

**KISA DALGA ULTRAVİOLE (UVC) İŞINLARIN  
GIDALARDA YÜZEY PASTÖRİZASYONU İLE KISA  
DALGA ULTRAVİOLE VE UZAK İNFRARED (FIR)  
İŞINLARIN TANE KARABİBER VE KİMYON  
PASTÖRİZASYONUNDA KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**S. BELGİN ERDOĞDU**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**MERSİN  
HAZİRAN – 2011**

**KISA DALGA ULTRAVİOLE (UVC) İŞINLARIN  
GIDALARDA YÜZEY PASTÖRİZASYONU İLE KISA  
DALGA ULTRAVİOLE VE UZAK İNFRARED (FIR)  
İŞINLARIN TANE KARABİBER VE KİMYON  
PASTÖRİZASYONUNDA KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**S. BELGİN ERDOĞDU**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**Danışman  
Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ**

**MERSİN  
HAZİRAN – 2011**

S. Belgin ERDOĞDU tarafından Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ danışmanlığında hazırlanan “Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Işınların Gıdalarda Yüzey Pastörizasyonu ile Kısa Dalga Ultraviöle ve Uzak İnfrared (FIR) Işınların Tane Karabiber ve Kimyon Pastörizasyonunda Kullanımının Araştırılması” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ

Prof. Dr. Mahir TURHAN

Prof. Dr. Ayla ÖZER

Prof. Dr. Hüseyin ERTEN

Yrd. Doç. Dr. Salih AKSAY

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08./09./2011 tarih ve 2011.19./346 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. A. Murat GİZİR  
Enstitü Müdürü



*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## KISA DALGA ULTRAVİÖLE (UVC) IŞINLARIN GIDALARDA YÜZEY PASTÖRİZASYONU İLE KISA DALGA ULTRAVİÖLE VE UZAK İNFRARED (FIR) IŞINLARIN TANE KARABİBER VE KİMYON PASTÖRİZASYONUNDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

S. Belgin ERDOĞDU

### ÖZ

Günümüzde mümkün olduğunca az işlem görmüş, koruyucu katkı maddesi içermeyen, yüksek besin değerine sahip, doğal gıda ve gıda ürünlerine olan talep gittikçe artmıştır. Bu durum güvenli gıda üretiminde yeni koruma yöntemlerine olan gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Tez çalışması kapsamında; kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınların gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri ile çeşitli bitkisel (baharat, taze kültür mantarı) ve hayvansal (işlem görmemiş taze kırmızı et) gıda maddelerinde yüzey mikrobiyal yükün düşürülerek gıda raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmış, UVC ve uzak infrared (FIR) ışınların baharat pastörizasyonundaki etkinliği ve uygulamanın mikrobiyal yük yanında baharat kabul edilirliliğini etkileyen kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada ayrıca UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkinliğinin sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli cihazlarda test edilmesi ile pastörizasyona yönelik kaliteden ödün vermeyen güvenilir bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada besiyeri yüzeyine yayılan bakteri kültürleri üzerinde UVC ışınların oldukça etkili olduğu belirlenmiş, 0,5 mW/cm<sup>2</sup> ışın şiddetinde *S. Typhimurium* ATCC 14028, *S. aureus* ATCC 25923 ve *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterilerinin *D* değerleri sırasıyla 18,02, 9,79 ve 4,48 saniye olarak hesaplanmıştır. Baharatların UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sırasında sıcaklıklarında önemli bir artış meydana gelmediği, oldukça kısa işlem sürelerinde FIR ışınlarına maruz kalmaları sırasında ise tane yüzey mikrobiyal yükünde azalma sağlanırken, iç kısımlardaki ürün bileşenlerinde önemli düzeyde kayıplar meydana gelmeden yüzey pastörizasyonunun sağlanabildiği belirlenmiştir. Çalışmada mezofilik aerobik bakteri düzeyi 10<sup>5,6</sup> kob/g olan tane kimyon örneklerinin 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 1,57, 2,8 ve 4,8 dakika FIR ışınlarına maruz kalmaları ardından 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları ile örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen 10<sup>4</sup> kob/g sınırına düşürülebildiği, bu sırada örneklerin içermiş olduğu koliform ve fekal koliform bakteriler ile maya-küf açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiş, uygulama sonunda örneklerin uçucu yağ miktarlarında önemli bir değişim meydana gelmediği saptanmıştır. Yapılan endüstriyel ölçekli çalışmalarda da FIR ve UVC ışınların baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik uygun bir yöntem olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ultraviöle, İnfrared, Yüzey Pastörizasyonu, Karabiber, Kimyon

**Danışman:** Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ, Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**USE OF ULTRAVIOLET (UVC) LIGHT ON SURFACE  
PASTEURISATION OF FOODS AND  
APPLICATION OF ULTRAVIOLET AND FAR INFRARED (FIR)  
LIGHT FOR PASTEURIZATION OF CUMIN AND BLACK PEPPER SEEDS**

**S. Belgin ERDOĞDU**

**ABSTRACT**

Demand for natural and minimally processed food products, containing no additional preservatives with a high nutritional quality, has gradually increased. This led to the requirements for new preservation techniques to produce safe foods. In this study, the effect of UVC light on microorganisms, that cause microbial spoilage in foods and food borne microbial illnesses, and extending the shelf life of some plant (spices and fresh cultivated mushrooms) and animal foods (non-processed red meats) by reducing surface microbial loads was determined. In addition, effects of UVC and far infrared (FIR) treatments upon the spice pasteurization on microbial decontamination and quality parameters were shown. In this concept, the UVC light was found to be significantly effective on bacteria inoculated on agar plates, and D values for *S. Typhimurium* ATCC 14028, *S. aureus* ATCC 25923 and *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 were determined to be 18.02, 9.79 and 4.48 s, respectively at 0.5 mW/cm<sup>2</sup>. During the UVC treatment of spices, however, there was no significant temperature increase reported while the FIR treatment resulted in significant reduction of the surface microbial load without causing any detrimental defects to the quality parameters in a rather shorter treatment time. The results showed that the total mesophilic aerobic bacteria of the cumin seeds were decreased to the target level of 10<sup>4</sup> from 10<sup>5.6</sup> cfu/g after 1.57, 2.8 and 4.8 min FIR treatment at 300, 250 and 200°C, respectively following a 2 h UVC treatment under 10.5 mW/cm<sup>2</sup> light intensity. Under the given conditions, a complete elimination for coliform-fecal coliform bacteria and total yeast-mold were also obtained while there were no significant changes in volatile oil content of the cumin seeds. Consequently, combined UVC and FIR treatment was determined to be a promising method for decontamination of the cumin seeds. Based on these, in the industrial scale applications, potential use of UVC and FIR treatment as a proper method for reducing surface microbial contamination of the spice seeds was demonstrated.

**Key words:** Ultraviolet, Infrared, Surface Pasteurization, Cumin, Black Pepper

**Advisor:** Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ, University of Mersin, Department of Food Engineering

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında büyük emeği geçen, bana her konuda her zaman yardımcı olan, yol gösteren ve manevi desteğini her an hissettiğim çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. H. İbrahim Ekiz' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin oluşumundaki katkılarından dolayı tez izleme komitesindeki hocalarım ve doktora öğrenimim süresince bana her türlü yardımı esirgemeyen değerli bölüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

BAP-FBE GM (SBE) 2011-2 DR nolu doktora tez ve MÜH.F.GM(HİE) 2006-3 nolu araştırma projeleri ile destekleyen ME.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne, AGY 1507 Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı kapsamında 7070293 nolu araştırma projesi ile destekleyen Tübitak' a ve deneysel çalışmalar için tüm imkanları sunan ME.Ü. Gıda Mühendisliği Bölümüne teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışması kapsamında İnfrared (FIR) ve Ultraviöle (UVC) ışınların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkinliğinin sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli FIR ve UVC ünitelerinden oluşan "Baharat Pastörizasyon Ünitesi' nde" test edilmesine yönelik yapılan çalışmalarda her türlü imkanı sunan Kadioğlu Baharat San. ve Tic. A.Ş. firması yetkilileri ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Her biri çok renkli ve her an yanımda olan miniğimin ablaları sevgili bölüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ve sevgili ailem, hayatımın her anında sevginizi ve güveninizi hissettirdiğiniz için en içten teşekkürler...

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b> .....	<b>7</b>
2.1. ELEKTROMAGNETİK RADYASYON.....	7
2.1.1. İnfrared Işınımı (Radyasyonu).....	10
2.1.1.1. İnfrared ışınımın mikrobiyal inaktivasyon mekanizması.....	12
2.1.1.2. İnfrared ışınımın mikrobiyal inaktivasyon gücüne etki eden faktörler.....	14
2.1.1.3. İnfrared ışın kaynakları.....	19
2.1.2. Ultraviyole Işınımı (Radyasyonu).....	20
2.1.2.1. Kısa dalga ultraviyole (UVC) ışınımın mikrobiyal inaktivasyon mekanizması.....	22
2.1.2.2. Ultraviyole ışınımın mikrobiyal inaktivasyon gücüne etki eden faktörler.....	25
2.1.2.3. Ultraviyole ışın kaynakları.....	28
2.2. MİKROORGANİZMALAR.....	30
2.2.1. <i>Escherichia coli</i> O157:H7.....	30
2.2.2. <i>Staphylococcus aureus</i> .....	32
2.2.3. <i>Salmonella</i> Typhimurium.....	34
2.3. BAHARATLAR.....	38
2.4. İŞLEM GÖRMEMİŞ TAZE KIRMIZI ET.....	45
2.5. TAZE MEYVE VE SEBZE.....	52
2.5.1. Taze Kültür Mantarı.....	62

<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>67</b>
3.1. MATERYAL.....	67
3.1.1. Baharatlar.....	67
3.1.2. Taze Kırmızı Et.....	67
3.1.3. Taze Kültür Mantarı.....	67
3.1.4. Mikroorganizmalar.....	68
3.1.5. Besiyeri, Kimyasal, Cam Malzeme, Alet ve Ekipmanlar.....	68
3.1.5.1. Besiyerleri.....	68
3.1.5.2. Kimyasallar.....	69
3.1.5.3. Cam malzemeler.....	69
3.1.5.4. Alet ve ekipmanlar.....	69
3.2. YÖNTEM.....	71
3.2.1. Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Işın Uygulamaları.....	71
3.2.2. Uzak İnfrared (FIR) Işın Uygulamaları.....	72
3.2.2.1. Uzak infrared (FIR) ışınlara maruz bırakılan örneklerin yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi.....	73
3.2.2.2. İnfrared tünel içerisinde örneğe aktarılan ısı akısı değerlerinin belirlenmesi.....	75
3.2.3. Mikroorganizmalar.....	75
3.2.3.1. Stok kültür hazırlama.....	75
3.2.3.2. Mikroorganizmaların gelişim eğrilerinin belirlenmesi.....	76
3.2.3.3. Mikroorganizmaların gelişim parametrelerinin hesaplanması ve çizilen gelişim eğrilerinin matematiksel modellere uygunluğunun belirlenmesi.....	77
3.2.3.4. Besiyeri yüzeyine yayılan kültürlerin hazırlanması.....	79
3.2.3.5. Besiyeri yüzeyine yayılan mikroorganizma kültürlerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınlara maruz bırakılmaları.....	80
3.2.4. Baharatlar.....	81
3.2.4.1. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin mikrobiyal yüklerinin belirlenmesi.....	81
3.2.4.1.1. <i>Salmonella</i> analizi.....	82
3.2.4.1.2. <i>Toplam mezofilik aerobik bakteri analizi</i> .....	84
3.2.4.1.3. <i>Toplam maya-küf analizi</i> .....	84
3.2.4.1.4. <i>Bacillus cereus</i> analizi.....	85
3.2.4.1.5. <i>Staphylococcus aureus</i> analizi.....	87
3.2.4.1.6. <i>Koliform, fekal koliform, Escherichia coli analizleri</i> .....	89
3.2.4.1.7. <i>Escherichia coli O157:H7 analizi</i> .....	90
3.2.4.2. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ve uzak infrared (FIR) ışınlara maruz bırakılmaları.....	90



3.2.4.2.1. Tane kimyon örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılma koşulları.....	90
3.2.4.2.2. Tane kimyon örneklerinin uzak infrared (FIR) ışıklara maruz bırakılma koşulları.....	91
3.2.4.2.3. Tane kimyon örneklerinin ardarda uzak infrared ve kısa dalga ultraviyole ışıklara maruz bırakılma koşulları (kombine FIR+UVC ışın uygulaması).....	91
3.2.4.2.4. Tane karabiber örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılma koşulları.....	92
3.2.4.2.5. Tane karabiber örneklerinin uzak infrared (FIR) ışıklara maruz bırakılma koşulları.....	92
3.2.4.2.6. Tane karabiber örneklerinin ardarda uzak infrared ve kısa dalga ultraviyole ışıklara maruz bırakılma koşulları (kombine FIR+UVC ışın uygulaması).....	92
3.2.4.3. Tane kimyon ve karabiber örneklerinde fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan analizler.....	93
3.2.4.3.1. Ağırlık kayıplarının belirlenmesi.....	93
3.2.4.3.2. Nem tayini.....	93
3.2.4.3.3. Uçucu yağ tayini.....	95
3.2.4.3.4. Renk analizi.....	96
3.2.4.3.5. Su aktivitesi.....	96
3.2.4.3.6. Kalıcı yağ (uçucu olmayan eter ekstraktı).....	97
3.2.4.4. Tane kimyon örneklerine <i>Escherichia coli</i> O157:H7 kültürü inokulasyonu.....	97
3.2.4.4.1. Kültür inokule edilen tane kimyon örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılmaları.....	98
3.2.4.4.2. Kültür inokule edilen tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklıklarda uzak infrared (FIR) ışıklara maruz bırakılmaları...	99
3.2.4.5. Tane kimyon örneklerinin endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” uzak infrared (FIR) ve kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılmaları.....	99
3.2.5. Taze Kırmızı Et.....	101
3.2.5.1. Parça dana eti yüzeyine <i>Escherichia coli</i> O157:H7 kültürü inokulasyonu.....	101
3.2.5.1.1. Kültür inokule edilen parça dana eti örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılmaları.....	101
3.2.6. Taze Kültür Mantarı.....	102
3.2.6.1. Taze kültür mantarı örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışıklara maruz bırakılmaları.....	102
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>104</b>
4.1. MİKROORGANİZMALAR.....	104
4.1.1. Mikroorganizmaların Gelişim Eğrileri.....	104

4.1.1.1. Mikroorganizmaların gelişim parametrelerinin belirlenmesi ve çizilen gelişim eğrilerinin matematiksel modellere uygunluğunun belirlenmesi.....	108
4.1.2. Besiyeri Yüzeyine Yayılan Mikroorganizma Kültürleri Üzerine Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Işınların Etkisi.....	118
4.2. BAHARATLAR.....	130
4.2.1. Tane Kimyon ve Karabiber Örneklerinin Mikrobiyal Yükleri.....	130
4.2.2. Tane Kimyon Örnekleri Mikrobiyal Yükü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınlar ile FIR+UVC Işınların Kombine Etkileri.....	135
4.2.2.1. Mikrobiyal yük üzerinde kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınların etkileri.....	135
4.2.2.2. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared (FIR) ışınların etkileri.....	137
4.2.2.3. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared ve kısa dalga ultraviöle ışınların kombine etkileri (FIR+UVC).....	139
4.2.3. Uzak İnfrared (FIR) Işınlara Maruz Bırakılan Kimyon Örneklerinin Tane Yüzey Sıcaklıklarının Tünel İçerisinde Ayarlan Isıtıcı Yüzey Sıcaklığı İlişkisi.....	148
4.2.4. Tane Kimyon Örneklerinde Fiziksel ve Kimyasal Kalite Özellikleri Üzerinde Uzak İnfrared (FIR) Işınların Etkileri.....	150
4.2.4.1. FIR+UVC ışınların kombine uygulamaların tane kimyon örneklerinde mikrobiyal yük, renk, nem ve ağırlık kayıpları üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi.....	164
4.2.5. Tane Karabiber Örnekleri Mikrobiyal Yükü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınlar ile FIR+UVC Işınların Kombine Etkileri.....	174
4.2.6. Uzak İnfrared (FIR) Işınlara Maruz Bırakılan Karabiber Örneklerinin Tane Yüzey Sıcaklıklarının Tünel İçerisinde Ayarlan Isıtıcı Yüzey Sıcaklığı İlişkisi.....	174
4.2.7. Tane Karabiber Örneklerinde Fiziksel ve Kimyasal Kalite Özellikleri Üzerinde Uzak İnfrared (FIR) Işınların Etkileri.....	176
4.2.8. Tane Kimyon Örneklerine İnokule Edilen Mikroorganizma Kültürü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınların Etkileri.....	182
4.2.9. Endüstriyel Ölçekli Uzak İnfrared (FIR) ve Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Ünitelerinden Oluşan “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” Yapılan Denemeler.....	187
4.3. TAZE KIRMIZI ET.....	198
4.3.1. Dana Eti Yüzeyine İnokule Edilen Mikroorganizma Kültürü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Işınların Etkisi.....	198

4.4. TAZE KÜLTÜR MANTARI.....	207
4.4.1. Taze Kültür Mantarı Yüzey Mikrobiyal Yükü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) Işınların Etkisi.....	207
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>214</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>227</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ.....</b>	<b>254</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Gelişim eğrilerinin tanımlanmasında kullanılan modeller modifiye formları [Zwietering vd., 1990].....	78
Çizelge 4.1. <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 ve <i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakteri suşlarının özgül üreme hızı, gecikme zamanı, asimptot değerleri.....	112
Çizelge 4.2. Gelişim eğrilerinin Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerine uygunluğunun belirlenmesi amacıyla hesaplanan parametreler.....	114
Çizelge 4.3. Bakterilerin farklı UVC ışın şiddetlerinde hesaplanan <i>D</i> değerleri.....	126
Çizelge 4.4. Türk Gıda Kodeksi 2000-16 nolu Baharat Tebliği' nde belirtilen mikrobiyolojik kriterler.....	130
Çizelge 4.5. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin mikrobiyal yükü.	131
Çizelge 4.6. Tane kimyon ve karabiber örneklerinde saptanan mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf miktarları.....	132
Çizelge 4.7. UVC ışınların tane kimyon yüzeyindeki bazı mikroorganizma grupları üzerindeki etkisi.....	135
Çizelge 4.8. Tane kimyon ham madde özellikleri.....	150
Çizelge 4.9. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında yapılan kombine uygulamalarda mezofilik aerobik bakteri sayısının 10 <sup>4</sup> kob/g düzeyine düşürülebildiği 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika FIR muamele süreleri sonrasında tane kimyon örneklerinin belirlenen kırmızılık (a*), nem ve yüzey sıcaklık değerleri.....	168
Çizelge 4.10. Tane karabiber ham madde özellikleri.....	176
Çizelge 4.11. Tane kimyon yüzeyine aktarılan <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu için belirlenen geri kazanım sonuçları.....	182
Çizelge 4.12. <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşunun farklı sıcaklıklarda hesaplanan <i>D</i> değerleri.....	185
Çizelge 4.13. Parça et yüzeyine aktarılan <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu için belirlenen geri kazanım sonuçları.....	199
Çizelge 4.14. UVC ışınların taze kültür mantarı yüzey mikrobiyal florası üzerindeki etkisi.....	208

## ŞEKİLLER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.	Şekil 2.1. Elektromagnetik dalga spektrumu.....	9
Şekil 3.1.	Kapalı sistem kısa dalga ultraviole (UVC) ışın kabini.	71
Şekil 3.2.	Kısa dalga ultraviole (UVC) ışın kabini.....	72
Şekil 3.3.	Uzak infrared (FIR) ışın tüneli.....	73
Şekil 3.4.	Baharat nem tayin düzeneği.....	94
Şekil 3.5.	Baharat uçucu yağ düzeneği.....	95
Şekil 3.6.	Tane kimyon örneklerine kültür inokulasyonu.....	98
Şekil 4.1. a-b.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrisi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).....	105
Şekil 4.2. a-b.	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrisi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).....	106
Şekil 4.3. a-b.	<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrisi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).....	107
Şekil 4.4. a-b.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin inkübasyon süresine karşı $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$ değerleri....	111
Şekil 4.5.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrileri.....	112
Şekil 4.6.	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrileri.....	113
Şekil 4.7.	<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrileri.....	113
Şekil 4.8.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin deneysel ve model $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$ verileri arasındaki korelasyon.....	115
Şekil 4.9.	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisinin	

	deneysel ve model $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$ verileri arasındaki korelasyon.....	115
Şekil 4.10.	<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin deneysel ve model $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$ verileri arasındaki korelasyon.....	116
Şekil 4.11.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin fark analiz sonuçları.....	116
Şekil 4.12.	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisinin fark analiz sonuçları.....	117
Şekil 4.13.	<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin fark analiz sonuçları.....	117
Şekil 4.14.	0,52 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan <i>Pseudomonas aurogenes</i> ATCC 27853 bakterisi üzerindeki etkisi.....	119
Şekil 4.15.	0,52 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan <i>Staphylococcus aureus</i> bakterisi üzerindeki etkisi.....	119
Şekil 4.16.	0,52 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan klinik <i>Escherichia coli</i> izolatı üzerindeki etkisi.....	120
Şekil 4.17.	Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisi üzerindeki etkisi.....	122
Şekil 4.18.	Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisi üzerindeki etkisi.....	122
Şekil 4.19.	Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan <i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisi üzerindeki etkisi.....	123
Şekil 4.20.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde <i>D</i> değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı $\log(N)$ değışim değerlerinin doğrusal bölgeleri.....	124
Şekil 4.21.	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde <i>D</i> değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı $\log(N)$ değışim değerlerinin doğrusal bölgeleri.....	125
Şekil 4.22.	<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde <i>D</i> değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı $\log(N)$ değışim değerlerinin doğrusal bölgeleri.....	125
Şekil 4.23.	10,5 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlara maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin UVC muamele sürelerine bağlı olarak değışen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	136

Şekil 4.24. a-b.	Farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenmeleri sırasında FIR muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{4,7}$ kob/g, b; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{5,6}$ kob/g).....	138
Şekil 4.25.	Tane kimyon örneklerinin 250 °C infrared tünel sıcaklığında 2,08 dakika FIR ışınlar maruz bırakılmaları ardından $10,5 \text{ mW/cm}^2$ sabit ışın şiddetinde UVC ışınlar maruz bırakılmaları sırasında UVC muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	140
Şekil 4.26. a-b.	Farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlar maruz bırakıldıktan sonra $10,5 \text{ mW/cm}^2$ sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumunda FIR muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{4,7}$ kob/g, b; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{5,6}$ kob/g).....	141
Şekil 4.27. a-b-c.	Başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{5,6}$ kob/g olan tane kimyon örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).....	143
Şekil 4.28. a-b.	Başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi $10^{4,7}$ kob/g olan tane kimyon örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; 200, b; 300 °C).....	144
Şekil 4.29.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağılı olarak değişen yüzey sıcaklık değerleri.....	148
Şekil 4.30. a-b-c.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika işlem süreleri sonrasında infrared kamera ile alınan örnek yüzey ısı dağılım görüntüleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).....	149
Şekil 4.31.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağılı olarak değişen uçucu yağ miktarları.....	150

Şekil 4.32.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri.....	153
Şekil 4.33.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen nem değerleri.....	154
Şekil 4.34.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen ağırlık değerleri.....	155
Şekil 4.35. a-b-c.	Tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane yüzey sıcaklık değerleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).....	158
Şekil 4.36.	Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane yüzey sıcaklık değerleri arasındaki ilişki.....	159
Şekil 4.37.	Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile nem değerleri arasındaki ilişki.....	160
Şekil 4.38.	Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile ağırlık kayıpları arasındaki ilişki.....	161
Şekil 4.39.	Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri arasındaki ilişki.....	161
Şekil 4.40. a-b-c.	200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlar maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlar maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin FIR işlem sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyi, nem miktarı, ağırlık kaybı ve kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri (a; 200 °C, b; 250 °C c; 300 °C).....	167
Şekil 4.41.	Farklı infrared tünel sıcaklıklarında yapılan kombine uygulamalarda tane kimyon örneklerinin beslendiği	



	infrared tünel sıcaklıklarına bağlı olarak değişen örnek yüzey sıcaklığı, mezofilik aerobik bakteri düzeyi, kırmızılık ( $a^*$ ) ve nem değerleri ile örneklerin FIR ışınlarına maruz kaldığı FIR muamele süreleri.....	169
Şekil 4.42.	300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	171
Şekil 4.43.	300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	172
Şekil 4.44.	Tane karabiber örneklerinin 300 °C infrared tünel sıcaklığında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	173
Şekil 4.45.	Tane karabiber örneklerinin 350 °C infrared tünel sıcaklığında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	173
Şekil 4.46.	300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen yüzey sıcaklık değerleri.....	175
Şekil 4.47. a-b.	300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 4,5 ve 3,3 dakika işlem süreleri sonrasında infrared kamera ile alınan örnek yüzey ısı dağılım görüntüleri (a; 300, b; 350 °C).....	175
Şekil 4.48.	250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen uçucu yağ miktarları.....	177
Şekil 4.49.	300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri.....	177
Şekil 4.50.	200, 250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen nem değerleri.....	178
Şekil 4.51.	200, 250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen ağırlık değerleri.....	178

Şekil 4.52. a-b.	300 °C ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlar maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlar maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyi, nem miktarı, ağırlık kaybı ve kırmızılık (a*) değerleri (a; 300, b; 350 °C).....	180
Şekil 4.53.	UVC ışınların tane kimyon örneklerine inokule edilen <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATTC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi.....	183
Şekil 4.54.	Farklı FIR tünel sıcaklıklarında yapılan uygulamaların tane kimyon örneklerine inokule edilen <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATTC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi.....	184
Şekil 4.55.	Tane yüzeyine inokule edilen başlangıç <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATTC 35150 bakteri yoğunlukları 10 <sup>6,3</sup> ve 10 <sup>7,8</sup> kob/g olan tane kimyon örneklerinin 150 °C infrared tünel sıcaklığında infrared tünel beslenmeleri durumunda FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen <i>E. coli</i> O157:H7 düzeyleri.....	186
Şekil 4.56.	FIR ünitesinin sadece bir bölümünün 180 °C sıcaklığa ayarlanması durumunda tünel beslenen tane kimyon örneklerinin değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri.....	188
Şekil 4.57. a-b-c.	Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri ile kırmızılık (a*) değerleri (a; 150, b; 180, c; 200 °C).....	190
Şekil 4.58. a-b-c.	Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri ile kırmızılık (a*) değerleri (a; 170, b; 190, c; 210 °C).....	192
Şekil 4.59.	Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.....	193
Şekil 4.60.	Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen kırmızılık (a*) değerleri.....	194
Şekil 4.61.	Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık değeri (a*) arasındaki ilişki.....	195
Şekil 4.62.	FIR ışınlar maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık değeri (a*) arasındaki ilişki.....	196

Şekil 4.63.	UVC ışıkların dana eti yüzeyine inokule edilen <i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi.....	199
Şekil 4.64. a-b-c.	Mantar örneklerinin 11 mW/cm <sup>2</sup> sabit ışık şiddetinde UVC ışıklara maruz kalma muamele sürelerine bağlı olarak değişen görüntüleri (a; Kontrol, b; 30 dk., c; 60 dk.).....	209

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BGB	: Brilliant green bile broth
BGPRLS	: Brilliant green phenol red lactose sucrose agar
BH	: Brain heart broth
BP	: Baird parker agar
c	: Mikroorganizma sayısı "m" ile "M" arasında bulunabilecek maksimum numune sayısı
$cp$	: Isı kapasitesi (J/kg K)
CCA	: Chromocult coliform agar
CT	: Cefixime tellurite
DNA	: Deoksi ribo nükleik asit
$E$	: Foton enerjisi (J)
$E_E$	: Siyah cismin radyasyon yayma gücü ( $W / m^2$ )
EHEC	: Enterohemorajik
EIEC	: Enteroinvasif
EMS	: En muhtemel sayı
EPEC	: Enteropatojenik
ETEC	: Enterotoksijenik
FDA	: US Food and Drug Administration; Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
FIR	: Uzak infrared
GC	: Giolitti-cantoni broth
$h$	: Planck sabiti ( $J_s$ )
IR	: İnfrared
kob/g	: Koloni oluşturan birim/gram
$L^*$	: Parlaklık
LST	: Lauryl sulfate broth
M	: "c" sayıda numunede bulunabilecek maksimum mikroorganizma sayısı
m	: Tüm numunelerde bulunabilecek maksimum mikroorganizma sayısı
MIR	: Orta infrared
MR-VP	: Metir red voges proskauer
MYP	: <i>Bacillus cereus</i> selective agar
n	: Numune sayısı
NIR	: Yakın infrared
PCA	: Plate count agar
PDA	: Potato dextrose agar
PSA	: <i>Pseudomonas</i> selective agar
RNA	: Ribo nükleik asit
RMSE	: Root mean square error; hata kareleri ortalamasının kare kökü
RVS	: Rappaport vassiliadis soy broth
SMAC	: Sorbitol-Mac Conkey agar
SS	: Selenit sistin broth

T	: Sıcaklık ( $K$ )
TPS	: Tamponlanmış peptonlu su
TSA	: Triptik soy agar
TSB	: Triptik soy broth
TSI	: Triple sugar iron agar
TW	: Tryptone water
UV	: Ultraviöle
UVA	: Uzun dalga ultraviöle
UVB	: Orta dalga ultraviöle
UVC	: Kısa dalga ultraviöle
VUV	: Vakum ultraviöle
$\lambda$	: Dalga boyu ( $m$ )
$\nu$	: Frekans ( $s^{-1}$ )
$\frac{q}{A}$	: Isı akısı ( $W/m^2$ )
$\sigma$	: Stefan-Boltzman sabiti ( $W / m^2 K^4$ )

## **1. GİRİŞ**

Günümüzde mümkün olduğunca az işlem görmüş, koruyucu katkı maddesi içermeyen, yüksek besin değerine sahip, doğal gıda ve gıda ürünlerine olan talep gittikçe artmıştır. Bu durum güvenli gıda üretiminde yeni koruma yöntemlerine olan gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Kısa dalga ultraviöle (UVC) ışın uygulamaları; gıdaların yüzey mikrobiyal yüklerinin düşürülmesinde kullanılan bir soğuk pastörizasyon işlemidir. Gıda ürünlerinde yüzey mikrobiyal yoğunluğun düşürülmesine yönelik kullanılan UVC ışın uygulamalarının, güvenli ve yasal olması, üründe işlem sonrasında herhangi bir kalıntı bırakmıyor olması, düşük ekipman ve uygulama maliyeti ile kullanım kolaylığına sahip olması gibi bir takım avantajları bulunmaktadır. UVC ışınların gıdalarda bulunma olasılığı yüksek çeşitli mikroorganizmalar üzerindeki azaltıcı dozları, inaktivasyon kinetik parametreleri ile gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ışınların inaktivasyon yetisi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, gıda koruma proseslerinin dizaynında gerekli olmaktadır. Ancak bu şekilde uygun işlem parametrelerinin geliştirilebileceği ve uygulamaların etkinliğinin açık bir şekilde ortaya konulabileceği düşünülmektedir.

Gıda endüstrisinde mevcut teknolojilere alternatif olarak yeni gıda işleme teknolojileri geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda ürün kalitesinin mümkün olduğunca korunması hedeflenmekle birlikte, işlem sırasında enerji ve zaman tasarrufunun da sağlanması önemli olmaktadır. İnfrared (IR) ışın uygulamaları; kısa işlem süresi ve ışınların sahip olduğu yüksek ısı transfer katsayısı dolayısıyla yüksek ısıtma hızı ve düşük enerji sarfiyatına sahip olması gibi nedenlerle konveksiyonel ısıtma yöntemlerine göre daha avantajlı olmaktadır. Havanın IR ışınları geçirgen özellik göstermesi nedeniyle IR ışınların kullanıldığı ısıtma işlemleri, ortam sıcaklığında gerçekleşmektedir ve ısıtma işlem öncesinde ortamın ısıtılması gerekliliği bulunmamaktadır. IR ışın uygulamalarında kullanılan ekipmanların basit ve esnek kullanım özelliğinde olması yanında az yer kaplamaları ve işlem parametrelerinin otomatik olarak kontrol edilebilmesi gibi bir takım avantajları bulunmaktadır. Sonuç

olarak tek başına IR ve IR kombine uygulamalarının, gıda proseslerinde; yüksek besin değerinde, kaliteli ve güvenli gıda üretimlerinde enerji ve zaman tasarrufunun da sağlanmasıyla, yaygın olarak kullanım potansiyeline sahip uygulamalar olacağı düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında; UVC ışınların; gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan ve gıdalarda bulunma olasılığı yüksek bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri ile çeşitli bitkisel (baharatlar; kimyon-karabiber, yemeklik taze kültür mantarları) ve hayvansal (işlem görmemiş taze kırmızı et) gıda maddelerinde yüzey mikrobiyal yükün azaltılarak gıda raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmış, UVC ve uzak infrared (FIR) ışınların kullanımı ile baharat pastörizasyonuna yönelik yeni bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan baharatlar, düşük nem ve su aktivitesine sahip olmaları dolayısıyla mikrobiyal gelişime uygun olmayan gıda materyalleridir. Fakat bununla birlikte, baharatların elde edildiği bitkilerin pek çok mikroorganizmanın doğal kaynağı olan toprak ve su ile temas halinde bulunması ve özellikle de sıcak ve nemli bölgelerde yetiştirilen baharatlarda hasat ve depolama sırasında hijyen koşullarına yeterince dikkat edilmemesi gibi nedenlerle baharatlar, mikroorganizmalar ile yoğun bir şekilde kontamine olmaktadır. Baharatların mikrobiyal yükleri gerek kendileri gerekse katkı olarak kullanıldıkları gıdalar açısından önemlidir. Baharatlar gıda maddelerine her ne kadar düşük miktarlarda ilave edilseler de baharat bünyesinde var olan yüksek mikroorganizma popülasyonu, gıda maddelerinde mikrobiyal bozulmalara neden olmakta ve baharatların özellikle de *Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *B. cereus*, *Staphylococcus* gibi patojen bakteriler ve/veya toksin oluşturan küf ve mayalar ile kontamine olmaları durumunda, tüketici sağlığı üzerinde ciddi tehlikeler ortaya çıkmaktadır. Mikrobiyal yük, ticarete de sorun olmakta, baharat mikrobiyal yükünün standartlarda belirtilen değerlerin üzerinde olması ihracatı sınırlamaktadır. Ülkemiz baharat üretimi ve ihracatı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle

de kimyon, ülke baharat ihracatının en önemli kalemini oluşturmaktadır. Ülkemiz Hindistan ve Çin' den sonra dünya kimyon ihracatında 3. sırada yer almaktadır, fakat son yıllarda ihracatta yaşanan sıkıntılar ülke pazar payında önemli kayıplara neden olmuştur. Türkiye' nin dünya kimyon ticaretindeki yeri 2002 yılında % 25' lerede iken bu oran 2009 yılı itibariyle % 2,4 düzeyine gerilemiştir. Türkiye, maliyetlerindeki yükseklik nedeni ile ihracatta, ucuz mal isteyen ortalama marketler için çok fazla rekabetçi olamamaktadır. Firmalar pazar paylarını ancak gelir seviyesi daha yüksek, kaliteye önem veren marketler için uygun ürünler sunarak artırabilmektedirler. Olumlu bir fark yaratıldığı takdirde, düşük fiyatta sıradan mal satan tedarikçilerden dolayı kaybedilen pazar payının, kalite üstünlüğü ile kazanılabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak ihracatta mikrobiyal yük açısından sorun yaşanmaması ve yurt içinde de güvenli gıda satışlarının sağlanması ve dolayısıyla güvenli gıda üretimine katkıda bulunması amacıyla baharatta pastörizasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik yapılacak olan bir işlemde, ürün mikrobiyal yükü standartlarda belirtilen düzeylere çekilirken fiziksel, kimyasal ve duyuşsal kalite mümkün olduğunca korunmalı, kayıplar minimum düzeyde tutulmalıdır. Mevcut yöntemler baharat kalite özelliklerinde arzu edilmeyen kayıplara neden olmakta, üründe toksik kalıntı bırakabilmekte ve yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir. Bu nedenle de sektörde baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik kaliteden ödün vermeyecek yeni yöntemlerin araştırılması ve bir an önce uygulamaya aktarılması gerekliliğı bulunmaktadır.

İşlem görmemiş taze etler, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısıyla mikrobiyal bozulmalara oldukça duyarlı gıda maddeleridir. Genel olarak sağlıklı bir hayvanın kas dokusu steril olmakla birlikte, kesim, derinin yüzülmesi, iç organların çıkarılması ve karkasın parçalanması sırasında mikroorganizmalar, hayvanın derisi, bağırsakları, çalışanlar, alet ve ekipmanlar yolu ile ete bulaşabilmektedir. Et yüzeyine bulaşan bu mikroorganizmalar uygun koşullarda çoğalarak ette mikrobiyal bozulmalara neden olmaktadır. İşlem görmemiş taze etlerde ortaya çıkan bozulmaların genel olarak et yüzeyine mikroorganizma bulaşısı ile meydana gelen mikrobiyal



gelişimlerden kaynaklandığı belirtilmiştir. Taze etlerde et raf ömrünü önemli ölçüde etkileyen yüzey mikrobiyal yükün azaltılmasına yönelik; organik asit, trisodyum fosfat, peroksit, ozon gibi çeşitli kimyasallar ve basınçlı su ile yıkama, sıcak suda bekletme gibi bazı ön işlemler uygulanmaktadır fakat, bu uygulamaların yeterliliği tam olarak ortaya konulamamış, özellikle de ozon ve peroksit gibi kimyasalların toksik etki göstermelerinin belirlenmesi ile et yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik yapılan kimyasal uygulamalarına sınırlamalar getirilmiştir. Taze etlerin yüzey mikrobiyal yükünün UVC ışınlar ile azaltılmasının, uygulama sonrasında ette herhangi bir toksik kalıntı bırakılmıyor olması, işlem süresince et nem ve sıcaklığının değişmemesi ve uygulamanın oldukça ekonomik ve kolay olması gibi bir takım avantajları olacaktır. UVC ışın uygulaması ile taze et yüzey mikrobiyal yükünün azaltılarak mikroorganizmaların neden olduğu bozulmaların önlenebileceği ve böylece soğuk depoda et raf ömrünün arttırılabileceği düşünülmektedir. Ancak UVC ışınların ette bozulma etmeni olan farklı mikroorganizma ve mikroorganizma grupları üzerindeki etkileri ile uygulamalar sırasında mikrobiyal yük yanında et fiziksel ve kimyasal kalite parametreleri üzerinde neden olacağı değişimlerin de net bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.

Meyve ve sebzeler gibi bitkisel pek çok gıda maddesinin yüzeyinde, gıdaya özgü doğal bir mikroflora hakimdir. İç kısımda kalan dokularda ise genel olarak mikroorganizma bulunmamakta ve bu kısımların steril olduğu kabul edilmektedir. Taze meyve ve sebzelerde depolama sırasında en önemli bozulma etmeninin mikrobiyal kaynaklı çürümeler olduğu ve yüzey doğal mikroflorasının bu çürümelerde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Yemeklik taze kültür mantarları yüksek su aktivitesi ve solunum hızına sahip, yüzeyinde materyali mikrobiyal saldırılar ve nem kayıplarına karşı koruyucu kütikula tabakası bulunmayan ve bu nedenle de pek çok meyve ve sebzeğe göre oldukça kısa raf ömrüne sahip olan gıda materyalleridir. Taze kültür mantarlarının sodyum metabisülfid, hidrojen peroksit, EDTA gibi çeşitli kimyasallarla muamele edilerek mikrobiyal yüklerinin düşülmesi ve enzimatik kararmaların önlenerek mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik çeşitli uygulamalar yapılmaktadır fakat son

yıllarda, tüketicilerin koruyucu katkı maddesi içermeyen gıdalara yönelimi ve kullanılan kimyasalların toksik etki göstermeleri dolayısı ile kullanımlarının sınırlandırılması, taze kültür mantarı endüstrisinde raf ömrünün arttırılmasına yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Kültür mantarlarında renk değişimi ve kararmaya çeşitli enzim ve bakteriler neden olmaktadır. Enzimatik kararmaya neden olan enzim-substrat etkileşimlerinde mantar bünyesinde meydana gelen zedelenmeler ve mantarların mikrobiyal gelişim sonucu hasar görmesi etkili olmaktadır. Mantarların iç kısmında mikrobiyal gelişimin olmadığı göz önüne alınırsa taze kültür mantarlarına uygulanacak olan bir yüzey pastörizasyonu işlemi ile mikrobiyal gelişim egellenirken, mantar raf ömrünü sınırlandıran mikrobiyal ve enzimatik bozulmaların önüne geçilebilmesi olası bir durum olacaktır. Taze kültür mantarlarında raf ömrünü sınırlandıran bir diğer önemli etmen mantarların sahip olduğu yüksek solunum hızıdır. Yapılan çalışmalarda UVC ışınların çeşitli meyve ve sebzelerde yüzey mikrobiyal florayı önemli ölçüde azalttığı, solunum hızını yavaşlatarak olgunlaşmayı geciktirdiği ve ürün raf ömrünün arttırılması üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Bu durumda UVC ışın uygulamaları taze kültür mantarlarında, mantar raf ömrünün arttırılması ve kalite parametrelerinin korunmasına yönelik kullanım potansiyeli olan alternatif bir yöntem olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmanın amacı;

UVC ışınların; gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda enfeksiyon veya intoksikasyon gibi gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan ve gıdalarda bulunma olasılığı yüksek bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,

Baharat, işlem görmemiş taze kırmızı et ve yemeklik taze kültür mantarı gibi bitkisel ve hayvansal gıda maddelerinde UVC ışın uygulamaları ile gıda yüzey mikrobiyal yükünün düşürülerek, mikrobiyal bozulmaların önüne geçilmesi ve UVC ışınların gıda raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi,

UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonundaki etkinliği ve uygulamanın baharat mikrobiyal yükü yanında baharat kabul edilirliliğini etkileyen fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve

Laboratuvar ölçekli sistemlerde yapılan analizler ile baharat pastörizasyonuna yönelik geliştirilecek olan yöntemin pastörizasyon üzerindeki etkinliği ve pastörize tane baharat eldesine yönelik kullanılabilme potansiyelinin sanayii boyutunda tasarlanarak yaptırılacak olan endüstriyel ölçekli cihazlarda test edilmesi ile baharat pastörizasyonuna yönelik ekonomik ve güvenilir bir yöntem geliştirilmesidir.

## **2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI**

Tez çalışması kapsamında elektromagnetik dalga (elektromagnetik radyasyon) spektrumunda farklı dalga boyları aralığında yer alan ultraviole ve infrared ışınların; gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan ve gıdalarda bulunma olasılığı yüksek bazı mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon yetileri ile çeşitli gıda maddelerinde yüzey mikrobiyal yükün azaltılarak gıda raf ömrünün artırılması üzerindeki etkilerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Burada kullanılan ışınların özellikleri, mikrobiyal inaktivasyon mekanizmaları, mikrobiyal inaktivasyon yetilerine etki eden faktörler ve ultraviole ve infrared ışın kaynakları ile ilgili genel bir bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

### **2.1. ELEKTROMAGNETİK RADYASYON**

Madde atom ve moleküllerinin elektronik yapılarındaki değişimler sonucu enerji yaymaları şeklinde ifade edilen elektromagnetik radyasyon (elektromagnetik dalgalar) elektrik ve magnetik alan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır [Çengel, 2007]. Elektromagnetik radyasyon, Maxwell Elektromagnetik Dalga ve Max Planck Foton teorileri ile açıklanmaktadır. Maxwell; elektromagnetik radyasyonun, ışığın dalga boyundan daha büyük dalga boylarında harmonik olarak hareket eden elektromagnetik dalgalar şeklinde yayıldığını ifade etmiştir. Max Planck Foton teorisinde ise radyasyonun, çeşitli fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu atom veya moleküllerden, foton olarak adlandırılan doğrusal ve ışık hızında hareket eden tanecikler tarafından yayıldığı ifade edilmektedir [Jun vd., 2010; Çengel, 2007; Altınışık, 2006].

Sahip oldukları dalga boyu ve frekans ile tanımlanan elektromagnetik dalgalar boşlukta ışık hızı ile ( $c = 2.9979 \times 10^8 m/s$ ) yayılmaktadırlar. Frekans, belli bir noktadan birim zamanda geçen dalga sayısını ifade eder ve elektromagnetik spektrumdaki tüm dalgalar belli bir frekansa sahiptirler. Elektromagnetik dalgaların dalga boyları ( $\lambda$ ) ile frekansları ( $\nu$ ) arasında Eşitlik 2.1.' de görülen ilişki bulunmaktadır [Çengel, 2007;

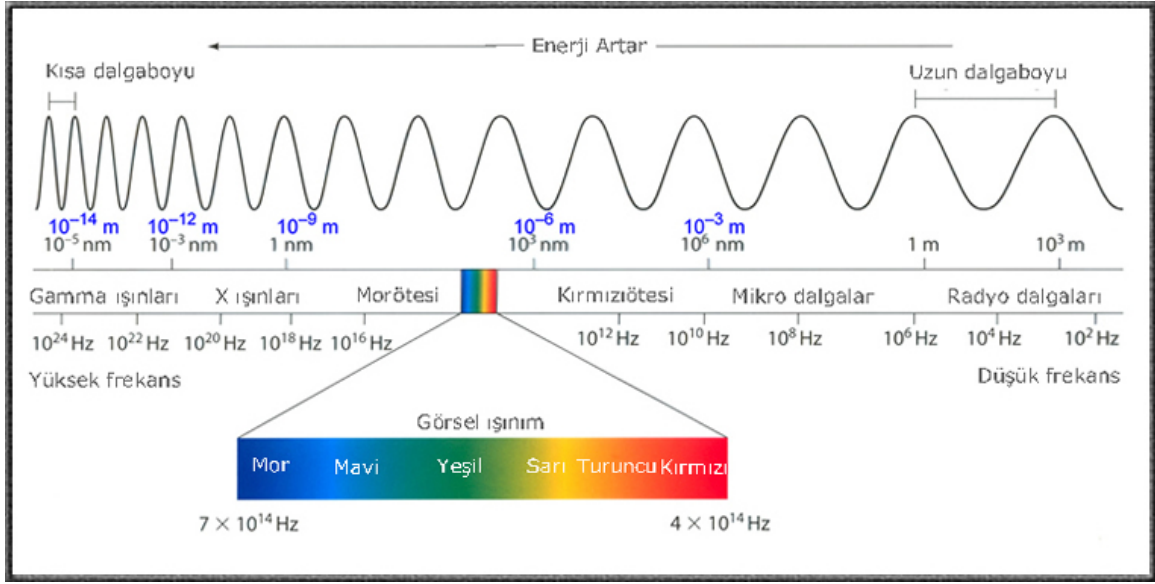
Altınışıık, 2006].

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1.)$$

Max Planck Foton teorisinde, enerjinin foton olarak tanımlanan küçük paketler halinde taşındığı ve fotonların boşluktaki hızlarının ışık hızına eşdeğer olduğu belirtilmektedir. Fotonların enerjileri ( $E$ ) ile dalga boyları ( $\lambda$ ) arasında Eşitlik 2.2.' de görüldüğü gibi ters orantılı bir ilişki bulunduğu ifade edilmiştir. Eşitlikte,  $h$ , Planck sabitine karşılık gelmektedir ve değeri  $6.626069 \times 10^{-34} J.s$  ' dir [Jun vd., 2010; Çengel, 2007].

$$E = h \times \nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2.)$$

Elektromagnetik dalgaların sahip oldukları dalga boylarına göre birbirlerinden farklı özellikler gösterdikleri belirtilmiştir. Dalga boyu uzunluğu nanometrelerden kilometrelere kadar uzanan ve ışık hızı ile hareket eden elektromagnetik dalgaların oluşturduğu elektromagnetik spektrumda (Şekil 2.1.), farklı tiplerdeki elektromagnetik radyasyonlar farklı mekanizmalarca üretilmektedir. Örneğın, elektromagnetik spektrumda yer alan  $\gamma$  ışınları nükleer reaksiyonlarla üretilirken,  $\chi$  ışınları, metallerin yüksek enerjiye sahip elektronlarla bombardımanı sonucu elde edilmektedir. Elektromagnetik spektrumda ısı transferi ile ilgili olan ve infrared ve görünür bölge ışınlarının tamamı ile ultraviöle ışınların bir kısmını kapsayan ısı radyasyonunun ise madde molekül, atom ve elektronlarından enerji yayınıını şeklinde açığa çıktığı belirtilmiştir [Çengel, 2007; Altınışıık, 2006].



Şekil 2.1. Elektromagnetik dalga spektrumu (<http://www.innova-technology.com>)

IR ısıtıcı kaynağından yayılan ve bir materyal yüzeyine gelen infrared ışınların bir kısmı materyal tarafından absorbe edilirken ( $A$ ; *Absorption*), bir kısmı geçirilmekte ( $T$ ; *Transmission*) ve bir kısmı da yansıtılmaktadır ( $R$ ; *Reflection*). Materyal tarafından absorplanan, geçirilen ve yansıtılan enerjilerin toplamı bire eşdeğerdır [Atungulu ve Pan, 2010].

$$E_A + E_R + E_T = 1 \quad (2.3.)$$

Doğada mutlak sıcaklığı 0 K üzerinde olan bütün materyallerin ısı radyasyon yayma ( $\epsilon$ ; *Emissivite*) özelliğı bulunduğı ifade edilmiştir. Materyal yüzeyinden yayılan ısı radyasyon enerjisinin miktarı, materyalin sahip olduğı yüzey sıcaklığı yanında yüzey şekil ve özelliklerine bağılı olarak değışim göstermektedir. Bu nedenle de aynı yüzey sıcaklığına sahip, farklı şekil ve özelliklerdeki materyaller, farklı miktarlarda radyasyon yayma eğilimindedirler [Çengel, 2007].

Maksimum miktarda ısı radyasyon yayma ve emilim yüzey özelliğine sahip olan ideal materyal, *siyah cisim* ( $\epsilon=1$ ) olarak ifade edilmiştir ve bir materyalin ısı radyasyon

yayma özelliği, siyah cisim ile kıyaslanarak belirlenmektedir. Siyah cisim yüzeyine gelen ışınların tamamını absorbe etme ve de yayma özelliğindedir. Yani siyah cismin absorbe ettiği enerji miktarı yaymış olduğu enerji miktarına eşdeğer olmaktadır. Siyah cismin birim zamanda, birim yüzey alanından yaydığı ısı radyasyon enerjisi miktarı Stefan-Boltzman yasası ile açıklanmıştır. Yasaya göre bir materyalin ısı radyasyon yayma gücü, materyalin sahip olduğu mutlak yüzey sıcaklığının 4. kuvveti ile orantılı olarak değişim göstermektedir (Eşitlik 2.4.).

$$E_{\epsilon}(T) = \sigma T^4 \quad (2.4.)$$

Eşitlikte  $\sigma$ ; Stefan-Boltzman sabitini ifade ederken ( $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$ ), T; Kelvin cinsinden cismin mutlak yüzey sıcaklığını ve  $E_{\epsilon}$ , siyah cismin ısı akısı ( $W/m^2$ ) değerini ifade etmektedir [Çengel, 2007; Altınışık, 2006].

### 2.1.1. İnfrared Işınımı (Radyasyonu)

Gıda endüstrisinde mevcut teknolojilere alternatif olarak yeni gıda işleme teknolojileri geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarda ürün kalitesinin mümkün olduğunca korunması hedeflenmekle birlikte, işlem sırasında enerji ve zaman tasarrufunun da sağlanması önem taşımaktadır. İnfrared (IR) ışın uygulamaları; kısa işlem süresi ve ışınların sahip olduğu yüksek ısı transfer katsayısı dolayısıyla yüksek ısıtma hızı ve düşük enerji sarfiyatına sahip olması gibi nedenlerle konveksiyonel ısıtma yöntemlerine göre daha avantajlı olmaktadır. Havanın IR ışınları geçirgen özellik göstermesi nedeniyle IR ışınların kullanıldığı ısı işlemler, ortam sıcaklığında gerçekleşmektedir ve ısı işlem öncesinde ortamın ısıtılma gerekliliği bulunmamaktadır [Erdoğdu vd., 2010]. IR ışın uygulamalarında kullanılan ekipmanların basit ve esnek kullanım özelliğinde olması yanında az yer kaplamaları ve işlem parametrelerinin otomatik olarak kontrol edilebilmesi gibi bir takım avantajları bulunmaktadır. Gıda endüstrisinde IR ışınlar; kurutma, pişirme, kavurma, çözdürme, kabuk soyma ve

pastörizasyon gibi işlemlerde kullanılmaktadır [Erdoğdu vd., 2010]. Sonuç olarak tek başına IR ve/veya IR kombine uygulamalarının, gıda proseslerinde, yüksek besin değerinde, kaliteli ve güvenli gıda üretiminde enerji ve zaman tasarrufunun da sağlanmasıyla, yaygın olarak kullanım potansiyeline sahip uygulamalar olacağı düşünülmektedir.

Elektromagnetik spektrumda görünür ve mikrodalga ışınları arasında kalan bölgeyi oluşturan ve ısı transferi ile ilgili olan IR ışınlar, dalga boyu uzunlukları 0,78–1000 µm arasında değişen elektromanyetik dalgalardan oluşmaktadır. IR ışınımı; yakın (near-infrared-NIR), orta (mid-infrared-MIR) ve uzak (far-infrared-FIR) infrared olmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır. Spektrumda görünür bölge ışınımına yakın olan yakın infrared ışınımı, dalga boyu uzunluğu yaklaşık bir hücre büyüklüğünde ve mikro boyutta olan elektromagnetik dalgalarca yayılmaktadır. Elektromagnetik spektrumda mikrodalga bölgesine yakın olan uzak infrared ışınımı oluşturan elektromagnetik dalgaların dalga boyu uzunluklarının bir toplu iğne başı kadar olduğu belirtilmiştir. Yakın, orta ve uzak infrared ışınımının dalga boyu uzunlukları sırasıyla 0,78-1,4; 1,4-3 ve 3-1000 µm aralıklarında değişim göstermektedir [Erdoğdu vd., 2010; Sakai ve Hanzawa, 1994].

Elektromagnetik spektrumun infrared bölgesindeki ışınların termal enerjiye sahip oldukları ve IR ışınların herhangi bir yüzey ile temas etmeleri durumunda, sahip oldukları enerjinin ısı olarak açığa çıktığı belirtilmiştir. IR ışınların enerjileri, temas ettikleri madde molekül ve elektronlarının sahip oldukları enerji düzeylerini değiştirmekte yetersiz kalırken, ışınların daha çok madde moleküllerinin titreşim durumlarını değiştirme eğiliminde oldukları belirtilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Fasina ve Tyler, 2001]. Moleküllerin titreşim hızlarının artması ile molekülü oluşturan atomlar hızlı bir şekilde ileri geri salınım hareketine başlamaktadırlar. Sonuç olarak madde moleküllerinin IR ışınları absorplamaları ile, moleküllerin titreşim hızları artmakta, bu durum atomların salınım hızlarında artışa neden olurken, moleküllerde sıcaklık artışları meydana getirmektedir [Çengel, 2007].



IR ısıtıcı kaynağından yayılan ve gıda maddesi tarafından absorbe edilen enerji, gıda moleküllerinde meydana gelen bir takım etkileşimler sonrasında ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu etkileşimler ışınların madde moleküllerince absorpsiyonu, yansıtılması ve iletilmesi şeklinde açıklanmıştır [Staack, 2008]. Gıda maddesinin IR ışınları absorplaması durumunda gıdayı oluşturan molekül ve atomlarda elektronik, titreşimsel ve döngüsel bir takım değişimler meydana gelmektedir. Bununla birlikte gıdaların daha çok FIR ışınları absorplama yetisinde oldukları ve FIR ışınların temas ettikleri madde moleküllerinde titreşimsel değişimlere neden olduğu belirtilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Fasina ve Tyler, 2001].

Gıda maddeleri yapısında bulunan su moleküllerinin, gıdayı oluşturan diğer bileşenlere göre IR ışınları absorblama güçlerinin çok daha fazla olduğu, bununla birlikte protein, yağ ve karbonhidrat gibi diğer bileşenlerin de IR ışınları absorbe etme yetisinde oldukları belirtilmiştir. Gıda maddelerini oluşturan bileşenlerin molekül yapılarında bulunan -NH, -CO, C=C grupları, IR ışınları absorblama yetisine sahip polar gruplardır. Geniş bir dalga boyu aralığında IR ışınları absorbe etme özelliğine sahip olan su moleküllerinin ışınları absorplamaları durumunda, molekül yapısında bulunan -OH bağlarında simetrik gerilme, asimetrik gerilme ve bozunumsal titreşimler olmak üzere pek çok titreşimin meydana geleceği belirtilmektedir [Staack, 2008]. Sonuç olarak IR ışınlarına maruz kalan bir gıda maddesinde, başta su olmak üzere gıdayı oluşturan moleküllerin titreşim hızlarının arttığı ve moleküllerin normal hallerine dönmeleri sırasında absorbe ettikleri enerjiyi ısı olarak ortama saldıkları ifade edilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Çengel, 2007].

#### 2.1.1.1. İnfrared ışınımın mikrobiyal inaktivasyon mekanizması

IR ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkisi ultravirole ışınların hücre DNA yapısında göstermiş olduğu tahribat ile mikrodalga ışınların ısıl inaktivasyon etkisinin kombinasyonu şeklinde açıklanmıştır. IR ışınım, ısıl inaktivasyonla mikroorganizmanın DNA, RNA, ribozom, hücre zarı ve proteinlerini tahrip etmektedir [Krishnamurthy vd.,

2009]. IR ısıtmanın mikroorganizmalar üzerindeki etkisinin daha çok mikroorganizma protein yapısında meydana getirdiği zararlardan kaynaklandığı, bunu sırasıyla RNA, hücre duvarı ve DNA yapılarında neden olduğu tahribatların izlediği belirtilmiştir [Krishnamurthy vd., 2010a; Krishnamurthy vd., 2009; Sawai vd., 2003]. Isı transfer mekanizmalarından radyasyonun etkili olduğu IR ısıtma esnasında mikroorganizma protein, RNA, hücre duvarı, ve DNA yapılarında, kondüksiyon ve konveksiyonun etkili olduğu ısıl işlemlere göre çok daha fazla zarar meydana geldiği belirtilmiştir. IR ısıtmanın hızlı sıcaklık artışına neden olarak mikroorganizmalar üzerinde termal şok yarattığı ve mikroorganizmaların bu hızlı sıcaklık artışına direnç gösteremediği ifade edilmiştir. Ayrıca mikroorganizma hücre yapısında bulunan su moleküllerinin, IR ışınları kuvvetli absorplama yetisine sahip olmaları dolayısıyla, IR ışınların mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisinde önemli rol oynadıkları belirtilmiştir [Staack, 2008].

Sawai vd. (2000), IR ışınların *E. coli* üzerindeki inaktivasyon mekanizmasını inceledikleri çalışmalarında, IR ışınım sonucu hasar gören bakteri hücrelerinin inhibitör ajanlara karşı daha az direnç gösterebildiklerini saptamışlardır. Çalışmada bakteri hücrelerinde kondüksiyonla ısıtma sırasında da hasar meydana geldiği halde, mikroorganizmanın RNA, protein ve hücre duvarının İR ısıtma sonrasında daha savunmasız hale geldiği belirtilmiştir.

Krishnamurthy vd. (2010b), IR ışınların *S. aureus* üzerindeki inaktivasyon mekanizmasını iletimsel (transmission) elektron mikroskobu ve fourier infrared spektroskobu kullanarak inceledikleri çalışmalarında, IR ısıtma sırasında mikroorganizma hücre duvarı ve mezozomunda parçalanma sonrasında sitoplazma bileşenlerinde sızıntı ve stoplazmada büzüşme olduğunu saptamışlar ve sitoplazmada meydana gelen büzüşmenin hücre membranı yarı geçirgenliğini etkileyerek hücrenin ozmotik dengesinin bozulmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

### 2.1.1.2. İnfrared ışınımının mikrobiyal inaktivasyon gücüne etki eden faktörler

IR ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkinliği; kullanılan IR ısıtıcı kaynağının gücü, bant genişliği ve dalga boyu ile gıda materyallerinin özellikleri yanında hedef mikroorganizmanın özellikleri ve içinde bulunduğu fizyolojik evre gibi parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir [Krishnamurthy vd., 2010a; Krishnamurthy vd., 2009].

#### *İnfrared ısıtıcı kaynağının gücü ve örnek sıcaklığı;*

IR ısıtmada kullanılan IR ısıtıcı gücünün artması ile daha fazla enerji üretilmekte, mikroorganizmaların absorbladığı toplam enerji miktarının artmasıyla birlikte mikrobiyal inaktivasyon gücünde artış olmaktadır [Krishnamurthy vd., 2010a; Sawai vd., 1997]. Hamanaka vd. (2000), IR ışınların buğday yüzey sterilizasyonu üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında kullandıkları IR ısıtıcı gücünün artması ile örneklerin yüzey sıcaklığının arttığını, buna paralel olarak ta mikrobiyal yükte daha fazla azalma sağlanabildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada 0,5, 1,0 1,5 ve 2 kW ısıtıcı güçlerinde buğday yüzey sıcaklıkları sırasıyla 45, 65, 95 ve 120 °C olarak ölçülmüş, bu ısıtıcı güçlerinde 60' ar saniye süreyle IR ışınlara maruz bırakılan buğday taneleri toplam bakteri düzeylerinde, uygulama sonrasında sırasıyla 0,83, 1,14, 1,18 ve 1,90 logaritmik birim azalmalar sağlandığı belirtilmiştir.

#### *İnfrared ısıtıcı kaynağı pik dalga boyu ve bant genişliği;*

Elektromagnetik dalgaların fotonlarla yayıldığını öne süren Max Planck Foton teorisinde dalga boyu uzunluğu arttıka fotonların sahip olduğu toplam enerji miktarının azaldığı ifade edilmektedir [Krishnamurthy vd., 2010a; Çengel, 2007]. Bu nedenle kısa dalga boylu yakın IR (NIR) ışınların sahip olduğu enerji, uzun dalga boyundaki uzak infrared (FIR) ışınların enerjilerinden oldukça yüksek olmakta, buna bağlı olarak ta NIR ışınların mikrobiyal inaktivasyon gücü, FIR ışınların inaktivasyon yetisinden çok daha

fazla olmaktadır. Fakat, bununla birlikte gıda maddelerinin ana bileşenlerini oluşturan su ve organik matelyaller ile gıdalarda bulunma olasılığı yüksek pek çok mikroorganizmanın 3 ile 1000 µm dalga boyu aralığındaki FIR ışınları kuvvetli absorplama yetisinde oldukları belirtilmiştir [Sawai vd., 2000; Krishnamurthy vd., 2008]. Örneğin maksimum IR absorpsiyon gücünün; proteinler için 3,4 ile 6 µm, sıvı fazdaki su ve buz kristalleri için ise 2,93-15,2 µm dalga boyu aralığında olduğu belirtilmiştir [Rosenthal, 1992; Datta ve Almeida, 2005]. Yapılan çalışmalar gıda uygulamalarında 4,2 µm üzerindeki dalga boylarında, uzak infrared ışınların kullanımı ile daha etkili sonuçlar alındığını göstermiştir [Krishnamurthy vd., 2008].

Gıda maddeleri ve mikroorganizmaların belli dalga boyu aralığındaki IR ışınları absorplayabilme yetisine sahip olmaları nedeniyle IR ışınlar ile yapılacak olan bir pastörizasyon veya sterilizasyon işleminde doğru dalga boyu aralığının seçilmesi, gıda kalite parametrelerinin korunması açısından önem taşımaktadır. Gıda yapısında bulunan hedef mikroorganizma veya mikroorganizmaların seçimli olarak ısıtılmaları ile gıdanın sıcaklığında, ısıya duyarlı bileşenlerde önemli kayıplara neden olmayacak düzeyde artış sağlanabileceği belirtilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Krishnamurthy vd., 2010a]. Seçimli ısıtmada gıda materyalinin belirli bir dalga boyu aralığındaki IR ışınlarına maruz bırakıldığı ve gıda materyalini oluşturan bileşenlerin sadece bir kısmının bu ışınları absorplama yetisinde oldukları belirtilmiştir. Bu nedenle de gıda materyali içerisinde ışınları absorplama yetisine sahip bileşenler dışındaki diğer bileşenlerde önemli bir sıcaklık artışı olmayacağı ifade edilmiştir. Sonuç olarak seçimli IR ısıtmada sadece gıda materyali bünyesindeki mikroorganizmaların absorplayabileceği dalga boyu aralığında IR ışınların kullanımı ile gıdanın fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite parametreleri korunarak mikrobiyal inaktivasyonun sağlanabileceği belirtilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Krishnamurthy vd., 2010a; Krishnamurthy vd., 2008; Jun ve Irudayaraj, 2003].

Seçimli IR ısıtmanın gıdalarda kullanımına yönelik literatürde çok fazla çalışma bulunmamakla birlikte Jun ve Irudayaraj (2003), mısır ununa bulaşan *Aspergillus niger* ve *Fusarium proliferatum* küflerinin inaktivasyonunda 5,88 ile 6,66 µm dalga boyu

aralığındaki seçimli IR ısıtma uygulaması ile normal IR ısıtma işlemine göre % 40 oranında daha fazla inaktivasyon sağlanabildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada 5 dakika ısıtma işlemi sonrasında mısır ununda bulunan *A. niger*' in seçimli IR ısıtma ile yaklaşık 2,3, normal IR ısıtma ile ise yaklaşık 1,8 logaritmik birim azaltılabildiği ifade edilmiştir. Örneklerin içermiş olduğu *F. proliferatum* küfünde ise seçimli ve normal IR ısıtmalar ile sırasıyla 1,95 ve 1,4 logaritmik birim azalmalar sağlanmıştır. Yapılan çalışmada gerek seçimli gerekse normal IR ısıtma sırasında örneklerin ölçülen sıcaklıklarında herhangi bir fark gözlenmemiş, seçimli ısıtmada normal ısıtmaya göre daha yüksek düzeyde saptanan mikrobiyal inaktivasyon gücü, mikroorganizmaların seçimli ısıtmada kullanılan dalga boyu aralığındaki ışınları daha iyi absorplayabilme yetilerine bağlanmıştır.

Hamanaka vd. (2006), IR ısıtıcı kaynağı dalga boyunun, bakteri sporları üzerindeki inaktivasyon etkisinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, hazırladıkları sıvı *Bacillus subtilis* kültürünü 3 farklı dalga boyunda (950, 1100 ve 1150 nm) IR ışınlarına maruz bırakmışlardır. Çalışmada her üç dalga boyunda da 2 dakika ısıtma sonrasında petrilerdeki kültürlerin yüzey sıcaklıkları arasında önemli bir fark gözlenmezken, dalga boyu arttıkça IR ışınların mikrobiyal inaktivasyon gücünün azaldığı görülmüştür. Bu durum infrared ışınların mikroorganizmalarca absorplanma yetisinin kullanılan dalga boyuna bağlı olmasına ve daha kısa dalga boyundaki ışınların mikroorganizmalarca daha iyi absorplanabilme özelliğine bağlanmıştır.

#### Örnek kalınlığı;

IR ışınların, düşük dalga boyuna sahip olmaları nedeniyle, radyo ve mikrodalga ışınlar gibi gıda materyallerine derinlemesine nüfuz etme yetisine sahip olmadıkları belirtilmektedir. IR ışınımının mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkinliği örnek kalınlığı ile doğrudan ilişkili olmaktadır. IR ışınlarına maruz bırakılan bir gıda materyalinin kalınlığındaki artış, ışınların materyal iç kısımlarında bulunan mikroorganizmalar ile olan etkileşimlerini sınırlamakta, materyal iç kısımlarında sıcaklık, mikroorganizmaların

termal ölüm sıcaklığı derecelerine erişememekte ve böylece ışınların mikrobiyal inaktivasyon gücü azalmaktadır [Atungulu ve Pan, 2010; Krishnamurthy vd., 2010a]. Staack vd. (2008), IR ışınların kırmızı toz biberde mikrobiyal yük üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, örneklerin IR ışınlara maruz bırakılmaları sırasında örnek yüzeyi ile yüzeyden farklı uzaklıklarda belirlenen noktalarda önemli oranda sıcaklık farkı olduğunu saptamışlar ve bu durumu IR ışınların sahip olduğu düşük nüfüz gücü ile gıda materyalinin sahip olduğu düşük ısıl iletim katsayısı değerine bağlamışlardır.

Sıvı bir bakteri kültüründe IR ışınların pastörizasyon üzerindeki etkinliği, yüzeye oldukça yakın kısımlarda bulunan ince bir sıvı hacmindeki bakteri süspansiyonunun radyasyon enerjisini absorblaması ve süspansiyonun yığın sıcaklığını arttırmasına bağlanmıştır. FIR ışınlara maruz bırakılan sıvı bir mikroorganizma süspansiyonunda yüzeye yakın kısımlardaki hacmin sıcaklığının süspansiyonun yığın sıcaklığından oldukça fazla olduğu belirtilmiştir [Sawai vd., 2000]. Hashimoto vd. (1992), hazırladıkları sıvı besiyeri ortamında *E. coli* ve *S. aureus* bakteri kültürleri üzerinde FIR ışınların pastörizasyon etkisini araştırdıkları çalışmalarında, hasar görmüş mikroorganizma ile canlı mikroorganizma oranının besiyeri derinliğindeki azalmaya bağlı olarak arttığını saptamışlardır. Çalışmada, 2,9 mm derinlikte *S. aureus* populasyonunda yaklaşık 2 logaritmik birim olan azalmanın 0,9 mm derinlikte yaklaşık 5 logaritmik birim olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde *E. coli* populasyonunda da 1,3 ve 2,2 mm derinliklerde sırasıyla 1,33 ve 1,66 logaritmik birim azalmalar olduğu ifade edilmiştir.

#### *Mikroorganizma özellikleri;*

Bakteri, maya ve küflerin yapısal ve kompozisyonel farklılıklara sahip olmaları nedeniyle IR ışınlara göstermiş oldukları direncin birbirinden farklı olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar FIR ışınların bakteri inhibisyonunda, kondüksiyonla olan ısıl işlemlere göre çok daha etkili olabildiğini göstermiştir [Krishnamurthy vd., 2010a]. Mikroorganizmaların farklı büyüme evrelerinde kimyasal bileşimlerindeki değişime

bağlı olarak IR ışınlarıla olan dirençlerinin değişebileceği belirtilmiştir. Farklı büyüme evrelerindeki mikroorganizma kültürleri üzerinde IR ışınların inaktivasyon yetisinin araştırıldığı bir çalışmada, IR ışınlarıla maruz kalan üssel (logaritmik) büyüme evresindeki mikroorganizma hücrelerinin durgun büyüme evresindeki hücrelere göre, çok daha fazla zarar gördüğü belirtilmiştir [Sawai vd., 1997].

#### *Gıda materyalinin özellikleri;*

IR ışınların düşük nüfuz gücüne sahip oldukları ve IR ışınımına maruz kalan bir gıda materyalinde gıda yüzey sıcaklığı hızla artarken ısının iç kısımlara taşınımında kondüksiyon veya konveksiyonun etkili olduğu belirtilmektedir. Katı gıdalarda ısının iç kısımlara iletiminin kondüksiyon ile gerçekleştiği ve katılardaki kondüksiyon ile olan iletimin, konveksiyonun etkili olduğu sıvılara göre çok daha yavaş şekillendiği belirtilmiştir. Sonuç olarak sıvı gıda materyallerinde IR ışınların etkisi ile ortaya çıkan mikrobiyal inaktivasyonun, katılara göre çok daha etkili olduğu ifade edilmektedir.

Gıda maddelerinin içermiş olduğu nem miktarının IR ışınların gıdalarda bulunan mikroorganizmalar üzerinde göstermiş olduğu mikrobiyal inaktivasyon yetisi üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Gıdaların yapısında bulunan su moleküllerinin geniş bir dalga boyu aralığında yüksek düzeyde IR ışınları absorplama gücüne sahip olmaları dolayısıyla, gıdaların içermiş olduğu nem miktarının artması ile gıdaların IR ışınları absorplama yetisinde artış olduğu ifade edilmiştir [Atungulu ve Pan, 2010; Krishnamurthy vd., 2010a; Staack, 2008].

Bunların yanı sıra özellikle de granüler yapıdaki gıda materyallerinde partikül büyüklüğü, yığın yoğunluğu, tane şekil ve su aktivitesi gibi parametrelerin IR ışınların gıda materyallerince absorpsiyonunda etkili parametreler oldukları ifade edilmiştir [Staack, 2008].

### 2.1.1.3. İnfrared ışın kaynakları

Katalitik ateşlemeli düz yüzeyli paneller, quartz tüpler, quartz, tungsten ve seramik lambaların genel olarak kullanılan IR ışın kaynaklarını oluşturduğu belirtilmiştir. IR ışın yayıcılar sahip oldukları ısı akısı şiddeti, yüzey sıcaklığı ve dalga boyu dağılımlarına göre sınıflandırılmışlardır. Wien' nin yerdeğişim kanununa göre (Eşitlik 2.5.) IR ışın kaynağının sahip olduğu dalga boyu ile yüzey sıcaklığı arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Buna göre IR ışın kaynağının dalga boyu arttıkça kaynağın yüzey sıcaklığı azalmaktadır [Das ve Das, 2010].

$$\lambda_{maksimum} \times T = 2897,8 \mu m.K \quad (2.5.)$$

Kısa dalga boylu infrared ışın yayıcıları; 2000 °C üzerinde yüzey sıcaklığına sahip kuartz ve tungsten elemanlar olup bunlar genel olarak yüksek sıcaklıklara çıkabilen halojen dolgulu lambalardan oluşmaktadır. Orta dalga boyunda genellikle kuartz tüp ve lambaların oluşturduğu infrared ışın yayıcıları kullanılmaktadır ve bunlar 700 ile 1150 °C sıcaklık aralığına sahiptirler. Uzun dalga boyunda ışın yayan IR ışın kaynakları ise 800 °C altında yüzey sıcaklığına sahip olan seramik lambalardır [Datta ve Almeida, 2005; <http://www.ceramicx.com>].

Endüstride genel olarak elektrikli ve gaz ateşlemeli olmak üzere iki tip IR ışın yayıcısı kullanılmaktadır. Elektrikli IR yayıcıları farklı miktarlarda voltaj kullanımı ile kısa, orta ve uzun dalga boylarında ışın yayabilirken, doğal gaz veya propan gazının kullanıldığı gaz ateşlemeli IR yayıcılar daha çok kısa dalga boyunda ışın yayabilmektedirler. 650-1200 °C aralıkta yüzey sıcaklığına sahip olan elektrikli infrared yayıcıları kolay kurulum ve etkin üretim kapasitesine sahip olmaları ve ürünleri közlemeden hızlı bir şekilde ısıtabilmeleri nedeniyle tercih edilmektedirler [Krishnamurthy vd., 2008b].

Gıda maddelerinin ana bileşenlerini oluşturan su ve organik matelyaller ile



gıdalarda bulunma olasılığı yüksek mikroorganizmaların 3 ile 1000 µm dalga boyu aralığındaki FIR ışınları kuvvetli absorplama yetisine sahip oldukları belirtilmiştir [Sawai vd., 2000; Krishnamurthy vd., 2008]. Bu nedenle gıda uygulamalarında uzun dalga boyunda ışın yayan seramik ısıtıcıların kullanımı uygun olmaktadır. Seramik ısıtıcıların elektrik enerjisini % 96 gibi oldukça yüksek oranlarda IR ısıısına dönüştürebilmeleri ve verimli ısı akısı ile sıcaklık dağılımına sahip uzun süreli ısıtıcılar olmaları dolayısıyla da gıda işleme proseslerinde tercih edildikleri belirtilmiştir [<http://www.infraredheaters.com>].

### 2.1.2. Ultravirole Işınımı (Radyasyonu)

Günümüzde mümkün olduğunca az işlem görmüş, koruyucu katkı maddeleri içermeyen, yüksek besin değerine sahip, doğal gıda ve gıda ürünlerine olan talep gittikçe artmıştır. Bu durum güvenli gıda üretiminde yeni koruma yöntemlerine olan gereksinimi ortaya çıkarmıştır. UVC ışın uygulamaları bu amaca uygun potansiyel bir yöntemdir [Ngadi vd., 2003]. Gıda ürünlerinde mikrobiyal yükün düşürülmesinde kullanılan UVC ışınların güvenli ve yasal olması, uygulama sonrasında üründe herhangi bir kalıntı bırakmıyor olması, düşük ekipman ve uygulama maliyeti ile kullanım kolaylığına sahip olması gibi bir takım avantajları bulunmaktadır [Lyon vd., 2007; Silva vd., 2003; Walner-Pedleton ve Sumner, 1994]. Ayrıca UVC ışın uygulaması sırasında gıdanın sıcaklığında da önemli bir artış meydana gelmemektedir [Sharma ve Demirci, 2003]. İçme sularının UVC ışınlar ile dezenfeksiyonu üzerine yapılan bir araştırmada, UVC ışınların mikrobiyal yükü önemli düzeyde düşürdüğü ve işlem sonunda suyun renk, tat ve kokusunda herhangi bir değişime yol açmadığı belirtilmiştir [Bintsis vd., 2000]. Literatürde UVC ışınların, fırın mamüllerinde yüzey küf gelişiminin önlenmesi, kabuklu yumurtada yüzey pastörizasyonu, gıda ambalaj materyallerinin sterilizasyonu ve özellikle de taze meyve ve sebzelerde raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur [Vicente vd., 2005; Allende ve Artés, 2003; Silva vd., 2003; Bintsis vd., 2000; Gennadios vd., 1998; Kuo vd., 1997].

Elektromagnetik spektrumda  $\chi$  ışınları ile görünür bölge ışınları arasında yer alan ultravirole ışınlar (UV), dalga boyu uzunlukları 100 ile 400 nm arasında değişen elektromagnetik dalgalardan oluşmaktadır. Ultravirole ışınımı; vakum, kısa, orta ve uzun dalga UV olmak üzere 4 bölgeye ayrılmıştır. Elektromagnetik spektrumda  $\chi$  ışınlarına yakın bölgede yer alan, sadece vakum altında iletilebilen ve madde atomlarınca kuvvetli absorplanma özelliğine sahip olan vakum ultravirole ışınımı (VUV), dalga boyu uzunluğu 100 ile 200 nm aralığındaki elektromagnetik dalgalarca yayılmaktadır. Spektrumda 315 ile 400 nm aralığında dalga boyu uzunluğuna sahip olan ve görünür bölge ışınımına yakın uzun dalga ultravirole ışınlar (UVA), atmosferde ozon tabakasında kısmi olarak absorplanabilmektedir. UVA ışınlar, deride bronzlaşma olarak ifade edilen renk değişimine neden olmaktadırlar. Ultravirole bölgede 280 ile 315 nm dalga boyu uzunluğuna sahip, orta dalga ultravirole ışınlar (UVB) da ozon tabakasında kısmen absorplanmakla birlikte bu ışınların insan ve hayvanlarda deri kanserine neden olduğu ifade edilmiştir. Atmosferde ozon tabakasında tamamen absorplanarak yeryüzüne ulaşamayan, 200 ile 280 nm dalga boyu aralığındaki ultravirole ışınlar, kısa dalga ultravirole ışınlar (UVC) olarak adlandırılır ve bu aralıktaki ışınların mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009; Beltran ve Canovas, 2004]. Özellikle 250 ile 270 nm dalga boyu aralığındaki UVC ışınlarının bakteri ve virüslere karşı maksimum öldürücü güce sahip olduğu belirtilmiş fakat bununla birlikte, UVC ışınların mikroorganizmalar üzerinde en fazla etkili olduğu dalga boyunun, en yüksek absorbandsın gözlendiği 253,7 nm olduğu ifade edilmiştir [Bintsis vd., 2000].

UV ışınlar iyonize olmayan ışınlardır ve enerjileri,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  gama gibi iyonize ışınların enerjilerinden oldukça düşüktür. UV ışınların nüfuz etme güçlerinin oldukça zayıf olduğu ve bu nedenle de ancak yüzeyde bulunan mikroorganizmalar üzerinde etkili oldukları belirtilmiştir [Bintsis vd., 2000]. Bir santimetrekarelik yüzey tarafından absorbe edilen enerji watt (W) olarak ifade edilmektedir ve UV ışınların enerji birimi  $W/cm^2$  dir. UV ışınlar radyoaktif ışınlar değillerdir ve yapılan çalışmalarda UV ışınlara maruz kalan besinler ile beslenen deney hayvanlarında radyo aktiviteden kaynaklı

herhangi bir zarara rastlanılmadığı belirtilmiştir [Bintsis vd., 2000; Gennadios vd., 1998].

#### 2.1.2.1. Kısa dalga ultravirole (UVC) ışınımının mikrobiyal inaktivasyon mekanizması

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon yetileri; mikroorganizmaların nükleik asitlerinde (RNA veya DNA) neden oldukları zararlar ve değişimler sonrasında organizmaların üreyip çoğalmalarının engellenmesine bağlanmıştır [Krishnamurthy vd., 2010; Koutchma vd., 2009; Bintsis vd., 2000]. UVC ışınların ayrıca aromatik amino asitlerin yapılarındaki karbon karbon çift bağlarını etkileyerek protein denaturasyonuna neden oldukları belirtilmiştir [Lado ve Yousef, 2002]. UVC ışınların klor ve klor bileşikleri, fenol türevleri, yüzey aktif maddeler vb. kimyasal dezenfektanlar gibi mikroorganizma hücre yapılarında parçalanma ve tahribata neden olmayıp, mikroorganizmaların üreme ve çoğalmalarını engellemek suretiyle, organizmanın enfeksiyon gücünü kaybetmesine ve böylece inaktive olmasına neden oldukları ifade edilmiştir [Koutchma vd., 2009].

UVC ışınların esas hedef bölgesinin hücre metabolik faaliyetlerinde gerekli bilgilerin taşındığı DNA yapısı olduğu, UVC ışınların mikroorganizmaların DNA yapılarındaki primidin bazlarında fotokimyasal dönüşümlere neden olarak DNA' nın üreme yeteneğini tahrip ettikleri belirtilmiştir [Sharma ve Demirci, 2003; Lado ve Yousef, 2002]. Nükleik asitleri (DNA, RNA) oluşturan nükleotit birimlerinin yapısında yer alan pürin ve primidin bazlarının UVC ışınları absorbe etmeleri ile nükleik asit yapısında bir takım kimyasal değişimlerin meydana geldiği belirtilmiştir. Nükleotit yapısında yer alan pürinlerin (adenin, guanin) UVC ışınların neden olduğu kimyasal değişimlere, primidin (timin, sitozin) bazlarına göre çok daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. UVC ışınların nükleik asit yapılarındaki primidin bazlarında yol açtığı kimyasal değişimlerin başında hidratasyon ve dimerleşme gelmektedir [Koutchma vd., 2009]. Hidratasyon; su moleküllerinin pirimidin baz yapısında bulunan 5-6 çift bağlarına katılmalarıyla DNA yapısının bozulması şeklinde açıklanırken, dimerleşme; birbirine

yakın primidin bazlarının birer zinciri arasında (siklobütan pirimidin dimerleri) veya yakın iki primidin bazının 6 ve 4 pozisyonları arasında kovalent bağı oluşması şeklinde açıklanmaktadır [Onur vd., 2009; Bütüner ve Kantarcı, 2006].

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon yetisi esas olarak DNA yapısında pirimidin dimerleri oluşturmasına bağlanmıştır [Onur vd., 2009]. Bir DNA veya RNA molekülünde aynı zincirde bulunan bitişik iki timin veya sitozin primidini arasında bağ oluşması durumunda yani bazların karşı zincirdeki bazlar yerine yan yana kendi aralarında bağ kurmaları ile pirimidin dimerleri oluşmaktadır. Dimer oluşumu ile DNA yapısı bozulmakta ve DNA' nın çoğaltılması hatanın olduğu yere geldiğinde durmaktadır [Douki vd., 2003]. Oluşan timin dimerlerinin DNA iplikçiklerinde katlanmalara neden olduğu, DNA' nın doğal sarmal yapısının bozulması nedeniyle hücre bölünmesi öncesinde kromozom replikasyonlarının güçleştiği, gen transkripsiyonunun yapılamadığı, kromozom replikasyonu yapılsa bile üreyemeyen mutant hücrelerin oluştuğu belirtilmiştir. Timin dimerlerinin yaşamsal fonksiyonları olan genlerde görülmesi ile DNA replikasyonunun engellenmesi dolayısıyla hücre ölümünün meydana geldiği belirtilmektedir [Özkütük, 2007]. Sonuç olarak UVC ışınların özellikle de DNA tarafından kuvvetlice absorblanmaları sonrasında pirimidin dimerlerinin (timin-timin, timin-sitozin) oluşumuna bağlı olarak DNA replikasyon ve transkripsiyonlarının bloke edildiği ve böylece mikroorganizmaların çoğalmalarının engellenerek mikrobiyal inaktivasyonun sağlandığı ifade edilmiştir.

*Mikroorganizmaların sahip olduğu UVC ışınların nükleik asit yapısında neden olduğu zararların onarımı mekanizması*

UVC ışınların nükleik asitlerde ortaya çıkardığı zararların bazı mikroorganizmaların sahip olduğu hücre içi enzim mekanizmaları ile onarılabildiği belirtilmiştir. Mikroorganizmalar UVC ışınların oluşturduğu zararların onarılması üzerine ışıkta ve karanlıkta onarım şeklinde tanımlanan iki ayrı mekanizma geliştirmişlerdir [Anonim, DNA onarımı, 2010; Özkütük, 2007].

UVC ışınların DNA üzerinde oluşturduğu zararın ışııkta onarımının kesip çıkarma (kesim-onarım) veya fotoreaktivasyon şeklinde olduğu belirtilmiştir. Nükleotid kesim-onarım mekanizması, DNA' nın hasara uğrayan kısmının kesilip atıldıktan sonra diğer zincirin kalıp olarak kullanılmasıyla hasarsız DNA zincirinin tekrar sentezlenmesi şeklinde gerçekleşmektedir [Anonim, DNA onarımı, 2010].

Fotoreaktivasyon mekanizması ise, UVC ışınların etkisiyle DNA yapısında oluşan timin dimerleri arasındaki kovalent bağın, 540 nm dalga boyunda görünür ışık altında aktive olan fotolizaz enzimi ile kırılması şeklinde gerçekleşmektedir. Pirimidin dimerlerinin fotolizaz enzimi ile ayrılması sonucunda DNA yapısında meydana gelen hasarlar, enzim aracılığında gerçekleşen tek adımlı reaksiyonlar ile doğrudan onarılabilir [Bütüner ve Kantarcı, 2006; Beltran ve Canovas, 2004]. Fotoreaktivasyon mekanizması görünür dalga boyundaki güneş ışığının katalizör etkisinin bir sonucudur ve mutlaka görünür ışığa gereksinim duymaktadır [Doherty ve Suh, 2000]. DNA onarım enzimleri olarak bilinen fotolizazların, diğer DNA onarım enzimlerinden farklı olarak, timin dimer hasarını mavi ışık enerjisini kullanarak (görünür bölgede foton enerjisinin kullanımı) onarabildiği belirtilmiştir. Fotolizaz enziminin bünyesinde anten benzeri bir yapı barındırdığı ve bu yapının güneşten gelen enerjiyi absorplama yetisinde olduğu belirtilmiştir. Enzimin absorpladığı enerjiyi kullanarak DNA yapısındaki hasarlı bölgeye bir elektron göndermek suretiyle timin dimerleri arasındaki bağın kırılmasına neden olduğu ifade edilmektedir [Essen ve Klar, 2006]. Mikroorganizmaların tamamının fotolizaz enzim aktivitesine sahip olmadığı, patojen bakterilerden özellikle de Shigella türlerinin fotoreaktivasyon mekanizması bulunduğu belirtilmiştir [Özkütük, 2007].

UVC ışınların DNA yapısında meydana getirdiği zararın karanlıkta onarımı, yeniden bir araya gelme şeklinde gerçekleşmektedir. Karanlıkta onarım için fotoreaktivasyonun aksine görünür ışığa gereksinim duyulmamaktadır. Karanlıkta onarım; DNA yapısında timin dimerinin bulunduğu bölgedeki, doğru bazları da içeren yaklaşık 8-12 nükleotidlik kısmın uvr ABC ekzinükleaz (iki uçtan da kesen) enzim

aktivisi ile kesilmeleri ve kesilen kısmın oligonükleotid Helikaz II enzimi ile DNA yapısından uzaklaştırılması ile başlamaktadır. DNA' nın hasarlı kısmındaki bu boşluk daha sonra DNA Polimeraz I enzimi ile karşı iplikçiğin kalıp olarak kullanılmasıyla doldurulmaktadır. Son olarak iki serbest ucun DNA Ligaz enzimi ile birleştirilmesiyle UVC ışınların DNA yapısında meydana getirdiği hasar onarılmış olmaktadır. Karanlıkta onarımın belli bir süre içerisinde yapılması gerektiği ve bu süre içinde onarım yapılamazsa, DNA yapısında meydana gelen hasarın geri dönüşümsüz olabileceği belirtilmiştir [Anonim, DNA onarımı, 2010; Özkütük, 2007].

Mikroorganizmaların her ne kadar UVC ışınların neden olduğu hasarları onarma mekanizmaları bulunuyor olsa da, yapılan çalışmalar, UVC ışınlara maruz bırakılan mikroorganizmaların sahip oldukları onarım yetilerinin, uygulanan UVC ışın dozu ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Yüksek dozlarda UVC ışınlara maruz kalan mikroorganizmaların DNA yapılarında meydana gelen hasarları onaramadığı ve mikroorganizma yapılarında geri dönüşümsüz inaktivasyonların sağlandığı belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009].

#### 2.1.2.2. Ultravirole ışınımın mikrobiyal inaktivasyon gücüne etki eden faktörler

Ultravirole ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkinliği; kullanılan ultravirole ışın kaynağı lambanın dalga boyu ve ışın şiddeti, hedef mikroorganizmanın özellikleri ve içinde bulunduğu gelişim evresi ve gıda materyalinin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir [Koutchma vd., 2009].

Ultravirole ışınların mikroorganizmalar üzerinde sergilemiş olduğu mutajenik ve azaltıcı etkinin, ışınların dalga boyu, şiddeti ve mikroorganizmaların ışınlara maruz kalma süresine bağlı olarak değişim gösterdiği ifade edilmiştir [Costa vd., 2006; Vicente, 2005; Ngadi vd., 2003]. Mikroorganizmaların nükleik asitlerinin 253,7 nm dalga boyundaki ultravirole ışınları maksimum oranda absorbe etme yetisinde oldukları, bu nedenle de mikrobiyal inaktivasyonda 253,7 nm dalga boyunda ışın yayan UVC

lambaların kullanıldığı belirtilmiş ve UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki öldürücü etkisinin, görünür bölgeye yakın, uzun dalga ultraviöle ışınlardan çok daha fazla olduğu ifade edilmiştir [Koutchma vd., 2009; Beltran ve Canovas, 2004].

Mikroorganizmaların sahip olduğu; hücre duvarı yapısı, kalınlığı ve kompozisyonundaki farklılıklar ile hücre yapısında UVC ışınları absorplama yetisine sahip protein oranları ve DNA yapısını oluşturan nükleotitlerin kendi yapısal farklılıklarından dolayı mikroorganizmaların UVC ışınlara göstermiş olduğu duyarlılığın birbirinden farklı olduğu belirtilmektedir [Koutchma vd., 2009; Allende ve Artes, 2003]. Mikroorganizmaların UVC ışınlara olan duyarlılığının hücre DNA yapısında bulunan timin bazı miktarı ile orantılı olduğu belirtilmiştir.

Lacroix vd. (2004), yaptıkları çalışmada laktik asit bakterilerinin UVC ışınlara oldukça dirençli olduğunu, Silva vd. (2003), *E. coli*' nin UVC ışınlara göstermiş olduğu direncin *S. aureus* bakterisine göre çok daha fazla bulunduğunu belirtmişlerdir. Wallner-Pendleton vd. (1994), tavuk karkası yüzeyine inokule ettikleri *S. Typhimurium* ile karkas yüzeyinde bulunan psikrofil bakteri popülasyonunun düşürülmesi üzerinde UVC ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, ışınların karkas yüzeyinde *S. Typhimurium* gelişiminin önlenmesi üzerinde çok daha etkili olduğunu aynı etkiyi psikrofil bakteri popülasyonu üzerinde gösteremediğini belirtmişlerdir.

Mikroorganizmaların UVC ışınlara olan duyarlılığının mikroorganizmanın sahip olduğu DNA hasarı onarım yetisi ile de ilişkili olduğu, bazı bakteriler ile mavi yeşil alglerin sahip oldukları güçlü onarım mekanizmaları dolayısıyla UVC ışınlara olan dirençlerinin diğer mikroorganizma grupları yanında çok daha fazla olduğu belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009].

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon yetisi üzerinde, mikroorganizmaların içerisinde bulunduğu büyüme evresinin etkili olduğu belirtilmiş, farklı büyüme evrelerinde mikroorganizmaların kimyasal bileşimlerindeki değişime

bağlı olarak UVC ışınlarıda olan dirençlerinde değişim olabileceği ifade edilmiştir [Silva vd., 2003].

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon yetisi üzerinde, mikroorganizmaların bulunduğu ortamın fiziksel özelliklerinin de etkili olduğu belirtilmiştir. UVC ışınların düşük dalga boyuna sahip olmaları nedeniyle gıda materyallerine derinlemesine nüfuz etme yetisine sahip olmadıkları belirtilmektedir. UVC ışınlarıda maruz bırakılan bir gıda materyalinin kalınlığındaki artış, ışınların materyal iç kısımlarında bulunan mikroorganizmalar ile olan etkileşimlerini sınırlamakta ve bu nedenle ışınların mikrobiyal inaktivasyon gücü azalmaktadır [Koutchma vd., 2009]. Meyve ve sebze suları ile süt gibi sıvı gıdalarda ve içme sularında UVC ışın uygulamalarını sınırlandıran en önemli faktörün UVC ışınların düşük nüfuz gücüne sahip olmaları dolayısıyla derinlere nüfuz edememesi durumu olduğu, bu nedenle de sıvıların ince bir film halinde akıtılırken UVC ışınlarıda maruz bırakılmasının uygun olacağı belirtilmiştir [Murakami vd., 2006; Beltran ve Canovas, 2005; Tran ve Farid, 2004; Ngadi vd., 2003; Bintsis vd., 2000].

UVC ışınların ondalık azaltma dozunun bilinmesi gıda koruma ve muhafaza proseslerinin dizaynında önemli olmaktadır. UVC ışınlarıda maruz bırakılacak olan bir gıda maddesinin sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler içerisinde, UVC ışınların inaktivasyon mekanizmasını etkileyen özelliklerin açıkça ortaya konulması gerektiği ve ancak bu şekilde uygun işlem parametrelerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009]. UVC ışın uygulamalarının etkinliğinin belirlenmesine yönelik yapılacak olan bir çalışmada, inaktivasyon kinetik parametrelerinin ve gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin inaktivasyon hızı üzerindeki etkilerinin açıkça ortaya konulması gerekmektedir.



### 2.1.2.3. Ultravirole ışın kaynakları

Mikroorganizmaların nükleik asitlerinin 253,7 nm dalga boyundaki ultravirole ışınları maksimum oranda absorbe etme yetisinde oldukları, bu nedenle de mikrobiyal inaktivasyonda 253,7 nm dalga boyunda ışın yayan UVC lambaların kullanıldığı belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009; Beltran ve Canovas, 2004].

Civa buharlı ve civasız amalgam lambalar ultravirole ışın kaynağı olarak kullanılan lambalardır. UVC ışın kaynağı lambalar *germicidal lambalar* olarak ifade edilmektedir. Civa buharlı lambalar, ultravirole dezenfeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, özellikle sıvı gıdaların UVC ışınlar ile yapılan sterilizasyon ve pastörizasyon işlemlerinde lamba içerisinde bulunan civanın gıda maddesine sızması endişesi ile civasız amalgam lambalar geliştirilmiştir [Koutchma vd., 2009].

Ultravirole lambalar aydınlatmada kullanılan floresan lambalar ile benzer şekilde çalışmaktadırlar, iki lamba arasındaki tek fark; floresan lambanın ampulünün ultravirole ışınları görünür ışığa çevirme özelliğine sahip fosfor ile kaplı olmasıdır. Ultravirole lambalar fosfor ile kaplı değildir ve lambaların ampulleri arkta üretilen ultravirole ışınları geçirme özelliğindedir [Özkütük, 2007].

Ultravirole ışın kaynağı olarak kullanılan civa buharlı lambalar, alternatif akım ile çalışmaktadır ve düşük basınçlı, düşük basınçlı-yüksek çıkış gücünde ve orta basınçlı olmak üzere 3 farklı civa buharlı lamba bulunmaktadır. Civa buharlı ultravirole lambaların her iki ucunda içerisinde elektrotların takılı olduğu contalar vardır. Lambalarda ultravirole ışınları geçirme özelliğine sahip, içerisinde oldukça az miktarda katı civa ve argon gibi inert bir gaz bulunan, silika cam tüp şeklinde ampuller takılı durumdadır [Koutchma vd., 2009]. Civa buharlı lambaların, lambaya takılı ampül içerisinde bulunan civanın buhar basıncına bağlı olarak çalıştığı ve cam tüp içerisinde düşük veya orta basınçlı civa buharı içinden akan elektrik akımı sayesinde ultravirole ışık üretildiği

belirtilmiştir [Özkütük, 2007].

Ultravirole lambaların, lamba çalışma performansını gösteren teknik özelliklerinin; çalışma sıcaklığı, elektrik girişi (W/cm), öldürücü etkide (germicidal) ultravirole ışın ıkışı (W/cm), elektriğin öldürücü ultravirole ışınlara dönüştürölme etkinliği (%), ark uzunluğu ve lamba ömrü gibi parametreler olduğu belirtilmiştir [Koutchma vd., 2009].

## 2.2. MİKROORGANİZMALAR

Tez çalışması kapsamında, UVC ışınların; besiyeri yüzeyine yayılan, gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda enfeksiyon veya intoksikasyon gibi gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan ve gıdalarda bulunma olasılığı yüksek, saprofit ve patojen *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus* ve *Salmonella* Typhimurium gibi bazı saf bakteri kültürleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu kısımda bu bakteriler ile ilgili genel bir bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

### 2.2.1. *Escherichia coli* O157:H7

*Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae* familyasına ait, gram negatif, çubuk şeklinde, sporsuz, hareketli, fakültatif anaerob, oksidaz negatif, katalaz pozitif bir bakteri olup, insan ve çoğu sıcak kanlı hayvanın bağırsak florasında doğal olarak bulunmaktadır. Sularda ve çeşitli gıda ve gıda ürünlerinde fekal kontaminasyon indikatörü olarak önem taşıyan *E. coli*, çeşitli hastalıklara neden olan patojen suşlarının belirlenmesi ve son yıllarda ortaya çıkan bir çok salgında farklı *E. coli* suşlarına rastlanılmasından sonra gıda patojeni olarak değerlendirilmeye başlanmıştır [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000].

*E. coli* suşlarının büyük çoğunluğu, normal bağırsak florasında patojen özellik göstermezken, bağışıklık sistemi baskılanmış kişilerde, gastrointestinal bariyeri aşan suşların çeşitli enfeksiyonlara neden olabildiği görülmüştür [Erkmen, 2010]. *E. coli*' nin patojen suşları ishal, idrar yolları enfeksiyonları, menenjit, septisemi gibi çeşitli hastalıklara neden olmaktadır. İshale neden olan *E. coli* suşları, oluşturdukları hastalıklar ve serolojik özelliklerine bağlı olarak, enteropatojenik *E. coli* (EPEC), enteroinvasif *E. coli* (EIEC), enterotoksijenik *E. coli* (ETEC) ve enterohemorajik *E. coli* (EHEC) olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır [Karapınar ve Gönül, 2003; Halkman vd., 2001].

Enterohemorajik *E. coli* (EHEC), patojen *E. coli* suşları içinde en tehlikelisi olup,

çoğu ölümle sonuçlanan gıda kaynaklı enfeksiyonlardan sorumlu olan O157:H7 serotipini içermektedir. *Escherichia coli* O157:H7 serotipinin bağırsak epiteline tutunarak verotoksin ve shigatoksin olarak adlandırılan iki farklı tipte toksin ürettiği, bu toksinlerin dolaşım sistemine geçerek, kan hücreleri, bağırsak, karaciğer, böbrek ve beyinde ciddi zararlara neden olabildiği ifade edilmiştir. *E. coli* O157:H7 serotipinin neden olduğu enfeksiyonlarda minimum hastalık oluşturma dozunun 10 ile 100 kob/g aralığında olduğu, enfeksiyonda rol alan gıdalarda ise 10 ile 200 kob/g düzeylerinde *E. coli* O157:H7 bakterisinin saptandığı belirtilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Halkman vd., 2001; Tunail, 2000]. İşlenmiş ve işlenmemiş her türlü gıdada bulunmasına izin verilmeyen *E. coli* O157:H7 serotipi, gıdalar aracılığı ile insanlara bulaşan patojenler arasında önemli sırada yer almaktadır. Bu serotipin önemi sadece diğer patojenlere göre her bakımdan daha fazla patojeniteye sahip olmasından ileri gelmemekte, aynı zamanda başta et ve et ürünleri olmak üzere pek çok gıdaya kontamine olabilmesi ve bu gıdalar aracılığı ile salgınlara veya bireysel hastalanmalara neden olmasından kaynaklanmaktadır [Halkman vd., 2001]. Patojen *E. coli* gruplarından EIEC, ETEC ve EPEC' in insan kaynaklı olduğu, bu mikroorganizmaların gıdalara kanalizasyon ve işletme personeli aracılığı ile bulaştığı, EHEC' in kaynağının ise esas olarak süt sığırları olduğu ve gıdalara, sığır dışkısı, et ve süt işletmeleri aracılığı ile bulaşabildiği belirtilmiştir [Karapınar ve Gönül, 2003].

Mezofil bir mikroorganizma olan *E. coli* O157:H7 serotipinin optimum gelişim gösterdiği sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 37 °C ve pH: 7,2' dir. *E. coli* O157:H7 serotipi diğer *E. coli* serotiplerinden farklı olarak, 44,5 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda gelişim gösteremezken, sorbitol negatif özelliktedirler ve  $\beta$ -D-glukoronidaz enzimine sahip değillerdir. *E. coli*' lerin % 97' sinin  $\beta$ -D-glukoronidaz enzim aktivitesine sahip olduğu, % 95' inin ise 24 saat içerisinde sorbitölü fermente edebildiği belirtilmiştir. *E. coli* O157:H7 serotipinin diğer *E. coli*' ler yanında ortam safra tuzlarına daha dirençli oldukları da belirtilmiştir [Halkman vd., 2001].

*E. coli* O157:H7 serotipi sıcak kanlı pek çok hayvanın dışkısında doğal olarak

bulunmakla birlikte, insanlarda bu serotipin hastalığa neden olduğu kanıtlanmış pek çok vakada, yeterince pişirilmemiş sığır etleri ve çiğ sütlerin hastalıktan sorumlu olduğunun kanıtlanmasıyla, süt inekleri, temel *E. coli* O157:H7 kaynağı olarak kabul edilmiştir. Süt inekleri dışkılarında diğer sığırlara göre çok daha fazla *E. coli* O157:H7 serotipine rastlanması, süt ineklerinin çevreye ve gıdalara *E. coli* O157:H7 bulaşmasında potansiyel bir taşıyıcı olduğunu göstermiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Halkman vd., 2001].

Sonuç olarak başta süt inekleri dışkısı olmak üzere doğrudan veya dolaylı olarak sıcak kanlı hayvanların dışkılarının bulaştığı her türlü gıda maddesi, *E. coli* O157:H7 enfeksiyonu bakımından potansiyel tehlike taşımaktadır. Kesim sırasında etlere, sağıım sırasında ise sütlere hayvan dışkısı aracılığı ile bulaşan bu serotip, hayvan dışkılarının gübre olarak kullanılması ve bunun yanında hayvan dışkısı bulaşmış sular ile yapılan sulama aracılığıyla meyve ve sebzelere bulaşabilmektedir. Pek çok gıda maddesi ve içme sularında *E. coli* O157:H7 varlığı gösterilmiş, başta sığır ve süt inekleri olmak üzere, domuz, koyun, tavuk et ve et ürünleri, çeşitli peynir ve pastörize edilmemiş sütler, taze sıkılmış meyve suları, salatalar ve salata sosları ve çeşitli baharatlar, *E. coli* O157:H7 bakımından tehlike unsuru oluşturan gıdalar olarak belirtilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Halkman vd., 2001; Tunail, 2000].

### 2.2.2. *Staphylococcus aureus*

*Micrococcaceae* familyası içerisinde yer alan *Staphylococcus aureus*, gram pozitif, kok şeklinde, sporsuz, hareketsiz, fakültatif anaerob, oksidaz negatif, katalaz pozitif, glikozu anaerobik koşullarda fermente etme yetisine sahip olan bir bakteridir. Mezofil karakterde olan *S. aureus*' un optimum üreme sıcaklığı 35-37 °C olmakla birlikte ortam koşullarına bağlı olarak 7 ile 48 °C aralığında gelişebilme özelliğine sahiptir. *S. aureus*' un optimum üreme pH değeri pH: 7 ile 7,5 arasında olup, gelişim gösterebildiği pH aralığı pH: 4,5-9,3 olarak belirlenmiştir. Organizmanın optimum gelişim gösterdiği su aktivitesi değeri 0,99 olmakla birlikte 0,83 su aktivitesi değerinde

de gelişim gösterebildiği belirtilmiştir. Yüksek tuz konsantrasyonlarına direnç gösteren *S. aureus*' un % 10 tuz konsantrasyonunda rahatlıkla gelişim gösterebildiği ifade edilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000].

*S. aureus*, salgılamış olduğu farklı tiplerdeki enterotoksinler ile intoksikasyon tipi gıda zehirlenmelerine neden olmaktadır. *Staphylococcus* enterotoksinlerinin ısıl stabiliteilerinin oldukça yüksek olduğu, normal pişirme yöntemleri ile pastörizasyon ve sterilizasyon uygulamalarının gıdalarda enterotoksin inaktivasyonunda yetersiz kalabildiği belirtilmiştir. *S. aureus* intoksikasyonlarının görülebilmesi için, bakterinin uygun koşullarda çoğalması ve belirli bir sayıya ulaşarak toksin oluşturması gerekmektedir. İntoksikasyonun ortaya çıkması için vücuda gıda ile birlikte alınması gereken minimum enterotoksin dozunun 0,015 ile 0,357 µg arasında değiştiiği belirtilmiştir. *S. aureus* sayısı 10<sup>5</sup> kob/g olan gıdaların *Staphylococ* zehirlenmesi açısından risk taşıdığı, ancak gıdada düşük sayıda *S. aureus* saptanması durumunda bu gıdanın, gıdaya uygulanan işlemlerin gıda bünyesinde bulunan *S. aureus* sayısını azaltırken, bakterinin üretmiş olduğu enterotoksini etkileyemeyeceği dolayısıyla, *S. aureus* intoksikasyonu bakımından güvenli olduğu anlamına gelmeyeceği ifade edilmektedir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003].

Bakterinin salgıladığı enterotoksinin gıda ile birlikte vücuda alınması ile ortaya çıkan *S. aureus* intoksikasyonu genel olarak bulantı, kusma, karın ağrısı, mide krampları ve ishal şeklindeki belirtiler ile kendini göstermektedir. Hastalığın gıda maddesinin tüketiminden 2 ile 4 saat gibi oldukça kısa bir süre sonra ortaya çıktığı ve çoğu zaman da yeterli miktarda sıvı alınması durumunda 1-2 gün içerisinde iyileşme sağlanabildiği belirtilmiştir. Fakat salgılanan enterotoksin tipine bağlı olarak; toksik şok sendromu, akciğerde ödem ve börek yetmezliği gibi ciddi hastalıkların meydana gelmesi durumunda, iyileşmenin daha uzun zaman alabileceği ifade edilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000].

Sıcak kanlı canlıların deri, boğaz ve burun floralarında doğal olarak bulunan *S.*

*aureus* için en önemli kaynak insan olup, sağlıklı insanların yaklaşık % 30-50' sinin *S. aureus* taşıyıcısı olduğu ifade edilmiştir. Hayvanlardan esas olarak koyun ve ineklerin *S. aureus* kaynağını oluşturduğu, mastitisli hayvanlardan izole edilen suşların büyük bir kısmının enterotoksijenik özellikte olduğu belirtilmiştir. *S. aureus'* un doğal olarak ortam, hava ve kanalizasyon sularında bulunabildiği ancak, *Staphylococcal* gıda zehirlenmelerinde işletme personeli veya kontamine olmuş alet ekipmanların en önemli bulaşı kaynaklarını oluşturduğu ifade edilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000].

*S. aureus* intoksikasyonuna neden olan gıdalar arasında; pişirilmiş ve tüketimi öncesinde uzun süre oda sıcaklığında bekletilmiş ve elle hazırlanmış gıdalar ön plana çıkmaktadır. *S. aureus'* un neden olduğu intoksikasyonların önlenmesinde personel hijyenine dikkat edilmesi birinci sırada yer almakta, bununla birlikte, ısıl işlem sonrasında gıdaların hızla soğutulması, ısıl işlem görmeden tüketilecek olan gıdaların soğukta saklanması ve kullanılan alet ekipmanlar sonucu meydana gelecek çapraz bulaşımın önlenmesi patojen kontrolü ve intoksikasyonun önlenmesi açısından oldukça önemli olmaktadır.

Kırmızı et ürünleri, tavuk eti, parçalanmış etler, ızgara etleri, salam, jambon, ısıl işlem görmüş veya tütsülenmiş etler, yumurta ile hazırlanan ürünler, süt ve süt ürünleri, pastacılık ürünleri, şarküteri ürünleri ve salatalar, *S. aureus* riski taşıyan gıdalardır [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000].

### 2.2.3. *Salmonella* Typhimurium

*Enterobacteriaceae* familyası içerisinde yer alan *Salmonella* cinsi bakteriler, gram negatif, çubuk şeklinde, sporsuz, genellikle hareketli, fakültatif anaerob, oksidaz negatif, katalaz pozitif, üreaz negatif, glikoz ve diğer pek çok karbonhidratı fermente edebilme özelliğine sahip bakterilerdir. Mezofil bir mikroorganizma olan *Salmonella'* nın optimum üreme sıcaklığı 35-37 °C iken üreme sıcaklık aralığı 2 ile 48 °C arasında

değişim göstermektedir. *Salmonella* cinsi bakteriler 0,95-0,99 su aktivitesi aralığındaki gıda materyallerinde üreme özelliğı gösterirken, optimum gelişim gösterebildikleri pH değerleri pH: 6,5-7,5 arasında olup, minimum ve maksimum gelişim gösterdikleri pH değerleri sırasıyla pH: 4 ve pH: 9' dur [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Doğan, 2001; Tunail, 2000; Doğan, 1993].

*Salmonella* cinsi bakterilerin *Salmonella enterica* ve *Salmonella bongori* olmak üzere iki türü bulunmaktadır ve bu türlerden *Salmonella enterica*; *S. enterica* subsp. *enterica*, *S. enterica* subsp. *salamae*, *S. enterica* subsp. *arizonae*, *S. enterica* subsp. *diarizonae*, *S. enterica* subsp. *houtenae*, *S. enterica* subsp. *indica* olmak üzere altı alt türe ayrılmıştır. *Salmonella* cinsi bakterilerin yaklaşık 2500 farklı serotipinin bulunduğu ve bu serotiplerin büyük çoğunluğunun *S. enterica* türü içerisinde yer aldığı belirtilmiştir [Erkmen, 2010; Tunail, 2000].

*Salmonella* serotiplerinin adlandırılmasında öncelikle cins ve tür daha sonra alt tür ve serotip isimleri kullanılmaktadır fakat bu şekilde oldukça uzun olan adlandırma sadece cins ve serotip isimlerinin kullanımı ile kısaltılabilmektedir. Örneğın *Salmonella enterica* türünün *enterica* alt türüne ait *typhimurium* serotipi; *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serotip *typhimurium* veya *S. Typhimurium* şeklinde kısaltılarak adlandırılmaktadır. Kısaltmada, serotip isminin ilk harfi büyük yazılırken italik harfler kullanılmamakta ve bu şekilde serotipin tür gibi anlaşılmasının önüne geçilmektedir [Erkmen, 2010; Tunail, 2000].

*Salmonella* cinsine ait 1400' den fazla serotipin genel olarak *salmonellosis* olarak ifade edilen çeşitli enfeksiyonlara neden olduğu, bununla birlikte insan ve hayvanlarda enfeksiyona neden olan bütün suşların *Salmonella enterica* türünün birinci alt grubunda (*S. enterica* subsp. *enterica*) yer aldığı belirtilmiştir [Doğan, 2001; Tunail, 2000]. Tifo (enterik humma) ve paratifo hastalıklarına neden olan *S. Typhimurium* ve *S. Paratyphi* serotiplerinin konakçısı insandır ve bu iki serotip sadece insanlarda hastalığa neden olmaktadır [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Tunail, 2000]. Tifo ve



paratifo belirtilerinin klasik gıda zehirlenmelerinden farklı olduğu, ince bağırsağa yerleşen bakteri hücrelerinin epitel dokudan geçerek lenf dokusuna yerleştiği ve buradan kan sistemine geçerek vücudun değişik bölgelerine yerleşebildiği belirtilmiştir. Yüksek ateş, göğüs ve bedende pembe lekeler ve kanlı ishal şeklinde karakterize olan hastalığın, ölüm oranı en yüksek gıda kaynaklı enfeksiyonlardan biri olduğu belirtilmektedir [Erkmen, 2010; Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Tifo ve paratifo enfeksiyonları benzer semptomlar göstermekle birlikte patojen olarak tanımlanan ilk *Salmonella* serotipi; *S. Typhimurium*' un neden olduğu tifo hastalığının paratifodan daha tehlikeli olduğu ifade edilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Doğan, 2001; Tunail, 2000].

*Salmonella* serotiplerinin büyük çoğunluğunun potansiyel patojen olarak kabul edilmesi ve gıdada çok düşük sayıda *Salmonella* bulunsa dahi ciddi sağlık sorunlarına yol açması nedeniyle gıdalarda *Salmonella* cinsi bakterilerin bulunmasına izin verilmemektedir [Tunail, 2000].

Başlıca kaynağı sağlıklı veya hasta insan ve omurgalı hayvanların bağırsakları olan ve dışkı ile çevreye atılan *Salmonella* hücreleri yıllarca canlılıklarını koruyabilmekte ve doğada oldukça yaygın bir şekilde bulunmaktadır. *Salmonella*; toprak, hava, su, lağım ve atık suları, hayvan ve hayvan yemleri gibi pek çok ortamda bulunmaktadır. Gıda maddelerine *Salmonella* bulaşısı çeşitli şekillerde meydana gelmekte, *Salmonella* enfeksiyonlarının oluşmasında hayvan, hayvan yemi, gıda ve insanlar arasındaki etkileşimler etkili olmaktadır [Erkmen, 2010]. *Salmonella* enfekte olmuş hayvanların et ve süt üretimlerinde kullanılmaları, çevreye ve sulama sularına dışkı ve mezbaha atıklarının bulaşması sonrasında meyve ve sebzelere bulaşı olması, gıda hazırlama, üretim ve servis sırasında çapraz bulaşma ile çiğ gıdalardan tüketime hazır gıdalara bulaşı olması gibi durumlar gıdalara genel *Salmonella* bulaşı yollarını oluşturmaktadır [Karapınar ve Gönül, 2003]. Ayrıca gıda üretiminin her aşamasında önemli yer tutan insan da *Salmonella* kontaminasyonlarında önemli rol oynamakta, gıda işletmelerinde hijyen koşullarına dikkat edilmemesi ile çalışanlar tarafından gıdalar *Salmonella* ile kontamine olabilmektedir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003;

Doğan, 2001]. En önemli *Salmonella* kaynaklarından biri olarak kabul edilen çiftlik hayvanlarına *Salmonella* bulaşısı; hayvanlara verilen yem ve sulara *Salmonella* bulunmasından kaynaklanabileceği gibi, hayvanların sürüler halinde olmaları dolayısıyla enfekte olmuş diğer hayvanlardan temas yolu ile de olabilmektedir [Karapınar ve Gönül, 2003].

*Salmonella'* nın en fazla bulunduğu gıdaların başında hayvansal ürünler gelmektedir. Et ve tavuk ürünleri, çiğ kıyma, yumurta ve yumurtalı ürünler, su ürünleri, süt ve süt ürünleri, dondurma, süt tozu ve krema *Salmonella* riski taşıyan gıda maddeleridir. Bitkisel ürünler ise lağım suyu karışmış sular ile sulanmaları durumunda *Salmonella* ile kontamine olabilmekte, taze ve çiğ meyve ve sebzeler, baharatlar ve salatalar *Salmonella* açısından büyük risk taşımaktadır [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Doğan, 2001; Tunail, 2000; Doğan, 1993].

### 2.3. BAHARATLAR

Tez çalışması kapsamında UVC ve FIR ışınların; baharat pastörizasyonundaki etkinliği ve uygulamanın baharat mikrobiyal yükü yanında baharat kabul edilirliliğini etkileyen fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmış, laboratuvar ölçekli sistemlerde yapılan analizler ile baharat pastörizasyonuna yönelik geliştirilecek olan yöntemin pastörizasyon üzerindeki etkinliği ve pastörize tane baharat eldesine yönelik kullanılabilme potansiyelinin sanayii boyutunda test edilmesi ile baharat pastörizasyonuna yönelik ekonomik ve güvenilir bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bitkilerin tohum, çekirdek, meyve, çiçek, kabuk, kök ve yaprak gibi çeşitli kısımlarından elde edilen, gıdalara renk, tat, koku ve lezzet vermeleri yanında, sahip oldukları antimikrobiyal aktiviteler dolayısıyla koruyucu olarak ta ilave edilen bitkisel ürünler ve/veya bunların karışımları olan baharatlar, doğal gıda katkı maddeleridir [Anonim, 2000]. Baharatların bitkisel kaynaklı olmaları ve elde edildikleri bitkilerin pek çok mikroorganizmanın doğal kaynağı olan toprak ve su ile temas halinde bulunması, baharatların doğal olarak bu mikroorganizmalar ile yoğun bir şekilde kontamine olmalarına sebep olmaktadır [Gönül, 2003]. Baharatların özellikle sıcak ve nemli bölgelerde yetişmesi, hasat ve depolama sırasında hijyen koşullarına dikkat edilmemesi bulaşma risklerini arttırmaktadır. Bunun yanında kuş, kemirici ve böcek gibi çeşitli hayvanlardan kaynaklı fekal kontaminasyonların da baharatlarda muhtemel mikrobiyal bulaşı yollarından biri olduğu belirtilmektedir [Üner vd., 2000]. Aerobik mezofilik bakteriler, maya-küf, sporlu bakteriler ve bazı patojenler baharatlarda sıklıkla rastlanan mikroorganizma gruplarıdır. Baharatların toplam bakteri ve maya-küf düzeylerinin sırasıyla  $10^{5-9}$  ile  $10^{5-6}$  kob/g gibi oldukça yüksek oranlarda olabildiği belirtilmiştir [Vural vd., 2004; Banerjee ve Sarkar, 2003; Filiz, 2001; Üner ve Ergün, 1999; Karapınar ve Tuncel, 1986].

Baharatlar, düşük nem ve su aktivitesine sahip olmaları nedeniyle mikrobiyal

gelişime uygun olmayan gıda materyalleridir. Fakat baharatın, yüksek su aktivitesi ve nem içeriğine sahip bir gıda maddesine katkı olarak ilave edilmeleri durumunda, baharat bünyesinde bulunan mikroorganizmaların çoğalıp üremeleri için uygun ortamlar bulabildikleri ifade edilmektedir [Banerjee ve Sarkar, 2003; Tainter vd., 2001]. Baharatlar gıda maddelerine her ne kadar düşük miktarlarda ilave edilseler de baharat bünyesinde var olan yüksek mikrobiyal yük dolayısıyla baharatlar, gıda maddelerinde mikrobiyal bozulmalara neden olabilmektedir. Özellikle de baharatın *Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *B. cereus*, *Staphylococcus* gibi patojen bakteriler ve/veya toksin oluşturan küf ve mayalar ile kontamine olmaları durumunda halk sağlığı açısından ciddi tehlike oluştuğu belirtilmiştir [Zweifel and Stephan, 2011; EFSA, 2011]. Baharatların pek çoğu farklı mikroorganizma gruplarına karşı antimikrobiyal özellik göstermekte ve bu nedenle baharatlar gıda maddelerine doğal koruyucular olarak ta ilave edilebilmektedir [Singh vd., 2002]. Fakat yüksek düzeyde mikrobiyal bulaşıya maruz kalan baharatlar özellikle de et ürünleri üretimi ve hazır yemek sektöründe önemli problemlere neden olmakta, patojen bakterilerle kontamine olan baharatlar tüketici sağlığı açısından tehlike oluşturmaktadır [Banerjee ve Sarkar, 2003; Little vd., 2003; Filiz, 2001; Al-Jassir, 1992].

Baharatların mikrobiyal yükleri ilave edildikleri gıda maddelerinde neden oldukları mikrobiyal bozulmalar ve tüketici sağlığı üzerinde oluşturdukları tehlike yanında, baharat ticaretinde de önemli sorunlara yol açmakta, mikrobiyal yükün standartlarda belirtilen düzeylerin üzerinde olması ihracatı sınırlamaktadır. Ülkemiz baharat üretimi ve ihracatı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle de kimyon, ülke baharat ihracatının önemli bir kalemini oluşturmaktadır. Fakat son yıllarda mikrobiyal yük nedeniyle ihracatta yaşanan sıkıntılar ülke pazar payında önemli kayıplara neden olmuştur. İhracatta mikrobiyal yük açısından sorun yaşanmaması, daha fazla baharat ihraç edilebilmesi, yurt içinde güvenli gıda satışlarının sağlanması ve dolayısıyla güvenli gıda üretimine katkıda bulunulması amacıyla baharat pastörizasyonuna yönelik kaliteden ödün vermeyecek etkili bir uygulamanın geliştirilmesi ihtiyacı duyulmuştur.

Gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulan baharatların mikrobiyal yüklerinin azaltılmasına yönelik fumigasyon, basınçlı buhar ve radyasyon uygulamaları yapılmaktadır [Khan vd., 2010; Schweiggert vd., 2007; Aydın, 2003; Tainter vd., 2001].

Etilen-propilen oksit gibi kimyasallarla fumigasyon uygulamaları baharat sterilizasyonunda uzun yıllardan beri kullanılmakta olan etkili bir yöntem olmakla birlikte toksik etkileri nedeniyle pek çok ülkede fumigasyon ile yapılan sterilizasyon uygulamalarına sınırlamalar getirilmiştir. Fumigasyon uygulamaları, baharatta toksik kalıntı bırakmakta ve baharatların duyuşal özelliklerinde istenmeyen değişimlere neden olmaktadır [Esa, 2010; Ünlütürk ve Turantaş, 2003; Hayashi, 1998].

Baharatlarda mikrobiyal yükün düşürülmesine yönelik uygulanan bir diğer yöntem olan basınçlı buhar uygulamasının, her baharat çeşidi için uygun olmayıp, üründe başta renk olmak üzere çeşitli kalite kayıplarına neden olabildiği ve yüksek enerji sarfiyatını beraberinde getirmesi bakımından da oldukça maliyetli olduğu belirtilmiştir [Gönül, 2003]. Basınçlı buhar uygulamalarında baharatlar yüksek sıcaklıkta buhar ile temas etmektedir ve yöntem, nem ile ısıl işlemin bir arada yapılması dolayısıyla uygulanması kolay olmayan bir yöntemdir [Schweiggert vd., 2007]. Baharatlar ısıya duyarlı renk ve aroma bileşenlerine sahip olmaları nedeniyle yüksek sıcaklıklarda uzun süre tutulamamaktadırlar. Ayrıca uygulama sırasında baharat yüzeyinde yoğuşan nemin, uygulama sonrasında depolama sürecinde küf gelişimine neden olmaması için etkili bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir [Tainter vd., 2001]. Kispetera vd. (2003), kırmızı toz biberin doymuş buhar ile sterilizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada uygulamanın 12 hafta depolama süreci sonrasında renk kayıplarına neden olduğu ve örneklerde serbest radikaller oluştuğunu saptamışlardır. Rico vd. (2010), kırmızı toz biberin yüksek sıcaklıkta buhar ve radyasyon ile sterilizasyonu sonrasında depolama sürecindeki fizikokimyasal ve mikrobiyal kalite değişimlerini inceledikleri çalışmalarında radyasyon uygulamasının mikrobiyal dekontaminasyon üzerinde daha etkili olduğunu saptamışlardır. Ayrıca çalışmada yapılan duyuşal analiz sonuçları ve renk ölçüm değerleri yüksek sıcaklıkta buhar uygulaması sırasında önemli

düzeyde kayıplar meydana geldiğini göstermiştir.

Baharatların  $\gamma$  ve  $\chi$  ışınları ile radyasyonu baharat sretilizasyonunda kullanılan oldukça etkili bir yöntemdir. Özellikle de  $\gamma$  ışınları ile radyasyon uygulamalarının baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir [Khan vd., 2010; Sádecká, 2007]. Baharatların radyasyon uygulaması ile sterilizasyonunda uygulanan dozun dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda yüksek dozda radyasyon uygulamalarının baharatların bazı aroma bileşenlerinde oksidasyon ve bozunmalara neden olduğu belirtilmiştir [Sádecká, 2007; Hayashi, 1998; Variyar vd., 1997]. Sádecká vd. (2004)  $\gamma$  ışınlarının karabiber mikrobiyal yükü ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada 30 kGy dozunda radyasyon uygulaması sırasında karabiber aroma bileşenlerini oluşturan terpen moleküllerinin oksidasyona uğradığını saptamışlardır. Bir diğer çalışmada Variyar vd. (1997),  $\gamma$  radyasyon uygulamasının zencefil aromasını oluşturan uçucu yağ bileşenlerinde uygulamadan hemen sonra herhangi bir değişime neden olmazken, depolama sürecinde önemli düzeyde kayıplara neden olabildiğini belirlemişlerdir.  $\gamma$  ve  $\chi$  ışınları ile yapılan sterilizasyon işleminin oldukça maliyetli bir uygulamadır bunun yanında sterilizasyon sonrasında ürünün radyasyon içereceği düşüncesi tüketiciler tarafından kuşku ile yaklaşılan bir durum olmaktadır [Khan vd., 2010; Suhaj vd., 2006; Schweiggert vd., 2005; Bayram ve Delince, 2004; Siyakuş vd., 2003].

Literatürde vurgulu elektrik alan uygulamaları, mekanik ve ısıl işlemlerin bir arada kullanılması, yüksek sıcaklıkta kısa süre ısıl işlem gibi yöntemlerin baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesinde kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Keith vd. (1997), yaptıkları çalışmada vurgulu elektrik alan uygulaması ile fesleğen, dereotu ve soğan tozu baharatları mikrobiyal yüklerinde maksimum 1 logaritmik birim azalma sağlanabildiğini ve uygulamanın tek başına baharat pastörizasyonunda etkili bir yöntem olamayacağını vurgulamışlardır. Lilie vd. (2007), mekanik ve ısıl işlem uygulamasının baharat mikrobiyal yükü yanında nem, uçucu yağ miktarı ve uçucu yağ bileşenleri gibi

kalite parametreleri üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında test materyali olarak tane karabiber kullanmışlardır. Bu çalışmada  $10^7$  kob/g düzeyinde mezofilik aerobik bakteri içeren karabiber taneleri özel bir düzenek içerisinde vakum altında doygun buhar ile muamele edilmiş ve yaklaşık 3 logaritmik birim mikrobiyal azalma sağlanırken diğer kalite parametrelerinin de önemli düzeyde korunabildiği belirtilmiştir. Doygun buhar uygulamaları, baharatlarda depolama sürecinde istenmeyen küf gelişimi ve renk kayıplarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada örneklerde depolama sürecinde meydana gelen değişimler incelenmemiştir. Fine vd (2005), 200 ile 600 °C gibi oldukça yüksek sıcaklık aralığında kısa süre (0,1-30 saniye) ısıl işlem sonrasında -80 °C' de soğuk CO<sub>2</sub> gazı ile hızlı soğutma yönteminin 3 mm çaplı cam boncuklar ve buğday ununa inokule ettikleri *S. cerevisiae* üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada uygulamanın kalite özellikleri üzerindeki etkisi sadece renk ölçümü ile değerlendirilmiş ve uygulama süresindeki artışın rengi olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Baharat mikrobial yükünün düşürülmesine yönelik yapılacak olan bir işlemdede, ürün mikrobiyal yükü standartlarda verilen düzeylere çekilirken fiziksel, kimyasal ve duyuusal kalite mümkün olduğunca korunmalı, kayıplar minimum düzeyde tutulmalıdır.

Baharatların kuru madde miktarları oldukça yüksektir ve genel olarak baharat tanelerinin iç kısımları yoğun bir mikrobiyal kontaminasyona maruz kalmazken, mikrobiyal yük tane yüzeyinde toplanmıştır [Baba vd., 2004; Hamanaka vd., 2000; Hayashi, 1991]. Bu nedenle yüzeye uygulanacak etkili bir işlem ile mikrobiyal açıdan güvenli tane baharat eldesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir. UVC ve FIR ışınların düşük nüfuz gücüne sahip olmaları dolayısıyla tane baharat yüzey pastörizasyonunda etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

Bir gıda materyalinin FIR ışınlarıda maruz kalması durumunda gıdayı oluşturan molekül ve atomlarda birtakım titreşimler meydana geldiği ve bu titreşimlerin gıda materyali atom ve moleküllerinin hızlarında artışlara neden olurken, materyal yüzey sıcaklığında da hızlı bir yükselmeye neden olduğu belirtilmiştir [Krishnamurthy vd.,

2008; Fasina ve Thomas 2001; Sakai ve Hanzawa, 1994]. Isının gıda materyali iç kısımlarına iletimi kondüksiyon ile gerçekleşmektedir ki gıdaların içermiş oldukları nem miktarına bağlı olmakla birlikte ısı iletim katsayıları ( $<0,6 \text{ W/m}^2\text{-K}$ ) oldukça düşüktür. Bu durumda İR ışınlara maruz bırakılan bir gıda materyalinin yüzey sıcaklığı hızla artarken, gıdanın düşük ısı iletim katsayısına sahip olması dolayısıyla ısının yüzeyden iç kısımlara iletiminin oldukça yavaş bir şekilde gerçekleşeceği beklenmektedir [Atungulu ve Pan, 2010]. Sonuç olarak gıda materyalinin IR ışınlara maruz kalma süresinin ayarlanması ile gıda yüzey sıcaklığı hızla hedef mikroorganizma ve/veya mikroorganizma gruplarının öldürülebileceği düzeylere yükseltilebilirken, gıda materyali iç kısımlarının sıcaklığı çok fazla değişmeyecek ve ısı iletim sırasında iç kısımda bulunan ısıya duyarlı kalite bileşenleri mümkün olduğunca korunabilecektir [Huang, 2004; Fasina ve Thomas, 2001; Sakai ve Hanzawa, 1994]. Staack vd. (2008a), toz kırmızı biberde *B. cereus* sporlarının IR ışın uygulamaları ile öldürülmesine yönelik yaptıkları çalışmada yakın infrared ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisini sıcaklık, pH ve su aktivitesi parametrelerini de göz önüne alarak incelemişlerdir. Çalışmada IR ısıtmanın *B. cereus* sporları üzerindeki etkisinin ısı akısı ve su aktivitesi değerlerine bağlı olarak değiştirdiği, yüksek ısı akısı ve su aktivitelerinde infrared ısıtmanın mikrobiyal inaktivasyon yetisinin çok daha iyi olduğu bununla birlikte, pH değerinin mikrobiyal inaktivasyon üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı belirtilmiştir. Staack vd. (2008b), yapmış oldukları bir diğer çalışmada iki farklı dalga boyu aralığındaki IR ışınların (orta ve yakın) kırmızı toz biber doğal mikrobiyal florası yanında ağırlık kaybı ve renk üzerindeki etkisini incelemişler ve ışınların özellikle de yüksek su aktivitesi değerlerinde mikrobiyal inaktivasyon üzerinde oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir.

UVC ışınlar gıda materyalleri yüzey dezenfeksiyonunda kullanılan, gıdalarda kullanımı Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanmış bir soğuk pastörizasyon işlemdir [Anonim, FDA 2011; Koutchma vd., 2009]. Gıdaların UVC ışınlara maruz kalmaları sonrasında gıda materyali bünyesinde herhangi bir toksik kalıntı meydana gelmemektedir. UVC ışınlar mikroorganizmaların DNA yapılarında fotokimyasal bir takım değişimlere sebep olarak mikroorganizmaların üreme yetilerinde



tahribata yol açmaktadırlar [Koutchma vd., 2009; Silma vd., 2003]. UVC ışınların baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik literatürde mevcut bir çalışma bulunmamaktadır fakat UVC' nin ısı olmayan bir uygulama olması, üründe herhangi bir kalıntı bırakmıyor olması, düşük ekipman ve uygulama maliyeti yanında kullanım kolaylığına sahip olması gibi avantajları dolayısıyla baharat pastörizasyonunda uygun bir yöntem olarak kullanılabilceği düşünölmüştür.

UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada tane kimyon ve karabiber örnekleri kullanılmıştır. Kullanım alanı oldukça fazla olan tane karabiber örneklerinin partiköl özellikleri dolayısıyla uygulamaların etkinliğinin ortaya konulabilmesi açısından uygun bir materyal olabileceği düşünölmüştür. Kimyon, Türkiye baharat ihracatının en önemli kalemini oluşturmaktadır ve ölkemiz Hindistan ve Çin' den sonra dünya kimyon ihracatında 3. sırada yer almaktadır. Fakat bununla birlikte dünya ticaret organizasyonu verilerine göre Türkiye' nin dünya kimyon ticaretindeki yeri 2002 yılında % 25' lerede iken 2009 yılı itibariyle bu oran % 2,4' lere gerilemiş durumdadır [WTO, 2010]. Türkiye, maliyetlerindeki yükseklik nedeni ile ihracatta, ucuz mal isteyen ortalama marketler için çok fazla rekabetçi olamamaktadır. Firmalar pazar paylarını ancak gelir seviyesi daha yüksek, kaliteye önem veren marketler için uygun ürünler sunarak artırabilmektedirler. Olumlu bir fark yaratıldığı takdirde, düşük fiyatta sıradan mal satan tedarikçilerden dolayı kaybedilen pazar payının, kalite üstünlüğü ile kazanılabileceği düşünölmektedir.

#### 2.4. İŞLEM GÖRMEMİŞ TAZE KIRMIZI ET

Kesimden sonra 0 ile 4 °C aralığında, % 85-90 bağıl nemli karkas dinlendirme odalarında en az 24 saat bekletildikten sonra satışa sunulan etler ile yine bu odalarda olgunlaştırıldıktan sonra dondurularak belirli sürelerde depolanan etler; işlem görmemiş taze et olarak tanımlanmaktadır [Üçüncü, 2007]. Türk Gıda Kodeksi “Çiğ Kırmızı Et ve Hazırlanmış Kırmızı Et Karışımları” Tebliğı’ nde kırmızı etin; kasaplık hayvanların karkaslarından elde edilen insan tüketimi için uygun tüm parçaları ifade ettiğı, çiğ kırmızı etin ise; modifiye atmosfer yöntemi veya vakum ile ambalajlanmış kırmızı etler de dahil olmak üzere soğutma, dondurma veya hızlı dondurma dışında herhangi bir koruyucu işlem görmemiş olan, parçalanmış veya parçalanmamış taze kırmızı etleri ifade ettiğı belirtilmektedir [Anonim, 2006].

İşlem görmemiş taze etler, sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikleri dolayısıyla mikrobiyal bozulmalara karşı oldukça duyarlı gıda maddeleridir. Taze ette otolitik, oksidatif, proteolitik ve mikrobiyal aktiviteler sonucu çeşitli bozulmalar meydana gelmektedir [Aydın, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Et yapısında bulunan enzimler ve mikrobiyal aktiviteler sonrasında yağlarda oksidasyon ve hidroliz, proteinlerde basit azotlu bileşiklere parçalanma gibi oluşumlar, etin kalite ve raf ömrünü etkilemektedir. Et bünyesinde oldukça fazla miktarda bulunan doymamış yağ asitleri ve fosfolipitler etlerde yağ oksidasyon risklerini arttırırken, işlem görmemiş taze etin sahip olduğı pH, nem ve zengin besin öğeleri, ette mikrobiyal bozulma riskinin artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte et yapısında meydana gelen biyokimyasal değişimler sonrasında ortaya çıkan bileşikler, et bünyesinde mikrobiyal gelişim için daha da uygun bir zemin oluşmasına yol açmaktadır [Aydın, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2003; Frazier ve Westhoff, 1998].

Genel olarak sağlıklı bir hayvanın kas dokusu steril olmakla birlikte; kesim, derinin yüzülmesi, iç organların çıkarılması ve karkasın parçalanması sırasında mikroorganizmalar, hayvanın derisi, bağırsakları, kesim aletleri, hava, çalışanların elleri

ve elbiseleri, taşıma arabaları, alet ve ekipmanlar yolu ile ete bulaşabilmektedir. Bulaşan bu mikroorganizmalar uygun koşullarda çoğalarak ette bozulmalara neden olmaktadır [Aydın, 2005; Wong vd., 1998; Frazier ve Westhoff, 1998; Raymond vd.,1987].

İşlem görmemiş taze ette görülen mikrobiyal bozulmaların genel olarak mikrobiyal bulaşma ve et yüzeyinde meydana gelen mikroorganizma gelişiminden kaynaklandığı belirtilmiştir. Taze ette mikrobiyal aktivite sonucu meydana gelen bozulmalar, gıda zehirlenmelerine neden olmakta ve bu durum halk sağlığı açısından ciddi tehlike oluşturması yanında, ekonomik açıdan da kayıplara yol açmaktadır [Karagöz ve Candoğan, 2007]. Çiğ et, tüketiciye ulaşıncaya kadar herhangi bir işlem görmemekte, gıdaların mikroorganizmaların olumsuz etkilerinden korunmasına yönelik yapılan fermentasyon, kurutma, tuzlama ve ısıl işlem gibi uygulamalar taze etlere uygulanamamaktadır. Bu nedenle özellikle de patojen pek çok mikroorganizmanın doğal kaynağı ve bu mikroorganizmaların gelişimi için oldukça iyi bir besi ortamı olan taze et, gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıkların ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır [Ünlütürk ve Turantaş, 2003; Wong vd., 1998].

Taze ette mikrobiyal bozulmaların genel olarak et yüzeyinde görüldüğü ve et yüzeyinde, santimetrekarede birkaç yüz ile birkaç bin adet mikroorganizma bulunabildiği belirtilmiştir [Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Et bünyesinde meydana gelen mikrobiyal faaliyetler, ortam bağıl nemi ve sıcaklığı, ürünün su aktivitesi, pH değeri, yüzey büyüklüğü ve başlangıç mikroorganizma sayısına bağılı olarak değişim göstermektedir. Taze ette bulunan toplam mikroorganizma sayısının, bozulmayı belirleyen kesin faktör olmamakla birlikte, duyuşal değişimlerin yaklaşık  $5 \times 10^7$  kob/g düzeylerinde başladığı, yüzeyde yapışkan madde oluşumunun ise  $15 \times 10^7$  kob/g düzeylerinde görüldüğü ifade edilmiştir [Aydın, 2005]. Bozulmanın belirgin bir hale gelebilmesi için et yüzeyinde bulunan mikroorganizma sayısının  $10^6$  ile  $10^8$  kob/g aralığında olmasının yeterli olduğu belirtilmiştir [Frazier ve Westhoff, 1998].

Ete bulaşan mikroorganizmalar; ette bozulmaya neden olan saprofitler;

*Pseudomonas*, *Moraxella*, *Enterobacteriaceae*, kesim ve kesim sonrası ette sanitasyon uygulamalarının göstergesi olarak kabul edilen indikatör mikroorganizmalar; aerobik mezofilik bakteri, *Enterobacteriaceae*, toplam koliform, fekal koliform, *E. coli* ve insanlarda hastalığa neden olan patojenler; *Salmonella* türleri, *S. aureus*, *Clostridium perfringens*, *E. coli* O157:H7 olarak gruplandırılmıştır [Ünlütürk ve Turantaş, 2003; Frazier ve Westhoff, 1998].

Yüzeyde yapışkanlık, et renginde değişim, ekşime ve pütrit bozulmaların genel olarak taze etlerde görülen mikrobiyal bozulmalar olduğu, yüzeyde yapışkanlığa *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Moraxella* gibi aerobik mikroorganizmaların neden olduğu belirtilmiştir. Et yüzeyinde gelişim gösteren *Pseudomonas* ve *Enterobacter* cinsi bakterilerin ette bozulmayı karakterize eden peroksit, hidrojen sülfür ve amonyak bileşikleri oluşumuna neden olduğu ve bu bileşiklerin birikimi ile ette lezzet bozuklukları ve renk değişimlerinin meydana geldiği ifade edilmiştir. Ette kötü koku oluşumu ile açıklanan pütrit bozulmalara ise genel olarak anaerobik mikroorganizmaların neden olduğu ve bu tip bozulmalar sonrasında et pH değerinin arttığı belirtilmiştir [Ünlütürk ve Turantaş, 2003; Wong vd., 1998; Frazier ve Westhoff, 1998].

Taze etin raf ömrünün arttırılmasına yönelik; kesim sonrasında karkasın çeşitli kimyasallarla yıkanması, hızlı soğutma ve soğukta depolama, kontrollü atmosferde depolama, gaz geçirgenliği düşük ambalaj materyali ile vakum ambalajlama, modifiye atmosferde ambalajlama ve dondurma gibi bazı yöntemler uygulanmaktadır. Taze etin muhafazasında tek bir koruma yöntemi kullanılmayıp genel olarak birden fazla yöntemin bir arada kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir [Üçüncü, 2007; Aydın, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Et bünyesinde mezofil mikroorganizma gelişiminin önlenmesi için soğutmanın hemen yapılması gerektiği, taze et raf ömrünü sıcaklık, kontrollü atmosfer, bağıl nem gibi depolama koşullarının yanı sıra etin sahip olduğu yüzey mikrobiyal yükünün önemli düzeyde etkilediği belirtilmiştir. Taze etin yüzey mikrobiyal yükünün azaltılmasına yönelik organik asit, trisodyum fosfat, peroksit,

ozon gibi çeşitli kimyasallar ve basınçlı su ile yıkama, sıcak suda bekletme gibi bazı ön işlemler yapılmakla birlikte bu uygulamaların yeterliliği tam olarak ortaya konulamamıştır [Chun vd., 2010; Aydın, 2005; Çetin ve Bostan, 2002; Wong vd., 1998; Frazier ve Westhoff, 1998; Wallner-Pendleton vd., 1994].

UVC ışın uygulamaları; gıda materyalleri yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesinde kullanılan bir soğuk pastörizasyon işlemidir. Taze et yüzey mikrobiyal yükünün UVC ışın uygulaması ile azaltılmasının, uygulama sonrasında üründe herhangi bir toksik kalıntı bırakılmıyor olması, işlem süresince ürün nem ve sıcaklığının değişmemesi ve uygulamanın oldukça ekonomik ve kolay olması gibi bir takım avantajları olacağı düşünölmektedir.

UVC ışınların işlem görmemiş taze kırmızı etlerde mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada, parça dana eti yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri suşu üzerinde farklı dozlarda UVC ışın uygulamalarının etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. İşlenmiş ve işlenmemiş her türlü gıda maddesinde bulunmasına izin verilmeyen, patojen *E. coli* suşları içerisinde en tehlikelisi olarak kabul edilen ve çoğu ölümlle sonuçlanan gıda kaynaklı enfeksiyonlardan sorumlu olan *E. coli* O157:H7 serotipinin kaynağının süt sığırları olduğu ve bu serotipin gıdalara, sığır dışkısı, et ve süt işletmeleri aracılığı ile bulaştığı belirlenmiştir. *E. coli* O157:H7 serotipi, sıcak kanlı pek çok hayvanın dışkısında doğal olarak bulunmakla birlikte, insanlarda bu serotipin hastalığa neden olduğu kanıtlanan pek çok vakada, yeterince pişirilmemiş sığır etleri ve çiğ sütlerin hastalıktan sorumlu olmasının ortaya konulmasıyla süt inekleri, temel *E. coli* O157:H7 kaynağı olarak kabul edilmiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönöl, 2003; Halkman vd., 2001]. Çalışmada UVC ışınların et yüzeyine inokule edilen yüksek düzeydeki *E. coli* O157:H7 bakteri suşu üzerindeki etkisinin belirlenmesi, UVC ışın uygulamalarının taze kırmızı etlerde mikrobiyal yükün düşürülmesi üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi açısından önemli olacaktır.

Gıda muhafaza uygulamalarında amaç, bozulmanın önlenmesi veya mümkün olduğunca geciktirilmesi olmakla birlikte bu sırada gıdanın besin değeri, renk, aroma ve fiziksel yapısına ait duyusal özelliklerinin kısacası kalitesinin mümkün olduğunca korunması gerekmektedir. Bu durumda alternatif koruma yöntemlerinin kullanımında, bu yöntemlerin gıda ürünlerinde duyusal kalite ve besin değerlerinde oluşturacağı değişimlerin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Örneğin iyonize radyasyon uygulamaları ile taze et raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapılan çalışmalarda iyonize radyasyonun, ette yağ oksidasyonunu tetiklediği, düşük dozlarda sülfür, yüksek dozlarda ise amonyak kokusunun hissedilmesine ve ayrıca renk kararmasına neden olduğu belirtilmiştir [Kanatt vd., 2005; Lacroix vd., 2004].

Gıda maddelerinde renk, tüketici tercihlerini etkileyen en önemli kalite parametresini oluşturmaktadır. Tüketiciler parlak kırmızı rengi ette tazeliğin göstergesi olarak tercih etmektedirler. Bu nedenle et ve et ürünlerinde rengin korunması oldukça önemli olmaktadır. Özellikle de kırmızı etlerde depolama süresinin artmasıyla birlikte oksimiyoglobin, oksidasyona uğrayarak kahverengi metmyoglobine dönüşmektedir. Ette renk kararmasını ortam oksijen derişimi, et yüzeyindeki mikrobiyal gelişim, yüksek sıcaklık ve etin maruz kaldığı ışık tipi ve şiddeti gibi parametreler etkilemektedir [Djenane vd., 2003; Gennadios vd, 1998; Renerre, 1990]. UVC ışınların et renginde istenmeyen değışimlere ve bunun yanında oksidatif acımaya neden olup olmadığı ile ilgili literatürde kesin bulgulara rastlanmamıştır. Yapılan çalışmaların bir kısmında, UVC ışınların taze etlerde yağ oksidasyonu ve bir takım fotokimyasal değışimlere yol açarak ette istenmeyen tat ve aroma gelişimine neden olduğu, metmyoglobin oluşumunu hızlandırarak renkte kararmaya yol açtığı belirtilirken [Djenane vd., 2001; Bertelsen ve Boegh-Soerensen, 1986], çalışmaların bazılarında yeterli mikrobiyal azalmaların sağlandığı dozlarda uygulanan UVC ışınların et fiziksel, kimyasal ve duyusal kalite parametrelerinde herhangi bir olumsuzluğa neden olmadığı belirtilmiştir [Chun vd., 2010; Keklik vd., 2009; Lyon vd. 2007; Djenane vd., 2003; Bintsis vd., 2000; Gennadios vd, 1998; Stermer vd., 1987].

Djenane vd. (2001), parça sığır etlerini yaklaşık 28 gün boyunca farklı dalga boylarında ışın yayan lambaların bulunduğu kabinlerde depolamışlar ve kullanılan lambaların hepsinin farklı düzeylerde de olsa et renginde değişime yol açtığını saptamışlardır. Benzer bir çalışmada Bertelsen ve Boegh-Soerensen (1986), UVC ışınların etlerde renk kararmasını görünür ışıktan daha fazla oranda arttırdığını belirlemişlerdir.

Chun vd. (2010), tavuk etleri yüzeyine inokule ettikleri patojen mikroorganizmalar üzerinde UVC ışınların etkisini araştırdıkları çalışmalarında, farklı dozlarda UVC ışınlara maruz bıraktıkları etlerde mikrobiyal analizler yanında renk, yağ oksidasyonu ve pH analizleri yapmışlar ve UVC ışınların etlerin ölçülen Hunter L, a ve b değerlerinde önemli bir değişime yol açmadığını belirlemişlerdir. Çalışmada kontrol örnekleri ile farklı dozlarda UVC ışınlara maruz bırakılan örneklerin depolama sürecinde, tiyobarbütirik asit cinsinden belirlenen yağ oksidasyon düzeyleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır.

Keklik vd. (2009), yaptıkları çalışmada UVC ışınların depolama sürecinde tavuk sosislerinde yağ oksidasyon düzeyini arttırmadığını belirtmişlerdir.

Lyon vd. (2007), UVC ışınların ızgaralık tavuk parçaları yüzey mikrobiyal yükünü renkte herhangi bir değişime neden olmaksızın azaltabildiğini ifade etmişlerdir.

Raymond vd. (1987), farklı dozlarda UVC ışın uygulamasının taze et yüzeyinde göstermiş olduğu antimikrobiyal etkiyi araştırdıkları çalışmalarında, ışınlara maruz bıraktıkları örnekler ile kontrol örneklerini renk, koku ve görünüş bakımından karşılaştırmışlar ve yaptıkları duyuşal değerlendirmeler sonunda kontrol örnekleri ile ışınlara maruz bırakılan örnekler arasında koku ve genel görünüş bakımından önemli bir fark gözlenmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada UVC ışınların et renginde önemli bir değişime neden olmadığı ve ölçülen Hunter a değerleri arasında önemli bir fark bulunmadığı da belirtilmiştir.

İsohanni ve Lyhs (2009), tavuk eti yüzeyine inoküle edilen *Campylobacter jejuni* üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, uygulamanın antimikrobiyal etki yanında renk ve koku gibi duyusal kalite parametreleri ile yağ asidi kompozisyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada kontrol örnekleri ile farklı dozlarda UVC ışınlara maruz kalan örneklerin duyusal kalite parametreleri ile yağ asidi kompozisyonları arasında önemli bir fark saptanmadığı belirtilmiştir.

Sonuç olarak UVC ışın uygulaması ile taze et yüzey mikrobiyal yükünün azaltılarak mikroorganizmaların neden olduğu bozulmaların önlenebileceği ve böylece soğuk depoda et raf ömrünün arttırılabileceği düşünülmektedir. Ancak UVC ışınların ette bozulma etmeni olan farklı mikroorganizma ve mikroorganizma grupları üzerindeki etkilerinin net bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir.



## 2.5. TAZE MEYVE VE SEBZE

Meyve ve sebzeler gibi bitkisel pek çok gıda maddesinin yüzeyinde, gıdaya özğü, gıdanın kendi yapısal özellikleri ve yetiştirildiğı çevre koşullarına bağılı olarak değışim gösteren doğal bir mikroflora hakimdir. İç kısımda kalan dokularda ise genel olarak mikroorganizma bulunmamakta ve bu kısımların steril olduğı kabul edilmektedir. Meyve ve sebzelerin işlenmeleri ve depolanmaları sırasında yüzeydeki bu mikroflora ve sonradan bulaşan diğer mikroorganizmalar, bu gıdalarda çeşitli kimyasal ve fiziksel tepkimeleri tetiklemekte ve üründe bozulmalara neden olmaktadır [Kasım ve Kasım 2007; Cemeroğlu ve Acar, 1986]. Taze meyve ve sebzelerde en önemli bozulma etmeninin mikrobiyal kaynaklı çürümeler olduğı ve yüzey doğal mikroflorasının bu çürümelerde oldukça etkili olduğı belirtilmiştir [Acar, 2003a]. Meyve ve sebzeler mikrobiyal gelişime uygun üreme ortamlarına sahiptirler ve bu nedenle bu gıda maddelerinin raf ömrü optimum depolama koşullarında dahi oldukça kısa olmaktadır. Örneğın mantarlar buz dolabı sıcaklığında 5-6 gün tazeliklerini korurken, çilek bu sıcaklıkta maksimum 3-4 gün dayandırılabilir [Marina vd., 2009; Ares vd., 2007].

Taze meyve ve sebzelerde, hasattan tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süreç içerisinde meydana gelen biyokimyasal, enzimatik ve mikrobiyal faaliyetler sonucu aşırı olgunlaşma veya bozulma nedeniyle oluşan kayıpların önlenmesi, gerek üretici ve gıda sanayii, gerekse tüketici açısından büyük önem taşımaktadır. Meyve ve sebzelere bulaşan patojen mikroorganizmalar ve bu mikroorganizmaların üretmiş olduğı toksinler insan sağlığı üzerinde ciddi tehlike unsuru oluşturabilmektedir. Meyve ve sebzelerde hasat sonrası olgunlaşmanın ilerlemesiyle kabuk ve kabuk üzerindeki mumsu tabakanın mikrobiyal enfeksiyonlara karşı koruyuculuğı azalmakta, yüzeydeki doğal koruyucu mumsu kütikula tabakasının zedelenmesiyle birlikte mikroorganizmalar iç dokulara kadar ilerleyerek çürüme ve bozulmalara neden olmaktadır [Acar, 2003a; Cemeroğlu ve Acar, 1986].

Sebzelerin sahip olduğu pH değerlerinin bakteriyel gelişime uygun olması dolayısıyla sebzelerde meydana gelen mikrobiyal bozulmalarda genel olarak bakteriler etkili olurken, meyvelerde, meyve yapısında bulunan organik asitlerin bakteriyel üremeyi sınırlaması dolayısıyla, küf ve mayaların esas bozulma etmeni mikroorganizma gruplarını oluşturdukları belirtilmiştir. *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Xanthomonas* ve *Cornibacterium* cinsi bakterilerin sebzelerde, *Botrytis*, *Penicillium*, *Rhizopus* ve *Fusarium* türlerinin ise meyvelerde mikrobiyal bozulma etmeni önemli mikroorganizmalar oldukları belirtilmiştir [Acar, 2003a; Cemeroglu ve Acar, 1986].

Hasat sonrasında meyve ve sebzelerin taze haldeki özelliklerinin korunması ve raf ömrünün arttırılabilmesi amacıyla, soğukta bekletme, kontrollü atmosferde depolama, modifiye atmosferde paketlenme gibi bir takım uygulamalar yapılmaktadır. Soğukta depolamanın mikrobiyal gelişim yanında solunum, terleme ve olgunlaşma gibi bazı metabolizma faaliyetlerini yavaşlattığı belirtilmiştir. Fakat bir çok meyve ve sebze cinsinde depo sıcaklığının 2 °C' nin altına düşmesi durumunda üründe soğuk zararı olarak da ifade edilen pörsüme, büzüşme, kabuk ve ette esmerleşme gibi bazı fizyolojik zararların meydana gelmesi dolayısıyla, soğuk depo sıcaklığı çoğu zaman mikroorganizmaların gelişemeyeceği ve metabolizma faaliyetlerinin durdurulacağı sıcaklık derecelerine kadar düşürülememektedir [Vicente vd., 2005; Serrano vd., 1997; Halloran vd., 1996; Mercer ve Smittle, 1992; Cemeroglu ve Acar, 1986].

Depo neminin düşürülmesi ile meyve ve sebzelerde mikrobiyal faaliyetlerin sınırlandırılabilirdiği fakat düşük nemli depolarda, depolama sürecinde terleme ile kaybedilen su miktarının artmasıyla birlikte meyve ve sebzelerde buruşma ve pörsüme gibi fiziksel bozunumların meydana geldiği ifade edilmiştir [Acar, 2003a].

Depo atmosferi bileşiminin meyve ve sebzelerde mikrobiyolojik bozulmaların sınırlandırılması üzerinde oldukça etkili olduğu, kontrollü atmosferde CO<sub>2</sub> miktarının arttırılıp, O<sub>2</sub> miktarının azaltılması ile meyve ve sebzelerde solunum hızı ve aerobik mikroorganizma gelişiminin yavaşlatılabildiği, fakat ortam CO<sub>2</sub> miktarının çok fazla

arttırılması durumunda meyve ve sebzelerde acı tat oluşumu yanında anaerobik mikroorganizma gelişimine bağlı mikrobiyal bozulmaların meydana gelebileceği belirtilmiştir [Farber vd., 2003; Austin vd., 1998].

Ambalaj atmosferinin CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gibi gazlarla modifikasyonu sonrasında meyve ve sebzelerin modifiye edilmiş atmosfer ortamında tutulması şeklinde uygulanan modifiye atmosferde paketlenme ile taze meyve ve sebzelerde mikrobiyal gelişim sınırlandırılırken ürün raf ömrünün arttırılabileceği belirtilmiştir [Simón vd., 2010; Allende ve Artes, 2003; Serrano vd., 1997]

Gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar üzerinde önemli düzeyde azaltıcı etkiye sahip olan iyonize radyasyon uygulamalarının özellikle de sebzelerde mikrobiyal bozulmaların önlenmesinde oldukça etkili olduğu, fakat iyonize radyasyon uygulamaları için özel düzenek ve kapalı ortamlara ihtiyaç duyulduğu ve uygulamanın yüksek ekipman ve işlem maliyetine sahip olması dolayısıyla ticari olarak kullanımının kolay ve de ekonomik olmadığı ifade edilmiştir [Kasım ve Kasım, 2007; Sharma ve Demirci, 2003].

Meyve ve sebzelerin gerek hasat öncesi gerekse hasat sonrasında çeşitli kimyasalların kullanımı ile de mikrobiyolojik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirilebildikleri bilinmektedir. Fakat kullanılan kimyasalların bazı ekolojik problemlere neden olması ve belirli miktarların üzerinde kullanılmaları durumunda üründe bıraktıkları kalıntıların toksit etki göstermesi dolayısıyla tüketici sağlığı üzerinde tehlike oluşturduğu, bu nedenle de kullanımlarına sınırlamalar getirildiği belirtilmiştir [Kasım ve Kasım 2007; Costa vd., 2006; Yaun vd., 2004; Allende ve Artes, 2003; Cemeroğlu ve Acar, 1986]. Meyve ve sebzelerde meydana gelen kayıpların kimyasal uygulamaları ile önlenmesi tüketiciler tarafından da kabul görmeyen bir durum olmakla birlikte, son yıllarda tüketicilerin doğal ve organik ürünlere olan talepleri artmıştır. Bu durum meyve ve sebzelerde hasat sonrası mikrobiyal kaynaklı bozulmaların önlenmesi, ürünlerin taze haldeki özelliklerinin korunması ve raf ömrünün arttırılmasında kimyasal

uygulamalarına alternatif yeni fiziksel koruma yöntemlerinin araştırılması ve uygulamaya konulmasını gündeme getirmiştir. Gıda muhafazasında amaç bozulmanın önlenmesi olmakla birlikte özellikle de taze meyve ve sebze gibi işlenmemiş gıda materyallerinde ürün raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapılacak bir uygulamada gıdanın fiziksel, kimyasal ve duyuşsal kalite özellikleri ve besin değeriinin mümkün olduğunca koruması gerekmektedir.

Taze meyve ve sebzelerde en önemli bozulma etmeninin mikrobiyal kaynaklı çürümeler olduğü ve yüzey doğal mikroflorasının bu çürümelerde oldukça etkili oldukları belirtilmiştir. Isıl olmayan bir işlem olan UVC ışın uygulamaları, taze meyve ve sebzelerde işlem sonrasında üründe herhangi bir kalıntı bırakmadan yüzey mikrobiyal yükün düşürölerek, mikrobiyal kaynaklı bozulmaların önlenmesi ve ürün raf ömrünün arttırılmasında etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda UVC ışınların meyve ve sebzelerde yüzey mikrobiyal florayı önemli ölçüde düşürdüğü, olgunlaşmayı geciktirerek ürün raf ömrünü arttırdığı belirtilmektedir [Shama, 2005; Vicente vd., 2005; Allende ve Artés, 2003; Stevens vd., 2004; Yaun vd., 2004; Bintsis vd., 2000].

Gómez vd. (2010), elma dilimleri doğal mikroflorası ile dilim yüzeyine inokule edilen *Listeria innocua* ATCC 33090; *E. coli* ATCC 11229 ve *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 standart mikroorganizma suşları üzerinde, UVC ışınların antimikrobiyal etkilerini araştırdıkları çalışmalarda, UVC ışınlara maruz bırakılan elma dilimlerinin doğal mikroflora sayım sonuçlarının, depolama süreci sonunda kontrol örneklerine göre çok daha düşük düzeyde olduğunu saptamışlardır. Çalışmada kültür inokulasyonu sonrasında doğrudan depolanan örneklerde depolama sürecinde yapılan mikrobiyal analizler, örnek yüzeyine inokule edilen her bir bakteri suşunda önemli düzeyde artış olduğü göstermiş, kültür inokulasyonu sonrasında UVC ışınlara maruz bırakılan örneklerde ise depolama sürecinde önemli bir değişim meydana gelmediği belirlenmiştir.

Vicente vd. (2005), UVC ışınların taze kırmızı biber örneklerinde depolama sürecinde kalitenin korunması, üşüme zararlarının önlenmesi ve çürümelerin geciktirilmesi üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, UVC ışınlara maruz bıraktıktan sonra depoladıkları biber örneklerinde 12 günlük depolama sürecinde *Alternia* ve *Botrytis* küf mantarlarının neden olduğu bozulma ve çürümelerin tamamen önlenemediğini, depolamanın 18. gününde kontrol örneklerinde % 90 oranında olan bozulmanın UVC ışınlara maruz bırakılan örneklerde sadece % 20 düzeyinde saptandığını belirtmişlerdir.

Yaun vd. (2004), elma, domates ve marul yaprakları yüzeyine inokule ettikleri *Salmonella* subsp. ve *E. coli* bakterileri üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında farklı dozlarda UVC ışın uygulamaları ile örneklere inokule edilen bakterilerin % 99 oranında düşürülebildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada UVC ışınların, marul yaprakları yüzeyine inokule edilen *E. coli* bakteri yoğunluğunun düşürülmesi üzerinde, yaprakların 200 ppm klor çözeltilisi ve asidik elektrolize su ile ayrı ayrı yıkanmaları durumlarına göre çok daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Allende ve Artes (2003), farklı dozlarda UVC ışınlara maruz bırakıldıktan sonra modifiye atmosferde depolanan marul yapraklarında, yaprak yüzeyinde gelişim gösteren mayalar ile psikrofil ve koliform bakteri gelişimlerinin engellenebildiğini ve böylece marul yaprakları raf ömrünün arttırılabildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada UVC ışınlara maruz bırakılan yapraklarda depolama sürecinde meydana gelen kararmaların geçiktirilebilirken, ürün duyuşal kalite özelliklerinin daha iyi korunabildiği ifade edilmiştir.

UVC ışınların meyve ve sebzelerde mikrobiyal kaynaklı depo çürümelerinin kontrolünü, mikroorganizmaların DNA yapısında meydana getirdikleri değişimler sonucunda organizmaların üreme ve gelişimlerini engellemeleri ile sağladıkları belirtilmiştir. Fakat bununla birlikte yapılan çalışmalarda, UVC ışınların meyve ve sebzelerde depolama sürecinde meydana gelen bozulmaları dolaylı yollardan da

geciktirebildikleri ifade edilmiştir [Alkan, 2007; Ariel vd., 2005; Adrian vd., 2000; D'hallewin vd., 2000; Nigro vd., 2000; Stevens vd., 1999; Fritzenheimer ve Kindl, 1981].

Marquenie vd. (2002), çilek ve kirazlarda *Botrytis cinerea* ve *Monilinia fructigena* küflerinin neden olduğu mikrobiyal bozulmaların önlenmesi üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, meyveleri farklı dozlarda UVC ışınlarına maruz bırakmışlar ve 10 günlük depolama sürecinde uygulamanın mikrobiyal gelişim yanında meyve yüzeyinde lekelenme ve oyuk oluşumu gibi görsel hasarlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, UVC ışınların, deplama sürecinde meyvelerde meydana gelen çürümelere; patojen mikroorganizmalar üzerinde göstermiş oldukları öldürücü etki yanında, meyve kabuğunda patojenlere karşı direnç sağlayan antimikrobiyal bileşiklerin birikimlerini teşvik etmek suretiyle de geciktirebildikleri ifade edilmiştir.

UVC ışınların meyvelerde bitki koruyucuları olarak bilinen ve patojen mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etki sergileyen fitoaleksinin bileşiklerinin üretimini tetiklemek suretiyle de mikrobiyal bozulma ve çürümelere geciktirebildiği belirtilmiştir [Adrian vd., 2000; Douillet-Breuil vd., 1999]. Bitkilerde mikrobiyal enfeksiyon, zedelenme ve UVC ışınlarına tepki olarak sentezlenen ikincil metabolitler olan fitoaleksinin bitki bünyesinde belirli düzeylere erişmeleri durumunda fungusit ve pestisit etki gösterdikleri, özellikle de *Botrytis cinerae* enfeksiyonlarının önlenmesinde etkili oldukları belirtilmiştir [Alkan, 2007]. Bitki bünyesinde biriken fitoaleksinin, bitki için patojen olan mikroorganizmalara karşı sentezlenebildiği gibi, o bitki türü için patojen olmayan fungal, bakteriyel veya viral etmenlere karşı ya da bitkilerin yüksek sıcaklık veya ultraviyole ışınlarına maruz kalmaları durumlarında da sentezlenebildiği belirtilmiştir [Üstün vd., 1995]. Fitoaleksinin esas olarak funguslar üzerinde etkili olduğu fakat bununla birlikte *S. aureus*, *Enterococcus faecalis* ve *Pseudomonas* gibi çeşitli bakterilerin gelişimleri üzerinde de inhibitör etki gösterebildikleri ifade edilmiştir [Alkan, 2007]. Yapılan bir çalışmada, düşük dozlarda UVC ışınlarına maruz bırakılan

greyfurlarda uygulama sonrasında meyve bünyesinde fitoaleksın konsantrasyonunun arttığı ve bu meyvelerde depolama sürecinde küflerin neden olduğu çürüme ve bozulmaların geciktirilebildiği belirtilmiştir. Çalışmada UVC ışınların depolama sürecinde meyve raf ömrünün artırılması üzerindeki etkisi, ışınların greyfurlarda çürüme etmeni *Penicillium italicum* ve *P. digitatum* küflerinin gelişimlerini baskılama yetisine sahip olan *scoparon* ve *scopolet* fitoaleksın bileşiklerinin sentezi üzerinde göstermiş olduğu arttırıcı etkiye bağlanmıştır [D'hallewin vd., 2000].

UVC ışınların, çileklerde gri küf olarak bilinen *Botrytis cinerea* gelişimi üzerinde inhibitör etki gösteren fenil alanin ammonia liyaz (FAL) enzim aktivitesini arttırmak suretiyle de mikrobiyal bozulmaları önleyebildiği ifade edilmiştir [Nigro vd., 2000]. Benzer şekilde FAL enzim aktivitesi ile tatlı patateslerde *Fusarium solani*' nin neden olduğu kök çürümesi bozulması arasında bir ilişki saptanmış, düşük dozlarda uygulanan UVC ışınların patateslerde FAL enzim aktivitesini arttırarak meydana gelen bozulmaları geciktirdiği belirtilmiştir [Stevens vd., 1999]. Bir diğer çalışmada meyve ve sebzelerde FAL enzim aktivitesinin artması ile hücrelerde patojen mikroorganizmalara karşı toksik etkiye sahip olan fenol biyosentezinin uyarıldığı ifade edilmiş ve UVC ışınların mikrobiyal bozulma üzerindeki geciktirici etkisi, ürünlerde FAL enzim aktivitesini arttırmaları ile fenol biyosentezi üzerinde uyarıcı etki göstermelerine bağlanmıştır [Frietzenheimer ve Kindl, 1981].

Meyve ve sebzelerde hasat sonrasında biyokimyasal, enzimatik ve mikrobiyal faaliyetler sonucu meydana gelen aşırı olgunlaşmanın da ürün raf ömrünü sınırlayan önemli bir etken olduğu belirtilmektedir. Özellikle de meyvelerde olgunlaşma sırasında hücre duvarı yapısında bulunan enzimler ile proteinlerin etkileşimleri ile bazı karmaşık biyokimyasal prosesler sonunda meyve hücre duvarı yapısında, meyvelerde yumuşama ve çürümelere yol açan bir takım değişimlerin meydana geldiği belirtilmektedir [Marina vd., 2009; Cemeroglu ve Acar, 1986]. Literatürde yapılan bazı çalışmalarda UVC ışınların; meyvelerde hasat sonrasında aşırı olgunlaşma ile meydana gelen dokusal yumuşamayı, meyve hücre duvarı yapısında bulunan ve yumuşamaya neden olan enzim-

protein etkileşimlerini engelleyerek geciktirebildiği ifade edilmiştir [Stevens vd., 2004; Barka vd., 2000].

Barka vd. (2000), meyvelerin sertlik düzeyleri ile hücre duvarı yıkımına neden olan enzim aktiviteleri üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, test materyali olarak domates örnekleri kullanmışlar, çalışmada UVC ışınlara maruz bırakılan domateslerin uygulama sonrasında pektin metil esteraz, poligalaktorinidaz, selüloz, proteaz ve galaktosinadaz enzim aktivitelerinde önemli düzeylerde azalma olduğu saptanmış ve bu örneklerin depolama sürecinde belirlenen, kontrol örneklerine göre daha sert ve taze kalmaları durumu, UVC ışınların hücre duvarı yıkımına neden olan olgunlaşma ve yumuşamada etkili bu enzimler üzerinde göstermiş olduğu inhibitör etkiye bağlanmıştır. Yapılan çalışmada depolama sürecinde kontrol örneklerinin sertlik değerlerinde belirlenen azalma ile örneklerin pektin metil esteraz, poligalaktorinidaz, selüloz, proteaz ve galaktosinadaz enzim aktivitelerinde saptanan artışlar arasında paralellik olduğu görülmüştür.

Meyvelerde hücre duvarı metabolizması ve yıkımında, hücre duvarı yapısında bulunan pek çok protein ve enzimin etkili olduğu, oldukça kısa raf ömrüne sahip olan çileklerde ise hücre duvarı yıkımında esas olarak pektin depolimerizasyonuna neden olan enzimler ile bazı genlerin etken olduğu belirtilmiştir. Çileklerde hasat sonrasında, olgunlaşma sürecinde hücre duvarı yapısında bulunan, enzimatik olmayan modifiye protein yapısındaki genler ile depolimerizasyonda etkili enzim aktivitelerinde hızlı bir artış olduğu ve gen-enzim etkileşimi ile meyve yapısında hızlı bir yumuşama meydana geldiği belirtilmiştir [Marina vd., 2009]. Marina vd. (2009), depolama sürecinde çileklerde hücre duvarı yıkımı ile meydana gelen yumuşama üzerinde UVC ışınların etkisini araştırdıkları çalışmalarında, çileklerin UVC ışınlara maruz bırakıldığı ilk 1 saat içerisinde, çileklerde hücre duvarı yıkımında etkili olan gen artışının engellenebildiğini ve böylece depolama sürecinde çileklerde olgunlaşma dolayısıyla meydana gelen yumuşamanın geciktirebildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada UVC ışınlara maruz bırakılan çileklerin kontrol örneklerine göre uygulamadan 96 saat sonra bile daha sert ve



sıkı bir yapıda kalabildikleri belirtilmiştir.

Domates gibi klimakterik ürünlerde olgunlaşma sürecinde etilen üretimi dolayısıyla solunum hızının arttığı ve ürün raf ömrünün kısaldığı belirtilmiştir [Kasım ve Kasım, 2007]. Stevens vd. (2004), düşük dozda UVC ışınların hasat sonrası domateslerde meydana gelen metabolik faaliyetlerin geciktirilmesi, polygalakturonidaz enzim aktivitesinin düşürülmesi, olgunlaşmanın yavaşlatılması ve *Rhizopus stolonifer* küflerinin neden olduğu çürümelerin önlenmesi üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, UVC ışınlara maruz bırakılan örneklerde içsel etilen sentezinin baskılanmasıyla birlikte solunum hızının düştüğünü, polygalakturonidaz enzim aktivitesinde azalma olduğunu ve olgunlaşmanın yavaşlatılmasıyla birlikte ürün raf ömrünün arttırılabildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada UVC ışınlara maruz bırakılan domateslerin depolama sürecinde kontrol örneklerine göre daha sert oldukları da belirtilmiştir.

Yaprağı ve çiçekleri ile birlikte tüketilen yeşil renkli sebzelerde hasat sonrasında klorofil degradasyonu ile meydana gelen renk kaybı ve sararmaların bu sebzelerde raf ömrünü belirleyen en önemli kalite özelliğı olduğu, bunun yanında doku bozulmaları, protein ve antioksidan maddelerde meydana gelen parçalanmalar ile ortaya çıkan besin kayıplarının sebze raf ömrünü sınırlandıran diğer önemli etmen olduğu belirtilmiştir [Funamoto vd., 2002]. Costa vd. (2006), brokoli yapraklarının hasat sonrasında tazeliğinin korunması üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında yaprakları farklı dozlarda UVC ışınlara maruz bırakmışlar ve UVC ışın uygulaması sonrasında örneklerde deplama sürecinde renk sararması ve klorofil degradasyonunda gecikmeler olduğunu saptamışlardır. UVC ışınlara maruz kalan örneklerde klorofil peroksidaz ve klorofilaz enzim aktiviteleri ile örneklerin solunum hızlarında azalmalar olduğu ve böylece klorofil yıkım mekanizmasının yavaşlaması ile depolama sürecinde yapraklarda meydana gelen sararmanın büyük ölçüde geciktirilebildiğı belirtilmiştir. Çalışmada UVC ışın uygulaması ile brokoli örneklerinde herhangi bir kimyasal kullanılmadan klorofil bozunumunun geciktirilebildiğı, dokulardaki zedelenmelerin

önlenebildiği, antioksidan kapasitesinin korunabildiği ve böylece sebze raf ömrünün arttırılabildiği belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalarda UVC ışınların hasat sonrası dönemde bazı meyve ve sebzelerde meydana gelen üşüme zararının önlenmesi üzerinde de etkili olduğu belirtilmiştir [Vicente vd., 2005; González-Aguilar vd., 2004; González-Aguilar vd., 2001]. Fizyolojik bir bozulma olan üşüme zararı; bitki hücre, doku ve organlarında 7 ile 10 °C arasındaki kritik depolama sıcaklarının altına inilmesi durumunda ortaya çıkan geri dönüşümsüz zararlanmalar olarak bilinmektedir. Muz, kavun, karpuz, elma, nar gibi bazı meyveler ile fasulye, bamyaya, biber, kabak ve patates gibi bazı sebzelerin kabuklarında görülen kahverengi lekelerin bu ürünlerdeki üşüme zararlarını gösterdiği, meyve ve sebzelerde kaliteyi düşüren bu oluşumun, ürün direncinin de azalmasına yol açarken, saprofit mikroorganizmaların gelişimi ile meyve ve sebzelerde hızlı bir çürüme ve bozulma meydana geldiği ifade edilmiştir [Buta ve Moline, 1998; Serrano vd., 1997; Halloran vd., 1996; Mercer ve Smittle, 1992].

González-Aguilar vd. (2001), yaptıkları çalışmada UVC ışınların mangolarda üşüme zararının azaltılması üzerinde etkili olduğunu saptamışlar ve ışınların bu etkiyi meyve kabuk dokusunda putresin, spermidin ve spermin poliaminlerinin sentezlerini uyarmak suretiyle gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmada meyve kabuk dokusunda bulunan poliaminlerin, meyve kabuğunda bulunan pektik asit ve polisakkaritler ile çapraz bağlar oluşturarak poligalaktorinidaz, pektinaz gibi hücre duvarı yıkımında rol oynayan enzimlerin bu bileşenler ile olan etkileşimlerini sınırladığı ve meyvelerde olgunlaşma ve yumuşamayı geciktirici şekilde davrandığı belirtilmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada düşük dozlarda UVC ışınlarına maruz bırakılan şeftalilerde meyve kabuk dokusunda bulunan spermidin ve spermin poliamin bileşenleri miktarlarında artışlar saptanmış ve UVC ışınların şeftalilerde üşüme zararı üzerindeki azaltıcı etkisi ışınların, meyve bünyesinde bulunan poliaminler üzerinde göstermiş olduğu arttırıcı etkiye bağlanmıştır [González-Aguilar vd., 2004].

Vicente vd. (2005), yaptıkları çalışmada depolama öncesinde UVC ışınlarım maruz bıraktıkları biber örneklerinde 0 ve 10 °C sıcaklıklarda depolama süresince görülen üşüme zararının UVC ışın uygulaması ile azaltılabildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada biberlerde solunum hızı, elektrolit sızıntısı ve fenolik bileşenlerde meydana gelen artışların tipik üşüme zararı semptomlarını oluşturduğu ve UVC ışınların depolama sürecinde solunum hızı, elektrolit sızıntısı ve fenolik bileşenlerde meydana gelen artışları geciktirerek üşüme zararını azalttığı belirtilmiştir.

### 2.5.1. Taze Kültür Mantarı

Yapılan çalışmalarda çeşitli meyve ve sebzelerde UVC ışınların bozulma ve çürümelerin geciktirilmesi ve raf ömrünün arttırılması üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuş ve ışınların bu ürünlerdeki etki mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır. Literatürde, yüksek su aktivitesi ve solunum hızına sahip, yüzeyinde materyali mikrobiyal saldırılar ve nem kayıplarına karşı koruyucu kütikula tabakası bulunmayan ve bu nedenlerden dolayı da pek çok sebzeğe göre oldukça kısa raf ömrüne sahip taze kültür mantarlarında raf ömrünün UVC ışın uygulamaları ile arttırılmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan tez çalışması kapsamında bitkisel bir gıda materyali olan taze kültür mantarlarında depolama sürecinde kalitenin korunması ve raf ömrünün arttırılması üzerine UVC ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

Kültür mantarları, TS-2410 sayılı ‘Yemeklik Kültür Mantarı Standardı’ nda, bitkiler aleminin *Mycota* bölümünün *Eumycotina* alt şubesine ait *Basidiomycetes* sınıfı, *Agaricales* takımının *Agaricaceae* familyasına ait *Agaricus* cinsinden kültürü yapılan, sap, şapka ve kök kısımlarından oluşmuş, genellikle beyaz, bazen de krem, kemik renginde türler olarak tanımlanmıştır [Anonim, 1997]. Protein, polisakkarit, diet lifi, ergosterol, folik asit, niasin, mineral ve vitaminler (B1, B2, C) gibi pek çok biyoaktif bileşeni bünyesinde bulunduran taze kültür mantarları, yüksek besin değerine sahip, düşük kalorili gıda materyalleridir [Mattila vd., 2001]. Taze kültür mantarlarının

beslenme açısından esas önemini içermiş olduğu vitamin ve elzem aminoasitlerin oluşturduğu belirtilmiştir [Jasinghe ve Perera, 2006]. Fakat bununla birlikte yaklaşık % 90 oranında su içeren ve yüzeyinde koruyucu kütikula tabakası bulunmayan kültür mantarlarının, mikroorganizmalara ve enzimlere karşı oldukça dirençsiz olduğu, hasattan hemen sonra çabuk bozulma eğilimi gösteren mantarların bu besleyici ve yararlı bileşenlerinde önemli düzeyde kayıplar meydana geldiği belirtilmektedir [Teichmann vd., 2006].

Yüzeyde kararma, ağırlık kaybı, şapkada açılma ve şapka çapında artışın kültür mantarlarında hasat sonrasında gözlenen temel kalite kayıplarını oluşturduğu, bununla birlikte depolama koşullarında meydana gelen bozulmalarda nem kaybı, enzimatik kararma ve bakteri gelişiminin etkili olduğu ifade edilmektedir [Ares vd., 2007; Kim vd., 2006; Lukasse ve Polderdijk, 2003; Jacobsson vd., 2001].

Literatürde kültür mantarlarının sodyum metabisülfite, hidrojen peroksit, EDTA, sitrik asit gibi çeşitli kimyasallarla muamele edilerek mikrobiyal yüklerinin düşülmesi ve enzimatik kararmasının önlenerek mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [Simón vd., 2010; Sapers vd., 2001; Brennan vd., 2000]. Fakat son yıllarda tüketicilerin koruyucu katkı maddesi içermeyen gıdalara yönelimi ve kullanılan kimyasalların toksik etki göstermeleri dolayısı ile kullanımlarının sınırlandırılması, taze kültür mantarı endüstrisinde raf ömrünün arttırılmasına yönelik yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Özellikle de mantarlarda koruyucu etkisinin yanında beyazlatıcı etkisi dolayısı ile de yaygın bir şekilde kullanılan sodyum metabisülfitin astım hastalarında alerjik rahatsızlıklara neden olmasının belirlenmesi, pek çok ülkede bu kimyasalın endüstriyel boyutta kullanımına sınırlamalar getirilmesine neden olmuştur [<http://www.teagasc.ie>].

Kültür mantarlarının modifiye atmosferde paketlenmeleri ile depolama sürecinde mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapılan çalışmaların bir kısmı, mantarların özellikle de çeşitli kimyasallarla muameleleri sonrasında paketlenmeleri durumunda

modifiye atmosferde paketleme işleminin mikrobiyal gelişimin sınırlandırılması ve raf ömrünün arttırılmasında etkili olduğunu göstermiştir [Simón vd., 2010; Ares vd., 2007; Kim vd., 2006]. Fakat yapılan bazı çalışmalarda modifiye atmosferde paketleme uygulamasının, mantarlarının yüksek solunum hızına sahip olmaları ve ortam oksijenini hızla kullanarak paket içerisini kısa sürede *Clostridium botulinum* gibi anaerobik mikroorganizma gelişimi için uygun hale getirmeleri yanında, mantarda kötü koku ve aroma gelişimine sebep olmaları dolayısıyla uygun bir koruma yöntemi olamayacağı belirtilmiştir [Farber vd., 2003; Brennan ve Gormley, 1998; Austin vd., 1998].

Kültür mantarlarında hasat sonrasında kahverengi leke hastalığı olarak bilinen yüzeyde renk değişikliği ve kararmaya çeşitli enzim ve bakterilerin neden olduğu, enzimatik kararmada, kültür mantarı yüzeyinde bulunan tirozinaz enzim aktivitesi ile melanin pigmentlerinin oluşumunun etkili olduğu belirtilmiştir [Ares vd., 2007; Beaulieu vd., 2002; [http:// www.teagasc.ie](http://www.teagasc.ie)]. Enzimatik kararmaya neden olan enzim-substrat etkileşiminde mantar bünyesinde meydana gelen berelenmelerin yanı sıra mantarın mikrobiyal gelişim sonucu hasar görmesinin de etkili olduğu ve bu durumda kültür mantarlarında raf ömrünü sınırlandıran en önemli bozulma etmeni olan enzimatik kararma üzerinde mikrobiyal gelişimin doğrudan etkili olacağı belirtilmiştir [Lukasse ve Polderdijk, 2003; Anonim, FAO 2011].

Mantar yüzeyinde meydana gelen kahverengi pigment oluşumu ve yüzey zedelenmelerinin bakteriyel lekelenme olarak ifade edildiği, kültür mantarlarında mikrobiyal bozulmalara esas olarak *Pseudomonas* cinsi bakterilerin sebep olduğu belirtilmiştir. *Pseudomonas* cinsi bakterilerin kültür mantarı yüzeyinde doğal mikroflorayı oluşturduğu ve psikrofilik özellik göstermeleri nedeniyle buz dolabı koşullarında depolama sırasında mikrobiyal bozulmaya neden olarak ürün raf ömrünü sınırlandığı belirtilmiştir [Lukasse ve Polderdijk, 2003]. Kültür mantarı yüzeyinde *Pseudomonas* gelişimi ile mantar liflerinde yumuşama, yüzeyde sümüksü ve yapışkan yapı oluşumu ve enzimatik kararmaların meydana geldiği belirtilirken, bu değişimlere neden olan en önemli *Pseudomonas* türünün *P. tolaasii* olduğu ifade edilmiştir [Jiang

vd., 2010; Munsch vd., 2000]. *P. tolaasii*' nin üretmiş olduğu tolaasin toksininin, kültür mantarı yüzeyinde inaktif formda bulunan tirozinaz enzim aktivitesini tetikleyerek mantar yapısındaki monofenolik bileşiklerin difenollere okside olmasına neden olduğu ve böylece mantar yüzeyinde renk değişimi ve kararmaların meydana geldiği belirtilmiştir. Mantar yüzeyinde inaktif formda bulunan tirozinaz enziminin, tolaasin gibi oksidaz fenolik bir madde ile karşılaşması durumunda aktif forma dönüşerek mantarda kahverengi melanin benzeri bileşiklerin oluşumuna neden olduğu ifade edilmektedir [Ares vd., 2007; Munsch vd., 2000; Soler-Rivas vd., 1999, [http:// www.teagasc.ie](http://www.teagasc.ie)]. Bu durumda kültür mantarlarında, mantar yüzeyinde gelişim gösteren *Pseudomonas* cinsi bakteri gelişiminin engellenmesi ile mantar raf ömrünü sınırlandıran mikrobiyal ve enzimatik bozulmaların önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Mantarların iç kısmında mikrobiyal bozulmanın olmadığı göz önüne alınırsa taze kültür mantarlarına uygulanacak olan bir yüzey pastörizasyonu işlemi ile mikrobiyal kaynaklı kalite kayıpları ve bozulmaların önüne geçilmesi olası bir durum olacaktır. Taze kültür mantarlarında raf ömrünü sınırlandıran bir diğer önemli etmen mantarın sahip olduğu yüksek solunum hızıdır. Yapılan çalışmalarda UVC ışınların çeşitli meyve ve sebzelerde solunum hızını yavaşlatarak ürün raf ömrünün arttırılmasında etkili olduğu belirtilmiştir [Costa vd., 2006; Stevens vd., 2004]. Bu durumda UVC ışın uygulaması, mantarlarda solunum hızını yavaştarak raf ömrünün arttırılmasında etkili olacaktır. Sonuç olarak UVC ışın uygulamasının kültür mantarlarında yüzey mikrobiyal yükün düşürülerek depolama sürecinde mantar raf ömrünün arttırılması ve mantarın besleyici değerleri yanında kalite parametrelerinin de korunmasına yönelik koruyucu bir yöntem olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde mantarlarda yüzey mikrobiyal florasının UVC ışın uygulamaları ile azaltılmasına yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalar daha çok mantarlarda oldukça fazla miktarda bulunan D<sub>2</sub> vitamininin öncü maddesi *ergosterolün*, UV ışın uygulamaları ile D<sub>2</sub> vitaminine dönüştürülmesi üzerinde odaklanmıştır. Jasinghe ve Perera (2006), farklı dalga boylarındaki UV ışın uygulamalarının bu dönüşüm üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, 290-315 nm dalga boyu

aralığındaki UV ışınların dönüşümü en yüksek düzeyde gerçekleştirdiğini belirlemişlerdir. Teichmann vd. (2007), ise UV ışınların D<sub>2</sub> vitamini dönüşümüne etkisinde kültür mantarı türünün etkili olduğunu ve türe bağlı olarak farklı dalga boylarındaki UV ışınların farklı düzeylerde dönüşüm sağladığını ifade etmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL

##### 3.1.1. Baharatlar

Çalışmada kullanılan farklı yörelere ait tane kimyon (*Cuminum cyminum* L.) ve karabiber (*Piper nigrum*) örnekleri Kadioğlu Baharat fabrikasından temin edilmiştir (Mersin). İşletme bünyesinde farklı yörelere ait tane kimyon ve karabiber örnekleri, 50 kg' lık çuvallar halinde depolanmış durumdadır. Depoda yapılan örnekleme sırasında belirli yörelere ait farklı çuvallardan eşit miktarlarda örnekler alınmış ve alınan örnekler 5 kg' lık torbalara konularak burada homojen bir şekilde karışmaları sağlanmıştır. Tane baharat örnekleri işletmede yapılan örnekleme sonrasında 5 kg' lık torbalar içerisinde laboratuvara getirilmiş ve yapılan analizlerde örneğin tamamının temsil edilebilmesi için torbaların farklı noktalarından örnekler alınmıştır.

##### 3.1.2. Taze Kırmızı Et

Çalışmada yerel bir marketten sağlanan dana eti karkasının sırt kası (*Longissimus dorsi*) bölgesine ait yağsız dana eti kullanılmıştır. Parça et, 3,5×3×1 cm boyutlarında olacak şekilde steril bir bıçak ile aseptik koşullarda kesilerek -18 °C' de derin dondurucuya (Arçelik, 2561-CF) konulmuş ve denemeler öncesinde +4 °C' de buz dolabı sıcaklığında çözünmeleri sağlanmıştır.

##### 3.1.3. Taze Kültür Mantarı

Çalışmada yerel bir marketten sağlanan, yarım kiloluk paketler halinde ambalajlanmış beyaz taze yemeklik kültür mantarları (*Agaricus bisporus*) kullanılmıştır.



#### 3.1.4. Mikroorganizmalar

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan ön denemelerde; *Pseudomonas aurogenes* ATCC 27853 standart bakteri suşu, *Staphylococcus aureus* ve klinik *Escherichia coli* izolatu kullanılmıştır. Ön denemelerde kullanılan bakteriler Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı'ndan temin edilmiştir.

UVC ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan asıl denemelerde; *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 standart bakteri suşları kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan standart suşlar, Ankara Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi ve Mersin İl Kontrol Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

#### 3.1.5. Besiyeri, Kimyasal, Cam Malzeme, Alet ve Ekipmanlar

Aşağıda çalışmada kullanılan besiyerleri, kimyasallar, bazı cam malzemeler ile alet ve ekipmanlar belirtilmiştir.

##### 3.1.5.1. Besiyerleri

Triptik Soy Broth-TSB (Merck 1.05459), Triptik Soy Agar-TSA (Merck 1.05458), Tamponlanmış Peptonlu Su-TPS (Merck 1.07228), Selenit Sistin Broth-SS (Merck 1.07709), Rappaport Vassiliadis Soy Broth-RVS (Merck 1.07700), XLT4 Agar (Merck 1.13919), Brilliant Green Phenol Red Lactose Sucrose Agar-BGPRLS (Merck 1.10747), Triple Sugar Iron Agar-TSI (Merck 1.03915), Urea Broth (Merck 1.08483), Lysine Iron Agar (Merck 1.11640), Plate Count Agar-PCA (Merck 105463), Kazein Pepton (Merck 1.07213), Potato Dextrose Agar-PDA (Merck 1.10130), *Bacillus cereus* Selective Agar-MYP (Merck 1.05267), Dextrose Caseine Pepton Agar (Merck 1.10860),

MR-VP Broth (Merck 1.05712), Baird Parker Agar-BP (Merck 1.05406), Giolitti-Cantoni Broth-GC (Merck 1.10675), Brain Heart Broth, BH (Merck 1.10493), Lauryl Sulfate Broth-LST (Merck 1.10266), Brilliant Green Bile Broth-BGB (Merck 1.05454), EC Broth (Merck 1.10765), Tryptone Water-TW (Merck 1.10859), Tryptic Soy Broth-mTS (Merck 1.9205), Sorbitol-MacConkey Agar-SMAC (Merck 1.09207), Fluorocult *E.coli* O157:H7 Agar (Merck 1040360), Chromocult Coliform Agar-CCA (Merck 110426) ve *Pseudomonas* Selective Agar Base-PSA (Merck 1.05284).

### 3.1.5.2. Kimyasallar

Tartarik Asit (Merck 1.00802), % 3' lük Hidrojen Peroksit (Merck 1.11351), Potasyum Hidroksit (Merck 1.05033),  $\alpha$  Naftol (Merck 1.06223), Potasyum Tellürit (Merck 1.05164), Liyofilize tavşan kanı plazması (Merck 1.13306), XLT4 Agar katkısı (Merck 1.08981), *Bacillus cereus* Selectif Katkısı (Merck 1.09875), Jelatin (Merck 1.04070), Parafin (Merck 1.07160), Kovacks Ayracı (Merck 109293), Toluen (Merck 1.08325), Petrol Eteri (Merck 1.01775), Etil Alkol (Merck 1.00983), Cefixime Tellurite (Merck 1.09202), Bakır 2 Klorür (Merck 818247), Sodyum Bromür (Merck 1.06360), Potasyum Kromat (Merck 104952), Potasyum Asetat (Merck 529543), Magnezyum Klorür (Merck 8147330) ve Potasyum Karbonat (Merck 1.04928).

### 3.1.5.3. Cam malzemeler

Petri kutusu (orta boy 9 mm×10 mm), Durham tüpü, deney tüpü, drigalski özesi, erlen, beher, mezur, balon-joje, pipet gibi genel laboratuvar malzemeleri ile baharat uçucu yağ düzeneği (İldam, 01-426-012), baharat nem tayin düzeneği 5 mL musluksuz (İldam, 01-411-005) ve soxhlet ekstraksiyon düzeneği (İldam, 01-401-0100).

### 3.1.5.4. Alet ve ekipmanlar

UV-visible spektrofotometre (Lambda EZ 201, Perkin Elmer, USA), HunterLab.

Color Quest XE renk tayin cihazı (Hunter Lab., Hunter Associates Laboratory, Reston, VA., USA), su akivitesi ölçüm cihazı (Novasina TH-500, İsviçre), infrared kamera (Flir İ50, Boston, MA, USA), sıcaklık veri kaydedicisi (Keithley 2700 DMM, Cleveland, OH, USA), UVC ışın kabini (Vilber Lourmar, CN-15 LC, France), radyometre (UVP-UVX model, 97-0015-02, Cambridge, UK), steril ekim kabini (Daihan, Lab Tech, Kore), vorteks (İKA, Werke, KS1, KG, Germany), magnetik karıştırcılı ısıtıcı (İKA, Werke, RET Basic, KG, Germany), öğütücü (İKA, Werke, M-20, Germany), terazi (Scaltec, SPB54, Canada), 3-50 °C sıcaklık aralığında çalışabilen inkübatör (FOC 225 I, Velp Scientific, İtaly), 20-220 °C sıcaklık aralığında çalışabilen pastör fırını (Memmert, Germany), otoklav (Hırayama, HVE-25, Japan), 20-200µl ve 100-1000µl aralıklarına ayarlanabilen otomatik pipet (Biohit PLC., Laippatie, Helsinki, Filland).

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. Kısa Dalga Ultravirole (UVC) Işın Uygulamaları

Kısa dalga ultravirole (UVC) ışınların mikroorganizmalar üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan ön denemelerde; Şekil 3.1.' de görülen kapalı sistem UVC ışın kabini kullanılmıştır (Vilber Lourmar, CN-15 LC, France). Kabin içerisinde 365 ve 254 nm dalga boylarında ışın yayan iki adet ultravirole lamba takılı durumdadır.



Şekil 3.1. Kapalı sistem kısa dalga ultravirole (UVC) ışın kabini

Tez çalışması kapsamında bazı mikroorganizma kültürleri, baharatlar, taze kırmızı et ve taze kültür mantarı üzerinde UVC ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde Şekil 3.2.' de görülen, tarafımızca tasarılan sanayiide ilgili kişilere yaptırılmış olan kısa dalga ultravirole ışın kabini kullanılmıştır. Kabin içerisinde tavan kısmında ultravirole ışın kaynağı, 253,7 nm dalga boyunda ışın yayan, her biri 25 W lamba çıkış gücünde, 60 cm uzunluğunda 4 adet lamba (Slimline germicidal lamps, Atlantic, Ultraviolet, USA) bulunmaktadır. 100×100×70 cm boyutlarında tasarlanan kabinin iç duvarları UVC ışınların yansıtılarak kabin içerisindeki tüm noktalara ulaşabilmesi ve kör noktanın kalmaması amacıyla alüminyum yansıtıcılar ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde, örneklerin UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sırasında yerleştirildiği, delikli, paslanmaz çelik iki adet tepsi bulunmaktadır ve lamba ile örnek

yüzeyi arası mesafenin ayarlanmasıyla örneklerin farklı ışın şiddetlerinde UVC ışınlarıda maruz kalmaları sağlanabilmektedir. Kabin içerisinde örnek yüzeyine yakın bölgelerdeki UVC ışın şiddetleri, uç kısmında UVX-25-254 nm aparatı takılı olan radyometre (UVP-UVX model, UVP-UVX model, 97-0015-02, Cambridge, UK) ile ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Kısa dalga ultraviyole (UVC) ışın kabini

### 3.2.2. Uzak İnfrared (FIR) Işın Uygulamaları

Uzak infrared (FIR) ışınların baharat mikrobiyal yükünün düşürülmesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda Şekil 3.3.' te görülen, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği bünyesinde tamamlanmış olan bir proje kapsamında tasarmlanarak yaptırılan, laboratuvar ölçekli, sürekli beslemeli, taşıyıcı bantlı, sıcaklık ve devir ayarı yapılabilen infrared tünel kullanılmıştır [Erdoğdu, 2006]. Tünel içerisinde 48 adet 650 W gücünde maksimum 553 °C yüzey sıcaklığına ayarlanabilen FIR ışın kaynağı seramik lamba bulunmaktadır. Lambalar tünel yan duvarlarına takılı durumdadır ve infrared enerjisinin yansıtılması amacıyla tünel iç duvarları alüminyumla kaplanmıştır. Sistemde lambaların sıcaklık

kontrolleri tünel içerisinde lamba yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilmiş olan ısıtıcılar ile yapılmaktadır. Sistemin sıcaklık ve bant hızları kontrol panelinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.3. Uzak infrared (FIR) ışın tüneli

#### 3.2.2.1. Uzak infrared (FIR) ışınlara maruz bırakılan örneklerin yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi

İnfrared tünelin farklı sıcaklık düzeylerine ayarlanması sonrasında farklı bant hızlarında tünele beslenerek farklı işlem sürelerinde FIR ışınlarına maruz bırakılan örneklerin yüzey sıcaklıkları infrared kamera (FLIR İ50, Boston, MA, USA) ile ölçülmüştür.

İnfrared kamera ile yapılan sıcaklık ölçümlerinde, öncelikle tünel çıkışına yakın bir bölgede, örneklerin ısı görüntüleri alınmakta ve bu görüntülerin analizi ile (FLIR

QuickReport, Boston, MA, USA) örnek yüzey sıcaklık dağılımları belirlenmektedir. Sıcaklık hesaplamalarında kesin sonuçların alınabilmesi için; ortam sıcaklığı ve bağıl nemi ile örnek yüzeyine yansıyan sıcaklık ve örnek yayınım (emissivite) katsayısı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ortam sıcaklığı; infrared tünelin kontrol panelinden ayarlanan ve tünel içerisindeki seramik lambaların yüzeyine yakın olacak şekilde yerleştirilen ısı çiftlerinin ölçmüş olduğu sıcaklık değeri olarak kullanılmıştır.

Tünel içerisinde bulunan lambalar tünel yan duvarlarına yerleştirilmiştir ve infrared enerjisinin örnek üzerine yansıtılması amacıyla tünel iç duvarları alüminyum ile kaplanmış durumdadır. Bu durumda tünel içerisinde örnek yüzeyine yansıyan sıcaklık değerleri; tünel iç duvarlarının da yansıtılmış olduğu enerji nedeni ile tünelin ayarlanan ortam sıcaklığı değerlerinin üzerinde olmaktadır. Çalışmada tünelin farklı sıcaklık derecelerine ayarlanması durumlarında, değişen örnek yüzeyine yansıyan sıcaklık değerleri; yüksek sıcaklığa dayanıklı, siyah boya ile boyanmış ince (1,14 cm kalınlığında, 4,93 cm çapında) bakır disk şeklindeki bir cismin kullanımı ile belirlenmiştir. Bu amaçla, infrared tünel ortam sıcaklığı, örneklerin tünele besleneceği farklı sıcaklık derecelerinde dengeye gelmiş durumdayken, merkezinde ısı çifti takılı olan bakır disk, tünel içerisine yerleştirilmiş ve daha sonra diskin ulaştığı farklı sıcaklık derecelerinde infrared kamera ile ısı görüntüleri alınmıştır. Yüksek ısı iletkenlik katsayısından (400 W/m-K) dolayı bakır disk Lumped sistem olarak düşünülmüş ve merkez sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki farkın ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir. Bu kapsamda bakır disk için elde edilen ısı görüntüleri, ortam sıcaklığı (infrared tünelin ayarlanan sıcaklık değeri) ve bağıl nemi ile bakır diskin yayınım katsayısı ve yansıtılan olası sıcaklık değerleri programa girilerek yüzey sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Her bir FIR tünel sıcaklığında, programda hesaplanan yüzey sıcaklık değerlerinin, diskin merkezine takılı ısı çifti ile ölçülen sıcaklık değerlerine eşdeğer olduğu anlardaki yansıtılan olası sıcaklık değerlerinin, tünele beslenen örnek yüzeyine yansıtılan gerçek sıcaklık değerini gösterdiği kabul edilmiştir.

### 3.2.2.2. İnfrared tünel içerisinde örneğe aktarılan ısı akısı değerlerinin belirlenmesi

İnfrared tünelin farklı sıcaklıklara ayarlanması durumunda tünele beslenen örneklerin yüzeyine aktarılan ısı akısı değerleri hesaplanırken yine merkezinde ısı çift takılı olan siyaha boyalı bakır disk kullanılmıştır. Bakır disk, farklı sıcaklık derecelerine ayarlanmış olan tünel içerisine yerleştirilmiş ve her bir farklı infrared tünel sıcaklığında, zamana bağlı olarak diskin değişen sıcaklık değerleri veri kaydedicisi (Keithley 2700 DMM, Cleveland, OH, USA) ile kaydedilmiştir. Bakır diskin ısı iletim katsayısı değerinin oldukça yüksek olması dolayısıyla disk merkezine yerleştirilen ısı çiftlerin ölçmüş olduğu sıcaklık değerinin diskin yüzey sıcaklığına eşdeğer olduğu kabul edilmiştir (Lumped sistem). Farklı FIR tünel sıcaklıklarında ısı akısı değerleri Eşitlik 3.1.' de belirtilen denklik ile hesaplanmıştır. Eşitlikte  $\frac{q}{A}$ ; ısı akısı ( $W/m^2$ ),  $q$ ; enerji ( $W$ ),  $A$ ; bakır diskin toplam yüzey alanı ( $m^2$ ),  $m$ ; bakır diskin kütlesi ( $kg$ ),  $c_p$ ; bakır diskin ısı kapasitesi ( $J/kg-K$ ) değerini ifade etmektedir. Eşitlikte belirtilen  $\frac{dT}{dt}$  değerini ise  $K/sn$  biriminden sabit FIR tunnel sıcaklığında bakır diskin zamana bağlı değişen sıcaklık eğim değerine eşdeğer olmaktadır.

$$\frac{q}{A} = mc_p \frac{dT}{dt} \quad (3.1.)$$

### 3.2.3. Mikroorganizmalar

#### 3.2.3.1. Stok kültür hazırlama

Ön denemelerde kullanılan ve Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı' ndan temin edilen katı besiyerindeki bakteri kültürleri (*Pseudomonas aurogenes* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ve klinik *Escherichia coli* izolatu) ile asıl denemelerde kullanılan, Ankara Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi ve Mersin İl



Kontrol Müdürlüğü' nden temin edilen liyofilize (*Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150) ve öze ucuna emdirilmiş (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028) standart bakteri suşlarının stok kültürleri hazırlanmıştır. Bu amaçla bakterilerin her biri steril Triptik Soy Broth-TSB (Merck 1.05459) besiyerine aşılannış ve 35 °C sıcaklıkta 24 saat süresince inkübasyona bırakılmaları sağlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda gelişen kültürlerden tüplerde hazırlanmış steril TSB besiyerlerine yeniden aktarımlar yapılarak tüpler 35 °C' de 24 saat süresince inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda elde edilen TSB kültürlerinin absorbans değerleri UV-visible spektrofotometrede (Lambda EZ 201, Perkin Elmer, USA) 625 nm dalga boyunda, 0,08-0,1 aralığına ayarlanmış ve stok kültür hazırlamak üzere absorbans ayarlaması yapılan kültürlerden içerisinde steril yatık Triptik Soy Agar-TSA (Merck 1.05458) besiyeri bulunan tüplere öze ile besiyeri yüzeyine yayma şeklinde ekimler yapılarak tüpler yeniden aynı koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrasında her bir bakteriye ait hazırlanmış olan stok kültürler, sıcaklığı 4 °C' ye ayarlanmış inkübatöre kaldırılmıştır. Belirli aralıklarla stok kültürler yeniden aktifleştirilerek yatık besiyerlerine aktarılmış ve 4 °C sıcaklıkta depolanmaları sağlanmıştır.

### 3.2.3.2. Mikroorganizmaların gelişim eğrilerinin belirlenmesi

Çalışmada *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşlarının 35 °C sabit inkübasyon sıcaklığında logaritmik gelişim evrelerini tamamlama sürelerinin belirlenmesi amacıyla gelişim eğrileri çizilmiştir. Yapılan asıl denemelerde UVC ışınların, logaritmik gelişim evrelerini tamamlamış, durgun gelişim evresinin başlangıcındaki bakteri suşları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

Standart bakteri suşlarının gelişim eğrileri belirlenirken öncelikle TSA besiyerindeki yatık stok bakteri kültürlerinden aseptik koşullarda içerisinde 200 mL steril TSB besiyeri bulunan erlenlere ekimler yapılmıştır. Daha sonra 35 °C inkübasyon

sıcaklığında ekimlerin yapıldığı andan başlayarak, 12 saat süresince belirli zaman aralıklarında 0,5' er mL örnek alınmış ve örneklerin seri dilüsyonları hazırlanarak her bir dilüsyondan 2 paralel olacak şekilde Petrilere yayma yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Petrilere 35 °C' de 24 saat süresince inkübasyona bırakılmaları sonrasında sayım için uygun dilüsyonlara ait Petrilere koloni sayımları gerçekleştirilmiş ve paralel petrileredeki sayımların ortalamaları dilüsyon faktörü de dikkate alınarak hesaplanmıştır. Daha sonra koloni oluşturan birim (kob)/mL şeklinde belirlenen sayım sonuçlarının logaritmaları inkübasyon süresine karşı grafiğe geçirilmiş ve her bir bakteri suşuna ait gelişim eğrileri çizilmiştir.

Çalışmada, 35 °C sıcaklıkta 12 saatlik inkübasyon süresince kültürel sayımların yapıldığı her bir zaman diliminde sıvı kültürden alınan örneklerin UV-visible spektrofotometrede 625 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuş ve elde edilen absorbans değerlerinin inkübasyon süresine karşı grafiğe geçirilmesi ile de gelişim eğrileri çizilmiştir.

### 3.2.3.3. Mikroorganizmaların gelişim parametrelerinin hesaplanması ve çizilen gelişim eğrilerinin matematiksel modellere uygunluğunun belirlenmesi

Çalışmada standart bakteri suşlarına ait gelişim eğrilerinin tanımlanmasında, mikrobiyal gelişim eğrilerinin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan, doğrusal olmayan Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modelleri kullanılmıştır. Zwietering vd. (1990) tarafından tanımlanan 3 parametrelili Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerine ait eşitlikler Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Gelişim eğrilerinin tanımlanmasında kullanılan modeller modifiye formları [Zwietering vd., 1990].

Model	Eşitlik	Modifiye Eşitlik
Gompertz	$y = a \cdot \exp[-\exp(b - cx)]$	$y = A \cdot \exp\left\{-\exp\left[\frac{\mu_m \cdot e}{A}(\lambda - t) + 1\right]\right\}$
Logistik	$y = \frac{a}{[1 + \exp(b - cx)]}$	$y = \frac{A}{\left\{1 + \exp\left[\frac{4\mu_m}{A}(\lambda - t) + 2\right]\right\}}$ $(y = \ln[N_{(t)} / N_0])$

Standart bakteri suşlarının 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyeri ortamında inkübasyon süresine karşı değişen mikroorganizma düzeyleri ( $N_{(t)}$ ), yapılan kültürel sayımlar ile deneysel olarak belirlendikten sonra, her bir bakteri suşuna ait  $(\ln[N_{(t)} / N_0]_{\text{deneysel}})$  değerleri hesaplanmış ve inkübasyon süresine ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilerek maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ), gecikme zamanı ( $\lambda$ ) ve asimptot ( $A$ ) gelişim parametre değerleri belirlenmiştir.

Çalışmada her bir bakteri suşuna ait belirlenen gelişim parametre değerlerinin Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik Modellerinde kullanılmaları ile model  $\ln[N_{(t)} / N_0]$  değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan  $(\ln[N_{(t)} / N_0]_{\text{Model}})$  değerlerinin inkübasyon süresine ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmeleri ile her bir bakteri suşu için ayrı ayrı model gelişim eğrileri çizilmiştir.

Çalışmada deneysel olarak elde edilen gelişim verilerini ifade etmede kullanılacak olan en uygun modelin belirlenmesine yönelik olarak; model verileri ile deneysel veriler arasındaki “Hata Kareleri Ortalamasının Kare Kökü (*RMSE*; *root mean square error*)” değerleri ile deneysel ve model verileri arasındaki “Korelasyon Katsayıları” belirlenmiş ve “Fark Analizi” (model verileri ile deneysel verilerin farklarındaki dağılım) yapılmıştır.

“Hata Kareleri Ortalamasının Kare Kökü” değeri; Eşitlik 3.2.’ de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır. Eşitlikte  $t$ ; toplam veri sayısını,  $N_i$ ; inkübasyon süresine bağlı olarak değışen mikroorganizma sayısını,  $N_0$ ; ise başlangıç mikroorganizma sayısını ifade etmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \left[ \ln \left[ \frac{N_i}{N_0} \right]_{Deneyysel} - \ln \left[ \frac{N_i}{N_0} \right]_{Model} \right]^2} \quad (3.2.)$$

Deneyssel ve model verileri arasındaki “Korelasyon Katsayıları” belirlenirken, Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinin kullanımı ile hesaplanan  $\ln \left[ \frac{N_{(t)}}{N_0} \right]_{Model}$  verileri deneyssel olarak elde edilen  $\ln \left[ \frac{N_{(t)}}{N_0} \right]_{deneyssel}$  verilerine karşı grafiğe geçirilmiş ve çizilen grafikte verilerden geçirilen doğruların eğimleri ve  $R^2$  değeri belirlenmiştir.

Yapılan “Fark Analizi’ nde” ise Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinin kullanımı ile hesaplanan model verileri ile deneyssel veriler arasındaki farklar alınmış  $\left( \ln \left[ \frac{N_{(t)}}{N_0} \right]_{Model} - \ln \left[ \frac{N_{(t)}}{N_0} \right]_{Deneyysel} \right)$  elde edilen veriler deneyssel  $\ln \left[ \frac{N_{(t)}}{N_0} \right]_{deneyssel}$  verilerine karşı grafiğe geçirilmiştir.

#### 3.2.3.4. Besiyeri yüzeyine yayılan kültürlerin hazırlanması

TSA besiyerinde hazırlanmış olan yatık stok bakteri kültürleri aseptik koşullarda steril TSB besiyerine aktarılmış ve bu besiyerinde her bir bakteri suşunun 35 °C sıcaklıkta logaritmik fazı tamamlama sürelerince inkübasyona tabi tutulmaları sağlanmıştır. İnübasyon süresi sonunda elde edilen sıvı kültürlerin başlangıç mikrobiyal yükleri mL’ de yaklaşık  $10^8$  kob olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayarlama işlemi Mc Farland 0,5 standardına göre yapılmıştır. Mc Farland 0,5 standart çözeltilsinin

625 nm dalga boyunda 0,08 ile 0,1 aralığına karşılık gelen absorbans değeri, sıvı besiyerinde bulunan yaklaşık  $1 \times 10^8$ - $2 \times 10^8$  adet (kob/mL) mikroorganizma kolonisinin bu dalga boyunda göstermiş olduğu absorbans değerine eşdeğer gelmektedir [Garcia ve Isenberg, 2007]. Buna göre TSB besiyerinde 35 °C inkübasyon sıcaklığında logaritmik fazı tamamlayan bakteri kültürlerinin absorbans değerleri spektrofotometrede 625 nm dalga boyunda, steril TSB besiyeri kullanılarak yapılan seyreltmeler ile 0,08-0,1 aralığına ayarlanmış ve böylece başlangıç mikroorganizma sayıları yaklaşık  $10^8$  kob/mL düzeyinde olan bakteri kültürleri elde edilmiştir.

Ön denemelerde kullanılan bakteriler (*P. aurogenes* ATCC 27853, *S. aureus* ve klinik *E. coli* izolatu) 35 °C sıcaklıkta, 5 saat süresince inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon süresi sonunda elde edilen kültürlerin başlangıç mikroorganizma sayıları yine Mc Farland 0,5 standardına göre ayarlanmıştır.

Çalışmada kontrol amacıyla her defasında, Mc Farland 0,5 standardına göre absorbans ayarlaması yapılan kültürlerin başlangıç mikroorganizma sayıları, kültürlerin seri dilüsyonlarının hazırlanması, uygun steril agarlı besiyerlerine ekimlerin yapılması ve inkübasyon sonrasında koloni sayımlarının gerçekleştirilmesi ile doğrudan kültürel sayım yöntemi ile de belirlenmiştir.

### 3.2.3.5. Besiyeri yüzeyine yayılan mikroorganizma kültürlerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışınlara maruz bırakılmaları

Başlangıç mikrobiyal yükleri belirli bir düzeye ayarlanan bakteri kültürleri aseptik koşullarda içerisinde uygun steril katı besiyeri bulunan Petrilere aktarılmış (0,1'er mL) ve kültürlerin besiyeri yüzeyine drigalski özesi ile yayılmaları sağlanmıştır. Kültürün ortama uyum sağlaması ve besiyeri yüzeyinin kısmen kurumaması amacıyla yayma işleminden sonra 90 saniye süresince Petrilere oda sıcaklığında aseptik koşullarda bekletilmiştir. Daha sonra Petri kutuları kapakları açık olacak şekilde UVC ışın yayan lambaların bulunduğu kabin içerisine yerleştirilmiş ve burada besiyeri yüzeyine yayılan

mikroorganizmaların sabit ışın şiddetinde farklı sürelerde UVC ışınlara maruz bırakılmaları sağlanmıştır. İşlem sonunda petripler 35 °C' ye ayarlanmış inkübatöre yerleştirilerek 24 saat süresince inkübasyona bırakılmış ve bu süre sonunda Petriplerde koloni sayımları gerçekleştirilmiştir.

UVC ışın kabini içerisinde ultraviyole ışın kaynağı lambalardan farklı uzaklıklardaki alanlarda ışın şiddeti değerlerinin birbirinden farklı olduğu, lambalardan uzaklaştıkça radyometre ile ölçülen ışın şiddeti değerinin azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşlarının kullanıldığı asıl denemelerde kültür aktarılan Petriplerin kabin içerisinde lambalardan farklı uzaklıklara yerleştirilmeleri ile farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılmış standart bakteri kültürleri üzerindeki etkileri incelenebilmiştir. Bakteri suşlarının farklı ışın şiddetlerinde, farklı uygulama sürelerinde UVC ışınlara maruz bırakılmaları ile uygulanan farklı ışın dozlarının (UVC ışın dozu; örnek yüzeyinde radyometre ile ölçülen UVC ışın şiddeti ile örneklerin UVC ışınlara maruz bırakıldığı uygulama süresinin çarpımına eşdeğerdir;  $doz = \text{ışın şiddeti} \times \text{uygulama süresi}$ ) mikrobiyal azalma üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

#### 3.2.4. Baharatlar

##### 3.2.4.1. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin mikrobiyal yüklerinin belirlenmesi

Türk Gıda Kodeksi 2000-16 nolu Baharat Tebliği' nde baharatlarda bulunması muhtemel mikroorganizmaların *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *E.coli* O157:H7, maya-küf ve mezofilik aerobik bakteriler olduğu belirtilmiştir [Anonim, 2000]. Çalışmada öncelikle temin edilen tane kimyon ve karabiber örneklerinin mikrobiyal yüklerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Örneklerin mikrobiyal yükleri belirlenirken Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği baz alınmış, tebliğde belirtilen ve baharatlarda bulunmaları çeşitli düzeylerde

sınırlandırılmış veya bulunmalarına kesinlikle izin verilmeyen mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarını tane kimyon ve karabiber örneklerinin ne düzeyde içermiş olduğunun belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Çalışmada ayrıca örneklerin içermiş olduğu toplam koliform ile gıda materyallerinde hijyen ve sanitasyon indikatörü olan fekal koliform bakteri düzeylerinin belirlenmesine yönelik mikrobiyal analizler de yapılmıştır.

#### 3.2.4.1.1. *Salmonella* analizi

Tane kimyon ve karabiber örneklerinde *Salmonella*, selektif olmayan besiyerinde ön zenginleştirme, selektif sıvı besiyerinde selektif zenginleştirme, selektif katı besiyerinde koloni morfolojisinin gözlemlenmesi ve şüpheli *Salmonella* kolonilerinin biyokimyasal testlerle doğrulanması şeklinde yapılmıştır.

Aseptik koşullarda tartılan örnekler (25 g) içerisinde 225 ml steril Tamponlanmış Peptonlu Su-TPS besiyeri (Merck 1.07228) bulunan erlenlere konulmuş ve ön zenginleştirme amacıyla 37 °C sıcaklıkta 20 saat inkübasyona bırakılmıştır.

Daha sonra selektif zenginleştirme amacıyla 2 farklı sıvı besiyerine (Selenit Sistin Broth-SS; Merck 1.07709 ve Rappaport Vassiliadis Soy Broth-RVS; Merck 1.07700) ekimler yapılmıştır. Bu amaçla 10 ml steril RVS Broth besiyerine ön zenginleştirme kültüründen 0,1 ml eklenerek 42 °C' de 24 saat, 100 ml steril SS Broth besiyerine ise 10 ml ön zenginleştirme kültürü eklenerek 37 °C' de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında selektif sıvı besiyerlerinde gelişen kültürlerden 2 farklı selektif katı besiyerine tek koloni düşürülmüştür. Selektif katı besiyeri olarak XLT4 Agar katkısı (Merck 1.08981) ilave edilmiş XLT4 Agar (Merck 1.13919) ve Brilliant Green Phenol Red Lactose Sucrose Agar-BGPRLS (Merck 1.10747) kullanılmış, bu besiyerlerine yapılan ekimlerden sonra 37 °C' de 24 saat inkübasyon sonucu besiyerleri yüzeyinde gelişen şüpheli *Salmonella* kolonilerine biyokimyasal testler uygulanarak doğrulamalar yapılmıştır [Halkman, 2005; Ünlütürk ve Turantaş,

2002].

Örneklerde *Salmonella* varlığının tespitinde klasik kültürel sayımın yanında Singlepath *Salmonella* (Merck 1.04140) test kitlerinin kullanımı ile hızlı analiz yöntemi de uygulanmıştır.

*Salmonella* doğrulama testleri:

*Salmonella*, BGPRLS Agar besiyerinde etrafı parlak kırmızı bir bölge ile çevrili pembe kırmızı renkli, XLT4 Agar besiyerinde ise siyah renkli koloniler oluşturmaktadır [Halkman, 2005]. Selektif katı besiyerlerinde gelişen şüpheli *Salmonella* kolonilerinin doğrulanması amacıyla 3 farklı test uygulanmıştır.

Doğrulama testlerinin ilkinde besiyeri yüzeyindeki şüpheli koloniler 1 mL steril suda çözülmüş ve tüplerde hazırlanmış steril Triple Sugar Iron Agar-TSI (Merck 1.03915) besiyerine yüzeye sürme ve dibe daldırma şeklinde ekimler yapılarak, tüplerin 37 °C' de 24 saat süresince inkübasyona bırakılmaları sağlanmıştır. TSI Agar besiyerinde inkübasyon süresince *Salmonella*'nın glikozu kullanması ile besiyerinin berrak kırmızı rengi sarıya dönmekte, bakterinin glikozdan gaz oluşturması nedeniyle besiyerinde hava boşlukları meydana gelmekte, hidrojen sülfür oluşumu ile besiyerinde siyah renk şekillenirken *Salmonella*'nın besiyerinde bulunan laktoz ve sakkarozu kullanamaması dolayısıyla da besiyeri yüzeyi parlak kırmızı renkte kalmaktadır [Halkman, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

*Salmonella*'nın doğrulanmasında yapılan diğer bir test şüpheli kolonilerin Urea Broth (Merck 1.08483) besiyerindeki gelişimlerinin incelenmesidir. *Salmonella* üre negatiftir ve 37 °C' de 48 saat inkübasyon sonrasında besiyeri renginde herhangi bir değişim meydana gelmemektedir [Halkman, 2005].

Şüpheli *Salmonella* kolonilerinin doğrulanmasında lisin testi de uygulanmıştır.



Şüpheli koloniler Lysine Iron Agar (Merck 1.11640) besiyerine yüzeye sürme ve dibe daldırma şeklinde ekilmiş 37 °C’ de 24 saat inkübasyon sonrasında dipte siyah renk oluşumu ve yüzeyin menekşe renginde olması *Salmonella* doğrulanması için tipik reaksiyonlar olarak değerlendirilmiştir [Halkman, 2005].

#### 3.2.4.1.2. Toplam mezofilik aerobik bakteri analizi

Tane kimyon ve karabiber örnekleri, içerisinde steril Kazein Peptonlu su (% 0,1 g/L Merck 1.07213) bulunan erlenlere konularak 1400 dk<sup>-1</sup> hızında çalışan dairesel hareketli çalkalayıcıda (IKA, Werke, RET Basic, KG, Germany) 3 dk. süre ile çalkalanarak yıkanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan dilüsyonlardan içerisinde steril Plate Count Agar-PCA (Merck 105463) besiyeri bulunan Petrilere 0,1’ er mL aktarılmış ve 35 °C’ de 24-48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süreleri sonunda sayım için uygun dilüsyonlara ait Petrilere gelişen kolonilerin sayımları yapılmış ve paralel Petrilereki sayımların ortalamaları dilüsyon faktörü de dikkate alınarak hesaplanmıştır.

#### 3.2.4.1.3. Toplam maya-küf analizi

Tane kimyon ve karabiber örneklerinde toplam maya-küf sayımında Potato Dextrose Agar-PDA (Merck 1.10130) besiyeri kullanılmıştır. Besiyerine bakteri gelişiminin önlenmesi için % 10’ luk steril Tartarik Asit (Merck 1.00802) çözeltisinden 1 L besiyerine 9,3 mL olacak şekilde ilave edilmiştir.

Tane kimyon ve karabiber örnekleri (10’ ar gram), içerisinde 90’ ar mL, steril Kazein Peptonlu su (% 0,1 g/L) bulunan erlenlere konularak 1400 dk<sup>-1</sup> hızında çalışan dairesel hareketli çalkalayıcıda 3 dk. süre ile çalkalanarak yıkanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan dilüsyonlardan içerisinde steril besiyerleri bulunan Petrilere 0,1’ er mL aktarılmış ve 30 °C’ de 3 gün inkübasyon süresi sonrasında maya, 5 gün inkübasyon süresi sonrasında ise küf sayımları

gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.4.1.4. *Bacillus cereus* analizi

Tane kimyon ve karabiber örneklerinde *Bacillus cereus* analizinde, hem standart kültürel sayım, hem de En Muhtemel Sayım (EMS) yöntemleri kullanılmıştır.

Standart kültürel sayım yöntemi ile yapılan *B. cereus* analizinde, *Bacillus cereus* Selectif Katkısı (Merck 1.09875) ve yumurta sarısı emülsiyonu ilave edilerek hazırlanmış *Bacillus cereus* Selective Agar-MYP (Merck 1.05267) besiyeri kullanılmıştır. Steril Kazein Peptonlu su kullanılarak hazırlanan örnekler  $10^{-7}$  basamağına kadar seyreltikten sonra, uygun dilüsyonlardan MYP Agar besiyerine yayma yöntemi ile ekim yapılmış ve 37 °C sıcaklıkta 48 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra besiyeri yüzeyinde gelişen uçuk pembe renginde, iri, düzensiz kenarlı, etrafı aynı renkte yumurta sarısı presipitatu ile çevrili koloniler şüpheli kabul edilerek biyokimyasal testlere tabi tutulmuştur.

*B. cereus*' un katı besiyerinde standart kültürel sayım yöntemi ile belirlenemeyecek kadar az olması durumunda kullanılan En Muhtemel Sayım (EMS) yönteminde tüplerde  $10^7$  ar mL olacak şekilde hazırlanmış *Bacillus cereus* Selective katkısı ilave edilen TSB, besiyeri kullanılmıştır. Hazırlanan  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  ve  $10^{-3}$ ' lük dilüsyonların her birinden 3' er paralel olacak şekilde tüplere 1' er mL aktarılmış ve 30 °C' de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda tüplerden Petrilerdeki steril MYP Agar besiyerine tek koloni düşürülmüştür. MYP Agar besiyerinde 30 °C' de 24 saat inkübasyon sonunda yaygın kuru pembe renkli, etrafı yoğun presipitatu koloniler *B. cereus* olarak değerlendirilmiştir ve *B. cereus* görülen Petri kutularının ekim yapıldığı tüpler muhtemel pozitif olarak değerlendirilmiştir. Yapılan doğrulama testleri sonrasında EMS çizelgesi kullanılarak örneklerdeki *B. cereus* sayısı EMS/g olarak hesaplanmıştır.

### *Bacillus cereus* doğrulama testleri:

*B. cereus* mannitol negatif olması dolayısıyla besiyeri bileşimindeki mannitolü kullanamamakta ve besiyeri yüzeyinde besiyerinin kendi renginde uçuk pembe koloniler şeklinde üremektedir. Ayrıca *B. cereus*' un lesitinaz enzim aktivitesine sahip olması nedeniyle de kolonilerin etrafında yoğun bir çökeltme meydana gelmektedir. *B. cereus* doğrulamada genel olarak kullanılan biyokimyasal testler; glikozun anaerobik kullanımı, jelatin hidrolizi ve Voges Proskauer testleridir. *B. cereus*' un bu testlerde pozitif reaksiyonlar verdiği belirtilmiştir [Halkman, 2005].

Standart kültürel sayımla yapılan analizde besiyeri yüzeyinde gelişen şüpheli koloniler biyokimyasal testler öncesinde steril suda çözülerek MYP Agar besiyerine tek koloni düşürülmüş ve daha sonra doğrulama testleri yapılmıştır.

Glikozun anaerobik kullanımının belirlenmesinde, tüplerde hazırlanmış Dextrose Caseine Pepton Agar (Merck 1.10860) besiyerine aşı iğnesi ile dibe daldırma şeklinde ekim yapılmış ve 30 °C' de 24 saat inkübasyon sonrasında dipte sarı renk oluşumu pozitif reaksiyon olarak değerlendirilmiştir [Halkman, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

Jelatin hidrolizi testinde, % 15 Jelatin (Meck 1.04070) ilave edilerek hazırlanmış TSB besiyerine iğne öze ile ekimler yapılmış ve tüpler 30 °C' de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrasında tüpler buz dolabına kaldırılmış ve burada buz dolabı sıcaklığına soğutulan kültürlerin sıvı veya katı halde olmaları durumlarına bakılarak test sonucu pozitif veya negatif olarak değerlendirilmiştir. Mikroorganizmanın ortamdaki jelatini hidroliz etmesi durumunda besiyeri sıvı hale dönüşmekte ve tüplerdeki kültürün buz dolabı sıcaklığına soğutulmaları durumunda dahi kültür sıvı halini korumakta ve katılaşmamaktadır [Halkman, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

Voges Proskauer testinde, besiyeri yüzeyindeki şüpheli koloniler tüplerde 5' er

mL olacak şekilde hazırlanmış olan steril MR-VP Broth (Merck 1.05712) besiyerine öze ile aşılanmış ve tüpler, 30 °C sıcaklıkta 48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda kültürlerden 1' er mL steril test tüplerine aktarılmış ve üzerlerine 0,6 mL % 5' lik  $\alpha$  Naftol (Merck 1.06223) ve 0,2 mL % 40' lık Potasyum Hidroksit (Merck 1.05033) çözeltisi ilave edilmiştir. Tüplerde vişne çürüğü rengi oluşumu pozitif reaksiyon olarak değerlendirilmiştir [Halkman, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

#### 3.2.4.1.5. *Staphylococcus aureus* analizi

Örneklerde *Staphylococcus aureus* analizinde katı besiyerinde standart kültürel sayım ve sıvı besiyerinin kullanıldığı EMS yöntemleri uygulanmıştır.

Standart kültürel sayımla yapılan *S. aureus* analizinde % 3,5' luk Potasyum Tellürit (3 mL/950 mL; Merck 1.05164) ve yumurta sarısı emülsiyonu (50 mL/950 mL) ilave edilmiş Baird Parker Agar-BP (Merck 1.05406) besiyeri kullanılmıştır. Steril Kazein Peptonlu su kullanılarak hazırlanan örnekler  $10^{-7}$  basamağına kadar seyreltikten sonra BP Agar besiyerine yayma yöntemi ile ekim yapılmış ve Petriler 37 °C' de 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. BP Agar besiyerinde etrafı saydam zonlu siyah parlak koloniler şüpheli *S. aureus* olarak sayılmış ve bu kolonilere doğrulama amacıyla koagülaz ve katalaz testleri uygulanmış bunların yanısıra gram boyama yapılarak mikroskopta gram özellikleri ve koloni morfolojileri incelenmiştir.

Örneklerde *S. aureus*' un EMS yöntemi ile yapılan analizinde Giolitti-Cantoni Broth-GC (Merck 1.10675) kullanılmıştır. GC Broth tüplerde 10' ar mL olacak şekilde hazırlanmış ve ekim öncesinde tüplere % 1' lik Potasyum Tellürit çözeltisi eklenmiştir (53  $\mu$ L/10 mL). Daha sonra örneğin hazırlanan seri dilüsyonlarının ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  ve  $10^{-3}$ ) her birinden üç ayrı tüpe 1' er mL aktarılmıştır. Ekimden sonra tüplerin üzerine 2' şer mL steril sıvı Parafin (Merck 1.07160) eklenerek kısmi bir anaerobik ortam sağlanmaya çalışılmıştır. 37 °C' de 24 saat inkübasyon sonunda siyahlaşma olan tüpler şüpheli *S.*

*aureus* olarak değerdendirilmiş ve bu tüplerden BP Agar besiyerine sürme yapılmıştır. 37 °C’ de 24 saat inkübasyon sonunda BP Agar besiyerinde etrafı saydam zonlu siyah parlak kolonilere koagulaz ve katalaz testleri uygulanmış ve gram boyama yapılarak mikroskopta doğrulanmıştır. Yapılan doğrulama testleri sonrasında EMS çizelgesi kullanılarak örneklerdeki *S. aureus* sayısı EMS/g olarak hesaplanmıştır.

#### *S. aureus* doğrulama testleri:

Şüpheli *S. aureus* kolonilerine koagülaz ve katalaz testleri uygulanmış, gram boyama yapılarak mikroskobik morfolojileri incelenmiştir.

BP Agar besiyerindeki şüpheli *S. aureus* kolonileri Brain Heart Broth, BH (Merck 1.10493) besiyerine aktarılmış ve 37 °C’ de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Koagulaz testi için 1 şişe liyofilize tavşan kanı plazması (Merck 1.13306) 3 mL steril damıtık su içerisinde sulandırıldıktan sonra steril küçük tüplere 0,3’ er mL aktarılmış ve üzerlerine 0,1’ er mL BH Broth kültürü eklenmiştir. 37 °C’ de inkübasyon süresince saat başı pıhtı kontrolü yapılmıştır. Tüpte belirgin pıhtı oluşumu pozitif reaksiyon olarak değerdendirilmiştir. *S. aureus* koagulaz enzimine sahiptir ve koagülaz testinde pozitif sonuç vermektedir [Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

Katalaz testinde BH Broth kültürüne % 3’ lük Hidrojen Peroksit (Merck 1.11351) eklenmiş ve gaz çıkışı kontrol edilmiştir. *S. aureus* katalaz enzimine sahiptir ve kültür üzerine eklenen hidrojen peroksit bu enzimi ile hidrojen ve oksijene ayırştırmaktadır. Tüpte gözlenen gaz çıkışı oksijen çıkışını gösterirken bu durumda yapılan testin pozitif olarak değerdendirilir [Ünlütürk ve Turantaş, 2002].

### 3.2.4.1.6. Koliform, fekal koliform, *Escherichia coli* analizleri

Örneklerde koliform, fekal koliform ve *E. coli* analizleri EMS yöntemi ile yapılmıştır. Örneklerin seri dilüsyonları hazırlandıktan sonra  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  ve  $10^{-3}$  lük dilüsyonlardan içerisinde Durham tüpleri bulunan Lauryl Sulfate Broth-LST (Merck 1.10266) besiyerlerine 3' er paralel olacak şekilde ekimler yapılmış, 37 °C' de 48 saat inkübasyon sonrasında bulanıklık ve gaz oluşumu gözlenen tüpler "muhtemel koliform pozitif" olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra LST pozitif tüplerden içerisinde Durham tüpü bulunan Brilliant Green Bile Broth-BGB (Merck 1.05454) besiyerine öze ile ekimler yapılmış, 30 °C' de 24 saat inkübasyon sonrasında gaz oluşumu görülen tüpler "doğrulanmış koliform" olarak değerlendirilmiş ve EMS çizelgesinden yararlanılarak örneklerdeki koliform grup bakteri sayıları belirlenmiştir.

Fekal koliform bakteri analizi için LST Broth besiyerinde bulanıklık ve gaz oluşumu gözlenen tüplerden, içerisinde Durham tüpü bulunan EC Broth (Merck 1.10765) besiyerine öze ile aşılama yapılmış ve tüpler 44,5 °C' de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrasında bakteri gelişimine bağılı olarak bulanıklık ve gaz oluşumu gözlenen tüp sayısına göre EMS çizelgesi kullanılarak fekal koliform sayısı belirlenmiştir.

Örneklerde *E. coli* varlığının tespiti için yapılan analizde EC Broth (Merck 1.10765) besiyerinde bulanıklık ve gaz oluşumu gözlenen her bir tüpten öze ile içerisinde Tryptone Water-TW (Merck 1.10859) besiyeri bulunan tüplere ekimler yapılmış ve tüpler 44,5 °C' de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrasında bulanıklık gözlenen tüplere 1' er mL Kovacks' ayracı damlatılmış ve tüp yüzeyinde vişne çürüğü renginde halka oluşumu indol pozitif olarak değerlendirilmiştir. *E. coli* indol pozitif bir bakteridir ve dolayısıyla indol pozitif olan bu tüpler aynı zamanda *E. coli* pozitifdir. Son olarak pozitif tüpler dikkate alınarak EMS çizelgesinin kullanımı ile örneklerdeki *E. coli* sayıları belirlenmiştir.

#### 3.2.4.1.7. *Escherichia coli* O157:H7 analizi

25' er g tane kimyon ve karabiber örneği modifiye Tryptic Soy Broth-mTS (Merck 1.9205) besiyerinde 37 °C inkübasyon sıcaklığında 24 saat süresince inkübe edilmiş ve daha sonra cam bir tüpe 1-2 mL kültür alınarak kaynar su banyosunda 15 dakika bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığına soğutulan kültürden Singlepath *E.coli* O157:H7 test kitine (Merck 1.04141) yaklaşık 160 µL aktarılmış ve 20 dakika bekleme süresi sonunda sonuç kaydedilmiştir.

#### 3.2.4.2. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ve uzak infrared (FIR) ışınlarına maruz bırakılmaları

Çalışmada, Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği' nde [Anonim, 2000] belirtilen sınırlamalar göz önünde tutularak, her bir baharat örneğinde mikrobiyal yük bakımından sorun oluşturan ve belirli düzeylerin altına çekilmesi veya örneklerden tamamen uzaklaştırılması gerekli olan mikroorganizma ve/veya mikroorganizma grupları belirlenerek UVC ve FIR ışın uygulamaları için hedef mikroorganizmalar saptanmıştır. Daha sonra örneklerin aşağıda belirtilen uygulama koşullarında değişen mikrobiyal yükleri incelenmiş ve uygulamaların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

##### 3.2.4.2.1. Tane kimyon örneklerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınlarına maruz bırakılma koşulları

UVC ışın uygulamasının tane kimyon örneklerinde mikrobiyal yük üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde, tane örnekler (yaklaşık 5 g) orta boy steril Petri kutusuna taneler üst üste gelmeyecek şekilde konulmuştur. Daha sonra Petri kutusu uygulamanın yapılacağı UVC kabin içerisinde bulunan paslanmaz çelik tepsi üzerine yerleştirilen ve 600 dk<sup>-1</sup> hızında çalıştırılan karıştırma aparatı (IKA, Werke, RET Basic, KG, Germany) üzerine konulmuş ve bu şekilde tanelerin UVC ışınlarına

maruz kalmaları sırasında hareket etmeleri sağlanmıştır. Tane kimyon örnekleri, yaklaşık 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz bırakılmışlar ve uygulama süreleri sonrasında örneklerde mikrobiyal analizler yapılmıştır.

#### *3.2.4.2.2. Tane kimyon örneklerinin uzak infrared (FIR) ışınlarına maruz bırakılma koşulları*

FIR ışın uygulamasının tane kimyon örneklerinde mikrobiyal yük üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde, tane örnekler orta boy steril Petrilere, taneler üst üste gelmeyecek şekilde konulmuş (her bir Petriye yaklaşık 5 g) ve Petrilere farklı hızlarda tünel beslenmişlerdir. Farklı tünel sıcaklıklarında yapılan çalışmada örneklerin tünel farklı hızlarda beslenmeleri ile farklı sürelerde FIR ışınlarına maruz kalmaları sağlanmış, tünel giriş ve çıkışında yapılan mikrobiyal analizler ile FIR ışınlarının kimyon taneleri mikrobiyal yükü üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

#### *3.2.4.2.3. Tane kimyon örneklerinin ardarda uzak infrared ve kısa dalga ultraviole ışınlarına maruz bırakılma koşulları (kombine FIR+UVC ışın uygulaması)*

Farklı sıcaklık ve süre koşullarında FIR ışınlarına maruz bırakılan tane kimyon örnekleri tünel çıkışında aseptik koşullarda UVC ışın uygulamalarının yapılacağı kabin içerisine aktarılmış ve burada tanelerin yaklaşık 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sağlanmıştır. Yapılan kombine uygulamalarda tane kimyon örnekleri 4 ayrı steril orta boy Petri kutusuna (her bir Petri kutusunda yaklaşık 5 gram örnek olacak şekilde) taneler üst üste gelmeyecek şekilde konulmuş ve Petrilere sabit infrared tünel sıcaklıklarında, belirlenen işlem süresinde ardarda infrared tünel beslenmeleri sağlanmıştır. Tünel çıkışında 4 ayrı Petri kutusunda aynı sıcaklık-süre işlem koşullarında infrared ışınlarına maruz kalan örnekler aseptik koşullarda steril başka bir Petri kutusuna aktarılmış ve buradan alınan yaklaşık 5 gram örnek yine aseptik koşullarda orta boy steril bir Petri kutusuna alınmıştır. Daha sonra



içerisinde yaklaşık 5 gram örnek (FIR ışınlarına maruz kalan-işlem görmüş örnek) bulunan Petri UVC kabin içerisindeki karıştırma aparatı üzerine yerleştirilerek, burada tanelerin yaklaşık 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sağlanmıştır. Uygulama sonrasında yapılan mikrobiyal analizler ile FIR ve UVC ışınlarının mikrobiyal yük üzerindeki kombine etkileri belirlenmiştir.

#### *3.2.4.2.4. Tane karabiber örneklerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınlarına maruz bırakılma koşulları*

Tane karabiber örneklerinin tek başına UVC ışınlarına maruz bırakılma koşulları tane kimyon örneklerinde olduğu gibidir, sadece Petrilere konulan örnek miktarı değiştirilmiştir. Her bir Petriye taneler üst üste gelmeyecek şekilde yaklaşık 3' er gram tane karabiber örneği konulmuştur.

#### *3.2.4.2.5. Tane karabiber örneklerinin uzak infrared (FIR) ışınlarına maruz bırakılma koşulları*

Tek başına FIR ışın uygulamasının tane karabiber mikrobiyal yükü üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde, tane örnekler orta boy steril Petrilere, taneler üst üste gelmeyecek şekilde konulmuş (her bir Petriye yaklaşık 3 g) ve farklı hızlarda tünele beslenmişlerdir. Örneklerin tünele farklı hızlarda beslenmeleri ile farklı sürelerde FIR ışınlarına maruz kalmaları sağlanmıştır. Tünel giriş ve çıkışında mikrobiyal analizler yapılmıştır.

#### *3.2.4.2.6. Tane karabiber örneklerinin ardarda uzak infrared ve kısa dalga ultraviöle ışınlarına maruz bırakılma koşulları (kombine FIR+UVC ışın uygulaması)*

FIR+UVC ışın kombine uygulamasının tane karabiber mikrobiyal yükü üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada tane kimyon örneklerinde olduğu gibi, farklı sıcaklık ve sürelerde FIR ışınlarına maruz bırakılan örnekler tünel çıkışında 2

saat süresince 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlara maruz bırakılmışlardır.

3.2.4.3. Tane kimyon ve karabiber örneklerinde fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan analizler

Çalışmada FIR ve UVC ışın uygulamalarının tane kimyon ve karabiber örneklerinde mikrobiyal yük yanında örneklerin nem, uçucu yağ, ağırlık ve renk gibi fiziksel ve kimyasal kalite parametreleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. UVC ışın uygulamaları sonrasında örneklerde ağırlık kaybı ve renk değişimleri saptanmamış olması nedeniyle nem, uçucu yağ ve renk değişimleri ile ağırlık kayıplarının belirlenmesine yönelik analizler sadece örneklerin FIR ışınlara maruz bırakılmaları sonrasında yapılmıştır.

3.2.4.3.1. *Ağırlık kayıplarının belirlenmesi*

Tane örnekler, orta boy Petrilere, taneler üst üste gelmeyecek şekilde konulduktan sonra farklı sıcaklık ve süre uygulama koşullarında FIR tünele beslenmişlerdir. Örneklerin konulduğu Petrilerin daraları ve örnek ağırlıkları kaydedildikten sonra 3 paralel olacak şekilde ardarda tünele beslenen Petriler, desikatörde 12 dakika bekletilmiş ve ağırlık ölçümleri yapılarak % ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

3.2.4.3.2. *Nem tayini*

Kimyon ve karabiber örneklerinde nem tayini TS 2134' de belirtilen damıtma yöntemine göre yapılmıştır [Anonim, 1987]. Yöntem, genel olarak baharat ve otsu bitkiler gibi yüksek düzeyde uçucu yağ içeren gıda maddeleri ile düşük nem içeriğine sahip gıdalarda kullanılmaktadır. Analizde Şekil 3.4.' te görülen nem tayin düzeneği kullanılmıştır. Bu düzende ağırlığı bilinen bir gıda örneği damıtma balonuna konulmakta ve üzerine toluen, ksilen gibi su ile karışmayan, yoğunluğu sudan düşük ve

sudan yüksek kaynama noktasına sahip bir çözücü ilave edilmektedir. Daha sonra damıtma ile alınan su dereceli tüpte toplanmakta ve örneğin nem miktarı belirlenmektedir.



Şekil 3.4. Baharat nem tayin düzeneği

Nem tayini öncesinde tane örnekler bir öğütücüde (İKA, Werke, M-20, Germany) öğütülmüş ve yaklaşık 40 g öğütülmüş örnek, içerisinde kaynama taşı olarak kullanılan cam boncukların da bulunduğu damıtma balonu içerisinde konulmuştur. Balona yaklaşık 75 mL kadar Toluen (Merck 1.08325) ilave edilmiş ve düzeneğin toplayıcı ve geri soğutucu kısımları birbirine takılarak damıtma işlemi başlatılmıştır. Toplayıcıdaki su seviyesi 30 dakika süre ile değişmeyinceye kadar damıtma işlemi sürdürülmüş ve daha sonra toplayıcının dereceli kısmından su seviyesi (mL) okunarak örneğin nem miktarı hesaplanmıştır.

### 3.2.4.3.3. Uçucu yağ tayini

Örneklerde uçucu yağ analizi TS 8882' de belirtilen yöntemle göre yapılmıştır [Anonim, 1991]. Standartta belirtilen yöntemin prensibi, örneğin sulu süspansiyonunun damıtılması, damıtılan kısmın uçucu yağ tutmakta kullanılan dereceli tüp içerisinde toplanması ve uçucu yağ - su fazının yoğunluk farkı dolayısıyla ayrılması sonrasında uçucu yağ hacminin okunmasına şeklinde açıklanmıştır.

Uçucu yağ tayininde Şekil 3.5.' te görülen cam düzenek kullanılmıştır. Tane örnekler öğütüldükten sonra yaklaşık 40 g öğütülmüş örnek, içerisinde kaynama taşı olarak kullanılan cam boncukların da bulunduğu balon içerisine konulmuş ve üzerine yaklaşık 400 mL su konularak ısıtıcı üzerine yerleştirilmiştir. 4 saat damıtma süresi sonrasında dereceli kısımda toplanan uçucu yağ hacmi kaydedilerek örneğin uçucu yağ miktarları belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Baharat uçucu yağ düzenegi

#### 3.2.4.3.4. Renk analizi

Örneklerin renk değişimleri, HunterLab. Color Quest XE (Hunter Lab., Hunter Associates Laboratory, Reston, VA., USA) renk tayin cihazında CIELAB parametrelerinin 3 paralel olacak şekilde ölçümü ile belirlenmiştir. Cihazda renk ölçümleri sırasında D65 ışın kaynağı kullanılmış ve ölçümler 10° görüntü açısı altında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler öncesinde cihaz, yeşil referans plaka ( $L^*$ : 56,68,  $a^*$ : -21,64,  $b^*$ : 11,12) ile kalibre edilmiştir. Renk parametreleri Hunter sistem ‘ $L^*$ ’ (parlaklık), ‘ $a^*$ ’ (kırmızılık) ve ‘ $b^*$ ’ (sarılık) olarak ifade edilmiştir. İşlem görmemiş kontrol örnekleri ile farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlar maruz bırakılan tane kimyon ve karabiber örnekleri 10 mm ve 50 mm’ lik cam optik küvetler (Hunter Lab, Glass, Light Path, 13857340, 13857320) içerisine konulmuş ve küvetlerin cihaza yerleştirilmeleri ile renk ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada her bir sıcaklık-süre işlem parametresi için küvet içerisine 3 defa örnek doldurulup boşaltılarak 3 paralel olacak şekilde ölçümler yapılmıştır.

#### 3.2.4.3.5. Su aktivitesi

Tane kimyon ve karabiber örneklerinin su aktivitesi değerlerinin belirlenmesinde su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina TH-500, İsviçre) kullanılmış bunun yanı sıra gıdalarda su aktivitesi tayin yöntemlerinden, ‘tuz kristalleri erime yöntemi’ ile de örneklerin su aktivitesi değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tuz kristalleri erime yönteminin prensibi; tuz kristallerinin doymuş çözeltilerinin, sahip oldukları buhar basıncından daha yüksek buhar basıncına sahip ortamlara konulmaları durumunda ortamdan su alarak erimeleri esasına dayandırılmıştır. Yöntemde örneklerin su aktivitesi değerleri kullanılan referans tuzların su aktivitesi değerleri ile karşılaştırılarak belirlenmektedir [Mathlouthi, 2001].

Tuz kristalleri erime yöntemi ile yapılan analizde hava sızdırmaz saydam kapaklı

cam kavanoz içerisine bir miktar örnek konulmakta, kavanozun kapağının iç kısmına ince tabaka halinde vazelin sürüldükten sonra farklı su aktivitelerine sahip tuz kristalleri kapağa uygun bir şekilde yerleştirilmektedir. Daha sonra kavanoz sabit sıcaklıktaki inkübatörde bekletilerek eriyen tuzlar not edilmektedir. Kavanoz içerisindeki buhar basıncını örneğin su aktivitesi değeri belirlemektedir. Doymuş çözeltilerinin buhar basınçları, kavanoz iç basıncından daha düşük düzeyde olan tuzlar erimektedir. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin bu yöntemle su aktivitelerinin belirlenmesinde su aktivite değerleri 0,227 ile 0,680 arasında değişen Bakır 2 Klorür (Merck 818247), Sodyum Bromür (Merck 1.06360), Potasyum Kromat (Merck 104952), Potasyum Asetat (Merck 529543), Magnezyum Klorür (Merck 8147330) ve Potasyum Karbonat (Merck 1.04928) tuzları kullanılmıştır.

#### 3.2.4.3.6. Kalıcı yağ (uçucu olmayan eter ekstraktı)

Örneklerde kalıcı yağ miktarları TS 2137' de belirtilen yöntemle göre Soxhlet ekstraksiyon düzeneğinde petrol eteri ile damıtma şeklinde belirlenmiştir [Anonim, 1990]. Yöntemin prensibi örneğin Petrol Eteri (Merck 1.01775) ile ekstraksiyonu, uçucu maddelerin uçurulması ve uçucu olmayan kalıntıların kurutularak uzaklaştırılmasından sonra tartılması şeklindedir.

#### 3.2.4.4. Tane kimyon örneklerine *Escherichia coli* O157:H7 kültürü inokulasyonu

TSA besiyerindeki yatık stok *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri kültürü aseptik koşullarda steril TSB (30 mL) besiyerine aktarılmış ve 35 °C' de 4,5 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübyasyon süresi sonrasında yapılan sayımda kültür yoğunluğunun yaklaşık  $10^{8,57\pm0,35}$  kob/mL düzeyinde olduğu görülmüştür. Hazırlanan kültür daha sonra ağız kısmında püskürtme aparatı bulunan steril bir şişeye aktarılmıştır.

Tane kimyon örneklerine kültür inokulasyonu, örneklerin aseptik koşullarda steril bir beher içerisine tartılmaları ve şişe içerisindeki kültürün taneye, 10 g tane/mL

kültür olacak şekilde püskürtülmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6.). Püskürtme sonrasında tane kimyon, steril bir spatül ile karıştırılarak kültürün tane yüzeyine homojen bir şekilde bulaşması sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.6. Tane kimyon örneklerine kültür inokulasyonu

#### 3.2.4.4.1. Kültür inokule edilen tane kimyon örneklerinin kısa dalga ultraviyole (UVC) ışınlarına maruz bırakılmaları

Kültür inokulasyonu sonrasında aseptik koşullarda tartılan 5' er g tane kimyon örneği steril Petrilere konulmuş ve farklı sürelerde (0-kontrol, 10, 15, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika) yaklaşık 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmıştır. Steril Petrilere konulan örnekler UVC kabin içerisine yerleştirilen otomatik karıştırma aparatı üzerine konularak tanelerinin UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sırasında karıştırılarak (600 dk<sup>-1</sup>) hareket etmeleri sağlanmaya çalışılmıştır.

Farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz kalan örnekler uygulama sonrasında aseptik koşullarda % 0,1 steril Kazein Peptonlu su içeren erlenlere alınmış ve dairesel hareketli çalkalayıcıda 1400 dk<sup>-1</sup> hızında 3 dakika süre ile çalkalanarak yıkanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanmış ve hazırlanan dilüsyonlardan içerisinde Cefixime Tellurite-CT (Merck 1.09202) ilave edilmiş steril Sorbitol-MacConkey Agar-

SMAC (Merck 1.09207) besiyeri bulunan Petrilere yayma yöntemi ile ekimler yapılmış ve 35 °C’ de 24 saat inkübasyon sonrasında sayım için uygun dilüsyonlara ait petrilere koloni sayımları gerçekleştirilmiştir.

#### *3.2.4.4.2. Kültür inokule edilen tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklıklarda uzak infrared (FIR) ışınlarına maruz bırakılmaları*

Kültür inokulasyonu sonrasında aseptik koşullarda tartılan 5’ er gram tane kimyon örnekleri steril Petrilere konulmuş ve farklı FIR tünel sıcaklıklarında, farklı sürelerde tünele beslenmişlerdir.

Tünel çıkışında taneler % 0,1 steril Kazein Peptonlu su içeren erlenlere alınmış ve dairesel hareketli çalkalayıcıda 1400 dk<sup>-1</sup> hızında 3 dakika süre ile çalkalanarak yıkanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanmış ve hazırlanan dilüsyonlardan içerisinde CT ilave edilmiş steril SMAC besiyeri bulunan Petrilere yayma yöntemi ile ekimler yapılmış ve 35 °C’ de 24 saat inkübasyon sonrasında sayım için uygun dilüsyonlara ait petrilere koloni sayımları gerçekleştirilmiştir.

#### *3.2.4.5. Tane kimyon örneklerinin endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” uzak infrared (FIR) ve kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınlarına maruz bırakılmaları*

Tez çalışmasına paralel yürütölen bir proje kapsamında Mersin’ de kurulu Kadioğlu baharat fabrikasına kurulan ardarda çalıştırılabilen ve tünel biçiminde tasarlanmış olan FIR ve UVC ünitelerinden oluşarı endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” tane kimyon örneklerinin FIR ve UVC ışınlarına maruz bırakılmaları ile laboratuvar ölçekli cihazlarda yapılan analizlerde elde edilen sonuçların endüstriyel boyuttaki ünitelerde test edilmeleri sağlanmıştır.

Endüstriyel ölçekli FIR ve UVC üniteleri, AGY 1507 Tübitak projesi kapsamında, tamamlamış olduğumuz üniversite-sanayii işbirliğinde yapılan bir çalışma



sonunda baharat işletmesine kurulmuş ve sanayii boyutunda tasarlanmış olan endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi” için T.C. Türk Patent Enstitüsü birimine patent başvurusu yapılmıştır [Ekiz vd., 2010; Erdoğdu vd., 2009].

Yapılan proje kapsamında öncelikle, baharatların laboratuvar ölçekli cihazlarda (Şekil 3.2.-3.3.) FIR ve UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları ile laboratuvar çalışmalarında elde edilen bulgular doğrultusunda, prototip FIR ve UVC cihazları yaptırılmış ve işletmeye kurulmaları sağlanmıştır. Daha sonra prototip cihazlarda tane baharat pastörizasyonuna yönelik denemeler yapılmış ve alınan sonuçlar doğrultusunda endüstriyel ölçekli FIR ve UVC ünitelerinin tasarımları yapılarak sanayide ilgili firmalara yaptırılmaları sağlanmıştır [Erdoğdu vd., 2009]. İşletmeye kurulan “Baharat Pastörizasyon Ünitesi” tane baharatların doğrudan FIR, doğrudan UVC veya ardarda FIR ve UVC ünitelerine beslenebilmeleri şeklinde tasarlanmıştır [Ekiz vd., 2010].

İşletme bünyesinde yapılan denemelerde tane kimyon örneklerinin sadece FIR, FIR ardından UVC ve sadece UVC ünitelerine beslenmeleri ile kimyon taneleri mikrobiyal yükünün azaltılması üzerinde FIR ve UVC ışınların tek başlarına ve kombine etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Endüstriyel ölçekli sistemlerde yapılan analizlerde öncelikle tünel şeklindeki FIR ünitesi, farklı sıcaklık derecelerine ayarlanmış ve farklı hızlarda tünele beslemeler yapılarak tane kimyon örneklerinin farklı işlem sürelerinde FIR ışınlarımıza maruz kalmaları sağlanmıştır. FIR ünitesi çıkışında tanelerin farklı hızlarda yine tünel şeklinde tasarlanmış olan UVC ünitesine beslenmesi ile de kimyon tanelerinin farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlarımıza maruz kalmaları ardından farklı sürelerde UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları sağlanmıştır. Çalışmada kimyon tanelerinin FIR ünitesi pas geçilerek farklı hızlarda doğrudan UVC ünitesine beslenmeleri ile de tanelerin farklı işlem sürelerinde sadece UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları sağlanabilmiştir. Uygulamalar sonrasında ünitelerin giriş ve çıkışlarında alınan numunelerde, mikrobiyal yük ile duyuşal kalite özellikleri üzerindeki değişimlerin belirlenmesine yönelik mikrobiyal analizler, duyuşal testler ve renk analizleri yapılmıştır.

Tane kimyon örneklerinde renk, tat, koku, tane kuruluğu ve sertlik gibi kalite özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesine yönelik yapılan duyuusal testlerde, işlem görmüş örnekler ile kontrol örnekleri ağzı kilitli şeffaf torbalar içerisine konulmuş ve örnekler kodlanarak işletme çalışanları ve firma sahiplerinin oluşturduğu panelistlere sunulmuştur. Sisteme beslenen baharatlarda uygulamalar sonrasında meydana gelen renk değişimleri, HunterLab. Color Quest XE renk tayin cihazında yapılan ölçümler ile belirlenmiştir.

### 3.2.5. Taze Kırmızı Et

#### 3.2.5.1. Parça dana eti yüzeyine *Escherichia coli* O157:H7 kültürü inokulasyonu

Dondurulmuş parça dana etleri kültür inokulasyonu öncesinde buz dolabı sıcaklığında çözdürülmüş ve aseptik koşullarda steril Petri kutularına konulmuştur. Dondurma işlemi öncesinde 3,5×3×1 cm boyutlarında hazırlanmış olan parça etlerin her birinin yaklaşık 10 g ağırlığında olduğu belirlenmiştir.

TSA besiyerinde hazırlanmış olan yatık stok *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri kültürü aseptik koşullarda steril TSB besiyerine aktarılmış ve 35 °C' de 4,5 saat süresince inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrasında başlangıç mikroorganizma sayısı  $10^{6,86\pm 0,31}$  kob/mL olacak şekilde ayarlanan *E. coli* O157:H7 bakteri kültüründen parça etlerin üst yüzeylerine 0,1' er mL aktarılmış ve kültürün ince steril bir cam bagetle et yüzeyine yayılmaları sağlanmıştır. Daha sonra kültürün ortama uyum sağlaması ve et yüzeyinin kısmen kurumaması amacıyla parça etler oda sıcaklığında aseptik koşullarda 30 dakika süresince bekletilmiştir.

#### 3.2.5.1.1. Kültür inokule edilen parça dana eti örneklerinin kısa dalga ultraviole (UVC) ışınlarına maruz bırakılmaları

Yüzeyine kültür inokule edilen parça etler aseptik koşullarda steril Petrilere

konulmuş ve farklı sürelerde (0-kontrol, 30, 40, 60 dakika) yaklaşık 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmıştır.

Farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz bırakılan parça etler uygulama sonrasında aseptik koşullarda içerisinde 90' ar mL % 0,1 steril Kazein Peptonlu su (g/L, Merck 1.07213) bulunan erlenlere aktarılmış ve 1400 dk<sup>-1</sup> hızında dairesel hareketli çalkalayıcıda 3 dakika süresince çalkalanarak yıkanmaları sağlanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanarak içerisinde steril Fluorocult *E.coli* O157:H7 Agar (Merck 1040360) besiyeri bulunan Petrilere 0,1' er mL aktarılmıştır. İşlem sonunda 35 °C sıcaklıkta 24 saat inkübasyona bırakılan Petrilere inkübasyon süresi sonunda koloni sayımları gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.6. Taze Kültür Mantarı

#### 3.2.6.1. Taze kültür mantarı örneklerinin kısa dalga ultraviöle (UVC) ışınlarına maruz bırakılmaları

Taze kültür mantarı yüzey mikrobiyal yükü üzerinde UVC ışınlarının etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada, ışınların mantar yüzeyinde bulunan toplam mezofilik aerobik bakteriler ile *E. coli* ve *Pseudomonas* bakterileri üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Yaklaşık 10 g ağırlığındaki mantar örnekleri UVC kabin içerisinde lambalardan 13 cm mesafe uzaklıktaki raf üzerine yerleştirilmiş ve 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz bırakılmıştır. İşlem sonunda kontrol grubunu oluşturan ve UVC ışınlarına maruz bırakılmayan mantar örnekleri ile ışınlarına maruz kalan örnekler, aseptik koşullarda içerisinde 90 mL steril Kazein Peptonlu su (% 0,1 g/L, Merck 1.07213) bulunan erlenlere konulmuş ve 1400 dk<sup>-1</sup> hızında 3 dakika süre ile çalkalanarak yıkanmaları sağlanmıştır. Daha sonra yıkama sıvısının seri dilüsyonları hazırlanmış ve içerisinde uygun steril besiyerleri bulunan Petrilere 0,1' er mL aktararak

ekimler yapılmıştır. Uygun sıcaklık ve sürelerde inkübasyona bırakılan Petrilerde inkübasyon süresi sonunda koloni sayımları gerçekleştirilmiştir. Toplam mezofilik aerobik bakteri sayımında PCA, *E. coli* ve *Pseudomonas* sayımlarında ise sırasıyla Chromocult Coliform Agar-CCA (Merck 110426) ve *Pseudomonas* Selective Agar Base-PSA (Merck 1.05284) besiyerleri kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. MİKROORGANİZMALAR

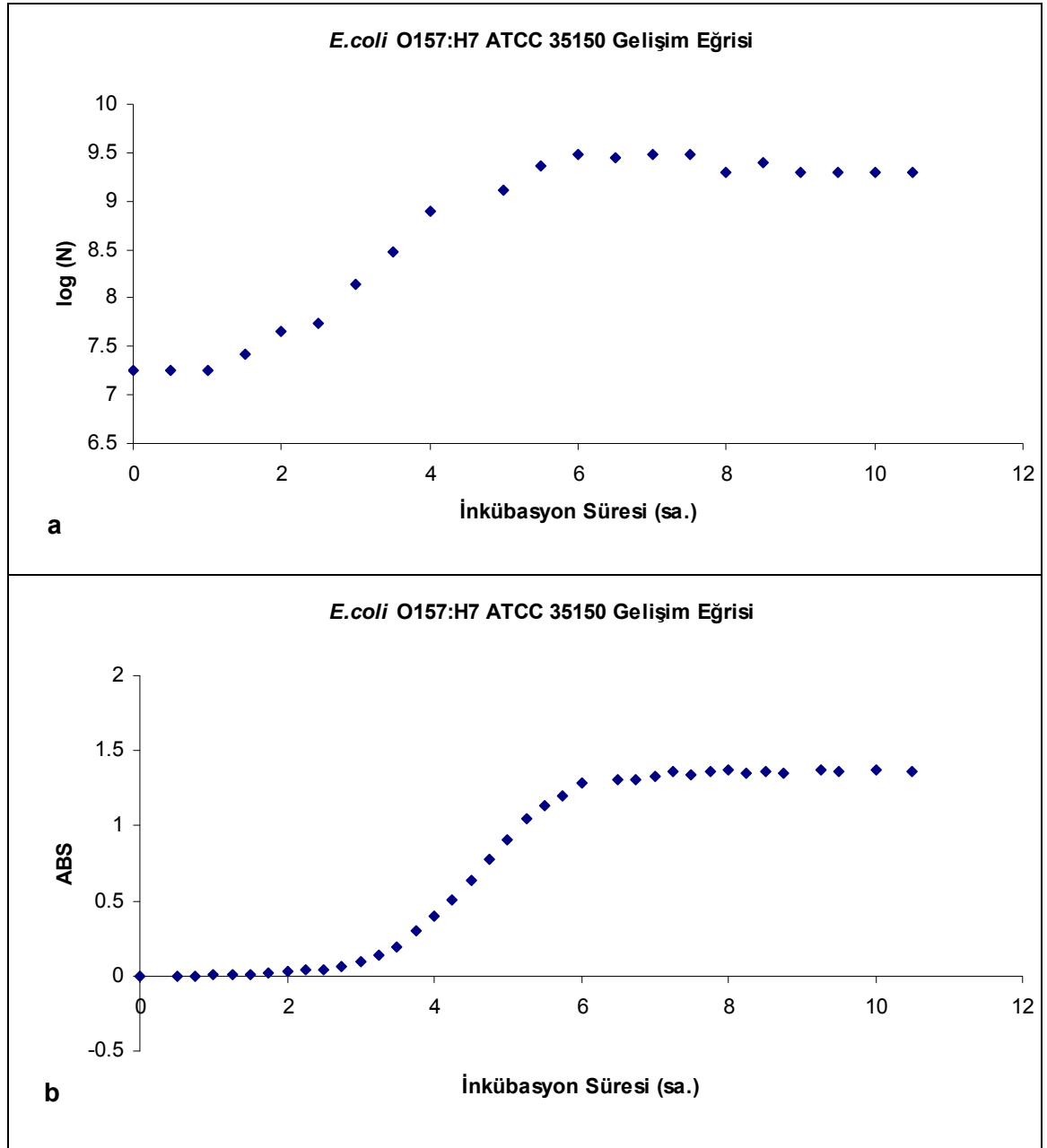
#### 4.1.1. Mikroorganizmaların Gelişim Eğrileri

Bakterilerin gelişim eğrileri; gecikme (lag), üssel (log; logaritmik), durgun (sabit) ve ölüm olmak üzere dört ana evreden oluşmaktadır [Van-Impe vd, 2005; Buchanan vd, 1997; Frazier ve Westhoff, 1988]. Yapılan çalışmada UVC ışınların logaritmik evreyi tamamlamış ve durgun evrenin başlangıcındaki bakteri suşları üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle de öncelikle *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşlarının mikrobiyal gelişim eğrileri çizilerek bakterilerin 35 °C sabit inkübasyon sıcaklığında logaritmik evreyi tamamladıkları inkübasyon süreleri belirlenmiştir.

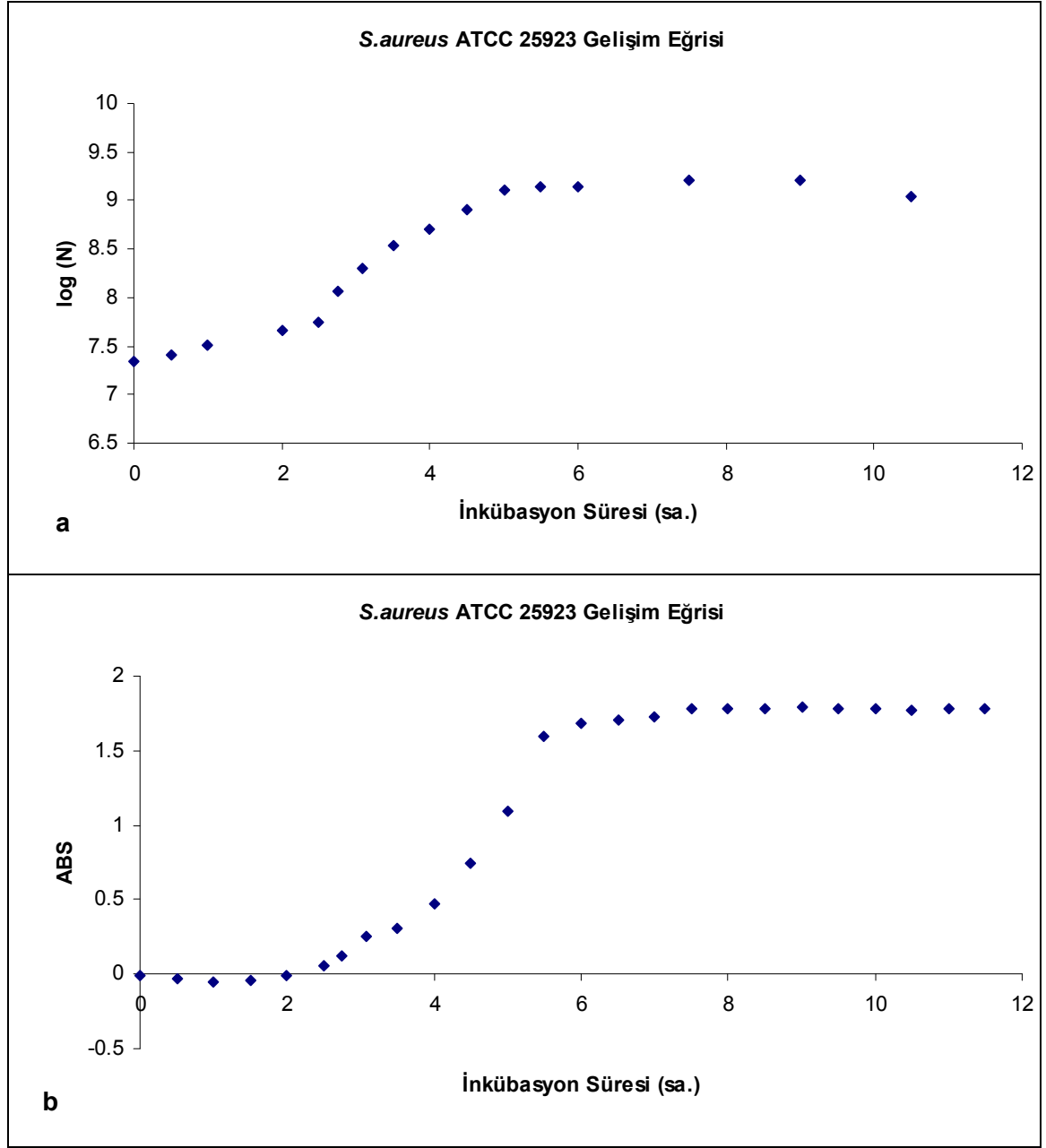
Mikroorganizmaların sıvı bir besiyerine aktarımları sonrasında inkübasyon süresince besiyerinde, mikrobiyal gelişime bağlı olarak bulanıklık artışı meydana gelmekte ve besiyerinde meydana gelen bulanıklık artışı, besiyerinin spektrofotometrede okunan absorbans değerindeki artış ile ilişkilendirilmektedir. Çalışmada inkübasyon süresince; kültürel sayımların yapıldığı her bir zaman diliminde, besiyerinin değişen bulanıklığı spektrofotometrede absorbans değeri olarak ölçülmüş ve bakteri suşlarının çizilen gelişim eğrisi grafikleri; inkübasyon süresine karşı besiyeri ortamında değişen mikroorganizma sayısı ve besiyeri ortamının değişen absorbans değeri şeklinde ifade edilmiştir.

Besiyeri ortamındaki mikroorganizma sayısı ile besiyerinin absorbans değeri arasındaki ilişki, belirli bir absorbans değerine karşı gelen mikroorganizma sayısının dolaylı olarak belirlenebilmesi açısından önemli olmaktadır. Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3. a-b' de çalışılan her bir standart bakteri suşuna ait gelişim eğrileri; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısının logaritması ve inkübasyon süresine karşı bakteri kültürünün

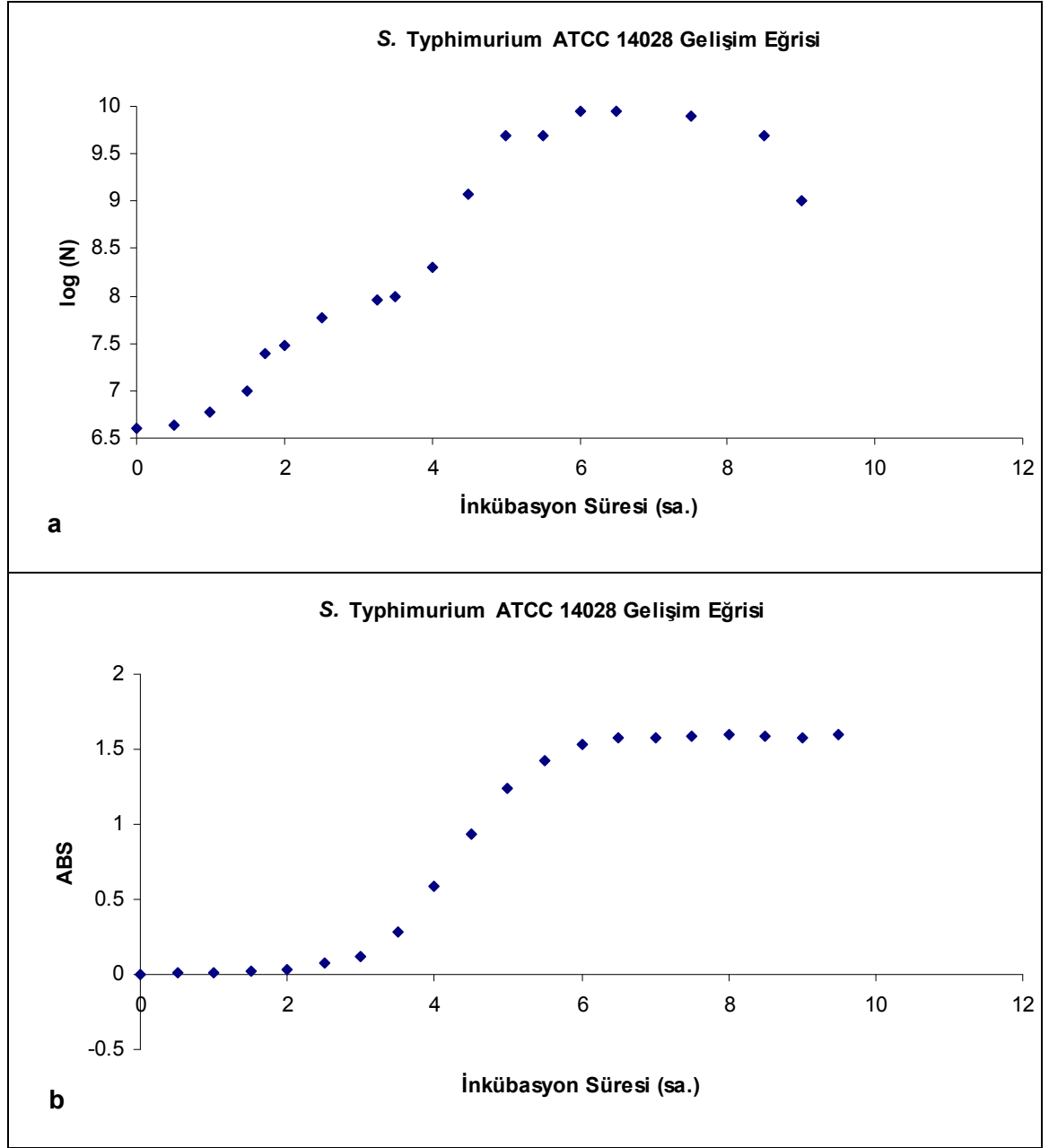
spektrofotometrede okunan absorbans değeri şeklinde ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 4.1.a-b. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrişi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).



Şekil 4.2. a-b. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrisi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).



Şekil 4.3. a-b. *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyerindeki gelişim eğrisi (a; inkübasyon süresine karşı mikroorganizma sayısı (kob/mL), b; inkübasyon süresine karşı absorbans değeri).

Çizilen gelişim eğrileri; *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşlarının 35 °C' de 6, *S. aureus* ATCC 25923 standart bakteri suşunun ise 5 saat inkübasyon süresi sonunda logaritmik üreme evresini tamamlayarak durgun evreye ulaştığını göstermiştir (Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3. a).



#### 4.1.1.1. Mikroorganizmaların gelişim parametrelerinin belirlenmesi ve çizilen gelişim eğrilerinin matematiksel modellere uygunluğunun belirlenmesi

Mikroorganizmaların gelişim parametrelerinin hesaplanmasında gelişim eğrilerinin sadece logaritmik üreme evresini göz önüne alan Monod modelinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu model mikroorganizma gelişim eğrilerinin logaritmik evresinde, üreme zamanı ile mikroorganizma sayısı arasında Eşitlik 4.1.' de belirtildiği gibi doğrusal bir ilişki olduğunu kabul etmektedir [Liu, 2006; McDonald ve Sun, 1999; Baranyi ve Roberts, 1995, Lobry vd., 1992].

$$\frac{dN}{dt} = \mu N \quad (4.1)$$

Bu eşitliğin aşağıda belirtilen sınır koşullarında integre edilmesi durumunda Eşitlik 4.2. elde edilmektedir ki burada  $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$  değerinin zamana  $(t)$  karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi özgül üreme hızı  $(\mu)$ , doğrunun  $x$  eksenini kestiği nokta ise gecikme zamanı  $(\mu t_{lag})$  değerini vermektedir.

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = \int_{t_{lag}}^t \mu dt \quad \rightarrow \quad \ln N_t / N_0 = \mu t - \mu t_{lag} \quad (4.2)$$

Populasyon büyüklüğünün logaritmasının  $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$  zamana  $(t)$  karşı fonksiyonu olarak tanımlanan ve farklı evrelerden oluşan gelişim eğrileri, doğrusal olmayan sigmoidal değişimler göstermektedir. Mikroorganizmaların sigmoidal değişim gösteren gelişim eğrilerinin tanımlanmasında Logistic, Baranyi, Bigelow, Weibul, Richards, Gompertz gibi çeşitli modellerden yararlanılmaktadır. Bu modellerin gelişim eğrilerinin ölüm dışındaki tüm evrelerini (gecikme, üssel, durgun) kapsaması nedeniyle mikrobiyal gelişim eğrilerinin değerlendirilmesi ve gelişim parametrelerinin

hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan doğrusal ve sadece logaritmik gelişim evresini göz önüne alan Monod modeline göre daha uygun olduğu belirtilmiştir [Gil vd., 2006; McDonald ve Sun, 1999; Xiong vd., 1999; Buchanan vd., 1997; Baranyi ve Roberts, 1995; Zwietering vd., 1990].

Mikroorganizmaların gelişimlerinin tanımlanmasında kullanılan modeller, belirli fiziksel veya kimyasal koşullar altında mikroorganizma kültüründe zamana bağlı meydana gelen değişimleri matematiksel olarak ifade etmeye çalışmaktadır [McDonald ve Sun, 1999; Zwietering vd., 1990]. Sigmoidal değişim gösteren eğrileri tanımlamada kullanılan ve doğrusal olmayan bu modeller matematiksel katsayılar içermektedir. Mikroorganizma gelişim eğrilerinin tanımlanmasında bu katsayıların biyolojik anlam taşıyan gelişim parametrelerine ( $\mu_m$ ,  $\lambda$ ,  $A$ ) çevrimi ile elde edilen modifiye modeller kullanılmaktadır. Gelişim eğrilerinin gecikme (lag), üssel (logaritmik; log) ve durgun (sabit) evreleri aşağıda belirtilen 3 parametre ile tanımlanmıştır;

Maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ): Bükülme noktasının tanjantı,

Gecikme zamanı (lag süresi;  $\lambda$ ): Bu tanjantın  $x$  eksenini kestiği nokta,

Asimptot ( $A$ ): Ulaşılan en yüksek değer [Zwietering vd.,1990].

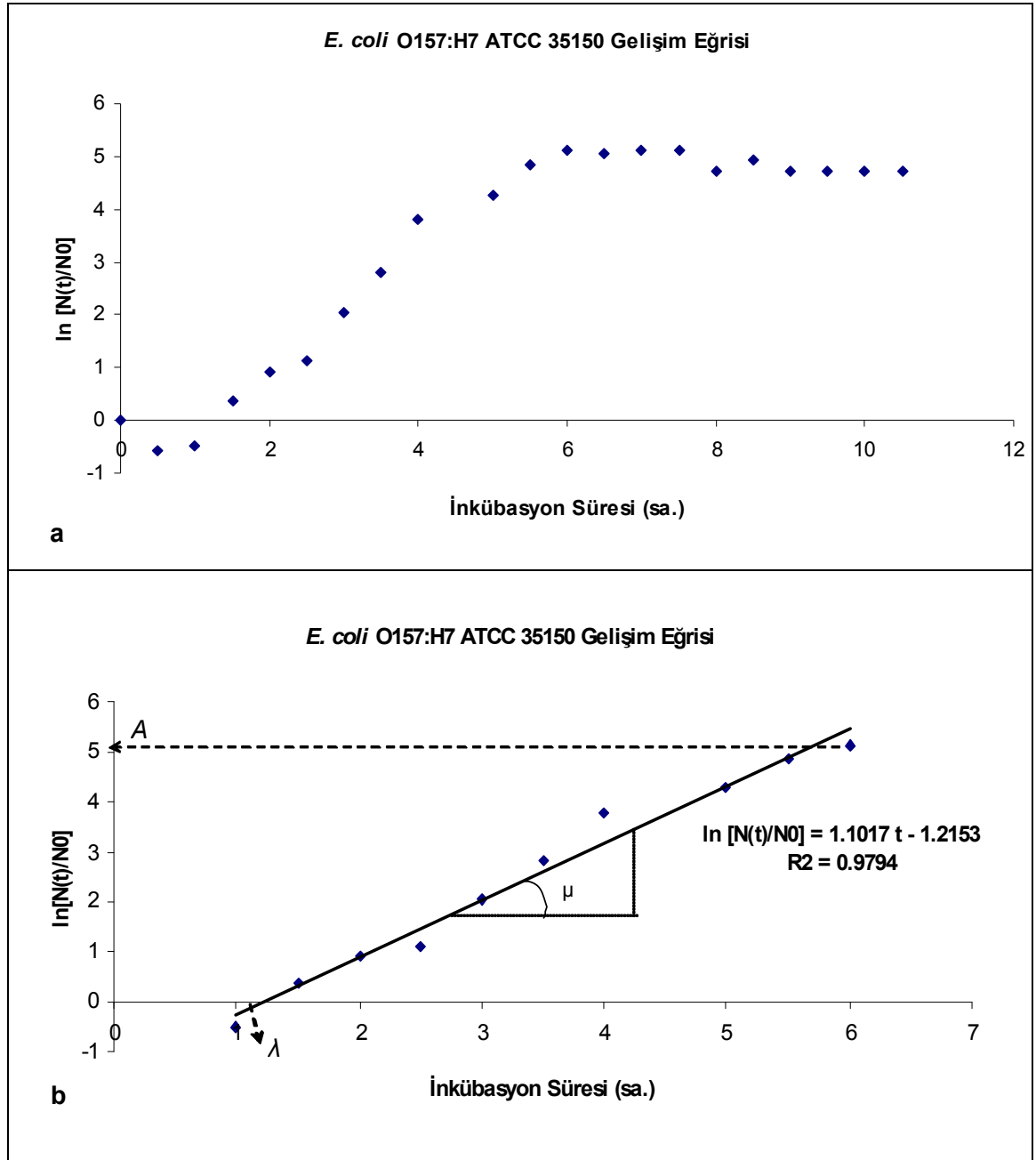
Çalışmada standart bakteri suşlarına ait gelişim eğrilerinin tanımlanmasında, mikrobiyal gelişim eğrilerinin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan, doğrusal olmayan Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modelleri kullanılmıştır.

Standart bakteri suşlarınının 35 °C inkübasyon sıcaklığında TSB besiyeri ortamında inkübasyon süresine karşı değişen mikroorganizma düzeyleri ( $N_{(t)}$ ), yapılan kültürel sayımlar ile deneysel olarak belirlendikten sonra, her bir bakteri suşuna ait

$\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]_{deneysel} \right)$  değerleri hesaplanmış ve inkübasyon süresine ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilerek maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ), gecikme zamanı ( $\lambda$ ) ve asimptot ( $A$ ) gelişim parametre değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.4. a-b' de *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşuna ait  $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$  değerinin zamana ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen gelişim eğrisi görölmektedir. Burada maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ) olarak ifade edilen bükölme noktasının tanjantı elde edilen denkliğin  $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] = 1,1017t - 1,2153 \right)$  eğimine eşdeğer gelmektedir ve  $\mu_m = 1,1017 \text{ sa}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Gecikme zamanı ( $\lambda$ ) olarak tanımlanan bükölme noktasının tanjantının  $x$  eksenini kestiği nokta  $\left( \ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] = 0 \right)$  Eşitlik 4.3.' te belirtildiği gibi 1,103 saat olarak hesaplanmıştır. Asimptot ( $A$ ) olarak ifade edilen ulaşılan en yüksek değer ise yine *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu için  $A = \ln(N_\infty / N_0) = 5,116$  olarak belirlenmiştir.

$$\ln \left[ N_t / N_0 \right] = 1,1017t - 1,2153 \quad (4.3.)$$
$$0 = 1,1017t_{\text{gecikme}} - 1,2153 \quad \Rightarrow t_{\text{gecikme}} = \lambda = 1,2153 / 1,1017 = 1,103 \text{ sa}$$



Şekil 4.4. a-b. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin inkübasyon süresine karşı  $\left(\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$  değerleri.

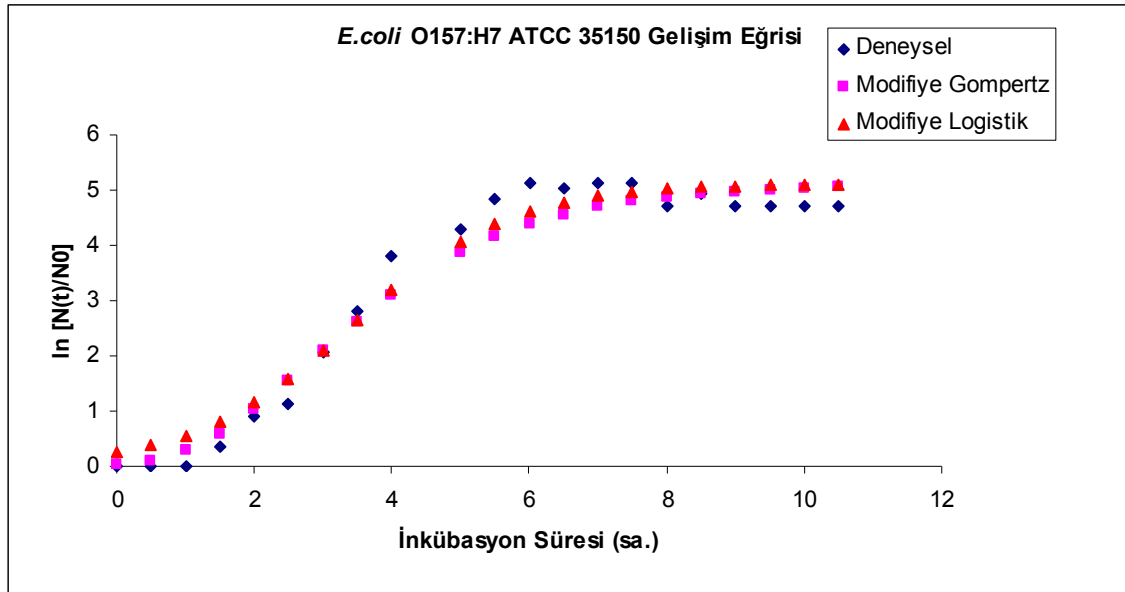
Her bir bakteri suşu için yukarıda belirtildiği şekilde hesaplanan  $\left(\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right] \right)$  verilerinin inkübasyon süresine karşı grafiğe geçirilmesi ile çizilen eğrilerin kullanımı ile yapılan hesaplamalar sonrasında elde edilen özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ), gecikme zamanı

( $\lambda$ ) ve asimptot ( $A$ ) gelişim parametre değeri Çizelge 4.1.' de verilmiştir.

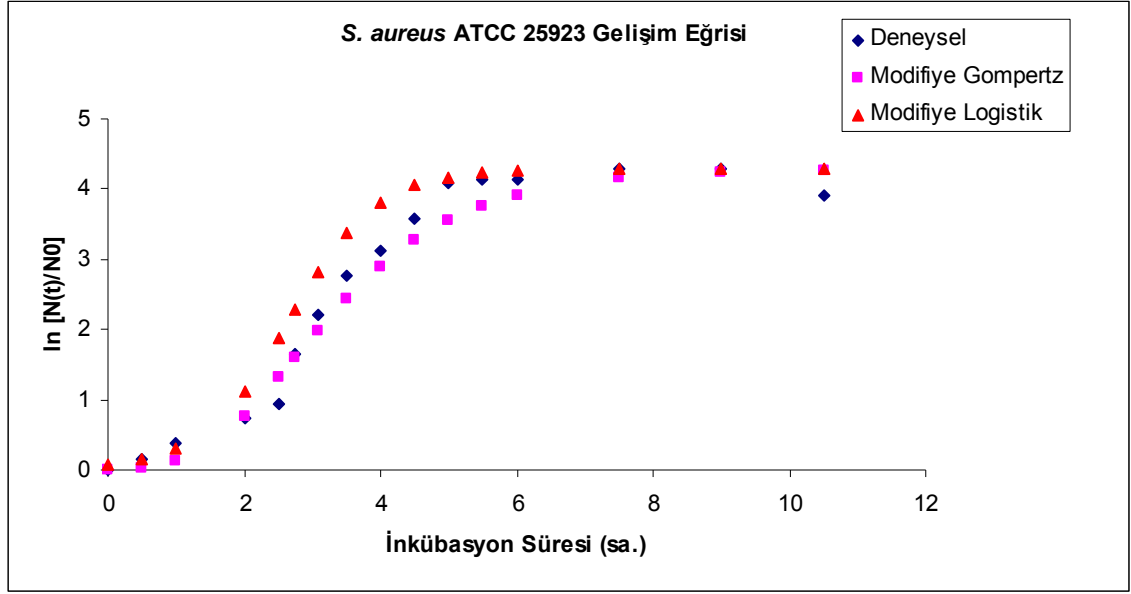
Çizelge 4.1. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakteri suşlarının özgül üreme hızı, gecikme zamanı, asimptot değeri.

Standart Bakteri Suşu	Özgül Üreme Hızı ( $\mu$ ; $sa^{-1}$ )	Gecikme Zamanı ( $\lambda$ ; $sa$ )	Asimptot $A$
<i>E.coli</i> O157:H7 ATCC 35150	1,1017	1,103	5,116
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	1,1667	1,375	4,282
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	1,4933	0,819	7,719

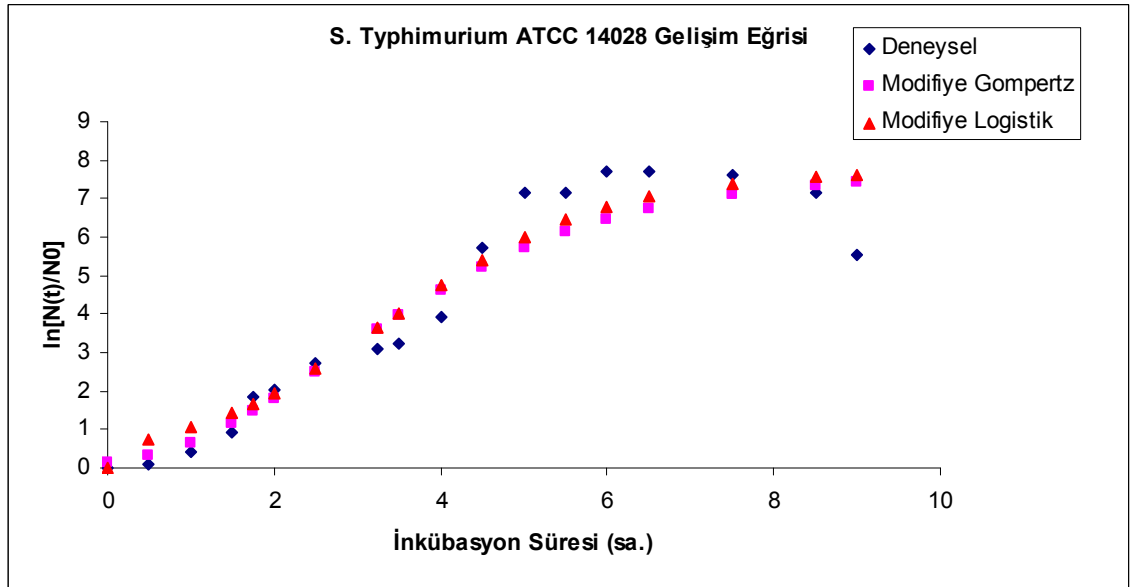
Bakterilerin  $\mu_m$ ,  $\lambda$  ve  $A$  gelişim parametrelerinin belirlenmesinden sonra bu parametrelerin Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik eşitliklerinde yerlerine konulması ile model ( $\ln[N(t)/N_0]$ ) değeri hesaplanmış ve bu değeri inkübasyon süresine karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekil 4.5., 4.6. ve 4.7.' de her bir bakteri suşuna ait Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modelleri kullanımı ile elde edilen gelişim eğrii ile deneysel veriler bir arada gösterilmiştir.



Şekil 4.5. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrii.



Şekil 4.6. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrileri.



Şekil 4.7. *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin deneysel veriler ile Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinden yararlanılarak elde edilen gelişim eğrileri.

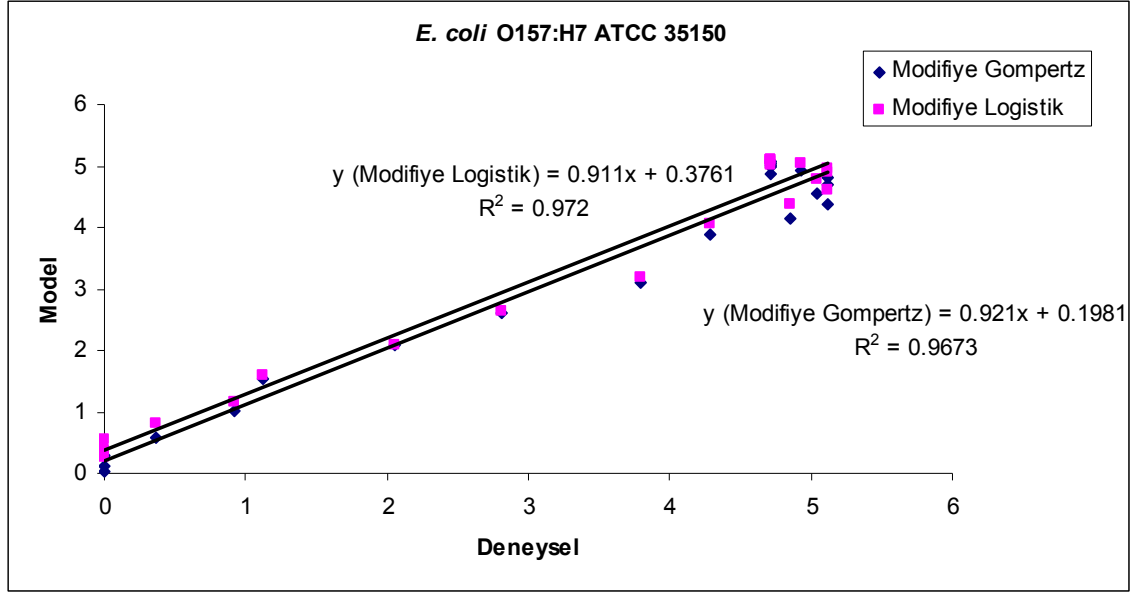
Deneysel olarak elde edilen gelişim verilerini ifade etmede kullanılacak olan en uygun model belirlenirken; model verileri ile deneysel veriler arasındaki “Hata Kareleri

Ortalamasının Kare Kökü (RMSE; root mean square error)” değerleri hesaplanmış, deneysel ve model verileri arasındaki “Korelasyon Katsayıları” belirlenmiş ve “Fark Analizi” (model verileri ile deneysel verilerin farklarındaki dağılım) yapılmıştır [Fujikawa vd, 2004; Xiong vd 1999; Baranyi ve Roberts, 1995; Zwietering vd,1990].

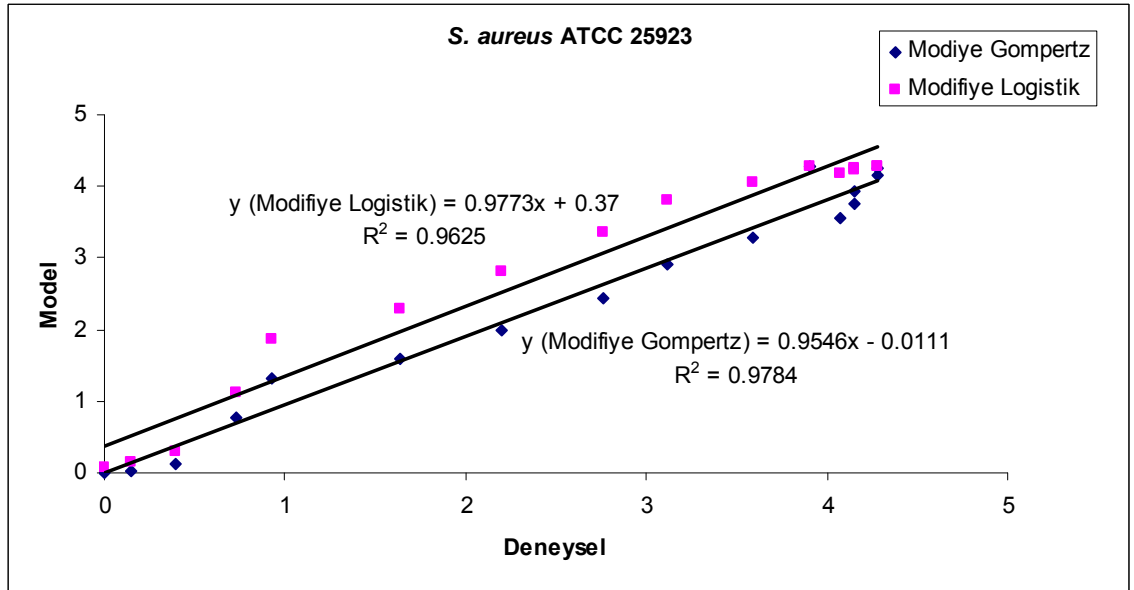
Çizelge 4.2.’ de *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 bakteri suşlarının gelişim eğrilerinin tanımlanmasında Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerinin uygunluğunun belirlenmesine yönelik hesaplanan Hata Kareleri Ortalamasının Kare Kökü (RMSE) ve Korelasyon Katsayısı değerleri ( $R^2$ ) verilmiştir. Şekil 4.8., 4.9. ve 4.10.’ da deneysel ve model verileri arasındaki korelasyon katsayılarının belirlenmesi amacıyla çizilen grafikler, Şekil 4.11., 4.12. ve 4.13.’ te her bir standart bakteri suşu için yapılan fark analiz sonuçları görölmektedir.

Çizelge 4.2. Gelişim eğrilerinin Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modellerine uygunluğunun belirlenmesi amacıyla hesaplanan parametreler.

Standart Bakteri Suşları	Modifiye Gompertz Modeli			Modifiye Logistik Modeli		
	RMSE	Model $\ln\left[N_{(t)} / N_0\right]$ verilerine karşı çizilen deneysel $\ln\left[N_{(t)} / N_0\right]$	$R^2$	RMSE	Model $\ln\left[N_{(t)} / N_0\right]$ verilerine karşı çizilen deneysel $\ln\left[N_{(t)} / N_0\right]$	$R^2$
<i>E.coli</i> O157:H7 ATCC 35150	0,376	$y=0,92x+0,20$	0,967	0,363	$y=0,91x+0,38$	0,972
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	0,268	$y=0,95x+0,01$	0,978	0,440	$y=0,98x+0,37$	0,962
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	0,802	$y=0,88x+0,43$	0,921	0,763	$y=0,89x+0,57$	0,929

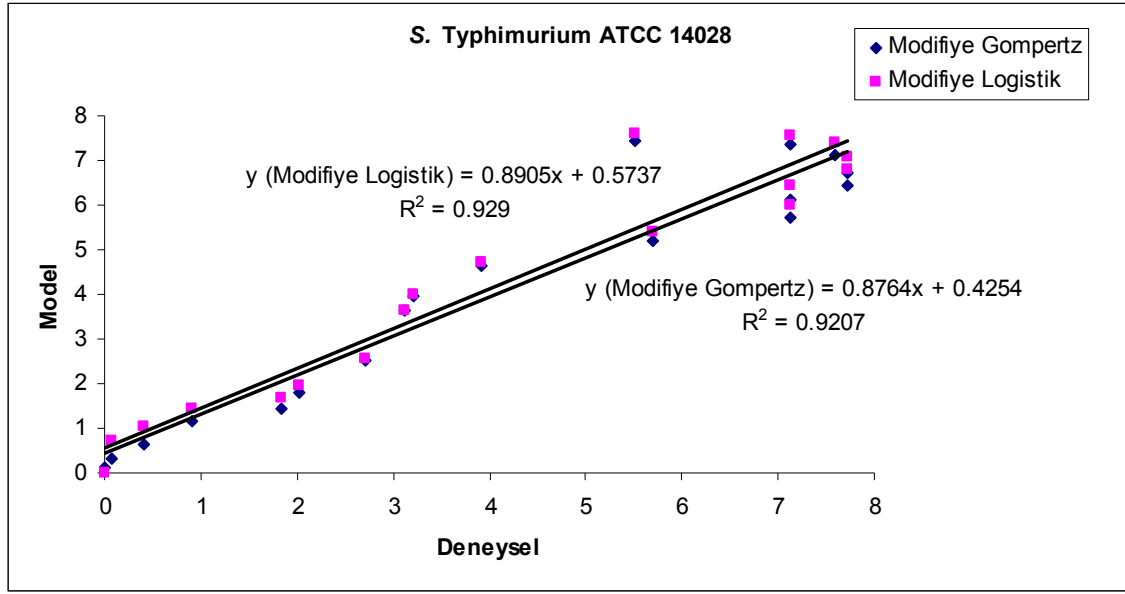


Şekil 4.8. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin deneysel ve model  $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$  verileri arasındaki korelasyon.

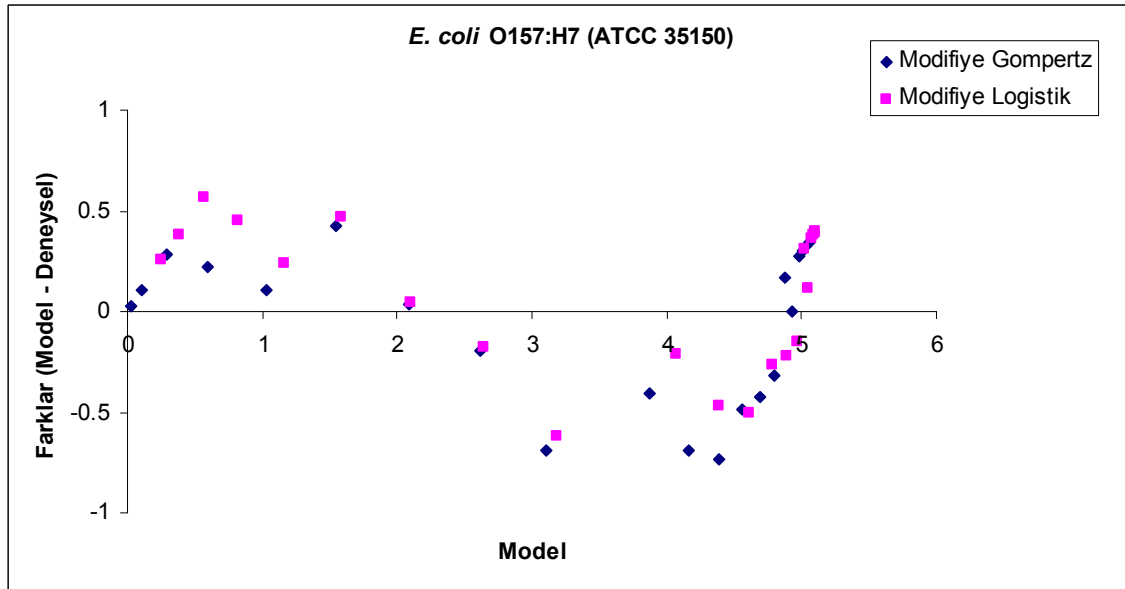


Şekil 4.9. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisinin deneysel ve model  $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$  verileri arasındaki korelasyon.

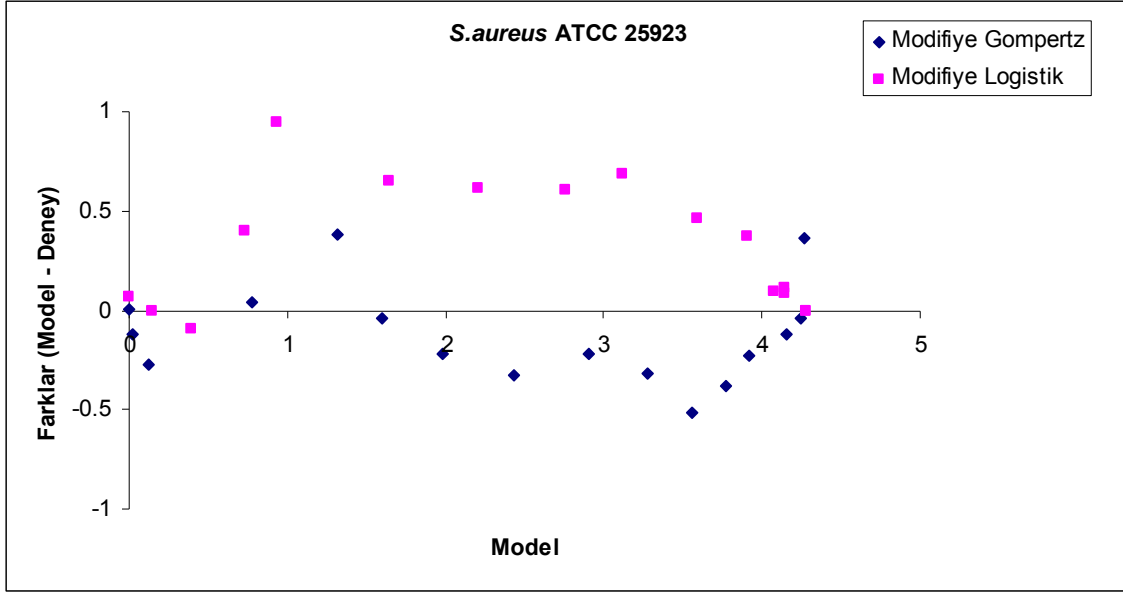




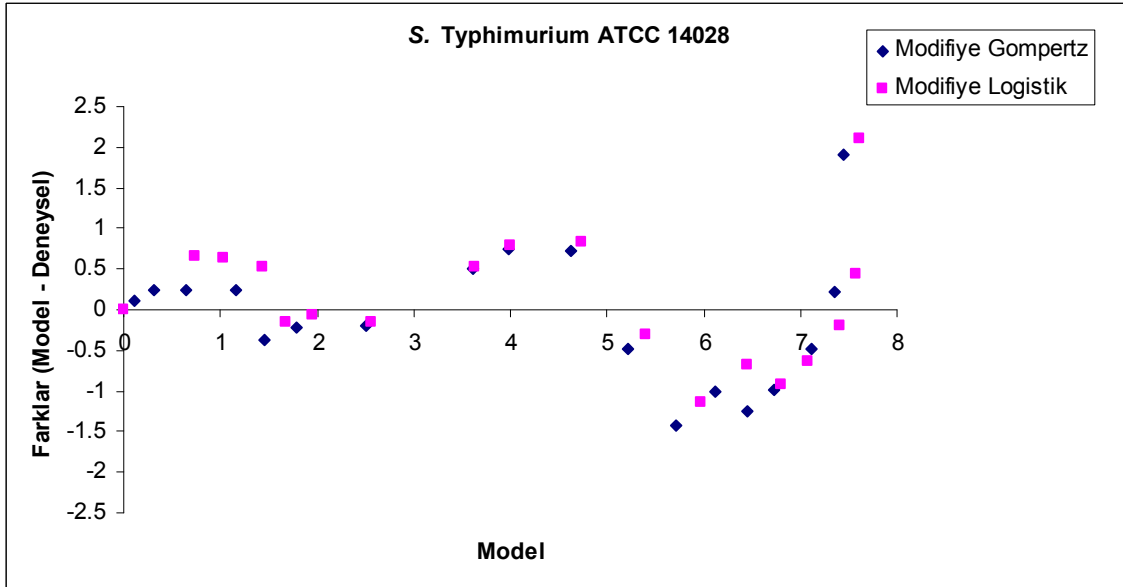
Şekil 4.10. *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin deneysel ve model  $\ln \left[ N_{(t)} / N_0 \right]$  verileri arasındaki korelasyon.



Şekil 4.11. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin fark analiz sonuçları.



Şekil 4.12. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisinin fark analiz sonuçları.



Şekil 4.13. *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin fark analiz sonuçları.

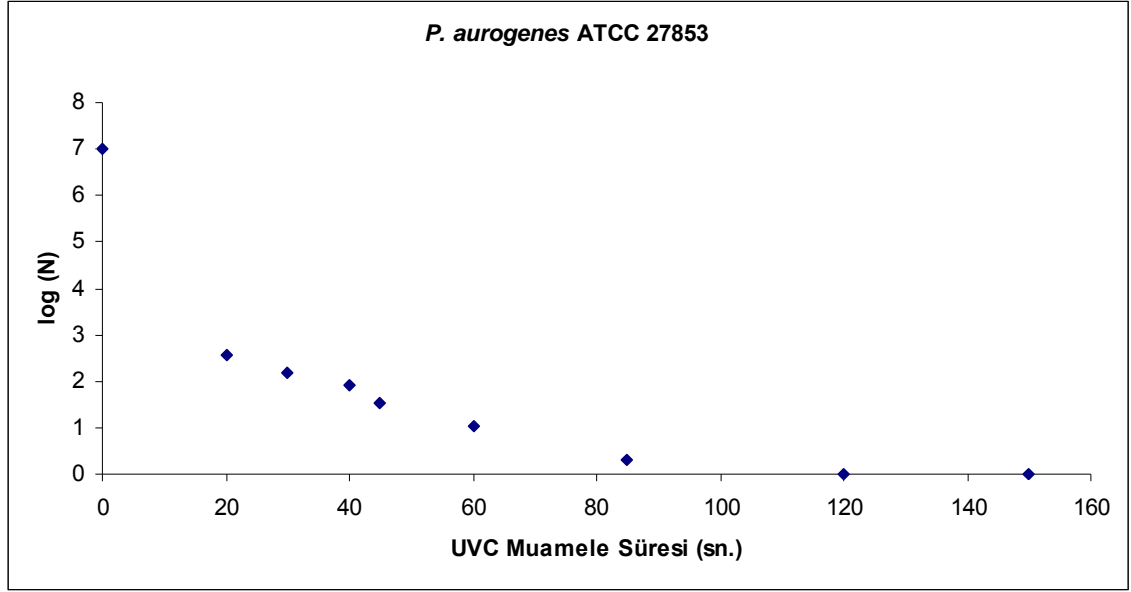
Deneysel verileri en iyi ifade eden model belirlenirken, hesaplanan hata kareleri ortalamasının kare kökü değerin küçük, korelasyon katsayısı değerin ise yüksek olmasına dikkat edilirken, model verilerine karşı model verileri ile deneysel veriler arasındaki farkların grafiğe geçirilmesi ile yapılan fark analizlerinde elde edilen verilerin

0 çizgisi etrafında salınım yapması durumları göz önüne alınmaktadır. Hata kareleri ortalaması en küçük, korelasyon katsayıları en yüksek olan ve hesaplanan fark analiz verileri 0 çizgisi etrafında salınım yapan modelin, deneysel verileri en iyi ifade eden model olduğu kabul edilmektedir [Fujikawa vd, 2004; Xiong vd 1999; Baranyi ve Roberts, 1995; Zwietering vd,1990].

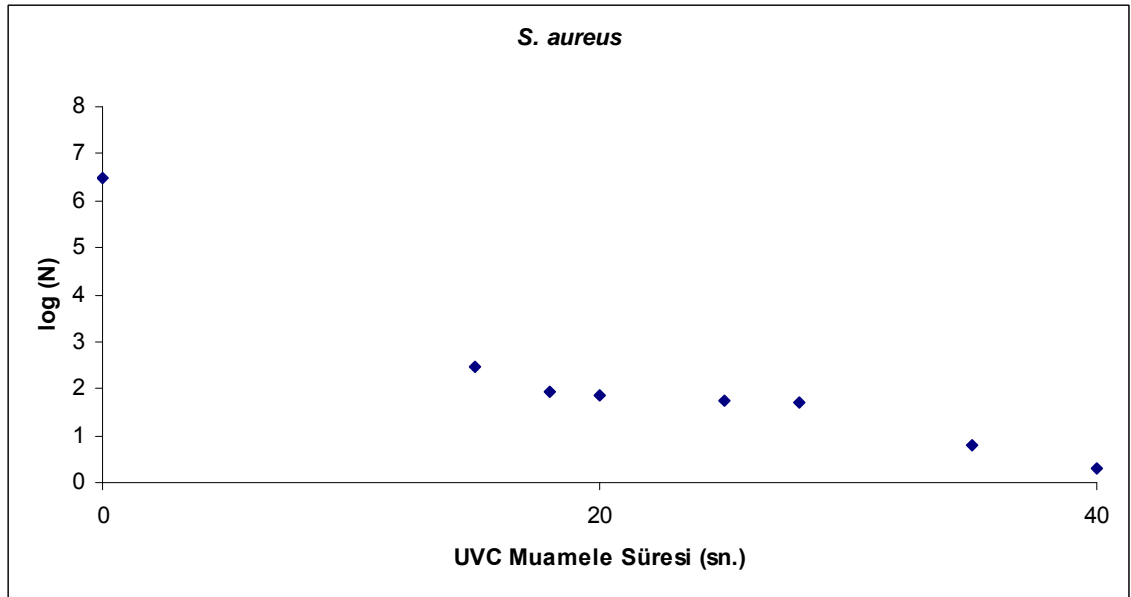
Çalışmada her iki modelin de gelişim eğrilerinin tanımlanmasında kullanılmalarının uygun olduğu, fakat bununla birlikte özellikle de fark analiz sonuçları göz önüne alındığında, standart bakteri suşlarının gelişim eğrilerinin tanımlanmasında Modifiye Gompertz modelinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.1.2. Besiyeri Yüzeyine Yayılan Mikroorganizma Kùltürleri Üzerine Kısa Dalga Ultraviole (UVC) Işınlarmn Etkisi

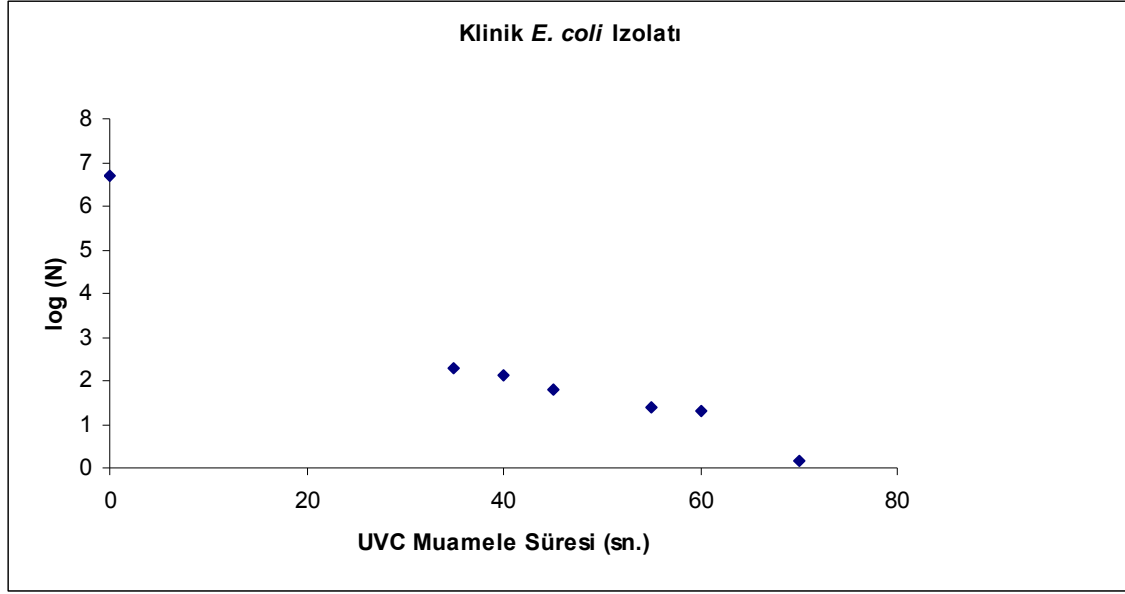
Başlangıç mikroorganizma sayısı belirli bir düzeye ayarlanan ve Petrilerdeki uygun steril besiyerlerine ekimleri yapılan bakteri kùltürleri sabit UVC ışın şiddetinde farklı sürelerde UVC ışınlarım maruz bırakılmışlar ve inkübasyon süreleri sonrasında Petrilerde koloni sayımları gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14., 4.15. ve 4.16.' da UVC ışınların ön denemelerde kullanılan *P. aurogenes* ATCC 27853 standart bakteri suşu, *S. aureus* ve klinik *E. coli* izolatu üzerindeki etkileri görölmektedir. Yapılan ön denemelerde, UVC ışınların Petri yüzeyine yayılan mikroorganizma kùltürleri üzerinde önemli oranda azalma sağladığı belirlenmiştir. Çalışmada besiyeri yüzeyine yayılan *P. aurogenes* ATCC 27853 standart bakteri suşunda 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde, 120 saniye UVC ışın uygulaması sonrasında 7 logaritmik birim azalma sağlanırken, aynı ışın şiddetinde *S. aureus* bakteri suşunda 40, klinik *E. coli* izolatında ise 70 saniye uygulama sonrasında yaklaşık 6,5 logaritmik birim azalma sağlanmıştır (Şekil 4.14., 4.15., 4.16.).



Şekil 4.14. 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan *Pseudomonas aurogenes* ATCC 27853 bakterisi üzerindeki etkisi.



Şekil 4.15. 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan *Staphylococcus aureus* bakterisi üzerindeki etkisi.



Şekil 4.16. 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan klinik *Escherichia coli* izolatı üzerindeki etkisi.

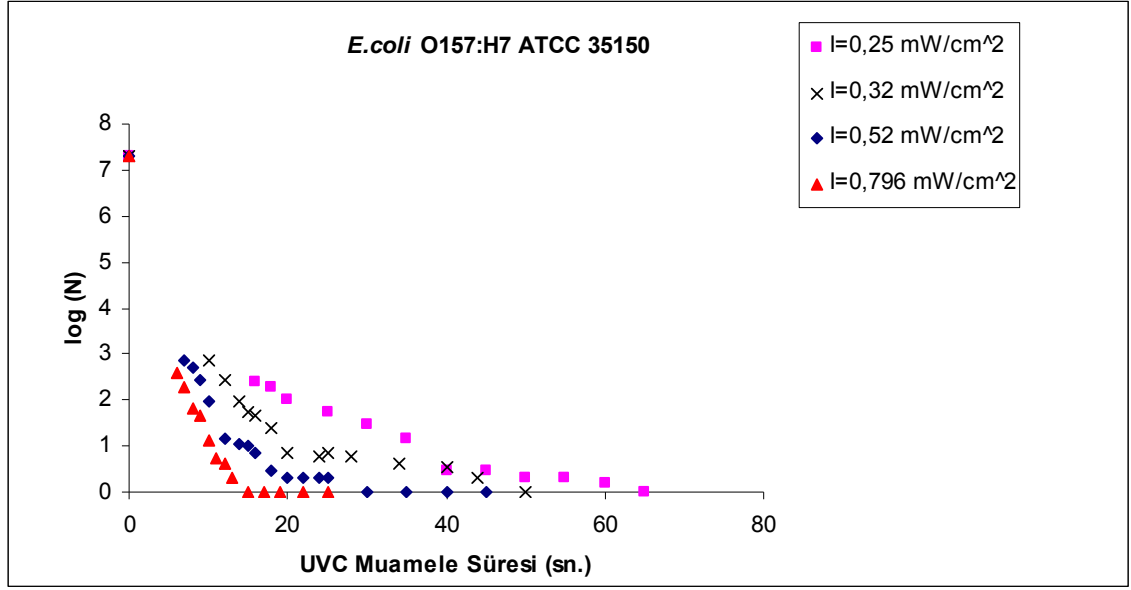
Çalışmada yapılan asıl denemelerde UVC ışınların, besiyeri yüzeyine yayılan logaritmik üreme fazını tamamlamış, durgun fazın başlangıç evresindeki bakteri suşları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle stok bakteri suşları sıvı besiyerine aktarılmış ve bu besiyerinde logaritmik fazlarını tamamlama sürelerince inkübasyona tabi tutulmaları sağlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda elde edilen kültürlerin spektrofotometrede absorbans ayarlamaları yapılarak başlangıç mikrobiyal yükleri belirli düzeylere ayarlanmıştır.

Ayarlama işleminde Mc Farland 0,5 standardı kullanılmıştır. Mc Farland 0,5 standardına göre 99,5 mL sülfürik asit (0,18M) ve 0,5 mL 2 sulu baryum kloritin (0,048M) karıştırılması ile elde edilen çözeltinin 625 nm dalga boyunda 0,08-0,1 aralığına karşılık gelen absorbans değeri, sıvı besiyerinde yaklaşık  $1 \times 10^8$ - $2 \times 10^8$  adet (kob/mL) mikroorganizma kolonisinin bu dalga boyunda göstermiş olduğu absorbans değerine eşdeğer gelmektedir [Garcia ve Isenberg, 2007]. Dolaylı kültürel sayım yöntemlerinden biri olan Mc Farland standartları yöntemi; incelenecek olan sıvı ortamda mikroorganizma sayısı ne kadar fazla ise bu sıvının bulanıklığının da o derece fazla

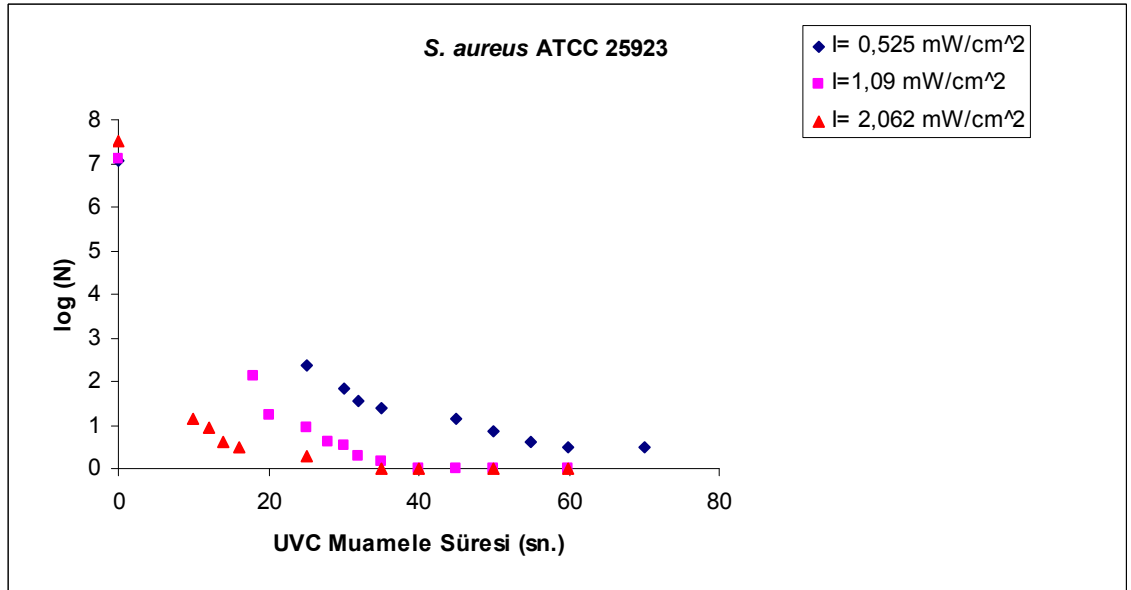
olacağı ilkesine dayanmaktadır [Gürgün ve Halkman, 1990]. Bulanıklık arttıkça spektrofotometrenin ışın kaynağından gelen ışınlar ortamda daha fazla tutulmakta ve okunan absorbans değerinde artış olmaktadır. Mc Farland standartları yöntemi ile sıvı besiyeri ortamının bulanıklığı, dolayısıyla da besiyerindeki mikroorganizma sayısı, ölçülen absorbans değerlerine bağı olarak belirlenebilmektedir [Temiz, 2000, Gürgün ve Halkman, 1990].

Sonuç olarak, TSB besiyerinde 35 °C inkübasyon sıcaklığında logaritmik üreme fazını tamamlayan bakteri kültürlerinin absorbans değerleri steril TSB besiyeri kullanılarak yapılan seyreltmeler ile spektrofotometrede 625 nm dalga boyunda, 0,08-0,1 aralığına ayarlanmış ve bu şekilde başlangıç mikroorganizma sayıları yaklaşık  $10^8$  kob/mL olan kültürler elde edilmiştir. Çalışmada *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 bakteri suşlarının inkübasyon süresine karşı çizilen absorbans değeri ve mikroorganizma sayısı olarak ifade edilen gelişim eğrisi grafiklerinde de kültürün absorbans değerlerinin 0,08-0,1 aralığında olması durumunda mikroorganizma sayısının yaklaşık  $10^8$  kob/mL düzeyinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3. a-b).

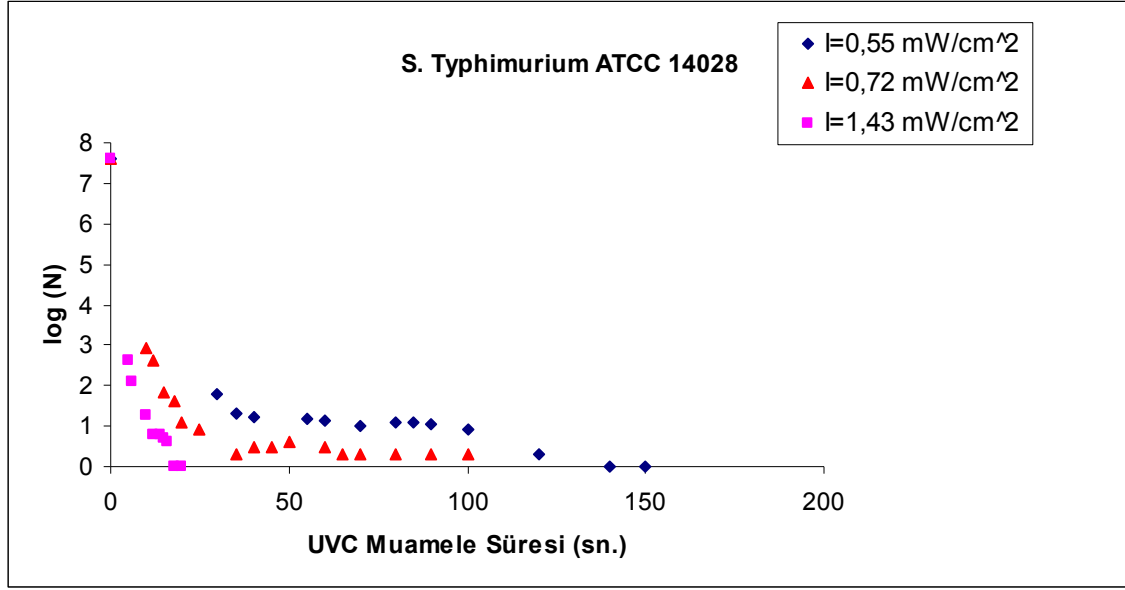
Besiyeri yüzeyine yayılan mikroorganizma kültürleri üzerinde UVC ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan asıl denemelerde kültür aktarılan Petrilerin UVC kabin içerisinde lambalardan farklı uzaklıklara yerleştirilmeleri ile farklı UVC ışın şiddetlerinin mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkileri belirlenebilmiştir. Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19.' da *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, *S. aureus* ATCC 25923 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart mikroorganizma suşları üzerinde farklı UVC ışın şiddetlerinin etkileri görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, bakterilerin maruz kaldığı ışın şiddeti ve uygulama sürelerindeki artışlara paralel olarak UVC ışınların mikrobiyal inaktivasyon yetisinde artış olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.17. Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisi üzerindeki etkisi.



Şekil 4.18. Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisi üzerindeki etkisi.



Şekil 4.19. Farklı ışın şiddetlerindeki UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan *Salmonella Typhimurium ATCC 14028* bakterisi üzerindeki etkisi.

Farklı UVC ışın şiddetlerinin bakteri suşları üzerindeki etkilerinin belirlenmesinden sonra her bir bakteri suşu için, çalışılan her bir ışın şiddetinde besiyeri yüzeyine yayılan mikroorganizma sayısının % 90 oranında azaltılabilmesi için gerekli olan uygulama süreleri ( $D$  değeri) hesaplanmıştır.  $D$  değerleri hesaplanırken Eşitlik 4.4.' te görülen 1. derece reaksiyon kinetiği kullanılmıştır. Eşitlik 4.4.' ün aşağıda belirtilen sınır koşullarında integre edilmesi ile Eşitlik 4.5. elde edilmektedir. Burada ( $\log N$ ) değerinin zamana ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi  $\left(-\frac{k}{2,303}\right)$  değerini vermektedir.  $\left(-\frac{k}{2,303}\right)$  ile ( $D$ ) değeri arasında Eşitlik 4.6.' da belirtilen ilişki bulunmaktadır. Bu durumda  $\log N$  değerinin zamana ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi  $\left(-\frac{1}{D}\right)$  değerine eşdeğer gelmektedir [Singh ve Heldman, 2001].

$$\left[-\frac{dN}{dt} = kN\right] \quad (4.4.)$$



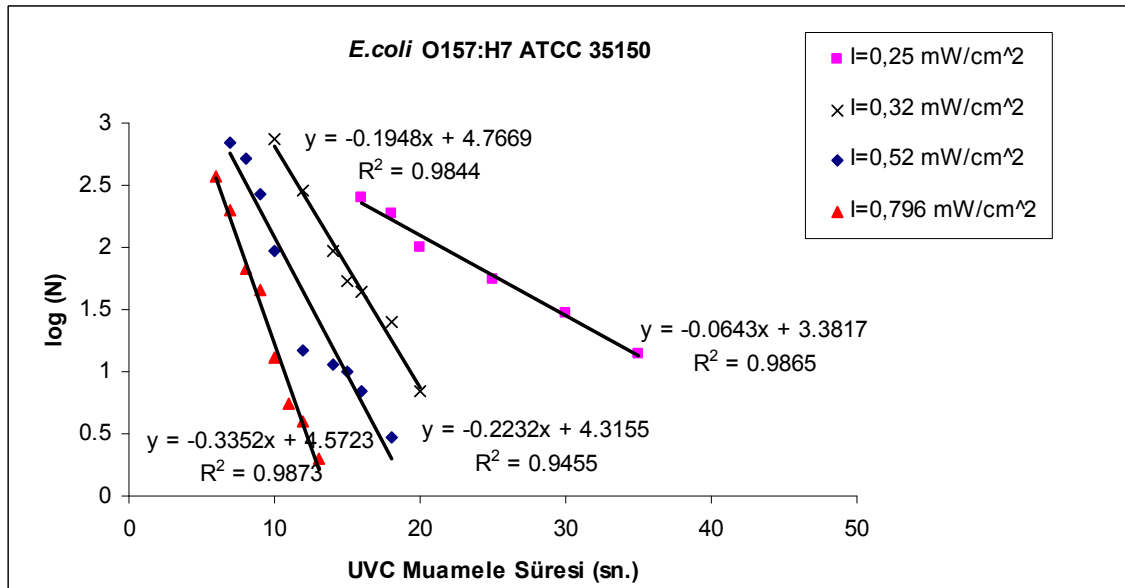
$$-\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t k dt \rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -kt \rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-kt}$$

$$\log \frac{N}{N_0} = \log e^{-kt} \rightarrow \log \frac{N}{N_0} = -kt \log e \rightarrow \log N = \log N_0 - kt \log e \quad (4.5.)$$

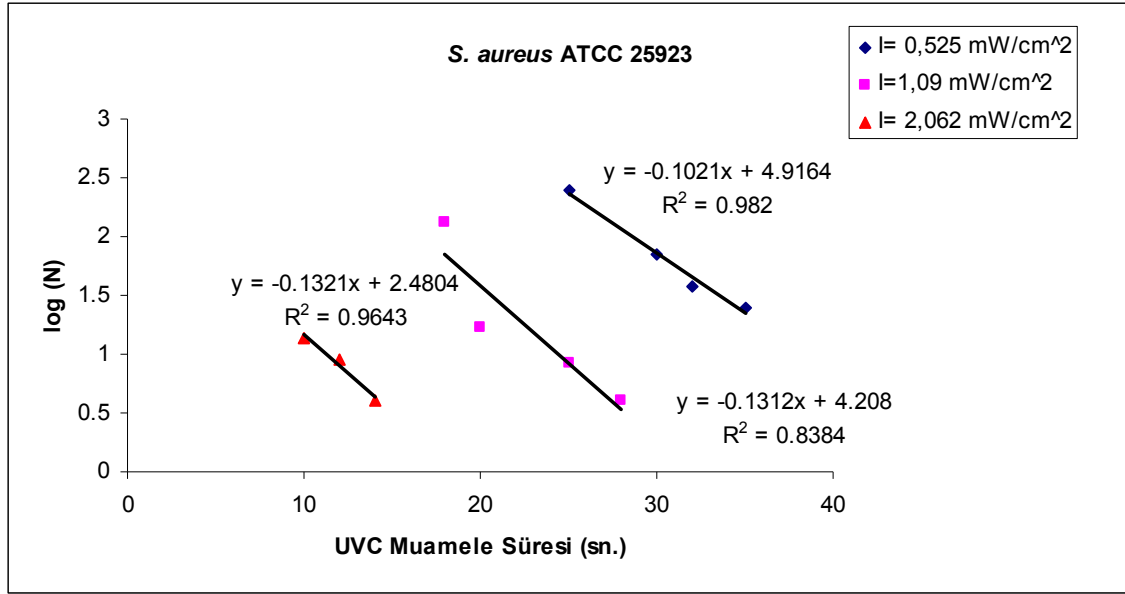
$$\left( \log e = \frac{1}{2,303} \right) \Rightarrow \log N = \log N_0 - \frac{k}{2,303} t$$

$$\left[ -\frac{k}{2,303} = -\frac{1}{D} \right] \Rightarrow \log N = \log N_0 - \frac{1}{D} t \quad (4.6.)$$

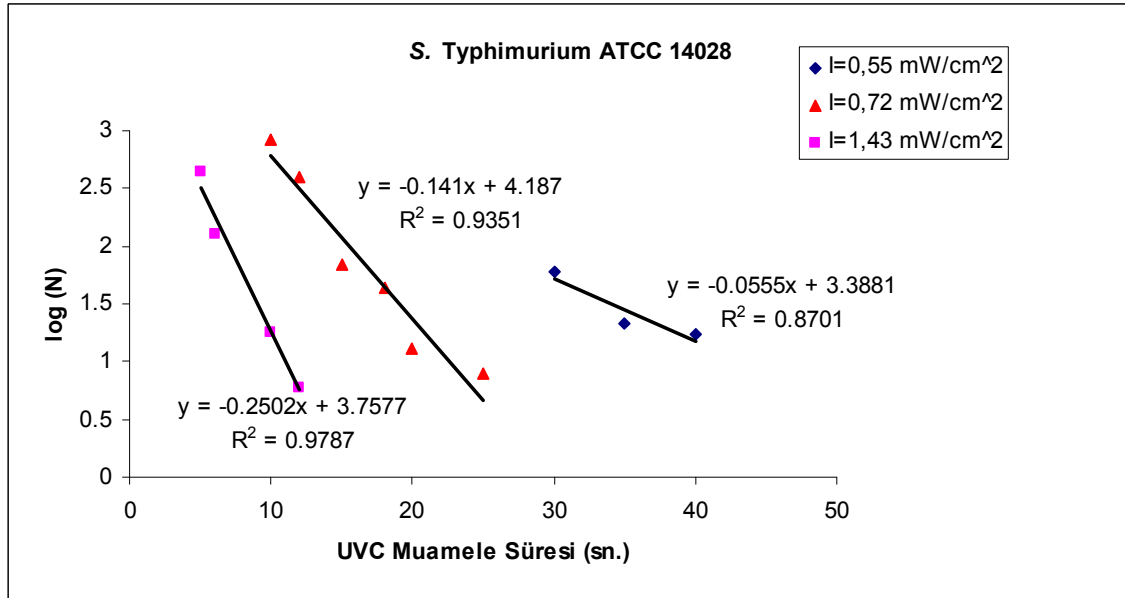
Sonuç olarak Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19.' da çizilen eğrilerin doğrusal eğilim gösteren kısımlarının eğimleri kullanılarak  $D$  değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.20., 4.21. ve 4.22.). Her bir mikroorganizma suşu için hesaplanan  $D$  değerleri Çizelge 4.3.' te verilmiştir.



Şekil 4.20. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde  $D$  değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı  $\log(N)$  değişim değerlerinin doğrusal bölgeleri.



Şekil 4.21. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde  $D$  değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı  $\log(N)$  değışim değeriinin doğrusal bölgeleri.



Şekil 4.22. *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 bakterisinin farklı ışın şiddetlerinde  $D$  değeri hesaplamalarında kullanılan zamana karşı  $\log(N)$  değışim değeriinin doğrusal bölgeleri.

Çizelge 4.3. Bakterilerin farklı UVC ışın şiddetlerinde hesaplanan *D* değerleri.

<i>Escherichia coli</i> O157:H7 ATCC 35150	
Işın Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> )	<i>D</i> Değeri (sn.)
0,25	15,55
0,32	5,13
0,52	4,48
0,796	2,98

<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	
Işın Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> )	<i>D</i> Değeri (sn.)
0,525	9,79
1,09	7,62
2,062	7,57

<i>Salmonella</i> Typhimurium ATCC 14028	
Işın Şiddeti (mW/cm <sup>2</sup> )	<i>D</i> Değeri (sn.)
0,55	18,02
0,72	7,09
1,43	3,99

Çalışmada bakterilerin UVC ışınlarına olan dirençlerinin birbirinden farklı olduğu belirlenmiş, *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşunun *S. aureus* ATCC 25923 ve *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart suşlarına göre çok daha dirençli olduğu görülmüştür. 0,55 mW/cm<sup>2</sup> ışın şiddetinde besiyeri yüzeyine yayılan *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşu 140 saniye uygulama sonrasında yaklaşık 7,5 logaritmik evre azaltılabilirken, bu ışın şiddetine yakın şiddet değerlerinde (*E. coli* O157:H7 için 0,52, *S. aureus* için 0,525 mW/cm<sup>2</sup>) aynı orandaki azalma *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşu için 30, *S. aureus* ATCC 25923 standart bakteri suşu için ise yaklaşık 80 saniye olarak belirlenmiştir (Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19.).

Hesaplanan *D* değerleri de UVC ışınlarına en fazla direnç gösteren standart bakteri suşunun *S. Typhimurium* olduğunu göstermiştir. 0,55 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşunun 18,02 saniye olarak belirlenen *D* değeri diğer iki mikroorganizma suşunun yaklaşık bu ışın şiddetinde (*S. aureus* ATCC 25923 standart bakteri suşu, 0,525 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 9,79; *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşu, 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 4,48

saniye) hesaplanan  $D$  değerlerinin üzerinde bulunmuştur (Çizelge 4.3.).

Mikroorganizmaların UVC ışınlarıda farklı düzeylerde direnç göstermeleri, sahip oldukları hücre duvarı yapısı, kalınlığı ve kompozisyonundaki farklılıklar, hücre yapısında var olan UVC ışın absorplama yetisine sahip protein oranı, mikroorganizma DNA yapısını oluşturan nükleotitlerin kendi yapısal farklılıkları, mikroorganizmaların sahip olduğu DNA hasarı onarım yetisi, içerisinde bulunduğu üreme evresi ve ortam özellikleri gibi bir takım etkenlere bağlanmıştır [Koutchma vd., 2009; Allende ve Artes, 2003; Silva vd., 2003].

Hamanaka vd. (2010), ultraviyole ışınların çeşitli küf sporları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında ışınların portakal kabuğundan izole edilen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Rhizopus* ve *Byssochlamys* küf sporlarından *Rhizopus* ve *Byssochlamys* üzerinde oldukça etkili olurken aynı etkiyi çalışılan diğer üç küfte gösteremediğini ifade etmişlerdir.

Rajkowski (2006), farklı besiyeri ortamlarında, *S. sonnei* bakteri suşuna ait iki farklı serotip üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdığı çalışmada, UVC ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerinde katı besiyeri ortamında sıvı besiyerine göre çok daha etkili olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, agar yüzeyine yayılan bakterilerin 7 logaritmik birim azaltılması için gerekli UVC ışın dozu 1,02 mWs/cm<sup>2</sup> olarak belirlenirken, sıvı besiyerinde 3,4 mWs/cm<sup>2</sup> ışın dozunda 5 logaritmik birim azalma sağlandığı ifade edilmiştir. Kim vd. (2002), yaptıkları çalışmada % 0,1 peptonlu su içeren ortama inokule ettikleri *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* bakteri suşlarının sırasıyla 0,25 mW/cm<sup>2</sup> (30 mWs/cm<sup>2</sup> ışın dozu) ve 0,5 mW/cm<sup>2</sup> ışın şiddetlerinde 2' şer dakika (60 mWs/cm<sup>2</sup> ışın dozu) UVC ışınlarıda maruz kalmaları sonrasında *E. coli* O157:H7 bakteri suşunda 8, *L. monocytogenes* bakteri suşunda ise 5 logaritmik birim azalma sağlandığını belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada katı besiyeri yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 standart bakteri suşunun 0,52 mW/cm<sup>2</sup> ışın şiddetinde 30 saniye (15,6 mWs/cm<sup>2</sup> ışın dozu) UVC ışınlarıda maruz bırakılması durumunda 7,5 logaritmik birim

azalma sağlanmıştır (Şekil 4.17.). Yapılan bir diğer çalışmada katı besiyeri yüzeyine yayılan *L. monocytogenes* bakteri suşunun 0,1 mW/cm<sup>2</sup> ışm şiddetinde 2 dakika (12 mWs/cm<sup>2</sup> dozda) UVC ışınlarıda maruz bırakılması sonrasında 5 logaritmik birim azalma sağlandığı belirtilmektedir [Yousef ve Marth, 1988]. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar bakterilerin UVC ışınlarıda olan dirençlerinin sıvı besiyeri ortamında katı besiyerine göre çok daha fazla olduğu göstermektedir, UVC ışınlar oldukça düşük nüfuz gücüne sahiptirler ve bakterilerin sıvı besiyeri ortamında inaktivasyonu için gerekli olan UVC ışm dozu katı besiyeri ortamına göre çok daha fazla olmaktadır.

Atık suların UVC ışm uygulaması ile dezenfeksiyonuna yönelik yapılan bir çalışmada UVC ışınların fekal kontaminasyon indikatörü *E. coli* bakteri suşu üzerindeki inaktivasyon gücü araştırılmış ve 35 mWs/cm<sup>2</sup> UVC ışm dozunda sadece 1 logaritmik birim azalma sağlanabildiği belirtilmiştir. Çalışmada UVC ışınların düşük nüfuz gücüne sahip olmaları yanında, atık su bünyesinde bulunan partiküllerin ortamdaki bakteri suşları için adeta kalkan gibi davranarak UVC ışınların bakteriler ile olan etkileşimini sınırladığı ve böylece ışınların bakteriler üzerindeki inaktivasyon yetisini azalttığı belirtilmiştir [Taghipour, 2004].

Literatürde UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan farklı mikroorganizma suşları üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar mevcuttur. Wong vd (1998) UVC ışınların *E. coli* GM 1829 ve *S. Senftenberg* durgun evre bakteri kültürleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, besiyeri yüzeyine yayılan *E. coli* GM 1829 bakteri suşunun 5, *S. Senftenberg* suşunun ise 7 logaritmik birim azaltılabilmesi için uygulanması gereken ışm dozlarını sırasıyla 12 mWs/cm<sup>2</sup> ve 76,8 mWs/cm<sup>2</sup> olarak belirlemişlerdir. Kuo vd. (1997), besiyeri yüzeyine yayılan *S. Typhimurium* bakteri suşunun 0,62 mW/cm<sup>2</sup> sabit UVC ışm şiddetinde 45 saniye (27,9 mWs/cm<sup>2</sup> dozda) uygulama süresi sonunda 7 logaritmik birim azaltılma sağlanabildiğini belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada besiyeri yüzeyine yayılan logaritmik üreme evresi sonundaki *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart suşuna ait bakteri kültürü 0,55 mW/cm<sup>2</sup> sabit UVC ışm şiddetinde 140 saniye (77 mWs/cm<sup>2</sup> dozda) uygulama

sonrasında 7,5 logaritmik birim azaltılabilmıştır.

Bank vd. (1990), 4 farklı patojen bakteri suşu üzerinde (*E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *S. Marcescens*) UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 4 mWs/cm<sup>2</sup> ışın dozunda yapılan uygulamalar sonrasında besiyeri yüzeyine yayılan logaritmik evre kültürlerinde ortalama 6-7 logaritmik birim azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Stermer vd. (1987), besiyeri yüzeyine yayılan, kokuşmuş et yüzeyinden izole edilen *Pseudomonas*, *Staphylococcus* ve *Micrococcus* türlerinin oluşturduğu karışık bakteri kültürünün 2 mWs/cm<sup>2</sup> dozunda UVC uygulaması ile 2 logaritmik birim azaltılabildiğini belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada besiyeri yüzeyine yayılan logaritmik üreme evresi sonundaki *S. aureus* ATCC 25923 standart bakteri suşunun 1 logaritmik evre azaltılabilmesi için uygulanması gereken UVC ışın dozu 5,1 mWs/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan farklı bakteri kültürleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde, UVC ışınların katı besiyeri yüzeyindeki bakteriler üzerinde önemli oranda antimikrobiyal etki sergilediği ve bakterilerin UVC ışınlara olan dirençlerinin birbirinden farklı oranlarda olduğu belirlenmiştir.

## 4.2. BAHARATLAR

### 4.2.1. Tane Kimyon ve Karabiber Örneklerinin Mikrobiyal Yükleri

Türk Gıda Kodeksi 2000-16 nolu Baharat Tebliği' nde [Anonim, 2000] belirtilen baharatlarda bulunması muhtemel mikroorganizma ve mikroorganizma grupları ile bu mikroorganizmalar için belirlenmiş mikrobiyolojik kriterler Çizelge 4.4.' te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Türk Gıda Kodeksi 2000-16 nolu Baharat Tebliği' nde belirtilen mikrobiyolojik kriterler [Anonim, 2000].

	<b>n</b>	<b>c</b>	<b>m</b>	<b>M</b>
<i>Salmonella</i> spp.	5	0	25 g da bulunmamalı	
<i>S. aureus</i> (kob/g)	5	3	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$
<i>B. cereus</i> (kob/g)	5	3	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^5$
<i>E. coli</i> (kob/g)	5	3	$1,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^2$
<i>E. coli</i> O157:H7 (kob/g)	5	0	25 g da bulunmamalı	
Maya-Küf (kob/g)	5	3	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^4$
Mezofilik Aerobik Bakteri (kob/g)	5	3	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^6$

n: Numune sayısı

c: Mikroorganizma sayısı "m" ile "M" arasında bulunabilecek maksimum numune sayısı

m: Tüm numunelerde bulunabilecek maksimum mikroorganizma sayısı

M: "c" sayıda numunede bulunabilecek maksimum mikroorganizma sayısı

Gıda maddelerinde mikrobiyal dağılımlarmn homojen olmaması dolayısıyla gıdalarmn mikrobiyal analizlerinde analiz edilecek olan gıdanın tamamını temsil etme özelliğine sahip örnekleme planları ile çalışma zorunluluğu gerekmektedir. Özellikle de patojen olmayan ve gıdalarda farklı oranlarda bulunan mezofilik aerobik bakteri, maya-küf, fekal koliform gibi indikatör mikroorganizmalar için 2 sayısal limitin kullanıldığı 3 sınıflı örnekleme planları önerilmiştir. Bu örnekleme planında gıda örnekleri; mikrobiyal kalite açısından; 'm' değerinden az düzeyde mikroorganizma içerenler, 'm ile M' değerleri arasında mikroorganizma içerenler ve 'M' değerinden fazla düzeyde mikroorganizma içerenler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır [Halkman ve Akçelik, 1999].

Çalışmada temin edilen tane kimyon ve karabiber örneklerinde, tebliğde belirtilen mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarının varlığının ve düzeylerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Bu amaçla laboratuvara 5 kg' lık torbalara konulmuş olarak getirilen örneklerin farklı bölgelerinden numuneler alınmış ve tebliğde belirtilen limitler göz önünde tutularak, örneklerde mikrobiyal yük bakımından sorun oluşturan mikroorganizma ve mikroorganizma grupları belirlenmiştir. Tane örneklerde ayrıca tebliğde belirtilmeyen koliform ve gıdalara dışkı bulaşısının indikatörü olarak kabul edilen fekal koliform bakterilerin miktarlarının belirlenmesine yönelik analizler de yapılmış, analizlerde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5.' te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Tane kimyon ve karabiber örneklerinin mikrobiyal yükü.

	Tane Kimyon	Tane Karabiber
<i>Salmonella</i> (kob/g)	Saptanmadı	Saptanmadı
<i>S. aureus</i> (kob/g)	Saptanmadı	Saptanmadı
<i>B. cereus</i> (EMS/g)	25±2	$1,1 \times 10^3 \pm 0,2 \times 10^3$
<i>E. coli</i> (EMS/g)	1,6 - 3	4 - 6,5
<i>E. coli</i> O157:H7 (kob/g)	Saptanmadı	Saptanmadı
Koliform Grup Bakteri (EMS/g)	79 - 93	$1,1 \times 10^3 \pm 0,5 \times 10^3$
Fekal Koliform (EMS/g)	10 - 15	$6,5 \times 10^2 - 7,1 \times 10^2$

Tane kimyon ve karabiber örneklerinde, *Salmonella*, *S. aureus* ve *E. coli* O157:H7 bakterilerine rastlanmamış, örneklerin içermiş olduğu *B. cereus* düzeyinin ise tebliğde izin verilen sınırlar içerisinde bulunduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.6.' da tane kimyon ve karabiber örneklerinin 5 farklı bölgesinden alınan numunelerde belirlenen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf sayım sonuçları görülmektedir. Burada tane kimyon örneklerinde analize alınan 5 ayrı numuneden 4 tanesinde  $10^3$  kob/g, tane karabiber örneklerinde ise analize alınan numunelerin tamamında  $10^4$  kob/g düzeyinde maya-küf bulunduğu belirtilmiştir. Baharat tebliğinde analize alınan bir baharat örneğinin farklı kısımlarından alınan 5 numunenin en fazla 3 tanesinde  $1,0 \times 10^2$  ile  $1,0 \times 10^4$  kob/g arasında maya-küf bulunmasına izin verilebileceği, numunelerin hiç birinde maya-küf miktarının  $1,0 \times 10^4$  kob/g üzerinde olamayacağı ve 5



numunenin en fazla 3 tanesinde  $1,0 \times 10^4$  kob/g düzeyinde maya-küf bulunmasına izin verilebileceği ifade edilmektedir (Çizelge 4.4.). Bu durumda gerek tane kimyon gerekse tane karabiber örneklerinin maya-küf düzeyleri tebliğe izin verilen limitlerin üzerinde olmaktadır.

Örneklerde yapılan mezofilik aerobik sayım sonuçları da kimyon ve karabiber tanelerinin tebliğe belirtilen limitlerin üzerinde mezofilik aerobik bakteri içerdđini göstermiştir (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.6. Tane kimyon ve karabiber örneklerinde saptanan mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf miktarları.

Örnekler	Tane Kimyon Mezofilik Aerobik Bakteri (kob/g)	Tane Karabiber Mezofilik Aerobik Bakteri (kob/g)	Tane Kimyon Maya-Küf (kob/g)	Tane Karabiber Maya-Küf (kob/g)
1	$5 \times 10^5$	$2 \times 10^7$	$1,8 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$
2	$4 \times 10^5$	$9 \times 10^6$	$1,8 \times 10^3$	$4,5 \times 10^4$
3	$4 \times 10^5$	$2 \times 10^7$	$1,3 \times 10^3$	$7,1 \times 10^4$
4	$2 \times 10^5$	$2 \times 10^7$	$7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^4$
5	$6 \times 10^5$	$2 \times 10^7$	$1,5 \times 10^3$	$2,8 \times 10^4$

Baharat Tebliği' nde belirtilen sınırlamalar göz önüne alındığında tane kimyon ve karabiber örneklerinin mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerinin tebliğe izin verilen limitlerin üzerinde olduğu ve mikrobiyal yükün düşürülmesine yönelik yapılacak olan uygulamalarda esas hedef mikroorganizmalarını bu iki mikroorganizma grubunun oluşturacağı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada örneklerde bulunan mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarını tebliğe belirtilen alt limitlere veya bunların altına çekebilecek bir pastörizasyon uygulaması hedeflenmiştir. Çalışmada, pastörizasyona yönelik yapılacak uygulamalarda (sadece UVC, sadece FIR, FIR+UVC kombine) tane kimyon ve karabiber örneklerinde tebliğe belirtilen limitlerin üzerinde olduğu belirlenen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerinin sırasıyla  $10^4$  ve  $10^2$  kob/g sınırlarına çekilmesi

hedeflenmiştir.

Baharat tebliğinde koliform grup ve gıdalara dışkı bulaşmasının indikatörü olarak kabul edilen fekal koliform bakteriler için bir sınırlama getirilmemiştir. Fakat bununla birlikte tebliğde, fekal koliform bakterilerin büyük çoğunluğunu oluşturan *E. coli* ve *E. coli* suşları içerisinde patojen ve gıda kaynaklı bilinen en tehlikeli patojenlerden biri olan *E. coli* O157:H7 suşu için sınırlamalar mevcuttur (Çizelge 4.4.). İşlem görmemiş tane kimyon ve karabiber örneklerinde *E. coli* O157:H7 suşuna rastlanmamış, *E. coli* ise tebliğde belirtilen sınırlar içerisinde bulunmuştur.

Sonuç olarak baharat örneklerinde mikrobiyal yükün azaltılması ve pastörize baharat eldesine yönelik yapılacak olan çalışmada esas hedef mikroorganizma gruplarını örneklerin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteriler ile küf ve mayalar oluşturmuş, fakat bununla birlikte uygulamaların örnek bünyesinde bulunan koliform ve fekal koliform bakteriler üzerindeki etkileri de belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan çalışmada uygulanan yöntemin baharat pastörizasyonundaki etkinliğinin ortaya konulabilmesi ve uygulamanın sisteme beslenecek olan farklı başlangıç mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerine sahip baharat örneklerinde geçerli olacak bir pastörizasyon işlemi olmasının belirlenebilmesi için farklı yörelere ait, farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip baharat örnekleri kullanılmıştır. Başlangıç mikrobiyal yükleri farklı olan örneklerin sisteme beslenmeleri durumunda işlem sürelerindeki artışlara paralel olarak örneklerin mikrobiyal yüklerinde benzer azalma eğilimleri bulunduğu belirlenmiştir. Çalışmada yapılan mikrobiyal analizlerde örnekleme işleminde, aynı ham maddenin (başlangıç mikrobiyal yükü aynı olan örnekler) tekrar tekrar sisteme beslenmesi sonrasında işlem gören örneğin farklı kısımlara ayrılarak mikrobiyal değişimlerin tayin edilmesi yerine oldukça sık işlem sürelerinde zamana bağlı olarak mikrobiyal yükte sağlanan azalmaların tesbit edilmesinin, uygulamanın özellikle de endüstriyel boyutta kullanılabilirliğinin tesbiti açısından daha uygun ve anlamlı olacağı düşünülmüştür. Çünkü endüstride farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip örneklerin

işletmelere temini söz konusu olmakta ve baharat pastörizasyonuna yönelik geliştirilen UVC ve FIR ışın uygulamalarının endüstriyel boyuttaki etkinliğinin belirlenmesi için uygulamaların farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip örnekler üzerindeki etkisinin ortaya konulması gerekmektedir. Çalışmada başlangıç mikrobiyal yükü farklı olan aynı ham maddeleri tekraren farklı sıcaklıklarda sisteme beslemeler yapılarak örneklerde zamana bağlı mikrobiyal azalma durumları incelenmiştir.

#### 4.2.2. Tane Kimyon Örnekleri Mikrobiyal Yükü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviyole (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınlarmn ile FIR+UVC Işınlarmn Kombine Etkileri

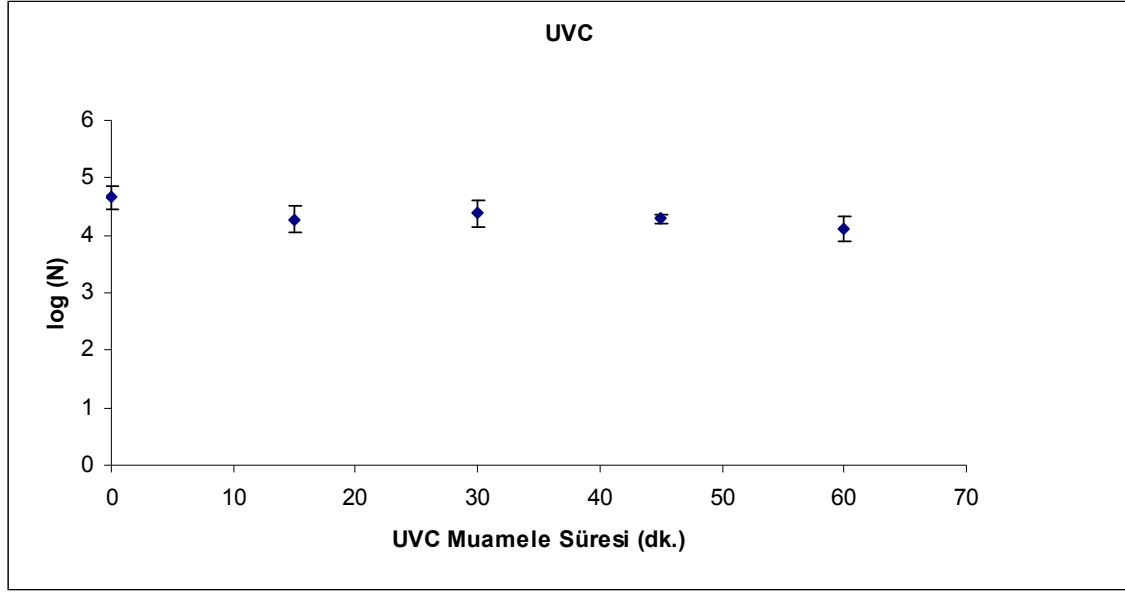
##### 4.2.2.1. Mikrobiyal yük üzerinde kısa dalga ultraviyole (UVC) ışınların etkileri

UVC ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada farklı başlangıç mikrobiyal yoğunluklara sahip tane kimyon örnekleri kullanılmıştır. Çizelge 4.7.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi yaklaşık  $10^7$  kob/g olan tane kimyon örnekleri, Şekil 4.23.' te ise  $10^{4,7}$  kob/g düzeyinde başlangıç mezofilik aerobik bakteri popülasyonuna sahip tane kimyon örnekleri üzerinde, UVC ışın uygulamasının etkileri görülmektedir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar UVC ışınların baharat örneklerinde mezofilik aerobik bakteri ve toplam maya-küf popülasyonlarının azaltılmasına yönelik tek başına etkili bir yöntem olamayacağını göstermiştir. Bununla birlikte UVC ışınların koliform grup bakteriler üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. UVC ışınların tane kimyon yüzeyindeki bazı mikroorganizma grupları üzerindeki etkisi.

	UVC Işın Uygulama Süresi; sa		
	0 (Kontrol)	1	2
Mezofilik Aerobik Bakteri (kob/g)	$9 \times 10^6$	$3 \times 10^5$	$2 \times 10^6$
Maya-Küf (kob/g)	$3 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^5$
Toplam Koliform (EMS/g)	$6 \times 10^2$	$1 \times 10^1$	0
Fekal Koliform (EMS/g)	5	0	0

Şekil 4.23.' te tane kimyon örneklerinin  $10,5 \text{ mW/cm}^2$  sabit ışın şiddetinde farklı uygulama sürelerinde UVC ışınların maruz bırakılmaları sırasında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri verilmiştir. Burada 60 dakika uygulama süresi sonrasında örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeyinde yaklaşık 0,6 logaritmik birim azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 4.23. 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin UVC muamele sürelerine bağı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.

Literatürde, UVC ışınların tane kimyon mikrobiyal yükü üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Fakat bununla birlikte, UVC ışınların kimyon tanelerine benzer, oldukça küçük partikül büyüklüğünde ve granüler yapıda çeşitli gıda materyallerinde mikrobiyal yükün düşürülmesi üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bazı çalışmalar mevcuttur.

Hidaka ve Kubota (2006), buğday taneleri yüzey mikrobiyal yükü üzerine UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, buğday tanelerinin 254 nm dalga boyunda 9,7 mW/cm<sup>2</sup> ışın şiddetinde 6,3 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sonrasında, tane yüzeyinde bulunan toplam bakteri sayısının % 90 oranında azaltılabildiğini ifade etmişlerdir. Çalışmada buğday taneleri yüzey küf miktarında yine aynı oranda azalma sağlanabilmesi için gerekli uygulama süresi 5,6 saat olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen işlem sürelerinin oldukça uzun olması dolayısıyla UVC ışın uygulamalarının buğday mikrobiyal yükünün düşürülmesine yönelik endüstriyel boyutta kullanılabilecek etkili ve de verimli bir yöntem olamayacağı açıktır.

Fine ve Gervais (2004), yaptıkları çalışmada vurgulu UV ışınların toz karabiber ve buğday unu mikrobiyal yükünün düşürülmesi üzerinde oldukça düşük bir etki gösterdiğini belirtmişlerdir.

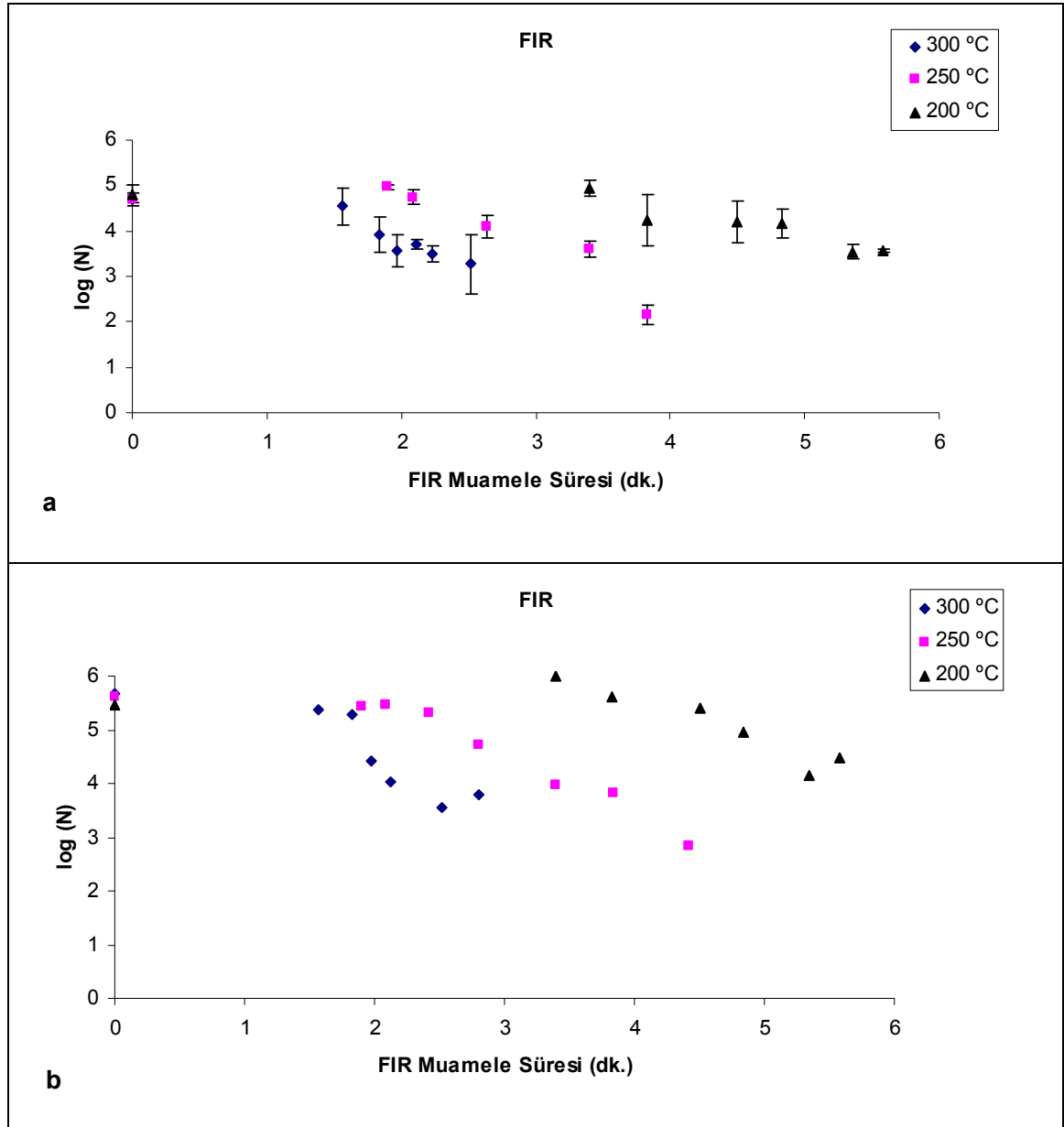
Sharma ve Demirci (2003), protein, vitamin ve minerallerce zengin Asya kökenli bir çeşit bitki olan alfalfa tohumları yüzeyine inokule ettikleri *E. coli* O157:H7 bakterisi suşu üzerinde vurgulu UV ışınların inaktivasyon yetisini araştırdıkları çalışmalarında, ışınların inaktivasyon gücünün uygulama süresindeki artış ve örnek yüzeyi-lamba arası mesafenin kısaltılmasıyla artış gösterdiğini saptamışlardır. Çalışmada UVC ışınların düşük nüfüz gücüne sahip olmaları dolayısıyla tohum yığını üzerinde yüzeye yakın olan kısımlarda daha fazla etkili olurken, iç kısımlarda mikrobiyal inaktivasyon üzerinde yetersiz kaldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmalar, zirai gıda materyallerinde mikrobiyal yükün düşürülmesi üzerinde UVC ışın uygulamalarının tek başına etkili, potansiyel bir yöntem olarak kullanılamayacağını göstermektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada, UVC ışınların örneklerde esas hedef mikroorganizma gruplarını oluşturan mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf popülasyonu üzerinde arzu edilen oranlarda azalma sağlayamadığının belirlenmesi üzerine, tane kimyon örnekleri yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesi üzerinde tek başına FIR ışınlar ile FIR ve UVC ışınların kombine etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

#### 4.2.2.2. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared (FIR) ışınların etkileri

FIR ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada 3 farklı infrared tünel sıcaklığında çalışılmıştır. Şekil 4.24. a-b.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyleri  $10^{4,7}$  kob/g olan kimyon örneklerinin 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 1,83, 2,63 ve 4,83 dakika, başlangıç mikrobiyal yükü  $10^{5,6}$  kob/g olan örneklerin ise sırasıyla 2,12, 3,40 ve 5,35 dakika işlem süreleri sonrasında içermiş oldukları mezofilik aerobik bakteri

düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına indirilebildiği görülmektedir.



Şekil 4.24. a-b. Farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenmeleri durumunda FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{4.7}$  kob/g, b; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5.6}$  kob/g).

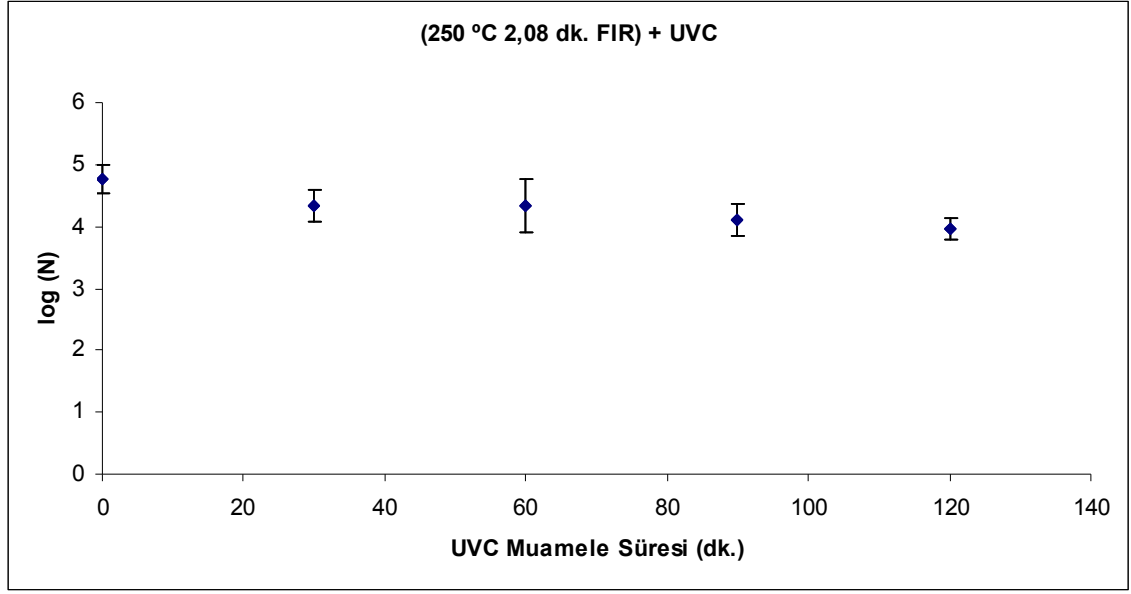
Çalışmada her üç infrared tünel sıcaklığında da, farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip tane kimyon örneklerinde uygulama sürelerindeki artışlara paralel olarak benzer bir azalma eğilimi olduğu görülmüş ve bu durumun, FIR ışınların farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip kimyon örneklerine uyarlanabilir, etkili bir yöntem olabilmesinin ortaya konulabilmesi bakımından önemli olacağı düşünülmüştür.

Yapılan çalışmada FIR ışınların tane kimyon örneklerinin içermiş olduğu maya-küf popülasyonunun azaltılması üzerinde oldukça etkili oldukları saptanmış, 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında ortalama  $10^{3,1}$  kob/g düzeyinde maya-küf içeren tane kimyon örneklerinde sırasıyla 1,57, 1,9 ve 2,8 dakika işlem süreleri sonrasında maya ve küf açısından tam bir sterilizasyon sağlanmıştır.

#### 4.2.2.3. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared ve kısa dalga ultraviöle ışınların kombine etkileri (FIR+UVC)

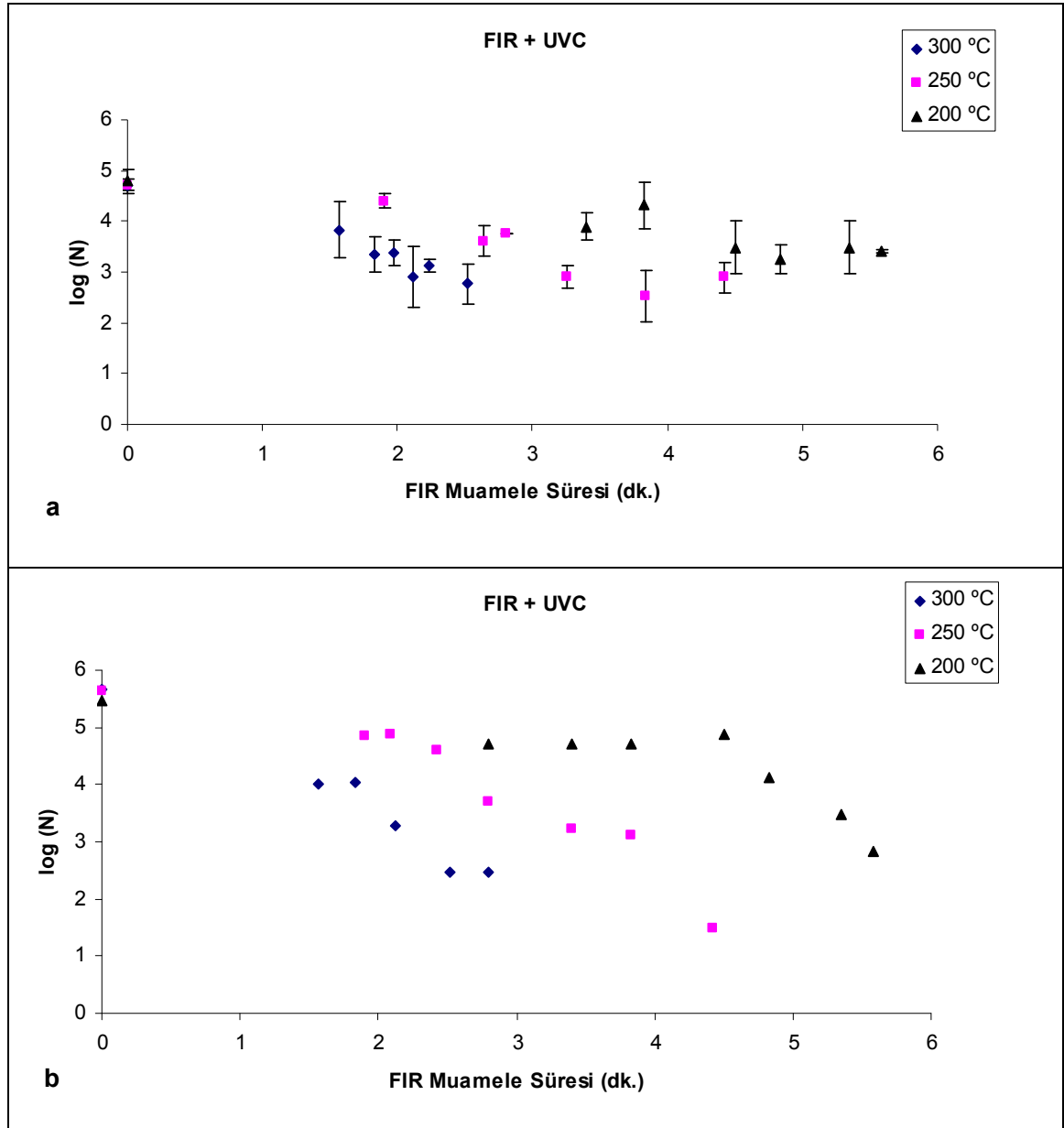
Kombine uygulamanın mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisinin ortaya konulması amacıyla yapılan ön denemelerde, tane kimyon örnekleri sabit bir infrared tünel sıcaklığında (250 °C), sabit bir hızda tünele beslenmiş (örnekler 2,08 dakika tünelde kalmıştır) ve ardından farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz bırakılmışlardır. Şekil 4.25.' te 250 °C infrared tünel sıcaklığında 2,08 dakika uygulama süresince FIR ışınlarına maruz kalan örneklerin tünel çıkışında  $10,5 \text{ mW/cm}^2$  sabit ışın şiddetinde farklı uygulama sürelerinde UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumunda değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri verilmiştir. Burada tane kimyon örneklerinin sahip olduğu mezofilik aerobik bakteri popülasyonunun, pastörizasyon işleminde hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine 2 saat UVC ışın uygulaması sonrasında düşürülebildiği görülmektedir.





Şekil 4.25. Tane kimyon örneklerinin 250 °C infrared tünel sıcaklığında 2,08 dakika FIR ışınlarına maruz bırakılmaları ardından 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmaları sırasında UVC muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.

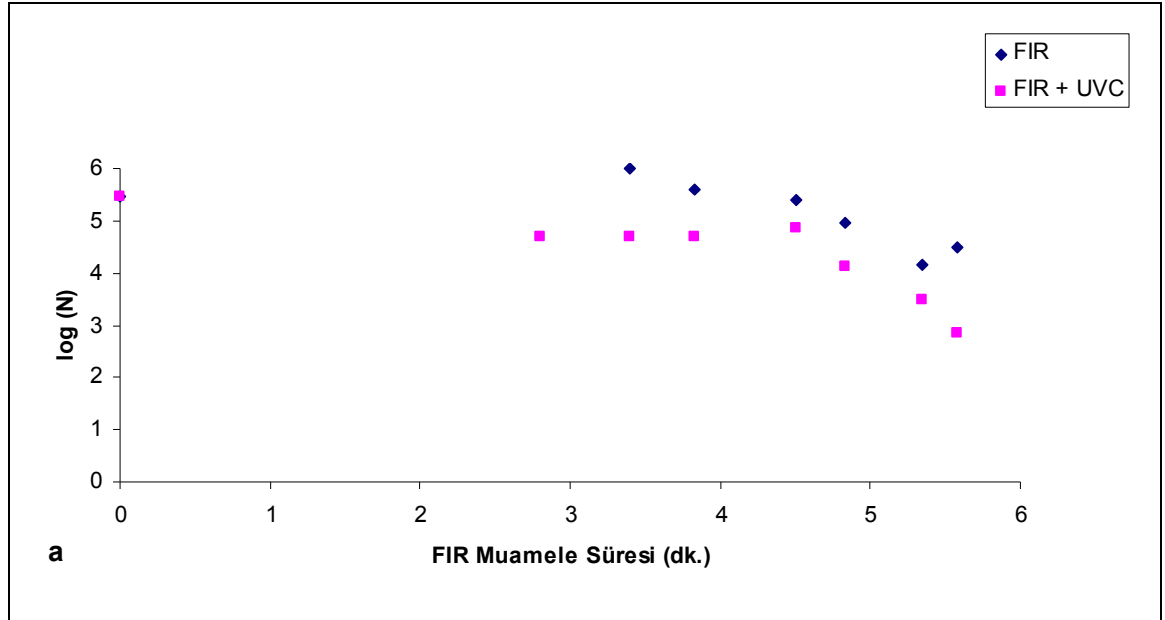
FIR ve UVC ışınların kombine uygulamalarının tane kimyon örnekleri mikrobiyal yükü üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada, farklı sıcaklıklarda farklı sürelerde FIR ışınlarına maruz bırakılan örnekler tünel çıkışında 2 saat süresince 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmışlardır. Şekil 4.26. a ve b' de iki farklı başlangıç mikrobiyal yüke sahip tane kimyon örneklerinde yapılan kombine uygulamaların örneklerin mezofilik aerobik bakteri popülasyonu üzerindeki inhibisyon etkileri görülmektedir.

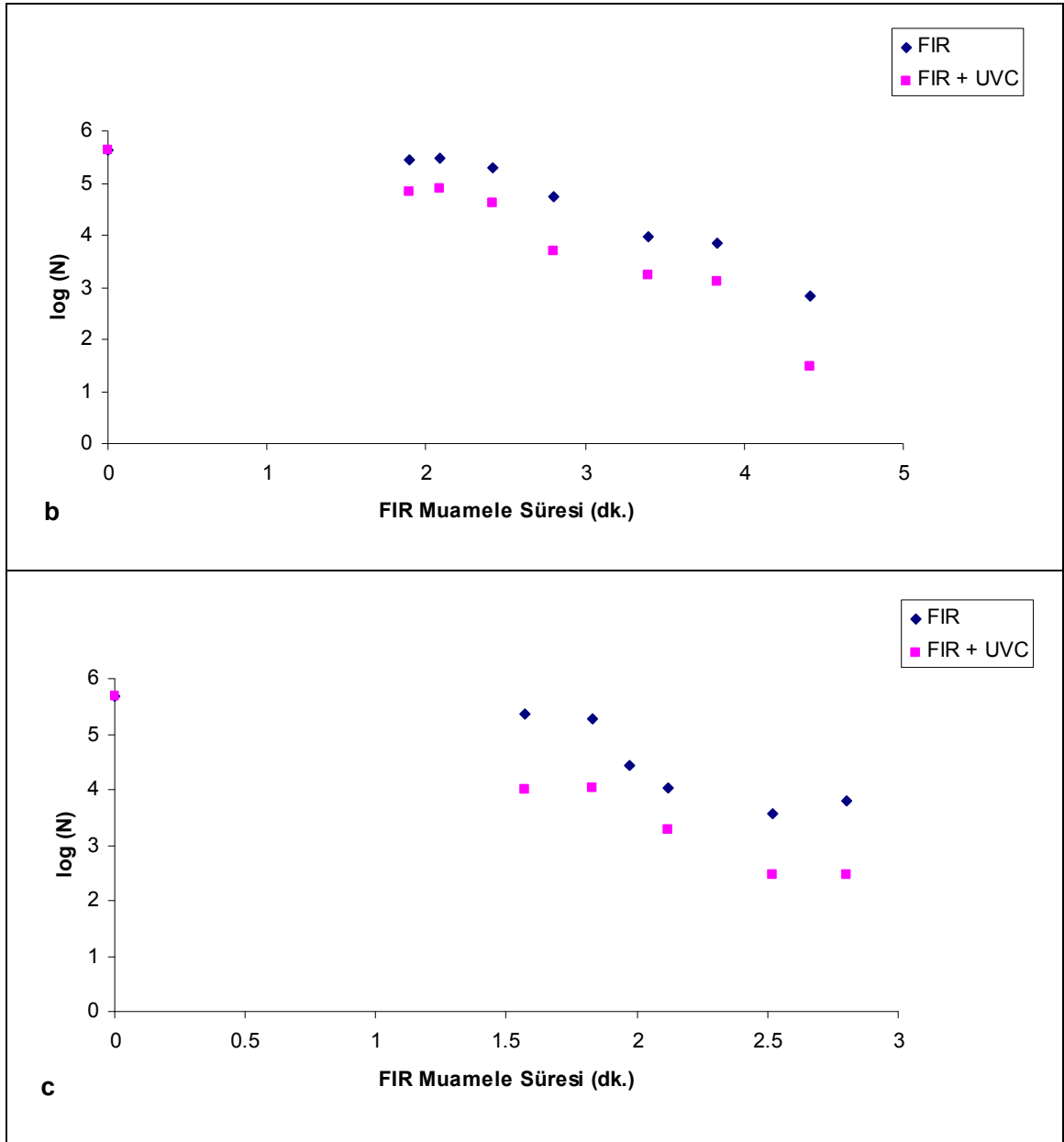


Şekil 4.26. a-b. Farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlarımıza maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumunda FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi 10<sup>4,7</sup> kob/g, b; başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi 10<sup>5,6</sup> kob/g).

UVC ışınların tane kimyon örneklerinin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin azaltılması üzerinde tek başına önemli bir etkisi olmadığı saptanırken, kimyon tanelerinin FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları ardından 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın

şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumunda, tanelerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinde aynı FIR işlem sürelerinde daha fazla azalmalar sağlandığı belirlenmiştir. Şekil 4.27. a-b-c.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5,6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin 3 farklı infrared tünel sıcaklığında sadece FIR ve FIR ardından UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri görölmektedir. Burada yapılan kombine uygulamalar ile 200, 250 ve 300°C infrared tünel sıcaklıklarında, tanelerin aynı işlem sürelerinde sadece FIR ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarına göre sırasıyla 0,76-1,36, 0,6-1,37, 0,54-1,65 logaritmik birim aralıklarında değişen ekstra azalmalar sağlandığı görölmektedir.

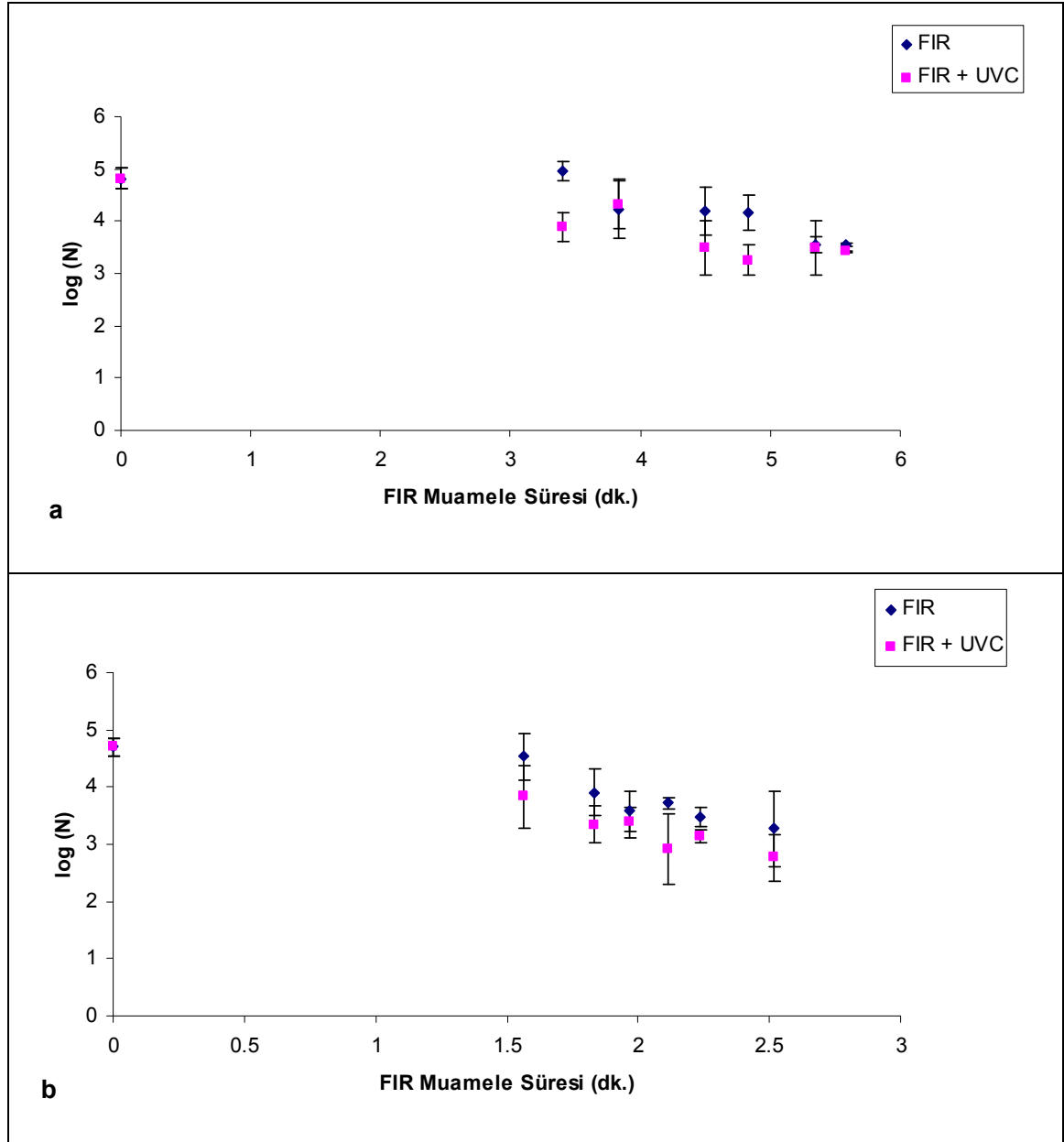




Şekil 4.27. a-b-c. Başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5.6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar a maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).

Benzer durum başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{4.7}$  kob/g olan tane kimyon örneklerine uygulanan kombine işlemd e gözlenmiştir. Şekil 4.28. a-b.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{4.7}$  kob/g olan kimyon örneklerinin 200 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında FIR ve FIR+UVC ışınlar a maruz bırakılmaları

durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri gösterilmiştir. Yine burada da yapılan kombine uygulama ile tanelerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinde örneklerin sadece FIR ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarına göre, aynı FIR işlem sürelerinde daha fazla azalmalar sağlanabildiği görülmektedir.



Şekil 4.28. a-b. Başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{4,7}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri (a; 200, b; 300 °C).

Çalışmada tek başına FIR ve FIR+UVC ışın kombine uygulamalarının, çalışılan tüm sıcaklık-süre kombinasyonlarında, örneklerin içermiş olduğu maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* üzerinde oldukça etkili olduğu, özellikle de kombine uygulama ile tane kimyon örneklerinde bu mikroorganizmalar açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği de belirlenmiştir.

Tane kimyon örneklerinin FIR ışınlara maruz bırakılmaları ardından UVC ışınlara maruz kalmaları durumunda mikrobiyal ölüm üzerinde sağlanan sinerjistik etki, FIR ışın uygulaması sırasında zarar gören mikroorganizmaların UVC ışınlara olan dirençlerinin azalması ve zarar gören mikroorganizmalar üzerinde UVC ışınların daha fazla öldürücü etki sergiliyor olabilmesine bağlanmıştır. Kimyon taneleri gerek FIR gerekse UVC ışınlara maruz bırakılmaları sırasında Petrilere taneler üst üste gelmeyecek şekilde ince bir tabaka halinde yayılmışlardır. Bu nedenle de FIR tünel çıkışında tanelerin sıcaklığı hızla ortam sıcaklığına düşmüş ve ısı olmayan UVC ışın uygulaması sırasında da örneklerin sıcaklığında önemli bir artış meydana gelmediği saptanmıştır. Sonuç olarak, yapılan kombine uygulamada, kimyon tanelerinin FIR ışınlara maruz bırakılmaları sırasında artan sıcaklıklarını, UVC ışınlara maruz bırakılmaları sürecinde belli bir süre daha korumaları gibi bir durum söz konusu olmamıştır. Aksi durumda kombine uygulamalarda tanelerin UVC ışınlara maruz bırakılmaları sırasında örnek mikrobiyal yüklerinde saptanan ekstra azalmalar; sadece UVC ışınların zarar gören mikroorganizmalar üzerinde daha fazla öldürücü etki sergiliyor olması ile ortaya çıkan sinerjistik etkiye bağlı olmayıp, FIR ışın uygulaması sonrasında tane sıcaklığında meydana gelen artışın korunması ile infrared ısıtmanın devam eden ısı inaktivasyon etkisine de bağlı olacaktır.

Hamanaka vd. (2011), taze incirlerde, meyve yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesi ve raf ömrünün arttırılması üzerinde UVC, yakın infrared (NIR) ve UVC ve NIR ışınların birlikte kullanımlarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, kombine uygulama ile meyve raf ömrünün önemli düzeyde arttırılabildiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada ışınların ardarda kullanıldığı kombine uygulamalarda UVC

radıyasyon ve NIR ısıtma uygulama sırasının önemli olmadığı belirtilirken, kombine uygulama sonrasında, meyve yüzey maya-küf populasıyonunda, meyvelerin sadece UVC veya sadece NIR ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarına göre çok daha fazla azalma sağlanabildiği ifade edilmiştir. İncirlerin sadece NIR ışınlarıda maruz bırakılmaları durumunda incir yüzey mikrobiyal yükünün önemli bir kısmını oluşturan ve meyve raf ömrünü sınırlayan mikrobiyal bozulma etmeni *R. mucilagınosa* mayalarında yeterli inhibisyon sağlanamadığı belirtilmiş, bu durum meyvelerin maruz bırakıldığı oldukça kısa NIR ısıtma sürecinde, meyve yüzey sıcaklığının *R. mucilagınosa* mayalarının inhibisyonu için gerekli sıcaklık derecelerine çıkarılamamış olmasına bağlanmıştır. Çalışmada, örneklerin sadece NIR ışınlarıda maruz bırakıldığı oldukça kısa işlem sürelerinde NIR ışınların mikrobiyal ölüm üzerinde termal ölüm etkisi sağlayamadığı, fakat bununla birlikte yapılan kombine uygulamada NIR ışınların mikrobiyal inhibisyonu arttırıcı bir şekilde davrandığı belirlenmiştir. Çalışmada, UVC ışınların mikroorganizma hücre DNA yapısında meydana getirdiği hasar sonrasında organizmanın sahip olduğu DNA hasarı onarım yetisinin, NIR ışın uygulaması ile engellenmiş veya kısmen geciktirilmiş olabileceği ileri sürülmüş ve yapılan kombine uygulama sırasında NIR ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerinde göstermiş olduğu sinerjistik etki bu teoriye dayandırılmıştır. Sonuç olarak yapılan çalışmada NIR ışınların UVC ışınların mikroorganizmalar üzerinde sergilemiş olduğu inhibisyon etkisini arttırıcı şekilde davrandığı ifade edilmiş ve NIR ve UVC ışınların birlikte kullanımının, meyve yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesi ve depolama sürecinde raf ömrünün arttırılmasına yönelik fumigasyon ve kimyasal uygulamalarına alternatif olarak kullanılabilen uygun bir dekontaminasyon yöntemi olabileceği ifade edilmiştir.

Literatürde çeşitli kimyasal uygulamalarının UVC ışın uygulamaları ile birlikte kullanılmaları ile UVC ışınların mikrobiyal inaktivasyon yetisinin arttırılabildiğinin belirtildiği bazı çalışmalar mevcuttur. Ozon, hidrojen peroksit, klor ve klor bazlı kimyasallar gibi bazı dezenfektanların UVC ışınların antimikrobiyal aktivitesi üzerinde sinerjistik etki gösterdikleri belirlenmiştir [Hadjok vd., 2008; Jung vd., 2008]. Murphy vd. (2008), içme sularında *E. coli* inaktivasyonu üzerinde UVC ışınlar ile klor bazlı

dezenfektanların birlikte kullanımının etkisini araştırdıkları çalışmada, kombine uygulama ile sularda daha fazla mikrobiyal azalma sağlanabildiğini belirtmişlerdir. Cho vd. (2006), *Bacillus subtilis* sporları inaktivasyonu üzerinde, ozon ve klor dioksit dezenfektanları ile UVC ışınların tek başlarına veya serbest klor dezenfektan maddesi ile birlikte kullanılmalarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, kombine uygulamalar ile aynı düzeyde inaktivasyon sağlanabilmesi için gerekli işlem süresi ve kullanılan dezenfektan dozlarının azaltılabildiğini, uygulamalar sırasında ortaya çıkan istenmeyen yan ürün oluşumlarının sınırlandırılabilğini ve uygulama maliyetinde azalma sağlandığını belirtmişlerdir.

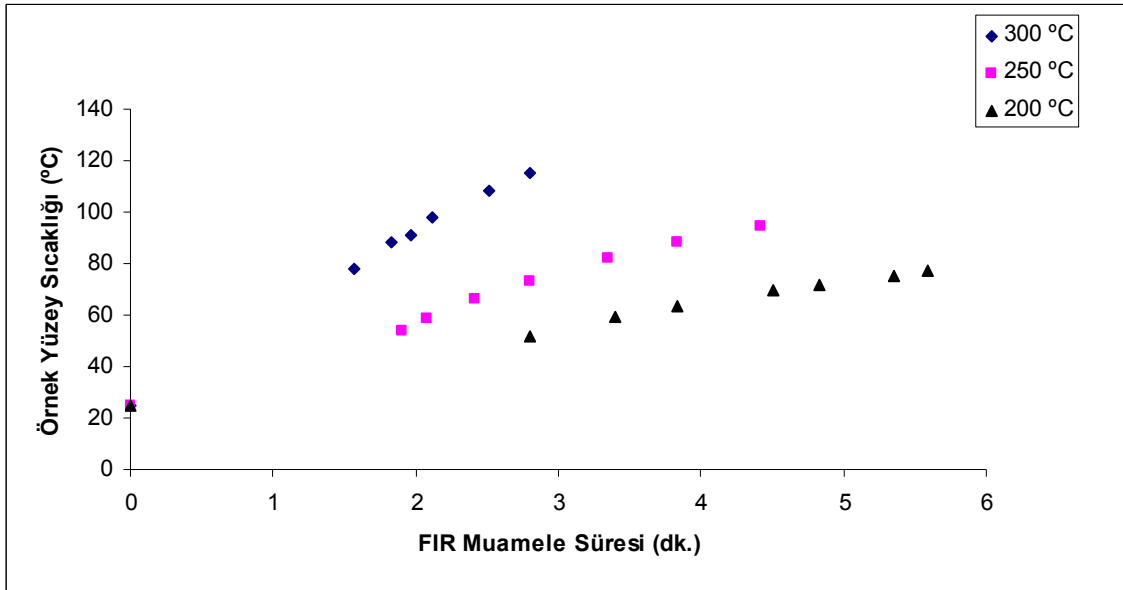
Sonuç olarak UVC ışınların, mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkilerinin UVC uygulamalarının farklı yöntemler ile birlikte kullanılmaları durumunda , incir yüzeyinde gelişim gösteren maya ve küfler, içme sularında *E. coli* dezenfeksiyonu ve *B. subtilis* sporlarının inaktivasyonlarında olduğu gibi, baharatlarda da mikrobiyal yükün düşürülmesi üzerinde çok daha etkili olduğu tesbit edilmiştir.



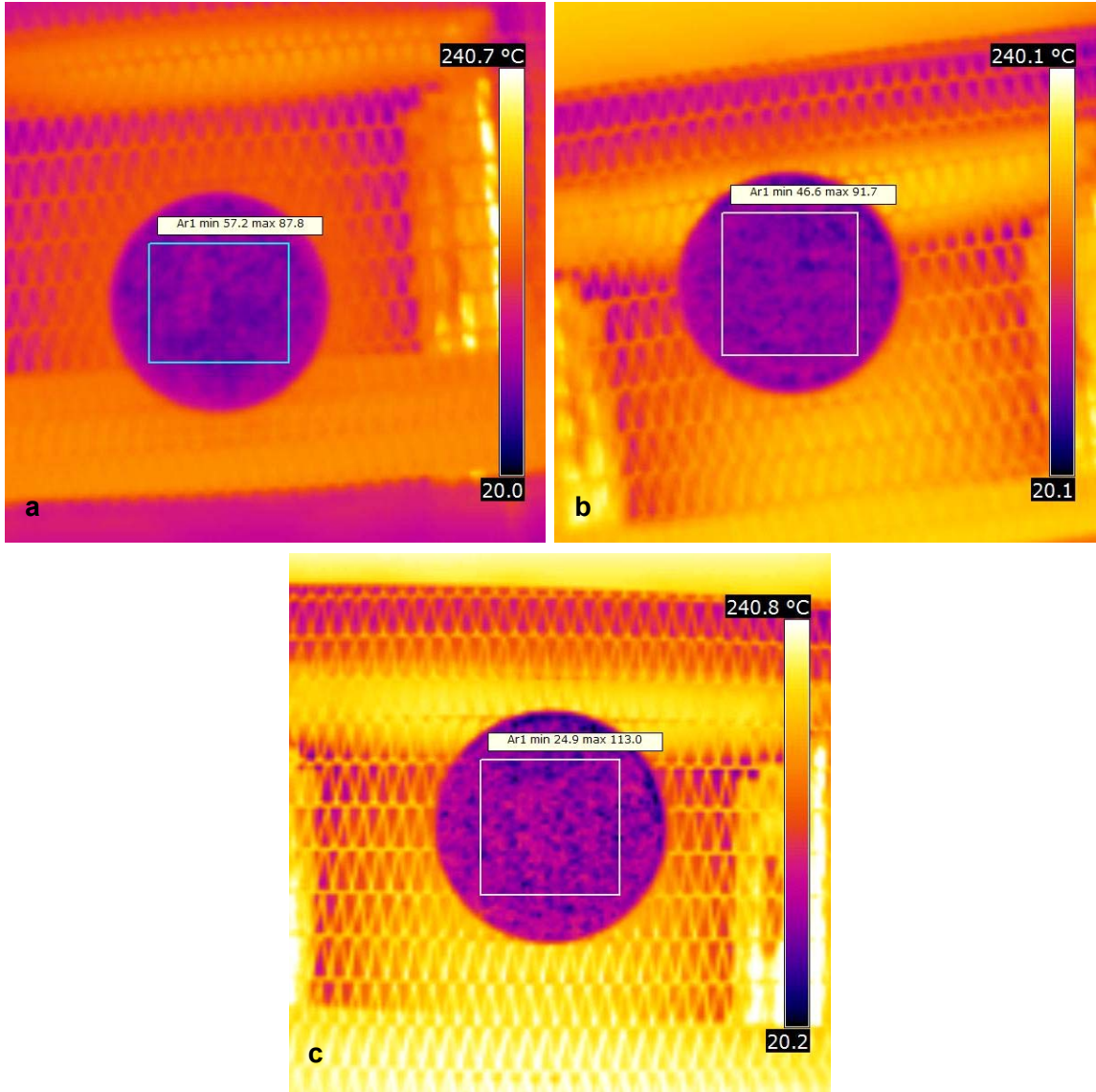
#### 4.2.3. Uzak İnfrared (FIR) Işınlara Maruz Bırakılan Kimyon Örneklerinin Tane Yüzey Sıcaklıklarının Tünel İçerisinde Ayarlan Isıtıcı Yüzey Sıcaklığı İlişkisi

Çalışmada farklı tünel sıcaklıklarında FIR ışınlarına maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin farklı işlem süreleri sonrasında değişen tane yüzey sıcaklık değerleri infrared kamera ile belirlenmiştir. İnfrared kamera ile yapılan sıcaklık ölçümlerinde, öncelikle tünel çıkışına yakın bir bölgede, örneklerin ısı dağılım görüntüleri alınmış ve bu görüntülerin bilgisayar ortamında yapılan analizleri ile örnek yüzey sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.29.' da farklı infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde FIR ışınlarına maruz kalan örneklerin yüzey sıcaklık değerlerindeki değişimler görülmektedir. Şekil 4.30.' da ise 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika işlem süreleri sonrasında infrared kamera ile alınan tane kimyon örnekleri yüzey ısı dağılım görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.29. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen yüzey sıcaklık değerleri.



Şekil 4.30. a-b-c. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika işlem süreleri sonrasında infrared kamera ile alınan örnek yüzey ısıl dağılım görüntüleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).

Yapılan çalışmada farklı infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen örneklerin yüzeyine aktarılan ısı akısı değerleri hesaplanmıştır. 150, 200, 250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında hesaplanan ısı akısı değerleri sırasıyla  $1,391 \pm 0,025$ ,  $2,109 \pm 0,160$ ,  $2,900 \pm 0,019$ ,  $4,157 \pm 0,353$  ve  $6,318 \pm 0,062$  kW/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.4. Tane Kimyon Örneklerinde Fiziksel ve Kimyasal Kalite Özellikleri Üzerinde Uzak İnfrared (FIR) Işınlarmın Etkileri

Çalışmada öncelikle kullanılan tane kimyon örneklerinin su aktivitesi, nem, uçucu ve kalıcı yağ gibi özelliklerinin belirlenmesine yönelik ham madde analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8.' de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Tane kimyon ham madde özellikleri.

Nem (%)	6,67±0,09
Uçucu yağ (%)	2,61±0,16
Kalıcı yağ (%)	14,1±2,2
Su aktivitesi (Su aktivitesi ölçüm cihazı, Novasina TH-500, ile belirlenen)	0,420±0,01
Su aktivitesi (Tuz Kristalleri Erime Yöntemi ile belirlenen)	0,348-0,427 aralığında

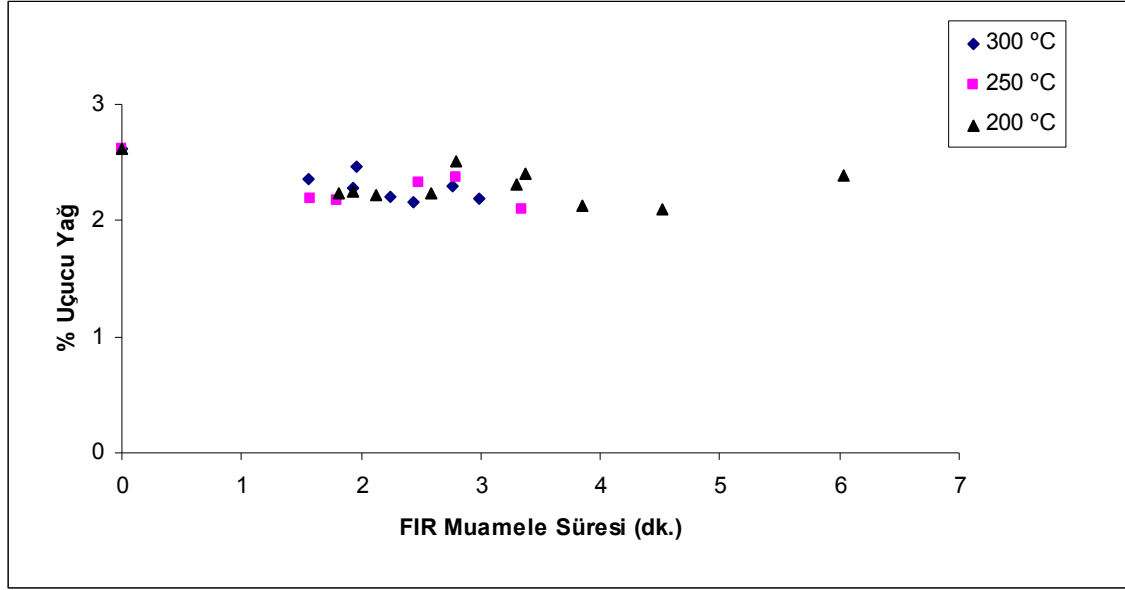
Baharatlara uygulanacak olan bir pastörizasyon işlemi sırasında ürün mikrobiyal yükünde maksimum oranda azalma sağlanırken, fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite özellikleri mümkün olduğunca korunmalı, kayıplar minimum düzeyde tutulmalıdır. Çalışmada FIR ve UVC ışın uygulamalarının tane kimyon örneklerinde mikrobiyal yük yanında örneklerin nem, uçucu yağ, ağırlık ve renk gibi fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

Tane kimyon örneklerinin UVC ışınlara maruz bırakıldığı işlem süresinde örneklerin sıcaklığında önemli bir artış gözlenmemiştir. UVC ışın uygulamaları sonrasında örneklerde önemli bir ağırlık kaybı saptanmamış, yapılan renk analizlerinde uygulamanın renk üzerinde önemli bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir. UVC ışınların termal özelliklerinin bulunmaması ve UVC ışın uygulamalarının ısı olmayan bir muhafaza ve koruma yöntemi olması dolayısıyla, yapılan çalışmada örneklerin UVC ışınlara maruz bırakıldığı süreçte sıcaklık ve ağırlıklarında önemli bir değişimin meydana gelmemesi beklenen bir durum olmuştur. Sonuç olarak çalışmada tane kimyon örneklerinde nem, uçucu yağ ve renk değişimleri ile ağırlık kayıplarının belirlenmesine

yönelik analizler, sadece örneklerin farklı sıcaklık ve süre uygulama koşullarında FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları öncesinde ve sonrasında yapılmıştır.

Baharatların kendilerine özgü karakteristik tat, aroma ve kokuları içermiş oldukları uçucu yağlardan kaynaklanmaktadır ve baharat pastörizasyonuna yönelik yapılacak bir uygulamada baharatın en önemli kalite parametresini oluşturan uçucu yağ miktarında önemli bir kayıp olmaması, uygulamanın kabul edilirliliği açısından önemli olmaktadır.

Çalışmada baharat taneleri oldukça kısa işlem sürelerinde infrared ışınlarımıza maruz bırakılmış, yüzeyde bir pastörizasyon sağlanırken tane iç kısımlarındaki aroma bileşenlerinin mümkün olduğunca korunması amaçlanmıştır. Şekil 4.31.' de farklı infrared tünel sıcaklıklarında, farklı işlem süreleri sonrasında tane kimyon örnekleri uçucu yağ miktarlarında saptanan değişimler görölmektedir. Burada her üç infrared tünel sıcaklığında da tanelerin FIR ışınlarımıza maruz bırakıldığı süreçte, örneklerin uçucu yağ miktarında önemli bir değişim olmadığı görölmektedir. Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği' nde tane kimyon uçucu yağ miktarının % 2 düzeyinin altında olmaması gerektiği belirtilmiştir [Anonim, 2000]. Yapılan çalışmada farklı sıcaklık-süre uygulama koşullarında infrared ışınlarımıza maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin, uygulama sonrasında uçucu yağ miktarlarının tebliğe belirtilen sınırın altına düşmediği görölmüştür. İşlem sırasında baharatın en önemli kalite parametresini oluşturan uçucu yağ miktarının korunuyor olması, uygulamanın pastörizasyon amaçlı kullanımı ve ürün kabul edilirliliği açısından önem taşımaktadır.

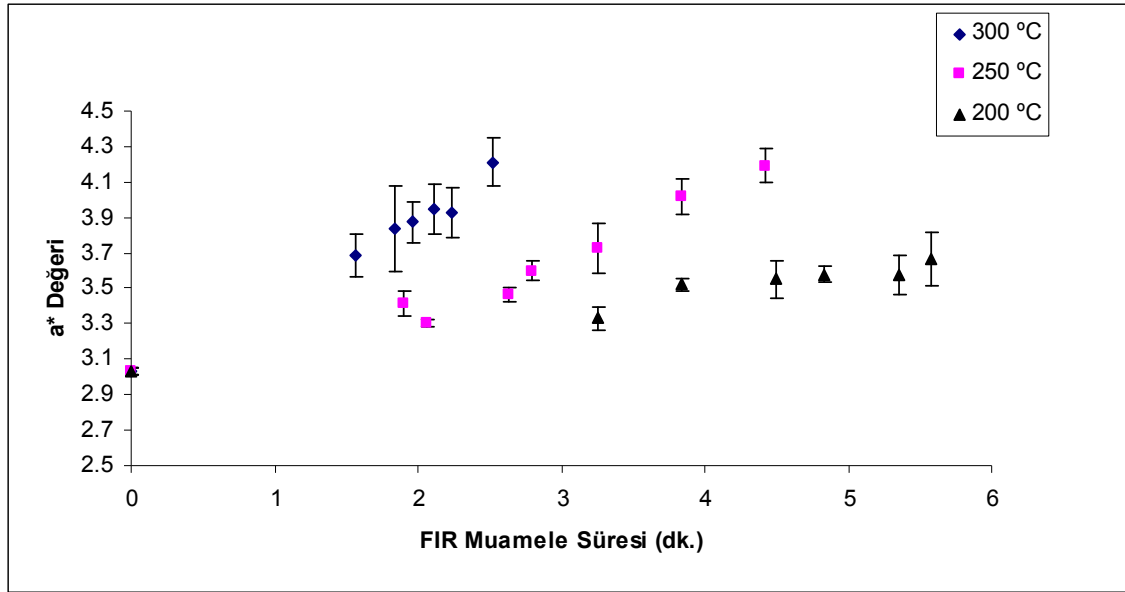


Şekil 4.31. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlarım maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen uçucu yağ miktarları.

Literatürde baharatların uygun sıcaklık-süre koşullarında ısıl işlemlere maruz bırakılmaları ile içermiş oldukları uçucu yağ miktarlarının korunabildiğinin gösterildiği çalışmalar mevcuttur. Lilie vd. (2007), mekanik ve ısıl işlem uygulamalarının tane karabiber örneklerinde mikrobiyal yük yanında örneklerin içermiş olduğu nem ve uçucu yağ miktarı ile uçucu yağ bileşenleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, vakum altında 130 °C sıcaklıkta 20 saniye süresince doğgun buhar ile muamele edilen karabiber tanelerinde oldukça düşük düzeyde uçucu yağ kaybı saptadıklarını belirtmişlerdir.

Chacko vd. (1996), yaptıkları çalışmada, karabiber örneklerinde 100 ile 150 °C aralığındaki fırın sıcaklıklarında 15 ile 30 dakika süresince fırınlama ve farklı güç ayarlarında 30 ile 120 saniye arasında değişen işlem sürelerinde mikrodalga uygulamaları sonrasında örneklerin uçucu yağ miktarında önemli bir kayıp meydana gelmediğini belirtmişlerdir.

Pek çok gıda ve gıda ürününde olduğu gibi baharatlarda da renk, duyuusal kalite özellikleri içerisinde tüketici tercihlerini en fazla etkileyen kalite parametresini oluşturmaktadır. Baharatlara uygulanacak olan bir işlem sırasında rengin mümkün olduğunca korunması gerekmektedir. Çalışmada işlem görmemiş tane kimyon örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk değerleri sırasıyla  $52,48 \pm 0,26$ ,  $3,03 \pm 0,02$  ve  $11,04 \pm 0,22$  olarak ölçülmüştür. FIR ışınların, örneklerin parlaklık ( $L^*$ ) ve sarılık ( $b^*$ ) değerleri üzerinde herhangi bir değişime neden olmadığı belirlenirken, örneklerin sahip olduğu kırmızılık ( $a^*$ ) değerinde uygulama sıcaklık ve sürelerindeki artışlara paralel artış olduğu görülmüştür (Şekil 4.32.).

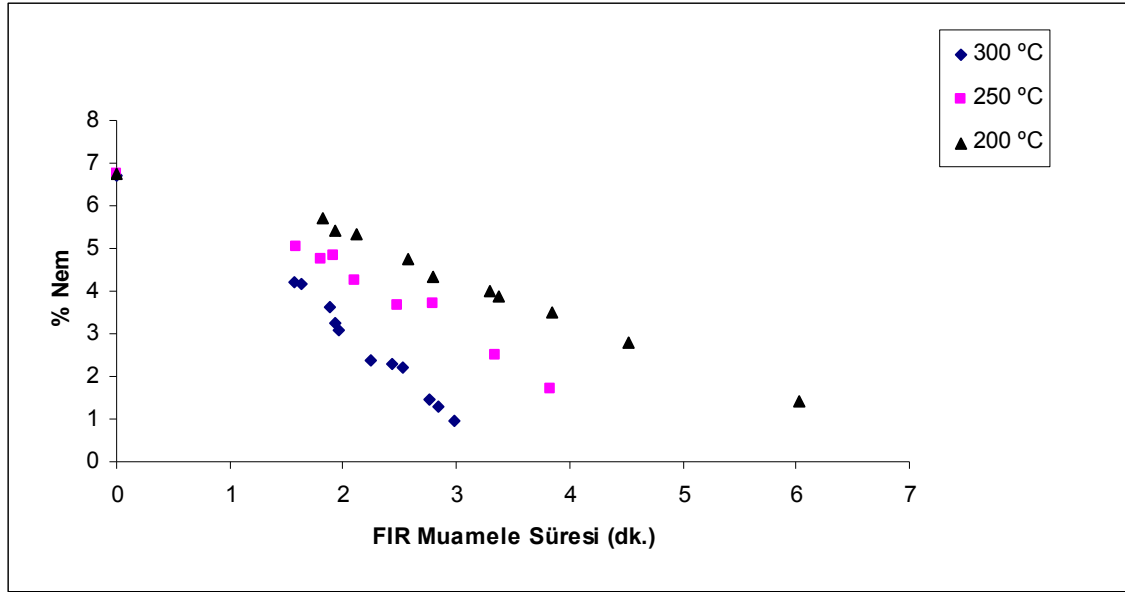


Şekil 4.32. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri.

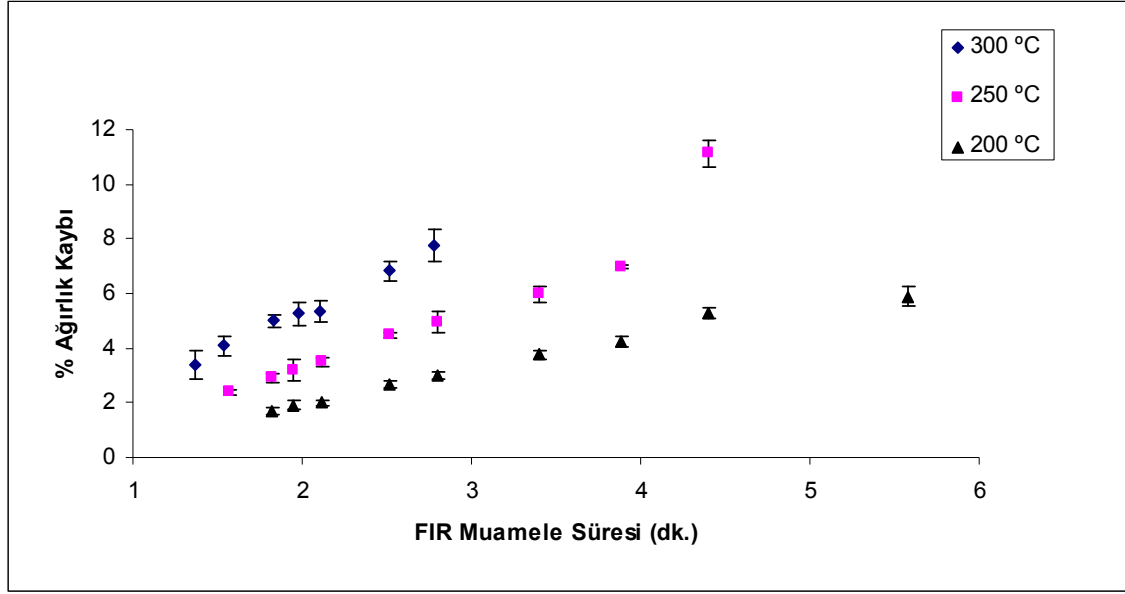
Çalışmada renk üzerinde, sıcaklığın uygulama süresine göre daha etkili olduğu, özellikle de düşük uygulama sıcaklıklarında, uygulama sürelerindeki artışın rengi çok fazla değiştirmedeği belirlenmiştir. 300 °C infrared tünel sıcaklığında 1,57 dakika uygulama süresi sonrasında örneklerin kırmızılık değerinde gözlenen artışa eşdeğer orandaki artış, 200 °C tünel sıcaklığında FIR ışınlarına maruz bırakılan örneklerde 5,58 dakika uygulama süresi sonrasında gözlenmiştir. Şekil 4.32.' de 200 °C uygulama

sıcaklığında uygulama sürelerindeki artışın örneklerin kırmızılık değerinde diğer uygulama sıcaklıklarında gözlenen artışlar yanında önemli bir değişime neden olmadığı görülmektedir.

Baharat taneleri her ne kadar kısa işlem sürelerinde infrared ışınlar maruz bırakılmış olsalar da örneklerin maruz kaldığı FIR ışın uygulama sıcaklık ve sürelerindeki artışlara paralel olarak kimyon tanelerinde nem ve ağırlık kayıpları meydana geldiği görülmüştür. Şekil 4.33. ve 4.34.' te farklı tünel sıcaklıklarında FIR ışınlar maruz bırakılan örneklerde, uygulama sırasında işlem sürelerine bağlı olarak değişen nem değerleri ile ağırlık kayıpları görülmektedir. Tane baharatın nem içeriğinin düşmesi ile baharat taneleri daha sert ve çıtır bir özellik kazanmakta ve bu durum tanelerin öğütülmesi sırasında daha fazla enerji sarfiyatına gereksinim duyulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle öğütme öncesinde baharat tanelerine uygulanacak olan bir işlem sırasında tane nem içeriğinin belli bir düzeyde tutulması gerekmektedir.



Şekil 4.33. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen nem değerleri.



Şekil 4.34. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane kimyon örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağı olarak değışen ağırlık değerleri.

Staack vd. (2008b), kırmızı toz biber örneklerinde infrared ısıtmanın, mikrobiyal dekontaminasyon ve kalite üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, 9 dakika NIR ışın uygulamasının örneklerin nem içeriğinde % 40 oranında kayba neden olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada örneklerin maruz bırakıldığı NIR ışınların enerjileri yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan FIR infrared ışınların sahip olduğu enerji yanında çok daha yüksektir. Örneklerin NIR ışınlarına maruz bırakılmaları durumunda aynı işlem sürelerinde, FIR ışınlarına maruz kalmaları durumuna göre yüzey sıcaklıkları çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşmakta ve bu nedenle NIR ışın uygulamaları sırasında örneklerde çok daha fazla ağırlık ve nem kayıpları meydana gelmektedir.

Baharat pastörizasyonunda infrared ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik yapmış olduğumuz çalışmada düşük enerjili FIR infrared ışınlar kullanılmış, tanelerin oldukça kısa işlem sürelerinde infrared ışınlarına maruz bırakılmaları ile de yüzey sıcaklıklarının çok fazla yükselmesi ve örneklerde yüksek düzeyde nem ve ağırlık kayıplarının meydana gelmesi engellenebilmiştir. Şekil 4.33. ve 4.34.' te 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika işlem süreleri sonrasında

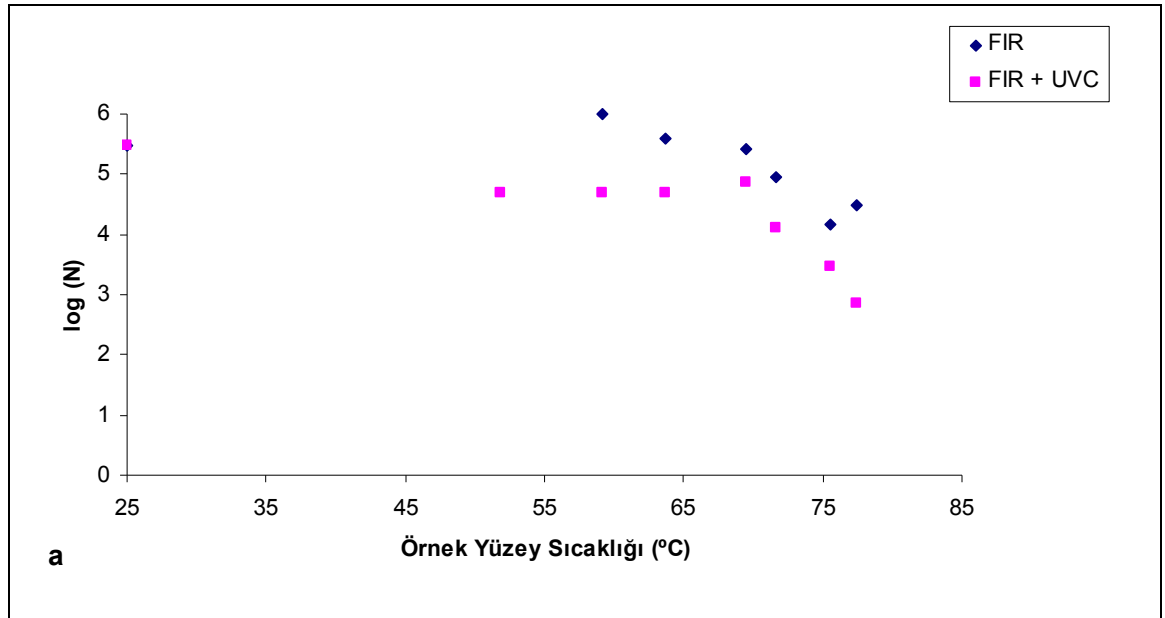


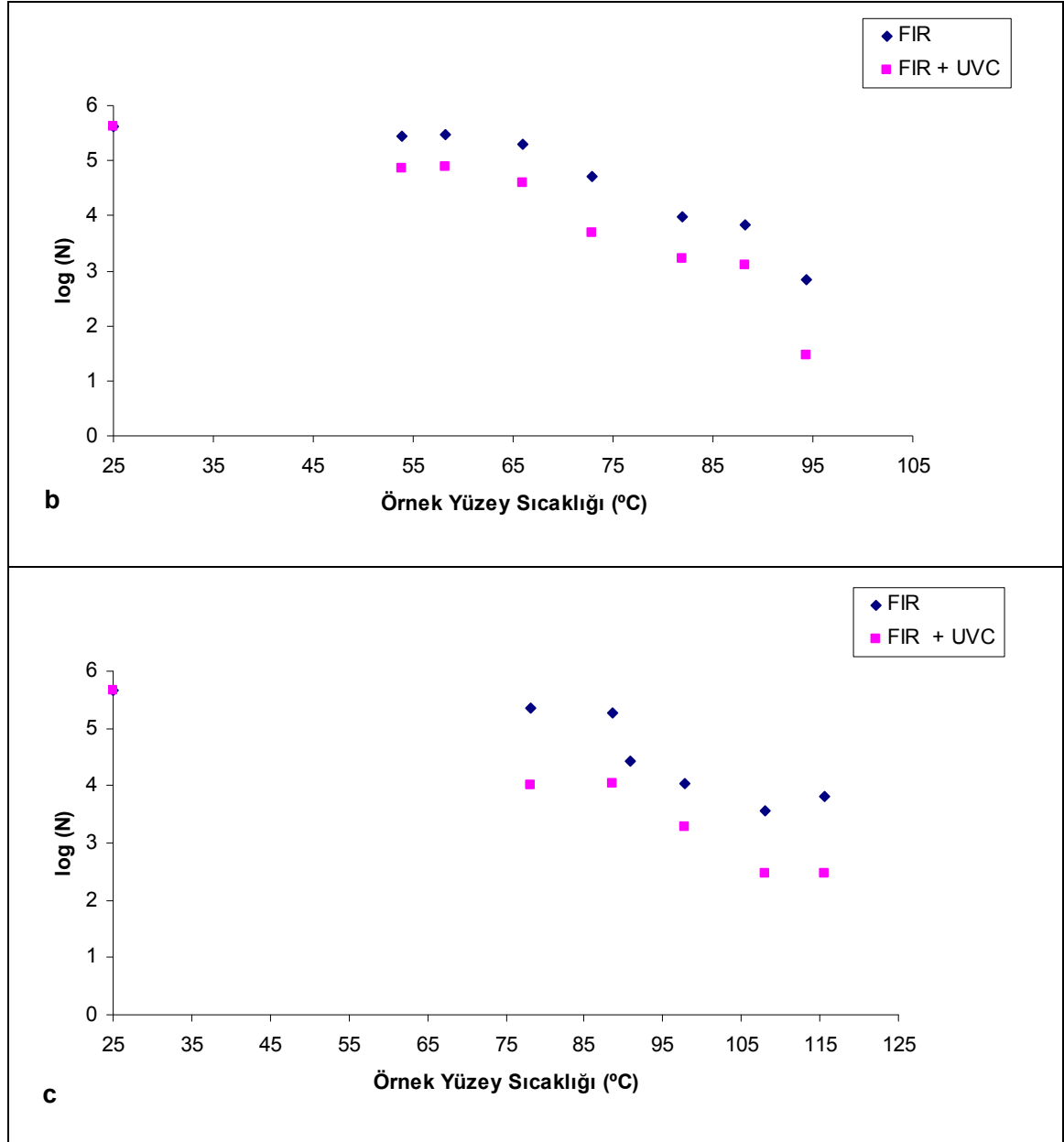
kimyon taneleri nem içeriğinde sırasıyla % 4,13, 3,03 ve 2,52 düzeylerinde kayıplar meydana gelirken, yine aynı sıcaklık-süre kombinasyonlarında örneklerde meydana gelen ağırlık kayıplarının sırasıyla % 5,5, 5 ve 4,1 düzeylerinde olduğu görülmektedir.

Çalışmada tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlarımıza maruz kalmaları ardından UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları ile yapılan kombine uygulamalarda, örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına daha kısa infrared işlem sürelerinde düşürülebildiği belirlenmiştir (Şekil 4.27. a-b-c., Şekil 4.28. a-b.). Örneğin başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5,6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin sadece FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumunda, mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 5,35, 3,40 ve 2,12 dakika işlem süreleri sonrasında düşürülebilirken, kombine uygulama ile hedeflenen düzeye 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika FIR ışın uygulama süreleri sonrasında ulaşılabilirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.27. a-b-c.). Yine benzer şekilde başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{4,7}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin sadece FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumunda 200 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında mezofilik aerobik bakteri düzeyleri hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına sırasıyla 4,83 ve 1,83 dakika uygulama süreleri sonrasında düşürülebilirken, kombine uygulama ile hedeflenen düzeyde azalmanın 3,4 ve 1,56 dakika FIR uygulama süreleri sonrasında sağlanabilirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.28. a-b.).

Yapılan çalışmada kombine uygulamalarda tane kimyon mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye daha kısa FIR uygulama süreleri sonrasında düşürülebilmesine bağlı olarak termal özellikteki infrared ışınların baharat tanelerinde neden olduğu sıcaklık artışlarının sınırlandırılabilirdiği, kombine uygulama ile, tane yüzey sıcaklıklarında, örneklerin sadece FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumuna göre, daha düşük düzeylerde artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 4.35. a-b-c.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5,6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında, sadece FIR ve FIR ardından UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile yüzey sıcaklık değişimleri

bir arada gösterilmiştir. Burada örneklerin tünele beslendiği her 3 infrared tünel sıcaklığında da, mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürüldüğü kombine uygulamalarda, tane yüzey sıcaklarının, örneklerin sadece FIR ışınlarına maruz bırakılmaları durumuna göre daha düşük sıcaklık değerlerine erişmiş olduğu, yapılan kombine uygulamalarda örnek mikrobiyal yükünde hedeflenen düzeyde azalmanın tanelerin daha düşük yüzey sıcaklık derecelerine ulaşması durumunda sağlanabildiği görülmektedir.

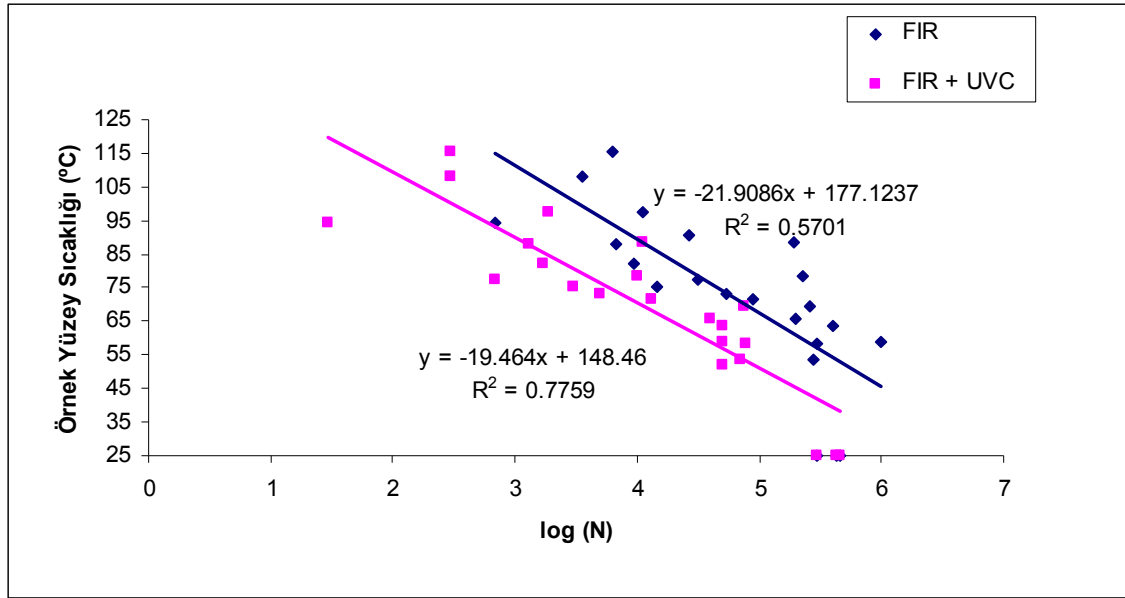




Şekil 4.35. a-b-c. Tane kimyon örneklerinin 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarımara maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane yüzey sıcaklık değerleri (a; 200, b; 250, c; 300 °C).

Şekil 4.36.' da ise tane kimyon örneklerinin sadece FIR ve FIR+UVC ışınlarımara maruz bırakılmaları durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişki, örneklerin infrared tünele beslendiği tünel sıcaklıklarından bağımsız olarak gösterilmiştir. Burada örneklerin mezofilik aerobik

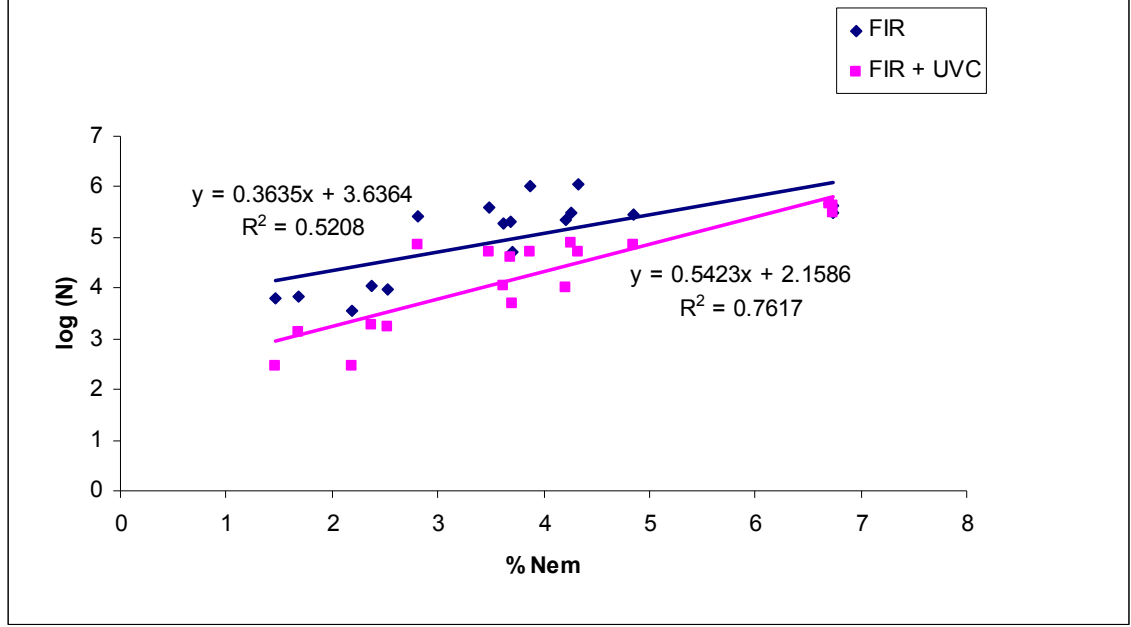
bakteri yoğunluğunun hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürüldüğü kombine uygulamada tane yüzey sıcaklığının yaklaşık 71 °C olduğu, örneklerin sadece FIR ışınlar maruz bırakılmaları durumunda ise tane mezofilik aerobik bakteri yoğunluğunun  $10^4$  kob/g sınırına düşürüldüğü FIR uygulama süresi sonunda, tane yüzey sıcaklığının yaklaşık 89,5 °C düzeyinde olduğu görülmektedir. Sonuç olarak yapılan kombine uygulamalarda, tane kimyon örneklerinin FIR ışınlar maruz bırakılmaları ardından UVC ışınlar maruz bırakılmaları ile, örnek yüzeyinde mikrobiyal dekontaminasyon için gerekli FIR ışın uygulama sürelerinin kısalmasına bağılı olarak, örneklerin yüzey sıcaklıklarında çok fazla artış olmadan, yüzey dekontaminasyonunun sağlanabildiği görülmüştür.



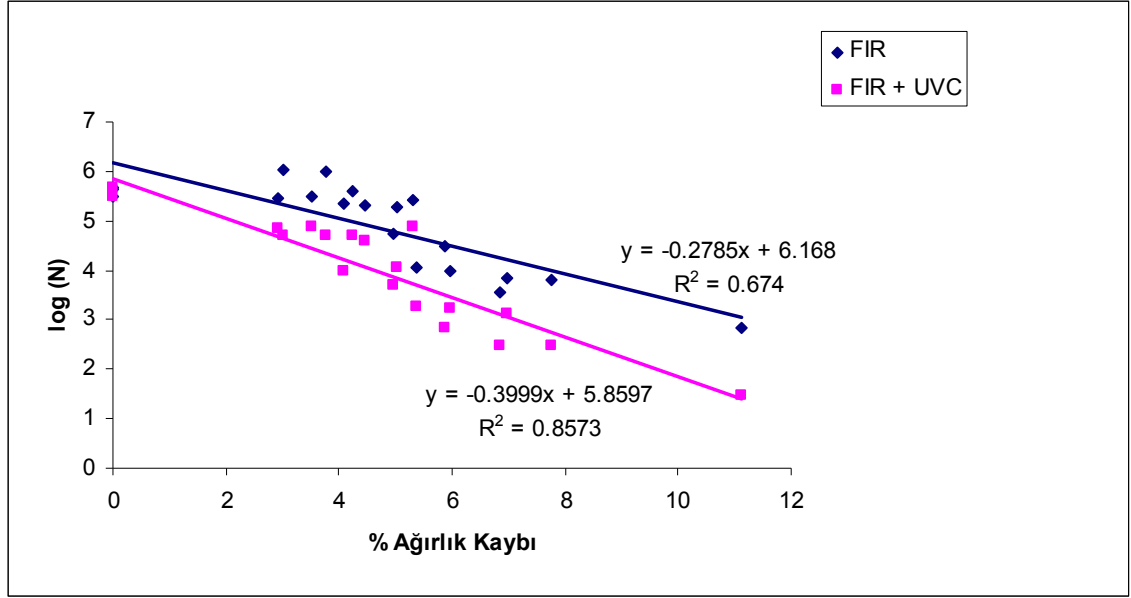
Şekil 4.36. Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlar maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağılı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane yüzey sıcaklık değerleri arasındaki ilişki.

FIR+UVC ışın kombine uygulamaları ile örneklerin FIR ışınlar maruz kalma işlem sürelerinin kısaltılabilmesi, infrared ışın uygulamaları sırasında örneklerde meydana gelen sıcaklık artışlarının neden olduğu; fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite özelliklerinde ortaya çıkan kayıpların önlenmesi veya sınırlandırılması bakımından önemli olmaktadır. Şekil 4.37., 4.38. ve 4.39.' da tane kimyon örneklerinin sadece FIR

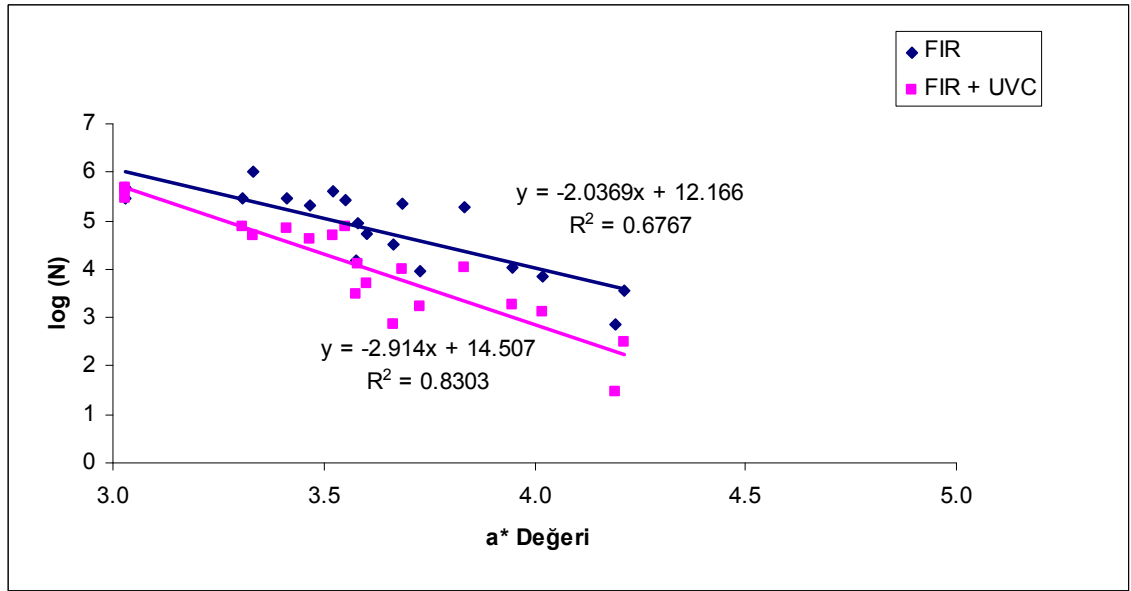
ve FIR ardından UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile renk, nem ve ağırlık değişimleri arasındaki ilişkiler görülmektedir.



Şekil 4.37. Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile nem değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 4.38. Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarımara maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile ağırlık kayıpları arasındaki ilişki.



Şekil 4.39. Tane kimyon örneklerinin sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarımara maruz bırakılmaları durumlarında örneklerin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık (a\*) değerleri arasındaki ilişki.

Çalışmada kombine uygulama ile tane kimyon örnekleri nem miktarının daha iyi korunabildiği ve örnek ağırlıklarında da daha az oranda kayıplar meydana geldiği saptanmıştır. Şekil 4.37.' de tane kimyon örneklerinin sadece FIR ve FIR+UVC ışınlarım maruz bırakılmaları durumlarında değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile nem miktarları arasındaki ilişki görölmektedir. Burada kombine uygulama ile örneklerin içermiş olduğu nem miktarında daha düşük düzeyde azalma meydana geldiği görölmektedir. Şekil 4.38.' de ise kombine uygulama ile tane kimyon örnekleri mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürölmesi durumunda örnek ağırlığında yaklaşık % 4,7 oranında kayıp meydana geldiği, tanelerin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılmaları durumunda ise ağırlık kaybının yaklaşık % 7,8 düzeyinde olduğu görölmektedir.

Çalışmada kombine uygulama ile örnek renginin de daha iyi bir şekilde korunabildiği, renkte daha az oranda kırmızılık artışı ve koyulaşma meydana geldiği belirlenmiştir. Şekil 4.39.' da tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürölldüğu FIR+UVC ışın kombine uygulamasında örneklerin kırmızılık değerinin yaklaşık 3,61 olduğu, tanelerin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılması durumunda ise örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeyinin  $10^4$  kob/g olması durumunda kırmızılık değerlerinin yaklaşık 4,01 olduğu görölmektedir.

Sonuç olarak yapılan kombine uygulamalarda örnek mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye daha kısa FIR uygulama süreleri sonrasında düşüröllebilmesine bağlı olarak, tane yüzey sıcaklıklarında daha düşük düzeylerde artışlar meydana gelirken, tanelerin fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri daha iyi bir şekilde korunabilmiştir.

Literatürde yapmış olduğumuz çalışmada elde ettiğimiz bulgularım paralel olarak, UVC ışın uygulamaları ile ısıl işlem uygulamalarının bir arada kullanılmaları ile ısıl işlem uygulama sürelerinin kısaltılmasıyla, ısıl işlemler sırasında üründe meydana gelen sıcaklık artışlarının sınırlandırılabilildiği ve böylece, ürün kalite özelliklerinde daha az

kayıpların meydana geldiğinin belirtildiği çalışmalar mevcuttur.

Hamanaka vd. (2010), NIR ve UVC ışınların, portakal kabuğu yüzeyinden izole ettikleri meyve ve sebzelerde depolama sürecinde mikrobiyal gelişim dolayısıyla çürümelere neden olduğu belirtilen *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Rhizopus* ve *Byssochlamys* küf sporları üzerindeki inaktivasyon etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, kombine NIR+UVC ışın uygulamasının besiyeri yüzeyine inokule edilen küf sporları üzerinde oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada kombine uygulama ile örneklerin NIR ışınlara maruz kalma sürelerinin kısaltılması ile meyve yüzey sıcaklığında çok fazla artış olmadan, yüzey dekontaminasyonun sağlanabildiği ve yapılan kombine uygulamanın pek çok meyvede, meyve raf ömrünün arttırılmasına yönelik etkili bir yöntem olarak kullanılabilme potansiyeli bulunduğu belirtilmiştir.

UVC ve ısıl işlem uygulamalarının kombine kullanımlarının depolama sürecinde çilek raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan bir çalışmada, çilek örnekleri 4,1 kJ/m<sup>2</sup> ışın dozunda UVC ışınlara maruz bırakılmış ve ardından 45 °C sıcaklıkta 3 saat süresince sıcak hava akımında bekletilmiştir. Çalışmada yapılan kombine uygulamanın çileklerde depolama sürecinde kalite parametrelerinin korunması üzerinde işlemlerin ayrı ayrı uygulanmaları durumlarına göre çok daha etkili olduğu belirtilmiştir [Pan vd., 2004].

Marquenie vd. (2002), meyvelerde bozulma etmeni *Botrytis cinerea* ve *Monilinia fructigena* küflerinin inaktivasyonu üzerinde farklı dozlarda UVC ışın uygulamaları ile 35-48 °C sıcaklık aralığında yapılan ısıl işlem uygulamalarının ayrı ayrı veya kombine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, kombine uygulama ile küf inaktivasyonu için gerekli UVC ışın dozu ve sıcaklık-süre işlem parametrelerinin azaltılabildiğini ifade etmişlerdir.

Yine yapılan bir diğer çalışmada narenciyelerde yüzey mikrobiyal yükün azaltılması ve meyve raf ömrünün arttırılması üzerinde infrared ışınların etkileri



araştırılmış, infrared ışınların meyvelerde renk değişimi ve yumuşamaya neden olduğu belirlenmiş ve uygulamanın ısıl olmayan bir dekontaminasyon yöntemi ile birlikte kullanımı durumunda, meyvelerin absorbe edeceği termal enerjinin azalmasıyla birlikte infrared ışın uygulamaları sırasında meydana gelecek kalite kayıplarının azaltılabileceği ifade edilmiştir [Uchino vd., 2004].

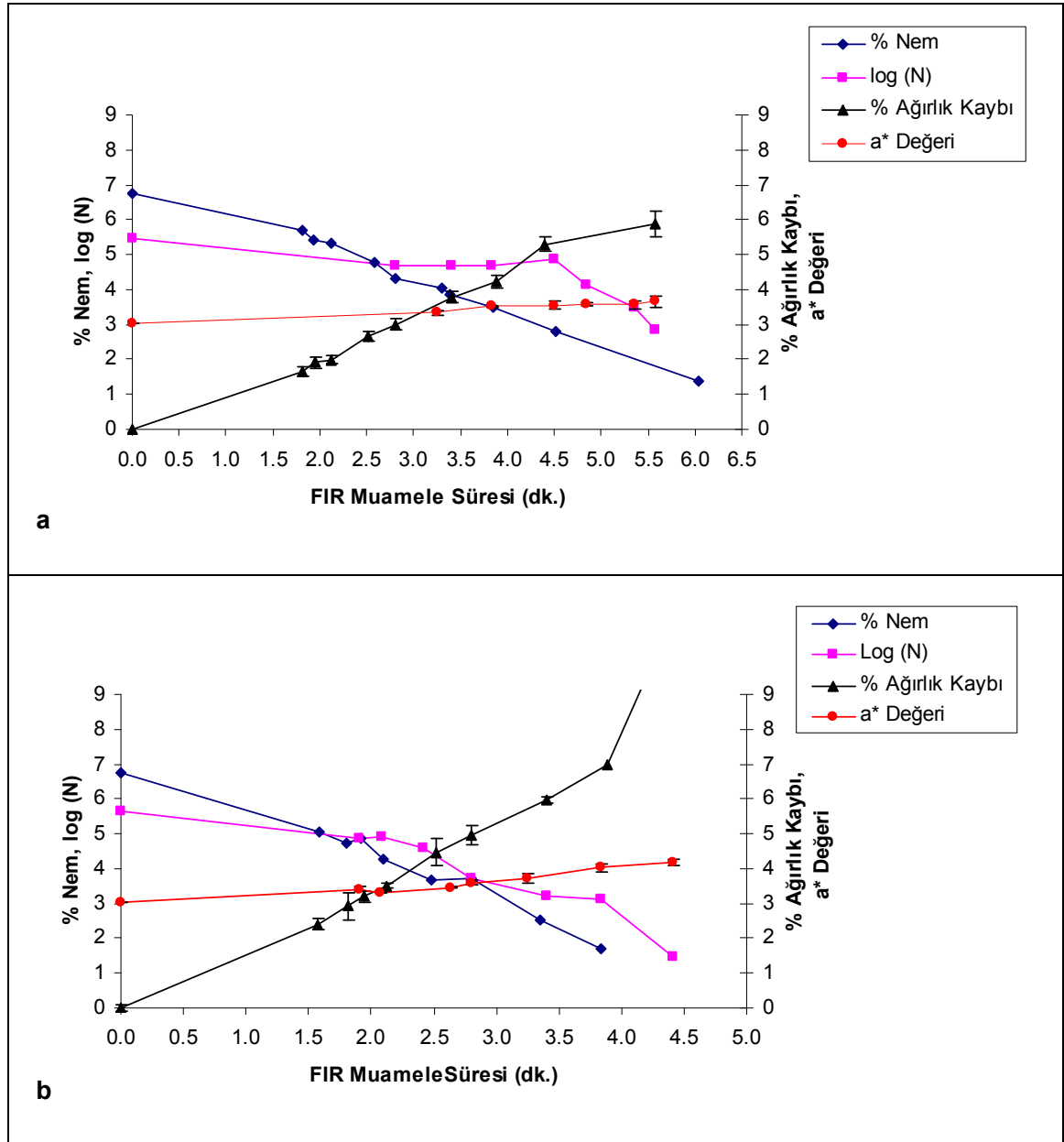
4.2.4.1. FIR+UVC ışınların kombine uygulamaların tane kimyon örneklerinde mikrobiyal yük, renk, nem ve ağırlık kayıpları üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi

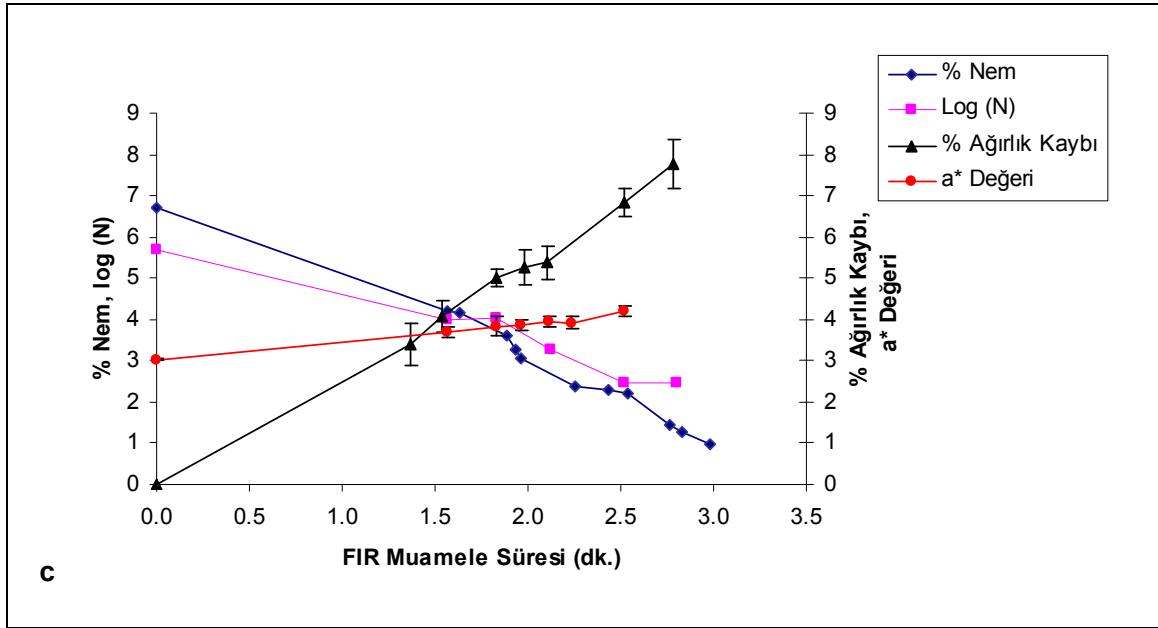
Baharat pastörizasyonuna yönelik yapmış olduğumuz çalışmada esas amaç, tane baharat örneklerinin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri yoğunluğunun  $10^4$  kob/g düzeyine veya bu sınırın altına indirilmesi olmakla birlikte, baharat pastörizasyonuna yönelik yapılacak olan bir uygulamada mikrobiyal açıdan güvenli ürün elde edilirken, yapılan uygulamanın ürün kabul edilirliliğini etkileyen fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerinde göstermiş olduğu değişimlerin de bir arada incelenerek değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada UVC ışınların, baharat örneklerinde mezofilik aerobik bakteri ve toplam maya-küf popülasyonlarının azaltılmasına yönelik tek başına etkili bir yöntem olmadığı, fakat bununla birlikte ışınların örnek bünyesinde bulunan koliform grup bakteriler üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir (Bölüm 4.2.2.1. Mikrobiyal yük üzerinde kısa dalga ultravirole (UVC) ışınların etkileri). Tane kimyon örneklerinin FIR ışınlara maruz bırakılmaları durumunda ise örneklerin içermiş olduğu maya-küf düzeyinde önemli oranda azalma sağlanmış, 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında başlangıç maya-küf yoğunluğu yaklaşık  $10^{3,1}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin sırasıyla 1,57, 1,9 ve 2,8 dakika uygulama süreleri sonrasında içermiş oldukları maya-küf popülasyonunun tamamen sıfırlandığı belirlenmiştir (Bölüm 4.2.2.2. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared (FIR) ışınların etkileri). Örneklerin farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlara maruz bırakılmaları ardından sabit ışın

şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz kalmaları şeklinde yapılan kombine uygulamalarda ise FIR+UVC ışınların çalışılan tüm sıcaklık-süre kombinasyonlarında örneklerin içermiş olduğu maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* üzerinde oldukça etkili olduğu ve yapılan kombine uygulamalar sonrasında tane kimyon örneklerinde bu mikroorganizmalar açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir (Bölüm 4.2.2.3. Mikrobiyal yük üzerinde uzak infrared ve kısa dalga ultraviöle ışınların kombine etkileri (FIR+UVC)).

Şekil 4.40. a-b-c.' de tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklık ve sürelerde FIR infrared ışınlarına maruz kalmaları ardından  $10,5 \text{ mW/cm}^2$  sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları şeklinde uygulanan kombine işlemlerin, örneklerin mezofilik aerobik bakteri, nem, ağırlık ve renk gibi kalite özellikleri üzerindeki etkileri bir arada gösterilmiştir. Şekillerde N; kob/g, örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerindeki değişimleri ifade etmektedir. Kombine uygulamalarda çalışılan tüm sıcaklık-süre uygulama koşullarında, tane kimyon örneklerinin içermiş olduğu diğer mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarında tam bir sterilizasyon sağlandığı belirlenmiş ve pastörizasyonda asıl amaç tanelerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin  $10^4$  kob/g ve/veya bu değerin altına düşürülmesi olmuştur.





Şekil 4.40. a-b-c. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin FIR işlem sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyi, nem miktarı, ağırlık kaybı ve kırmızılık (a\*) değerleri (a; 200 °C, b; 250 °C, c; 300 °C).

Şekil 4.40. c.' de tane kimyon örneklerinin 300 °C infrared tünel sıcaklığında yaklaşık 1,57 dakika FIR ışınlarına maruz kalmaları ardından 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları ile örneklerin içerdiği mezofilik aerobik bakteri sayısının hedeflenen 10<sup>4</sup> kob/g düzeyine düşürülebildiği, bu sırada ağırlık kaybı, nem içeriği ve renk (a\*) değerinin sırasıyla % 4,1, % 4,2 ve 3,69 olduğu görülmektedir. Burada kimyon örneklerinin maruz bırakıldığı infrared işlem süresinin artırılması ile mikrobiyal yükün hedeflenen düzeyin daha da altına indirilebileceği, fakat bu durumda örneklerin nem içeriğinin azalmasıyla birlikte örnek ağırlıklarında önemli düzeyde kayıp meydana geleceği görülmektedir.

250 °C infrared tünel sıcaklığında yapılan kombine uygulamada ise örneklerin içerdiği mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen 10<sup>4</sup> kob/g sınırına yaklaşık 2,8 dakika uygulama süresi sonrasında ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.40. b.). Bu sıcaklık-süre kombinasyonunda yapılan uygulama sonrasında tane örneklerin ağırlık

kaybı, nem içeriği ve renk ( $a^*$ ) değeri sırasıyla % 5, % 3,7 ve 3,60 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kimyon tanelerinin yüksek infrared tünel sıcaklıklarında FIR ışınlarıda maruz kalmaları durumunda, uygulama sürelerinin kısalmasına bağlı olarak kalite özelliklerinin daha iyi korunabildiği gözlenmiştir. 200 °C infrared tünel sıcaklığında, örneklerin mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye indirilebilmesi için gerekli uygulama süresinin (4,8 dakika) artmasıyla birlikte kalite parametrelerinde önemli düzeylerde kayıplar meydana gelmiştir. Tane kimyon örneklerinde en fazla nem ve ağırlık kaybı ile tane kırmızılık değeriindeki artış, 200 °C uygulama sıcaklığında görülmüştür.

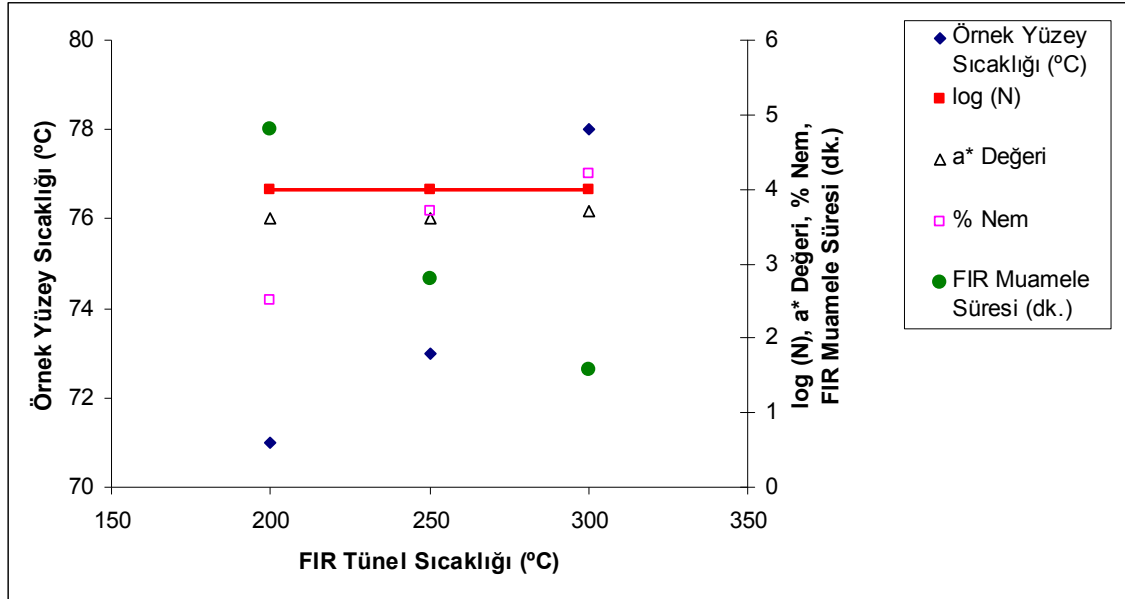
Şekil 4.40. a-b-c.' de yapılan kombine uygulamalar ile tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri sayısının hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği 3 farklı infrared tünel sıcaklığında, FIR muamele sürelerine bağlı olarak belirlenen renk, % nem ve örnek yüzey sıcaklık değeri Çizelge 4.9.' da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 200, 250 ve 300 °C infrared tünel sıcaklıklarında yapılan kombine uygulamalarda mezofilik aerobik bakteri sayısının  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği 4,8, 2,8 ve 1,57 dakika FIR muamele süreleri sonrasında tane kimyon örneklerinin belirlenen kırmızılık ( $a^*$ ), nem ve yüzey sıcaklık değeri.

FIR Tünel Sıcaklığı (°C)	FIR Muamele Süresi (dk.)	log (N)	Kırmızılık ( $a^*$ ) Değeri	% Nem	Örnek Yüzey Sıcaklığı (°C)
200	4,8	4	3,59	2,5	71
250	2,8	4	3,60	3,7	73
300	1,57	4	3,69	4,2	78

Çizelge 4.9.' da belirtilen değeriğin grafiğe geçirilmesi ile Şekil 4.41. elde edilmiştir. Şekil 4.41.' de örneklerin infrared tünele beslendiği tünel sıcaklıklarındaki artışlara paralel olarak tane yüzey sıcaklıklarında artış olduğu ancak hedeflenen pastörizasyon normuna ( $\leq 10^4$  kob/g) ulaşılmaması için daha kısa FIR muamele sürelerinin yeterli olabildiği görülmektedir. Şekilde ayrıca tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri sayısının, hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyinde olması durumunda; örnek kırmızılık ( $a^*$ ) değeriğin yaklaşık 3,6 olduğu, örnek nem içeriğinin % 2,5 ile 4,7 aralığında değişim gösterdiği ve örneklerin düşük infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenmeleri durumunda, FIR muamele sürelerindeki artışlara paralel olarak örnek nem

içeriğinde daha fazla kayıplar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.41. Farklı infrared tünel sıcaklıklarında yapılan kombine uygulamalarda tane kimyon örneklerinin beslendiği infrared tünel sıcaklıklarına bağlı olarak değişen örnek yüzey sıcaklığı, mezofilik aeobik bakteri düzeyi, kırmızılık (a\*) ve nem değerleri ile örneklerin FIR ışınlar a maruz kaldığı FIR muamele süreleri.

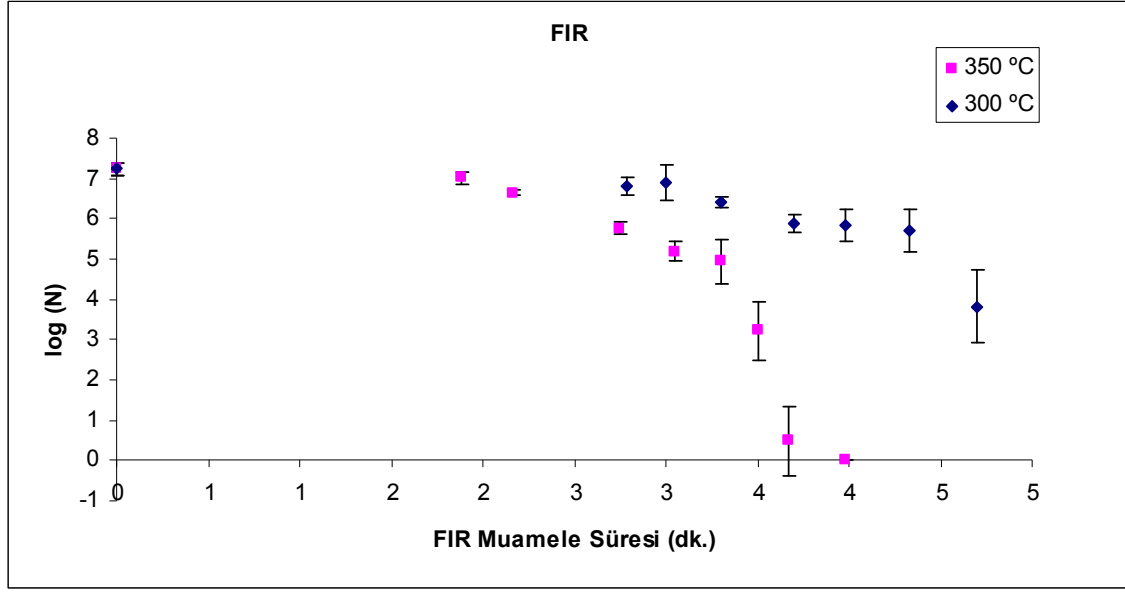
Sonuç olarak çalışmada, tane kimyonun özellikle de işlenebilirlik ve ticari değerlendirilebilirlik açasından önem taşıyan ağırlık değerışimlerinin istenilen düzeylerde tutulabildiği, mikrobiyal yük açasından hedeflenen düzeyde pastörize baharat eldesinin mümkün olabileceği ve farklı sıcaklık ve uygulama süreleri sonrasında arzu edilen renk ve nem değerlerinde pastörize ürün elde edilebileceği belirlenmiştir.

#### 4.2.5. Tane Karabiber Örnekleri Mikrobiyal Yükü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviyole (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınlarmn ile FIR+UVC Işınlarmn Kombine Etkileri

Yapılan ön denemeler, tane kimyon örneklerinde olduğu gibi tane karabiber örneklerinde de örneklerin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf miktarları üzerinde tek başına UVC ışın uygulamalarının önemli bir etkisinin olmadığını göstermiş ve çalışmada tek başına FIR ve FIR+UVC ışınların kombine etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır.

FIR ışınların tane karabiber örnekleri mikrobiyal yükü üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada iki farklı infrared tünel sıcaklığında çalışılmıştır (300-350 °C). Yapılan ön denemeler 300 °C infrared tünel sıcaklığında 4 dakikadan daha kısa uygulama sürelerinde, örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinde önemli bir değişim olmadığını göstermiştir. Tane karabiber örneklerinin 300 °C' den daha düşük infrared tünel sıcaklıklarında FIR ışınlara maruz bırakılmaları durumunda uygulama sürelerinin çok fazla artacağı ve bu durumda örneklerin fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerinde önemli düzeyde kayıp meydana gelebileceği düşüncesiyle, tane karabiber örnekleri ile 300 °C infrared tünel sıcaklığının altında çalışılmamıştır.

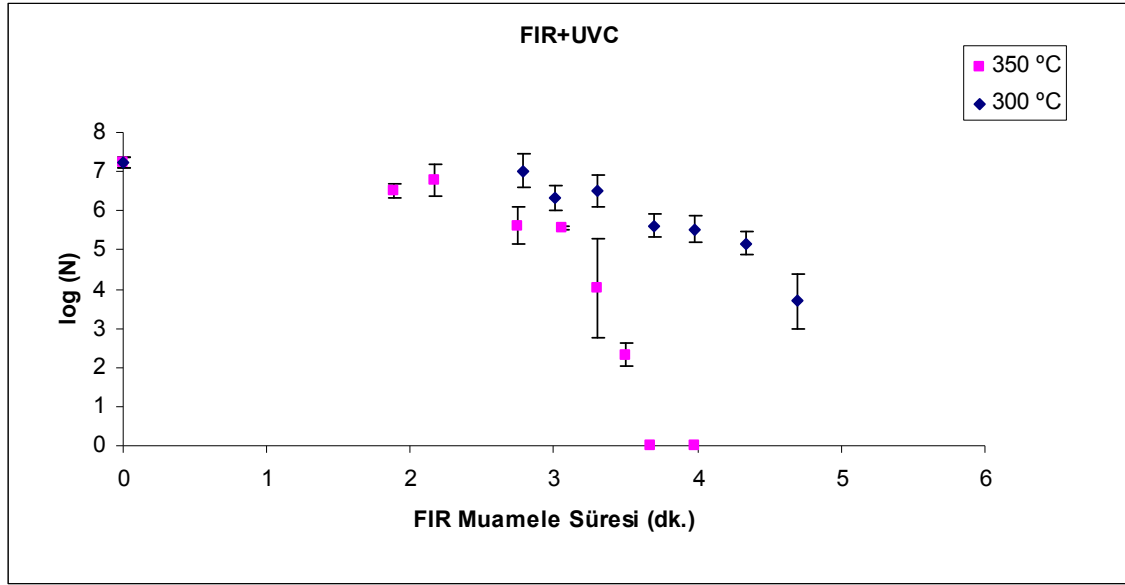
Şekil 4.42.' de 300 ve 350 °C sıcaklıklarda farklı sürelerde infrared ışınlara maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeylerindeki değişimler görülmektedir. Elde edilen sonuçlar 300 °C infrared tünel sıcaklığında yaklaşık 4,5, 350 °C infrared tünel sıcaklığında ise 3,5 dakika işlem sürelerinde tane karabiber mezofilik aerobik bakteri sayılarının hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine indirilebildiğini göstermiştir.



Şekil 4.42. 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.

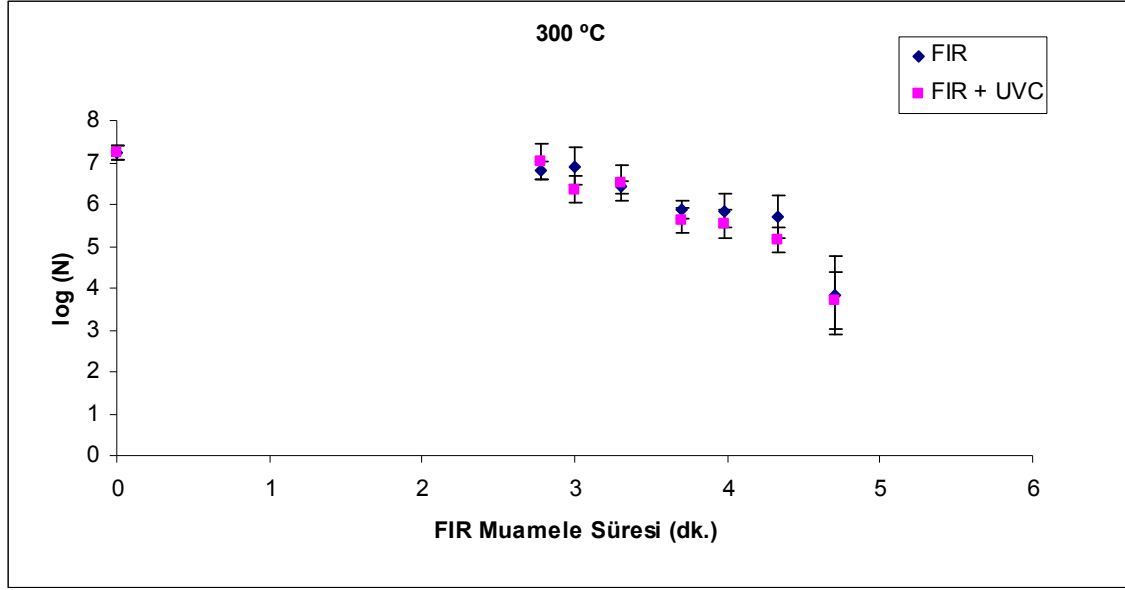
FIR+UVC kombine uygulamasının tane karabiber mikrobiyal yükü üzerine etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada, farklı sıcaklık ve sürelerde infrared ışınlar maruz bırakılan örnekler tünel çıkışında 2 saat süresince 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlar maruz bırakılmışlardır. Şekil 4.43.' te kombine uygulamanın tane karabiber örneklerindeki mezofilik aerobik bakteriler üzerindeki etkisi görülmektedir. Burada yapılan kombine uygulamalar ile tane karabiber örneklerinin mezofilik aerobik bakteri sayılarının hedeflenen 10<sup>4</sup> kob/g düzeyine 300 °C infrared tünel sıcaklığında yine yaklaşık 4,5 dakika FIR uygulama süresi sonrasında düşürülebildiği, 350 °C infrared tünel sıcaklığında yapılan kombine uygulamada ise 3,3 dakika FIR uygulama süresi sonrasında tane karabiber mezofilik aerobik bakteri sayısının 10<sup>4</sup> kob/g düzeyinde olduğu görülmektedir.



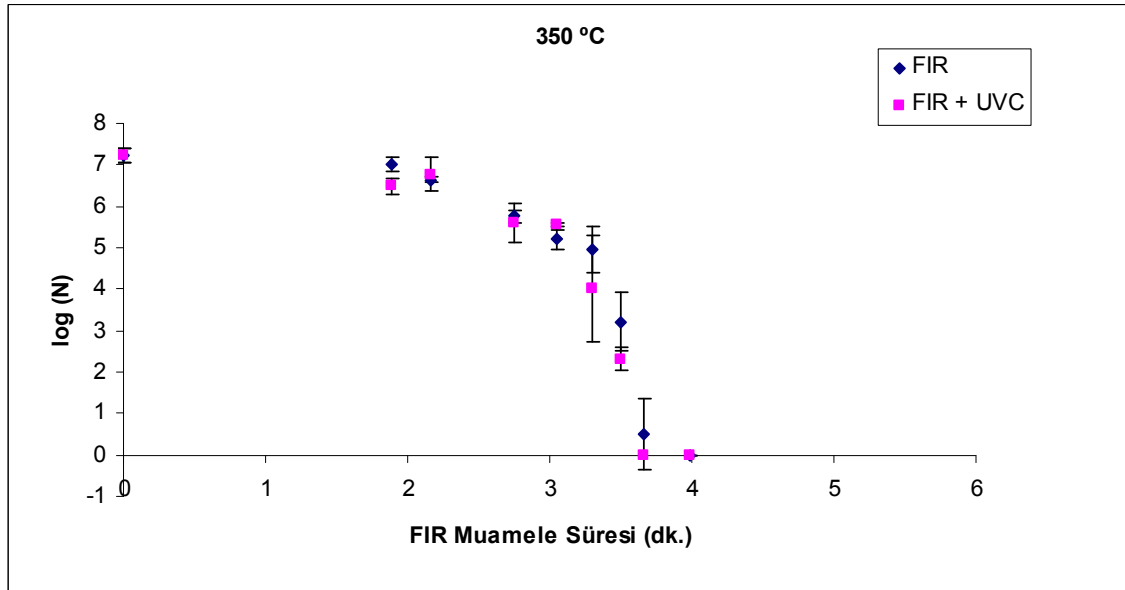


Şekil 4.43. 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işleme sürelerinde infrared ışınlarımıza maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarımıza maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.

Çalışmada tane karabiber örneklerinin 300 °C infrared tünel sıcaklığında FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları ardından UVC ışınlarımıza maruz kalmaları şeklinde yapılan kombine uygulamalarda, tanelerin sadece FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları durumuna göre tane mezofilik aerobik bakteri yükünde ekstra bir azalma sağlanamamıştır (Şekil 4.44.). Karabiber örneklerinin 350 °C infrared tünel sıcaklığında tünele beslenmeleri durumunda ise yapılan kombine uygulamalarda özellikle de artan infrared uygulama sürelerine bağlı olarak UVC ışınların örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinde yaklaşık 0,9 logaritmik birim ekstra azalma sağlayabildiği görülmüştür (Şekil 4.45.).



Şekil 4.44. Tane karabiber örneklerinin 300 °C infrared tünel sıcaklığında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.



Şekil 4.45. Tane karabiber örneklerinin 350 °C infrared tünel sıcaklığında sadece FIR veya FIR+UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumlarında FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.

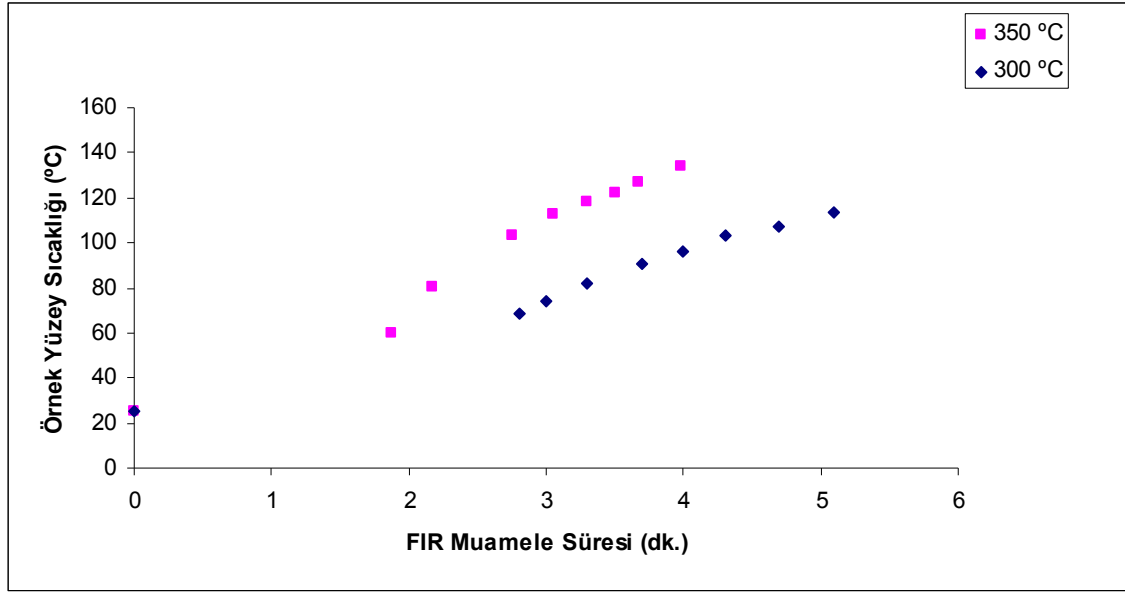
Çalışmada tane karabiber örneklerinin farklı sıcaklık ve sürelerde infrared ışınlarına maruz bırakılmaları sonrasında örneklerde maya-küf, koliform, fekal koliform ve *E. coli* bakterileri açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir. Tane karabiber örneklerinin içermiş olduğu *B. cereus* miktarı tebliğde belirtilen sınırların üzerinde bulunmuş ve tane karabiber örneklerinde yapılan uygulamaların *B. cereus* üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Çalışmada 300 °C infrared tünel sıcaklığında 3 dakika, 350 °C tünel sıcaklığında ise 2 dakika FIR uygulama süresi sonrasında örneklerin *B. cereus* miktarlarının tebliğde belirtilen limitlere indirilebildiği, bu süreler sonrasında örneklerin 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları ile de *B. cereus* miktarlarında ekstra 1 logaritmik birim azalma sağlanabildiği belirlenmiştir. Ayrıca, çalışılan iki farklı infrared tünel sıcaklığında da tane karabiber örneklerinin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri sayısının hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği FIR uygulama sürelerinde, örneklerde *B. cereus* açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği saptanmıştır.

Sonuç olarak çalışmada, FIR ve UVC ışın kombine uygulaması ile tane karabiber mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin tebliğde belirtilen sınırlara düşürülebildiği işlem parametrelerinde maya-küf, koliform, fekal koliform, *E. coli*, *B. cereus* gibi karabiberde mikrobiyal yük açısından sorun oluşturabilecek diğer mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarının tamamen ortamdan uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir.

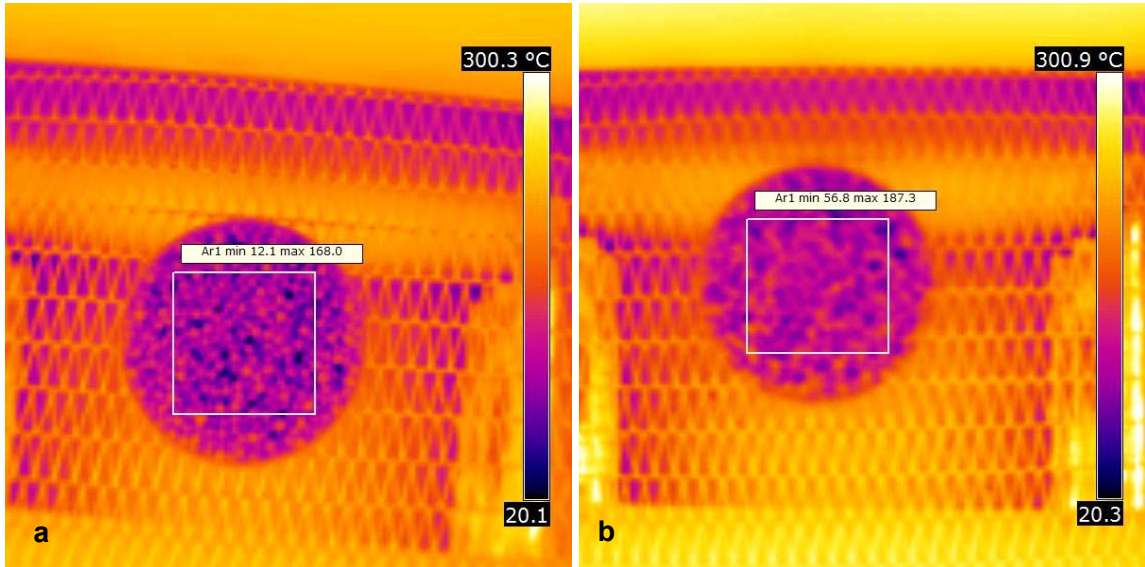
#### 4.2.6. Uzak İnfrared (FIR) Işınlara Maruz Bırakılan Karabiber Örneklerinin Tane Yüzey Sıcaklıklarının Tünel İçerisinde Ayarlan Isıtıcı Yüzey Sıcaklığı İlişkisi

Çalışmada farklı tünel sıcaklıklarında FIR ışınlarına maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin farklı işlem süreleri sonrasında değişen tane yüzey sıcaklıkları, tane kimyon örneklerinde olduğu gibi, infrared kamera ile örneklerin tünel çıkışına yakın bir noktada alınan yüzey ısı dağılım görüntülerinin analizi ile belirlenmiştir. Şekil 4.46.' da farklı infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde FIR ışınlarına maruz kalan örneklerin yüzey sıcaklık değerlerindeki değişimler görülmektedir. Şekil 4.47. a-b.' de ise 300 ve

350 °C infrared tünel sıcaklıklarında FIR ışınlarımara maruz bırakılan örneklerin sırasıyla 4,5 ve 3,3 dakika işlem süreleri sonrasında alınan yüzey ısı dağılım görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.46. 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünelle beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarımara maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağılı olarak değışen yüzey sıcaklık değışeri.



Şekil 4.47. a-b. 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 4,5 ve 3,3 dakika işlem süreleri sonrasında infrared kamera ile alınan örnek yüzey ısı dağılım görüntüleri (a; 300, b; 350 °C).

#### 4.2.7. Tane Karabiber Örneklerinde Fiziksel ve Kimyasal Kalite Özellikleri Üzerinde Uzak İnfrared (FIR) Işınlarmn Etkileri

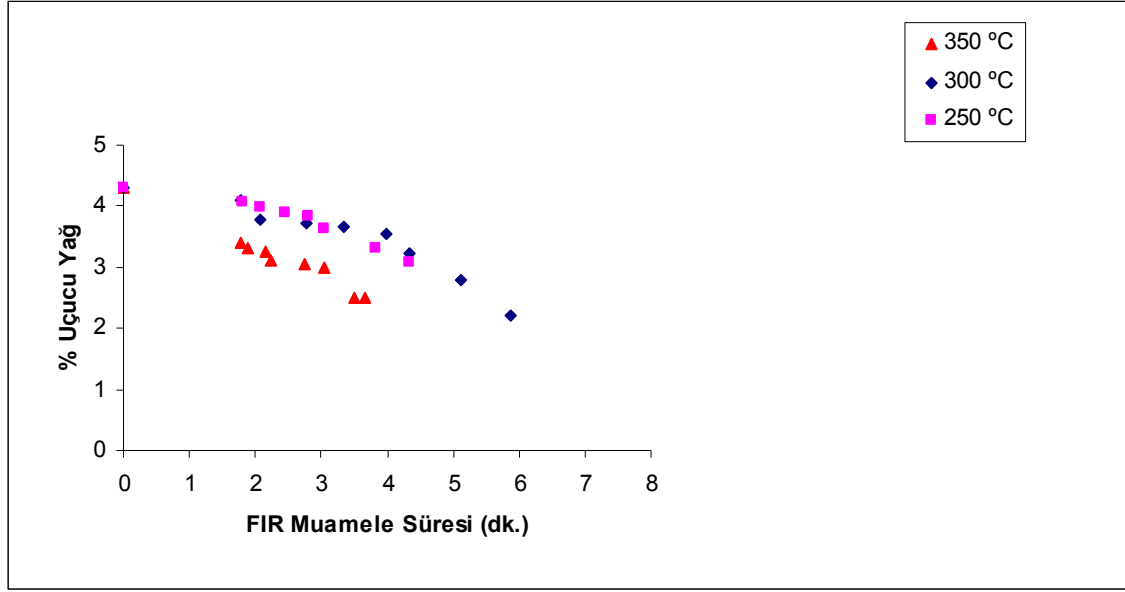
Çalışmada kullanılan tane karabiber örneklerinin içermiş olduğu nem, uçucu yağ ve kalıcı yağ miktarları ile su aktivitesi değeri Çizelge 4.10.' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tane karabiber ham madde özellikleri.

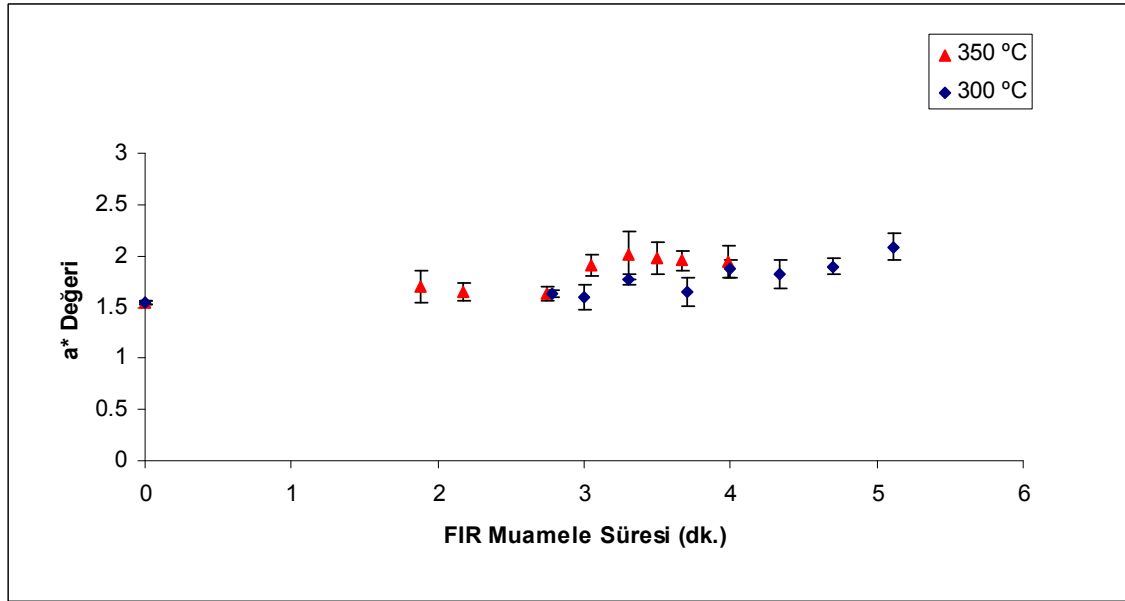
Nem (%)	10,4±0,5
Uçucu yağ (%)	4,21±0,11
Kalıcı yağ (%)	6,88±0,85
Su aktivitesi (Su aktivitesi ölçüm cihazı, Novasina TH-500, ile belirlenen)	0,505±0,04
Su aktivitesi (Tuz Kristalleri Erime Yöntemi ile belirlenen)	0,427-0,576 aralığında

Çalışmada örneklerin UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları sırasında karabiber tanelerinin sıcaklığında herhangi bir artış meydana gelmemiş, uygulama sonrasında ise tane ağırlıklarında herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Ayrıca karabiber tanelerinin UVC ışınlarımıza maruz bırakılmaları sonrasında yapılan renk ölçümlerinde UVC ışınlarımın tane renginde önemli bir değişime neden olmadığı da belirlenmiştir. Bu nedenle tane karabiber örneklerinde nem, uçucu yağ ve renk değişimleri ile ağırlık kayıplarımın belirlenmesine yönelik yapılan analizler, sadece örneklerin farklı sıcaklık-süre uygulama koşullarında FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları öncesi ve sonrasında yapılmıştır.

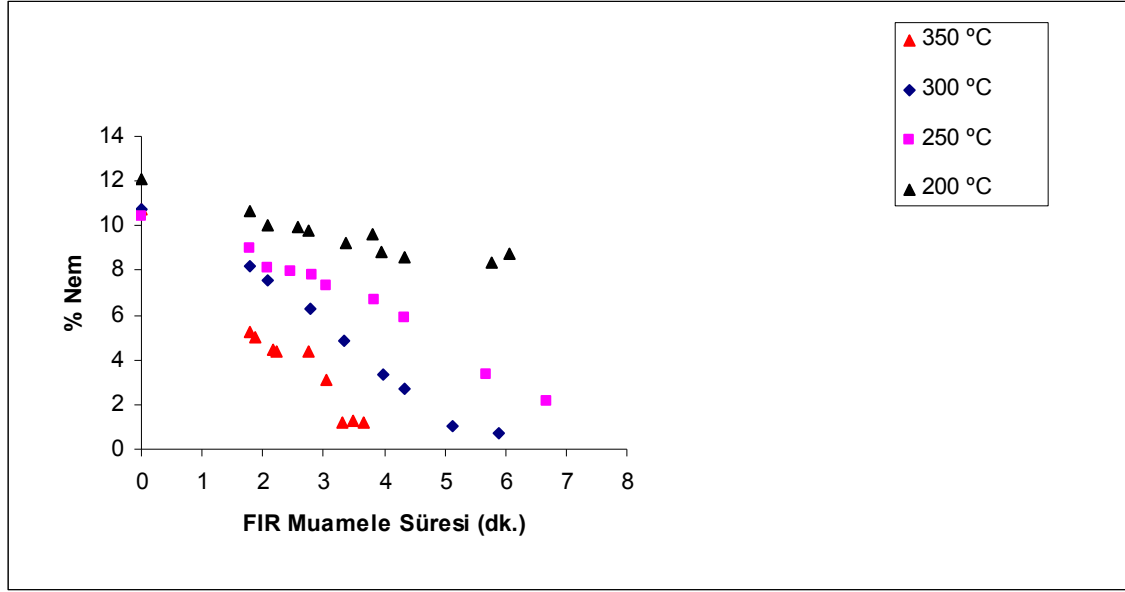
Şekil 4.48., 4.49., 4.50. ve 4.51.' de tane karabiber örneklerinin farklı infrared tünel sıcaklıklarında farklı uyulama sürelerinde FIR ışınlarımıza maruz bırakılmaları sonrasında örneklerin uçucu yağ, renk, nem ve ağırlıklarındaki değişimler görülmektedir.



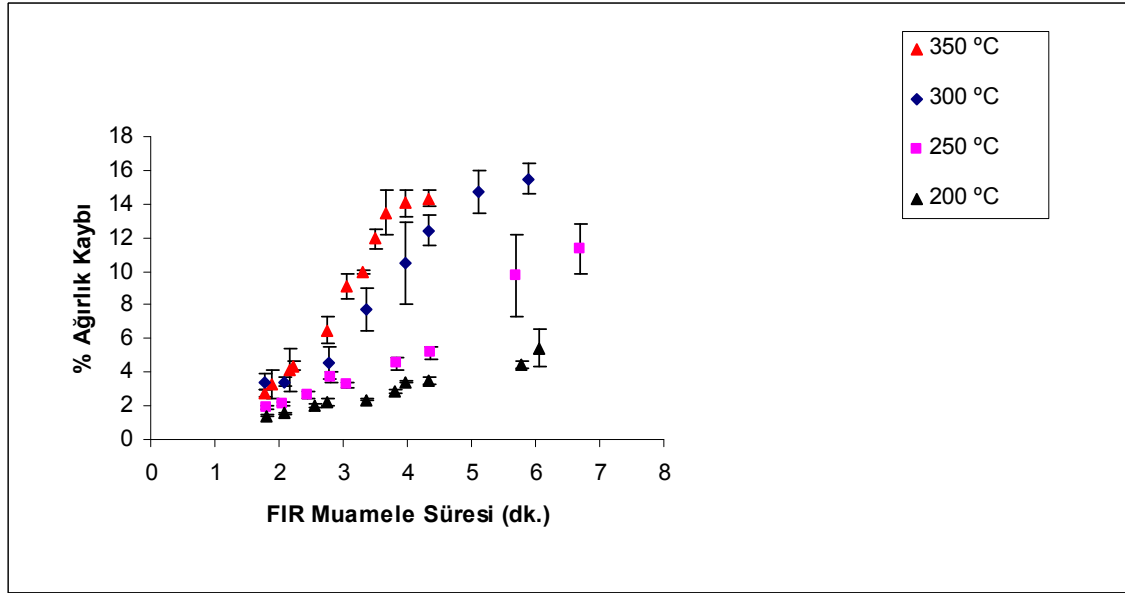
Şekil 4.48. 250, 300 ve 350 °C infrared tünellerinde beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen uçucu yağ miktarları.



Şekil 4.49. 300 ve 350 °C infrared tünellerinde beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen kırmızılık (a\*) değerleri.



Şekil 4.50. 200, 250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen nem değerleri.



Şekil 4.51. 200, 250, 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında tünele beslenen tane karabiber örneklerinin FIR ışınlarına maruz bırakıldığı muamele sürelerine bağlı olarak değişen ağırlık değerleri.

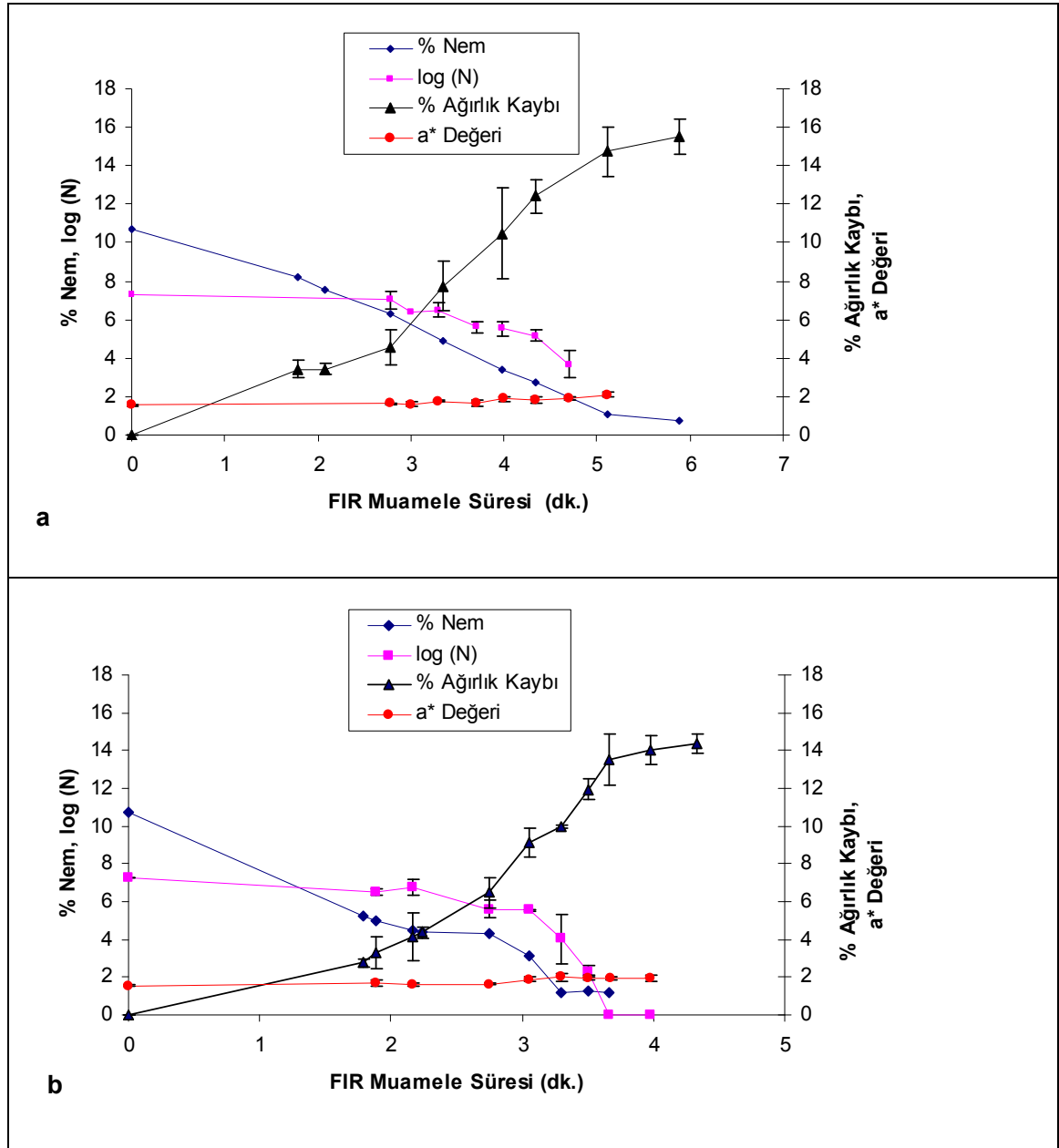
Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği' nde tane karabiber uçucu yağ miktarının % 2 düzeyinin üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir [Anonim, 2000]. Çalışmada farklı infrared tünel sıcaklıklarında yapılan uygulamalarda tane karabiber uçucu yağ miktarının % 2' lik sınırın altına düşmediği fakat bununla birlikte uygulanan sıcaklık ve sürelerdeki artışlara paralel olarak tane karabiber uçucu yağ miktarında kayıplar olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.48.).

İşlem görmemiş tane karabiber örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  renk değerleri HunterLab. Color Quest XE renk tayin cihazında sırasıyla  $37,01 \pm 0,21$ ,  $1,56 \pm 0,05$  ve  $1,09 \pm 0,15$  olarak ölçülmüştür. Şekil 4.49.' da FIR ışınların, karabiber örneklerinin kırmızılık ( $a^*$ ) değeri üzerindeki etkisi görölmektedir. Çalışmada tane karabiber örneklerinin 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında FIR ışınlara maruz bırakıldığı maksimum işlem sürelerinde, 5,1 ve 4 dakika, kırmızılık değerlerinde sırasıyla 1,35 ve 1,26 oranlarında artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Örnekler her ne kadar kısa işlem sürelerinde infrared ışınlara maruz bırakılmış olsalar da uygulamalar sırasında, örneklerin maruz bırakıldığı infrared tünel sıcaklıklarındaki artışlara paralel olarak örneklerde nem ve ağırlık kayıpları meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 4.50., Şekil 4.51.).

Tane karabiber örneklerinde FIR+UVC ışın kombine uygulamalarının örnek mikrobiyal yükü yanında renk, nem ve ağırlık değişimleri üzerindeki etkilerinin bir arada değerlendirildiği Şekil 4.52. a-b.' de, 300 °C infrared tünel sıcaklığında yaklaşık 4,5 dakika işlem süresinde örneklerin mezofilik aerobik bakteri sayısının hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği, 350 °C infrared tünel sıcaklığında ise bu sınıra 3,3 dakika uygulama süresi sonrasında ulaşılabildiği görölmektedir.





Şekil 4.52. a-b. 300 °C ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı işlem sürelerinde infrared ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlarına maruz bırakılan tane karabiber örneklerinin FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyi, nem miktarı, ağırlık kaybı ve kırmızılık (a\*) değerleri (a; 300, b; 350 °C).

Çalışmada 300 °C infrared tünel sıcaklığında yapılan kombine uygulamada mikrobiyal açıdan güvenli aralığa ulaşılan işlem süresinde tane ağırlığında % 13 düzeyinde azalma meydana geldiği ve bu sırada tane nem içeriğinin % 2,4, kırmızılık ( $a^*$ ) değerinin 1,9 olduğu belirlenmiştir. 350 °C infrared tünel sıcaklığında ise tane karabiber örneklerinin mezofilik aerobik bakteri yoğunluğunun hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği 3,3 dakika işlem süresinde tane ağırlığında % 10 düzeyinde azalma meydana gelirken örneklerin nem içeriğinin % 1,2, kırmızılık ( $a^*$ ) değerinin ise 2 düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

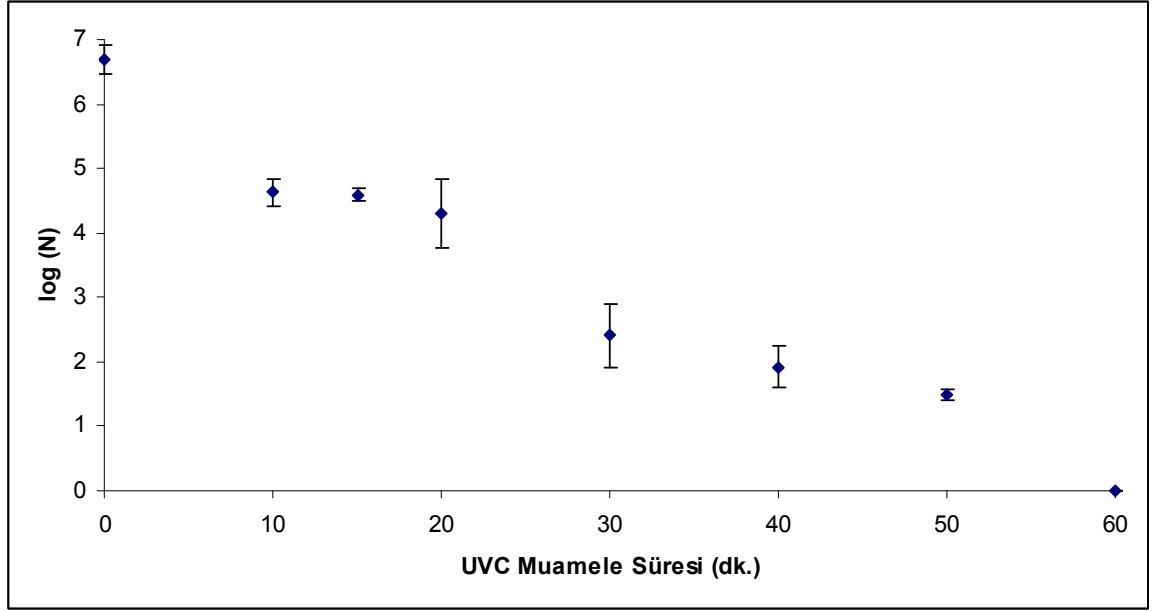
#### 4.2.8. Tane Kimyon Örneklerine İnokule Edilen Mikroorganizma Kültürü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviöle (UVC) ve Uzak İnfrared (FIR) Işınların Etkileri

Kültür inokulasyonu öncesinde tane kimyon örneklerinde *E. coli* O157:H7 varlığının belirlenmesine yönelik yapılan mikrobiyal analizlerde örneklerde bu bakteri suşunun bulunmadığı, tane yüzeyine inokulasyon sonrasında yapılan geri kazanım çalışmalarında ise örneklere inokule edilen bakteri suşunun önemli bir kısmının geri alınabildiği belirlenmiştir. Çizelge 4.11.' de örneklere aktarılan bakteri yoğunluğu, örneklerde kültürel sayım ile belirlenen başlangıç *E. coli* O157:H7 bakteri düzeyleri ve geri kazanım sonuçları görülmektedir.

Çizelge 4.11. Tane kimyon yüzeyine aktarılan *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu için belirlenen geri kazanım sonuçları.

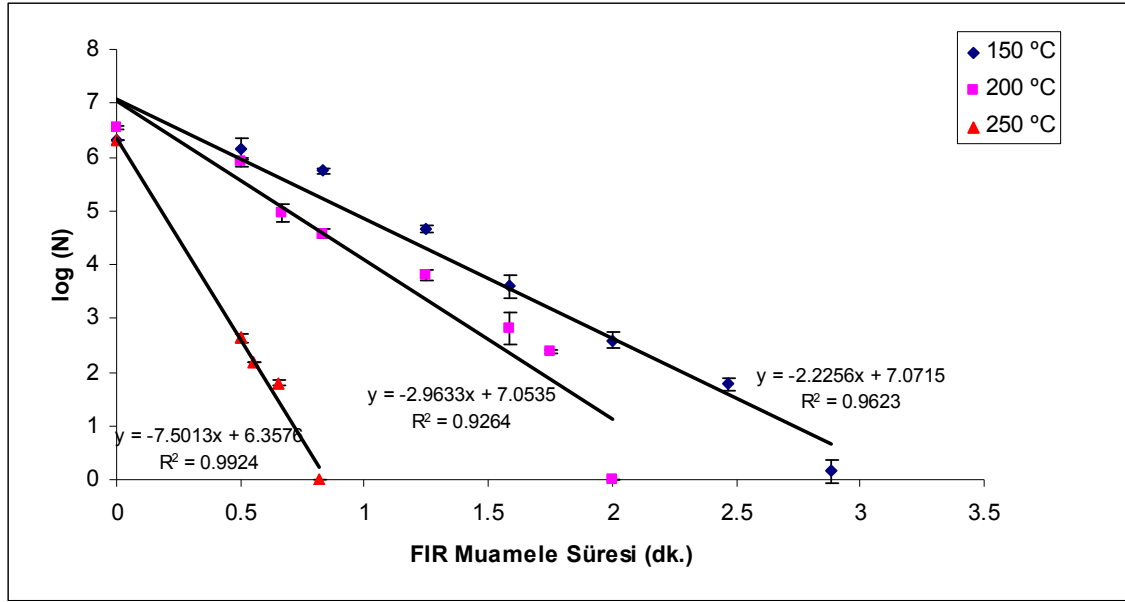
Tane Kimyon Yüzeyine Aktarılan <i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 35150 (log N)	Tane Kimyon Yüzeyinde Kültürel Sayımla Belirlenen <i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 35150 (log N)	Geri Kazanım (%)
7,85	6,69	85,28
7,48	6,30	84,27
7,70	6,55	85,09
7,85	6,63	84,57

UVC ışınların tane kimyon örnekleri yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada örnekler farklı sürelerde (0, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 dakika) yaklaşık 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar, UVC ışınların tane yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri suşu üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermiş, kimyon tanelerinin 60 dakika uygulama süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumunda, tane yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri düzeyinde yaklaşık 6,5 logaritmik birim azalma sağlandığı belirlenmiştir (Şekil 4.53.).



Şekil 4.53. UVC ışınların tane kimyon örneklerine inokule edilen *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi.

FIR ışınların kimyon tanelerine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada örnekler 3 farklı infrared tünel sıcaklığında (150, 200, 250 °C) farklı sürelerde FIR ışınlarına maruz bırakılmışlardır. Şekil 4.54.' te farklı sıcaklıklarda infrared ışın uygulamalarının tane kimyon yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri suşu üzerindeki etkisi görülmektedir. Burada FIR ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerinde oldukça etkili olduğu, 150, 200 ve 250 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 2,92, 2 ve 0,82 dakika uygulama süreleri sonrasında tane yüzeyine inokule edilen bakteri yoğunluğunda yaklaşık 6 logaritmik birimin üzerinde azalma sağlanabildiği görülmektedir.



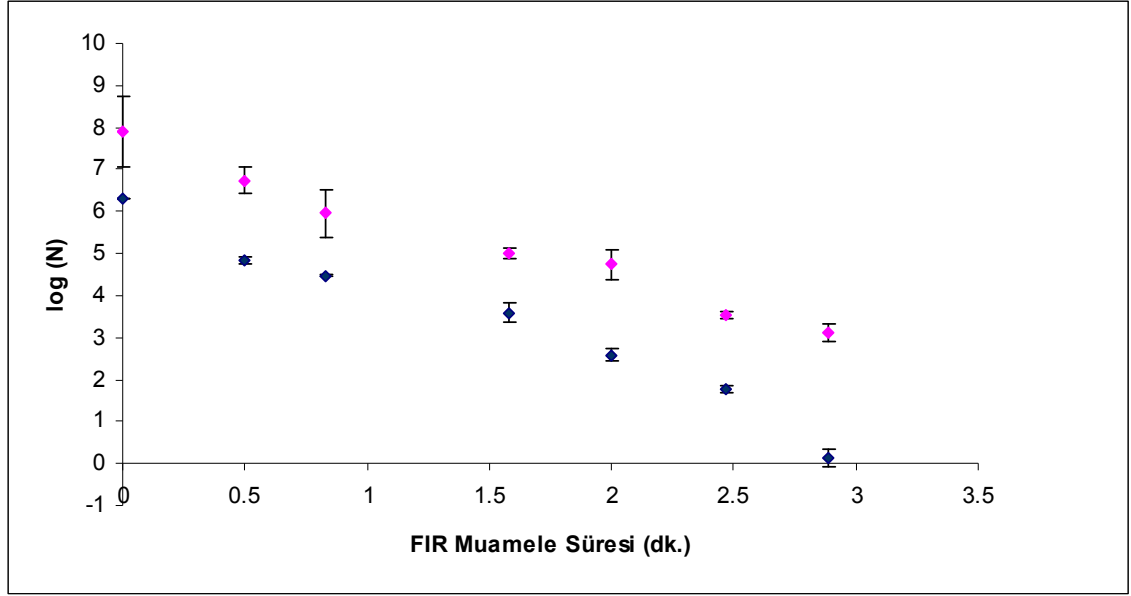
Şekil 4.54. Farklı FIR tünel sıcaklıklarında yapılan uygulamaların tane kimyon örneklerine inokule edilen *Escherichia coli* O157:H7 ATTC 35150 bakterisi suşu üzerindeki etkisi.

Tane yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakterisi popülasyonunun % 90 oranında azaltılabilmesi için gerekli olan işlem süresini ifade eden  $D$  değeri, çalışılan her bir tünel sıcaklığı için ayrı ayrı hesaplanmıştır.  $D$  değeri hesaplamalarında 1. derece reaksiyon kinetiği kullanılmıştır (Eşitlik 4.6.). Burada  $\log N$  değerlerinin zamana ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğruların eğimleri  $\left(-\frac{1}{D}\right)$  değerlerine eşdeğer olmaktadır. Buna göre farklı infrared tünel sıcaklıklarında elde edilen  $\log(N)$  değerleri uygulama sürelerine karşı ( $t$ ) karşı grafiğe geçirilmiş ve çizilen grafikte noktalardan geçirilen doğruların eğimleri kullanılarak ( $D$ ) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.54.). Hesaplanan  $D$  değerleri Çizelge 4.12.' de belirtilmiştir.

Çizelge 4.12. *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşunun farklı sıcaklıklarda hesaplanan *D* değerleri.

FIR Tünel Sıcaklığı	<i>D</i> Değeri (dk.)
150 °C	0,45
200 °C	0,34
250 °C	0,13

Çalışmada tane yüzeyine farklı miktarlarda kültür inokule edilmesi durumunda infrared ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkinliğinin belirlenmesine yönelik denemeler yapılmış bu amaçla, tane yüzeyine iki farklı düzeyde *E. coli* O157:H7 bakteri kültürü inokule edilmiş ve taneler sabit bir infrared tünel sıcaklığında infrared tünele beslenmişlerdir. Şekil 4.55.' te iki farklı düzeyde başlangıç *E. coli* O157:H7 bakteri yoğunluğuna sahip kimyon tanelerinin 150 °C infrared tünel sıcaklığında farklı işlem sürelerinde FIR ışınlara maruz bırakılmaları durumunda değişen *E. coli* O157:H7 düzeyleri görülmektedir. Burada tanelerin FIR ışınlara maruz bırakıldığı farklı işlem sürelerinde tane yüzeyinde azalan *E. coli* O157:H7 bakteri miktarlarında paralellik olduğu görülmektedir. Çalışmada tane yüzeyine inokule edilen başlangıç *E. coli* O157:H7 yoğunluğunun yaklaşık 6,3 logaritmik birim olması durumunda, 2,47 dakika FIR uygulama süresi sonrasında, tane yüzey *E. coli* O157:H7 yükünde yaklaşık 4,5 logaritmik birim azalma sağlanmış, aynı işlem süresinde başlangıç *E. coli* O157:H7 yoğunluğunun yaklaşık 7,8 logaritmik birim olması durumunda ise yine aynı oranda azalma olduğu görülmüştür (Şekil 4.55.).



Şekil 4.55. Tane yüzeyine inokule edilen başlangıç *Escherichia coli* O157:H7 ATTC 35150 bakteri yoğunlukları 10<sup>6.3</sup> ve 10<sup>7.8</sup> kob/g olan tane kimyon örneklerinin 150 °C infrared tünel sıcaklığında infrared tünele beslenmeleri durumunda FIR muamele sürelerine bağlı olarak değişen *E. coli* O157:H7 düzeyleri.

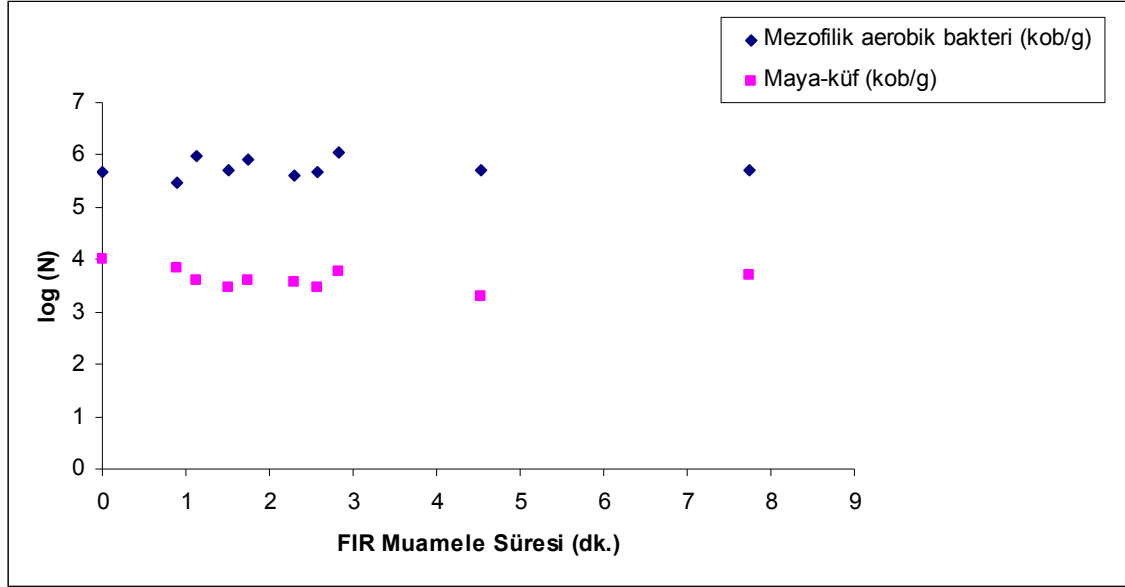
#### 4.2.9. Endüstriyel Ölçekli Uzak İnfrared (FIR) ve Kısa Dalga Ultraviyole (UVC) Ünitelerinden Oluşan “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” Yapılan Denemeler

Tane baharat örneklerinin laboratuvar ölçekli infrared tünel ile UVC kabin içerisinde FIR ve UVC ışınlarım maruz bırakılmaları ile FIR ve UVC ışınların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkinliğinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar; üniversite-sanayii işbirliği kapsamında yapmış olduğumuz bir proje çalışmasında sanayii boyutunda tasarlanarak yaptırılan ve bir baharat işletmesine kurulan; ardarda çalıştırılabilen tünel biçimindeki FIR ve UVC ünitelerinden oluşan endüstriyel ölçekteki “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” test edilmiştir [Erdoğdu vd., 2009].

İşletmeye kurulan endüstriyel ölçekli ünitelerde yapılan analizlerde, tane kimyon örneklerinin ünitelere beslenme hızı, ürünün FIR ve UVC ışınlarım maruz bırakılma süreleri ve tünel şeklindeki FIR ünitesinin sıcaklık parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Sanayii boyutunda tasarlanmış olan endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi” için T.C. Türk Patent Enstitüsü birimine patent başvurusu yapılmış ve patent alım aşamasında olduğu için burada ünitelerin özellikleri detaylı bir şekilde verilememiş ve ünitelerde yapılan analizlerin sadece bir kısmı açıklanmıştır.

Çalışmada öncelikle tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklık derecelerine ayarlanmış olan endüstriyel ölçekli tünel şeklindeki FIR ünitesine, farklı besleme hızlarında beslenmeleri sağlanmış ve farklı sürelerde FIR ışınlarım maruz kalan örneklerde değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf miktarlarının belirlenmesine yönelik mikrobiyal analizler yapılmıştır. Şekil 4.56.’ da işletmeye kurulan FIR ünitesinde sadece bir bölmenin sıcaklığının 180 °C sıcaklığa ayarlanması durumunda, farklı hızlarda tünele beslenen tane kimyon örneklerinin uygulama sürelerine bağlı olarak değişim gösteren mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri görülmektedir.





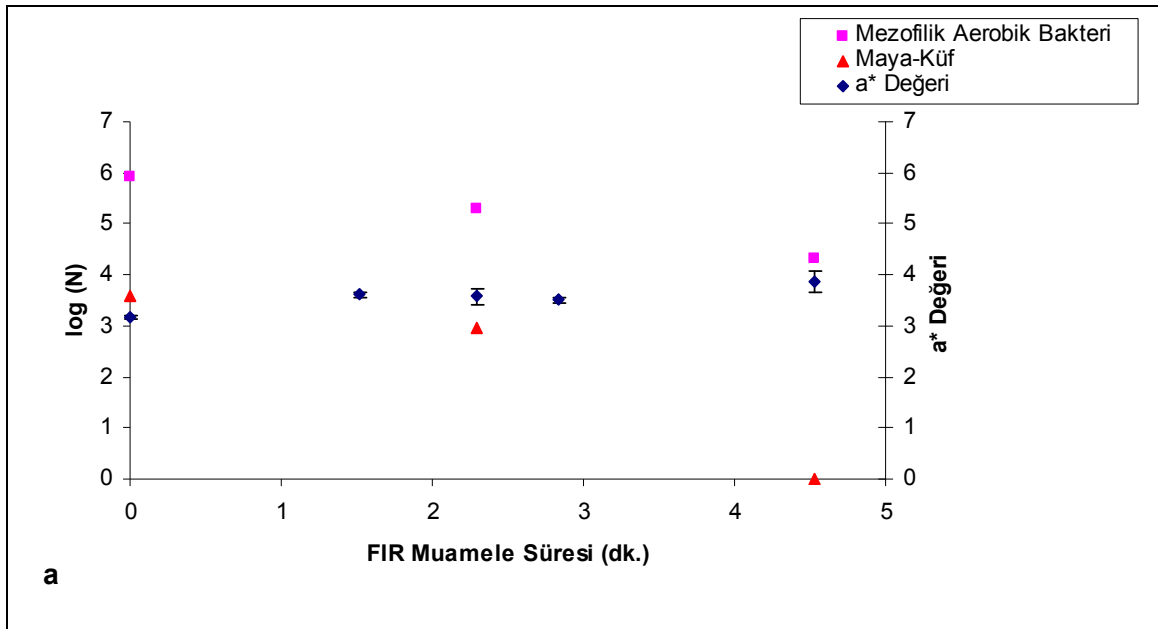
Şekil 4.56. FIR ünitesinin sadece bir bölmesinin 180 °C sıcaklığa ayarlanması durumunda tünele beslenen tane kimyon örneklerinin değışen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri.

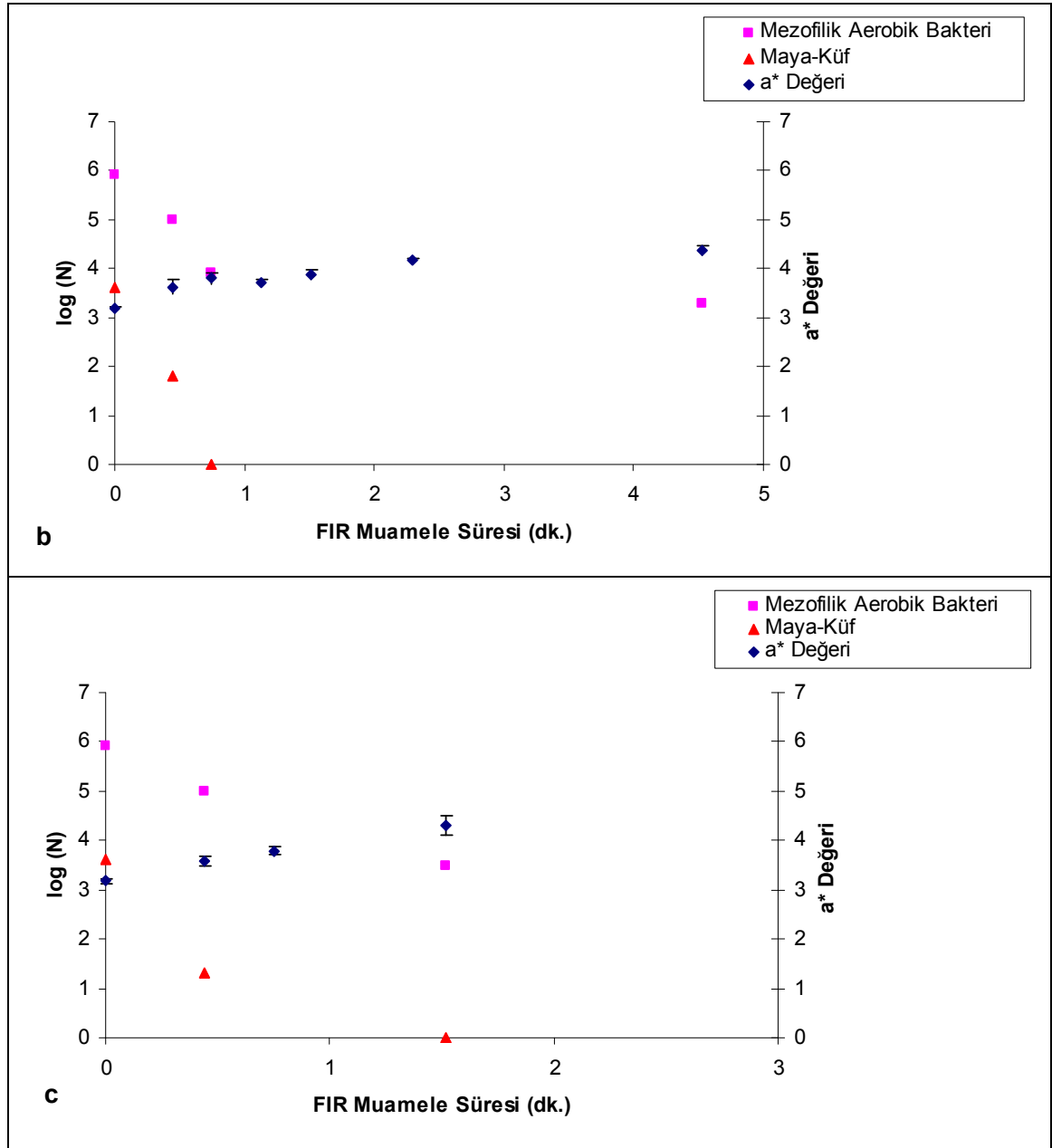
Çalışmada tünel şeklindeki FIR ünitesini oluşturan bölmelerden sadece bir tanesinin sıcaklık ayarının yapılması durumunda, tünele beslenen tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerinde herhangi bir azalma sağlanamadığının saptanması üzerine, cihazın bölmelerinin tamamının sıcaklık ayarları yapılarak farklı sıcaklıklarda uygulamaların tekrarlanmasına karar verilmiştir.

İşletmede yapılan çalışmada örneklerde renk, tat, koku, tane kuruluğu ve sertlik gibi duyuşal kalite özelliklerindeki değışimlerin belirlenmesine yönelik işletme çalışanları ve firma sahiplerinden oluşan panelistlere duyuşal testler yaptırılmıştır. Firma sahipleri ve işletme çalışanları ürünlerini tanımakta ve duyuşal kalite özellikleri açısından müşterinin baharat beklentisinin ne doğrultuda olduğunu ve ham madde girdisi sağladıkları imalatçıların talep ettiği baharat duyuşal kalite özelliklerini iyi bilmektedirler. Bu nedenle pastörizasyona işlenmiş baharatlarda duyuşal kabul edilirlilik kalite düzeyi kritiklerinin ve sınırlamalarının belirlenmesine yönelik yapılacak olan duyuşal testlerin, işletme çalışanları ve firma sahiplerince yapılmasının uygun olacağı düşünölmüştür.

Fakat yapılan duyuşal testlerde, panelistlere sunulan; işleml görmemiş kontrol örneklerinin beğenilmeyerek elenmesi ve oldukça düşük puan alması, daha uzun süre sistemde kalan örneklerin özellikle tat açısından daha çok beğenilirken, bazı işleml sürelerinde renk değişimlerinin farkedilmeyip, farklı uygulama sürelerinde FIR ışınlar maruz kalan örneklerin renk açısından aynı puanları alması gibi durumlar nedeniyle tanelere uygulanan işlemler ile duyuşal testlerde alınan sonuçlar arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bu nedenle daha sonraki denemelerde duyuşal testler yapılmamış, sisteme beslenen örneklerin renk değişimleri ölçülmüştür.

İşletmeye kurulan ünitelerde yapılan analizlerde, işletmeye kabul edilen farklı yörelere ait, farklı başlangıç mikrobiyal yoğunluklara sahip örnekler ile çalışılmıştır. Şekil 4.57. a-b-c.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri yoğunluğu yaklaşık  $10^6$  kob/g düzeyinde olan tane kimyon örneklerinin, FIR ünitesinin tüm bölmelerinin sıcaklık ayarları yapılı durumdayken, farklı sıcaklıklarda (150, 180 ve 200 °C), farklı besleme hızlarında tünele beslenmeleri durumunda değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri ile renk değerleri bir arada gösterilmiştir. Burada örneklerin renk değişimi, kırmızılık ve renk koyulaşmasını ifade eden  $a^*$  değerindeki artış ile ilişkilendirilmiştir.





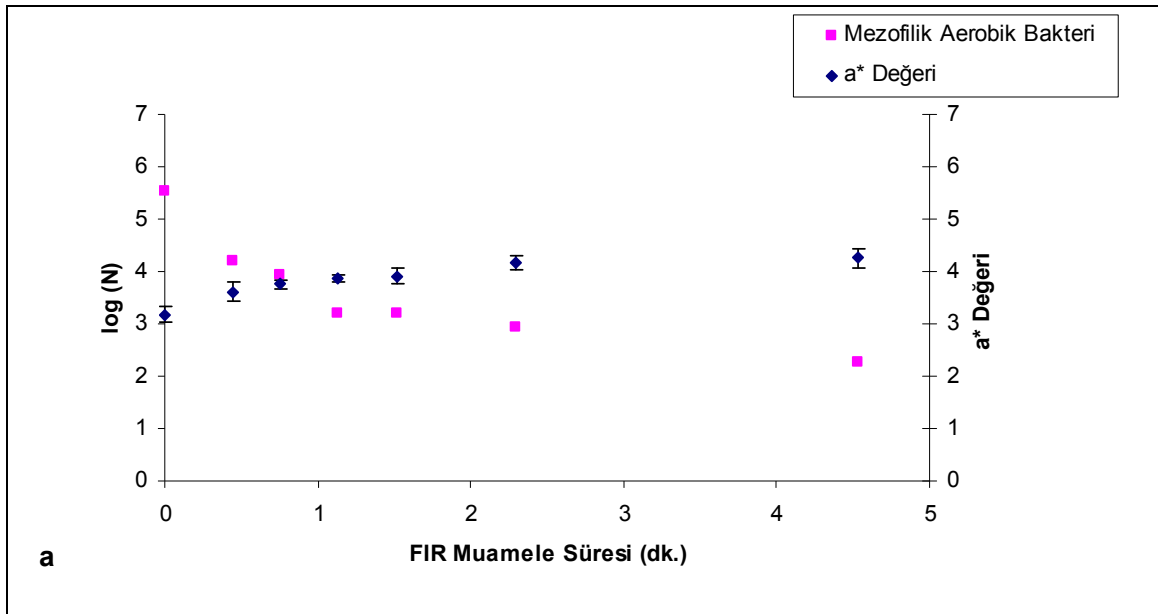
Şekil 4.57. a-b-c. Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri ile kırmızılık (a\*) değerleri (a; 150, b; 180, c; 200 °C).

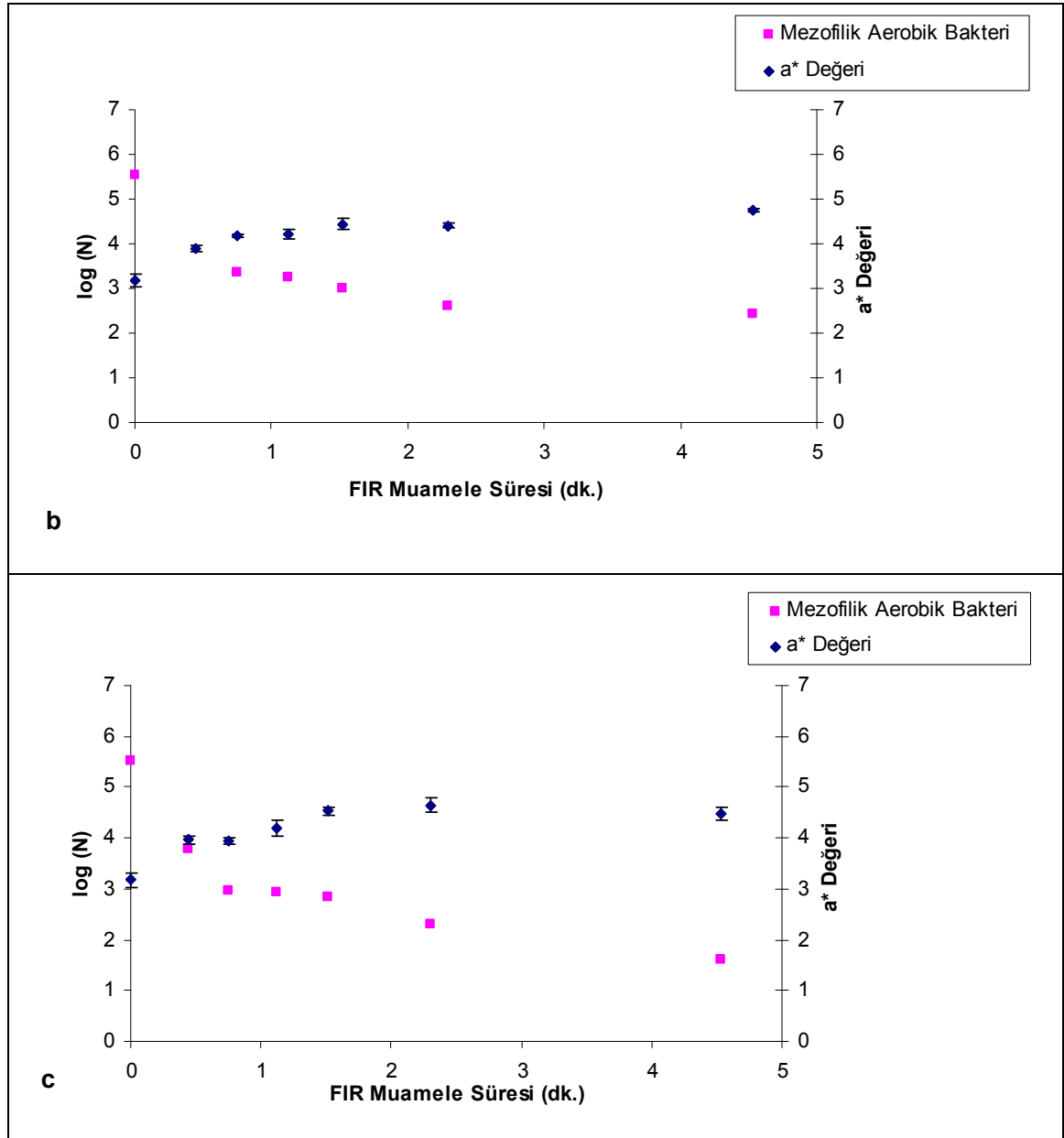
Tane kimyon örneklerine uygulanan pastörizasyon işleminde hedef, örneklerin baharat tebliğinde izin verilen sınırların üzerinde olduğu belirlenen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf miktarlarının sırasıyla  $10^4$  ve  $10^2$  kob/g düzeylerine düşürülebilmesidir. 150, 180 ve 200 °C tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen

kimyon örneklerinde, tanelerin mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürülebildiği görülmektedir.

Yapılan mikrobiyal analizlerde tane kimyon örneklerinin başlangıç maya-küf yoğunluğunun yaklaşık  $10^{3,6}$  kob/g düzeyinde olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar tüm uygulama koşullarında örneklerin toplam maya-küf miktarının hedeflenen düzeye indirilebildiğini ve hatta uygulama sürelerindeki artışlara paralel olarak örneklerde maya-küf açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiğini göstermiştir (şekil 4.57. a-b-c). Çalışmada ayrıca tüm sıcaklık-süre kombinasyonlarında tane kimyon örneklerinde koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* analizleri yapılmış ve örneklerde bu bakteriler açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir.

şekil 4.58. a-b-c.' de başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi yaklaşık  $10^{5,5}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin, FIR ünitesini oluşturan bölmelerin tamamının 170, 190 ve 210 °C sıcaklıklara ayarlanmaları sonrasında örneklerin sabit sıcaklıklarda, farklı hızlarda infrared tünele beslenmeleri durumunda, mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile renk değerlerindeki değişimler görülmektedir.



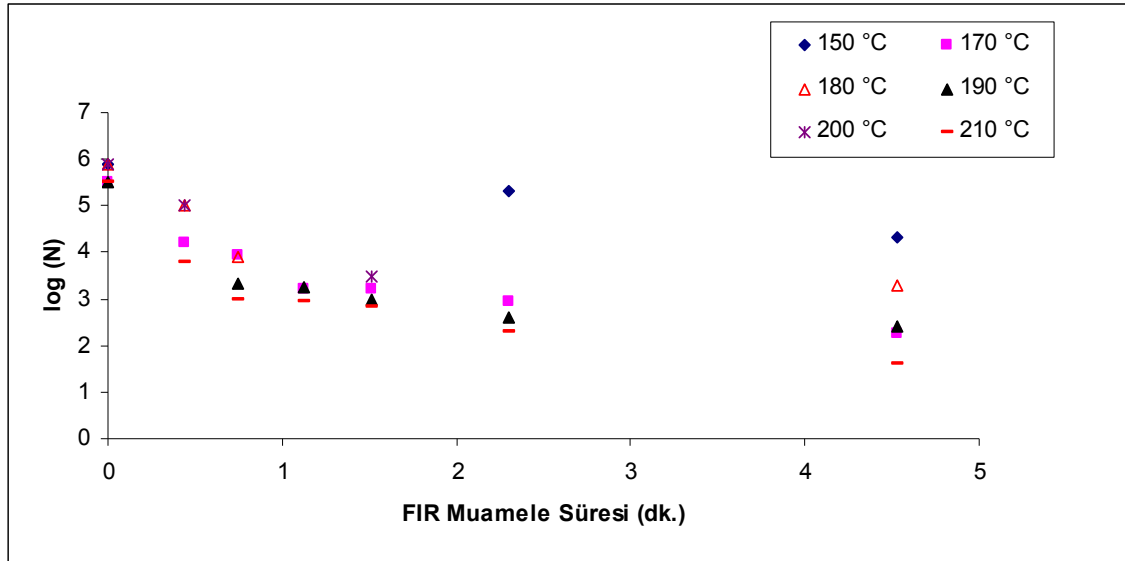


Şekil 4.58. a-b-c. Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeyleri ile kırmızılık (a\*) değerleri (a; 170, b; 190, c; 210 °C).

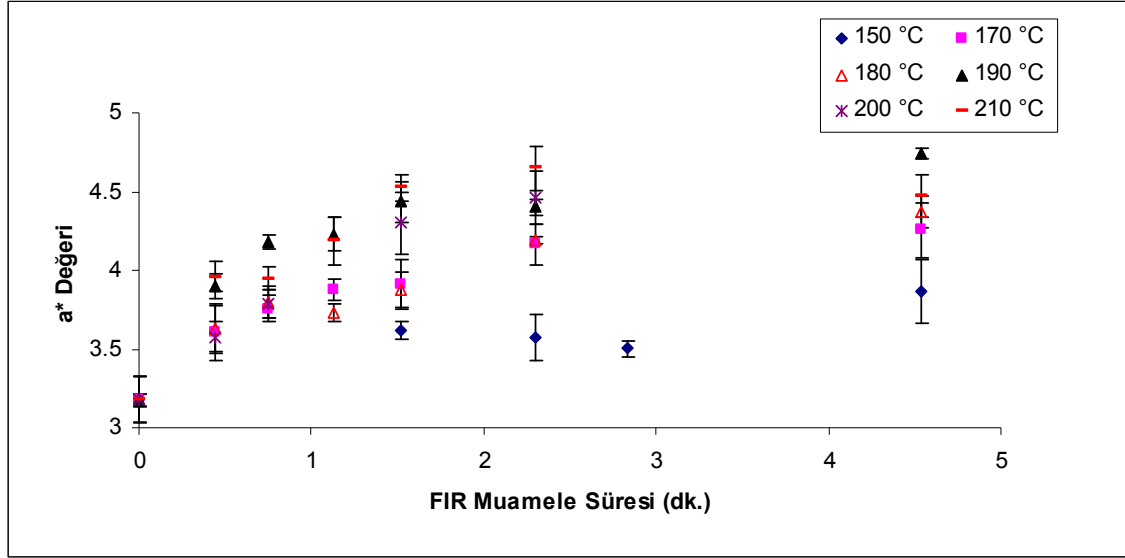
Yapılan çalışmada endüstriyel ölçekli FIR ünitesine beslenen  $10^{5,5}$  kob/g mezofilik aerobik bakteri yoğunluğuna sahip tane kimyon örneklerinin 170, 190 ve 210 °C infrared tünel sıcaklıklarında 0,75, 0,70 ve 0,44 dakika işlem süreleri sonrasında mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin sırasıyla  $10^{3,94}$ ,  $10^{3,34}$  ve  $10^{3,79}$  kob/g düzeylerine

düşürülebildiği görülmüş (Şekil 4.58. a-b-c.), belirtilen işlem koşullarında alınan örneklerde yapılan maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* analizlerinde ise işlem gören örneklerde bu mikroorganizmaların bulunmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak her 3 sıcaklıkta da tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürülebildiği FIR uygulama sürelerinde, örneklerde maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir.

Çalışmada farklı başlangıç mikrobiyal yoğunluklarına sahip olan tane kimyon örneklerinin farklı tünel sıcaklıklarında FIR ışınlarımıza maruz bırakıldıkları uygulama sürelerindeki artışlara paralel olarak, örneklerin mikrobiyal yüklerinde azalma meydana gelirken, örneklerde renk değişimini ifade eden  $a^*$  değerlerinde artışlar olduğu görülmüştür (Şekil 4.59. ve Şekil 4.60.).

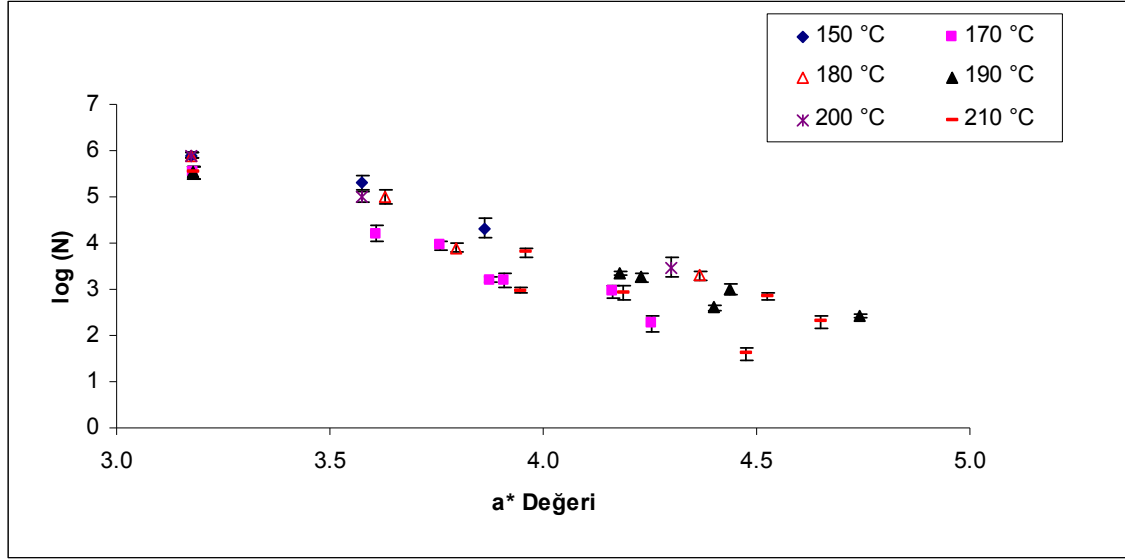


Şekil 4.59. Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri.



Şekil 4.60. Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin muamele süresine bağlı olarak değişen kırmızılık ( $a^*$ ) değerleri.

Örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile renkte kırmızılık artışı ve koyulaşmayı ifade eden  $a^*$  değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.61.' de FIR uygulama sürelerinden bağımsız olarak gösterilmiştir. Burada örneklerin mikrobiyal yüklerindeki azalma ile renkte gözlenen değişim, farklı FIR ışın uygulama sıcaklıklarında tünele beslenen örneklerin başlangıç mikrobiyal yüklerinden bağımsız bir şekilde değerlendirilebilmektedir.



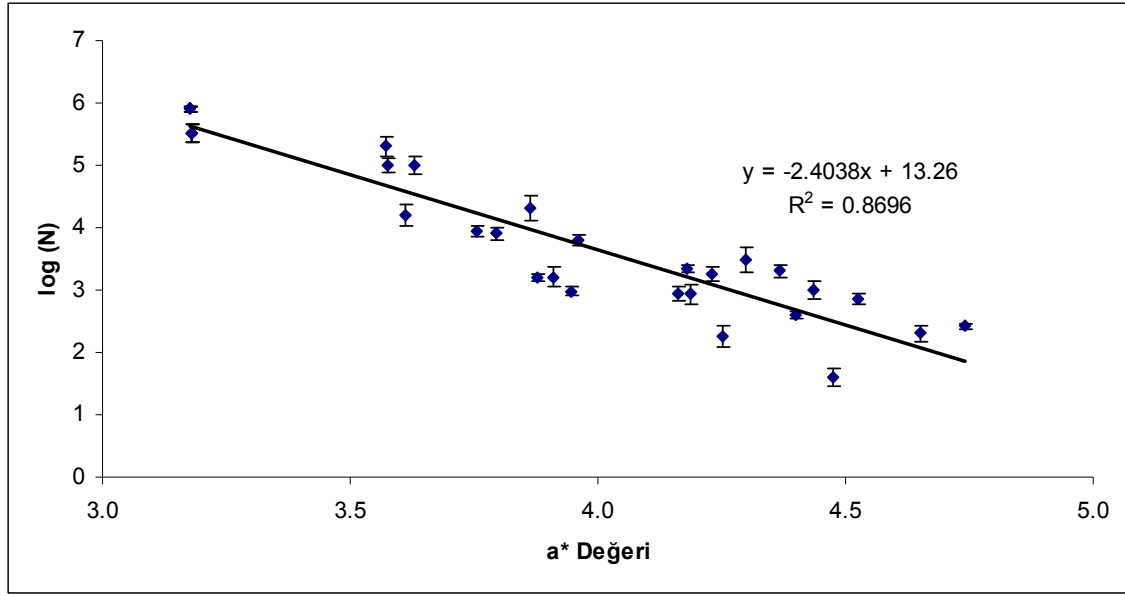
Şekil 4.61. Farklı tünel sıcaklıklarında FIR ünitesine beslenen tane kimyon örneklerinin değişen mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık değeri ( $a^*$ ) arasındaki ilişki.

Şekil 4.62.' de ise tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeyi ile  $a^*$  değeri arasındaki ilişki uygulama sıcaklıklarından bağımsız olarak gösterilmiş ve  $\log(N)$  değeri ile  $a^*$  değeri arasında Eşitlik 4.7.' de belirtildiği gibi doğrusal bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir.

$$\log(N) = -2,4038(a^*) + 13,26 \quad (4.7.)$$

Buna göre; üniteye beslenen kimyon tanelerinin başlangıç mikrobiyal yükleri ve maruz bırakıldıkları FIR ışın uygulama sıcaklık derecelerine bağlı olmaksızın, tanelerin tünel çıkışında ölçülen  $a^*$  değerlerinin yaklaşık 3,85 olması durumunda, tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına ulaştığı belirlenebilmektedir.





Şekil 4.62. FIR ışınlarıda maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile kırmızılık değeri (a\*) arasındaki ilişki.

Çalışmada, örneklerin mezofilik aerobik bakteri sayısının hedeflenen düzeye düşürülebildiği işlem parametrelerinde, örneklerde mikrobiyal açıdan sorun yaratan ve tebliğde belirtilen sınırların üzerinde bulunduğu belirlenen diğer mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarında istenilen oranlarda azalma sağlanabildiği saptanmış, örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile renk değeri arasında da doğrusala yakın bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir. Bu durumda farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlarıda maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin uygulamalar sonrasında yapılan renk ölçümleri ile bu işlem parametrelerinde örneklerde bulunan ve mikrobiyal analizler ile belirlenen mezofilik aerobik bakteri sayılarının test edilebilmesi imkanı ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak işletme bünyesinde kurulan tünel şeklindeki endüstriyel ölçekli FIR ünitesi çıkışına örneklerin renk değerini ölçecek basit bir cihazın takılması ile tünele beslenen farklı mikrobiyal yoğunluklardaki örneklerde, hedeflenen düzeylerde mikrobiyal azalmaların sağlanabilmesi için gerekli işlem parametreleri, mikroorganizmaların oldukça uzun zaman alan kültürel sayımları yanında hızlı bir

şekilde belirlenebilecektir. Ayrıca yapılacak olan renk analizi ile sisteme beslenen tane kimyon örneklerinin başlangıç mikrobiyal yüklerine göre de değişecek olan işlem parametrelerinin belirlenmesi mümkün olacaktır.

Baharat pastörizasyonuna yönelik geliştirilen yöntemin, pastörizasyon üzerindeki etkinliğinin laboratuvar ölçekli sistemlerde yapılan analizler yanında, sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli ünitelerin kullanımı ile test edilmesine yönelik yapılan çalışmada; tane kimyon örneklerinin endüstriyel ölçekli FIR ünitesi ardından yine endüstriyel ölçekli UVC ünitesine beslenmeleri veya örneklerin FIR ünitesi pas geçilerek doğrudan UVC ünitesine beslenmeleri ile de denemeler yapılmıştır. Laboratuvar ölçekli UVC kabin içerisinde örneklerin FIR ışınlarım maruz bırakılmadan doğrudan UVC ışınlarım maruz bırakılmaları şeklinde yapılan laboratuvar çalışmalarında UVC ışınlarım tane kimyon mikrobiyal yükünün azaltılması üzerinde tek başına etkili olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.7. ve Şekil 4.23.). Fakat burada işletmeye kurulan sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli UVC ünitesinde, tane kimyon örneklerinin 1 saat süresince UVC ışınlarım maruz bırakılmaları durumunda UVC ışınlarım özellikle de örneklerin maya-küf düzeyleri üzerinde tek başına 2 logaritmik birim azalma sağlayabildiği saptanmıştır. Bunun yanı sıra örneklerin FIR ünitesi ardından UVC ünitesine beslenmeleri şeklinde yapılan kombine uygulamalarda, laboratuvar ölçekli çalışmalarda elde edilen bulgularım paralel olarak, örneklerin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılmaları durumuna göre mikrobiyal yükte ekstra azalmalar sağlanabildiği ve kombine uygulama ile hedeflenen düzeyde mikrobiyal azalmaların sağlanabilmesi için gerekli FIR ışın uygulama sürelerinin kısaltılabildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak test materyali olarak tane kimyon örneklerinin kullanıldığı analizlerde, FIR ve UVC ışınlarım baharat mikrobiyal yükünün azaltılmasına yönelik uygun bir yöntem olarak kullanılabileceği ve geliştirilen yöntemin baharat pastörizasyonundaki etkinliği sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli ünitelerde yapılan analizler ile de gösterilmiştir.

### 4.3. TAZE KIRMIZI ET

#### 4.3.1. Dana Eti Yüzeyine İnokule Edilen Mikroorganizma Kültürü Üzerinde Kısa Dalga Ultravirole (UVC) Işınlarmn Etkisi

İşlenmiş ve işlenmemiş her türlü gıda maddesinde bulunmasına izin verilmeyen, patojen *E. coli* suşları içerisinde en tehlikelisi olarak kabul edilen ve çoğu ölümle sonuçlanan gıda kaynaklı enfeksiyonlardan sorumlu olan *E. coli* O157:H7 serotipinin kaynağının süt sığırları olduğu ve bu serotipin gıdalara, sığır dışkısı, et ve süt işletmeleri aracılığı ile bulaştığı belirlenmiştir. *E. coli* O157:H7 serotipi, sıcak kanlı pek çok hayvanın dışkısında doğal olarak bulunmakla birlikte, insanlarda bu serotipin hastalığa neden olduğu kanıtlanan pek çok vakada, yeterince pişirilmemiş sığır etleri ve çiğ sütlerin hastalıktan sorumlu olmasının ortaya konulmasıyla süt inekleri, temel *E. coli* O157:H7 kaynağı olarak kabul edilmiştir. Süt inekleri dışkılarında diğer sığırlara göre çok daha fazla *E. coli* O157:H7 serotipine rastlanması, çevreye ve gıdalara *E. coli* O157:H7 bulaşısında süt ineklerinin potansiyel bir taşıyıcı olduğunu göstermiştir [Erkmen, 2010; Karapınar ve Gönül, 2003; Halkman vd., 2001].

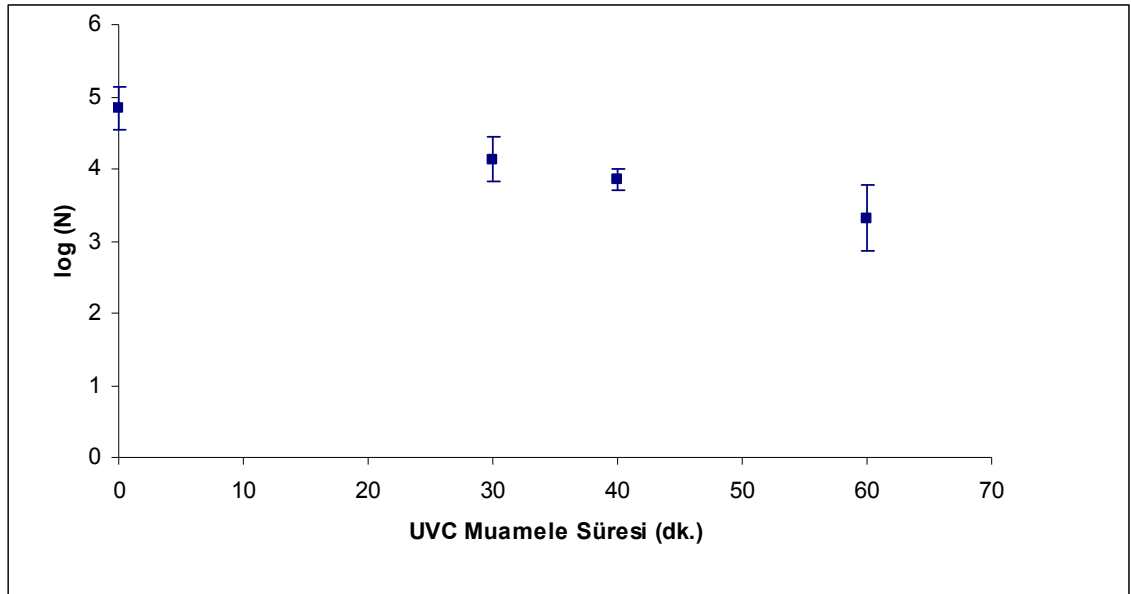
UVC ışınların taze kırmızı etlerde mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada, parça dana eti yüzeyine *E. coli* O157:H7 bakteri suşu inokule edilmiş ve etlerin sabit ışın şiddetinde farklı sürelerde UVC ışınlarla maruz bırakılmaları sağlanmıştır.

Çalışmada, öncelikle et yüzeyine inokule edilen bakteri kültürünün ne kadarının geri alınabildiğinin belirlenmesine yönelik geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, örnek hazırlama sırasında yapılan işlem basamaklarında bir miktar kayıp olmakla birlikte yüzeye inokule edilen kültürün önemli bir kısmının geri alınabildiğini göstermiştir (Çizelge 4.13.). Çalışmada et yüzeyine kültür inokulasyonu öncesinde yapılan mikrobiyal analizlerde, denemelerde kullanılan parça dana etlerinde başlangıçta *E coli* O157:H7 bakteri suşunun bulunmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.13. Parça et yüzeyine aktarılan *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu için belirlenen geri kazanım sonuçları.

Parça Et Yüzeyine Aktarılan <i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 35150 (log N)	Parça Et Yüzeyinde Kültürel Sayımla Belirlenen <i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 35150 (log N)	Geri Kazanım (%)
5,87	5,15	87,64
5,68	4,88	85,77
5,59	4,43	79,26
6,28	4,90	78,08

Şekil 4.63.' te 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınların et yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşu üzerindeki etkisi görülmektedir. Çalışmada et yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşunda, parça etlerin 30 dakika işlem süresince UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumunda yaklaşık 0,7 logaritmik birim azalma saptandığı, 60 dakika uygulama süresi sonrasında ise yaklaşık 1,5 logaritmik birim azalma sağlanabildiği belirlenmiştir.



Şekil 4.63. UVC ışınların dana eti yüzeyine inokule edilen *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi.

Çalışmada UVC ışınların et yüzeyine inokule edilen standart *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisi yanında klinik *E. coli* izolatı üzerindeki etkisi de incelenmiş, 10 dakika işlem süresince UVC ışınlara maruz bırakılan parça et örneklerinde et yüzeyine inokule edilen klinik *E. coli* izolatının 0,6 logaritmik birim azaltılabildiği, 20 dakika uygulama süresi sonrasında ise yüzeye inokule edilen bakteri kültüründe yaklaşık 1,3 logaritmik birim azalma sağlanabildiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada UVC ışınların bakteriler üzerinde sergilemiş olduğu antimikrobiyal etkinin bakterilerin inokule edildiği ortam özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği, ışınların besiyeri yüzeyine inokule edilen bakteri kültürleri üzerinde çok daha etkili oldukları belirlenmiştir. Çalışmada UVC ışınların besiyeri yüzeyine inokule edilen standart *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu ile klinik *E. coli* izolatı üzerinde gösterdiği azaltıcı etkileri, kültürlerin et yüzeyine inokule edilmeleri durumunda gösteremediği saptanmıştır. Şekil 4.16.' da besiyeri yüzeyine inokule edilen klinik *E. coli* izolatının 0,52 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 70 saniye süresince UVC ışınlara maruz bırakılması durumunda yaklaşık 6,5 logaritmik birim, Şekil 4.17.' de besiyeri yüzeyine inokule edilen standart *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşunda aynı ışın şiddetinde 30 saniye uygulama süresi sonrasında yaklaşık 7,5 logaritmik birim azalma sağlandığı görölmektedir. Kùltürlerin et yüzeyine inokule edilmeleri durumlarında ise, uygulanan daha yüksek UVC ışın şiddeti değerlerinde, daha uzun tutulan işlem sürelerinde dahi bu kadar yüksek oranlarda azalma sağlanamamıştır. Bu durum; kùltür aktarılan et yüzeyi ile besiyeri yüzeyi arasındaki fiziksel farklılıklara bağlanmıştır. Et yüzeyi, besiyeri yüzeyine göre oldukça pürüzlü ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Et yüzeyine aktarılan kùltür, bu pürüzlü ve de gözenekli kısımlara girmekte ve nüfuz gücü oldukça düşük olan UVC ışınların mikroorganizmalarla olan teması sınırlanmaktadır. Bu nedenle de UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan bakteriler üzerindeki yüksek antimikrobiyal etkisi et yüzeyine yayılan bakteriler üzerinde aynı oranda gözlenememektedir.

Sonuç olarak UVC ışınların mikroorganizmalar üzerinde göstermiş olduğu

antimikrobiyal etki mikroorganizmaların bulunduğu ortam özellikleri ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Wallner-Pendleton vd. (1994), yaptıkları çalışmada tavuk karkası yüzeyine kontamine olan *Salmonella* Typhimurium bakterisinin, karkasın UVC ışınlarım maruz bırakılması sonrasında sadece 0,5 logaritmik birim azaltılabilirken, ışınların besiyeri yüzeyine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerinde çok daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada besiyeri gibi düz ve pürüzsüz bir yüzeyde mikroorganizmaların ışınlarla doğrudan etkileşime girebileceği, fakat karkasın düzensiz, girintili-çıkıntılı ve de tüylü yüzeyinde mikroorganizmaların tamamının ışınlarım maruz kalabilmesinin mümkün olmadığını belirtilmiştir. Yapılan çalışmada, karkas yüzeyinde bulunan girintili-çıkıntılı porların, mikroorganizmaların nüfuz gücü oldukça düşük olan UVC ışınlarla olan etkileşimini engellediği ve mikroorganizmalar için adeta bir kalkan gibi davrandığı belirtilmiştir.

Yine benzer bir çalışmada, UVC ışınların tavuk karkası ve agar yüzeyine inokule edilen *S. Typhimurium* bakteri kültürü üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve ışınların agar yüzeyine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerinde yaklaşık 7 logaritmik birim azalma sağlarken, tavuk karkası yüzey *S. Typhimurium* populasyonunda maksimum 2 logaritmik birim azalma sağlayabildiği belirtilmiştir [Sumner vd., 1996].

Huang vd. (1982), kefal, uskumru ve kurbağa balığı örneklerinde UVC ışınların balık yüzey mikrobiyal yükü ve raf ömrü üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, UVC ışınların uskumru balıkları yüzey mikrobiyal yükü üzerinde daha pürüzlü bir yapıya sahip olan kurbağa ve kefal balıklarına göre çok daha etkili olduğunu saptamışlardır. Çalışmada aynı dozda UVC ışınlarım maruz kalan balıklardan uskumru yüzey mikrobiyal yükünde 2,5 logaritmik birim azalma sağlanırken, daha pürüzlü yapıdaki kefal yüzeyinde sadece 0,5 logaritmik birim azalma olduğu belirtilmiştir.

Taze sığır eti yüzeyine kontamine olan bakteriler üzerinde UVC ışınların etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan bir diğer çalışmada; UVC ışınların, et yüzeyinde sadece temas ettikleri bakteriler üzerinde inhibitör etki sergileyebildiği,

özelliikle de liflerin yüzeye paralel uzandığı pürüzsüz kısımlardaki bakteriler üzerinde daha da etkili olabildikleri belirtilmiştir [Stermer vd., 1987].

Wong vd. (1998), domuz etinin kas ve deri kısımları ile Petrideki steril besiyeri yüzeyine inokule edilen *S. Senftenberg* ve *E. coli* bakterileri kültürleri üzerinde UVC ışınların etkilerini inceledikleri çalışmalarında, UVC ışınların en fazla öldürücü etkiyi besiyeri yüzeyine inokule edilen kültürler üzerinde gösterdiğini ve bunu sırasıyla deri ve kas kısımlarının izlediğini belirtmişlerdir. Çalışmada, kasın düzensiz ve porlu bir yapıya sahip olması dolayısıyla nüfuz gücü düşük olan ışınların yüzeye inokule edilen bakterilere yeterince nüfuz edememiş olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada farklı yüzeylere inokule edilen mikroorganizmalar için sabit UVC ışın şiddetlerinde *D* değerleri hesaplanmış, örneğın 100  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  sabit ışın şiddetinde *D* değerleri, besiyeri yüzeyi, deri ve kas kısımlarında sırasıyla *E. coli* bakterisi için 242, 1282 ve 1320 saniye, *S. Senftenberg* için ise 15, 595 ve 1163 saniye olarak hesaplanmıştır.

UVC ışınların farklı ortamlarda *Listeria monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 ve *S. Typhimurium* bakterileri üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada patojen bakteriler pişmiş tavuk eti yüzeyi, cilalı paslanmaz çelik plaka ve peptonlu su içersine inokule edilmiş ve ışınların en düşük antimikrobiyal etkiyi tavuk eti yüzeyinde gösterdiğini belirlenmiştir. Bu durum tavuk eti karkasının yüzeyinde bulunan tüy köklerinin yüzeyde pürüzlü bir yapıya neden olması ve yüzeye aktarılan ve girintili çıkıntılı kısımlarda toplanan bakterilere UVC ışınların temas edememesine bağlanmıştır [Kim vd., 2002].

Literatürde yapılan çalışmalarda etin sahip olduğu yüzey özellikleri dolayısıyla UVC ışınların et yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesinde etkili ve tek başına yeterli bir uygulama olamayacağı görülmüştür. Chun vd. (2010), yaptıkları çalışmada, 12×8 cm boyutlarında hazırladıkları tavuk etleri yüzeyine inokule ettikleri *Campylobacter jejuni*, *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* bakterileri üzerinde UVC ışınların antimikrobiyal etkilerini incelemişler ve ışınların bu bakteriler üzerinde sırasıyla 1,26, 1,29 ve 1,19

logaritmik birim azalmalar sağladığını belirtmişlerdir. Özer ve Demirci (2006), somon balığı yüzeyine yaklaşık  $10^6$  kob/g oranında olacak şekilde inokule ettikleri *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* bakteri kültürlerinin 60 saniye vurgulu UVC ışın uygulaması sonrasında 1 logaritmik birim azaltılabildiğini belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Gıda koruma ve raf ömrünün arttırılmasında; kontaminasyonun önlenmesi, yıkama, ayıklama, filtrasyon gibi işlemlerle mikroorganizmaların uzaklaştırılması, kimyasal koruyucu kullanımı, düşük sıcaklıkta depolama, su aktivitesinin düşürülmesi, kontrollü atmosferde depolama gibi işlemler ile mikrobiyal gelişimin engellenmesi ve ısı işlem, radyasyon (ultrasound, iyonize radyasyon, mikrodalga, UVC) ve yüksek basınç uygulamaları ile mikroorganizmaların öldürülmesi gibi pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır [Ünlütürk 2003; Acar, 2003b]. Gıda korumada genel olarak tek bir yöntem kullanılmayıp iki veya daha fazla yöntemin bir arada kullanılması daha etkili olmaktadır.

Taze etin raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapılan uygulamalar oldukça sınırlıdır. Kesim sonrasında karkasın çeşitli kimyasallarla yıkanması, soğukta depolama ve dondurma taze etlere uygulanan esas muhafaza yöntemlerini oluşturmaktadır [Aydın, 2005; Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Gıda koruma uygulamalarında amaç, bozulmanın önlenmesi veya mümkün olduğunca geciktirilmesi olmakla birlikte bu sırada gıdanın besin değeri, fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite parametrelerinin mümkün olduğunca korunması gerekmektedir. Literatürde UVC ışınların taze et kalite parametreleri üzerinde önemli bir olumsuzluğa neden olmadığını gösteren çalışmalar mevcuttur [Chun vd., 2010; Keklik vd., 2009; Lyon vd. 2007; Djenane vd., 2003; Stermer vd., 1987]. Bu durumda UVC ışınların diğer koruma yöntemleri ile bir arada veya bir ön işlem olarak kullanılması ile ortaya çıkacak sinerjistik etkinin et ve et ürünlerinde raf ömrünün arttırılmasında etkili olacağı düşünölmektedir.

Gıda koruma ve muhafazasında etkili olan bir çok yöntemin bir arada (kombine



olarak) uygulandığı ve böylece gıdanın muhafazası sağlanırken, kalitenin de olumsuz yönde etkilenmesinin engellenebileceği belirtilmiştir [Ünlütürk ve Turantaş, 2003]. Gıdalarda mikrobiyolojik stabilite ve güvenilirliğin sağlanmasında birden fazla antimikrobiyal faktörün bir arada kullanımı ile sinerjistik etki oluşturulmaktadır. Kombine yöntemler ile, gıda korumada tek başına yeterli olmayan bir çok faktör bir arada uygulanarak bu faktörlerin interaksiyonları sonucu kümülatif etki (*Hurdle etkisi*) sağlanılmaktadır [Ünlütürk ve Turantaş, 2003].

Raymond vd. (1987), taze et yüzeyine kontamine olan mikroorganizmalar üzerine UVC ışınların antimikrobiyal etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ışınların bakterilerin gecikme fazını uzattığını ve kesimin ardından etlerin UVC ışınlara maruz bırakılmaları ile soğutma işleme kadar geçen sürede et yüzeyinde bakterilerin çoğalarak ette bozulmaya yol açmasının engellenebileceğini belirtmişlerdir. Çalışmada yapılan duyuşal testlerde, kontrol örnekleri ile UVC ışınlara maruz bırakıldıktan sonra depolanan et örneklerinde renk, koku ve genel görünüş gibi duyuşal özellikler bakımından önemli bir fark gözlenmediği belirtilmiştir.

Sommers vd. (2009), sosis yüzeyine inokule ettikleri *L. monocytogenes* üzerine UVC ışınların etkilerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada sosisleri 3 farklı dozda (1, 2 ve 4 J/cm<sup>2</sup>) UVC ışınlara maruz bırakmışlar ve uygulama sonunda 1,31, 1,49 ve 1,93 logaritmik birim azalmalar olduğunu saptamışlardır. Çalışmada UVC ışınlara maruz bırakıldıktan sonra depolanan sosislerde 8 hafta depolama süresi sonrasında sadece 0,65 logaritmik birim olan *L. monocytogenes* artışının, mikroorganizma inokulasyonu sonrasında doğrudan depolanan kontrol örneklerinde 2,5 logaritmik birim olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada özellikle de yemeye hazır et ürünlerinde, oldukça düşük düzeyde *L. monocytogenes* kontaminasyonu olacağı ve dolayısıyla bu ürünlerde antimikrobiyal koruyucularla birlikte UVC ışınların kullanımının *Listeria* inhibisyonunda etkili bir yöntem olabileceği belirtilmiştir.

Lyon vd. (2007), ızgaralık tavuk parçaları yüzeyine 10<sup>6</sup> kob/g düzeyinde inokule

ettikleri farklı *L. monocytogenes* suşları üzerinde UVC ışınların etkilerini inceledikleri çalışmalarında, uygulama sonunda tavuk yüzey mikrobiyal yükünde 2 logaritmik birim azalma sağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmada tavuk yüzeyine inokule edilen kültür yoğunluğunun, gerçekte yüzeyde bulunması muhtemel bakteri düzeyinin oldukça üzerinde olduğu belirtilmiş ve UVC ışınların bu kadar yüksek mikrobiyal bulaşı durumunda sağladığı 2 logaritmik birim azalmanın, gerçekte tavuk yüzeyinde daha düşük oranda bulunma olasılığı olan *L. monocytogenes* bakterilerinin tamamının yüzeyden uzaklaştırılabilmesi için yeterli olabileceği ileri sürülmüştür.

Keklik vd. (2009), tavuk sosislerinde, sosis yüzeyine inokule edilen *L. monocytogenes*, lipit peroksidasyonu ve renk üzerine vurgulu ultraviöle ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında optimum işlem parametresinde yapılan uygulama sonrasında örnek mikrobiyal yükünde yaklaşık 1,5 logaritmik birim azalma sağlanırken kimyasal kalite ve rengin korunduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada vurgulu ultraviöle ışın uygulamasının yemeye hazır tavuk ürünlerinde kalitenin korunmasına yönelik uygulanabilecek potansiyel bir yöntem olabileceği vurgulanmıştır.

Sonuç olarak, UVC ışınlar taze et yüzey mikrobiyal florası üzerinde her ne kadar düşük oranlarda azalmalar sağlıyor olsalar da, UVC ışın uygulaması ile taze et yüzey mikrobiyal yükü azaltılarak mikroorganizmaların neden olduğu bozulmaların sınırlandırılabilmesi ve soğuk depoda et raf ömrünün arttırılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Kesim sonrasında karkas sıcaklığı yaklaşık 38 °C düzeyinde olmaktadır ve etin sahip olduğu yüzey mikrobiyal yükü, et raf ömrünü önemli düzeyde etkilemektedir. Kesim sonrasında etlerin olgunlaşmaları için belirli bağıl nem ve sıcaklıklardaki ortamlarda bekletilmeleri sırasında UVC ışınlara maruz bırakılmaları ile et yüzey mikrobiyal gelişiminin kontrol altına alınabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında işlem görmemiş parça etlere UVC ışın uygulaması ile et yüzey mikrobiyal yükü düşürülürken, soğukta depolama sırasında ortamda kalan mikroorganizmaların gecikme fazı ve generasyon (ikiye bölünme süresi) sürelerinin uzatılması ve gelişimin yavaşlaması veya tamamen durması ile et raf ömrünün arttırılmasının mümkün

*Erdoğdu, S. B. 2011. Kısa Dalga Ultraviole (UVC) Işınların Gıdalarıda Yüzey Pastörizasyonu ile Kısa Dalga Ultraviole ve Uzak İnfrared (FIR) Işınların Tane Karabiber ve Kımyon Pastörizasyonunda Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi*

olabileceği düşünölmektedir.

#### 4.4. TAZE KÜLTÜR MANTARI

##### 4.4.1. Taze Kültür Mantarı Yüzey Mikrobiyal Yüğü Üzerinde Kısa Dalga Ultraviyole (UVC) Işınlarmn Etkisi

Taze kültür mantarlarında hasat sonrası depolama sürecinde meydana gelen renk değişimi, ağırlık kaybı, şapka çapında artış ve açılmanın temel kalite kayıplarını oluştururken, depolama sürecinde mantar raf ömrünü sınırlandıran en önemli bozulma etmeninin mantar yüzeyindeki renk değişimi ve kararma olduğu belirtilmiştir [Ares vd., 2007; Kim vd., 2006; Lukasse ve Polderdijk, 2003; Jacobsson vd., 2001]. Kültür mantarlarında renk değişimi ve kararmaya çeşitli enzim ve bakterilerin neden olduğu, özellikle de mantar yüzeyinde gelişim gösteren *Pseudomonas* cinsi bakterilerin kararmada oldukça etkili oldukları ifade edilmiştir. Kültür mantarlarında meydana gelen kararmaya *Pseudomonas* cinsi bakteriler içerisinde esas olarak *P. tolaasii* türünün sebep olduğu, bu bakterinin üretmiş olduğu tolaasin toksininin mantar yüzeyinde bulunan tirozinaz enzim aktivitesini uyararak mantar yapısında var olan monofenolik bileşiklerin difenolik bileşiklere okside olmasına neden olduğu ve böylece mantar yüzeyinde renk değişimi ve kararma meydana geldiği belirtilmiştir [Jiang vd., 2010; Ares vd., 2007; Munsch vd., 2000; Soler-Rivas vd., 1999; <http://www.teagasc.ie>]. *Pseudomonas* cinsi bakterilerin mantarda renk değişimi ve kararmanın yanısıra mantar liflerinde yumuşama, yüzeyde sümüksü ve yapışkan bir tabaka oluşumu gibi mantar raf ömrünü etkileyen bazı değişimlerde de etkili oldukları belirtilmiştir [Jiang vd., 2010; Munsch vd., 2000].

Sonuç olarak, taze kültür mantarlarında, mantar yüzeyinde gelişim gösteren mikroorganizmaların, özellikle de *Pseudomonas* cinsine ait bakterilerin gelişimlerinin engellenmesi ile mantar raf ömrünü sınırlandıran mikrobiyal ve enzimatik bozulmaların önüne geçilebileceği ve böylece mantar raf ömrünün arttırılabileceği düşünülmüştür. Mantarların iç kısmında mikrobiyal bozulmanın olmadığı göz önüne alınırsa taze kültür mantarına uygulanacak olan yüzey pastörizasyonunun, mikrobiyal kaynaklı kalite kayıpları ve bozulmaların önlenmesinde etkili olacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada, UVC ışınların taze kültür mantarı doğal yüzey mikroflorası üzerindeki etkileri belirlenirken *Pseudomonas*, *E. coli* ve mezofilik aerobik bakteriler hedef mikroorganizmalar olarak seçilmiş ve ışınların bu mikroorganizmalar üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çizelge 4.13.' te 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde, farklı sürelerde UVC ışınlara maruz bırakılan yemeklik taze kültür mantarı örneklerinde yüzey mikrobiyal flora üzerindeki değişimler görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, 30 dakika uygulama süresi sonunda UVC ışınların mantar yüzeyindeki bakteriler üzerinde etkili olmadığını göstermiş fakat, uygulama süresinin iki katına çıkarılması durumunda mantar yüzeyinde bulunan *Pseudomonas*, *E. coli* ve mezofilik aerobik bakteri popülasyonunda yaklaşık 2 logaritmik birim azalma sağlandığı görülmüştür (Çizelge 4.14.).

Çizelge 4.14. UVC ışınların taze kültür mantarı yüzey mikrobiyal florası üzerindeki etkisi.

Mikroorganizma	UVC Işın Muamele Süresi (dakika)		
	0 (Kontrol)	30	60
<i>Pseudomonas</i> (kob/g)	$7 \times 10^6$	$3 \times 10^6$	$1 \times 10^4$
<i>E. coli</i> (kob/g)	$1 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	$1 \times 10^3$
Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri (kob/g)	$2 \times 10^6$	$2 \times 10^6$	$2 \times 10^4$

Yapılan çalışmada taze kültür mantarlarının UVC ışınlara maruz bırakıldığı ilk 30 dakika içerisinde mantarlarda belirgin bir renk değişimi meydana gelmiş, 60 dakikalık uygulama sonrasında ise mantar renginde önemli düzeyde kararma olduğu görülmüştür (Şekil 4.64.). Görsel olarak belirlenen bu belirgin renk değişimi ve kararma, UVC ışın uygulamasının, her ne kadar mantar yüzey mikrobiyal yükünün düşürülmesinde etkili bir yöntem olsa da, kültür mantarlarının fiziksel kabul edilebilirliği ve albenisini etkileyen en önemli kalite parametresini oluşturan renk üzerinde göstermiş olduğu bu olumsuz etki dolayısıyla, taze kültür mantarlarında, mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik tek başına uygun bir koruma yöntemi olarak kullanılamayacağını göstermiştir.



Şekil 4.64. a-b-c. Mantar örneklerinin 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarımna maruz kalma muamele sürelerine bağlı olarak değişen görüntüleri (a; Kontrol, b; 30 dk., c; 60 dk.).

Literatürde yapılan bazı çalışmalarda yüksek dozlarda uygulanan UVC ışınların, üründe ekşime ve görsel zararlara neden olabildiği, UVC ışın uygulamalarında optimum faydanın sağlanabilmesi için, uygulamanın yapıldığı ürünlerin yapısında olumsuzluklar yaratmayacak dozların belirlenmesi ve kullanılması gerektiği belirtilmektedir [Shama ve Alderson, 2005; Gonz'alez-Aguilar vd., 2001; Cantos vd., 2001].

Erkan vd. (2001), depolama öncesinde UVC ışınlarımna maruz bıraktıkları taze yemeklik kabak (*Cucurbita pepo*) örneklerinde yüzey mikrobiyal popülasyonun düşürülmesi ve kabak raf ömrünün arttırılması üzerinde UVC ışınların etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, uygulanan ışın dozundaki artışlara bağlı olarak, depolama sürecinde örneklerde kırmızı-kahverengi renk oluşumu gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Taze domateslerde depolama sürecinde olgunlaşma ve yumuşamanın geciktirilmesi üzerinde UVC ışınların etkilerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada, yüksek

dozlarda UVC ışınlarına maruz kalan domateslerde depolama sürecinde kahverengi renk gelişimi görüldüğü ifade edilmiştir [Maharaj vd., 1999].

UVC ışın uygulaması sonrasında gözlenen belirgin renk değişimi González-Barrio vd. (2005),’ nin yaptıkları çalışmada da vurgulanmış, bu çalışmada UVC ışınlarına maruz bırakılan beyaz üzüm tanelerinde depolamanın 3. gününde kararma meydana geldiği belirtilmiştir.

Gómez vd. (2010), yaptıkları çalışmada farklı dozlarda UVC ışınlarına maruz bıraktıkları elma dilimlerini buzdolabı sıcaklığında 1 hafta süreyle depolamışlar ve depolama sürecinde dilimlerin renk ve yapısal özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada dilimlere uygulanan sıcak suda bekletme ve askorbik asit ve kalsiyum klorür çözeltilerine daldırma ön işlemleri ile dilimlerde UVC ışın uygulaması sırasında meydana gelen renk değişimi ve kararmanın ne derece engellenebileceği araştırılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar; herhangi bir ön işlem uygulanmadan doğrudan UVC ışınlarına maruz bırakılan örneklerin depolama süresi sonunda kontrol örneklerine göre daha koyu renkte olduğunu ve uygulanan UVC ışın dozundaki artışa paralel olarak renk kararmasının arttığını göstermiştir. Bununla birlikte ön işlem uygulamaları sonrasında UVC ışınlarına maruz bırakılan elma dilimlerinin depolama sürecinde orjinal renklerini kontrol örneklerine göre daha iyi koruyabildiği ifade edilmiş, UVC ışın uygulaması öncesinde yapılacak olan bir ön işlem ile ışınların renk üzerindeki olumsuz etkilerinin önüne geçilebileceği ileri sürülmüştür.

Yapılan çalışmalarda UVC ışınların örneklerde neden olduğu renk değişimi ve kararmalar üzerindeki etki mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır. Gómez vd., (2010) elma dilimlerinin mikroskop altındaki görüntülerinin, UVC ışın uygulaması sonrasında dilimlerde meydana gelen renk değişimlerinin açıklanması ve anlaşılmasında yardımcı olacağını düşünerek, UVC ışınlarına maruz bıraktıkları örnekler ile kontrol örneklerinin hücre yapılarını mikroskop altında incelemişlerdir. UVC ışınlarına maruz bırakılan dilimlerin ışın mikroskobu altında incelenen görüntüleri, UVC ışın uygulaması sırasında

hücre membranlarında bir takım çatlak ve parçalanmalar meydana geldiğini ve uygulanan doz artışı ile bu oluşumların arttığını göstermiştir. Kontrol örneklerinin ışın mikroskobu altında incelenen görüntülerinde ise dokuyu oluşturan hücreler ve hücreler arası boşlukların oldukça gevşek olduğu, hücrelerin homojen olmayıp düzensiz şekil ve boyutlarda şişkin bir görünümde ve hücreler arası boşlukların ise yine çeşitli boyut ve şekillerde düzensiz yapıda olduğu görülmüştür. İşlem görmemiş dilimlerde hücre hacminin büyük bir kısmını merkezi boşlukların oluşturduğu, hücre içi cisimciğine bağlı durumda bulunan protoplazmanın, hücre yüzeyini ince bir kartman şeklinde kaplamış durumda olduğu ifade edilmiştir. Elmalarda hücre yapısında bulunan fenolik bileşenlerin genel olarak hücreler arası boşluklarda toplandığı ve polifenol oksidaz enziminin ise hücrenin organelleri arasında hücre membranına oldukça sıkı bir şekilde bağlı durumda bulunduğu belirtilmiştir [Nicolas vd., 1994]. Elma dilimlerinin 20 dakika süresince UVC ışınlarına maruz kalması sonrasında incelenen mikroskobik görüntüde protoplazmanın parçalandığı, hücre membranında çatlaklar meydana geldiği, hücrelerin daha yuvarlak ve hücre duvarlarının daha düz olduğu görülmüştür. Çalışmada UVC ışınların, elma dilimleri hücre membranında parçalanma ve çatlaklar oluşturarak, membran yapısında bağlı durumda bulunan enzimlerin serbest kalmasına neden olması ve serbest kalan enzimlerin hücreler arası boşluklara dağılarak burada yine serbest halde bulunan substratlarla birleşmesi sonunda elma dilimlerinde hızlı bir renk değişimi ve kararmaya neden olmuş olabileceği belirtilmiştir.

González-Barrio vd. (2005), UVC ışın uygulaması sonrasında üzüm tanelerinde gözlenen renk değişimi ve kararmanın enzimatik olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada, meyve yapısında bulunan ve polifenolik bileşikleri okside etme yetisine sahip polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi enzim aktivitelerinde herhangi bir değişim saptanmamıştır. Bununla birlikte depolamanın 4. gününde, UVC ışınlarına maruz bırakılan üzüm tanelerinin kontrol örneklerine göre daha az miktarda *klorofil b* pigmenti içerdiği belirlenmiş, UVC ışınlarına maruz bırakılan üzüm tanelerinde klorofil parçalanması sırasında klorofil molekülünün  $Mg^{+2}$  katyonunu kaybetmesi ile oluşan gri-kahve renkli feofitin pigmentlerinde ise artış olduğu saptanmıştır. Çalışmada ayrıca UVC ışınlarına



maruz bırakılan örnekler ile herhangi bir işlem uygulanmayan kontrol örneklerinin mikroskop altındaki görüntüleri karşılaştırılmış ve UVC ışınlarıda maruz kalan tanelerin hücre yapısında bulunan kloroplast membranlarında parçalanmalar olduğu görülmüştür. Sonuç olarak yapılan çalışmada üzüm tanelerinde depolama sürecinde meydana gelen renk değişimi ve kararma, UVC ışınların meyve hücre yapısında klorofil sentezinin gerçekleştiği kloroplast organeli membranında oluşturduğu zararlar sonucu klorofil sentezinin azalması ve yine UVC ışınların etkisi ile meydana gelen klorofil bozunumu sırasında gri-kahve renkli feofitin pigmentleri oluşumuna bağlanmıştır.

UVC ışınların mikrobiyal yükün düşürülmesi ile mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik yapmış olduğumuz çalışmada, ışınların mantar renginde oluşturduğu kararmanın nedenlerinin belirlenmesi ile ilgili derinlemesine analizler yapılmamıştır. Bununla birlikte, literatürde, UVC ışınların çeşitli meyve ve sebzelerde neden olduğu renk değişimleri ve karamalar üzerindeki etki mekanizmalarının açıklanmasına yönelik yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, ışınların mantar hücre yapısında neden olduğu zararlar dolayısıyla mantar bünyesinde bulunan fenolik bileşenler üzerinde etkili olan enzim aktivitelerinde artışlara sebep olarak kararmaya neden olmuş olabileceği düşünülmektedir. Yapılan çalışmada amaç, mikrobiyal yükün düşürülmesi ve özellikle de mantar yüzeyindeki *Pseudomonas* cinsi bakteri gelişimlerinin sınırlandırılarak mikrobiyal kaynaklı bozulmaların önüne geçilmesidir. Çalışmada UVC ışınlar mikrobiyal yük üzerinde beklenen etkiyi göstermiş fakat ürün görsel kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda örneklerde meydana gelen renk değişimi ve kararmaların yüksek dozlarda UVC ışın uygulamaları sonrasında ortaya çıktığı belirtilmektedir. Mantarların daha düşük dozlarda UVC ışınlarıda maruz bırakılmaları durumunda, örneklerde renk değişimi ve kararmaların önlenmesi olası bir durum olsa da bu durumda, mantar yüzey mikrobiyal yükünde arzu edilen oranlarda azalma sağlanamayacağı için mikrobiyal bozulmaların önlenmesi ve mantar raf ömrünün arttırılması mümkün olamayacaktır. Gıda korumaya yönelik yapılan uygulamalarda amaç, üründe mikrobiyal bozulmaların önlenmesi olmakla birlikte bu sırada ürün fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite parametrelerinin mümkün olduğunca

korunması gerekmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışmada UVC ışınların taze kültür mantarlarında, mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik tek başına uygun bir koruma yöntemi olamayacağı belirlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında; UVC ışınların; gıdalarda mikrobiyal bozulmalar ile insanlarda enfeksiyon veya intoksikasyon gibi gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklara neden olan ve gıdalarda bulunma olasılığı yüksek bazı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri ile çeşitli bitkisel ve hayvansal gıda maddelerinde yüzey mikrobiyal yükün azaltılarak gıda raf ömrünün arttırılması üzerindeki etkileri açıklanmaya çalışılmış, UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonundaki etkinliği ve uygulamanın baharat mikrobiyal yükü yanında baharat kabul edilirliliğini etkileyen fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Çalışmada, laboratuvar ölçekli sistemlerde yapılan analizlerin, endüstriyel ölçekli FIR ve UVC ünitelerinden oluşan “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nde” tekrarlanması ile tane baharat pörizasyonuna yönelik geliştirilen yöntemin, pastörizasyon üzerindeki etkinliği ve pastörize tane baharat eldesine yönelik kullanımı sanayii boyutundaki cihazlarda test edilmiştir.

1) Çalışmada UVC ışınların besiyeri yüzeyine yayılan bakteri kültürleri üzerinde oldukça etkili olduğu, bakterilerin maruz bırakıldığı ışın şiddeti ve uygulama sürelerindeki artışlara paralel olarak, UVC ışınların bakteriler üzerindeki inaktivasyon yetisinin arttığı belirlenmiştir. Çalışmada bakterilerin UVC ışınlara göstermiş olduğu direncin birbirinden farklı olduğu, *S. Typhimurium* ATCC 14028 standart bakteri suşunun *S. aureus* ATCC 25923 ve *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşlarına göre UVC ışınlara çok daha fazla direnç gösterdiği ifade edilmiş, yaklaşık 0,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde *S. Typhimurium* ATCC 14028, *S. aureus* ATCC 25923 ve *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşlarının hesaplanan *D* değerleri sırasıyla 18,02, 9,79 ve 4,48 saniye olarak belirlenmiştir.

2) Yapılan çalışmada UVC ışınların logaritmik gelişim evresini tamamlamış ve durgun evrenin başlangıç evresindeki bakteri suşları üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmış, bu amaçla öncelikle suşların mikrobiyal gelişim eğrileri çizilerek sabit inkübasyon sıcaklığında, bakterilerin logaritmik gelişim evrelerini tamamladıkları

inkübasyon süreleri belirlenmiştir. Bakteri suşlarının sigmoidal değişim gösteren gelişim eğrilerinin tanımlanmasında doğrusal olmayan Modifiye Gompertz ve Modifiye Logistik modelleri kullanılmış, deneysel verileri ifade etmede kullanılacak olan uygun model belirlenirken, hata kareleri ortalamasının kare kökü, deneysel ve model verileri arasındaki korelasyon katsayıları ve fark analiz sonuçları kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar Modifiye Gompertz modelinin, standart bakteri suşlarının gelişim eğrilerinin tanımlanmasında uygun model olduğunu göstermiştir.

3) UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonundaki etkinliğinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada öncelikle temin edilen baharat örneklerinde, baharat tebliğinde belirtilen mikroorganizma ve mikroorganizma grupları ile koliform ve gıdalara dışkı bulaşısının indikatörü olarak kabul edilen fekal koliform bakterilerin varlığının ve düzeylerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmış, tebliğde belirtilen sınırlamalar göz önüne alınarak pastörizasyonda hedef mikroorganizma ve mikroorganizma grupları belirlenmiştir. Yapılan mikrobiyal analizlerde baharat örneklerinde mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerinin tebliğde izin verilen limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiş ve yapılacak olan pastörizasyon uygulamalarında bu iki mikroorganizma grubu hedef olarak seçilmiştir. Sonuç olarak çalışmada baharat mikrobiyal yükünün azaltılması ve pastörize baharat eldesine yönelik yapılacak olan uygulamalarda, tane kimyon ve karabiber örnekleri mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf düzeylerinin sırasıyla  $10^4$  ve  $10^2$  kob/g sınırlarına düşürülmesi ve ayrıca uygulamaların örnek bünyesinde bulunan koliform ve fekal koliform bakterileri açısından sterlizasyonu hedeflenmiştir.

4) UVC ve FIR ışınların baharat pastörizasyonundaki etkinliğinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada; tane baharat örneklerinin sabit ışın şiddetinde farklı uygulama sürelerinde sadece UVC, farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında sadece FIR ve farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ardından sabit ışın şiddetinde UVC ışınlarına maruz bırakılmaları şeklinde 3 farklı uygulama yapılmış ve örneklerde bulunan mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarını tebliğde belirtilen alt limitlere veya

bunların altına indirebilecek bir pastörizasyon işlemini hedeflenmiştir.

5) Yapılan çalışmada uygulanan yöntemin baharat pastörizasyonundaki etkinliğinin ortaya konulabilmesi ve uygulamanın sisteme beslenecek olan farklı başlangıç mikrobiyal yüklerine sahip baharat örnekleri için geçerli bir pastörizasyon işleminin belirlenebilmesi için farklı yörelere ait, farklı mikrobiyal yoğunluklara sahip baharat örnekleri kullanılmış ve başlangıç mikrobiyal yükleri farklı olan örneklerin sisteme beslenmeleri durumunda işlem sürelerindeki artışlara paralel olarak örneklerin mikrobiyal yüklerinde benzer azalma eğilimleri olduğu belirlenmiştir.

6) Çalışmada elde edilen sonuçlar; UVC ışınlarının baharat örneklerinde mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf yoğunluğunun azaltılmasına yönelik tek başına etkili bir yöntem olmadığını göstermiş, bununla birlikte UVC ışınlarının özellikle de tane baharat örneklerinde bulunan koliform ve fekal koliform bakteriler üzerinde oldukça etkili olduğu saptanmıştır.

7) Çalışmada FIR ışınlarının tane kimyon örneklerinin içermiş olduğu maya-küf popülasyonunun azaltılması üzerinde oldukça etkili oldukları saptanmış, 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında ortalama  $10^{3,1}$  kob/g düzeyinde maya-küf içeren tane kimyon örneklerinde sırasıyla 1,57, 1,9 ve 2,8 dakika işlem süreleri sonrasında maya ve küf açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir.

8) Çalışmada tek başına FIR ve FIR+UVC ışın kombinelerinin, çalışılan tüm sıcaklık-süre kombinasyonlarında, tane kimyon örneklerinin içermiş olduğu koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* üzerinde oldukça etkili olduğu, özellikle de kombine uygulama ile örneklerde bu bakteriler açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir. Tane karabiber örneklerinde ise tek başına FIR ışınlarının örneklerin içermiş olduğu maya-küf, koliform, fekal koliform *E. coli* ve *B. cereus* bakterileri üzerinde oldukça etkili olurken, kombine uygulama ile örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin tebliğde belirtilen sınırlara düşürülebildiği işlem

parametrelerinde karabiber örneklerinde mikrobiyal yük açısından sorun oluşturabilecek diğer mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarının ortamdan tamamen uzaklaştırılabildiği belirlenmiştir.

9) Çalışmada UVC ışınların tane baharat örneklerinin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri düzeyleri üzerinde tek başına önemli bir etkisi gözlenmezken, kombine uygulamalarda UVC ışınların mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki yetisinin arttırılabildiği, aynı işlem sürelerinde baharatların sadece FIR ışınlara maruz bırakılmaları durumuna göre tanelerin mikrobiyal yüklerinde daha fazla azalmalar sağlanabildiği belirlenmiştir. Baharatların FIR ışınlara maruz bırakılmaları ardından UVC ışınlara maruz kalmaları durumunda mikrobiyal ölüm üzerine sağlanan sinerjistik etki, FIR ışın uygulaması sırasında zarar gören mikroorganizmaların UVC ışınlara olan dirençlerinin azalması ve zarar gören mikroorganizmalar üzerinde UVC ışınların daha fazla öldürücü etki sergiliyor olabilmesi durumuna bağlanmıştır.

10) Çalışmada FIR ve UVC ışın uygulamalarının tane baharat örneklerinde mikrobiyal yük yanında örneklerin nem, uçucu yağ, ağırlık ve renk gibi fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin de ortaya konulması hedeflenmiştir.

11) Tane kimyon örneklerinde farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında yapılan uygulamalarda örneklerin en önemli kalite özelliğini oluşturan uçucu yağ miktarında önemli bir kayıp meydana gelmediği görülmüş, tane karabiber örneklerinde ise uygulanan sıcaklık ve sürelerdeki artışlara paralel olarak uçucu yağ miktarında değişim olmakla birlikte tanelerin uçucu yağ miktarının Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği'nde belirtilen minimum % 2 sınırının altına düşmediği belirlenmiştir. Yapılan uygulamalar sırasında baharatın en önemli kalite parametresini oluşturan uçucu yağ miktarının korunuyor olması, uygulamanın pastörizasyon amaçlı kullanımı ve ürün kabul edilirliliği açısından önemli olmaktadır.

12) Çalışmada kombine uygulamalarda tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri içeriğinde hedeflenen düzeyde azalmanın, örneklerin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılmaları durumuna göre daha kısa FIR uygulama sürelerinde düşürülebildiği ve kombine uygulamalarda tane yüzey sıcaklığında daha düşük oranlarda artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Örneğin başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5,6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılmaları durumunda, mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına 300, 250 ve 200 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 2,12, 3,40 ve 5,35 dakika işlem süreleri sonrasında düşürülebildiği ve bu sırada tane yüzey sıcaklıklarının sırasıyla 98, 82 ve 76 °C olduğu belirlenmiş, kombine uygulamalarda ise hedeflenen düzeye yine aynı infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 1,57, 2,8 ve 4,8 dakika FIR ışın uygulama süreleri sonrasında ulaşılabilirdiği ve bu işlem süreleri sonrasında tane yüzey sıcaklıklarının sırasıyla 78, 73 ve 71 °C olduğu belirlenmiştir.

13) Çalışmada kombine uygulamalarda tane kimyon mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye daha kısa FIR uygulama süreleri sonrasında düşürülebilmesine bağlı olarak termal özellikteki infrared ışınların baharat tanelerinde neden olduğu sıcaklık artışlarının sınırlandırılabilirdiği ve böylece tane fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerinin daha iyi bir şekilde korunabilirdiği belirlenmiştir. Örneğin kombine uygulama ile tane kimyon örnekleri mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürülmesi durumunda örnek ağırlığında % 4,7 oranında değişim meydana gelirken, tanelerin sadece FIR ışınlarım maruz bırakılmaları durumunda % 7,8 düzeyinde ağırlık değişimi meydana gelmiştir. Çalışmada baharat tanelerinin ardarda FIR ve UVC ışınlarım maruz bırakıldığı kombine uygulamalarda daha az oranda nem kaybı meydana gelirken tane rengine önemli bir değişim olmadığı görülmüştür.

14) Baharat pastörizasyonuna yönelik yapılan çalışmada esas amaç, tane baharat örneklerinin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri yoğunluğunun  $10^4$  kob/g düzeyine veya bu sınırın altına indirilmesi olmakla birlikte, baharat pastörizasyonuna yönelik yapılacak olan bir uygulamada mikrobiyal açıdan güvenli ürün elde edilirken,

yapılan uygulamanın ürün kabul edilirliliğini etkileyen fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerinde göstermiş olduğu değişimlerin de bir arada incelenerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Isıl olamayan bir işlem olan UVC ışın uygulamaları sırasında baharat taneleri sıcaklığında önemli bir artış meydana gelmezken, tanelerin oldukça kısa işlem sürelerinde FIR ışınlar maruz bırakılmaları sırasında ise tane yüzey mikrobiyal yükü azaltılırken, iç kısımlardaki ürün bileşenlerinde önemli düzeyde kayıplar meydana gelmeden yüzey pastörizasyonu sağlanmış ve pastörize ürün elde edilmiştir.

15) Çalışmada başlangıç mezofilik aerobik bakteri düzeyi  $10^{5,6}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin 300 °C infrared tünel sıcaklığında yaklaşık 1,57 dakika FIR ışınlar maruz kalmaları ardından  $10,5 \text{ mW/cm}^2$  sabit ışın şiddetinde 2 saat süresince UVC ışınlar maruz bırakılmaları ile örneklerin mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına düşürülebildiği, bu sırada ağırlık değişimi, nem içeriği ve renk ( $a^*$ ) değerinin sırasıyla % 4,1, % 4,2 ve 3,69 olduğu belirlenmiştir. 250 °C infrared tünel sıcaklığında yapılan kombine uygulamada ise örneklerin içermiş olduğu mezofilik aerobik bakteri düzeyinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına yaklaşık olarak 2,8 dakika uygulama süresi sonrasında ulaşıldığı saptanmış, bu sıcaklık-süre kombinasyonunda yapılan kombine uygulama sonrasında tane örneklerin ağırlık değişimi, nem içeriği ve renk ( $a^*$ ) değeri sırasıyla % 5, % 3,7 ve 3,60 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kimyon tanelerinin yüksek infrared tünel sıcaklıklarında FIR ışınlar maruz kalmaları durumunda, uygulama sürelerinin kısalmasına bağlı olarak kalite özelliklerinin daha iyi korunabildiği gözlenmiş, 200 °C infrared tünel sıcaklığında yapılan kombine uygulamalarda, örneklerin mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye indirilebilmesi için gerekli uygulama sürelerinin artmasıyla birlikte kalite özelliklerinde önemli düzeylerde kayıplar meydana geldiği belirlenmiştir.

16) Tane karabiber örneklerinde ise 300 °C infrared tünel sıcaklığında yaklaşık 4,5, 350 °C sıcaklıkta ise yaklaşık 3,3 dakika FIR uygulama süreleri ardından  $10,5 \text{ mW/cm}^2$  sabit ışın şiddetinde 2 saat UVC uygulaması ile örneklerin mezofilik



aerobik bakteri sayısı  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebilmiştir. Çalışmada 300 ve 350 °C infrared tünel sıcaklıklarında yapılan kombine uygulamalarda mikrobiyal açıdan güvenli aralığa ulaşılan işlem sürelerinde karabiber tanelerinde önemli bir renk değişimi gözlenmemiş, 300 °C sıcaklıkta yapılan kombine uygulama sonrasında tane ağırlığında % 13 düzeyinde azalma meydana geldiği ve bu sırada tane nem içeriğinin % 2,4 düzeyinde olduğu, 350 °C infrared tünel sıcaklığında ise tane karabiber örneklerinin mezofilik aerobik bakteri yoğunluğunun hedeflenen  $10^4$  kob/g düzeyine düşürülebildiği 3,3 dakika işlem süresinde tane ağırlığında % 10 düzeyinde azalma meydana gelirken örneklerin nem içeriğinin % 1,2 düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

17) Çalışmada tane kimyon örnekleri yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerinde UVC ve FIR ışınların göstermiş olduğu etkiler ayrı ayrı incelenmiş, 10,5 mW/cm<sup>2</sup> sabit UVC ışın şiddetinde 60 dakika uygulama süresi sonrasında tane kimyon yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri suşunda yaklaşık 6,5 logaritmik birim azalma sağlanmıştır.

18) FIR ışınların kimyon tanelerine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmada tane kimyon örnekleri 150, 200 ve 250 °C infrared tünel sıcaklıklarında farklı uygulama sürelerinde FIR ışınlarla maruz bırakılmışlar ve bu sıcaklıklarda sırasıyla 2,92, 2 ve 0,82 dakika uygulama süreleri sonrasında tane yüzeyine inokule edilen bakteri yoğunluğunda yaklaşık 6,4 logaritmik birim azalma sağlandığı belirlenmiştir. Çalışmada tane yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri yoğunluğunun % 90 oranında azaltılabilmesi için gerekli işlem sürelerini ifade eden *D* değerleri 150, 200 ve 250 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 0,45, 0,34 ve 0,13 dakika olarak hesaplanmıştır.

19) Tez çalışması kapsamında; FIR ve UVC ışınların baharat pastörizasyonu üzerindeki etkinliği, laboratuvar ölçekli cihazlarda yapılan analizler yanında, bir baharat işletmesine kurulan; ardarda çalıştırılabilen tünel biçimindeki FIR ve UVC ünitelerinden oluşan endüstriyel ölçekteki “Baharat Pastörizasyon Ünitesi’ nin” kullanımı ile de test

edilmiştir. Endüstriyel ölçekli FIR ve UVC üniteleri, Tübitak projesi kapsamında, tamamlamış olduğumuz üniversite-sanayi işbirliğinde yapılan bir çalışma sonunda baharat işletmesine kurulmuş ve sanayii boyutunda tasarlanmış olan endüstriyel ölçekli “Baharat Pastörizasyon Ünitesi” için T.C. Türk Patent Enstitüsü birimine, 29/01/2010 tarih ve 2010/00654 sayılı patent başvurusu yapılmıştır. Başvuru şu an ayrıntılı inceleme safasındadır.

20) Çalışmada, tane kimyon örneklerinin farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında endüstriyel ölçekli FIR ünitesine beslenmeleri sonrasında; mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen sınıra düşürülebildiği işlem koşullarında, örneklerde mikrobiyal açıdan sorun yaratan ve tebliğde belirtilen sınırların üzerinde bulunduğu belirlenen diğer mikroorganizma ve mikroorganizma gruplarında istenilen oranlarda azalmaların sağlanabildiği belirlenmiştir. Örneğin; endüstriyel ölçekli FIR ünitesine beslenen  $10^{5,5}$  kob/g mezofilik aerobik bakteri yoğunluğuna sahip tane kimyon örneklerinin 170, 190 ve 210 °C infrared tünel sıcaklıklarında 0,75, 0,70 ve 0,44 dakika, işlem süreleri sonrasında mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin sırasıyla  $10^{3,94}$ ,  $10^{3,34}$  ve  $10^{3,79}$  kob/g olduğu ve belirtilen işlem koşullarında örneklerde maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteriler ile *E. coli* açısından tam bir sterilizasyon sağlanabildiği belirlenmiştir.

21) Endüstriyel ölçekli ünitelerde yapılan denemelerde, tane kimyon mikrobiyal yükünün hedeflenen düzeye düşürülmesi için daha düşük sıcaklıklarda, daha kısa işlem sürelerinde yapılan uyulamaların yeterli olduğu belirlenmiştir. Örneğin başlangıç mezofilik aerobik bakteri yoğunluğu  $10^{5,5}$  kob/g olan tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin endüstriyel ölçekli FIR ünitesinde 170, 190 ve 210 °C infrared tünel sıcaklıklarında sırasıyla 0,75, 0,70 ve 0,44 dakika işlem süreleri sonrasında hedeflenen düzeye düşürülebildiği, örneklerin 300, 250 ve 200 °C sıcaklıklara ayarlanmış olan laboratuvar ölçekli FIR tüneline beslenmeleri durumunda ise hedeflenen düzeyde azalmanın sırasıyla 2,12, 3,40 ve 5,35 dakika işlem süreleri sonrasında sağlanabildiği belirlenmiştir.

22) Çalışmada tane kimyon örneklerinin azalan mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile tane renginde kırmızılık artışı ve koyulaşmayı ifade eden  $a^*$  değeriindeki artış arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu, FIR ünitesine beslenen kimyon tanelerinin başlangıç mikrobiyal yükleri ve maruz bırakıldıkları FIR ışın uygulama sıcaklık derecelerine bağlı olmaksızın, tanelerin tünel çıkışında ölçülen  $a^*$  değerlerinin yaklaşık 3,85 olması durumunda, tane kimyon örneklerinin mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin hedeflenen  $10^4$  kob/g sınırına ulaştığı belirlenmiştir. Kimyon tanelerinin mezofilik aerobik bakteri düzeyleri ile renk değerleri arasında yakalanan bu ilişki; farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında FIR ışınlara maruz bırakılan tane kimyon örneklerinin uygulamalar sonrasında mikrobiyal analizler ile belirlenen mezofilik aerobik bakteri düzeylerinin, renk ölçümü ile test edilmesi imkanını ortaya çıkarmıştır. İşletme bünyesinde kurulan tünel şeklindeki endüstriyel ölçekli FIR ünitesi çıkışına örneklerin renk değerini ölçecek basit bir cihazın takılması ile farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında tünele beslenen farklı mikrobiyal yoğunluklardaki örneklerde, hedeflenen düzeylerde mikrobiyal azalmaların sağlanıp sağlanmadığı yapılan mikrobiyal analizler yanında renk ölçümleri ile de hızlı bir şekilde kontrol edilebilecek, yapılacak olan renk ölçümleri ile sisteme beslenen tane kimyon örneklerinin başlangıç mikrobiyal yüklerine göre değişecek olan işlem parametrelerinin de belirlenmesi mümkün olacaktır.

23) Laboratuvar ölçekli UVC kabin içerisinde örneklerin sadece UVC ışınlarına maruz bırakılmaları durumunda UVC ışınların tane kimyon mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf yoğunluğunun azaltılması üzerinde tek başına etkili olmadığı belirlenmiştir. Fakat işletme bünyesinde tane kimyon örneklerinin endüstriyel ölçekli FIR ünitesi pas geçilerek farklı hızlarda doğrudan endüstriyel ölçekli UVC ünitesine beslenmesi durumunda farklı sürelerde UVC ışınlarına maruz bırakılan tane kimyon örneklerinde özellikle de maya-küf, koliform ve fekal koliform bakteri düzeylerinde azalmalar olduğu saptanmıştır.

24) Endüstriyel ölçekli ünitelerde yapılan kombine uygulamalarda da yine laboratuvar ölçekli çalışmalarda elde edilen bulgulara paralel olarak, örneklerin sadece

FIR ışınlarıda maruz bırakılmaları durumuna göre mikrobiyal yükte ekstra azalmalar sağlanabildiği ve kombine uygulama ile hedeflenen düzeyde mikrobiyal azalmaların sağlanabilmesi için gerekli FIR ışın uygulama sürelerinin kısaltılabildiği belirlenmiştir.

25) Çalışmada FIR ve UVC ışınların tane kimyon mikrobiyal yükünün azaltılmasına yönelik uygun bir yöntem olarak kullanılabileceği belirlenmiş ve geliştirilen yöntemin baharat pastörizasyonundaki etkinliği sanayii boyutunda endüstriyel ölçekli ünitelerde yapılan analizlerde de ortaya konulabilmiştir.

26) Yapılan çalışmada tane kimyon ve karabiber örnekleri uçucu yağ miktarında önemli bir değişim olmadığı belirlenmiş fakat baharatların gerek UVC gerekse FIR ışınlarıda maruz bırakılmaları sırasında baharat uçucu yağlarını oluşturan uçucu yağ bileşenlerinde herhangi bir değişim olup olmadığı incelenmemiştir. Baharatların ısı olmayan UVC uygulamaları ile FIR ışınlarıda maruz bırakıldıkları farklı sıcaklık-süre işlem koşullarında uçucu yağ bileşelerinde meydana gelmesi olası değişimlerin belirlenmesi geliştirilen yöntemin kabul edilirliliği açısından önemli olacaktır.

27) Baharatların sahip oldukları düşük nem ve su aktivitesi dolayısıyla uygun depo koşullarında depolanmaları durumunda mikrobiyal yüklerinde atış olması beklenen bir durum değildir. Fakat bununla birlikte pastörizasyon işlemi sonrasında özellikle de depolama sürecinde baharat fiziksel, kimyasal ve duyuşal kalite özelliklerinde ortaya çıkacak değişimlerin belirlenmesi, pastörizasyona yönelik geliştirilen yöntemin depolama sürecindeki etkilerinin de ortaya konulması bakımından önemli olacaktır.

28) Son olarak baharat pastörizasyonuna yönelik geliştirilen yöntemin tane kimyon ve karabiber dışındaki diğer baharat örnekleri üzerindeki pastörizasyon etkinliğinin ortaya konulmasına yönelik yapılacak olan analizler, uyulamanın baharat pastörizasyonuna yönelik yaygın kullanımının ortaya konulabilmesi açısından gerekli olacaktır.

29) Tez çalışması kapsamında UVC ışınların işlem görmemiş taze kırmızı et örnekleri yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 standart bakteri suşu üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. 11 mW/cm<sup>2</sup> sabit ışın şiddetinde 30 dakika süresince UVC ışınlara maruz bırakılan parça etlerde, et yüzeyine inokule edilen *E. coli* O157:H7 bakteri suşunun yaklaşık 0,7 logaritmik birim azaltılabildiği, işlem süresinin iki katına çıkarılması durumunda ise yaklaşık 1,5 logaritmik birim azalma sağlanabildiği belirlenmiştir.

30) Yapılan çalışmada UVC ışınların bakteriler üzerinde sergilemiş olduğu antimikrobiyal etkinin bakterilerin inokule edildiği ortam özelliklerine bağlı olarak değişim gösterdiği, ışınların besiyeri yüzeyine inokule edilen bakteri kültürleri üzerinde çok daha etkili oldukları belirlenmiştir. Çalışmada UVC ışınların besiyeri yüzeyine inokule edilen standart *E. coli* O157:H7 ATCC 35150 bakteri suşu üzerinde gösterdiği etkiyi, aynı bakteri suşun et yüzeyine inokule edilmesi durumunda gösteremediği belirlenmiş, bu durum, kültür aktarılan et yüzeyi ile besiyeri yüzeyi arasındaki fiziksel farklılıklara bağlanmıştır. Et yüzeyi, besiyeri yüzeyine göre oldukça pürüzlü ve gözenekli bir yapıya sahiptir ve et yüzeyine aktarılan kültür, bu pürüzlü ve de gözenekli kısımlara girmekte ve nüfuz gücü oldukça düşük olan UVC ışınların mikroorganizmalarla olan teması sınırlanmaktadır.

31) Çalışmada UVC ışın uygulaması ile taze et yüzey mikrobiyal yükü azaltılarak mikroorganizmaların neden olduğu bozulmaların sınırlandırılabilceği ve soğuk depoda et raf ömrünün arttırılmasının mümkün olabileceği görülmüştür. Kesim sonrasında karkas sıcaklığı yaklaşık 38 °C düzeyinde olmaktadır ve etin sahip olduğu yüzey mikrobiyal yükü, et raf ömrünü önemli düzeyde etkilemektedir. Kesim sonrasında etlerin olgunlaşmaları için belirli bağlı nem ve sıcaklıklardaki ortamlarda bekletilmeleri sırasında UVC ışınlara maruz bırakılmaları ile et yüzey mikrobiyal gelişiminin kontrol altına alınabileceği düşünölmektedir. Bunun yanında işlem görmemiş parça etlerin depolama sürecinde UVC ışınlara maruz bırakılmaları ile et yüzey mikrobiyal yükü düşürölürken, soğukta depolama sırasında ortamda kalan mikroorganizmaların gecikme

fazı ve bölünme sürelerinin uzatılması ve gelişimin yavaşlaması veya tamamen durması ile et raf ömrünün arttırılmasının mümkün olabileceği düşünölmüştür. Fakat yapılan tez çalışması kapsamında UVC ışınların et fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmamıştır. Sonuç olarak UVC ışınların taze kırmızı etlerde et yüzey mikrobiyal yükünün azaltılması yanında, depolama sürecinde et fiziksel, kimyasal ve duyuşsal kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması gerekmektedir.

32) Yapılan çalışmada UVC ışınların, mantar yüzeyinde gelişim gösteren ve taze kültür mantarları doğal mikroflorasını oluşturan, mezofilik aerobik bakteri, *E. coli* ve özellikle de mantarda renk değişimi ve kararmaların yanı sıra, liflerde yumuşama ve yüzeyde yapışkan bir tabaka oluşumuna neden olan *Pseudomonas* cinsi bakteriler üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Çalışmada UVC ışın uygulamaları ile taze kültür mantarlarında uygulanacak olan yüzey pastörizasyonu ile mantarlarda mikrobiyal kaynaklı kalite kayıpları ve bozulmaların önlenebileceği ve mantar raf ömrünün arttırılabileceği düşünölmüştür.

33) Elde edilen sonuçlar, UVC ışınların mantar yüzey mikrobiyal yükü üzerinde 30 dakika uygulama süresi sonunda etkili olmazken, uygulama süresinin iki katına çıkarılması ile mantar yüzeyinde bulunan mezofilik aerobik bakteri, *E. coli* ve *Pseudomonas* bakteri popülasyonunda yaklaşık 2 logaritmik birim azalma sağlandığını göstermiştir. Fakat bununla birlikte taze kültür mantarlarının UVC ışınlara maruz bırakıldığı ilk yarım saat içerisinde mantarlarda belirgin bir renk değişimi gözlenmiş, bir saat uygulama süresi sonrasında ise mantar renginde önemli düzeyde kararma meydana geldiği görölmüştür.

34) Çalışmada UVC ışınların mantar renginde oluşturduğu kararmann nedenlerinin belirlenmesine yönelik derinlemesine analizler yapılmamıştır. Fakat literatürde yapılan çalışmalarda özellikle de yüksek dozlarda UVC ışın uygulamaları sırasında UVC ışınların meyve ve sebzelerin hücre membranlarında parçalanma ve

çatlaklara neden olarak, hücre mebran yapısında bağlı olan polifenolik bileşikleri okside etme yetisine sahip polifenoloksidaz ve peroksidaz gibi enzimlerin serbest kalmasına neden oldukları ve serbest kalan enzimlerin hücreler arası boşluklara dağılarak burada serbest halde bulunan fenolik bileşikler ile birleşmesi sonucunda meyve ve sebzelerde hızlı bir renk değişimi ve kararmanın meydana geldiği belirtilmektedir.

35) Yapmış olduğumuz çalışmada amaç, mikrobiyal yükün düşürülmesi ve özellikle de mantar yüzeyindeki *Pseudomonas* cinsi bakteri gelişimlerinin sınırlandırılarak mikrobiyal kaynaklı bozulmaların önüne geçilmesidir. Çalışmada UVC ışınlar mikrobiyal yük üzerinde beklenen etkiyi göstermiş fakat mantar kabul edilirliliği ve albenisini etkileyen en önemli kalite parametresi renk üzerinde kararmaya neden olmuştur.

36) Literatürde yapılan çalışmalarda örneklerde meydana gelen renk değişimi ve kararmaların yüksek dozlarda UVC ışın uygulamaları sonrasında ortaya çıktığı belirtilmiş, UVC ışın uygulamalarında optimum faydanın sağlanabilmesi için, uygulamanın yapıldığı ürünlerin yapısında olumsuzluklar yaratmayacak dozların belirlenmesi ve kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Mantarların daha düşük dozlarda UVC ışınlara maruz bırakılmaları durumunda, örneklerde renk değişimi ve kararmaların önlenmesi olası bir durum olsa da bu durumda, mantar yüzey mikrobiyal yükünde arzu edilen oranlarda azalma sağlanamayacağı için mikrobial bozulmaların önlenmesi ve mantar raf ömrünün arttırılması mümkün olmayacaktır. Gıda korumaya yönelik yapılan uygulamalarda amaç, üründe mikrobiyal bozulmaların önlenmesi olmakla birlikte bu sırada ürün fiziksel, kimyasal ve duyuşsal kalite parametrelerinin mümkün olduğunca korunması gerekmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışmada UVC ışınların taze kültür mantarlarında, mantar raf ömrünün arttırılmasına yönelik tek başına uygun bir koruma yöntemi olmayacağı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Acar, J., “Meyve-sebze ve meyve sebze ürünlerinde mikrobiyolojik bozulmalar ve muhafaza yöntemleri”, Gıda Mikrobiyolojisi, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 317-358, (2003a).

Acar, J., “Mikroorganizmaların öldürülmesi”, Gıda Mikrobiyolojisi, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 227-258, (2003b).

Adrian, M., Jeandet, P., Douillet-Breuil, A. C., Tesson, L. and Bessis, R. “Stilbene content of mature *Vitis vinifera* berries in response to UV-C elicitation”, Journal of Agricultural Food Chemistry, 48: 6103–6105, (2000).

Al-Jassir, M. S. “Chemical composition and microflora of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds growing in Saudi Arabia”, Food Chememistry, 45: 239-42, (1992).

Alkan, R. “Doğal bitki antibiyotiği: Resveratrol Derleme”, Gıda, 32(5): 259-262, (2007).

Anonim, TS 2134-Kasım 1987 “Baharat Rutubet Miktarı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1987).

Anonim, TS 8882-Mart 1991 “Baharat, Çeşni Veren ve Tıbbi Bitkiler-Uçucu Yağ Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1991).

Anonim, TS 2137-Mart 1990 “Baharat Uçucu Olmayan Eter Ekstraktı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1990).

Anonim, TS 2410-Kasım 1997 “Sebzeler-Yemeklik Kültür Mantarı”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1997).



Anonim, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tük Gıda Kodeksi “Baharat Tebliği”, Resmi Gazete: 1-31.08.2000/24126, Tebliğ No: 2000/16, Ankara, (2000).

Anonim, Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tük Gıda Kodeksi “Çiğ Kırmızı Et ve Hazırlanmış Kırmızı Et Karışımları Tebliği”, Resmi Gazete: 07.07.2006/ 26221, Tebliğ No: 2006/31, Ankara, (2006).

Anonim, FAO, <http://www.fao.org/english/newsroom/news/2003/20224-en.html> (20.01.2011).

Anonim, FDA, United States Food and Drug Administration (FDA): Resources online [Internet]. Ultraviolet Radiation for the Processing and Treatment of Food. Code of Federal Regulations, 21 Part FR 179.39. <http://www.accessdata.fda.gov> (10.03.2011).

Anonim, GAO, “Food irradiation available research indicates that benefits outweigh risks United States” General Accounting Office Report to Congressional Requesters, August (2000) <http://www.gao.gov/new.items/rc00217.pdf> (20.09.2010).

Anonim, DNA onarımı, [http://tr.wikipedia.org/wiki/DNA\\_onarımı](http://tr.wikipedia.org/wiki/DNA_onarımı) (12 08 2010).

Altınışık, K., “Uygulamalarla Isı Transferi 2<sup>nd</sup> ed.”, Nobel Yayın, Ankara, 718 s., (2006).

Allende, A. and Artes, F. “UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed ‘Lollo rosso’ lettuce”, Food Research International, 36: 739–746, (2003).

Ares, G., Lareo, C. and Lema, P. “Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms a review”, Fresh Produce, 1(1): 32-40, (2007).

Ariel, R., Pineda, V. C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A. and Chaves, A. R. “UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper”, *Postharvest Biology and Technology*, 35: 69-78, (2005).

Atungulu, G. G. and Pan, Z., “Infrared Radiative Properties of Food Materials”, *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, (Editör: Pan, Z. and Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 19-37, (2010).

Austin, J. W., Dodds, K. L, Blanchfield, B. and Farber, J. M. “Growth and toxin production by *Clostridium botulinum* on inoculated fresh-cut packaged vegetables”, *Journal of Food Protection*, 61: 324-328, (1998).

Aydın, A. “Baharatlara uygulanan dekontaminasyon yöntemleri”, *Dünya Gıda*, 9(12): 76-81, (2003).

Baba, T., Kaneko, H. and Taniguchi, S. “Soft electron processor for surface sterilization of food material”, *Radiation Physics and Chemistry*, 71: 207–209, (2004).

Banerjee, M. and Sarkar, P. K. “Microbiological quality of some retail spices in India”, *Food Research International*, 36: 469–474, (2003).

Bank, H. L., John, J., Schmehl, M. K. and Dratch, R. J. “Bactericidal effectiveness of modulated UV Light”, *Applied and Enviromental Microbiology*, 56(12): 3888-3889 (1990).

Baranyi, J. and Roberts, T. A. “Mathematics of predictive food microbiology”, *International Journal of Food Microbiology*, 26(2): 199-218, (1995).

Barka, E. A., Kalantari, S., Makhoul, J. and Arul, J. “Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit”, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48: 667-671, (2000).

Bayram, G. and Delince, H. “Identification of irradiated Turkish food stuffs combining various physical detection methods”, Food Control, 15: 81–91, (2004).

Beaulieu, M., Aprano, G. D. and Lacroix, M. “Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bispor*”, Radiation Physics and Chemistry, 63: 311–315, (2002).

Beltran, J. A. G. and Canovas, G. V. B. “Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light”, Journal of Food Process Engineering, 28: 437-452, (2005).

Beltran, J. A. G. and Canovas, G. V. B., “Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light”, Food Science and Technology International, 10: 137–147, (2004).

Bertelsen, G. and Soerensen, B. L. “The effect of lighting on color of beef”, Proceedings of the I.I.R-Meeting, Bristol, UK., 433–438, (1986).

Bintsis, T., Tzanetaki, E. L. and Robinson, R. K. “Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review”, Journal of the Science of Food and Agriculture, 80: 637-645, (2000).

Brennan, M. H. and Gormley, T. R. “Extending the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms”, Final Report Project, ARMIS No. 4196 The National Food Centre, Dunsinea, Castleknock, Dublin, 22 s., (1998).

Brennan, M., Port, G. L. and Gormley, R. “Post harvest treatment with citric acid or ydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms”, *Lebensm Wiss Technology*, 33: 285-289, (2000).

Buchanan, R. L., Whiting, R. C. and Damert, W. C. “When is simple good enough: a comparison of the Gompertz, Baranyi, and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves”, *Food Microbiology*, 14(4): 313-326, (1997).

Buta, J. C. and Moline, H. E. “Methyl jasmonate extends shelf life and reduces microbial contamination of fresh cut celery and peppers”, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46: 1253–1256, (1998).

Cantos, E., Espín, J. C. and Tomás-Barberán, F. A. “Postharvest induction modeling method using UV irradiation pulses for obtaining resveratrol-enriched table grapes: a new "functional" fruit?”, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49(10): 5052-5058, (2001).

Cemeroğlu, B. ve Acar, J., “Meyve Sebze İşleme Teknolojisi”, Güven Yayıncılık, Ankara, 506 s., (1986).

Chacko, S., Jayalekshmy, A., Gopalakrishnan, M. and Narayanan, C. S. “Roasting studies on black pepper (*Piper nigrum L.*)”, *Flavour and Fragrance Journal*, 11: 305–10, (1996).

Choa, M., Kim, J. H. and Yoona, J. “Investigating synergism during sequential inactivation of *Bacillus subtilis* spores with several disinfectants”, *Water Research*, 40: 2911-2920, (2006).

Chun, H. H., Kim, J. Y., Lee, B. D., Yu, D. J. and Song, K. B. “Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts

during storage”, *Food Control*, 21: 276–280, (2010).

Costa, L., Vienta, A. R., Civello, P. M., Chaves, A. R. and Martinez, G. A. “UV-C treatments delays postharvest senescence in broccoli florets”, *Postharvest Biology and Technology*, 39: 204-210, (2006).

Çengel, Y. A., “Heat and Mass Transfer a Practical Approach, 3<sup>rd</sup> ed.”, Mc Graw Hill, New York, 891 s., (2007).

Çetin, B. ve Bostan, K. “Hazır köftelerin mikrobiyolojik kalitesi ve raf ömrü üzerine sodyum laktatın etkisi”, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 26: 843-848, (2002).

Das, I. and Das, S. K., “Emitters and infrared heating system design”, *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, (Editör: Pan, Z. and Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 57-88, (2010).

Datta, A. K. and Almeida, M., “Properties relevant to infrared heating of foods”, *Engineering Properties of Foods*, (Editör: Rao, M. A., Rizvi, S. S. H. and Datta, A. K.), CRC Press, Boca Raton, FL, (2005).

D’hallewin, G., Schirra, M., Pala, M. and Ben-Yehoshua, S. “Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJm<sup>-2</sup> reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of star ruby grapefruit (*C. paradisi Macf.*)”, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48: 4571–4575, (2000).

Debeleş-Bütüner, B. ve Kantarcı, G. “Mutasyon DNA Hasarı Onarım Mekanizmaları ve Kanslerle İlişkisi”, *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 35(2): 149-170, (2006).

Djenane, D., Escalante, A. S., Beltran, J. A. and Roncales, P. “Extension of the shelf life of beef steaks packaged in a modified atmosphere by treatment with rosemary and displayed under UV-free lighting”, *Meat Science*, 64: 417–426, (2003).

Djenane, D., Escalante, A. S., Beltran, J. A. and Roncales, P. “Extension of the retail display life of fresh beef packaged in modified atmosphere by varying lighting conditions”, *Journal of Food Science*, 66: 181–186, (2001).

Doğan, H. B., “Gıda Maddelerinde *Salmonella* Aranması Üzerinde Karşılaştırılmalı Bir Araştırma”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78 s., (1993).

Doğan, H. B., “*Salmonella* İdentifikasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 93 s., (2001).

Doherty A. J. and Suh, S. W. “Structural and mechanistic conservation in DNA ligases”, *Nucleic Acids Research*, 28: 4051-4058, (2000).

Douki, T., Reynaud-Angelin, A., Cadet, J. and Sage, E. “Bipyrimidine photoproducts rather than oxidative lesions are the main type of DNA damage involved in the genotoxic effect of solar UVA radiation”, *Biochemistry*, 42: 9221-9226, (2003).

Douillet-Breuil, A. C., Jeandet, P., Adrian, M. and Bessis, R. “Changes in the phytoalexin content of various *Vitis* spp. in response to ultraviolet-C elicitation”, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 47: 4456-4461, (1999).

EFSA, Scientific Report of EFSA (European Food Safety Authority and ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), “The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-Borne Outbreaks in the European Union in 2009”, *The EFSA Journal*, 9(3): 2090, 378 s., (2011).

Ekiz, H. İ., Erdoğdu, S. B. ve Erdoğdu, F. “29/01/2010 tarihli, 2010/00654 sayılı Baharat Pastörizasyon Ünitesi, başlıklı patent başvurusu”, T.C. Türk Patent Enstitüsü, (2010).

ESA, European Spice Association, “Quality Minima Document”, Business and Technical Meeting; 2004 November 2. <http://www.esa-spices.org>. (27.09.2010).

Erdoğdu, F., Ekiz, H. İ., Erdoğdu, S. B., Tuncer, M., Kazanç, S. ve İmre, Ç., “Baharatların Mikrobiyal Yüklerinin Ultraviole (UV) ve İnfrared (İR) Uygulaması ile Azaltılması ve Bu İşlemin Üretime Uygulanması”, Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı, AGY 1507, Proje No: 7070293, Proje sonuç raporu, 17 s., (2008).

Erdoğdu, F., “Kızılötesi ısıtma ile yumurtalarda *Salmonella enteritidis* hedefli bir yüzey pastörizasyon prosesi geliştirilmesi”, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, MÜH.F.GM (FE), (2006).

Erdoğdu, S. B., Ekiz, H. İ., Erdoğdu, F. Atungulu, G. G., and Pan, Z., “Industrial applications of infrared radiation heating and economic benefits in food and agricultural processing”, Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, (Editör: Pan, Z. and Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 237-275, (2010).

Erkan, M., Wang, C. Y. and Krizek, D. T. “UV-C irradiation reduces microbial population and deterioration in Cucurbita pepo fruit tissue”, Environmental and Experimental Botany, 45: 1-9, (2001).

Erkmen, O., “Gıda Mikrobiyolojisi”, Efil Yayınevi, Ankara, 552 s., (2010).

Essen, L. O. and Klar, T. “Light-driven DNA repair by photolyases”, Cell Molecule Life Science, 63(11): 1266-1277, (2006).

Farber, J. N., Harris, L. J., Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Gorney, J. R., Garrett, E. H. and Busta, F. F. “Microbiology of controlled atmosphere and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce Comprehensive Reviews”, Food Science and Food Safety, 2: 142-160, (2003).

Fasina, O. O. and Tyler, T. R., “Infrared heating of biological materials”, Food Processing Operations Modeling Design and Analysis, 2<sup>nd</sup> ed. (Editör: Irudayaraj, J.), Marcel Dekker, New York, 189-225, (2001).

Filiz, N. “Bursa’da tüketime sunulan bazı baharatların mikrobiyal florası”, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 20: 103-107, (2001).

Fine, F. and Gervais, P. “A new high temperature short time process for microbial decontamination of seeds and food powders”, Powder Technology, 157: 108-113, (2005).

Fine, F. and Gervais, P. “Efficiency of pulsed UV light for microbial decontamination of food powders”, Journal of Food Protection, 67: 787-92, (2004).

Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org/docrep/x5670e/x5670e0d.htm> (01.03. 2011).

Frazier, W. C. and Westhoff, D. C., “Food Microbiology, 4<sup>th</sup> Ed.,” McGraw Hill, Singapore, 513p., (1988).

Frietzenheimer, K. H. and Kindl, H. “Coordinate induction by UV light of stilbene synthase, phenylalanine ammonia-lyase and cinnamate 4-hydroxylase in leaves of Vitaceae”, Journal of Plant Pathology, 151: 48–52, (1981).

Fujika, H., Kai, A. and Morozumi, S. “A new logistic model for *Escherichia coli*



growth at constant and dynamic temperatures”, *Food Microbiology*, 21(5): 501-509, (2004).

Funamoto, Y., Yamauchi, N., Shigenaga, T. and Shigyo, M. “Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.)”, *Postharvest Biology and Technology*, 24: 163–170, (2002).

Garcia, L. S. and Isenberg, H. D., “Clinical Microbiology Procedures Handbook, 2<sup>nd</sup> Ed.,” Washington D.C.: American Society for Microbiology, 2298 p., (2007).

Gennadios, A., Rhim, J. W., Handa, A., Weller, C. L. and Hanna, H. A. “Ultraviolet radiation affects physical and molecular properties of soy protein films”, *Journal of Food Science*, 63(2): 1-4, (1998).

Gil, M. M., Brandao, T. R. S. and Silva, C. L. M. “A modified Gompertz model to predict microbial inactivation under time-varying temperature conditions”, *Journal of Food Engineering*, 76: 89-94, (2006).

Gómez, P. L., Alzamora, S. M., Castro, M. A. and Salvatori, D. M. “Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut apple: microorganism, color and compression behavior”, *Journal of Food Engineering*, 98(1): 60-70, (2010).

González-Aguilar, G., Wang, C. Y., Buta, J. G. and Krizek, D. T. “Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe ‘Tommy Atkins’ mangoes”, *International Journal of Food Science and Technology*, 36: 767–773, (2001).

González-Aguilar, G., Wang, C. Y., and Buta, J. G. “UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 415–422, (2004).

González-Barrio, R., Salmenkallio-Martilla, M., Tomas-Barberán, F. A., Cantos, E. and Espín, J. C. “Etiology of UV-C-induced browning in var. Superior white table grapes”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5990–5996, (2005).

Gönül, Ş. A., “Diğer gıdalarda mikrobiyolojik bozulmalar, patojen mikroorganizmalar ve muhafaza yöntemleri”, *Gıda Mikrobiyolojisi*, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 403-422, (2003).

Gürgün, V. ve Halkman, A. K., “Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri, 2. Baskı” *Gıda Teknolojisi Derneği Yayın No: 7*, Ankara, 146 s., (1990).

Hadjok, C., Mittal, G. S. and Warriner, K. “Inactivation of human pathogens and spoilage bacteria on the surface and internalized within fresh produce by using a combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide”, *Journal of Applied Microbiology*, 104: 1014–1024, (2008)

Halkman, A. K. ve Akçelik, M., “Gıdaların mikrobiyolojik analizleri 1. temel ilkeler”, *Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları*, (Editör: Akçelik, M., Aydar, L. Y., Ayhan, K., Çakır, İ., Doğan, H. B., Gürgün, V, Halkman A. K., Kaleli, D., Kuleşan, H., Özkaya, D. F., Tunail, N. ve Çağla, T.), Armoni Matbaacılık, Ankara, 105-126, (1999).

Halkman, A. K., Doğan, H. B., Kuleşan, H., Çakır, İ., Keven, F., Çoksöyler, N. ve Yazıcı, N., “Hayvansal Gıdalarda *E. coli* O157:H7 Aranmasında Minimal İnhibisyon Konsantrasyonu”, *Tübitak-Vhag 1466*, Proje Raporu, (2001).

Halkman, A. K., “Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları 1. Baskı”, *Başak Matbaacılık*, Ankara, 358 s., (2005).

Halloran, N., Çağıran, R. ve Kasım, M. U. “Sebzelerde hasat sonrası üşüme zararı”, *Gıda*, 21(5): 359-366, (1996).

Hamanaka, D., Norimura, N., Baba, N., Mano, K., Kakiuchi, M., Tanaka, F. and Uchino, T. “Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation”, *Food Control*, 22: 375-80, (2011).

Hamanaka, D., Atungulu, G.G., Tanaka, F. and Uchino, T. “Effect of combining infrared heating with ultraviolet irradiation on inactivation of mold spores”, *Food Science and Technology Research*, 16(4): 279-284, (2010).

Hamanaka, D., Uchino, T., Furuse, N., Han, W. and Tanaka, S. “Effect of the wavelength of infrared heaters on the inactivation of bacterial spores at various water activities”, *International Journal of Food Microbiology*, 108(2): 281-285, (2006).

Hamanaka, D., Dokan, S., Yasunaga, E., Kuroki, S., Uchino, T. and Akimoto, K. “The sterilization effects of infrared ray on the agricultural products spoilage microorganisms”, *ASAE Annual Meeting, Milwaukee, Wisconsin*, (2000).

Hashimoto, A., Sawai, J., Igarashi, H. and Shimizu, M. “Effect of far infrared radiation on pasteurization of bacteria suspended in liquid medium below lethal temperature”, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 25: 275-281, (1992).

Hayashi, T. “Decontamination of dry (low-energy electrons) food ingredients and seeds with soft-electrons (low energy electrons)”, *Food Science and Technology International*, 4: 114-120, (1998).

Hayashi, T., “Comparative effectiveness of gamma rays and electron beams in food irradiation”, *Food Irradiation*, (Editör: Thorne, S.), Elsevier, London, 167-216, (1991).

Hidaka, Y. and Kubota, K. “Study on the sterilization of grain surface using UV radiation development and evaluation of UV irradiation equipment”, *Japan Agricultural*

Research Quarterly, 40: 157-61, (2006).

Huang, L. “Infrared surface pasteurization of turkey frankfurters”, *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 5: 345-351, (2004).

Huang, Y. W. and Toledo, R. “Effect of high doses of high and low intensity UV irradiation on surface microbiological counts and storage-life of fish”, *Journal of Food Science*, 47(5): 1667-1669, (1982).

Isohanni, P. M. I. and Lyhs, U. “Use of ultraviolet irradiation to reduce *Campylobacter jejuni* on broiler meat”, *Poultry Science*, 88: 661–668, (2009).

“Infrared ceramic and quartz heating systems for industry”, <http://www.ceramicx.com> (27.10. 2010).

Jasinghe, V. J. and Perera, C. O. “Ultraviolet radiation: The generator of vitamin D<sub>2</sub> in edible mushrooms”, *Food Chemistry*, 95: 638-643, (2006).

Jacobsson, A., Bowr, J. and Amos, N., “Quality changes of mushrooms during storage” *ISHS Acta Horticulturae* 553: IV. International Conference on Postharvest Science, (2001).

Jiang, T., Luo, S., Chen, Q., Shen, L. and Ying, T. “Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)”, *Food Chemistry*, 122: 761–767, (2010).

Jung, Y. J., Oh, B. S. and Kang, J. W. “Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of *Bacillus subtilis* spores”, *Water Research*, 42: 1613-1621, (2008).

Jun, S. and Irudayaraj, J., “A dynamic fungal inactivation approach using selective infrared heating”, *Trans. ASAE* 46(5): 1407-1412, (2003).

Jun, S., Krishnamurthy, K., Irudayaraj, J. and Demirci, A., “Fundamentals and theory of infrared radiation”, *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, (Editör: Pan, Z. and Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 1-19, (2010).

Kanatt, S. R., Chander, R. and Sharma, A. “Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products”, *Meat Science*, 69: 269-275, (2005).

Karagöz, Z. ve Candoğan, K. “Et teknolojisinde antimikrobiyal ambalajlama”, *Gıda* 32(3): 113-122, (2007).

Karapınar, M. ve Gönül, ř. A., “Gıda kaynaklı mikrobiyal hastalıklar”, *Gıda Mikrobiyolojisi*, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 107-164, (2003).

Karapınar, M. ve Tuncel, G. “Perakende satılan bazı toz baharatların mikrobiyolojik kaliteleri”, *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 4(1): 27-36, (1986).

Kasım, M. U. ve Kasım, R. “Sebze ve meyvelerde hasat sonrası kayıpların önlenmesinde alternatif bir uygulama: UV-C”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 13(4): 413-419, (2007).

Kasım, R. ve Kasım, M. U. “Sebzelerde etilenin önemi ve 1-metilsiklopropen (1-Mcp)’in kullanımı ömrü”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(2): 227-231, (2007).

Keith, W. D., Harris, L. J., Hudson, L. and Griffiths, M. W. “Pulsed electric

fields as a processing alternative for microbial reduction in spice”, Food Research International, 30: 185-191, (1997).

Keklik, N. M., Demirci, A. and Puri, V. M. “Inactivation of *Listeria monocytogenes* on unpackaged and vacuum-packaged chicken frankfurters using pulsed UV-Light”, Journal of Food Science, 74(8): 431-439, (2009).

Khan, A. K. and Abraham, M. “Effect of irradiation on quality of spices”, International Food Research Journal, 17: 59-70, (2010).

Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J. and Hanna, M. A. “Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms”, LWT- Food Science and Technology, 39: 364–371, (2006).

Kim, T., Silva, J. L. and Chen, T. C. “Effects of UV irradiation on selected pathogens in peptone water and on stainless steel and chicken meat”, Journal of Food Protection, 65: 1142-1145, (2002).

Kispetera, J., Bajusz-Kaboka, K., Feketea, M., Szablaa, G., Fodorb, E. and Palib, T. “Changes induced in spice paprika powder by treatment with ionizing radiation and saturated steam”, Radiation Physics and Chemistry, 68: 893–900, (2003).

Krishnamurthy, K., Khurana, K. H., Jun, S., Irudayaraj, J. M. and Demirci, A. “Infrared heating in food processing: An overview comprehensive reviews”, Food Science and Food Safety, 7: 2-13, (2008).

Krishnamurthy, K., Jun, S., Irudayaraj, J. M. and Demirci, A. “Efficacy of infrared heat treatment for inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk”, Journal of Food Process Engineering, 31, 798, (2008b).

Krishnamurthy, K., Khurana, K. H., Jun, S., Irudayaraj, J. M. and Demirci, A., “Infrared radiation on food processing”, *Food Processing Operations Modeling: Design and Analysis*, 2<sup>nd</sup> ed. (Editör: Jun, S. Irudayaraj, J. M.), CRC Press, New York, 113-142, (2009).

Krishnamurthy, K., Jun, S., Irudayaraj, J. and Demirci, A., “Infrared radiation heating for food safety improvement”, *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, (Editör: Pan, Z. and Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 225-236, (2010a).

Krishnamurthy, K., Tewari, J. C., Irudayaraj, J. and Demirci, A. “Microscopic and spectroscopic evaluation of inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV light and infrared heating”, *Food Bioprocess Technology*, 3: 93–104, (2010b).

Koutchma, T. N., Forney, L. J. and Moraru, C. I., “Ultraviolet Light in Food Technology Principles and Applications”, CRC Press, New York, 278 s., (2009).

Kuo, F. L., Carey, J. B. and Ricke, S. C. “Uv irradiation of shell eggs: Effect on populations of aerobes, molds, and inoculated *Salmonella typhimurium*”, *Journal of Food Protection*, 60(6): 639-643, (1997).

Lacroix, M., Ouattara, B., Saucier, L., Giroux, M. and Smoragiewicz, W. “Effect of gamma irradiation in presence of ascorbic acid on microbial composition and TBARS concentration of ground beef coated with an edible active coating”, *Radiation Physics and Chemistry*, 71: 71-74, (2004).

Lado, B. and Yousef, E. “Alternative food preservation technologies: efficacy and mechanisms”, *Microbes and Infection*, 4: 433-440, (2002).

Lilie, M., Hein, S., Wilhelm, P. and Mueller, U. “Decontamination of spices by

combining mechanical and thermal effects—an alternative approach for quality retention”, *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 190-193, (2007).

Little, C. L., Omotoye, R. and Mitchell, R. T. “The microbiological quality of ready-to-eat foods with added spices”, *International Journal of Environmental Health Research*, 13: 31-42, (2003).

Liu, Y. “A simple thermodynamic approach for derivation of a general Monod equation for microbial growth”, *Biochemical Engineering Journal*, 31(1): 102-105, (2006).

Lobry, J. R., Flandrois, J. P., Carret, G. and Pave, A. “Monod's bacterial growth model revisited”, *Bulletin of Mathematical Biology*, 54(1): 117-122, (1992).

Lukasse, L. J. S. and Polderdijk, J. J. “Predictive modelling of post-harvest quality evolution in perishables, applied to mushrooms”, *Journal of Food Engineering*, 59: 191-198, (2003).

Lyon, S. A., Fletcher, D. L. and Berrang, M. E. “Germicidal ultraviolet light to lower numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets”, *Poultry Science*, 86: 964–967, (2007).

Maharaj, R., Arul, J., and Nadeau, P. “Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence”, *Postharvest Biology and Technology*, 15: 13–23, (1999).

Marquenie, D., Lammertyn, J., Geeraerd, A. H., Soontjens, C., Van Impe, J. F., Nicolai, B. M. and Michiels, C. W. “Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment”, *International Journal of Food Microbiology*, 74: 27–35, (2002).



Martin, S. T. and Beelman, R. B. “Growth and enterotoxin production of *Staphylococcus aureus* in fresh packaged mushrooms (*Agaricus bisporus*)”, Journal of Food Protection, 59(8): 819–826, (1996).

Mathlouthi, M. “Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs”, Food Control 12(7): 409-417, (2001).

Mattila, P., Konko, K., Eurola, M., Pihlava, J., Astola, J., Vahteristo, L., Hietaniemi, V., Kumpulainen, J., Valtonen, M. and Piironen, V. “Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms”, Journal of Agricultural Food Chemistry, 49: 2343-2348, (2001).

Mercer, M. D. and Smittle, D. A. “Storage atmospheres influence chilling injury and chilling injury induced changes in cell wall polysaccharides of cucumber”, Journal of the American Society for Horticultural Science, 1(17): 930–933, (1992).

Mor Electric Heating Association Inc., <http://www.infraredheaters.com> (27.10.2010).

Munsch, P., Geoffroy, V. A., Alatosava, T. and Meyer, J. M. “Application of siderotyping for characterization of *Pseudomonas tolaasii* and “*Pseudomonas reactans*” isolates associated with brown blotch disease of cultivated mushrooms”, Applied and Environmental Microbiology, 66(11): 4834–4841, (2000).

Murakami, E. G., Jackson, L., Madsen, K. and Schickedanz, B. “Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system”, Journal of Food Process Engineering, 29: 53-71, (2006).

Murphy, H. M., Payne, S. J. and Gagnon, G. A. “Sequential UV- and chlorine-based disinfection to mitigate *Escherichia coli* in drinking water biofilms”, Water Research, 42: 2083-2092, (2008).

Ngadi, M., Smith, J. P. and Cayouette, B. “Kinetics of ultraviolet light inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in liquid foods”, Journal of the Science of Food and Agriculture, 83: 1551-1555, (2003).

Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J. and Aubert, S. Y. “Enzymatic browning reactions in apple and apple products, Critical Reviews”, Food Science and Nutrition, 34: 109–157, (1994).

Nigro, F., Ippolito, A., Lattanzio, V., Venere, D. D. and Salerno, M. “Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry”, Journal of Plant Pathology, 82: 29–37, (2000).

Onur, E., Tuğrul, B. ve Bozyiğit, B. “DNA hasarı ve onarım mekanizmaları Derleme”, Türk Klinik Biyokimya Dergisi, 7(2): 61-70, (2009).

Ozer, N. P. and Demirci, A. “Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* inoculated on raw salmon fillets by pulsed UV-light treatment”, International Journal of Food Science and Technology, 41(4): 354-360, (2006).

Özkütük, N. “Ultraviyole lambalarının kullanımı”, 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 490-496, (2007).

Öztan, A., “Et Bilimi ve Teknolojisi”, Filiz Matbaacılık, Ankara, 495 s., (2005).

Pan, J., Vicente, A. R., Martínez, G. A., Chaves, R. A. and Civello, P. M. “Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of

strawberry fruit”, *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 84(14): 1831-38, (2004).

Pombo, M. A., Dotto, C. M., Martınez, G. A. and Civello, P. M. “UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation”, *Postharvest Biology and Technology*, 51: 141–148, (2009).

Rajkowski, T. “Inhibition of *Shigella sonnei* by ultraviolet energy on agar, liquid media and radish sprouts”, *Journal of Food Safety*, 27(2): 233-240, (2007).

Renner, M. “Review: Factors involved in the discolouration of beef meat”, *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 613–630, (1990).

Rico, W. C., Kim, G. R., Ahn, J. J., Kim, H. K., Furuta, M. and Kwon, J. H. “The comparative effect of steaming and irradiation on the physicochemical and microbiological properties of dried red pepper (*Capsicum annum L.*)”, *Food Chemistry*, 119: 1012–1016, (2010).

Sakai, N. and Hanzawa, T. “Review applications and advances in far-infrared heating in Japan”, *Trends in Food Science and Technology*, 5: 357-362, (1994).

Sapers, G. M., Miller, R. L., Pilizota, V. and Kamp, E. “Shelf life extension of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) by application of hydrogen peroxide and browning inhibitors”, *Journal of Food Science*, 66(2): 362-366, (2001).

Sawai, J., Sagara, K., Hashimoto, A., Igarashi, H. and Shimizu, M. “Inactivation characteristics shown by enzymes and bacteria treated with far-infrared radiative heating”, *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 661-667, (2003).

Sawai, J., Sagara, K., Kasai, S., Igarashi, H., Hashimoto, A., Kokugan, T.,

Shimizu, M. and Kojima, H. “Far infrared irradiation induced injuries to *Escherichia coli* at below the lethal temperature”, *Journal of Industrial Microbial Biotechnology*, 24: 19-24, (2000).

Sawai, J., Kojima, H., Igarashi, H., Hashimoto, A., Fujisawa, M., Kokugan, T. and Shimizu, M. “Pasteurization of bacterial spores in liquid medium by far-infrared irradiation”, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 30: 170-172, (1997).

Sádecká J. “Irradiation of spices”, *Czech Journal of Food Science*, 25: 231-242, (2007).

Sádecká, J., Kolek, E., Salková, Z., Petřiková, J. and Kovác, M. “Effect of gamma-irradiation on microbial decontamination and organoleptic quality of black pepper (*Piper nigrum* L.)”, *Czech Journal of Food Science*, 22: 342–345, (2004).

Schweiggert, U., Mix, K. and Schieber, A. “Reinhold carle an innovative process for the production of spices through immediate thermal treatment of the plant material”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 143–153, (2005).

Schweiggert, U., Carle, R. and Schieber, A. “Conventional and alternative processes for spice production a review”, *Trends in Food Science and Technology*, 18: 260-268, (2007).

Serrano, M., Martinez-Madrid, M. C., Pretel, M. T., Riquelme, F. and Remojaro, F. “Modified atmosphere packing minimizes increases in putrescine and abscisic acid caused by chilling injury in pepper fruit”, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 45: 1668–1672, (1997).

Shama, G. and Alderson, P. “UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation”, *Trends in Food Science and Technology*, 16: 128–136, (2005).

Sharma, R. R. and Demirci, A. “Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling”, *Journal of Food Science*, 68(4): 1448-1458, (2003).

Silva, C. A .S., Andrade, N. J., Soares, N. F. and Ferreira, S. O. “Evaluation of ultraviolet radiation to control microorganisms adhering to low-density polyethylene films”, *Brazilian Journal of Microbiology*, 34: 175-178, (2003).

Simón, A., González-Fandos, E. and Vázquez, M. “Effect of washing with citric acid and packaging in modified atmosphere on the sensory and microbiological quality of rsliced mushrooms (*Agaricus bisporus* L.)”, *Food Control*, 21: 851–856, (2010).

Singh, G., Kapoor, I. P., Pandey, S. K., Singh, U. K. and Singh, R. K. “Short communication Studies on essential oils: Part 10; antibacterial activity of volatile oils of some spices”, *Phytotherapy Research*, 16: 680–682, (2002).

Singh, R. P. and Heldman, D. R., “Introduction to Food Engineering, 3<sup>rd</sup> ed”, Academic Press, CA, USA, 659 s., (2001).

Singh, R. P. and Erdoğdu, F., “Virtual Experiments in Food Processing, 2<sup>nd</sup> ed.”, RAR Press, Davis, CA, USA, 208 s., (2004).

Siyakuş, G., Yazıcı, N., Halkman, H. B. D., Abbas, S. M. N., Güler, A., Köseoğlu, T., Güler, U. ve Halkman, A. K., “Kırmızı biber, karabiber ve kimyonda ışınlamaya dirençli bakteri türlerinin ve D<sub>10</sub> değerlerinin belirlenmesi”, TAEK Projesi, (2003).

Soler-Rivas, C., Arpin, N., Olivier, J. M. and Wichers, H. J. “The effects of tolaasin, the toxin produced by *Pseudomonas tolaasii* on tyrosinase activities and the induction of browning in *Agaricus bisporus* fruiting bodies”, *Physiological and*

Molecular Plant Pathology, 55: 21-28, (1999).

Sommers, C. H., Cooke, P. H., Fan, X. and Sites, J. E. “Ultraviolet light (254 nm) inactivation of *Listeria monocytogenes* on frankfurters that contain potassium lactate and sodium diacetate”, Journal of Food Science, 74 (3): 114-119, (2009).

Staack, N., Ahrné, L., Borch, E. and Knorr, D. “Effects of temperature, pH, and controlled water activity on inactivation of spores of *Bacillus cereus* in paprika powder by near-IR radiation”, Journal of Food Engineering, 89: 319-324, (2008a)

Staack, N., Ahrné, L., Borch, E. and Knorr, D. “Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder”, Journal of Food Engineering, 86: 17-24 (2008b).

Staack, N., “Potential of infrared heating as a method for decontaminating food powder Process development and impact on product quality”, Prozesswissenschaften der Teknik Üniversitesi, Berlin, Doktora tezi, 138 s., (2008).

Stermer, R. A., Lasater-Snith, M. and Barasington, C. F. “Ultraviolet radiation an effective bactericide for fresh meat”, Journal of Food Protection, 50(2): 108-111, (1987).

Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Chalutz, E., Droby, S., Kabue, M. K., Haung, Z., Adeyeye, O., Pusey, L. P. and Tang, A. Y. A. “Induced resistance of sweet potato to *Fusarium* root rot by UV-C hormesis”, Crop Protection, 18: 463–470, (1999).

Stevens, C., Liu, J., Khan, V. A., Lu, J. Y., Kabue, M. K., Wilson, C. L., Igwegbe, E. C. K., Chalutz, E. and Droby, S. “The effects of low-dose ultraviolet light-c treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and rhizopus soft rot development of tomatoes”, Crop Protection, 23: 551–554, (2004).

Suhaj, M., Ra'cova', J., Polovka, M. and Brezov, V. "Effect of C-irradiation on antioxidant activity of black pepper (*Piper Nigrum* L.)", *Food Chemistry*, 97: 696–704 (2006).

Sumner, S. S., Wallner-Pendleton, E. A., Froning, G. W. and Stetson, L. V. "Inhibition of *Salmonella typhimurium* on agar medium and poultry skin by ultraviolet energy", *Journal of Food Protection*, 59(3): 319-321, (1996).

Sun, D. and McDonald, K. "Predictive food microbiology for the meat industry: a review", *International Journal of Food Microbiology*, 52: 1-27, (1999).

Taghipour F. "Ultraviolet and ionizing radiation for microorganism inactivation", *Water Research*, 38(18): 3940-3948, (2004).

Tainter, D. R. and Grenis, A. T., "Spices and Seasonings: A Food Technology Handbook, 2<sup>nd</sup> ed.", Wiley, New York, 249 s., (2001).

Teagasc; Agriculture and Food Development Authority, <http://www.teagasc.ie/research/reports/foodprocessing/4196.html> 01.03. 2011).

Teichmann, A., Dutta, P. C., Staffas, A. and Jagerstad, M. "Sterol and vitamin D<sub>2</sub> concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation", *Food Science and Technology*, 40(5): 815-822, (2007).

Temiz, A., "Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri" 3. Baskı, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 291 s., (2000).

Tran, M. T. T. and Farid, M. "Ultraviolet treatment of orange juice", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5: 495-502, (2004).

Tunail, N., “Mikrobiyal enfeksiyonlar ve intoksikasyonlar”, Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları, (Editör: Akçelik, M., Ayhan, K., Çakır, İ., Doğan, H. B., Gürgün, V., Halkman, K., Kaleli, D., Kuleaşan, H., Özkaya, D. F., Tunail, N. ve Tükel, Ç.), Sim Matbaacılık, Ankara, 81-184, (2000).

Uchino, T., Inoue, A., Kawasaki, K., Hamanaka, D., and Tanaka, S. “The possibility of applying the infrared radiation to disinfection of fresh citrus fruit”, Journal of Kyushu Branch Japan Society Agricultural, 53: 7-10, (2004).

Üçüncü, M., “Gıda Ambalajlama Teknolojisi, 2. Baskı”, Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 893 s., (2007).

Üner, Y., Çetin, Ö. ve Özer, E. “Baharatta görülen mikrobiyolojik kontaminasyonlar”, İstanbul Üniviversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 26(1): 27-34, (2000).

Üner, Y. ve Ergün, Ö. “Piyasada satısa sunulan çeşitli baharatın bazı patojenler ve genel mikrobiyolojik kriterler yönünden incelenmesi”, İstanbul Üniviversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 25(2): 245–251, (1999).

Ünlütürk, A., “Mikrobiyal gelişmenin inhibisyonu”, Gıda Mikrobiyolojisi, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 171-226, (2003).

Ünlütürk, A. ve Turantaş, F., “Et ve et ürünlerinde mikrobiyolojik bozulmalar, patojen mikroorganizmalar ve muhafaza yöntemleri”, Gıda Mikrobiyolojisi, (Editör: Ünlütürk, A. ve Turantaş, F.), Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 259-286, (2003).

Ünlütürk, A. ve Turantaş, F., “Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi 2. baskı”, Meta Basım Matbaacılık, İzmir, 186 s., (2002).



Üstün, A. S., Ellialtıoğlu, ř. ve Mehmetoğlu, Ü., “Biber (*Capsicum Annuum* L.) Hücre Süspansiyon Kültüründe Kapsidiol Oluşumunu Etkileyen Bazı Etmenler”, Araştırma Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu, 95 05 03 02 No’lu ve Tübitak-Togtag 1421 No’lu Projeler 16 s., (1995).

Van Impe, J. F, Poschet, F., Geeraerd, A. H. and Vereecken, K. M. “Towards a novel class of predictive microbial growth models”, International Journal of Food Microbiology, 100: 97-105, (2005).

Variyar, P. S., Gholap, A. S. and Thomas, P. “Effect of  $\gamma$ -irradiation on the volatile oil constituents of fresh ginger (*Zingiber Officinale*) rhizome”, Food Research International, 30: 41-43, (1997).

Vicente, A. R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A. and Chaves, A. R. “UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper”, Postharvest Biology and Technology, 35: 69-78, (2005).

Vural, A., Kaya, N. B. A. ve Mete, M. “Bazı öğütölmüş baharatlarda küf ve maya florasının incelenmesi”, Dicle Tıp Dergisi, 31(3): 15-19, (2004).

Wallner-Pendleton, E. A., Sumner, S. S., Froning, G. W. and Stetson, L. E. “The use of ultraviolet radiation to reduce *Salmonella* and psychrotrophic bacterial contamination on poultry carcasses”, Poultry Science, 73(8): 1327-33, (1994).

Wong, E., Linton, R. H. and Gerrard, D. E. “Reduction of *E. coli* and *Salmonella* on pork skin and pork muscle using ultraviolet light”, Food Microbiology, 15(4): 415-423, (1998).

World Trade Organization (WTO): Resources online [Internet]. [Accessed 2010 Agust 10] ITC calculations based on COMTRADE Statistics Trade Statistics, Available

from: <http://www.wto.org>.

Xiong, R., Xie, G., Edmondson, A. S., Linton R. H. and Sheard, M. A. “Comparison of the Baranyi model with the modified Gompertz equation for modelling thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A”, Food Microbiology, 16(3): 269-279, (1999).

Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D. and Marcy, J. E. “Response of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 to UV energy”, Journal of Food Protection, 66(6): 1071-1073, (2003).

Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D. and Marcy, J. E. “Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy”, International Journal of Food Microbiology, 90: 1-8, (2004).

Yousef, A. E. and Marth, E. H. “Inactivation of *Listeria monocytogenes* by ultraviolet energy”, Journal of Food Science, 53(2): 571-573, (1988).

Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M. and Riet, V. “Modelling of the bacterial growth curve”, Applied and Environmental Microbiology, 56(6): 1875-1881, (1990).

Zweifel, C. and Stephan, R. “Spices and herbs as source of *Salmonella*-related foodborne diseases”, Food Research International, Article in press, (2011).

## ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ

**Adı Soyadı:** S. Belgin ERDOĞDU

**Doğum Tarihi:** 04/03/1977

### Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Hazırlık	Yabancı Diller Bölümü	Ege Üniversitesi	1995-1996
Lisans	Gıda Mühendisliği	Ege Üniversitesi	1996-2000
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2000-2004
Doktora	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2004-

### Görevler:

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Arş. Gör.	Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü	2001-

### ESERLER:

#### Yüksek Lisans Tezi

Ünal, S. B. “Kırmızı Etlerde Tri-Sodyum-Polifosfat Kullanımı ve Tri-Sodyum Polifosfat’ ın Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi”, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99 s., (2004).

#### Projeler

Ekiz, H. İ. ve Erdoğdu, S. B. “Mor Ötesi Işın Uygulaması Yöntemiyle Gıdaların Mikrobiyal Yüklerinin Azaltılması Ve Gıda Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi”,

Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP-FBE GM (SBE) 2011-2 DR

Erdoğdu, F., Ekiz, H. İ., Erdoğdu, S. B., Tuncer, M., Kazanç, S. ve İmre, Ç. “Baharatların Mikrobiyal Yüklerinin Ultraviyole (UV) ve İnfrared (İR) Uygulaması ile Azaltılması ve Bu İşlemin Üretime Uygulanması”, Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Proğramı, AGY 1507, Proje No: 7070293, (2008-2009).

Ekiz, H. İ. ve Erdoğdu, S. B. “Mor Ötesi Işın Uygulamasının Gıdalarda Bulaşma Olasılığı Yüksek Bazı Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi İle Sığır Etlerinde Yüzey Mikrobiyal Yükün Azaltılması Üzerine Etkisinin Belirlenmesi”, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP-MÜH.F.GM(HİE) 2006-3.

Ekiz, H. İ. Erdoğdu, F. ve Ünal, S. B. “Kırmızı Etlerde Tri-Sodyumpolifosfat Kullanımı, Trisodyumpolifosfatın Tekstür Üzerine Etkisi Ve Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi”, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP-MÜH.F.GM(FE) 2004.

## **Makaleler**

Erdoğdu, S. B. and Ekiz, H. İ. “Effect of ultraviolet and far infrared radiation on microbial decontamination and quality of cumin seeds”, Journal of Food Science, 76(5):284-292, (2011).

Erdoğdu, S. B., Erdoğdu, F. and Ekiz, H. İ. “Influence of sodium tripolyphosphate (STP) treatment and cooking time on cook losses and textural properties of red meats”, Journal of Food Process Engineering, 30: 685-700, (2007).

Erdoğdu, S. B., Palazoğlu, T. K., Gökmen, V., şenyuva, H. Z. and Ekiz, H. İ. “Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave-precooking of potato-strips”, Journal of the Science of Food and Agriculture, 87: 133-137, (2007).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F. and Ekiz, H. İ., “Effect of temperature on phosphate diffusion in meats”, *Journal of Food Engineering*, 76: 2, 119-127, (2006).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F., Ekiz, H. İ. and Özdemir, Y., “Experimental theory, fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats”, *Journal of Food Engineering*, 65: 263-272, (2004).

Ünal, S. B., Metin, S. and Işıklı, D. N. “Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low-fat set yoghurt”, *International Dairy Journal*, 13: 909-916, (2003).

## **Sunumlar**

Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “Combined Effect of Ultraviolet (UVC) and Far Infrared (FIR) Radiation on Quality and Microbial Decontamination of Cumin Seeds”, *Food Process Engineering in a Changing World, International Congress on Engineering and Food, ICEF11, Athens, Greece, 2011 (Sözlü bildiri)*.

Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “Effectiveness of Ultraviolet and Far Infrared Radiation Treatments on Inhibiting Natural Microflora and Quality of Cumin Seeds”, *Novel Approachs In Food Industry, International Food Congress, NAFI, İzmir, Türkiye, 2011 (Poster sunumu)*.

Eser, E., Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “Effects of Far Infrared Treatment on Natural Microbial Flora of Peanut”, *Novel Approachs In Food Industry, International Food Congress, NAFI, İzmir, Türkiye, 2011 (Poster sunumu)*.

Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “Tane Kimyona İnokule Edilen *Escherichia coli* O157:H7 Bakterisinin Uzak-Kızılötesi Işınlar ile İnaktivasyonu”, 2. Gıda Güvenliği Kongresi P-

06, İstanbul, Türkiye, 2010 (Poster sunumu).

Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “İnfrared Işınların Tane Kimyon Mikrobiyal Yükü Üzerine Etkisi”, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Ankara, Türkiye, 2010 (Poster sunumu).

Erdoğdu, S. B. ve Ekiz, H. İ. “*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 Mikroorganizma Suşları Üzerine Kısa Dalga Mor Ötesi Işınların (UVC)”, s: 689-694, TMMOB Gıda Mühendisliği Kongresi, Antalya, Türkiye, 2009 (Poster sunumu).

Erdoğdu, S. B., Voit, D. ve Singh, R. P. “Kesme Hızı ve Yönünün Bazı Lifli Gıda Maddelerinde Kesme Sırasında Harcanan Enerji Üzerine Etkisi”, Gıda Mühendisliği 5. Kongresi, Ankara, Türkiye, 2007 (Poster sunumu).

Erdogdu, S. B., Voit D. and Singh, R. P. “Effects of cutting velocity and cutting direction on the energy requirements of fibrous food materials” (078E-25). Institute of Food Technologists (IFT) Annual Meeting and Food Expo, Orlando, FL, USA, 2006 (Poster sunumu).

Erdogdu, S. B., Palazoğlu, T. K., Gökmen, V., Şenyuva, H. Z. and Ekiz, H. İ. “Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave-precooking of potato strips” (003B-03). Institute of Food Technologists (IFT) Annual Meeting and Food Expo, Orlando, FL, USA, 2006 (Poster sunumu).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F. ve Ekiz, H. İ. “Kırmızı etlerde fosfat yayılımı ve sodyum tripolifosfat difüzyon katsayısının belirlenmesi,” Gıda Kongresi, İzmir, Türkiye, 2005 (Sözlü bildiri).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F. ve Ekiz, H. İ. “Effects of internal temperature changes and

sodium tripolyphosphates on cook losses and textural properties of meats” (36D-17). Institute of Food Technologists (IFT) Annual Meeting and Food Expo, New Orleans, LA, USA, 2005 (Poster sunumu).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F. ve Ekiz, H. İ. “Experimental determination of diffusion coefficient of sodium tripolyphosphates (STP) and the effect of temperature on STP diffusion” (17G-14). Institute of Food Technologists (IFT) Annual Meeting and Food Expo, Las Vegas, NV, USA, 2004 (Poster sunumu).

Ünal, S. B., Erdoğdu, F., Ekiz, H. İ. ve Özdemir, Y. “Multi-Component Mass Transfer of Phosphate Diffusion in Meats”, International Conference on Food Engineering, ICEF9, Montpellier, France, 2004 (Poster sunumu).

Ünal, S. B., Erdoğdu F., Özdemir, Y. ve Ekiz, H. İ. “A preliminary study on the investigation of multi-component diffusion of phosphates in meat samples dipped in different sodium tri-polyphosphate solutions” (92B-47). Institute of Food Technologists (IFT) Annual Meeting and Food Expo, Chicago, IL, USA, 2003 (Poster sunumu).

### **Kitap İçinde Bölüm Yazarlığı (Yurt Dışı)**

Erdoğdu, S. B., Ekiz, H. İ., Erdoğdu, F. Atungulu, G. G., and Pan, Z. “Industrial applications of infrared radiation heating and economic benefits in food and agricultural processing”, Infrared Heating for Food and Agricultural Processing, (Editor: Pan, Z., Atungulu, G. G.), CRC Press, New York, 237-275, (2010).

### **Hakemlik Yapılan makaleler**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1958**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1660**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1698**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1443**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-583**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-813**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1075**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-318**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-53**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-88**

Journal of Food Chemistry, **FOODCHEM-D-07-02183**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-131**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-99**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-212**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-252**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1266**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1184**



*Erdoğdu, S. B. 2011. Kısa Dalga Ultraviole (UVC) Işınların Gıdalarıda Yüzey Pastörizasyonu ile Kısa Dalga Ultraviole ve Uzak İnfrared (FIR) Işınların Tane Karabiber ve Kımyon Pastörizasyonunda Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi*

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1236**

Food and Bioprocess Technology, **FABT-1269**