

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



YUMURTA YÜZEYİNİN DEZENFEKSİYONUNDA
OZON VE ULTRASONİKASYON TEKNOLOJİLERİNİN
KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN ÖZBAKIR

BOLU, ARALIK - 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Selin ÖZBAKIR tarafından hazırlanan “YUMURTA YÜZEYİNİN DEZENFEKSİYONUNDA OZON VE ULTRASONİKASYON TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILMASI” adlı tez çalışması 25.12.2015 tarihinde Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

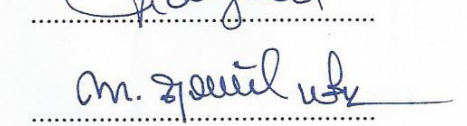
Jüri Üyeleri

Danışman
Prof. Dr. Gülsün AKDEMİR EVRENDİLEK

Üye
Prof. Dr. Kamuran AYHAN

Üye
Doç. Dr. Şamil KÖK

İmza




Prof. Dr. Duran KARAKAŞ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

SELİN ÖZBAKIR

ÖZET

YUMURTA YÜZEYİNİN DEZENFEKSİYONUNDA OZON VE ULTRASONİKASYON TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILMASI YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN ÖZBAKIR

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. GÜLSÜN AKDEMİR EVRENDİLEK)

BOLU, ARALIK - 2015

Çalışmada yumurta yüzeyinin dezenfeksiyonu amacıyla ozon (O) ($1O_3$; 33.6 g/m^3 konsantrasyon 5 dk uygulama süresi ve $2O_3$; 101.0 g/m^3 konsantrasyon ve 15 dk uygulama süresi), ultrasonikasyon (US) (1US; 35 kHz, 1200 W, 3 dk uygulama süresi ve 2US; 35 kHz, 1200 W, 6 dk uygulama süresi) teknolojileri ve bunların kombine uygulamalarının ($3US+3O_3$; 1200 W, 35 kHz, 2 dk+ 20.2 g/m^3 , 3 dk ve $3O_3+3US$; 20.2 g/m^3 , 3 dk+1200 W, 35 kHz, 2 dk) yumurtaların doğal mikroflorasında ve yumurta yüzeyine kontamine edilen patojen bakterilerin inaktivasyonundaki etkisinin incelenmesi (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis, *Listeria monocytogenes*), yumurta yüzeyinin ve bakterilerin SEM ile görüntülenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu uygulamaların yumurtanın duyusal (renk, koku, tat-aroma, ağızda bıraktığı his) ve kalite özellikleri üzerine etkisi (ağırlık, özgül ağırlık, renk, şekil indeksi, Haugh birimi, ak indeksi, sarı indeksi, pH, yumurta yüzeyi mineral madde analizi) incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre ozon uygulamaları (5 ve 15 dk) başlangıç *L. monocytogenes* (2.48 ve 2.83 log kob/mL), *S. Enteritidis* (2.63 ve 3.20 log kob/mL), *E. coli* O157:H7 (5.9 ve 6.7 log kob/mL) ve toplam Enterobacteriaceae (2.34 ve 5.42 log kob/mL) sayılarında önemli derecede azalma sağlarken, başlangıç toplam maya küf sayısı tamamen inaktive edilmiştir. Ayrıca, yumurtanın duyusal ve kalite özelliklerinde herhangi olumsuz bir etki görülmemiştir. Ozon uygulamaları ile kıyaslandığında US uygulamaları (3 ve 6 dk) sonunda başlangıç mikrobiyel yükte daha az inaktivasyon (*L. monocytogenes* 0.64 ve 0.61 log kob/mL, *S. Enteritidis* 1.08 ve 1.13 log kob/mL, *E. coli* O157:H7 0.02 ve 0.38 log kob/mL) elde edilmiş olup, kalite özelliklerinden ağırlık ve özgül ağırlıkta artışa, kabuk gücünde azalmaya ve kabukta çatlamalara neden olmuş, yumurtanın duyusal özelliklerinde ise bir değişim gözlenmemiştir. Bu iki teknolojinin kombine olarak uygulanması durumunda mikrobiyel inaktivasyon bakımından ozonun önce uygulanması ($3O_3+3US$) daha etkili olurken kalite özelliklerindeki istenmeyen değişiklikler her iki kombinasyonda ($3US+3O_3$ ve $3O_3+3US$) da gözlenmiştir. SEM analizlerinde yine uygulamaların dozuna bağlı olarak bakterilerin hücre yapılarında deformasyonlar, hücrelerde parçalanmalar görülürken, US uygulamaları sonucu (1US, 2US, $3US+3O_3$, $3O_3+3US$) yumurta kabuğunda aşınma ve çatlaklar ile karşılaşmıştır. Dolayısıyla, ozon teknolojisinin yumurta güvenliğini ve kalitesini sağlamak amacıyla kullanılması tavsiye edilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Yumurta, Ozon, Ultrasonikasyon, SEM, Dezenfeksiyon, Mikrobiyel İnaktivasyon, Yumurta Kalite Özellikleri

ABSTRACT

THE USE OF OZONE AND ULTRASONICATION TECHNOLOGIES ON THE DISINFECTION OF EGG SURFACE

MSC THESIS

SELİN ÖZBAKIR

ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. GÜLSÜN AKDEMİR EVRENDİLEK)

BOLU, DECEMBER 2015

Effectiveness of ozone (O) ($1O_3$; 33.6 g/m³, 5 min and $2O_3$; 101.0 g/m³, 15 min), ultrasonication (US) (1US; 35 kHz, 1200 W, 3 min and 2US; 35 kHz, 1200 W, 6 min) and their combined applications ($3US+3O_3$; 1200 W, 35 kHz, 2 min+20.2 g/m³, 3 min and $3O_3+3US$; 20.2 g/m³, 3 min+1200 W, 35 kHz, 2 min), on the inactivation of natural microflora and pathogen bacteria (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Enteritidis, *Listeria monocytogenes*) contaminated on egg shell surface and imaging of both egg surface and bacteria by scanning electron microscope (SEM) were prompted in the study. Moreover, effect of these applications on the sensory and the quality characteristics (weight, specific gravity, color, shape index, Haugh unit, albumen index, yolk index, pH, egg surface mineral analysis) of eggs were also examined. It was found that while ozone applications (5 and 15 min) provided a significant decrease in the initial numbers of *L. monocytogenes* (2.48 and 2.83 logs cfu/mL), *S. Enteritidis* (2.63 and 3.20 logs cfu/mL), *E. coli* O157:H7 (5.9 and 6.7 logs cfu/mL) and total Enterobacteriaceae (2.34 and 5.42 logs cfu/mL); total mold and yeast count was completely inhibited. Moreover, no adverse effect was observed on the sensory and the quality characteristics of the eggs. Compare to ozone, US applications (3 and 6 min) resulted in less reduction on the initial counts of microbial load (*L. monocytogenes* 0.64 ve 0.61 log cfu/mL, *S. Enteritidis* 1.08 ve 1.13 log cfu/mL, *E. coli* O157:H7 0.02 ve 0.38 log cfu/mL) causing an increase in weight and specific gravity of the quality characteristics and a decrease on eggshell strength and cracking in eggshell with no significant change in the sensory characteristics of the eggs. Combinations of these technologies -with ozon applied before US- were more effective on microbial inactivation, but undesired changes on quality attributes were observed in both $3US+3O_3$ and $3O_3+3US$ combinations. While structural deformations and disruption of cells were observed depending on the application doses by SEM; cracking and corrosion on eggshell were detected after US applications (1US, 2US, $3US+3O_3$, $3O_3+3US$). Therefore, it is suggested to use ozone technology to ensure egg safety and quality.

KEYWORDS: Egg, Ozone, Ultrasonication, SEM, Disinfection, Microbial Inactivation, Eggshell Quality

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
TEŞEKKÜR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1 Ozon	6
2.1.1 Ozonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	6
2.1.2 Ozonun Üretimi	7
2.1.3 Ozonun Kullanım Alanları.....	8
2.1.4 Ozonun Mikroorganizmalara Etkisi.....	9
2.2 Ultrasonikasyon	10
2.2.1 Gıdalarda Ultrasonikasyonun Kullanım Alanları	11
2.2.2 Ultrasonikasyonun Çalışma Prensibi	11
2.2.3 Ultrasonikasyonun Mikrobiyel Etkisi	12
2.3 Kullanılan Mikroorganizmaların Özellikleri.....	13
2.3.1 <i>Salmonella</i> Enteritidis.....	13
2.3.2 <i>Escherichia coli</i> O157:H7	14
2.3.3 <i>Listeria monocytogenes</i>	15
2.4 Yumurta ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	16
2.5 Ozon ve Ultrasonikasyonun Farklı Gıdalarda Uygulanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Materyal.....	24
3.1.1 Yumurta	24
3.1.2 Bakteri Kültürleri	24
3.1.3 Ozon Cihazı	24
3.1.4 Ultrasonikasyon Cihazı.....	25
3.2 Yöntem	25
3.2.1 Yumurta Örneklerine Ozon ve Ultrasonikasyon İşlemlerinin Uygulanması	25
3.2.2 Mikrobiyolojik Analizler	26
3.2.2.1 Yumurta Yüzeyinin Doğal Mikroflorasının İnaktivasyonu	26
3.2.2.2 <i>Salmonella</i> Enteritidis İnaktivasyonu	27
3.2.2.3 <i>Escherichia coli</i> O157:H7 İnaktivasyonu	27
3.2.2.4 <i>Listeria monocytogenes</i> İnaktivasyonu	27

3.2.3	Kalite Analizleri.....	28
3.2.3.1	Yumurta Ağırlığının Ölçülmesi	28
3.2.3.2	Özgül Ağırlık	28
3.2.3.3	Şekil İndeksi.....	29
3.2.3.4	Kabuk Kalınlığı.....	30
3.2.3.5	Renk Ölçümü	30
3.2.3.6	Haugh Birimi Hesaplanması	31
3.2.3.7	Ak İndeksi	32
3.2.3.8	Sarı İndeksi	32
3.2.3.9	pH Ölçümü	33
3.2.3.10	Duyusal Analiz.....	33
3.2.4	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme.....	34
3.2.5	Tekstür Analizi	35
3.2.6	Yumurta Yüzeyinin Mineral Madde Analizi	36
3.2.7	Verilerin Analizi	36
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1	Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	37
4.1.1	Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri İnaktivasyonu.....	37
4.1.2	Toplam Enterobacteriaceae İnaktivasyonu	40
4.1.3	Toplam Maya Küf İnaktivasyonu	41
4.1.4	<i>Salmonella</i> Enteritidis İnaktivasyonu	42
4.1.5	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 İnaktivasyonu.....	43
4.1.6	<i>Listeria monocytogenes</i> İnaktivasyonu.....	44
4.2	Kalite Analiz Sonuçları	45
4.2.1	Ağırlık Ölçümü	45
4.2.2	Özgül Ağırlık	49
4.2.3	Şekil İndeksi Ölçümü.....	50
4.2.4	Kabuk Kalınlığı Ölçümü.....	51
4.2.5	Renk Ölçümü	52
4.2.6	Haugh Birimi	56
4.2.7	Ak İndeksi Ölçümü	57
4.2.8	Sarı İndeksi Ölçümü	58
4.2.9	pH Ölçümü.....	59
4.2.10	Yumurta Örneklerinin Duyusal Analizi.....	61
4.3	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri.....	62
4.4	Tekstür Analizi	69
4.5	Yumurta Yüzeyinin Mineral Madde Analizi.....	70
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	74
6.	KAYNAKLAR.....	78
7.	EKLER.....	90
Ek A.1	Duyusal Analiz Anket Formu	90
Ek A.3	Violet Red Bile Agar (VRBA) Besiyeri Bileşimi.....	92
Ek A.4	Plate Count Agar (PCA) Besiyeri Bileşimi.....	92
Ek A.5	Potato Dextrose Agar (PDA) Besiyeri Bileşimi	92
Ek A.6	Sorbitol-MacConkey Agar (SMAC) Besiyeri Bileşimi	93
Ek A.7	Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD) Besiyeri Bileşimi.....	93
Ek A.8	Oxford Listeria Selective Agar Bileşimi.....	94

Ek A.9 Listeria Enrichment Broth (LEB) Supplement Bileşimi.....	94
Ek A.10 Selenite Cystine Broth Bileşimi	95
Ek A.11 Tryptic Soy Broth (TSB) Bileşimi.....	95
8. ÖZGEÇMİŞ	96



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Korona akım metodu şeması.....	8
Şekil 2.2.	Ozon gazının oluşumu.....	8
Şekil 2.3.	Duyulabilir ses aralığı	10
Şekil 3.1.	Ozon cihazı.....	25
Şekil 3.2.	Ultrason işlemi uygulanan yumurta örnekleri.....	26
Şekil 3.3.	Yumurtanın tartılması	28
Şekil 3.4.	Yumurta hacminin ölçülmesi	29
Şekil 3.5.	Yumurtanın uzunluk ölçümü	29
Şekil 3.6.	Yumurtanın genişlik ölçümü.....	30
Şekil 3.7.	Yumurtanın kabuk kalınlığının ölçülmesi.....	30
Şekil 3.8.	Yumurtanın kabuk renklerinin ölçülmesi.....	31
Şekil 3.9.	Yumurtanın ak genişliğinin ölçümü.....	32
Şekil 3.10.	Yumurta sarısının çapının ölçülmesi.....	33
Şekil 3.11.	Duyusal değerlendirme	34
Şekil 3.12.	SEM cihazı	35
Şekil 3.13.	Yumurtanın tekstür analizi.....	36
Şekil 4.1.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TMAB sayısında meydana gelen değişimler.....	39
Şekil 4.2.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TE sayısında meydana gelen değişimler.....	40
Şekil 4.3.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TMK sayısında meydana gelen değişimler.....	41
Şekil 4.4.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda SE sayısında meydana gelen değişimler.....	42
Şekil 4.5.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda <i>E. coli</i> O157:H7 sayısında meydana gelen değişimler.....	43
Şekil 4.6.	Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda <i>L. monocytogenes</i> sayısında meydana gelen değişimler.....	44
Şekil 4.7.	Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kütleinde meydana gelen değişimler.....	45
Şekil 4.8.	Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra özgül ağırlığında meydana gelen değişimler.	49
Şekil 4.9.	Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra şekil indeksinde meydana gelen değişimler.	50
Şekil 4.10.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kabuk kalınlığında meydana gelen değişimler.....	51
Şekil 4.11.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra L* değerinde meydana gelen değişimler.....	54
Şekil 4.12.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra a* değerinde meydana gelen değişimler.....	54
Şekil 4.13.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra b* değerinde meydana gelen değişimler.....	55
Şekil 4.14.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra toplam renk farkında (ΔE) meydana gelen değişimler.	55

Şekil 4.15.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kroma değerinde (C*) meydana gelen değişimler.	56
Şekil 4.16.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra hue değerinde (h°) meydana gelen değişimler.....	56
Şekil 4.17.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra haugh biriminde meydana gelen değişimler.....	57
Şekil 4.18.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra ak indeksinde meydana gelen değişimler.....	58
Şekil 4.19.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra sarı indeksinde meydana gelen değişimler.....	59
Şekil 4.20.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra sarı pH ölçümünde meydana gelen değişimler.....	60
Şekil 4.21.	Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra ak pH ölçümünde meydana gelen değişimler.....	60
Şekil 4.22.	Pişmiş yumurta örneklerinin belirli kriterlere göre duysal değerlendirme sonuçları	62
Şekil 4.23.	Proses edilmeyen kabuklu yumurta örneği (Kontrol)	63
Şekil 4.24.	A) Kontrol örneği x7500 B) 5 dk O ₃ ile proses edilen kabuklu yumurta örneği x 8000 C) 15 dk O ₃ ile proses edilen kabuklu yumurta örneği x8000 görüntüleri	63
Şekil 4.25.	A) Kontrol örneği x7500, 3 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x8000, (C) x10000, (D) x15000 görüntüleri .	64
Şekil 4.26.	A) Kontrol örneği x7500, 6 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x3300, (C) x7000, (D) x19000 görüntüleri ..	65
Şekil 4.27.	A) Kontrol örneği x7500, 2 dk US + 3 dk O ₃ ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x 4000, (C) x 10000 görüntüleri.....	66
Şekil 4.28.	A) Kontrol örneği x7500, 3 dk O ₃ + 2 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x 5500, (C) x 18000, (D) x 19000 görüntüleri	66
Şekil 4.29.	Yumurta kabuğunun proses edilmeyen kontrol örneği	67
Şekil 4.30.	US (3 dk) uygulamasından sonra yumurta kabuğunun yüzeyi (A) x250, (B) x7500.....	67
Şekil 4.31.	US (6 dk) uygulanan yumurta kabuğunun yüzeyi x 400.....	68
Şekil 4.32.	Kombinasyonlu uygulamada (2 dk US+ 3 dk O ₃) yumurta kabuk yüzeyi	68
Şekil 4.33.	Kombinasyonlu uygulamada (3 dk O ₃ + 2 dk US) yumurta kabuk yüzeyi	68
Şekil 4.34.	Kabuklu yumurtanın sertlik (kg) grafiği	69
Şekil 4.35.	Kabuklu yumurtanın esneklik (%) grafiği.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Yumurta ürünleri için mikrobiyolojik kriterler.....	4
Çizelge 2.1. Saf ozonun özellikleri	6
Çizelge 3.1. Kabuklu yumurta örneklerine uygulanan yöntem	26
Çizelge 4.1. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının mikrobiyel inaktivasyon üzerine etkisi	38
Çizelge 4.2. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının mikrobiyel inaktivasyon üzerine etkisinin %ifadesi.	39
Çizelge 4.3. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın kalite özelliklerine etkileri.....	46
Çizelge 4.4. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın kalite özelliklerine etkileri.....	47
Çizelge 4.5. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın renk özelliklerine etkileri.....	48
Çizelge 4.6. Duyusal değerlendirme ortalama sonuçları	61
Çizelge 4.7. Kabuklu yumurta örneklerinin tekstür sonuçları	69
Çizelge 4.8. Kabuklu yumurtaların bulunduğu sıvı ortamda mineral madde analizi	72
Çizelge 4.9. Yumurta kabuğunun mineral madde analizi.....	73

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

FDA	: Food and Drug Administration (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)
dk	: Dakika
s	: Saniye
kj	: Kilojoule
g	: Gram
°C	: Derece Celcius
atm	: Atmosfer
nm	: Nanometre
GMP	: Good Manufacturing Practices (İyi Üretim Uygulamaları)
kHz	: Kilohertz
MHz	: Megahertz
L	: Litre
UV	: Ultraviyole
PG	: Poligalakturanaz
µs	: Mikrosaniye
US	: Ultrasonikasyon
mL	: Mililitre
cm³	: Santimetreküp
mm	: Milimetre
QAC	: Quarternary Ammonium Compounds (Dörtlü Amonyum Bileşiği)
TMAB	: Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri
TE	: Toplam Enterobacteriaceae
TMK	: Toplam Maya Küf
TMS	: Toplam Mikroorganizma Sayısı
ΔE	: Toplam Renk Farkı
C*	: Chroma Değeri
h°	: Hue Değeri

TEŞEKKÜR

Araştırma konumun seçiminde ve çalışmamın her aşamasında bilgisini, desteğini, yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Gülsün AKDEMİR EVRENDİLEK'e sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım. Sevgili AİLEME, bana olan inançlarından, sabırlarından ve maddi manevi desteklerinden dolayı tüm kalbimle teşekkür ederim. Ayrıca tez jürimde yer alan, katkılarını ve değerli görüşlerini sunan Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden sayın Prof. Dr. Kamuran AYHAN ve Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden sayın Doç. Dr. M. Şamil KÖK'e teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince desteklerini hep hissettiğim yanımda olan arkadaşlarım Eda KESKİN ve Kübra KANAR'a, laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan Melis Keküllüoğlu'na ve tez dönemim boyunca bana tolerans gösterip yardımını ve desteğini esirgemeyen işverenim Cengiz ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. SEM görüntüleri çalışmalarımda büyük emekleri geçen Araştırma Görevlisi Sevgi POLAT ALTINTAŞ ve Uzman Nevin SOYLU'ya ve Prof. Dr. Tekin BABAÇ'a, tekstür analizlerimde yardımcı olan Uzman İsmail İŞÇİ'ye teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

İnsanın gelişmesi, sağlıklı bir şekilde uzun süre yaşayabilmesi için yeterli ve dengeli beslenmesi gerekir. Bu nedenle gerekli olan enerji, protein, vitamin ve mineraller bitkisel ve hayvansal kaynaklardan sağlanmalıdır (Baysal, 2007). Hayvansal gıdalar içerisinde de protein kalitesi en iyi olan yumurta dünyada sevilerek tüketilmektedir (Dede vd., 2005).

Yumurta; binlerce yıldır bilinen, ucuz, dünyanın her yerinde üretilen, çeşitli şekillerde pişirilebilen, lezzetli, besleyici değeri çok yüksek bir besindir. Günde iki büyük yumurta tüketen bir birey; günlük protein gereksiniminin %20'sini, enerji gereksiniminin %8'ini, kalsiyum gereksiniminin %10'unu, fosfor ve demir gereksiniminin %20'sini karşılayabilmektedir. Yumurta anne sütünden sonra insan vücudunun ihtiyaç duyduğu tüm besin öğelerini içeren tek besin kaynağıdır (Tayar ve Yıbar, 2013). Yumurta sarısı enerjinin 3/4'ünü; yağın ve A, D, E vitaminlerinin tamamını, kolin, fosfor, demir ve kalsiyumun büyük bir kısmını; protein ve riboflavinin yarıya yakın kısmını içerir. Yumurta beyazında ise; protein ve riboflavinin yarıdan fazlası bulunur (Rakıcıoğlu, 2013).

Tüm gıdalar arasında en kaliteli proteine sahip olan yumurtanın tamamına yakını vücut tarafından kullanılmakta ve vücut proteinlerine dönüşebilmektedir (Tayar ve Yıbar, 2013). Ortalama 60 g ağırlığındaki bir yumurta yaklaşık olarak 6 g protein içermektedir. Esansiyel aminoasitler bakımından zengin olmasından dolayı yumurta proteininin biyolojik değeri 100 olarak kabul edilmekte ve diğer gıdaların kalitelerinde standart olarak kullanılmaktadır (Hasipek ve Aktaş, 1997). Yumurta proteini diğer gıda maddeleri ile biyolojik değer yönünden karşılaştırıldığında %95 sindirilebilirlik değeri ile ilk sırada yer alırken, bunu %85 ile süt, %76 ile balık ve %74 ile sığır eti takip etmektedir (Çopur vd., 2004).

Yumurta yaklaşık 80-85 kkal enerji içermesi sebebiyle özel diyetle beslenmesi gereken veya kilo problemi olanlar için de önerilen bir gıdadır (Yalçın vd., 2000). Yumurta sarısı, doğal antioksidan özelliği olan ve sinir ve beyin

dokusunun sağlığı ve gelişimi için gerekli olan fosfolipidlerin kaynağıdır. Yumurta sarısında oldukça fazla bulunan kolin, vücutta sinir iletimini sağlayan ve eksikliğinde Alzhiemer hastalığına sebep olan asetilkolinin yapılması için gerekli olan esansiyel bir bileşiktir. Bu hastalığın önlenmesi ve tedavisi için gereken fosfotidilkolin ve siyanokobalamin (B12) vitamininin de en önemli doğal kaynağı yumurta sarısıdır (Hartmann ve Wilhelmson, 2001).

Sağlıklı bir tavuktan taze olarak elde edilen yumurta bakteriyel kontaminasyonlara karşı fiziksel ve kimyasal olarak doğal bir biçimde korunur, bu yüzden de taze bir yumurtanın iç kısmı steril kabul edilir (Tekinşen, 1980; Erensayın, 1995). Ancak yumurta dış ortamla buluştuğu andan itibaren ortamdaki bakterilerle karşı karşıya kalır. Bu bakterilerin de yumurta kabuğundan içeri sızma ihtimali bulunmaktadır. Yumurta aynı zamanda tavuğun genital organında da mikroorganizmalar tarafından kontaminasyona uğrayabilmektedir. Genital bulaşma tavuğun yumurtalığına yerleşen bazı bakteri ve virüs etkenleri ile gerçekleşir (Hodgetts, 1993).

Yumurtanın dışında kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) tuzlarından oluşan, gözenekli yapıdaki kabuk bulunur (Frazier ve Westhoff, 1998). Yumurta kabuğu proteinden oluşan 20-30 mikron kalınlığında su geçirmez bir tabaka ile kaplıdır (Gast, 2005). Kabuktaki gözenek sayısı yaklaşık 7500' dür ve yüzeydeki mikroorganizmaların yumurtanın içine girişini engelleyememektedir (Forsythe ve Hayes, 1998; Zeidler, 2002). Yumurtlama işleminden sonra soğumakta olan yumurtanın dış yüzeyi kurumaya başlar. Kurumayla birlikte kabuktaki porların çapı genişlemekte, böylelikle gaz alışverişi ve mikroorganizma geçişi daha kolay hale gelmektedir (Erensayın, 1995).

Kabuk yüzeyindeki bakteriler uygun nem ve sıcaklıkta yumurta içine geçebilmektedirler (Heperkan, 2006). Ortamın ve yumurtanın nemli oluşu bakterilerin kabuktan geçmesini kolaylaştırır. Kabuklu yumurtanın yanlış soğutulması, gözenek ve zar kalınlığı, doğal antimikrobiyel madde konsantrasyonu gibi etkenler de bu geçişe sebep olmaktadır (Miyamoto vd., 1998).

Salmonella türlerinin sebep olduğu salmonelloz hastalığına kabuğu çatlak, kirli, kırılmış yumurtalar ya da yeterli ısıl işlem görmemiş yumurta ve yumurta

ürünleri sebep olmaktadır (FDA, 1997). Bunun haricinde yumurtada rastlanan bazı diğer patojen bakteriler; *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* O157:H7 ve *Staphylococcus aureus*'dur (Favier vd., 2000; Gast, 2005; Jay vd., 2005). Yumurtada bozulmaya sebep olan diğer bakteriler ise *Pseudomonas*, *Proteus*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Staphylococcus* ve koliform gruptur (Frazier ve Westhoff, 1998; Plusquellec, 1995).

Yumurtadaki kontaminantların uzaklaştırılması amacıyla yumurtalar çeşitli kimyasallarla yıkanabilmektedir. Bunların en yaygını sodyum karbonat, hidroksil tuzları, ve klorlu bileşiklerdir (pH 9-12) (Soljour vd., 2004). Kabuğun dezenfeksiyonunda kullanılan tergitol, QAC ve NaOCl (sodyum hipoklorit)'in kabuğa zarar vermedikleri ancak bazı dezenfektanların (extran, Na₂CO₃ ve EDTA çözeltileri) kabuk kalitesini olumsuz yönde etkiledikleri, mikro yapısal değişikliklere, aşınmaya ve porlarda büyümeye sebep oldukları görülmüştür (Adler vd., 1978; Wang ve Slavik, 1998). Ticari üretimlerde yumurtalar öncelikle alkali bir deterjanla yıkanmaktadır, daha sonra ise patojen mikroorganizmalar ve kirlerin uzaklaştırılması için onaylanmış bir kimyasalla durulanmaktadır. Son zamanlarda, klor ve klor içeren bileşiklerin nispeten düşük maliyetli ve etkili olması, yumurta üretiminde en çok kullanılan antimikrobiyel maddelerden olma sebebidir (Anonim, 2001). Yüksek seviyede klor kullanımı, yumurta kalitesi üzerinde zararlı olabilmektedir (Bialka vd., 2004) ve kimyasal kalıntılar, sınırlı verim ve olumsuz çevresel etkileri nedeniyle tamamen kabul edilmemiştir (Sert vd., 2013).

Yumurtaların dezenfeksiyonunda kullanılan bir diğer yöntem pastörizasyondur. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 60°C'de 3.5 dk, İngiltere'de 64.4°C'de 2.5 dk ya da 70°C'de 1.5 dk şeklinde sıcaklık-süre kombinasyonları kullanılmaktadır. Türkiye'de üretim teknolojisine uygun farklı sıcaklık-süre kombinasyonları kullanılmaktadır (Alvarez vd., 2006; Anonim, 2008). Fakat ısıya direnci yüksek mikroorganizmalar ile kontamine olmuş yumurtalarda bu işlem yeterli güvenliği sağlayamamaktadır (Alvarez vd., 2006).

Resmi Gazete’de 29.12.2011 tarihinde yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği’ne göre belirlenen yumurta ürünleri (pastörize ve dondurulmuş yumurta, yumurta tozu) ile ilgili Gıda Güvenilirliği Kriterleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Yumurta ürünleri için mikrobiyolojik kriterler (YUMBİR, 2014)

Gıda	Mikroorganizmalar/ toksinler/ metabolitler	Numune alma planı		Limitler		Referans metot
		n	c	m	M	
Yumurta ürünleri	<i>Salmonella</i>	5	0	0/25 g-mL		EN/ISO 6579
	<i>Enterobacteriaceae</i>	5	2	10 kob/g-mL	10 ² kob/g-mL	ISO 21528-2

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

Resmi Gazetede 20.11.2014 tarihinde yayımlanan Türk Gıda Kodeksi Yumurta Tebliği (2014/55) Madde 13’e göre;

a) Yumurtalar üretildikleri işletmelerde, toplanma işleminden hemen sonra depolarda viyoller içinde muhafaza edilir.

b) Yumurta üretildiği yerde ve tüketiciye ulaştırılana kadarki tüm aşamalarda temiz ve kuru yerlerde ve yabancı kokulardan arı biçimde depolanır; darbelerden, doğrudan güneş ışığından ve büyük sıcaklık dalgalanmalarından korunur.

c) Yumurtlama tarihinden sonraki 18 inci güne kadar yumurtanın soğutulması zorunlu değildir. Ancak 18 inci günden itibaren (+8)-(+5) °C arasında muhafaza edilmelidir.

ç) A sınıfı yumurtanın muhafaza edildiği alanlar yapay olarak +5 °C’den daha düşük derecelerde soğutulmuş olmamalıdır. Ancak 24 saatten fazla olmamak üzere sevkiyat sırasında veya 72 saatten fazla olmamak üzere perakendecide +5 °C’nin altındaki bir sıcaklıkta tutulabilir.

d) Yumurta, hijyenik olmayan malzemeler (yaprak, saman vb.) içinde satışa sunulamaz.

Gıda endüstrisinde son zamanlarda, mikrobiyel açıdan güvenilir ve en taze şekilde muhafaza edilebilen ürünlere talep artmıştır. Mikroorganizmaların pastörizasyon ve sterilizasyon gibi ısı işlemleriyle inaktivasyonu sağlanmaktadır.

Ancak bu yöntemler inaktivasyonu sağlamanın yanı sıra gıdada istenmeyen değişikliklere de yol açmaktadır. Bu nedenle gıda muhafazasında ısıl olmayan alternatif teknolojiler geliştirilmiştir (Uysal, 2008).



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Ozon

2.1.1 Ozonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ozon; atmosferde doğal olarak bulunan, gaz halde mavi, sıvı ve katı halde opak mavi-siyah renkte olan bir maddedir. Normal basınç ve sıcaklık altında kararsızdır, suda kısmen çözünür ve keskin bir kokuya sahiptir (Çizelge 2.1) (Restaino vd., 1995; Kim vd., 1999; Cemeroğlu vd., 2001; Kuşçu vd., 2004; Mahapatra vd., 2005; Çatal vd., 2010).

Çizelge 2.1. Saf ozonun özellikleri (Güzel-Seydim vd., 2004a; Mahapatra vd., 2005; Çatal vd., 2010; Ekici vd., 2006)

Özellik	Ozon
Formül	O ₃
Molekül Ağırlığı	48
Renk	Açık Mavi
Koku	Kendine Has
Sudaki Çözünürlük (0°C)	0.64
Yoğunluk (g/L)	2.144
Kaynama Noktası	-111.9±0.3°C
Erime Noktası	-192.5±0.4°C
Kritik Sıcaklık	-12.1°C
Kritik Basınç	54.6 atm

Ozonun yaklaşık 143 kJ/mol enerjisi vardır ve oksijenin enerjisinden daha fazla enerjiye sahiptir. Ozonun 1 g'ını üretmek için 2960 J enerjiye ihtiyaç vardır (Musschelein, 1982). Gıda endüstrisinde ozon uygulamalarının kullanım avantajları:

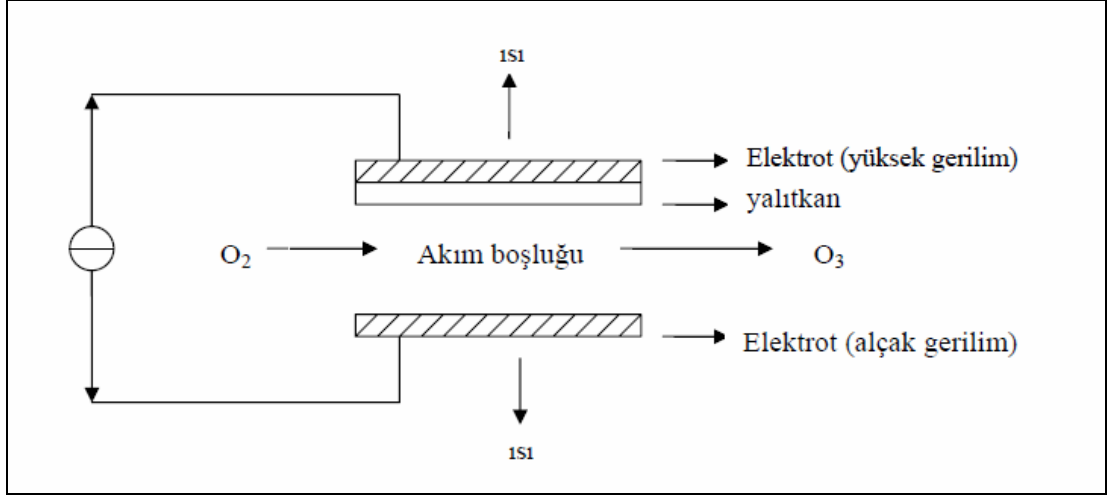
- Düşük konsantrasyonlarda etki gösterebilmesi
- Temas süresinin ve yarılanma ömrünün kısıtlılığı,
- Keskin kokusundan dolayı çabuk fark edilebilmesi
- Çabuk parçalandığı için çevreye zararsız olması
- Mutajen veya kanserojen olmamasıdır (Çatal ve İbanoğlu, 2010).

2.1.2 Ozonun Üretimi

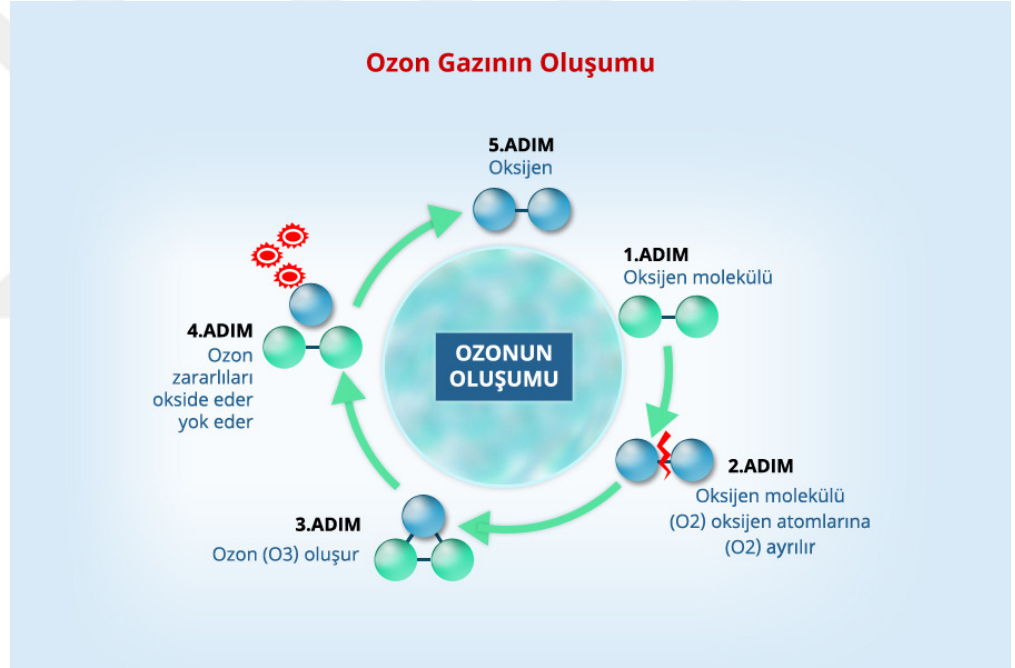
Ozon stratosferde UV ışınlarının (< 240 nm) oksijen molekülüne etki etmesiyle oluşur ve %10 luk bir kısmı troposfere taşınır (Kim vd., 2003). Dünya yüzeyinde ise doğal halde düşük konsantrasyonlarda bulunur (Wojtowicz, 1996).

Ticari olarak ozon; korona akım metodu ile oksijen moleküllerinin elektrik akımından geçirilmesi ile üretilmektedir (Şekil 2.1) (Rice vd., 1981). Korona akım metodunda iki adet elektrot kullanılmaktadır. Bunlardan biri alçak akım diğeri yüksek akım elektrotudur. Bu elektrotlar dar boşaltım aralığı ve seramik dielektrik alanı ile ayrılmışlardır. Yeterli kinetik enerjiyle elektrotlar tarafından oksijen molekülü ayrıştırılır ve her bir oksijen atomundan bir ozon molekülü oluşur. Jeneratörde saf oksijen kullanılması durumunda %6 oranında ozon üretilirken, hava geçirilmesiyle bu oran %1-3 oranına düşmektedir. Ayrıca ozon gazı, kendiliğinden oksijen atomlarına parçalanması sebebinden dolayı depolanamamaktadır (Güzel-Seydim vd., 2004a).

Oksijen elektrik akımından geçirilirken parçalanıp reaktif serbest oksijen atomuna dönüşmekte ve bu serbest atomlar, moleküler oksijenle karşılaştığında ozon molekülü (O_3) oluşmaktadır (Şekil 2.2). Ozon hızlıca moleküler oksijene (O_2) ve serbest oksijen atomlarına dönüşebilmektedir. Oluşan serbest oksijen atomları diğer serbest oksijen atomları ile birleşebilmekte veya serbest oksijen atomları moleküler oksijene dönüşebilmektedir. Bu yüzden de ozon oldukça reaktif bir bileşen olarak tanımlanmaktadır (Güzel-Seydim vd., 2004b).



Şekil 2.1. Korona akım metodu şeması (Rice vd., 1981)



Şekil 2.2. Ozon gazının oluşumu (Anonim, 2015a)

2.1.3 Ozonun Kullanım Alanları

Ozon son zamanlarda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Şişelenmiş içme sularının, yüzme havuzlarının, atık suların, klima sistemlerinin, soğutma kulelerinin, hastane, otel vb dezenfeksiyonunda ozondan yararlanılmaktadır (Rice vd., 1981; Legeron, 1982).

1940-1986 yıllarında ABD, su tesislerinde ozonu başlıca koku ve tat giderimi amacıyla kullanmıştır (Suffet vd., 1986). Ozon Avrupada gıda işleme ve su dezenfeksiyonunda uzun süredir kullanılmasına rağmen (Xu, 1999), FDA ozonun Amerikan gıda endüstrisinde kullanılmasına ancak 2001 yılında izin vermiştir (Palou vd., 2003). Günümüzde iyi üretim uygulamaları (GMP) takip edildiği sürece ozon kullanımında yasal bir engel yoktur (Suffet vd., 1986).

Ozon su arıtımında kullanılan en kuvvetli oksidantlardan biridir. Bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen, dezenfeksiyon maddelerine özellikle klorla kıyasla daha iyi bir dezenfektandır (Ateş, 1997). Ozon gıdaların muhafazasında, raf ömrünün uzatılmasında, gıda fabrikası ekipmanlarının ve gıda fabrikası atıklarının dezenfeksiyonunda ve pestisit kalıntılarının azaltılmasında kullanılır (Horvath vd., 1985; Ong vd., 1996; Hampson, 2000). Ozonun etkinliğini artırmak için, farklı uygulamalarla kombinasyonu yapıp, oksidasyonun geliştirilmesi sağlanarak dezenfekte edilen ürünlerin direncinin aşılması ve bakterisidal aktivitenin artması sağlanabilmektedir (Kim vd., 2003).

2.1.4 Ozonun Mikroorganizmalara Etkisi

Mikrobiyal açıdan gıdaların kalitesini korumak için genelde klor (Cl_2) ve klordioksit (ClO_2) kullanılmaktadır. Fakat bunların kalıntıları sağlıkta endişe oluşturduğundan daha güvenli dezenfektan arayışına girilmiştir (Daş vd., 2006). Bu sebeplerden ötürü ozon, kısa süreli temas etmesi ve zehirli kalıntı bırakmaması dolayısıyla iyi bir alternatif olarak görülmüştür (Xu, 1999; Beltran vd., 2005).

Ozonun mikroorganizmalara etkisi değişkenlik göstermektedir. Ozonun etkinliği mikroorganizmaların suşuna, kültürün yaşına, mikroorganizma konsantrasyonuna, ozonun uygulanış şekline, ortamda ozonla reaksiyona girebilecek maddelerin bulunmasına ve ozon konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Kuşçu ve Pazır, 2004).

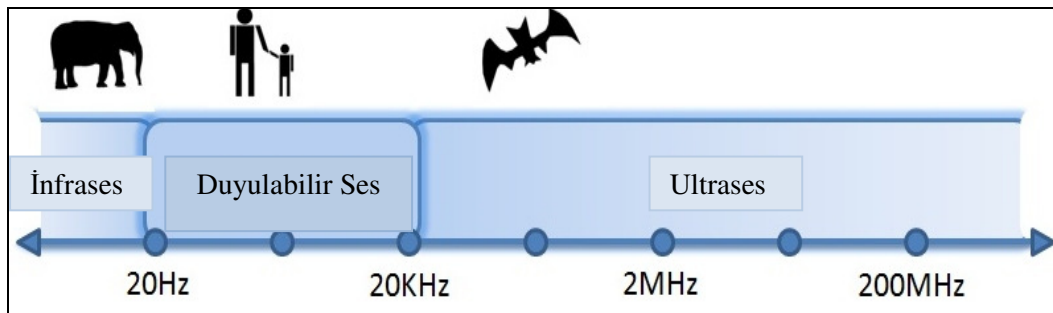
Moleküler ozon ve hidroksil radikali gibi parçalanma ürünleri nükleik materyali, enzimleri, sporları, hücre zarını ve virüs kapsüllerini okside edip etkili olmaktadır (Greene vd., 1993; Khadre vd., 2001; Ketteringham vd., 2006). Ozon

gram-negatif bakterilerin lipopolisakkarit ve lipoprotein tabakalarına zarar verip, hücre geçirgenliğini etkilemekte ve sonuçta hücrenin ölümüne sebebiyet vermektedir (Greene vd., 1993; Daş vd., 2006).

Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere aynı şartlarda ozon uygulandığında; Gram pozitif bakterilerin sadece hücre duvarı dışındaki bazı mukoid materyalleri kaybettiği, Gram negatif bakterilerin ise parçalanmaya ve hücre bileşenlerini kaybetmeye daha eğilimli olduğu görülmüştür. Fakat ozon Gram pozitif bakterilerin hücre içi bileşenlerinin hasarına sebep olarak etkili bir inaktivasyon sağlamaktadır (Kim, 1998).

2.2 Ultrasonikasyon

Ultrasonikasyon en temel tanımıyla 20 kHz veya daha yüksek basınç dalgaları olarak ifade edilmektedir (Piyasena vd., 2003). Ultrason mekaniksel niteliktedir ve yüksek frekansta (18 kHz-500 MHz) duyulabilir sese sahiptir (Şekil 2.3) (Bozkurt ve İçier, 2009). Ultrasonikasyon, düşük enerjili ($< 1\text{W/cm}^2$, $>10\text{ kHz}$) ve yüksek enerjili ($10\text{-}1000\text{ W/cm}^2$, $20\text{-}100\text{ kHz}$) uygulama olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük enerjili uygulama, en sık olarak gıdaların fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Yüksek enerjili uygulama ise gıdalarda enzimatik ve mikrobiyel inaktivasyonu sağlamak amacıyla kullanılır (Roberts, 1993; Knorr vd., 2004; Demirdöven ve Baysal, 2009).



Şekil 2.3. Duyulabilir ses aralığı (Igel, 2012)

2.2.1 Gıdalarda Ultrasonikasyonun Kullanım Alanları

Gıda koruma ve işlemedeki kullanım potansiyeli sebebiyle ultrason konusundaki çalışmalar son zamanlarda artış göstermiştir. Ultrasonikasyonun gıdalardaki mevcut ve potansiyel uygulamalarına bakacak olursak katı yağların ve şekerlerin kristalizasyonunda, gaz gidermede, köpük kırmada, ekstraksiyonda, kurutmada, karıştırma ve emülsifikasyonda, alkollü içeceklerin olgunlaşması ve oksidasyonunda, etin olgunlaşmasında, nemlendirme ve sislemeye, temizleme ve yüzey dekontaminasyonunda, kesmede, atık işlemede, hava kaynaklı tozların çökeltmesinde, enzim aktivitesinin inhibisyonunda, canlı hücrelerin uyarılmasında, dondurmada, filtrasyonda ve mikrobiyel inaktivasyonda kullanılabilme özelliğinin olduğu görülmektedir (Brennan, 2006; Tavman vd., 2009).

Geleneksel ısı işlem uygulamalarındaki besin kaybı ve olumsuz duyuşal değışimler, ultrason esnasında kavitasyonların oluşması, hücre çeperinin incilmesi, noktasal sıcaklık yükseliş, mikro buharlaşma ve şok dalgaları gibi etkilerde görülmez, ayrıca mikroorganizmaların kısa sürelerde ve daha düşük sıcaklıklarda inaktivasyonunu sağlar (Vercet vd., 1997; Vercet vd., 2001; Butz, 2002; Piyasena vd., 2003; Chemat ve Hoarau, 2004; Bozkurt ve İçier, 2009).

2.2.2 Ultrasonikasyonun Çalışma Prensibi

Ultrasonikasyon sulu çözeltilerde mikroorganizmaların hücre duvarını yıkmada etkili bir faktör olan kavitasyona neden olur (Elliot ve Winder, 1995; Tabatabaie ve Mortazavi, 2008). Ultrason etkisi, basınç dalgalarının elastiki olan fiziksel ortamdan yayılmasıyla oluşur. Mekanik titreşimler mekanik basınç dalgalarına dönüşür, enerji ortama, ortam da dalgayla temas eden maddeye aktarılır. Hareket titreşim halindeki nesneden ortamdaki moleküllere aktarılır ve her molekül hareketini komşu moleküle ileterek başlangıçtaki konumuna döner. Ultrasonik dalga havadan geçerken basıncı değıştirir. Molekülün sıkıştığı noktada normalin üzerine çıkar, moleküllerin uzak olduğunda ise normalin altına iner. Önemli bir parametre olan ses şiddeti ise üretilen ses dalgasını ifade eder. Dalga tarafından birim alanda birim zamanda taşınan enerji olarak da ifade edilebilir. Ses dalgasının ortama

yayılması için ultrasonik ses üreten cihazlar kullanılır. Bu cihazlar belli bir frekansla çalışırlar ve alternatif akımı mekanik titreşimlere dönüştürürler. Bu titreşimler de probu titretir, ortama iletilirler. Ortamın sıvı olması halinde, uygulanan akustik alan molekülleri orijinal pozisyonunda titretir ve ortamın basıncı akustik basınçla birlikte artar. Moleküller arası uzaklık azaldığında basınç pozitifdir. Moleküller arası uzaklık arttığında basınç negatif değerlere ulaşır. Basınç kritik değerin altına düştüğü zaman moleküller arası uzaklık molekülleri bir arada tutabilmek için gerekli kritik değerin üstüne çıkar ve sıvı kırılarak boşluk veya kavitasyon oluşur (Mason ve Lorimer, 2002; Tavman vd., 2009). Bu kavitasyonlar bir kez oluşuktan sonra basınç maksimum negatif değerine ulaşana kadar büyümeye devam ederler. Basınç pozitif değerlere ulaştığında, kavitasyon kabarcıkları çökmeye zorlanırlar. Bu kabarcıkların kısmen veya tamamen çökmesiyle çok yüksek bir enerji açığa çıkar ve şok dalgaları ile mikro-jetler oluşur (Neduzhii, 1962; Lauterborn, 1997; Tavman vd., 2009).

2.2.3 Ultrasonikasyonun Mikrobiyel Etkisi

Ultrasonun mikrobiyel inaktivasyon etkisi 1930'lu yılların başından beri bilinmektedir (Harvey ve Loomis, 1929). Sonrasında ise eş zamanlı sıcaklık ve ultrason işleminin aynı sıcaklıktaki bir ısıl işlemde daha yüksek öldürücü etkisinin olduğu görülmüştür (Garcia vd., 1989). Ultrasonikasyonun mikroorganizmaları etkisizleştirme mekanizması, akustik kavitasyondan dolayı açığa çıkan basınç ve ısının hücrenin yapısını ve fonksiyonel bileşenlerini yıkması ve hücreyi parçalaması şeklinde açıklanmaktadır (Ulusoy vd., 2007; Bozkurt vd., 2009). Genellikle daha büyük boyutlu hücrelerin (Ahmet ve Russell, 1975) ve kok şeklindeki bakterilerden ziyade çubuk şeklinde olan bakterilerin ultrasona daha duyarlı oldukları kabul edilmektedir (Jacobs ve Thornley, 1954). Gram pozitif bakteriler Gram negatif bakterilerden, aerobik bakteriler ise anaerobik bakterilerden (Ahmet ve Russell, 1975), ve bakteri sporları vejetatif hücrelerden daha dirençlidir (Sanz vd., 1985). Vejetatif hücrelerin ultrasona farklı dirençlerine rağmen, hidrostatik basınç etkisi ve bu işlemlerin inaktivasyon etkisindeki ultrasonik genlik bu mikroorganizmalardan bağımsızdır. Bu durumda, biri basınç etkisi diğeri genlik etkisi olmak üzere iki matematiksel denklik geliştirilmiştir. Bu denklikler ultrasonik sürecin inaktivasyon etkisine öngörü sağlamaktadır (Pagan vd., 1999).

Ultrasonik radyasyon bakteri inaktivasyonu için kullanılabilir bir potansiyele sahiptir. Denizaltı savunma harbinde kullanılan ses dalgalarının balıkları öldürdüğü keşfedildikten sonra, 1960'larda potansiyel mikrobiyel inaktivasyon metodu olarak ultrasonikasyon araştırmaları başlamıştır (Earnshaw vd., 1995). Ultrasonikasyonun yetersiz olan öldürücü etkisi bir sterilizasyon yöntemi olarak kullanılmasını engellemiştir. Ancak son yıllardaki teknolojik gelişmeler ultrasonik dalgalar ile mikrobiyel inaktivasyon araştırmacılarının ilgisini çekmiştir (Pagan vd., 1999).

Ultrasonikasyon uygulamasının mikroorganizmaları inaktive ettiği ispatlanmış olmasına karşın bu yöntemin tek başına kullanılması üründeki mikroorganizma sayısının yeterli oranda düşmediği ve dolayısıyla etkisiz olduğu belirtilmiş ve ultrasonikasyonun başka uygulamalarla beraber kullanılması gerektiği düşünülmüştür. Bunlar ise termosonikasyon (ultrasonikasyon ve ısı işlem), manosonikasyon (ultrasonikasyon ve basınç) ve manotermosonikasyon (ultrasonikasyon, basınç ve ısı işlem) uygulamalarıdır (Rahman, 2007; McClements, 1995).

2.3 Kullanılan Mikroorganizmaların Özellikleri

2.3.1 *Salmonella* Enteritidis

Gıda kaynaklı enfeksiyonlara sebep olan *Salmonella* 2000'den fazla bağlantılı serotipe verilen cins isimidir. *Salmonella* türleri hakkında yapılan araştırmalarla özellikleri, üreme parametreleri ve bulaşmayı engelleme yöntemleri bilinmesine rağmen, çok fazla suşunun bulunması, değişik konaklarda hastalık etmeni olması ve vakaların daha hızlı belirlenememesi nedeniyle hastalık etmeni olmasının önüne geçilememektedir (Zorba, 2011).

Salmonella, Enterobacteriaceae familyası içinde yer alan, fakültatif anaerob, Gram negatif, çubuk şeklinde, spor oluşturmeyen, hareketli (hareketsiz olan *S. Gallinarum* and *S. Pullorum* hariç) patojen bir bakteridir (Halkman vd., 1994; Anonim, 1990). Optimum üreme sıcaklıkları 35-37 °C, katalaz pozitif ve oksidaz negatif, sitratı tek karbon kaynağı olarak kullanma, H₂S üretme, laktoz, sukroz ve

üreyi metabolize edememe ve karbonhidratlardan asit veya gaz oluşturma özelliklere sahip bakteri türleridir (Farmer vd., 1985).

Kanatlılarda enfeksiyonlara neden olan *Salmonella* türleri arasında *S. Enteritidis* en önemlisidir. Son yıllarda gıda zehirlenmelerine sebep olan salmonellosisin kaynağının özellikle tavuk eti ve yumurta olduğu belirtilmektedir (Hickman-Brenner vd., 1991; Anđ-Küçüker vd., 1992; Karagül vd., 1992; Anđ-Küçüker vd., 1995). İnsanlarda salmonelloz hastalığına, genel olarak, kirli, kabuğu çatlamış, kırılmış yumurtalar veya işleme sırasında yeterli ısıl işlem görmemiş yumurta ve ürünleri yol açmaktadır. Zehirlenme olaylarının %75'inin çiğ veya az pişirilmiş yumurta ile hazırlanan yiyeceklerden kaynaklandığı belirtilmektedir (FDA, 1997). *S. Enteritidis* çatlamamış yani bütün yumurtanın içinde bulunabilir; bunun nedeni bu bakterinin tavuğun yumurtalığında veya yumurta kanalında, tavuğu hasta etmese de kabuğun oluşmasından önce de varlığını sürdürmesidir (Food-Info, 2012a).

2.3.2 *Escherichia coli* O157:H7

Escherichia coli, Enterobacteriaceae familyasına ait olup, Gram negatif, çubuk şeklinde, sporsuz, fakültatif anaerob, genellikle hareketli (bazı suşları hareketsiz) bir bakteridir. Katalaz pozitif ve oksidaz negatiftir, 10-50°C aralığında (optimum 30-37°C) gelişebilir. Düşük su aktivitesi (< 0.93) ve düşük pH (< 5.0) bakterinin gelişimini kısıtlar. Isıl işlemlere karşı duyarlıdır (Karagözlü, 2011).

E. coli O157:H7, koliform grubunun bir üyesi olup, diğer izolatlardan farklı olarak β -glukoronidaz aktivitesine sahip değildir ve sorbitolü fermente edemez. 44-45 °C'de iyi gelişemez. Hemarojik kolit (bağırsak kanaması), böbrek yetmezliği ve trombosit eksikliğine bağlı nokta şeklinde kanamalar gibi sendromlara sebep olur. *E. coli* O157:H7'nin kaynağı olarak süt sığırları belirlenmiştir (Doyle 1991). Kesim esnasında ete bulaşan *E. coli* O157:H7 ısıl işlem görmeyen ve mikrobiyolojik güvenliği yalnızca kurutma ve fermantasyon işlemlerine bağlı olan fermente et ürünleri için risk oluşturabilmektedir (Coşansu ve Ayhan, 2000). Az pişirilmiş veya çiğ hamburgerler kayıtlı birçok salgında gözlenmekle beraber *E. coli* O157:H7

vakaları kaba yonca filizlerinde, pastörize edilmemiş meyve sularında, kurutulsülenmiş salamlarda, kıvırcık salatada, koyun etinde ve lorlarda gözlenmiştir (Food-Info, 2012b).

2.3.3 *Listeria monocytogenes*

Listeria monocytogenes buzdolabı sıcaklığında gelişebilen, çevreye yayılabilen, dondurma, soğutma, ısıtma ve kurutma gibi işlemlerde bile canlılığını koruyabilen önemli bir patojendir (Anonim, 2009). Gram pozitif, fakültatif anaerob, kısa kokbasil şeklinde, spor oluşturmayan, kapsül oluşturmayan ve optimum gelişme sıcaklığı 35-37 °C (suşlar 1-45 °C sıcaklık aralığında da gelişebilir) olan bir bakteridir (Juntilla vd., 1988; Norrung, 2000). *L. monocytogenes* geniş pH aralığında (4.1-9.6) gelişebilmekte (optimum 6.0-8.0) ve karbonhidratlardan asit oluşturabilmektedirler. Katalaz pozitif, hemolitik, oksidaz negatif olan bir bakteridir (Müller, 1988).

L. monocytogenes su, silaj, lağım suyu, mezbaha atıkları, sağlıklı ve mastisitli ineklerin sütleri, insan ve hayvan dışkıları gibi birçok yerde bulunabilmekte ve geniş bir alana yayılabilmektedirler (Farber and Peterkin, 1991). *Listeria* enfekte hayvandan toprak ve yeşil yemlerin bulaşmasına, ardından et ve süt hayvanlarına tekrar geçmesi şeklinde bir döngü ile çevreye yayılabilmektedir. Böylelikle kontamine et, süt, meyve ve sebzeden insanlara bulaşmaktadır (Arda vd., 1999; Roche vd., 2009). *Listeria monocytogenes* insanlarda menenjit, sepsis, konjunktivit, deri ve mukoza lokalizasyonlarına neden olmaktadır. Düşük miktardaki *L. monocytogenes*, sağlıklı yetişkinlerde herhangi bir klinik belirtiyeye yol açmaz; fakat çocuk, bebek, yaşlı, hamile, ilaç veya hastalık nedeniyle bağışıklık sistemi bozuk olanlar bu bakteriye daha hassastır (Goulet vd., 2006). Hamilelerde listeriozis enfeksiyonları, grip benzeri semptomlar göstermekte ve plasenta yoluyla fetusa geçebilmesi nedeniyle erken sancı, abortus, ölü doğum, yeni doğan bebeğin erken ölümüne sebep olabilmektedir (Rhoades vd., 2009).

Listeria enfeksiyonlarına en çok çiğ ve pastörize süt, yumuşak peynir, dondurma, krema gibi süt ürünleri, kıyma ve benzeri et ürünleri, kümes hayvanları

ürünleri, balık ve su ürünleri ve sebze salataları gibi gıdalar sebep olmaktadır. *L. monocytogenes* bakterisinin soğuk koşullara dayanıklı olmasından dolayı, FDA ve diğer gıda otoriteleri tarafından gıdalarda bulunmasına izin verilmemekte, sıfır tolerans uygulanmaktadır (Zorba, 2011).

2.4 Yumurta ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Perry vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada ozon (67.5 kPa vakum ve takiben 140 g ozon/m³ ve 40 dk süresince 184-198 kPa ozon gazı uygulaması), sıcaklık (57°C'de 21 dk) veya bu iki işlemin kombinasyonunun yumurta yüzeyine kontamine edilen *S. Enteritidis* üzerine etkilerini araştırmışlar ve bu uygulamaların sırasıyla 0.11, 3.1 ve 4.2 log kob/ mL inaktivasyon sağladıklarını bildirmişlerdir. Braun, vd. (2011) *S. Enteritidis* ile 10² ile 10⁶ kob/yumurta düzeyinde kontamine edilen yumurtalara %0.5-5 (w/w) konsantrasyon ve 20 dk ile 24 saat süre ile ozonla uygulama sonrasında 6 log kob/yumurta azalma kaydedilerek yumurtalarda 10² ile 10⁴ kob/yumurta inaktivasyon sağlanmıştır.

Rodriguez-Romo ve Yousef (2005) yaptıkları bir araştırmada, yumurta dış yüzeyinin *S. Enteritidis* ile inoküle edilip gaz olarak verilen 0-15 lb/in² miktarında 0-20 dk ozon uygulaması, 100-2500 mikroW/cm² 0-5 dk UV uygulaması veya bu iki uygulamanın kombinasyonu olan 5 dk 22-25°C sıcaklıklarda UV (1500-2500 mikroW/cm²) ve 4-8°C uygulama sıcaklıklarında 10 dk boyunca uygulanan 5 lb/in² konsantrasyonundaki ozonun 5.9 veya 4.3 log inaktivasyon sağladığını ve bu iki yöntemin kombine olarak uygulanması sonrasındaki 2 dk toplam proses süresinde ise 4.6 log seviyesinde bir azalma sağlandığını bildirmişlerdir.

Yine düşük maliyetli olan, sıcak su içerisine daldırılarak yapılan pastörizasyon ve takiben yaklaşık 187.5 kPa basınç altında uygulanan 50.8 kPa vakum ve maksimum 160 g/m³ ozon uygulamaları sonucunda yumurta yüzeyine kontamine edilen *S. Enteritidis* sayısında 5 log kob/mL'den fazla inaktivasyon elde edilmiştir. Bu proses parametrelerinde yumurtaların dış görünüşlerinde birtakım değişikliklerin olduğu belirtilmiş ve yapılan bu uygulamalar sonucunda elde edilen

inaktivasyon miktarının pastörizasyon uygulamasının gerekliliği olan 5 log inaktivasyonu sağladığı bildirilmiştir (Perry ve Yousef, 2013).

Yüceer ve Caner (2015) çalışmalarında; tavuk yumurtasının yüzeyine farklı konsantrasyon (2, 4 ve 6 ppm) ve sürelerde (2 ve 5 dk) ozon uygulayarak yumurtanın mikrobiyel kalitesini araştırmışlardır. Ozon uygulamasıyla yumurtanın mikrobiyel florası hızla azalmasına rağmen, depolama ile mikrobiyel gelişim devam etmiş fakat gelişim hızı kontrol grubunun altında seyretmiştir. Yumurta örneklerinde Enterobacteriaceae, *S. aureus*, toplam mezofilik aerobik bakteri ve toplam maya ve küf popülasyonunda önemli düzeyde azalma sağlandığı, ozon konsantrasyon ve uygulama süresinin artmasıyla inaktivasyon düzeyinin de arttığı saptanmıştır. Depolama süresince ozon ile proses edilmiş yumurtalarda kontrol grubuna göre mikrobiyel yük yaklaşık 2 log kob/yumurta birim daha düşük çıkmıştır. Sonuçta ozonun yumurtaların raf ömrü üzerine pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir.

Yumurtada ozon ve pastörizasyonun birlikte uygulandığı bir çalışmada, pastörizasyonun yumurta proteinlerini denatüre ettiği belirtilirken, ozon uygulamasında bu denatürasyonun azaldığı ifade edilmiştir (Perry vd., 2011). Ultrasonikasyon ile ilgili bir çalışmada; domates suyuna termosonikasyon (20 kHz, 25, 50 ve 75 µm, 60, 65 ve 70°C) ve sadece ısı işlem uygulanarak pektin metil esteraz (PME) enziminin inaktivasyonu incelenmiştir. Uygulanan 60, 65 ve 70°C'lerde sırasıyla 41.8, 11.7 ve 4.3 dk'lık sürelerle termosonikasyon uygulaması PME aktivitesinde yaklaşık %90'lık azalma sağlarken, sadece ısı işlemin 60, 65 ve 70°C'de 90.1, 23.5 ve 3.5 dk uygulanmasıyla PME enziminin aktivitesinde yine yaklaşık %90 azalma sağlanmıştır. Termosonikasyon uygulamasında sıcaklığın 70°C'ye yükseltilmesinin bir avantaj sağlamadığı, diğer sıcaklıklar ile aynı etkiyi gösterdiği, sebebinin ise yüksek sıcaklıklarda hava kabarcıkları içerisinde artan buhar basıncının işlemin etkinliğini engellemesinden olabileceği belirlenmiştir (Mason, 1990).

Yumurtanın dezenfeksiyonu ile ilgili bir araştırmada; sıvı yumurtaya *E. coli* inoküle edilip 400 µs ve 26 kV/cm elektrik alan kuvvetinde PEF uygulanmıştır. Sonuçta, *E. coli* sayısında 6 log kob/mL azalma olduğu gözlemlenmiştir (Martin-Belloso vd. 1997). Jeanted vd. (1999) yaptıkları bir çalışmada; yumurta akına

S. Enteritidis ilave edip, 35 kV/cm elektrik alan kuvvetinde PEF uygulamışlardır. Dokuz atımdan sonra *S. Enteritidis* sayısında 3.5 log kob/mL azalma olduğunu saptamışlardır.

Fernandez-Diaz vd. (2000) yaptıkları bir çalışmada, ovalbumin solüsyonuna ve diyaliz edilmiş taze yumurta akına PEF (atımlı elektrik alan) uygulamışlardır. PEF uygulamasının (31.5 kV/cm), ovalbumin solüsyonlarının (1.9 g protein/100 mL) protein yapısında önemli ve kalıcı değişiklikler olmadan mikrobiyel inaktivasyonu sağlamak amacıyla kullanılabilir olduğunu, aynı prosesin herhangi bir protein çökmesi ya da jelleşme özelliğinde değişiklik olmadan diyaliz edilmiş yumurta akına da uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Amiali vd. (2007) yumurta sarısına 10^8 kob/mL *E. coli* ve *S. Enteritidis* inoküle ederek 40 °C’de 30 kV/cm elektrik alan kuvvetinde PEF uygulamışlardır. *E. coli* ve *S. Enteritidis* sayısında 5 log kob/mL azalma oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

2.5 Ozon ve Ultrasonikasyonun Farklı Gıdalarda Uygulanması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Ozon ve ultrasonikasyon günümüzde birçok alanda kullanıldığı gibi gıda alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Barth vd. (1995) yaptıkları bir çalışmada, böğürtlen deposuna 2°C sıcaklıkta 0.3 ppm ozon vermiş ve böğürtlenlerdeki küf gelişiminin baskılandığını görmüşlerdir. Kim vd. (1999) marulları doğranmış bir şekilde suya 1.3 mM ozon uygulayıp akış hızı 0.5 L/dk olacak şekilde yıkamışlardır. Marullar su ile 3 dk boyunca yıkandığında toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki azalmanın, 2 log kob/g olduğu belirtilmiştir. Ahududu, üzüm, çilek gibi meyvelerin bulunduğu depoya her gün birkaç saat aralıklarla 2-3 ppm dozunda ozon verilmesinin meyvelerin raf ömürlerini 2 katına çıkardığı belirlenmiştir (Xu, 1999).

Kim vd., (1999) yaptıkları çalışmada peynir olgunlaştırma odasına 0.1-10 µg/L ozon gazı uygulayarak küf sporlarını sırasıyla %80, %90 ve %99 oranlarında inaktif hale getirmişler ve çalışma sırasında duyuşal kayıp yaşanmadığını görmüşlerdir. Uygulanan 0.5 ppm konsantrasyonlu ozonun 10 dk uygulanmasıyla süt endüstrisinde biyofilm oluşturan bakterilerin %99’unun inaktive edildiği

bildirilmektedir. Aynı zamanda ozon konservecilikte teneke kutuların dolum hatları ve ekipmanların dezenfeksiyonunda, peyniraltı suyu ve elma suyundaki bakterilerin inaktivasyonunda da kullanılmaktadır (Kim vd., 1999).

Tahıllarda böcek zararlılarında da uygulanan ozon; 3 gün boyunca 50 ppm dozunda depo ortamında verildiğinde mısır zararlılarının %92-100 oranında öldüğü belirtilmektedir (Kells vd., 2001). Yapılan bir araştırmada *Bacillus* spp. suşlarından *B.stearothermophilus* sporlarının ozona karşı oldukça dirençli olduğu; *B. cereus* sporlarının ise oldukça hassas olduğu belirtilmiştir (Khadre ve Yousef, 2001b). Kuşçu ve Pazır (2004) çalışmalarında kuru fasulye, baharat, tahıl tanesi ve tahıl ununa 0.5-50 mg/L konsantrasyonu aralığında 1-6 saat süresince 5-50°C’de sıcaklık arasında ozon uygulandığında (< 5ppm) ozonun nadiren lipid oksidasyonuna neden olduğunu belirtmişlerdir. Domuz etlerinde ozon bakteriyel aktiviteyi önemli ölçüde önlerken, sığır etlerinde yapılan bir çalışmada %0.5 dozunda ya da 2.3 ppm ozon gazı uygulamasının koku ve rengi değiştirmeksizin aerobik mezofilik bakterilerin ve patojenlerin sayılarını büyük ölçüde azalttığı saptanmıştır (Jaksch vd., 2004).

Reçelin duyuusal özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, 3 gün boyunca 6 saat aralıklarla reçel yüzeyine 30 dk ozon uygulanmıştır. Ozonun farklı yüzeylere uygulanması amacıyla reçeller her gün ilk ozon uygulamasından önce karıştırılmıştır. Sonuç olarak reçellerin duyuusal özellik, organik asit ve pH’sını etkilemediği saptanmıştır (Polivka vd., 2002). Mendez vd. (2003) yaptıkları bir çalışmada; 50 gün boyunca 50 ppm ozonla muamele edilen mısırların patlama hacminde olumsuzluk olmadığını, buğday, mısır ve soya fasulyesinin amino asit ve yağ asidi kompozisyonunda değişiklik olmadığını, buğday ve mısırların öğütme özelliklerini ve buğdayın pişirme özelliğini etkilemediğini belirtmişlerdir.

Başka bir çalışmada patates ve soğanların 5 gün boyunca 8’er saat 0.2 mg/L ozon atmosferinin bulunduğu ortamda depolanmasının yüzeydeki mikroorganizma sayısında, oksijen tüketiminde, katalaz ve peroksidaz aktivitelerinde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Kuşçu ve Pazır, 2004). Beltran vd. (2005), ozonun *Yersinia enterocolitica*, *S. Typhimurium*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 gibi patojen bakterileri inhibe ettiğini bildirmektedirler. Al-Haddad vd. (2005) tarafından

tavuk göğüslerinin ozonla muamele edildikten sonra modifiye atmosferde depolanmasının raf ömrünü artırdığı belirlenmiştir.

Başka bir araştırmada 20°C’de ve %70 nisbi nemde depolanan, *E. coli* ve *B. cereus* aşılınmış fıstıklara 1.0 ppm’den düşük ozon uygulanarak bakteri oranının önemli ölçüde azaltıldığı belirlenmiştir (Akbaş ve Özdemir, 2006). Öztekin vd. (2006) yaptıkları çalışmada; kuru incirlere 5 ve 10 ppm düzeylerinde ozon gazı uygulayarak toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarında %38, toplam maya küf sayılarında %72 oranında azalma sağlarken, koliform bakterilerin tamamının inaktive edilmesi sağlanmıştır. Daş vd. (2006) çalışmalarında, ozon gazı konsantrasyonunun artmasıyla *S. Enteritidis* inhibisyonu için gereken sürenin kısaldığını bildirmişlerdir.

Demir vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada farklı tipteki unlara ozon uygulamasının un, hamur ve ekmek kalitesine etkisini incelemişlerdir. Üç farklı tip unun yarısına ozon gazı uygulamışlar, diğer yarısını ise kontrol grubu olarak belirlemişlerdir. Sonuçlara göre ozon prosesi yaş gluten miktarını, un renginin L* (parlaklık) değerlerini artırıcı, b* (sarılık) değerlerini ise düşürücü etkide bulunmuş, daha beyaz bir un elde edilmesini sağlamıştır. Ozonun hamurun reolojik özellikleri üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığı, hamur enerjisi değerlerini artırdığı saptanmıştır. Ozon uygulamasının ekmek hacmi ve spesifik hacim değerlerini artırıcı etkide bulunduğu belirlenmiştir.

Bir kabarcık kolonu kullanılarak şeftali suyuna inoküle edilen *E. coli* ATCC 11229, *Listeria innocua* ATCC 33090, *Saccharomyces cerevisiae* KE 162 bakterilerinin inaktivasyonunda ozonun etkisi (10 ve 18 ppm gaz) araştırılmıştır. Toplam 14 gün depolama (5±1°C) süresince dekontamine meyve sularında mikroorganizma büyüme dinamikleri de değerlendirilmiştir. En yüksek ozon konsantrasyonu prosesin çoğu bölümünde *E. coli* sayısının düşmesine sebep olmuş, ancak 12 dk uygulandıktan sonra, her iki ozon seviyesine maruz bırakılan şeftali suyundaki koliform sayısı yaklaşık 4.3 log kob/mL azalma göstermiştir. *L. innocua* sayısı, 12 dk süresince sırasıyla 10 ve 18 ppm ozon uygulandıktan sonra 3.9 ve 4.9 log kob/mL azalma meydana gelmiştir. *S. cerevisiae* için proses daha az etkili olmuş ve ozon konsantrasyonuna bakılmaksızın sadece 1 log kob/mL azalma elde edilmiştir. Soğukta depolama boyunca ozon ile muamele edilmiş şeftali suyunun

büyüme dinamikleri, uygulanan ozon seviyesine ve inoküle edilen mikroorganizmalara bağlı olduğu belirtilmiş fakat canlı kalan mikroorganizmalar özellikle yüksek ozon konsantrasyondakiler, proses edilmemiş meyve suyundaki mikroorganizmalara göre daha zor koşullarla karşılaşmıştır. Ozon prosesi (18 ppm) düşük sıcaklıktaki saklama koşulları ile birleştiğinde, şeftali suyunun muhafazası için iyi bir seçenek olarak görülmektedir (Loredo vd., 2015).

Ultraviyole ışın ve ozon proseslerinin, *L. monocytogenes* gibi engellere karşı taze (%9 NaCl, %91.86 iletim) ve kullanılmış (%20.5 NaCl, %0.01 iletim) tuzlu sulardaki etkinliği araştırılmıştır. Tuz çözeltisi *L. monocytogenes* suşlarının (N1-227, N3-031, and R2-499) karışımına inoküle edilmiştir. Ozonlama tuz çözeltisinin içine ozon gazı serpilerek gerçekleştirilmiştir. Bunu takiben steril kuvars küvetlerinde tuz çözeltisi UV ışınlamaya (253.7 nm) tabi tutulmuştur. *L. monocytogenes* içeren taze tuz çözeltisinde, 10 dk ozonlama 7.44 ± 0.13 log kob/mL ve 10 dk UV radyasyonu 1.95 ± 0.41 log kob/mL azalma sağlamıştır. Taze tuz çözeltisinde 10 dk ozon ve UV uygulamaları *L. monocytogenes* popülasyonunda >9 log kob/mL azalma sağlamaktadır. Kullanılmış tuz çözeltisinin 60 dk ozonlanması sonucunda *L. monocytogenes* popülasyonunda 4.85 ± 0.61 log kob/mL azalma görülürken, 10 dk UV uygulamasıyla 0.49 ± 0.14 log kob/mL azalma meydana gelmiştir. Kullanılmış tuz çözeltisinde sırasıyla uygulanan 60 dk ozon ve 10 dk UV prosesleri sonucunda ise *L. monocytogenes* hücrelerinde fazladan 5 log kob/mL azalma saptanmıştır. Ozonlama, UV penetrasyonu için kullanılmış tuzlu suyun geçirgenliğinde önemli bir artışa neden olmamış, fakat renk değişimi gerçekleşmiştir. Ozon ve UV proseslerinin sırasıyla uygulanması, kullanılmış soğuk tuz çözeltisindeki *L. monocytogenes*'i azaltmada etkili olabilmektedir (Kumar vd., 2015).

Düşük enerjili ultrasonik dalgaların yoğurt fermentasyonuna etkisini araştırmak için üç farklı işlem yapılmıştır. İlk işlemde yoğurt kontrol amacıyla normal bir şekilde üretilmiştir. Diğerinde, yoğurt kültürü süte eklenmeden önce ultrasonikasyon uygulanmıştır. Son gruba ise yoğurt kültürü süte eklendikten sonra, ancak fermentasyondan önce ultrasonikasyon uygulanmıştır. Fermentasyon sonunda üç işlemin ürünü karşılaştırılmış ve yoğurt kültürü eklemekten önce ultrasonikasyon uygulanan ürünün su tutma kapasitesinin arttığı, serum miktarının azaldığı belirlenmiştir. Yoğurt kültürü eklendikten sonra ultrasonikasyon uygulanan

yoğurdun ise fermentasyon süresinin yarım saat kadar azaldığı, su tutma kapasitesinin arttığı ama serum miktarında herhangi bir faydalı etkinin olmadığı belirlenmiştir (Wu vd., 2001).

Vercet vd. (2002) çalışmalarından birinde sıcaklık, basınç ve ultrasonikasyonun birlikte kullanımının (manotermosonikasyon), domatesteki pektik enzimlerden pektin metil esteraz (PME) ve poligalakturonaz (PG) ve domates salçasının reolojik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Domates suyuna manotermosonikasyon (20 kHz, 200 kPa, 117 µm, 70°C) uygulanmış, aynı zamanda 70°C sıcaklıkta 1 dk süreyle ısıtılan domates suyunda enzim inaktivasyonu belirlenmiştir. Isıtılan domates suyunda başlangıç PME aktivitesinde %38 azalma görülürken, manotermosonikasyon uygulanmış domates suyunda PME belirlenmemiştir. Manotermosonikasyon ile PG aktivitesinde %62 azalma sağlanırken, ısı uygulamasıyla PG aktivitesinin hiç değişmediği belirlenmiştir. Sonuçta yüksek viskozitede domates suyu üretiminde manotermosonikasyon kullanılabileceği saptanmıştır.

Knorr vd. (2004) çalışmalarında 20°C'de depoladıkları portakal suyunda ultrasonikasyon+sıcaklık prosesinden sonra askorbik asit degradasyonunun sadece sıcaklık uygulamasına kıyasla daha az olduğunu bildirmişlerdir. Kuldiloke ve Eshtiaghi (2008) yaptıkları bir çalışmada %40 (80 W) ultrasonik güç ve 50°C'de 15 dk olan bir uygulamayla portakal suyu kaynaklı maya oluşumunu engellemişlerdir. Bozkurt ve İçier (2009) çalışmalarında, çileklerin raf ömrünü arttırmak amacıyla, ultrasonikasyon (32 kHz'de 20, 50 ve 65°C) ve UV-C (12.36 W/m²) uygulayarak, bu proseslerin çilek kalitesine etkilerini ve mikrobiyel etkinliklerini araştırmışlardır. UV-C uygulamasının mikrobiyel yönden yeterli inaktivasyon sağlayamadığı fakat renk, doku, pH, antosiyanin miktarı gibi kalite özelliklerinin korunması açısından etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Isı ile birlikte uygulanan ultrasonikasyonun ise mikrobiyel etkinliğe sahip olmasına rağmen, dokuda yumuşama ve renkte bozulmaya sebep olduğu görülmüştür.

Ultrasonikasyon ve ısı ile sütte bulunan *L. innocua* ve mezofilik bakterilerin inaktivasyonu araştırılmış ve ultrasonik işlemden inaktivasyon hızının daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bermudez-Aguirre vd., 2010). Ultrasonikasyonun enzim

inaktivasyonunu sağladığı bir çalışmada; domateste bulunan peroksidaz enzimine %15 ila %75 ultrasonik güçlerde 20 ila 150 s sürelerle ultrasonikasyon uygulanmış ve %50 ve %75 ultrasonik güçte 150 sn sonunda enzimin tamamen inaktive olduğu görülmüştür. Bu domates suyunda C vitamini kaybının ısıl işleme göre daha az olduğu ve ultrasonikasyonun ısıl işleme alternatif olabileceği belirtilmiştir (Ercan ve Soysal, 2010).

Verilen bilgiler ve yapılan ön çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda yumurta yüzeyinin dezenfeksiyonunda alternatif teknolojilerin kullanımı konusunun veya herhangi bir proses sonrası yumurtanın kalite ve duyusal özellikleri araştırmalarının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yumurta yüzeyinin dezenfeksiyonunda ozon, ultrasonikasyon ve bunların kombine uygulamalarının etkisinin araştırılması, aynı zamanda bu teknolojilerin yumurtanın kalite ve duyusal özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve yumurtada mikrobiyel inaktivasyon etkisinin SEM aracılığı ile görüntülenmesi hedeflenmektedir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Yumurta

Araştırmada Türem marka büyük boy (L) yumurtalar kullanılmıştır. Yumurtalar Abant İzzet Baysal Üniversitesi Gököy Kampüsü içerisindeki yerel marketten temin edilmiştir.

3.1.2 Bakteri Kültürleri

Listeria monocytogenes (ATCC 19115), *Salmonella* Enteritidis (OSU 799) ve *Escherichia coli* O157:H7 (ATCC 35218) kültürleri Ohio State Üniversitesi (Columbus, OH, ABD) kültür koleksiyonundan 2006 yılında elde edilmiştir. Dondurularak (-18°C) Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda muhafaza edilen stok kültürlerden *L. monocytogenes* Listeria Enrichment Broth'a, *S. Enteritidis* stok kültürü Selenite Sistin Broth'a ve *E. coli* O157:H7 stok kültürü modifiye edilmiş Trypton Soy Broth'a öze ile aktarılmış ve tüpler 35±2°C'de 48 saat boyunca inkübe edilerek aktiveleştirilmiştir. Aktifleşen kültürlerden 3'er kez pasajlama yapılmış 3 pasaj sonucunda elde edilen kültürler inaktivasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

3.1.3 Ozon Cihazı

Deneylerde Oxy time markalı 7F 5 Mini modelinde ozon konsantratörü (Ankara, Türkiye) (Şekil 3.1), 2A akımlı, 230 V (AC) voltajlı, akış oranı 1 L/dk O₃ olacak şekilde ayarlanarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Ozon cihazı

3.1.4 Ultrasonikasyon Cihazı

Ultrasonikasyon işlemi Bandelin Sonorex marka ve RK 510 H modelindeki ultrasonikasyon cihazı ile (Berlin, Germany) gerçekleştirilmiştir. Cihaz 35 kHz miktarında frekans, 160/640W performans, 2.5 A akım, 230V~50/60 Hz şebeke gerilimi ile çalışmaktadır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Yumurta Örneklerine Ozon ve Ultrasonikasyon İşlemlerinin Uygulanması

Yumurtanın ozon ve ultrasonikasyon ile prosesi için farklı parametreler denenmiştir. Yumurtanın kalite özelliklerinde değişiklik olmayacak şekilde optimum parametrelerde karar kılınmıştır. Uygulanacak işlemler ozon, ultrasonikasyon ve bu iki uygulamanın kombinasyonu şeklinde belirlenmiş olup, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kontrol, O₃ (5 dk), O₃ (15 dk), US (3 dk), US (6 dk), US (2 dk) + O₃ (3 dk), O₃ (3 dk) + US (2 dk) uygulanmak üzere 7 adet örnek bulunmaktadır (Çizelge 3.1). Her bir uygulama için bir adet yumurta behere konulup üzerine 300 mL saf su eklenerek uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1. Kabuklu yumurta örneklerine uygulanan yöntem

Uygulamalar	Yöntem
Kontrol	
1O₃	33.6 g/m ³ konsantrasyon ve 5 dk uygulama süresi
2O₃	101.0 g/m ³ konsantrasyon ve 15 dk uygulama süresi
1US	1200 W güç, 35 kHz frekans ve 3 dk uygulama süresi
2US	1200 W güç, 35 kHz frekans ve 6 dk uygulama süresi
3US+3O₃	1200 W güç, 35 kHz frekans ve 2 dk uygulama süresi + 20.2 g/m ³ konsantrasyon ve 3 dk uygulama süresi
3O₃+3US	20.2 g/m ³ konsantrasyon ve 3 dk uygulama süresi + 1200 W güç, 35 kHz frekans ve 2 dk uygulama süresi



Şekil 3.2. Ultrason işlemi uygulanan yumurta örnekleri

3.2.2 Mikrobiyolojik Analizler

3.2.2.1 Yumurta Yüzeyinin Doğal Mikroflorasının İnaktivasyonu

Beherlerdeki kabuklu yumurtaların üzerine 300 mL saf su eklenerek hazırlanan örneklere 6 adet işlem uygulanmıştır. Kontrol ile birlikte toplam 7 örneğe 1/10 oranında 5 kez seyreltme yapıldıktan sonra toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayımı için aseptik ortamda yayma ekim yöntemi ile PCA (Plate Count Agar) besiyerine, toplam enterobacteriaceae (TE) sayımı için VRBA (Violet Red Bile Agar) besiyerine, toplam maya küf (TMK) sayımı için de PDA (Potato Dextrose Agar) besiyerine ekim yapılmıştır. Ekim yapılan besiyerlerinden PCA ve VRBA 35°C sıcaklıktaki inkübatörde, PDA ise oda sıcaklığında (25°C) 48-72 saat

bekletildikten sonra üreme kontrol edilip sayım yapılmıştır. Analizler üç tekrarlı olarak yapılarak sonuçlar log kob/mL olarak raporlanmıştır.

3.2.2.2 *Salmonella Enteritidis* İnaktivasyonu

Sıvı besiyeri ortamında gelişmiş olan *S. Enteritidis* kültüründen 10^6 - 10^7 kob/mL kadar 2100 mL saf suya inoküle edilmiştir. Ardından beherlerdeki kabuklu yumurtaların (tüm yumurta) üzerine, kontamine edilmiş sudan 300'er mL eklenmiştir. Kontamine edilen yumurtalar, içinde bulunduğu su ile birlikte belirtilen koşullarda proses edilmiştir. Yumurtaların içinde bulunduğu kontamine edilmiş sular prostesten sonra seyreltilmiş ve aseptik ortamda 100'er µL alınarak Xylose Lysin Deoxycholate (XLD) agara yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Ekilen petripler 37 °C sıcaklıktaki inkübatörde 48 saat bekletilip sayım yapılmıştır. Analizler üç tekrarlı olarak yapılmıştır ve sonuçlar log kob/mL olarak raporlanmıştır.

3.2.2.3 *Escherichia coli* O157:H7 İnaktivasyonu

Sıvı ortamda geliştirilen *E. coli* O157:H7 kültüründen 10^6 - 10^7 log kob/mL oranında 2100 mL saf suya inoküle edilip, bakteriyle kontamine edilmiş sudan 300'er mL kabuklu yumurta (bütün) örneklerinin üzerine eklenip yumurtalar prosese tabi tutulmuştur. Ardından yumurtaların bulunduğu kontamine su örnekleri seyreltilip MacConkey Sorbitol (MCS) agara yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Daha sonra petripler 37°C sıcaklıktaki inkübatörde 48 saat bekletilip sayım yapılmıştır. Analizler üç tekrarlı yapılmış olup sonuçlar log kob/mL olarak verilmiştir.

3.2.2.4 *Listeria monocytogenes* İnaktivasyonu

L. monocytogenes patojeni 10^6 - 10^7 log kob/mL oranında 2100 mL saf suya inoküle edilmiştir. Ardından kontamine edilmiş su, 300'er mL kabuklu yumurta örneklerinin (bütün) üzerine eklendikten sonra yumurtalar proses edilmiştir. Sonrasında yumurtaların bulunduğu su örneklerinden alınıp seyreltme yapıldıktan

sonra Oxford agara yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Ardından petriler 35-37 °C sıcaklıkta 48 saat inkübasyona tabi tutulup sayım yapılmıştır. Analizler üç tekrarlı yapıp sonuçlar log kob/mL olarak verilmiştir.

3.2.3 Kalite Analizleri

3.2.3.1 Yumurta Ağırlığının Ölçülmesi

Yumurta örnekleri Kern 440-49N markalı (Balingen, Almanya) hassas terazi ile ± 0.1 g duyarlılıkla tartılmıştır (Şekil 3.3).



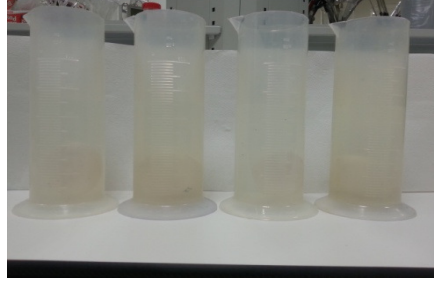
Şekil 3.3. Yumurtanın tartılması

3.2.3.2 Özgül Ağırlık

Öncelikle yumurtaların, ölçülü silindirlerde hacimleri ölçülmüştür (Şekil 3.4). Ardından daha önce ölçülen ağırlık ölçüm sonuçlarının da yardımıyla aşağıdaki formülden (3.1) hesaplanmıştır.

$$d = m/v \quad (3.1)$$

Formülde d özgül ağırlık (g/cm³), m kütle (g) ve V hacim (cm³) olarak alınmıştır.

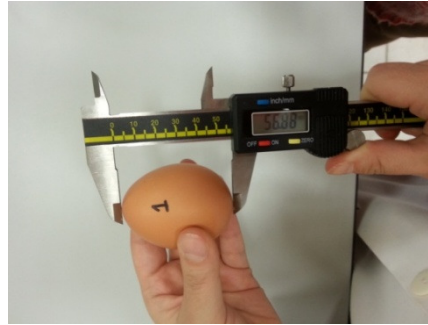


Şekil 3.4. Yumurta hacminin ölçülmesi

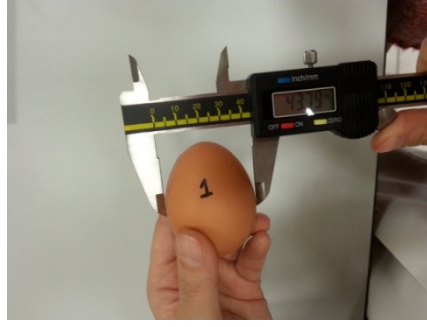
3.2.3.3 Şekil İndeksi

Şekil indeksi, yumurta şeklinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Standart bir yumurtanın şekil indeksi değeri 74 tür (Doğan, 2008). Yumurta örneklerinin genişliği ve uzunluğu elektronik digital caliper (0-150 mm) markalı kumpas ile ölçülmüş (Şekil 3.5, Şekil 3.6) ve aşağıdaki formülle (3.2) hesaplanmıştır;

$$\text{Şekil indeksi} = \left(\frac{\text{tüm yumurta genişliği}}{\text{tüm yumurta uzunluğu}} \right) * 100 \quad (3.2)$$



Şekil 3.5. Yumurtanın uzunluk ölçümü



Şekil 3.6. Yumurtanın genişlik ölçümü

3.2.3.4 Kabuk Kalınlığı

Yumurtanın kabuk kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri kabuk kalınlığıdır. Kabuk kalınlığı yumurtanın dayanıklılığını etkilemekte ve aynı zamanda yumurtaların toplanması, sınıflandırılması, paketlenmesi, nakliyesi depolanması açısından önem arz etmektedir (Şenköylü ve Meriç, 1989). Yumurta örneklerinin kabuk kalınlığı 0.01 mm duyarlılıkla Mitutoyo (0-25 mm) marka mikrometre (Kanagawa, Japonya) ile ölçülmüştür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Yumurtanın kabuk kalınlığının ölçülmesi

3.2.3.5 Renk Ölçümü

Yumurta örneklerinin kabuk rengi Konica Minolta marka (CR-400 Chroma Meter, Osaka, Japonya) modelindeki renk spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Ölçümlerde kahverengi yumurtalar kullanılmıştır. Sonuçlar L^* (0: koyuluk, 100: açıklık), a^* (-: yeşillik, +: kırmızılık) ve b^* (-: mavilik, +: sarılık) olarak alınmış

olup, bu değerler kullanılarak toplam renk farkı (ΔE) (3.5), hue (h° , renk tonu) (3.4) ve chroma (C^* , renk yoğunluğu) (3.3) değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.8).

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.3)$$

$$h^\circ = \arctan(b/a) \quad (3.4)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (3.5)$$



Şekil 3.8. Yumurtanın kabuk renklerinin ölçülmesi

3.2.3.6 Haugh Birimi Hesaplanması

Haugh birimi, Raymond Haugh tarafından 1937 yılında geliştirilmiştir. Yumurta akının yüksekliğine dayanılarak belirlenen bir yöntemdir (Yurtoğulları, 2011). Yumurta iç kalitesini belirten en yaygın özellik Haugh birimidir. Haugh birimi değeri yumurtanın tazeliği, dayanıklılığı, pişirmeye uygunluğu ve akın yapısı hakkında bilgi vermektedir (Hira ve Yörük, 2015). Haugh biriminin yüksek değerlerde olması, yumurtanın diğer özelliklerinin de iyi kalitede olması anlamında bir kriterdir (Adamiec, 2002). Haugh birimi hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (3.6).

$$Haugh\ birimi = 100 * \log(h + 7.57 - 1.7 * G^{0.3}) \quad (3.6)$$

Formülde h katı ak yüksekliğini (mm), G ise yumurta ağırlığını (g) belirtmektedir.

3.2.3.7 Ak İndeksi

Yumurta akı ağırlık bakımından yumurtanın en büyük kısmını oluşturur. %88 su, %12 kuru maddeden oluşmaktadır. Yumurta akı 4 kısımdan meydana gelmektedir; dış sulu ak (%23), koyu ak (%57), iç sulu ak (%17), iç koyu ak (%3). Yumurta ak kalitesinin belirlenmesinde ak indeksi değeri incelenmektedir (Anonim,2014). Yumurta örneklerinin ak yüksekliği, ak genişliği ve ak uzunluğu Elektronik Digital Caliper (0-150 mm) markalı kumpas (Chaohu, Anhui, Çin) ile ölçülüp (Şekil 3.9) aşağıdaki formül (3.7) ile hesaplanmıştır.

$$Ak\ indeks = \frac{[ak\ yüksekliği \cdot 100]}{[ak\ uzunluğu + ak\ genişliği / 2]} \quad (3.7)$$

Formülde ak yüksekliği ve ak uzunluğu mm olarak verilmiştir.



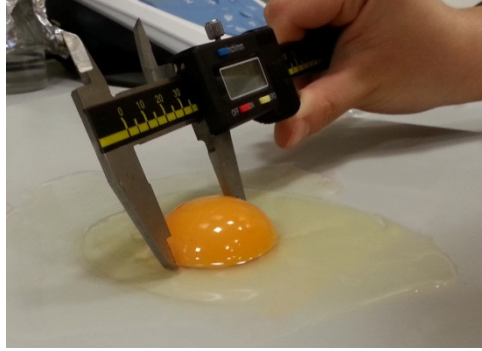
Şekil 3.9. Yumurtanın ak genişliğinin ölçümü

3.2.3.8 Sarı İndeksi

Yumurta sarısının kalitesi sarı indeksiyle ölçülür. Sarı indeksi, yumurta sarısının, yayılmadan dik durma özelliğinin ölçümüdür ve taze yumurtalarda ortalama olarak 40-46 arasındadır (Doğan, 2008). Yumurta örneklerinin sarı çapları ve yükseklikleri Elektronik Digital Caliper (0-150 mm) markalı kumpas (Chaohu, Anhui, Çin) ile ölçülüp (Şekil 3.10), aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (3.8)

$$Sarı\ indeks = \frac{(sarı\ yüksekliği)}{(sarı\ çapı)} \cdot 100 \quad (3.8)$$

Formülde sarı yüksekliği ve sarı çapı mm olarak verilmiştir.



Şekil 3.10. Yumurta sarısının çapının ölçülmesi

3.2.3.9 pH Ölçümü

Yumurta örneklerini akı ve sarısı ayrı ayrı distile su ile seyreltilerek Thermo Scientific markalı Orion 4-Star Plus Benchtop pH/Conductivity Meter modelindeki pH metre (Colorado, ABD) ile pH ölçümü yapılmıştır.

3.2.3.10 Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirme Gıda Mühendisliği 3. ve 4. sınıf öğrencilerinden oluşan 20 kişilik bir grup tarafından gerçekleştirilmiştir. Proses uygulanmış yumurta örnekleri önce 95-100°C sıcaklıkta 15 dk kaynatılıp sonra yenilebilecek sıcaklığa gelebilmesi için 35°C sıcaklıktaki suda 20 dk bekletilmiştir. Soyulduktan sonra panelistlere verilen yumurtalarda örnekler arasında tuzsuz kraker ve su verilerek panelistlerin ağızlarını temizlemeleri sağlanmıştır. Panelistlere yumurta örnekleriyle birlikte duyusal analiz anket formu da (Ek A.1) verilerek ak ve sarı rengi, koku, tat ve aroma, tekstür ve ağızda bıraktığı his açılarından değerlendirmeleri istenmiştir (Şekil 3.11). Değerlendirmede 10'lu hedonik skala kullanılmıştır (Ek A .1).



Şekil 3.11. Duyusal değerlendirme

3.2.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme

SEM, bir numunenin görüntülerini elektronların odaklanmış ışını ile tarayarak üreten bir elektron mikroskobu türüdür. Elektronlar, numunedeki, belirlenebilen çeşitli sinyaller üreten ve numunenin yüzey topografisi ve bileşenleri hakkında bilgi içeren atomlar ile etkileşir. Elektron ışını genellikle raster tarama deseni olarak taranır ve ışının pozisyonu bir görüntü üretmek için tespit edilen sinyal ile birleştirilir. En yaygın olarak yüzeyden yayılan ikincil (secondary) elektronlarla yapılan ölçümde, SEM numune yüzeyinin çok yüksek çözünürlüklü görüntülerini (1 nm'den küçük detayları) üretebilir. Büyütme 10 ila 500.000 kez olmak üzere geniş bir yelpazede mümkün olmaktadır (Anonim, 2015b)

Yumurta örnekleri proses edilmeden önce üzerlerine 300 mL *E.coli* O157:H7 patojen inoküle edilmiş olan su eklenmiştir. Yumurtalar kontamine edildikten sonra proses edilmiştir. İşlemden sonra örneklerdeki sulardan 50'şer mL alınarak Nüve marka ve NF 1200 modelindeki santrifüj (Ankara, Türkiye) ile 4000 devirde 6 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra tüpün altında kalan kısım steril ortamda karbon filmlerin üzerine alınmıştır. Aynı şekilde proses sonrası yumurtalar da kırılarak kabukları karbon filmler üzerine alınmıştır. Filmler üzerindeki örnekler steril kabin altında 3 gün kurutulduktan sonra metal disklerle yapıştırılmış ve üzerleri yüksek vakum altında Ion Coater KIC 1A Coxem (Daejeon, Güney Kore) markalı kaplama cihazı ile 180 s altın kaplanmıştır. Altın kaplama işlemi iletkenliği olmayan ya da az olan numuneler için iletkenliği artırmak amacıyla yapılmaktadır. Kaplaması tamamlanan örnekler Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi'nde

bulunan JSM 6480 LV-JEOL markalı SEM (Tokyo, Japonya) ile görüntülenmiştir. Büyütmesi 10 ila 500.000 kez olmak üzere geniş bir yelpazede mümkün olan mikroskop 15 ve 20 kV ile çalıştırılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. SEM cihazı

3.2.5 Tekstür Analizi

Yumurtanın kırılmaya karşı direncini ortaya koyar. Kırılma direncinin saptanması, yumurta üzerine belirli yöntemlerle ağırlık uygulanarak, yumurtanın çatladığı anda uygulanan ağırlığın belirlenmesiyle yapılır (Anonim, 2007). Proses uygulanan yumurta örnekleri kuru olmasına dikkat edilerek 5 kg lık sıkıştırma yükü 1 mm/s olacak şekilde 30 s enine kuvvet uygulanmıştır. Analiz Abant İzzet Baysal Üniversitesi YENİGIDAM Laboratuvarında bulunan T.A. HD Plus Texture Analyzer (ABB, Ankara) cihazı ile 36mm Ø radius edge cylinder probe kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yumurtanın tekstür analizi

3.2.6 Yumurta Yüzeyinin Mineral Madde Analizi

Patojen bakteriler ile kontamine edilen yumurtalar prosese tabi tutulmuştur. İşlemden sonra yumurtalar kırılıp, kabuklar karbon filmler üzerine alınıp metal disklere yapıştırılmıştır. Ardından üzerleri yüksek vakum altında Ion Coater KIC 1A Coxem (Daejeon, Güney Kore) markalı altın kaplama cihazı ile 180 s kaplanmıştır. Kaplanan örneklerin mineral madde analizi JSM 6480 LV-JEOL markalı SEM cihazı ile yapılmıştır. Tüm örneklerin elementel kompozisyon ve homojenliği, nicel enerji dağıtıcı X ışını spektroskopisi (EDS) ile incelenmiştir. Kompozisyon tespiti için mikroskop 20 kV ile çalıştırılmıştır.

3.2.7 Verilerin Analizi

Verilerin analizinde SPSS Inc (Versiyon 18.0) programı kullanılmıştır. Açıklayıcı değişken olarak uygulamalar (Kontrol, O₃ (5 dk), O₃ (15 dk), US (3 dk), US (6 dk), US (2 dk) + O₃ (3 dk), O₃ (3 dk) + US (2 dk)) alınmıştır. Uygulamaların, analizi yapılan özellikler üzerindeki etkisinin incelenmesi tek yönlü ANOVA, aralarındaki farklılıklar ise TUKEY çoklu karşılaştırma testleri ile gerçekleştirilmiştir (alfa: 0.05).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kabuklu yumurtanın oda sıcaklığında ozon, ultrasonikasyon ve bu iki işlemin kombinasyonu olarak belirlenen uygulamalar sonrası mikrobiyolojik analizler, kalite analizleri, tekstür analizleri ve duyu analizi yapılmış, aynı zamanda mikrobiyel hücreleri ve yumurta yüzeyini görüntülemek amacıyla SEM cihazından yararlanılmıştır.

4.1 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

4.1.1 Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri İnaktivasyonu

Kabuklu yumurta örneklerinin doğal mikroflorası incelendiğinde (Çizelge 4.1), kontrol örneğindeki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı ($5.27 \log \text{ kob/mL}$), 3 dk olan US uygulamasında $3.76 \pm 0.23 \log \text{ kob/mL}$, 6 dk olan US uygulamasında ise $3.76 \pm 0.56 \log \text{ kob/mL}$ olarak sayılmıştır ($p < 0.05$). O_3 uygulamalarında ise sürenin artışıyla doğru orantılı olarak US'a nispeten daha fazla inaktivasyon sağlanmıştır. Ozonun 5 dk uygulanması sonucu aynı kontrol örneklerindeki TMAB sayısı $3.76 \pm 0.26 \log \text{ kob/mL}$, 15 dk uygulanması sonucunda ise $2.24 \pm 0.59 \log \text{ kob/mL}$ olarak sayılmıştır. Bu işlemlerin kombinasyonu örneklerle uygulandığında ise inaktivasyonun tam olarak sağlandığı ($<1 \log \text{ kob/mL}$) görülmüştür (Şekil 4.1). Genel olarak sonuçlara bakıldığında başlangıçta $5.63 \pm 0.73 \log \text{ kob/mL}$ olan TAMB sayısının uygulamalar sonucunda tamamen inaktive edildiği ve kombine uygulamaların tek uygulamalara göre TAMB sayısını azaltmada daha etkin olduğu ve sinerjistik etki gösterdiği görülmektedir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.1).

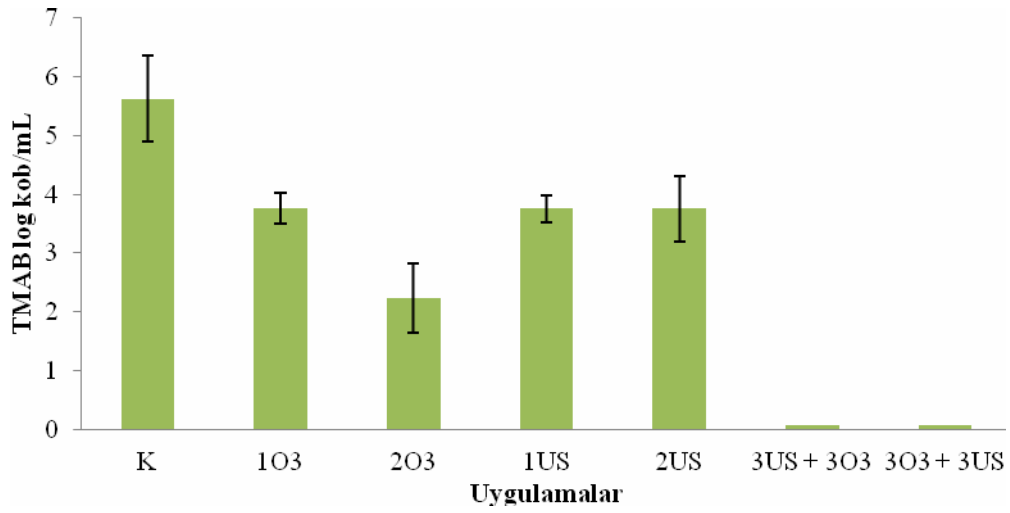
Çizelge 4.1. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının mikrobiyel inaktivasyon üzerine etkisi (log kob/mL)

Uygulamalar	TMAB		TE		TMK		S. Enteritidis		E. coli O157:H7		L. monocytogenes	
	TMS	Log kob/mL azalma	TMS	Log kob/mL azalma	TMS	Log kob/mL azalma	TMS	Log kob/mL azalma	TMS	Log kob/mL azalma	TMS	Log kob/mL azalma
K	5.63±0.73 ^a		5.42±0.15 ^a		4.48±0.00 ^a		6.29±1.19 ^a		7.37±1.21 ^a		5.52±0.63 ^a	
1O₃	3.76±0.26 ^b	1.87	3.08±0.07 ^b	2.34	0.00±0.00 ^b	4.48	3.66±0.48 ^b	2.63	1.47±2.20 ^b	5.90	3.04±0.91 ^b	2.48
2O₃	2.24±0.59 ^c	3.39	0.00±0.00 ^c	5.42	0.00±0.00 ^b	4.48	3.09±0.13 ^b	3.20	0.67±1.34 ^b	6.70	2.69±0.69 ^b	2.83
1US	3.76±0.23 ^b	1.87	3.85±0.43 ^d	1.57	3.49±0.17 ^c	0.99	5.21±0.73 ^c	1.08	7.35±1.09 ^a	0.02	4.88±0.47 ^a	0.64
2US	3.76±0.56 ^b	1.87	3.98±0.16 ^d	1.44	3.58±0.46 ^c	0.90	5.16±1.38 ^c	1.13	6.99±1.38 ^a	0.38	4.91±0.41 ^a	0.61
3US+3O₃	0.00±0.00 ^d	5.63	3.38±0.06 ^b	2.04	0.00±0.00 ^b	4.48	3.82±0.56 ^b	2.47	3.44±0.99 ^a	3.93	3.63±0.30 ^b	1.89
3O₃+3US	0.00±0.00 ^d	5.63	0.00±0.00 ^c	5.42	0.00±0.00 ^b	4.48	2.71±1.36 ^b	3.58	0.61±1.22 ^b	6.76	2.72±0.42 ^b	2.80

*Aynı sütunda farklı üstsel harflerle belirtilen sayımlar istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0.05$)

**K= Kontrol, 1O₃=5 dk 33.6 g/m³, 2O₃=15 dk 101.0 g/m³, 3O₃=3 dk 20.2 g/m³, 1US=3 dk 35 kHz, 2US=6 dk 35 kHz, 3US=2 dk 35 kHz.

*** Toplam mikroorganizma sayısındaki azalmalar (N_0-N) formülü ile hesaplanmıştır (N_0 :Başlangıç mo sayısı, N :Proses sonrası mo sayısı).



Şekil 4.1. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TMAB sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

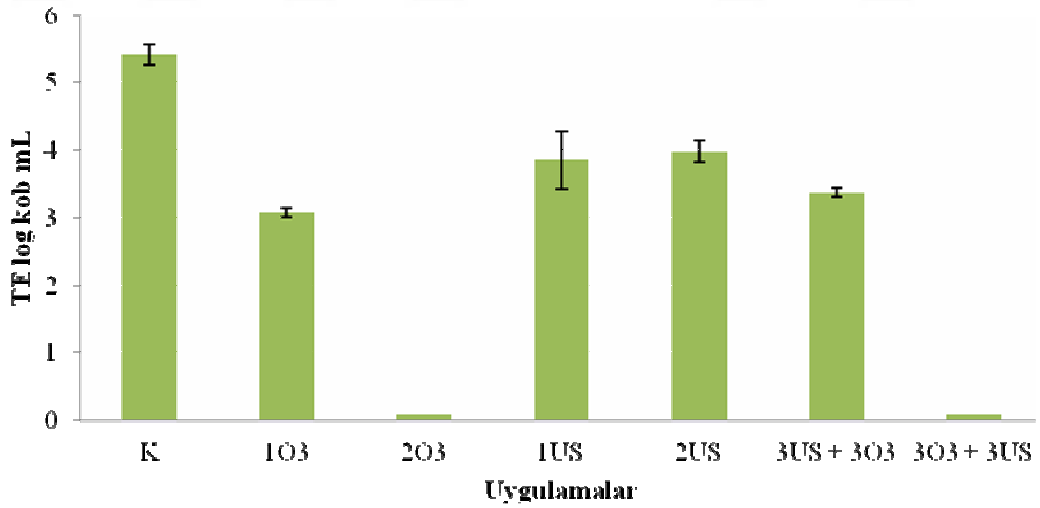
(*K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

Çizelge 4.2. O, US ve kombinasyonlarının mikrobiyel inaktivasyon üzerindeki etkilerinin %ifadesi

Uygulama	TMAB	TE	TMK	<i>S. Enteritidis</i>	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>L. monocytogenes</i>
K	-	-	-	-	-	-
1O ₃	%33	%43	%99	%41	%80	%44
2O ₃	%60	%99	%99	%50	%90	%51
1US	%33	%28	%22	%17	%0	%11
2US	%33	%26	%20	%17	%5	%11
3US+3O ₃	%99	%37	%99	%39	%53	%34
3O ₃ +3US	%99	%99	%99	%56	%91	%50

4.1.2 Toplam Enterobacteriaceae İnaktivasyonu

Farklı proseslerden sonra toplam Enterobacteriaceae (TE) sayısındaki azalmalar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2 de özetlenmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kontrol örneklerinde 5.42 ± 0.15 log kob/mL (TE) sayısının 5 dk uygulanan ozon uygulamasında oldukça azaldığı (3.08 ± 0.07 log kob/mL), 15 dk uygulanan ozon uygulamasında ise tamamen yok edildiği (0.00 ± 0.00 log kob/mL) ($p < 0.05$) görülmüştür. Ultrasonikasyon uygulamalarında yine azalma görülürken, ultrasonikasyon süresinin artması durumunda bakteri sayısının da azalmaya başladığı belirlenmiştir. Kontrol örneklerindeki başlangıç TE sayısı US uygulamaları (3 ve 6 dk) sonrasında sırasıyla 3.85 ± 0.43 ve 3.98 ± 0.16 log kob/mL olarak tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Ultrasonikasyonun önce uygulandığı kombinasyon işleminde de (3.38 ± 0.06 log kob/mL) bakteri sayısında azalma meydana gelirken ozonun önce uygulanmasıyla tam inaktivasyon sağlanmıştır (Şekil 4.2). Genel sonuçlara bakıldığında bakteri sayısı 5.42 ± 0.15 log kob/mL ile 0.00 ± 0.00 log kob/mL arasında değişim göstermektedir ve kontrol örnekleri ile proses edilen örnekler arasında önemli bir fark görülmüştür ($p < 0.05$).

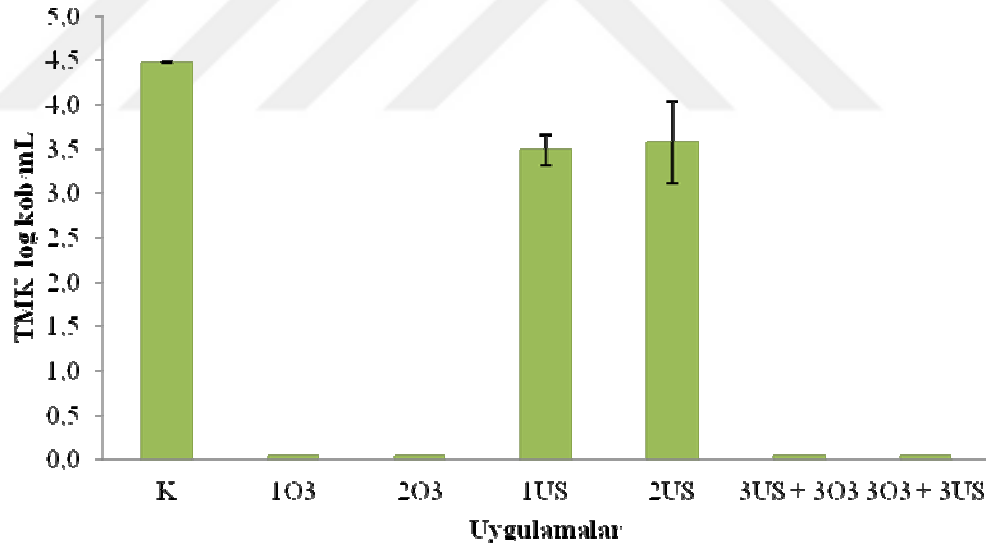


Şekil 4.2. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TE sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

(*K: Kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.1.3 Toplam Maya Küf İnaktivasyonu

Uygulanan proseslerden sonra toplam maya-küf (TMK) sayısındaki azalmalar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3'te görülmektedir. Sayım sonuçlarına bakıldığında kontrol örneğindeki başlangıç sayısı (4.48 ± 0.00 log kob/mL), ozonun 5 dk ve 15 dk olan uygulamalarından sonra 0.00 ± 0.00 log kob/mL olarak saptanmıştır ($p < 0.05$). Ultrasonikasyonun 3 dk ve 6 dk olan uygulamalarında da sırasıyla 3.49 ± 0.17 ve 3.58 ± 0.46 olarak tespit edilen TMK sayısında kontrol örneğine kıyasla yine azalma gözlenmiştir; fakat ozonla karşılaştırıldığında daha az etki göstermektedir ($p < 0.05$). İki uygulamanın kombinasyonunda da ozondaki gibi bakteri sayısında (0.00 ± 0.00 log kob/mL) başlangıç mikrobiyel yük tamamen inaktive edilmiştir ($p < 0.05$) (Şekil 4.3). Uygulamalar sonucunda TMK sayısı 4.48 ± 0.00 log kob/mL ile 0.00 ± 0.00 log kob/mL arasında değişim göstermiştir. İnaktivasyonda ozonun tek tek ve kombinasyon halindeki uygulamaları önemli bir rol oynamaktadır. Ultrasonikasyonun tek başına uygulamaları ise ozon kadar etki göstermemiştir.

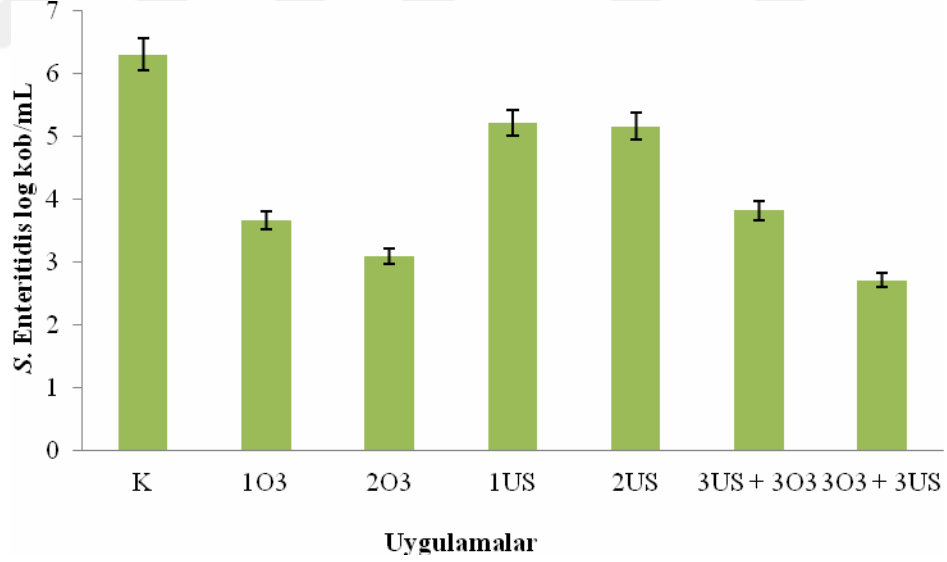


Şekil 4.3. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda TMK sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

(*K: Kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.1.4 *Salmonella* Enteritidis İnaktivasyonu

S. Enteritidis sayısındaki azalmalar Çizelge 4.1 de gösterilmiştir. Ortalama sayım sonuçlarına bakıldığında kontrol örneğindeki *S. Enteritidis* sayısının (6.29 ± 1.19 log kob/mL), ozon uygulamalarında ($1O_3$: 3.66 ± 0.48 log kob/mL, $2O_3$: 3.09 ± 0.13 log kob/mL) neredeyse yarılandığı görülmüştür ($p < 0.05$). Ultrasonikasyonun 3 dk olan uygulamasında *S. Enteritidis* sayısı 5.21 ± 0.73 log kob/mL, 6 dk olan uygulamasında ise 5.16 ± 1.38 log kob/mL olarak tespit edilip, kontrol örneğindeki *S. Enteritidis* sayısına göre azalmalar belirlenmiştir ($p < 0.05$). $3US+3O_3$ şeklinde uygulanan kombinasyonda *S. Enteritidis* sayısı 3.82 ± 0.56 log kob/mL olarak tespit edilirken, $3O_3+3US$ kombinasyonunda başlangıç 2.71 ± 1.36 log kob/mL olarak bulunmuştur ($p < 0.05$) (Şekil 4.4). Başlangıçta 6.29 ± 1.19 log kob/mL olan *S. Enteritidis* sayısı proses sonrası 2.71 ± 1.36 log kob/mL'ye kadar azalma göstermiştir. Uygulamalar arasındaki etki değişimi incelendiğinde; kontrol örneği ile proses uygulanan örnekler arasındaki fark önemli görülmüştür ($p < 0.05$) (Şekil 4.4).

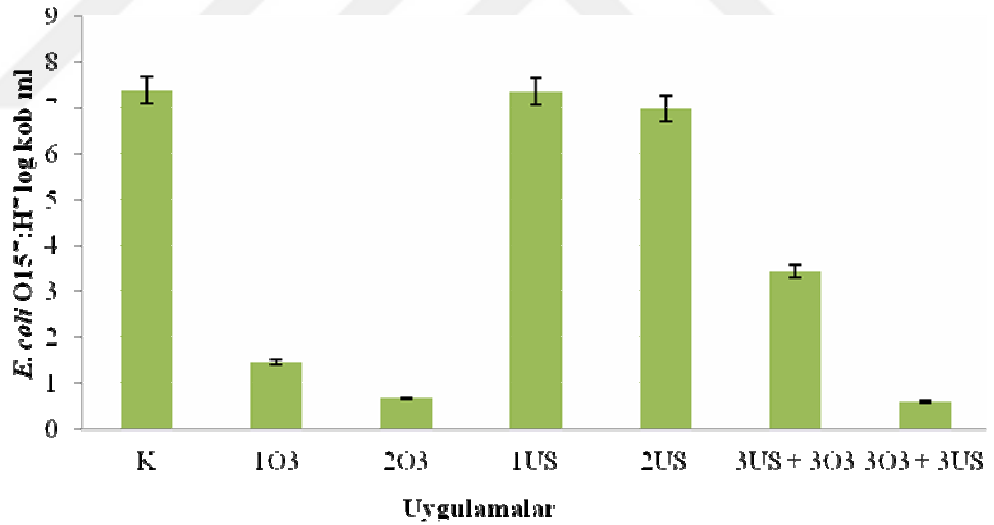


Şekil 4.4. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda *S. Enteritidis* sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

(*K: Kontrol, $1O_3$:5 dk 33.6 g/m^3 , $2O_3$:15 dk 101.0 g/m^3 , $3O_3$:3 dk 20.2 g/m^3 , 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.1.5 *Escherichia coli* O157:H7 İnaktivasyonu

E. coli O157:H7 inaktivasyon çalışmaları incelendiğinde kontrol örneğindeki *E. coli* O157:H7 sayısı (7.37 ± 1.21 log kob/mL) 5 dk olan ozon uygulamasından sonra 1.47 ± 2.20 log kob/mL, 15 dk olan ozon uygulamasından sonra ise 0.67 ± 1.34 log kob/mL olarak saptanmıştır ($p < 0.05$). Kombinasyonlu işlemlerde yüksek etki görülmekle birlikte ultrasonikasyonun önce uygulandığı kombinasyonda (3US+3O₃) bakteri sayısı 3.44 ± 0.99 log kob/mL'ye azalma gösterirken ($p > 0.05$), ozonun önce uygulandığı proseste (3O₃+3US) bakteri sayısı 0.61 ± 1.22 log kob/mL olarak tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Ultrasonikasyon uygulamalarının ise *E. coli* O157:H7'nin inaktivasyonunda etki gösteremediği (1US: 7.35 ± 1.09 log kob/mL, 2US: 6.99 ± 1.38 log kob/mL) görülmüştür ($p > 0.05$) (Şekil 4.5). *E. coli* O157:H7 sayısının 7.37 ± 1.21 log kob/mL iken uygulamalar sonucunda 0.61 ± 1.22 log kob/mL'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Ozonun inaktivasyonda büyük bir rol oynayarak *E. coli* O157:H7 üzerinde daha fazla inhibitif etkisinin olduğu söylenebilmektedir.

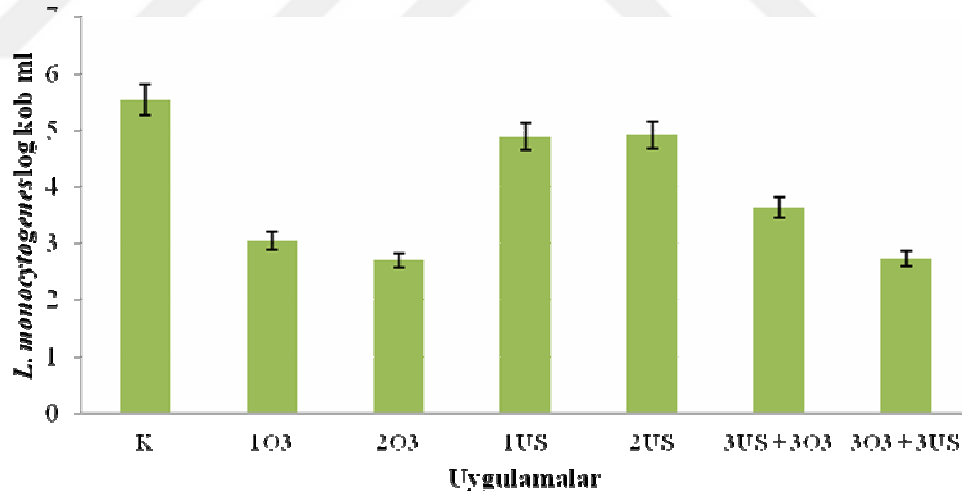


Şekil 4.5. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda *E. coli* O157:H7 sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

(*K: Kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.1.6 *Listeria monocytogenes* İnaktivasyonu

L. monocytogenes sayısındaki azalmalara bakıldığında; kontrol örneğindeki sayının (5.52 ± 0.63 log kob/mL) ultrasonikasyon uygulamalarında (1US: 4.88 ± 0.47 log kob/mL ve 2US: 4.91 ± 0.41 log kob/mL) azalmasına rağmen fazla bir etki gösteremediği belirlenmiştir ($p > 0.05$). Ozon uygulamaları sonrasında başlangıç *L. monocytogenes* sayısı ise 5 dk olan prosesin ardından 3.04 ± 0.91 log kob/mL ve 15 dk olan prosesin ardından ise 2.69 ± 0.69 log kob/mL olarak sayılmıştır ($p < 0.05$). Sayının neredeyse yarılandığı ayrıca uygulama süresi arttıkça etkinin daha belirgin hale geldiği saptanmıştır. Kombinasyon halindeki uygulamalarda ise *L. monocytogenes* sayısı ultrasonikasyonun önce uygulandığı işlemde 3.63 ± 0.30 log kob/mL, ozonun önce uygulandığı işlemde ise 2.72 ± 0.42 log kob/mL olarak saptanmıştır ($p < 0.05$) (Şekil 4.6). Ozon uygulamalarında belirgin bir etki görülmekte ve uygulama süresi arttıkça bu etkinin de arttığı saptanmıştır. Ultrasonikasyon uygulamalarında ise *L. monocytogenes* inaktivasyonunda aynı etki görülmemiştir.



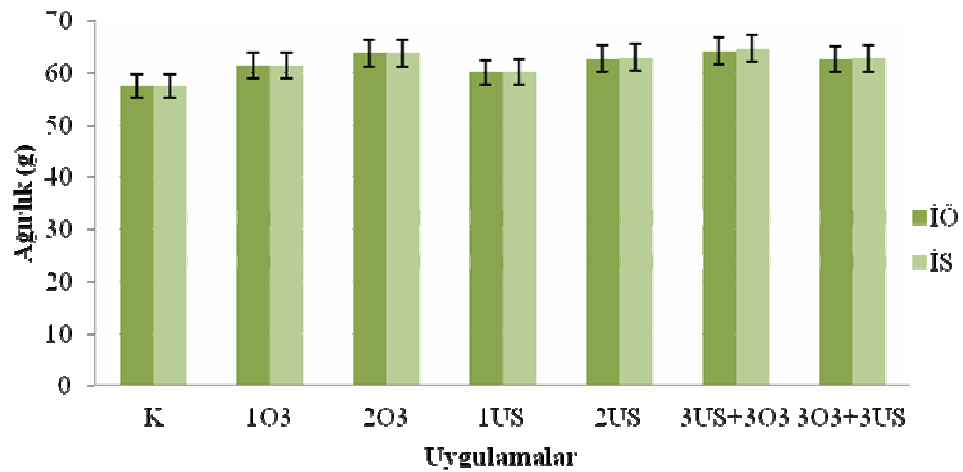
Şekil 4.6. Kabuklu yumurtada uygulamalar sonucunda *L. monocytogenes* sayısında meydana gelen değişimler (log kob/mL)

(*K: Kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.2 Kalite Analiz Sonuçları

4.2.1 Ağırlık Ölçümü

Proses öncesi ve sonrasında tartılan kabuklu yumurta örneklerinin ağırlıkları Çizelge 4.3 'de gösterilmiştir. Tartım sonuçları incelendiğinde ultrasonikasyonun 3 dk olan uygulamasında işlem öncesi 60.00 ± 0.99 g olan yumurta işlem sonrasında 60.15 ± 0.92 g olarak tartılmış ve 0.15 g lık (%0.25) bir fazlalık meydana gelmiştir. Ultrasonikasyonun 6 dk olan uygulamasında da işlem öncesi 62.65 ± 8.70 g olarak tartılan yumurta işlem sonrasında 62.90 ± 8.63 g olarak tartılmış ve 0.25 g lık (%0.39) bir kütle artışı meydana gelmiştir. Kombinasyon şeklindeki uygulamalarda da aynı şekilde kütle artışı ile karşılaşmış olup, 3US+3O₃ uygulamasında işlem öncesi ağırlık 64.10 ± 7.50 g iken işlem sonrasında 64.55 ± 7.85 g olarak tartılmış olup %0.70 oranında bir artış belirlenmiştir. 3O₃+3US uygulamasında da işlem öncesi ağırlık 62.50 ± 1.13 g, işlem sonrasında ise 62.70 ± 0.99 g olarak tartılmış ve %0.32'lik bir artış meydana gelmiştir. Ozon uygulamalarında ise işlem öncesinde tartılan yumurta ağırlıkları işlem sonrasında da aynı şekilde sabit kalmıştır (1O₃: 61.20 ± 0.42 g, 2O₃: 63.65 ± 5.87 g) (Şekil 4.7). Kabuklu yumurtaların işlem öncesi ve sonrası ağırlıklarının uygulamalara göre önemli bir farklılığı görülmemiştir ($p > 0.05$).



Şekil 4.7. Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kütlelerinde meydana gelen değişimler (g)

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

Çizelge 4.3. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın kalite özelliklerine etkileri.

Kalite Özellikleri								
Uygulama	Ağırlık (g)		Özgül Ağırlık (g/cm ³)		Şekil İndeksi		Kabuk Kalınlığı (mm)	
	İÖ	İS	İÖ	İS	İÖ	İS	İÖ	İS
K	57.40±3.68 ^{Aa}	57.40±3.68 ^{Aa}	1.024±0.10 ^{Bb}	1.024±0.10 ^{Bb}	76.95±1.50 ^{Cc}	76.95±1.50 ^{Cc}	0.43±0.05 ^{Dd}	0.43±0.05 ^{Dd}
103	61.20±0.42 ^{Aa}	61.20±0.42 ^{Aa}	1.029±0.01 ^{Bb}	1.096±0.02 ^{Bb}	79.60±5.81 ^{Cc}	78.97±6.01 ^{Cc}	0.43±0.01 ^{Dd}	0.44±0.04 ^{Dd}
203	63.65±5.87 ^{Aa}	63.65±5.87 ^{Aa}	1.089±0.02 ^{Bb}	1.011±0.02 ^{Bb}	76.99±2.05 ^{Cc}	77.19±2.12 ^{Cc}	0.42±0.01 ^{Dd}	0.48±0.08 ^{Dd}
1US	60.00±0.99 ^{Aa}	60.15±0.92 ^{Aa}	1.074±0.06 ^{Bb}	1.068±0.08 ^{Bb}	77.76±3.33 ^{Cc}	77.62±1.72 ^{Cc}	0.46±0.09 ^{Dd}	0.54±0.03 ^{Dd}
2US	62.65±8.70 ^{Aa}	62.90±8.63 ^{Aa}	1.098±0.02 ^{Bb}	1.116±0.03 ^{Bb}	76.78±0.66 ^{Cc}	76.27±0.06 ^{Cc}	0.41±0.06 ^{Dd}	0.45±0.04 ^{Dd}
3US+303	64.10±7.50 ^{Aa}	64.55±7.85 ^{Aa}	1.017±0.01 ^{Bb}	1.124±0.02 ^{Bb}	77.86±5.14 ^{Cc}	78.00±5.30 ^{Cc}	0.49±0.04 ^{Dd}	0.40±0.10 ^{Dd}
303+3US	62.50±1.13 ^{Aa}	62.70±0.99 ^{Aa}	1.059±0.01 ^{Bb}	1.082±0.04 ^{Bb}	76.69±1.00 ^{Cc}	77.35±0.69 ^{Cc}	0.45±0.01 ^{Dd}	0.47±0.06 ^{Dd}

*İÖ=işlem öncesi; İS= işlem sonrası

**Aynı satırda farklı küçük üsts el harfler belirli bir kalite analizi için işlem öncesi ve işlem sonrası arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

***Aynı sütünde farklı üst indisle belirtilen büyük harfler belirli bir kalite analizi için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$)

Çizelge 4.4. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın kalite özelliklerine etkileri.

Kalite Özellikleri										
Uygulama	Haugh Birimi		Ak İndeksi		Sarı İndeksi		Ak pH		Sarı pH	
	iÖ	İS	iÖ	İS	iÖ	İS	iÖ	İS	iÖ	İS
K	88.88±2.44 ^{Pp}	88.88±2.44 ^{Pp}	1.67±0.77 ^{li}	1.67±0.77 ^{li}	40.94±1.26 ^{Jj}	40.94±1.26 ^{Jj}	8.82±0.15 ^{Kk}	8.82±0.15 ^{Kk}	6.19±0.09 ^{Ll}	6.19±0.09 ^{Ll}
103	86.28±4.39 ^{Pp}	87.12±6.12 ^{Pp}	1.21±0.15 ^{li}	1.29±0.31 ^{li}	34.66±8.71 ^{Jj}	42.16±5.76 ^{Jj}	8.93±0.54 ^{Kk}	8.20±0.26 ^{Kk}	6.13±0.07 ^{Ll}	5.97±0.08 ^{Ll}
203	82.03±6.81 ^{Pp}	86.53±3.86 ^{Pp}	1.14±0.41 ^{li}	1.33±0.06 ^{li}	45.01±2.25 ^{Jj}	40.51±3.63 ^{Jj}	7.81±0.65 ^{Kk}	7.84±0.56 ^{Kk}	6.37±0.12 ^{Ll}	6.34±0.09 ^{Ll}
1US	89.51±4.29 ^{Pp}	92.03±0.49 ^{Pp}	1.43±0.54 ^{li}	1.39±0.39 ^{li}	44.02±6.30 ^{Jj}	44.11±3.79 ^{Jj}	8.11±0.33 ^{Kk}	8.84±0.20 ^{Kk}	6.26±0.13 ^{Ll}	6.12±0.09 ^{Ll}
2US	88.49±6.42 ^{Pp}	81.16±9.10 ^{Pp}	1.53±0.12 ^{li}	1.10±0.34 ^{li}	43.89±2.24 ^{Jj}	43.77±5.18 ^{Jj}	8.69±0.13 ^{Kk}	8.74±0.04 ^{Kk}	6.14±0.11 ^{Ll}	6.17±0.05 ^{Ll}
3US+3O3	90.04±0.75 ^{Pp}	89.84±3.25 ^{Pp}	1.36±0.01 ^{li}	1.31±0.13 ^{li}	44.81±3.63 ^{Jj}	42.28±4.24 ^{Jj}	8.78±0.10 ^{Kk}	8.78±0.08 ^{Kk}	6.16±0.06 ^{Ll}	6.20±0.05 ^{Ll}
3O3+3US	90.19±0.21 ^{Pp}	86.92±1.62 ^{Pp}	1.49±0.24 ^{li}	1.23±0.15 ^{li}	43.36±0.83 ^{Jj}	44.78±3.13 ^{Jj}	9.03±0.16 ^{Kk}	8.97±0.23 ^{Kk}	6.15±0.02 ^{Ll}	6.15±0.00 ^{Ll}

*İÖ=işlem öncesi; İS= işlem sonrası

**Aynı satırda farklı küçük üstsel harfler belirli bir kalite analizi için işlem öncesi ve işlem sonrası arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

***Aynı sütünde farklı üst indisle belirtilen büyük harfler belirli bir kalite analizi için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$)

Çizelge 4.5. Ozon, ultrasonikasyon ve kombinasyonlarının yumurtanın renk özelliklerine etkileri.

Renk Özellikleri												
Uygulama	L*		a*		b*		ΔE		C*		hue($^{\circ}h$)	
	iö	is	iö	is	iö	is	iö	is	iö	is	iö	is
K	55.48±1.21 ^{Ec}	55.48±1.21 ^{Ec}	15.20±0.58 ^{Ff}	15.20±0.58 ^{Ff}	21.24±0.28 ^{Gg}	21.24±0.28 ^{Gg}	2.34±0.09 ^{Hh}	2.34±0.09 ^{Hh}	26.12±1.04 ^{Mm}	26.12±1.04 ^{Mm}	0.18±0.01 ^{Nn}	0.18±0.01 ^{Nn}
103	55.60±2.98 ^{Ec}	56.26±1.87 ^{Ec}	14.21±0.35 ^{Ff}	13.29±0.75 ^{Ff}	21.12±0.81 ^{Gg}	21.24±0.38 ^{Gg}	1.01±0.04 ^{Hh}	2.07±0.08 ^{Hh}	25.45±1.02 ^{Mm}	25.05±1.00 ^{Mm}	0.08±0.00 ^{Nn}	0.03±0.00 ^{Nn}
203	54.51±1.86 ^{Ec}	55.91±0.75 ^{Ec}	16.03±1.99 ^{Ff}	14.23±0.68 ^{Ff}	19.28±1.12 ^{Gg}	18.86±0.90 ^{Gg}	2.34±0.09 ^{Hh}	2.60±0.10 ^{Hh}	25.07±1.00 ^{Mm}	23.63±0.95 ^{Mm}	0.39±0.02 ^{Nn}	0.25±0.01 ^{Nn}
1US	47.26±0.64 ^{Ec}	47.37±1.09 ^{Ec}	18.35±1.12 ^{Ff}	17.54±0.67 ^{Ff}	19.51±0.62 ^{Gg}	19.16±0.36 ^{Gg}	8.96±0.35 ^{Hh}	8.69±0.34 ^{Hh}	26.78±1.07 ^{Mm}	25.97±1.04 ^{Mm}	0.56±0.02 ^{Nn}	0.52±0.02 ^{Nn}
2US	53.69±1.10 ^{Ec}	54.63±0.79 ^{Ec}	14.80±0.79 ^{Ff}	14.00±0.78 ^{Ff}	20.44±0.62 ^{Gg}	20.08±0.45 ^{Gg}	2.00±0.08 ^{Hh}	1.87±0.07 ^{Hh}	25.70±1.03 ^{Mm}	24.48±0.98 ^{Mm}	0.19±0.01 ^{Nn}	0.14±0.01 ^{Nn}
3US+303	57.68±2.38 ^{Ec}	57.66±2.34 ^{Ec}	14.21±0.99 ^{Ff}	13.63±0.83 ^{Ff}	21.13±0.20 ^{Gg}	20.82±0.33 ^{Gg}	2.42±0.09 ^{Hh}	2.72±0.10 ^{Hh}	25.46±1.02 ^{Mm}	24.88±1.00 ^{Mm}	0.08±0.00 ^{Nn}	0.04±0.00 ^{Nn}
303+3US	55.77±1.16 ^{Ec}	56.35±1.05 ^{Ec}	14.23±1.23 ^{Ff}	13.44±1.07 ^{Ff}	20.94±0.61 ^{Gg}	20.88±0.68 ^{Gg}	1.06±0.04 ^{Hh}	2.00±0.08 ^{Hh}	25.31±1.01 ^{Mm}	24.83±0.99 ^{Mm}	0.10±0.00 ^{Nn}	0.02±0.00 ^{Nn}

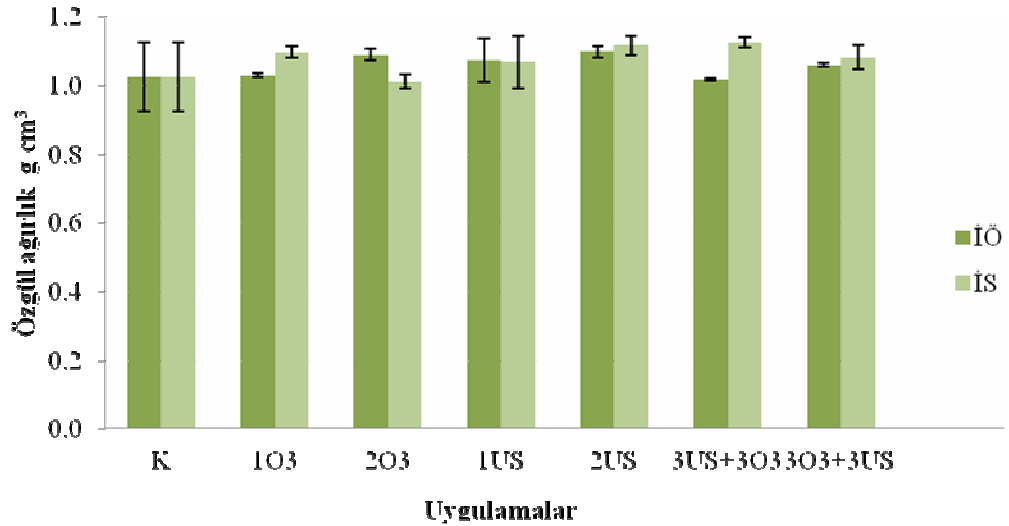
*İÖ=işlem öncesi; İS= işlem sonrası

**Aynı satırda farklı küçük üstsel harfler belirli bir kalite analizi için işlem öncesi ve işlem sonrası arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

***Aynı sütünde farklı üst indisle belirtilen büyük harfler belirli bir kalite analizi için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$)

4.2.2 Özgöl Ağırlık

Proses öncesi ve sonrasında hacimleri ölçülen kabuklu yumurta örneklerinin daha önce ölçülen ağırlıkları yardımıyla hesaplanan özgül ağırlık sonuçları Çizelge 4.3 te gösterilmiştir. Hesaplama sonuçlarına bakıldığında 5 dk olan ozon uygulaması sonucunda işlem öncesi $1.029 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ olan özgül ağırlık işlem sonrasında $1.096 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Ozonun 15 dk'lık uygulamasında $1.089 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ olarak işlem öncesi hesaplanan yumurta örneğinin özgül ağırlığı, işlem sonrasında $1.011 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Ultrasonikasyon uygulamalarının 3 dk olan prosesinde işlem öncesi $1.074 \pm 0.06 \text{ g/cm}^3$ özgül ağırlık hesaplanırken, işlem sonrasında $1.068 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Kombinasyon uygulamalarının özgül ağırlık hesaplamalarında işlem öncesi duruma kıyasla proses sonrasında artış meydana gelmiştir (3US+3O₃; İÖ: $1.017 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, İS: $1.124 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$, 3O₃+3US; İÖ: $1.059 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$, İS: $1.082 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$). Yumurtaların özgül ağırlığında işlem öncesi ve sonrası durumlarda önemli bir değişme görülmemekte, yapılan uygulamalar olumsuz etki yaratmamaktadır (Şekil 4.8). Kabuklu yumurtaların özgül ağırlıklarının işlem öncesi ve sonrasında uygulamalar arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p > 0.05$).

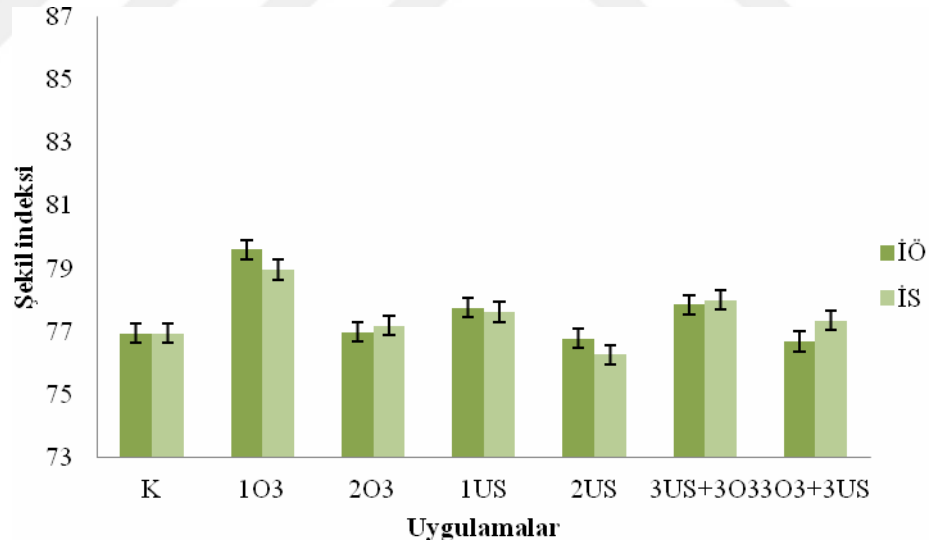


Şekil 4.8. Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra özgül ağırlığında meydana gelen değişimler (g/cm^3)

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m^3 , 2O₃:15 dk 101.0 g/m^3 , 3O₃:3 dk 20.2 g/m^3 , 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 KHz).

4.2.3 Şekil İndeksi Ölçümü

Proses öncesi ve sonrasında genişlikleri ve uzunlukları ölçülerek hesaplanan kabuklu yumurta örneklerinin şekil indeksleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ozon uygulamalarının işlem öncesi ve sonrası arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır ($1O_3$; İÖ: 79.60 ± 5.81 , İS: 78.97 ± 6.01 , $2O_3$; İÖ: 76.99 ± 2.05 , İS: 77.19 ± 2.12) ($p > 0.05$). Ultrasonikasyonun 3 dk olan prosesinde şekil indeksi işlem öncesinde 77.76 ± 3.33 olarak hesaplanmış, işlem sonrasında 77.62 ± 1.72 bulunmuş, 6 dk olan prosesinde işlem öncesinde 76.78 ± 0.66 , işlem sonrasında ise 76.27 ± 0.06 bulunmuş olup önemli bir farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Kombinasyon uygulamaları öncesi ve sonrasında yine genişlikleri ve uzunlukları ölçülen kabuklu yumurtaların şekil indekslerinde önemli oranda değişiklik belirlenmemiştir ($3US+3O_3$; İÖ: 77.86 ± 5.14 , İS: 78.00 ± 5.30 , $3O_3+3US$; İÖ: 76.69 ± 1.00 , İS: 77.35 ± 0.69) ($p > 0.05$) (Şekil 4.9). Farklı proseslere tabi tutulan kabuklu yumurtalarda işlem öncesi ve sonrası ölçümlerinde uygulamalar arasında yine önemli bir fark saptanmamıştır ($p > 0.05$).

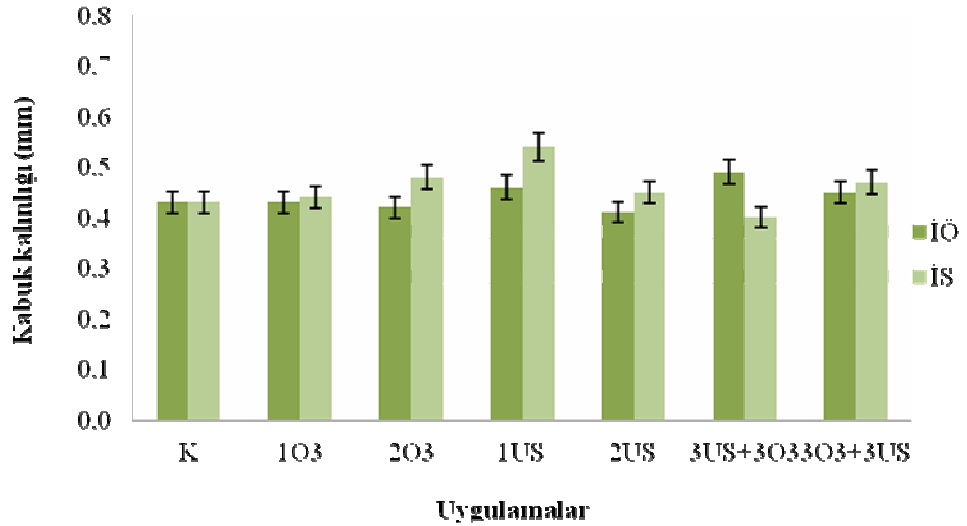


Şekil 4.9. Kabuklu yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra şekil indeksinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, $1O_3$:5 dk 33.6 g/m^3 , $2O_3$:15 dk 101.0 g/m^3 , $3O_3$:3 dk 20.2 g/m^3 , 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

4.2.4 Kabuk Kalınlığı Ölçümü

Proses öncesi ve sonrasında ölçümü yapılan yumurta örneklerinin kabuk kalınlıkları Çizelge 4.3 te verilmiştir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde; 5 dk olan O₃ prosesinde işlem öncesi yumurta örneğinde 0.43±0.01 mm kabuk kalınlığı ölçülmüş, işlem sonrasındaki yumurta örneğinde ise 0.44±0.04 mm olarak ölçülmüştür. O₃ uygulamasının 15 dk olan prosesinden önce ölçüm yapılan yumurtada 0.42±0.01 mm olan kabuk kalınlığı, işlem sonrasındaki yumurtada 0.48±0.08 mm olarak tespit edilmiştir. US uygulamalarından sonra da kabuk kalınlıklarında önemli bir artış görülmemiştir (1US; İÖ: 0.46±0.09mm, İS: 0.54±0.03 mm, 2US; İÖ: 0.41±0.06 mm, İS: 0.45±0.04 mm). Genel olarak uygulamalardan sonra kabuk kalınlıklarında az miktarda bir artış görülmektedir (3O₃+3US; İÖ: 0.45±0.01 mm, İS: 0.47±0.06 mm); fakat bu artış istatistiksel değerlendirmelerde önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$). Yalnızca kombinasyonlu uygulamalardan 3US+3O₃ işleminde kabuk kalınlığı 0.49±0.04 mm iken proses sonrası 0.40±0.10 mm olarak ölçülerek bir azalma saptanmıştır ancak bu azalmanın ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10). Yumurta örneklerinde işlemlerden önce ve sonra kabuk kalınlıklarının değişiminde uygulamalar arasında önemli bir farka rastlanmamıştır ($p > 0.05$).



Şekil 4.10. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kabuk kalınlığında meydana gelen değişimler

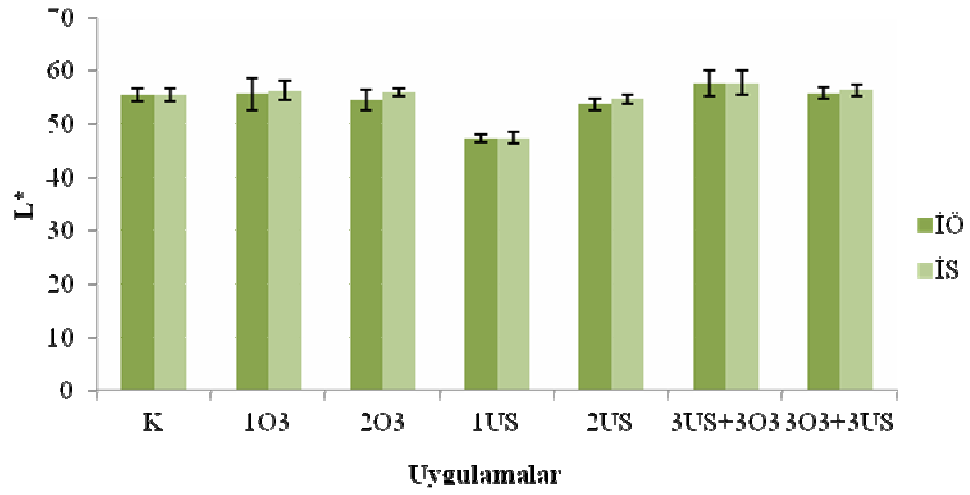
(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.2.5 Renk Ölçümü

Proses öncesi ve sonrasında renk ölçümü yapılan yumurta kabuklarının L^* , a^* ve b^* değerleri, toplam renk farkı (ΔE), kroma (C^*) ve hue (h°) değerleri Çizelge 4.5 de verilmiştir. Ozon uygulamalarının L^* değerlerinde az miktarda artış saptanmış yani renk açılması meydana gelmiş; fakat bu değişim gözle görülemeyecek düzeyde olduğu için ihmal edilebilir kabul edilmiştir. a^* ve b^* değerlerinde işlem öncesi ve sonrası durumlarda önemli farklılıklar görülmemiştir ($1O_3$; L^* ; $\bar{I}\bar{O}$:55.60±2.98, $\bar{I}\bar{S}$:56.26±1.87, a^* ; $\bar{I}\bar{O}$:14.21±0.35, $\bar{I}\bar{S}$:13.29±0.75, b^* ; $\bar{I}\bar{O}$:21.12±0.81, $\bar{I}\bar{S}$:21.24±0.38, ΔE ; $\bar{I}\bar{O}$:1.01±0.04, $\bar{I}\bar{S}$:2.07±0.08, $2O_3$; L^* ; $\bar{I}\bar{O}$:54.51±1.86, $\bar{I}\bar{S}$:55.91±0.75, a^* ; $\bar{I}\bar{O}$:16.03±1.99, $\bar{I}\bar{S}$:14.23±0.68, b^* ; $\bar{I}\bar{O}$:19.28±1.12, $\bar{I}\bar{S}$: 18.86±0.90, ΔE ; $\bar{I}\bar{O}$: 2.34±0.09, $\bar{I}\bar{S}$: 2.60±0.10). Ultrasonikasyonun 3 dk olan uygulamasında L^* değeri işlem öncesinde 47.26±0.64 iken işlem sonrasında 47.37±1.09 olarak bulunmuş, a^* değeri prosesten önce 18.35±1.12 iken proses sonrası 17.54±0.67, b^* değeri ise uygulamadan önce 19.51±0.62 iken uygulama sonrasında 19.16±0.36 ve ΔE değeri işlem öncesinde 8.96±0.35 iken işlem sonrasında 8.69±0.34 olarak ölçülmüş olup sonuçlardan da görüldüğü üzere önemli bir değişiklik belirlenmemiştir ($p > 0.05$). Ultrasonikasyonun 6 dk olan uygulamasında L^* değeri proses öncesinde 53.69±1.10, proses sonrasında 54.63±0.79 olarak ölçülmüş, a^* değeri işlem öncesinde 14.80±0.79 iken işlem sonrasında 14.00±0.78 bulunmuş, b^* değeri ise prosesten önce 20.44±0.62 iken prosesten sonra 20.08±0.45 ve ΔE değeri ise prosesten önce 2.00±0.08 iken prosesten sonra 1.87±0.07 olarak ölçülmüştür. Kombinasyon uygulamalarında da diğer uygulamalarda olduğu gibi işlem öncesi ve sonrası durumlarda önemli bir farklılık görülmemiştir ($3US+3O_3$; L^* ; $\bar{I}\bar{O}$:57.68±2.38, $\bar{I}\bar{S}$:57.66±2.34, a^* ; $\bar{I}\bar{O}$:14.21±0.99, $\bar{I}\bar{S}$:13.63±0.83, b^* ; $\bar{I}\bar{O}$:21.13±0.20, $\bar{I}\bar{S}$:20.82±0.33, ΔE ; $\bar{I}\bar{O}$: 2.42±0.09, $\bar{I}\bar{S}$: 2.72±0.10, $3O_3+3US$; L^* ; $\bar{I}\bar{O}$:55.77±1.16, $\bar{I}\bar{S}$:56.35±1.05, a^* ; $\bar{I}\bar{O}$:14.23±1.23, $\bar{I}\bar{S}$:13.44±1.07, b^* ; $\bar{I}\bar{O}$:20.94±0.61, $\bar{I}\bar{S}$: 20.88±0.68, ΔE ; $\bar{I}\bar{O}$: 1.06±0.04, $\bar{I}\bar{S}$: 2.00±0.08). Sonuçlar incelendiğinde işlem öncesi ve işlem sonrası renk değerlerinde önemli bir değişikliğe rastlanmamış olup, uygulamaların renkte olumsuz yönde bir etkisi görülmemiştir ($p > 0.05$) (Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14). Uygulamalar arasındaki değişim incelendiğinde ise yumurta kabuklarında L^* , a^* , b^* ve ΔE değerlerinde önemli bir fark görülmediği belirlenmiştir ($p > 0.05$).

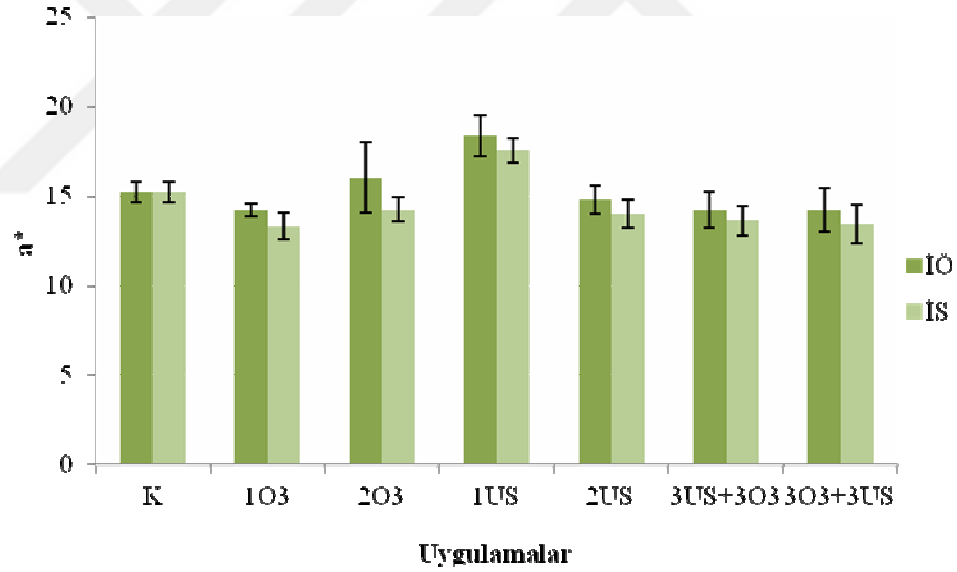
O₃ uygulamasının 5 dk olan prosesinde kroma (C*) değerleri proses öncesinde 25.45±1.02 bulunurken proses sonrasında 25.05±1.00 olarak bulunmuştur ($p > 0.05$). Ozonun 15 dk olan uygulamasında ise procesten önce 25.07±1.00, procesten sonra 23.63±0.95 olarak belirlenmiş olup işlem öncesi ve sonrasında önemli bir değişiklik görülmemiştir ($p > 0.05$). Ultrasonikasyon uygulamalarında da diğer uygulamalardaki gibi anlamlı farklılıklar görülmemiştir (1US; İÖ: 26.78±1.07, İS: 25.97±1.04, 2US; İÖ: 25.70±1.03, İS: 24.48±0.98) ($p > 0.05$). Kombinasyon uygulamalarında işlem öncesi ve sonrası değerler karşılaştırıldığında ise 3US+3O₃ prosesinde 25.46±1.02 iken uygulamadan sonra 24.88±1.00 ve 3O₃+3US prosesinde 25.31±1.01 iken uygulama sonrası 24.83±0.99 olarak bulunmuş ve istatistiksel anlamda bir farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$) (Şekil 4.15).

Benzer şekilde 5 dk ozon uygulanan yumurtalardaki hue (h°) değerlerinde işlem öncesinde 0.08±0.00 ve sonrasında -0.03±0.00 olarak bulunmuş, 15 dk olan ozon uygulamasında işlem öncesinde 0.39±0.02 iken işlem sonrasında 0.25±0.01 olarak hesaplanmış ve istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmemiştir. Ancak proses sonrasındaki hue değerlerinde ihmal edilebilir düzeyde renk tonu açılması olduğu düşünülmektedir. Ultrasonikasyonun 3 dk olan prosesinde hue değerleri işlem öncesinde 0.56±0.02 iken sonrasında 0.52±0.02 hesaplanmış, 6 dk olan proses öncesi 0.19±0.01 iken, proses sonrasında 0.14±0.01 olarak bulunmuştur. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı bir farklılık görülmemekle birlikte, hue değerinde proses sonrasında ihmal edilebilir düzeyde bir azalma meydana geldiği düşünülmüştür. Kombinasyon uygulamalarında da aynı şekilde istatistiksel bir farklılık görülmemiş fakat renk tonunda açılma olduğu düşünülmüştür (3US+3O₃; İÖ: 0.08±0.00, İS: 0.04±0.00, 3O₃+3US; İÖ: 0.10±0.00, İS: 0.02±0.00) ($p > 0.05$) (Şekil 4.16).



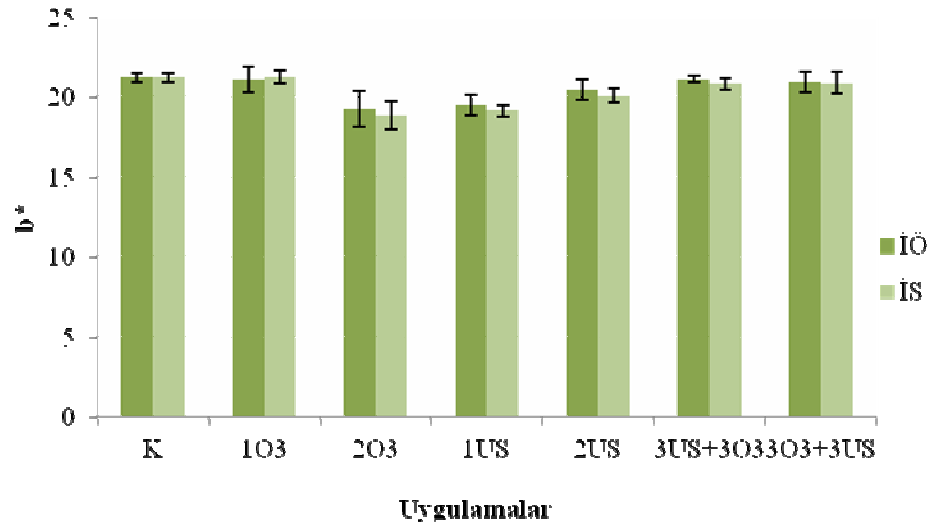
Şekil 4.11. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra L^* değerinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).



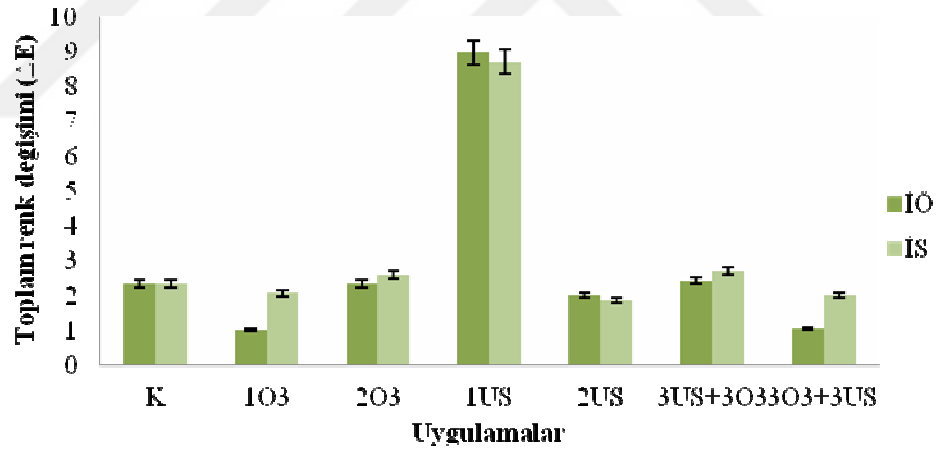
Şekil 4.12. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra a^* değerinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).



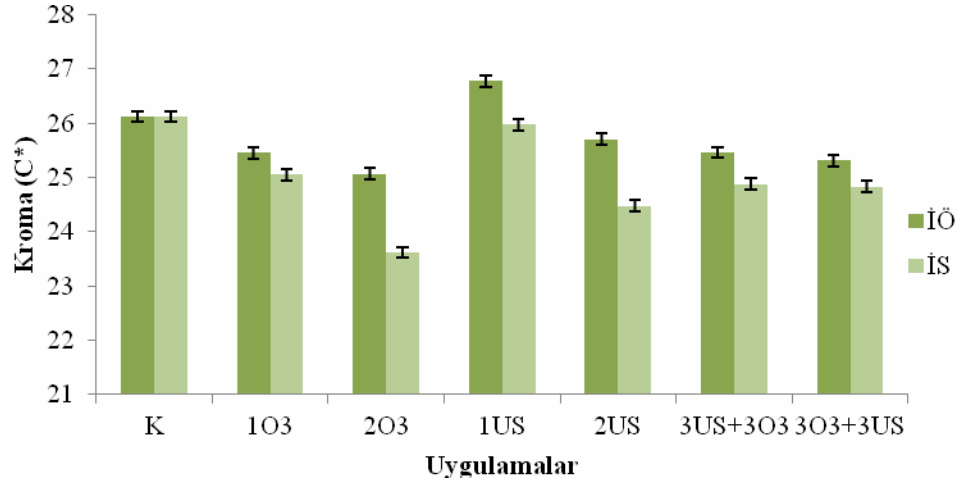
Şekil 4.13. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra b^* değerinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)



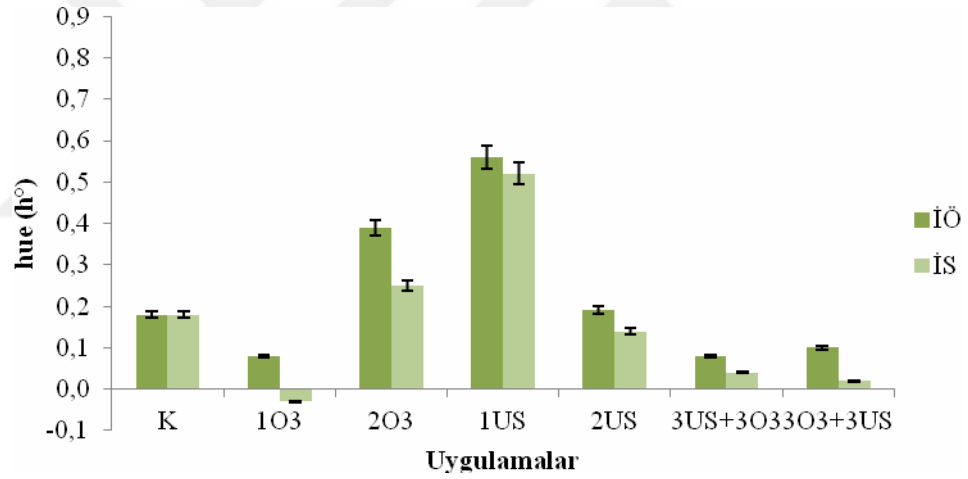
Şekil 4.14. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra toplam renk farkında (ΔE) meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).



Şekil 4.15. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra kroma değerinde (C*) meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).



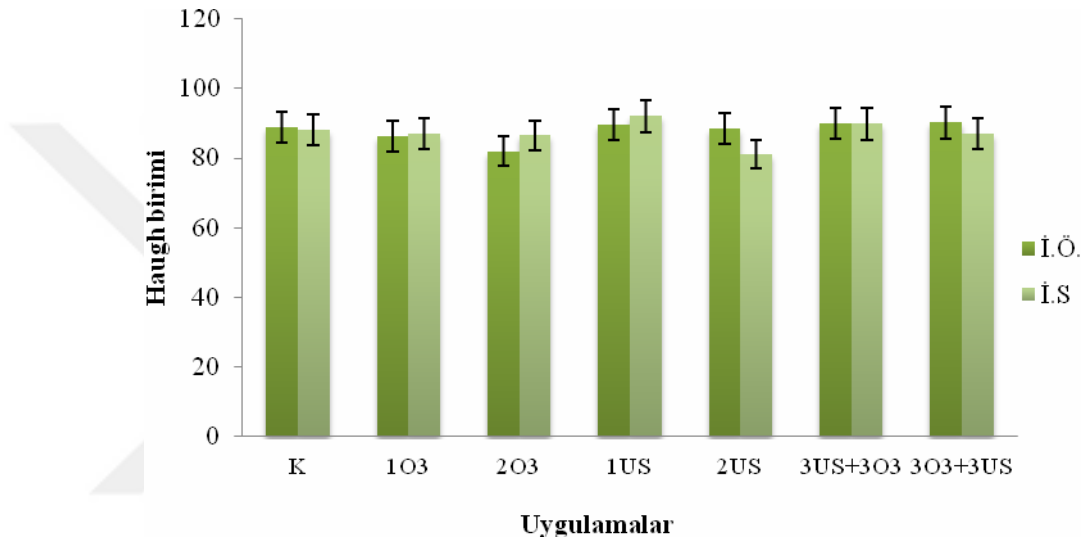
Şekil 4.16. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra hue değerinde (h°) meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

4.2.6 Haugh Birimi

Proseslerden önce ve sonra olmak üzere yumurta örneklerinin ak yüksekliği ve ağırlıkları yardımıyla hesaplanan Haugh birimi sonuçları Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. Ozonun 5 dk'lık uygulamasında işlem öncesi Haugh birimi 86.28±4.39 olarak hesaplanırken işlem sonrasında 87.12±6.12 olarak bulunmuştur.

Ozonun 15 dk'lık uygulamasında ise Haugh birimi proses öncesinde 82.03 ± 6.81 olarak tespit edilmişken, proses sonrasında 86.53 ± 3.86 olarak hesaplanmıştır ($p > 0.05$). Ultrasonikasyon uygulamalarında da aynı şekilde önemli değişikliklere rastlanmamıştır (1US; İÖ: 89.51 ± 4.29 , İS: 92.03 ± 0.49 , 2US; İÖ: 88.49 ± 6.42 , İS: 81.16 ± 9.10) ($p > 0.05$). Kombinasyon uygulamalarından 3US+3O₃ prosesinde Haugh birimi işlem öncesinde 90.04 ± 0.75 iken, işlem sonrasında 89.84 ± 3.25 olarak bulunmuş, 3O₃+3US uygulamasında ise procesten önce 90.19 ± 0.21 iken, procesten sonra 86.92 ± 1.62 hesaplanmıştır ($p > 0.05$) (Şekil 4.17).



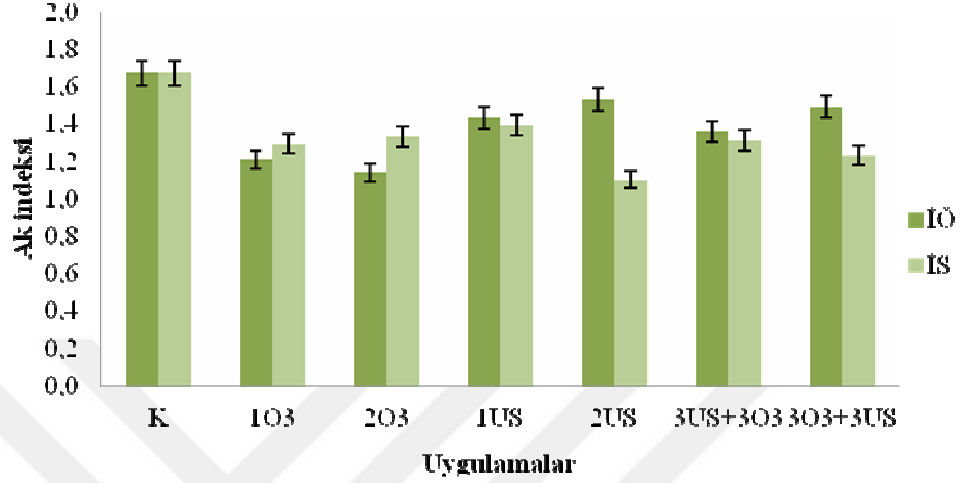
Şekil 4.17. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra Haugh biriminde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz)

4.2.7 Ak İndeksi Ölçümü

Proses öncesi ve sonrasında, iç ak genişliği, dış ak genişliği ve iç ak yüksekliği ölçümleri yapılan yumurta örneklerinin ak indeksleri hesaplanarak ölçüm sonuçları (Çizelge 4.4) incelendiğinde; ozon uygulamalarının yumurtanın ak indeksinde önemli değişimlere sebep olmadığı ve işlem öncesi ve sonrasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar olmadığı belirlenmiştir (1O₃; İÖ: 1.21 ± 0.15 , İS: 1.29 ± 0.31 , 2O₃; İÖ: 1.14 ± 0.41 , İS: 1.33 ± 0.06) ($p > 0.05$). Ultrasonikasyon uygulamalarında da aynı şekilde işlem öncesi ve sonrasında istatistiksel olarak

farklılık gözlenmemiştir (1US: İÖ:1.43±0.54, İS: 1.39±0.39, 2US; İÖ:1.53±0.12, İS: 1.10±0.34) ($p > 0.05$). Kombine uygulamalardan sonra yumurtaların ak indekslerinde önemli bir değişim görülmemiştir (3US+3O₃; İÖ:1.36±0.01, İS:1.31±0.13, 3O₃+3US; İÖ: 1.49±0.24, İS: 1.23±0.15) ($p > 0.05$) (Şekil 4.18).

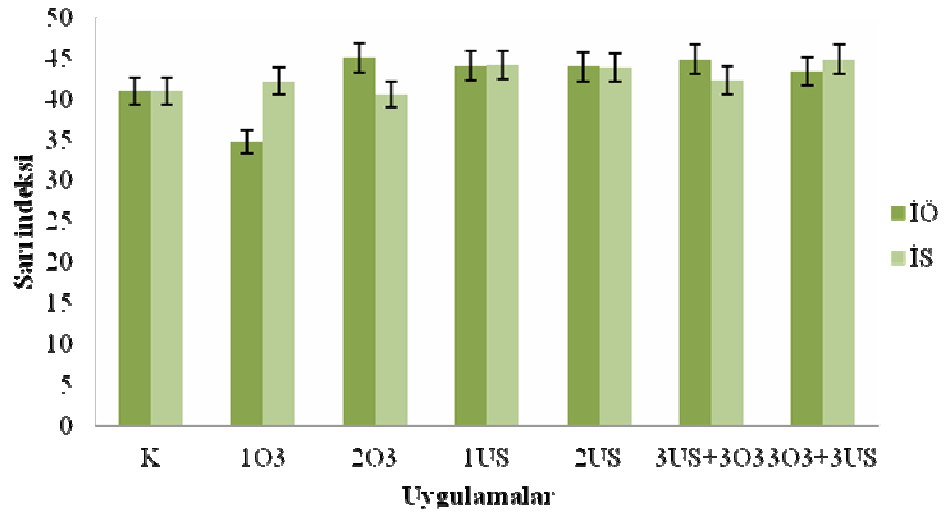


Şekil 4.18. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra ak indeksinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

4.2.8 Sarı İndeksi Ölçümü

Ozonun 5 dk olan uygulamasında sarı indeks ölçüm sonucu işlem öncesinde 34.66±8.71, işlem sonrasında 42.16±5.76 olarak bulunmuş, 15 dk olan ozon uygulamasında proses öncesinde 45.01±2.25, proses sonrasında 40.51±3.63 olarak bulunmuş olup, ozonun sarı indeks üzerinde önemli değişikliklere sebep olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Ultrasonikasyon uygulamaları sonucunda da sarı indeks değerlerinde farklılık görülmemiştir (1US; İÖ: 44.02±6.30, İS: 44.11±3.79, 2US; İÖ: 43.89±2.24, İS: 43.77±5.18) ($p > 0.05$). Benzer şekilde kombinasyon uygulamalarından sonra yumurtaların sarı indeks ölçümlerinde önemli değişikliklere rastlanmamıştır (3US+3O₃; İÖ: 44.81±3.63, İS: 42.28±4.24, 3O₃+3US; İÖ: 43.36±0.83, İS: 44.78±3.13) (Şekil 4.19) ($p > 0.05$).

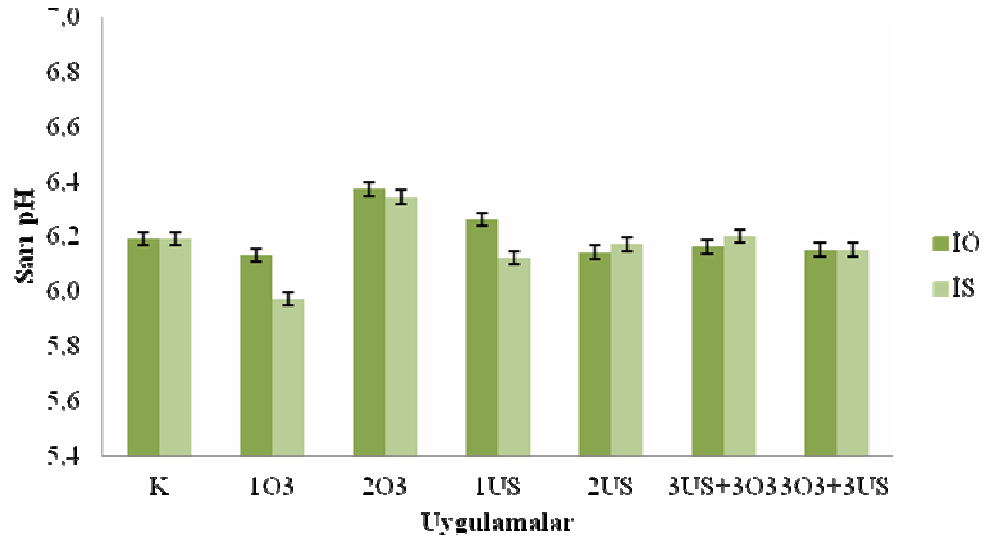


Şekil 4.19. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra sarı indeksinde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

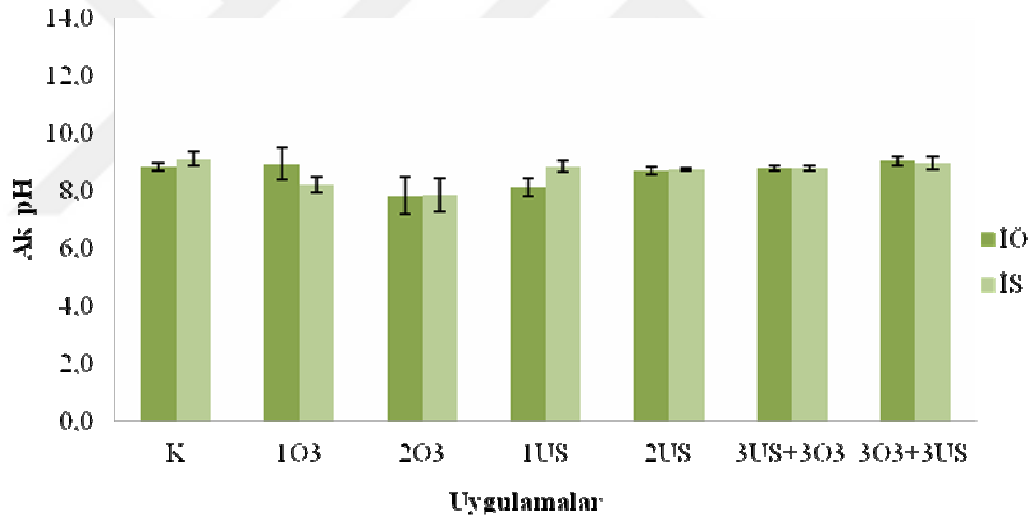
4.2.9 pH Ölçümü

pH değerleri incelendiğinde ozon uygulamalarının yumurta akı ve sarısının pH'ında bir farklılık oluşturmadığı belirlenmiş ve istatistiksel olarak işlemden önce ve sonra kıyaslamasında önemli bir değişikliğe rastlanmamıştır (Çizelge 4.4) (1O₃; ak pH; İÖ: 8.93±0.54, İS: 8.20, sarı pH; İÖ: 6.13±0.07, İS: 5.97±0.08, 2O₃; ak pH; İÖ: 7.81±0.65, İS: 7.84±0.56, sarı pH; İÖ: 6.37±0.12, İS: 6.34±0.09) ($p > 0.05$). Ultrasonikasyonun 3 dk olan uygulamasında ak pH ölçüm sonucu işlem öncesinde 8.11±0.33, işlem sonrasında 8.84±0.20 iken, sarı pH ölçümü işlem öncesinde 6.26±0.13, işlem sonrasında 6.12±0.09 olarak bulunmuş, 6 dk olan ultrasonikasyon uygulamasında proses öncesi ak pH'sı 8.69±0.13, proses sonrası ise 8.74±0.04, sarı pH'sı proses öncesinde 6.14±0.11, proses sonrasında 6.17±0.05 olarak ölçülmüş olup hem uygulamalar arasında hem de işlem öncesi ve sonrasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Kombine uygulamalara bakıldığında da diğer uygulamalarla aynı şekilde bir farklılığa rastlanmamıştır (3US+3O₃; ak pH; İÖ: 8.78±0.10, İS: 8.78±0.08, sarı pH; İÖ: 6.16±0.06, İS: 6.20±0.05, 3O₃+3US; ak pH; İÖ: 9.03±0.16, İS: 8.97±0.23, sarı pH; İÖ: 6.15±0.02, İS: 6.15±0.00) ($p > 0.05$) (Şekil 4.20, 4.21).



Şekil 4.20. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra sarı pH ölçümünde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).



Şekil 4.21. Yumurtanın uygulamalardan önce ve sonra ak pH ölçümünde meydana gelen değişimler

(*İÖ: işlem öncesi, İS: işlem sonrası, K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

4.2.10 Yumurta Örneklerinin Duyusal Analizi

Duyusal değerlendirmede; kabuklu yumurtalara uygulanan ozon, ultrasonikasyon ve bunların kombinasyonu şeklindeki proseslerinden sonra haşlanıp renk, koku, tat-aroma, tekstür ve ağızda bıraktığı his olarak 5 farklı kriter dikkate alınarak yapılan anketlerin ortalama sonuçları Çizelge 4.6’te verilmiştir.

Çizelge 4.6. Duyusal değerlendirme ortalama sonuçları

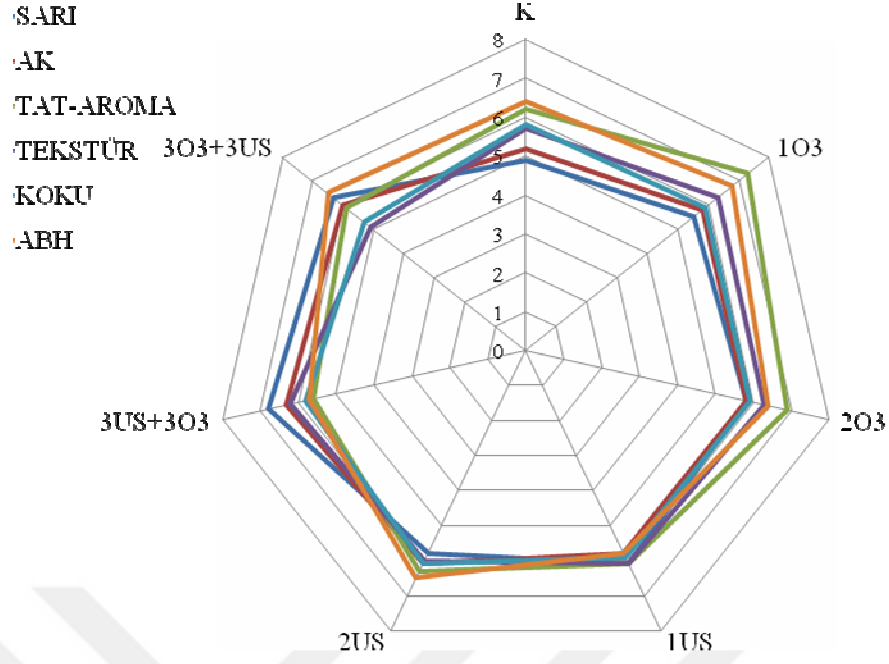
	K	1O ₃	2O ₃	1US	2US	3US+3O ₃	3O ₃ +3US
Renk (Sarı)	4.9±2.20 ^a	5.5±2.04 ^a	5.8±1.58 ^a	6.1±1.89 ^a	5.8±1.70 ^a	6.8±2.63 ^a	6.3±2.18 ^a
Renk(Ak)	5.2±1.64 ^b	5.8±1.11 ^b	5.8±0.89 ^b	5.8±1.82 ^b	6.1±1.02 ^b	6.3±0.98 ^b	6.0±1.30 ^b
Tat-Aroma	6.2±1.58 ^c	7.3±1.49 ^c	6.9±2.10 ^c	6.1±2.00 ^c	6.3±1.87 ^c	5.6±2.11 ^c	5.9±2.10 ^c
Tekstür	5.7±1.49 ^d	6.3±1.34 ^d	6.3±1.63 ^d	6.1±1.52 ^d	6.0±1.12 ^d	6.2±1.44 ^d	5.1±1.65 ^d
Koku	5.8±1.28 ^e	5.9±1.37 ^e	5.9±1.77 ^e	5.9±1.21 ^e	6.1±1.21 ^e	5.8±1.11 ^e	5.3±1.63 ^e
ABH	6.4±1.67 ^f	6.8±1.51 ^f	6.4±2.30 ^f	5.8±1.94 ^f	6.5±1.70 ^f	5.7±2.18 ^f	6.5±1.82 ^f

*ABH: ağızda bıraktığı his

**K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz

*** Aynı satırda farklı küçük üstsel harfler belirli bir kriter için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

Duyusal değerlendirme sonuçları incelendiğinde; tüm kriterlerin ortalama sonuçlarının, skalada normal olarak kabul edilen 6 puan civarında olduğu belirlenmiştir. Duyusal analizde renk, koku, tat-aroma, tekstür ve ağızda bıraktığı his kriterleri değerlendirmesinde uygulamalar arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p > 0.05$). Neticede uygulamaların yumurtanın duyusal özelliklerine herhangi bir olumsuz etki göstermediği tespit edilmiştir (Şekil 4.22).



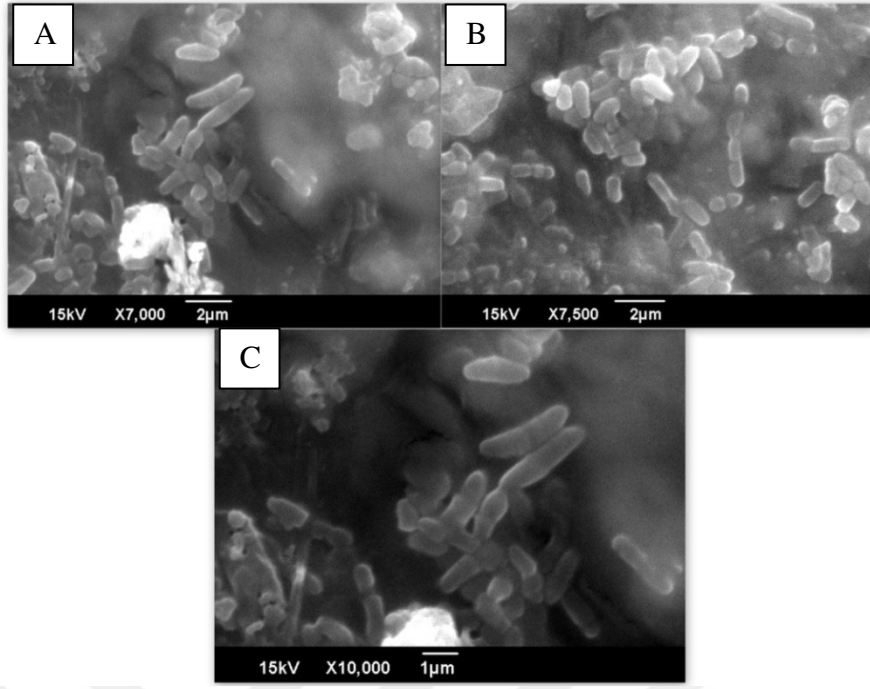
Şekil 4.22. Pişmiş yumurta örneklerinin belirli kriterlere göre duysal değerlendirme sonuçları

(K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz, ABH: ağızda bıraktığı his).

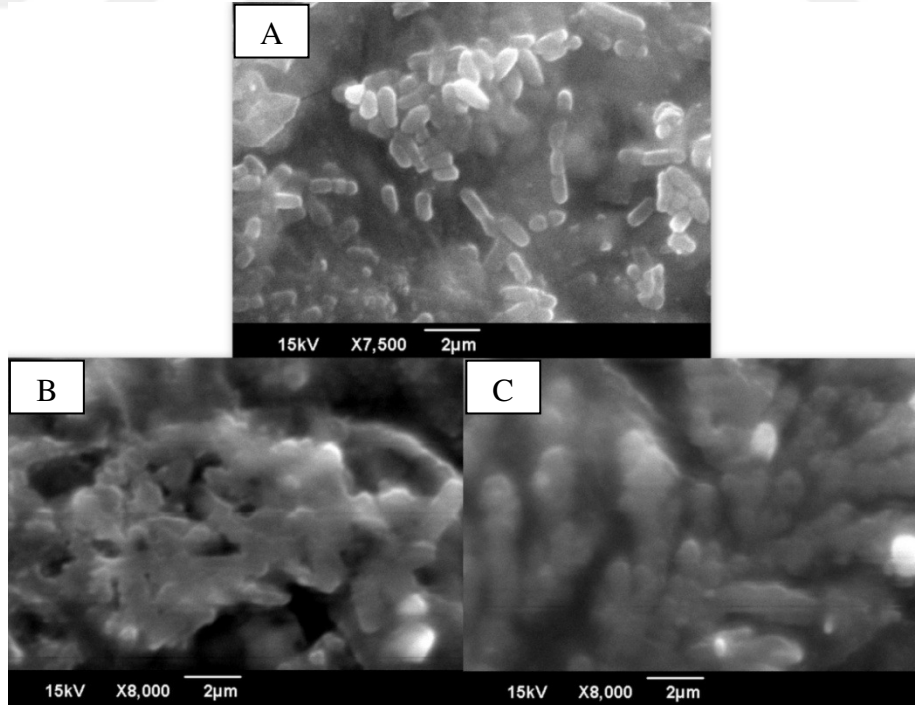
4.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Hem yumurta kabuğunun, hem de inoküle edilen bakterilerin (*E. coli* O157:H7) morfolojisinde uygulamalar öncesi ve sonrasında meydana gelen değişimlerin tespiti amacıyla yapılan SEM görüntüleme çalışmalarında uygulama yapılan bakterilerin yüzey morfolojilerinde değişimler görülmüştür.

Kontrol örneklerinde yumurta yüzeyinde bulunan (*E. coli* O157:H7) bakterilerin morfolojik bütünlüğünü korudukları, boyutlarının normal büyüklükte olduğu ve yüzeylerinin düz ve pürüzsüz yapıda olduğu görülmüştür. Ayrıca bakteri yüzeyinde içeriye doğru göçükler ve por oluşmamıştır (Şekil 4.23 A,B,C).

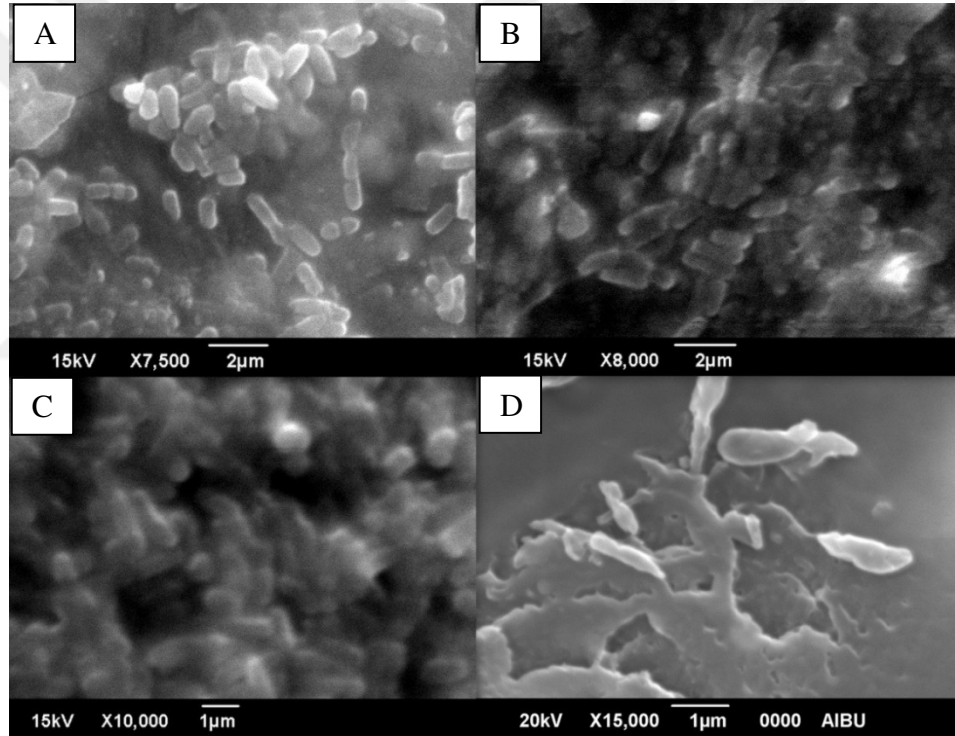


Şekil 4.23. Proses edilmeyen kabuklu yumurta örneği (Kontrol) (A) x7000, (B) x7500, (C) x10000 görüntüleri



Şekil 4.24. A) Kontrol örneği x7500 B) 5 dk O_3 ile proses edilen kabuklu yumurta örneği x 8000 C) 15 dk O_3 ile proses edilen kabuklu yumurta örneği x8000 görüntüleri

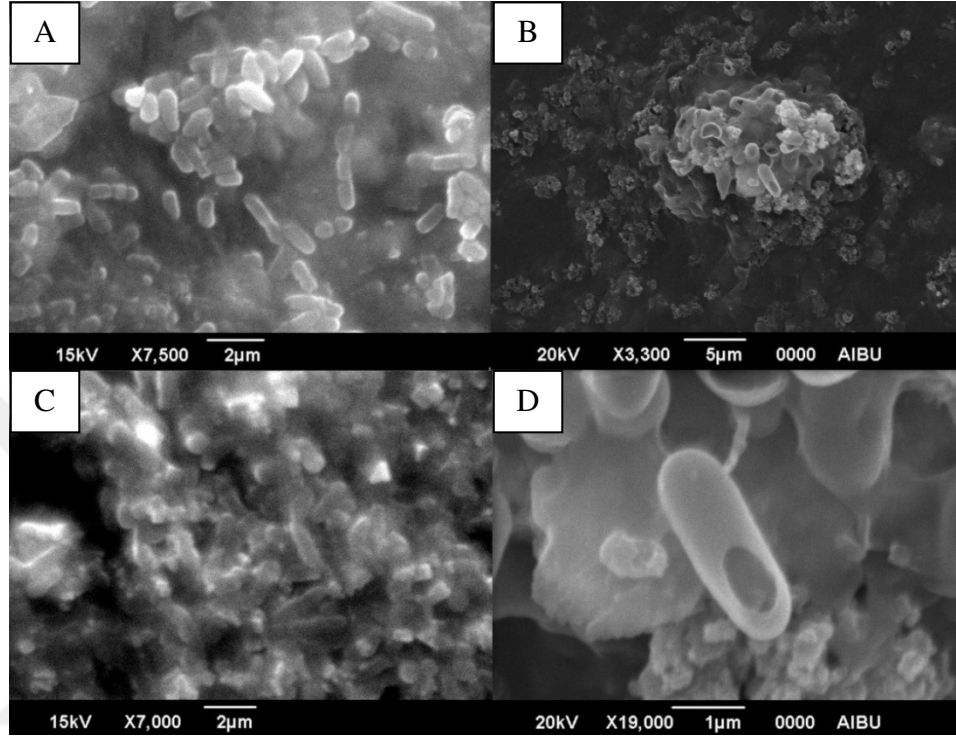
Ozon uygulamaları ile ilgili SEM görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4.24) ise 5 dk süresince (B) ozona maruz bırakılan hücrelerde hücre duvarlarında erime ve hücre içeriğinin dağılması ve hücrelerin yapısının bozulmasından dolayı hücrelerin birbirlerine karıştığı görülmektedir. Hücre bütünlüğünün bozulması ve hücre duvarının erimesi ve dolayısıyla hücrelerin içeriklerinin birbirine karışması ozon uygulama süresi arttıkça artmıştır. Ozonun 15 dk'lık uygulamasında (C) hücre morfolojisindeki bu değişimler daha dramatik olarak kendini göstermekte ve hücreler adeta eriyerek bir kitle halini almış olup ayırt edilemeyecek hale gelmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.25. A) Kontrol örneği x7500, 3 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x8000, (C) x10000, (D) x15000 görüntüleri

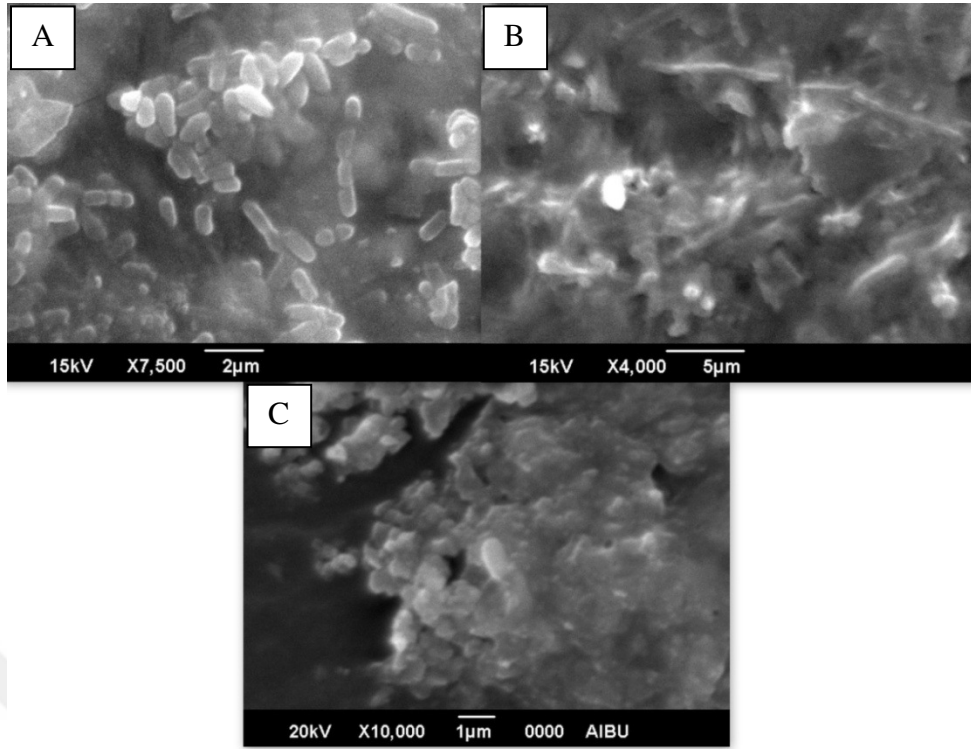
Ultrasonikasyon uygulamalarında 3 dk proses sonrasında yine hücre yapılarında belirgin değişiklikler gözlenmiştir. Kontrol örneği ile kıyaslandığında hücrelerin boyutları kısalmış, hücre yapısındaki kopmalar nedeniyle hücreler daha çok kok yapıya benzer şekilde görüntülenmiştir (B, C). Yine 3 dk US uygulaması sonucu hücre morfolojisi incelenmesinde (D) hücre içi materyalin hücre dışına sızması ve hücre yapısındaki kopmalar net şekilde görülmektedir (Şekil 4.25).

Uygulama süresinin 6 dk olmasıyla birlikte hücrelerde görülen morfolojik hasar ve hücre yüzeyinde oluşan porlar daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 4.26 B, D). Uygulama süresinin artışıyla birlikte porların büyüdüğü (D) ve yine hücre yüzeyinde içe doğru göçüklerin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.26).

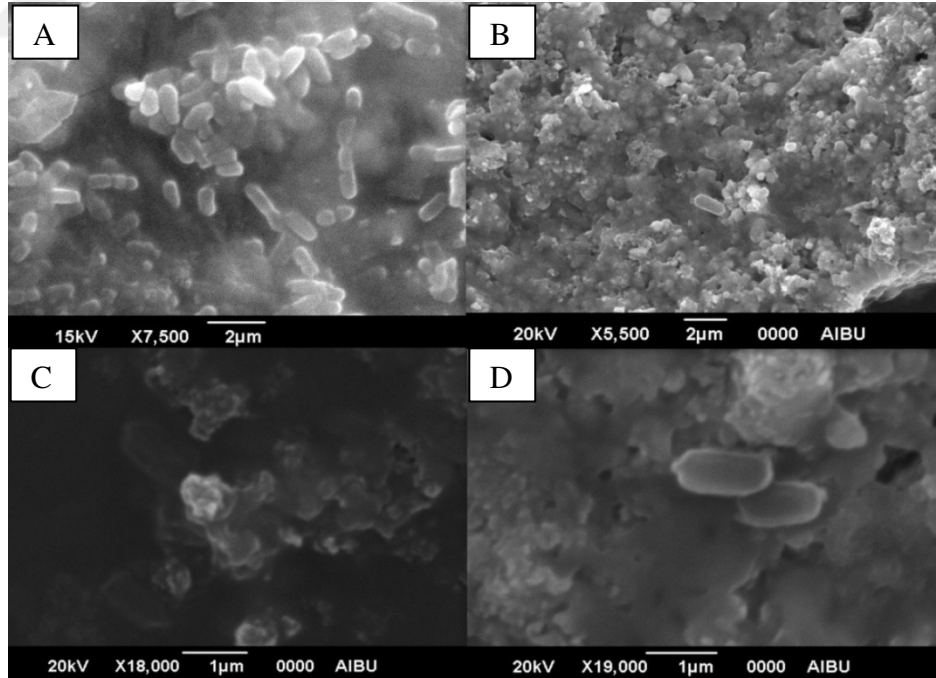


Şekil 4.26. A) Kontrol örneği x7500, 6 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x3300, (C) x7000, (D) x19000 görüntüleri

Kombinasyonlu uygulamalarda SEM görüntülerinde; bakterilerin şekilsel olarak hasara uğradığı görülmektedir. Ultrasonikasyonun önce uygulandığı (3US+3O₃) kombinasyonlu işlemde; bakterilerin iç içe geçtiği ve şekilsel olarak bozulduğu saptanmıştır (Şekil 4.27). Ozonun önce uygulandığı (3O₃+3US) kombinasyonda da bakteri hücresinin şeklinde dışı doğru oluşan çıkıntılardan hücre içi materyalinin dışarı sızdığı anlaşılmaktadır (C) ve yine hücrelerde kopmalar ve ezilmeler görülmektedir (Şekil 4.28).

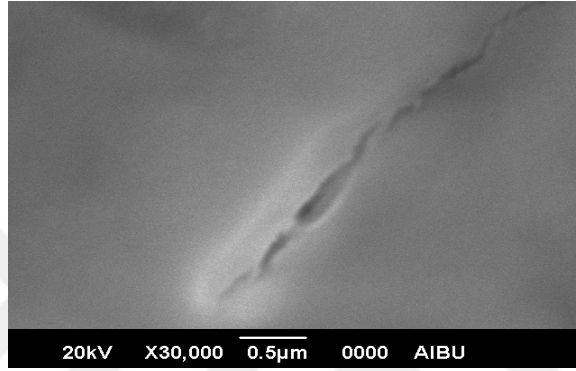


Şekil 4.27. A) Kontrol örneği x7500, 2 dk US + 3 dk O₃ ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x 4000, (C) x 10000 görüntüleri

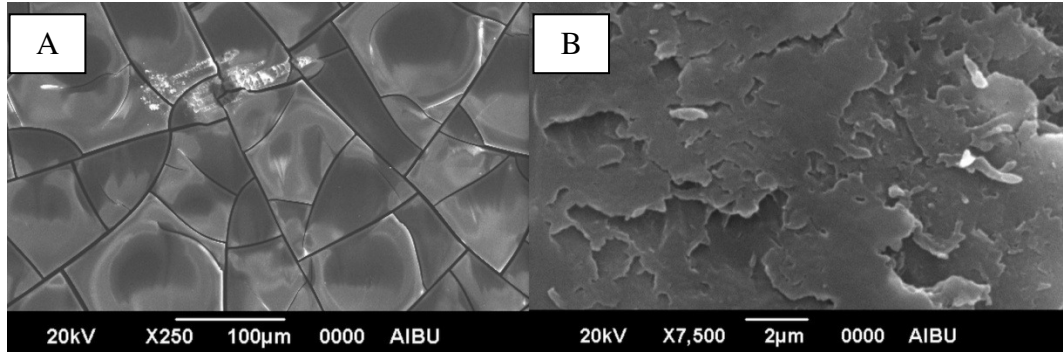


Şekil 4.28. A) Kontrol örneği x7500, 3 dk O₃ + 2 dk US ile proses edilen kabuklu yumurta örneği (B) x 5500, (C) x 18000, (D) x 19000 görüntüleri

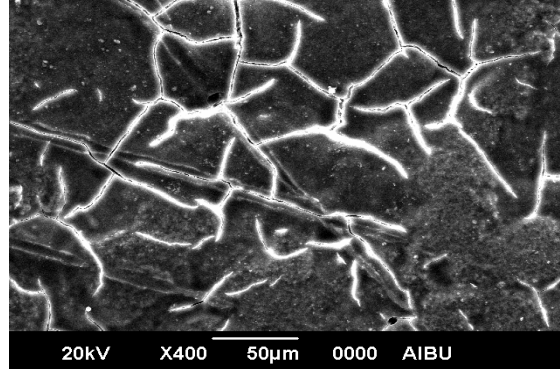
Yapılan prosesin niteliği ve uygulama süresine bağlı olarak yumurta kabuğunda da birtakım değişimler gözlenmiştir. Proses edilmeyen yumurta kabuklarının yüzeyi daha düz iken (Şekil 4.29), 3 dk ultrasonikasyon uygulamasından sonra kabukta yoğun ve derin çatlaklar (A) ve aşınma (B) ile karşılaşmıştır (Şekil 4.30). Ultrasonikasyonun 6 dk uygulanmasından sonra ise kabuktaki çatlakların daha da yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.31). Kombinasyonlu uygulamalarda da aynı şekilde kabukta aşınmalar ve çatlaklar belirlenmiştir (Şekil 4.32, 4.33).



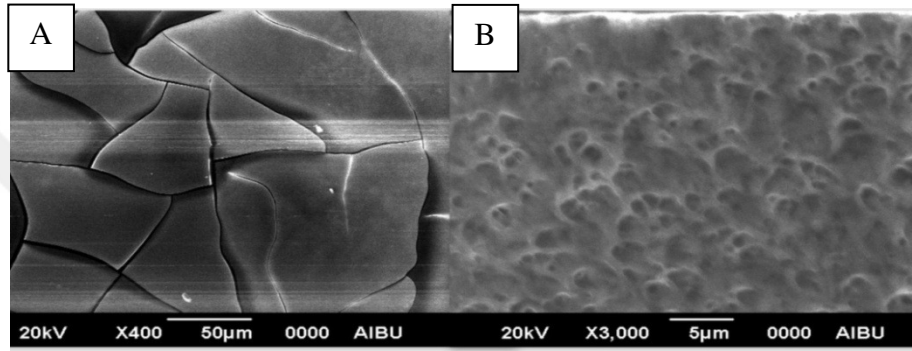
Şekil 4.29. Yumurta kabuğunun proses edilmeyen kontrol örneği x 30000



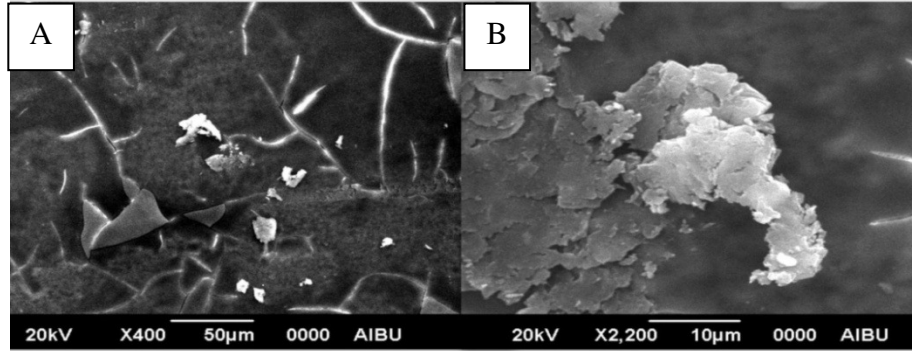
Şekil 4.30. US (3 dk) uygulamasından sonra yumurta kabuğunun yüzeyi (A) x250, (B) x7500



Şekil 4.31. US (6 dk) uygulanan yumurta kabuğunun yüzeyi x 400



Şekil 4.32. Kombinasyonlu uygulamada (2 dk US+ 3 dk O₃) yumurta kabuk yüzeyi (A) x3000, (B) x400 görüntüleri



Şekil 4.33. Kombinasyonlu uygulamada (3 dk O₃+ 2 dk US) yumurta kabuk yüzeyi (A) x400, (B) x2200 görüntüleri

4.4 Tekstür Analizi

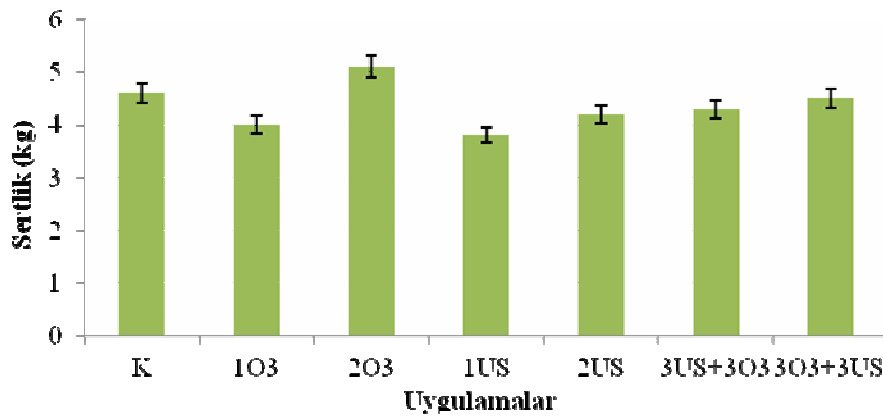
Çizelge 4.7. Kabuklu yumurta örneklerinin tekstür sonuçları

Uygulamalar	Sertlik (kg)	Esneklik (%)
K	4.6±1.8 ^a	11.11±0.44 ^a
1O ₃	4.0±1.6 ^b	9.80±0.40 ^b
2O ₃	5.1±2.0 ^c	10.96±0.44 ^c
1US	3.8±1.5 ^d	10.69±0.43 ^d
2US	4.2±1.6 ^e	18.83±0.75 ^e
3US+3O ₃	4.3±1.7 ^f	10.55±0.42 ^f
3O ₃ +3US	4.5±1.7 ^g	10.90±0.44 ^g

* K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

** Aynı sütunda farklı küçük üstel harfler belirli bir kriter için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

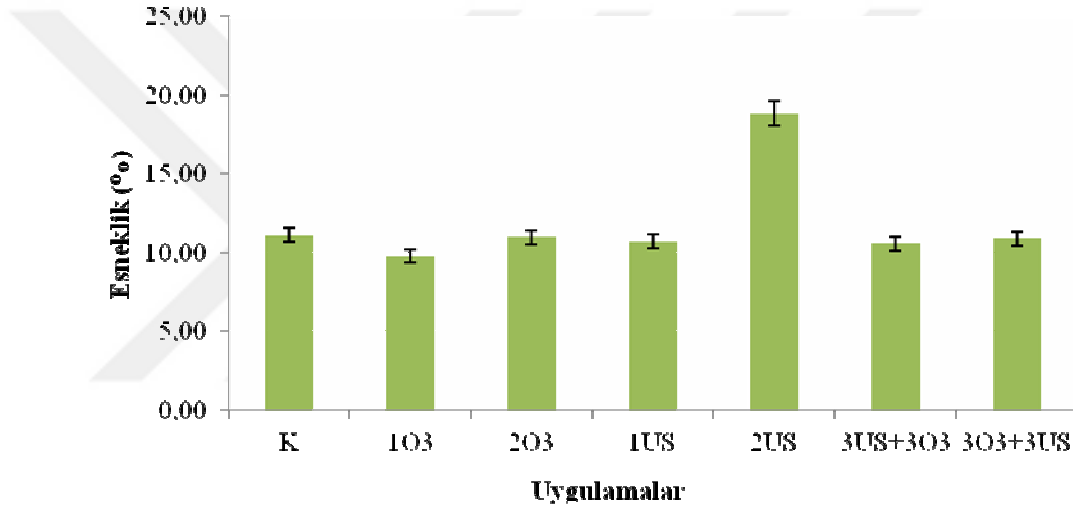
Çizelge 4.7 incelendiğinde; yumurta kabuklarının sertlik durumları kontrol örneğine (4.6±1.8 kg) kıyasla 3 dk olan ultrasonikasyon uygulaması sonucu 3.8±1.5 kg olarak azalma göstermiş, 6 dk uygulama sonucunda 4.2±1.6 kg olarak ölçülmüştür ($p < 0.05$). Ozon uygulamalarında ise kabuklar 5 dk sonunda 4.0±1.6 kg ölçülmüş ve direnci azalmış, 15 dk sonunda ise 5.1±2.0 kg ölçülerek direnç artmıştır ($p < 0.05$). Kombinasyon uygulamalarında ise (3US+3O₃: 4.3±1.7 kg, 3O₃+3US: 4.5±1.7 kg) diğer uygulamalarda olduğu gibi azalma meydana gelmiştir ($p < 0.05$) (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Kabuklu yumurtanın sertlik (kg) grafiği

(* K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz).

Esneklik değerlendirmelerinde ise; kontrol örneğine göre (%11.11), ozon uygulamalarında (1O₃: %9.8, 2O₃: %10.96) önemli farklılıklar görülmemiştir. Ultrasonikasyonun 3 dk olan uygulaması sonucu yumurta esnekliği %10.69 olarak belirlenirken, 6 dk olan uygulamasından sonra %18.83 olarak ölçülerek belirgin bir artış tespit edilmiştir. ($p < 0.05$). Bu artışın nedeninin ultrasonikasyon uygulamasının yumurta kabuğunda tespit edilen deformasyon oluşturmaları gösterilebilir. Kombinasyon uygulamalarında da (3US+3O₃: %10.55, 3O₃+3US: %10.90) anlamlı bir farklılığa rastlanmamıştır (Şekil 4.35). İstatistiksel olarak ise, proses edilmiş yumurtalar kontrol örneğine göre kıyaslandığında esneklik derecesi bakımından farklı bulunmuştur ($p < 0.05$).



Şekil 4.35. Kabuklu yumurtanın esneklik (%) grafiği

(* K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 KHz).

4.5 Yumurta Yüzeyinin Mineral Madde Analizi

Yumurtanın kabuk kalitesi, tavuğun beslenme şekline bağlı olarak önemli derecede etkilenmektedir. Bu konuda yem rasyonunda bulunan mineraller büyük önem taşımaktadır. Yumurtada dış kaliteyi oluşturan ve dış etkenlere karşı korunmasını sağlayan bölüm yumurta kabuğudur. Yumurta kabuğu, yumurtayı saran zarların üzerinde CaCO₃ kristallerinin birikiminden oluşmaktadır. Ayrıca kabuk oluşumuna etki eden en etkili faktör kalsiyum metabolizmasıdır (Atik ve Ceylan, 2009).

Prosesle tabi tutulan yumurtaların kabukları kırılıp metal disklere alınmış ve iletkenliği arttırmak için altın ile kaplanmıştır. Ardından SEM cihazı mineral madde analizi yapılan yumurtanın bulunduğu sıvı ortamın (Çizelge 4.8) ve yumurta kabuklarının (Çizelge 4.9) analiz sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Yumurtanın bulunduğu sıvı ortam incelendiğinde kalsiyum (Ca) elementi miktarı kontrol örneği (17.72 ± 0.71) ile kıyaslandığında ozon uygulamalarından sonra azalma belirlenmiştir ($1O_3$: 1.51 ± 0.06 , $2O_3$: 5.59 ± 0.22). Ultrasonikasyon uygulamalarından sonra önemli bir değişim görülmemekle birlikte, kombinasyon uygulamalarında ($3US+3O_3$ ve $3O_3+3US$) da ozon uygulamasında olduğu gibi kalsiyum element yüzdesinde azalma meydana gelmiştir (Çizelge 4.8); fakat önemli bir farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$). Yumurta kabuğunun mineral madde analizine bakıldığında; tüm element yüzdelğinde önemli bir değişim görülmemekte ve uygulamalar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.9) ($p > 0.05$).

Çizelge 4.8. Kabuklu yumurtaların bulunduğu sıvı ortamda mineral madde analizi

ELEMENTLER	K	1O ₃	2O ₃	1US	2US	3US+3O ₃	3O ₃ +3US
Karbon (C)	41.35±1.65 ^a	50.22±2.00 ^a	44.51±1.78 ^a	47.11±1.88 ^a	44.99±1.79 ^a	48.82±1.95 ^a	44.57±1.78 ^a
Oksijen (O)	34.99±1.39 ^b	31.82±1.27 ^b	35.30±1.41 ^b	37.28±1.49 ^b	35.61±1.42 ^b	36.18±1.44 ^b	16.63±0.66 ^b
Sodyum (Na)	2.67±0.10 ^c	6.45±0.25 ^c	3.96±0.15 ^c	1.03±0.04 ^c	3.43±0.13 ^c	3.49±0.13 ^c	2.10±0.08 ^c
Alüminyum (Al)	0.79±0.03 ^d	1.16±0.04 ^d	0.28±0.01 ^d	0.02±0.00 ^d	0.13±0.00 ^d	0.64±0.00 ^d	0.16±0.00 ^d
Fosfor (P)	3.06±0.12 ^e	1.63±0.06 ^e	0.65±0.02 ^e	2.12±0.08 ^e	2.34±0.09 ^e	0.92±0.03 ^e	0.17±0.00 ^e
Kükürt (S)	2.91±0.11 ^f	3.99±0.15 ^f	15.93±0.63 ^f	0.60±0.00 ^f	5.07±0.20 ^f	2.63±0.10 ^f	0.83±0.03 ^f
Kalsiyum (Ca)	17.72±0.71 ^g	1.51±0.06 ^g	5.59±0.22 ^g	11.53±0.46 ^g	13.96±0.55 ^g	6.51±0.26 ^g	0.57±0.02 ^g
Klor (Cl)	3.48±0.13 ^h	5.02±0.20 ^h	8.00±0.32 ^h	3.34±0.13 ^h	2.89±0.11 ^h	2.43±0.09 ^h	1.68±0.06 ^h
Altın (Au)	4.35±0.17 ⁱ	3.17±0.12 ⁱ	4.31±0.17 ⁱ	5.69±0.22 ⁱ	4.76±0.19 ⁱ	5.27±0.21 ⁱ	2.68±0.10 ⁱ
Magnezyum (Mg)	0.30±0.01 ^k	0.24±0.01 ^k	0.00±0.00 ^k	0.00±0.00 ^k	0.00±0.00 ^k	0.00±0.00 ^k	0.00±0.00 ^k
Potasyum (K)	1.73±0.06 ^j	1.26±0.05 ^j	0.86±0.03 ^j	0.55±0.02 ^j	1.13±0.00 ^j	0.39±0.00 ^j	0.00±0.00 ^j

* Aynı satırda farklı küçük üstsel harfler belirli bir element için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

** K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz.

Çizelge 4.9. Yumurta kabuğunun mineral madde analizi

ELEMENTLER	K	1O ₃	2O ₃	1US	2US	3US+3O ₃	3O ₃ +3US
Karbon (C)	37.23±1.48 ^a	39.09±1.56 ^a	43.39±1.73 ^a	49.96±1.99 ^a	47.34±1.89 ^a	37.52±1.50 ^a	40.08±1.60 ^a
Oksijen (O)	41.92±1.67 ^b	37.65±1.50 ^b	37.80±1.51 ^b	39.55±1.58 ^b	40.45±1.61 ^b	42.34±1.69 ^b	41.36±1.65 ^b
Sodyum (Na)	0.52±0.02 ^c	0.80±0.03 ^c	0.55±0.02 ^c	0.67±0.02 ^c	0.34±0.01 ^c	0.30±0.01 ^c	0.34±0.01 ^c
Alüminyum (Al)	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.04±0.00 ^d	0.07±0.00 ^d	0.40±0.00 ^d	0.85±0.00 ^d
Fosfor (P)	2.14±0.08 ^e	1.70±0.06 ^e	1.65±0.06 ^e	3.42±0.13 ^e	3.26±0.13 ^e	2.49±0.09 ^e	1.52±0.06 ^e
Kükürt (S)	0.40±0.01 ^f	0.71±0.02 ^f	0.47±0.01 ^f	0.98±0.00 ^f	0.61±0.00 ^f	0.18±0.00 ^f	0.00±0.00 ^f
Kalsiyum (Ca)	16.30±0.65 ^g	17.73±0.70 ^g	14.38±0.57 ^g	17.33±0.69 ^g	18.83±0.75 ^g	14.46±0.57 ^g	14.42±0.57 ^g
Altın (Au)	3.72±0.14 ^h	5.08±0.20 ^h	3.58±0.14 ^h	4.50±0.18 ^h	4.35±0.17 ^h	3.80±0.15 ^h	3.88±0.15 ^h
Magnezyum (Mg)	0.00±0.00 ⁱ	0.00±0.00 ⁱ	0.80±0.03 ⁱ	0.77±0.00 ⁱ	0.66±0.00 ⁱ	0.76±0.00 ⁱ	0.00±0.00 ⁱ
Potasyum (K)	0.00±0.00 ^j	0.00±0.00 ^j	0.00±0.00 ^j	0.05±0.00 ^j	0.07±0.00 ^j	0.05±0.00 ^j	0.09±0.00 ^j

* Aynı satırda farklı küçük üstsel harfler belirli bir element için uygulamalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

** K: kontrol, 1O₃:5 dk 33.6 g/m³, 2O₃:15 dk 101.0 g/m³, 3O₃:3 dk 20.2 g/m³, 1US:3 dk 35 kHz, 2US:6 dk 35 kHz, 3US:2 dk 35 kHz.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yumurta insan beslenmesinde önemli yeri olan bir gıdadır. Yumurtanın besin değeriyle birlikte hijyeni de tüketicileri ilgilendiren bir konudur. Bu hijyen günümüzde ısıt işlemler ya da kimyasallar aracılığıyla sağlanmaktadır. Fakat uygulanan farklı dezenfeksiyon yöntemleri yumurtada istenmeyen tekstür ya da kalite özelliklerine neden olmaktadır. Şimdiye dek yumurta dezenfeksiyonunda alternatif teknolojiler konusunda yapılan çalışmalar hem sınırlıdır, hem de proses sonrası kalite kriterlerini belirlemek amacıyla tekstürel özellikler, duyuşal değerlendirme ve SEM görüntüleme gibi araştırmalar yok denecek kadar azdır. Yapılan bu çalışmayla hijyen amaçlı uygulanacak ısıt işlemlere ya da kimyasallara alternatif olan teknolojilerden ozon ve ultrasonikasyon uygulamalarının yumurta dezenfeksiyonundaki etkileri incelenmiş ve aynı zamanda bu teknolojilerin yumurtanın kalite özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırılmıştır.

Kabuklu yumurtanın içinde bulunduğu saf suya inoküle edilen patojen bakterilerin (*S. Enteritidis*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*), uygulamalar sonucunda inaktivasyonları karşılaştırıldığında farklılıklar tespit edilmiştir. Proses sonrasında 5 dk'lık ozon uygulamasında *L. monocytogenes*'de 2.5 log kob/mL, *S. Enteritidis*'te 2.6 log kob/mL ve *E. coli* O157:H7'de ise 5.9 log kob/mL azalma belirlenmiştir. Ozonun 15 dk'lık uygulaması sonucunda da *L. monocytogenes*'te 2.8 log kob/mL, *S. Enteritidis*'te 3.2 log kob/mL, *E. coli* O157:H7'de 6.7 log kob/mL azalma meydana gelmiştir. Bu uygulama sonuçları dikkate alındığında en çok inaktif olan *E. coli* O157:H7 ve onu takip eden *S. Enteritidis* bakterilerinin Gram-negatif özellikte olması, *L. monocytogenes*'in ise Gram-pozitif özelliğinde olması, azalma oranlarının farklılığına sebep gösterilebilir. Çünkü Gram pozitif bakteriler, gram negatiflere göre hücre duvarında daha fazla peptidoglukan tabakasına sahip olmalarından dolayı ozona daha fazla direnç göstermektedirler (Khadre vd., 2001). Ultrasonikasyon uygulamalarının sonucundaki inaktivasyon oranlarında ise aynı sıralama gözlenmemiştir. Sırasıyla 3 dk ve 6 dk'lık uygulamalardan sonra, *E. coli* O157:H7'de 0.02 ve 0.38 log kob/mL, *L. monocytogenes*'te 0.64 ve 0.61 log kob/mL, *S. Enteritidis*'de ise 1.08 ve 1.13 log kob/mL'lik azalmalar tespit edilmiştir.

Ultrasonikasyon uygulamalarına karşı en hassas bakteri *S. Enteritidis* olurken; en dirençli bakteri *E. coli* O157:H7 olmuştur. Kombine uygulamalar incelendiğinde ise ozon ve ultrasonikasyonun tek tek uygulamalarına göre değişiklikler belirlenmiştir. *L. monocytogenes*'te ultrasonikasyonun önce uygulandığı 3US+3O₃ prosesinde, 1.9 log kob/mL azalma, ozonun önce uygulandığı 3O₃+3US prosesinde ise 2.8 log kob/mL azalma meydana gelmiştir. *E. coli* O157:H7'de 3US+3O₃ prosesinde 3.9 log kob/mL, 3O₃+3US prosesinde 6.8 log kob/mL azalma olurken, *S. Enteritidis*'te de 3US+3O₃ prosesinde 2.5 log kob/mL, 3O₃+3US prosesinde ise 3.6 log kob/mL azalma görülmüştür. Sonuçlara bakıldığında ozonun önce uygulandığı kombinasyon, uygulanan tüm proseslerin içinde en iyi inhibisyon etkisi göstermiştir. Ultrasonikasyonun önce uygulandığı kombinasyonda ise ultrasonikasyonun tek tek uygulamalarına göre çok daha iyi etkide bulunmuş; fakat diğer kombinasyonla aynı etkiyi gösterememiştir. Ultrasonikasyonun mikrobiyel süspansiyonlardaki kavitasyon etkisi, hücresel aktivitenin modifikasyonu, hücre duvarının zarar görmesi ve mikroorganizma kümelerinin dağılımı olarak belirtilmiştir (Ciccolini vd., 1997). Bu sebeple, ultrasonikasyonun önce uygulandığı kombinasyonda mikroorganizmaların kavitasyon etkisiyle dağılımından dolayı, uygulamadaki 3 dk'lık ozon dağılmış olan mikroorganizmalara, diğer kombinasyondaki kadar yeterli letal etkiyi gösterememiştir.

Yapılan bir çalışmada (Rodriguez-Romo ve Yousef, 2005) ozon, UV ve bunların kombinasyonlarının yumurta yüzeyine inoküle edilen *S. Enteritidis* inaktivasyonuna etkisi araştırılmış ve sonuçta tüm yöntemlerin oldukça etkili olduğu saptanmıştır. Yumurtanın bulunduğu saf suya inoküle edilen *S. Enteritidis* inaktivasyonunda bizim elde ettiğimiz verilere göre; ozonun tek ve ultrasonikasyonla kombine edilmiş uygulamaları önemli derecede etkili olmuştur. Sabit dozda ve oda sıcaklığında uygulanan ozon (5 dk ve 15 dk) 2.6 log kob/mL oranında azalma sağlarken, ultrasonikasyonla kombine olan uygulaması (3O₃+US) 3.6 log kob/mL azalma sağlamıştır. Ayrıca ozonun tek uygulamasında süre artışı ile inaktivasyon oranında da artış belirlenmiştir.

Caner ve Yüceer (2014), ultrasonik işlemin etkilerini, yumurtanın fonksiyonel özelliklerini arttırmak için 24 °C'de 6 hafta depolama süresinde farklı güç seviyeleri (200, 300 ve 450W) ve işlem sürelerinde (2 ve 5 dk) değerlendirmişler ve ultrasonik

güç ve sürenin, yumurtanın Haugh birimi, sarı indeksi, ak pH'sı, kuru maddesi, bağl çırpma kapasitesi ve ak viskozitesinde önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Ultrasonikasyonun 300 ve 450W dozlarının depolama süresinde taze yumurtaların iç kalitelerini iyileştirdiğini fakat kabuk kalitesine olumsuz etkide bulunduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, taze yumurtaların uzun süreli depolanması sırasında iç kalitelerinin korunmasında ultrasonikasyonun etkili bir alternatif teknik olduğunu belirtmişlerdir. Bizim sonuçlarımıza göre ise sabit sıcaklıktaki ultrasonikasyon uygulamaları (3 ve 6 dk) yumurtanın doğal mikroflorasının inaktivasyonunda yani raf ömrünü artırmada etkili olabilmiş; fakat *S. Enteritidis*, *E.coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* patojenlerinin inaktivasyonunda yeterli letal etkiyi gösterememiştir. Yumurtanın kalite özelliklerinden şekil indeksi, kabuk kalınlığı, ak indeksi, sarı indeksi, L*, a*, b*, ΔE, ak pH, sarı pH üzerinde önemli farklılıklar göstermemiş; fakat literatürdeki çalışmayla paralel olarak yumurtanın kabuk kısmında deformasyona sebep olduğu SEM görüntülerinin incelenmesiyle belirlenmiştir. Yumurta, kabuğunda bulunan çatlaklardan içine su almış, uygulama sonrasında ağırlık ve özgül ağırlıkta artış görülmüştür. Bu çalışmanın sonucu olarak yumurta yüzeyinin dezenfeksiyonunda ultrasonikasyon teknolojisinin kullanılması ancak süreye bağlı olarak tavsiye edilmektedir.

E. coli ATCC 25922 ile kontamine edilen tavuk yumurtalarının kullanıldığı bir çalışmada (Sert vd., 2013), yumurtalar statik yıkama için 30°C'de 5, 10 ve 15 dk boyunca 0 kHz frekansta ultrasonik banyoda ve ultrasonikasyon için 30°C'de 5, 10 ve 15 dk boyunca 35 kHz frekansta ultrasonik dalgalara maruz bırakılmış ardından 22°C'de 14 gün boyunca depolanmıştır. Depolamanın birinci gününde, 5 dk ultrasonik dalgalar ile muamele edilen yumurta hariç (2.04 log kob/yumurta), ultrasonikasyon uygulanan yumurtalarda *E. coli* gelişimi saptanmamıştır. Ultrasonik uygulama süresine bağlı olarak yumurta kalite parametrelerinde anlamlı bir artış (kabuk gücü, ak yüksekliği, Haugh birimi ve sarı yüksekliği) gözlenmiştir. Ultrason uygulamaları yumurta kabukları üzerindeki *E. coli* sayısında önemli bir azalmaya yol açmıştır. Bizim çalışmamızda elde ettiğimiz verilere göre, 35 kHz frekansta 3 ve 6 dk uyguladığımız ultrasonikasyon uygulamaları *E. coli* O157:H7 inaktivasyonunda etkili olamamıştır. Mikrobiyel inaktivasyon bakımından Sert vd. (2013) çalışmasıyla olan bu farklılık ultrasonikasyonun uygulama süresiyle ilgili olduğu

düşünülmektedir. Haugh birimi, sarı indeksi, ak indeksinde önemli değişiklikler belirlenmemiş, kabuk gücünde ise azalma meydana gelmiştir.

Yumurtanın daha hijyenik kalitede olması için ozon uygulanan bir araştırmada (Choi ve Lee, 2012); yumurtalar *S. Typhimurium* ile kontamine edilip, 38.8 ppm dozundaki ozonla 10 ve 30 dk proses edilmiş buna ek olarak depolama sırasında yumurtanın mikrobiyolojik ve kalite kriterleri de incelenmiştir. Kabuktaki başlangıç *S. Typhimurium* sayısı (6.18 log kob/g), 10 ve 30 dk'lık uygulamada sırasıyla 5.25 ve 4.22 log kob/g aralığında belirlenmiş olup özellikle 30 dk olan proses sonucunda yaklaşık 2 log kob/g'lık azalma meydana gelmiştir. Yumurtanın diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde; Haugh birimi, sarı rengi, yumurta beyaz ve sarı pH'sı, köpürme yeteneği, köpük istikrarı ve lipid oksidasyonu da dahil olmak üzere kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında herhangi bir farklılık görülmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada ozon uygulamasının yumurtanın hijyen kalitesini arttırmak için geçerli yöntemlerden biri olduğu belirtilmektedir. Bizim çalışmamızda bu literatüre paralel olarak *S. Enteritidis* bakterisinin inaktivasyonunda 5 ve 15 dk'lık ozon (20.2 g/m³) uygulamaları sonucunda sırasıyla 2.63 ve 3.20 log kob/mL'lik azalma belirlenmiş olup, yumurtanın Haugh birimi, ak ve sarı pH'sında herhangi bir değişikliğe rastlanmamıştır.

Bu çalışma kapsamında; yumurta yüzeyinin dezenfeksiyonunda alternatif teknolojilerden ozon uygulamasının, yumurtanın kalite özelliklerine olumsuz yönde bir etkisi olmaksızın, etkili bir teknoloji olarak kullanılması önerilmektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda bu teknolojilerin yumurtada protein denatürasyon analizi ve yumurtanın raf ömrüne etkisinin incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca yumurtada farklı alternatif teknolojilerin (PEF, UV ışınlama, Ohmik ısıtma vb.) mikrobiyel, iç ve dış kalite üzerinde oluşturacağı etkilerin araştırılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Adamiec J, Dolezal M, Mikova K and Davidek J (2002) “Changes in Egg Volatiles During Storage”, Czech Journal of Food Science, 20: 79-82.
- Adler HE, Da Massa AJ and Scott NF (1978) “Studies on Egg Disinfection”, Poultry Science, 58: 799-806.
- Ahmed FIK and Russell C (1975) “Synergism Between Ultrasonic Waves and Hydrogen Peroxide in The Killing of Microorganisms”, Journal of Applied Bacteriology, 39: 31-41.
- Akbas MY and Ozdemir M (2006) “Effectiveness of Ozone for Inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in Pistachios”, International Journal of Food Science and Technology, 41: 513–519.
- Al-Haddad KSH, Al-Quassemi RAS and Robinson RK (2005) “The Use of Gaseous Ozone and Gas Packaging to Control Populations of *Salmonella infantis* and *Pseudomonasaeruginosa* on the Skin of Chicken Portions”, Food Control, 16: 405-410.
- Alvarez I, Niemira BA, Fan X and Sommers CH (2006) “Food Irradiation Research and Technology”, Editors: Sommers CH and Fan X, Chapter 12, Blackwell Publishing, First Edition, USA.
- Amiali M, Ngadi MO, Smith JP and Raghavan GSV (2007) “Synergistic Effect of Temperature and Pulsed Electric Field on Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Enteritidis in Liquid Egg Yolk”, Journal of Food Engineering, 79(2): 689-694.
- Anđ-Küçüker M, Büget E, Dinçer N ve Anđ Ö (1992) “İstanbul’da İzole Edilen *Salmonella* Enteritidis Suşlarının Özellikleri”, İnfeksiyon Dergisi, 6(2): 91-93.
- Anđ-Küçüker M, Kimiran A ve Bal Ç (1995) “Kümes Hayvanlarının Et ve Yumurtalarından *Salmonella* Enteritidis İzolasyonu”, Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi, 23: 138-141.
- Anonim (1990) The Oxoid Manual, Sixth Edition, Unipath Limited, Hampshire, England.
- Anonim (2001) United States Department of Agriculture, *Egg-Grading Manual, Agricultural Handbook Number 75*. USDA Agricultural Marketing Service, Washington DC.

Anonim (2003) Center for Food Safety and Applied Nutrition (CFSAN), Draft Assessment of the Relative Risk to Public Health from Food borne *Listeria monocytogenes* Among Selected Categories of Ready-to-Eat Foods, <http://www.fda.gov/downloads/Food/FoodScienceResearch/UCM197329.pdf>, 15 Kasım 2015.

Anonim (2007) Karagül Yumurta, Yumurta Kalitesinin Değerlendirilmesi, http://www.karagulyumurta.com/altkat/15/yumurta_kalitesinin_degerlendirilmesi.html, 24 Haziran 2015.

Anonim (2008) Türk Gıda Kodeksi. Yumurta ve Yumurta Ürünleri Tebliği, Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, 23.01.2008 tarih ve 26765 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Anonim (2014) Hayvan Yetiştiriciliği, Yumurta, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Yumurta.pdf, 9 Kasım 2015.

Anonim (2015a) Tam Dezenfeksiyon, Ozon Gazı Nasıl Oluşur, http://www.tamdezenfeksiyon.com/ozon_nedir.html , 11 Kasım 2015.

Anonim (2015b) Wikipedia, Scanning Electron Microscope, https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope, 15 Kasım 2015.

Anonim (2015c) Wikipedia, Ultrasound, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>, 15 Kasım 2015.

Arda M, Minbay A, Leloğlu N, Aydın N, Kahraman M, Akay Ö, Ilgaz A, İzgür M ve Diker KS (1999), Özel Mikrobiyoloji, Medisan Yayınevi, Ankara.

Ateş A (1997) Mikro Kirleticilerin Ön Ozonlanması ve Biyolojik Arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Atik Z ve Ceylan N (2009) “Yumurta Kabuk Kalitesine Mineral Maddelerin Etkisi”, Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 8(1): 42-49.

Barth MM, Zhou C, Mercier J and Payne FA (1995) “Ozone Storage Effects on Antocyanin Content and Fungal Growth in Blackberries”, Journal of Food Science, 60: 1286-1288.

Baysal A (2007) Genel Beslenme, 12. Baskı, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara.

Beltran D, Selma MV, Tudela JA and Gil MI (2005) “Effect of Different Sanitizers on Microbial and Sensory Quality of Fresh-Cut Potato Strips Stored Under Modified Atmosphere or Vacuum Packaging”, Postharvest Biology and Technology, 37: 37-46.

Bermudez-Aguirre D, Corradini MG, Mawson R and Barbosa-Canovas GV (2010) “Modeling the Inactivation of *Listeria innocua* in Raw Whole Milk Treated under Thermo-sonication”, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 10: 172–178.

Bialka KL, Demirci A, Knabel SJ, Patterson PH and Puri VM (2004) “Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water for the Microbial Safety and Quality of Eggs”, Poultry Science, 83: 2071–2078.

Bozkurt H ve İçier F (2009) “UV-C ve Ultrason Önişlemlerinin Çilek Kalitesi Üzerine Etkileri”, Gıda Dergisi, 34 (5): 279-286.

Braun PG, Fernandez N and Fuhrmann H (2011) “Investigations on the Effect of Ozone as a Disinfectant of Egg Surfaces”, Ozone Science Engineering, 33: 374-378.

Brennan JG (2006) “Food Processing Handbook”, Wiley VCH Germany, 582.

Butz P, Tauscher B (2002) “Emerging Technologies: Chemical Aspects”, Food Research International, 35: 279-284.

Caner C and Yuceer M (2014) “Maintaining Functional Properties of Shell Eggs by Ultrasound Treatment, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.7029/abstract>, 18 Kasım 2015.

Cemeroğlu B, Yemenicioğlu A ve Özkan M (2001) Meyve ve Sebzelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 24: 88-95, Ankara.

Chemat F and Hoarau N (2004) “Hazard Analyses and Critical Control Point (HACCP) for an Ultrasound Food Processing Operation”, Ultrason Sonochemistry, 11: 257-260.

Choi GH and Lee KH (2012) “Effect of Ozone Treatment for Sanitation of Egg”, Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 32(2): 198-203.

Ciccolini L, Taillandier P, Wilhelm AM, Delmas H and Strehaiano P (1997) “Low Frequency Thermoultrasonication of *Saccharomyces cerevisiae* suspensions: Effect of Temperature and Ultrasonic Power”, Chemical Engineering Journal, 65(2): 145-149.

Coşansu S ve Ayhan K (2000) “Enterohemorajik *Escherichia coli* O157:H7 ve Fermente Et Ürünlerindeki Önemi”, Gıda Dergisi, 25(1): 33-38.

Çatal H ve İbanoğlu Ş (2010) “Gıdaların Ozonlanması”, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi 5(3): 47-55.

Çopur G, Duru M ve Şahin A (2004) “Düşük Kolesterolü Yumurta Üretimi Yönünde Yapılan Çalışmalar”, 4. Ulusal Zootečni Bilim Kongresi, 1-3 Eylül, Isparta.

Daş E, Gürakan GC and Bayındırlı A (2006) “Effect of Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Packaging and Gaseous Ozone Treatment on the Survival of *Salmonella* Enteritidis on Cherry Tomatoes”, Food Microbiology, 23 (5): 430-438.

Dede M, Kahraman N ve Kaleli DÖ (2005) Çukurova Üniversitesi Öğrencilerinin Yumurta Tüketimi, 1. Ulusal Zootečni Öğrenci Kongresi, 16-17 Mayıs, Adana, s.12-13.

Demir MK, Elgün A ve Elgün MS (2011) “Farklı Tip Unlara Ozon Uygulamasının, Un, Hamur ve Ekmek Kalitesi Üzerine Etkisi”, Gıda Dergisi, 36(4): 209-216.

Demirdöven A and Baysal T (2009) “The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation”, Food Reviews International, 25: 1-11.

Doğan H (2008) Adana’ da Satışa Sunulan Yumurtalarda Sunuş Çeşitliliği ve Kalite Değişimi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Doyle MP (1991) “*Escherichia coli* O157:H7 and its Significance in Foods”, International Journal of Food Microbiology, 12: 289-301.

Earnshaw RG, Appleyard J and Hurst RM (1995) “Understanding Physical Inactivation Process: Combined Preservation Opportunities Using Heat, Ultrasound and Pressure”, International Journal Food Microbiology, 28: 197-219.

Ekici L, Sağdıç O ve Kesmen Z (2006) “Gıda Endüstrisinde Alternatif Bir Dezenfektan: Ozon”, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1: 47-57.

Elliott TA and Winder MC (1995) “Effect of Ultrasonic Wave on Bacterial Flora of Milk”, Journal Dairy Science, 38: 598.

Ercan SŞ and Soysal Ç (2010) “Effect of Ultrasound and Temperature on Tomato Peroxidase”, Ultrasonics Sonochemistry, 18: 689-695.

Erensayın C (1995) Bilimsel-Teknik-Pratik Tavukçuluk, Cilt-3, Nobel Yayın Dağıtım, Tokat.

Farber JM and Peterkin PI (1991) “*Listeria monocytogenes*, A Food-borne Pathogen”, Microbiological Reviews, 55: 476-511.

Farmer III JJ, Davis BR, Hickman-Brennar FW, McWhorter A, Huntley-Carter GP, Asbury MA, Riddle C, Wathen-Grady HG, Elias C, Fanning GR, Steigerwalt AG, O’Hara CM, Morris GK, Smith PB and Brenner DJ (1985) “Biochemical Identification of New Species and Biogroups of Enterobacteriaceae Isolated From Clinical Specimens”, Journal of Clinical Microbiology, 21(1): 46-76.

Favier GI, Escudero ME, Valezquez L and Guzman AMS (2000) “Reduction of *Yersinia enterocolitica* and Mesophilic Bacteria in Egg-Shell by Washing Surfactants and Their Effect on Microstructure”, Food Microbiology, 17: 73-81.

FDA (1997) “HACCP Regulatory Applications in Retail Food Applications”, 2nd edition, Food and Drug Administration, Division of Human Resource Development State Training Branch. Maryland.

Fernandez-Diaz MD, Barsotti L, Dumay E and Cheftel JC (2000) "Effects of Pulsed Elektric Fields on Ovalbumin Solutions and Dialyzed Egg White", Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48:2332-2339.

Food-Info (2012a) Salmonella, <http://www.food-info.net/tr/qa/qa-saf46.htm>, 26 Aralık 2014.

Food-Info (2012b) *Escherichia coli* O157:H7, <http://www.food-info.net/tr/bact/colio157.htm>, 26 Aralık 2014.

Forsythe SJ and Hayes PR (1998) Food Hygiene, Microbiology and HACCP, 3rd edition, Aspen, Gaithersburg, USA.

Frazier WC and Westhoff DC (1998) Contamination, Preservation and Spoilage of Eggs, Food Microbiology, 4th edition, McGraw-Hill Book Company, London.

García ML, Burgos J, Sanz B and Ordóñez JA (1989) "Effect of Heat and Ultrasonic Waves on the Survival of Two Strains of *Bacillus subtilis*", Journal of Applied Bacteriology, 67: 619-628.

Gast RK (2005) "Bacterial Infection of Eggs", Food Safety Control in the Poultry Industry, 1-12.

Goulet V, Jacquet C, Martin P, Vaillant V, Laurent E and Valk H (2006) "Surveillance of Human Listeriosis in France, 2001– 2003", Euro Surveillance, 11(6): 79–81.

Greene AK, Few BK and Serafini JC (1993) "A Comparison of Ozonation and Chlorination for the Disinfection of Stainless Steel Surfaces", Journal of Dairy Science, 76: 3617-3620.

Guzel-Seydim Z, Bever Jr PI and Greene AK (2004b) "Efficacy of Ozone to Reduce Bacterial Populations in the Presence of Food Components", Food Microbiology, 21: 475-479.

Güzel-Seydim ZB, Greene AK and Seydim AC (2004a) "Use of Ozone in the Food Industry", Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 37: 453-460.

Halkman KA, Doğan BH ve Rahati Noveir M (1994) "Gıda Maddelerinde *Salmonella* ile *E. coli* Arama ve Sayılma Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Gıda Teknolojisi Derneği, 21: 93.

Hampson BC (2000) "Use of Ozon for Winery and Enviromental Santitation", Practical Winery and Vineyard, Jan-Feb: 27-30.

Hartman C and Wilhelmson M (2001) "The Hens Egg Yolk a Source of Biologically Active Substances", World's Poultry Science Journal, 57: 13-28.

Harvey E and A Loomis (1929) "The Destruction of Luminous Bacteria by High Frequency Sound Waves", Journal of Bacteriology, 17: 314-318.

Hasipek S ve Aktaş N (1997) “Türkiye’deki Tavuk Ürünlerinin İnsan Beslenmesindeki Önemi”, Uluslararası Tavukçuluk Fuarı ve Konferansı, 14-17 Mayıs 1997, İstanbul.

Heperkan D (2006) Gıda Mikrobiyolojisi Ders Notları, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Maslak/ İstanbul.

Hickman-Brenner FV, Stubbs AD and Farmer JJ (1991) “Phage Typing of *Salmonella* Enteritidis in the United States”, Jorunal of Clinical Microbiology, 29(12): 2817-2823.

Hira F ve Yörük MA (2015) “Yumurta Tavuklarında İnorganik ve Organik Bakır, Çinko, Manganın Farklı Düzeylerinin Yumurta Verim ve Kalitesine Etkileri”, Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 10(2): 77-87.

Hodgetts B (1993) “Kuluçkalık Yumurtaların Temizlenme ve Dezenfeksiyon Metodları”, Uluslararası Tavukçuluk Kongresi, 13-14 Mayıs 1993 Mecidiyeköy İstanbul.

Horvath M, Bilitzky L and Huttner J (1985) “Ozone”, Elsevier, New York

Igel I (2012) Sound Frequency Ranges for Infrasound, Audible and Ultrasound Waves and The Corresponding Mammals That Can Hear Them, https://www.teachengineering.org/view_activity.php?url=collection/nyu_/activities/nyu_soundwaves/nyu_soundwaves_activity1.xml , 10 Aralık 2015.

Jacobs SE and Thornley MJ (1954) “The Lethal Action of the Ultrasonic Waves on Bacteria Suspended in Milk and Other Liquids”, Journal of Applied Bacteriology, 17: 38-56.

Jaksch D, Margesin R, Mikoviny T, Skalny JD, Hargunten E, Schinner F, Mason NJ and Mark TD (2004) “The Effect of Ozone Treatment on the Microbial Contamination of Pork Meat Measured by Detecting the Emissions Using PTR-MS and by Enumeration of Microorganisms”, International Journal of Mass Spectrometry, 239: 209-214.

Jay JM, Coessner MJ and Golden DA (2005) “Miscellaneous Food Products”, Modern Food Microbiology, Springer, USA.

Jeanet R, Baron F, Nau F, Roignant M and Brule G (1999) “High Intensity Pulsed Electric Fields Applied to Egg White: Effect on *Salmonella* Enteritidis Inactivation and Protein Denaturation”, Journal of Food Protection, 62(12): 1381-1387.

Juntilla JR, Niemela SI and Hirn J (1988) “Minimum Growth Temperatures of *Listeria monocytogenes* and Non-Haemolytic *Listeria*”, Journal of Applied Bacteriology, 65: 321-327.

Karagözlü N (2011) Gıda Mikrobiyolojisi: Gıda Kaynaklı Toksikoenfeksiyonlar, 3. Baskı, Editör: Osman Erkmen, Efil Yayınevi, Ankara.

Karagül E, Dünder V, Özyürek S, Akgül A ve Selçuk S (1992) “Haydarpaşa Numune Hastanesi İnfeksiyon Hastalıkları Polikliniğine Başvuran Hastalarda Salmonella enteritidis’in Neden Olduğu Gastroenterit Olguları”, İnfeksiyon Dergisi, 6(3): 197-198.

Kells SA, Mason LJ, Maier DE and Woloshuk CP (2001) “Efficacy and Fumigation Characteristics of Ozone in Stored Maize”, Journal of Stored Products Research, 37: 371-382.

Ketteringham L, Gausseres R, James SJ and James C (2006) “Application of Aqueous Ozon for Treating Pre-Cut Green Peppers (*Capsicum annuum L.*)”, Journal of Food Engineering, 76(1): 104-111.

Khadre MA and Yousef AE (2001) “Sporicidal Action of Ozone and Hydrogen Peroxide: A Comparative Study”, International Journal of Food Microbiology, 71: 131-138.

Kim JG (1998) Ozone as an Antimicrobial Agent in Minimally Processed Foods, PhD. Thesis, The Ohio State University, Columbus, OH.

Kim JG, Yousef AE and Khadre MA (2003) “Ozone and Its Current and Future Application in the Food Industry”, Advanced Food Nutrition Research, 45: 167-218.

Kim JG, Yousef AE and Dave S (1999) “ Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods”, A Review. Journal of Food Protection, 62 (9): 1071-1087.

Knorr D, Zenker M, Heinz V and Lee DU (2004) “Applications and Potential of Ultrasonics in Food Processing”, Trends in Food Science and Technology, 15: 261-266.

Kumar GD, Williams RC, Sumner SS and Eifert JD (2015) Effect of Ozone and Ultraviolet Light on *Listeria monocytogenes* Populations in Fresh and Spent Chill Brines, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713515002662>, 9 Kasım 2015.

Kuşçu A ve Pazır F (2004) “Gıda Endüstrisinde Ozon Uygulamaları”, Gıda, 29 (2): 123-129.

Lauterborn W and Ohl CD (1997) “Cavitation Bubble Dynamics”, Ultrasonics Sonochemistry, 4: 65-75.

Legeron JP (1982) “Utilization of Ozone in Swimming Pools”, In Ozonization Manual for Water and Wastewater Treatment, Masschelein WJ (Ed.), 243-247. Wiley-Interscience, New York.

- Loredo ABG, Guerrero SN and Alzamora SM (2015) “Inactivation Kinetics and Growth Dynamics During Cold Storage of *Escherichia coli* ATCC 11229, *Listeria innocua* ATCC 33090 and *Saccharomyces cerevisiae* KE162 in Peach Juice Using Aqueous Ozone”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 271-279.
- Mahapatra AK, Muthukumarappan K and Julson JL (2005) “Applications of Ozone, Bacteriocins and Irradiation in Food Processing”, A Review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(6): 447– 461.
- Martin-Belloso O, Vega-Mercado H, Qin BL, Chang FJ, Barbosa-Cánovas GV and Swanson BG (1997) “Inactivation of *Escherichia coli* Suspended in Liquid Egg Using Pulsed Electric Fields”, *Journal of Food Processing Preservation*, 21(3):193-208.
- Mason TJ (1990) “Introduction. In: Chemistry with Ultrasound, Edited by, T.J. Mason”, Elsevier Applied Science, New York, 1–26.
- Mason TJ and Lorimer JP (2002) “Applied Sonochemistry: Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing”, Wiley-VCH Weinheim, 303.
- McClements DJ (1995) “Advances in the Application of Ultrasound in Food Analysis and Processing”, *Trends in Food Science Technology*, 6: 293-299.
- Mendez F, Maier DE, Mason LJ and Woloshuk CP (2003) “Penetration of Ozone into Columns of Stored Grains and Effects on Chemical Composition and Processing Performance”, *Journal of Stored Products Research*, 39: 33-44.
- Miyamoto T, Horie T, Baba E, Sasai K, Fukato T and Arakawa A (1998) “Salmonella Penetration Through Egg Shell Associated with Freshness of Laid Eggs and Refrigeration”, *Journal Food Protection*, 61: 350-353.
- Musschelein WJ (1982) *Ozonization Manual for Water and Wastewater Treatment*, Compagnie Intercommunale Bruxelloise Des Eaux, P: 9, Belgium.
- Müller HE (1988) “Listeriosis in Animals”, *Turkish Journal of Infection*, 2(4): 505-519.
- Neduzhii SA (1962) “Investigation of Emulsification Brought by Sonic and Ultrasonic Oscillations”, *Soviet Physics-Acoustics*, 7: 221-235.
- Norrung B (2000) “Microbiological Criteria for *Listeria monocytogenes* in Foods Under Special Consideration of Risk Assessment Approaches”, *International Journal of Food Microbiology*, 62: 217-221.
- Ong KC, Cash JN, Zabik MJ, Siddiq M and Jones AL (1996) “Chlorine and Ozone Washes for Pesticide Removal from Apples and Processed Apple Sauce”, *Food Chemistry*, 55: 152-160.

Öztekin S, Zorlugenç B and Kıroğlu Zorlugenç F (2006) “Effects of Ozone Treatment on Microflora of Dried Figs”, Journal of Food Engineering, 75 (3): 396-399.

Pagan R, Manas P, Alvarez I and Condon S (1999) “Resistance of *Listeria monocytogenes* to Ultrasonic Waves Under Pressure at Sublethal (Manosonication) and Lethal (Manothermosonication) Temperatures”, Food Microbiology, 16: 139-148.

Palou L, Smilanick JL, Crisosto CH, Mansour M and Plaza P (2003) “Ozone Gas Penetration and Control of the Sporulation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* within Commercial Packages of Oranges during Cold Storage”, Crop Protection, 22: 1131-1134.

Perry JJ, Rodriguez-Saona LE and Yousef AE (2011) “Quality of Shell Eggs Pasteurized With Heat or Heat-Ozone Combination During Extended Storage”, Journal Food Science, 76: 437-444.

Perry JJ and Yousef AE (2013) “Factors Affecting Thermal Resistance of *Salmonella enterica* Seroovar Enteritidis ODA 99-30581-13 in Shell Egg Contents and Use of Heat-Ozone Combinations For Egg Pasteurization”, Journal of Food Protection 76(2):213-219.

Pery JJ, Rodriguez-Romo LA and Yousef AE (2008) “Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in Shell Eggs by Sequential Application of Heat and Ozone”, Letter in Applied Microbiology, 46 (6): 620-5.

Piyasena P, Mohareb E and McKellar RC (2003) “Inactivation of Microbes Using Ultrasound”, International Journals Food Microbiology, 87, 207-216.

Plusquellec A (1995) “Eggs and Egg Products”, Microbiological Control for Foods and Agricultural Products, Editors: Bourgeois CM ve Leveau, JY, VCH Publ., UK.

Polivka L, Fendrich E and Skarka B (2002) “Influence of Ozone on Properties of Jams”, Czech Journal Food Science, 20 (3): 113-115.

Rahman SM (2007) Handbook of Food Preservation, Second Edition, CRC Press., London.

Rakıcıoğlu N (2013) Yumurta ve Sağlıklı Beslenme, <http://www.yum-bir.org/UserFiles/File/yumurta.pdf> , 9 Kasım 2015.

Restaino L, Frampton EW, Hemphill JB and Palnikar P (1995) “Efficacy of Ozonated Water Against Various Food-Related Microorganisms”, Applied and Environmental Microbiology, 61(9): 3471-3475.

Rhoades JR, Duffy G and Koutsoumanis K (2009) “Prevalence and Concentration of Verocytotoxigenic *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in The Beef Production Chain: A review”, Food Microbiology, 26: 357–376.

Rice RG, Robson CM, Miller GW and Hill AG (1981) "Uses of Ozone in Drinking Water Treatment", Journal of the American Water Works Association, 73(1): 44-57.

Roberts RT (1993) "High Intensity Ultrasonics in Food Processing", Chemical Industry, 15: 119-121.

Roche SM, Kerouanton A, Minet J, Le Monnier A, Brisabois A and Velge P (2009) "Prevalence of Low-virulence *Listeria monocytogenes* Strains From Different Foods and Environments", International Journal of Food Microbiology, 130: 151-155.

Rodriguez-Romo LA and Yousef AE (2005) "Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on Shell Eggs by Ozone and UV Radiation", Journal Food Protection, 68(4):711-717.

Sanz B, Palacios P, López P and Ordóñez JA (1985) "Effect of Ultrasonic Waves on the Heat Resistance of *Bacillus stearothermophilus* Spores", In Fundamental and Applied Aspects of Bacterial Spores, 251-259, Editors: Dring GJ, Ellar DJ, Gould GW, Academic Press, New York.

Sert D, Uygun A, Torlak E and Mercan E (2013) "Effect of Ultrasonic Treatment on Reduction of *Escherichia coli* ATCC 25922 and Egg Quality Parameters in Experimentally Contaminated Hens' Shell Eggs", Journal of the Science of Food and Agriculture, 93: 2973-2978.

Soljour G, Assanta MA, Messier S and Boulianne M (2004) "Efficacy of Egg Cleaning Compounds on Eggshells Contaminated with *Salmonella enterica* serovar Enteritidis", Journal Food Protection, 67(4):706-712.

Suffet IH, Anselme C and Mallevialle J (1986) "Removal of Tastes and Odors by Ozonation" AWWA Seminar on Ozonation: Recent Advances and Research Needs, 1986, Denver, CO.

Şenköylü N ve Meriç C (1989) "Yaz Sıcaklarında Ticari Yumurtacı Hibrit Rasyonlarına Vitamin C ve Dikalsiyum Fosfat İlavesinin Yumurta Verimi ve Kalitesi Üzerine Etkileri", Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 4: 1-2.

Tabatabaie F and Mortazavi A (2008) "Studying the Effects of Ultrasound Shock on Cell Wall Permeability and Survival of some LAB in Milk", World Applied Sciences Journal, 3(1): 119-121.

Tavman Ş, Kumcuoğlu S ve Akkaya Z (2009) "Bitkisel Ürünlerin Atıklarından Antioksidan Maddelerin Ultrason Destekli Ekstraksiyonu", Gıda Dergisi, 34(3): 175-182.

Tayar M ve Yıbar A (2013) Hayatın Kaynağı Yumurta, <http://www.yum-bir.org/UserFiles/File/kitapcik-2013-yeni.pdf>, 9 Kasım 2015.

Tekinşen OC (1980) "Yumurta", Tavukçular Derneği Yayınları, 1, Ankara.

Ulusoy HB, Colak H and Hampikyan H (2007) “The Use of Ultrasonic Waves in Food Technology”, Research Journal of Biological Sciences, 2: 491-497.

Uysal EE (2008) “Ozon Üretimi ve Gıda Endüstrisinde Uygulamaları”, Dünya Gıda Dergisi, 2010,2: 62-63.

Vercet A, Burgos J, Crelier S and Lopez P (2001) “Inactivation of Proteases and Lipases by Ultrason”, Innovative Food Science Emerging Technology, 2: 139-150.

Vercet A, Lopez P and Burgos J (1997) “Inactivation of Heat Resistant Lipase and Protease from *Pseudomonas fluorescens* by Manothermosonication”, Journal of Dairy Research, 80: 29-36.

Vercet A, Sanchez C, Burgos J, Montanes L and Lopez Buesa P (2002) “The Effects of Manothermosonication on Tomato Pectic Enzymes and Tomato Paste Rheological Properties”, Journal of Food Engineering, 53: 273–278.

Wang H and Slavik MF (1998) “Bacterial Penetration into Eggs Washed with Various Chemicals and Stored at Different Temperatures and Times”, Journal Food Protection, 61(3): 276-279.

Wojtowicz JA (1996) Ozone, In Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, 953-944, Wiley-Interscience, New York.

Wu H, Hulbert GJ and Mount JR (2001) “Effects of Ultrasound on Milk Homogenization and Fermentation with Yogurt Starter”, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 1: 211-218.

Xu L (1999) “Use of Ozone to Improve the Safety of Fresh Fruits and Vegetables”, Food Technology, 53(10):58-63.

Yalçın S, Yalçın S, Şehu A ve Sarıfakıoğulları K (2000) “Yumurta Tavuğu Rasyonlarında Laktik Asit Kullanımının Bazı Yumurta Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi”, International Animal Nutrition Congress 2000, Bildiriler Kitabı Proceeding 4-6 September 2000, Isparta.

Yurtoğulları Ş (2011) Kabuk Renginin Bazı Yumurta Kalite ve Kuluçka Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yüceer M ve Caner C (2015) “Ozon Uygulamasının Taze Yumurtanın Mikrobiyel Kalitesi Üzerine Depolama Süresince Etkisinin Belirlenmesi”, Gıda Dergisi, 41(1),Baskıya Hazır Makaleler, doi: 10.15237/gida.GD15040.

Zeidler G (2002) “Processing and Packaging Shell Eggs”, Commercial Chicken Meat and Egg Production, Editors: Bell DD ve Weaver WD, Kluwer Academic Publishers.

Zorba NN (2011) Gıda Mikrobiyolojisi: Gıda Kaynaklı İnvaziv Enfeksiyonlar, 3. Baskı, Editör: Osman Erkmen, Efil Yayınevi, Ankara.



EKLER

7. EKLER

EK A Açıklama

Ek A.1 Duyusal Analiz Anket Formu

DUYUSAL ANALİZ ANKET FORMU	
Size sunulan yumurta örnekleri tüketim için uygun farklı dezenfeksiyon yöntemleri ile proses edilen yumurtalardan hazırlanmıştır. Örnekleri dış görünümlerine göre değerlendirdikten sonra lütfen size verilen örneği tüketiniz. Örnekler arasında değerlendirme yaparken bir önceki örnekten gelen tat-aromayı uzaklaştırmak için krakerden tüketip su içiniz. Teşekkürler ☺	
RENK	
SARI	
(271)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(529)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(346)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(703)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(648)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(957)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(132)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
AK	
(271)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(529)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(346)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(703)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(648)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(957)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
(132)	Çok Açık () Açık () Normal () Koyu () Çok Koyu ()
KOKU	
(271)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(529)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(346)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(703)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(648)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(957)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()
(132)	Keskin Anormal Koku () Anormal Koku () Normal Koku () Hoş Koku () Çok Hoş Koku ()

TAT-AROMA

- (271) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(529) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(346) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(703) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(648) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(957) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(132) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()

TEKSTÜR

- (271) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(529) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(346) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(703) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(648) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(957) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()
(132) Çok Yumuşak () Yumuşak () Normal () Sert () Çok Sert ()

AĞIZDA BIRAKTIĞI HİS

- (271) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(529) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(346) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(703) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(648) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(957) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()
(132) Çok Kötü () Kötü () Normal () İyi () Çok İyi ()

Ek A.3 Violet Red Bile Agar (VRBA) Besiyeri Bileşimi

Merck 1.01406	
Peptone From Meat	7.0 g/L
Yeast Extract	3.0 g/L
Lactose	10.0 g/L
NaCl	5 g/L
Ox Bile (Bile Salt Mixture)	1.5 g/L
Neutral Red	0.03 g/L
Crystal Violet	0.002 g/L
Agar-agar	13.0 g/L

Ek A.4 Plate Count Agar (PCA) Besiyeri Bileşimi

Merck 1.05463	
Peptone From Casein	5.0 g/L
Yeast Extract	2.5 g/L
D(+) Glucose	1.0 g/L
Agar-agar	14.0 g/L

Ek A.5 Potato Dextrose Agar (PDA) Besiyeri Bileşimi

Merck 1.10130	
Potato Infusion	4.0 g/L
D(+) Glucose	20.0 g/L
Agar-agar	15.0 g/L

Ek A.6 Sorbitol-MacConkey Agar (SMAC) Besiyeri Bileşimi

Merck 1.09207	
Peptone	20.0 g/L
NaCl	5.0 g/L
Bile Salts No 3	1.5 g/L
Sorbitol	10.0 g/L
Crystal violet	0.001 g/L
Neutral Red	0.03 g/L
Agar-agar	15.0 g/L

Ek A.7 Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD) Besiyeri Bileşimi

Merck 1.05287	
Yeast Extract	3.0 g/L
NaCl	5.0 g/L
D(+) Xylose	3.75 g/L
Lactose	7.5 g/L
Sucrose	7.5 g/L
L(+) lysine	5.0 g/L
Sodium deoxycholate	1.0 g/L
Sodium thiosulfate	6.8 g/L
Ammonium iron (III) citrate	0.8 g/L
Phenol red	0.08 g/L
Agar-agar	14.5 g/L

Ek A.8 Oxford Listeria Selective Agar Bileşimi

Merck 1.07004	
Peptone	23.0 g/L
Starch	1.0 g/L
NaCl	5.0 g/L
Agar-agar	13.0 g/L
Esculin	1.0 g/L
Ammonium iron (III) citrate	0.5 g/L
Lithium chloride	15.0 g/L

Ek A.9 Listeria Enrichment Broth (LEB) Supplement Bileşimi

Merck 1.11781	
HCl	5.0 mg
Cycloheximide	25.0 mg
Nalidixic asit	20.0 mg
Agar-agar	13.0 g/L
Esculin	1.0 g/L
Ammonium iron (III) citrate	0.5 g/L
Lithium chloride	15.0 g/L

Ek A.10 Selenite Cystine Broth Bileşimi

Merck 1.07709	
Peptone from casein	5.0 g/L
L(-) cystine	0.01 g/L
Laktoz	4.0 g/L
Phosphate buffer	10.0 g/L
Sodium hydrogen selenite	4.0 g/L

Ek A.11 Tryptic Soy Broth (TSB) Bileşimi

Merck 1.05459	
Peptone from casein	17.0 g/L
Peptone from soymeal	3.0 g/L
D(+) Glucose	2.5 g/L
NaCl	5.0 g/L
K₂HPO₄	2.5 g/L

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selin ÖZBAKIR

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara-Altındağ, 06.02.1990

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : ozbakir.selin@gmail.com

İletişim Adresi : Batı Sitesi Mahallesi Yıldırım Pazar Sitesi
7/5 Batıkent/Yenimahalle/ANKARA

Yayın Listesi : Özbakır S ve Evrendilek G A (2015)
“Yumurta Yüzeyinin Dezenfeksiyonunda
Alternatif Teknolojilerin Potansiyelinin
Belirlenmesi”, 5. Gıda Güvenliği Kongresi,
7-8 Mayıs 2015, İstanbul.

Ödüller : ---