

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAZE HAVUÇLARIN YÜZEY DEKONTAMİNASYONU ÜZERİNE ATMOSFERİK
BASINÇ PLAZMA UYGULAMASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

EFE BAKLA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI

EDİRNE-2018

EFE BAKLA'nın hazırladığı "TAZE HAVUÇLARIN YÜZEY DEKONTAMİNASYONU ÜZERİNE ATMOSFERİK BASINÇ PLAZMA UYGULAMASININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):

Doç.Dr. Hacı Ali GÜLEÇ

Dr. Öğretim Üyesi Onur Orhan AŞKIN

Dr. Öğretim Üyesi Ufuk BAĞCI

İmza

Tez Savunma Tarihi: 16/11/2018

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI

Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

16/11/ 2018

Efe BAKLA

Yüksek Lisans Tezi

Taze Havuçların Yüzey Dekontaminasyonu Üzerine Atmosferik Basınç Plazma Uygulamasının Etkisinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Minimum işlenmiş gıdaların (MİG) raf ömrünü kısıtlayan en önemli faktörlerden biri mikrobiyal bozulmadır. Minimum işlenmiş havuç ve havuç içeren gıdalar önemli bir pazara sahip olup, bu ürünlerin raf ömrünün besinsel içeriğe zarar verilmeden uzatılması büyük önem arz etmektedir. Bu tezin amacı, yenilikçi bir mikrobiyal dekontaminasyon yöntemi olan atmosferik plazma (AP) uygulaması ile minimum işlenmiş havuç üretimi üzerine etkilerinin incelenmesidir.

Tez çalışması kapsamında öncelikle *Escherichia coli* ATCC 25922 inoküle edilmiş havuç örneklerinin AP ile yüzey dekontaminasyonu üzerine farklı gaz beslemesi (Kuru hava ve Argon), süre (10 – 60 s) ve plazma mesafesi (1 – 4 cm) kullanımının etkileri incelenmiştir. AP uygulaması sonucunda en yüksek yüzey dekontaminasyonu sağlayan koşulların belirlenmesinde, yüzey sıcaklığının 50 °C'yi aşmadığı parametreler göz önüne alınmıştır. Bu çerçevede, Argon gazı kullanılarak gerçekleştirilen AP uygulaması sonucunda en yüksek dekontaminasyon etkisi 1 cm mesafede 60 saniye süre sonucunda 4,54 log olarak tespit edilmiştir. Kuru hava gazı için ise 3 cm mesafede 60 saniye süre AP uygulanması sonucunda 4,20 log azalma sağlanmıştır.

Depolamanın başlangıcında atmosferik argon ve kuru hava plazma uygulaması ile üretilen örneklerdeki β -karoten içerikleri kontrol grubuna göre, en fazla % 4 azalma göstermiştir. Benzer şekilde plazma uygulanmış örneklerdeki askorbik asit içerikleri kontrol grubuna göre % 3 - 6 azalırken, toplam antioksidan aktivitedeki düşüş % 4 - 5 olarak tespit edilmiştir. Atmosferik Argon veya kuru hava plazması uygulamaları sonucunda havuçların antioksidan aktivitesinde istatistiksel olarak önemli ($P > 0,05$) bir değişim tespit edilmemiştir. Depolama süresince AP uygulanmış havuç örneklerinin β -karoten, askorbik asit ve toplam antioksidan içeriklerinde kontrol gruplarına kıyasla bir

fark gözlenmemiştir. Atmosferik argon plazması uygulanmış havuçların beyazlaşma indeksi değerinde herhangi bir değişim gözlenmemiş olup, soğuk atmosferik kuru hava plazması uygulanmış havuçlarda ise başlangıçta 32,49 olan beyazlık indeksi değeri plazma uygulamasından sonra 35,47'ye yükselmiştir. Soğuk atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrasında örneklerin Δa ve Δb renk değerlerinde atmosferik argon plazması uygulamasına göre daha fazla düşüş tespit edilmiştir.

Yıl : 2018

Sayfa Sayısı : 92

Anahtar Kelimeler : Atmosferik soğuk plazma, Havuç, Minimum işlenmiş gıda, β -karoten, Askorbik asit

Yüksek Lisans Tezi

Investigation Of The Effect Atmospheric Pressure Plasma Applications On Surface Decontamination Of Fresh Carrots

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Food Engineering

ABSTRACT

Microbial spoilage is one of the most important factors that limit the shelf life of minimally processed foods (MPF). Minimally processed carrot and carrot-containing foods have a wide market, and it is of great importance to extend the shelf life of these products without damaging the nutritional content. The aim of this thesis is to investigate the effects of an innovative microbial decontamination method, atmospheric plasma (AP) application, on minimally processed carrot production.

In this thesis, the effects of different gas feed (dry air and argon), duration (10 - 60 s) and plasma distance (1 - 4 cm) on surface decontamination of *Escherichia coli* ATCC 25922 inoculated carrot samples via AP were investigated. For the determination of the highest surface decontamination parameters of AP application, the parameters where the surface temperature does not exceed 50 °C are taken into account. In this context, the highest decontamination effect was determined as 4.54 log at 60 cm duration at 1 cm distance for atmospheric argon plasma. For dry air gas, a decrease of 4.20 log was achieved as a result of AP application at a distance of 3 cm for 60 seconds.

At the beginning of storage, β -carotene contents in the samples produced by the atmospheric argon and dry air plasma showed a maximum decrease of 4 % compared to the control group. Similarly, the ascorbic acid content in plasma-treated samples was reduced by 3-6% compared to the control group, while the decrease in total antioxidant activity was found to be 4-5%. As a result of atmospheric argon or dry air plasma applications, there was no statistically significant ($P > 0.05$) change in the antioxidant activity of carrots. During the storage, no difference was observed in β -carotene, ascorbic acid and total antioxidant content of AP treated carrot samples compared to control groups. No change was observed in the whiteness index value of the carrots

treated with atmospheric argon plasma, and the whiteness index, which was 32.49 the beginning, increased to 35.47 after the dry air plasma AP treatment. After the atmospheric argon plasma treatment, Δa and Δb color values of the samples decreased more comparing with the dry air AP treatment.

Year : 2018

Number of Pages : 92

Keywords : Atmospheric cold plasma, Carrot, Minimally processed food, β -carotene, Ascorbic acid

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI'ya,

Tez çalışma sürecinde tecrübe ve yardımlarından faydalandığım sayın Prof. Dr. Zeynep KATNAŞ'a, Doç. Dr. Pelin ONSEKİZOĞLU BAĞCI'ya ve Doç. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ'e,

Tezin devamlılığını sağlamak için projenin başından sonuna kadar tüm aşamalarda yardımlarını esirgemeyen değerli Arş. Gör. Emel YILMAZ'a, Arş. Gör. Kadir ÇINAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi İrem DAMAR HÜNER'e,

TUBAP 2016/103 no'lu proje kapsamında sağladıkları maddi katkıları ve ilgilerinden dolayı Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne,

Çalışma süresi boyunca tüm zorlukları benimle birlikte göğüsleyen ve hayatımın her anında bana destek olan değerli eşim Necla BAKLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	İİİ
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	Vİİ
SİMGELER DİZİNİ.....	Xİ
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	Xİİİ
ÇİZELGELER DİZİNİ	XİV
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMA	5
2.1. Minimum İşlenmiş Gıdalar	5
2.2. Minimum İşlenmiş Gıdalarda Raf Ömrü ve Gıda Güvenliğine Etki Eden Faktörler	6
2.2.1. Fizyolojik Faktörler.....	7
2.2.2. Kimyasal Faktörler.....	8
2.2.3. Mikrobiyolojik Faktörler.....	10
2.3 Minimum İşlenmiş Gıdalara Uygulanan Dekontaminasyon Teknikleri	11
2.4. Plazma nedir?	18
2.4.1. Plazmanın Yapısı ve Oluşumu	19
2.4.2. Plazmaların Sınıflandırılması.....	20
2.4.3 Soğuk Plazma Sistemleri	23
2.5 Soğuk Plazma Uygulamasının Mikroorganizmalar Üzerine Etki Mekanizması ..	25
2.5.1. UV Radyasyon Etkisi.....	26
2.5.2. Sıcaklık Etkisi	27
2.5.3. Reaktif türlerin etkisi.....	27
2.5.4. Yüklü Parçacıkların Etkisi	28

2.5.5. Elektrik Alan Etkisi.....	29
2.6. Soğuk Plazma Uygulamasına Etki Eden Parametreler	29
2.6.1 Plazma Gücü, Frekansı ve Voltaj.....	30
2.6.2 Gaz kompozisyonu ve akış hızı.....	31
2.6.3 Reaktör Dizaynı ve Mesafe.....	31
2.6.4 Substrat Geometrisi.....	32
2.6.5 Mikroorganizma Özellikleri.....	32
2.6.6 pH Etkisi	32
2.7. Soğuk Plazma Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları	33
2.7. Soğuk Plazmanın Gıdalardaki Kullanımı	34
2.7.1. Soğuk Plazma Uygulaması ile Gıdaların Mikrobiyal Dekontaminasyonu Üzerine Çalışmalar.....	34
2.7.2. Soğuk Plazma Uygulamasının Gıda Bileşenleri Üzerine Etkileri.....	35
2.8. Havuç	37
2.9. Minimum İşlenmiş Havuç Üretimi	40
BÖLÜM 3	43
MATERYAL - METOT	43
3.1. Materyal	43
3.1.1. Atmosferik Plazma Sistemi.....	43
3.2. Metot	44
3.2.1. Havuçların Plazma Uygulamasına Hazırlanması.....	44
3.2.2. Havuçların İnokülasyonu	45
3.2.3. Atmosferik Plazma Uygulaması	46
3.2.4. Sıcaklık Ölçümleri	47
3.2.5. Havuç Yüzeylerindeki <i>E. coli</i> ATCC 25922 Sayısının Belirlenmesi	48
3.2.6. Atmosferik Plazma Uygulaması ile Minimum İşlenmiş Havuç Üretimi	48
3.2.7. Depolama Süresince Havuçların Fizikokimyasal Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimlerin Belirlenmesi.....	50
3.2.7.1 Renk Analizi.....	50
3.2.7.2 β -Karoten Analizi.....	50
3.2.7.3 Askorbik Asit (C Vitamini) Analizi.....	51

3.2.7.4 Toplam Antioksidan Aktivitesi Analizi	51
3.2.7.5 pH Ölçümü	52
3.2.7.6 Ağırlık Kaybı	52
BÖLÜM 4	53
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Atmosferik Plazma Uygulamalarıyla <i>E. coli</i> ATCC 25922 ile İnoküle Edilmiş Havuç Yüzeylerinin Dekontaminasyonu	53
4.2. Atmosferik Plazma Uygulamalarıyla Üretilen Minimum İşlenmiş Havuçların Depolama Süresince Mikrobiyal Kalitesi	58
4.3. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki β -Karoten Üzerine Etkisi.....	60
4.4. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki Askorbik Asit Üzerine Etkisi	62
4.5. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi	64
4.6. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların pH'sı Üzerine Etkisi.....	65
4.7. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki Ağırlık Kaybı Üzerine Etkisi	67
4.8. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların Renk Değişimi Üzerine Etkisi	68
4.9.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Atmosferik Plazma Uygulamasının Havuç Yüzeyindeki <i>E. coli</i> ATCC 25922 Hücreleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi	71
BÖLÜM 5	73
SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGELER DİZİNİ

ABTS	2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
AC	Alternatif Akım
BHI	Brain Heart Infusion Broth
DAD	Diyot Dizinli Dedektör
DBD	Dielektrik Bariyer Boşalım
DC	Doğru Akım
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
FAO	Gıda ve Tarım Organizasyonu
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
LF	Düşük Frekans
MAP	Modifiye Atmosferde Paketleme
MİG	Minimum İşlenmiş Gıda
MRD	Maximum Recovery Diluent
MW	Mikro Dalga
PBS	Fosfat Tamponu (pH:6,5)
PETE	Polietilen Tereftalat
RF	Radyo Frekans

SAP	Soğuk Atmosferik Plazma
TEAC	Troloks Eşdeğer Antioksidan Kapasite
THF	Tetrahidrofuran
TSA	Tryptic Soy Agar
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USDA	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
UV	Ultraviyole
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
WI	Beyazlaşma İndeksi
YHB	Yüksek Hidrostatik Basınç

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Minimum işlenmiş meyve ve sebzelerin üretim aşamaları	6
Şekil 2.2.	Elektronların sıcaklığı ve yoğunluğuna göre plazmaların sınıflandırılması	21
Şekil 2.3.	Elektron ve ağır partikül sıcaklıklarının basınç ile değişimi	22
Şekil 2.4.	Plazma jeti (a) ve plazma torçu (b) sistemleri	25
Şekil 2.5.	Bacillus sporlarının oksijen plazmasına maruz kalmasından önceki ve sonraki görüntüleri	26
Şekil 2.6.	Plazma uygulamasının dekontaminasyon etkinliğine etki eden parametreler	30
Şekil 3.1.	Havuçların işlenmesinde kullanılan atmosferik plazma sistemi	44
Şekil 3.2.	Soğuk atmosferik plazma uygulaması için hazırlanmış havuç örnekleri	45
Şekil 3.3.	Havuçların atmosferik plazma uygulamasına hazırlanması	45
Şekil 3.4.	Havuç örneklerine soğuk atmosferik plazma uygulanması	47
Şekil 3.5.	Havuç örneklerine soğuk atmosferik plazma uygulaması esnasında yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi	48
Şekil 3.6.	Vakum ambalajlanmış havuç örnekleri	49
Şekil 4.1.	Havuç yüzeylerindeki E. coli ATCC 25922 hücrelerinin SEM görüntüleri (10000 x büyütme) (a) Plazma Uygulanmamış kontrol örneği (b) 3 cm – 60 s atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrası (c) 1 cm – 60 s atmosferik argon plazması uygulaması sonrası	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Termal ve soğuk plazmanın temel özellikleri	21
Çizelge 2.2.	Çiğ havucun 100 gramında bulunan besin içeriği	38
Çizelge 4.1.	Farklı uygulama süresi ve mesafelerde atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda ulaşılan merkez/yüzey sıcaklıkları ve havuç yüzeylerindeki E. coli ATCC 25922 miktarındaki değişim	53
Çizelge 4.2.	Farklı uygulama süresi ve mesafelerde atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda ulaşılan merkez/yüzey sıcaklıkları ve havuç yüzeylerindeki E. coli ATCC 25922 miktarındaki değişim	55
Çizelge 4.3.	Atmosferik plazma uygulaması ile üretilen havuçlarda üç hafta depolama süresince E. coli ATCC 25922 (log kob/g) yükündeki değişim	59
Çizelge 4.4.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca β -karoten içeriklerindeki değişim (ppm)	61
Çizelge 4.5.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca askorbik asit içeriklerindeki değişim (ppm)	63
Çizelge 4.6.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca antioksidan aktivitelerindeki değişim (mmol/L)	65
Çizelge 4.7.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca pH değerleri	66

Çizelge 4.8.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresince ağırlık kayıpları (% w/w)	67
Çizelge 4.9.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca renk değerleri	69
Çizelge 4.10.	Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca beyazlaşma indeksi değerleri	70



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gıda güvenliği, gıda endüstrisi ve halk sağlığı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bununla beraber, artan dünya nüfusuna paralel olarak gıdaya olan talebin gün geçtikçe artması nedeniyle, gıdaların üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte kayıpların azaltılması sağlanmalıdır. Söz konusu kayıpların en fazla gerçekleştiği gıda grubu taze meyve ve sebzeler olup, en önemli kayıp sebeplerinden biri mikrobiyal bozulmadır (Barth, Hankinson, Zhuang, & Breidt, 2009).

Sebzeler insan beslenmesinde çok önemli bir rol almaktadır. Sebzeler genel olarak taze ağırlıklarının % 70-95 oranlarında su, %1-8 oranında protein ve % 0,1-1 oranında yağ içermektedirler (Ooraikul & Stiles, 1990). Düşük kaloriye sahip bu gıda grubu insan vücudunun vitamin (Vitamin A, niacin, tiamin, riboflavin ve askorbik asit) ve mineral (Kalsiyum, fosfor, demir, potasyum, sodyum) ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamaktadır (Arvanitoyannis & Van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005; Karagiannidis, Bletsos, & Stavropoulos, 2002). Özellikle β -karoten ve askorbik asit gibi antioksidan içeriği yüksek bu ürünlerin tüketimi ile bir takım kronik hastalıklara yakalanma riski azalmaktadır. İnsan beslenmesinde günlük C vitamini ihtiyacının % 90'ı meyve ve sebzelerden sağlanmaktadır. Günümüzde antioksidan maddelerin kanser, kalp ve damar hastalıklarına karşı koruyucu etkiye sahip oldukları tüketiciler tarafından da bilinmesi nedeniyle, bu tip ürünler giderek artan miktarda tercih edilmektedir. WHO, FAO, USDA ve EFSA gibi birçok kuruluş kanser ve kardiyovasküler hastalık riskini azalttığı için meyve-sebze tüketiminin arttırılmasını tavsiye etmektedir (Oliveira vd., 2015).

Sosyo-ekonomik standartlardaki yükselme, eğitim seviyesindeki artış ve medyanın etkisi ile son yıllarda tüketiciler güvenli, katkı içermeyen, yüksek kaliteli ve daha uzun raf ömrüne sahip, gıdaları talep etmektedir (Artés, Gómez, & Artés-Hernández, 2007). Bununla beraber, günümüzde tüketicilerin yoğun çalışma temposundan dolayı kısıtlı

zamana sahip olması da minimum işlem görmüş, tazelik özelliklerini muhafaza eden, tüketime hazır gıdaları avantajlı hale getirmektedir. Ayrıca, hazır yemek hizmeti veren kuruluşlar iş gücü ve hammadde israfını azaltmak amacıyla minimum işlenmiş meyve ve sebzeleri giderek artan miktarda kullanmaktadır (Sonti, 2003).

Besin değeri taze meyve ve sebzelerinkine yakın, tüketimi kolay, pratik, katkı içermeyen, taze ürün karakteristiklerine sahip, tüketiciler tarafından tercih edilen, tüketime hazır, minimum işlem görmüş bu ürün grubu “Minimum işlenmiş gıda” olarak adlandırılmaktadır. Uluslararası taze kesilmiş ürün birliği, taze kesilmiş ürünleri “Soyulmuş ya da %100’ü tüketilebilir şekilde kesilmiş, paketlenmiş, tüketiciye yüksek besin değeri, tüketim kolaylığı, lezzet sunan tazelik özelliklerini koruyan ürün” olarak tanımlamaktadır. Taze kesilmiş meyve ve sebzeler çiğ durumda dondurulmamış ya da ısıtıl işlem görmemiş minimum işlenmiş ürünlerdir. Bu ürün sadece bir meyve ya da sebze olabileceği gibi birçok meyve ya da sebzenin kombinasyonlarını da içermektedir (Sapers, Novak, & Juneja, 2002). Dünyada birçok farklı meyve ve sebze “minimum işlenmiş”, “minimal işlenmiş” ya da “taze kesilmiş” ürün olarak pazara sunulmaktadır. Minimum işlenmiş gıdalar denilince meyve sebzelerin tüketilmeyen kısımlarından ayrıştırılmasından sonra; soyma, doğrama, rendeleme, dilimleme, dekontaminasyon uygulamaları ve ambalajlama gibi aşamalardan geçen dondurulmamış ya da ısıtıl işlem görmemiş tüketime hazır ürünler akla gelmektedir (Ragaert, Verbeke, Devlieghere, & Debevere, 2004).

Minimum işlenmiş gıda endüstrisinin 1980 yılından itibaren özellikle İngiltere, İtalya, Hollanda, İspanya ve İsviçre gibi Avrupa ülkelerinde hızla gelişmektedir. İngiltere Avrupa Birliği ülkeleri arasında minimum işlenmiş gıda pazarının en geniş olduğu ülke konumundadır. Almanya ve İspanya gibi ülkelerde ise sektör halen erken aşamalarını geçirmesine rağmen İspanyada 2011 yılında % 5-6’lık bir gelişme kaydedilerek 74,064 tona ulaşmıştır (Oliveira vd., 2015). Dünya ticaretinde yaygın yer tutan minimum işlenmiş meyveler arasında, kavun, karpuz, mango, papaya, greyfurt, ananas ve bunların karışımları yer almaktadır. Minimum işlenmiş sebzelerin önde gelenleri arasında soyulmuş küçük havuç (baby carrots), mısır koçanı, brokoli, karnabahar, kuşkonmaz, kereviz sapı, lahana ve yer elması sayılabilir. Ayrıca bu sebzelerin karışımından oluşan salatalarda piyasaya arz edilmektedir (James & Curtis, 2010).

Minimum işlenmiş meyve ve sebzeler için raf ömrü, gıda maddesinin önerilen depolama koşullarına bağlı olmak kaydıyla, hasat sonrasında üreticiden başlayarak, tüketilene kadar ürünün güvenlik ve sağlık kriterlerini koruduğu zaman periyodu olarak tanımlanmaktadır. Sebzelerin raf ömrü genel olarak solunum oranı, etilen üretimi, hassasiyet, terleme, kompozisyonel değişimler gibi iç etmenlerden etkilenmektedir. Bu etmenlerin yanı sıra raf ömrü açısından çok daha önem arz eden bir diğer husus ise ürünlerin mikrobiyal yüküdür. Sebzelerin doğası gereği uzun süreli muhafazası oldukça zor olmakla beraber, gelişime uygun koşullarda zararlı mikroorganizmaların sebzelerin raf ömrünü oldukça kısalttığı bilinmektedir (Irtwange, 2006).

Gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla birçok muhafaza tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan ilki Nicolas Appert tarafından geliştirilen konserve yapımıdır. Ancak, geleneksel ısıtma işlem uygulamaları üründe lezzet, tekstür, renk ve vitamin kayıplarına neden olmaktadır (Gunel vd., 2015). Bu durum gıda endüstrisini gıda güvenliğini sağlarken aynı zamanda gıdanın besinsel ve organoleptik kalitesini de koruyan gıdalar üretecek yeni teknikleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Gıdaların üretiminde ısıtma işlem uygulamasına alternatif olarak kimyasal madde (klor vb.), doğal antimikrobiyal madde (bakteriyosin vb.), yenilebilir film kaplama, yüksek hidrostatik basınç, yüksek basınçlı karbondioksit, vurgulu ışık, radyasyon, ultrasound, vurgulu elektrik alan ve modifiye atmosfer paketlenme uygulamaları gibi yöntemler ile bunların kombine uygulamaları kullanılabilmektedir (Allende, Tomas-Barberan, & Gil, 2006; Devlieghere, Vermeiren, & Debevere, 2004). Ancak bu yöntemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Kimyasal madde kullanımı toksik etki yaratabilmesinin yanı sıra üründe kalıntı bırakabilmekte ve çalışanların sağlığına ve çevreye zarar verebilmektedir. Vurgulu ışık ve yüksek hidrostatik basınç gibi yenilikçi yöntemler ise mikroorganizma yükünü azaltmada yetersiz kalabilmekte, her tip ürüne uygulanamamakta ve yüksek yatırım maliyetlerine sahiptir (Behrsing, Winkler, Franz, & Premier, 2000; Delaquis, Stewart, Cazaux, & Toivonen, 2002; González-Aguilar, Ayala-Zavala, Olivas, de la Rosa, & Álvarez-Parrilla, 2010; E. J. Lee vd., 2008; Tan, Watson, Parton, & Peden, 2005).

Yukarıda belirtilen bu olumsuzluklar araştırmacıları üretilen ürün özelliklerindeki göz önünde bulundurarak farklı yöntemlere yönelmesine neden olmaktadır. Bu kapsamda, atmosferik soğuk plazma uygulaması mikroorganizmaların öldürülmesinde etkili, taze

ürün özelliklerine zarar vermeyen, ekonomik ve sürekli üretime uygun olması nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir (Surowsky, Schlüter, & Knorr, 2015).

Tüm dünyada tüketilen en yaygın sebzelerden birisi olan havuç ülkemizde de bol miktarda üretilen ve tüketilen bir sebzedir. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı istatistiklerine göre Türkiye’de 2015 yılında üretilen 3.131.240 ton yumru ve kök sebzelerin 534.988 tonunu havuç oluşturmaktadır. Bu değer yumru ve kök sebzelerin yaklaşık %17’sini havucun oluşturduğunu göstermektedir. Amerika Birleşik Devletlerinde oldukça yaygın olarak tüketilen minimum işlenmiş tüketime hazır küçük havuçlar (Baby carrots) ise taze havuç pazarının üçte birini kapsamaktadır (Lucier & Lin, 2007).

Bu tez çalışmasının amacı, yenilikçi bir mikrobiyal dekontaminasyon yöntemi olan atmosferik plazma (AP) uygulamasının ile minimum işlenmiş havuç üretimi üzerine etkilerinin incelenmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında atmosferik kuru hava ve argon plazmalarının havuç yüzeylerinde yarattığı mikrobiyal dekontaminasyon etkinliği belirlenmiştir. İkinci aşamada ise seçilen plazma parametrelerinde üretilen havuçların mikrobiyolojik ve fizikokimyalsal kaliteleri üç hafta depolama süresince takip edilmiştir.

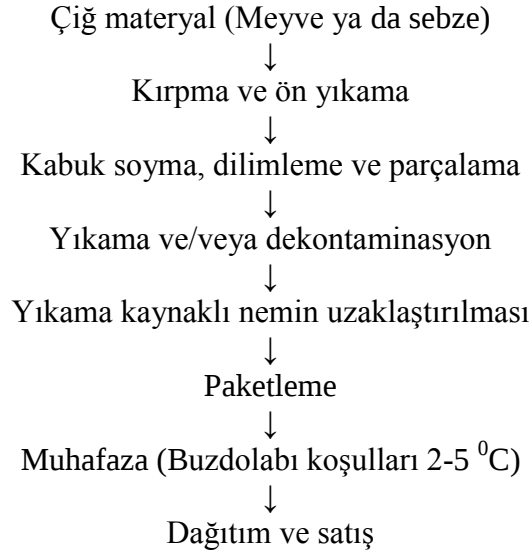
BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMA

2.1. Minimum İşlenmiş Gıdalar

Besin değeri taze meyve sebzelerinkine yakın, tüketimi kolay, pratik, katkı içermeyen, taze ürün karakteristiklerine sahip, tüketiciler tarafından tercih edilen, tüketime hazır, minimum işlem görmüş ürün grubu “Minimum işlenmiş gıda” olarak tanımlanmaktadır. Dünyada birçok farklı meyve ve sebze “minimum işlenmiş”, “minimal işlenmiş” ya da “taze kesilmiş” ürün olarak pazara sunulmaktadır. Minimum işlenmiş gıdalar Türkçe’de “hazır meyve sebze” veya “tüketime hazır meyve sebze” olarak adlandırılmaktadır. Minimum işlenmiş gıdalar denilince meyve sebzelerin tüketilmeyen kısımlarından ayrıştırılmasından sonra; ısıtıl işlem uygulamaksızın soyma, doğrama, rendeleme, dilimleme, dekontaminasyon uygulamaları ve ambalajlama gibi aşamalardan geçen tüketime hazır ürünler akla gelmektedir. Uluslararası taze kesilmiş ürün birliği, taze kesilmiş ürünleri “soyulmuş ya da %100’ü tüketilebilir şekilde kesilmiş, paketlenmiş, tüketiciye yüksek besin değeri, tüketim kolaylığı, lezzet sunan tazelik özelliklerini koruyan ürün” olarak tanımlamıştır. Taze kesilmiş meyve ve sebzeler çiğ durumda dondurulmamış ya da ısıtıl işlem görmemiş minimum işlenmiş ürünlerdir. Bu ürün sadece bir meyve ya da sebze olabileceği gibi birçok meyve ya da sebzenin kombinasyonlarını da içermektedir (Sapers vd., 2002).

Minimum işlenmiş gıdaların hazırlanmasında birçok aşama bulunmaktadır (Şekil 2.1). Bu adımlardan her birinin doğru bir şekilde yapılması son ürünün kalitesi, raf ömrü ve güvenliği açısından önem arz etmektedir (J. Gorny, Gil, & Kader, 1996).



Şekil 2.1. Minimum işlenmiş meyve ve sebzelerin üretim aşamaları (Oliveira vd., 2015)

2.2. Minimum İşlenmiş Gıdalarda Raf Ömrü ve Gıda Güvenliğine Etki Eden Faktörler

Minimum işlenmiş gıdaların bozulması fizyolojik olgunlaşma, biyokimyasal değişimler ve mikrobiyal, fiziksel ve kimyasal bozulmalar sonucunda renk, tekstür ve lezzette meydana gelen değişimler bütünüdür (Varoquaux & Wiley, 1994).

Soyma, doğrama ve benzeri işlemler sırasında çok sayıda sebze/meyve hücresi parçalanmakta ve hücre iç materyali serbest kalmaktadır. Bu olay sonucunda artan su aktivitesiyle beraber hücre içi besin maddeleri ortaya çıkmakta ve uygun sıcaklıkta mikrobiyal faaliyetler hızlanmaktadır. Genel olarak sebzelerin pH değeri 5'in üzerinde olup meyvelere göre mikroorganizmalar tarafından daha kolay bozulurlar (G. Francis vd., 2012). Meyveler düşük pH değerlerine sahip olmalarından dolayı bakteriyel bozulmadan daha çok maya ve küfler tarafından bozulmaya uğrarlar. Buna rağmen bazı meyvelerde patojen bakteri gelişimi de gözlenebilmektedir (Özyürek, İncedayı, & Tamer, 2013). Enfeksiyon ve intoksikasyon riskini azaltmak için üründe kontaminasyonun minimize edilmesi, etkin bir dekontaminasyon işleminin uygulanması ve uygun depolama koşullarının sağlanması gereklidir.

2.2.1. Fizyolojik Faktörler

Hasat sonrasında taze meyve ve sebzelerde metabolik aktivite devam etmektedir. Bu aktivitenin devamı için gerekli enerjinin üretildiği bu süreç solunum olarak tanımlanmaktadır (Mannapperuma, Singh, & Montero, 1991). Oksidasyon-redüksiyon enzimatik reaksiyonları sonucunda enerji, ısı, su ve CO₂ açığa çıkar. Bu süreçte şekerler, organik asitler, amino asitler ve yağ asitleri gibi organik bileşenler parçalanır. Sebzelerdeki solunum oranı ile bozulma oranı arasında doğrusal bir orantı bulunmakta olup bu durum ürünün raf ömrünü kısaltmaktadır (Fallik & Aharoni, 2004). Solunum oranı depolama sıcaklığına, işlemeye (Kesme, soyma, klorlama vb.), ürüne (Cins, yaş vb.) ambalaj içerisindeki O₂/CO₂ oranına ve O₂ miktarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin elle soyulmuş havuçlar soyulmamış havuçlara göre %15 daha fazla solunum oranına sahiptir. Eğer zımparalı soyucular kullanılırsa, bu oranın 2 katına çıktığı gözlemlenmiştir (R Ahvenainen, 1996).

Etilen, solunum oranının ve olgunlaşmanın artmasına neden olarak raf ömrüne etki eden bitkisel bir hormondur (Lin & Zhao, 2007; Nguyen & Carlin, 1994). Araştırmacılar etilen artışının olgunlaşmanın yanı sıra, antosiyanin oluşumunu arttıran enzimlerin oluşmasına, tekstür üzerinde, enzimatik aktivite safhaları üzerinde, pigment sentezinde ve renk üzerinde değişimlere yol açmakta olduğunu göstermiştir (Remon, Ferrer, Venturini, & Oria, 2006). Terleme ise bitkinin yapısından suyun buharlaşması ile gerçekleşmektedir. Ortam ve ürün sıcaklığı ile ilgili olan terleme çok önemli bir bozulma etmenidir. Üründe ağırlık kaybına, aroma bileşenlerinin uzaklaşmasına, renkte solmaya ve buruşup pörsümeye neden olmaktadır (Irtwange, 2006). Birbiri ile bağlantılı olan solunum ve terleme durumları doğal olarak ürün kalitesinde ve raf ömründe kayıplara neden olmaktadır. Solunum ve terlemenin bu olumsuzluklarından korunmak için düşük sıcaklık ve yüksek nem içeren ortam şartları sağlanmalıdır. Optimum depolama koşullarının yanı sıra yüzey kaplama ve yenilebilir film uygulamaları da tavsiye edilebilmektedir (Ben Yehoshua, 1969).

Minimum işlenmiş ürünlerdeki kalite kayıplarının temel nedenlerinden biri de kabuk soyma, kesme ve dilimleme gibi işlemlerden dolayı oluşan mekanik zedelenmelerin neden olduğu enzimatik esmerleşmedir. Esmerleşme reaksiyonlarından meyve ve sebzelerde yaygın olarak bulunan polifenol oksidaz enzimi sorumludur. Bu enzim

işleme esnasında açığa çıkan hücre özsuunda bulunan fenolik bileşiklerin oksidasyonunu katalizlemekte, böylece esmerleşmeye neden olan melanin pigmentinin oluşumuna neden olmaktadır. Bu reaksiyonun gerçekleşebilmesi için polifenol oksidaz enzimi, fenolik bileşikler, oksijen ve bakırın ortamda bulunması gereklidir (Cemeroğlu, 1986; Pekyardımcı, 1992). Polifenol oksidaz enzimi ile fenolik bileşiklerin oksitlenmesi ile sonuçlanan süreç renk kayıplarına ve kahverengi, kırmızımsı ya da siyah renk oluşumu ile sonuçlanır. Görsellik sebze kalitesi açısından çok önemli bir kriter olduğundan enzimatik esmerleşme sonucunda oluşan renk değişimi ürünün pazarlanabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu enzimlerinin olumsuz etkileri sadece renkle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda duysal özellikleri de etkilemektedir (Yemenicioğlu & Cemeroğlu, 1996).

Sebzelerin olgunlaşması sırasında pigmentlerde birçok değişim gözlenmektedir. Bu değişimler klorofil kaybından, karotenoid, antosiyanin ve diğer fenolik bileşiklerin oluşumundan kaynaklanmaktadır (Fallik & Aharoni, 2004; Irtwange, 2006). Yeşil renk kaybı özellikle klorofil miktarının azalmasından, etilen oluşumundan, solunum hızının artmasından ve lipid oksidasyonundan dolayı gerçekleşmektedir (G. A. King & Morris, 1994; Serrano, Martinez-Romero, Guillen, Castillo, & Valero, 2006; Zhuang, Hildebrand, & Barth, 1995).

2.2.2. Kimyasal Faktörler

Tarım ürünlerini, yabancı ot, böcek, fare, diğer hayvanlar, hastalık, mantar, bakteri, virüs ve benzeri zararlılardan korunması amacıyla kullanılan kimyasal madde ya da bileşiklere pestisit denmektedir (Van der Hoff & van Zoonen, 1999). Pestisitlerin çoğu zehirli kimyasal maddeler olduklarından dolayı insan ve hayvan sağlığı ile doğal dengeye zarar vermekte ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Tekniğine uygun olmayan kullanımlar sonucunda üründe kalıntı bırakılmakta ve tüketici sağlığına zarar vermektedir (Lehotay vd., 2007). Ülkemizde kullanılan tarım ilaçlarının yaklaşık olarak %30'u meyve ve sebzede kullanılmıştır. Türkiye'de pestisit kullanımı etken madde olarak, 1979-2002 yılları arasında % 45,29'luk bir artış göstermiştir (Delen vd., 2005). Yıkama, haşlama ve soyma gibi uygulamalar pestisit içeriğini azaltmada % 50 ila % 100 etkili olabilmektedir (Chavarri, Herrera, & Arino, 2005). Buna rağmen Amerika Tarım Bakanlığının (USDA) 1993-2003 yılları arasında yıkanmış, tüketime hazır taze

meyve ve sebzeler üzerinde yürüttüğü 10 yıllık bir çalışmada, ürünlerin % 65'inde pestisit kalıntısı tespit edilmiştir (Punzi, Lamont, Haynes, & Epstein, 2005).

T.C Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı İl Gıda Kontrol Laboratuvarları tarafından ortak yürütülen bir projede (Işık, Konca, & Gümüş, 1996) 1990-1994 yılları arasında Antalya, Fethiye ve İzmir bölgelerinden temin edilen domates, biber, hıyar, üzüm, elma, şeftali ve armut örnekleri analiz edilmiştir. Domates, hıyar ve biber örneklerinden % 89'u insektisit miktarı açısından tolerans değerlerinin içinde bulunmuştur. Dithiocarbamate grubu fungusitler açısından ise domates ve biber örneklerinin tümü, hıyar örneklerinin ise % 96'sı tolerans değerlerinin içerisinde bulunmuştur.

Meyve ve sebzelerin dezenfeksiyonunda kullanılan pek çok kimyasal dezenfektan madde mevcuttur. Bunların yaygın olarak kullanılanları özet olarak; klorlu bileşikler, organik asitler ve tuzları ile ozon sayılabilir (Ayhan & Bilici, 2015). Gıda hijyeni için kullanılan bu kimyasalların uygulama miktar ve süreleri güvenlik sınırlarını aşmamalı, kalıntı bırakmamalıdır. Aksi takdirde bu durum ürün kalite özelliklerinde düşüşe neden olmakla kalmaz, gıda çalışanlarına ve tüketiciye zarar verebilmektedir.

Çevre kirliliği ve gübreleme kaynaklı kadmiyum, cıva, kurşun, krom ve bakır gibi ağır metallerde taze meyve sebzelerde bulunabilecek kimyasal riskler arasında sayılabilir. Toprakların kontamine olması sonucunda bitkisel üretim ve mera hayvancılığı ile gıda zincirine dahil olmaktadır. Böylece insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Alloway, Jackson, & Morgan, 1990; Islam, Yang, He, & Mahmood, 2007). Atık suların (ilaç sanayi, endüstri, kanalizasyon, hayvansal atıklar... vs) sulamada kullanılmasından kaynaklı olarak ta pek çok kimyasalın meyve sebzelere kontamine olması mümkündür. Ayrıca atık suların kimyasal kontaminasyonun yanı sıra mikrobiyolojik kontaminasyona da neden olabilmektedir.

Isıl işlemlerin uzun işlem süresi, ısı işlem hasarına neden olması, tazelik özelliklerinin muhafaza edememesi ile lezzet, tekstür, renk ve vitamin kayıplarına neden olmaktadır (Vaclavik & Christian, 2014). Örneğin, ısı uygulamaların meyve ve sebzelerde bulunan C vitamini miktarında azalmaya yol açtığı bildirilmiştir (Cemeroğlu, 1992; Özdemir, Aksu, & Sebahattin, 1997). Gıdanın yapısında doğal olarak bulunan bazı bileşikler ısı etkisiyle zararlı bileşiklere dönüşebilmektedir.

Havuç, marul, pancar, kereviz, turp ve ıspanağın yapısında bolca bulunan nitrat proteinlerin amin grubuyla birleşip ısı etkisiyle kanserojen olan nitrozaminlere dönüşmektedir (Ayaz & Yurttagül, 2013).

2.2.3. Mikrobiyolojik Faktörler

Meyve ve sebzeler mikroorganizmaların gelişimi için son derece uygun ortamlardır. Bu nedenle taze meyve ve sebzelerin yaklaşık % 20'si mikrobiyolojik bozulmalar neticesinde tüketilemez hale gelmektedir (Acar, 1998). Taze ve taze kesilmiş meyve sebzelere hasattan itibaren birçok kaynaktan mikroorganizma kontaminasyonu söz konusudur. Bu kaynaklar; hayvan, böcek, su, toprak, ekipman, ambalaj materyali, nakliye aracı ve insanlar olarak sayılabilir (L. R. Beuchat & Ryu, 1997). Soyma, doğrama ve benzeri işlemler sırasında çok sayıda sebze hücresi parçalanmakta ve hücre iç materyali serbest hale gelmektedir. Bu olay sonucunda hücre içinde bulunan besleyici bileşenler ulaşılabilir hale gelmekte ve uygun sıcaklıkla beraber mikrobiyal artış hızlanmaktadır. Özellikle patojen mikroorganizma sayısındaki artış halk sağlığı açısından oldukça tehlike olup, yüksek mikrobiyal yük ürünün raf ömrünü ve ürün kalitesini düşürmektedir (Zagory, 1999).

Taze kesilmiş meyve ve sebzeler bozulmaya neden olan bakteri, maya ve küf gibi çok farklı mikroorganizmaları barındırmaktadır (Abadias, Usall, Anguera, Solsona, & Viñas, 2008). Bakterilerin % 80-90'ı Gram-negatif ve genellikle *Pseudomonas* ve *Enterobacteriaceae* türleridir (Nguyen-the & Prunier, 1989). Soğukta muhafaza tekniği taze sebzelerin muhafazasında en yaygın kullanılan uygulamalar arasında olmasına rağmen bazı Gram-negatif çubuk bakteriler, patojenler ve *Enterobacteriaceae* familyası üyeleri düşük sıcaklıklarda da faaliyet gösterebilmektedirler (Becker, Schoenbach, & Eden, 2006; Gould, 1996; A. King & Bolin, 1989; Ronk, Carson, & Thompson, 1989). Sıcaklık artışına paralel olarak meyve ve sebzelerin normal florasında bulunan laktik asit bakterileri baskın duruma geçmekte ve bozulmalara neden olmaktadır (G. Francis vd., 2012).

Genel olarak sebzeler 5'in üzerinde pH değerine sahip olduklarından meyvelere göre daha kolay mikrobiyal bozulma gösterirler (G. Francis vd., 2012). Meyveler sebzelere göre daha düşük pH değerlerine sahip olmaları nedeniyle daha çok maya ve küfler tarafından bozulmaya uğrarlar (Özyürek vd., 2013). Küf ve mayalar ortamda

bakterilerden daha düşük sayıda bulunmalarına rağmen, yüksek sayılara ulaştıklarında üründe bozulmaya ve yumuşamaya neden olmaktadır (Fleet, 1992). Yüksek miktarda maya ($>10^5$ kob/g) gelişimi üründe laktik asit, etanol ve CO₂ üretiminden kaynaklı olarak istenmeyen koku oluşmasına yol açabilmektedir (Jacxsens, Devlieghere, Ragaert, Vanneste, & Debevere, 2003).

Taze ve taze kesilmiş meyve ve sebzeler birçok kaynaktan gıda kaynaklı patojenlerce kontamine olabilmektedir. Taze meyve ve sebzelerde saptanan ve gelişme riski bulunan patojenlerden başlıcaları arasında *Aeromonas spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria spp.*, *Salmonellae* ve *Clostridium* türlerinin sporları bulunmaktadır (Abadias vd., 2008; L. R. Beuchat, 1996; G. A. Francis, Thomas, & O'beirne, 1999; R Lanciotti vd., 2004; Nguyen & Carlin, 1994; Sagoo, Little, Ward, Gillespie, & Mitchell, 2003).

Literatürde gıda kaynaklı patojenlerin meyve ve sebzelerdeki varlığından kaynaklı pek çok zehirlenme bildirilmiştir. Kavun, karpuz, domates, armut, çilek, mango, üzüm, ıspanak ve kabakta *Salmonella spp.* ve *Escherichia coli* O157:H7 kaynaklı gıda zehirlenmeleri görülmüştür (Ethelberg vd., 2010; Friesema vd., 2007; L. Harris vd., 2003). Amerika Birleşik Devletlerinde 2006 yılında *E. coli* O157:H7 ile kontamine ıspanak zehirlenmesi 3 kişinin ölümü ve 205 kişinin hastalanması ile sonuçlanmıştır (Calvin, Jensen, & Liang, 2009). Marul, geniş yapraklı hindiba, brokoli, turp, kabak, patates, salatalık ve kavun tüketimi sonucunda *L. Monocytogenes* kaynaklı gıda zehirlenmeleri görülmüştür (L. R. Beuchat, 1996; Farber & Peterkin, 1991; Little & Gillespie, 2008; Nguyen & Carlin, 1994; Scallan vd., 2011).

2.3 Minimum İşlenmiş Gıdalara Uygulanan Dekontaminasyon Teknikleri

Uluslararası standartlar örgütü'ne (ISO) göre sterilizasyon: “ürünleri canlı mikroorganizmalardan arındırmak amacıyla uygulanan geçerli proses” olarak tanımlanmaktadır (Standard & ISO, 2007). Ancak uygulamada, özellikle de minimum işlenmiş gıdalarda ürünü mikroorganizmalardan tamamen arındırmak oldukça zordur. Dekontaminasyon terimi ise: mikrobiyal kontaminasyonu güvenli düzeye düşürmek amacıyla mikroorganizmaların uzaklaştırılması ya da öldürülmesi anlamına gelmektedir (Chartier, 2014).

Minimum işlenmiş gıdaların raf ömrünü uzatmak için önemli kalite parametreleri olan renk, tat, tekstür ve aroma gibi taze ürün karakteristik özelliklerine zarar vermeyen birçok ısıl olmayan (nontermal) teknolojiler kullanılmaktadır.

Bu teknolojilerden bazıları şunlardır:

- Dezenfektan kullanımı,
- Antioksidan ve antimikrobiyal kullanımı,
- Yenilebilir film uygulamaları,
- Yüksek hidrostatik basınç,
- Yüksek basınçlı karbondioksit,
- Vurgulu ışık darbeleri,
- Radyasyon,
- Ultrases,
- Vurgulu elektrik alan
- Modifiye atmosfer paketleme vb.

Hasat sonrası meyve sebzelere uygulanan ilk işlem basamağı yıkamadır. Yıkama, minimum işlenmiş gıdalarda ürün güvenliği ve kalitesi açısından kritik öneme sahiptir. Birçok işleme hattında taze meyve ve sebzeler hızlı bir şekilde yıkama tanklarına alınarak; kirlilikler, pestisit kalıntıları, artıklar, doku sıvıları ve mikroorganizmalar uzaklaştırılmakta, aynı zamanda hızlı bir soğuma sağlanmaktadır.

Antimikrobiyal etkinliği arttırmak ve çapraz kontaminasyonun önüne geçmek amacıyla bu yıkama sularına genellikle dezenfektan maddeler katılabilmektedir. Klor endüstride en yaygın kullanılan dezenfektandır. Amerika Birleşik Devletlerinde klor bazlı dezenfektanların kullanımı taze meyve sebze endistrüsünde oldukça yaygındır. Almanya'da ise klor kullanımı kalıntı bırakması ve sağlığa zararlı yan ürünler oluşabilmesinden dolayı kısıtlanmıştır. Genellikle 1-2 dakikalık daldırma süresi için 50-200 ppm klor konsantrasyonu kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar 50-200 ppm klor konsantrasyonunun üründeki patojen yükünü azaltmada yeterli olmadığını göstermektedir (Behrsing vd., 2000; Delaquis vd., 2002; E. J. Lee vd., 2008). Yüksek antimikrobiyal etkinliğin sağlanması ve toksik klor gazı oluşumunu minimize etmek için klor bazlı dezenfektanların uygulamasında pH değerlerinin genellikle 6-7,5 aralığında olması istenmektedir (X. Chen & Hung, 2016). Klor uygulamasının

dezavantajlarından biri klor gazına uzun süre maruz kalan işçilerin cilt ve solunum sistemlerinin zarar görmesidir (L. Beuchat, Nail, Adler, & Clavero, 1998). Bunun yanı sıra klor organik materyalle karşılaştığında trihalometan ve haloasetik asit gibi insan sağlığına zarar veren yan ürünler oluşabilmektedir (Karadağ, 2013).

Meyve sebze işleme sürecinde uygulanan dezenfeksiyon metod ve ajanlarının etkinliği kadar, kalıntı bırakmamaları da oldukça önemli bir konudur. Bu beklentileri karşılamak için uygulanan tekniklerden bir diğeri de ozondur. Bir ozon (O₃) molekülü 3 oksijen atomundan oluşmaktadır ve oldukça oksitleyici bir yapıya sahiptir. Bu sayede mikroorganizmalar üzerinde yüksek tahrip gücüne sahiptir. Klor ve diğer dezenfektanlara göre virüslere ve sporlara karşı daha etkilidir. Keskin ve karakteristik bir kokuya sahip ozon gazı havada yüksek konsantrasyonlar da bulunduğunda mavi renkli, düşük konsantrasyonlarda ise renksizdir. Suda oksijenden 10 kat daha iyi çözünmektedir (Wysok, Uradziński, & Gomółka-Pawlicka, 2006). Depolama sürecinde meyve ve sebzelere uygulandığında duyuusal kayıplara neden olmaksızın raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir (Güzel-Seydim, Bever, & Greene, 2004). Ancak yüksek doz ozon uygulamalarında ürünlerin kalite karakteristiklerinin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir (Tan vd., 2005). Ozon uygulamasının üzümlerdeki küf, maya ve bakteri sayısını azalttığı tespit edilmiştir (Sarig vd., 1996). Marulların ozonlu su ile yıkandığı bir çalışmada ise üründe toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında 2 log kob/g miktarında azalma olduğu bildirilmiştir (J. G. KIM, Yousef, & Chism, 1999).

Minimum işlenmiş gıdalarda bakteri popülasyonunu azaltmak amacıyla klor ve ozonun yanı sıra, hidrojen peroksit ve organik asitler gibi birçok dezenfektan madde kullanılabilir (L. Beuchat vd., 1998). Son yıllarda, minimum işlenmiş gıdalarda mikrobiyal gelişimin engellenmesi amacıyla kimyasal katkı maddelerine alternatif olarak doğal antimikrobiyal maddelerin kullanımı tercih edilebilmektedir. Bu amaçla; hexanol, hexanal, 2-(E)-hexenal, 3-(Z)-hexenol, esansiyel yağlar ve bazı meyvelerin aroma bileşenleri gibi antimikrobiyal etkisi bilinen bileşikler üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır (Özyürek vd., 2013). Rosalba Lanciotti vd. (2003), minimum işlenmiş elma üzerinde yaptığı bir çalışmada, hexenal, hexyl asetat ve (E)-2-hexenal antimikrobiyallerinin *E. coli*, *Salmonella enteridis* ve *Listeria monocytogenes* patojenleri üzerindeki inhibe edici etkilerini incelemiş ve bu bileşiklerin önemli ölçüde inhibisyon sağladığını gözlemlemişlerdir. Roller ve Seedhar (2002), değişik

konsantrasyonlardaki karvakrol çözeltilerine daldırılmış minimum işlenmiş kivi ve kavunlarda 4 °C’de depolama süresince toplam canlı mikroorganizma sayısındaki değişimi takip etmiştir. Çalışma sonucunda 4 °C’de 21 gün depolama sonucunda mikroorganizma sayısında azalma gözlemlenmiş ancak meyvelerde istenmeyen renk ve koku oluşumu tespit edilmiştir.

Minimum işlenmiş meyve ve sebzelerde kalite kaybına neden olan en önemli sorunlardan bir diğeri de enzimatik esmerleşmedir. Doğrama ve soyma gibi işlemlerden geçen ürünlerin doğrudan oksijene maruz kalması ile fenolik maddeler okside olmakta ve kahverengi renk oluşumu gözlemlenmektedir. Bu durumun engellenmesi amacıyla polifenol oksidaz enzim aktivasyonunu engelleyici ajanlara (antioksidanlar) başvurulmaktadır (Rojas-Graü, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2009). Bu amaçla genel olarak; askorbik asit, izoaskorbik asit, sodyum eritorbat, tiol içerikli aminoasitler (N-asetilsistein, glutatyon vb.) kullanılmaktadır (Özyürek vd., 2013).

Son yıllarda minimum işlenmiş meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmak, ürün kalite karakteristiklerini muhafaza etmek için dikkatleri üzerine çeken diğer bir uygulamada yenilebilir filmler ve kaplamadır. Yöntem etkinliğini kontrollü atmosferde depolamaya benzer bir şekilde gaz transferine karşı bariyer görevi gören bir tabaka oluşturarak göstermektedir. Yenilebilir filmler ve kaplama için genellikle proteinler, lipidler ve polisakkaritler gibi biyolojik materyaller tercih edilmektedir. Yenilebilir kaplamalarda polisakkarit olarak genellikle; nişasta ve nişasta türevleri, selüloz türevleri, kitosan, pektin, alginat ve diğer gamlar kullanılabilir (María R Ansorena, Marcovich, & Roura, 2011). Bu uygulama ile gıda materyalinin iç atmosferi kontrol altına alınmakta, meyve-sebzenin solunumu minimize edilmekte ve buharlaşmanın kısmen önüne geçilerek rutubet kaybı bir miktar engellenmektedir (Duan, Wu, Strik, & Zhao, 2011). Yenilebilir film ve kaplamaların ürünü korumadaki etkinliğini arttırmak amacıyla antimikrobiyaller ve antioksidanlar gibi biyoaktif ajanlarda katılabilir (Oms-Oliu vd., 2010; Rojas-Graü vd., 2009).

Yüksek hidrostatik basınç (YHB) uygulaması ya da yüksek basınç uygulaması son yıllarda gıdaların raf ömrünü arttırmada kullanılmaktadır. YHB ile patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu için 300-700 MPa aralığında basınç uygulanmaktadır (Kılıç, 2014). YHB uygulaması hücre yapısında özellikle de hücre

zarında hasara neden olarak mikroorganizmalar üzerinde etkili olmaktadır. Bu uygulamanın bazı avantajları arasında; kısa işlem süresi, minimum ısı işlem hasarı, tazelik özelliklerinin muhafazası ile lezzet, tekstür, renk ve vitamin kayıplarına neden olmaması sayılabilir (Vaclavik & Christian, 2014). YHB uygulaması mikroorganizmaların yanı sıra enzimlerin de inaktivasyonun da etkiliidir (Rastogi, Raghavarao, Balasubramaniam, Niranjan, & Knorr, 2007). YHB uygulamasının yüksek yatırım maliyeti ve kesikli bir proses olması sanayide uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Bitki hücre yapısında görülen biyopolimer bozunması ve meyve ve sebzelerde arzu edilmeyen tekstürel değişimler bu tekniğin dezavantajları arasında sayılabilir (Şanal & Çalımlı, 2000).

Isıl olmayan diğer bir yöntem olan yüksek basınçlı karbondioksit uygulamasının avantajları; düşük maliyet, ürünlerin tazelik özelliklerinin muhafazası ve besin değerinin korunması sayılabilir. Bunlara ilaveten karbondioksitin ucuz ve kokusuz olması, yanıcı ve toksik olmaması da yöntemin diğer bir artısıdır. Bu uygulama ile hücre içi pH düşürülmekte, böylece hücre zarı geçirgenliği artırılarak hücre zarındaki fosfolipidlerin ve hidrofobik bileşiklerin ekstraksiyonu sağlanmaktadır. Bunun neticesinde mikroorganizmalar inaktive edilmektedir. Ayrıca bu yöntemin polifenol oksidaz, lipaz, metilesteraz ve fosfataz gibi enzimler üzerinde de etkili olduğu tespit edilmiştir (Ballestra, SILVA, & Cuq, 1996).

Vurgulu ışık uygulaması minimum işlenmiş gıdaların dekontaminasyonun da kullanılan yeni bir metottur. Bu yöntemde etkinlik kısa süreli yüksek frekanslı, yoğun geniş spektrumlu UV-C ışık kullanımı ile yüzeydeki mikroorganizmaların öldürülmesi ile sağlanmaktadır. UV etkisi mikroorganizmaların DNA yapısında değişime neden olmaktadır (Gomez-Lopez, Devlieghere, Bonduelle, & Debevere, 2005). Yöntemin alfalfa tohumları üzerindeki *Escherichia coli* O157:H7 (Sharma & Demirci, 2003) ve mısır unu üzerindeki *Aspergillus niger* sporlarının inaktivasyonunda (Jun, Irudayaraj, Demirci, & Geiser, 2003) kullanıldığı çalışmalarda başarılı sonuçlar alınmıştır. Hoornstra (Hoornstra, de Jong, & Notermans, 2002) tarafından vurgulu ışığın minimum işlenmiş gıdaların raf ömrü üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, aerobik mikroorganizma sayısında 2 log azalma sağlanmıştır. Ispanak üzerine inoküle edilen *Listeria innocua* ve *Escherichia coli*'nin vurgulu ışık ile inaktivasyonun incelendiği bir diğer çalışmada mikroorganizma sayısında 0,4 -2,2 log kob g-1 azalma sağlanmıştır.

Depolama sonucunda ise vurgulu ışık uygulanmış grubun fitokimyasal özelliklerinde çok az bir düşüş meydana gelmekle beraber mikrobiyal kalitenin, kontrol grubuna göre çok daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Ultrases (Ultrasound) yöntemi, uygulanan parametreye bağlı olarak etkinliği farklılık göstermektedir. Bu yüzden uygun parametrelerde çalışılması çoğu teknikte olduğu gibi burada da önemlidir. Termal olmayan bu yöntemin bakteri inaktivasyonundaki başarısı ispatlanmıştır. Teknik bu etkisinin kavitasyon etkisi ve serbest radikaller oluşturmak suretiyle gösterir (Millan-Sango, McElhatton, & Valdramidis, 2015). Bu tekniğin avantajı güvenli, toksik olmayan ve çevre dostu olmasından kaynaklanmaktadır (Kentish & Ashokkumar, 2011). Genellikle diğer bir yöntemle kombine olarak uygulanan bu teknik, genellikle meyve sebzelerin yıkanması aşamasında uygulanmaktadır. Gıda sektörü içerisinde soslarda ve meyve sularında yaygın olarak uygulanıp, minimum işlenmiş bazı sebzeler üzerinde de çalışılmıştır (Goyeneche, Roura, & Di Scala, 2014). Ultrasonik uygulamaların gıda işlemede ve muhafazada etkinliğini inceleyen çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmaların pek çoğunda tekniğin mikroorganizmalar üzerindeki etkinliğine ve enzim inaktivasyonuna odaklanılmıştır (M Roberta Ansorena, Moreira, & Roura, 2014).

Ultrases uygulaması ile klorür dioksitin alfalfa ve mung fasülyesi üzerine inoküle edilmiş *Escherchia coli* ve *Salmonella enteritidis* bakterileri üzerindeki dekontaminasyon etkinliğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada (Millan-Sango, Sammut, Van Impe, & Valdramidis, 2017) ise iki yöntemin eşit etkinliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Kırmızı dolmalık biberlerin mikrobiyal yükünün azaltılması amacıyla; su ile yıkama, sulu ozon çözeltisi, ultrases ve UV-C radyasyon uygulamalarının karşılaştırıldığı bir çalışmada ultrases uygulaması *Listeria innocua* yükünde 1,98 log kob/g azalma sağlayarak en etkili yöntemlerden birisi olmuştur (Alexandre, Brandão, & Silva, 2013).

Diğer bir uygulama olan vurgulu elektrik alan yeni geliştirilen ve ısıl olmayan pastörizasyon olarak tanımlanmaktadır. Daha çok sıvı gıdalarda uygulanan bu tekniğinin etkinliği; dalga biçimi, uygulama süresi ve darbe sürekliliği, elektrik alan kuvveti, ısı uygulaması, enerji girişi, ortam pH'sı, elektrik iletkenliği, iyonik güç ve inaktive edilecek mikroorganizmanın özellikleri gibi parametrelere bağlı olarak

değişmektedir (Ngadi, 2012). Bu uygulama bitki hücre duvarlarına zarar vermesi nedeniyle genel olarak meyve ve sebzelerde kullanılmamaktadır (Bazhal, Lebovka, & Vorobiev, 2003).

Modifiye atmosferde paketlenme minimum işlenmiş gıdalar da uygulanan diğer bir muhafaza tekniğidir. Modifiye atmosfer paketlenme genellikle soğukta muhafaza ile kombine olarak minimum işlenmiş meyve sebzelerin muhafazasında kullanılmaktadır (Werner & Hotchkiss, 2006). Modifiye atmosferde paketlenmiş tüketime hazır marul ve havuç gibi taze sebzelere olan talep son yıllarda artış göstermiştir (Rico, Martin-Diana, Barat, & Barry-Ryan, 2007).

Modifiye atmosfer uygulamasının mikroorganizmalar üzerindeki etkinliği kullanılan ambalaj, gaz karışımı, ürün çeşidi ve depolama koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Modifiye atmosfer paketlenmede ki en önemli hususlardan birisi de ambalaj materyalinin seçimidir. Uygun materyal seçiminde önem arz eden hususlar; sızdırmazlık, mekanik dayanıklılık, görsel netlik, dayanıklılık, kimyasal bozulmaya direnç, toksik olmama, kimyasal olarak inert olma, üzerine baskı yapılabilme ve ticari uygunluk sayılabilir (Hussein, Caleb, & Opara, 2015). Ambalaj filmlerinin solunum gazlarının geçişini etkilemesi beklenmektedir. Bu nedenle materyalin gaz ve su buharı geçirgenliği diğer bir önemli hususlardır. Eğer ambalaj materyalinin geçirgenliği ürün solunuma uygun ise dengeli bir modifiye atmosfer oluşmakta ve ürünün raf ömrü artmaktadır. Bu uygulamada yaygın olarak kullanılan ambalaj materyalleri; polietilen, peliester, polipropilen, polivinilklorürdür. Burada dikkat edilmesi gereken temel konu ürüne özgü ambalaj materyalinin ve gaz karışımının doğru olarak tespitidir. Modifiye atmosferde paketlenme minimum işlenmiş meyve ve sebzelerin muhafazasında tek başına yeterli olmayıp soğukta depolama ile birlikte kullanılmalıdır (Mangaraj, Goswami, & Mahajan, 2009).

Depolama boyu ürün solunumu nedeniyle O₂ tüketilmekte, CO₂ üretilmektedir. Atmosferik oksijenin azaltılması sayesinde, aerobik solunum engellenip, aerobik mikroorganizmaların gelişimi engellenmektedir. Yavaşlayan solunum sayesinde ileri derecede olgunlaşmanın ve çürümenin de önüne geçilmektedir. Bunlara ilaveten olgunlaşma esnasında oksijen varlığında sentezlenen ve kalite kayıplarına neden olan etilen hormonunun sentezi engellenmektedir. Fakat anaerobik ve fakültatif aerobik

bakterilerin ortamda gelişme riski devam ettiğinden oksijen tamamen ortamdan uzaklaştırılmayıp azaltılırken, karbondioksit oranı arttırılmaktadır. Taze kesilmiş ürünlerde genellikle % 3-6 oranında O₂ ve % 2-10 oranında CO₂ karışımı kullanılması mikrobiyal kontrolün sağlanıp raf ömrünün uzatılması için kullanılmaktadır. Azot gazının kullanım amaçları ise; ortamdan oksijenin uzaklaştırılması ve ambalaj deformasyonunun engellemek için doldurma gazı olarak kullanılması sayılabilir (J. R. Gorny, 2001). Modifiye atmosfer uygulamalarında en yaygın olarak O₂, CO₂ ve N₂ gazları kullanılırken, helyum, argon ve ksenon (soy gazlar) ve nitro oksit (N₂O) gibi gazlarda mikrobiyal gelişmeyi azaltmak ve ürün kalitesini korumak amacıyla kullanılabilmektedir (Oliveira vd., 2015). Yapılan çalışmalar modifiye atmosferde paketlenme yönteminin tek başına gıda kaynaklı patojenlerin kontrol altına almakta yeterli olmadığını göstermektedir. Bu yöntem diğer bir muhafaza tekniği ile beraber uygulandığında gerekli etkinlik sağlanabilmektedir (Oliveira vd., 2015).

Ancak yukarıda bahsedilen dekontaminasyon/muhafaza yöntemlerinin uygulanmasında bazı dezavantajlarla karşılaşılabilir. Klor gibi kimyasal maddeler toksik olma, kalıntı bırakma, yan ürün oluşturma, çalışanların sağlığına zarar verme, çevreye zararlı olabilmektedir. Diğer yöntemlerin dezavantajları ise ürünün mikroorganizma yükünü azaltmada yetersiz kalma, taze meyve ve sebzelere uygun olmama, duyuşal açıdan ürüne zarar verme, ürünün tazelik özelliklerini muhafaza edememe, kesikli sisteme sahip olma ve yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu olarak sayılabilir (Behrsing vd., 2000; Delaquis vd., 2002; González-Aguilar vd., 2010; E. J. Lee vd., 2008; Tan vd., 2005). Bu nedenlerden ötürü gıdaların üretiminde daha etkin dekontaminasyon sağlayan ve fizikokimyasal özelliklerine zarar vermeyen yöntemler üzerine araştırmalar devam etmektedir. Bu çerçevede son yıllarda ısı olmayan yenilikçi gıda muhafaza yöntemlerinden biri olarak soğuk atmosferik plazma uygulaması dikkat çekmektedir. Bu yöntem taze ve minimum işlenmiş meyve-sebzelerin dekontaminasyonunda umut vadetmektedir (Şen, 2015).

2.4. Plazma Nedir?

Benjamin Franklin 1752 yılında yıldırımın elektriklenmiş hava akımı olduğunu göstermiştir (A. Fridman, 2008). Yapay boşalımlarla ilgili ilk deneysel çalışmalar 19. yüzyılın erken dönemlerinde Humphry Davy ve Michael Faraday tarafından

gerçekleştirilmiştir. 1857 yılında Werner von Siemens ozon üretiminde kullanılan elektriksel boşalım cihazını geliştirmiştir. Bu, teknik olarak plazmanın ilk uygulaması olarak tarihe geçmiştir. 1920’de Irving Langmuir “plazma” terimini ilk kez maddenin 4. halini tanımlamak için kullanmıştır.

Plazma teknolojisi ile üretilen ürün pazarı yıllık 500 milyar Euro ulaşmış durumdadır. Plazma cihazları endüstrisi pazarı yıllık 7 milyar Euro civarına ulaşmış olup ve yaklaşık olarak yılda %15 büyüme sergilemektedir. Plazma teknolojisi gıda sektörünün yanı sıra tıp, medikal, tekstil, uçak, otomotiv, kağıt, savunma, elektronik ve uzay teknolojileri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Butscher, 2016).

Soğuk atmosferik plazma (Cold Atmospheric Plasma) uygulaması son yıllarda ısı olmayan gıda uygulamalarına yönelik araştırmalarda kullanılan yeni teknolojilerden birisi olarak öne çıkmaktadır.

2.4.1. Plazmanın Yapısı ve Oluşumu

Maddeye enerji verildiğinde, örneğin ısıtıldığında katı halden sıvı hale, sıvı halden gaz haline, gaz halinden de plazma haline geçmektedir. Maddenin 4. hali olarak ifade edilen plazma sıcaklık, basınç, termal, nükleer ışıma enerjisi, elektrik akımı gibi farklı enerji aktarımları ile oluşturulabilir (Conrads & Schmidt, 2000). Enerji aktarımı sonucunda oluşan faz geçişlerinde moleküller arası etkileşim tamamen kırılana kadar gevşemektedir (B. A. Niemira & Gutsol, 2011). Plazma nötr parçacıklar ile denk sayıda pozitif iyon ve negatif elektron içeren, iyonize olmuş gaz olarak da tanımlanmaktadır (Bárdos & Baránková, 2010). Evrendeki maddenin büyük çoğunluğu (% 99’undan fazlası) kısmen ya da tamamen iyonize olmuş gazlardan oluşan plazma halindedir. Bunlar arasında nebulalar, güneş, korona, iyonosfer tabakası ve aurora ışıkları sayılabilir (A. Fridman, 2008).

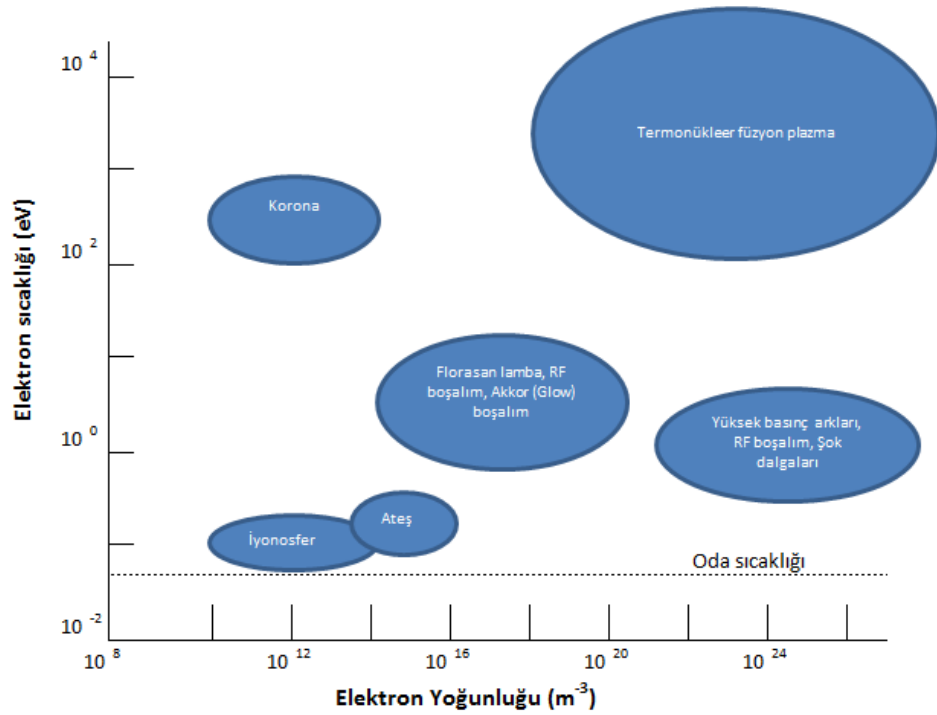
Plazma uyarılmış atom ve moleküller, iyonik ve radikal türler, reaktif türler, elektronlar, pozitif ve negatif iyonlar, serbest radikaller, gaz atomları, UV radyasyon ve görünür ışıktan oluşan bir karışımdır (Laroussi & Leipold, 2004a). Bir gaz verilen enerji ile iyonize olup plazma haline döndüğünde, verilen enerjiyi partiküller ayrılmış olarak durduğu süre boyunca yapısında muhafaza eder. Parçacıkların bir araya gelmesi ile enerji ultra viyole (UV) ışık olarak ve reaktif kimyasal türlere dönüşerek salınır

(Lieberman & Lichtenberg, 2005). Elektronlar ve fotonlar plazmanın yapısındaki hafif türleri oluştururken, kalan bileşenler ağır türler olarak adlandırılmaktadır (Misra, Tiwari, Raghavarao, & Cullen, 2011).

Elektrik ya da elektromanyetik alan ile üretilen plazma, elektrik boşalım olarak ifade edilmektedir. Oluşturulan elektrik alan ile gazın elektronlarına enerji iletir. Sonrasında bu elektrik enerjisi meydana gelen çarpışmalar ile nötr türlere de iletilir. Bu çarpışmalar olasılık yasalarına gerçekleşir ve elastik ve elastik olmayan çarpışmalar olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Elastik çarpışmalar nötr türlerin içsel enerjilerini değiştirmezken, kinetik enerjide artışa neden olurlar. Elastik olmayan çarpışmalar ise elektronların enerjisi yeterince yüksek olduğunda nötr türlerin elektron yapılarını değiştirir. Böylece uyarılmış türler ve iyonlar meydana gelmektedir. Soğuk plazmanın yapısında bu tür çarpışmalar gözlenir. Uyarılmış türler oldukça kısa ömürlü olup foton yayarak temel duruma geri gelirler. Uyarılmış haldeki kararsız türlerde bozunum sadece çarpışmalar yoluyla enerji transferiyle gerçekleşebilmektedir. Bu yüzden radyasyon emisyonu ile bozunumu engel olduğundan kararsız türler daha uzun ömürlüdürler (Tendero, Tixier, Tristant, Desmaison, & Leprince, 2006).

2.4.2. Plazmaların Sınıflandırılması

İstenen uygulamalara bağlı olarak, farklı koşullar altında birçok farklı plazma üretilenmektedir (Bárdos & Baránková, 2010). Uygulanan enerjinin türü ve miktarı plazmanın elektron yoğunluğu ve sıcaklığı gibi özelliklerinde değişime yol açar. Bu iki parametreye göre plazma sınıfları Şekil 2.2’de verilmiştir (Tendero vd., 2006).



Şekil 2.2. Elektronların sıcaklığı ve yoğunluğuna göre plazmaların sınıflandırılması

Plazmaların sınıflandırılmasında termodinamik özellikler ve basınç özellikleri temel alındığında ise iki çeşit sınıflandırma yapılabilir. Termodinamik özelliklerine göre; termal (termodinamik denge plazmaları) ve soğuk (denge dışı plazmalar) plazma olarak ikiye ayırmak mümkündür (Çizelge 2.1). Bu sınıflandırma elektron ve ağır partiküllerin relatif enerjisi seviyesine dayanmaktadır (Misra vd., 2011).

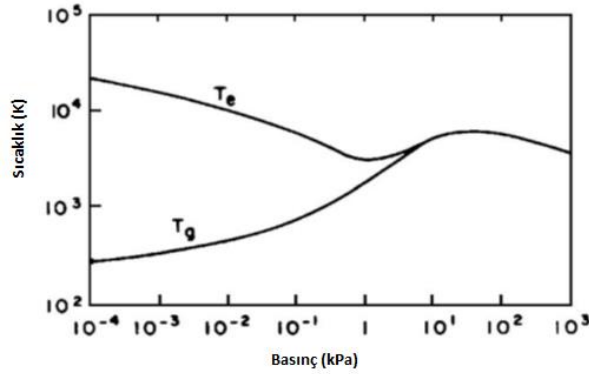
Çizelge 2.1. Termal ve soğuk plazmanın temel özellikleri (Tendero vd., 2006)

Termal Plazma	Soğuk Plazma
$T_e^* = T_g^{**}$	$T_e \gg T_g$
Yüksek elektron yoğunluğuna sahiptir:	Daha düşük elektron yoğunluğu
$10^{21}-10^{26} \text{ m}^{-3}$	$< 10^{19} \text{ m}^{-3}$
Elektronlar arasında elastik olmayan çarpışma vardır. Plazma reaktif türleri ağır partiküllerden ve elektronlardan oluşur.	Elektronlar ve ağır partiküller arasında elastik olmayan çarpışmalar plazmanın yapısını oluşturur. Ağır partiküller çok az ısınır. Böylece elektronların enerjisi oldukça yüksek olmaya devam eder.
Ark Plazma	Akkor (Glow) Plazma
$T_e = T_g \approx 10,000 \text{ K}$	$T_e \approx 10,000 - 100,000 \text{ K}$ $T_g \approx 300 - 1000 \text{ K}$

* T_e : elektronların sıcaklığı

** T_g : Ağır partiküllerin sıcaklığı

Termal plazmalar 10^3 Pa'dan daha yüksek basınçlarda ve 10^4 K'den daha yüksek elektron sıcaklığındaki plazmalar grubudur. Bu plazmaların iyonlaşma derecesi %100'e yakındır (Bozkurt, 2014). Şekil 2.3'de basıncın akkor boşalımdan ark boşalımı geçişte ne kadar etkili olduğunu görülmektedir. Soğuk plazmalarda ortam sıcaklığı (30-60 °C) civarındadır. Bu plazmalar atmosferik ya da düşük basınç altında elde edilebilmektedir.



Şekil 2.3. Elektron ve ağır partikül sıcaklıklarının basınç ile değişimi Te: elektronların sıcaklığı; Tg: Ağır partiküllerin sıcaklığı (Cobine, 1958)

Düşük basınçlı plazmalar daha az enerji gerektirirler. Soğuk plazmalarda elektronlar plazmanın genel sıcaklığının çok üzerinde sıcaklıklara sahiptirler ve plazmanın her yerinde de termodinamik olarak denk bir sıcaklığın varlığından söz edilemez. Düşük basınçlı plazmalar ($10^{-4} - 10^{-2}$ kPa) soğuk plazmalardır. Yani ağır partiküller elektronlardan daha soğuktur. Basınç arttıkça çarpışmalar hızlanmakta ve ağır partikül sıcaklığı ile elektron sıcaklığı arasındaki fark azalmaktadır. Plazmanın yapısı termal plazmaya yaklaşmakta, ancak o seviyeye ulaşmamaktadır (Misra vd., 2011). Soğuk plazmalar elektrik boşalım ile ve mikrodalga kullanılarak üretilir. Tipik atmosferik basınçtaki soğuk plazmalara örnek olarak; corona boşalım, dielektrik bariyer boşalım, radyo frekans plazma ve akışlı (gliding) ark boşalım plazmaları sayılabilir. Bunların yanı sıra plazmaların uygulama mesafelerine göre de “mesafeli”, “direkt uygulamalı” ve “elektrot temaslı” olarak da sınıflandırılması mümkündür. Bu parametrelerin her biri soğuk plazma tekniklerinin kategorize edilmesinde kullanılmaktadır. Sonuç olarak termal plazmalar yüksek basınçlarda, yüksek miktarda enerji gerektiren, elektronlar ile ağır türler arasında termal dengeye sahip plazma türleridir. Atmosferik plazma ise böyle aşırı koşullara gerek duymadığından endüstriyel

olarak gıda sanayine daha uygundur. Soğuk plazmaların oluşturulmasında hava, oksijen, argon ya da azot gibi gazların yanı sıra gaz karışımlarda kullanılabilir. Ayrıca plazmanın oluşumu esnasında gerekli enerji elektrik enerjisinden sağlanabileceği gibi mikrodalga ya da lazer kaynaklarından da sağlanabilmektedir (B. Niemira, 2014).

2.4.3 Soğuk Plazma Sistemleri

İlk plazma uygulamaları düşük basınç altında yürütülmüştür. Bir gaz karışımının iyonlaşma voltajı elektrotlar arası uzaklık ve aralarındaki gaz basıncı ile ilişkilidir. Basıncın düşmesi iyonlaştırma için gerekli voltajında düşmesini sağlar. Bu nedenle düşük basınçlı plazma sistemleri daha düşük enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Bozkurt, 2014). Bu sistemler vakum haznesi, vakum pompası, gaz akış kontrol üniteleri gibi ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu sistemlerin diğer bir dezavantajı ise kesikli olarak çalışmalarıdır. Sıvı gıdalar başta olmak üzere bazı gıdaların vakum ortamına uygun olmaması da sistemi kısıtlayan şartlar arasında sayılabilir. Vakum plazmalarda genel olarak radyo frekans veya mikrodalga jeneratörlerle plazma oluşturulmaktadır (Tendero vd., 2006).

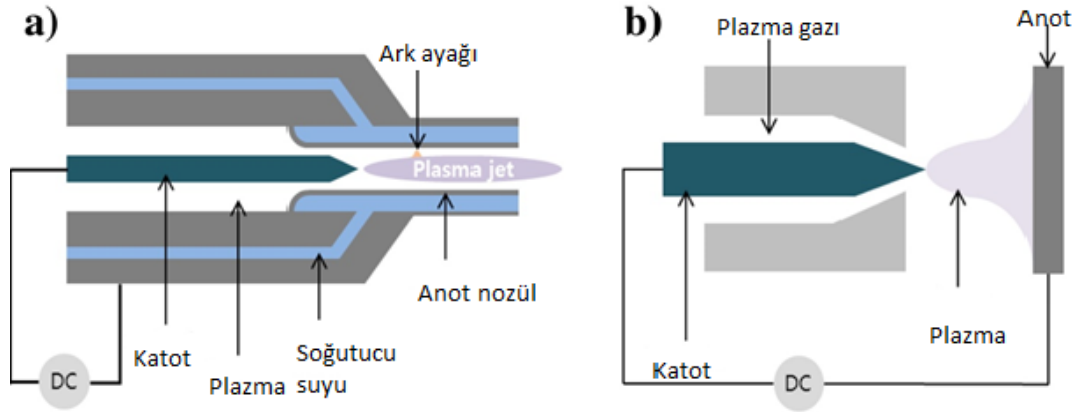
Gelişen teknikler atmosferik basınçta ve ortam sıcaklığında çalışabilen soğuk plazma sistemlerinde düşük maliyetli, hızlı ve endüstriyel uygulanabilir duruma gelmesini sağlamıştır. Atmosferik basınç altında soğuk plazma uygulanabilmesi dekontaminasyon sürecinin ucuz ve kolay bir hale getirmiştir (Misra vd., 2011). Sistemlerin genel prensibi yüksek potansiyel fark oluşturulan elektrotlar arasından geçirilen gazın plazmaya dönüştürülmesine dayanmaktadır. Bu tip sistemler sürekli prosese uygun olduğundan gıda materyalinin konveyörler ile sistemden geçirilmesi mümkündür. Ancak yukarıda daha önce değinilen basınç-voltaj ilişkisinden dolayı yüksek voltaja ihtiyaç duyarlar. Atmosferik plazma oluşturulurken uygulanan çalışma frekansına ya da uygulanan voltaja göre plazmalar; doğru akımlı (DC) boşalım, alternatif akımlı (AC) boşalım, radyo frekans (RF) boşalım ve mikro dalga (MW) boşalım plazmaları olarak sınıflandırılmaktadır. Atmosferik basınçta oluşan plazmalar elektrot yapısına göre de sınıflandırılabilir. Bunlardan korona boşalım plazması, dielektrik bariyer boşalım (DBD) ve plazma jeti geniş kullanım alanına sahip olanlardır (Tendero vd., 2006).

Atmosferik basınçta oluşturulan plazma kaynaklarında He, Ar ya da N₂ ateşlemede ve stabilizasyonda kullanımı yaygın olan gazlardır. Uygulamanın yüzey etkinliğini arttırmak amacıyla düşük oranlarda da O₂, CF₄, CH₄ ve benzeri gazlar katılabilmektedir (K. N. Kim, Lee, Mishra, & Yeom, 2016).

Dielektrik bariyer boşalım plazması aralarında büyük bir potansiyel fark bulunan iki adet elektrottan oluşur. Bu elektrotlar arasında boşalım akımını sınırlamak için amacıyla elektrotlardan en az birisi dielektrik (yalıtkan) bir materyal kullanılmaktadır (Misra vd., 2015). Bu boşalım tipik düzenli ısı olmayan parıltılı (glow) tipi plazma rejimleridir. Elektrotlar arası mesafe gaz karışımına ve uygulanan voltaja bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu sistemin avantajlarından birisi de geniş yüzey alanlarına uygulanabilme olanağı sağlamasıdır. Tasarımına, geometrisine, elektrot şekline, kullanılan dielektrik materyaline birçok farklı DBD kaynakları mevcuttur (K. N. Kim vd., 2016). Son yıllarda uygulanmaya başlayan ve birçok gıda materyalinde uygulanma potansiyeli gösteren bu yöntem ile gıda ambalajının yüksek voltajlı elektrotlar ile teması sonucunda ambalaj içerisinde plazma oluşturulması mümkün olmaktadır. Sistem 4 L'lik plastik (LDPE) ambalaj içerisindeki havayı iyonize etmek için 40-50 W enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu sistem ambalaj içerisindeki tüm gazlara etki etmektedir (Misra vd., 2011). Ambalaj içerisinde plazma oluşturma prosesinde kullanılan materyallerden bazıları; düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polietilen tereftalat (PETE), polisitren, ve diğerleri sayılabilir (Keener vd., 2012).

Atmosferik basınçlı plazma jetleri ve plazma torçları ile plazma oluşturulmasında radyo frekans ya da mikrodalga enerjisi kullanılabilir. Sistem plazma jetinden iyonize olmuş gazın substrat üzerine akışı prensibi ile çalışmaktadır. Geniş uygulama alanına sahip bu teknik, gıdadan yüzey uygulamalarına, malzemeden biyomedikal uygulamalarına kadar birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (K. N. Kim vd., 2016).

Plazma torçu plazma jeti ile oldukça benzer yapıdadır (Şekil 2.4). Ancak plazma torçunda plazma merkezdeki elektrodun ucu ile yüzey elektrodu arasında oluşturulmaktadır. Ayrıca plazma torçu plazma jetinden daha yüksek gaz sıcaklığına ve plazma yoğunluğuna sahiptir (K. N. Kim vd., 2016).

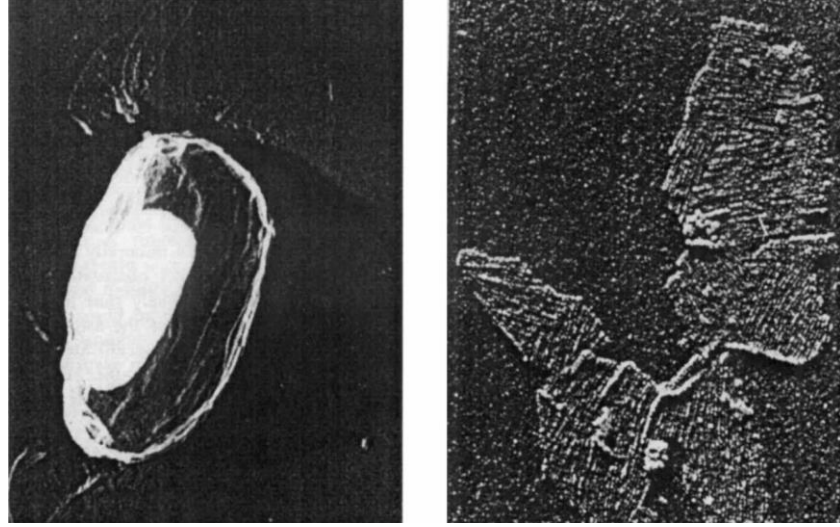


Şekil 2.4. Plazma jeti (a) ve plazma torçu (b) sistemleri

Korona boşalım plazması mikroorganizmaların inaktivasyonu amacıyla kullanılan ilk plazma uygulaması olup, boşalım plazmalar arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Korona boşalması yüklü teller veya noktalarda oluşan iyonlaşma sonucu yüksek enerjili elektromanyetik alan oluşumu olarak tanımlanabilir (Garbassi, Morra, Occhiello, & Garbassi, 1998). Korona boşalımında elektriksel boşalım ile bir iletken etrafındaki gazın iyonlaşması ile gerçekleşmektedir. Ancak bunun gerçekleşmesi için potansiyel farkının belirli bir değeri aşması gerekmektedir.

2.5 Soğuk Plazma Uygulamasının Mikroorganizmalar Üzerine Etki Mekanizması

Mikroorganizmaların plazma tekniği ile inhibisyonu üzerine ilk çalışma 1964 yılında gerçekleştirilmiştir (Thomas, 1964). Çalışmada O₂ plazmasına maruz bırakılan *Bacillus megaterium* ve *Bacillus cereus* sporlarının transmisyonlu elektron mikroskobu (SEM) ile yapısı incelenmiştir. Plazma sonrası görüntüler incelendiğinde spor hücre yapılarının zarar gördüğü tespit edilmiştir (Şekil 2.5). Daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda plazma uygulamalarının mikroorganizmalar üzerine inhibe edici etkisinin plazma esnasında oluşan UV ışınları, sıcaklık, reaktif oksijen ve azot molekülleri, elektrik alan ve yüklü parçacıklar sonucunda olduğu bildirilmiştir (Laroussi, 2005).



Şekil 2.5. *Bacillus* sporlarının oksijen plazmasına maruz kalmasından önceki ve sonraki görüntüleri (Thomas, 1964)

2.5.1. UV Radyasyon Etkisi

Plazma sterilizasyonunda önemli rol oynayan etkenlerden birisi UV radyasyondur. Plazma sırasında oluşan UV ışınlar mikroorganizmaların genetik materyalini tahrip etmektedir (Laroussi, 2005). Isıl olmayan plazmalar farklı dalga boylarında UV üretirler. Ancak bu dalga boylarından sadece 200-300 nm aralığı mikroorganizmalar için inhibe edici etki göstermektedir. Bu hasar, timin dimerizasyonu ile hücrelerin replikasyon yeteneğinin kaybolması ile meydana gelmektedir (Beggs, 2002). Vakum plazma boşalımının sterilizasyonda etkin olan dalga boylarında önemli miktarda UV radyasyonu oluşturduğu bilinmektedir (Morent & De Geyter, 2011).

Literatürde, atmosferik basınçta plazma dekontaminasyonunda UV etkisinin uygulanan plazma sistemine, gaz türüne, oluşan UV ışın dalga boyuna göre UV radyasyon etkisinin değişkenlik gösterdiği ortaya konmuştur (Beggs, 2002; Boudam vd., 2006; Morent & De Geyter, 2011; Trompeter vd., 2002). Atmosferik plazma sistemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda plazma sırasında oluşan UV ışımalarının antimikrobiyal etkisinin yeterli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. H. W. Herrmann, Henins, Park, ve Selwyn (1999) helyum-oksijen gaz karışımı kullanarak oluşturulan atmosferik basınçlı plazma jeti uygulamasının *Bacillus globigii* üzerine etkisini inceledikleri araştırmada kuartz bir cam filtre yardımıyla UV ışınları ve ısı hariç diğer plazma etkenlerinin spora ulaşması engellenmiştir. Filtre uygulanarak gerçekleştirilen

plazma sonrasında bakterinin başlangıç konsantrasyonunun da kayda değer bir azalma olmadığı tespit edilmiştir. Trompeter vd. (2002) atmosferik basınçlı DBD sisteminde farklı gazların etkinliklerini karşılaştırdıkları bir çalışmada argonun sporların inaktivasyonunda en yüksek etkinliği gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada argonun kimyasal olarak inaktif olmasına rağmen inaktivasyonun plazma sırasında oluşan UV ışınlar sonucunda olduğu belirtilmiştir.

2.5.2. Sıcaklık Etkisi

Geleneksel ısı işlemlerden bahsedilirken akla gelen sıcaklık pastörizasyon ve sterilizasyon koşulları olup, düşük sıcaklıklarda çalışan non-termal plazma sistemleri işlenen ürünlerde gözlemlenen sıcaklık (<60 °C) genel olarak daha düşük olmaktadır. Ancak akışlı (gliding) ark boşalımı ve dielektrik bariyer boşalımı gibi plazma uygulamalarında lokal bölgelerde ve dar zaman aralığında yüksek sıcaklık değeri görülebilmektedir (A. Fridman, 2008).

2.5.3. Reaktif Türlerin Etkisi

Plazma uygulamalarında oluşan reaktif türlerin mikrobiyal dekontaminasyonda sürecinde önemli derecede etkili olduğunu belirtmiştir (A. Fridman, 2008; Laroussi, 2002, 2005).

Plazma esnasında oluşan reaktif türler şunlardır:

- Uyarılmış oksijen O₂ ve azot N₂
- Reaktif oksijen türleri O, ¹O₂, O₂⁻ ve O₃
- Reaktif azot türleri N, N₂, NO.
- Nem varlığında H₂O⁺, OH⁻, H₂O₂

Reaktif türlerin bakteriler üzerindeki yıkıcı etkisini kanıtlamak amacıyla Laroussi ve Leipold (2004a) atmosferik basınçta çalışan DBD plazma sistemi kullanarak 3 farklı gazın (saf helyum, %97 Helyum-%3 oksijen karışımı ve hava) *Bacillus* sporları üzerindeki sterilizasyon etkinliğini karşılaştırılmıştır. Saf helyum kullanıldığında çok düşük miktarda radikal meydana gelmektedir. Helyum-oksijen karışımında ise O ve O₃ gibi oksijen kaynaklı reaktif türler oluşmaktadır. Boşalım gazı olarak hava kullanıldığında ise oksijen ve azot kaynaklı türler üretilmektedir. Plazma uygulaması

sonucunda D-değerleri saf helyum için 20 dakikadan fazla, helyum-oksijen karışımında 10 dakika, hava için 20 saniye olarak bulunmuştur. Araştırmacılar plazma oluşumunda hava kullandıklarında elde ettikleri yüksek inaktivasyon etkinliğini NO, NO₂, O ve O₃ gibi reaktif türlerin varlığına bağlamıştır.

Bu sonuçlara benzer olara oksijen ile oluşturulan boşalımların mikroorganizmalar üzerinde güçlü yıkım etkisine sahip olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır. Herrmann ve arkadaşları (H. W. Herrmann vd., 1999) plazma jeti kullanarak oksijenli ve oksijensiz plazma etkinliğini karşılaştırdıkları çalışmada, oksijen varlığının D-değerini düşürdüğünü kanıtlamışlardır. Oksijen plazmasında oluşan ozon güçlü bir bakterisidal etkiye sahiptir (Morent & De Geyter, 2011). Kuzmichev vd. (2000) yaptıkları çalışma sonucunda en yüksek bakterisidal etkiyi nemlendirilmiş oksijen ve hava ile elde etmişlerdir. Nem varlığında, bakteri hücresinin dış yapısına zarar veren hidroksil (OH) radikalleri meydana gelmektedir. Hava varlığında içeriğe NO ve NO₂ meydana gelerek, sürecin tahrip gücü artmaktadır (Morent & De Geyter, 2011).

Soğuk plazmanın oluşturduğu membran ve hücre içi bileşenlerde oluşturduğu oksidatif hasar mikroorganizmaların ölmesine neden olmaktadır. Membran lipidleri özellikle de çoklu doymamış yağ asitleri hücre yüzeyine yakın konumlarından dolayı reaktif türlere karşı en duyarlı bileşenlerdir (Alkawareek, Gorman, Graham, & Gilmore, 2014). Plazma yapısında üretilen reaktif oksijen türlerinin bakterilerin programlanmış normal hücre ölümünü (apoptozis) tetiklemesi de diğer bir plazma inaktivasyon mekanizması olarak belirtilmektedir (Li, Zhang, & Huang, 2015).

2.5.4. Yüklü Parçacıkların Etkisi

Plazma uygulamalarında elektron ve iyonlar gibi yüklü parçacıkların sterilizasyonda önemli rol oynamaktadır. Özellikle direkt plazma uygulamalarında plazmanın mikroorganizma ile doğrudan temas içinde olduğu durumlarda etki artmaktadır. Plazma sterilizasyonunun direkt ve indirekt etkilerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada direkt plazma uygulamasının daha etkin bir sterilizasyon sağladığı tespit edilmiştir. (A. Fridman, 2008; G. Fridman vd., 2007) .

Yüklü parçacıklar hücre zarının dış yüzeyine zarar vermekte ve hücre ölümüne neden olmaktadır (Lunov vd., 2015; Mendis, Rosenberg, & Azam, 2000). Yüklü parçacıkların

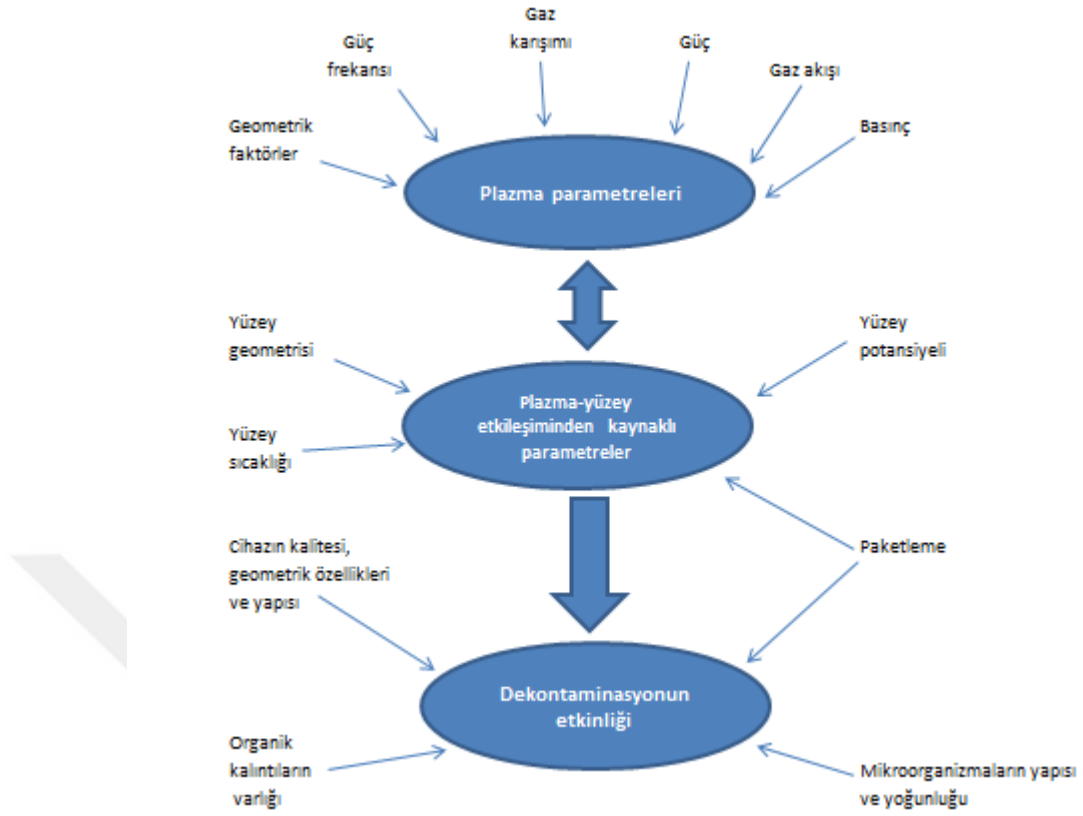
etkisiyle hücre zarının dış yüzeyinde oluşan yük birikimi elektrostatik bir güç oluşturmakta, bu güç zarın gerilme kuvvetinin üstesinden gelerek zarın parçalanmasına neden olmaktadır. Ancak, bu mekanizma hücre duvarı yapısında ötürü Gram-negatif bakterilerde Gram-pozitif bakterilere göre daha etkili olmaktadır (Morent & De Geyter, 2011).

2.5.5. Elektrik Alan Etkisi

Plazma oluşumu esnasında meydana gelen elektrik alan vurgulu elektrik alana (pulsed electric field) benzer bir etki göstermektedir. Elektrik alan hücrede elektroporasyona, hücre yapısının bozulmasına ve nihayetinde hücre ölümüne neden olmaktadır (Zimmermann, Pilwat, & Riemann, 1974).

2.6. Soğuk Plazma Uygulamasına Etki Eden Parametreler

Plazma dekontaminasyonunun etkinliği plazma uygulamasında kullanılan proses parametreleri ile doğrudan ilişkilidir (Şekil 2.6). Bunlarla beraber plazma uygulanan yüzeyin özellikleri, mikroorganizma miktarı ve çeşidi de plazma etkinliğini değiştirmektedir (Lerouge, Wertheimer, & L'H, 2001).



Şekil 2.6. Plazma uygulamasının dekontaminasyon etkinliğine etki eden parametreler (Lerouge vd., 2001)

2.6.1 Plazma Gücü, Frekansı ve Voltaj

Plazma oluşturulurken direkt akım (DC), alternatif akım düşük frekans (LF, 40 kHz), radyo frekansı (RF, 13.56 MHz) veya mikrodalgaya (MW, 2.45 GHz) gibi yük boşalım sistemleri kullanılmaktadır (Bozkurt, 2014). Genel olarak plazma gücünün artırılması elektron yoğunluğunu da arttırmaktadır. Buna bağlı olarak plazmada reaktif türlerde meydana gelen değişimler neticesinde plazmanın mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisi artmaktadır. Güç uygulanan frekans ve voltajdan doğrudan etkilenmektedir. Yani voltaj ve frekans artışına paralel olarak güç artmaktadır. Toplam güç dahil olmak üzere, diğer parametreler sabit tutulmak kaydıyla, frekans radyo frekansından mikrodalgaya doğru arttırıldıkça reaktif türlerin oluşumuna sebep olan yüksek enerjili elektron konsantrasyonu artmaktadır (Butscher, 2016).

2.6.2 Gaz Kompozisyonu ve Akış Hızı

Gaz kompozisyonu plazma etkinliğini değiştiren en önemli faktörlerdendir. Kullanılan gaza göre oluşan radikaller, uyarılmış moleküller ve UV ışın yoğunlukları farklılık göstermektedir. Soy gazların diğer gazlara göre plazma haline geçişi daha kolaydır. Argon ucuz bir soy gaz olduğundan kullanımı oldukça yaygındır. Ayrıca stabil ve güçlü bir boşalım sağladığından yüklü parçacıkların inaktivasyon etkinliğini arttırmaktadır. Plazma uygulamasında güçlü aşındırma etkisi oluşturmak için atomik oksijen veya oksijen içeren bileşikler kullanılmaktadır. Oksijen bazlı plazma uygulamasının argon plazmasına göre daha etkili olduğu belirtilmiştir. Azot ve oksijenin bir arada kullanılması oluşan singlet oksijen verimini arttırmakta ve UV eminsyon yoğunluğu artmaktadır (Lerouge vd., 2001).

Gaz akış hızı ve gaz basıncının artırılması reaktif türlerin örnek yüzeyine daha yoğun transferine sebep olmaktadır. Genel olarak akış hızı ve basıncı belli bir değere kadar arttıkça plazma etkinliği artmaktadır. Akış hızı ve basıncın daha da artırılması gazın plazma oluşumunun sağlandığı bölümde daha az kalmasına neden olmakta ve etkin bir plazma oluşumunu engellemektedir (Lerouge vd., 2001).

2.6.3 Reaktör Dizaynı ve Mesafe

Plazma sistemi tasarımı oluşan aktif türlerin konsantrasyonu üzerinde oldukça etkilidir. Örneğin, numune plazmayla temas halinde olabileceği gibi plazma boşalımın biraz altında da yer alabilir. İlk durumda numune reaktif türler, iyonlar, fotonlar ve uyarılmış elektromanyetik alan gibi tüm türlerle etkileşim halinde olacaktır. İkinci durumda ise materyal kısa ömürlü iyonlardan ve elektromanyetik alandan etkilenmemekte, yalnızca uzun ömürlü uyarılmış türlerden etkilenmektedir. Bu bileşiklerin konsantrasyonu ise plazma-numune arasındaki mesafe arttıkça azalmaktadır. Hatta direkt plazma sistemleri söz konusu olduğunda bile numune ile plazma kaynağı arasındaki mesafe arttıkça, reaktif türlerin konsantrasyonu azalmaktadır (Lerouge vd., 2001).

2.6.4 Substrat Geometrisi

Substratın yüzey geometrisi mikroorganizmaların yerleşim şekli ve miktarını etkilemenin yanı sıra, plazma etkisinin hedefe ulaşma derecesini de belirlemektedir. Plazma uygulamalarının sadece yüzeyde etkili olduğu bilinmektedir. Yüzey geometrisine bağlı olarak mikroorganizmalar plazma etkisinin ulaşamayacağı yerlerde kolonize olabilmekte ve plazma mikroorganizmalar üzerine bir etki gösterememektedir (Perni, Shama, & Kong, 2008).

2.6.5 Mikroorganizma Özellikleri

Diğer sterilizasyon yöntemlerinde olduğu gibi mikroorganizma çeşit ve özellikleri plazma uygulamasının etkinliği üzerinde oldukça etkilidir (Hury, Vidal, Desor, Pelletier, & Lagarde, 1998). Bakteri sporlarının vejetatif hücrelere göre soğuk plazma uygulamasına daha dirençli olduğu bilinmektedir (Tseng, Abramzon, Jackson, & Lin, 2012). Bununla beraber literatürde mikroorganizmaların hücre duvarı yapısı ile soğuk plazma uygulamalarının etkinliği arasında farklı sonuçlar bulunmaktadır. Örneğin, Lu, Patil, Keener, Cullen, ve Bourke (2014) yaptıkları çalışmada Gram-pozitif bakterilerin Gram-negatiflere göre plazma uygulamasına daha duyarlı olduğu tespit etmişken; Ma, Zhang, Shi, Xu, ve Yang (2008) Gram-pozitif bakterilerin daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Küf sporlarının bakterilere göre soğuk plazma uygulamasına daha dirençli olduğu belirlenmiştir (Hong vd., 2009; Kayes vd., 2007).

Yüzey birim alandaki mikroorganizma yoğunluğu da sterilizasyon etkinliğinde önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüzeydeki mikroorganizma sayısı arttıkça, mikroorganizmalar bir araya gelerek kümeleşmekte ve plazmanın inhibe edici etkisi altta kalan mikroorganizmalara ulaşmamaktadır. Bu durum plazmanın öldürücü etkisini azaltmaktadır (Azharonok vd., 2009; Hury vd., 1998). Ayrıca yüksek başlangıç yükü mikroorganizma sayısının gereken değere azaltılması için ihtiyaç duyulan uygulama süresinin de artmasına neden olmaktadır (Hury vd., 1998).

2.6.6 pH Etkisi

Ortamin pH değerinin mikroorganizmaların ısı, elektrik alan gibi bazı streslere karşı direncini etkilediği bilinmektedir. Farklı ortam pH değerlerinde tutulan *Bacillus cereus*

üzerinde gerçekleştirilen plazma uygulamasında, düşük pH değerlerinde mikroorganizmaların duyarlılığının arttığı gözlemlenmiştir (Kayes vd., 2007).

2.7. Soğuk Plazma Tekniğinin Avantaj ve Dezavantajları

Soğuk plazma tekniğinin en önemli avantajları arasında;

- Düşük sıcaklıklarda (<50 °C) etkili bir dekontaminasyon sağlaması,
- Düşük enerji gereksinimi ve maliyet,
- Kendini temizleyebilen bir sistem olması,
- Gıdaların tat, görünüş ve kokusunda kayıplara neden olmaması,
- Ambalaja zarar vermemesi,
- Toksik atıklara neden olmaması,
- Çalışan personelin sağlığına zarar vermemesi,
- Sadece mikroorganizmaları öldürmekle kalmayıp aynı zamanda ölü mikroorganizmaları yüzeyden uzaklaştırabilmesi,
- Farklı gaz ve gaz karışımları ile çalışabilmesi,
- Parametre değişimlerinin kolaylığı sayesinde farklı gıda matrislerine,

uygulanabilmesi sayılabilir (Bozkurt, 2014; Butscher, 2016; Morent & De Geyter, 2011; Yangılar & Oğuzhan, 2013).

Vakum plazma sistemlerinde plazma oluşturulurken atmosferik plazma sistemlerine göre daha büyük hacimli plazmalar daha düşük enerjiye ihtiyaç duyularak elde edilebilmektedir. Ancak atmosferik sistemler vakum oluşturmak için gerekli ekipmanlara ihtiyaç duymaması ile birlikte sürekli olarak çalışma imkânı da sunmaktadır (Tendero vd., 2006).

Atmosferik ve düşük basınç plazma sterilizasyon tekniklerinin kısıtlamaları ise şunlardır;

- Genellikle düşük kapasiteli sistemler olması (ancak son dönemde yeni teknolojilerle yüksek kapasiteli sistemler geliştirilmiştir),
- Düşük basınç plazma uygulamasının sıvı ürünlere ve vakum ortamda yapısal bozulmalar gösterebilecek ürünlere uygulanamaması,

- Özellikle jet plazma uygulamalarında ürün geometrisinin sterilizasyon etkinliği üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olması,
- Düşük basınç sistemlerin sürekli sistem olarak dizayn edilememesi,
- Substrat sayısındaki artışlarla beraber sistem etkinliğini düşürmesi,
- Ambalaj materyali varlığında da uygulamanın etkinliği azalması

gibi dezavantajlar sayılabilir (Bozkurt, 2014; Butscher, 2016; Morent & De Geyter, 2011; B. Niemira, 2014).

2.7. Soğuk Plazmanın Gıdalardaki Kullanımı

2.7.1. Soğuk Plazma Uygulaması ile Gıdaların Mikrobiyal Dekontaminasyonu Üzerine Çalışmalar

Literatür incelendiğinde soğuk plazma uygulamalarının mikroorganizmalar üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Soğuk plazmanın bir dekontaminasyon aracı olarak kullanımına dair ilk araştırma 1996 yılında yapılmıştır (Laroussi, 1996).

Atmosferik argon plazması uygulaması ile *Escherichia coli* DSM 1116 ile inoküle edilmiş mısır salatası, salatalık, elma ve domates örneklerindeki *E. coli* DSM 1116 sayısında sırasıyla 4,1 log, 4,7 log, 4,7 log ve 3,3 log azalma sağlanmıştır. Çalışmada plazma koşulları 17 mm mesafe, 8 W güç, 5 L/dak gaz akış hızı ve 60 s süre olarak kullanılmıştır. Plazma uygulaması sırasında örneklerin yüzey sıcaklığı 35,2 °C'yi geçmemiştir. Sonuçlar taze meyve ve sebzelerin mikrobiyal yükünün azaltılmasında soğuk plazma uygulamasının başarılı olduğunu göstermektedir (Matthias Baier vd., 2014).

Escherichia coli tip 1, *Saccharomyces cerevisiae*, *Gluconobacter liquefaciens*, ve *Listeria monocytogenes* inoküle edilmiş meyve yüzeyi ve membran filtre üzerindeki soğuk plazma uygulamasının etkinliği karşılaştırılmıştır. Çalışmada, 8 kV voltaj, 30 kHz frekans, helyum (5 L/dak akış hızlı) ve oksijen (25 ml/dak akış hızlı) besleme gazları ve 1 cm mesafe plazma koşulları uygulanmıştır. Uygulama süresi arttırıldıkça her iki yüzeyde de atmosferik plazmanın dekontaminasyon etkinliği artmıştır. Membran filtre üzerindeki mikroorganizmalarda çok başarılı bir dekontaminasyon gözlemlenirken, meyve yüzeyinde aynı derecede başarı sağlanamamıştır. Araştırmacılar bunun

mikroorganizmaların meyvenin yüzeyinden iç kısımlara nüfuz etmesinden kaynaklandığını, plazma uygulamasının sadece yüzeyde etkili olduğu için iç kısımlardaki mikroorganizmalar üzerinde bir etki gösterememesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir (Perni vd., 2008).

Bakteri sporlarının çok dayanıklı olduğu bilinen bir gerçektir. Sporların gıda ya da gıda ambalajından dekontaminasyonları oldukça güçtür. Soğuk atmosferik azot plazması uygulamasının *Bacillus cereus*, *Bacillus atrophaeus* ve *Geobacillus stearothermophilus* sporlarının morfolojik yapısını bozduğu ve sporlar üzerinde biyosidal etkiye sahip olduğunu kanıtlamıştır (Van Bokhorst-van de Veen vd., 2015).

Depolama aşamasında hububat ve baklagil kökenli tanelerdeki küfler üzerinde soğuk plazma tekniğinin (süre: 5-10-15 dakika, gaz: SF6 ve Hava) incelendiği bir çalışmada, plazma uygulaması sonrasında buğdayda 2,64 log, arpada 1,47 log, yulafta 1,18 log, , çavdarda 0,65 log, mısırdaki 0,52 log, nohutta 0,48 log, fasulyede 2,39 log ve mercimekte 0,85 log azalma sağlanmıştır. Sonuçlar UV ışını tekniği ile karşılaştırılmış ve plazma tekniğinin UV ışını uygulamasında göre küflerin dekontaminasyonunda daha etkili olduğunu ortaya koymuştur (Sağlam, 2008).

Aspergillus flavus ve *Aspergillus parasiticus* sporlarının kontamine edildiği darıların atmosferik akışkan yataklı plazma sistemi ile soğuk plazma uygulandığı çalışmada 5 log'dan fazla bir azalma tespit edilmiştir (Dasan, Boyaci, & Mutlu, 2016).

Aflatoksinlerin gıda sektöründe önemli bir problemdir. Bu kapsamda, plazma uygulamasının mikotoksinler üzerine etkilerini inceleyen bir çalışmada düşük basınç soğuk plazma (besleme gazı: kuru hava, güç: 60 W -1950 V, uygulama süresi 12 dakika) uygulamasının *Aspergillus parasiticus* ve *Aspergillus flavus* miktarı ve aflatoksin oluşumu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. *Aspergillus parasiticus* ve *Aspergillus flavus* ile inoküle edilmiş yer fıstıklarında plazma uygulanmasından sonra aflatoksin oluşumunda sırasıyla % 97,9 ve 99,3 azalma sağlanmıştır (Devi, Thirumdas, Sarangapani, Deshmukh, & Annapure, 2017).

2.7.2. Soğuk Plazma Uygulamasının Gıda Bileşenleri Üzerine Etkileri

Soğuk plazma uygulamalarının düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Bu sayede ürünlerin besin öğeleri üzerinde çok az miktarda kayba neden olmakta ve taze ürün

karakteristiklerinin korunmasını sağlamaktadır. Ayrıca ısıt işlemler sonucunda oluşan zararlı yan ürünlerin oluşumu gözlenmemektedir. Bununla beraber, literatür incelendiğinde plazma uygulamalarının mikrobiyal dekontaminasyon üzerine etkilerini inceleyen bir çok çalışma bulunmakla beraber, plazmanın gıda bileşenleri üzerine etkilerini inceleyen çalışmalar daha kısıtlı sayıdadır (Hertwig, Reineke, Ehlbeck, Knorr, & Schlüter, 2015; B. Kim vd., 2011; Perni vd., 2008; Song vd., 2009; Yun vd., 2010).

Mikrodalga soğuk plazma uygulamasının *Bacillus cereus*, *Aspergillus brasiliensis* ve *Escherichia coli* O157:H7 suşları ile inoküle edilmiş soğan tozu üzerine üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada mikroorganizma sayısında sırasıyla 2.1 log spor/cm², 1.6 log spor/cm², and 1.9 log kob/cm² azalma sağlanmıştır. Uygulamanın soğan tozunun renginde, antioksidan aktivitesinde, kuersetin yoğunluğunda herhangi bir değişime neden olmadığı belirtilmiştir (J. E. Kim, Oh, Won, Lee, & Min, 2017).

Butscher (2016) buğday tanesi ve alfalfa tohumu üzerine plazma uygulamasının ürünlerin yüzey dekontaminasyonunda etkili olduğunu göstermiştir. Plazma uygulaması sonrasında buğday tanelerinin rutubet, su tutma kapasitesi, reolojik özellikler ve amilaz aktivitesi gibi özelliklerinin olumsuz olarak etkilenmediği tespit edilmiştir. Alfalfa tohumlarının çimlenme potansiyelinde de artış sağlanmıştır.

Bozkurt (2014) soğuk plazma uygulamasının vitamin ve enzim aktivitesi üzerine etkilerini incelenmiş; bu amaçla E ve C vitaminleri ile polifenol oksidaz enzimi kullanılmıştır. Kuru hava kullanılan plazma jeti uygulaması sonrasında askorbik asit miktarında en fazla % 83,5'lik kayıp gözlenirken, helyum beslemeli DBD plazma sisteminde bu oran en fazla %30,4'e; He-O₂ gaz karışımı kullanıldığında ise % 28,6'ya ulaşmıştır. Polifenol oksidaz enzim aktivitesi ise %39,5'lik bir azalma görülmüştür. Bu etkilerin plazma esnasında oluşan reaktif türler ve UV ışınlardan kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Yumurta üretiminde önemli bir risk kaynağı olan *Salmonella enteritidis* soğuk plazma uygulaması ile dekontaminasyonu üzerine yürütülen bir çalışmada mikrobiyal yükte 5,53 log kob/yumurta azalma gözlemlenmiştir. Çalışmada, plazma uygulanmamış örneklerle kontrol örnekleri arasında yumurta kalitesi açısından belirgin bir farklılık görülmemiştir (Georgescu, Apostol, & Gherendi, 2017).

Escherichia coli O157:H7 ve *Listeria monocytogenes* inoküle edilmiş hindiba yapraklarına soğuk plazma uygulamasının dekontaminasyon etkinliğinin incelendiği bir çalışmada sırasıyla 1,35 log ve 2,2 log azalma tespit edilmiştir. Antioksidan aktivite ve dış görünüşte ise belirgin bir değişim oluşmamıştır. Çalışmada plazma uygulamasının yapraklı sebzelerin dekontaminasyonunda kullanım potansiyeli olduğu ifade edilmiştir (Pasquali vd., 2016).

Yaban mersini üzerindeki tarım ilaçlarının giderilmesi amacıyla soğuk plazma tekniğinin uygulandığı bir çalışmada boscalid ve imidacloprid adlı pestisit miktarlarında sırasıyla %80,18 ve % 75,62 oranında azalma sağlanmıştır. Örneklerin toplam fenol ve flavonoid içeriğinde kontrole göre artış gözlemlenirken, plazma uygulama süresi arttıkça askorbik asit içeriğinde düşüş tespit edilmiştir. Plazma uygulaması sonrasında yaban mersinlerinin renginde belirgin bir değişim görülmemiştir. Çalışmada soğuk plazma tekniğinin pestisit dekontaminasyonunda başarılı olduğunu kanıtlarken, besin öğelerine ve fiziksel özelliklerine zarar vermediği göstermiştir (Sarangapani, O'Toole, Cullen, & Bourke, 2017a).

Salmonella typhimurium inoküle edilmiş turp filizlerinin soğuk plazma ile inhibisyonunun incelendiği çalışmada 2,6 log kob/g azalma sağlanmıştır. Plazma uygulama süresi ile doğru orantılı olarak filizlerin nem içeriğinde düşüş gözlemlenirken görünüş, koku, renk, askorbik asit içeriği ve antioksidan aktivitede 12 günlük depolama süresi boyunca bir değişim olmamıştır (Oh, Song, & Min, 2017).

2.8. Havuç

Havuç (*Daucus carota* L.) maydanozgiller (*Apiaceae*) familyasından olup, kök bitkileri arasında dünya çapında en yaygın olarak yetiştirilenlerden biridir. Ülkemizde genellikle kış mevsiminde tüketilen bu iki yıllık kültür bitkisi hem taze olarak tüketiminde hemde birçok gıdanın üretiminde kullanılmaktadır (Çabuk, 2014). Havucun su içeriği yaklaşık % 87 civarında değişmektedir (Howard, MacGillivray, & Yamaguchi, 1962). A, B, C, D ve K vitaminleri ile potasyum, sodyum, kalsiyum, fosfor ve demir minerallerince de zengindir (Çizelge 2.2). Havuçlardaki ortalama karotenoid içeriği 60-150 mg/kg olup, β -karoten miktarı 20-100 mg/kg olarak saptanmıştır (K. Herrmann, 2001). Provitamin A görevi gören β -karotenin yanı sıra α -karoten, β -zeakaroten, lutein ve likopen gibi diğer karotenoidlerde bulunmaktadır (Gao &

Rupasinghe, 2012). Bunlara ek olarak, havuç fenolik bileşikler ve C vitaminin gibi antioksidanlarca da zengindir (Alasalvar, Grigor, Zhang, Quantick, & Shahidi, 2001).

Çizelge 2.2. Çiğ havucun 100 gramında bulunan besin içeriği

Kalori Verileri	
Karbonhidrat	152 kJ
Yağ	8,4 kJ
Protein	10,9 kJ
Alkol	0 kJ
Toplam Kalori	172 kJ
Vitaminler	
Vitamin A	16705 IU
Vitamin C	5,9 mg
Vitamin D	-
Vitamin E (α - tokoferol)	0,7 mg
Vitamin K	13,2 mcg
Tiamin	0,1 mg
Riboflavin	0,1 mg
Niasin	1 mg
Vitamin B6	0,1 mg
Folat	19 mcg
Vitamin B12	0 mcg
Pantotenik asit	0,3 mg
Kolin	8,8 mg
Betain	0,4 mg
Mineraller	
Kalsiyum	33 mg
Demir	0,3 mg
Magnezyum	12 mg
Fosfor	35 mg
Potasyum	320 mg
Sodyum	69 mg
Çinko	0,2 mg
Bakır	0 mg
Manganez	0,1 mg
Selenyum	0,1 mcg
Florür	3,2 mcg

Kaynak: <http://nutritiondata.self.com/facts/vegetables-and-vegetable-products/2383/2>

C vitamini ya da diğer adıyla askorbik asit suda çözünen ve beslenmede esansiyel olan bir vitamin olup antioksidan özelliği bulunmaktadır (Bendich, Machlin, Scandurra, Burton, & Wayner, 1986; Uddin, Hawlader, Ding, & Mujumdar, 2002). İnsan

beslenmesinde günlük C vitamini ihtiyacının % 90'ı meyve ve sebzelerden sağlanmaktadır. C vitamini skorbütten korumakta ve sağlıklı cilt, diş etleri ve damarlar sağlamaktadır. Ayrıca kolajen oluşumunda, inorganik demir emiliminde, kan plazmasındaki kolesterol seviyesinin düşürülmesinde, nitrozamin inhibisyonunda, kardiyovasküler hastalıkların ve bazı kanser türlerinin riskini azaltmada etkileri olduğu bilinmektedir (J. R. Harris, 2013). Ancak, C vitamini kolayca okside olabilmekte ve depolama esnasında parçalanmaktadır. C vitaminin en çok yıkıma uğradığı durum uygunsuz depolama koşullarıdır. Uzun süre depolama yüksek sıcaklık, düşük nispi nem, fiziksel hasar ve don gibi koşullar kayıpları arttırmaktadır. Oksijen varlığı, ağır metal iyonları, alkali pH, yüksek sıcaklık, ışığa maruz kalma, çözünmüş oksijen seviyesi, şeker varlığı bu süreci hızlandıran faktörlerdir (Parviainen & Nyssönen, 1992). Askorbik asidin ısıya oldukça duyarlı oluşu 56 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda parçalanmasına neden olmaktadır (Valdramidis, Cullen, Tiwari, & O'donnell, 2010).

Troluks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) yöntemi ile havuçlarda toplam antioksidan aktivitenin belirlendiği bir çalışmada, havuçların antioksidan aktivitesi 25.9 ila 86.6 µmol TE/100g arasında bulunmuştur (Koca Bozalan & Karadeniz, 2011).

Epidemolojik araştırmalar, β-karotene zengin meyve sebzelerin tüketiminin kanser riskini azalttığını göstermektedir (Steinmetz & Potter, 1991). Birçok biyokimyasal araştırma bize serbest radikallerin insan vücudunda oluşturduğu oksidatif hasarları giderdiği için fitokimyasallar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu faydalı etkiler antioksidan aktiviteye sahip bileşenlerden kaynaklanmaktadır (Huang, Ou, & Prior, 2005). Başlıca gıda antioksidanları; askorbik asit, vitamin E, karotenoidler, flavonoidler ve fenolik bileşikler olarak sıralanabilir. Havuç hem lipofilik antioksidanlarca (karotenoidler, ksantofiller) hem de hidrofilik antioksidanlarca (polifenoller) zengin bir sebzedir (Hager & Howard, 2006).

β-Karotenin sağlığa olan faydaları arasında; astım, alerjik semptomlar, kanser, katarakt, kalp ve damar hastalıklarına karşı önleyici ve koruyucu etkilerinin yanı sıra, kandaki kolesterol seviyesini düşürmesi sayılabilir (Breithaupt & Bamedi, 2001; Devereux, 2006; Suganuma, Oshima, & Inakuma, 2002). Bu sebeplerden dolayı havucun karotenoid ve polifenol içeriği havuç kalitesi açısından çok önemli bir kriterdir. Beta karoten uzun zincirli, doymamış, non-polar bir bileşen olduğu için çok kolay

parçalanmaktadır. Isı ve ışığa karşı çok hassastır. Kırk karbon atomundan oluşan kimyasal yapısı ve çok konjuge oluşu, β -karotene bozunmaya karşı hassasiyet kazandırmaktadır (Jyothi vd., 2010). Bu bozunmalar genellikle oksidasyon ve hidroliz reaksiyonlarıdır (Rodriguez & Rodriguez-Amaya, 2007).

Havuçların işlenmesinde kullanılan işlemler esnasında maruz kalınan koşullar (ısı, ışık, oksijen) başta antioksidan aktivite olmak üzere birçok kayba neden olabilmektedir (Rababah vd., 2011). Bu kayıplardan başlıcaları renkte bozulma, kötü koku oluşumu, solunumda artış, asitlenme, tekstürel kayıplar ve mikrobiyolojik bozulmalardır (Barry Ryan, Pacussi, & O'beirne, 2000). Havuçta renk çok önemli bir kalite parametresidir. Beyazlaşma, havuç renk kalitesi açısından en önemli parametredir (Lavelli, Pagliarini, Ambrosoli, Minati, & Zanoni, 2006). Lignifikasyon (odunlaşma) ve dehidrasyon havuçtaki renk kaybı ve beyazlaşmanın temel nedenleridir (Izumi, Watada, Ko, & Douglas, 1996; Lavelli vd., 2006).

Minimum işlenmiş sebzeler arasında da, en düşük düzeyde işlenmiş sebzelerden birisini havuç teşkil eder. Su kaybı ve mikrobiyolojik bozulmalar ve neticesinde renk değişimi havuçlarda raf ömrünü kısıtlayan temel nedendir (Emmambux & Minnaar, 2003). Minimum işlenmiş havuçlara uygulanan temel işlemler; temizlik, soyma, kesim, yıkama, paketlenme ve soğukta muhafazadan oluşmaktadır. Bazen bu aşamalara dekontaminasyon aşaması da eklenebilmekte, ayrıca paketlenme aşamasında da vakum/modifiye atmosfer kullanılabilmektedir (Raija Ahvenainen, 2000).

2.9. Minimum İşlenmiş Havuç Üretimi

Minimum işlenmiş meyve ve sebzeler tüketiciye kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bununla beraber bu yöntem ile taze meyve ve sebzelerde hasat sonrası oluşan kayıplarda minimize edilmektedir. Minimum işleme metotları yüksek sıcaklık ve kimyasal koruyucular kullanmadan mikroorganizma gelişimini ve enzim aktivitesini inhibe etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, ürünlerin tazelik karakteristikleri ve besin değerinin korunması hedeflenir (Siddiqui & Rahman, 2015). Minimum işlenmiş, tüketime hazır veya taze kesilmiş havuçların üretimi üzerine birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır.

Minimum işlenmiş havuçların soyulmasından önce yıkanmaları önemlidir. Aksi taktirde iç kısımlar kullanılan soyma materyali vasıtasıyla kirli dış yüzey ile kontamine olmaktadır. Havuçların soyulması aşamasında bıçakla soymanın aşındırma ile soymaya nazaran daha az hasar oluşturmakta ve daha az kontaminasyona yol açmaktadır (Klaiber, Baur, Wolf, Hammes, & Carle, 2005).

Hasat sonrası yıkama minimum işlenmiş meyve sebzelere uygulanan işlem basamaklarından ilkidir. Böylece; kirlilikler, pestisit kalıntıları, artıklar, doku sıvıları ve mikroorganizmalar uzaklaştırıp hızlı bir soğuma sağlanmaktadır. Antimikrobiyal etkinliği arttırmak ve çapraz kontaminasyonun önüne geçmek amacıyla bu yıkama sularına genellikle dezenfektan maddeler katılabilmektedir. Bunların en yaygın kullanılanı ise klordur. Serbest klor kullanımı ve modifiye atmosfer paketleme minimum işlenmiş meyve-sebzeler üzerinde sıklıkla uygulanan tekniklerdir (Siddiqui & Rahman, 2015).

Küp şeklinde kesilmiş havuçların 100 ppm serbest klor içeren 7 °C sıcaklıktaki su ile yıkanıp, atmosferik, vakum ve modifiye atmosfer (2% O₂, 10% CO₂, 88% N₂) koşullarında plastik poşetler içerisinde 1°C sıcaklıkta 21 gün depolandıkları bir çalışmada, depolama süresince örneklerin nem, mineral (potasyum, kalsiyum, demir, manganez ve çinko), lipid, protein, kül ve C vitamini içeriğinde de anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Ancak örneklerin β-karoten içeriğinde bir miktar düşüş, pH değerinde de artış gerçekleşmiştir. Çalışmada pH değerindeki artışın düşük organik asit içeriğinden kaynaklandığı belirtilmiştir. β-karoten içeriğindeki düşüş en fazla modifiye atmosfer ile paketlenmiş örneklerde gözlemlenmiştir. Bu örneklerde depolama sonunda %33 β-karoten kaybı meydana gelmiştir (Pilon, Oetterer, Gallo, & Spoto, 2006).

Diğer bir çalışmada klor dioksit gazı kullanımının modifiye atmosferde paketlenmiş (4,5% O₂, 8,9% CO₂, 86,6% N₂) minimum işlenmiş havuçların raf ömrüne etkisi incelenmiştir. Klor dioksit uygulanmış örneklerde kontrol grubuna göre mezofilik, aerobik bakteri, psikrotrofik ve maya miktarında sırasıyla 1,88, 1,71, 2,60 ve 0,66 log azalma gözlemlenmiştir (Gómez-López, Devlieghere, Ragaert, & Debevere, 2007).

Modifiye atmosferde paketlenmiş havuçların *E.coli* O157:H7 ile inoküle edildiği bir diğer çalışmada ise havuçların pH değerindeki azalma mikroorganizma

populasyonundaki artış dolayısıyla asit birikimi ile ilişkilendirilmiştir (Abdul-Raouf, Beuchat, & Ammar, 1993).

Modifiye atmosfer paketlenmenin havuç kalitesi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, 8 günlük depolama süresi sonunda havuçların beyazlık indeksi değeri 22,7 başlangıç değerinden 30–35 seviyelerine yükselmiştir. Havuçların β -karoten miktarında % 5,52 - 10,10 oranında azalma tespit edilmiştir (Dawange, Dash, Bal, & Panda, 2016).

Havuçların 100 °C sıcaklıkta 45 saniye tutulmasının klorlu su uygulaması ile karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada ısı uygulamasının klorlu su uygulamasından daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış havuçlarda 3 gün daha fazla raf ömrü sağlanmıştır. Ayrıca, solunum hızı ve peroksidaz aktivitesinde azalma sağlanırken renk korunmuştur (Alegria vd., 2010).

Klor uygulamasında genellikle 1-2 dakikalık daldırma süresi ve 50-200 ppm klor kullanılmaktadır. Ancak çalışmalar bu klor konsantrasyonlarının ürünlerde bulunan patojen yükünü azaltmada yeterli olmadığını göstermektedir (Behrsing vd., 2000; Delaquis vd., 2002; E. J. Lee vd., 2008). Yüksek antimikrobiyal etkinlik sağlamak ve toksik klor gazı oluşumunu minimize etmek için klor bazlı dezenfektanların pH değerlerinin genellikle 6-7,5 aralığında olması istenmektedir (X. Chen & Hung, 2016). Klor uygulanmasında ortamda bulunan organik materyallerden trihalometan ve haloasetik asit gibi insan sağlığına zarar veren yan ürünler oluşabilmektedir (Karadağ, 2013). Ayrıca klor gazına uzun süre maruz kalan işçilerin cild ve solunum sistemleri zarar görebilmektedir (L. Beuchat vd., 1998).

Havuçlara ısıl işlem uygulanması sonrasında 5-hidroksimetil furfural oluşumu gözlenmiştir (Vervoort vd., 2012). Ayrıca Mailard reaksiyonları da meydana gelmektedir. Lipid ve karotenoidlerin bozunumu da ısıl işlemlerin olumsuz sonuçları arasında sayılabilir (Vervoort vd., 2013). Isıl işlemler β -karoten kaybına neden olmakla beraber β -karotenin biyolojik ulaşılabilirliğini arttırabilmektedir (Knockaert, Lemmens, Van Buggenhout, Hendrickx, & Van Loey, 2015).

BÖLÜM 3

MATERYAL - METOT

3.1. Materyal

Escherichia coli ATCC 25922 suşunun sayımı, canlandırılması ve stoklanmasında TBX Agar (Chromocult Tryptone Bile X-glucuronide Agar, Merck, Almanya), Tryptic soy agar (TSA, Merck) ve Brain heart Infusion broth (BHI, Merck) besiyerleri kullanılmıştır. Besiyerleri üretici firma talimatlarına göre hazırlanmıştır. Örneklerin dilüsyonlarının hazırlanmasında Maximum Recovery Diluent (MRD, Merck) kullanılmıştır.

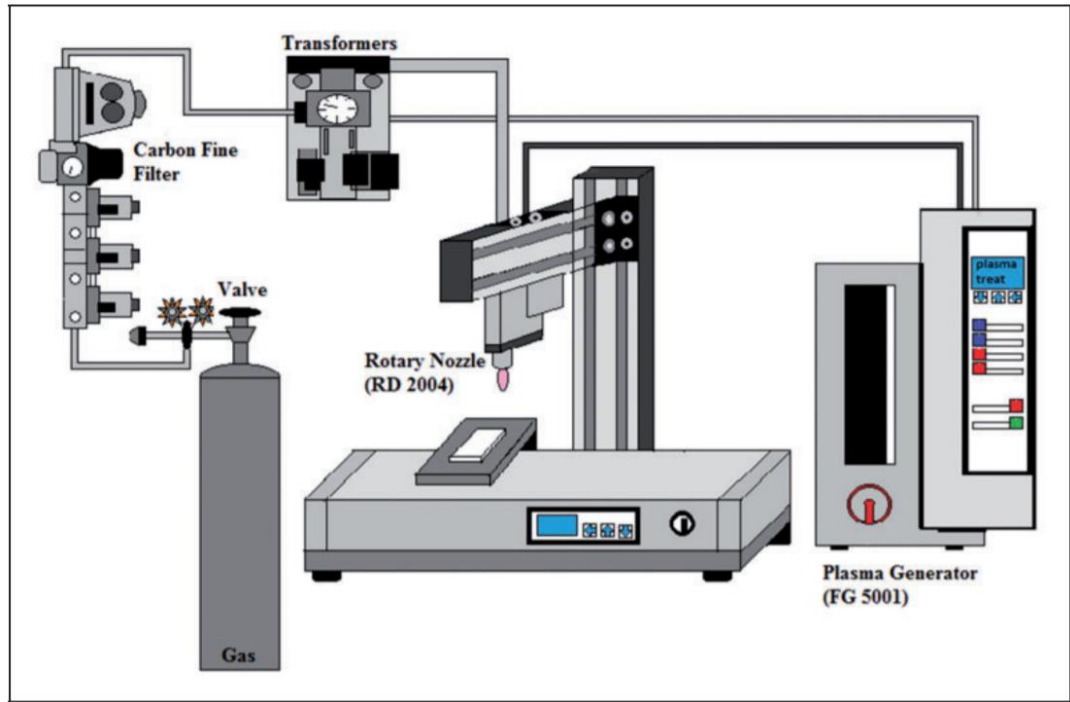
Kimyasal analizlerde kullanılan Troloks, ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)), kromotografik askorbik asit standardı, kromatografik β -karoten standardı, metanol, tetrahidrofuran, fosforik asit, metafosforik asit Sigma-Aldrich (ABD) firmasından temin edilmiştir.

Havuç numunelerine atmosferik plazma uygulanmasında besleme gazı olarak kullanılan yüksek saflıkta argon ve kuru hava gazları Habaş (Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

Laboratuvar çalışmalarında kullanılan havuç örnekleri Edirne piyasasından temin edilmiştir. Havuçların seçiminde boyutlarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir.

3.1.1. Atmosferik Plazma Sistemi

Havuç örneklerine atmosferik plazma uygulanmasında Plasmatreat OPENAIR (Almanya) atmosferik plazma sistemi kullanılmıştır. Sistem, x-yönünde hareket edebilir bir tabla (PT60), döner plazma jeti (RD2004), plazma jeneratörü (1KVA, FG5001), trafo (HTR12) ve karbon gaz filtresinden (DAE10) oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Havuçların işlenmesinde kullanılan atmosferik plazma sistemi (Huner, Gulec, & Damar Huner, 2017).

3.2. Metot

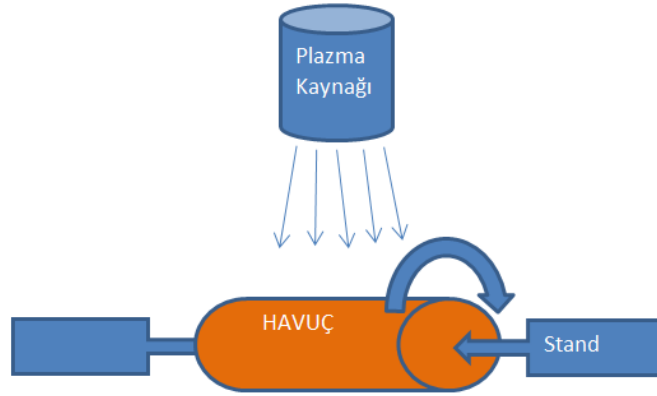
3.2.1. Havuçların Plazma Uygulamasına Hazırlanması

Edirne piyasasından temin edilen havuçlar temizleme ve yıkama aşamasından önce +4 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Yaklaşık olarak aynı büyüklüğe sahip, yüzeyinde hasar bulunmayan havuçlar seçilerek distile su ile yıkanmak suretiyle toprak ve benzeri yabancı maddelerden arındırılmıştır. Sterilize edilmiş sebze soyucu ile kabukları soyulan havuçlar steril bir bıçak ile yaklaşık 30 mm çap ve 30 mm uzunlukta olacak şekilde kesilmiştir.



Şekil 3.2. Soğuk atmosferik plazma uygulaması için hazırlanmış havuç örnekleri

Havuç örneklerinin her iki ucuna plazma uygulaması sırasında yüzeyle teması engellenmek ve plazma uygulaması sırasında havuç örneklerinin dönmesini sağlayarak tüm yüzeylere plazma uygulanabilmesini sağlayabilmek amacıyla steril özel aparatlar takılmıştır (Şekil 3.2). Mikrobiyolojik çalışmalarda kullanılacak havuçlar inoküle edildikten sonra, diğer analizlerde kullanılacak örnekler inoküle edilmeden atmosferik plazma uygulamasına alınmıştır.



Şekil 3.3. Havuçların atmosferik plazma uygulamasına hazırlanması

3.2.2. Havuçların İnokülasyonu

Havuçların inokülasyonunda *E. coli* ATCC 25922 suşu kullanılmıştır. Yatık agarlı TSA besiyerindeki *E. coli* ATCC 25922 stok kültüründen 30 mL Brain heart Infusion broth (BHI) besiyerine ekim yapılarak 37 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Elde edilen bu ara kültürden 100 mL'lik BHI besiyerine ekim yapılarak 37 °C'de 24 saat inkübe

edilmiştir. İnkübasyon sonunda *E. coli* ATCC 25922 kültürü 10000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra supernatant atılarak pellet 100 mL fosfat tamponu (pH: 6.5) ile yıkanmıştır. Bu işlem iki kere tekrarlandıktan sonra elde edilen pellet aynı hacimde PBS tamponunda çözündürülmüştür. Elde edilen çözelti steril bir sprej şişesine konulmuş ve tutucu aparatlara takılmış havuç parçalarının inokülasyonunda kullanılmıştır. Havuçların tüm yüzeyleri inoküle edildikten sonra havuç parçaları fazla inokulumun uzaklaştırılması için aseptik koşullarda 1 saat boyunca buzdolabı sıcaklığında drene edilmiştir. Drene edilen havuç örnekleri plazma uygulamasına alınmıştır. İnkübasyon işlemleri havuç yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 yükü 6 – 7 log kob/g olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

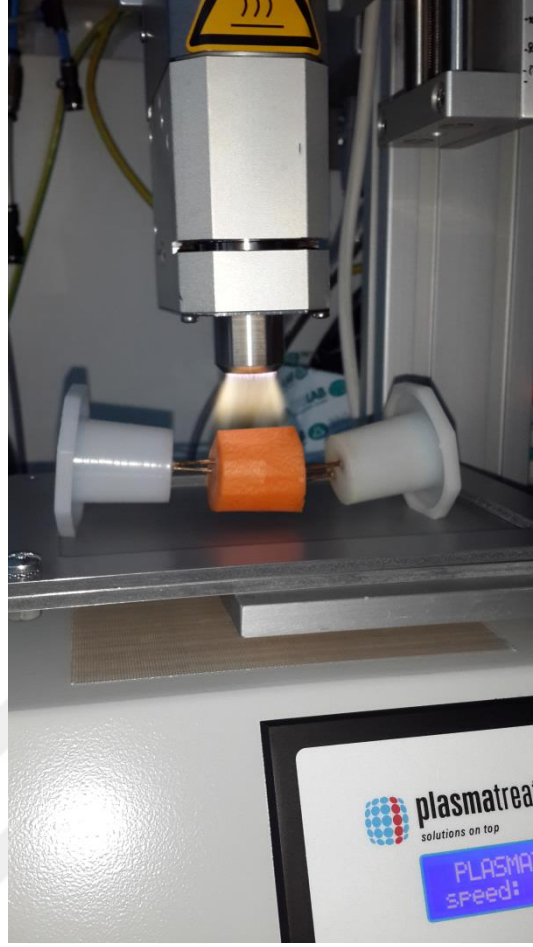
3.2.3. Atmosferik Plazma Uygulaması

Havuç örneklerine plazma uygulanmasında Plasmatreat OPENAIR (Almanya) atmosferik plazma sistemi kullanılmıştır. Plazma işlemleri 1 kVA sabit güçte sürdürülmüştür. Plazma işlemlerinde 3 bar basınçta argon gazı veya kuru hava besleme gazı olarak kullanılmıştır.

Plazma etkinliğine etki eden temel parametreler, plazma jeti ile substrat yüzeyi arasındaki mesafe ve plazma uygulama süresidir. Çalışma kapsamında incelenen parametreler aşağıda belirtilmiştir.

1. Plazma jeti ile substrat yüzey arasındaki mesafe: Argon gazı için 1, 2 ve 3 cm, kuru hava için 2, 3 ve 4 cm
2. Plazma uygulama süresi: 10, 30 ve 60 saniye (4 yüzeyden her biri için)
3. Kullanılan gaz türü: Kuru hava ve argon

İnoküle edilen havuç parçaları plazma sitemine yerleştirilerek yukarıda belirtilen plazma çalışma koşullarında işlenmiştir. Havuçlar ilgili uygulama süresinin bitiminde 90° döndürülerek havuçların tüm yüzeylerine (4 yüzey) plazma uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Havuç örneklerine soğuk atmosferik plazma uygulanması

3.2.4. Sıcaklık Ölçümleri

Atmosferik plazma çalışmalarında, havuç örneklerinin yüzey sıcaklıkları infrared termal kamera (Fluke VT04, ABD) kullanılarak takip edilmiştir. Havuç örneklerinin yüzey sıcaklıkları plazma uygulaması öncesinde ve plazma uygulaması bitiminde 30 cm mesafeden ölçülmüştür. Havuç örneklerinin merkez sıcaklıkları ise saplamalı gıda termometresi (TFA Dostmann, Almanya) kullanılarak plazma uygulaması öncesi ve sonrasında ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Havuç örneklerine soğuk atmosferik plazma uygulaması esnasında yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi

3.2.5. Havuç Yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 Sayısının Belirlenmesi

Havuç yüzeylerindeki *E. coli* sayısı yüzey yıkama metodu kullanılarak belirlenmiştir. Kontrol örnekleri (plazma uygulanmamış) ve plazma uygulanmış havuç örnekleri aseptik koşullarda steril stomacher poşetleri içerisine aktarılmıştır. Ortalama ağırlığı 25 g olan havuç örneklerinin üzerine % 0,5 tween 80 (Sigma, ABD) içeren 225 mL MRD çözeltisi ilave edilerek 5 dakika el ile hızlıca çalkalanarak homojenize edilmiştir. Daha sonra steril serum fizyolojik (%0.85 w/v, NaCl) çözeltisi ile hazırlanan desimal dilüsyonlardan dökme plak yöntemiyle Choromocult TBX agar besiyerine ekim yapılmıştır. Choromocult TBX agar besiyerindeki kültürler 30 °C'de 4 saat inkübe edildikten sonra inkübasyon sıcaklığı 44 °C'ye çıkarılarak 20 saat daha inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda, turkuaz - mavi renkli tipik koloniler sayılarak sonuçlar log kob/g olarak ifade edilmiştir. Kontrol örneklerindeki *E. coli* sayısından plazma uygulanmış örneklerin *E. coli* sayısı çıkarılarak, plazma uygulaması sonucunda oluşan *E. coli* yükündeki azalma miktarı tespit edilmiştir.

3.2.6. Atmosferik Plazma Uygulaması ile Minimum İşlenmiş Havuç Üretimi

Çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilen mikrobiyolojik analizler sonucunda havuçların *E. coli* yükünde en fazla azalma sağlayan ve yüzey sıcaklığının 50 °C'yi

aşmadığı atmosferik kuru hava ve argon plazması parametreleri tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise bu plazma parametreleri (argon için 1 cm – 60 s, kuru hava için 3 cm – 60 s) kullanılarak minimum işlenmiş havuç üretimi gerçekleştirilmiştir. Depolamanın atmosferik plazma uygulamış havuçların mikrobiyolojik kalitesi üzerine etkisini belirlemek için *E. coli* ATCC 25922 ile inoküle edilmiş havuçlar kullanılmıştır. Plazma uygulanmayan havuçlar ise kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Plazma uygulanmasından sonra kontrol örnekleri de dâhil olmak üzere tüm havuç numuneleri ayrı ayrı olarak poliamid-polietilen yapıdaki vakum ambalajlara konularak vakumlanmıştır. Örnekler 4 °C’de üç hafta süresince depolanmış 1’er hafta aralıklarla mikrobiyolojik analize alınmıştır. Örneklerdeki *E. coli* sayısı bir önceki bölümde belirtildiği şekilde tespit edilmiştir.

Depolama süresince, havuç örneklerinin fizikokimyasal kalite karakteristiklerindeki değişimi takip etmek için ise inoküle edilmemiş havuç örnekleri kullanılmıştır. Bu havuç örnekleri plazma uygulaması öncesinde ortadan ikiye kesilmiş bir yarısı kontrol olarak saklanırken diğer yarısına ise yukarıda belirtilen koşullarda atmosferik plazma işlemi uygulanmıştır. Bu sayede farklı havuçlar arasındaki bileşim farklılıkları minimize edilerek, plazma uygulamasının fizikokimyasal karakteristikler üzerine etkisi daha doğru bir şekilde belirlenmiştir. Plazma uygulanmasından sonra tüm örnekler ayrı ayrı olarak poliamid-polietilen yapıdaki vakum ambalajlara konularak vakumlanmıştır. Örnekler 4 °C’de üç hafta süresince depolanmış 1’er hafta aralıklarla fizikokimyasal analize alınmıştır



Şekil 3.6. Vakum ambalajlanmış havuç örnekleri

3.2.7. Depolama Süresince Havuçların Fizikokimyasal Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimlerin Belirlenmesi

Depolama süresince havuç örneklerinin renk, pH, ağırlık kaybı, toplam antioksidan aktivite, β -karoten ve askorbik asit (vitamin C) içerikleri 0, 7, 14 ve 21. günlerde analiz edilmiştir.

3.2.7.1 Renk Analizi

Havuçların renk ölçümleri kolorimetre (CR-5, Konika-Minolta, Japonya) kullanılarak “Commision Internationale del'Eclairage L*a*b*” (CIELAB) renk skalasına göre gerçekleştirilmiştir. Havuç örneklerinin renk ölçümü 3 farklı noktada gerçekleştirilmiş olup, renk değerleri bu üç ölçümün ortalaması olarak alınmıştır. CIELAB renk skalasında, L* değeri parlaklığın göstergesi olup 0 (siyah) ile 100 (beyaz) aralığında değer almaktadır. a* değeri kırmızı-yeşil ve b* değeri ise sarı-mavi skalayı göstermektedir. Referans (plazma uygulanmamış kontrol örneği) örneği ile incelenen örneğin (plazma uygulanmış örnek) L*, a* ve b* değerleri arasındaki farklar ile ΔL , Δa ve Δb değerleri hesaplanmaktadır. Örnekler arasındaki toplam renk farkını ifade eden ΔE değeri ise ΔL , Δa ve Δb değerlerinden matematiksel olarak $\Delta E = [(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2]^{1/2}$ formülü yardımıyla hesaplanmıştır. ΔE ne kadar büyükse örnekler arasındaki renk farkı da o kadar büyüktür (Yilmaz & Bagci, 2018). Havuç örneklerinin beyazlaşma indeksi değerleri (whiteness index) ise $WI = 100 - ((100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$ eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Lavelli vd., 2006).

3.2.7.2 β -Karoten Analizi

Havuçların β -karoten içerikleri yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, havuçlar laboratuvar tipi blenderdan (Waring, ABD) geçirilerek parçalanmıştır. Daha sonra parçalanmış örnekten 5 g alınarak 50 ml'lik balon joje içersine aktarılmıştır. Balon joje içerisindeki örnek Metanol-THF (50:50) karışımı ile tamamlanarak iyice karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra balon içeriği kaba filtre kâğıdı kullanılarak süzölmüştür (Konings & Roomans, 1997). Elde edilen ekstrak 0,45 μm 'lik filtrelerden süzülerek HPLC cihazına verilmek üzere vialle alınmıştır. HPLC (Agilent 1100, ABD) çalışma koşulları aşağıda belirtildiği şekilde kullanılmıştır.

- Kolon: C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm)
- Akış hızı: 0.8 mL/dak.
- Elüsyon süresi: 20 dak.
- Enjeksiyon hacmi: 20µL
- Dedektör: UV-DAD
- Dalga boyu: 450 nm
- Mobil faz: Metanol-THF (95:5)
- Kolon fırını sıcaklığı: 20°C

Havuç örneklerindeki β-karoten miktarları, β-karoten standardı kullanılarak hazırlanmış olan standart eğriden yararlanarak hesaplanmıştır.

3.2.7.3 Askorbik Asit (C Vitamini) Analizi

Havuç örneklerinin askorbik asit içeriği Giovanelli, Zandoni, Lavelli, ve Nani (2002) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Havuç örnekleri üzerine 1 g havuç için 10 mL olacak şekilde % 1'lik metafosforik asit çözeltisi ilave edilerek blender ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örnek 4 °C'de 11.000 g'de 10 dak santrifüj edilmiştir. Elde edilen supernatant 0,45 µm'lik filtrelerden süzülerek vialle alınmış ve HPLC cihazına verilmiştir. HPLC çalışma koşulları aşağıda belirtildiği şekilde kullanılmıştır.

- Kolon: C-18 kolonu (250 x 4,6mm ID, 5µm)
- Akış hızı: 0,5 mL/dak.
- Dalga boyu: 254 nm
- Mobil faz: Su pH 3 (H₃PO₄ ile ayarlanmış)
- Kolon fırın sıcaklığı: 35°C
- Enjeksiyon hacmi: 20µL

Havuç örneklerindeki askorbik asit miktarları, askorbik asit standardı kullanılarak hazırlanmış olan standart eğriden yararlanarak hesaplanmıştır.

3.2.7.4 Toplam Antioksidan Aktivitesi Analizi

Antioksidan aktivite Re (Re vd., 1999) tarafından önerilen Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite (TEAC) yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemin prensibi; 2,2'-azinobis(3-etilbenzothiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) ile potasyum persülfatın

(K₂S₂O₈) oksidasyon reaksiyonu sonucu oluşturulan ABTS radikalinin (ABTS*+), ortama ilave edilen antioksidan maddelerle inhibisyonuna dayanmaktadır. Buna göre 3 mL radikal çözeltisi ile 30 µL homojenizatörden geçirilerek hazırlanan havuç suyu örneği ile karıştırılmakta ve 734 nm dalga boyunda 6 dakika boyunca absorbans değerindeki azalma ölçülmektedir. Örneklerinin antioksidan aktivite değerleri µmol Troloks/mL cinsinden ifade edilecektir.

3.2.7.5 pH Ölçümü

Havuçların homojenizatörden geçirilmesi ile elde edilen havuç sularının pH değerleri dijital pH metre (Mettler- Toledo, İsviçre) ile ölçülmüştür.

3.2.7.6 Ağırlık Kaybı

Plazma uygulaması sırasında meydana gelen ağırlık kaybı elektronik tartı (Mettler Toledo, Switzerland) kullanılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanacaktır (Caleb, Mahajan, Al-Said, & Opara, 2013).

$$\text{Ağırlık Kaybı (\%)} = [(W_o - W_s) / W_o] \times 100$$

W_o = Başlangıçtaki örnek ağırlığı, g

W_s = Plazma işlemi sonrası örnek ağırlığı, g

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Atmosferik Plazma Uygulamalarıyla *E. coli* ATCC 25922 ile İnoküle Edilmiş Havuç Yüzeylerinin Dekontaminasyonu

Tez çalışması kapsamında öncelikle, havuç yüzeylerinde en yüksek dekontaminasyon etkinliği sağlayan parametrelerin belirlenmesi amacıyla farklı süre (10, 30 ve 60 s), mesafe (1, 2 ve 3 cm) ve besleme gazı (kuru hava ve argon) kullanımı ile atmosferik plazma uygulaması gerçekleştirilmiştir. En yüksek dekontaminasyon etkisini sağlayan koşulların belirlenmesinde havuç yüzey sıcaklığını 50 °C ve üzerine çıkarmayan ve mikroorganizma sayısını en fazla düşüren parametreler göz önüne alınmıştır.

Çizelge 4.1. Farklı uygulama süresi ve mesafelerde atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda ulaşılan merkez/yüzey sıcaklıkları ve havuç yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 miktarındaki değişim

Gaz	Plazma uygulama mesafesi (cm)	Uygulama süresi (s)	Mikrobiyal Yükteki Azalma (log kob/g)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Merkez Sıcaklığı (°C)
Argon	1	10	1,73±1,41 ^B	26,1±1,0 ^C	19,0±0,3 ^A
		30	1,93±0,14 ^B	32,4±0,9 ^E	19,5±0,2 ^A
		60	4,54±0,14^A	42,3±0,3 ^F	20,0±0,1 ^B
	2	10	0,79±0,03 ^B	22,7±1,0 ^B	19,0±0,3 ^A
		30	0,73±0,01 ^B	28,0±1,4 ^D	19,6±0,4 ^{AB}
		60	1,84±0,09 ^B	32,2±1,7 ^E	20,1±0,4 ^{AB}
	3	10	0,44±0,02 ^B	20,6±0,6 ^A	18,7±0,4 ^A
		30	0,6±0,11 ^B	24,9±0,4 ^C	19,0±0,4 ^A
		60	1,04±0,13 ^B	28,2±0,4 ^D	19,6±0,8 ^{AB}

* Plazma uygulaması öncesinde havuç yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısı: 7,0±0,2 log kob/g

* Plazma uygulaması öncesinde havuç yüzey sıcaklığı: 20,0±0,2 °C

* Plazma uygulaması öncesinde havuç merkez sıcaklığı: 18,0±0,1 °C

* Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli (P < 0,05) bir fark yoktur

Atmosferik argon plazması uygulaması sonuçları genel olarak incelendiğinde, tüm plazma uygulama mesafesi parametrelerinde, plazma uygulama süresindeki artışla birlikte havuç yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısındaki azalma miktarının artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Plazma uygulama mesafesindeki değişimin yüzey mikrobiyal yükündeki azalmaya etkisi incelendiğinde ise aynı plazma uygulama süresinde plazma mesafesi azaldıkça yüzey dekontamasyon etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. Plazma uygulama süresi ve mesafesindeki değişimle birlikte havuçların merkez sıcaklığında önemli derecede yükselme tespit edilmemiştir ($P < 0.05$). Başlangıçta yaklaşık olarak 18 °C olan havuçların merkez sıcaklığı 1 ve 2 cm plazma uygulama mesafeleri ve 60 s uygulama süresi sonucunda en fazla 20 °C'ye yükselmiştir. Bununla beraber plazma uygulama süresindeki artış ve uygulama mesafesindeki azalmayla birlikte havuçların yüzey sıcaklıkları istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) derecede artış göstermiştir. Argon gazı kullanımı ile uygulanan hiçbir parametrede yüzey sıcaklığı 50 °C'yi aşmazken, en yüksek yüzey sıcaklığı 1 cm uygulama mesafesi ve 60 s uygulama süresinde 42,3 °C olarak tespit edilmiştir. Atmosferik argon plazma uygulaması sonucunda en yüksek dekontaminasyon etkisi 1 cm uygulama mesafesi ve 60 s uygulama süresinde $4,54 \pm 0,14$ log olarak tespit edilmiştir.

Atmosferik kuru hava plazması çalışmalarında atmosferik argon plazmasından farklı olarak 2, 3 ve 4 cm uygulama mesafeleri seçilmiştir. Yapılan ön çalışmalarda 1 cm uygulama mesafesinde atmosferik kuru hava plazmasının havuç dokusuna zarar verdiği tespit edildiğinden, bu parametre çalışma kapsamı dışına alınmıştır. Atmosferik kuru hava plazması sonuçları genel olarak incelendiğinde, atmosferik argon plazması uygulamasına benzer şekilde uygulama süresindeki artışla birlikte havuç yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısındaki azalma miktarı artış göstermiştir (Çizelge 4.2). Aynı zamanda plazma uygulama mesafesindeki azalmayla birlikte yüzey dekontamasyon etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. Atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrasında havuçların merkez sıcaklığında en yüksek artış 2 cm - 60 s plazma koşullarında 4,2 °C olarak tespit edilmiştir. Diğer tüm koşullarda merkez sıcaklığındaki artış 3 °C'nin altında kalmıştır. Atmosferik plazma uygulamasında kullanılan besleme gazlarındaki farklılıklar, iyonlaşan gazların bileşiminin farklı olmasına ve dolayısıyla oluşan ısının farklı olmasına neden olmaktadır (Hofmann, Van Gessel, Verreycken, & Bruggeman,

2011). Bu nedenle atmosferik argon plazmasından farklı olarak atmosferik kuru hava plazması uygulamasında havuç yüzey sıcaklıklarında daha fazla artış meydana gelmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlara paralel olarak, literatürde de atmosferik plazma çalışmalarında çalışma mesafesi azaldıkça yüzey sıcaklığının arttığı görülmüştür (Lerouge vd., 2001). İki santimetre uygulama mesafesinde 30 s ve 60 s uygulama sürelerinde atmosferik kuru hava plazması sonucunda yüzey sıcaklıkları 50 °C'yi geçmiştir. Bu mesafede 60 s plazma uygulaması sonucunda en yüksek inhibisyon değeri ($5,05 \pm 0,11$ log) elde edilmesine rağmen yüzey sıcaklığı 50 °C'yi aştığı için bu parametre çalışmanın ileri aşamalarında minimum işlenmiş havuç üretiminde kullanılmamıştır. Havuç yüzeylerindeki *E. coli* miktarında ikinci en yüksek azalma ise $4,2 \pm 0,33$ log ile 3 cm – 60 s plazma koşullarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı uygulama süresi ve mesafelerde atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda ulaşılan merkez/yüzey sıcaklıkları ve havuç yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 miktarındaki değişim

Gaz	Plazma uygulama mesafesi (cm)	Uygulama süresi (s)	Mikrobiyal Yüktteki Azalma (log kob/g)	Yüzey Sıcaklığı (°C)	Merkez Sıcaklığı (°C)
Kuru Hava	2	10	$2,29 \pm 0,23^{BC}$	$46,0 \pm 2,8^C$	$20,3 \pm 2,2^A$
		30	$3,43 \pm 0,19^E$	$59,1 \pm 1,5^D$	$20,6 \pm 2,6^A$
		60	$5,05 \pm 0,11^F$	$73,1 \pm 1,6^E$	$23,4 \pm 1,5^A$
	3	10	$1,85 \pm 0,27^B$	$36,6 \pm 3,0^B$	$19,5 \pm 0,4^A$
		30	$3,07 \pm 0,47^{CDE}$	$46,0 \pm 2,1^C$	$19,9 \pm 0,3^A$
		60	$4,2 \pm 0,33^{EF}$	$49,4 \pm 2,5^C$	$22,1 \pm 1,3^A$
	4	10	$0,89 \pm 0,16^A$	$32,0 \pm 2,3^A$	$20,5 \pm 0,4^A$
		30	$1,34 \pm 0,16^{AB}$	$36,5 \pm 0,7^B$	$21,2 \pm 1,2^A$
		60	$2,35 \pm 0,29^{BCD}$	$44,0 \pm 1,4^C$	$20,8 \pm 0,4^A$

* Plazma uygulaması öncesinde havuç yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısı: $7,0 \pm 0,3$ log kob/g

* Plazma uygulaması öncesinde havuç yüzey sıcaklığı: $21,0 \pm 0,2$ °C

* Plazma uygulaması öncesinde havuç merkez sıcaklığı: $19,2 \pm 0,3$ °C

* Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Biyolojik materyallere ısıtıl işlemin etkileri sadece ulaşılan en yüksek sıcaklığa bağlı olmayıp, sıcaklığın artış hızı ve ısıtıl işlemin süresi ile de ilgilidir. Gıdalarda plazma uygulamasındaki en büyük risklerden biri yüksek güç yoğunluğundan dolayı plazma

işlemi esnasında yüzey sıcaklığının artmasıdır (Idlibi vd., 2013). Ancak bu tez çalışması kapsamında, son yıllarda atmosferik basınçta daha düşük ısı yaratan yeni nesil plazma sistemi kullanılmış ve yüzey sıcaklığı termal kamera ile sürekli olarak takip edilmiştir.

Atmosferik plazma uygulamasının mikroorganizmalar ve biyolojik materyaller üzerine etkisini dört mekanizma altında özetlemek mümkündür. Bunların birincisi oluşan yüksek sıcaklık sonucunda yanma ve degradasyondur (Idlibi vd., 2013) . Ancak bu tez çalışması kapsamında havuç yüzeylerinde en fazla yüzey dekontaminasyonunu sağlayan plazma parametrelerinin belirlenmesinde yüzey sıcaklığının 50 °C'yi aşmadığı parametreler göz önüne alınmıştır. Dolayısıyla, yüzey sıcaklığının 50 °C'yi aşmadığı durumlarda yüksek sıcaklık sonucu bir inhibisyon etkisinin olması mümkün değildir. Bununla beraber, havuç yüzeylerinde meydana gelen sıcaklıktaki bu artış da plazma uygulamasına son verildiği andan itibaren birkaç saniye içerisinde hızla düşmüştür. Yaklaşık 10 saniye sonunda yüzey sıcaklığındaki azalma uygulanan plazma parametrelerine bağlı olarak 5 – 20 °C arasında düşüş göstermiştir. Idlibi vd. (2013) de titanyum yüzeylerine atmosferik oksijen plazma uygulaması sonrasında yüzey sıcaklığının saniyeler içerisinde hızla düştüğünü tespit etmişlerdir.

Diğer bir etki mekanizması ise plazma esnasında oluşan UV ışınları ile genetik materyalin zarar görmesi sonucu mikroorganizmaların inhibisyonudur (Idlibi vd., 2013; Moisan vd., 2002). UV ışınlarının, özellikle 220–280 nm arasında olan dalga boylarında DNA zincirlerinde timin bazının dimerizasyonuna zarar vererek inhibisyona neden olduğu bilinmektedir. Ancak silika (SiO₂) ve magnezyum florid (MgF₂) filtreler kullanarak gerçekleştirilen atmosferik plazma çalışmalarında, plazma esnasında oluşan iyonlar, radikaller vb. filtrelenerek sadece UV ışınların geçişine izin verilmiş ve UV ışınlarının beklenen antimikrobiyal etkiyi sağlamadığı belirtilmiştir. Bunun nedeni olarak ise plazma esnasında oluşan UV dozunun yeterli olmaması ve UV ışınlarının hava tarafından absorbe edilmesi olarak belirtilmiştir (Ehlbeck vd., 2010; Laroussi & Leipold, 2004b; Liao vd., 2017).

Üçüncü mekanizma ise plazma esnasında oluşan reaktif oksijen ve azot radikalleri sonucunda yağ asitleri ve proteinlerin zarar görmesi sonucunda mikroorganizmaların inhibisyonudur.

Son etki mekanizması ise, mikroorganizmaların plazmanın etching etkisi ile yüzeyden kopması veya mikroorganizma hücre duvarının zarar görmesidir (Idlibi vd., 2013; Moisan vd., 2002).

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde plazma uygulama süresindeki artış ve uygulama mesafesindeki azalma ile birlikte yüzey mikroorganizma yükü azalmaktadır. Mikroorganizma sayısındaki bu azalma genel olarak mikroorganizmaların yüzeyden koparılması, oluşan reaktif bileşikler ve etching etkisi ile mikroorganizmaların inhibe edilmesi şeklinde yorumlanabilir.

Laroussi ve Leipold (2004a) atmosferik basınçta çalışan dielektrik bariyer boşalım plazma sistemi kullanarak 3 farklı gazın (saf helyum, %97 Helyum-%3 oksijen karışımı ve hava) *Bacillus* sporları üzerindeki sterilizasyon etkinliğini karşılaştırdığı çalışmalarında, saf helyum kullanıldığında çok düşük miktarda radikal meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Helyum-oksijen karışımında ise O ve O₃ gibi oksijen kaynaklı reaktif türler oluşmuştur. Boşalım gazı olarak hava kullanıldığında ise oksijen ve azot kaynaklı türlerin oluştuğunu belirlemişlerdir. Kullanılan gaz beslemesine göre plazma uygulaması sonucunda elde edilen D-değerlerini saf helyum ile 20 dakikadan fazla, helyum-oksijen karışımı ile 10 dakika ve hava kullanımı ile 20 saniye olarak tespit etmişlerdir. Araştırmacılar plazma oluşumunda hava kullandıklarında elde ettikleri yüksek inaktivasyon etkinliğini NO, NO₂, O, ve O₃ gibi reaktif türlerin varlığına bağlamışlardır. H. W. Herrmann vd. (1999) atmosferik plazma jeti kullanarak oksijenli ve oksijensiz plazma etkinliğini karşılaştırdıkları çalışmalarında, oksijen varlığının D-değerini düşürdüğünü kanıtlamışlardır. Oksijen plazmasının bu etkinliğinin plazma esnasında oluşan ozondan (O₃) kaynaklandığını bildirmişlerdir. Kuzmichev vd. (2000) gerçekleştirdikleri plazma çalışması sonucunda ise en yüksek bakterisidal etkiyi nemlendirilmiş oksijen ve hava ile elde etmişlerdir. Nem varlığında, bakteri hücresinin dış yapısına zarar veren hidroksil (OH) radikalleri meydana gelmektedir. Ayrıca hava içerisinde bulunan yüksek azot içeriğinden dolayı, NO ve NO₂ bileşikleri de meydana gelerek plazmanın tahrip gücünü arttırmaktadır (Morent & De Geyter, 2011). Bu çerçevede, tez çalışmasında atmosferik kuru hava plazması ile atmosferik argon plazmasına göre elde edilen daha yüksek inhibisyon etkisinin kuru hava içerisinde bulunan oksijen ve azot varlığından kaynaklandığı söylenebilir.

Tez çalışması kapsamında, kuru hava ve argon kullanılarak gerçekleştirilen atmosferik plazma çalışmalardan elde edilen sonuçlar içerisinde havuç numunelerinde aşırı sıcaklık ($>50^{\circ}\text{C}$) artışına neden olmayan ve *E. coli* yükünde en az 4 log azalma sağlayan plazma parametreleri seçilmiştir. Bu parametreler; argon plazması için 1 cm - 60 s olarak seçilirken, atmosferik kuru hava plazmasında 3 cm - 60 s olarak belirlenmiştir. Seçilen bu parametreler tez çalışmasının ikinci aşamasında minimum işlenmiş havuç üretiminde kullanılmıştır.

4.2. Atmosferik Plazma Uygulamalarıyla Üretilen Minimum İşlenmiş Havuçların Depolama Süresince Mikrobiyal Kalitesi

Tez çalışmasının ikinci aşamasında bir önceki bölümde seçilen atmosferik argon (1 cm – 60 s) ve kuru hava (3 cm – 60 s) plazması koşullarında üretilen havuç örneklerinin mikrobiyolojik kalitesi 4°C 'de 3 hafta depolama süresince takip edilmiştir (Çizelge 4.3). *E. coli* ATCC 25922 ile inoküle edilmemiş havuç örneklerinde doğal floradan kaynaklanan herhangi bir *E. coli* yükü tespit edilmemiştir. İnoküle edilmiş havuç örneklerindeki *E. coli* sayısı 3 hafta depolama süresince azalma göstermiş olup, depolama sonunda yaklaşık 0,8 log'luk bir azalma tespit edilmiştir. Atmosferik argon plazması ile üretilen havuç örneklerinde başlangıçta $2,75 \pm 0,05$ log kob/g olan *E. coli* sayısı depolama süresince azalma göstermiş ve 3. hafta sonunda yaklaşık 1,5 log düşüş tespit edilmiştir. Atmosferik kuru hava plazması ile üretilen havuç örneklerinde ise başlangıçta $2,27 \pm 0,25$ log kob/g olan *E. coli* sayısı 1. haftadan sonra tespit edilebilir seviyenin altına (<1 log) düşmüştür. Hem atmosferik kuru hava hemde argon plazması ile üretilen havuç örneklerinde depolama süresince *E. coli* sayısındaki azalma kontrol örneğine göre daha fazla bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Atmosferik plazma uygulamsı ile üretilen havuçlarda üç hafta depolama süresince *E. coli* ATCC 25922 (log kob/g) yükündeki değişim

Örnek	Depolama Süresince örneklerdeki <i>E. coli</i> ATCC 25922 yükündeki değişim (log kob/g)			
	0. Gün	7. Gün	14. Gün	21. Gün
İnoküle edilmemiş kontrol	<1*	<1	<1	<1
İnoküle edilmiş kontrol	5,91±0,13 ^{Aa}	5,95±0,16 ^{Aa}	5,45±0,27 ^{Ab}	5,08±0,15 ^{Ad}
Atmosferik Argon Plazması (1 cm – 60 s)	2,75 ±0,05 ^{Ba}	1,90±0,14 ^{Bb}	1,70±0,21 ^{Bbc}	1,29±0,22 ^{Bc}
Atmosferik Kuru Hava Plazması (3 cm – 60 s)	2,27±0,25 ^{Ba}	0,60±0,14 ^{Cb}	<1	<1

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

*Aynı satırda aynı küçük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Matan, Puangjinda, Phothisuwan, ve Nisoa (2015), *E. coli*, *S. typhimurium*, ve *L. monocytogenes* ile inoküle (5–6 log kob/g) edilmiş ejder meyvesine 60 s süresince atmosferik argon plazması uygulamışlardır. Çalışma sonucunda ejder meyveleri yüzeyinde bulunan tüm bakterilerin inhibe olduğu ve 4 °C’de 25 gün depolama süresince herhangi bir üreme olmadığı tespit edilmiştir.

Stanley elmalarında atmosferik plazma dekontamisasyonun etkisinin incelendiği bir çalışmada *E. coli* O157:H7 ve Salmonella ile inoküle edilmiş elma yüzeylerindeki mikrobiyal yükün istatistiksel olarak önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Elma yüzeylerindeki *E. coli* ve Salmonella sayısı 1 dakikalık plazma işlemi sonucunda gaz akış hızına bağlı olarak sırasıyla 1,0- 2,5 log ve 0,5-3,5 log miktarında azalmıştır. Plazma uygulama süresindeki artış ile birlikte inhibisyon oranı artmıştır. Çalışmada, elma yüzey sıcaklığının en fazla 50.8 °C’ye ulaştığı ve bakteriyel inhibisyonun oluşan sıcaklık sonucunda olmadığı belirtilmiştir (B. A. Niemira & Sites, 2008).

Tez çalışmasında, kontrol örneği de dâhil olmak üzere tüm örneklerdeki *E. coli* sayısı depolama süresince azalma göstermiş olup, azalma oranı plazma uygulanmış örneklerde daha yüksek bulunmuştur. Özellikle atmosferik kuru hava plazma uygulaması sonrasında depolamanın 2. haftasında *E. coli* miktarı deteksiyon limitinin altına

düşmüştür. Bunun nedeni olarak plazma işlemi sırasında zarar gören *E. coli*'lerin depolama süresince hızlı bir şekilde inhibe olması gösterilebilir.

Baier vd. (2013) atmosferik argon plazması ile taze mısır salatasının sanitize ettikleri çalışmalarında inokülasyon miktarına bağlı olarak plazma etkinliğinin değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışmada başlangıç inokülasyon değeri 7 log kob/cm² olan örneklerde 30 s plazma uygulaması sonrasında yaklaşık 2,1 log azalma sağlanırken, başlangıç inokülasyon değeri 4 log kob/cm² olan örneklerde 15 s plazma sonrasında 3,6 log azalma sağlanmıştır.

4.3. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki β -Karoten Üzerine Etkisi

Atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda 3 hafta depolama süresince kontrol örnekleri ile plazma uygulanmış örneklerin β -karoten içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) bulunmuştur. Kontrol örnekleri ve atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda 0. hafta ve 1. hafta depolama sonunda β -karoten içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunurken ($P < 0,05$), 2. hafta ve 3. hafta depolama sonunda örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) bulunmuştur (Çizelge 4.4).

B. Chen, Peng, ve Chen (1995), 105 °C'de 30 s ısıtılmanın havuç suyunda bulunan β -karoten miktarında istatistiksel olarak önemli bir değişikliğe neden olmadığını bildirmişlerdir. Knockaert vd. (2011), 70 °C'de 2 dakika ve 90 °C'de 10 dakika ısıtılmanın havuç örneklerinin β -karoten içeriklerinde bir azalmaya neden olmadığını tespit etmişlerdir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen plazma uygulaması sırasında havuçların yüzey sıcaklığının 50 °C'yi aşmadığı ve plazma uygulama süresinin sadece 60 s olduğu göz önüne alınırsa, plazma sırasında oluşan sıcaklığın havuçlardaki β -karoten üzerine bir etkisi olmadığı söylenebilir.

Karotenoidler yapılarındaki konjuge polien zincirinden dolayı degradasyona uğrayabilirler. Özellikle atmosferik plazma esnasında oluşan ozon, singlet oksijen ve diğer radikaller karotenoidlerin miktarında değişimlere neden olabilmektedir (Boon, McClements, Weiss, & Decker, 2010). Tez çalışması kapsamında atmosferik kuru hava plazma uygulamasında havuçlarda β -karoten miktarında atmosferik argon plazmasına

göre daha fazla azalmasının, atmosferik kuru hava plazması esnasında oluşan singlet oksijen, ozon vb. yapılardan kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.4. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca β -karoten içeriklerindeki değişim (ppm)

Plazma türü		Depolama süresince örneklerdeki β -karoten miktarı (ppm)			
		0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Argon	Kontrol	83,52 $\pm$ 3,01 A	95,21 $\pm$ 1,06 A	122,14 $\pm$ 1,07 A	119,68 $\pm$ 1,95 A
	Plazma	79,67 $\pm$ 2,07 A	96,35 $\pm$ 0,38 A	120,52 $\pm$ 1,13 A	115,14 $\pm$ 3,07 A
	% Değişim	-4,61	1,20	-1,33	-3,80
K.Hava	Kontrol	108,55 $\pm$ 1,18 C	108,12 $\pm$ 0,39 B	93,01 $\pm$ 2,25 B	98,37 $\pm$ 2,01 B
	Plazma	103,21 $\pm$ 2,17 B	102,42 $\pm$ 1,48 C	90,33 $\pm$ 1,33 B	98,85 $\pm$ 1,35 B
	% Değişim	-4,92	-5,27	-2,87	0,49

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Du, Avena-Bustillos, Breksa III, ve McHugh (2012), farklı şekillerde doğranan taze havuç örneklerine 141.4 mJ/cm^2 dozunda UV ışık uygulaması gerçekleştirdikleri çalışmalarında, UV ışığın havuçlardaki β -karoten içeriği üzerine bir etkisi olmadığını tespit etmişlerdir. Bu çerçevede plazma esnasında oluşan UV ışığın β -karoten içeriğine önemli bir etkisi olmadığı düşünülmektedir.

Atmosferik plazma uygulamasının önemli bir avantajı ise plazma etkilerinin sadece uygulanan yüzey ile sınırlı kalmasıdır. Yüzeylerin porsuz olduğu yapılarda plazma etki derinliği nanometre seviyelerinde iken, tekstil ürünleri gibi porlu yapılarda $200 \mu\text{m}$ 'ye çıkabilmektedir (M. Wang, Chen, Chen, & Yang, 2007). Etki derinliğinin çok küçük olması ve plazma esnasında oluşan reaktif bileşenlerin çok kısa ömürlü (mikrosaniye-milisaniye) olması sonucunda işlenen yüzeyde herhangi bir kalıntı kalmamaktadır. Bu sayede plazma etkisi sadece uygulama esnasında olmakta, daha sonra üründe bir değişikliğe neden olmamaktadır (Perni vd., 2008). Tez çalışması kapsamında havuçlarda β -karoten miktarında genel olarak bir azalma olmamasının en önemli nedeni plazma uygulamasının belirtilen bu avantajlarıdır.

Havuçların depolanması sırasında β -karoten miktarlarındaki değişimlerin incelendiği çalışmalarda, genel olarak β -karoten miktarlarının depolama sırasında değişmediği tespit edilmiştir. C. Lee (1986) hasat sonrasında 2°C sıcaklık ve % 90 nisbi nemde depolanan havuçların β -karoten konsantrasyonlarının ilk 100 gün boyunca yavaşça

arttığı sonrasında ise azalmaya başladığı belirtilmiştir. Işınlama yöntemi ile (2 kGy) minimum işlenmiş havuç üretimi yapılan bir çalışmada 8-10 °C'de 16 günlük depolama süresince kontrol örnekleri ve işlenmiş örneklerdeki karotenoid içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir (Hajare, Dhokane, Shashidhar, Sharma, & Bandekar, 2006). Başka bir çalışmada ise 2 ° C ve % 85 bağıl nemde 3 hafta depolanan havuçlarda karoten içeriğinin depolama süresince 7-8 mg seviyesinde bulunduğu ve karoten miktarında anlamlı bir azalmanın gözlemlenmediği tespit edilmiştir (Mei, Zhao, Yang, & Furr, 2002).

Çalışmamızda depolama süresince atmosferik argon plazması uygulanmış ve uygulanmamış kontrol örneklerinin β -karoten içerikleri arasındaki % değişim oranlarının 0., 1., 2. ve 3. hafta sonunda sırasıyla % -4,61, % +1,20, % -1,33 ve % -3,80 olduğu tespit edilmiştir. Atmosferik kuru hava plazması uygulanmış örneklerde ise β -karoten içerikleri arasındaki % değişim sırasıyla % -4,92, % -5,27, % -2,87 ve % +0,49 olarak bulunmuştur. Genel olarak bu sonuçlar incelendiğinde depolama süresince örneklerdeki β -karoten miktarındaki % değişim oranında daha yüksek azalma veya artış eğilimi gözlenmemektedir. Havuçlardaki β -karoten içeriğinin genel olarak depolama süresince değişmediğini gösteren çalışmalar göz önüne alındığında, tez kapsamında elde edilen sonuçlar atmosferik argon ve kuru hava plazma uygulamalarının depolama süresince havuç örneklerindeki β -karoten miktarının daha fazla azalmasına bir etkisi bulunmadığını göstermektedir. Sonuç olarak, β -karoten miktarındaki bu değişimin havuçlara ilk aşamada plazma uygulaması esnasında gerçekleştiği söylenebilir.

4.4. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki Askorbik Asit Üzerine Etkisi

Askorbik asit içeriği bakımından plazma uygulanmış ve uygulanmamış havuç örnekleri arasında istatistiksel olarak önemli ($P > 0,05$) bir farklılık bulunmadığı görülmektedir (Çizelge 4.5). Ancak depolama süresince plazma uygulanmış örneklerdeki askorbik asit içeriği kontrol örneklerine göre az da olsa daha düşük bulunmuştur. Özellikle, atmosferik kuru hava plazmasının atmosferik argon plazmaya göre askorbik asit üzerinde daha fazla oranda azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bu durum plazma işlemi sırasında, havuç yüzeyinin fiziksel olarak kısmen zarar görmesinden ve açığa çıkan askorbik asitin depolama sırasında daha kolay

bozunmasından kaynaklanabilir. Literatürde, plazma uygulamalarının çeşitli bitkilerin yüzey dokusuna zarar verebileceği belirtilmektedir (Bermúdez-Aguirre, Wemlinger, Pedrow, Barbosa-Cánovas, & Garcia-Perez, 2013; Pasquali vd., 2016).

Çizelge 4.5. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca askorbik asit içeriklerindeki değişim (ppm)

Plazma türü		Depolama süresince örneklerdeki askorbik asit miktarı (ppm)			
		0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Argon	Kontrol	49,29 ± 0,70 A*	46,38 ± 1,19 A	34,82 ± 0,34 A	43,00 ± 0,59 A
	Plazma	50,42 ± 0,61 A	44,42 ± 0,51 A	33,74 ± 0,80 A	41,53 ± 1,03 A
	% Değişim	2,29	-4,23	-3,10	-3,41
K.Hava	Kontrol	40,50 ± 1,30 B	56,31 ± 1,46 C	42,90 ± 0,28 B	49,03 ± 1,09 C
	Plazma	41,50 ± 0,53 B	53,95 ± 1,21 C	40,02 ± 1,60 B	46,26 ± 1,17 B
	% Değişim	2,47	-4,19	-6,71	-5,64

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli (P < 0,05) bir fark yoktur

Bozkurt (2014) atmosferik kuru hava plazması uygulaması ile model ortamda askorbik asit miktarında % 84'lük azalma tespit ederken, helyum gazı ile gerçekleştirdiği dielektrik bariyer boşalım plazması uygulamasında %30 azalma bulmuştur. Çalışmada askorbik asit miktarındaki azalmanın plazma esnasında oluşan reaktif türler (ozon, singlet oksijen vb.) ve UV ışınlardan kaynaklandığı belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında havuçların askorbik asit içeriğinde önemli bir değişim olmamasının nedeni, plazmanın direkt olarak gıda matriksi üzerine uygulanmasıdır. Plazma uygulaması etkisi sadece yüzeyde olduğu için havuçların askorbik asit içeriğindeki değişiklik düşük oranda kalmıştır.

Tez çalışmasında plazma uygulamaları sonrasında görülen askorbik asit artışına paralel olarak, yabanmersini üzerine atmosferik dielektrik bariyer boşalım plazma uygulamasının etkilerinin incelendiği bir çalışmada, uygulanan plazma dozu arttıkça askorbik asit miktarının önemli derecede arttığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, plazma uygulamasının renk ve sıklık gibi fiziksel özellikler üzerine önemli bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür (Sarangapani, O'Toole, Cullen, & Bourke, 2017b).

Taze kesilmiş tropik meyveler üzerine yapılan bir çalışmada, UV-C uygulaması etkisiyle meyvelerdeki C vitamini miktarında önemli oranda düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ancak gıdalarda plazma uygulamalarının çok kısa sürelerde

gerçekleştirilmesi ve bu sürede oluşan UV ışınlarının düşük dozda kalması, UV ışınlarının C vitamini üzerine etkisini sınırlandırmaktadır. R. Wang vd. (2012a), atmosferik kuru hava plazması kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, toplamda 1 ila 8 dakika plazma uygulamasının havuç dilimlerindeki C vitamini miktarında sadece % 3,2 oranında azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, ışığa duyalı C vitaminindeki bu azalmayı plazma esnasında oluşan UV ışınları ile ilişkilendirmişlerdir.

Literatürde havuçlardaki C vitamini içeriğinin depolama süresince azaldığı tespit edilmiştir. Havuçlarda 8-10 °C’de 16 günlük depolama süresince C vitamini içeriğinin takip edildiği bir çalışmada, C vitamini içeriğinde yaklaşık %27 oranında bir azalma olduğunu tespit edilmiştir (Hajare vd., 2006). Havuç suyunda yapılan diğer bir çalışmada ise 4 °C sıcaklıkta bir haftalık depolama sonunda havuç suyunun C vitamini içeriğinde %10 azalma gözlenmiştir (Ajibola, Babatunde, & Suleiman, 2009).

4.5. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi

Literatürde havuçlardaki antioksidan bileşiklerin başlıca β -karoten, α -karoten lutein, zeaksantin, likopen ve askorbik asit olduğu, bunlardan havuç içeriğinde en fazla bulunan antioksidanın ise β -karoten olduğu belirtilmiştir (Mangels, Holden, Beecher, Forman, & Lanza, 1993). Tez çalışması kapsamında antioksidan aktivite gösteren bu bileşiklerden askorbik asit ve β -karoten içerikleri analiz edilmiştir. Çalışmada, atmosferik kuru hava veya atmosferik argon plazması uygulamalarının havuçlardaki askorbik asit ve β -karoten içeriğini genel olarak etkilemediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla atmosferik plazma uygulması sonucunda havuçların antioksidan aktivitesinde de bir değişiklik beklenmemekte olup, elde edilen sonuçlar bu öngörüğü doğrular niteliktedir (Çizelge 4.6). Atmosferik kuru hava veya atmosferik argon plazması uygulanmış ve uygulanmamış havuç grupları arasında toplam antioksidan aktivite bakımından istatistiksel olarak anlamlı ($P > 0,05$) bir farklılık gözlemlenmemektedir.

Çizelge 4.6. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca antioksidan aktivitelerindeki değişim (mmol/L)

Plazma türü		Depolama süresince örneklerin antioksidan aktiviteleri (mmol/L)			
		0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Argon	Kontrol	0,76 ± 0,07 A	0,72 ± 0,17 A	0,84 ± 0,12 A	0,45 ± 0,06 A
	Plazma	0,73 ± 0,14 A	0,71 ± 0,07 A	0,82 ± 0,04 A	0,43 ± 0,08 A
	% Değişim	-2,94	-1,52	-3,04	-4,29
K.Hava	Kontrol	0,67 ± 0,02 A	0,56 ± 0,06 A	0,50 ± 0,03 B	0,39 ± 0,09 A
	Plazma	0,64 ± 0,05 A	0,54 ± 0,04 A	0,47 ± 0,08 B	0,37 ± 0,12 A
	% Değişim	-3,87	-3,64	-6,00	-4,80

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Havuçların antioksidan aktivite bileşimine önemli etkisi bulunan β -karoten ve askorbik asit ile ilgili yapılmış diğer plazma çalışmaları da, tez çalışması kapsamında elde edilen verileri destekler niteliktedir (Bozkurt, 2014; Knockaert vd., 2015; Perni vd., 2008; Sarangapani vd., 2017a; Tiwari, Muthukumarappan, O'Donnell, Chenchiah, & Cullen, 2008; R. Wang vd., 2012b). Örneğin, Amini ve Ghoranneviss (2016) taze ve kurutulmuş ceviz üzerine plazma uygulaması sonucunda ve depolama boyunca cevizlerin antioksidan aktivitesinde anlamlı bir değişiklik olmadığını bildirmiştir.

4.6. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların pH'sı Üzerine Etkisi

Genel olarak sebzeler 5'in üzerinde bir pH değerine sahip olduklarından meyvelere göre mikroorganizmalar tarafından daha kolay bozulurlar (G. Francis vd., 2012). Tez kapsamında havuçların pH değerleri 6,10-6,40 arasında bulunmuştur (Çizelge 4.7). Depolama süresince ise plazma uygulanmış ve uygulanmamış havuç örneklerinin tümünde pH değerlerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir artış gözlenmiştir. Bununla beraber, plazma uygulanmış havuç örneklerinin pH değerindeki artış oranı işlem görmemiş havuç örneklerine göre daha fazla bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca pH değerleri

Plazma Türü	Depolama süresince örneklerin pH değerleri				
	Plazma uygulama öncesi	0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Kontrol	6,37±0,08 Aa	6,37±0,13 Aa	6,61±0,04 Ab	6,78±0,04 Ac	6,90±0,06 Ac
Argon	6,20±0,13 Aa	6,36±0,04 Aa	6,57±0,09 Ab	6,78±0,06 Ac	7,04±0,06 Bd
Kuru Hava	6,12±0,11 Aa	6,41±0,05 Ab	6,75±0,04 Bc	6,91±0,03 Bd	7,05±0,07 Be

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

**Aynı satırda aynı küçük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Normal şartlarda havucun bozulma sürecinde, renk değişimi, kötü koku, solunumda artış, tekstürel kayıplar, mikrobiyolojik bozulmalar gibi çeşitli değişimlerle beraber asit oluşumu da gözlenmektedir (Rababah vd., 2011). Modifiye atmosferde paketlenmiş havuç üzerine *E.coli* O157:H7'nin inoküle edildiği bir çalışmada depolama sonucunda havuçların pH değerinde düşüş gözlenmiştir. Bu durum mikroorganizma popülasyonundaki artışla beraber, mikrobiyal aktivite sonucunda asit oluşumu ile ilişkilendirilmiştir (Abdul-Raouf vd., 1993; Razali, Habsah, & Omar, 2005). Diğer bir çalışmada ise, tez kapsamında elde edilen sonuçlara benzer olarak, 21 günlük depolama sürecinde havuçların pH değerinde artış gerçekleşmiştir (Pilon vd., 2006).

Sonuç olarak asit üreten mikroorganizma yoğunluğu yüksek olduğu durumlarda depolama süresince asit oluşumundan kaynaklı olarak üründe pH düşmektedir (Abdul-Raouf vd., 1993). Mikrobiyal yükün az olduğu durumlarda ise pH depolama boyunca artmaktadır (Pilon vd., 2006). Tez çalışması kapsamında plazma uygulanmış havuç örneklerinde daha yüksek oranda pH artışı, bu örneklerin daha düşük mikroorganizma içeriğinden kaynaklanabilir. Ayrıca, tez çalışması kapsamında kullanılan depolama koşulları (vakum ambalaj ve +4 °C) mikroorganizma gelişimini sınırlandırmaktadır.

4.7. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçlardaki Ağırlık Kaybı Üzerine Etkisi

Meyve ve sebzelerde hasat sonrası metabolik aktivite devam etmektedir. Terleme ve solunum sebze de depolama esnasında aroma bileşenlerinin uzaklaşmasına, renkte solmaya, yumuşamaya, buruşup pörsümeye ve ağırlık kaybına neden olmaktadır (Irtwange, 2006). Birbiri ile bağlantılı olan solunum ve terleme durumları doğal olarak ürün kalitesinde ve raf ömründe kayıplara neden olmaktadır. Meyve sebzelerdeki solunum oranı depolama sıcaklığına, işlemeye (kesme, soyma, klorlama vb.), ürüne (cins, yaş vb.), ambalaj içerisindeki O₂/CO₂ oranına ve O₂ miktarına göre değişiklik göstermektedir (R Ahvenainen, 1996).

Tez çalışması kapsamında yüzey sıcaklığı atmosferik argon plazma uygulaması ile 42,3 °C'ye ve atmosferik kuru hava plazması uygulamasıyla 49,4 °C'ye ulaşmıştır. Havuç merkezindeki sıcaklık ise sırasıyla 22,6 °C ve 26,2 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık artışı ve plazma esnasında oluşan hava akımıyla beraber havuç yüzeyinden bir miktar su buharlaşarak havuçlarda ağırlık kaybına neden olmuştur. Bu ağırlık kaybı atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda % 2,13, atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda ise % 2,47 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Depolama süresince ise atmosferik argon ve kuru hava plazması uygulanan havuçlar arasındaki ağırlık kaybı oranları istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) bulunmuştur. Bununla beraber her iki plazma uygulaması sonucunda depolama başlangıcı ve sonu arasındaki ağırlık kayıpları arasında istatistiksel olarak ($P > 0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.8. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresince ağırlık kayıpları (% w/w)

Plazma Türü	Depolama süresince havuç örneklerindeki ağırlık kaybı (% w/w)			
	0. gün	7 gün	14 gün	21 gün
Kuru hava	2,47±0,66 Aa	2,67±0,91 Aa	1,88±1,55 Aa	3,65±2,18 Aa
Argon	2,13±0,72 Aa	1,87±0,73 Aa	1,01±0,13 Aa	2,43±1,28 Aa

*Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

**Aynı satırda aynı küçük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Meyve ve sebzelerin sadece soyulması ya da kesilmesiyle bile hücre içi sıvısı serbest kalmakta ve atmosferik koşullarda serbest kalan su buharlaşarak ağırlık kaybına neden olabilmektedir. Salatalık, havuç ve armut üzerine atmosferik plazma uygulamasının etkilerinin incelendiği bir çalışmada 8 dakika plazma uygulaması sonucunda örneklerin tümünde % 5'in altında ağırlık kaybı yaşandığı belirtilmiştir. Bu ağırlık kaybının plazma esnasında 5 L/dak olan gaz akış hızı ve 30–45 °C'ye ulaşan yüzey sıcaklığından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada % 5'in altında bulunan nem kaybının ürünlerin doku sertliğini önemli derecede etkilememesi nedeniyle bu miktarda nem kaybının kabul edilebilir olduğu ifade edilmiştir (R. Wang vd., 2012b). Tez çalışması kapsamında 3 hafta depolama sonunda havuçlardaki nem kaybı atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda % 3,65, atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda ise % 2,43 olarak tespit edilmiş olup, bu miktarda nem kaybının havuçların fiziksel özelliklerine bir etkisi olmayacağı söylenebilir.

4.8. Atmosferik Plazma Uygulamasının Depolama Süresince Havuçların Renk Değişimi Üzerine Etkisi

Atmosferik kuru hava ve argon plazması uygulamalarıyla üretilen havuçların 3 hafta buzdolabı sıcaklığında depolanması süresince renk değerlerindeki değişim Çizelge 4.9'da verilmiştir. Tiwari vd. (2008) toplam renk farkını ifade eden ΔE değeri 3'ten büyük olduğunda renk farkının oldukça belirgin, 3 - 1,5 aralığında belirgin, 1,5'tan az ise önemsiz olduğunu bildirmiştir.

Atmosferik argon plazması uygulaması sonrasında örneklerin ΔE değerleri 3'ün altında bulunmuş olup havuçların toplam renk farkında çok önemli bir değişim olmadığı söylenebilir. Benzer şekilde atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrasında depolama başlangıcı hariç toplam renk farkı 3'ün altında tespit edilmiştir. Atmosferik argon plazması ve atmosferik kuru hava plazmasının toplam renk farkı üzerine etkileri karşılaştırıldığında ise atmosferik argon plazması uygulaması sonrasında renk farkının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Plazma uygulamalarını takiben yüzeyden nem uzaklaşmakta ve yüzey bir miktar kurumaktadır. Ancak depolama süresince havuç içerisinden dışarı doğru nem göçü sonrasında yüzey kuruluğu kaybolmaktadır. Tez çalışması kapsamında depolama başlangıcında elde edilen yüksek ΔE değeri yüzeyden

bu nem kaybı sonucunda olmaktadır. Depolamanın ilerleyen aşamalarında ise beklendiği gibi örneklerin ΔE değerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrasında atmosferik argon plazması uygulamasına göre örneklerin β -karoten konsantrasyonunda daha fazla düşüş bulunmuştur. Buna paralel olarak atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrasında örneklerin Δa ve Δb renk değerlerinde atmosferik argon plazması uygulamasına göre daha fazla düşüş tespit edilmiştir. Atmosferik plazma uygulanmasının armut, salatalık ve havuç dilimleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada en fazla renk değişimi (ΔE) havuç dilimlerinde tespit edilmiştir. Bu durum havuç örneklerinin β -karoten içeriğindeki azalma ile ilişkilendirilmiştir (R. Wang vd., 2012b).

Çizelge 4.9. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca renk değerleri

Plazma Türü	Örnek	Renk değerleri	Depolama Süresince havuç örneklerinin renk değerleri			
			0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Argon	Kontrol	L^*	53,85±0,99	54,45±0,30	53,71±0,27	53,56±0,62
	Plazma		52,29±0,13	54,44±0,37	55,02±0,16	54,45±0,45
		ΔL	-1,56±0,80	-0,01±0,22	1,32±0,05	0,90±1,27
	Kontrol	a^*	29,58±0,05	28,09±0,50	28,35±0,34	29,58±0,76
	Plazma		27,91±0,12	28,83±0,09	29,37±0,03	29,53±0,52
		Δa	-1,67±0,12	0,75±0,62	1,02±0,39	-0,05±1,49
	Kontrol	b^*	32,51±0,01	30,40±0,39	30,34±0,30	31,99±0,44
	Plazma		30,78±0,53	31,18±0,12	31,51±0,20	31,75±0,55
		Argon Δb	-1,73±0,49	0,78±0,22	1,18±0,02	-0,25±1,21
		ΔE	2,88±0,80	1,12±0,57	2,05±0,23	1,85±0,41

Kuru hava	Kontrol	L^*	52,72±0,17	55,24±0,53	55,27±0,60	55,02±0,04
	Plazma		54,41±0,45	55,73±0,15	56,23±0,62	54,39±0,56
		ΔL	1,69±0,47	0,49±0,75	0,96±1,48	-0,63±0,82
	Kontrol	a^*	31,76±0,09	29,64±1,19	29,64±0,73	30,02±0,26
	Plazma		30,17±0,35	28,69±0,58	29,69±0,76	28,48±0,11
		Δa	-1,59±0,59	-0,95±2,01	0,05±1,81	-1,54±0,41
	Kontrol	b^*	36,25±0,96	32,38±1,19	32,31±0,20	32,65±0,13
	Plazma		34,29±0,33	31,52±0,43	32,13±0,94	31,38±0,41
		Δb	-1,95±0,49	-0,87±1,79	-0,18±1,13	-1,27±0,71
		ΔE	3,10±0,36	2,19±1,41	2,03±0,64	2,14±0,96

Havuçların renk kalitesinde diğer bir değerlendirme ölçütü ise beyazlaşma indeksi (whiteness index) değeridir (Lavelli vd., 2006). Beyazlaşma indeksinin sayısal değeri

arttıkça beyazlık artmaktadır. Lignifikasyon, dehidrasyon ve β -karoten gibi renk veren bileşenlerdeki kayıp havuçtaki renk kaybının ve beyazlaşmanın temel nedenleridir. Depolama koşullarına bağlı olmakla beraber, genel olarak depolama süresindeki artışa paralel olarak beyazlaşma değerinde artış gözlenmektedir (Izumi vd., 1996; Lavelli vd., 2006).

Tez çalışması kapsamında atmosferik argon plazması uygulanmış havuç örnekleri ile plazma uygulanmamış kontrol örneklerinin beyazlaşma indeksi değerleri arasında depolamanın ilk iki haftası süresince istatistiksel olarak önemli bir fark ($P > 0,05$) bulunmazken, depolamanın üçüncü haftasında elde edilen fark istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bulunmuştur (Çizelge 4.10.). Bu sonuçlar atmosferik argon plazması uygulamasının havuçların beyazlaşması üzerine bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bununla beraber atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda kontrol örneğine göre havuçların beyazlaşma indeksi değerlerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir artış bulunmuştur. Tez kapsamında, plazma uygulamalarının havuçların β -karoten içeriği ve ağırlık kaybı üzerine etkileri incelendiğinde, atmosferik kuru hava plazmasının atmosferik argon plazmasına göre daha fazla β -karoten azalmasına ve ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar havuçların beyazlaşma indeksi değerlerindeki değişimlerle paralellik arz etmektedir.

Çizelge 4.10. Atmosferik plazma uygulanmış havuç numunelerinin depolama süresi boyunca beyazlaşma indeksi değerleri

Plazma Türü	Örnek	Depolama süresince havuç örneklerinin beyazlaşma indeksi değeri			
		0. gün	7. gün	14. gün	21. gün
Argon	Kontrol	36,28±0,68 Aa	38,45±0,40 Ab	37,81±0,10 Ac	36,31±0,12 Aa
	Plazma	36,65±0,43 Aa	37,71±0,35 Ab	37,72±0,04 Ab	37,11±0,27 Bb
Kuru Hava	Kontrol	32,49±0,68 Ba	37,29±0,80 Ab	37,36±0,18 Bb	36,83±0,16 Bb
	Plazma	35,47±0,47 Aa	38,54±0,54 Ab	38,10±0,49 Ab	37,74±0,21 Cb

* Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

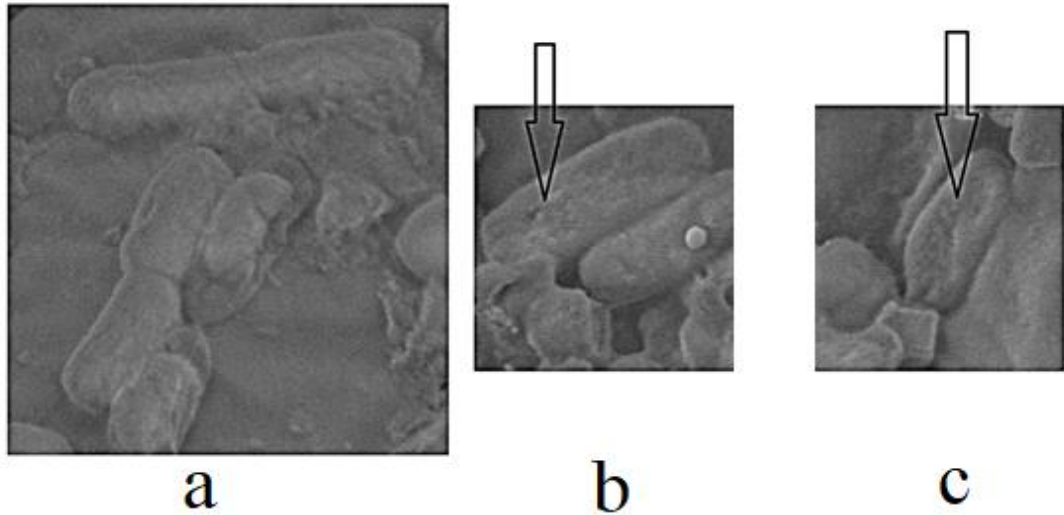
** Aynı satırda aynı küçük harflerle gösterilen değerler arasında Duncan testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir fark yoktur

Tez çalışması kapsamında, genel olarak hem plazma uygulanmış örneklerin hemde kontrol örneklerinin beyazlaşma indeksi değerleri depolama süresince artış göstermiştir. Havuçlarda 2 °C ve % 85 bağıl nemde 3 hafta depolanması esnasında beyazlaşma

indeksinin takip edildiği bir çalışmada başlangıçta 30 civarında olan beyazlaşma indeksinin 3 hafta sonunda 38 civarına yükseldiği gözlemlenmiştir (Mei vd., 2002).

4.9.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Atmosferik Plazma Uygulamasının Havuç Yüzeyindeki *E. coli* ATCC 25922 Hücreleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında havuç yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısında en yüksek inhibisyonu sağlayan atmosferik argon (1 cm – 60s) ve kuru hava (3 cm – 60 s) plazma parametreleri kullanılarak işlenen havuçlarda, plazma uygulaması sonrasında SEM ile görüntüleme yapılarak atmosferik plazma uygulamalarının *E. coli* hücreleri üzerindeki etkisi görsel olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Havuç yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 hücrelerinin SEM görüntüleri (10000 x büyütme) (a) Plazma Uygulanmamış kontrol örneği (b) 3 cm – 60 s atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonrası (c) 1 cm – 60 s atmosferik argon plazması uygulaması sonrası

Şekil 4.1’de ok ile işaretlenmiş yerlerde atmosferik plazma uygulamasının *E. coli* hücre duvarında oluşturduğu porlar açıkça görülmektedir. Bu porlardan dışarı sızan sitoplazma akışı sonucunda hücre hacmi azalmıştır. Deng, Shi, ve Kong (2006) helyum plazması uygulaması sonrasında *Bacillus subtilis* sporlarının duvarında oluşan porlar sonucunda sitoplazma kaybı yaşandığını ve hücrenin boyutunun küçüldüğünü belirtmişlerdir.

Atmosferik plazma uygulaması sonucunda hücre membranında meydana gelen fiziksel zararlar ortamda oluşan reaktif oksijen ve azot bileşikleri, UV ışınları, elektrik alan, ısı ve diğer yüklü parçacıkların etkisi ile ilişkilendirilmektedir (Bermúdez-Aguirre vd., 2013). Yapılan araştırmalarda, özellikle hücre zarının dış yüzeyinde oluşan yük birikiminin elektrostatik bir güç oluşturduğu ve bu gücün hücre zarının gerilme kuvvetini azaltarak zarın parçalanmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Bununla beraber, bu mekanizmanın daha ince bir hücre duvarına sahip Gram-negatif bakteriler üzerine daha etkili olduğu belirtilmiştir (Lunov vd., 2015; Mendis vd., 2000; Morent & De Geyter, 2011).

Genel olarak, soğuk plazma uygulamaları mikroorganizma inhibisyonuna neden olmakla beraber, plazma uygulaması sonrasında bazı mikroorganizmalar canlı kalabilmekte ancak oluşan hasar sonucunda üreme yeteneklerini kaybetmektedirler. Bu nedenle plazma uygulaması sonrasında hücre sayısının azalması tamamen inhibisyonu göstermemektir (Abramzon, Joaquin, Bray, & Brelles-Mariño, 2006; Dolezalova & Lukes, 2015).

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde sosyoekonomik standartlardaki yükselme ve eğitim seviyesindeki artışla beraber bilinçli tüketim yaygınlaşmıştır. Buna paralel olarak son yıllarda tüketiciler, katkı içermeyen, yüksek kaliteli, güvenli, daha uzun raf ömrüne sahip, minimum işlenmiş sebzeleri talep etmektedir. Minimum işlenmiş gıdalar özellikle besinsel değerlerinin taze ürünlere çok yakın olmaları ve direkt olarak tüketimine hazır bir şekilde piyasaya sunulmalarından ötürü zaman tasarrufu sağlamaları nedeniyle büyük ilgi çekmektedir. Minimum işlenmiş gıdalarla ilgili en önemli sorun ürünlere uygulanan yıkama, soyma, dilimleme vb. gibi işlemler sonucu ürünlerin mikrobiyal bozulmaya açık hale gelmesi sonucunda raf ömrünün kısıtlanmasıdır. Bu gıdalarda raf ömrünün arttırılması amacıyla birçok termal olmayan yöntem kullanılmakla beraber, ürünlerin besinsel ve duyuşsal özelliklerine zarar vermeyen etkili yenilikçi yöntemler üzerine araştırmalar devam etmektedir. Çalışmada, minimum işlenmiş gıda pazarında önemli bir payı bulunan ve besinsel içerik açısından zengin olan havuç kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında, yenilikçi non-termal uygulamalardan birisi olan soğuk atmosferik plazma uygulamasının minimum işlenmiş havuç üretimi üzerindeki mikrobiyolojik ve fizikokimyasal etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasında atmosferik plazma uygulamaları sırasında havuç yüzeyinde sıcaklığın 50 °C'yi aşmadığı plazma parametreleri göz önüne alınmıştır. Bu çerçevede çalışmanın ilk aşamasında en etkin dekontaminasyon sağlayan atmosferik argon ve kuru hava plazma koşullarını belirlemek amacıyla *E. coli* ATCC 25922 ile inoküle edilmiş havuçlara farklı mesafe (1, 2, 3 ve 4 cm) ve sürelerde (10, 30 ve 60 s) plazma işlemi uygulanmıştır.

Atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda havuç yüzeylerindeki *E. coli* ATCC 25922 sayısında en fazla inhibisyon sağlayan parametre 1 cm plazma uygulama mesafesi ve 60 s uygulama süresi olarak bulunurken, atmosferik kuru hava plazması

uygulaması sonucunda 3 cm uygulama mesafesi ve 60 s uygulama süresi olarak bulunmuştur. Bu parametrelerde üretilen havuçlarda *E. coli* sayısında atmosferik argon plazması ile 4,54 log ve atmosferik kuru hava gazı plazması ile ise 4,20 log azalma sağlanmıştır. Farklı parametrelerde plazma uygulaması ile daha yüksek dekontaminasyon etkinliği elde edilmesine rağmen sıcaklık arzu edilmeyen ($>50^{\circ}\text{C}$) derecede yükseldiği için yukarıda belirtilen parametreler tezin ikinci kısmında minimum işlenmiş havuç üretimi için seçilmiştir. Genel olarak hem atmosferik argon plazması hem de atmosferik kuru hava plazması uygulamasında işlem süresi arttıkça ve uygulama mesafesi azaldıkça inhibisyon etkisi artmıştır. Bununla beraber havuçların yüzey sıcaklığında ise artış meydana gelmiştir. Atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda (1 cm – 60 s), havuçların yüzey mikrobiyal yükünde 5 log'un üzerinde bir azalma sağlanmış ancak havuç yüzey sıcaklığı 70°C 'nin üzerine çıkmıştır.

Tez çalışmasının ikinci kısmında ise *E. coli* ATCC 25922 sayısında en fazla azalma sağlayan parametrelerde üretilen havuçların 3 hafta depolama süresince mikrobiyal ve fizikokimyasal kalitelerindeki değişim takip edilmiştir.

Üç hafta depolama süresince plazma uygulanmış ve uygulanmamış kontrol örneklerindeki *E. coli* sayısı depolama süresince azalma göstermiş olup, azalma oranı plazma uygulanmış örneklerde daha yüksek bulunmuştur. Atmosferik kuru hava plazma uygulamasını takiben depolamanın 2. haftasında havuçlardaki *E. coli* sayısı belirlenebilir limitinin (<1 log) altına düşmüştür.

Atmosferik argon plazması uygulaması sonucunda havuçların β -karoten miktarındaki değişim istatistiksel olarak önemsiz ($P > 0,05$) bulunmuştur. Atmosferik kuru hava plazması uygulaması sonucunda β -karoten miktarında sadece % 4,92 azalma meydana gelmiş olup, bu değişim istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bulunmuştur. Bununla beraber her iki plazma uygulaması sonucunda da havuç örneklerindeki β -karoten miktarının depolama süresince daha fazla azalmadığı tespit edilmiştir.

Atmosferik argon veya kuru hava plazması uygulamasının havuçlardaki askorbik asit içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P > 0,05$). Depolama süresince hem atmosferik argon hem de kuru hava plazması uygulanmış örneklerdeki C vitamini içeriği plazma uygulanmamış kontrol örneklerine göre daha düşük bulunmuştur. Atmosferik argon plazması uygulanmış örneklerde askorbik asit

içeriğinde % 3,10 – 4,23 oranında azalma tespit edilirken, atmosferik kuru hava plazması uygulanmış örneklerde % 4,19 - 6,71 oranında azalma bulunmuştur.

Atmosferik kuru hava veya argon plazması uygulaması sonucunda havuçların antioksidan aktivitesinden sorumlu olan başlıca bileşiklerden β -karoten ve askorbik asit içeriklerinde genel olarak bir fark bulunmamasına paralel olarak, hem atmosferik argon hem de kuru hava plazması uygulaması sonucunda havuçların antioksidan aktivitesinde istatistiksel olarak önemli ($P > 0,05$) bir değişim tespit edilmemiştir.

Depolama süresince hem plazma uygulanmış hemde plazma uygulanmamış havuç örneklerinin tümünde pH değerlerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0,05$) bir artış gözlenmiştir.

Vakum ambalajlanarak depolanan havuçlarda depolama süresi sonunda kontrol örneğine göre ağırlık kayıpları, atmosferik kuru hava plazması uygulanmış havuçlarda % 3,65, atmosferik argon plazması uygulanmış havuçlarda ise % 2,43 olarak tespit edilmiştir.

Havuçların kırmızılık/sarıklık renk değerlerindeki değişimler β -karoten konsantrasyonunda görülen bir miktar azalma ile paralellik göstermiştir. Atmosferik argon plazması uygulanmış havuçların beyazlaşma indeksi değerinde herhangi bir değişim gözlenmemiş olup, atmosferik kuru hava plazması uygulanmış havuçlarda ise başlangıçta 32,49 olan beyazlık indeksi değeri plazma uygulamasından sonra 35,47'ye yükselmiştir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar atmosferik kuru hava ve argon plazma uygulamalarının havuç ve diğer sebzelerin minimum işlenmesinde endüstriyel olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Ancak, atmosferik plazma uygulamasında gaz kaynağı olarak kuru hava kullanılması argon gazı kullanımının daha yüksek olan maliyetini azaltacaktır.

Tez çalışması kapsamında plazma uygulamaları sonrasında vakum ambalajlanma kullanılmış olup, atmosferik plazma uygulamasının farklı ambalaj materyalleri ve yöntemleriyle birlikte kullanılmasının etkileri araştırılmalıdır. Bununla beraber atmosferik plazma uygulaması bitkilerin solunum vb. fizyolojik aktivitelerini etkileyebilmektedir. Bu kapsamda plazma uygulamalarının havuçların fizyolojisi üzerine etkileri de incelenmelidir. Tez kapsamında atmosferik argon veya kuru hava

plazması uygulaması sonucunda mikrobiyal yükte yüksek inhibisyon oranları elde edilmiş olup, plazma etkinliğinin daha da arttırılabilmesi için farklı gaz ve gaz karışımlarının kullanım potansiyeli araştırılabilir.

Tez çalışması sonuçları atmosferik plazma uygulamasının minimum işlenmiş gıda üretiminde kullanım potansiyeli olduğunu göstermektedir.



KAYNAKLAR

- Abadias, M., Usall, J., Anguera, M., Solsona, C., & Viñas, I. (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1), 121-129.
- Abdul-Raouf, U., Beuchat, L., & Ammar, M. (1993). Survival and growth of *Escherichia coli* O157: H7 on salad vegetables. *Applied and Environmental Microbiology*, 59(7), 1999-2006.
- Abramzon, N., Joaquin, J. C., Bray, J., & Brelles-Mariño, G. (2006). Biofilm destruction by RF high-pressure cold plasma jet. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34(4), 1304-1309.
- Acar, J. (1998). Meyve sebze ürünlerinde mikrobiyolojik bozulmalar ve muhafaza yöntemleri. *Food Microbiology*, 227-253.
- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 7(6), 179-187.
- Ahvenainen, R. (2000). Minimal processing of fresh produce. *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Gaithersburg: Aspen, 277-290.
- Ajibola, V., Babatunde, O., & Suleiman, S. (2009). The effect of storage method on the vitamin C content in some tropical fruit juices. *Trends in Applied Sciences Research*, 4(2), 79-84.
- Alasalvar, C., Grigor, J. M., Zhang, D., Quantick, P. C., & Shahidi, F. (2001). Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(3), 1410-1416.
- Alegria, C., Pinheiro, J., Gonçalves, E. M., Fernandes, I., Moldão, M., & Abreu, M. (2010). Evaluation of a pre-cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(1), 155-161.
- Alexandre, E. M., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2013). Impact of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality factor retention of frozen red bell peppers. *Innovative food science & emerging technologies*, 17, 99-105.
- Alkawareek, M. Y., Gorman, S. P., Graham, W. G., & Gilmore, B. F. (2014). Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma. *International journal of antimicrobial agents*, 43(2), 154-160.
- Allende, A., Tomas-Barberan, F. A., & Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(9), 513-519.
- Alloway, B. J., Jackson, A. P., & Morgan, H. (1990). The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources. *Science of the Total Environment*, 91, 223-236.

- Amini, M., & Ghoranneviss, M. (2016). Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 73, 178-184.
- Ansorena, M. R., Marcovich, N. E., & Roura, S. I. (2011). Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 53-63.
- Ansorena, M. R., Moreira, M. R., & Roura, S. I. (2014). Combined effect of ultrasound, mild heat shock and citric acid to retain greenness, nutritional and microbiological quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.): An optimization study. *Postharvest Biology and Technology*, 94, 1-13.
- Artés, F., Gómez, P., & Artés-Hernández, F. (2007). Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Revista de Agaroquímica y Tecnología de Alimentos*, 13(3), 177-188.
- Arvanitoyannis, I. S., & Van Houwelingen-Koukaliaroglou, M. (2005). Functional foods: a survey of health claims, pros and cons, and current legislation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(5), 385-404.
- Ayaz, A., & Yurttagül, M. (2013). Ispanakta Buzdolabında Bekletme, Pişirme ve Dondurmanın Nitrat ve Nitrit İçeriğine Etkisi. *Gıda Dergisi*, 38(1).
- Ayhan, B., & Bilici, S. (2015). Toplu beslenme sistemlerinde kullanılan gıda dezenfektanları. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, 72(4).
- Azharonok, V., Krat'ko, L., Nekrashevich, Y. I., Filatova, I., Mel'nikova, L., Dudchik, N., . . . Bologa, M. (2009). Bactericidal action of the plasma of high-frequency capacitive and barrier discharges on microorganisms. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 82(3), 419-426.
- Baier, M., Foerster, J., Schnabel, U., Knorr, D., Ehlbeck, J., Herppich, W., & Schlüter, O. (2013). Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. *Postharvest Biology and Technology*, 84, 81-87.
- Baier, M., Görgen, M., Ehlbeck, J., Knorr, D., Herppich, W. B., & Schlüter, O. (2014). Non-thermal atmospheric pressure plasma: screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. *Innovative food science & emerging technologies*, 22, 147-157.
- Ballestra, P., SILVA, A. A., & Cuq, J. (1996). Inactivation of *Escherichia coli* by carbon dioxide under pressure. *Journal of food Science*, 61(4), 829-831.
- Bárdos, L., & Baránková, H. (2010). Cold atmospheric plasma: Sources, processes, and applications. *Thin Solid Films*, 518(23), 6705-6713.
- Barry Ryan, C., Pacussi, J., & O'beirne, D. (2000). Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature. *Journal of food Science*, 65(4), 726-730.
- Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., & Breidt, F. (2009). Microbiological spoilage of fruits and vegetables. In *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages* (pp. 135-183): Springer.
- Bazhal, M., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2003). Optimisation of pulsed electric field strength for electroporation of vegetable tissues. *Biosystems Engineering*, 86(3), 339-345.

- Becker, K., Schoenbach, K., & Eden, J. (2006). Microplasmas and applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(3), R55.
- Beggs, C. B. (2002). A quantitative method for evaluating the photoreactivation of ultraviolet damaged microorganisms. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1(6), 431-437.
- Behrsing, J., Winkler, S., Franz, P., & Premier, R. (2000). Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 19(2), 187-192.
- Ben Yehoshua, S. (1969). Gas exchange, transpiration, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *J Amer Soc Hort Sci*.
- Bendich, A., Machlin, L., Scandurra, O., Burton, G., & Wayner, D. (1986). The antioxidant role of vitamin C. *Advances in Free Radical Biology & Medicine*, 2(2), 419-444.
- Bermúdez-Aguirre, D., Wemlinger, E., Pedrow, P., Barbosa-Cánovas, G., & Garcia-Perez, M. (2013). Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. *Food control*, 34(1), 149-157.
- Beuchat, L., Nail, B., Adler, B., & Clavero, M. (1998). Efficacy of spray application of chlorinated water in killing pathogenic bacteria on raw apples, tomatoes, and lettuce. *Journal of food protection*, 61(10), 1305-1311.
- Beuchat, L. R. (1996). Pathogenic microorganisms associated with fresh produce. *Journal of food protection*, 59(2), 204-216.
- Beuchat, L. R., & Ryu, J.-H. (1997). Produce handling and processing practices. *Emerging infectious diseases*, 3(4), 459.
- Boon, C. S., McClements, D. J., Weiss, J., & Decker, E. A. (2010). Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(6), 515-532.
- Boudam, M., Moisan, M., Saoudi, B., Popovici, C., Gherardi, N., & Massines, F. (2006). Bacterial spore inactivation by atmospheric-pressure plasmas in the presence or absence of UV photons as obtained with the same gas mixture. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(16), 3494.
- Bozkurt, D. (2014). Soğuk Plazma Uygulamasının Vitaminler ve Polifenol Oksidaz (Pfo) Enzimi Aktivitesi Üzerine Etkisi.
- Breithaupt, D. E., & Bamedi, A. (2001). Carotenoid esters in vegetables and fruits: a screening with emphasis on β -cryptoxanthin esters. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(4), 2064-2070.
- Butscher, D. (2016). *Non-thermal plasma inactivation of microorganisms on granular food products*.
- Caleb, O., Mahajan, P., Al-Said, F. A., & Opara, U. L. (2013). Transpiration rate and quality of pomegranate arils as affected by storage conditions. *CyTA-Journal of Food*, 11(3), 199-207.
- Calvin, L., Jensen, H. H., & Liang, J. (2009). The economics of food safety: the 2006 foodborne illness outbreak linked to spinach. *Microbial Safety of Fresh Produce*, 399-417.
- Cemeroğlu, B. (1986). Meyve ve Sebze şleme Teknolojisi, Gıda Tek. *Dernegi Yayını*, 524s.
- Cemeroğlu, B. (1992). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisinde Temel Analiz Metodları. *Biltav Yayınları, Ankara*.

- Chartier, Y. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*: World Health Organization.
- Chavarri, M. J., Herrera, A., & Arino, A. (2005). The decrease in pesticides in fruit and vegetables during commercial processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 40(2), 205-211.
- Chen, B., Peng, H., & Chen, H. (1995). Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 43(7), 1912-1918.
- Chen, X., & Hung, Y.-C. (2016). Predicting chlorine demand of fresh and fresh-cut produce based on produce wash water properties. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 10-15.
- Cobine, J. D. (1958). Gaseous conductors: theory and engineering applications.
- Conrads, H., & Schmidt, M. (2000). Plasma generation and plasma sources. *Plasma Sources Science and Technology*, 9(4), 441.
- Çabuk, T. Ş. (2014). *Ankara ili havuç (Daucus carota L. Subsp. Sativus) üretim alanlarında verimi ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyen sistemik hastalıkların araştırılması*. Namık Kemal Üniversitesi,
- Dasan, B. G., Boyaci, I. H., & Mutlu, M. (2016). Inactivation of aflatoxigenic fungi (*Aspergillus* spp.) on granular food model, maize, in an atmospheric pressure fluidized bed plasma system. *Food control*, 70, 1-8.
- Dawange, S. P., Dash, S. K., Bal, L. M., & Panda, M. K. (2016). Quality of minimally processed carrots in perforation-mediated modified-atmosphere packaging (PM-MAP). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(4), 746-754.
- Delaquis, P., Stewart, S., Cazaux, S., & Toivonen, P. (2002). Survival and growth of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157: H7 in ready-to-eat iceberg lettuce washed in warm chlorinated water. *Journal of food protection*, 65(3), 459-464.
- Delen, N., DURMUŞOĞLU, E., GÜNCAN, A., GÜNGÖR, N., TURGUT, C., & BURÇAK, A. (2005). Türkiye’de Pestisit Kullanımı, Kalinti ve Organizmalarda Duyarlilik Azalışı Sorunları. *Türkiye Ziraat Mühendisliği*, 6.
- Deng, X., Shi, J., & Kong, M. G. (2006). Physical mechanisms of inactivation of *Bacillus subtilis* spores using cold atmospheric plasmas.
- Devereux, G. (2006). The increase in the prevalence of asthma and allergy: food for thought. *Nature reviews. Immunology*, 6(11), 869.
- Devi, Y., Thirumdas, R., Sarangapani, C., Deshmukh, R., & Annapure, U. (2017). Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts. *Food control*, 77, 187-191.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., & Debevere, J. (2004). New preservation technologies: possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14(4), 273-285.
- Dolezalova, E., & Lukes, P. (2015). Membrane damage and active but nonculturable state in liquid cultures of *Escherichia coli* treated with an atmospheric pressure plasma jet. *Bioelectrochemistry*, 103, 7-14.
- Du, W.-X., Avena-Bustillos, R. J., Breksa III, A. P., & McHugh, T. H. (2012). Effect of UV-B light and different cutting styles on antioxidant enhancement of commercial fresh-cut carrot products. *Food Chemistry*, 134(4), 1862-1869.
- Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 71-79.

- Ehlbeck, J., Schnabel, U., Polak, M., Winter, J., Von Woedtke, T., Brandenburg, R., . . . Weltmann, K. (2010). Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(1), 013002.
- Emmambux, N. M., & Minnaar, A. (2003). The effect of edible coatings and polymeric packaging films on the quality of minimally processed carrots. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(10), 1065-1071.
- Ethelberg, S., Lisby, M., Bottiger, B., Schultz, A. C., Villif, A., Jensen, T., . . . Muller, L. (2010). Outbreaks of gastroenteritis linked to lettuce, Denmark, January 2010. *Euro Surveill*, 15(6), 19484.
- Fallik, E., & Aharoni, Y. (2004). Postharvest physiology, pathology and handling of fresh produce. *Lecture Notes. International Research and Development course on Postharvest Biology and Technology. The Volcani Center, Israel*. 30pp.
- Farber, J., & Peterkin, P. (1991). *Listeria monocytogenes*, a food-borne pathogen. *Microbiological reviews*, 55(3), 476-511.
- Fleet, G. (1992). Spoilage yeasts. *Critical reviews in biotechnology*, 12(1-2), 1-44.
- Francis, G., Gallone, A., Nychas, G., Sofos, J., Colelli, G., Amodio, M., & Spano, G. (2012). Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(7), 595-610.
- Francis, G. A., Thomas, C., & O'beirne, D. (1999). The microbiological safety of minimally processed vegetables. *International Journal of Food Science & Technology*, 34(1), 1-22.
- Fridman, A. (2008). *Plasma chemistry*: Cambridge university press.
- Fridman, G., Brooks, A. D., Balasubramanian, M., Fridman, A., Gutsol, A., Vasilets, V. N., . . . Friedman, G. (2007). Comparison of direct and indirect effects of non-thermal atmospheric-pressure plasma on bacteria. *Plasma Processes and Polymers*, 4(4), 370-375.
- Friesema, I., Schimmer, B., Stenvers, O., Heuvelink, A., De Boer, E., Van Der Zwaluw, K., . . . de Jonge, R. (2007). STEC O157 outbreak in the Netherlands, September-October 2007. *Euro Surveill*, 12(11), E0711011.
- Gao, J., & Rupasinghe, H. V. (2012). Nutritional, physicochemical and microbial quality of ultrasound-treated apple-carrot juice blends. *Food and Nutrition Sciences*, 3(02), 212.
- Garbassi, F., Morra, M., Occhiello, E., & Garbassi, F. (1998). *Polymer surfaces: from physics to technology*: Wiley Chichester.
- Georgescu, N., Apostol, L., & Gherendi, F. (2017). Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on egg surface, by direct and indirect treatments with cold atmospheric plasma. *Food control*, 76, 52-61.
- Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V., & Nani, R. (2002). Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 135-141.
- Gómez-López, V., Devlieghere, F., Ragaert, P., & Debevere, J. (2007). Shelf-life extension of minimally processed carrots by gaseous chlorine dioxide. *International Journal of Food Microbiology*, 116(2), 221-227.
- Gomez-Lopez, V. M., Devlieghere, F., Bonduelle, V., & Debevere, J. (2005). Intense light pulses decontamination of minimally processed vegetables and their shelf-life. *International Journal of Food Microbiology*, 103(1), 79-89.

- González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J., Olivas, G., de la Rosa, L., & Álvarez-Parrilla, E. (2010). Preserving quality of fresh-cut products using safe technologies. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 5(1), 65-72.
- Gorny, J., Gil, M., & Kader, A. (1996). *Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears*. Paper presented at the International Postharvest Science Conference Postharvest 96 464.
- Gorny, J. R. (2001). *A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables*. Paper presented at the VIII International Controlled Atmosphere Research Conference 600.
- Gould, G. W. (1996). Methods for preservation and extension of shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 51-64.
- Goyeneche, R., Roura, S., & Di Scala, K. (2014). Principal component and hierarchical cluster analysis to select hurdle technologies for minimal processed radishes. *LWT-Food Science and Technology*, 57(2), 522-529.
- Gunel, E., Kilic, G. P., Bulut, E., Durul, B., Acar, S., Alpas, H., & Soyer, Y. (2015). Salmonella surveillance on fresh produce in retail in Turkey. *International Journal of Food Microbiology*, 199, 72-77.
- Güzel-Seydim, Z., Bever, P. I., & Greene, A. K. (2004). Efficacy of ozone to reduce bacterial populations in the presence of food components. *Food Microbiology*, 21(4), 475-479.
- Hager, T., & Howard, L. (2006). Processing effects on carrot phytonutrients. *HortScience*, 41(1), 74-79.
- Hajare, S. N., Dhokane, V. S., Shashidhar, R., Sharma, A., & Bandekar, J. R. (2006). Radiation processing of minimally processed carrot (*Daucus carota*) and cucumber (*Cucumis sativus*) to ensure safety: effect on nutritional and sensory quality. *Journal of food Science*, 71(3).
- Harris, J. R. (2013). *Subcellular Biochemistry: Ascorbic Acid: Biochemistry and Biomedical Cell Biology* (Vol. 25): Springer Science & Business Media.
- Harris, L., Farber, J., Beuchat, L., Parish, M., Suslow, T., Garrett, E., & Busta, F. (2003). Outbreaks associated with fresh produce: incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(s1), 78-141.
- Herrmann, H. W., Henins, I., Park, J., & Selwyn, G. (1999). Decontamination of chemical and biological warfare (CBW) agents using an atmospheric pressure plasma jet (APPJ). *Physics of Plasmas*, 6(5), 2284-2289.
- Herrmann, K. (2001). *Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse*: Ulmer.
- Hertwig, C., Reineke, K., Ehlbeck, J., Knorr, D., & Schlüter, O. (2015). Decontamination of whole black pepper using different cold atmospheric pressure plasma applications. *Food control*, 55, 221-229.
- Hofmann, S., Van Gessel, A., Verreycken, T., & Bruggeman, P. (2011). Power dissipation, gas temperatures and electron densities of cold atmospheric pressure helium and argon RF plasma jets. *Plasma Sources Science and Technology*, 20(6), 065010.
- Hong, Y., Kang, J., Lee, H., Uhm, H., Moon, E., & Park, Y. (2009). Sterilization effect of atmospheric plasma on *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* endospores. *Letters in Applied Microbiology*, 48(1), 33-37.

- Hoornstra, E., de Jong, G., & Notermans, S. (2002). Preservation of vegetables by light. *Society for Applied Microbiology (Ed.), Frontiers in microbial fermentation and preservation*, 75-77.
- Howard, F. D., MacGillivray, J. H., & Yamaguchi, M. (1962). Nutrient composition of fresh California-grown vegetables. *Bulletin of the California Agricultural Experiment Station*(788).
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Huner, U., Gulec, H. A., & Damar Huner, I. (2017). Effect of gas type and application distance on atmospheric pressure plasma jet-treated flax composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 36(17), 1197-1210.
- Hury, S., Vidal, D., Desor, F., Pelletier, J., & Lagarde, T. (1998). A parametric study of the destruction efficiency of Bacillus spores in low pressure oxygen-based plasmas. *Letters in Applied Microbiology*, 26(6), 417-421.
- Hussein, Z., Caleb, O. J., & Opara, U. L. (2015). Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce—A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 6, 7-20.
- Idlibi, A. N., Al-Marrawi, F., Hannig, M., Lehmann, A., Rueppell, A., Schindler, A., . . . Rupf, S. (2013). Destruction of oral biofilms formed in situ on machined titanium (Ti) surfaces by cold atmospheric plasma. *Biofouling*, 29(4), 369-379.
- Irtwange, S. (2006). Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Islam, E., Yang, X.-e., He, Z.-l., & Mahmood, Q. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(1), 1-13.
- Işık, N., Konca, R., & Gümüş, Y. (1996). Gıdalarda Katkı-Kalıntı ve Bulaşanların İzlenmesi. *TC Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı Koruma Ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Gıda Teknolojisi Araştırma Enstitüsü, Bursa*.
- Izumi, H., Watada, A. E., Ko, N. P., & Douglas, W. (1996). Controlled atmosphere storage of carrot slices, sticks and shreds. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2), 165-172.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Ragaert, P., Vanneste, E., & Debevere, J. (2003). Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology*, 83(3), 263-280.
- James, A., & Curtis, P. (2010). Family displays and personal lives. *Sociology*, 44(6), 1163-1180.
- Jun, S., Irudayaraj, J., Demirci, A., & Geiser, D. (2003). Pulsed UV-light treatment of corn meal for inactivation of Aspergillus niger spores. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(8), 883-888.
- Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., & Srawan, G. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of microencapsulation*, 27(3), 187-197.
- Karadağ, S. G. (2013). *Klor Dioksitin Dezenfeksiyon Amaçlı Kullanımında Yan Ürün Oluşumunun Araştırılması: İstanbul Ömerli Ve Büyükçekmece Ham Suları*. Fen Bilimleri Enstitüsü,

- Karagiannidis, N., Bletsos, F., & Stavropoulos, N. (2002). Effect of *Verticillium* wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. *Scientia Horticulturae*, 94(1-2), 145-156.
- Kayes, M. M., Critzer, F. J., Kelly-Wintenberg, K., Roth, J. R., Montie, T. C., & Golden, D. A. (2007). Inactivation of foodborne pathogens using a one atmosphere uniform glow discharge plasma. *Foodborne Pathogens and Disease*, 4(1), 50-59.
- Keener, K. M., Jensen, J., Valdramidis, V., Byrne, E., Connolly, J., Mosnier, J., & Cullen, P. (2012). Decontamination of *Bacillus subtilis* spores in a sealed package using a non-thermal plasma system. In *Plasma for bio-decontamination, medicine and food security* (pp. 445-455): Springer.
- Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. In *Ultrasound technologies for food and bioprocessing* (pp. 1-12): Springer.
- Kılıç, Ö. G. P. (2014). Surveillance study of salmonella in fresh peppers (*capsicum annum* L.) and inactivation by high hydrostatic pressure treatment. *Middle East Technical University*,
- Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W., & Jo, C. (2011). Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiology*, 28(1), 9-13.
- Kim, J. E., Oh, Y. J., Won, M. Y., Lee, K.-S., & Min, S. C. (2017). Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. *Food Microbiology*, 62, 112-123.
- KIM, J. G., Yousef, A. E., & Chism, G. W. (1999). Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *Journal of Food Safety*, 19(1), 17-34.
- Kim, K. N., Lee, S. M., Mishra, A., & Yeom, G. Y. (2016). Atmospheric pressure plasmas for surface modification of flexible and printed electronic devices: A review. *Thin Solid Films*, 598, 315-334.
- King, A., & Bolin, H. (1989). Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetables. *Food Technology*, 43(2).
- King, G. A., & Morris, S. C. (1994). Physiological changes of broccoli during early postharvest senescence and through the preharvest-postharvest continuum. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 270-275.
- Klaiber, R. G., Baur, S., Wolf, G., Hammes, W. P., & Carle, R. (2005). Quality of minimally processed carrots as affected by warm water washing and chlorination. *Innovative food science & emerging technologies*, 6(3), 351-362.
- Knockaert, G., De Roeck, A., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2011). Effect of thermal and high pressure processes on structural and health-related properties of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry*, 125(3), 903-912.
- Knockaert, G., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2015). Changes in β -Carotene During Processing of Carrots.
- Koca Bozalan, N., & Karadeniz, F. (2011). Carotenoid profile, total phenolic content, and antioxidant activity of carrots. *International journal of food properties*, 14(5), 1060-1068.

- Konings, E. J., & Roomans, H. H. (1997). Evaluation and validation of an LC method for the analysis of carotenoids in vegetables and fruit. *Food Chemistry*, 59(4), 599-603.
- Kuzmichev, A., Soloshenko, I., Tsiolko, V., Kryzhanovsky, V., Bazhenov, V. Y., Mikhno, I., & Khomich, V. (2000). *Features of sterilization by different types of atmospheric pressure discharges*. Paper presented at the Proc. 7th Int. Symp. High Press. Low Temp. Plasma Chem., Hakone VII, Greifswald, Germany.
- Lanciotti, R., Belletti, N., Patrignani, F., Gianotti, A., Gardini, F., & Guerzoni, M. E. (2003). Application of hexanal, (E)-2-hexenal, and hexyl acetate to improve the safety of fresh-sliced apples. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(10), 2958-2963.
- Lanciotti, R., Gianotti, A., Patrignani, F., Belletti, N., Guerzoni, M., & Gardini, F. (2004). Use of natural aroma compounds to improve shelf-life and safety of minimally processed fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 15(3), 201-208.
- Laroussi, M. (1996). Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 24(3), 1188-1191.
- Laroussi, M. (2002). Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis, and prospects. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 30(4), 1409-1415.
- Laroussi, M. (2005). Low temperature plasma-based sterilization: overview and state-of-the-art. *Plasma Processes and Polymers*, 2(5), 391-400.
- Laroussi, M., & Leipold, F. (2004a). Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. *International Journal of Mass Spectrometry*, 233(1), 81-86.
- Laroussi, M., & Leipold, F. (2004b). Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. *International Journal of Mass Spectrometry*, 233(1-3), 81-86.
- Lavelli, V., Pagliarini, E., Ambrosoli, R., Minati, J. L., & Zanoni, B. (2006). Physicochemical, microbial, and sensory parameters as indices to evaluate the quality of minimally-processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 40(1), 34-40.
- Lee, C. (1986). Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage. *Food Chemistry*, 20(4), 285-293.
- Lee, E. J., Baek, M., Gusev, Y., Brackett, D. J., Nuovo, G. J., & Schmittgen, T. D. (2008). Systematic evaluation of microRNA processing patterns in tissues, cell lines, and tumors. *Rna*, 14(1), 35-42.
- Lehotay, S. J., Tully, J., Garca, A. V., Contreras, M., Mol, H., Heinke, V., . . . Mastovska, K. (2007). Determination of pesticide residues in foods by acetonitrile extraction and partitioning with magnesium sulfate: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 90(2), 485-520.
- Lerouge, S., Wertheimer, M., & L'H, Y. (2001). Plasma sterilization: a review of parameters, mechanisms, and limitations. *Plasmas and Polymers*, 6(3), 175-188.
- Li, L., Zhang, H., & Huang, Q. (2015). New insight into the residual inactivation of *Microcystis aeruginosa* by dielectric barrier discharge. *Scientific reports*, 5.

- Liao, X., Liu, D., Xiang, Q., Ahn, J., Chen, S., Ye, X., & Ding, T. (2017). Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: a review. *Food control*, 75, 83-91.
- Lieberman, M. A., & Lichtenberg, A. J. (2005). *Principles of plasma discharges and materials processing*: John Wiley & Sons.
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60-75.
- Little, C., & Gillespie, I. (2008). Prepared salads and public health. *Journal of Applied Microbiology*, 105(6), 1729-1743.
- Lu, H., Patil, S., Keener, K. M., Cullen, P. J., & Bourke, P. (2014). Bacterial inactivation by high-voltage atmospheric cold plasma: influence of process parameters and effects on cell leakage and DNA. *Journal of Applied Microbiology*, 116(4), 784-794.
- Lucier, G., & Lin, B.-H. (2007). *Factors affecting carrot consumption in the United States*: USDA, Economic Research Service.
- Lunov, O., Churpita, O., Zablotskii, V., Deyneka, I., Meshkovskii, I., Jäger, A., . . . Deyneka, A. (2015). Non-thermal plasma kills bacteria: Scanning electron microscopy observations. *Applied Physics Letters*, 106(5), 053703.
- Ma, Y., Zhang, G.-J., Shi, X.-M., Xu, G.-M., & Yang, Y. (2008). Chemical mechanisms of bacterial inactivation using dielectric barrier discharge plasma in atmospheric air. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 36(4), 1615-1620.
- Mangaraj, S., Goswami, T., & Mahajan, P. (2009). Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 1(2), 133.
- Mangels, A. R., Holden, J. M., Beecher, G. R., Forman, M. R., & Lanza, E. (1993). Carotenoid content of fruits and vegetables: an evaluation of analytic data. *Journal of the American Dietetic Association*, 93(3), 284-296.
- Mannapperuma, J. D., Singh, R. P., & Montero, M. E. (1991). Simultaneous gas diffusion and chemical reaction in foods stored in modified atmospheres. *Journal of Food Engineering*, 14(3), 167-183.
- Matan, N., Puangjinda, K., Phothisuwan, S., & Nisoa, M. (2015). Combined antibacterial activity of green tea extract with atmospheric radio-frequency plasma against pathogens on fresh-cut dragon fruit. *Food control*, 50, 291-296.
- Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J., & Furr, H. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of food Science*, 67(5), 1964-1968.
- Mendis, D., Rosenberg, M., & Azam, F. (2000). A note on the possible electrostatic disruption of bacteria. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 28(4), 1304-1306.
- Millan-Sango, D., McElhatton, A., & Valdramidis, V. P. (2015). Determination of the efficacy of ultrasound in combination with essential oil of oregano for the decontamination of *Escherichia coli* on inoculated lettuce leaves. *Food research international*, 67, 145-154.
- Millan-Sango, D., Sammut, E., Van Impe, J. F., & Valdramidis, V. P. (2017). Decontamination of alfalfa and mung bean sprouts by ultrasound and aqueous chlorine dioxide. *LWT-Food Science and Technology*, 78, 90-96.

- Misra, N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, N., & Cullen, P. (2015). Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44, 115-121.
- Misra, N., Tiwari, B., Raghavarao, K., & Cullen, P. (2011). Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3(3-4), 159-170.
- Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M.-C., Pelletier, J., Philip, N., & Saoudi, B. (2002). Plasma sterilization. Methods and mechanisms. *Pure and applied chemistry*, 74(3), 349-358.
- Morent, R., & De Geyter, N. (2011). Biomedical Engineering-Frontiers and Challenges. Chapter 2. Inactivation of Bacteria by Non.
- Ngadi, M. (2012). Microbial decontamination of food by pulsed electric fields (PEFs). A., Demirci, & MO, Ngadi (Eds.), *Microbial Decontamination in the Food Industry: Novel Methods and Applications*, 407-449.
- Nguyen-the, C., & Prunier, J. (1989). Involvement of pseudomonads in deterioration or 'ready-to-use' salads. *International Journal of Food Science & Technology*, 24(1), 47-58.
- Nguyen, C., & Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(4), 371-401.
- Niemira, B. (2014). Decontamination of foods by cold plasma. *Book Chapter*.
- Niemira, B. A., & Gutsol, A. (2011). Nonthermal plasma as a novel food processing technology. *Nonthermal processing technologies for food*, 272-288.
- Niemira, B. A., & Sites, J. (2008). Cold plasma inactivates Salmonella Stanley and Escherichia coli O157: H7 inoculated on golden delicious apples. *Journal of food protection*, 71(7), 1357-1365.
- Oh, Y. J., Song, A. Y., & Min, S. C. (2017). Inhibition of Salmonella typhimurium on radish sprouts using nitrogen-cold plasma. *International Journal of Food Microbiology*, 249, 66-71.
- Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 13-26.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., . . . Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139-148.
- Ooraikul, B., & Stiles, M. (1990). Modified atmosphere packaging of food. E. Horwood. In: Chapman and Hall, London.
- Özdemir, F., Aksu, M. İ., & Sebahattin, N. (1997). ISIL İŞLEMSİZ ELDE EDİLEN KUŞBURNU PULPLARINDAN FARKLI PULP/ŞEKER ORANLARINDA ÜRETİLEN MARMELATLARIN KALİTE ÖZELLİKLERİ. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2), 353-358.
- Özyürek, H., İncedayı, B., & Tamer, C. E. (2013). MİNİMAL İŞLENMİŞ GIDALAR. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*(13).
- Parviainen, M. T., & Nyssonen, K. (1992). Ascorbic acid. *Modern Chromatographic Analysis of Vitamins*. Marcel Dekker, New York.
- Pasquali, F., Stratakos, A. C., Koidis, A., Berardinelli, A., Cevoli, C., Ragni, L., . . . Trevisani, M. (2016). Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf

- decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). *Food control*, 60, 552-559.
- Pekyardımcı, Ş. (1992). Polifenol oksidaz enzimi ve esmerleşme reaksiyonlarının Gıda endüstrisi uygulamaları. *GIDA/THE JOURNAL OF FOOD*, 17(3).
- Perni, S., Shama, G., & Kong, M. G. (2008). Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. *Journal of food protection*, 71(8), 1619-1625.
- Pilon, L., Oetterer, M., Gallo, C. R., & Spoto, M. H. (2006). Shelf life of minimally processed carrot and green pepper. *Food Science and Technology (Campinas)*, 26(1), 150-158.
- Punzi, J. S., Lamont, M., Haynes, D., & Epstein, R. L. (2005). USDA pesticide data program: pesticide residues on fresh and processed fruit and vegetables, grains, meats, milk, and drinking water. *Outlooks on Pest Management*, 16(3), 131.
- Rababah, T. M., Al-Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M. N., Ereifej, K., & Al-u'datt, M. (2011). Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.
- Ragaert, P., Verbeke, W., Devlieghere, F., & Debevere, J. (2004). Consumer perception and choice of minimally processed vegetables and packaged fruits. *Food Quality and Preference*, 15(3), 259-270.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Balasubramaniam, V., Niranjana, K., & Knorr, D. (2007). Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(1), 69-112.
- Razali, M., Habsah, M., & Omar, D. C. (2005). Quality of minimally processed cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) stored at different temperatures. *JOURNAL OF TROPICAL AGRICULTURE AND FOOD SCIENCE*, 33(1), 39.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9), 1231-1237.
- Remon, S., Ferrer, A., Venturini, M. E., & Oria, R. (2006). On the evolution of key physiological and physicochemical parameters throughout the maturation of Burlat cherry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(4), 657-665.
- Rico, D., Martin-Diana, A. B., Barat, J., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 373-386.
- Rodriguez, E. B., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2007). Formation of apocarotenals and epoxycarotenoids from β -carotene by chemical reactions and by autoxidation in model systems and processed foods. *Food Chemistry*, 101(2), 563-572.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 438-447.
- Roller, S., & Seedhar, P. (2002). Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4° and 8° C. *Letters in Applied Microbiology*, 35(5), 390-394.
- Ronk, R., Carson, K., & Thompson, P. (1989). Processing, packaging, and regulation of minimally processed fruits and vegetables. *Food technology (USA)*.

- Sagoo, S., Little, C., Ward, L., Gillespie, I., & Mitchell, R. (2003). Microbiological study of ready-to-eat salad vegetables from retail establishments uncovers a national outbreak of salmonellosis. *Journal of food protection*, 66(3), 403-409.
- Sağlam, M. (2008). *Depolama aşamasında hububat ve baklagil kökenli tanelerde bulunan küfler üzerine plazma uygulamasının inhibisyon etkisi*. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Sapers, G. M., Novak, J. S., & Juneja, V. K. (2002). Microbial safety of minimally processed foods.
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P., & Bourke, P. (2017a). Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative food science & emerging technologies*.
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P., & Bourke, P. (2017b). Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative food science & emerging technologies*, 44, 235-241.
- Sarig, P., Zahavi, T., Zutkhi, Y., Yannai, S., Lisker, N., & Ben-Arie, R. (1996). Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 48(6), 403-415.
- Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M.-A., Roy, S. L., . . . Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging infectious diseases*, 17(1), 7.
- Serrano, M., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S., & Valero, D. (2006). Maintenance of broccoli quality and functional properties during cold storage as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 39(1), 61-68.
- Sharma, R., & Demirci, A. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of food Science*, 68(4), 1448-1453.
- Siddiqui, M. W., & Rahman, M. S. (2015). *Minimally processed foods: Technologies for safety, quality, and convenience*: Springer.
- Song, H. P., Kim, B., Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W., & Jo, C. (2009). Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*, 26(4), 432-436.
- Sonti, S. (2003). Consumer perception and application of edible coatings on fresh-cut fruits and vegetables.
- Standard, B., & ISO, B. (2007). Sterilization of health care products—Ethylene oxide—
- Steinmetz, K. A., & Potter, J. D. (1991). Vegetables, fruit, and cancer. I. Epidemiology. *Cancer Causes & Control*, 2(5), 325-357.
- Suganuma, H., Oshima, S., & Inakuma, T. (2002). Hypocholesterolemic effect of oral administration of β -carotene and carrot juice in exogenous hypocholesterolemic mice. *Japan. J. Food Chem*, 9, 15-21.
- Surowsky, B., Schlüter, O., & Knorr, D. (2015). Interactions of non-thermal atmospheric pressure plasma with solid and liquid food systems: a review. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 82-108.
- Şanal, İ. S., & Çalimli, A. (2000). Yüksek hidrostatik basınç teknolojisi ve gıda endüstrisinde uygulamaları. *GIDA/THE JOURNAL OF FOOD*, 25(3).

- Şen, Y. (2015). Atmosferik Basınç Plazma Uygulamasının Gıdaların Dekontaminasyonu ve Detoksifikasyonu Amacıyla Kullanımı.
- Tan, B. K., Watson, I. A., Parton, R., & Peden, I. (2005). A real-time monitoring and detection instrument for analysis of the effects of O₃ on bioluminescent *Escherichia coli* on agar surfaces—potential applications to the food industry. *Innovative food science & emerging technologies*, 6(2), 183-188.
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., & Leprince, P. (2006). Atmospheric pressure plasmas: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 61(1), 2-30.
- Thomas, R. S. (1964). Ultrastructural localization of mineral matter in bacterial spores by microincineration. *The Journal of cell biology*, 23(1), 113-133.
- Tiwari, B., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C., Chenchiah, M., & Cullen, P. (2008). Effect of ozonation on the rheological and colour characteristics of hydrocolloid dispersions. *Food research international*, 41(10), 1035-1043.
- Trompeter, F.-J., Neff, W. J., Franken, O., Heise, M., Neiger, M., Liu, S., . . . Saveljew, A. B. (2002). Reduction of *Bacillus subtilis* and *Aspergillus niger* spores using nonthermal atmospheric gas discharges. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 30(4), 1416-1423.
- Tseng, S., Abramzon, N., Jackson, J. O., & Lin, W.-J. (2012). Gas discharge plasmas are effective in inactivating *Bacillus* and *Clostridium* spores. *Applied microbiology and biotechnology*, 93(6), 2563-2570.
- Uddin, M., Hawlader, M., Ding, L., & Mujumdar, A. (2002). Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 21-26.
- Vaclavik, V. A., & Christian, E. W. (2014). Food Preservation. In *Essentials of food science* (pp. 323-342): Springer.
- Valdramidis, V., Cullen, P. J., Tiwari, B., & O'donnell, C. (2010). Quantitative modelling approaches for ascorbic acid degradation and non-enzymatic browning of orange juice during ultrasound processing. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 449-454.
- Van Bokhorst-van de Veen, H., Xie, H., Esveld, E., Abee, T., Mastwijk, H., & Groot, M. N. (2015). Inactivation of chemical and heat-resistant spores of *Bacillus* and *Geobacillus* by nitrogen cold atmospheric plasma evokes distinct changes in morphology and integrity of spores. *Food Microbiology*, 45, 26-33.
- Van der Hoff, G. R., & van Zoonen, P. (1999). Trace analysis of pesticides by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 843(1), 301-322.
- Varoquaux, P., & Wiley, R. (1994). Chap. 6. *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables* (RC Wiley, Ed.), Chapman & Hall, London.
- Vervoort, L., Grauwet, T., Njoroge, D. M., Van der Plancken, I., Matser, A., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2013). Comparing thermal and high pressure processing of carrots at different processing intensities by headspace fingerprinting. *Innovative food science & emerging technologies*, 18, 31-42.
- Vervoort, L., Van der Plancken, I., Grauwet, T., Verlinde, P., Matser, A., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2012). Thermal versus high pressure processing of carrots: a comparative pilot-scale study on equivalent basis. *Innovative food science & emerging technologies*, 15, 1-13.
- Wang, M., Chen, Q.-y., Chen, G.-l., & Yang, S.-z. (2007). Effect of Atmospheric Pressure Plasma on Growth and Development of Lettuce [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 6, 023.

- Wang, R., Nian, W., Wu, H., Feng, H., Zhang, K., Zhang, J., . . . Fang, J. (2012a). Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. *The European Physical Journal D*, 66(10), 276.
- Wang, R., Nian, W., Wu, H., Feng, H., Zhang, K., Zhang, J., . . . Fang, J. (2012b). Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physiochemical properties evaluation. *The European Physical Journal D-Atomic, Molecular, Optical and Plasma Physics*, 66(10), 1-7.
- Werner, B., & Hotchkiss, J. (2006). Modified atmosphere packaging. *Microbiology of fruits and vegetables*, 437-460.
- Wysok, B., Uradziński, J., & Gomółka-Pawlicka, M. (2006). Ozone as an alternative disinfectant-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 15(1), 3.
- Yangıar, F., & Oğuzhan, P. (2013). The use of plasma technologies in food industry. *GIDA-Journal of Food*, 38(3), 183-189.
- Yemenicioğlu, A., & Cemeroğlu, B. (1996). Hale Heven Şeftalilerinde Polifenol Oksidaz Enzimlerinin Bazı Nitelikleri. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22, 261-265.
- Yilmaz, E., & Bagci, P. O. (2018). Production of phytotherapeutics from broccoli juice by integrated membrane processes. *Food Chemistry*, 242, 264-271.
- Yun, H., Kim, B., Jung, S., Kruk, Z. A., Kim, D. B., Choe, W., & Jo, C. (2010). Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food control*, 21(8), 1182-1186.
- Zagory, D. (1999). Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 313-321.
- Zhuang, H., Hildebrand, D. F., & Barth, M. M. (1995). Senescence of broccoli buds is related to changes in lipid peroxidation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 43(10), 2585-2591.
- Zimmermann, U., Pilwat, G., & Riemann, F. (1974). Dielectric breakdown of cell membranes. *Biophysical journal*, 14(11), 881-899.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Efe BAKLA
Doğum Yeri : Malkara/ Tekirdağ
Doğum Tarihi : 22.03.1981
Medeni Hali : Evli
E-Posta : efebakla@hotmail.com
Eğitim ve Akademik Durumu
Lise : 1992-1999 Tekirdağ Anadolu Lisesi
Lisans : 1999-2003 Selçuk Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü
Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

2003-2004; Ayso Gıda – Silivri Merkez
Üretim ve Hijyen Sorumlusu
2004-2005; Ayso Gıda – Azerbaycan
Proje Müdürü
2006-2011; Şahin Dirik A.Ş
Üretim Müdürü
2011-Devam; Edirne Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü
Kimyasal Laboratuvar Birimi
Kalite Yönetim Birimi