C) ile birlikte en uygun depolama koşullarının oluşturulmasıyla başarılıdır. Bu denge atmosfer, taze meyve-sebzelerin genel doku yapısının korunmasını, turgor dengesinin sağlanmasını, canlılığının sürdürülmesini ve mikrobiyal gelişmeyi inhibe etmesini sağlamaktadır [1, 2, 3].

DMAA teknolojisinde, meyve ve sebze türüne göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak; ambalaj içindeki O₂ konsantrasyonunun %21'den %1-3'e ve CO₂ konsantrasyonunun ise %0.03'den %0.5-5 düzeylerine

kadar düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde dengeye ulaşan gaz karışımı, depo içinde bulunan ve solunum yapan meyve ve sebzelerin metabolik aktivitelerinin düzgün ve doğrusal olarak devam etmelerine olanak sağlamaktadır. Kısaca taze meyve ve sebzeler ambalajlara konulduklarında O₂ tüketerek ve CO₂ üreterek (pasif MAP) ambalaj içerisindeki atmosferi doğal olarak değiştirirler. Anoksik tepkimeler fermentasyona neden olacağı için, O₂ geçişine ve ambalajdan CO₂ çıkışına izin verecek ambalajlama malzemelerini seçerek O₂'nin tamamen tüketiminden kaçınılması gerekmektedir. Bu nedenle en uygun DMAA sisteminin modellenmesi için aşağıdaki faktörlerin belirlenmesi lazımdır [2, 3, 4, 5]:

- Ambalaj filminin özellikleri
- Gıdanın difüzyona dayanımı
- Ürünün solunum oranı
- Gıdanın C₂H₄ üretimi ve hassasiyeti
- Optimum depolama sıcaklığı
- Optimum nispi nem (RH)
- Optimum O₂ ve CO₂ konsantrasyonları
- Işık
- Şok ve titreşim etkisi.

DENGE MODİFİYE ATMOSFER AMBALAJLAMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

AMBALAJ FİLMİ

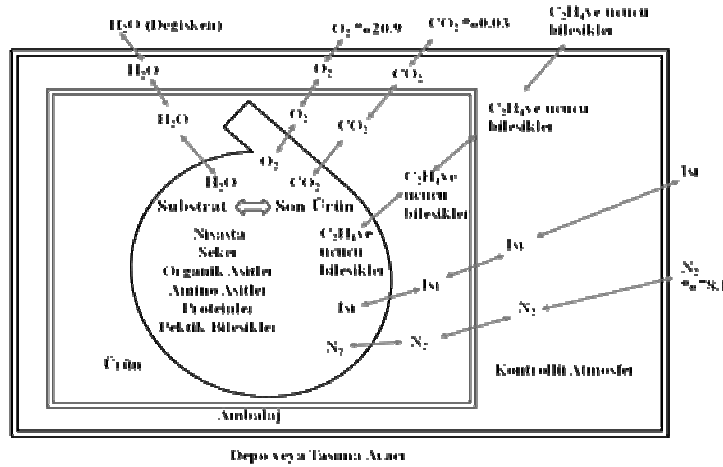
DMAA, taze meyve ve sebzelerin doğallığını korumak ve raf ömrünü uzatmak için oldukça avantajlı bir uygulama

şeklidir ve başarısı kullanılan plastik filme doğrudan bağlıdır. DMAA sisteminde, meyve ve sebzeler için ambalaj filmlerini seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli özellikler; seçici gaz geçirgenliği, su buharı geçirime oranı, mekanik özellikleri (yırtilma ve esneme oranı), şeffaflık ve iyi yapışma derecesidir. Meyve ve sebzeler solunum yapan ürünler olduklarından DMAA sisteminde kullanılan filmlerin belirli geçirgenlik değerine sahip olması gerekmektedir. Solunum yapmayan ürünlerdeki (et ve balık gibi) MAA sisteminde gaz geçişi olmayan bariyer filmler kullanılır [2, 4, 6]. Ambalaj filmlerinin geçirgenliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden (1) yararlanılmaktadır;

$$P = D \times S \quad (1)$$

P=Geçirgenlik katsayısı
D=Difüzyon katsayısı (bariyer boyunca moleküllerin ne kadar hızlı gittiğinin göstergesi)
S=Çözünürlük katsayısı (denge koşullarında transfer olan moleküllerin film içindeki miktarı) [7].

DMAA'da kullanılan alt (tepsi) ve üst filmler bu sistemin başarısını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Meyve sebzelerin solunum oranlarına bağlı olarak uygun O₂ ve CO₂ geçirgenliğine sahip filmlerin kullanılması gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler sonucu ileri teknoloji ile üretilmiş uygun gaz geçirgenliğine sahip filmlerin kullanılmasıyla, taze meyve ve sebzeler için uygun DMAA sisteminin belirlenmesinde çok iyi sonuçların alınabilmesi mümkündür [4, 6, 8]. Bir gıda ürünü ile çevresi arasındaki etkileşime ait diyagram Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ürün ile çevresi arasındaki kütle transferi [6]

DİFÜZYONA DAYANIM

Ürünlerin dokularındaki O₂, CO₂ ve C₂H₄ hareketi konsantrasyon farkında gerçekleşmektedir. Meyve ve sebzelerin bir çoğunun O₂ için tolerans aralığı %1-5 arasında ve CO₂ için ise %5-10 arasında değişmektedir. Hücre içindeki O₂ veya CO₂ ile dış çevredeki O₂ veya CO₂ konsantrasyonu arasındaki fark ne kadar büyükse, dokuların gaz difüzyonuna olan direnci artmaktadır. Gaz difüzyonuna olan direnç; farklı türlerde, bitki organlarında, farklı olgunluk aşamalarında değişiklik

göstermektedir. Meyve ve sebzelerin biyokimyasal farklılıklardan ziyade, anatomik farklılıkları O₂ ve CO₂'ye olan toleranslarını etkilemektedir [5]. Genel olarak bir meyve veya sebzelerin çevresindeki O₂ dokunun dış yüzeyini hızlıca kaplayarak deriden et kısmına doğru difüze eder veya et kısmından hücresel solüsyona difüze olur. Farklı ürünler farklı iç hava boşluğuna sahiptirler (örneğin; patates %1-2, domates %15-20, elma %25-30). Bu durum ise DMAA için kullanılacak atmosferi etkileyerek, ürünün anaerobik solunum yapmasına olanak sağlar [3, 9, 10].

SOLUNUM ORANI

Taze meyve ve sebzeler, solunum reaksiyonu ile; nişasta, şeker ve organik asitlerden enerji üreterek, ortama CO₂ ve su verir. Teorik olarak bağ enerjisinin %60'lık bir kısmı (2870 kJ/mol glikoz) ısı olarak kaybedilirken, 37 mol Adenozin Trifosfat (ATP) meydana gelmektedir [11].



DMAA sistemi ile ürün miktarı ve ambalaj materyalinin geçirgenliği optimum düzeyde ayarlanarak, ambalaj içindeki O₂ ve CO₂ konsantrasyonu istenilen seviyede tutulmakta ve böylelikle solunum hızı yavaşlatılmaktadır. Fakat tüm bu koşullar sağlansa bile, sıcaklık istenilen düzeyde tutulmazsa, filmin geçirgenliğinin ve ürünün solunum hızının değişeceği unutulmamalıdır [12]. Ambalaj içindeki gaz konsantrasyonu periyodik olarak ölçülürse, bu bilgiden hem O₂ kullanımı hem de CO₂ üretimi (solunum hızı) hesaplanabilir. Aşağıdaki formül (3, 4) solunum hızının hesaplanmasında kullanılmaktadır [13].

$$\text{RO}_2 \cdot W = \text{PO}_2 \cdot A \cdot \{(\text{O}_2)_{\text{out}} - (\text{O}_2)_{\text{in}}\} \quad (3)$$

$$\text{RCO}_2 \cdot W = \text{PCO}_2 \cdot A \cdot \{(\text{CO}_2)_{\text{in}} - (\text{CO}_2)_{\text{out}}\} \quad (4)$$

(O ₂) _{out}	Ambalaj dışındaki O ₂ konsantrasyonu (mL/100mL)
(O ₂) _{in}	Ambalaj içindeki O ₂ konsantrasyonu (mL/100mL)
(CO ₂) _{in}	Ambalaj içindeki CO ₂ konsantrasyonu (mL/100mL)
(CO ₂) _{out}	Ambalaj dışındaki CO ₂ konsantrasyonu (mL/100mL)
W	Ambalaj içindeki ürün miktarı (kg)
A	Ambalaj filminin alanı (m ²)
RO ₂	O ₂ tüketiminden yola çıkılarak belirlenen solunum hızı (ml/kg.h) ,
RCO ₂	CO ₂ tüketiminden yola çıkılarak belirlenen solunum hızı (ml/kg.h) ,
PO ₂	Ambalaj filminin O ₂ için geçirgenliği (ml/m ² .24h)
PCO ₂	Ambalaj filminin CO ₂ için geçirgenliği (ml/m ² .24h) [13].

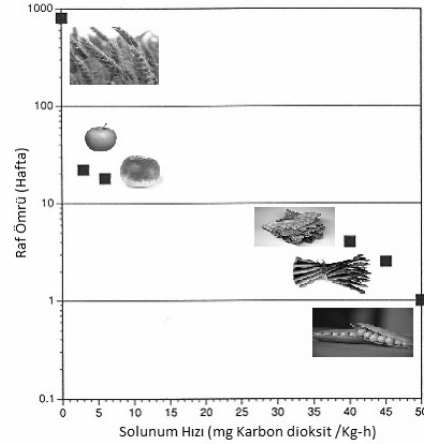
Meyve ve sebzelerin solunum hızları, metabolik aktivitenin bir göstergesidir. Meyve ve sebzelerin solunum hızları ile depolama ömürleri arasında yakın bir ilişki vardır. Ürünün solunum hızı ne kadar yüksekse depolama ömrü o kadar kısalmaktadır. Solunum hızı, ürün cinsine ve büyüklüğüne, hazırlama koşullarına, üretim çeşidine, olgunluk ve doku tipine, atmosferik kompozisyon ve sıcaklığa kadar birçok faktöre bağlıdır [3, 4, 6]. Şekil 2'de bazı meyve ve sebzeler için 5°C'de solunum hızı-raf ömrü grafiği verilmiştir.

Solunum oranını etkileyen faktörler iç ve dış faktörler olarak iki başlıkta incelenmektedir. Meyve ve sebzelerde solunum hızına etki eden iç faktörler; ürünün çeşidi ve olgunluk aşamasıdır. Sebze ve meyveler birçok kısımdan (kök, tohum, meyve, yaprak, sap gibi) meydana gelmekte olup, bunların hepsinin metabolik aktiviteleri ve solunum hızları farklıdır. Genel olarak söylenecek olursa, klimakterik olmayan ürünler gelişmenin başlangıcında yüksek solunum hızlarına sahipken, olgun biçimde ağaçtan koparıldığında, depolama sırasında solunum hızında bir artış görülmemektedir. Klimakterik ürünlerde de gelişmenin başlangıcında yüksek olan solunum hızı, daha sonra azalmakta, olgunlaşmanın ilerleyen aşamalarında ise

Solunum sırasında ortaya çıkan ısı (2), meyve ve sebzelerin depolanmasında göz önüne alınması gereken en önemli problemdir. Solunumla beraber olgunlaşmaya başlayan meyve ve sebzelerde C₂H₄ üretiminin de başlaması, dokuların yumuşamasına ve raf ömrünün azalmasına da neden olmaktadır [11]

solunum hızı tekrardan artmaktadır [14]. Hasat sonrasında solunum hızı;

- Ürünün yaşlanmasıyla birlikte meydana gelen bozulmaya
- Klimakterik ürünlerin olgunlaşmasına
- Taze kesilmiş ürünlerde ise doku zararlanmasına bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2. Bazı meyve ve sebzeler için 5°C'de solunum hızı-raf ömrü grafiği [11]

Meyve ve sebzelerde solunum hızını etkileyen dış faktörlerden birisi sıcaklıktır. Biyolojik reaksiyonlarda her 10°C artışta reaksiyon hızı 2-3 kat artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise enzimatik denatürasyonlar artmakta ve böylelikle solunum hızı azalmaktadır. Bunun yanında çok düşük sıcaklıklarda ise fizyolojik zararlanmalar meydana gelmekte ve bu da solunum hızını arttırmaktadır [14]. Solunum hızını etkileyen diğer dış faktörler ise O₂ ve CO₂ konsantrasyonudur. Ortamdaki O₂ konsantrasyonunun azalmasıyla beraber solunumun yavaşlaması; hücrelere O₂ erişiminin (difüzyonunu) azalmasından dolayıdır. Solunumun yavaşlamasının sebebi de sitokrom oksidazın aktivitesini yitirmesinden kaynaklanmayıp, diğer oksidazlardan olan polifenoloksidaz, askorbik asit oksidaz ve glikolik asit oksidazın aktivitesinin azalmasından kaynaklanmaktadır [14].

Solunumun azaltılması; tekstürün korunması, yumuşamanın geciktirilmesi, C₂H₄ üretiminin ve duyarlılığının azaltılması, klorofil yıkım hızının düşürülmesi ve fiziksel bozulmaların yavaşlatılmasında etkilidir [10].

ETİLEN ÜRETİMİ ve HASSASİYETİ

Etilen doğal bir taze meyve-sebze hormonudur. Olgunlaşma başlangıcında önemli rol oynar ve iz miktarda (0.1 ppm) bile fizyolojik olarak aktiftir. Etilen meyvelerin bazılarında olgunlaşma sırasında doğal olarak üretilmektedir. Klimakterik meyve-sebzelerde olgunlaşma ile C_2H_4 üretimi dolayısıyla solunum hızlanmakta ve ürünün raf ömrü azalmaktadır. Etilen, klimakterik olmayan türlerde ise klorofil yıkımına neden olmakta, kloroplastlar kromoplastlara dönüşmekte ve böylece kromoplastlardaki karotenoidlerin yapımına olanak sağlayarak renk değişimine sebep olmaktadır [15]. O_2 , C_2H_4 üretimi için gereklidir ve O_2 konsantrasyonu yaklaşık %8 azaltıldığında C_2H_4 üretimi %50 azalmaktadır. Bu düşük O_2 , C_2H_4 hareketini ve üretimini inhibe ederek ürünün olgunlaşmasını azaltır. Kısaca, DMAA sistemi olgunlaşma için gerekli olan otokatalitik C_2H_4 'ün, reseptörlere bağlanmasını engelleyerek muhafaza ömrünü uzatmaktadır [1, 4, 6].

Düşük O_2 (<% 5) ve yüksek CO_2 (>% 5) dokuların yaşlanmasının teşvikinde önemli olan C_2H_4 'ün etkilerinin inhibe edilmesine yardımcı olmaktadır. Kesim ve dilimleme ile hemen C_2H_4 biyosentezi tetiklenir ve bu durum üründe istenmeyen değişimlere neden olabilmektedir. Bu nedenle hızlı bir MAA kurulması (düşük O_2 ve yüksek CO_2) taze kesilmiş ürün içerisinde indüklenen C_2H_4 biyosentezinin etkilerini azaltacaktır. Çeşitli endüstriyel girişimler sonucunda C_2H_4 üretiminin sınırlandırılması için taze ve kesilmiş meyve-sebzelerin raf ömrünü uzattığı düşüncesiyle esnek ambalaj filmleri içine C_2H_4 emiciler katabilir. MAAA ile düşük O_2 ve yüksek CO_2 oranları sağlandığı için C_2H_4 emiciler gereksiz bir maliyet fazlalığına neden olabilmesine rağmen, DMAA sisteminde denge sistemine ulaşması zaman alabildiğinden gerekli olabilir [3, 11].

OPTİMUM SICAKLIK

Düşük sıcaklık; enzim aktivitesini, biyokimyasal olayları, solunumu, nişasta parçalanmasını, aromatik madde salgılama hızını, kabuk renklenmesini, protopektin ve hemiselüloz parçalanmasını, yağların oksidasyonunu, asit kaybını, burukluk yapan maddelerin azalışını yavaşlatır veya geciktirir. Düşük sıcaklık; ürün metabolizmasını yavaşlatıcı etkisi nedeni ile ürünün patojene karşı direncini yüksek tutar ve patojenin aktivitesini yavaşlatır. Bu nedenle depolama için en uygun düşük sıcaklık derecesi uygulanır [4, 8]. Solunum oranı ve olgunlaşma oranı gibi metabolik prosesler sıcaklığa hassastırlar. Biyolojik reaksiyonlarda her 10°C sıcaklık artışı reaksiyon hızını 2-3 kat artırmakta, bu yüzden sıcaklık kontrolü MAP ve DMAA sisteminin etkin çalışması için önem tutmaktadır. Sıcaklığın optimum seviyede tutulmasıyla birlikte solunum hızı yavaşlatılacak ve ürünün raf ömrü ve DMAA koşulları daha iyi sağlanabilecektir. Sıcaklık solunum hızı ve ambalaj materyalinin geçirgenliğini etkileyen en önemli parametredir. Ürünlerin depolama ve taşınması sırasında meydana gelen sıcaklık dalgalanmaları raf ömrünü doğrudan etkilemektedir. Sıcaklığın solunum üzerine etkisi Arrhenius modeli ile açıklanmaktadır. Bu modele

göre O_2 tüketim ve CO_2 üretimi aşağıdaki eşitlikle şöyle tanımlanmaktadır [15].

$$R_{O_2} = R_{O_2}^0 \exp(-E_{O_2} / RT) \quad (5)$$

$$R_{CO_2} = R_{CO_2}^0 \exp(-E_{CO_2} / RT)$$

Sıcaklığın etkisinin belirlenmesindeki diğer bir yol ise Q_{10} değerinin hesaplanmasıdır. Q_{10} değeri reaksiyonda sıcaklığın 10°C artması halinde reaksiyon hızının kaç kat arttığını göstermektedir. Sebzeler için Q_{10} değeri 0-10°C'de 2.5-4.0, 10-20°C'de 2.0-2.5 ve 30-40°C'de 1.5-2.0 arasındadır [15].

Film geçirgenliği ise sıcaklık arttıkça artmakta, fakat CO_2 geçirgenliği O_2 geçirgenliğinden daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu olay kinetik yasaların bir sonucudur. Sıcaklık arttıkça moleküller daha fazla enerjiye sahip olmakta ve polimer matriksinden daha kolay geçmektedir. Sıcaklık ve geçirgenlik oranı arasındaki doğrusal ilişki polimerin camsı geçiş sıcaklığıyla ilgili bir durumdur. Genel olarak camsı geçiş sıcaklığının üstündeki her bir °C artışta O_2 geçirgenliği yaklaşık olarak %9 artarken, camsı geçiş sıcaklığının altındaki her bir °C azalış için ise %5 artmaktadır [7]. Sıcaklığın artması solunum hızı üzerinde çok önemli etkiler yaratırken, geçirgenlik üzerinde ise bu etkinin büyüklüğü aynı olmamaktadır. Bu yüzden depolama ve taşıma sırasında küçük bir sıcaklık artışı ürünün solunum hızının çok artmasına ve ürünün zarar görmesine neden olurken, ambalaj filmleri geçirgenlikte çok büyük değişimler göstermediğinden bu problemleri engelleyememektedir. Bu yüzden yeni sınıf polimerik filmler üretilerek bu filmlerin geçirgenlik aktivasyon enerjisinin ürünün solunum aktivasyon enerjisiyle uyuşması sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu polimerik filmlerde polimerik matriks sıcaklık ile birlikte kristalin yapıdan amorf yapıya dönüşerek bu eşleşmeyi sağlamaktadır [15]. DMAA koşulları için uygun olan bir film diğer bir sıcaklıkta farklı sonuçlar verebilmektedir [4, 6, 10].

OPTİMUM BAĞIL NEM (RH)

Bağıl nem; su kaybı hızını belirleyen en önemli ortam faktörüdür. Fiziksel bir faktör olarak olgunlaşma ve yaşlanma üzerine doğrudan bir etkisi olmasa da, düşük bağıl nem aşırı su kaybına neden olarak meyve kabuğunun gaz geçirgenliği azaltmakta ve solunumun yavaşlamasına sebep olmaktadır. Yüksek bağıl nem ise su kaybını azaltmakta, aşırı yüksek nem ise aromatik madde çıkışını bozmakta ve aroma bileşimini değiştirmektedir. Yüksek bağıl nem; ayrıca aromatik maddelerin kabukta birikimi sağlamakta, duyarlı çeşitlerde ise kabuk yanığına neden olmaktadır. Çünkü su uçucu maddeler için taşıyıcı görevi yapmaktadır. Bu nedenlerle soğuk depoda yüzde nem; su kaybını azaltacak, fakat kayıpları ve bozulmaları arttırmayacak bir değerde tutulmalıdır [4].

Nemin ambalaj filmi üzerine etkisi de büyüktür. Nispi nem arttıkça ambalaj filminin geçirgenliği de artmaktadır. Higroskopik özellikteki materyallerden, naylon, polivinil

alkol, polivinil asetat ve kaplanmamış selofan nem varlığından çokça etkilenmekte bunun sebebi olarak ise yapılarındaki hidroksil grubu görülmektedir. Polietilen ve akrilonitril kopolimer ise nemden etkilenmeyen ambalaj materyalleridir. Nemin bazı materyaller için O_2 geçirgenliğine etkisi Tablo 1'de verilmiştir [7].

Ayrıca ambalaj içindeki yüksek nem film yüzeyinde yoğuşmaya neden olur. Yoğuşmanın miktarı ambalaj iç ve dış sıcaklık farkına, ambalaj hacmine ve polimer filmin özelliklerine (antifog) bağlıdır. Terleme ile açığa çıkan su; ürünün tazeliliğinin azalması, buruşma ve tekstürel kaybına neden olmaktadır. DMAA'da yüksek bağıl nem (RH) bu nedenle önemlidir. Ambalajın üzerinde su buharı birikimi üründen su kaybı oranına bağlıdır (yüzey alanı, su buharı geçirgenliği (WVTR) film ve dış ortam sıcaklığı) [2, 3, 8]. İç nispi neminin bağlı olduğu faktörler;

- ürün su buharı kayıp oranı ve
- ambalaj filmin su buharı geçirgenlik oranıdır.

Tablo 1. Bağıl nemin bazı materyaller için O_2 geçirgenliğine etkisi (25°C) (10^{11} mL*cm/cm² *s*cmHg) [7].

Polimer	% 0 RH	% 100 RH
Polivinilalkol	0.0006	1.50
Kaplanmamış selofan	0.0078	12.00
Naylon 6	0.06	0.30
Polivinil asetat	3.30	9.00
Akrilonitril-stiren kopolimer	0.06	0.06
Yüksek yoğunluklu polietilen	6.60	6.60
Açık yoğunluklu polietilen	28.80	28.80

OPTİMUM O_2 ve CO_2 KONSANTRASYONLARI

Taze meyve ve sebzeler için MAA koşullarını oluşturmadan önce ürünün; optimum depolama koşulları

Tablo 2. Taze meyve ve sebzeler için tavsiye edilen modifiye atmosfer koşulları [16]

Ürün	Sıcaklık (°C)	Nispi Nem (%)	Modifiye Atmosfer Koşulları	
			O_2 (%)	CO_2 (%)
<i>Sebzeler</i>				
Kuşkonmaz	0-5	95	Hava	5-10
Brokoli	0-5	95	1-2	5-10
Brüksel Lahanası	0-5	95	1-2	5-7
Lahana	0-5	90-95	3-5	5-7
Karnabahar	0-5	95	2-5	2-5
Mısır	0-5	95	2-4	10-20
Salatalık	8-12	90-95	3-5	0
Marul	0-5	95	2-5	0
Mantar	0-5	90	Hava	10-15
Biber	8-12	90-95	3-5	2-8
İspanak	0-5	95	Hava	10-20
Domates	8-12	85-90	3-5	0
<i>Meyveler</i>				
Elma	0-5	90	2-3	1-2
Kayısı	0-5	90	2-3	2-3
Avokado	5-13	85-90	2-5	3-10
Muz	12-15	85-95	2-5	2-5
Böğürtlen	0-5	90-95	0-10	11-20
Kiraz	0-5	90-95	3-10	10-12
Greyfurt	10-15	85-90	3-10	5-10
Şeftali	0-5	90	1-2	5
Armut1-2	0-5	90-95	2-3	0-1
Trabzon Hurması	0-5	90-95	2	8
Çilek	0-5	90-95	10	15-20

(gaz konsantrasyonu, sıcaklık ve nem), O_2 ve CO_2 'nin genel özellikleri ve tolerans limitleri, solunum hızları, hangi sıcaklıklarda soğuk zararına uğradığı, iklimterik veya iklimterik olmadığı gibi özelliklerin bilinmesi gerekmektedir [16]. Bazı meyve ve sebzeler için tavsiye edilen O_2 ve CO_2 koşulları Tablo 2' de yer almaktadır.

DMAA'da kullanılan CO_2 suda kolay çözünmekte ve karbonik asit oluşturarak pH seviyesini düşürmektedir. Bu gaz ayrıca lipid ve diğer organik bileşiklerle de kolayca çözünebilmektedir. CO_2 'nin çözünürlüğü azalan sıcaklıkla beraber artmakta olup, bu yüzden antimikrobiyal aktivitesi 10°C'de, 15°C'ye göre daha fazladır. Ambalaj filminin geçirgenliği iyi ayarlanmadığında ise bu yüksek çözünürlük özelliğinden dolayı, ambalajda göçme problemleri ortaya çıkabilmektedir. Eğer CO_2 seviyesi ve sıcaklık uygun düzeyde tutulursa, mikroorganizmaların lag fazı uzamakta ve mikroorganizmaların çoğalması geciktirilmektedir. Ayrıca pH düşüşü, süksinik oksidazların ve dekarboksilasyon enzimlerinin inhibisyonu da CO_2 sayesinde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte CO_2 seviyesinin %20'lerin üzerine çıkması bakteri ve küf gelişimini de önlemektedir [17].

DMAA'da kullanılan bir diğer gaz olan O_2 ise suda düşük çözünürlüğe sahip olup, bozulma reaksiyonlarının başlamasını tetiklemektedir. Bu reaksiyonlardan yağ oksidasyonu, esmerleşme reaksiyonları ve pigment oksidasyonu önemlidir. Ayrıca bir çok bakteri gelişme için O_2 'ye ihtiyaç duymaktadır ve bu yüzden O_2 seviyesi depolama boyunca istenilen seviyede tutulmalıdır. Eğer O_2 seviyesi çok azalır ise etlerde istenmeyen renk değişimleri, sebze ve meyvelerde ise yaşlanma gibi problemler oluşabilmektedir [17].

Genel olarak O₂ konsantrasyonunun %21'in altına düşürülmesi veya CO₂ seviyesinin %0.03 değerinin üstüne çıkarılması solunumu ve bozulma reaksiyonlarını yavaşlatmaktadır. Bazı ürünlerde ise O₂ oranını %1'in altında, CO₂ da %50'nin üzerinde tutmak başarılı sonuçlar vermektedir. Fakat bu oranların doğru ürünlerde kullanılmaması; anaerobik solunumun başlamasına neden olabilir ve bu da toksik ürünlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu yüzden ambalaj içindeki istenilen gaz konsantrasyonunun sağlanmasında; gazların gıdanın içinde çözünmesine, gıdanın difüzyona karşı direncine ve dokunun metabolik karakteristiğine dikkat edilmesi gerekmektedir [11].

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı taze meyve ve sebzeler için optimum atmosfer koşulları oluşturularak solunum minimize edilmeli ve böylece raf ömrü metabolik hasar verilmeden arttırılmalıdır.

IŞIK

Çoğu ürün için ışık, hasat sonrası için önemli değildir. Buna rağmen yeşil sebzeler yeterli ışıktaki fotosentez yapabilirler. Bu reaksiyon solunum işleminin zıttı ve ambalaj atmosferini ters yönde değiştiren bir etkiye neden olur (fotosentezle CO₂ harcanarak O₂ üretilir) [4].

SONUÇ

Düzgün tasarlanmış DMAA sistemi ile optimum sıcaklık ve depolama koşulları altında meyve ve sebzelerin doğal yaşlanma süreçleri yavaşlatılarak üstün kalitenin muhafazası sağlanabilir. İyi bir üretim süreci ve belirli faktörlerin istenilen seviyede tutulmasıyla (depolama ve sevkiyat sıcaklığı, ürün solunum hızı, CO₂, O₂ oranı, nem ve ürün ağırlığı seviyeleri) DMAA sistemi birçok üründe başarıyla uygulanan ve hızla gelişen bir ambalajlama sistemidir.

DMAA sistemlerinde ürünün solunum hızına bağlı olarak uygun gaz geçirgenliğine sahip filmler kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle DMAA teknolojisi için uygun ambalaj filmin seçimi de büyük önem kazanmaktadır. DMAA sisteminde kullanılan filmler, solunum yapan ürünlerin ambalaj içi atmosfer ortamının dengelenmesine yardımcı olmalıdır. Meyve sebzelerin solunum yapabilmesi için gerekli O₂ sağlamalı ve aynı zamanda ambalaj içinde biriken fazla CO₂'nin çıkmasına izin vermelidir. Bunun için uygun polimerlerin kombinasyonları hazırlanarak istenen gaz geçirgenlik değerleri elde edilmelidir. Uygun gaz konsantrasyonunun sağlanmasında kullanılmaya başlanan ve yeni bir yöntem olan mikroperfore filmler de başarıyla kullanılabilir.

Sonuç olarak uygulanan bütün bu sistemler, ürünün kalitesini korumak ve raf ömrünü arttırmak için gerekli olan atmosfer ve nem dengesini sağlamak üzere tasarlanan yeni ambalaj sistemleridir.

KAYNAKLAR

- [1] Day, B.P.F., 1996. A perspective of modified atmosphere packaging of fresh produce in Western Europe. *Food Science and Technology Today* 4: 215-221.
- [2] Zanderighi, L., 2001. How to design perforated polymeric films for modified atmosphere packs (MAP). *Packaging Technology and Science* 14(6): 253-266.
- [3] Watkins, C.B., Thompson C.J., 1992. An evaluation of microperforated polyethylene film bags for storage of "Cox Orange Pippin" apple. *Postharvest Biolog. Technol.* 2: 89-100.
- [4] Anonim. <http://www.perfotech.com/default.aspCID=74> Erişim Tarihi: 01.02.2010
- [5] Zagory, D., Kader, A.A., 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology* 42(9): 70-77.
- [6] Anonim. <http://www.packinmap.com/mapDesign.aspx> Erişim Tarihi: 01.02.2010
- [7] Cooksey, K., Marsh, K.S., Doar, L.H., 1999. Predicting permeability and transmission rate for multilayer materials. *Food Technology* 53(9): 60-63.
- [8] Forney, C.F., 2007. New innovations in the packaging of fresh-cut produce. *Acta Hort.* 746: 53-60.
- [9] Allan-Wojtas P., Forney, C.F., Moyle, L., Moreau, D.L., 2008. Structure and gas transmission characteristics of microperforations in plastic films. *Packaging Technology and Science* 21(4): 217-229.
- [10] Tomkins, R.G., 1967. Assessing suitability of plastic films for prepackaging fruit and vegetables. *Food Manufacture* 42: 34-38.
- [11] Fennema, O.R., 1996. Food chemistry. Marcel Dekker, New York.
- [12] Jacxsens, L., Devlieghere, F., De Rudder, T., Debevere, J., 2000. Designing equilibrium modified atmosphere packages for fresh cut vegetables subjected to changes in temperature. *LWT* 33: 178-187.
- [13] Caner, C., Aday, M. S., Demir, M., 2008. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology* 227: 1575-1583.
- [14] Fonseca, S.C., Oliveira, F.A.R., Brech, J.K., 2002. Modeling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52: 99-119.
- [15] Pech, J.C., Balague, C., Latche, A., Bouzayen, M., 1994. Post-harvest physiology of climacteric fruits: recent developments in the biosynthesis and action of ethylene. *Sciences des Aliments* 14: 3-15.
- [16] Rooney, M.L., 1995. Active Food Packaging. Chapman & Hall, New York.
- [17] Coles, R., Kirwan, M.J., McDowell, D., 2003. Food Packaging Technology. Blackwell Pub Co, USA.