

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN SOĞUK KOŞULLARDA
TAVUK ETİNDE MİKROBİYAL İNAKTİVASYON İÇİN
KULLANIMI VE ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma AL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2024

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN SOĞUK KOŞULLARDA
TAVUK ETİNDE MİKROBİYAL İNAKTİVASYON İÇİN
KULLANIMI VE ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma AL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Güliz HASKARACA

Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Semanur YILDIZ ÖZDEMİR

TEMMUZ 2024

Fatma AL tarafından hazırlanan “**Ultrases Teknolojisinin Soğuk Koşullarda Tavuk Etinde Mikrobiyal İnaktivasyon İçin Kullanımı ve Ürünün Kalite Özelliklerine Etkisi**” adlı tez çalışması 24.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Zehra AYHAN**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Hasan TEMİZ**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Güliz HASKARACA (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Semanur YILDIZ ÖZDEMİR (Ortak Danışman)**
Sakarya Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Ultrases Teknolojisinin Soğuk Koşullarda Tavuk Etinde Mikrobiyal İnaktivasyon İçin Kullanımı ve Ürünün Kalite Özelliklerine Etkisi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’ de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(06/08/2024)

Fatma AL





Sevdiklerime...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca değerli görüşleri ve önerileriyle bana her konuda yol gösteren, emeğini, ilgisini ve desteğini her daim hissettiren, akademik bilgisi ve tecrübesiyle her zaman yardımcı olan çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Güliz HASKARACA'ya öncelikli olarak teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca her sorumu sabırla cevaplayıp, bilgisini benimle paylaşan ve doğru bir yönlendirme için değerli vaktini ayıran saygıdeğer ortak danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Semanur YILDIZ ÖZDEMİR'e;

Deneysel çalışmalarını yürütmemde laboratuvar olanaklarını kullanmam konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Zehra AYHAN'a ve alt yapı desteği sağlayan SARGEM'e (Araştırma-Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi);

Tez değerlendirme jürimde yer almayı kabul ederek beni onurlandıran, kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile destekleyen Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Prof. Dr. Zehra AYHAN ve Prof. Dr. Abdil ÖZDEMİR'e;

Hayatım boyunca her zaman yanımda olup maddi, manevi desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen babam İlyas AL, annem Selime AL, kız kardeşim Zeynep AL ve erkek kardeşim Yusuf AL'a;

Çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığı'na (Genel Araştırma Projeleri-B-(GAP-B)-Proje No: 2021-9-32-135);

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim süresince bana katkısı olan tüm değerli hocalarıma, sevgili arkadaşlarıma ve biricik aileme;

Tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Fatma AL



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	7
2.1. Ultrases Teknolojisi	7
2.1.1. Ultrasesin tanımı ve sınıflandırılması	7
2.1.2. Ultrases sistemi ve bileşenleri	8
2.1.3. Ultrases dalgalarının oluşumu ve kavitasyon mekanizması	10
2.1.4. Ultrases kavitasyon oluşumuna etki eden parametreler	11
2.1.4.1. Frekans	11
2.1.4.2. Genlik	11
2.1.4.3. Ultrases şiddeti	11
2.1.4.4. Viskozite	12
2.1.4.5. Basınç	12
2.1.4.6. Sıcaklık.....	12
2.1.5. Ultrases teknolojisinin mikroorganizmalar üzerine etkisi.....	12
2.1.6. Gıda sanayiinde ultrases teknolojisinin kullanılması.....	14
2.1.7. Ultrases teknolojisinin avantajları ve dezavantajları.....	16
2.1.7.1. Avantajları.....	16
2.1.7.2. Dezavantajları	17
2.2. Ultrases Teknolojisinin Et ve Et Ürünlerinde Uygulamaları	17
2.2.1. Ultrases teknolojisinin tavuk etinin fizikokimyasal özelliklerine etkisi .	18
2.2.2. Ultrases teknolojisinin tavuk etinin mikrobiyal özellikleri üzerine etkisi	22
2.3. Tavuk Eti	28
2.3.1. Tavuk eti ve özellikleri.....	28
2.3.2. Tavuk eti ve mikrobiyal kontaminasyon.....	30
2.3.2.1. Salmonella spp.	30
2.3.2.2. E. coli	32
2.3.3. Kanatlı kesim aşamaları	32
2.4. Kanatlı Kesimhanesi Soğutma Aşamasında Kullanılan Dekontaminasyon Yöntemleri.....	35
2.4.1. Kanatlı dekontaminasyonunda klor ve klorlu bileşiklerin kullanılması .	37
2.4.1.1. Sodyum hipoklorid.....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM	45

3.1. Materyal	45
3.2. Mikroorganizma İnokulasyonunun Hazırlanması ve Tavuk Etlerinin İnokulasyonu	45
3.3. Ultrases Ön İşlem Koşullarının Belirlenmesi	46
3.3.1. Sıcaklık değişimi ve enerji hesaplamaları	48
3.4. Uygun Ultrases Koşullarının Belirlenmesi	49
3.5. Mikrobiyolojik Analizler	52
3.5.1. Mikrobiyolojik analizler için dilüsyon hazırlama	52
3.5.2. <i>Salmonella</i> Typhimurium sayımı	52
3.5.3. <i>Escherichia coli</i> sayımı	52
3.6. Fiziksel Analizler	53
3.6.1. Renk analizi	53
3.6.2. Tekstür profil analizi (TPA)	53
3.7. Kimyasal Analizler	54
3.7.1. pH Analizi	54
3.7.2. Nem analizi	54
3.7.3. TBARS analizi	55
3.7.4. Su bağlama kapasitesi (SBK) analizi	56
3.8. İstatistiksel Analizler	56
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	57
4.1. Ultrases Ön İşlem Koşulları Belirlenmesinin Sonuçları	57
4.2. Sıcaklık Değişimi ve Enerji Hesaplama Sonuçları	61
4.3. <i>S. Typhimurium</i> ve <i>E. coli</i> İnaktivasyonu İçin Uygun Ultrases Koşullarının Belirlenmesi	64
4.3.1. %40 genlikte uygulanan ultrasesin <i>S. Typhimurium</i> ve <i>E. coli</i> inaktivasyonuna etkisi	65
4.3.2. %80 genlikte uygulanan ultrasesin <i>S. Typhimurium</i> ve <i>E. coli</i> inaktivasyonuna etkisi	72
4.4. Ultrases Uygulanan Tavuk Göğüs Etlerinde Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları	86
4.4.1. Fiziksel analizler	86
4.4.1.1. Renk analiz sonuçları	86
4.4.1.2. Tekstür profil analizi (TPA) sonuçları	90
4.4.2. Kimyasal analizler	93
4.4.2.1. pH analiz sonuçları	93
4.4.2.2. Nem analiz sonuçları	94
4.4.2.3. TBARS analizi sonuçları	96
4.4.2.4. Su bağlama kapasitesi (SBK) analiz sonuçları	99
5. SONUÇLAR	103
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	125

KISALTMALAR

BESD-BİR	: Beyaz Et Sanayicileri ve Damızlıkçıları Birliği
BHI	: Brain Heart Infusion Broth
CI	: Klor
CIO₂	: Klor dioksit
EFSA	: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
GHP	: İyi Hijyen Uygulamaları
GMP	: İyi Üretim Uygulamaları
H⁺	: Hidrojen iyonu
H₂O₂	: Hidrojen peroksit
HACCP	: Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları
HOCl	: Hipokloröz asit
NaCl	: Sodyum Klorür
NaClO	: Sodyum Hipoklorit
OCl⁻	: Hipoklorit iyonu
OH⁻	: Hidroksil radikali
PAW	: Plazma aktive edilmiş su
SAEW	: Hafif asidik elektrolize su
TBA	: Thiobarbitürik asit
TBARS	: Tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri
TCA	: Triklor asetik asit
TSP	: Trisodyum Fosfat



SİMGELER

Hz	: Hertz
KHz	: kilohertz
ml	: Sıvı ölçü birimi [mililitre]
g	: Kütle birimi [gram]
ΔE	: Toplam renk değişimi
ml	: Sıvı ölçü birimi [mililitre]
mg	: Kütle birimi [miligram]
g	: Kütle birimi [gram]
m²	: Alan ölçü birimi [metrekare]
cm²	: Alan ölçü birimi [santimetrekare]
kob	: Koloni oluşturan birim
μg	: Kütle birimi [mikrogram]
dk	: Zaman birimi [dakika]
L	: Sıvı ölçü birimi [litre]
°C	: Sıcaklık birimi [santigrat derece]
cm	: Uzunluk ölçü birimi [santimetre]
mm	: Uzunluk ölçü birimi [milimetre]
s	: Zaman birimi [saniye]
rpm	: Dakikadaki dönüş sayısı
W	: Güç birimi [watt]
J	: Enerji birimi [joule]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Gıda Endüstrisinde Ultrases Teknolojisinin Kullanım Alanları ve Avantajları	15
Tablo 2.2. Ultrases Teknolojisinin Tavuk Etinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri	21
Tablo 2.3. Tavuk eti yıkama suyu dezenfeksiyonunda ultrases ve kombine ultrases uygulamasının mikroorganizmaların azaltılmasında kullanımı.	27
Tablo 2.4. Klor ve bileşenlerinin avantaj ve dezavantajları.	39
Tablo 3.1. Ultrases Koşullarının Optimizasyonunda Kullanılan Ön Deneme Planı .	47
Tablo 4.1. %40 ve %80 genlikte tavuk göğüs etine uygulanan ultrasesin farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlardaki sıcaklık ve enerji değerleri.	62
Tablo 4.2. %40 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin <i>Salmonella</i> Typhimurium ve <i>Escherichia coli</i> sayıları.	66
Tablo 4.3. %40 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin <i>Salmonella</i> Typhimurium ve <i>Escherichia coli</i> sayılarındaki logaritmik azalma.	69
Tablo 4.4. %80 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin <i>Salmonella</i> Typhimurium ve <i>Escherichia coli</i> sayıları.	73
Tablo 4.5. %80 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin <i>Salmonella</i> Typhimurium ve <i>Escherichia coli</i> sayılarındaki logaritmik azalma.	76
Tablo 4.6. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin renk değerleri.....	87
Tablo 4.7. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin TPA değerleri.....	90
Tablo 4.8. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin pH değerleri.....	93
Tablo 4.9. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin nem içeriği (%).	94
Tablo 4.10. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin TBARS miktarları.	96
Tablo 4.11. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin su bağlama kapasitesi değerleri.	99



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Ses frekans aralıkları	7
Şekil 2.2. Ultrases cihazının şematik gösterimi.	9
Şekil 2.3. Kavitasyon kabarcıklarının oluşumu ve patlaması	10
Şekil 2.4. 2000-2022 yılları arasında Türkiye’de piliç eti üretimi (Ton) (BESD-BİR, 2022).....	29
Şekil 2.5. 2000-2022 yılları arasında Türkiye’de kişi başına kanatlı eti tüketimi (kg) (BESD-BİR, 2022).	29
Şekil 2.6. NaClO kimyasal yapısı.....	40
Şekil 3.1. Ultrasonik Ses Dalgası Cihazı.	47
Şekil 3.2. Ultrases uygulama sırasında termometre aracılığıyla sıcaklık ölçümü.	48
Şekil 3.3. Deneysel Süreç Uygulama Aşamaları.	51
Şekil 3.4. XLT4 Agar besiyerinde <i>Salmonella</i> Typhimurium tipik kolonilerin görüntüsü.	52
Şekil 3.5. MacConkey Agar besiyerinde <i>E. coli</i> tipik kolonilerin görüntüsü.	53
Şekil 3.6. Tekstür analiz cihazı (TA.XT Plus).	54
Şekil 4.1. %40 ve %80 genlik, farklı saf su miktarlarında ultrases ön deneme verilerinin zamana bağlı sıcaklık değişimi.	59
Şekil 4.2. %40 ve %80 genlikte ultrases ön deneme uygulama sonrası tavuk göğüs eti örnekleri.	60
Şekil 4.3. %40 genlik değerinde tavuk göğüs etine uygulanan ultrases uygulama süresince sodyum hipoklorit yıkama suyunda meydana gelen sıcaklık değişimi.	63
Şekil 4.4. %80 genlik değerlerinde tavuk göğüs etine uygulanan ultrases uygulama süresince sodyum hipoklorit yıkama suyunda meydana gelen sıcaklık değişimi.	64
Şekil 4.5. %40 genlikte ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının <i>E. coli</i> inaktivasyonuna etkisi.	71
Şekil 4.6. %40 genlikte ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının <i>Salmonella</i> Typhimurium inaktivasyonuna etkisi.	71
Şekil 4.7. %80 genlikte ultrases uygulamasının <i>E. coli</i> inaktivasyon kurveleri.	77
Şekil 4.8. %80 genlikte ultrases uygulamasının <i>S. Typhimurium</i> inaktivasyon kurveleri.	77
Şekil 4.9. <i>E. coli</i> inaktivasyonunda ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanması sonucu logaritmik azalma.	78
Şekil 4.10. <i>S. Typhimurium</i> inaktivasyonunda ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanması sonucu logaritmik azalma.	78
Şekil 4.11. <i>S. Typhimurium</i> ve <i>E. coli</i> mikroorganizmalarına karşı ultrases ve sodyum hipoklorit uygulamalarının etki mekanizması.	80
Şekil 4.12. Uygun koşullardaki <i>E. coli</i> ve <i>S. Typhimurium</i> ’un logaritmik azalmaları.	83

Şekil 4.13. Uygun koşullardaki ultrases uygulamaları sonrası tavuk göğüs eti görselleri.....	83
---	----



ULTRASES TEKNOLOJİSİNİN SOĞUK KOŞULLARDA TAVUK ETİNDE MİKROBİYAL İNAKTİVASYON İÇİN KULLANIMI VE ÜRÜNÜN KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, ısııl gıda işleme teknolojilerine alternatif ısııl olmayan bir yöntem olan çevre dostu ultrases teknolojisinin kanatlı etinin soğutma aşamasında uygulanmasının *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* mikroorganizmalarının inaktive edilmesi üzerine etkileri incelenmiştir. Ek olarak, kanatlı üretim prosesinde dekontaminasyon amacıyla kullanılan sodyum hipoklorit kullanımının azaltılabilirliğinin ortaya konması amacıyla sodyum hipoklorit kullanımının ultrases teknolojisiyle birlikte sinerjistik etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, soğutma aşamasında tavuk etlerine uygulanan ultrases teknolojisinin tavuk etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametreleri üzerine etkisi incelenmiştir.

Kanatlı kesimhanesinde gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalardan olan *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* bakterilerinin inaktivasyonunu değerlendirmek amacıyla, 20 kHz frekansta 750 W güçte çalışan ultrases cihazında %40 ve %80 genlik değerlerinde, %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit içeren soğutma (yıkama) suyu konsantrasyonlarında 1, 2, 3 ve 5 dakika uygulama sürelerinde hem ultrasesin hem de sodyum hipoklorit kimyasalının ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının etkileri incelenmiş ve en az 1 log kob/g mikroorganizma inaktivasyonu sağlayan parametreler uygun koşul olarak belirlenmiştir. %80 genlik değerindeki ultrases uygulamasında; %0 sodyum hipoklorit kimyasalında 5 dakika, %2 sodyum hipoklorit kimyasalında 3 dakika ve %5 sodyum hipoklorit kimyasalında 1 dakika süre içeren uygulama koşulları *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* mikroorganizma türlerinin uygun inaktivasyon koşulları olarak tespit edilmiştir. Çalışmada hem sodyum hipoklorit konsantrasyonu hem de ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte mikroorganizma inaktivasyon etkisinde artış tespit edilmiştir. Ek olarak, farklı uygulama koşullarındaki mikroorganizma inaktivasyon verileri karşılaştırıldığında *Salmonella* Typhimurium bakterisinin *Escherichia coli*'ye oranla daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Uygun koşullarda gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına göre, taze tavuk göğüs etleri ile karşılaştırıldığında ultrases uygulaması ile tavuk etinin sarı renginde bir miktar açılma (beyazımsı maviye dönme) tespit edilmiş olup uygulama süresinin artmasıyla birlikte rengin daha fazla açıldığı gözlenmiştir ($p<0,05$). Ayrıca kontrol grubundaki ultrases uygulanmayan tavuk göğüs etlerinin renk L^* ve a^* değerleri, tekstürleri (sertlik, yapışkanlık, esneklik ve çiğnenebilirlik özellikleri), pH'ları, TBARS miktarları ve su bağlama kapasiteleri belirlenen uygun koşullardaki ultrases uygulamalarıyla kıyaslandığında aradaki farklılıklar istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Tavuk göğüs etlerinin nem miktarının ise ultrases uygulama süresinin artması ile önemli oranda arttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Sonuç olarak, sodyum hipoklorit içermeyen soğutma suyunda ultrases uygulamasının tek başına etkisinin düşük olduğu ancak, ultrases ve sodyum hipoklorit kimyasalının birlikte uygulanmasının mikroorganizmaların inaktivasyonunda daha yüksek etkisinin

olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak ultrases uygulamasının tavuk göğüs etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, kanatlı üretim tesislerinde soğutma aşamasında gıda güvenliğini artırmak için yenilikçi bir yaklaşım olarak ultrases teknolojisinin etkili bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ultrases Teknolojisi, Sodyum Hipoklorit, *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli*, Gıda Güvenliği.



USE OF ULTRASOUND TECHNOLOGY FOR THE INACTIVATION OF MICROORGANISM IN CHICKEN MEAT UNDER COLD CONDITIONS AND ITS EFFECT ON QUALITY CHARACTERISTICS OF THE PRODUCT

SUMMARY

This thesis evaluated the effectiveness of combining ultrasound technology with sodium hypochlorite in the chilling process of poultry meat to inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* microorganisms. Additionally, the impact of ultrasound technology on the physical and chemical properties of poultry meat was investigated.

Pre-trial experiments were conducted to determine the optimal ultrasound processing conditions for chicken breast meat. These trials involved both continuous and pulse mode conditions with amplitudes of 40% and 80%, using 250, 300, and 400 ml of washing (cooling) water. Pulse-mode ultrasound application resulted in the deterioration of the textural structure of the chicken breast meat, leading to the selection of continuous mode ultrasound for further experiments.

During pre-trials, the temperature rise of distilled water was measured using a thermometer after applying the ultrasound test parameters. Temperature-time curves were obtained and analyzed for linear correlation. A highly linear correlation ($R^2 = 0.9394$) was observed between the temperature-time parameters when ultrasound was applied continuously at 80% amplitude in 300 ml of pure water. Based on these pre-trial results, ultrasound was set at amplitudes of 40% and 80% for 0, 1, 2, 3, and 5 minutes, with a circulation temperature of 4°C, an initial washing water temperature (sodium hypochlorite) between 8 and 10°C, and a cooling tank volume of 300 ml.

Temperature control was observed throughout the ultrasonic application, and the overall temperature increase of the wash (cooling) water was controlled. At the end of the 5-minute sonication time, maximum temperature values of 8.77 ± 0.37 °C and 20.57 ± 0.76 °C were measured for amplitudes of 40% and 80%, respectively. The increase in temperature is due to the collapse of cavitation bubbles occurring within the device and mechanical energy transmitted through the device.

When ultrasound was applied to chicken breast meat at amplitudes of 40% and 80%, it was found that 38.14 and 96.45 W ultrasound power were required, respectively. In addition, the ultrasonic energy density was calculated at 40% and 80% amplitudes, resulting in a density requirement of 13.46 and 34.03 W/cm², respectively. The application of ultrasound at 40% amplitude was not sufficient to achieve microbial inactivation of at least 1 log KOB/g due to insufficient power and density values. As a result, it was found that an increase in amplitude was associated with increased temperature values at different sodium hypochlorite concentrations (0%, 2%, and 5% NaClO), accompanied by an increase in ultrasound power and intensity data.

The study included ultrasound treatments at concentrations of 0%, 2%, and 5% sodium hypochlorite (NaClO) for amplitudes of 40% and 80% at different time periods (0, 1, 2, 3, and 5 min). The inactivation effect of this process was studied. The study not only

examined the applications of NaClO and ultrasonication individually but also investigated the synergistic impact of ultrasonication combined with NaClO chemicals.

At 40% ultrasound amplitude with 0% NaClO, a low inactivation effect on *S. Typhimurium* and *E. coli* microorganisms was observed. After 5 minutes of application, ultrasound combined with 2% NaClO washing water reduced *S. Typhimurium* and *E. coli* counts by 0.97 and -0.06 log kob/g, respectively. Using 5% NaClO for 5 minutes, the counts decreased by 1.41 and 1.55 log kob/g, respectively. Overall, ultrasound at 40% amplitude with different NaClO concentrations and durations was insufficient to achieve a approximately 1 log kob/g microbial inactivation for both microorganisms ($p > 0.05$). Consequently, the research focused on an amplitude value of 80%.

At 80% ultrasound amplitude, a gradual microbial reduction was observed over 2, 3, and 5 minutes with 0% NaClO washing water, but 1 log kob/g microbial inactivation was not achieved ($p > 0.05$). *S. Typhimurium* and *E. coli* counts were reduced by 0.17 and 0.54 log kob/g, respectively, after 5 minutes. The study concluded that ultrasound alone at 0% NaClO is insufficient for inactivating *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli*. However, increasing the washing water usage time (1, 2, 3, and 5 minutes), particularly at 2% and 5% NaClO concentrations, significantly enhanced microbial inactivation ($p < 0.05$).

For ultrasound applications with 2% NaClO, *E. coli* and *S. Typhimurium* counts decreased by 1.06 and 0.56 log after 2 minutes, and by 2.12 and 1.49 log after 5 minutes. Using 5% NaClO resulted in significant reductions of 1.21 and 1.01 log after 1 minute, and 2.29 and 1.55 log after 5 minutes for *E. coli* and *S. Typhimurium*, respectively.

The combination of ultrasound and NaClO exhibited a synergistic effect on microorganism inactivation while minimal microbial inactivation with only NaClO at different concentrations and times was found. Ultrasound cavitation disrupts microbial cells, allowing more NaClO solution to enter and enhance the bactericidal effect.

Poultry slaughterhouses must limit *S. Typhimurium* and *E. coli* counts in carcasses entering the chilling phase to no more than 1 log kob/g. The optimal conditions for ultrasound inactivation were identified as 80% amplitude ultrasound combined with 0% NaClO for 5 minutes, 2% NaClO for 3 minutes, and 5% NaClO for 1 minute. Under these conditions, significant microbial reductions were achieved. The inactivation values for *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli* microorganisms are as follows: in the washing water containing 0% NaClO, a reduction of 0.17 and 0.54 log KOB/g in 5 minutes was achieved. However, at 2% NaClO concentration, an application for 3 minutes resulted in reductions of 1.32 and 1.26 log KOB/g, and at 5% NaClO concentration with an application for 1 minute resulted in reductions of 0.88 and 1.10 log KOB/g, respectively.

S. Typhimurium was found to be more resistant against ultrasounds compared to *E. coli*. The study highlighted that combining ultrasound with sodium hypochlorite resulted in higher microbial reduction rates than either treatment alone.

The effect of ultrasound on the physical and chemical properties of chicken breast meat was also evaluated. Changes in quality parameters after ultrasonic application were investigated through various analyses, such as color analysis, texture profile analysis (TPA), pH analysis, TBARS analysis, and water holding capacity analysis. The impact

of ultrasonication on color values revealed a minimal increase in the b^* value, indicating a shift towards a whitish-blue color. The chicken breast samples did not show a significant difference in the L^* and a^* values of the color ($p > 0.05$). In addition, the optimal parameters resulted in a significant difference in total color change (ΔE), with more color variation observed compared to the control chicken breast without ultrasound. The application of ultrasound under optimal parameters has been found to increase pH in the sample compared to the sample without ultrasound. Under optimal conditions, ultrasound applied to chicken breast samples slightly increased the moisture content values compared to the control (without ultrasound) sample. The application of ultrasonication did not significantly impact the textural (hardness, adhesiveness, elasticity, chewiness, and elasticity) properties of chicken breast meat compared to the control sample. When analyzing the TBARS data, there was no significant difference compared to the control chicken breast samples. In addition, when evaluating the effect of ultrasound on water holding capacity, it was found that for ultrasonic applications with optimum parameters, there is an increase in water holding capacity as the concentration increases, but this difference was not considered significant ($p > 0.05$).

In conclusion, ultrasonic technology combined with sodium hypochlorite (NaClO) is an effective method for the inactivation of *Salmonella* Typhimurium and *Escherichia coli* bacteria species in the chilling process of poultry systems. It was also found that the application of ultrasound did not have any negative effects on the physical and chemical quality parameters of chicken breast meat, and that it had the potential for integration into poultry facilities. The application of ultrasonic technology in poultry facilities not only provides a promising solution for producers and consumers, but is also an important and effective means of contributing to food safety. In addition, this technology offers an environmentally friendly and sustainable alternative to thermal treatments.

Keywords: Ultrasound Technology, Sodium Hypochlorite, *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli*, Food Safety.



1. GİRİŞ

Dünya genelinde kanatlı et üretiminin büyük bir kısmını tavuk eti üretimi oluşturmaktadır (Yeni ve Dağdemir, 2023). Tavuk etleri yüksek protein, doymamış yağ asitleri ve B grubu vitamin içeriği ile insan beslenmesinde oldukça önemli bir hayvansal protein kaynağıdır. Besinsel içeriğinin yanı sıra tavuk etlerinin kırmızı etlere göre daha düşük fiyatlı olması, kolay çiğnenebilmesi ve sindirilebilir olması, sevilen lezzeti gibi nedenler de insanlar tarafından sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır. Tüm bunlara ek olarak, tavuk eti ve tavuk etlerinden hazırlanan yemeklerin hızlı bir şekilde hazırlanabilen gıdalar olması nedeniyle restoranlarda, hamburger veya döner gibi hızlı yiyecek servisi sunan mekanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, tavuk etleri gerek protein içeriği ve uygun pH'ları gerekse de üretim ve işleme prosesleri gereği patojen mikroorganizmaların ve bozulma etmeni mikroorganizmaların bulaşması ve gelişimi için oldukça elverişli bir ortama sahiptir. Tavuk eti yüksek besin içeriğinin yanında, yüksek su aktivitesi değeri (0,98-0,99) ve nötre yakın pH'ı nedeniyle mikroorganizmaların gelişmesi için uygun ortam sunmaktadır. Dolayısı ile çeşitli nedenlerle ürüne bulaşan mikroorganizmalar kolaylıkla gelişerek ürün kayıplarına ve tüketici zehirlenmelerine neden olabilir. Bu nedenle, tavuk etlerinin mikrobiyal güvenliği üreticiler, satıcılar ve tüketicileri açısından son derece kritik bir öneme sahiptir (Yıldırım ve ark., 2015).

Endüstriyel kanatlı et ve ürünlerini işleme koşulları göz önüne alındığında etlerin pek çok noktada mikroorganizmalar ile kontamine hale gelebileceği bilinmektedir. Bu nedenle, kanatlı etlerinin işleme süreci, arzu edilen kalite özelliklerini elde etmek ve farklı işleme aşamalarındaki istenmeyen mikroorganizmaların gelişimini önlemek veya en aza indirmek için sürekli bir mücadele gerektirir. Kanatlı et ve et ürünlerinin hijyenik ve sağlıklı üretimi için verilen bu mücadelenin sadece işleme hattında yapılan iyileştirmeleri değil, üretim adımlarının tamamında et üzerindeki mikroorganizmaların mikrobiyal yapışmasını önlemeyi, fiziksel olarak uzaklaştırılmasını ve yok etmesini de içermesi gerekmektedir (Turantaş ve ark., 2015).

Salmonella spp. ve *Escherichia coli* (*E. coli*) bakterileri patojen bakteriler olup, kanatlı endüstrisinde prosesler sırasında ürünleri en çok kontamine eden, üretimde çok ciddi bir şekilde kontrol edilmesi gereken bakterilerin başında gelir. Kesim öncesi çeşitli şekillerde canlı hayvan üzerinde bulunabilen patojen özellikteki bu bakteriler kesimhane proseslerinden yıkama, tüy yolma, iç organların çıkartılması ve soğutma gibi farklı aşamalarda kanatlı karkaslarını kontamine ederek çok ciddi gıda güvenliği ve halk sağlığı sorunlarına neden olabilirler (Lee ve ark., 2014; Northcutt ve ark., 2007). Kanatlı etlerinin gerekli gıda güvenliği standartlarına uyabilmesi için kanatlı hayvan işleme tesislerinde çok sayıda mikrobiyolojik müdahale yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler genellikle karkas yıkayıcılarda, fırçalarda, spreylere, daldırma tankları içerisine veya iç dış karkas yıkayıcılar içerisinde uygulanan çeşitli antimikrobiyal madde uygulama yöntemlerini içermektedir (Northcutt ve ark., 2007).

Gıda endüstrisinde üstün kaliteli, sağlıklı ve güvenilir ürünler elde etmek amacıyla, mikroorganizma kontaminasyonunun kaynaklarını ortadan kaldırmak veya minimize etmek büyük öneme sahiptir. Mikroorganizmaların yol açtığı gıda bozulmalarını, gıda kaynaklı enfeksiyon ve zehirlenme risklerini azaltmak için, işletmelerdeki GMP (İyi Üretim Uygulamaları) standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilen temizlik ve dezenfeksiyon işlemleri önemli bir rol oynamaktadır. İşletmelerdeki dezenfeksiyon ve temizlik uygulamalarının doğru yapılması ve düzenli aralıklarla gerçekleştirilmesi, gıda ürününün mikroorganizma kalitesi ve güvenliği üzerinde ciddi şekilde etkisi bulunmaktadır (Şener ve Temiz, 2004).

Kanatlı endüstrisinde dekontaminasyon işlemleri geleneksel olarak, fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu geleneksel dekontaminasyon yöntemleri: hayvanların temizlenmesi, kesim aşamasında kimyasalla tüylerin giderilmesi, antimikrobiyal içeren sular ile karkasların yıkanması, bazı antimikrobiyal maddelerle ve düşük sıcaklık uygulamaları ile püskürtme veya basınçlı su yardımıyla durulama işlemi veya bu yöntemlerin kombinasyon işlemleri yer almaktadır (Hugas ve Tsigarida, 2008; Koutmanis ve ark., 2004; Thakur ve ark., 2000). Kanatlı kesimhaneleri için uygun bir dekontaminasyon yönteminin tavuk etlerinin görüntüsünde, kokusunda, tadında veya besin değerlerinde bir değişiklik meydana getirmemesi; tavuk eti yüzeyinde kalıntı bırakmaması; korozyon olmaması, çevre zarar vermemesi; kanunen ve tüketici kullanımına uygun olması; ucuz ve uygulamasının kolay olması ve bunlara ek olarak bozulmaya sebep olan

mikroorganizmalar ile patojen bakterilerin etkisiz hale getirilmesini sağlayarak raf ömrü üzerinde iyileştirici etkiye sahip olması gibi bazı özelliklere sahip olması gerekir (Dinçer ve Baysal, 2004). Günümüzde kullanılan birçok dekontaminasyon tekniği, üründeki patojen mikroorganizmaları tamamen ortadan kaldırmak yerine, başlangıçtaki mikroorganizma türüne ve kontaminasyon büyüklüğüne bağlı olarak mikroorganizma yükünün göreceli olarak azaltılmasına yöneliktir (Hugas ve Tsigarida, 2008; Koutmanis ve ark., 2004; Thakur ve ark., 2000).

Karkasların kimyasal dekontaminasyonunda en yaygın kullanılan antimikrobiyal maddelerden bazıları; klor, klor dioksit, asitlendirilmiş sodyum klorür, trisodyum fosfat, ozon, setilpiridinyum klorür ve perasetik asit gibi kimyasallardır (Hugas ve Tsigarida, 2008). Bu kimyasal maddeler, mikroorganizmaları inhibe ederek veya inaktivasyonunu sağlayarak gıdaların güvenliğini ve raf ömrünü arttırmada kullanılmaktadır (Hugas ve Tsigarida, 2008; Oyarzabal ve ark., 2004; Oyarzabal ve ark., 2005). Kimyasal maddelerin genel olarak insan sağlığı ve ekolojik açıdan tehlike veya tehdit oluşturma riski, organik madde varlığında antimikrobiyal aktivitenin azalması ve özel işlem, depolama ve nakliye gerektirmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Loretz ve ark., 2010). Bu nedenlerle kimyasal maddelerin dekontaminasyon amaçla kullanılması son derece kontrollü olmalıdır.

Klor ve klorlu bileşikler, kanatlı endüstrisinde gerek geniş spektrumlu etki alanları gerekse de uygun fiyatlı olmaları nedeniyle çok yaygın olarak kullanılan dezenfektanlardandır. Ancak bu bileşiklerin kullanımının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Örneğin; klor ve klor bileşikler yıkama/soğutma sularındaki organik maddeler ile tepkimeye girerek trihalometanlar, kloraminler, haloetonlar, kloropikrinler ve haloasetik asitler gibi toksik yan ürünlerin oluşturmaya neden olarak zararlı olabilirler (Şener ve Temiz, 2004; Turantaş ve ark., 2015). Diğer yandan bu bileşiklerin gereğinden fazla kullanılması hem toksik madde oluşum riskini artırır hem de kullanılan yüzeylerde korozyon etki oluşturarak işlemede kullanılan alet ekipmanın yüzeylerini aşındırır. Bu nedenle Avrupa’da klor ve klorlu bileşiklerin kullanımı giderek yasaklanmakta ve klorlu bileşiklerin dekontaminasyon ve dezenfeksiyon adımlarından uzaklaştırılması hedeflenmektedir (Turantaş ve ark., 2015).

Diğer yandan günümüzde tüketicilerin gıdalarda kullanılan kimyasal ve antimikrobiyal maddelerle ilgili bilinç düzeyleri ve sağlık endişeleri oldukça artmıştır.

Bu durum karşısında gıda endüstrisi sağlıklı, güvenilir, yüksek kaliteli, besleyici ve uzun raf ömrüne sahip doğal gıda ürünlerine olan tüketici taleplerini karşılamak için önemli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Bir yandan, tüketicilerin bilinçlenmesi gıda endüstrisinin daha güvenilir ve çevre dostu uygulamalara yönelmesine teşvik edici bir etken olurken, diğer yandan, evrensel üretimde sürdürülebilirlik ve çevre korunumu ile ilgili konuların önem kazanması kimyasal kullanılmadan üretim yapılmasını (green production/yeşil üretim) zorunlu tutan bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır (Feng ve Yang, 2011; Winter ve Davis, 2006). Dolayısıyla tüm endüstriyel alanlarda olduğu gibi gıda endüstrisinde de insan ve çevre sağlığı odaklı sürdürülebilir entegre stratejiler geliştirmek için alternatif ve yenilikçi gıda koruma teknolojilerine yönelinmiştir. Bu doğrultuda, gıda endüstrisi, sağlıklı, güvenilir ve yüksek kaliteli gıdaların geliştirilmesi için sürekli olarak araştırma yapmakta ve raf ömrünü uzatmak, gıdalarda bozulmaya neden olan ve patojen mikroorganizmaların gelişimini engellemek için sağlık ve çevre dostu yenilikçi yöntemlere odaklanmaktadır. Bu noktada, daha güvenli ve çevre dostu olan kimyasal kullanımına ve ısıl işlemlere alternatif, ısıl olmayan dekontaminasyon tekniklerinin araştırılması ve uygulanması, gıda endüstrisinde güvenilir ve sürdürülebilir üretim için önemli bir adımdır. Bu noktada alternatif, ısıl olmayan teknolojilerden biri olan ultrases teknolojisi yenilikçi ve çevre dostu bir teknoloji olarak gıda endüstrisinde de kendine kullanım alanı bulmuştur.

Gıda endüstrisinde, ultrases teknolojisi karıştırma ve harmanlama işlemi, olgunlaştırma süreçlerini hızlandırılması, katı ve sıvı yağların emülsifiye edilmesi, düşük viskoziteye sahip ürünlerin pastörizasyonu ve sterilizasyonu gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Betts ve Williams, 2014). Ultrases teknolojinin temel mikrobiyal inaktivasyon mekanizması kavitasyon kabul edilmektedir. Ultrases uygulamaları sırasında gıdalara genellikle yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı (20-100 kHz) ses dalgaları gönderilir. Gönderilen ses dalgaları gıda içerisinde yüksek basınç, kayma, sıcaklık gradyanı, bölgesel ısınma ve serbest radikaller oluşumuna neden olur. Bu sırada meydana gelen kavitasyon etkisiyle hücre zarı ve yapı bileşenleri zarar görür, oluşan serbest radikaller DNA'yı tahrip ederek hücre ölümüne yol açar (Chen ve ark., 2012; Leadley ve Williams, 2006; Piyasena ve ark., 2003; Tiwari ve Mason, 2011). Artan sıcaklık ve basınç koşullarında ortaya çıkan OH^{*} (hidroksil) ve H^{*} radikalleri ile hidrojen peroksit (H₂O₂), mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etki sağlar. Ancak,

ultrases uygulamalarının tek başına mikroorganizmaları ve enzimleri etkisiz hale getirmede etkin ve yeterli bir sonuç verebilmesi için yüksek yoğunluklu ve uzun süreli olarak uygulanması gerekir. Fakat yüksek yoğunluklu ve uzun süreli olarak uygulanan ultrases dalgaları gıda ürünleri üzerinde fiziksel, kimyasal ve duyusal kalite kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, ultrases işleminin basınç, ısı veya düşük dozsa kimyasal madde kullanımı gibi diğer yöntemler ile birlikte kullanılması önerilmektedir (Betts ve Williams, 2014).

Bu tez çalışmasının temel amacı, ultrases uygulamasının kanatlı sektöründe sıklıkla sorun yaratan, halk sağlığını ve gıda güvenliğini önemli oranda tehlikeye sokabilen patojenlerden *Salmonella* Typhimurium ve *E. coli*'nin soğuk koşullarda inaktivasyonu üzerine etkisinin araştırılması ve ultrases prosesinin kanatlı kesimhane süreçlerine entegrasyonunun değerlendirilmesidir. Diğer yandan, mevcut şartlarda dekontaminasyon için kullanılan klor miktarı ile elde edilen hijyenik şartların, klor ve ultrases uygulaması ile birlikte uygulanarak daha düşük klor konsantrasyonunda daha yüksek etki ile elde edilebileceği düşünülmektedir. Bu amaçla ultrases teknolojisi yardımı ile kanatlı işletmelerinde kanatlı soğutma suyuna katılan klor miktarının azaltılabilirliğinin veya klorsuz üretimin yapılabilirliğinin incelenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, soğuk koşullarda tavuk etlerine uygulanan ultrases teknolojisinin tavuk etinin fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerine etkilerinin ortaya konması da amaçlanmıştır.



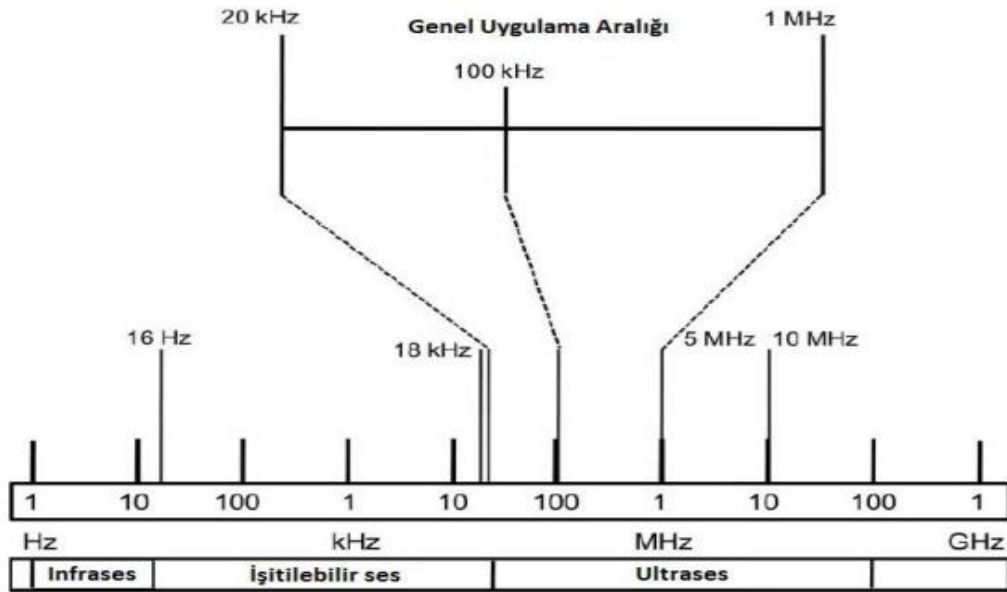
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1. Ultrases Teknolojisi

2.1.1. Ultrasesin tanımı ve sınıflandırılması

Ses, denge içerisinde bulunan taneciklerin titreşimsel hareketleriyle meydana gelir. Ses tanecikleri aynı hızda ileri ve geri yönde hareket etmektedirler. Taneciklerin titreşim döngüsüne ses periyodu ve ses dalgalarının saniyede yaptığı devir sayısı ise ses frekansı olarak adlandırılmaktadır. Periyot bir tam döngünün tamamlanması için gerekli olan zamandır ve sesin bir periyot içinde katettiği mesafeye ise dalga boyu denilmektedir. Ses frekans birimi Hertz'dir (Kantaş, 2007).

İnsan kulağı tarafından duyulabilir ses frekans aralığı 16 Hz ile 20 kHz arasındadır. Duyulabilen ses frekansının altındaki seslere infrases (1 Hz – 16 Hz), duyulabilen ses frekansının üstündeki sesler ise ultrases (20 kHz- yaklaşık 1 GHz) olarak isimlendirilmektedir (Basañcelebi, 2017). Ses frekans aralıkları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ses frekans aralıkları (Rastogi, 2011).

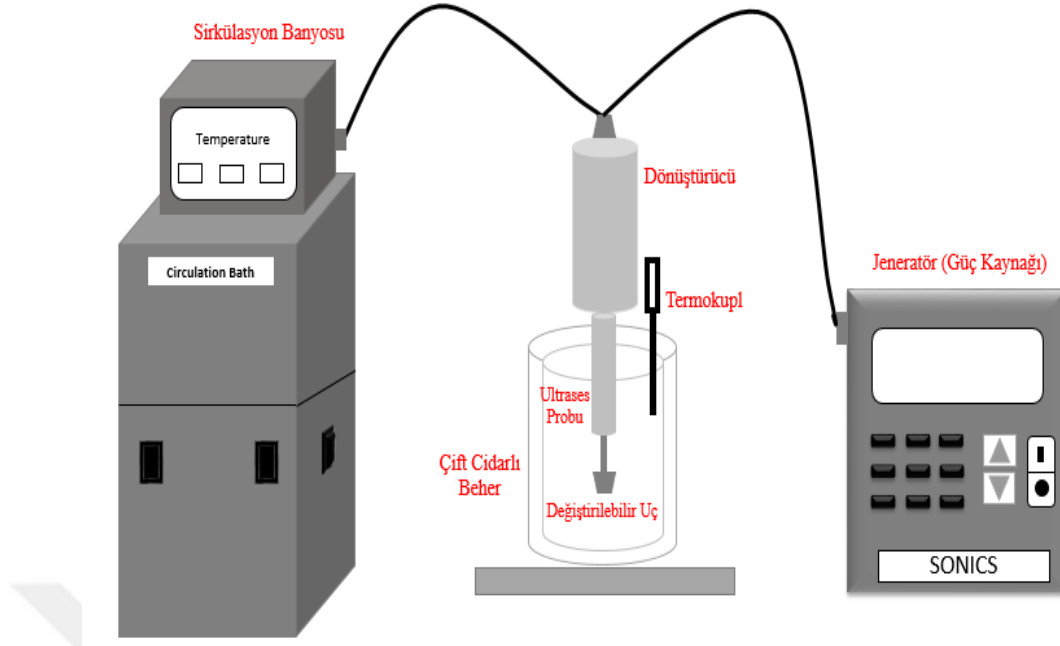
Ultrases teknolojisinin gıda proseslerinde uygulanması temelde “düşük yoğunluklu ve yüksek frekanslı” ve “yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı” olmak üzere 2

kategoriye ayrılmaktadır. Düşük yoğunluklu ve yüksek frekanslı ultrases; gıdaların bileşimi, yapısı ve durumu gibi fizikokimyasal özellikleri hakkında bilgi sağlamaya yardımcı olan uygulamaya sahiptir. Ortam içerisinden geçen ses dalgaları materyalde önemli fiziksel ve kimyasal fark yaratmamaktadır. Düşük yoğunluklu yüksek frekanslı ultrases uygulamasının yoğunluğu 1 W/cm^2 'nin altında ve frekansı 100 kHz'nin üzerindedir (Ashokkumar ve Mason, 2007; Demirdöven ve Baysal, 2008).

Yüksek yoğunluklu ve düşük frekanslı ultrases uygulamaları ise gıdaların fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde değişikliklere sebep olmaktadır (Carcel ve ark., 2007). Yüksek yoğunluklu düşük frekanslı ultrases 10 W/cm^2 'nin üzerindeki enerji yoğunluğunda ve 20-100 kHz frekans aralıklarında uygulanmaktadır (Ashokkumar ve Mason, 2007). Yüksek yoğunluklu ultrases işleminin temel prensibi kavitasyon oluşumuna dayanmaktadır (Kurt, 2013).

2.1.2. Ultrases sistemi ve bileşenleri

Ultrases sistemini meydana getiren temel unsurlar jeneratör, dönüştürücü ve iletici kısımdır (Mason, 1998; Türkmen, 2012). Alternatif akımı dönüştürücünün kullanabileceği şekilde yüksek frekanslı alternatif akıma çevirme işlemi jeneratör aracılığıyla sağlanmaktadır. Yüksek frekansa sahip elektrik akımını mekanik titreşimlere dönüştürücü çevirmektedir. Oluşturulan mekanik titreşimler, iletici kısım aracılığıyla ultrases işleminin uygulanacağı ortam içerisine aktarılmaktadır (Türkmen, 2012). Ultrasonik ses dalgası cihazının şematik gösterimi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



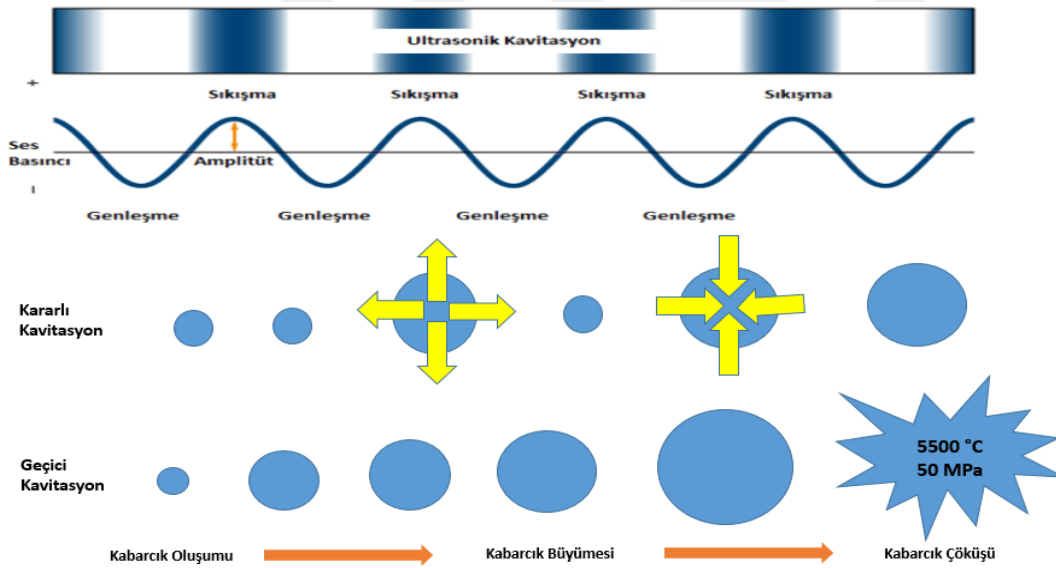
Şekil 2.2. Ultrases cihazının şematik gösterimi.

Ultrases teknolojisinin gıda prosesleri üzerinde uygulanmasında gerekli enerjiyi sağlayan ana unsur ultrasonik dönüştürücülerdir. Sıvı zorlamalı, manyetostriktif ve piezoelektrik yapıda olmak üzere 3 farklı türde dönüştürücü bulunmaktadır (Leadley ve Williams, 2006; Mason, 1998;). Ultrases teknolojisinde en çok tercih edilen dönüştürücüler, genellikle piezoelektrik dönüştürücülerdir (Moussatov ve ark., 2005).

Ultrases proseslerinde, çeşitli ultrases cihazları tercih edilebilir ancak genellikle en yaygın olarak ultrasonik banyo ve ultrasonik prob sistemleri kullanılmaktadır (Mason, 1998). Ultrasonik banyo sistemleri basit ve problu sistemlere oranla daha az maliyetlidir. Ultrasonik banyo sistemlerinde dönüştürücü tankın altına yerleştirilmiştir. Ultrasonik banyoların büyük bir kısmı yaklaşık 40 kHz frekans da ve genellikle $1-5 \text{ W/cm}^2$ gibi düşük güç yoğunluğunda kullanılmaktadırlar (Mason, 1998; Santos ve Capelo, 2007). Banyo sistemleri kimyasal tepkimelerin tekrarlanma sürecinin az olması ve aktarılan enerji yoğunluğunun düşük olması sebebiyle gıda işleme proseslerinde daha az kullanılır (Wen ve ark., 2018). Bir diğer yöntem ise ultrasonik probalar ile uygulanmasıdır. Ultrasonik banyolarla kıyaslandığında daha yüksek ultrases yoğunluğu üretebilmektedirler. Sistem içerisine uygulanan gücün yoğunluğu problemlerin çapına bağlı olarak değişmektedir ve ultrases uygulanabilecek örnek hacmi prob çapına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Genellikle aşınmaya dayanıklı titanyum gibi maddelerden prob üretimi yapılmaktadır (Mason, 1998).

2.1.3. Ultrases dalgalarının oluşumu ve kavitasyon mekanizması

Genel olarak ultrases, 20 kHz veya daha yüksek frekanslara sahip akustik basınç dalgalarını ifade etmektedir (Madhu ve ark., 2019). Ultrases teknolojisi akışkanlığı yüksek ortamlarda oluşan yüksek kavitasyona bağlı olarak düşük akışkanlığa sahip ortamlara göre daha etkilidir. Sonikasyon işlemi sırasında sonik dalga sıvı bir ortamla karşılaştığında boylamsal dalgalar oluşturur ve bu şekilde sıkıştırma ve genişleme bölgeleri oluşturulur (Sala ve ark., 1995). İlk olarak sıvı içerisinde bulunan moleküllerde sıkışma meydana gelir ve moleküller birbirine gittikçe yaklaşır daha sonra genişleme olayı ile moleküller birbirinden gittikçe uzaklaşır. Bu şekilde moleküller arasında bir çekim meydana gelir ve basınç bölgelerinde değişiklik gözlemlenir (Yüksel, 2013). Değişen basınç bölgeleri kavitasyona sebep olur ve ortamda gaz kabarcıkları meydana gelmektedir (Piyasena ve ark., 2003). Gaz kabarcıkları, çevreleyen sıvının hareket etmesine neden olacak şekilde boyut ve şekil olarak yayılır; bu da katı bir yüzeyin yakınında kesme kuvvetlerine neden olmaktadır. Şekil 2.3’de kavitasyon kabarcıklarının oluşumu ve patlaması aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kavitasyon kabarcıklarının oluşumu ve patlaması (Hilphy ve ark., 2020’den uyarlanmıştır).

Kavitasyon olayının geçici ve kararlı kavitasyon olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır;

- Kararlı kavitasyon; sıvı ortamda küçük kabarcıkların üretilmesine sebep olan ultrases dalgalarının salınımları nedeniyle oluşur. Sonik dalga ortamdaki geçerken kabarcıkların titreşmesine neden olarak güçlü akımlar oluşturur.

Diğer küçük kabarcıklar sonik alana çekilir ve mikro akımlar oluşturur. Mikro akış olarak bilinen bu etki, hücrelerin yüzeyine sürtünen ve kabarcıkların herhangi bir şekilde çökmesine sebep olmadan kırılmalarına ve parçalanmalarına neden olan önemli bir kuvvet sağlar. Bu kesme kuvveti, mikrobiyal hücrelerin bozulmasına yol açan etki modlarından biridir. Hücre zarı üzerinde üretilen basınçlar, hücrenin yapısını bozar ve hücre duvarının parçalanmasına neden olur (Betts ve ark., 2014).

- Geçici kaviteasyon ise kabarcıklar patlayabilecekleri noktaya kadar büyüme meydana gelir ve yüksek akustik basınçta şiddetli bir şekilde çöker (Mason ve ark., 2005). Kabarcık çökmesi sonucu ortamda yüksek sıcaklıklar (5500 °C) ve yüksek basınç (100 MPa'ya kadar) üretir (Hilphy ve ark., 2020). Bu şok dalgalarının dışa doğru yayılmasına yol açar ve anlık çevre içinde şiddetli patlamalara neden olur. Bu mikro işlemler, polimer zincirini kırar ve biyolojik dokuların hücre duvarlarını bozar. Su moleküllerinin parçalanmasını ve serbest reaktif oksijen ve hidroksil radikallerine ayrılmasını sağlar (Riesz ve Kondo, 1992).

2.1.4. Ultrases kaviteasyon oluşumuna etki eden parametreler

2.1.4.1. Frekans

Ultrases frekansı önemli bir parametredir ve kabarcık boyutunu etkilemektedir. 20 kHz gibi düşük frekanslarda kabarcıkların boyutu büyüktür ve çöktükleri zaman daha yüksek enerji üretirler. Yüksek frekans uygulamalarında ise kabarcıkların meydana gelmesi daha zor hale gelir ve 2,5 MHz'in üzerindeki frekanslarda kaviteasyon etkisi gözlemlenmez (Betts ve ark., 2014).

2.1.4.2. Genlik

Ultrases dalgasının genliği kaviteasyon olayının yoğunluğunu etkilemektedir. Yüksek bir yoğunluk isteniyorsa genlik değeri de artacaktır ve daha yüksek şiddetli kabarcık patlamaları meydana gelir (Adewuyi, 2001; Betts ve ark., 2014).

2.1.4.3. Ultrases şiddeti

Kaviteasyon olayının meydana gelmesi için eşik şiddeti değerinin aşılması gerekmektedir. Ultrases uygulanan gıdanın özelliklerine ve frekans değerine bağlı olarak eşik şiddeti değişir. Ultrases şiddet değeri arttırıldığında kabarcık sayısı da artmaktadır. Ultrases şiddetinin artmasıyla kabarcık sayısının artması her zaman

olumlu sonuç meydana getirmez. Kabarcıklar artmasıyla birbiriyle etkileşime girmek istemekte ve bu durum kavitasyonun oluşumuna geç sebep olmakta ve kavitasyon meydana gelme süresini uzatmaktadır (Başlar, 2011).

2.1.4.4. Viskozite

Kavitasyon kabarcıkları viskozitesi yüksek bir ortamda daha zor oluşur. Sıcaklığın artmasıyla viskozite düşer ve kabarcıkların daha şiddetli çökme olayı gerçekleşir (Madhu ve ark., 2019).

2.1.4.5. Basınç

Dışarıdan uygulanan yüksek basıncın artırılması kavitasyon eşik değerini arttırmakta ve kavitasyon kabarcıkları azalmaktadır. Dış basıncın artırılması, kabarcıkların çökmesi esnasındaki kabarcıkların içindeki basıncı artırır ve hızlı fakat daha şiddetli bir şekilde çökme gözlemlenir (Madhu ve ark., 2019).

2.1.4.6. Sıcaklık

Sıcaklık sıvı bir ortamın buhar basıncını, yüzey gerilimini ve viskozitesini etkiler. Sıcaklık arttıkça kavitasyon kabarcıkları daha hızlı gelişir ancak çökmenin yoğunluğu azalmaktadır. Bu durumun gerilme mukavemetindeki bir azalma ile dengelenen buhar basıncındaki bir artıştan kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Böylece kavitasyonun daha az yoğun hale gelmesine ve dolayısıyla sıcaklık arttıkça daha az etkili olmasına sebep olur (Betts ve ark., 2014; Madhu ve ark., 2019).

2.1.5. Ultrases teknolojisinin mikroorganizmalar üzerine etkisi

Gıdaların üretim proseslerinde en önemli noktalardan biri ürünlerin insan sağlığını riske atmayacak şekilde, güvenilir olarak üretilmesidir. Ürünlerin raf ömrü süresince bozulmadan tüketiciye aktarılabilmesi amacıyla hammadde içerisinde bulunan mikroorganizmaların etkin bir şekilde kontrolü gerekmektedir (Yüksel, 2013). Gıda ürünlerinde mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlanabilmesi amacıyla kullanılan geleneksel yöntemler; pastörizasyon ve sterilizasyondur. Bu yöntemlerde uygulanan ısı işlemlerle mikroorganizmalar ve sporları öldürür ancak uygulanan yöntemlerin etkinliği uygulama sıcaklığına ve süresine bağlıdır. Bununla birlikte ısı işlemin büyüklüğü (proses süresi ve sıcaklığı) gıda ürünlerindeki besin maddelerinin azalmasına, istenmeyen tat ve kokuların gelişmesine ve fonksiyonel özelliklerin bozulmasına neden olabilmektedir (Dolatowski ve ark., 2007).

Gıda kalitesi üzerinde olumsuz bir etki oluşturmeyen alternatif (ısıl olmayan) gıda işleme yöntemleri, minimum düzeyde işlenmiş gıdalara yönelik artan tüketici talebi nedeniyle son yıllarda önemli hale gelmiştir. Ultrases teknolojisi gıdalarda bulunan mikroorganizmaları inaktive etmesi yönüyle gıda üretiminde alternatif ısıl olmayan teknoloji olarak değerlendirilmektedir (Alarcon Rojo ve ark., 2015). Ultrases uygulamalarında mikroorganizma inaktivasyon mekanizmasıyla ilgili farklı varsayımlar bulunmasıyla birlikte kavitasyon mekanizması temel etken olarak kabul edilmektedir (bakınız Bölüm 2.1.3). Buna göre, ultrasesin mikroorganizma inaktivasyon etkisinin genellikle hücre membranında meydana gelen hasar, bölgesel (yerel) ısınma ve serbest radikal oluşumu sonucunda gerçekleştiği düşünülmektedir (Leadley ve ark., 2006; Piyasena ve ark., 2003; Tiwari ve Mason, 2012).

Kavitasyon mekanizması ile oluşan şoklar; hücre içerisinde yeni gözenekler açarak ve hücre bileşenlerine zarar vererek bakterilere karşı öldürücü (bakterisidal) etki göstermektedir. Kavitasyonun yoğunluğu zayıf şekilde bağlı ATPaz'ı hücre zarından giderilmesine yardımcı olmakta ve bu durum mikroorganizmaların inaktive edilmesinin farklı bir mekanizması olarak görülmektedir. Ultrasesin etki mekanizmaları arasında bulunan kimyasal etki mikroorganizma inaktivasyonunda önemlidir. Ultrases işleminde ortamda oluşan yüksek sıcaklık ve basınç sonucu $OH^{\bullet}$, $H^{\bullet}$ ve H_2O_2 serbest radikalleri oluşur ve bu serbest radikaller bakterisidal özelliğe sahiptirler. Oluşan serbest radikallerin ilk hedefledikleri bölge bakteri hücre yapısındaki DNA molekülüdür (Leadley ve ark., 2006; Piyasena ve ark., 2003; Tiwari ve Mason, 2012). Hücre içerisinde oluşan $OH^{\bullet}$, $H^{\bullet}$ ve $H_2O_2^{\bullet}$ serbest radikallerinin oluşumu hücre içerisindeki amino asitlerin (tirozin, fenilalanin, triptofan, histidin, metiyonin ve sistein) oksidasyonuna ve spesifik fonksiyonların inhibisyonuna neden olur (Labas ve ark., 2008). Ayrıca serbest radikaller zincirleme reaksiyonlara ve dolayısıyla lipid oksidasyonuna sebep olur. Bu reaksiyonlar bakteri zarı akışkanlığını, geçirgenliğini ve bozulmasını etkiler; ayrıca serbest radikaller hücre içi boşluğa ulaştığı zaman hücre içi bileşenlere zarar vermesi sonucu hücre çöker (Rahman ve ark., 2010).

Ultrases işlemine tüm mikroorganizmalar aynı şekilde tepki göstermemektedir. Ultrases işleminde mikroorganizma inaktivasyonu etkinliğini belirleyen faktörler şunlardır (Piyasena ve ark., 2003);

- Ultrases dalgası genliği
- Ultrases uygulama temas süresi
- Ultrases uygulanan gıdanın hacmi
- Gıdanın bileşimi
- Ultrases işlemi sıcaklığı

Mikroorganizmaların ultrases işlemine gösterdikleri direnç yukarıda belirtilen faktörlerin etkinliğine ek olarak mikroorganizmaların tipi, şekli veya çapına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Heinz ve ark., 2001). Genel olarak büyük hücreli mikroorganizmaların ultrasese daha duyarlı olduğu belirtilmiştir. Bu durumun sebebi daha büyük yapıları hücrelerin kavitasyon sırasında ortaya çıkan yüksek basınca maruz kalması ve sonikasyon etkisine karşı artan yüzey alanına sahip olmalarıdır.

Gram pozitif bakteriler, gram negatif bakterilere göre ultrases işlemine karşı daha dirençlidir. Bu durum gram pozitif bakterilerin yapısında sıkıca bağlı peptidoglikan tabakasıyla daha kalın hücre duvarına sahip olmasından kaynaklı olduğu öne sürülmüştür. Mikroorganizma hücresinin şekli açısından bakıldığında hücre yüzeyi ve hacmi arasındaki ilişki sebebiyle kokoid hücreler basillerden daha dirençlidir. *Bacillus* ve *Clostridium* spp. gibi spor oluşturan bakterilerin sonikasyona vejetatif bakterilere kıyasla daha dirençli olduğu bilinmektedir ve ısıya dirençli bakteriler benzer şekilde ultrases işlemine de dirençlidir (Betts ve ark., 2014; Drakopoulou ve ark., 2009; Manas ve ark., 2000).

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için ultrases uygulaması genellikle tek başına yeterli gelmezken ısı ve basınç uygulaması gibi farklı kombinasyonlar ile etkisi arttırılabilmektedir. Bu uygulamalar; thermosonikasyon (MT) (ısıl işlem ile birleştirilmiş ses dalgası), monosonikasyon (yüksek basınç ile birleştirilmiş ses dalgası) ve monothermosonikasyon (MTS) (hem ısı hem de yüksek basınç ile birleştirilmiş ses dalgası) sistemlerini içermektedir (Dolatowski ve ark., 2007; Güleç ve ark., 2006). Ultrases işleminin ısı ve basınç ile birlikte kullanılmasıyla yapılan çalışmalar sonucunda mikroorganizmalar üzerinde daha etkili bir inaktivasyon sağladığı tespit edilmiştir (Piyasena ve ark., 2003).

2.1.6. Gıda sanayiinde ultrases teknolojisinin kullanılması

Ultrases teknolojisinin gıdalarda; çeşitli gıdalara uygulanabilmesi, maliyetinin düşük olması, gıdaların raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olması, minimum işlenmiş gıda üretimine olanak tanınması, gıda kalitesinin yükselmesine olanak tanınması, gıda işleme

etkinliğinin ve verimliliğinin yükseltilebilmesine olanak tanınması ve güvenilir gıdalar üretebilmek amacıyla geleneksel tekniklere alternatif olarak kullanılabilmesi yönleriyle son yıllarda kullanımı artmıştır (Wang ve Weller, 2006; Huang ve ark., 2017).

Gıda endüstrisinde ultrases uygulamaları; kristalizasyon, emülsifikasyon, karıştırma ve homojenizasyon, tenderizasyon, köpük giderme (defoaming), gaz giderme (degassing), hava alma (deaeration), enzimatik aktivite, farklı gıda proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinin modifikasyonu, gıda ürünlerinin raf ömrü ve kalitesinin artırılması, enzimlerin ve mikroorganizmaların inaktivasyonunda, dondurma, yumuşatma, marinasyon, çözündürme, filtrasyon, kurutma ve konsantre etme, tatlandırıcıların ekstraksiyonu, kalıptan çıkarma ve ekstrüzyon, kesme, pişirme, eritme ve çözündürme, marine etme, pastörizasyon ve sterilizasyon,, gıda işleme ekipmanlarının temizlenmesi ve dezenfeksiyonu gibi geleneksel gıda işleme yöntemlerine alternatif hızlı, güvenilir ve ucuz alternatif uygulama olarak kullanılabilmektedir (Chemat ve Khan, 2011; Turantaş ve ark., 2015; Yüksel, 2013).

Ultrases teknolojisinin gıda endüstrisinde kullanımı alanları ve sağladığı bazı avantajlar Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Gıda Endüstrisinde Ultrases Teknolojisinin Kullanım Alanları ve Avantajları (Chemat ve Khan., 2011, Betts ve ark., 2014).

UYGULAMA	AVANTAJLARI
Kristalizasyon	Yağ ve şekerlerin kristalleşme oranını ve homojenliğini artırır.
Pişirme	Sıcaklığın homojen dağılması, kısa sürede ısı transferi ve duyu kalitenin iyileştirilmesini sağlar.
Kurutma	Sıcak havanın uygulanmasıyla homojen sıcaklık dağılımı, kurutma verimliliğinde artış, düşük kurutma sıcaklığı ve duyu kalitenin iyileştirilmesini sağlar.
Konserveleme, marinasyon	Ürün stabilitesinde ve kütle geçişinde meydana gelen artış, işlem süresinin kısalmasını sağlar.
Filtrasyon	Akış hızının iyileştirilmesini sağlar.
Emülsifikasyon	Kısa zaman, emülsifikasyon stabilitesinde artış, maliyetin azaltılmasını sağlar.
Kesme	Kesilmesi daha zor ürünlerin (çok yumuşak, sert veya kırılgan) daha az fireyle, daha hijyenik ve yüksek hızlarda kesilmesini sağlar.
Ekstraksiyon	Ekstraksiyon etkinliğinin ve hızının artırılmasını sağlar.
Mikroorganizma İnaktivasyonu	Sıcaklık ve basınç kombinasyonu ile düşük sıcaklıklarda ve kısa sürede mikroorganizma inhibisyonu sağlar.
Enzim İnaktivasyonu	Düşük sıcaklıklarda enzimlerin inaktivasyonu sağlar.

Tablo 2.1.(Devamı) Gıda Endüstrisinde Ultrases Teknolojisinin Kullanım Alanları ve Avantajları (Chemat ve Khan., 2011, Betts ve ark., 2014).

Canlı hücrelerin uyarılması	Hücre duvarını bozmadan tüm hücrelerin verimliliğini artırılmasını sağlar. Örneğin; yoğurtta <i>Lactobacillus</i> 'un etkinliğini %50 iyileştirme, tohum çimlenmesini geliştirme ve balık yumurtası oluşumuna yardımcı olur.
Dondurma	Buz kristal boyutlarının kontrolü ve donma süresinin azaltılmasını sağlar.
Gaz arındırma	Fermantasyon sonrası CO ₂ gazının giderilmesini sağlar.
Köpük giderme	Sıvıların pompalanarak doldurulması sırasında meydana gelen köpüğün giderilmesini sağlar.
Viskozite değiştirme	Katı maddelerin kullanımını azaltarak proses özelliklerinin gelişimini sağlar.
Temizleme ve yüzey dekontaminasyonu	Geleneksel temizleme yöntemleriyle kolayca ulaşılamayan yerlerdeki mikroorganizmaları inaktive eder. Örneğin; kesimhane ekipmanlarının ve boru iç yüzeyini etkisiz hale getirir.
Et yumuşatma	Geleneksel yöntemlere alternatif olarak; miyofibriler protein ekstraksiyonuna yardımcı olur.

2.1.7. Ultrases teknolojisinin avantajları ve dezavantajları

2.1.7.1. Avantajları

Ultrases uygulamasının genel olarak birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

- Ultrases halk sağlığı açısından güvenilir ve çevre dostu alternatif ısıtıcı olmayan bir yöntemdir. Bu durum gıda işleme proseslerinde çevresel etkileri minimize etmeye yardımcı olurken uygulamanın güvenilir bir şekilde kullanılması anlamına gelmektedir.
- Ultrases uygulaması daha yüksek içeriğe sahip kaliteli ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Örneğin kristalizasyon, pişirme, kurutma ve diğer işlemlerde ultrases dalgalarının kullanılması ürünün homojenliğini arttırarak ve kalitesini olumlu yönde etkilemektedir.
- Ultrases uygulamasının önemli avantajlarından bir diğeri de işlem maliyetlerinin düşürülmesidir. Ultrases teknolojilerin kullanılması, uygulamanın işlem süresini kısaltır ve enerji verimliliğini arttırması dolayısıyla işletme maliyetlerini düşürmektedir.
- Ultrases teknolojisinin kullanımının kolay olması ve uygulama veriminin yüksek olması gibi pratik avantajları bulunmaktadır. Ayrıca bu teknoloji genellikle taşınabilirdir. Bu durum uygulama verimini arttırmakla birlikte kullanıcı için daha kullanışlı hale getirmektedir.

- Ultrases uygulaması hızlı ve etkili kütle- enerji transferi sağlamaktadır. Ultrases dalgaları işlem süresince malzeme içindeki partiküllerin hareketini hızlandırır ve etkili bir ısı transferi sağlamaya yardımcı olmaktadır.
- Ultrases uygulamaları genellikle düşük sıcaklıkta gerçekleştirmekle birlikte böylece gıdaların aroması, tadı ve tekstürü gibi duyu kalitelerinde minimum kayıplar sağlamaktadır (Demirok, 2019; Madhu ve ark., 2019).

2.1.7.2. Dezavantajları

Ultrases uygulamasının bazı dezavantajları da bulunmaktadır, bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Madhu ve ark., 2019; Režek Jambrak ve ark., 2014).

- Bazı gıda gruplarında ultrases uygulaması oksidasyon süreçlerini tetikleyebilir ve bu ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek serbest radikallerin üretilmesine sebep olmaktadır. Bu durumda oluşan serbest radikaller gıda ürünlerinin tat ve aromalarında bozulmalara sebep olmakla birlikte besin değerinin azalmasına yol açabilmektedir.
- Ultrases teknolojisi için uygun parametre değerlerinin seçilmesi gerekliliği bir diğer dezavantajdır. Ultrasonik işlemler için basınç, sıcaklık, yoğunluk, güç, zaman ve genlik gibi parametreleri en uygun değer olacak şekilde ayarlanması önemlidir. Dolayısı ile her bir gıda ürünü için uygun proses koşullarının ayrıca belirlenmesi gerekmektedir.

2.2. Ultrases Teknolojisinin Et ve Et Ürünlerinde Uygulamaları

Et teknolojisinde ultrases uygulamaları 1950’li yıllarda canlı sığır yağ ve kasları ile ilgili çalışmalarla başlamış olup günümüze kadar uygulamaları devam etmektedir. Son yıllarda yüksek yoğunluklu ultrases teknolojisinin et ve et ürünleri üretiminde uygulandığı ve etkilerinin araştırıldığı pek çok çalışma vardır. Ultrases teknolojisi, et ve et ürünleri üretiminde dondurma, çözündürme, protein ekstraksiyonu, salamura etkinliğinin artırılması, et ürünlerinde tuzun azaltılması, pişirme veriminin artırılması, bakteri inhibisyonu ve tekstürel kalitenin artırılması gibi et kalitesinin iyileştirilmesine yönelik pek çok farklı alanda uygulanabilmektedir (Alarcon Rojo ve ark., 2019; Turantaş ve ark., 2015).

2.2.1. Ultrases teknolojisinin tavuk etinin fizikokimyasal özelliklerine etkisi

Et ve et ürünlerinin kalitesi tat, pH, duyu kalite, aroma, oksidatif stabilite, tekstür ve su bağlama kapasitesi gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir (Abdulai ve ark., 2014; Alarcon Rojo ve ark., 2015). Tüketiciler tarafından et ve et ürünlerinin kalitesini belirleyen en önemli etkenin, lezzet ve ürün tekstürü olduğu kabul edilmektedir (Alarcon Rojo ve ark., 2015). Ultrases teknolojisi; et ve et ürünlerinin olgunlaşma ve marinasyon gibi süreçlerini ve proses sırasında ısı ve kütle transferini hızlandırıcı etkiye sahiptir. Aynı zamanda, pişirme için gerekli olan enerjiyi azaltma, sağladığı antimikrobiyal etki ile raf ömrünü arttırma, emülsifiye edici ürünlerin fonksiyonel özelliklerini iyileştirme, ses dalgalarının oluşturduğu darbe etkisi ile kalıp temizlemeye yardımcı olma ve alet ekipmanların yüzey sterilizasyonunu sağlamaya yardımcı olma gibi çeşitli etkileriyle et ve et ürünleri üretim proseslerinde geleneksel yöntemlere alternatif ısı olmayan, çevre dostu bir teknoloji olarak kullanılabilmektedir (Alarcon Rojo ve ark., 2015).

Marinasyon etin yumuşaklığını, lezzetini ve raf ömrünü iyileştirmek için önemli bir yöntemdir. Marinasyon sırasında uygulanan ultrases kütle transferini hızlandırır ve marine etme süresini kısaltarak et marinasyonunun etkinliğini arttırır. Diğer yandan uygulanan ultrases dalgaları kas hücrelerinin bütünlüğünü bozarak veya enzimatik reaksiyonları hızlandırarak et dokusunun yumuşamasına ve çiğneme kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır (Turantaş ve ark., 2015). Ultrases ile ilgili çalışmalarda et ve et ürünlerinin marine edilmesinde ve yumuşatılmasında dikkat edilmesi gereken temel faktörlerin ultrases şiddeti ve frekansı olduğu belirtilmiştir (Chemat ve ark., 2011). Marine etme ile ilgili çalışmalarda ultrases yoğunluğunun artmasıyla et ve et ürünlerine geçen salamura miktarında artış gözlenmiştir (Carcel ve ark., 2007; Mulet ve ark., 2003). Literatürdeki ultrases teknolojisinin tavuk etinin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmaların özeti bu bölümde incelenmiştir.

Li ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, normal ve PSE tavuk göğüs hamuruna 0, 3 ve 6 dakika süreyle 20 kHz frekans, 750 W güç ve %60 genlikte ultrases uygulamıştır. PSE etlerle oluşturulan hamura uygulanan yüksek yoğunluklu ultrases işleminin hamurun pH'ını, jel yapısını, viskozitesini ve su bağlama kapasitesini arttırarak normal et jellerine benzer özellikler kazandırdığı ifade edilmiştir. Ultrases uygulamasıyla PSE et hamurunun mikro yapısının kompakt bir hal aldığı ve yoğun bir jel ağının olduğu

bildirilmiştir. Ultrases işlemi normal ve PSE hamur örneklerinin parçacık boyutunu küçültmüş ve daha homojen görünüm sağlayarak kalite özelliklerini iyileştirmiştir. Yapılan çalışma PSE benzeri tavuk göğüs eti hamurunun yüksek yoğunluklu ultrases uygulaması ile etin işlevselliğini arttırmak amacıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Li ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda tuz içeren (%1, %1,5 ve %2) hamurlara farklı sürelerde (10, 20,30 ve 40 dakika) 40 kHz frekansta, 300 W güçte uygulanan ultrases işleminin tavuk göğüs etinden üretilen hamurlarının jelleşme özellikleri ve su bağlama kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda tavuk göğüs eti hamuruna 20 dakika süreyle uygulanan ultrases işleminin dokusal özellikleri, jel oluşturma özelliği ve su bağlama kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiği bildirilmiştir. Fakat, 30 ve 40 dakika süreyle uygulanan ultrases işleminin doku ve su bağlama kapasitesi özellikleri üzerine ekstra olumlu etkisi bulunmamıştır. Sonuç olarak 20 dk süreyle uygulanan yüksek yoğunluklu ultrases işleminin, tavuk göğüs eti hamurunun jelleşme özelliklerini iyileştirebilen ve böylece tuz seviyelerinin azaltılmasına olanak tanıyan umut verici bir teknoloji olduğu bildirilmiştir.

Shi ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada 300 günlük tavuklardan elde edilen göğüs etlerine farklı konsantrasyonlarda potasyum aljinat marinasyonu için 300 W güçte 20 kHz frekansta ve 15,6 W/cm² yoğunlukta 5 dakika (kesikli modda-2 dk açık, 3 dk kapalı) süresince ultrases işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda potasyum aljinat ile marine edilmiş 300 günlük tavuk göğüs etinde düşük nem kaybı, kesme kuvveti ve yüksek su bağlama kapasitesi gözlemlenmiştir. Bu sebeple tavuk etinin potasyum aljinat marinasyonu ile ultrases işleminin birleştirilmesinin sinerjistik etkilerle 300 günlük tavuk etinin yumuşatılması amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Flores ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 10 °C’de 10 dakika boyunca tavuk göğüs etlerinin ön soğutulmasında ultrases banyosunda 230 W güçte normal ve darbeli mod 25 ve 130 kHz frekanslarda, 5, 10, 15, 20 ve 30 dakika daldırma boyunca ultrases işlemi uygulanmış ve en uygun çalışma koşulu belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında belirlenen uygun koşullarda; normal çalışma modu ve 130 kHz frekansta 10, 15 ve 20 dakika daldırma boyunca ultrases işleminin su bağlama yüzdesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ön soğutma işlemi her iki aşamada da kızılötesi termografi ile değerlendirilmiş ve ikinci aşamada

su bağlama kapasitesi incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda ultrases işleminin 130 kHz frekansta normal çalışma modunda uygulanması ön soğutma işlemindeki sıcaklık azaltma oranını %20 oranında iyileşmesini sağlamıştır. Ek olarak bu koşullar kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında daha homojen bir soğutma sağlamış ve tavuk göğüslerin su bağlama kapasitesini arttırmıştır.

Xing ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada 20 kHz frekans, 750 W güçte ve %30, %60 ve %90 genlik değerlerinde %1 ve %2 NaCl ile hazırlanan tavuk göğüs (Wooden breast-WB) hamurlarının jelleşme özellikleri üzerindeki ultrases işleminin etkinliği araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yüksek yoğunluklu ultrasesin %1 ve %2 NaCl ile hazırlanan tavuk göğüs ile hamurların normal tavuk göğüs hamurlara göre su bağlama kapasitesini arttırdığı ve daha iyi su bağlama kapasitesi elde ettiği bildirilmiştir. NaCl ile hazırlanan WB tavuk göğüs eti hamurlarının pişme verimini arttırmada olumlu etki göstermiştir. Parçacık boyutundaki ve proteinlerin ikincil yapısındaki değişiklikler ile birlikte yüksek yoğunluklu ultrases işlemi jel kalitesinin artmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak ultrases uygulaması ile düşük kaliteli olarak değerlendirilen tahta göğüs eti (wooden breast) özelliği gösteren tavuk göğüs etlerinin tekrar ekonomiye kazandırılarak üretimde kullanılabilirliğinin arttırabileceği vurgulanmıştır.

Ultrases teknolojisinin tavuk eti fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisiyle ilgili literatürdeki mevcut çalışmalar Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Ultrases Teknolojisinin Tavuk Etinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkileri.

Örnek	Ultrases Parametreleri			Ultrases Uygulama Etkisi	Kaynak
	Frekans	Yoğunluk (W/cm ²) veya Güç (W)	Süre		
Tavuk Göğüs	40 kHz	22 W/cm ²	15 ve 30 dk	Kütle transferi geçişinde artış ve daha yüksek et ağırlığı (su bağlama kapasitesinde artış)	Leal Ramos ve ark. (2011)
Tavuk göğüs ve soya fasulyesi yağı emülsiyonu	20 kHz	450 W	0, 3, 6, 9 ve 12 dk	Daha viskoelastik jel yapısı, su bağlama kapasitesi ve tekstürel yapıda iyileşme, daha homojen ince ağ mikro yapı ve daha düzenli yapı	Zhao ve ark. (2014)
PSE Tavuk Göğüs Eti	20 kHz	750 W (%60 - 450 W)	0, 3 ve 6 dk	Su bağlama kapasitesi, pH, jel direncinde artış, daha sıkı ve yoğun bir ağ yapı görünümü (viskozite ve elastikiyette artış), PSE et kalitesinde artış	Li ve ark. (2014)
Tavuk Göğüs (%1, %1,5 ve %2 NaCl)	40 kHz	300 W	10, 20, 30 ve 40 dk	Uygun koşullar 20 dakika ultrases uygulaması sonrası tavuk göğüs hamuru tekstürel özellikleri, su bağlama kapasitesi ve jel yapısında iyileşme	Li ve ark. (2015)
Tavuk Göğüs Eti, sodyum bikarbonat ile marinasyon	20 kHz	300 W	50 dk	Marinasyon verimliliği, su bağlama kapasitesi ve et yumuşaklığında artış, pişirme kaybında azalma	Xiong ve ark. (2020)
300 günlük tavuk göğüs eti potasyum aljinat ile marinasyon	20 kHz	300 W (15,6 W/cm ²)	5 dk	Su bağlama kapasitesinde ve tavuk göğüs eti yumuşaklığında artış	Shi ve ark. (2020)
Tavuk Göğüs	20 kHz	300 W	10, 20, 40 ve 80 dk	Su bağlama kapasitesinde artış, L* ve b* renk değerlerinde artış, a* renk değerinde azalma, et yumuşaklığında artış	Cao ve ark. (2021)

2.2.2. Ultrases teknolojisinin tavuk etinin mikrobiyal özellikleri üzerine etkisi

Kanatlı etleri yüksek besinsel bileşimi ve yüksek su içeriği ile patojen ve bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların gelişmesi ve çoğalması için gerekli elverişli ortama sahiptir. Diğer yandan kanatlı etleri kesimhane ve üretim prosesleri gereği mikroorganizmalar ile sürekli temas halinde ve kontaminasyona açık haldedirler. Eğer gerekli dekontaminasyon prosedürleri uygulanmaz ise halk sağlığı açısından önemli riskleri bulunan patojen bakteriler (*Campylobacter spp.*, *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* ve *Pseudomonas spp.*) ürün üzerinde hızla gelişerek ciddi sağlık sorunlarına ve ekonomik kayıplara neden olurlar. Bu nedenle çok eski yıllardan beri ürün güvenliğini arttırmak için çeşitli dekontaminasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Geleneksel mikrobiyal inaktivasyon yöntemleri yüksek sıcaklık kullanımlarını içermektedir. Mikrobiyal güvenliğin sağlanması için uygulanan sıcaklıklar gıdaların, özellikle gıdalardaki ısıya duyarlı bileşiklerin, fonksiyonel ve duyuşal özelliklerinde kayıplar meydana getirmektedir (Ercan ve Soysal, 2013). Bu nedenle ürün kalitesinde daha az değişikliğe neden olan aynı zamanda çevre dostu ve sağlık açısından da riskleri olmayan dekontaminasyon yöntemlerinin kullanımı giderek popülerlik kazanan uygulamalar olmuştur. Literatürde, son yıllarda önemi gittikçe artan ısıl olmayan teknolojilerden olan ultrases teknolojisinin tavuk etinin mikrobiyal özellikleri üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların özeti bu bölümde incelenmiştir.

Musavian ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada Danimarka'daki piliç kesimhanesinde işlenen doğal olarak kontamine piliçler üzerinde buharla ultrases işlem kombinasyonunun (SonoSteam) etkisi araştırılmıştır. Buharla ultrases işlemi ekipmanı (SonoSteam) iç çıkarma odasına, iç/dış karkas yıkamadan önce yerleştirilmiştir. SonoSteam işlemi 90-94 °C'deki buhar ve 30-40 kHz frekanstaki ultrases kombinasyon işlemi özel tasarlanan nozüller tarafından gerçekleştirilmiştir. SonoSteam işlemi sonrası karkaslar paketlemeden önce iç/dış karkas yıkayıcıdan ve 0 °C'de 80 dakika aralıklı su spreyi ile hava soğutma sisteminden geçirilmiştir. Çalışmada doğal olarak kontamine olmuş piliçlerin göğüs derisinden alınan örneklerinin ortalama *Campylobacter* sayısı 2,0-2,6 log₁₀ kob ve toplam bakteri sayısı 3,47- 4,79 log₁₀ kob olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda SonoSteam işlemi sonrası *Camylobacter* sayısının yaklaşık 1,0 log₁₀ kob ve toplam bakteri sayısının ise 0,7 log₁₀ kob azaldığı bildirilmiştir. Ek olarak SonoSteam ile işlenmiş piliç

karkaslarının duysal olarak değerdendirilmesi sonucu panelistler piliç karkaslarının satın alınabileceği sonucuna varmıştır.

Pinon ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada ultrases işleminin tavuk eti mikrobiyotası üzerine etkisi değerdendirilmiştir. Tavuk eti örneklerine 3 farklı koşulda: 20 kHz, 27,6 W/cm²; 40 kHz, 10,3 W/cm²; 850 kHz, 24,1 W/cm² frekans ve g parametrelerinde ultrases işlemi uygulanmıştır. Tavuk eti ayrı ayrı polietilen malzeme içerisinde paketlenmiş ve 4 C’de 7 gün aerobik koşullarda depolanmıştır. Tavuk etinde laktik asit, mezofilik ve psikrofilik bakterilerin mikrobiyolojik sayımları ultrases işlemi öncesi, ultrases hemen ardından ve 4 C’de 7 gün aerobik depolamadan hemen sonra yapılmıştır. Çalışma 20 kHz, 40 kHz ve 850 kHz’de yüksek yoğunluklu ultrases işleminin tavuk etinde mezofilik, psikrofilik ve laktik asit bakterilerinin gelişimini engellemeye yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca 20 kHz frekans 4 C’de 7 gün depolanan tavuk etinin mikroorganizma üremesini kontrol etmek için en iyi koşul kabul edilmiştir. Sonuç olarak yüksek yoğunluklu ultrasesin bakterisit etkisinin olduğu ve bu nedenle etlerin korunmasında etkili olabileceği bildirilmiştir.

Cichoski ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, tavuk karkaslarının n soğutma işlemi sırasında ultrases ve hafif asidik elektrolize su kombinasyonu etkisini değerdendirmişlerdir. Çalışmada tavuk göğüsler 5 cm çapında ve 3 cm yüksekliğinde kesilerek tavuk göğüs silindirler olarak adlandırılmıştır. Hafif asidik elektrolize su taşınabilir bir elektrolizör kullanılarak %0,02 sodyum klorürden elde edilmiştir. Hafif asidik elektrolize su pH 6,0 ± 0.1, 5 ppm klor ve 800-850 mV oksidasyon azaltma potansiyeli özelliklerine sahiptir. Tavuk göğüs silindirler 25 ve 130 kHz frekansta 230 W güçte 10C sıcaklıkta 10 dakika boyunca ultrasonik banyoda işlenmiştir. Çalışmada mikrobiyolojik özellikler, lipid ve protein oksidasyonu, kesme kuvveti ve anaerobik glikoliz değerdendirilmiştir. Tavuk göğüs silindirlerin su ve hafif asidik elektrolize su ile kombinasyonunun mikrobiyolojik özellikleri; laktik asit bakterileri, Stafilokok türleri, Enterobakteriler, aerobik mezofilik bakteriler, psikrotrofik bakteri sayıları tavuk göğüslerin ultrases banyosuna daldırılmadan önce ve sonrasında belirlenmiştir. Çalışmada ultrases ve hafif asidik elektrolize kombinasyonunun Enterobakteriler, mezofilik bakteriler, laktik asit bakterileri ve psikrotrofik bakterilerde etkili bir mikrobiyal azalma sağlanmıştir. Ek olarak tavuk karkasların lipid ve protein oksidasyonu, kesme kuvveti, anaerobik glikoliz ve kas yapısı etkilenmemiştir. Bu

sebeple bu kombine ultrases işlemi tavuk karkaslarının ön soğutma aşaması için uygun olduğunu göstermiştir.

Pinon ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada laktik asit, psikrofilik ve mezofilik bakteriler, *E. coli*, *Salmonella spp.* ve *Staphylococcus aureus* 40 kHz frekans ve 9,6 W/cm² yoğunlukta 0, 30 ve 50 dakika sürelerde, aerobik ve vakum paketleme atmosfer koşullarında ayrıca 7 günlük depolama sonrası mikroorganizmalar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Ultrases işlemi ultrasonik su banyosunda 4°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Çalışma; ultrases olmadan ve vakum paketleme (0-VP); ultrases olmadan ve aerobik paketleme (0-AP); 30 dakika ultrases uygulaması ve aerobik paketleme (30-AP); 30 dakika ultrases uygulaması ve vakum paketleme (30-VP); 50 dakika ultrases uygulaması ve aerobik paketleme (50-AP); 50 dakika ultrases uygulaması ve vakum paketleme (50-VP) koşullarında uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda farklı aerobik ve vakum paketleme koşullarının mezofilik, laktik asit, *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizma sayıları üzerinde önemli etki göstermemiştir. Ancak anaerobik koşullar psikrofilik bakterilerin sayısı üzerinde azaltıcı etki göstermiştir. Ultrases işleminin mezofilik, psikrofilik bakteriler, laktik asit bakterileri ve *Salmonella spp.* azaltılması üzerinde işlem süresinin etkisi bulunmamıştır. Yüksek yoğunluklu ultrases işleminin 50 dakika süreyle uygulanması ve sonrasında aerobik depolanması mezofilik bakterilerin ve *E. coli* gelişimini etkilememiş ancak *S. aureus* ve *Salmonella spp.*'nin uzaklaştırılmasında etkili olmuştur. Ek olarak ultrases işleminin etkisi depolama süresinden sonra önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Royintarat ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tavuk eti ve tavuk derisindeki *E. coli* ve *S. aureus*'un inaktivasyonu üzerinde ultrases ve plazmayla aktive edilmiş suyun (PAW) etkisi incelenmiştir. Tavuklar etler ve derileri ayrı ayrı bakteri süspansiyonu ile inoküle edildikten sonra yalnızca ultrases ve PAW-ultrases kombine işlemi uygulanarak analiz edilmiştir. Ultrases işlemi 40 kHz frekans ve 220 W güçte uygulanmıştır. Çalışma 60 dakika boyunca 40 °C'de PAW ile muamele edilmiş 4 mm kalınlığındaki derili tavuk etinde *E. coli* sayısı 0,46 log kob/ml ve *S. aureus* sayısı ise 0,30 log kob/ml azaltmıştır. Aynı koşullar altında PAW-ultrases kombinasyonu ile uygulanan ultrases işlemi ile *E. coli* sayısının 1,33 log kob/ml ve *S. aureus* sayısının ise 0,83 log kob/ml azaldığı belirlenmiştir. Tavuk derisinin kalınlığı hem PAW hem de PAW-ultrases işlemiyle bakterilerin azaltılmasında önemli bir rol oynamıştır. Tavuk etiyle aynı koşullar altında PAW ve PAW-ultrases kombinasyonu

uygulanmasının *E. coli* sayısını sırasıyla 0,56 ve 1,12 log kob/ml ve *S. aureus* sayısını ise 0,73 ve 0,10 log kob/ml azaltmıştır. Çalışmada PAW-ultrases tekniklerinin birlikte uygulanmasının tavuk etlerinde mikrobiyal inaktivasyonda tek başına PAW'ın gösterdiği etkiden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Kordowska-Wiater ve Stasiak (2011) tarafından yapılan çalışmada tavuk kanadı derisi yüzeyinde bulunan gram negatif bakteriler üzerine (*E. coli*, *Salmonella enterica ssp. Enterica sv. Anatum*, *Proteus sp.*, ve *Pseudomonas fluorescens*) suda ve %1 sulu laktik asit çözeltisinde ultrases işlemi uygulanmasının etkileri araştırılmıştır. Örneklere 40 kHz frekansta, 2,5 W/cm² yoğunlukta 3 ve 6 dakika boyunca saf suda ve %1'lik sulu laktik asit solüsyonunda 20 °C sıcaklıkta ultrases banyosunda sonikasyon işlemi uygulanmıştır. *S. anatum* ve *E. coli* ile kontamine olan tavuk kanatlarına 6'şar dakika, *Proteus* ve *Pseudomonas* ile inoküle edilen kanatlara ise 3'er dakika sonikasyon işlemi uygulanmıştır. Tavuk kanatlarının kontaminasyonu sonrası başlangıç mikroorganizma sayıları *S. anatum* için $8,12 \pm 1,59$ log kob/cm³, *E. coli* için $7,86 \pm 1,53$ log kob/cm³, *Proteus sp.* için $5,57 \pm 0,99$ log kob/cm³ ve *P. fluorescens* için ise $6,42 \pm 0,37$ log kob/cm³ olarak belirlenmiştir. Laktik asit solüsyonunda 3 dakika sonikasyon işlemi uygulandıktan sonra bakteri hücre sayısında 1 log üzerinde bir azalma (*E. coli* hariç) ve *P. fluorescens* için yaklaşık 3 log kob/cm² azalma tespit edilmiştir. 6 dakika ultrases işlemi uygulanması sonrası mikroorganizma azaltma etkisi 1,39 ile 4 log arasında değişmiştir. Laktik asit ile sonikasyon işleminin sinerjistik etkisine en duyarlı bakteri *P. fluorescens*, en dirençli bakteri ise *E. coli* olarak belirlenmiştir.

Seo ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada tavuk derisi yüzeyinde *S. Typhimurium*'un inaktivasyonu için tek başına veya 5 dakika boyunca ultrases (37 kHz, 380 W) ve etanol (%0, 30, 50 ve 70) uygulamasının etkinliği incelenmiştir. %30 etanol ile muamele edilen tavuk derisi yüzeyinde *S. Typhimurium* 'un tutunmasını 0,40 ile 0,59 log kob/g arasında azalttığını, ultrases ve %30 etanolün birlikte etki etmesinin ise *S. Typhimurium* miktarını 1,15-1,58 log kob/g arasında azalttığını bildirmişlerdir. Çalışmada %70 etanol ile ultrases kombinasyonu sonucu *S. Typhimurium* 1,63 ile 2,86 logg kob/g arasında azalmışken tek başına etanol bu konsantrasyonda 1,15 ile 1,38 log kob/g arasında inaktivasyon sağlamıştır. Çalışmada etanol konsantrasyonunun artmasıyla birlikte antimikrobiyal etki de arttığı gözlemlenmiş ancak yüksek etanol konsantrasyonunun tavuk derisi yüzeyinde istenmeyen koku ve kalite sorunlarına yol açtığı bildirilmiştir. Tavuk derisi yüzeyinden *S. Typhimurium*'un inaktivasyonunda

etanol konsantrasyona bağlı olarak antimikrobiyal etki artarken, etanol içermeyen ultrases işleminin tek başına uygulandığı sistemde ultrasesin *S. Typhimurium* inaktivasyonu üzerine etkili olmadığı bildirilmiştir. Çalışmanın sonucunda %30 etanol ve ultrases kombinasyonu renk veya doku üzerinde değişikliğe sebep olmadığı ve *S. Typhimurium*'un azaltılmasında >1 log kob/g azalma sağladığı için uygun koşul olarak seçtiklerini belirtmişlerdir.

Ultrases teknolojisinin tavuk eti yıkama suyu dezenfeksiyonunda tek başına veya başka uygulamalar ile birlikte uygulandığında mikroorganizmaların azaltılması üzerine etkisiyle ilgili literatürdeki mevcut çalışmalar Tablo 2.3'te özetlenmiştir.



Tablo 2.3. Tavuk eti yıkama suyu dezenfeksiyonunda ultrases ve kombine ultrases uygulamasının mikroorganizmaların azaltılmasında kullanımı.

Örnek	Uygulama	Ultrases Parametreleri			Mikroorganizma	Azalma (Log ₁₀ kob)	Kaynak
		Frekans	Yoğunluk (W/cm ²) veya Güç (W)	Süre			
Tavuk Göğüs Derisi	Ultrases + pepton Ultrases + 0,5 ppm klor	20 kHz	-	15 ve 30 dk	<i>S. Typhimurium</i>	1 – 1,5 kob/ml 2,4 – 3,9 kob/ml	Lillard, 1993
Tavuk Kanadı Derisi	Ultrases + Saf Su (6 °C) Ultrases + %1 laktik asit (6 °C)	40 kHz	2 W/cm ²	6 dk	Aerobik bakteri <i>Salmonella</i>	1,8 kob/ml 3,6 kob/ml	Stasiak ve ark. (2007)
Tavuk Kanat Derisi	Ultrases + Su Ultrases + %1 Laktik Asit	40 kHz	2,5 W/cm ²	3 ve 6 dk	Gram Negatif Bakteri	1 kob/cm ² < 4 kob/cm ²	Kordowska-Wiater ve Stasiak (2011)
Tavuk Göğüs	Ultrases	20 kHz	-	5 dk	Psikrofilik Bakteri	0,2 kob/g	Pinon ve ark. (2012)
Tavuk Baget	Ultrases	40 kHz	20 W/L	0, 2, 4, 8, 16 ve 32 dk	<i>Campylobacter</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> ve toplam bakteri sayısı	Önemli oranda azalma yok.	Houghton ve ark. (2012)
Tavuk Derisi	Ultrases	24 kHz	20 000 W/L	0, 2, 4, 8, 16 ve 32 dakika	<i>Campylobacter</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> ve toplam bakteri sayısı	Uygun koşullar 16 dakika sürede sırasıyla 1.32, 0.51 ve 0.87 kob/g	Houghton ve ark. (2012)
Tavuk Göğüs Derisi	Ultrases + plazma aktive edilmiş su (PAW)	40 kHz	220 W	60 dk	<i>E. coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	1,33 kob/ml 0,83 kob/ml	Royintarat ve ark. (2020)

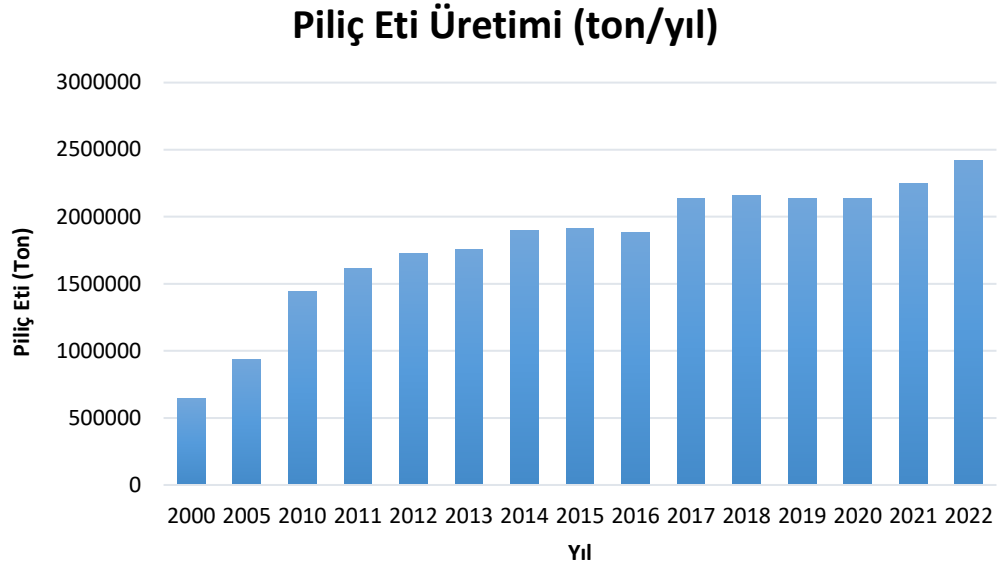
2.3. Tavuk Eti

2.3.1. Tavuk eti ve özellikleri

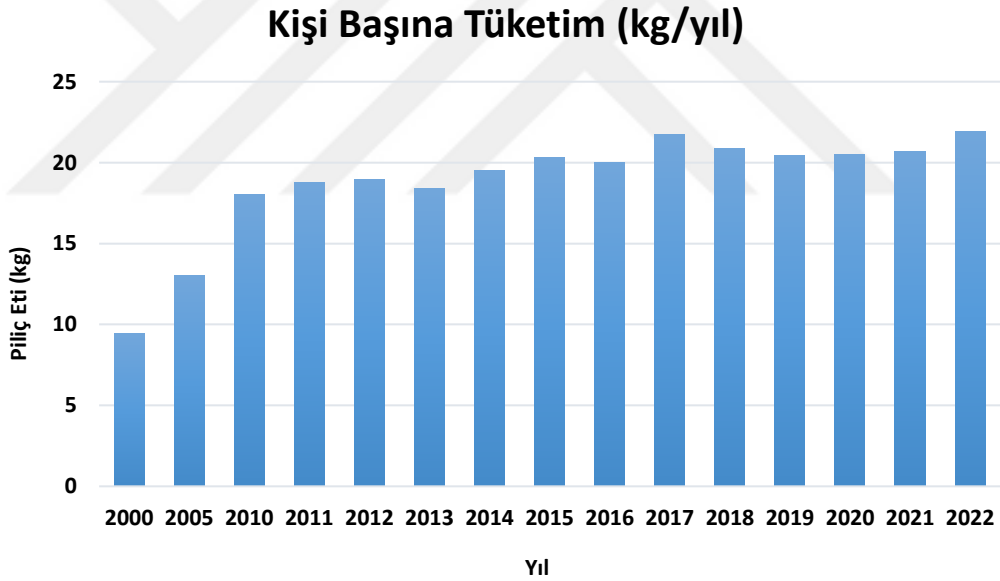
Sağlıklı yaşam sürdürebilmek ve hastalıklardan korunabilmek yeterli ve dengeli beslenmeyle mümkün olabilmektedir. Yeterli ve dengeli beslenme için her gün belirli miktarda proteinin gıdalar ile alınması gerekmektedir. Gıdalar ile alınan proteinlerin ile belirli bir yüzdesinin et ve et ürünleri ile süt ve süt ürünleri gibi hayvansal kaynaklı proteinlerden karşılanması gerekmektedir. Bu noktada, tavuk eti ve ürünlerinin, besin değerinin yüksek olması, kolay ulaşılabilmesi ve ucuz olması gibi özellikleriyle yeterli ve dengeli beslenmede sıklıkla tercih edilebilecek dünyada üretimi ve tüketimi son yıllarda büyük bir artış gösteren gıdalardandır (Guerrero-Lagerratave ve Hui, 2010; Patsias ve ark., 2008).

Tavuk etinin tüketilebilen kısmının yaklaşık dörtte biri yüksek kalitedeki protein ve insan beslenmesi açısından gerekli tüm aminoasitlere sahiptir. Yüksek B grubu vitamin içeriğine sahip tavuk eti, demir ve fosfor içeriği zengin ve önemli oranlarda niasin, riboflavin, tiamin ve askorbik asit içermektedir (İnal, 1992). Ayrıca tavuk etlerinin diğer et türlerine göre daha düşük kolesterol ve yağ içeriğine sahip olması, yüksek doymamış yağ asidi oranına ve yüksek biyoyararlılık değerlerine sahip olması ile lifli yapısından dolayı kolaylıkla sindirilebilir olması gibi nedenler tavuk etlerine olan talebi günden güne arttırmaktadır (Pietrzak ve ark., 2013; Sujiwo ve ark., 2018).

Türkiye’de piliç sektörü son elli yıl içerisinde büyük bir ilerleme göstermiştir. 1970’li yıllarda yüksek maliyetli ve sınırlı kapasite şeklinde işletilen aile çiftlikleri; 1980’li yıllarda sözleşmeli çiftlik uygulamasının benimsenmesiyle çiftlik yapısında önemli bir değişim yaşanmış ve entegre işletme sayısında artış gözlemlenmiştir. Ülkemiz de de sektörün gelişimi için yapılan yatırımlar Türkiye’nin dünya standartlarını yakalamasına yardımcı olmuş ve böylece piliç üretimde ciddi bir artış meydana gelerek bugünkü konumuna ulaşmıştır (Canan ve Turhan, 2006). Beyaz Et Sanayicileri ve Damızlıkçılar Birliği (BESD-BİR) tarafından belirlenen istatistiki verilere göre 2022 yılında kanatlı eti üretimi 2 417 995 ton iken kişi başına kanatlı eti tüketimi 21,95 kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.4’te yıllara göre Türkiye’deki piliç eti üretimi (ton) verilirken Şekil 2.5’te Türkiye’de kişi başına kanatlı eti tüketimi (kg) gösterilmiştir.



Şekil 2.4. 2000-2022 yılları arasında Türkiye’de piliç eti üretimi (Ton) (BESD-BİR, 2022).



Şekil 2.5. 2000-2022 yılları arasında Türkiye’de kişi başına kanatlı eti tüketimi (kg) (BESD-BİR, 2022).

Tavuk etine gün geçtikçe artan tüketici talebi tavukçuluk sektöründe biyogüvenlik ve gıda güvenliği konularında daha fazla önlem alınması gerektiğini göstermektedir. Tavuk eti ve ürünlerinde patojen, bozulma yapıcı mikroorganizmaların bulunmadığı veya en aza indirildiği ve hijyenik kalitesi açısından iyi olan ürünler; üreticiler, tedarikçiler ve tüketiciler açısından oldukça önemlidir (Uğur ve ark., 2001).

2.3.2. Tavuk eti ve mikrobiyal kontaminasyon

Kesimhane şartları ve hayvanın doğal yapısı ve florası nedeniyle tavuk etleri kesimhane süreçleri boyunca pek çok noktada birçok mikroorganizma ile kontamine hale gelebilir. Hastalıklı olmayan sağlıklı hayvanlardan elde edilen tavuk etlerinin merkez noktaları steril olsa da kesim ortamının hijyenine bağlı olarak tavuk etinin patojen mikroorganizmalarla kontamine olma olasılığı bulunmaktadır. Özellikle kesimhane prosesleri sırasında tavuk etlerinin bağırsak florasının içeriği, deri yapısı ve tüylerinin yoğunluğu mikroorganizma kontaminasyonu açısından önemli bir risk oluşturur. Tavuklar kesim hattına alındıkları andan itibaren direkt veya indirekt olarak mikroorganizma kontaminasyonuna maruz kalabilmektedir. Tavuk kesimhanesinde kesim işlemi, tüy ıslatma, tüy yolma, iç açma, iç organların çıkarılması, soğutma, parçalama ve ambalajlama işlemleri boyunca gereken önlemler alınmadığı durumlarda mikrobiyal kontaminasyon kaçınılmazdır. Bu işlemlere ek olarak personel kaynaklı, alet-ekipman ve su kaynaklı kontaminasyonlar da meydana gelebilir. Kesimhanelerde birim zaman içerisinde kesim sayısının fazla olması ve kesim, iç çıkarma işlemleri gibi çok sayıda kontaminasyon noktası içermesinden dolayı, çapraz kontaminasyon ihtimali yüksektir (Mead, 2004; Stanbridge ve Davies, 1998). Ayrıca kesim işlemi sonrası karkasların soğutulması, parçalanma süreci, ambalajlanma ve depolanıp tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süre de ürün kalitesini etkilemektedir.

Bu işlemlerde meydana gelen bir olumsuzluk tavuk etinde kalite düşüklüklerine ve bozulmalara sebep olabilmektedir. Tavuk kesimhanelerinde en fazla rastlanan patojen mikroorganizmalar; *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Yersinia enterocolitica*, *S. aureus*, *Campylobacter jejuni*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Shigella spp.* ve *Aeromonas spp.* 'dir (Mead, 2004; Swartz, 2002; Uyttendaele ve ark., 1999). Bu mikroorganizmalardan *E. coli* ve *Salmonella* türleri tavuk etlerinde en fazla rastlanan ve halk sağlığını tehdit eden mikroorganizmalardır (Silva ve ark., 2020).

2.3.2.1. *Salmonella spp.*

Salmonella'lar gıda kaynaklı enfeksiyonlara sebep olan *Enterobacteriaceae* familyasında Gram negatif bakterilerdir. Fakültatif anaerob, *Salmonella Gallinarum* ve *Salmonella Pullorum* dışındakiler peritrik flagellaları ile hareketli, kısa çubuk şeklinde, yaklaşık 0,7 - 1,5 μ m ve 2 – 5 μ m boya sahip, spor ve kapsül oluşturmeyen bakterilerdir (Ertunç, 2017). Bu mikroorganizmalar, karbonhidratlardan gaz

oluşturarak fermentasyon gerçekleştirir ve sitratı tek karbon kaynağı olarak kullanabilirler (Erol, 2007). Genellikle hidrojen sülfür, katalaz, sitrat ve lizin dekarboksilaz pozitif özellik göstermekle birlikte oksidaz, üreaz, laktoz ve indol negatif özellik gösteren bakterilerdir (Bozkurt, 2018). *Salmonella* spp. mezofilik özellik göstermekte olup uygun koşullar 35 - 37 °C sıcaklıkta ürerler ve 0,94-0,99 su aktivitesi (a_w) değer aralığındaki gıdalarda üreyip geliştikleri bildirilmiştir. Uygun koşullar 6,5-7,5 pH aralığında gelişme gösterirler (Bozkurt, 2018). Soğuğa karşı oldukça dirençli olmasının yanı sıra yüksek ısıya karşı duyarlı olan *Salmonella*'lar taze et ve et ürünleri içerisinde 14 gün, -20 °C'de donmuş ette yaklaşık 1500 gün, donmuş tavuk göğüslerinde 400 gün ve daha fazla süreyle canlılığını korudukları belirtilmiştir.

Salmonella'ların sebep olduğu hastalıklar Salmonellozis olarak isimlendirilmekte ve günümüzde gitgide küresel düzeyde önemli bir halk sağlığı sorunu olarak görülmeye devam etmektedir. *Salmonella* spp.'nin klinik olarak 3 şekli bulunmaktadır. Bu patojeniteye sebep olan türler; septisemi (*S. choleraesuis*), gastroenterit (*S. Typhimurium*, *S. enteritidis*) ve enterik ateş (tifo/paratifo, *S. Typhi* ve *Salmonella enterica subsp. enterica ser. Paratyphi*)'dir (Erkmen, 2010).

Salmonella Typhimurium gıda kaynaklı başlıca patojenlerden biri olup tavuk etiyle ilişkili insan enfeksiyonlarında en sık rastlanan enteropatojen bakteridir (Weerasooriya ve ark., 2022). Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi (ECDC) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) raporuna göre, Avrupa Birliği'nde 9061 insanda gözlemlenen vakadan 1067'si salmonelloz salgınıyla ilişkilendirilmiş olup bu salgının ana kaynakları kanatlı ürünleri ve peynir olduğu bildirilmiştir (Seo ve ark., 2019).

Salmonella bakterisi genellikle kanatlı hayvanlarda yaygın olarak görülmekle birlikte kemiriciler, böcekler, çiftlik hayvanları, kuşlar, fareler ve kirli su ve kanalizasyon kaynaklarında da tespit edilmektedir (Sırıken ve Haldun, 2013). Kanatlı hayvanların kesimhanede kesim işlemi süreci boyunca dışkı ile kontamine olması *Salmonella* bulaşısının yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Bunlara ek olarak gıda üretim zincirinde yer alan insan, *Salmonella* kontaminasyonunda oldukça önemli bir yere sahiptir (Altun ve Atasever, 2018).

2.3.2.2. *E. coli*

E. coli de her yıl tekrarlayan salgınlar dolayısıyla ön planda olan gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar içerisinde yer almaktadır (Munekata ve ark., 2020). *E. coli* insanlar ve hayvanların bağırsak florasının doğal parçası olmakla birlikte birçok *E. coli* türü insanlar için zararsız kabul edilmektedir (Croxen ve Finlay, 2010). Ancak bazı patojen *E. coli* türleri ciddi hastalıklara sebep olmaktadır (Croxen ve ark., 2013). Dünya genelinde, patojenik *E. coli* enfeksiyonları şiddetli ishale yol açmaktadır. Patojen *E. coli* aracılığıyla meydana gelen ishal, çevre koşullarının iyileştirilmesi, gerekli hijyen önlemlerinin alınması ve antibiyotikler aracılığıyla tedavisi mümkündür (Yang ve ark., 2017).

Enterobacteriaceae ailesinden olan *E. coli*, fakültatif anaerobik, sporsuz, kısa ve çubuk şeklinde, glikozdan gaz ve asit meydana getirebilen, oksidaz negatif, katalaz pozitif ve bakterinin tüm çevresinde bulunan peritrik flagellaları aracılığıyla çoğunluğu hareket yeteneğine sahip olmakla birlikte bazı suşları hareketsiz olabilir (Çevik Telekoğlu, 2019; Erkmén, 2010; Omerovic ve ark., 2017). Normal koşullarda kalın bağırsak içerisinde 10^6 kob/g *E. coli* içermektedir. Bu sebeple çevrenin veya gıdanın *E. coli* içermesi fekal bulaşı olduğunu göstermektedir (Erkmén, 2010).

Kesim sırasında bağırsak içeriği ile temas, dışkının tüylere yapılmış olması gibi nedenlerle kanatlı etleri üretim prosesleri sırasında *E. coli* ile kolaylıkla kontamine olabilir. *E. coli* kanatlı etlerinden kaynaklı zehirlenmelerin ve ekonomik kayıpların oluşmasında önemli etkenlerden biridir ve mutlaka kesimhane süreçleri boyunca etkin dekontaminasyon yöntemleri ile inaktive edilmesi gerekmektedir.

2.3.3. Kanatlı kesim aşamaları

Kanatlı kesim aşamaları şu şekilde özetlenebilir: öncelikle kesim işlemleri başlamadan kanatlıların muayenesi yapılır ve kesime kabul edilmeyen ya da yeterli ağırlığa ulaşmamış olan kanatlı hayvanlar ayrılırlar. Daha sonra kesim için uygun kanatlılar kesim bandına yerleştirilir ve kanatlılar sakinleşmesinin ardından elektroşok verilerek bayıltma işlemi uygulanır. Bayıltma işleminin ardından kanatlıların başı kesilir ve kan akıtılır. Kan akışının tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için minimum 90 saniye boyunca beklenmesinin ardından haşlama işlemine geçilir (Çelik ve Özdemir, 2010).

Haşlama aşamasında, kanatlı karkaslar sıcak su dolu haşlama tankları içerisine daldırılır. Bu işlemin temel amacı, belirli sıcaklıkta ve sürede karkasları tank içerisinde

bekletilerek deri altında bulunan tüy foliküllerinin yumuşaması ve böylece bir sonraki aşama olan tüy koparma işleminin istenilen düzeyde gerçekleştirilebilmesidir (Çelik ve Özdemir, 2010; Rasschaert ve ark., 2020). Haşlama işleminde tank içerisine çok fazla sayıda kanatlı girmesi nedeniyle çapraz kontaminasyon riskinde artış olur. Bu kontaminasyon risklerini engellemek için “tank içerisinde haşlama yöntemine” ek seçenek “kuru yolum” yöntemi önerilmektedir (Çelik ve Özdemir, 2010). Haşlamadan sonra koparma aparatları sayesinde tüyler deri üzerinden uzaklaştırılır. Tüy koparma işlemi ön ve son tüy koparma şeklinde iki adımda gerçekleşmektedir. Bu tüy koparma işlemi sırasında çapraz kontaminasyon tehlikesi oldukça fazladır. Bu bölümde karkas yüzeyinde tüy kalması halinde çapraz kontaminasyona sebep olmaktadır. Bu yüzden işlemin kaliteli bir şekilde gerçekleştirilmesi son derece önem arz etmektedir (Çelik ve Özdemir, 2010).

Kanatlı karkas yüzeyinden tüy koparma işleminin ardından baş ve ayak kısımları kesilip vücut yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır. Daha sonra kanatlı kesim bandına alınır ve iç organ çıkarma bölümüne gönderilir (Çelik ve Özdemir, 2010). Bu bölüm, kloakanın açılması ve iç organların çıkarımı için özel tasarım makineler yoluyla uygulanmaktadır (Barbut, 2015). Kloaka bölgesinden göğüs kemiği kısmına bir kesim yapılır. Ardından sırttan boyun derisini açtıktan sonra kursak ve bezler çıkartılır (Gücükoğlu, 2020). Kanatlı karkas kontaminasyonunu azaltmak için kloaka bölgesi daire şeklinde açılır (Barbut, 2015). İç organların çıkarılmasının ardından kalp, karaciğer, taşlık gibi sakatat ürünleri ve bağırsak, safra bezi, dalak gibi yenilmeyen et bölümleri ayrılarak işleme amacıyla farklı hat üzerine iletilirler (Barker, 2004). Kanatlı karkaslar iç ve dış yüzeyleri soğuk su püskürten makineler aracılığıyla yıkanarak soğutma aşamasına hazırlanmaktadır. Kanatlı karkasların iç organlarının çıkarılmasının ardından olası kontaminasyon risklerini azaltmak ve mikroorganizma yükünün çoğalmasını önlemek amacıyla karkaslar soğutulmaktadır (Çelik ve Özdemir, 2010).

Kanatlı hayvan işleme tesislerinde soğutma aşaması hem ürün güvenliğini hem de raf ömrünü en üst düzeye çıkaracak şekilde mikroorganizma büyümesini engellemeye yardımcı olan çok önemli bir adımdır (Demirok ve ark., 2013). Kanatlı kesim proseslerindeki soğutma aşamasının temel amaçları karkasların hızlı bir şekilde soğutulması böylece oluşabilecek biyokimyasal ve mikrobiyolojik reaksiyonların sınırlandırılmasının sağlanmasıdır (Lorenzetti ve ark., 2018; Savell ve ark., 2005).

Soğutma işlemi aynı zamanda karkasların dış görünümü, su tutma, lezzet gibi özelliklerini iyileştirir ve ürünün raf ömrünü koruma konusunda etkili olup raf ömrünü uzatır (Fletcher, 2002; James ve ark., 2006; Northcutt ve ark., 2008; Schreurs, 2000). Ayrıca soğutma süresi, ürün dokusu (yumuşaklığı) üzerinde oldukça öneme sahiptir (James ve ark., 2006). Bu aşamada daha kısa sürede soğutma ile daha yüksek verimlilik elde etmek, işletme maliyetlerini düşürmek, mikroorganizma kontrolü sağlayabilmek ve ürünün kalitesini koruyarak üretimin yapılması sağlanabilmektedir (James ve ark., 2006; Jeong ve ark., 2011).

Kanatlı karkas işleme tesislerinde karkas iç çıkarma işlemleri sonrasında karkas hızla soğutma aşamasına geçer ve bu aşamaya karkaslar yaklaşık olarak 40 °C gibi bir sıcaklıktadır ki bu sıcaklıklar mikrobiyal gelişim açısından önemli riskleri barındırır. Hızla ön soğutma alınan kanatlı karkasları, ön soğutma sonrası son soğutma bölümüne aktarılır. Son soğutucu bölümden maksimum 7 °C sıcaklıkta veya ani soğutma (şoklama) istenen karkaslar yaklaşık olarak 10 °C bir sıcaklıkta soğutma aşamasından çıkması gerekmektedir (Lorenzetti ve ark., 2018).

Kanatlı karkasları soğutulmasında farklı uygulamalar kullanılmaktadır. Bu uygulamalar soğuk su aracılığıyla, hava yoluyla, sprej yardımıyla püskürtme işlemi yaparak veya bunların birlikte kullanılmasıyla soğutma işlemi yapılabilmektedir (Barbut, 2015). Kanatlı karkasların soğutulma süreci, farklı soğutma yöntemlerinden bağımsız olmak üzere, ürünün güvenliği ve daha uzun raf ömrünün sağlanması için büyük önem taşımaktadır (Sams, 2000). Günümüzde et ve et ürünlerinin kısa sürede soğutulmasını sağlayan, düşük enerji tüketen, sağlıklı ve minimum düzeyde ağırlık kaybı oluşturan ayrıca düşük maliyetli soğutma yöntemi gibi parametrelere işletmeler tercih sırasında dikkat etmektedirler (Kaçamaklı ve Akşit, 2014).

Su kullanılarak yapılan soğutmada; suya daldırma ve sprej aracılığıyla soğuk su püskürtme olmak üzere iki yaygın yöntem kullanılmaktadır. Bazı Avrupa Birliği ülkelerinde suya daldırma yöntemiyle soğutma işlemi kullanılmazken pek çok ülkede hala yaygın şekilde kullanılmaya devam etmektedir, hatta günümüzde kanatlı soğutmada hala en yaygın kullanılan yöntemdir (Barker, 2004). Bu yöntem, ön ve asıl soğutma işlemlerinin gerçekleştirildiği tanklarda uygulanmaktadır. Ön soğutma süreci 10-15 dk sürer ve karkas sıcaklığı yaklaşık 16 °C sıcaklığa düşürülür. Asıl soğutma sürecinde kanatlı karkaslar 20-30 dk boyunca tank içerisinde tutularak karkas merkezi sıcaklığı 4 °C'ye düşürülmesi sağlanır (Barker, 2004; Byrd, 2005; Barbut, 2015; Çelik

ve Özdemir, 2010). Tankta soğutma sırasında oluşabilecek çapraz kontaminasyonun önlenmesi bu aşamada dikkat edilmesi gereken en önemli parametredir. Zira bu noktada oluşabilecek kontaminasyonların önlenememesi son ürün kalitesinin ciddi şekilde düşmesine, ciddi halk sağlığı sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle çeşitli dekontaminasyon yöntemleri ile soğutma suyundaki kontaminasyonun ve mikrobiyal gelişimin mutlaka önlenmesi gerekmektedir.

2.4. Kanatlı Kesimhanesi Soğutma Aşamasında Kullanılan Dekontaminasyon Yöntemleri

Kanatlı eti üretim tesislerinde işleme ekipmanları, çalışma yüzeyleri, kirli su, hava, toz vs. kaynaklar sebebiyle kanatlı et ve et ürünlerinin kontaminasyon riski oldukça yüksektir (Sinhamahapatra ve Biswas, 2021). Gıda kaynaklı mikroorganizmalar kanatlı eti ve ürünlerinin işleme tesislerinin her yerinde bulunabilir ve işletme içerisinde çapraz kontaminasyona bağlı olarak sürekli bakteri yayılması meydana gelmektedir (Bolder ve ark., 1997). Kanatlı et ve ürünlerinin işlenmesi sırasında ürünlerin mikrobiyal kalitesinin kesin olarak iyileştirilmesi alınmış olan bütün önlemlere karşın hala tam anlamıyla sağlanamayabilmekte ve son ürün üzerinde önemli miktarda bozulmaya sebep olan mikroorganizmalar ve patojen mikroorganizmalar bulunabilmektedir. Bu sebeple işleme tesislerinde patojenik ve bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların karkaslara bulaşısını izlemek, kontrol edebilmek, önleyebilmek ve mikrobiyal kalite güvenliğini sağlayabilmek amacıyla dekontaminasyon yöntemleri içerisinden en az bir tanesinin uygulanması zorunlu görünmektedir. Ürün güvenliğini ve halk sağlığını korumak açısından bakıldığında önemli patojen bakterilerin vejetatif hücrelerinin yok edilmesini sağlamasına ek olarak ürün kalitesinin ve güvenliğinin artırılmasına yardımcı olması amacıyla dekontaminasyon yöntemi uygun şekilde seçilmeli ve kullanılmalıdır (Atterbury ve ark., 2003; Anang ve ark., 2007; Bolder ve ark., 1997; Li ve ark., 1994; Loretz ve ark., 2010; Matthews ve ark., 2017; McCann ve ark., 2006; Perry ve Yousef, 2011; Santos ve ark., 2018; Wang ve ark., 1997).

Avrupa’da 178/2002 sayılı Tüzük (AT) (ABRG, 2002), risk analizi kavramı aracılığıyla gıda güvenliği yasasının temel ilkelerini ve gerekliliklerini belirlemiş ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi’nin (EFSA) kurulmasına yardımcı olmuştur. Bağımsız bilimsel bir organ olan EFSA, gıda ve yem güvenliğini sağlamak için gerekli olan bilinçli risk yönetimini değerlendirmek amacıyla kurumlara ve üye devletlere

bilimsel ve teknik destek sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Hayvansal kökenli gıdalardaki mikrobiyal yüzey kontaminasyonunu giderebilmek amacıyla, içilebilir veya temiz su dışındaki maddelerin kullanılmasına 853/2004 (AT) sayılı Tüzüğün (ABRG, 2004a) yürürlüğe girdiği Ocak 2006 tarihi itibarıyla izin vermiş ve dekontaminasyon maddelerinin kullanılmasına Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) mikrobiyolojik ve kimyasal risk değerlendirmesi sonrasında onay verilmiştir (Hugas ve Tsigarida, 2008).

Kanatlı et ve ürünlerine uygulanan dekontaminasyon yöntemlerinin belirli özellikleri taşıması istenmektedir. Bu özellikler;

- Dekontaminasyon yöntemi et ve et ürününün dış görüntüsü, tadı, kokusu ve besin içeriğinde bir etkisi bulunmamalıdır.
- Dekontaminasyon kalıntıları çevreye olumsuz etkisi olmamalıdır.
- Dekontaminasyon yöntemi yasal mevzuatlara ve düzenlemelere uygun olmalıdır.
- Dekontaminasyon yöntemi ucuz ve uygulanması pratik olmalıdır.
- Bozulmaya sebep olan mikroorganizmaları ve patojenlerin inaktivasyonunu sağlayarak ürünün raf ömrü üzerinde artış sağlamalıdır.
- Modifiye atmosferde paketlemeye uygun dekontaminasyon yöntemi seçilmelidir (Hinton ve Corry, 1999).

Kanatlı et ve et ürünlerinin mikrobiyal kontaminasyonunu azaltmak amacıyla çok sayıda dekontaminasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu dekontaminasyon yöntemleri; Biyolojik, fiziksel ve kimyasal dekontaminasyon yöntemleri olmak üzere temel olarak üç ana grupta sınıflandırılabilir.

Biyolojik dekontaminasyonda kanatlı etlerinin dekontaminasyonu için bakteriyofajlar ve bakteriyosinler gibi biyolojik kökenli etkenlerin kullanımı hedeflenir. Ancak endüstriyel koşullarda yeterli antimikrobiyal aktiviteyi oluşturabilme ve potansiyel direnç geliştirme sorununu olabileceği için bu yöntemlerin kullanımı yaygınlaşamamıştır (Loretz ve ark., 2010; Sinhamahapatra ve Biswas, 2021).

Fiziksel dekontaminasyon yöntemleri arasında; su ile dekontaminasyon (durulama, sprey, buhar), iyonize radyasyon, dondurma, yüksek hidrostatik basınç, ultrases, UV ışığı gibi başlıca yöntemler bulunmaktadır (Hugas ve Tsigarida, 2008).

Kimyasal dekontaminasyon yöntemi ise kesim işlemi sırasında belirli aşamalarda belirli kurallara göre kimyasal maddenin uygulanması işlemidir. Bu amaçla en yaygın kullanılan kimyasal maddeler; düşük moleköl ağırlıklı organik asitler (örneğin laktik, asetik, sitrik, fumarik asit), trisodyum fosfat, klor ve klor bileşenleri gibi maddeleri içerir (Hugas ve Tsigarida, 2008). Kimyasal dekontaminasyon için kullanılan kimyasal maddelerin bakterisidal etkisi hücre zarlarının, diğer hücresel bileşenlerin ve fizyolojik hücre süreçlerinin zarar görerek inaktive edilmesi/çökertilmesi ilkesine dayanmaktadır (Loretz ve ark., 2010).

Organik asitler sağlık üzerine olumsuz etkilerinin az olması nedeniyle kimyasal dekontaminasyonda inorganik veya sentetik kimyasallara göre tercih edilirler. Farklı organik asitler farklı mikroorganizma türlerine karşı daha etkili olabilmektedir (Arslan, 2001; Davies ve Board, 1998). Organik asitlerin dekontaminasyon etkinliği et dokusunun türüne, başlangıç mikroorganizma türüne ve yüküne ayrıca organik asit çözeltisinin pH 'sına, konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Koutsoumanis ve ark., 2006). Her ne kadar kanatlı eti dekontaminasyonunda organik asit kullanımı halk sağlığı açısından avantajlı olsa da etkin bir dekontaminasyon için kullanılması gereken organik asit miktarının ürün kalitesi üzerine bazı dezavantajları olabilmektedir. Örneğin; kanatlı dekontaminasyonunda laktik asit çözeltilerinin %1-2 konsantrasyonlarda kullanılması renk ve tat gibi duyuşal özellikleri etkilemezken (Bolder ve ark., 1997), %3 laktik asit ile gerçekleştirilen dekontaminasyon işleminin ürünün duyuşal özelliklerinde önemli değişiklik meydana getirdiğı bildirilmiştir (Çınar ve Dikici, 2022). Benzer şekilde Tamblyn ve Conner (1997) tarafından yapılan bir çalışmada *S. Typhimurium* ile kontamine edilen piliç karkas derisinden *Salmonella*'nın inaktive edilebilmesi için %4'den daha fazla asetik asit konsantrasyonu gerektiğini bildirmişlerdir. Ancak bu konsantrasyonlarda uygulanan asetik asit mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkili olurken asetik asitin güçlü keskin kokusunun karkasların duyuşal özelliklerini olumsuz etkilediğı bildirilmiştir (Nkosi ve ark., 2021). Organik asitlerin kullanımında karşılaşılabilen olumsuzluklar nedeni ile kanatlı işletmelerinde kimyasal dekontaminasyon amacı ile genellikle klor ve klorlu bileşikler kullanılmaktadır.

2.4.1. Kanatlı dekontaminasyonunda klor ve klorlu bileşiklerin kullanılması

Klor ve klor bileşenleri kanatlı ve sığır karkasları için geleneksel kimyasal dekontaminasyon işlemidir ve çeşitli şekillerde kullanılıp uygulanabilir (Hugas ve

Tsigarida, 2008). Gıda endüstrisinde klor içeren klor dioksit, sodyum hipoklorid, kalsiyum hipoklorid, gaz klorin, kloraminler, klorlu trisodyum fosfat gibi dezenfektan maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Çınar ve Dikici, 2022). Klor ve klor bileşenlerinin elektronegatif özelliği sebebiyle peptid bağlarını yükseltgemesi sonucu bakteri hücre duvarındaki proteinlerin yapısını bozarak bakteri enzimlerine ve DNA'sına zarar veren hipoklorik asit, hipokloröz asit ve hipoklorit iyonları oluşturur (Sefna ve ark., 2019). Klorun bakterisid etkisi bakteri hücrelerinde glikoz oksidasyonunu engelleyerek ve sülfidril grubu bulunan enzimleri aktivasyonunun azaltılmasını sağlayarak hücreye besin iletimini ve enerji iletilmesinin kesilmesi şeklinde etki etmektedir (Oğur ve Güler, 2004).

Klor etkili, ekonomik ve kullanımı kolay olmasına rağmen yüksek miktarda kullanılan klor zararlı kimyasal kalıntılar ve et ile reaksiyona girerek tri-halometan isimli toksik ve kanserojen etkiye sahip bileşikler oluşturmakta ayrıca ürünün duyuşal niteliklerini olumsuz etkilemektedir (Oğur ve Güler, 2004; Sinmahapatra ve Biswas, 2021).

Klorlama işleminin etkinliğı, klor konsantrasyonu, maruz kalınan süre, ortam sıcaklığı ve pH seviyesi gibi faktörlere bağılıdır. Klorlamanın soğutma suyunda gerçekleşmesi işleminde temas süresinin uzatılması mikroorganizma yükünü azaltır ve karkasların depolama ömrü 1-3 gün daha arttırmaktadır (Tosun, 1999). Klorun yüksek konsantrasyonlarda kullanılması istenmeyen kokuya sebep olduğı için 20-50 ppm kullanılması tavsiye edilmektedir (Arslan, 2002). Karkas soğutma suyu içerisine klor eklenmesi karkastaki mikroorganizma sayısını azaltır, çapraz kontaminasyonu önlemeye yardımcı olur ve karkasların depolama ömrü üzerinde artış sağladığı bildirilmiştir (Arslan, 2001).

Kloraminler ile kıyaslandığı zaman hipoklorit asit daha fazla bakterisit etki göstermektedir (Oğur ve Güler, 2004). Klor dioksit, klorlu sudan daha az zehirli ve daha kararlıdır bu sebeple tavuk işletmesinde klorlu suyun yerini alabilir (Sefna ve ark., 2019). Klor dioksitin klordan daha avantajlı olmasının sebepleri; daha az oranlarda kullanılması, uzun süreli etki göstermesi, pH artışıyla birlikte etkinliğinin değişmemesi, ekipmanlarda korozif etkiye yol açmaması ve toksik etkisinin olmamasıdır. Kanatlı işletme suyunda bulunan 5 ppm klor dioksit (ClO_2), 34 ppm klor (Cl) aynı bakterisit etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Kanatlı işletmede soğutma suyunda ve karkaslar üzerinde klor dioksitin (ClO_2) 1,39 mg/l konsantrasyonda kullanıldığı zaman *Salmonella spp.* üzerine tamamen inaktivasyon etkisi gösterdiği ve

kanatlı karkasların rengi hafif açılmalar gösterdiği bildirilmiştir (Arslan, 2001; Sofos ve Smith, 1998).

Klor ve klor dioksit kombinasyonu kullanıldığında, aerobik bakteri, koliformlar ve *E. coli* sayısındaki azalma tek başına klorun kullanılmasına kıyasla 0,5-0,7 log kob/ml fazla olmuştur (Stopforth ve ark., 2007). Yapılan başka bir çalışmada kümes hayvanı karkaslarına tek başına klor dioksit uygulaması (500-1200 ppm) püskürtme işlemi bakteri yükünde 0,2-0,4 log kob/ml azaltıcı etki sağlamıştır (Stopforth ve ark., 2007).

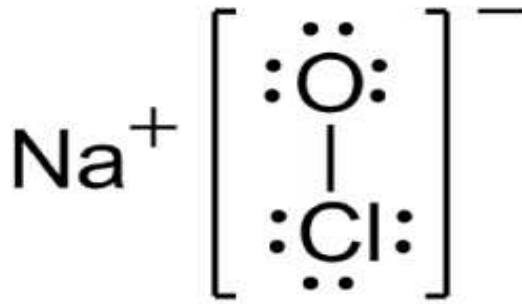
Sinhamahapatra ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada asitlendirilmiş sodyum kloritin daldırma ve püskürtme işlemlerinin karşılaştırılması daldırmanın aerobik bakteri ve koliformlar için püskürtme işlemine göre biraz daha yüksek azalma sağladığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada kanatlı karkaslarına farklı işleme noktalarında (tüy dökme, iç çıkarma ve boyun çıkarma sonrası) ayrı ayrı uygulanan 20-50 ppm klorlu su spreyinin aerobik bakteri, toplam koliformları ve *E. coli* üzerinde 0,4 log'dan fazla olmamak üzere azalttığını ve *Salmonella* yaygınlığını ise %20-25 oranında azaldığı göstermiştir (Stopforth ve ark., 2007). Klor içeren dezenfektan maddelerin avantaj ve dezavantajları Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Klor ve bileşenlerinin avantaj ve dezavantajları (Metin ve Öztürk, 1995; Northcutt ve ark., 2007).

Avantajları	Dezavantajları
Tüm mikroorganizmalar üzerine etkilidir.	Depolama ömürleri kısadır. Işık ile temas etmesi durumunda raf ömrü sırasında bozulurlar.
Bakteri sporları, bakteriyofajlara ve virüslere karşı son derece etkilidir.	Paslanmaz çelik ve diğer metaller için çok koroziftirler.
Konsantrasyonu kolaylıkla hesaplanabilir.	Ürünler üzerinde soldurucu etkileri vardır.
En ucuz dezenfektanlardır.	Deri yüzeyinde tahriş edici etkileri vardır.
Yüzey üzerinde film tabakası meydana getirmezler.	Koku ve lezzet gibi duyuşal özelliklerini olumsuz etkileyebilirler.
	Lipitleri oksitleyici özellikleri vardır.
	Dezenfektan çözeltisinin pH'ının yükselmesi sonucu etkileri azalır.
	Stabil değildirler. Organik madde ve ısıya maruz kaldıklarında hızlı şekilde özelliklerini yitirirler.

2.4.1.1. Sodyum hipoklorid

Endüstriyel tesislerde sodyum hipoklorit, gaz halindeki klorun sodyum hidroksit çözeltisi içinde absorbe edilmesiyle üretilmektedir (Fukuzaki, 2006). Sodyum hipokloritin (NaClO) yaygın olarak dezenfektan madde olarak kullanılmasının sebebi ucuz olması, kullanımının kolay olması ve mikroorganizmaların inaktive edilmesinde etkili olmasıdır (Park ve ark., 2014). Sodyum hipoklorit çözeltisinin UV ışınlarına maruz kalması durumunda kararsız forma dönüşmeleri sebebiyle karanlık ve serin koşullarda muhafaza edilmesi önerilmektedir (Fukuzaki, 2006). Sodyum hipokloritin kimyasal formu Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. NaClO kimyasal yapısı.

Sulu çözeltiler içerisinde klor, serbest kullanılabilir klor veya serbest kalıntı klor olarak isimlendirilen Cl_2 , HOCl ve OCl^- olmak üzere üç farklı formda bulunmaktadır. Serbest klor (Cl_2) su içerisindeki çözünürlüğü çok düşüktür ve bu nedenle Cl_2 , çözeltilerden kolayca kaçmaktadır. Nötr pH bölgelerinde (6,5 - 7,5) ayrılmamış HOCl nispeten yüksek bir oranda ayrışma eğiliminde ve depolama süresi boyunca konsantrasyonu giderek azalmaktadır. Ayrılan hipoklorit iyonu (OCl^-) alkali suda özellikle de 10'un üzerindeki pH'larda daha kararlı bir formdadır (Fukuzaki, 2006).

Sodyum hipoklorit çözeltisinde hem hipokloröz asit (HOCl) hem de hipoklorit iyonu (OCl^-) güçlü oksitleyici ajanlardır. Hipokloröz asit ve hipoklorit iyonunun fizyolojik pH koşullarında proteinler, amino asitler, peptidler, lipitler ve DNA gibi çok çeşitli biyolojik moleküllerle reaksiyona girdiği bildirilmiştir (Fukuzaki, 2006). Su içerisine sıvı haldeki sodyum hipoklorit (NaClO) ilave edilmesi durumunda hipokloröz asit (HOCl) meydana gelmekte ve antimikrobiyal etki göstermektedir. Açığa çıkan hipokloröz asit zayıf bir asittir ($\text{pK}_a=7,5$, 25°C) ve suyun pH'ına bağlı olarak su içerisinde hidrojen iyonu (H^+) ve hipoklorit iyonlarına (OCl^-) ayrılmaktadır.

Antimikrobiyal etkinliğin yüksek olması için klor içeren dezenfektanın pH'ı 6,5 ile 7,5 arasında değişmelidir (Ayhan ve Bilici, 2015; Fukuzaki, 2006).

Genel olarak sodyum hipokloritin kullanımı 50 ile 200 ppm arasında değişim göstermektedir. Sodyum hipoklorit mikroorganizmaların proteinlerini oksidasyon yoluyla etkileyerek ölümlerine sebep olabileceği bildirilmiştir (Gomes ve ark., 2016). Sodyum hipoklorit 'in antimikrobiyal özelliği sodyum hipoklorit çözeltisi HOCl konsantrasyonuna bağlıdır (Fukuzaki, 2006). Bunun sebebi HOCl'nin hücre duvarı ve membranı boyunca mikrobiyal hücreye nüfus etmesine bağlanmaktadır. HOCl'nin mikroorganizma öldürme mekanizması büyüme için gerekli olan enzim mekanizmasının engellenmesi, membran ve DNA'nın zarar görmesi ayrıca tam açıklanmamış olmasına rağmen membran taşıma kapasitesinin zarar görmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Hipoklorit (HOCl) stresinin ayrıca hücresel bileşenlere zarar verebilecek yaygın zararlı oksidatif türler ürettiği de bildirilmiştir. Ek olarak sodyum hipokloritin mikroorganizma öldürme aktivitesi yüksek pH (OH^- etkisi) ve HOCl oksidasyonuna dayanmaktadır (Fukuzaki, 2006). Ancak klorun organik madde ile reaksiyona girmesi durumunda antimikrobiyal etkinliği büyük ölçüde azalmaktadır (Meireles ve ark., 2016).

Northcutt ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada yapay olarak kontaminasyonu sağlanmış kümes hayvanı karkaslarına 50 ppm HOCl çözeltisinin 1 ve 3 dakika püskürtülerek aerobik bakteriler 0,7 log kob/ml, *E. coli* 1,5 log kob/ml, *C. Jejuni* 1,6 log kob/ml ve *Salmonella* 2,4 log kob/ml indirgeme sağlamıştır.

Yapılan çalışmalarda kanatlı karkaslarda sodyum hipoklorit kullanılması *Salmonella spp.* sayısında 0,8-2,4 log kob/ml azalma meydana geldiği bildirilmiştir (Fabrizio ve ark., 2002; Northcutt ve ark., 2007).

Sarjit ve Dykes (2015) tarafından yapılan çalışmada kanatlı karkaslarında 50 mg/l sodyum hipoklorit kullanılması sonucu *Salmonella spp.* ve *Campylobacter spp.* sayısında 1,6-2,4 log kob/ml azalma görülmüştür.

Park ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, 200 ppm sodyum hipoklorit ve 60 dakika ultrases işlemi uygulaması deniz yosunu işleme sırasında gıda kalitesi üzerine olumsuz etkisi olmamış ayrıca *E. coli* indirgemesinde sinerjistik etkiler göstermiştir.

Fabrizio ve ark. (2002) tarafından yapılan başka bir çalışmada %2 sodyum hipoklorit 'in kanatlı karkaslara 3 dk püskürtülmesi işleminde koliformlar ve *E. coli* için herhangi bir azalma sağlamazken aerobik bakterilerde 0,3 log kob/ml ayrıca *S. Typhimurium* sayısını 0,8 log kob/ml azalttığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada daldırmalı soğutma işleminde %2 sodyum hipoklorit uygulaması, aerobik bakterileri 1,2 log kob/ml, koliformları 0,6 log kob/ml ve *E. coli*'yi 0,6 log kob/ml azalma sağlamış ancak *S. Typhimurium* 'da herhangi bir azalma gözlemlenmemiştir.

Ultrases teknolojisi, gıda endüstrisinde kullanımı, ultrases teknolojinin kanatlı etlerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite parametreleri üzerine olan etkileri, kanatlı etlerindeki mikrobiyal risk ve bu riskleri önleme yöntemleri yukarıda özetlenmiştir. Literatürde ultrases teknolojinin kanatlı etlerine uygulandığı çalışmalar bulunmakla birlikte bu teknolojinin kanatlı sektöründe önemli bir bulaş kaynağı ve patojen bakterilerden olan *S. Typhimurium* ve *E. coli* üzerine etkilerinin tespit edildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmalar ise genellikle oda sıcaklıklarında yapılan çalışmalardır. Soğuk koşullarda yapılan çalışmalarda ise ultrasesin *Salmonella spp.* ve *E. coli* üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ayrıca literatürde bu amaçla yapılan çalışmaların çoğu sadece mikrobiyal özellikler üzerine odaklanmış, sabit olan birkaç farklı ultrases parametresi denenmiş ancak bu parametrelerin uygun olanının belirlenmesi ve bu uygulamanın üründe meydana getirebileceği değişikliklerin izlenmesi açısından eksik kalmıştır. Ancak ultrases teknolojinin kanatlı kesimhanesine entegrasyonu ve kesimhane şartlarındaki etkilerinin belirlenmesi için bu teknolojinin soğutma aşamasında ve/veya soğutma öncesinde uygulanmasının beraberinde pek çok avantaj getireceği ve son ürünlerdeki mikrobiyal kalitenin güvenliğini, korunumunu ve takibini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Bu nedenle, kanatlı etlerine soğuk koşullarda uygulanan ultrases teknolojinin *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerinin inaktivasyonuna ve uygulanan parametrelerin tavuk etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerine olan etkisinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda bu tez çalışması ile soğuk koşullarda tavuk göğüs etlerine uygulanan ultrases teknolojinin *Salmonella spp.* ve *E.coli* inaktivasyonu üzerine etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla, tavuk göğüs örneklerine laboratuvar koşullarında inoküle edilen *Salmonella spp.* ve *E. coli*'nin 3 farklı klor konsantrasyonu (%0, %2 ve %5) içeren yıkama suyunda 8±2 °C sıcaklıklarda

inaktivasyonuna ultrases teknolojisinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca klorlu, düşük klorlu ve klorsuz yıkama sularının kullanılması halinde uygulanması gereken uygun ultrases koşulları belirlenerek, belirlenen bu ultrases koşullarında kanatlı etlerinin mikrobiyal, fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerindeki değişimler de incelenmiştir.





3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada Sakarya ilindeki yerel bir marketten temin edilen kemiksiz piliç göğüs etleri (piliç bonfile) kullanılmıştır. Piliç göğüs etleri markete getirildiği ilk gün marketten alınmış ve soğuk zincir altında laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen tavuk göğüs etleri analize alınana kadar $4\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de buz dolabında muhafaza edilmiştir. Ultrases uygulamasını gerçekleştirmek için Sonics, VCX750 (Newtown, USA) marka ultrases cihazı ve 19 mm çapında prob (630-0207) kullanılmıştır. Mikrobiyolojik analizlerde kullanılması amacıyla; XLT4 Agar (Merck 1.13919.0500), XLT4 Agar supplement (Merck 1.08981.0100), MacCONKEY (MAC) Agar (Merck 1.00205.0500), tamponlanmış pepton (Merck 1.07228.0500), sodyum klorür (Merck 1.06404.1000), Brain Heart Infusion Broth (BHI) (Merck 1.10493.0500) besiyerleri ve dezenfeksiyon için Etanol (Merck 1.00983.2500) Merck Chemicals Co.'dan (Darmstadt, Almanya); soğutma aşamasında yıkama suyu olarak kullanılmak üzere Sodyum Hipoklorit (NaClO , % 6 - 14, extra pure) TEKKİM Kimya Sanayi Tic. Ltd. 'den (Bursa, Türkiye) satın alınmıştır. Tavuk göğüs etlerinin (piliç bonfile) fizikokimyasal analizlerinde kullanılan; trikloroasetik asit (TCA) (Merck, 1.00807.0250), tiobarbitürik asit (TBA) (Merck, 1.08180.0025), hidroklorik asit (HCl , Sigma 07102, %37) Merck Chemicals Co.'dan (Darmstadt, Almanya) temin edilmiştir.

3.2. Mikroorganizma İnokulasyonunun Hazırlanması ve Tavuk Etlerinin İnokulasyonu

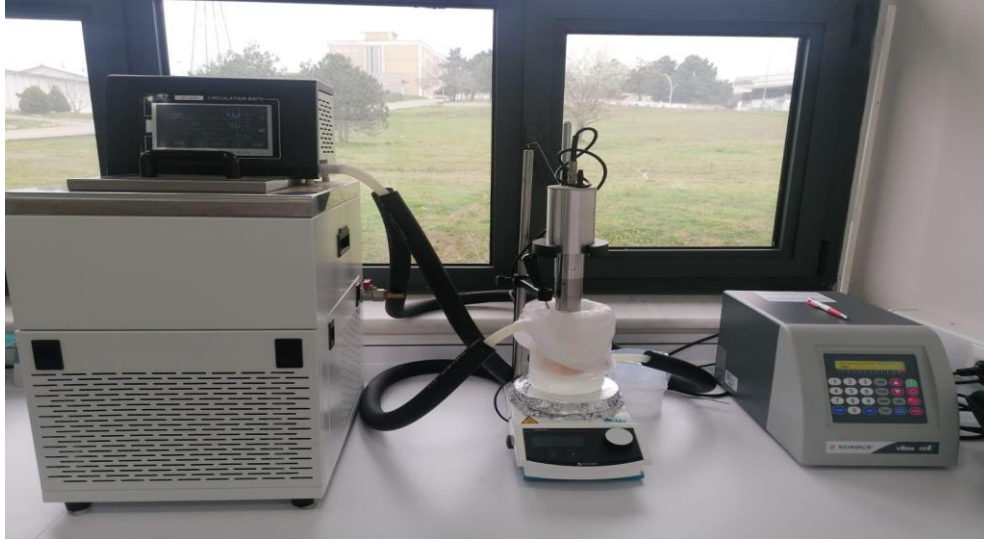
Çalışmada kullanılacak inokulasyon kültürlerini hazırlamak için Sakarya Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında hazır olarak bulunan *S. Typhimurium* ATCC 14028 ve *E. coli* ATCC 25927 bakterilerine ait stok kültürler kullanılmıştır. *S. Typhimurium* ATCC 14028 ve *E. coli* ATCC 25927 stok kültürleri oda sıcaklığına eritilmiş ve eritilen stok kültürlerden ayrı ayrı 0,1 ml alınarak içerisinde 10'ar ml Brain Heart Infusion Broth (BHI) bulunan tüplere inoküle edilmiş, ardından 37°C de 24 saat inkübatöre (ZSD – 1160, ZHİCHENG) bırakılarak hücrelerin aktifleştirilmesi

sağlanmıştır. Tavuk göğüs etine ultrases işlemi uygulamasından bir gün önce, daha önce hazırlanan aktif kültürlerden ayrı ayrı 0,1 ml alınarak 50 ml Brain Heart Infusion Broth içerisine aktarılmış ve 37 °C de 18 saat çoğaltılmıştır. Çoğaltılan kültürler inkübasyondan sonra ayrı ayrı 50 ml'lik santrifüj tüpüne aktararak 5000 rpm 4 °C de 15 dk santrifüjleme (NÜVE, NF 1200R) işlemi uygulanmıştır. Santrifüj işlemi sonrası süpernatant atılarak pelet üzerine 10 ml peptonlu su ilave edilerek karıştırılmış ve tekrar 5000 rpm ve 4 °C'de 15 dk santrifüjlenerek peletlere yıkama işlemi uygulanmıştır. Bu yıkama işlemi iki kere daha tekrar edilmiştir. Son olarak elde edilen süpernatant ayrılmış ve pelet üzerine 2 ml peptonlu su ilave edilerek santrifüj tüpü vorteks (Heidolph REAX top) yardımıyla karıştırılmıştır. Ayrı ayrı hazırlanan kültürlerden 1'er ml alınarak içerisinde 9'ar ml %0,1 steril peptonlu su bulunan tüpler içerisine ayrı ayrı aktarılmış ve böylece her bir bakteri grubu için inokülasyonun başlangıç yükü yaklaşık $10^8 - 10^9$ log kob/ml olarak ayarlanmıştır (Juneja ve ark., 2007; Juneja ve ark., 2009).

Kemiksiz tavuk göğüs etleri $3 \times 2 \times 1$ cm boyutlarında yaklaşık 10 ± 1 gram olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen tavuk göğüs etleri alınarak polietilen poşet içerisine aktarılmıştır. Üzerine daha önceden hazırlanmış yaklaşık $10^8 - 10^9$ log kob/ml *S. Typhimurium* veya *E. coli* içeren bakteri süspansiyonlarından 0,1 ml alınarak steril koşullarda tavuk göğüs etleri üzerine aktarılmıştır. Tavuk göğüs etleri 30 saniye boyunca el ile masajlanarak bakteriler ile kontamine edilmiştir.

3.3. Ultrases Ön İşlem Koşullarının Belirlenmesi

Bakteri inoküle edilmiş tavuk etlerini içeren poşetler ultrases işleminin uygulanacağı çift cidarlı beher (içerisinde soğutma suyunun sirkülasyonuna izin veren) içerisine yerleştirilmiştir. Ultrases uygulaması boyunca beherin cidarları arasından soğutma sirkülatörü (Scientz, DC2006, Ningbo, China) aracılığıyla 4 °C de soğuk akışkan dolaştırılmış ve yıkama suyu sıcaklığında artış meydana gelmemesine dikkat edilmiştir. Ultrases uygulaması için 20 kHz frekans ve 750 W çalışma gücüne sahip ultrases cihazında (Sonics, VCX750, Newtown, USA) 19 mm çaplı prob (VCX750, 630-0207) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ultrasonik ses dalgası cihazı Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ultrasonik Ses Dalgası Cihazı.

Tez çalışmasında kullanılan ultrases ön işlem parametreleri: ultrases uygulanacak beherin cidarlarından dolaştırılacak olan soğutma suyu sirkülasyon sıcaklığı, beher içerisine konacak yıkama suyu miktarı, ultrases işleminin kesikli mi yoksa sürekli mi uygulanacağını belirlemek için ön denemeler yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla iki farklı genlikte (%40 ve %80), farklı su miktarlarında (250, 300 ve 400 ml) ve farklı çalışma modu koşulunda (sürekli veya darbeli) ultrases uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda Tablo 3.1’de görüldüğü üzere 4 farklı deneme koşulunda çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Ultrases Koşullarının Optimizasyonunda Kullanılan Ön Deneme Planı

Ultrases Genlik (%)	Yıkama suyu (saf su) miktarı(mL)	Ultrases Çalışma Modu
40	250	Sürekli
40	400	Sürekli
80	300	Sürekli
80	300	Darbeli (0,3 s açık, 0,2 s kapalı)

Aynı zamanda ön denemelerde belirlenen koşulların yıkama suyu sıcaklığının 20 °C’nin üzerine çıkarmayacak koşullar olmasına da dikkat edilmiştir. Bunun için, beher cihazlarında dolaşacak suyun ve soğutma suyunun sıcaklıklarının optimizasyonu için yukarıdaki koşullarda yapılan ön denemeler süresince yıkama suyundaki sıcaklık

değişimi bir termometre (Digitales Einstich-Thermometer, TFA) yardımıyla periyodik olarak kontrol edilmiştir. Tavuk göğüs etine farklı ultrases uygulama süreleri boyunca kullanılan yıkama suyunun (saf su) belirli aralıklarda (ilk 1 dk için 5 sn aralıklarla, 1 dakika sürenin sonunda 2 dk süreye kadar 10 sn aralıklarla ardından 3. dk ya kadar 15 sn aralıklarla ve 4. dk'dan sonra 30 sn aralıklarla yıkama suyunun sıcaklık verileri kaydedilmiştir) sıcaklık artışı kontrolü yapılmış ve ultrases uygulamaları sırasında meydana gelen zamana bağımlı sıcaklık değişimi kaydedilmiştir.

3.3.1. Sıcaklık değişimi ve enerji hesaplamaları

Ultrases uygulaması sırasında yıkama suyunun termometre yardımıyla sıcaklık ölçümünün yapılma şekli Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Çalışmada beher içerisinde bulunan sodyum hipoklorit yıkama suyunun başlangıç sıcaklığı yaklaşık 8 ± 2 °C olarak ayarlanmıştır. Bölüm 3.3'te belirtildiği şekilde ultrases uygulamaları süresince sıcaklık ölçümleri yapılmış ve uygulama süresi boyunca çift cidarlı beherde sirkülasyon banyosu aracılığıyla 4 °C sıcaklıkta akışkan dolaştırılarak yıkama suyunun sıcaklık değerinin artması engellenmiştir.



Şekil 3.2. Ultrases uygulama sırasında termometre aracılığıyla sıcaklık ölçümü.

Bu bölümde işlem sırasında oluşan sıcaklık değişikliklerini temel alarak, kalorimetrik yöntem aracılığıyla ultrasonik enerji yoğunluğu (birim örnek hacime düşen ultrases enerji miktarı) hesaplanmıştır (Yıldız ve ark., 2021). Bu hesaplamada kullanılan denklem aşağıda belirtilmiştir.

$$P = m \times C_p \times \frac{dT}{dt} \quad (3.1)$$

P: Cihazdan elde edilen ultrasonik güç (W).

M: Toplam örnek kütlesi (g).

C_p_{Su}: Su özgül ısısı (J/g.°C).

$\frac{dT}{dt}$: Sıcaklığın zamana göre değişim hızı (°C/s).

Ultrases yoğunluğu (UI) D çaplı bir probdan dağılan ultrases enerjisi, aşağıda verilen denklem aracılığıyla hesaplanmıştır (Tiwari ve ark., 2012).

$$UI = \frac{4P}{\pi \times D^2} \quad (3.2)$$

UI: Ultrases yoğunluk (W/cm²)

P: Cihazdan elde edilen ultrasonik güç (W)

D: Prob çapı (cm)

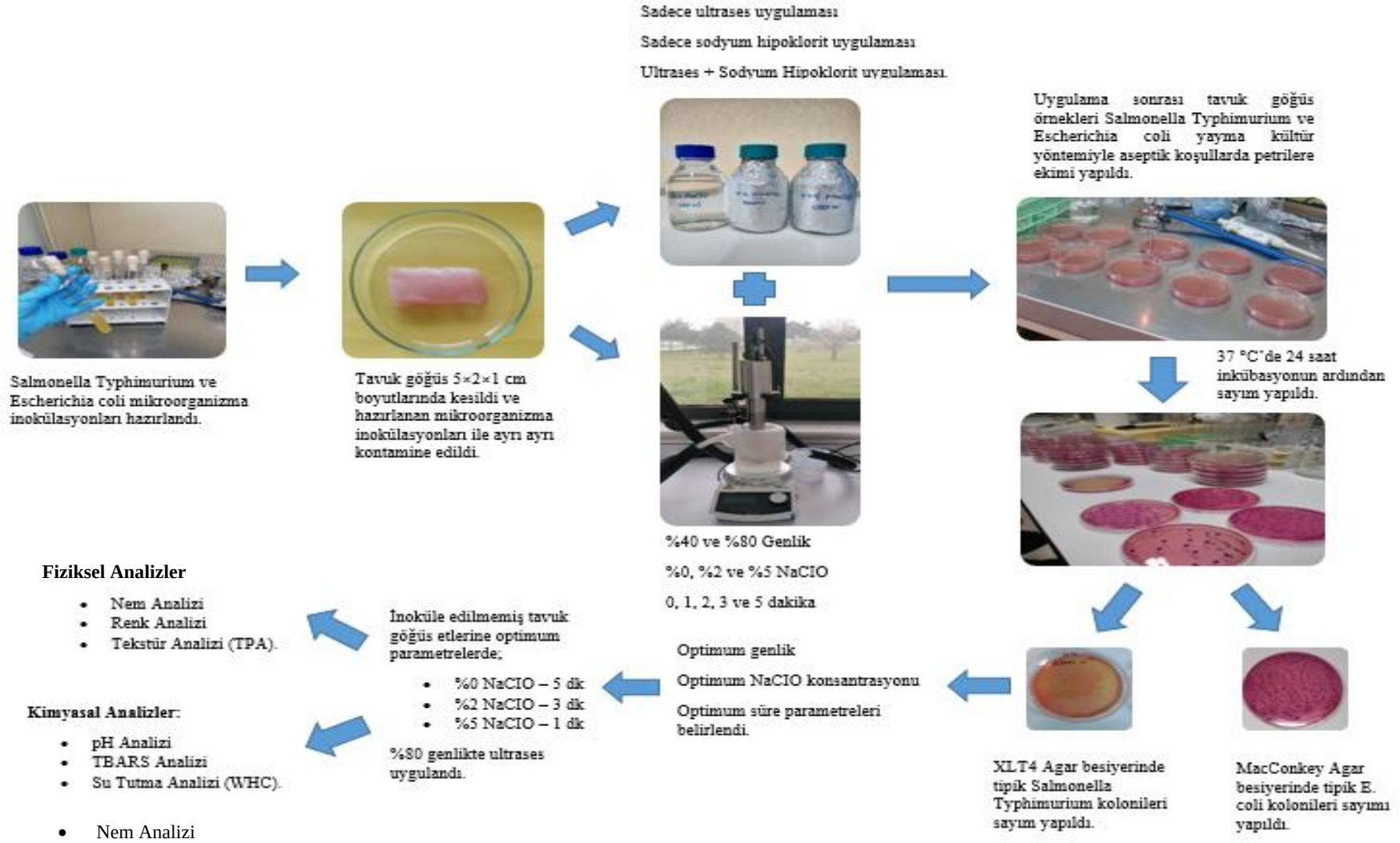
3.4. Uygun Ultrases Koşullarının Belirlenmesi

Tablo 3.1’de belirtilen dört farklı ultrases ön deneme çalışmaları sonucuna göre ultrasesin sürekli modda uygulanmasına ve 300 ml yıkama suyunun kullanılmasına karar verilmiştir. Tez kapsamında bu koşullarda farklı genlik (%40 ve % 80) ve sürelerde uygulanan ultrases teknolojisinin üç farklı konsantrasyonda sodyum hipoklorit (NaClO) (%0, %2 ve %5) içeren yıkama suyunda *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonu üzerine etkileri belirlenmiştir. Bu amaçla Bölüm 3.2’de belirtildiği şekilde inoküle edilen tavuk göğüs etlerine; 300 ml %0, %2 veya %5 sodyum hipoklorit (NaClO) içeren yıkama suyu içerisinde yaklaşık 8±2 °C de %40 ve %80 genlik değerlerinde 0, 1, 2, 3 ve 5 dakika sürelerde ultrases (20 kHz frekans 750 W çalışma gücünde) uygulanmıştır.

Yukarıda belirtilen parametrelere göre uygulanan her bir işlem sonrasında Bölüm 3.5’te belirtildiği şekilde mikrobiyolojik sayımlar (*S. Typhimurium* ve *E. coli* sayımları)

yapılmıştır. Elde edilen mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterileri için ayrı ayrı inaktivasyon kurveleri oluşturulmuştur. Bu oluşturulan inaktivasyon kurveleri sonucu her sodyum hipoklorit konsantrasyonu için en az 1 log kob/g inaktivasyon sağlayan parametreler uygun koşul olarak belirlenmiştir. Ardından, uygun koşul olarak belirlenen parametrelerin tavuk göğüs etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerine etkilerinin belirlenmesi için *S. Typhimurium* ve *E. coli* inokülasyonu yapılmamış tavuk etlerine belirlenen uygun koşullar uygulanmıştır. Bu koşulların tavuk göğüs etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerine etkileri yapılan analizler ile incelenmiştir. Tez çalışması deneysel süreç uygulama aşamaları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.





Şekil 3.3. Deneysel Süreç Uygulama Aşamaları.

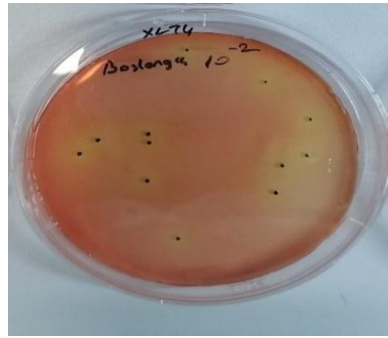
3.5. Mikrobiyolojik Analizler

3.5.1. Mikrobiyolojik analizler için dilüsyon hazırlama

Ultras ses uygulanan tavuk göğüs etlerinden 10 g alınarak steril koşullarda stomacher poşeti içerisine konulmuştur. Stomacher poşeti içerisine 90 mL fizyolojik tuzlu su ilave edilmiş ve sonrasında stomacherda 2 dakika boyunca homojenize edilmiştir (Halkman, 1990). Bu şekilde ilk dilüsyon 10^{-1} hazırlanmıştır. Homojenizat içerisinden 1 ml alınarak içerisinde 9 ml fizyolojik tuzlu su bulunan tüpler ile 1:9 oranında seyreltme işlemi uygulanmış ve bu şekilde 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} olacak şekilde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır (Anonim 2011b).

3.5.2. *Salmonella Typhimurium* sayımı

S. Typhimurium inaktivasyonunun belirleneceği örnek gruplarından hazırlanmış dilüsyonlardan 0,1 ml alınarak selektif katkısı ilave edilerek hazırlanmış XLT4 Agar bulunan petrilere yayma kültür yöntemiyle ekimler yapılmıştır. Ekimi yapılan petrilere 37 °C sıcaklıkta 24-48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda gelişen tipik siyah renkli koloniler *S. Typhimurium* olarak sayılmıştır. Sayım sonuçları log kob/g üzerinden hesaplanmıştır (Hwang ve ark., 2009). XLT4 Agar besiyerinde gelişen tipik *S. Typhimurium* kolonilerin görüntüsü Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

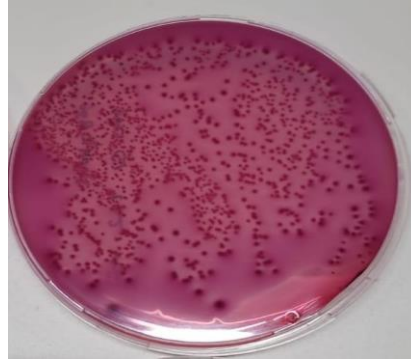


Şekil 3.4. XLT4 Agar besiyerinde *Salmonella Typhimurium* tipik kolonilerin görüntüsü.

3.5.3. *Escherichia coli* sayımı

E. coli inaktivasyonunun belirleneceği örnek gruplarından hazırlanmış dilüsyon içeriğinden 0,1 ml alınarak MacConkey Agar bulunan petrilere yayma kültür yöntemiyle ekimler yapılmıştır. Ekim işlemi yapılan petrilere 37 °C de 24-48 saat süre aralığında inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonrası gelişen tipik büyük kırmızı etrafı bulanık zon ile çevrili koloniler *E. coli* olarak sayılmıştır. Sayım

sonuçları log kob/g üzerinden hesaplanmıştır (Hwang ve ark., 2009). MacConkey Agar besiyerinde gelişen tipik *E. coli* kolonilerin görüntüsü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. MacConkey Agar besiyerinde *E. coli* tipik kolonilerin görüntüsü.

3.6. Fiziksel Analizler

Belirlenen uygun koşullarda uygulanan ultrases parametrelerinin tavuk göğüs etlerinin fiziksel kalite parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla göğüs etinde kolorometrik renk (L^* , a^* ve b^*) analizleri ve tekstür profil analizi yapılmıştır.

3.6.1. Renk analizi

Tavuk göğüs etlerinin renk ölçümü (L^* , a^* ve b^* değerleri), önceden kalibre edilen renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 7, PCE Instrument, Meschede, Germany) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Tavuk göğüs eti örneklerinin L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık), b^* (sarılık) değerleri belirlenmiş ve toplam renk değişimi (ΔE) hesaplanmıştır. Bu amaçla her bir tekerrürden 2 farklı örnek alınmış ve her bir örneğin 3 farklı noktasından ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar yapılan okumaların (3 tekerrür için toplam 18 ölçümün) ortalaması alınarak verilmiştir. Ultrases uygulaması sonrası tavuk göğüs etinde meydana gelen toplam renk değişimi (ΔE) denklem 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır (Li ve ark., 2022). Bu denklemde kullanılan L_0 , a_0 , b_0 değerleri, tavuk göğüs etlerinin başlangıç renk değerlerini; L_1 , a_1 , b_1 verileri ise uygun koşullarda (%0 NaClO – 5 dk, %2 NaClO – 3 dk ve %5 NaClO – 1 dk ultrases işlemi) uygulanan tavuk etlerinde uygulama sonrası belirlenen renk değerlerini ifade etmektedir.

$$\Delta E = [(L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2]^{1/2} \quad (3.4)$$

3.6.2. Tekstür profil analizi (TPA)

Tavuk göğüs eti örneklerinin tekstür profil analizi tekstür analiz cihazı (TA.XT Plus Stable Micro Systems Ltd., Surrey, England) kullanılarak test edilmiştir. Analizde 2

mm çaplı paslanmaz çelik silindirik prob kullanılmıştır. Tekstür analizi cihazı koşulları; %75 sıkıştırma, test hızı 2 mm/s ve son test hızı 3 mm/s olarak belirlenmiştir. Tekstürel parametrelerin belirlenmesi için her bir tekerrürden 2 farklı örnek alınmış ve bu örneklerin dış yüzeyinin 3 farklı noktasından ölçümler yapılmıştır. Alının ölçümler sonucunda örneklerin sertlik (Newton-N), yapışkanlık (N), esneklik (%) ve çiğnenebilirlik (N) değerleri hesaplanmıştır (Zhuang ve ark., 2016).



Şekil 3.6. Tekstür analiz cihazı (TA.XT Plus).

3.7. Kimyasal Analizler

Belirlenen uygun koşullarda uygulanan ultrases parametrelerinin tavuk göğüs etlerinin kimyasal kalite parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla tavuk göğüs etinde pH, nem, TBARS (tiyobarbitirik asit reaktif madde) ve su bağlama kapasitesi (SBK) analizleri yapılmıştır.

3.7.1. pH Analizi

Örneklerin pH değerlerinin belirlenmesi için laboratuvar tipi warring blender aracılığıyla homojenize edilen örneklerden 10 gram tartılarak üzerine 100 ml saf su ilave edilmiş ve içerik homojenize edilerek pH değerleri ölçülmüştür. Tavuk göğüs etlerinin pH analizleri (WTW pH 315i, Germany) pH metre ile yapılmış ve pH ölçümüne başlamadan önce pH metre pH 4 ve pH 7'lik tampon çözeltiler kullanılarak kalibre edilmiştir (Cao ve ark., 2021).

3.7.2. Nem analizi

Nem analizlerinde laboratuvar tipi blender (WARNING Laboratory Blender) kullanılarak homojenize edilen tavuk göğüs etleri kullanılmıştır. Tavuk göğüs etlerinin

nem miktarının belirlenmesi için darası alınmış kuru madde kaplarına 5 gram civarında tavuk göğüs eti konmuş ve 105 °C deki etüvde (ZHICHENG ZRD – 5110) sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulması sağlanmıştır. Örneklerin %nem oranları gravimetrik olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

$$\% \text{ NEM} = \frac{M_1 - M_2}{m} \times 100 \quad (3.3)$$

M₁: Örnek ağırlığı + kurutma kabı darası (g)

M₂: Örneğin kurutma sonrası ağırlığı + kurutma kabı darası (g).

m: Örnek ağırlığı (g).

3.7.3. TBARS analizi

TBARS analizi için homojenize edilen tavuk göğüs etlerinden 10 g alınarak bir behere aktarılmıştır. Daha sonra üzerine 30 ml %7,5'luk triklor asetik asit (TCA) çözeltisi ilave edilmiş ve ultra turrax (IKA, T18) yardımıyla homojenize edilmiştir. Elde edilen homojenizat whatmann no. 40 filtre kağıdı kullanılarak filtre edilmiştir. Süzüntüden 5 ml vida kapaklı cam tüpler içerisine alınmıştır ve üzerine 5 ml 0,02 mol/L derişimindeki TBA çözeltisinden ilave edilmiştir. Karışım vortekslenerek iyice karıştırılması sağlanmıştır. Ardından 100 °C sıcaklıktaki su banyosunda 35 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresini dolduran tüpler hızla soğuk su banyosu içerisine alınmış ve soğutulmuştur. Tüp içeriklerinden uygun miktarlarda örnekler alınarak UV-VIS spektrofotometrede (Shimadzu UVmini 1240) 5 ml saf su ve 5 ml TBA ayracından oluşan köre karşı 532 nm de absorbans değerleri okunmuştur. 1,3,3-tetraetioxypropane (TEP) ayırıcı kullanılarak çizilen kurveden elde edilen formül kullanılarak spektrofotometrede okunan absorbans değerinden örneklerin TBARS miktarı mg malondialdehyde (MA)/kg örnek olarak belirlenmiştir (Mielnik ve ark., 2006; Sorensen ve Jorgensen, 1996).

$$C = \frac{ABS - 0,007}{0,702} \quad (3.5)$$

$$TBARS = \frac{60 \times C}{M} \quad (3.6)$$

Abs: Spektrodan elde edilen absorbans değeri

60: Seyreltme faktörü

C: TEP kurvesinden bulunan MA miktarı (µg/ml)

M: Analize alınan örnek miktarı

3.7.4. Su bağlama kapasitesi (SBK) analizi

Tavuk göğüs etlerine uygulanan ultrases teknolojisinin örneklerin SBK'larında meydana getirdiği etkinin gözlenmesi amacıyla SBK analizi yapılmıştır. Bu amaçla, blender ile homojenize edilen tavuk göğüs etlerinden 5 gram örnek 50 ml'lik santrifüj tüpü içerisine alınmıştır. Üzerine 8 ml 0.3 M NaCl (4 °C'de) ilave edilmiş ve tüp içeriği 15 sn boyunca vortekslenerek karıştırılmıştır. Karışım 4 °C de 4 saat bekletilmiş ve sonrasında 7000 rpm 4 °C 15 dk santrifüjlenmiştir (Hettich UNIVERSAL 320R). Santrifüjleme sonrası süpernatant ayrılmış ve örnekler kurulanmıştır. Kurutulan örnekler tartılarak bağladıkları su miktarı aşağıdaki formüle göre (denklem 3.7) gravimetrik olarak hesaplanmış ve sonuçlar % olarak verilmiştir (Karakaya ve ark., 2005).

$$\% \text{SBK} = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (3.7)$$

M₀: Santrifüjlemeden önceki ağırlık (g)

M₁: Santrifüjlemeden sonraki ağırlık (g).

3.8. İstatistiksel Analizler

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda %40 ve %80 genlik değerlerindeki tavuk etinin mikrobiyolojik analizleri, 3 tekerrür 2 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen uygun koşullarda tavuk göğüs eti örnekleri üzerine uygulanan fiziksel ve kimyasal analizler ise 2 tekerrür 2 paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar tekerrürlerin ortalama değerleri alınarak verilmiş ve istatistiki analizleri yapılmıştır. Çalışmanın istatistiksel analizleri Minitab 18 (minitab Ltd. Ceventry, Birleşik Krallık) istatistik programı kullanılarak belirlenmiş olup gruplar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testleri yardımıyla 0,05 önem düzeyinde analiz edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

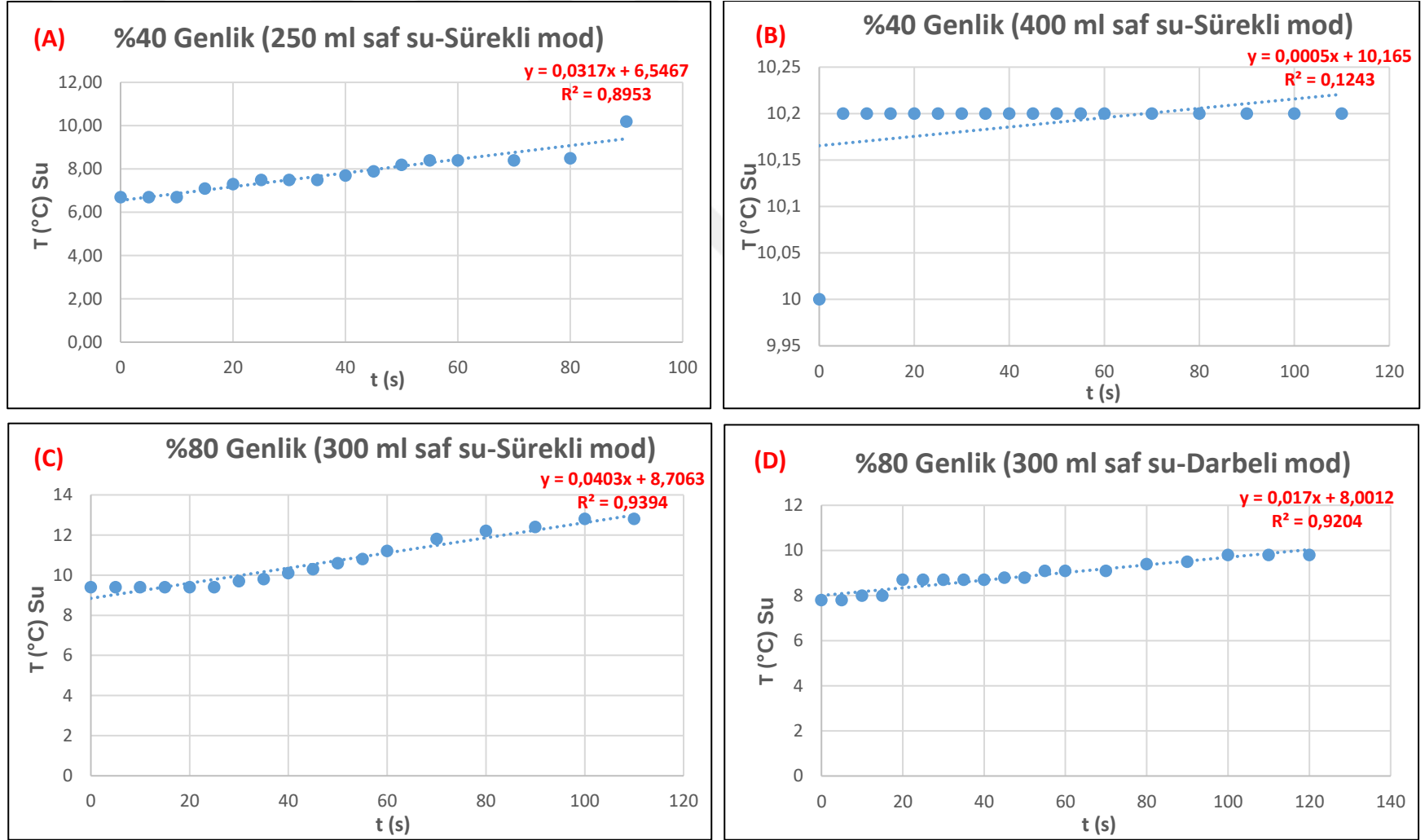
4.1. Ultrases Ön İşlem Koşulları Belirlenmesinin Sonuçları

Tez çalışması kapsamında tavuk göğüs etine inoküle edilen *Salmonella* Typhimurium ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonu için soğuk koşullarda uygulanan ultrases parametrelerinin optimizasyonu amacıyla ilk olarak iki farklı genlik (%40 ve %80), üç farklı su miktarı (yıkama suyu; 250, 300 ve 400 ml) ve iki farklı çalışma modu (sürekli ve darbeli) olmak üzere Tablo 3.1’de verilen 4 farklı koşulda ön deneme yapılmıştır. Ultrases uygulamaları sırasında, ultrases uygulama haznesi (çift cidarlı içinden soğutma suyu sirkülasyonuna olanak sağlayan bir beher) içerisinde kullanılan yıkama suyunun miktarı, uygulanan genlik, ultrases uygulama süresi, ultrasesin uygulanma biçimi (sürekli veya darbeli) gibi faktörler ultrases etkinliğini etkileyen parametrelerdir. Diğer yandan ultrases uygulamaları sırasında oluşan kavitasyon kabarcıkları ve ultrases cihazı aracılığıyla aktarılan mekanik enerji sebebiyle gıdanın içinde bulunduğu sıvının sıcaklığı yükselebilmektedir (Chandrapala ve ark., 2011; Li ve ark., 2015). Bu noktada ultrases uygulaması sırasında oluşan kavitasyon kabarcıkları nedeniyle oluşabilecek sıcaklık yükselmesi hem uygulamanın soğutma suyunda yapılacak olması hem de mikroorganizmalar üzerinde termal ölümcül etkilere sebep olması dolayısıyla istenmemektedir. Bu nedenle ultrases uygulama haznesi etrafında dolaşacak olan soğutma suyu sıcaklığının da gerekli ön denemeler ile optimize edilmesi ve işlem sırasında soğutma suyunun 20 °C yi aşmayacak şekilde koşulların seçilmesine dikkat edilmiştir.

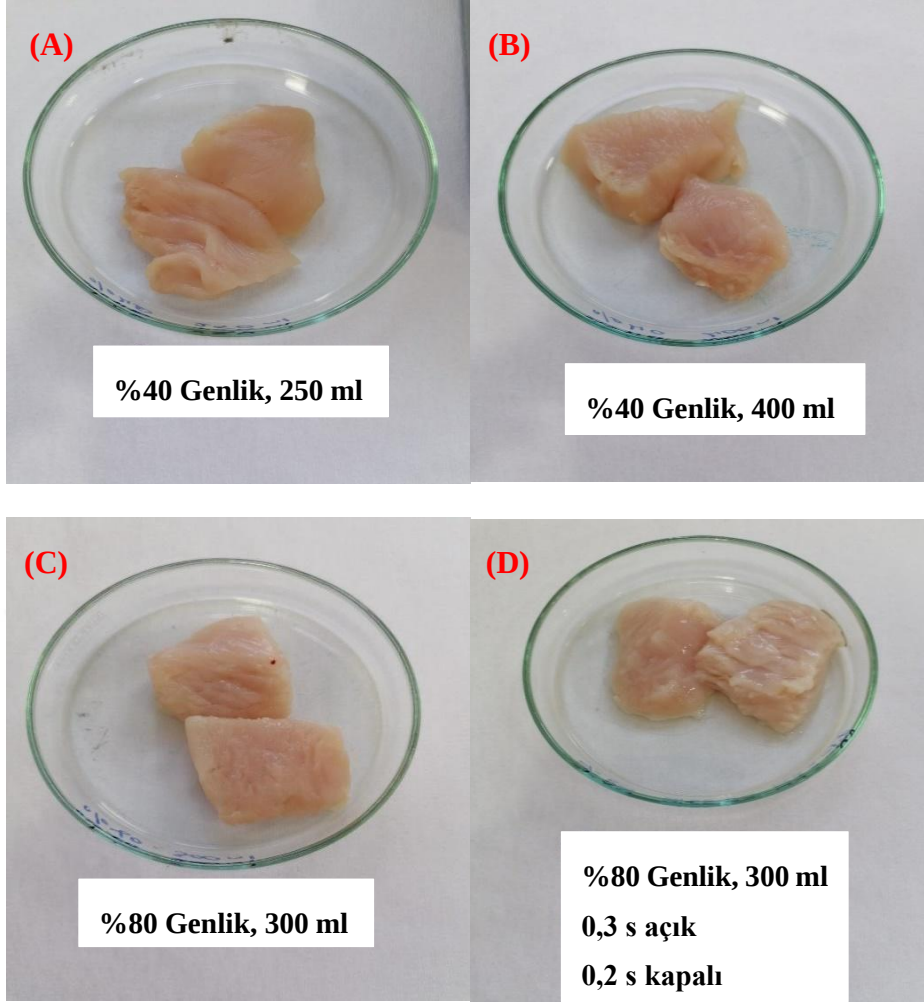
Çalışmada kullanılacak ultrases koşullarının belirlenmesi amacıyla uygulamalar süresince yıkama suyunun (bu aşama saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir) sıcaklığında meydana gelen artış termometre yardımıyla periyodik olarak ölçülerek kaydedilmiş ardından zamana bağlı sıcaklık değişim grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafikler Şekil 4.1 (A-D)’de gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.1’de verilen koşullara göre ultrases işlemi uygulanmış olan tavuk göğüs etlerinin görselleri Şekil 4.2 (A-D)’de verilmiştir. Bu verilere göre darbeli (kesikli) modda uygulanan ultrases dalgalarının tavuk göğüs etinin tekstürel yapısının bozulmasına ve kas liflerinin

bütünlüğünün kaybolmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu durumunun darbeli ultrases uygulamalarında, yüksek enerjili ses dalgalarının kısa süreli darbeler halinde ama yoğun mekanik etkiler yaratarak uygulanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle darbeli modda uygulanan bu dalgaların, et dokusunun içinde basınç ve stres oluşturarak tavuk göğüs etinin lif yapısında bozulmalara sebep olduğu tahmin edilmektedir. Bu bilgiler ışığında tez kapsamında yapılacak çalışmalarda sürekli modda ultrases uygulanmasına karar verilmiştir.





Şekil 4.1. %40 ve %80 genlik, farklı saf su miktarlarında ultrases ön deneme verilerinin zamana bağlı sıcaklık değişimi.



Şekil 4.2. %40 ve %80 genlikte ultrases ön deneme uygulama sonrası tavuk göğüs eti örnekleri.

(A: %40 genlik, 250 ml su bulunan hazne, sürekli ultrases uygulaması; B: %40 genlik, 400 ml su bulunan hazne, sürekli ultrases uygulaması; C: %80 genlik, 300 ml su bulunan hazne, sürekli ultrases uygulaması; D: %80 genlik, 300 ml su bulunan hazne, darbeleri (kesikli) ultrases uygulaması (0,3 sn açık; 0,2 s kapalı)).

Ultrases uygulama işlemi süresince beherin cidarları arasında soğutma sirkülatörü aracılığıyla 4 °C sıcaklıkta soğuk akışkan dolaştırılarak sıcaklığın 20 °C üzerine çıkması önlenmiştir. Sıcaklık süre kontrolüne bağlı olarak elde edilen ön deneme analiz grafiklerinden %40 genlik (A ve B grafikleri) sürekli modda işlem 250 ml ve 400 ml saf su içerisinde gerçekleştirilmiş olup zamana bağlı sıcaklık değişimleri arasında istenilen doğrusal korelasyon sağlanamamıştır. Ancak Şekil 4.1’de verilen C grafiğinde görüldüğü üzere; %80 genlik sürekli modda 300 ml saf suda ultrases uygulamasında sıcaklık süre parametreleri arasında doğrusal korelasyon ($R^2 = 0,9394$)

oluştugu tespit edilmiştir. Şekil 4.1’de verilen D grafiğinde ise ultrases işlemi darbeli modda 0,3 sn açık, 0,2 sn kapalı olacak şekilde uygulanması sonucu zamana bağlı sıcaklık değişiminde doğrusal korelasyon ($R^2 = 0,9204$) sağlanmış ancak darbeli modda uygulanan ultrases işleminin tavuk göğüs etinin Şekil 2D’de görüldüğü üzere tekstürel dokusunun görünümünde belirgin değişiklikler (parçalanma, yumuşama, dağılma) ve kas liflerinin bütünlüğünün kaybolmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle darbeli modun endüstriyel açıdan uygulanabilir olmadığı sonucuna varılmış ve bundan sonraki denemelerde sürekli modda devam edilmesine karar verilmiştir. Ön denemelerden elde edilen veriler sonucunda, ultrases uygulamaları %40 ve %80 genlikte; 1, 2, 3 ve 5 dakika sürelerde, sirkülasyon ile beher haznesi içinde dolaşacak sıcaklığı 4 °C, yıkama suyu (sodyum hipoklorit) başlangıç sıcaklığı 8-10 °C ve soğuma hazneli beher içerisindeki yıkama suyu miktarı 300 ml olacak şekilde ultrases işleminin uygulanmasına karar verilmiştir.

4.2. Sıcaklık Değişimi ve Enerji Hesaplama Sonuçları

Ultrases uygulanacak olan beher içerisindeki farklı konsantrasyonlarda (%0, %2 ve %5) bulunan sodyum hipoklorit yıkama suyunun başlangıç sıcaklığı yaklaşık 8-10 °C olarak başlamış olup uygulama süresince yıkama suyu sıcaklığında belli oranlarda artış gözlenmiş ve sıcaklıkta meydana gelen değişim verileri Tablo 4.1’de verilmiştir. Ultrases uygulaması kolay olmasına rağmen sıcaklık değerini kontrol etmek ultrases işleminin zorluklarından biridir (Yıldız ve ark., 2019). Çalışmada ultrases uygulanma süresince farklı konsantrasyonlardaki (%0, %2 ve %5) sodyum hipoklorit yıkama suyunda meydana gelen sıcaklık değişimleri Tablo 4.1’de görüldüğü üzere; %40 ve %80 genlik değerinde 5 dakika sonikasyon süresinin sonunda sırasıyla $8,77 \pm 0,37$ ve $20,57 \pm 0,76$ °C maksimum sıcaklık değerine ulaşmıştır. Bu sıcaklık yükselmesinin sebebi cihaz içerisinde meydana gelen kavitasyon olayında kabarcıkların çökmesi ve cihazdan iletilen mekanik enerjiden dolayı yıkama suyu içerisindeki sıcaklıkta, uygulama sırasında artışa sebep olmaktadır (Li ve ark., 2014; Yıldız ve ark., 2019). Ayrıca yapılan çalışmada %40 ve %80 genlik değerlerinde, sodyum hipoklorit konsantrasyonunun %0’dan %5’e artmasıyla birlikte sıcaklıkta yaklaşık 2 - 3 °C daha fazla bir yükselme olduğu belirlenmiştir. Li ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, yüksek yoğunluklu ultrases işlemi sonrası normal ve PSE hamur örneklerinin sıcaklığı 2,5 °C’den 25 °C’ye yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada, ultrases cihazındaki su ve %1 laktik asit çözeltisinin sonikasyon işlemi boyunca 3

dakika sonra 2 °C ve 6 dakika işleminden sonra yaklaşık 4 °C sıcaklık artışı gösterdiğini bildirmişlerdir (Kordowska-Wiater ve Stasiak, 2011).

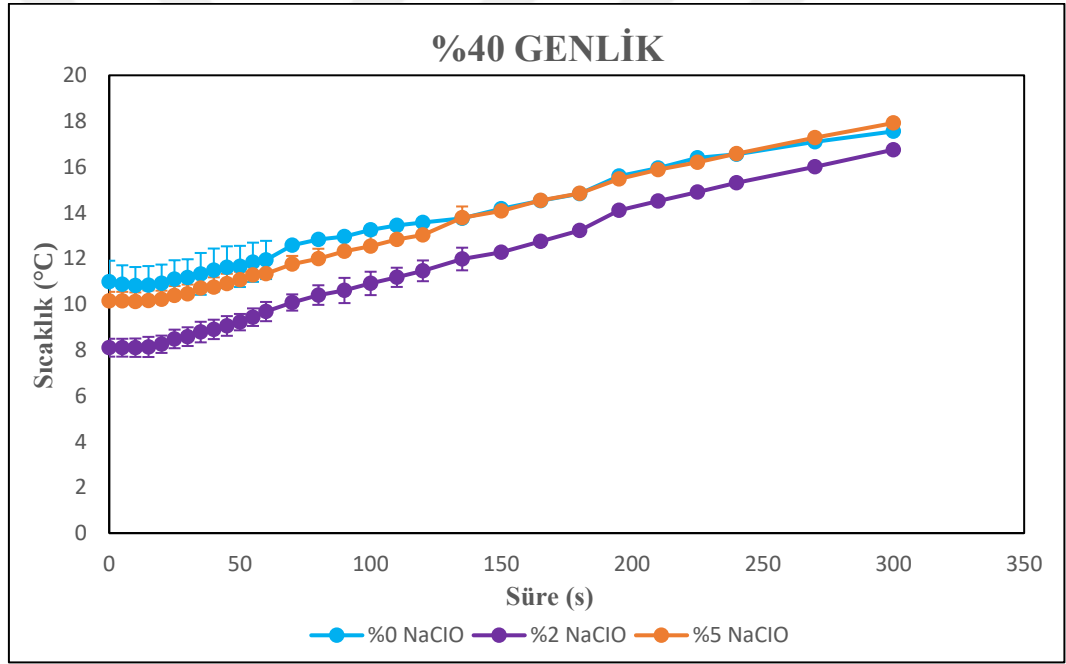
Tablo 4.1. %40 ve %80 genlikte tavuk göğüs etine uygulanan ultrasesin farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlardaki sıcaklık ve enerji değerleri.

Ultrases Genlik	Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonu (%)	Başlangıç Sıcaklık (°C)	Son Sıcaklık (°C)	Sıcaklık Yükselişi (ΔT)	Ultrasonik Güç (W)	Ultrasonik Yoğunluk (W/cm ²)
%40	0	10,99 ± 0,92	17,55 ± 0,9	6,56 ± 1,05	38,14	13,46
	2	8,10 ± 0,65	16,75 ± 0,46	8,65 ± 0,45		
	5	9,65 ± 0,39	18,42 ± 0,44	8,77 ± 0,37		
%80	0	11,17 ± 1,40	28,49 ± 0,26	17,32 ± 0,23	96,45	34,03
	2	8,53 ± 0,69	27,54 ± 1,14	19,01 ± 0,48		
	5	9,23 ± 1,10	29,8 ± 0,57	20,57 ± 0,76		

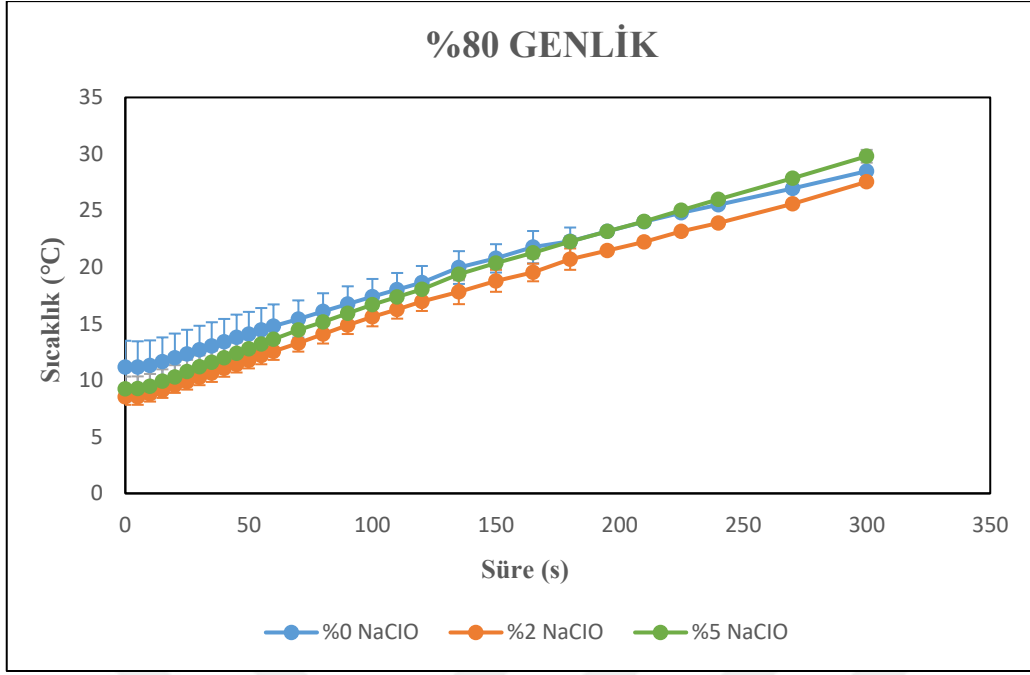
Tavuk göğüs etine %40 ve %80 genlik değerlerinde ve farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında (%0, %2 ve %5 NaClO) uygulanan ultrases işleminin zamana bağımlı sıcaklık artışı grafikleri sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerde %40 genlik değerinde düşük mikroorganizma inaktivasyonu sağlanmış ancak %80 genlik değerinde meydana gelen kavitasyon olayı sonucu *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerinde 1 log kob/g'ın üstünde inaktivasyon elde edilmiştir. Bu durumun sebebi %80 genlik değerinde meydana gelen sıcaklık artışı bakterinin hücre duvarının zayıflamasına yol açarak hücre zarını daha az korumalı hale getirdiği ve daha yüksek inaktivasyon elde edildiği düşünülmektedir (Royintarat ve ark., 2020).

Çalışmada farklı genlik değerleri için enerji analizi yapılmıştır. Bu enerji verileri Tablo 4.1'de görüldüğü üzere; tavuk göğüs etine %40 ve %80 genlik değerinde sonikasyon işlemi uygulandığı zaman sırasıyla 38,14 ve 96,45 W ultrasonik güce ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca %40 ve %80 genlikte ultrasonik enerji yoğunluğu hesaplanmış olup sırasıyla 13,46 ve 34,03 W/cm² yoğunluk gerektirmektedir. *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerinin inaktivasyonunda %40 genlik değerinin, en az 1 log kob/g inaktivasyonu sağlamada etkili olmamasının nedeni, bu genlik değerinin inaktivasyon için gerekli güç ve yoğunluğa sahip olmamasıdır. Soğuk koşullarda (8-10 °C) sodyum hipoklorit yıkama suyunda genlik değerinde meydana gelen artış ultrases cihazında

daha fazla kavitasyonu sağlamak için gerekli mekanik titreşimleri elde etmesine ve sonuçta mikroorganizma inaktivasyonuna daha fazla oranda katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Santos ve ark., 2009). Ultrases uygulama ortamının sıcaklığı mikroorganizmalar üzerinde etkili olmakta ve düşük sıcaklıklarda kavitasyon olayının iyi gözlemlenmesi sebebiyle daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu durumun sebebi düşük sıcaklıklarda çözücünün buhar basıncının daha düşük artması, yüksek sıcaklıklarda ise daha fazla çözücü buharının kavitasyon kabarcıklarını doldurarak daha az şiddetli çökmesine neden olması ve bu durumda beklenenden daha az etkiye yol açtığı belirtilmiştir (Paniwnyk, 2017). Araştırmacılar sıcaklık değeri yaklaşık 10-20 °C olduğunda reaktif oksijen türlerinin ve şok kuvvetlerinin oluşumuna izin vermesi sonucu kavitasyon olayının daha yoğun etki gösterdiğini belirtmişlerdir (Alarcon Rojo ve ark., 2019).



Şekil 4.3. %40 genlik değerinde tavuk göğüs etine uygulanan ultrases uygulama süresince sodyum hipoklorit yıkama suyunda meydana gelen sıcaklık değişimi.



Şekil 4.4. %80 genlik değerlerinde tavuk göğüs etine uygulanan ultrases uygulama süresince sodyum hipoklorit yıkama suyunda meydana gelen sıcaklık değişimi.

4.3. *S. Typhimurium* ve *E. coli* İnaktivasyonu İçin Uygun Ultrases Koşullarının Belirlenmesi

Farklı genlik ve sürelerde uygulanan ultrasesin farklı oranlarda sodyum hipoklorit içeren yıkama sularında tavuk etlerine inokule edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* üzerine inaktivasyon etkisinin belirlenmesi amacıyla; *S. Typhimurium* ve *E. coli* ile ayrı ayrı inokule edilen tavuklara 3 farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonundaki (%0, %2 ve %5) yıkama suyu kullanılarak iki farklı genlikte (%40 ve %80) ve farklı sürelerde %40 genlik değeri için 0, 1, 3 ve 5 dakika; %80 genlik değeri için 0, 1, 2, 3 ve 5 dakika ultrases uygulanmıştır. Bu uygulamalardan *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonu üzerine yaklaşık 1 log'luk azalma sağlayacak olan uygun koşulun belirlenmesi ve bir sonraki aşamada bu koşulun tavuk etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca sadece ultrases uygulaması, sadece sodyum hipoklorit ile yıkama ve bu iki işlemin birlikte uygulandığı durumlardaki etkinin belirlenebilmesi için belirtilen konsantrasyon ve sürelerde ultrases uygulanmadan da yıkama işlemi gerçekleştirilmiş ve uygulamaların *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonu üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

4.3.1. %40 genlikte uygulanan ultrasesin *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonuna etkisi

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonunda %40 genlikte, %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında ve 0, 1, 3 ve 5 dakika sürelerde ultrases uygulanmış ve uygulanmamış olmak üzere iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalardan elde edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizma sayıları (log kob/g) Tablo 4.2’de ve belirlenen logaritmik azalma miktarı Tablo 4.3’te gösterilmiştir.



Tablo 4.2. %40 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* sayıları.

Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonu (%)	Süre (dk)	<i>Salmonella</i> Typhimurium		<i>Escherichia coli</i>	
		Ultrases Uygulanan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanmayan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanmayan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)
%0 NaClO	0	6,62±0,28 ^{ABx}	6,62±0,28 ^{Ax}	6,31±0,22 ^{CDx}	6,31±0,22 ^{ABx}
	1	7,00±0,06 ^{Ax}	6,44±0,36 ^{Ax}	6,45±0,12 ^{Cx}	5,80±0,31 ^{BCDx}
	3	6,47±0,21 ^{ABCx}	6,55±0,60 ^{Ax}	6,58±0,17 ^{BCx}	5,23±0,00 ^{DEy}
	5	6,56±0,06 ^{ABx}	6,58±0,00 ^{Ax}	6,72±0,17 ^{BCx}	6,55±0,20 ^{Ax}
%2 NaClO	0	6,62±0,28 ^{ABx}	6,62±0,28 ^{Ax}	6,31±0,22 ^{CDx}	6,31±0,22 ^{ABx}
	1	6,21±0,02 ^{BCDx}	6,43±0,24 ^{Ax}	7,81±0,04 ^{Ax}	5,81±0,18 ^{BCDy}
	3	6,18±0,21 ^{ABCx}	6,20±0,17 ^{Ax}	7,17±0,09 ^{ABx}	5,68±0,29 ^{CDEy}
	5	5,65±0,32 ^{DEx}	4,81±0,36 ^{Bx}	6,37±0,12 ^{Cx}	6,24±0,28 ^{ABCx}
%5 NaClO	0	6,62±0,28 ^{ABx}	6,62±0,28 ^{Ax}	6,31±0,22 ^{CDx}	6,31±0,22 ^{ABx}
	1	5,79±0,43 ^{CDEx}	6,17±0,27 ^{ABx}	5,72±0,05 ^{DEy}	5,77±0,21 ^{BCDx}
	3	5,30±0,00 ^{DEx}	5,97±0,16 ^{ABx}	5,46±0,05 ^{Ex}	5,04±0,06 ^{Ex}
	5	5,21±0,12 ^{Ex}	5,41±0,14 ^{ABx}	4,76±0,13 ^{Fy}	6,14±0,03 ^{ABCx}

❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit

❖ (A-E): Aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

❖ (x-y): Aynı bakteri grubu için aynı satırdaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* başlangıç yükü 6,62 log kob/g olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2). Sodyum hipoklorit içermeyen (%0 NaClO) saf suda ultrases işleminin 3 ve 5 dakika süre uygulanmasının ardından tavuk etlerinin *S. Typhimurium* yükü sırasıyla 6,47 log kob/g ($p<0,05$) ve 6,56 log kob/g olarak tespit edilmiştir ($p>0,05$). %0 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda ultrases işlemi uygulanmadan 5 dk süreyle yıkanan tavuk göğüs etlerinde *S. Typhimurium* sayısının 6,58 log kob/g düştüğü gözlenmiş ancak bu düşüş istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). %2 sodyum hipoklorit konsantrasyonu ile %40 genlik değerinde 3 ve 5 dakika ultrases uygulamasının ardından *S. Typhimurium* sayıları sırasıyla 6,18 ve 5,65 log kob/g belirlenmiş olup ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının başlangıç mikroorganizma yükünde azalma meydana getirdiği gözlenmiştir ($p<0,05$). Ayrıca sadece %2 sodyum hipoklorit kimyasalı ile ultrases uygulanmadan 3 ve 5 dakika yıkama süresi sonrası *S. Typhimurium* sayısının sırasıyla 6,2 ve 4,81 log kob/g'a düştüğü tespit edilmiştir. %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 1, 3 ve 5 dakika ultrases uygulanması sonucu *S. Typhimurium* mikroorganizma yükü sırasıyla 5,79; 5,3; 5,21 log kob/g'a düştüğü belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli oranda azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). Hem %5 sodyum hipoklorit dezenfektanı hem de 5 dakika ultrases prosesinin birlikte uygulanması sonucu sinerjistik etki göstererek önemli oranda *S. Typhimurium* yükünü 1,4 log kob/g azaldığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *E. coli*'nin başlangıç yükü 6,31 log kob/g olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2). Tavuk etlerinin *E. coli* yükü %0 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda ultrases işleminin 3 ve 5 dakika süreyle uygulanmasının ardından sırasıyla 6,58 ve 6,72 log kob/g olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). %2 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 3 ve 5 dakika ultrases uygulamasının ardından sırasıyla 7,17 ve 6,37 log kob/g'a yükseldiği tespit edilmiştir ($p>0,05$). %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyu içerisinde %40 genlik değerinde 1, 3 ve 5 dakika ultrases uygulamasının ardından başlangıç mikroorganizma yükünde azalma olduğu ve yüklerin sırasıyla 5,72; 5,46 ve 4,76 log kob/g'a düştüğü tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca sadece %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 1, 3 ve 5 dakika süreyle maruz kalmasının ardından sırasıyla 5,77; 5,04 ve 6,14 log kob/g mikroorganizma yükü belirlenmiş ve istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p>0,05$). Ultrases uygulanan tavuk göğüs eti yüzeyinden *E. coli* mikroorganizma

inaktivasyonunda %5 oranında sodyum hipoklorit bulunan grupta 5 dakika ultrases uygulamasının sonunda 1,55 log kob/g azalma tespit edilmiş olup sinerjistik etki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

%40 genlik değerinde; ultrases uygulanan ve uygulanmayan gruplar karşılaştırıldığında, *S. Typhimurium* mikroorganizmaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Ancak, *E. coli* mikroorganizmaları karşılaştırıldığında, %0 NaCIO - 3 dk, %2 NaCIO – 1 ve %2 NaCIO – 3 dk uygulamalarının *E. coli* yükünde artışa sebep olduğu gözlenmiştir ($p<0,05$). Bu durumun düşük genliklerde ve kısa sürelerde uygulanan ultrases teknolojisinin mikrobiyal inaktivasyon için gerekli olan mikroorganizmaların hüce zarlarına zarar verme etkisini gösterememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Farklı olarak %5 NaCIO içeren yıkama suyunda 5 dk süreyle uygulanan ultrases teknolojisinin aynı NaCIO içeren yıkama suyunda 5 dk yıkamaya kıyasla *E. coli* yükünü önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

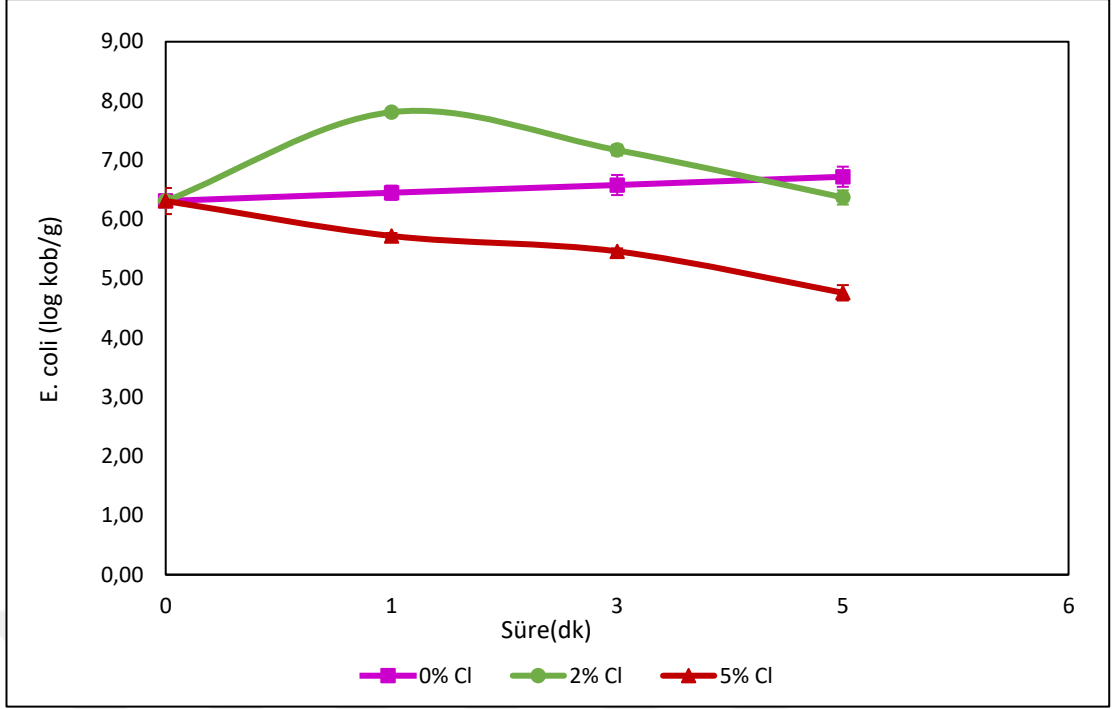
Tablo 4.3. %40 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* sayılarındaki logaritmik azalma.

Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonu (%)	Süre (dk)	<i>Salmonella</i> Typhimurium		<i>Escherichia coli</i>	
		Ultrases Destekli Yıkama Sonucu Azalma (log kob/g)	Sodyum Hipoklorit Etkisiyle Azalma (log kob/g)	Ultrases Destekli Yıkama Sonucu Azalma (log kob/g)	Sodyum Hipoklorit Etkisiyle Azalma (log kob/g)
%0 NaClO	1	-0,38	0,18	-0,14	0,51
	3	0,15	0,07	-0,27	1,08
	5	0,06	0,04	-0,41	-0,24
%2 NaClO	1	0,41	0,19	-1,5	0,5
	3	0,44	0,42	-0,86	0,63
	5	0,97	1,81	-0,06	0,07
%5 NaClO	1	0,83	0,45	0,59	0,54
	3	1,32	0,65	0,85	1,27
	5	1,41	1,21	1,55	0,17

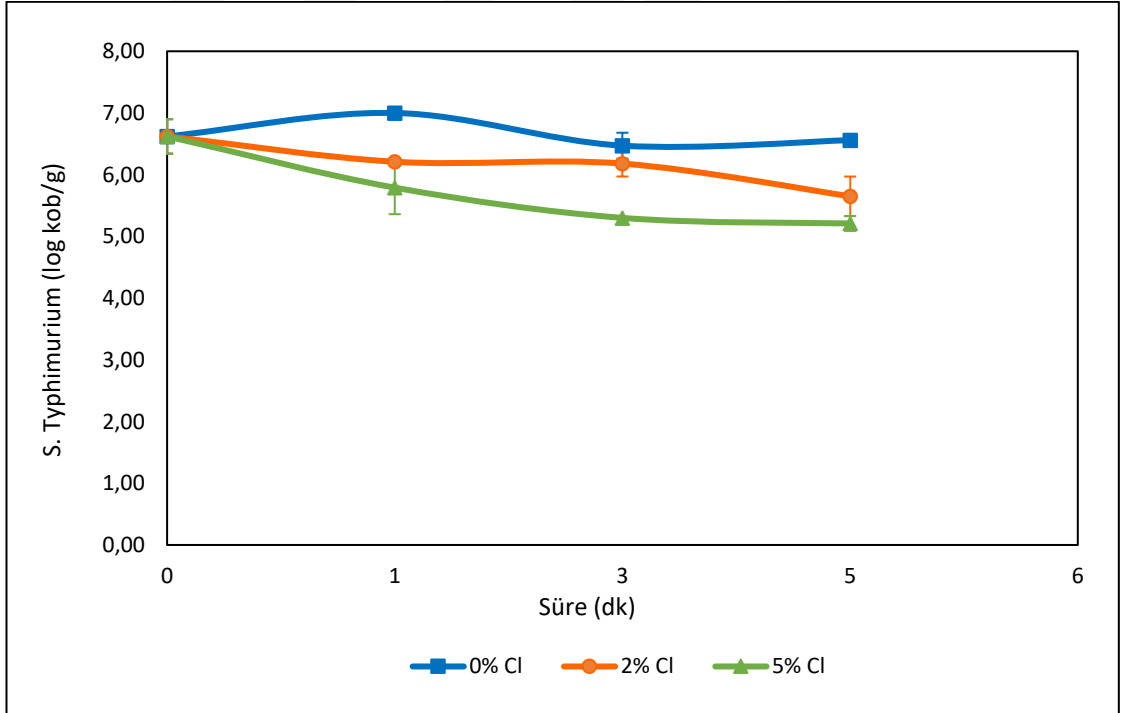
❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit

Çalışma kapsamında tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* üzerine %40 genlikte ultrases ve sodyum hipoklorit kimyasalının birlikte etkisi değerlendirildiğinde; *S. Typhimurium* inaktivasyonunda, %5 sodyum hipoklorit yıkama suyunda 3 ve 5 dakika ultrases işlemi uygulanması sonucu sırasıyla 1,32 ve 1,41 log kob/g azalma meydana gelmiştir. Bu etkinin %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 3 ve 5 dakika ultrases uygulanmadan yıkanan tavuk göğüs etlerinde sırasıyla 0,65 ile 1,21 log kob/g olduğu belirlenmiştir. Tavuk etlerinin *S. Typhimurium* yükünün %2 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 5 dakika ultrases uygulandıktan sonra 0,97 log kob/g azaldığı gözlenmişken, bu sodyum hipoklorit konsantrasyonunda ultrases uygulanmadan 5 dakika yıkamasının ardından 1,81 log kob/g azaldığı belirlenmiştir.

Diğer yandan, farklı uygulama koşullarının *E. coli* inaktivasyonu üzerine etkileri incelendiğinde, %5 sodyum hipoklorit yıkama suyu içerisinde 5 dakika süreyle ultrases uygulandığında, uygulamaların sinerjistik etki göstererek *E. coli* yükünü 1,55 log kob/g azalttığı gözlenmiştir. Aynı koşullarda ultrases uygulanmadan 5 dakika yıkama sonunda ise 0,17 log kob/g azalma olduğu gözlenmiştir. Sadece %5 sodyum hipoklorit kimyasalı ile 3 dakika yıkama sonucunda ise 1,27 log kob/g azalma elde edilmiştir. %40 genlikte 0, 1, 3 ve 5 dakika süreyle uygulanan ultrases işleminin *E. coli* ve *S. Typhimurium* inoküle edilmiş tavuk etlerinde oluşturduğu inaktivasyon etkisi sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir. Tavuk göğüs etleri üzerine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerinin inaktive edilmesinde %40 genlikte ultrases uygulamasının %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama çözeltilerinde 1, 3 ve 5 dakika sürelerde uygulanmasının, mikroorganizmalar üzerine yaklaşık 1 log kob/g azalma sağlama konusunda yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, klor ve sonikasyonun birlikte uygulanmasının piliç göğüs derisindeki bakteri popülasyonunu azaltmada tek başına uygulanan işleme kıyasla daha etkili olduğu bildirilmiştir (Piyasena ve ark., 2003).



Şekil 4.5. %40 genlikte ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının *E. coli* inaktivasyonuna etkisi.



Şekil 4.6. %40 genlikte ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının *Salmonella Typhimurium* inaktivasyonuna etkisi.

4.3.2. %80 genlikte uygulanan ultrasesin *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonuna etkisi

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonuna %0, %2 ve %5 konsantrasyonlarında sodyum hipoklorit (NaClO) yıkama suyu içerisinde %80 genlikte ve 0, 1, 2, 3 ve 5 dakika sürelerde uygulanan ultrases dalgalarının etkileri incelenmiştir. Kontrol grubu olarak 3 farklı konsantrasyonda (%0, %2 ve %5) sodyum hipoklorit (NaClO) yıkama suyu içerisinde 5 farklı sürede (0, 1, 2, 3 ve 5 dakika) ultrases uygulamadan yıkamanın etkisi de incelenmiş ve uygulamalar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Bu uygulamalardan sonra elde edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizma sayıları (log kob/g) Tablo 4.4'te ve logaritmik azalma sayıları Tablo 4.5'te gösterilmiştir.



Tablo 4.4. %80 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* sayıları.

Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonu (%)	Süre (dk)	<i>Salmonella</i> Typhimurium		<i>Escherichia coli</i>	
		Ultrases Uygulanan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanmayan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)	Ultrases Uygulanmayan Grupta Bakteri Sayısı (log kob/g)
%0 NaClO	0	6,18±0,00 ^{ABx}	6,18±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{Ax}
	1	6,41±0,12 ^{Ax}	6,50±0,05 ^{Ax}	6,55±0,56 ^{Ax}	6,02±0,33 ^{Ax}
	2	6,25±0,19 ^{ABx}	5,78±0,05 ^{ABx}	6,26±0,46 ^{ABCx}	5,90±0,48 ^{Ax}
	3	6,04±0,22 ^{ABx}	6,36±0,15 ^{Ax}	6,23±0,33 ^{ABCx}	5,79±0,39 ^{Ax}
	5	6,01±0,23 ^{ABx}	6,43±0,14 ^{Ax}	5,96±0,64 ^{ABCx}	6,00±0,65 ^{Ax}
%2 NaClO	0	6,18±0,00 ^{ABx}	6,18±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{Ax}
	1	5,69±0,02 ^{ABCx}	5,70±0,59 ^{ABx}	5,81±0,16 ^{ABCx}	6,07±0,41 ^{Ax}
	2	5,62±0,07 ^{ABCDx}	5,66±0,08 ^{ABx}	5,44±0,13 ^{ABCx}	5,86±0,54 ^{Ax}
	3	4,86±0,18 ^{CDEy}	5,95±0,11 ^{ABx}	5,06±0,12 ^{ABCy}	6,02±0,17 ^{Ax}
	5	4,69±0,17 ^{CDEy}	5,88±0,08 ^{ABx}	4,38±1,08 ^{BCx}	6,17±0,17 ^{Ax}
%5 NaClO	0	6,18±0,00 ^{ABx}	6,18±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{ABx}	6,50±0,00 ^{Ax}
	1	5,17±0,32 ^{BCDy}	6,25±0,04 ^{ABx}	5,29±0,09 ^{ABCy}	6,05±0,28 ^{Ax}
	2	5,30±0,35 ^{BCDx}	5,42±0,46 ^{Bx}	5,03±0,08 ^{ABCy}	5,82±0,18 ^{Ax}
	3	3,89±0,11 ^{Ey}	5,54±0,25 ^{ABx}	4,55±0,04 ^{ABCy}	5,94±0,06 ^{Ax}
	5	4,63±0,18 ^{DEy}	5,65±0,12 ^{ABx}	4,20±0,09 ^{Cy}	6,01±0,20 ^{Ax}

Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit

(A-E): Aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

(x-y): Aynı bakteri grubu için aynı satırdaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium*'un başlangıç mikroorganizma yükü 6,18 log kob/g olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4). Sodyum hipoklorit içermeyen (0%) yıkama suyunda 3 ve 5 dakika süre ile uygulanan ultrases işleminin ardından tavuk göğüs etlerinin *S. Typhimurium* yükünün sırasıyla 6,04 ve 6,01 log kob/g'a düştüğü tespit edilmiştir. Sadece %0 sodyum hipoklorit bulunan ve ultrases uygulanmayan tavuk göğüs etlerinde ise *S. Typhimurium* sayısının 3 ve 5 dakika yıkama sonunda sırasıyla 6,36 ve 6,43 log kob/g olduğu gözlenmiştir. %2 sodyum hipoklorit konsantrasyonundaki yıkama suyunda 3 ve 5 dakika ultrases uygulanması sonrası *S. Typhimurium* sayılarının sırasıyla 4,86 ve 4,69 log kob/g'a düştüğü belirlenmiş olup ultrases ve sodyum hipoklorit'in birlikte uygulanmasının başlangıç *S. Typhimurium* yükünde önemli ölçüde azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ayrıca sadece %2 sodyum hipoklorit konsantrasyonu ile farklı sürelerde (1, 2, 3 ve 5 dakika) tavuk göğüs etinin yıkanmasının ise *S. Typhimurium* inaktivasyonuna istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 1, 2, 3 ve 5 dakika ultrases uygulanması sonucunda *S. Typhimurium* yükünün sırasıyla 5,17; 5,30; 3,89 ve 4,63'e düştüğü tespit edilmiştir ($p<0,05$). Hem %5 sodyum hipoklorit dezenfektanının hem de farklı sürelerdeki (1, 2, 3 ve 5 dakika) ultrases prosesinin birlikte uygulanması sonucu sinerjistik etki gözlenerek *S. Typhimurium* yükünün önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *E. coli*'nin başlangıç mikroorganizma yükü 6,50 log kob/g olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4). Başlangıç *E. coli* yükünün %0 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 2, 3 ve 5 dakika süreyle uygulanan ultrases işlemi sonrası sırasıyla 6,26; 6,23 ve 5,96 log kob/g'a düştüğü gözlenmiştir, ancak bu düşüş istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). %2 sodyum hipoklorit ilave edilen yıkama suyunda 1, 2, 3 ve 5 dakika uygulanan ultrases işlemi sonrasında başlangıç mikroorganizma yükünde azalma olduğu ve yüklerin sırasıyla 5,81; 5,44; 5,06 ve 4,38 log kob/g'a düştüğü tespit edilmiştir. Her ne kadar bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmasa da %2 sodyum hipoklorit içeren soğutma suyunda 2 dakika yıkama sonunda yaklaşık 1 log, 5 dakika yıkama sonunda ise yaklaşık 2 log'luk bir azalma olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 1, 2, 3 ve 5 dakika uygulanan ultrases işlemi sonrasında başlangıç mikroorganizma yükünde azalma olduğu ve yüklerin sırasıyla 5,29; 5,03; 4,55 ve 4,20 log kob/g'a

düştüğü belirlenmiştir. Her ne kadar bu azalma miktarları da sadece 5 dakika uygulanan ultrases işlemindeki azalma başlangıç yüküne göre istatistiksel olarak önemli oranda azalmış bulunsada ($p<0,05$) %5 sodyum hipoklorit içeren soğutma suyunda 1 dakika yıkama işleminin sonunda yaklaşık 1 log, 3 ve 5 dakika yıkama sonunda ise yaklaşık 2 log'luk bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tavuk göğüs etinin ultrases işlemi uygulanmadan sadece %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama sularında (1, 2, 3 ve 5 dakika) yıkanmasıyla da benzer azalmalar tespit edilmiş olup bu azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

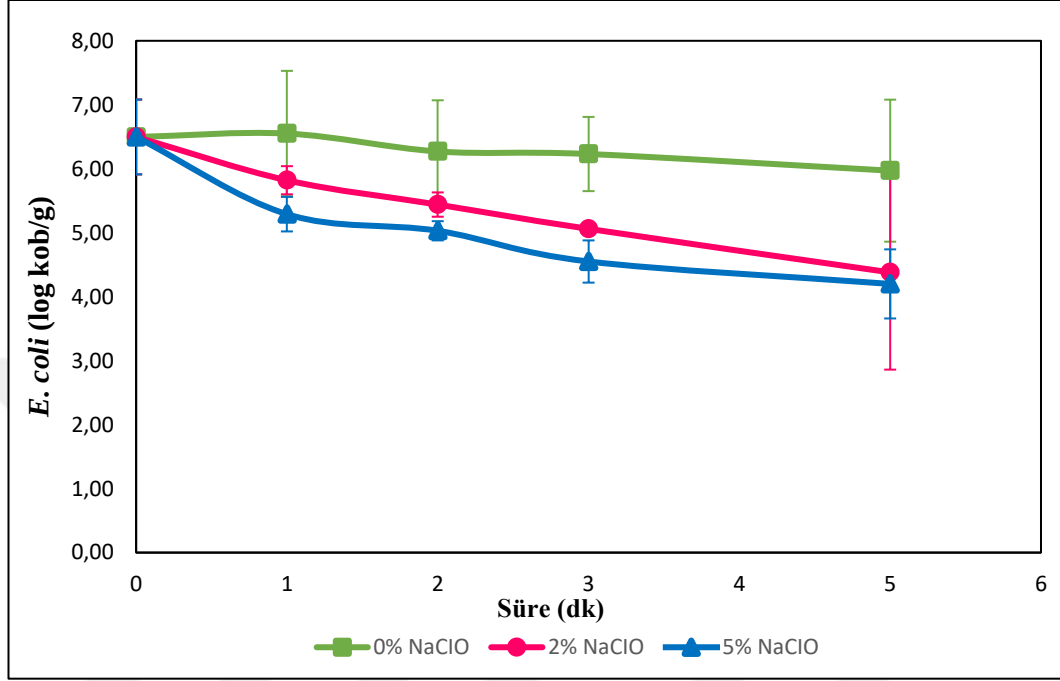
%80 genlik değerinde; ultrases uygulanan ve uygulanmayan gruplar karşılaştırıldığında, hem *S. Typhimurium* hem de *E. coli* mikroorganizmaları için %0 NaClO içeren yıkama suyunda yıkanan gruplarda istatistiksel olarak önemli bir farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Ancak, %2 NaClO - 3 dk, %2 NaClO - 5 dk, %5 NaClO - 1 dk, %5 NaClO - 3 dk ve %5 NaClO - 5 dk uygulamalarında *S. Typhimurium* sayılarının ultrases uygulaması ile uygulanmayan gruba göre önemli oranda azaldığı belirlenmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde, tavuk göğüs etlerine inoküle edilen *E. coli* sayılarının %2 NaClO - 3 dk, %5 NaClO - 1 dk, %5 NaClO - 3 dk ve %5 NaClO - 5 dk gruplarında ultrases uygulanması ile uygulanmayan gruba göre önemli oranda azaldığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 4.5. %80 genlik ve farklı uygulamalar ile muamele edilen tavuk göğüs etinin *Salmonella* Typhimurium ve *Escherichia coli* sayılarındaki logaritmik azalma.

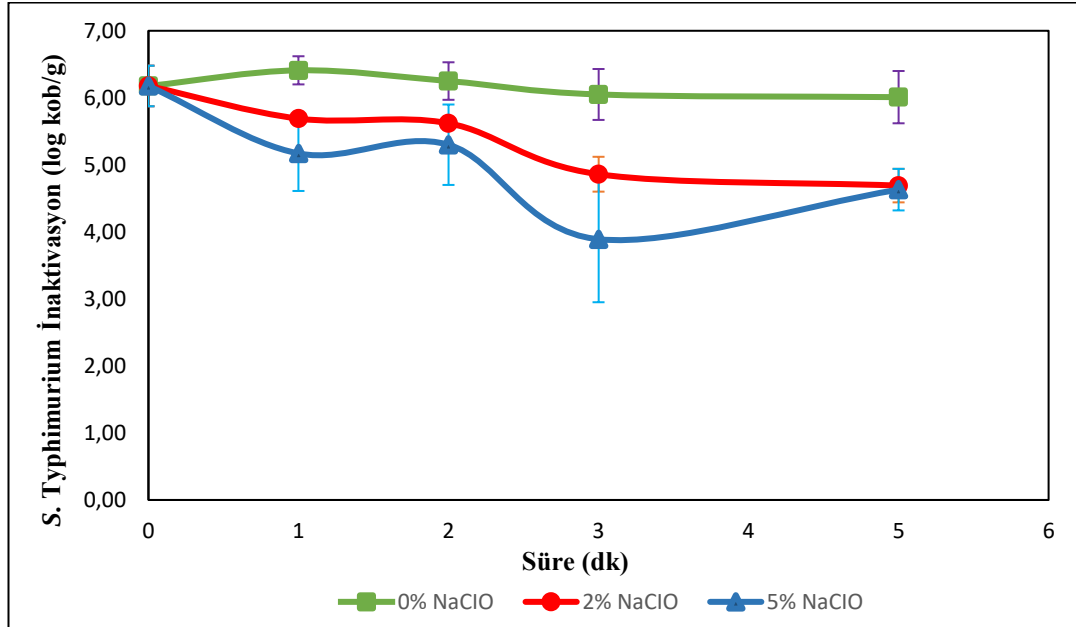
Sodyum Hipoklorit Konsantrasyonu (%)	Süre (dk)	<i>Salmonella</i> Typhimurium		<i>Escherichia coli</i>	
		Ultrases Destekli Yıkama Sonucu Azalma (log kob/g)	Sodyum Hipoklorit Etkisiyle Azalma (log kob/g)	Ultrases Destekli Yıkama Sonucu Azalma (log kob/g)	Sodyum Hipoklorit Etkisiyle Azalma (log kob/g)
%0 NaClO	1	-0,23	-0,32	-0,05	0,48
	2	-0,07	0,40	0,24	0,60
	3	0,14	-0,18	0,27	0,71
	5	0,17	-0,25	0,54	0,50
%2 NaClO	1	0,49	0,48	0,69	0,43
	2	0,56	0,52	1,06	0,64
	3	1,32	0,23	1,44	0,48
	5	1,49	0,30	2,12	0,33
%5 NaClO	1	1,01	-0,07	1,21	0,45
	2	0,88	0,76	1,48	0,68
	3	2,29	0,64	1,95	0,56
	5	1,55	0,53	2,29	0,49

❖ Ortalama±Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit

Farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında (%0, %2 ve %5 NaClO) %80 genlikte ve farklı sürelerde ultrases uygulamalarının *E. coli* ve *S. Typhimurium* inaktivasyonu üzerine zamana bağlı inaktivasyon kurveleri sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir.

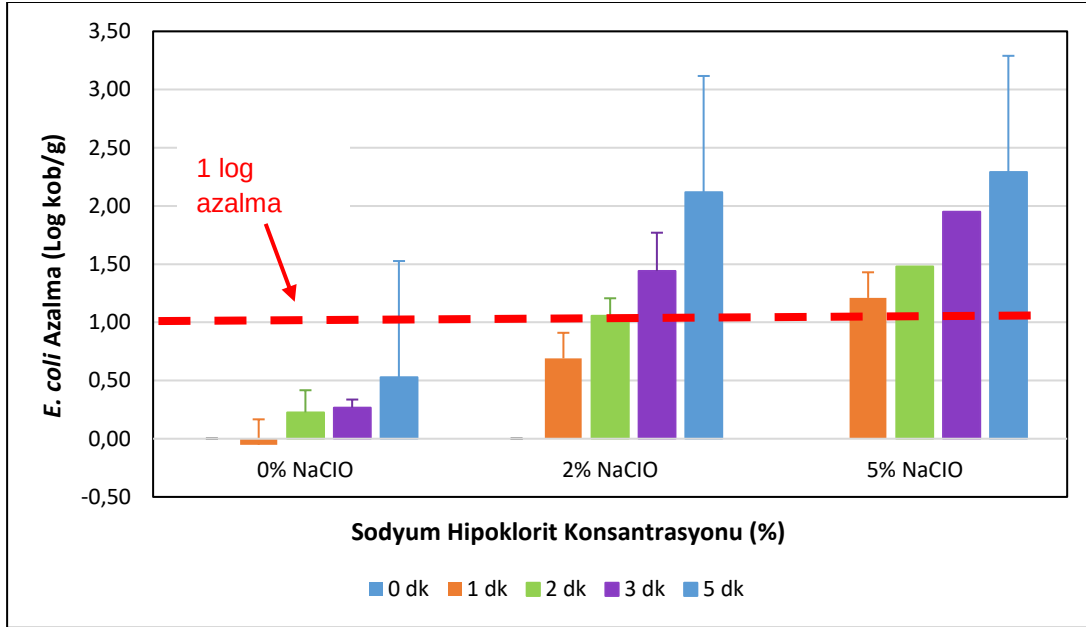


Şekil 4.7. %80 genlikte ultrases uygulamasının *E. coli* inaktivasyon kurveleri.

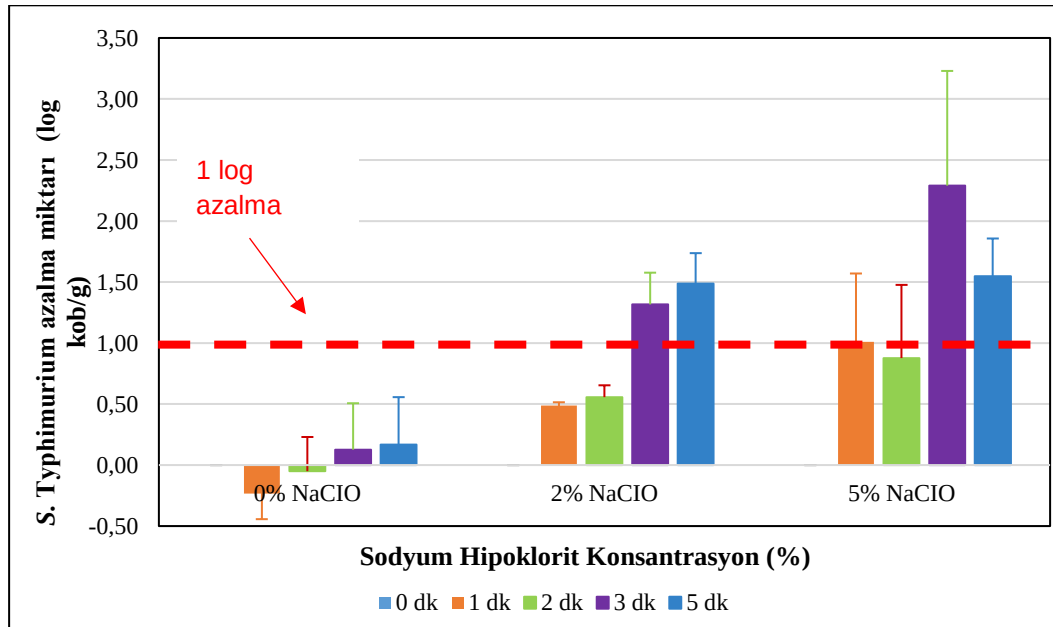


Şekil 4.8. %80 genlikte ultrases uygulamasının *S. Typhimurium* inaktivasyon kurveleri.

Alternatif ısıl olmayan yeşil teknoloji ultrases uygulaması ile sodyum hipoklorit dezenfektanının birlikte ve ayrı ayrı uygulanması sonucu elde edilen *E. coli* ve *S. Typhimurium*'un logaritmik azalmaları sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. *E. coli* inaktivasyonunda ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanması sonucu logaritmik azalma.



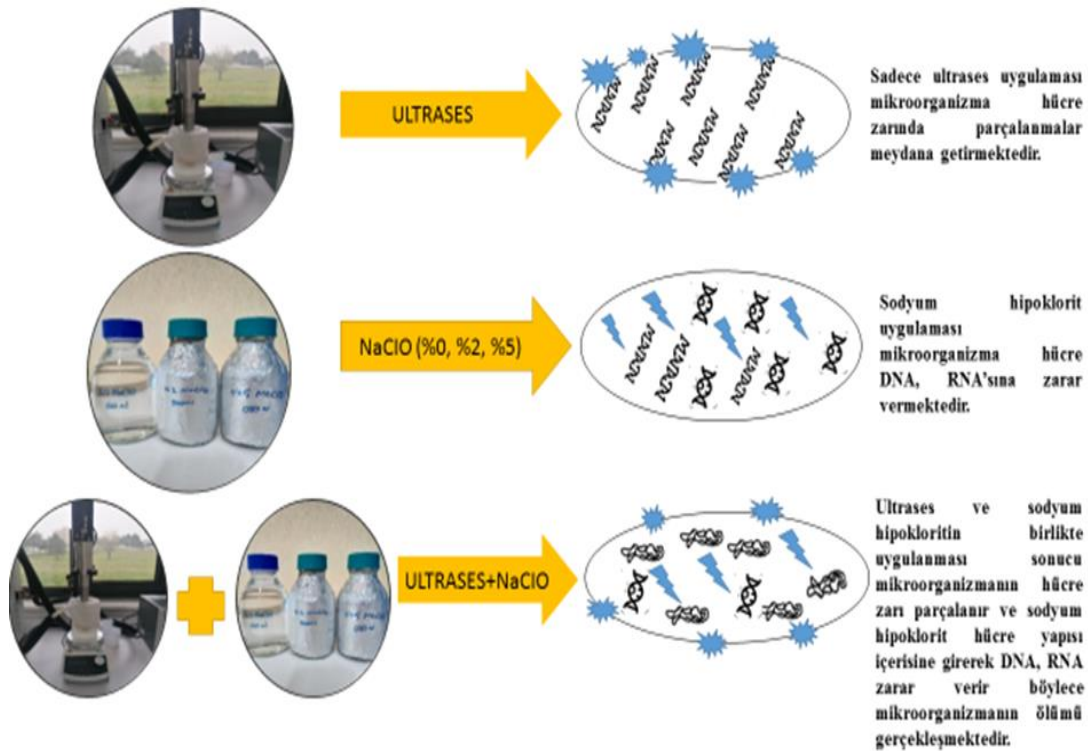
Şekil 4.10. *S. Typhimurium* inaktivasyonunda ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanması sonucu logaritmik azalma.

Yüksek yoğunluklu ultrases işlemi tek başına mikroorganizmalar üzerinde sınırlı etkiye sahiptir. Ancak birçok araştırmacı tarafından belirtildiği üzere, ultrases teknolojisi diğer fiziksel (ısı, basınç vb.) ve kimyasal (klor, sodyum hipoklorit, laktik asit vb.) dekontaminasyon yöntemleriyle birlikte kullanıldığı zaman antimikrobiyal etkisini arttırdığı bildirilmiştir (Arroyo ve ark., 2011; Alarcon Rojo ve ark., 2019; Bilek ve Turantaş, 2013; Piyasena ve ark., 2003). Gıda ürünleri veya işleme yüzeylerinin sterilizasyonunda sıklıkla klor gibi kimyasal maddeler kullanılır ve ultrases ile birleşen klor, tedavinin etkinliğini artırabilir. Ultrases işlemi, hücrelerin yüzeyden ayrılmasını kolaylaştırarak klorun hücrelere daha etkili bir şekilde nüfuz etmesine ve mikroorganizmalara karşı daha güçlü bir antimikrobiyal etki göstermesine yardımcı olmaktadır (Alarcon Rojo ve ark., 2019).

Sodyum hipoklorit (NaClO) kolay ve ucuz olması sebebiyle gıda endüstrisinde (özellikle kanatlı sektöründe) mikroorganizmaların azaltılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Park ve ark., 2014). Çoğu ürün için yaygın olarak kullanılan sodyum hipoklorit konsantrasyonu 50 ile 200 ppm arasında değişmektedir (Gomes ve ark., 2016). Ancak, sodyum hipoklorit kanatlı hayvanı soğutma sırasında dekontaminasyon amacıyla yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kimyasal kanatlı hayvanı derisindeki gözenekler içerisindeki bakterilere difüzyonu zorlanabilmektedir. Ayrıca sodyum hipoklorit konsantrasyonunun 50 mg/kg olması durumunda, kanatlı karkasın yüzey renginde değişikliklere, olumsuz tat değişikliklerine ve tri-halo metan gibi kanserojen yan ürünlerin oluşumuna sebebiyet vermektedir (Lee ve ark., 2014). Dolayısıyla, kesimhanelerde kanatlıların güvenilir bir şekilde işlenmesi ve bakterilerden arındırılması için sodyum hipoklorit konsantrasyonunu azaltmak büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, sodyum hipoklorit konsantrasyonunu azaltabilmek için ısı olmayan teknoloji yöntemi ultrases ile birlikte kullanılabileceği öngörülmektedir.

Sodyum hipoklorit'in (NaClO) bakterisidal etkisi suyla hidrolize olması sonucu, hipokloröz asit (HOCl) haline gelmekte ($\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HOCl} + \text{OH}^-$) ve oluşan bu HOCl mikroorganizmalar üzerinde güçlü oksitleyici özellik göstermesi sebebiyle antimikrobiyal özellik göstermektedir. Daha sonra zayıf asit özelliğine sahip olan hipokloröz asit (HOCl), çözeltinin pH'sına bağlı olarak hipoklorit iyonu (OCl^-) ve hidrojen (H^+) şeklinde iyonlaşmaya uğrayabilmektedir (Fukuzaki, 2006; Zhang ve ark., 2022). Diğer yandan, ultrases uygulamasının temel olayı kavitasyon kabarcıklarının oluşması ve çökmesi prensibine dayanmaktadır (Park ve ark., 2014).

Oluşan bu kavitasyon kabarcıkları serbest radikal ($H^{\bullet}$, $OH^{\bullet}$, $Cl^{\bullet}$) oluşumu sağlar ve serbest radikallerin ilk hedefleri; bakteri hücresinin DNA'sında kırılma ve parçalanmalara yol açarak antimikrobiyal etki sağlamaktır (Bermudez Aguirre ve ark., 2011; Francisco ve ark., 2018). Kavitasyon kabarcıklarının bakteri hücre duvarlarını zayıflatması ve lipid membranları üzerinde zarar verici etki göstermesinin ardından sodyum hipoklorit ile mikroorganizmaların maruz kalmasını sağlayarak mikroorganizmaların canlılığı üzerinde azaltıcı etki gösterdiği belirtilmiştir (Piyasena ve ark., 2003; Park ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2022). Ultrases ile sodyum hipoklorit ($NaClO$) çözeltisinin birlikte uygulanması, mikroorganizmaların inaktive edilmesinde sinerjistik etki oluşturmaktadır. Ultrasesin neden olduğu kavitasyon olayı, mikroorganizmaların hücre zarlarını zayıflatarak sodyum hipoklorit ($NaClO$) çözeltisinin hücrelere daha kolay nüfuz etmesini sağlar. Bu durum, bakterisidal etkiyi önemli ölçüde artırarak mikroorganizma hücrelerinin ölümüne sebep olduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2022). Şekil 4.11'de, *S. Typhimurium* ve *E. coli*'ye karşı ultrases ve sodyum hipoklorit uygulamalarının etki mekanizması özetlenmektedir.



Şekil 4.11. *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarına karşı ultrases ve sodyum hipoklorit uygulamalarının etki mekanizması.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, tavuk göğüs etlerinde *S. Typhimurium* ve *E. coli* üzerine %0 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda uygulanan %80 genlikteki ultrases işleminin mikroorganizma inaktivasyonuna bir miktar katkı sağladığı ancak bu azalmanın 5 dakika uygulamanın sonunda bile 1 log kob/g'a ulaşmadığı, bu 5 dakika sürenin sonunda *S. Typhimurium* ve *E. coli* sayılarındaki azalmanın sırasıyla 0,17 ve 0,54 log kob/g olduğu gözlenmiştir. Bu durum %0 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda uygulanan ultrases işleminin *S. Typhimurium* ve *E. coli* yükünün azaltılmasında tek başına yeterli etkisinin olmadığını göstermiştir. Ultrases işleminin 5 dakika süresince, %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında birlikte uygulanması sonucu *S. Typhimurium* için sırasıyla 1,49 ile 1,55 log kob/g ve *E. coli* içinse 2,12 ile 2,29 log kob/g azalma sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca sodyum hipoklorit konsantrasyonu arttıkça ve ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte mikroorganizmaların inaktivasyonun da arttığı tespit edilmiştir. Ek olarak, çalışma kapsamında sadece farklı konsantrasyonlardaki (%0, %2 ve %5 NaClO) sodyum hipokloritin farklı sürelerde uygulanmasının *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonu üzerine etkisi gözlemlendiğinde, konsantrasyon ve maruz kalma süresinin artmasıyla birlikte mikroorganizma yüklerinde azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

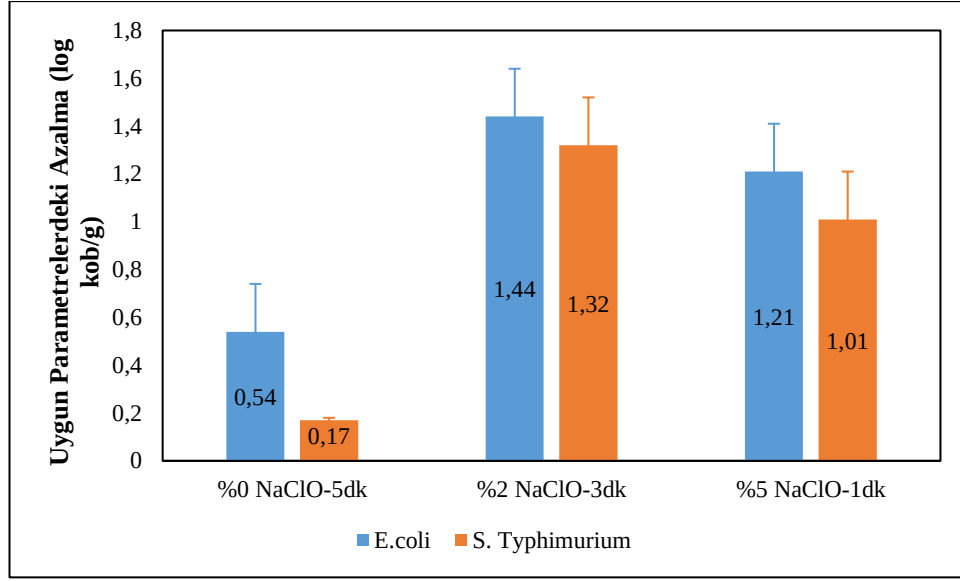
Elde edilen veriler, hem sadece farklı konsantrasyonlarda sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda hem de sodyum hipoklorit kimyasalına ek olarak ultrases işlemi uygulamasının sonucunda meydana gelen azalmalar, uygulanan parametrelere *S. Typhimurium*'un, *E. coli*'ye oranla daha dirençli olduğunu göstermiştir. Çalışma kapsamında elde edilen farklı uygulamalardaki; *S. Typhimurium* ve *E. coli* azalma verilerine bakıldığında ultrases ve sodyum hipoklorit dezenfektanının birlikte uygulanmasının ayrı ayrı sadece ultrases ve sodyum hipoklorit uygulamasının mikroorganizmalar üzerinde gösterdiği inaktivasyonundan daha fazla azaltıcı etki meydana getirdiği sonucuna varılmıştır.

Bakterilerin inaktivasyon miktarı ultrases uygulamasının süresine ve kimyasalın türüne bağlı olarak değişmektedir (Kordowska-Wiater ve Stasiak, 2011). Kısa süreli uygulanan ultrases işleminin mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etki oluşturmak için yeterli olamayabileceği bildirilmiştir (Morild ve ark., 2011). Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar tavuk göğüs etine uygulanan ultrases işleminin *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonunun uygulanan ultrases koşullarına (genlik ve

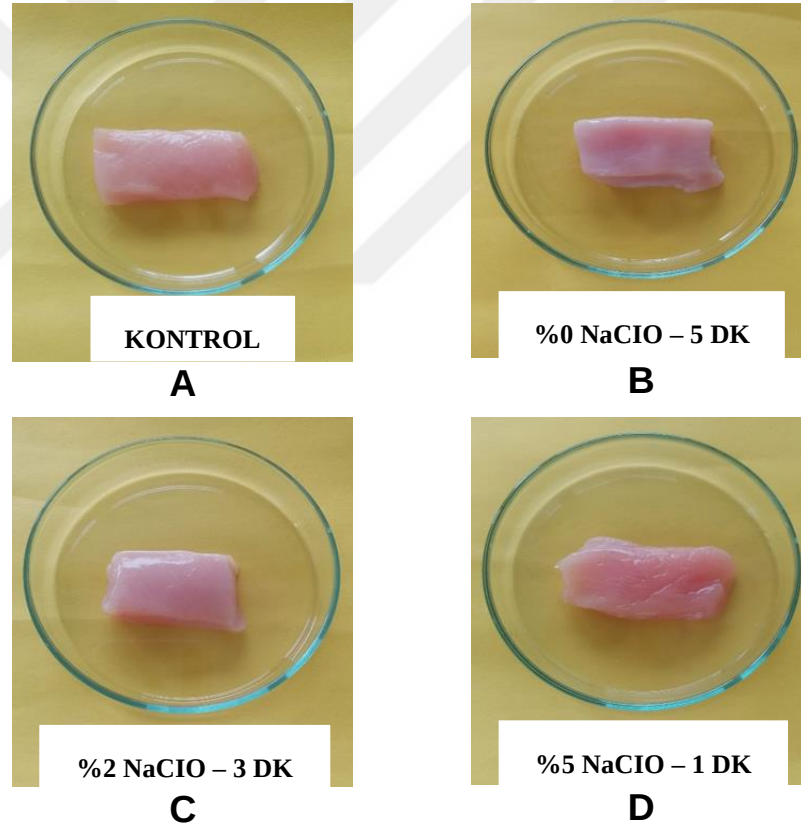
süre) ve sodyum hipoklorit konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Buna göre, tavuk etlerine %80 genlikte uygulanan ultrasesin, uygulama süresi ve sodyum hipoklorit konsantrasyonunun artmasıyla birlikte mikroorganizma inaktivasyonunu arttırdığı belirlenmiştir.

Çalışmanın asıl amacı; tavuk göğüslerin soğutulması sırasında dezenfeksiyonu sağlamak amacıyla kullanılan sodyum hipoklorit dezenfektanının miktarını en aza indirmek amacıyla ultrases teknolojisinin sinerjistik etkisinin araştırılmasıdır. Tez kapsamında kimyasal dezenfektan %0, %2 ve %5 konsantrasyonlardaki sodyum hipoklorit ile farklı işlem sürelerindeki (0, 1, 2, 3 ve 5 dakika) alternatif ısı olmayan yeşil teknoloji ultrases uygulamasının sinerjistik etkileşimi sonucu *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterileri üzerinde en az 1 log kob/g inaktivasyonunu sağlayan parametreler uygun koşul olarak seçilmiştir. Buna göre uygun koşullar; %80 genlik değerinde (ultrases + NaClO), %0 NaClO - 5 dk, %2 NaClO - 3 dk ve %5 NaClO - 1 dk olarak seçilmiş olup Şekil 4.12’de mikroorganizmaların uygun koşullardaki logaritmik azalmaları özetlenmiştir. Genellikle kanatlı kesimhanelerde soğutma aşamasına geçen tavuklarda *S. Typhimurium* ve *E. coli* yükünün 1 log kob/g’ı geçmemesi beklenir. Şekil 4.13’te belirlenen uygun koşullardaki tavuk göğüs etlerinin görselleri verilmiştir.

Sodyum hipoklorit konsantrasyonunun azaltılması için ultrases uygulaması sonucu sinerjistik etki meydana gelmiş yani iki dezenfeksiyon uygulamasının ayrı ayrı kullanılmasıyla birlikte elde edilen inaktivasyondan daha fazla sayıda azalma gözlenmiş olup %2 NaClO - 3 dk ve % 5 NaClO – 1 dk ultrases uygulaması sonrası en az 1 log kob/g azalma meydana gelmiştir. Bu bağlamda tüm veriler dikkate alındığında *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerinin inaktivasyonunda sabit %80 genlik değerinde seçilen uygun koşullardaki konsantrasyon ve sürede fizikokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12. Uygun koşullardaki *E. coli* ve *S. Typhimurium*'un logaritmik azalmaları.



Şekil 4.13. Uygun koşullardaki ultrases uygulamaları sonrası tavuk göğüs eti görselleri.

(A: Ultrases uygulanmayan tavuk göğüs eti, kontrol; B: %0 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 5 dakika ultrases uygulaması; C: %2 sodyum hipoklorit konsantrasyonu 3 dakika ultrases uygulaması; D: %5 sodyum hipoklorit uygulaması 1 dakika ultrases uygulaması).

Çalışmadan elde edilen veriler gibi tavuk eti yüzeyinden mikroorganizmaların inaktivasyonunda fiziksel yöntem olan ultrases uygulaması ile kimyasal dekontaminasyon yöntemlerinin birlikte kullanıldığı literatürde mevcut birçok çalışma bulunmaktadır. Tez kapsamında yapılan mikroorganizmaların inaktivasyonuna benzer olarak; Lee ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, tavuk derisi yüzeyinden *S. Typhimurium*'un inaktivasyonunu sağlayabilmek amacıyla sodyum hipoklorit (100-200 mg/kg) ile 37 kHz, 380 W güç ve 5 dakika süreyle ultrases uygulamasının etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda 200 mg/kg sodyum hipoklorit ve ultrases işleminin birlikte uygulanması sonucu tavuk derisinde gevşek, orta düzeyde ve sıkıca bağlı *S. Typhimurium* üzerinde 0.83, 0.99 ve 0.54 log kob/g azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sadece 200 mg/kg sodyum hipoklorit ile muamele edilen tavuk derisi yüzeyinde 0,24-0,41 log kob/g arasında inaktivasyon meydana gelmiş ve ultrases ile birlikte sodyum hipoklorit uygulamasına oranla daha düşük inaktivasyon elde edildiği gözlenmiştir. Bu bağlamda ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının tavuk derisi yüzeyinden *S. Typhimurium* giderilmesinde önemli etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir. Ancak çalışmamızdan farklı olarak bu çalışma oda sıcaklığında ve ultrasonik su banyosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Rossi ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada kanatlı karkas işlemede kullanılan soğutucu suyunda *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonu için ultrasesin tek başına (1 ile 9 dakika) veya klor dioksit (ClO_2) (1 ile 17 mg/L) ile birlikte uygulaması değerlendirilmiştir. Çalışmada kanatlı karkasında ultrases banyosunda 37 kHz sabit frekans, sürekli mod ve %100 genlik değeri ön çalışmalar dikkate alınarak seçilmiştir. Çalışmada 1 dakika ultrases işlemi ve 17 mg/L ClO_2 konsantrasyonu en iyi koşul seçilmiş olup başlangıç mikroorganizma yükleri 9 log kob/mL olan *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterilerini kombine ultrases işlemi sonrası sırasıyla 0,89 ve 5,38 log kob/mL'ye indirgenmiştir. Bu tez çalışmasından farklı olarak araştırmacılar, ultrasese maruz kalma süresi ve ClO_2 kombinasyonu *E. coli* inaktivasyonunda *S. Typhimurium*'a göre daha az etkili olduğu tespit etmişlerdir. Ek olarak sadece 5 dakika süreyle uygulanan ultrases işleminin *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonu üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada elde edilen veriler soğutma sıcaklıkları açısından karşılaştırıldığında soğutma suyunda inaktivasyon (4 °C) dikkate alındığında *S. Typhimurium* 'da %100 ve *E. coli*'de %66

azalma sağlarken, ön soğutma (16°C) işleminde azalma sırasıyla %66 ve %48 oranında elde edilmiştir.

Park ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, çiğ deniz yosunu üzerinde *E. coli* bakterisinin azaltılmasında NaClO (50, 100, 150 ve 200 ppm) ve 37 kHz frekansta, 380 W güçte 5, 20, 40, 60, 80 ve 100 dakika sürelerde ultrases ve sodyum hipoklorit kimyasalının sinerjistik etkisi incelenmiştir. Sadece 50, 100, 150 ve 200 ppm NaClO uygulanması sonucu *E. coli* sayıları sırasıyla 0,4; 0,6; 1,0 ve 1,2 log kob/g azaltılmıştır. Sadece ultrases işleminin 5, 20, 40, 60, 80 ve 100 dakika süreyle uygulanması sonucu *E. coli* sayıları sırasıyla 0,6; 0,9; 0,9; 0,8; 0,9 ve 1,1 log kob/g azaltılmıştır. Çalışmada farklı sürelerde hem sadece ultrases işleminin hem de sadece sodyum hipoklorit kimyasalının tek başına *E. coli* inaktivasyonunda etkisinin yetersiz kaldığı ancak sodyum hipoklorit ve ultrasesin birleşik dezenfeksiyon işlemleri sinerjistik fayda sağlayarak azalma sağladığı gözlenmiştir. Bunlara ek olarak, 200 ppm NaClO ve 100 dakika ultrases uygulaması sonrası 2,7 log kob/g maksimum *E. coli* azalması gözlenmiştir. Bu çalışmada sonuç olarak, 200 ppm NaClO ve 60 dakika ultrases işleminin birlikte uygulamasının deniz yosunu üretiminde, işlenmesinde ve dağıtım sürecinde deniz yosunu güvenilirliğini artırmak için potansiyel bir engel yaklaşımı olarak uygun parametre kabul edileceğini bildirmişlerdir.

Guo ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, 15 dakika (1 s on, 1 s off) uygulama süresinde, 25 kHz frekansta, 10 W/cm³ enerji yoğunluğunda prob tipi ultrases ile 30 ve 50 ppm sodyum hipoklorit konsantrasyonlarının kombine uygulamasının *E. coli* azaltılması üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda sadece 30 ppm sodyum hipoklorit uygulaması sonucu 1,63 log kob/g azalma meydana gelmişken ultrases işlemiyle birlikte kombine uygulaması sonrası 3,22 log kob/g azalma elde etmişlerdir. Ultrasesin 30 ve 50 ppm sodyum hipoklorit konsantrasyonlarıyla birlikte kullanılması sonucu elde edilen *E. coli* azalmaları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Sonuç olarak, ultrases ve sodyum hipokloritin birlikte uygulanmasının sinerjistik fayda sağladığı ve *E. coli*'nin azaltılmasında etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Lillard (1993) tarafından yapılan çalışmada, kanatlı göğüs derisi yüzeyinden *S. Typhimurium*'un inaktivasyonunda ultrases ile birlikte klorlu su çözeltisinin (0,5 ppm Cl₂) kombine etkisini incelemişlerdir. Sonikasyon işlemi 20 kHz frekansta darbeli modda (15 sn açık, 15 sn kapalı) gerçekleştirilmiştir. Tavuk derisi yüzeyinden başlangıç mikroorganizma yükü 6,91 log kob/g olan *S. Typhimurium*'un inaktive

edilmesinde 60 dakika ultrases işlemi ve klorlu su ile kombine dezenfeksiyon işlemi sonrası 3,29 log kob/g'a, sadece ultrases işlemi sonrası ve klorlu su ile muamele işlemi sonrası sırasıyla 5,84 ve 6,49 log kob/g'a düşmüştür. Ultrases işlemiyle birlikte klorlu suyun *S. Typhimurium*'u tavuk derisi yüzeyinden 3,62 log kob/g azaltabilmekte, tek başına ultrases ve klorlu su uygulamaları sonrası ise sırasıyla 1,07 ve 0,42 log kob/g azalttığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak sadece klorlama etkisi ile *S. Typhimurium* inaktivasyonunda <1 log kob/g düşük inaktivasyon meydana gelmiştir. Çalışmanın sonucunda ultrases ve klorlama işleminin birlikte kullanıldığı zaman daha fazla mikrobiyal inaktivasyon sağladığını bildirmişlerdir.

4.4. Ultrases Uygulanan Tavuk Göğüs Etlerinde Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterileri için en az 1 log kob/g inaktivasyonu sağlayan değerler uygun koşullar olarak seçilmiştir. Seçilen bu koşullarda (20 kHz frekans, 750 W güçte çalışan ultrases cihazında; %80 genlik, 300 ml yıkama suyu içerisinde; %0 sodyum hipoklorit 5 dakika, %2 sodyum hipoklorit 3 dakika ve %5 sodyum hipoklorit 1 dakika süresince) tavuk etlerine (mikroorganizma inokülasyonu yapılmamış-taze göğüs etleri) ultrases uygulanmıştır. Belirtilen koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinde renk analizi, tekstür profil analizi (TPA), pH analizi, nem analizi, TBARS analizi ve su bağlama kapasitesi (SBK) analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Fiziksel analizler

4.4.1.1. Renk analiz sonuçları

Kontrol grubu ve tavuk göğüslerine uygun koşullarda (%0 NaClO - 5 dakika, %2 NaClO – 3 dakika ve %5 NaClO – 1 dakika) uygulanan ultrases işlemleri sonrası renk L^* , a^* , b^* ve toplam renk değişimini veren ΔE değerleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tavuk göğüslerinin L^* değerleri kontrol grubunda ortalama 61,63 olarak tespit edilmişken bu değerler %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarındaki yıkama suyunda ultrases uygulanmış gruplarda sırasıyla 61,6; 61,07 ve 60,19 olarak belirlenmiştir. Kontrol ve ultrases uygulanan gruplar arasında L^* değerleri açısından istatistiksel bir farklılığın oluşmadığı gözlenmiştir ($p>0,05$).

Tavuk göğüslerinin a^* değerleri karşılaştırıldığında ultrases uygulanmayan kontrol örneğinde a^* değerinin 4,32 olduğu, farklı %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarındaki yıkama suyunda ultrases uygulanmış gruplarda ise a^* değerlerinin sırasıyla 3,23; 3,26 ve 3,85 olduğu tespit edilmiştir. Kontrol ve ultrases uygulanan gruplar arasında a^* değerleri açısından istatistiksel bir farklılığın oluşmadığı gözlenmiştir ($p>0,05$).

Tablo 4.6. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin renk değerleri.

	L^*	a^*	b^*	ΔE
Kontrol (Ultrasesiz)	61,63 $\pm$ 0,36 ^A	4,32 $\pm$ 0,34 ^A	4,52 $\pm$ 0,05 ^A	0,00 $\pm$ 0,00
%0 NaClO – 5 dk	61,6 $\pm$ 1,39 ^A	3,23 $\pm$ 0,17 ^A	-2,12 $\pm$ 0,26 ^C	6,98 $\pm$ 0,53 ^A
%2 NaClO – 3 dk	61,07 $\pm$ 0,34 ^A	3,26 $\pm$ 0,03 ^A	0,52 $\pm$ 0,21 ^B	4,34 $\pm$ 0,61 ^B
%5 NaClO – 1 dk	60,19 $\pm$ 0,91 ^A	3,85 $\pm$ 0,54 ^A	0,61 $\pm$ 0,36 ^B	4,75 $\pm$ 0,30 ^B

- ❖ Ortalama $\pm$ Standart Hata
- ❖ (A-C): Uygulanan koşullarda aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$).

Ultrasesiz tavuk göğüs yani kontrol grubunda 4,52 olarak belirlenen renk b^* değeri, ultrases ve farklı oranlarda sodyum hipoklorit içeren soğutma suyunda yıkama sonrası azalma göstermiş ve bu azalma istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Kontrol ile %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında uygulanan ultrases işlemi sonrası tavuk göğüs etlerinin b^* değerinin pozitif aralıkta olduğu ve karakteristik sarı rengini koruduğu gözlenmiştir. Ancak saf su içerisinde 5 dakika ultrases uygulaması sonrası b^* değeri -2,12 olarak belirlenmiş ve tavuk göğüs renginin mavi tonuna döndüğü (renginin açıldığı) gözlenmiştir. Sodyum hipoklorit ilave edilmeyen ortamda uygulanan ultrasesin muhtemelen uzun süre (5 dk) uygulanmasına bağlı olarak tavuk göğüs rengi üzerinde gözle görünür renk değişimi meydana getirdiğini söylemek mümkündür. Ancak %2 ve %5 oranlarında sodyum hipoklorit içeren yıkama sularında muhtemelen uygulanan ultrases süresinin de kısa olmasına bağlı olarak tavuk göğüs rengi üzerinde olumsuz bir etkinin olmadığı gözlenmiştir.

Tavuk göğüs etine uygun koşullarda ultrases uygulamasının, toplam renk değişimi (ΔE) üzerine etkisi incelendiğinde; sodyum hipokloritsiz yıkama suyunda 5 dakika süreyle ultrases uygulaması sonrası 6,98 olan ΔE değerinin sodyum hipoklorit konsantrasyonunun artması ve ultrases süresinin azalmasıyla birlikte düştüğü tespit edilmiştir. %2 ve %5 sodyum hipoklorit içeren suda uygulanan ultrases sonrası elde edilen ΔE değerinin istatistiksel açıdan benzer olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$). Bu durumda sodyum hipoklorit konsantrasyonu artışı ve ultrases işleminin daha kısa süreli uygulanması, kontrol örneği (ultrasessiz) ile karşılaştırıldığında toplam renk değişimi üzerinde etkisinin daha az olduğu belirlenmiştir. Toplam renk değişim parametresi; ΔE 'ye bağlı olarak gözle görülebilir yani fark edilebilir renk değişimi 3 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Eğer $\Delta E > 3$ ise 'çok belirgin' olarak, $1,5 < \Delta E < 3$ aralığında 'belirgin' ve $\Delta E < 1,5$ durumunda 'küçük belirgin' renk değişimleri olarak kategorize edilmektedir (Tiwari ve ark., 2008). Çalışmanın sonucunda tüm uygun koşullardaki ultrases uygulamaları sonrası elde edilen toplam renk değişimi, $\Delta E > 3$ olduğu için uygulamanın tavuk göğüs eti üzerinde çok belirgin renk değişimine sebep olduğu gözlenmiştir. Yapılan bir çalışmada tavuk eti ve derisine uygulanan plazma aktive edilmiş su ile ultrases prosesinin toplam renk değerinde 'çok belirgin' değişikliğe sebep olduğu bildirilmiştir (Alarcon Rojo ve ark., 2019).

Et ve et ürünlerinin renklerindeki değişiklikler hem endüstri hem de tüketiciler açısından son derece önemli bir görsel özellik olarak kabul edilmektedir (Alarcon Rojo ve ark., 2019). Tüketicinin bir ürünü satın alırken karşılaştığı ilk parametre olan renk; et kalitesi için önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir (Pena-Gonzalez ve ark., 2019). Et ve et ürünlerindeki renk özelliği, et kasındaki miyoglobinin kimyasal özelliklerine bağlı olmakla birlikte başka bileşiklerin de etkisi bulunmaktadır. Tavukta bu bileşikler hemoglobin, sitokrom C ve türevleri ile hem bileşiklerini içeren ligandlardır (Carvalho ve ark., 2017). Kanatlı etlerindeki miyoglobin miktarı, genellikle diğer hayvan türlerine göre daha düşüktür, bu da kanatlı etlerinin daha soluk bir renge sahip olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, ultrases işleminin kanatlı etinin renk özelliği üzerinde, kırmızı ete kıyasla daha sınırlı bir etkisi vardır (Al-Hilphy ve ark., 2020).

Stadnik ve Dolatowski (2011), ultrases uygulamasının et ve et ürünlerinin rengindeki toplam değişiklikler üzerinde hızlandırıcı bir etkisinin olabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bu ultrases işleminin oksimiyoglobin oluşumunu sınırladığı ve metmiyoglobin

oluşumunu geciktirdiğini bildirmişlerdir. Yapılan bir çalışmada ultrases uygulamasının etkisinin renk değerleri üzerinde çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebildiğini bildirmişlerdir. Bu faktörler arasında, işlem sırasındaki ortamın özellikleri, uygulama süresi, sıcaklık, güç seviyesi, ürün ve sıvı arasındaki hacim oranı, kullanılan cihazın performansı, boyutu ve ayrıca örnek ile prob arasındaki boyut ve mesafe gibi parametreler yer almaktadır (Inguglia ve ark., 2018).

Bazı araştırmacılar tarafından ultrases uygulama sonrası tavuk etinin renginde herhangi bir değişikliğe sebep olmadığını belirtmişlerdir (Alarcon Rojo ve ark., 2019; Lee ve ark., 2014; Seo ve ark., 2019). Bu durumun ultrases uygulaması sırasında üretilen ısınn etteki proteinleri ve pigmentleri denatüre etmek için yeterli gelmemesinden kaynaklandığını ifade edilmiştir (Sikes ve ark., 2014). Ayrıca bazı araştırmacılar da yüksek yoğunluklu ultrases ile muamele edilen tavuk, domuz, tavşan ve diğer et türlerinde meydana gelen renk değişikliği üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir (Alarcon Rojo ve ark., 2019).

Cao ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada tavuk göğüs üzerinde ultrases destekli enzimlerin etkisini incelemişlerdir. Çalışmada ultrases işleminin tavuk göğüs rengi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Ayrıca ultrases destekli enzimlerle tavuk göğüs rengi üzerinde uygulama sonrası (L^*) değerinde artış, kırmızı renkte azalma (a^*) ve tavuk göğüs etinde zararlı etkiye sahip olan sarı renk (b^*) yoğunluğunda artış gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak tavuk göğüsün toplam renk değişiminde (ΔE) ultrases uygulamasının etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Alves ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, 500 W güç, 25 kHz frekansta 0, 3, 6 ve 9 dakika ultrases işlemiyle İtalyan salamı üretimi uygulama sonrası L^* , a^* ve b^* enstrümental renk parametrelerinde önemli ölçüde bir değişiklik belirlemediklerini bildirmişlerdir.

Cichoski ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada, 200 W güç ve 25 kHz frekansta ultrases işlemiyle muamele edilen sosis örneklerinin L^* , a^* ve b^* parametrelerinde herhangi bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Alenyorege ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, Çin lahanasından *Listeria innocua* bakterisinin azaltılması amacıyla sodyum hipoklorit ile yıkama işlemi sırasında, 40 kHz frekansta çalışan ve 100 mg/L NaClO içeren ultrases kombinasyonunun 10 dk süreyle birlikte uygulanmasının sonunda incelenen renk

parametreleri (L^* , a^* , b^*) dezenfekte edilmemiş örnekler ile kıyaslandığında istatistiki açıdan önemli bir farkın olmadığını ifade etmişlerdir.

4.4.1.2. Tekstür profil analizi (TPA) sonuçları

Kontrol grubu ve tavuk göğüslerine uygun koşullarda (%0 NaClO - 5 dakika, %2 NaClO - 3 dakika ve %5 NaClO - 1 dakika) uygulanan ultrases işlemleri sonrası TPA analizi sonucunda elde edilen veriler hesaplanmıştır. Verilerden hesaplanan; sertlik, yapışkanlık, esneklik ve çiğnenebilirlik sonuçları Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin TPA değerleri.

	<i>Sertlik (N)</i>	<i>Yapışkanlık (N)</i>	<i>Esneklik (%)</i>	<i>Çiğnenebilirlik (N)</i>
<i>Kontrol (Ultrasesiz)</i>	367,3 ± 75,4 ^A	173,1 ± 37,0 ^A	35,83 ± 3,54 ^A	290,95 ± 88,3 ^A
<i>%0 NaClO – 5 dk</i>	366,3 ± 29,2 ^A	123,16 ± 4,80 ^A	56,98 ± 5,37 ^A	464,99 ± 115,00 ^A
<i>%2 NaClO – 3 dk</i>	356,7 ± 73,5 ^A	137,8 ± 12,5 ^A	44,50 ± 6,58 ^A	445,87 ± 85,40 ^A
<i>%5 NaClO – 1 dk</i>	395,2 ± 71,8 ^A	127,30 ± 1,94 ^A	51,14 ± 8,80 ^A	296,91 ± 76,00 ^A

- ❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit
- ❖ (A): Uygulanan koşullarda aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$).

Tavuk göğüs örneklerinin sertlik değerlerine bakıldığında, hesaplanan kontrol, %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO - 3 dakika ultrases ve %5 NaClO - 1 dakika ultrases uygulanan grupların sertlik değerleri sırasıyla 367,3; 366,3; 356,7 ve 395,2 N olarak belirlenmiştir. %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda 1 dakika süreyle uygulanan ultrases işlemi sonrasında sertlik değerinin bir miktar arttığı gözlenmiş ancak bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış, tüm gruplarda sertlik değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu gözlenmiştir ($p > 0,05$).

Tavuk göğüs örneklerinin yapışkanlık değerlerine bakıldığında kontrol, %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO - 3 dakika ultrases ve %5 NaClO - 1 dakika ultrases uygulanan gruplarda sırasıyla 173,1; 123,16; 137,8 ve 127,30 N olduğu tespit edilmiştir. Taze ete kıyasla (kontrol grubu) yıkama işlemi sonrası tüm gruplarda

yapışkanlık değerinin azaldığı gözlenmiş ancak bu azalma istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tavuk göğüs örneklerinin esneklik değerlerine bakıldığında, kontrol, %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO - 3 dakika ultrases ve %5 NaClO - 1 dakika ultrases uygulanan gruplarda sırasıyla %35,83; 56,98; 44,50 ve 51,14 olduğu belirlenmiştir. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında uygun koşullardaki ultrases ve sodyum hipoklorit uygulaması sonrası elde edilen esneklik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak bu artış da istatistiksel açıdan farklı bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu durumun ultrases işleminin tavuk göğüsündeki kas lifleri üzerinde bozucu, gevşetici ve kas lifleri arasındaki boşluklarda artış meydana getirici etkisinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Tavuk göğüs örneklerinin çiğnenebilirlik değerleri ise kontrol, %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO - 3 dakika ultrases ve %5 NaClO - 1 dakika ultrases uygulaması sonrasında sırasıyla 290,95; 464,99; 445,87 ve 296,91 olarak elde edilmiştir. Uygun koşullarda farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında ultrases uygulanması sonrası elde edilen çiğnenebilirlik özelliği kontrol (ultrasessiz) örneği ile karşılaştırıldığında, ultrases işlemi tavuk göğüslerin çiğnenebilirlik özelliğini artırıcı etki göstermiştir, ancak elde edilen farklılıklar istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

Çalışma kapsamında, kontrol (ultrasessiz, taze tavuk göğüs eti) örneği ile kıyaslandığında tavuk göğüs eti örneklerine belirlenen uygun koşullarda uygulanan yıkama işlemlerinin örneklerin tekstürel özelliklerinde (sertlik, yapışkanlık, esneklik, ve çiğnenebilirlik) istatistiki açıdan önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda et ve et ürünlerinin tekstürel yapısı üzerine etki eden faktörler arasında ultrases şiddeti (yoğunluk), frekansı ve uygulama süresi ana parametreler olarak kabul edilmektedir (Dickens ve ark., 1991; Roberts, 1991; Chemat ve Khan, 2011; Turantaş ve ark., 2015). Bu bağlamda çalışmada uygun koşullar olarak belirlenen parametrelerin (ultrases yoğunluğu, frekansı, uygulama süresi ve sodyum hipoklorit konsantrasyonu) tavuk göğüs etinin tekstürel yapısı üzerinde değişiklik yapmayacak düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Ultrases teknolojisi, tüketicilerin et kalitesini değerlendirilmesinde belirleyici bir rol oynayan dokusal özelliklere etki etmesi için yumuşatmak amacıyla kullanılan ideal bir

yöntem olarak kabul edilmektedir (Al-Hilphy ve ark., 2020). Ultrases uygulamasının et ve et ürünlerinin dokusal özellikleri üzerindeki etkileri arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların sebepleri arasında sadece uygulanan ultrasesin süresi, sıcaklığı ve yoğunluğu gibi faktörler etkili değil aynı zamanda kullanılan ürünün doğası ve bileşimi de da önemli bir rol oynamaktadır. Et dokusunun karakteristik özellikleri, içerdiği protein, su, yağ ve bağ dokusu gibi bileşenlerin yapısal özellikleri, miktarı ve durumu tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle ölüm sonrası biyokimyasal değişiklikler, saklama ve işleme koşullarıyla birlikte bileşimini ve yapısını şekillendirerek, etin dokusal özelliklerini tanımlayan temel unsurları oluşturmaktadır (Barretto ve ark., 2022; Cardanes ve Olivera, 2016).

Ultrases uygulaması sırasında meydana gelen kavitasyon olayı, kabarcıkların çökmesiyle sonuçlanır ve bu çökme sırasında oluşan şiddetli hidrodinamik kuvvetler, et ve et ürünlerinin kas hücre zarlarına, kas hücre bütünlüğüne ve kas liflerinin temel yapısına zarar verir. Bu nedenle bu tür hasarlar geleneksel olarak et kalitesini değerlendirmek için önemli bir gösterge olan yumuşatma amaçlı kullanıldığı bildirilmiştir (Boister Marquis ve ark., 1999; Smith ve ark., 1991; Turantaş ve ark., 2015). Literatürde yer alan çalışmaların çoğunda etin yumuşatılmasına etkileyen temel faktörler olarak; ultrases şiddeti (yoğunluk), frekansı ve uygulama süresi ana parametreler olarak kabul edilmektedir (Chemat ve ark., 2011; Dickens ve ark., 1991; Roberts, 1991). Bu nedenle, ultrases işleminin etin tekstürel yapısı üzerine etkilerinin istenen düzeyde ve doğrultuda olması için ultrases şiddeti, frekans değeri ve uygulama süresinin doğru bir şekilde ayarlanması gerekmektedir (Turantaş ve ark., 2015).

Dickens ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada tavuk göğüs etinin dokusu üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 40 kHz frekansta, 37,5 W/dm³ yoğunlukta ve 120 dakika süreyle ultrases uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda ultrases uygulamasının tavuk göğüsün tekstürü üzerinde önemli ölçüde iyileştirici etkisi olduğu bildirilmiştir.

Ozuna ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, domuz eti 40 kHz frekansta, 37,5 W/dm³ güçte, 120 dakika boyunca farklı NaCl konsantrasyonlarında (50 kg NaCl/m³, 200 kg NaCl/m³ ve 280 kg NaCl/m³) ultrases uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda ultrases uygulamasının domuz etinin sertlik değeri üzerinde NaCl konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artış meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ultrases uygulamasının, NaCl salamura işlemini yoğunlaştırarak et yapısının NaCl içeriğinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Li ve ark. (2015) tarafından incelenen çalışmada ise, farklı tuz içerikleri (%1, %1,5 ve %2) ile farklı işlem sürelerinde (10, 20, 30 ve 40 dakika), 40 kHz frekansta ve 300 W güçte ultrases uygulamasının tavuk göğüs eti hamurlarının tekstürel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, tavuk göğüs hamurunun tuz seviyesinin %1'den %2'ye yükseltilmesi hamurun sertlik, elastikiyet, yapışkanlık, çiğnenebilirlik özelliklerinin arttığını bildirmişlerdir. Ultrases uygulamaları aynı tuz içeriğine sahip kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında ise 10 ve 20 dakika uygulama tavuk göğüs hamurlarının sertlik, esneklik, yapışkanlık ve çiğnenebilirlik özelliklerini iyileştirirken 30 ve 40 dakika ultrases uygulama süresinde bu tekstürel değerler üzerinde önemli değişiklik meydana getirmediğini bildirmişlerdir.

4.4.2. Kimyasal analizler

4.4.2.1. pH analiz sonuçları

Çalışma kapsamında tavuk göğüs örneklerine kontrol (taze tavuk göğüs eti) ve %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO – 3 dakika ultrases ve %5 NaClO – 1 dakika ultrases olacak şekilde uygun koşullarda uygulanan sonikasyon işlemi sonrası elde edilen pH analiz sonuçları elde Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin pH değerleri.

	<i>pH</i>
Kontrol (Ultrasesiz)	6,08 ± 0,01 ^A
%0 NaClO – 5 dk	6,14 ± 0,08 ^A
%2 NaClO – 3 dk	6,33 ± 0,01 ^A
%5 NaClO – 1 dk	6,22 ± 0,03 ^A

- ❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit
- ❖ (A): Uygulanan koşullarda aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

Tavuk göğüs örneklerinin pH değerleri Tablo 4.9'da görüldüğü üzere, kontrol (taze tavuk göğüs eti) , %0 NaClO - 5 dakika ultrases uygulanmış, %2 NaClO – 3 dakika ultrases uygulanmış ve %5 NaClO – 1 dakika ultrases uygulanmış tavuk etlerinin pH değerleri sırasıyla 6,08; 6,14; 6,33 ve 6,22 olarak belirlenmiştir. Tavuk göğüs etlerinin

pH değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$).

Taze tavuk göğsünün pH değeri yaklaşık 5,7 ile 6,2 arasında olmakla birlikte mikroorganizma içeriği ve yağ oksidasyonunun artmasıyla birlikte pH değerinde artışa meydana gelebileceği bildirilmiştir (Zhuang ve Savage, 2009; Beauclercq ve ark., 2022). Ayrıca tavuk göğüslerin yıkama işlemi sırasında kullanılan sodyum hipoklorit'in (NaClO), hidrolize olması sonucu hipokloröz aside (HOCl) dönüşmektedir. Hipokloröz asit, zayıf asidik özelliğe sahip olmakla birlikte hipoklorit iyonuna ($-\text{OCl}$) ve hidrojene (H^+) ayrılmaktadır (Francisco ve ark., 2018). Tavuk göğüs örneklerine; %0, %2 ve %5 sodyum hipoklorit içeren yıkama işlemi ve ultrases uygulamasının birleşiminin sonucunda, pH değerindeki meydana gelen düşük artışın sebebi zayıf asidik özelliğe sahip hipokloröz asit iyonlarının hücre yapısından içeriye sitoplazmaya girmesi (Alarcon Rojo ve ark., 2019) sonucu tavuk göğüs pH'sı üzerinde düşük artış meydana gelebileceği öngörülmektedir.

Alonso-Hernando ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada tavuk budu dekontaminasyonunda asitlendirilmiş sodyum klorit (1200 mg/L) ve klor dioksit (50 mg/L) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda klor dioksitin tavuk budu pH'ı üzerinde önemli değişikliğe sebep olmadığı ($p>0,05$) ancak asitlendirilmiş sodyum kloritin tavuk budu başlangıç pH'ını önemli ölçüde düşürdüğü ifade edilmiştir ($p<0,05$).

4.4.2.2. Nem analiz sonuçları

Kontrol grubu ve tavuk göğüslerine uygun koşullarda (%0 NaClO - 5 dakika, %2 NaClO - 3 dakika ve %5 NaClO - 1 dakika) uygulanan ultrases işlemleri sonrası nem değerleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerinin nem içeriği (%).

	<i>Nem (%)</i>
Kontrol (Ultrasesiz)	74,19 $\pm$ 0,11 ^B
%0 NaClO - 5 dk	78,05 $\pm$ 0,89 ^A
%2 NaClO - 3 dk	78,33 $\pm$ 0,43 ^A
%5 NaClO - 1 dk	76,78 $\pm$ 0,22 ^{AB}

❖ Ortalama $\pm$ Standart Hata

❖ (A-B): Uygulanan koşullarda aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır ($p<0,05$).

Tablo 4.6’da görüldüğü üzere; tavuk göğüslerinin % nem oranları kontrol, %0 NaClO 5 dakika ultrases uygulanmış, %2 NaClO – 3 dakika ultrases uygulanmış ve %5 NaClO – 1 dakika ultrases uygulanmış tavuklarda sırasıyla 74,19; 78,05; 78,33 ve 76,78 olarak belirlenmiştir. Ultrases uygulaması ile tavukların % nem oranları bir miktar artmıştır. Bu artış taze et ile (kontrol grubu ile) kıyaslandığında %0 NaClO – 5 dakika ultrases uygulanmış ve %2 NaClO – 3 dakika ultrases uygulanmış tavuk etlerinin %nem değerleri kontrol grubunun nem değerinden istatistiksel olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ancak %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 1 dakika ultrases uygulaması kontrol örneği ile kıyaslandığında % nem içeriklerinin istatistiksel olarak benzer olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$). Bu durumun %5 sodyum hipoklorit çözeltisinde 1 dk süreyle uygulanan ultrasesin kısa süreli olması sebebiyle tavuk göğsünün kas liflerini 3 ve 5 dk ultrases uygulamalarındaki kadar gevşemediği ve dolayısıyla bu etlerde yapı içerisine suyun hapsedemediği için nem değeri içeriğinin 5 dk ve 3 dk ultrases uygulanan tavuk göğüs etlerindeki kadar yükselmediği düşünülmektedir.

Genel olarak çalışma kapsamında, farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonları (%0, %2 ve %5) içeren kimyasallar ile alternatif ısı olmayan ultrases teknolojisinin birlikte uygulanması sonucu tavuk göğüs eti örneklerinin % nem içeriği değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu bağlamda, yüksek su bağlama kapasitesi özelliğine sahip olan et ürünlerinin ultrasonik ses dalgaları ile işlenmesinin, daha iyi bir sululuk ve yumuşaklık kazandırmasına katkıda bulunurken aynı zamanda ekonomik kayıpların azalmasına da yardımcı olduğu bildirilmiştir (Shi ve ark., 2020).

Alves ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, İtalyan salamı üzerinde 25 kHz frekansta, 500 W/cm² güçte ve farklı sürelerde (0, 3, 6 ve 9 dakika) ultrases uygulamasının nem değeri üzerinde etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda ultrases uygulamasının İtalyan salam ürünün ağırlığı üzerinde değişiklik meydana getirmediği sonucuna varmışlardır.

Leal Ramos ve ark. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tavuk göğüs örneklerine uygulanan ultrases işleminin kütle transferi ve nem içeriği üzerine etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, 40 kHz frekansta ve 22 W/cm² yoğunlukta, 15 ve 30 dakika olacak şekilde farklı sürelerde tavuk göğüs üzerine ultrases uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, tavuk göğüs örneklerinin ultrases işlemine maruz kalmasının ardından kütle transferi ve nem içeriğinde artış meydana geldiği

belirtilmiştir. Ultrases işlemi, tavuk göğüs örnekleri üzerinde kütle transferini arttırarak daha fazla suyun et içerisine geçmesine ve etin nem oranında artış meydana gelmesine katkıda bulunduğu bildirilmiştir.

Ozuna ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, domuz etinin salamura işlemi için 40 kHz frekansta ve 37,5 W/dm³ güçte 120 dakika boyunca ultrases işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, domuz etinin NaCl (sodyum klorür) ile salamura edilmesi sırasında, ultrases uygulamasının domuz etinin nem oranında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, ultrases uygulamasının tuzlu su içerisindeki NaCl'nin et dokusuna daha iyi nüfuz etmesini sağlayarak etin nem oranını yükselttiği düşünülmektedir.

McDonnell ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, domuz etinin tuzlanması için farklı sürelerde (10, 25 ve 40 dakika) ve farklı güç yoğunluklarında (4,2; 11 ve 19 W/cm²) ultrases işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda ultrases işlemi uygulanmadan kontrol örneği ile ultrases işlemi sonrası elde edilen ürünler arasında nem içeriği açısından herhangi bir önemli değişiklik meydana getirmediği bildirilmiştir.

4.4.2.3. TBARS analizi sonuçları

Çalışma kapsamında tavuk göğüs örneklerine kontrol ve %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO - 3 dakika ultrases ve %5 NaClO - 1 dakika ultrases olacak şekilde uygun koşullarda uygulanan ultrases işlemi sonrası elde edilen TBARS analiz sonuçları elde Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin TBARS miktarları.

<i>TBARS (mg MA/kg)</i>	
<i>Kontrol (Ultrasesiz)</i>	0,29 ± 0,01 ^A
<i>%0 NaClO – 5 dk</i>	0,22 ± 0,02 ^A
<i>%2 NaClO – 3 dk</i>	0,27 ± 0,03 ^A
<i>%5 NaClO – 1 dk</i>	0,42 ± 0,14 ^A

- ❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit
- ❖ (A): Uygulanan koşullarda aynı sütündeki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

Tablo 4.10’da görüldüğü üzere; kontrol, %0 NaClO – 5 dakika ultrases uygulanmış, %2 NaClO – 3 dakika ultrases uygulanmış ve %5 NaClO – 1 dakika ultrases uygulanmış tavuk göğüs örneklerinin TBARS değerleri sırasıyla 0,29; 0,22; 0,27 ve 0,42 olarak belirlenmiştir. Ultrases uygulamasının tavuk göğüslerin TBARS değerleri üzerinde etkisi değerlendirildiğinde kontrol örneği diğer uygun koşullardaki uygulanan ultrases örnekleri ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir ($p>0,05$). Ultrases teknolojisi, kolajen dokuyu parçalama ve hücre zarları üzerinde bozucu etkisi olmasının yanı sıra 20 kHz frekansa sahip ultrases probu aracılığıyla uygulandığı zaman kendi başına serbest radikal üretebilmektedir (Kuijpers ve ark., 2002). Literatür verileri de ultrases uygulamaları ile et ve et ürünlerinin TBARS değerinin bir miktar artabileceğini göstermektedir. Ancak çalışmamızda uygulanan yıkama (soğutma) koşullarında (uygun olarak belirlenen koşullarda) tavuk etlerinin TBARS miktarlarında önemli bir artış gözlenmemiştir ($p>0,05$).

Sonikasyon işleminin et ve et ürünlerinin teknolojik özellikleri üzerine iyileştirici etkisi bulunmakla birlikte lipid oksidasyonu üzerine olumsuz etkisi bulunmadığı bildirilmiştir (Stadnik ve Dolatowski, 2011). Ancak bazı araştırmacılar yüksek yoğunluklu ($>11,32 \text{ W/cm}^2$) ve uzun süreli (>30 dakika) işlemlerde etin TBARS değerinde önemli artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir (Kang ve ark., 2016). Çalışma, yüksek yoğunlukta ($34,03 \text{ W/cm}^2$) uygulanmış olup uygulama süresinin kısa olması sebebiyle TBARS değerinde meydana gelen artış önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), tavuk göğüs etindeki lipid oksidasyon seviyesini belirlemek için genel olarak TBA (thiobarbituric acid) testini önermektedir. TSE’nin önerisi, tavuk göğüs etinin her gramında maksimum 1 mikrogram malondialdehit içeren TBA değerine sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir (Demirkaya ve ark., 2014; Oruç ve ark., 2015). TBARS analizinde kontrol ve uygun koşullarda ultrases ve sodyum hipokloritin (NaClO) kombine uygulanması sonucu elde edilen değerler, TSE tarafından belirtilen maksimum malondialdehit limitinin altında olduğu ve ultrases uygulamasının ürünün duyu özelliklerinde olumsuz etkiye sebep olan lipid oksidasyonunu etkilemediği sonucuna varılmıştır (Tablo 4.10).

Lipid oksidasyonu, taze et ve et ürünlerinin bozulmasında kritik bir öneme sahiptir çünkü oksidasyon olayı et renginin bozulmasına, arzu edilmeyen kötü kokuya ve dokusal bozulmaya sebebiyet vermektedir. Tavuk göğüs eti içeriğinde bulunan yüksek

doymamış yağ içeriği (PUFA) nedeniyle lipid oksidasyonu meydana gelme eğiliminde artış görülmektedir. Bu durum, besin değerlerini azaltmakta ve tat duyu kalitesi üzerinde düşürücü etki göstermektedir. Aynı zamanda et ve et ürünlerinin kalite bozulmasının önemli bir nedeni olarak kabul edilir (Dominguez ve ark., 2019). İkincil lipid oksidasyon ürünlerini temsil eden tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARS), lipid oksidasyon derecesini değerlendirmek amacıyla en pratik ve sıklıkla kullanılan bir yoldur (Kim ve ark., 2018). Ultrases işlemi sırasında serbest radikaller ve diğer reaktif türler oluşturarak oksidasyonu etkileyebilir ve bu türler okside edilebilir bileşiklerle kolayca reaksiyona girebilmektedir (Kentish ve Ashokkumar, 2011; Soria ve Villamiel, 2010).

Cichoski ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, tavuk göğüs örnekleri, su veya hafif asidik elektrolize su içerisine daldırılarak 25 ve 130 kHz frekansta US banyosunda 10 dakika boyunca 10 °C’de sonikasyon işlemi uygulanmıştır. Çalışmada tavuk göğüs etinin daldırılması sırasında kullanılan su ve hafif asidik elektrolize suyun lipid oksidasyonu üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, farklı frekanslarda (25 ve 130 kHz) hafif asidik elektrolize su (SAEW) içerisine daldırılan tavuk göğüs örnekleri kontrol örneğinden farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). Ancak farklı frekans değerlerinde (25 ve 130 kHz) saf su içerisine daldırma işlemlerinin TBARS değerleri, kontrol örneğine göre daha düşük bulunmuştur ($p<0,05$). Sonuç olarak, farklı frekanslarda (25 ve 130 kHz) hafif asidik elektrolize su içerisine daldırılan örneklerin, su içerisine daldırılan örneklerden daha yüksek TBARS değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu hafif elektrolize su (SAEW) daldırma işlemlerinin lipid oksidasyonunun artmasının sebebi, HClO’nun oksitleyici özelliğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

De Lima Alves ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, İtalyan salamı örnekleri üzerine uygulanacak olan sonikasyon işlemi, normal çalışma modunda, 25 kHz frekans, 500 W güçte ve 0 (kontrol, ultrases uygulanmamış), 3, 6 ve 9 dakika süreyle uygulanmıştır. Çalışmada, İtalyan salamı üzerine uygulanan ultrases işleminin lipid oksidasyonu üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, farklı sürelerde ultrases işlemine tabi tutulan örnekler kontrol (0 dk, ultrases uygulanmamış) ile karşılaştırıldığında 9 dakika uygulama sonrası en yüksek TBARS değeri elde edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak ultrases işleminin TBARS değeri üzerinde önemli ölçüde artırıcı etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Bao ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, kuru salam et örneklerinin ultrases ön işlem etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma 20 kHz frekansta farklı güç seviyeleri olan 200, 300 ve 400 W’da 30 dakika boyunca ultrases işlemi uygulanmıştır. Kontrol grubu örneğine ultrases uygulanmamıştır. Çalışmanın sonucunda, ultrases işlemi uygulanan örneklerin lipid oksidasyonunu kontrol grubu ile karşılaştırıldığında artırdığı ve anlamlı farklılık bulunmuş ancak 200 ve 300 W ultrases işlemleri arasında anlamlı bir farklılık olmadığı bildirilmiştir.

4.4.2.4. Su bağlama kapasitesi (SBK) analiz sonuçları

Çalışma kapsamında tavuk göğüs örneklerine kontrol (ultrases uygulanmayan) ve %0 NaClO - 5 dakika ultrases, %2 NaClO – 3 dakika ultrases ve %5 NaClO – 1 dakika ultrase olacak şekilde uygun koşullarda uygulanan ultrases işlemi sonrası elde edilen su bağlama kapasitesi analiz sonuçları elde Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulanan tavuk etlerinin su bağlama kapasitesi değerleri.

<i>Su Bağlama Kapasitesi (SBK) (%)</i>	
<i>Kontrol (Ultrasesiz)</i>	95,12 ± 8,15 ^A
<i>%0 NaClO – 5 dk</i>	91,59 ± 0,88 ^A
<i>%2 NaClO – 3 dk</i>	88,69 ± 1,35 ^A
<i>%5 NaClO – 1 dk</i>	90,23 ± 3,84 ^A

- ❖ Ortalama ± Standart Hata, NaClO: Sodyum Hipoklorit
- ❖ (A): Uygulanan koşullarda aynı sütundaki farklı harflere sahip ortalamalar istatistiksel olarak farklıdır (p<0,05).

Buna göre, kontrol, %0 NaClO – 5 dakika ultrases uygulanmış, %2 NaClO – 3 dakika ultrases uygulanmış ve %5 NaClO – 1 dakika ultrases uygulanmış tavuklarda su bağlama kapasitesi değerleri sırasıyla %95,12; %91,59; %88,69 ve %90,23 olarak belirlenmiştir. Ultrases işlemi uygulanmayan tavuk göğüs örneklerine kıyasla uygun koşullarda ultrases işlemi uygulama sonrası sodyum hipoklorit konsantrasyonunun artmasıyla birlikte su bağlama kapasitesinde azalma gözlemlendi ancak bu durumun istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (p>0,05).

Et ürünleri üretiminde etin suyu tutma veya kaybetme kapasitesi, üretim teknolojisinin temelini oluşturur. Etlerin mevcut hücre öz sularını tutabilme veya dışarıdan ilave

edilen suyu bağlayabilme özellikleri et ürünlerinin fonksiyonel ve teknolojik özelliklerinin doğrudan etkileyerek istenilen sonuca ulaşılmasını sağlar. Et ve et ürünlerinin yapısında bulunan su, organoleptik özellikleri, yapısal-mekanik nitelikleri, kaliteyi ve tüketime hazır gıda ürünlerinin saklama süresini önemli ölçüde etkileyen temel bileşendir. Et ve et ürünlerindeki kas dokusunun suyu bağlama kapasitesini ve suyu tutma kapasitesini belirlemek için ‘Su bağlama potansiyeli’ veya ‘Kas dokusunun su ile etkileşim kapasitesi’ gibi terimler ile ifade edilebilir. Yapılan çalışmalar su tutma kapasitesi ve su bağlama kapasitesi arasında yakın ve güçlü bir ilişki olduğunu göstermiştir (Kudryashov ve Kudryashova, 2023). Özetle, su tutma kapasitesi, etin içindeki suyu muhafaza etme yeteneğini ifade ederken, su bağlama kapasitesi ise suyun kas proteinlerine bağlanma gücünü belirtmektedir. Bu iki kavram ise et içerisindeki proteinlerin (myofibriller ve sarkoplazmik proteinler) suyu bağlayabilme ve tutabilme kabiliyeti ile ilişkilidir. Bu iki kapasitenin birbiriyle uyumu, etin işlenmeleri sırasında su kaybını azaltarak veya suyu bağlama özelliklerini arttırarak tekstürel özelliklerin iyileştirilmesini daha sulu ve yumuşak olmasını sağlar. Ayrıca, ürünün ağırlığını ve besin değerini de korumasına yardımcı olmaktadır. Bu sebeple, su tutma ve bağlama kapasitelerinin iyileştirilmesi, et ürünlerinin kalite ve lezzetini artırmada önemli bir rol oynamaktadır.

Su tutma kapasitesi et yüzeyinin dış kuvvetlere (kesme, presleme, öğütme, ısıtma vb.) maruz kalması sonucu yapısındaki suyu doğal olarak tutabilme yeteneğini ifade etmektedir (Hamm, 1961). Et ve et ürünlerindeki su tutma kapasitesi, etin rengi, dokusu ve sertliği gibi kalite özellikleri üzerinde etkili olurken, aynı zamanda ürünlerin taşınması ve depolanması sırasındaki ağırlık değişimini, buz çözme sırasındaki kayıpları, pişirme sırasındaki çekme özelliğini, sululuk ve yumuşaklık gibi faktörleri etkilemektedir (Barretto ve ark., 2022). Su tutma kapasitesi üzerinde protein tipi, kas yapısı, hasar boyutu ve yapının modifikasyonu gibi faktörlere bağlı olarak ultrases işlemi üzerinde etkisi bulunmaktadır (Barretto ve ark., 2022). Yüksek su tutma kapasitesi özelliği et ürünlerinin sululuğu ve yumuşaklık özelliklerini geliştirmesinin yanı sıra ekonomik kaybın azaltılmasında da önemli bir rol oynamaktadır (Shi ve ark., 2020).

Yapılan çalışmalarda, sonikasyon işleminin yoğunluğunun ve süresinin artmasıyla birlikte su tutma kapasitesinde artış olduğu ancak bu sürenin çok artması ile bir miktar azalabileceği bildirilmiştir (Alarcon Rojo ve ark., 2019; Barretto ve ark., 2022).

Literatürde tavuk eti üzerine kısa süreli sonikasyon işlemi uygulamasının (10-20 dakika) sonrası su tutma kapasitesinin daha yüksek olduğu ancak 40 dakika ve daha fazla uygulama sürelerinde su tutma kapasitesi değerinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Alarcon Rojo ve ark., 2019).

Gomez-Salazar ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tavşan etinin marinasyonunda ultrases işleminin etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma, farklı NaCl konsantrasyonları (70, 140 ve 200 g NaCl/L), 3 g NaNO₂ ve %1,5 sitrik asit marinasyon solüsyonları kullanarak gerçekleştirilmiş ve 40 kHz frekansta, 110 W güçte ve 0, 15, 30, 45, 60, 90 ve 120 dakika sürelerde ultrases banyosunda uygulanmıştır. Tavşan etinin marinasyon sürecinde su tutma kapasitesi, hem NaCl konsantrasyonu hem de ultrases işleminde önemli ölçüde etkilendiği bildirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, marinasyon solüsyonundaki NaCl konsantrasyonu artışı ve ultrases uygulaması ile su tutma kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Su tutma kapasitesi, ultrases kullanılmadan marine edilen örneklerde ultrases uygulanan örnekler ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu ultrases işleminin kavitasyon mekanizması ile hücresel yırtılma oluşturduğu ve dolayısıyla dokudan suyun daha fazla çıkmasına sebep olması ile açıklamışlardır.

Kang ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, sığır etine 20 kHz frekansta, 150 ve 300 W güçlerde, 30 ve 120 dakika sürelerde NaCl ile salamura işleminde ultrases uygulamasının su tutma kapasitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, sığır etinin salamura edilmesi işleminde farklı güç (150 ve 300 W) ve sürelerde (30 ve 120 dakika) uygulanan ultrases uygulamalarında ultrases güç ve süresinin artmasıyla birlikte su tutma kapasitesinin arttığını bildirmişlerdir. Çalışmada, ultrases destekli tuzlamanın geleneksel tuzlamaya göre su tutma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir ($p<0,05$).

Qian ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, donmuş tavuk göğüs etini çözündürülmesi işleminde, farklı çözündürme yöntemleri ve ultrases ile birleştirilmiş çözündürme yöntemlerinin su tutma kapasitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada dondurulmuş tavuk göğüs örnekleri, hava çözünme (AT), deiyonize su çözünme (DT), plazma aktive su çözünme (PT), ultrases (güç: 100 W) ile birleştirilmiş deiyonize su çözünme (UDT), plazma aktive edilmiş su çözünme ile birleştirilmiş ultrases (UPT) uygulamaları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, donmuş tavuk göğsünün çözünme işlemi sırasında, hava çözünme ve plazma aktive edilmiş su

Çözünme işlemleri sonrası tavuk göğsünün su tutma kapasitesi arasında anlamlı farklılık bulunmamış ancak deiyonize su çözünme işleminden sonra tavuk göğsünün su tutma kapasitesi önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca ultrases ile birleştirilmiş deiyonize su çözünme ve plazma aktive edilmiş su çözünme işlemleri sonrası su tutma kapasitelerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.



5. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, kanatlı kesimhanesinde taze kanatlı eti üretim prosesinin son aşaması olan soğutma aşamasında *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizma kontaminasyonlarını engellemek amacıyla farklı genlik değerleri (%40 ve %80), farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonları (%0, %2 ve %5) ve değişen uygulama sürelerinde (1, 2, 3 ve 5 dk) ultrasonik ses dalgası teknolojisinin mikroorganizmaların inaktive edilmesi üzerinde etkisi araştırılmış ve uygun koşullar belirlenmiştir. Daha sonra ultrases teknolojisinin kanatlı soğutma aşamasına uygulanabilirliğinin incelenebilmesi için belirlenen uygun koşullar tavuk göğüs etlerine uygulanmış ve uygulamaların etlerin fiziksel ve kimyasal kalite parametrelerinde meydana getireceği değişiklikler izlenmesi amacıyla kalite analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen veriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

- ✓ Ultrases ön deneme verilerinden elde edilen sonuçlara göre, tavuk göğüs etlerine 20 kHz frekansta 750 W güçte çalışan ultrases cihazında; %40 ve %80 genlik değerlerinde, her genlik değeri için sırasıyla 1, 2, 3 ve 5 dakika sürelerde ultrases uygulanmasına karar verilmiştir. Ayrıca çift cidarlı beherin cidarları arasında dolaştırılacak olan soğuk akışkanın sirkülasyon sıcaklığı 4 °C, sodyum hipoklorit kimyasalının çözelti başlangıç sıcaklığı 8-10 °C aralığında ve soğutma hazneli beher içerisindeki sodyum hipoklorit yıkama suyunun miktarı 300 ml hacimde olacağı belirlenmiştir.
- ✓ Ultrases uygulamasının zamana bağımlı sıcaklık değişimi ve enerji hesaplama verilerine göre, %40 ve %80 genlik değerlerindeki sıcaklık değerlerinin genlik değerinin artmasıyla ve sodyum hipoklorit konsantrasyonunun yükselmesiyle birlikte artış gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca %40 ve %80 genlik değerlerinde kalorimetrik olarak hesaplanan ultrasonik güç sırasıyla 38,14 ve 96,45 W ve ultrasonik yoğunluk verileri sırasıyla 13,46 ve 34,03 W/cm² olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda genlik değerinin artmasıyla birlikte farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarındaki (%0, %2 ve %5 NaClO)

sıcaklık değerlerinde yükselme, ultrasonik güç ve yoğunluk verilerinde artış meydana geldiği gözlenmiştir.

- ✓ Ultrases uygulaması ön deneme sonuçlarına göre; *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmaları %40 ve %80 genlik değerleri açısından farklı uygulama süreleri (0, 1, 2, 3 ve 5 dk) ve farklı sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında (%0, %2 ve %5 NaCIO) ultrases işlemi gerçekleştirilmesinin ardından %40 genlik değerinde ultrases uygulamasının en az 1 log kob/g mikroorganizma inaktivasyonu sağlayamadığı için yetersiz kabul edilmiş ve analizlere %80 genlik değeriyle devam edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs etine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının yaklaşık 1 log kob/g inaktivasyon sağlayan parametreler uygun koşul olarak seçilmiştir. Ultrases uygulamaları sonucu elde edilen verilere göre, uygun ultrases parametreleri; 20 kHz frekans, 750 W güçte çalışan ultrases cihazında, %0 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 5 dk, %2 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 3 dk ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 1 dk olarak belirlenmiştir.
- ✓ %80 genlik değerindeki uygun koşullardaki elde edilen inaktivasyon verilerine göre, *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmaları için inaktivasyon verileri sırasıyla; %0 NaCIO içeren yıkama suyunda 5 dk sürede 0,17 ve 0,54 log kob/g, %2 NaCIO konsantrasyonda 3 dk sürede yapılan uygulama sonucunda sırasıyla; 1,32 ve 1,44 log kob/g ve %5 NaCIO konsantrasyonda 1 dk yıkama süresinde yapılan uygulama sonucunda; 1,01 ve 1,21 log kob/g azalma tespit edilmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs etleri üzerine farklı uygulama sürelerinde (1, 2, 3 ve 5 dk) sadece ultrases uygulamasının *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonu üzerine tek başına yeterli etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- ✓ Ultrases işleminin sodyum hipoklorit içeren yıkama suyunda uygulanmasının tavuk göğüs etlerinde *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonunda sinerjistik etki oluşturduğu ve söz konusu bakterilerin inaktivasyon değerinin bu işlemlerin tek tek uygulandığı koşullara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
- ✓ Farklı uygulama koşullarındaki mikroorganizma inaktivasyon verileri karşılaştırıldığında, hem sadece sodyum hipoklorit içeren sular ile yıkamaya

karşı hem de sodyum hipoklorit ve ultrases işleminin birlikte uygulanmasına karşı *S. Typhimurium* bakterisinin *E. coli*'ye oranla daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

- ✓ Genel olarak *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmaları için yıkama suyunun sodyum hipoklorit konsantrasyonunun ve ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte inaktivasyon değerlerinin arttığı gözlenmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs etlerine uygun koşullarda uygulanan ultrases işleminin renk değerlerine etkisi değerlendirildiğinde; L^* ve a^* değerleri açısından kontrol (ultrasessiz) örneği ile karşılaştırıldığında istatistiki açıdan önemli fark tespit edilmemiştir. Ancak, b^* değeri açısından ultrases ve farklı oranlarda sodyum hipoklorit içeren yıkama sularında azalma göstererek bu azalma istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Kontrol (ultrasessiz), %2 ve %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonlarında ultrases uygulaması sonrası b^* değerleri pozitif aralıkta olup sarı renk değerini korumuş ancak %0 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 5 dakika ultrases uygulaması sonunda tavuk göğüs etinin renginin mavi tonuna döndüğü (açıldığı) gözlenmiştir. Ayrıca, tüm uygun koşullardaki ultrases işleminin toplam renk değişimini (ΔE) önemli ölçüde etkilediği ve uygulama süresinin artmasıyla birlikte kontrol (ultrasessiz) örneğine kıyasla tavuk göğüs etinde daha fazla renk değişimi meydana geldiği gözlenmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs eti etlerine uygun koşullardaki ultrases işleminin tavuk göğüs etlerinin pH değerlerinde değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs etlerine uygun koşullardaki ultrases işleminin % nem içeriğine etkisi değerlendirildiğinde; ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte tavuk göğüs etlerinin % nem miktarının arttırdığı gözlenmiştir. Bu artışın; kontrol grubuna kıyasla %0 NaClO-5 dk ve %2 NaClO-3 dk ultrases uygulanan grupta istatistiksel açıdan daha yüksek olduğu ancak %5 NaClO-1 dk ultrases uygulamasının kontrol (ultrasessiz) tavuk göğüs örneği ile benzer % nem değerleri gösterdiği tespit edilmiştir.
- ✓ Ultrases uygulamasının tavuk göğüs etlerinin tekstür profil analiz parametreleri üzerine etkisi incelendiğinde; sertlik, yapışkanlık, esneklik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özellikler açısından istatistiksel olarak önemli ve olumsuz bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

- ✓ Ultrases uygulamalarının tavuk göğüs etlerinin TBARS ve su bağlama kapasitesi değerlerine istatistiksel açıdan önemli ve olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Kanatlı eti ve ürünlerini işleme tesislerinde, süreç ve ürün hijyeninin kontrol edilmesi hem halk sağlığı açısından hem de ticari açıdan oldukça büyük bir öneme sahiptir. Kanatlı üretim tesislerinde her ne kadar iyi üretim standartları uygulanıyor olsa da karkasların üretim süreci boyunca mikroorganizmalar ile kontamine olmasını önlemek oldukça zordur. Özellikle *S. Typhimurium* ve *E. coli* gibi bakteriler, kanatlı eti ile ilgili olarak büyük bir endişe kaynağıdır. *S. Typhimurium* ve *E. coli* bakterileri, insanlarda kanatlı eti kaynaklı zehirlenmelerin en önemli sebeplerindendir ve kanatlı sektöründe genellikle potansiyel bir risk faktörü olarak kabul edilmektedirler. Bu bağlamda son zamanlarda, kanatlı endüstrisinde kontaminasyonun önlenmesi sağlanması amacıyla yenilikçi, çevre dostu, ısıl olmayan antimikrobiyal yöntemler ile kimyasal dekontaminasyon yöntemlerinin sinerjistik etkisi oldukça ilgi görmeye başlamıştır. Bundan dolayı tez çalışması kapsamında, kanatlı kanatlı eti üretim sürecinin son aşaması olan soğutma aşamasında, *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının kontaminasyonunu önlemek amacıyla laboratuvar ortamı koşullarında ultrasonik ses dalgası teknolojisinin ve sodyum hipoklorit kimyasal dekontaminasyonunun birlikte uygulanabilirliği ve bu uygulamaların tavuk göğüs etlerinin fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerine etkileri analiz edilmiştir.

Özetle; tavuk göğüs etinin *S. Typhimurium* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonunda uygun koşullarda; 20 kHz frekans 750 W güçte çalışan ultrases cihazında %80 genlik değerinde, %0 sodyum hipoklorit konsantrasyonunda 5 dakika süreyle ultrases uygulamasının *S. Typhimurium* (0,17 log kob/g azalma) ve *E. coli* (0,54 log kob/g azalma) için hedeflenen yaklaşık 1 log kob/g inaktivasyon elde edilememiştir. Bu koşulda ultrases uygulama süresinin 5 dakikanın üstüne çıkartılması tavuk göğüs etinin tekstürel yapısında bozulma ve parçalanmalar meydana getirmesi sebebiyle uygulama süresi 5 dakika ile sınırlı tutulmuştur.

Sodyum hipoklorit içermeyen soğutma suyunda ultrases uygulamasının tek başına etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca mikrobiyal inaktivasyon açısından diğer sodyum hipoklorit konsantrasyonları değerlendirildiğinde %2 NaClO ve %5 NaClO konsantrasyonlarında sırasıyla 3 dakika ve 1 dakika ultrases uygulamasının *S. Typhimurium* ve *E. coli* için hedeflenen 1 log kob/g'ın üzerinde inaktivasyon elde

edilmiş ve bu parametreler uygun koşul olarak belirlenmiştir. Belirtilen uygun koşullar kontrol (ultrasessiz) tavuk göğüs etleri ile karşılaştırıldığında ultrases uygulaması sonrası tavuk göğüslerin karakteristik sarı renk değerlerinde bir miktar açılma (beyazımsı maviye dönme) gözlenmiştir. Tavuk göğüslerin renk değerinde meydana gelen açılma ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Ayrıca tavuk göğüs etlerinin renk L^* ve a^* değerleri, tekstürel özellikleri (sertlik, yapışkanlık, esneklik ve çiğnenebilirlik), pH değerleri, TBARS miktarları ve su bağlama kapasitesi değerlerine ultrases uygulamasının herhangi bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Belirlenen uygun koşullarda ultrases uygulamasının tavuk göğüs eti örneklerinin fiziksel ve kimyasal kalite parametreleri üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; tavuk etlerine uygulanan %2 NaClO konsantrasyonu içeren yıkama-soğutma suyunda 3 dk ve %5 NaClO konsantrasyonu içeren yıkama-soğutma suyunda 1 dk süreyle uygulanan ultrases işleminin; kanatlı etlerinde hijyenin sağlanmasında ve *S. Typhimurium* ve *E. coli* inaktivasyonunda oldukça etkili bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kanatlı üretim tesislerinin soğutma aşamasında ultrases teknolojisinin kullanılması sodyum hipoklorit konsantrasyonunun düşürülmesini sağlayarak hem mikrobiyal kontaminasyonu etkili bir şekilde kontrol etmekte hem de çevresel ve sağlık açısından daha güvenli bir çözüm sunmaktadır. Bundan dolayı çalışmada, %2 NaClO konsantrasyonunda 3 dakika ultrases uygulaması, kanatlı üretim tesislerinin soğutma aşamasında *S. Tyhimurium* ve *E. coli* kontaminasyonlarını etkili bir şekilde önleyerek çevre dostu bir gıda güvenliği sağlamak için önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdalthai, M. H., Bashari, M., Lagnika, C., He, Q., & Sun, X. (2014). Effect of ultrasound treatment prior to vacuum and modified atmosphere packaging on microbial and physical characteristics of fresh beef. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(6), 312-320.
- Adewuyi, Y. G. (2001). Sonochemistry: environmental science and engineering applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(22), 4681-4715.
- Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A. (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55, 369-382.
- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat science*, 107, 86-93.
- Alenyorege, E. A., Ma, H., Ayim, I., Aheto, J. H., Hong, C., & Zhou, C. (2019). Reduction of *Listeria innocua* in fresh-cut Chinese cabbage by a combined washing treatment of sweeping frequency ultrasound and sodium hypochlorite. *Lwt*, 101, 410-418.
- Al-Hilphy, A. R., Al-Temimi, A. B., Al Rubaiy, H. H. M., Anand, U., Delgado-Pando, G., & Lakhssassi, N. (2020). Ultrasound applications in poultry meat processing: A systematic review. *Journal of food science*, 85(5), 1386-1396.
- Alonso-Hernando, A., Alonso-Calleja, C., & Capita, R. (2013). Effectiveness of several chemical decontamination treatments against Gram-negative bacteria on poultry during storage under different simulated cold chain disruptions. *Food Control*, 34(2), 574-580.
- Altun, S. K., & ATASEVER, M. (2018). Erzurum’da tüketime sunulan tavuk etlerinin bazı patojen bakteriler yönünden incelenmesi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 8(1), 36-50.
- Alves, L.D.L., da Silva, M. S., Flores, D. R. M., Athayde, D. R., Ruviaro, A. R., da Silva Brum, D., ... & Cichoski, A. J. (2018). Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami. *Food Research International*, 106, 363-373.
- Anang, D. M., Rusul, G., Bakar, J., & Ling, F. H. (2007). Effects of lactic acid and lauricidin on the survival of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157: H7 in chicken breast stored at 4 °C. *Food Control*, 18(8), 961-969.
- Anonim. 2011b. Halkman, K. ve Sağdaş, Ö.E. 2011. Mikrobiyoloji el kitabı (Hızlı Erişim). Merck, Ankara.
- Anonymous, 2011, http://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/inspection_tools_instruments/color_appearance_instruments bak

- AOAC, Official methods of analyses, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, (2000).
- Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., & Condón, S. (2011). Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods. *International Journal of Food Microbiology*, 144(3), 446-454.
- Arslan A. (2001). Kanatlılarda ve Domuzda Et Muayenesi. Fırat Üniversitesi Veteriner Fakültesi Ders Notu. Elazığ. Türkiye.
- Arslan A. (2002). Et Muayenesi ve Et Ürünleri Teknolojisi. Medipres Matbaacılık. Malatya.
- Ashokkumar, M., & Mason, T. J. (2007). Sonochemistry Kirk-Othmer Encycl. *Chem. Technol*, 353-372.
- Atterbury, R. J., Connerton, P. L., Dodd, C. E., Rees, C. E., & Connerton, I. F. (2003). Application of host-specific bacteriophages to the surface of chicken skin leads to a reduction in recovery of *Campylobacter jejuni*. *Applied and environmental microbiology*, 69(10), 6302-6306.
- Awada, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M. M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. *Food Research International*, 48(2), 410-427.
- Ayhan, B., & Bilici, S. (2015). Toplu beslenme sistemlerinde kullanılan gıda dezenfektanları. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneyisel Biyoloji*, 72(4).
- Bao, G., Niu, J., Li, S., Zhang, L., & Luo, Y. (2022). Effects of ultrasound pretreatment on the quality, nutrients and volatile compounds of dry-cured yak meat. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105864.
- Barbut S, (2015). The Science of Poultry and Meat Processing. Guelph, Ontario, Canada: Library and Archives Canada Cataloguing in Publication.
- Barker D, (2004). Primary processing of poultry. In: Poultry Meat Processing and Quality. Eds: Mead GC, 1st ed. Cambridge, England, Boca Raton, USA, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, p. 94–95.
- Barretto, T. L., Sanches, M. A. R., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Telis-Romero, J., & da Silva Barretto, A. C. (2022). Recent advances in the application of ultrasound to meat and meat products: Physicochemical and sensory aspects. *Food Reviews International*, 1-16.
- Basançelebi, O. (2017). Sebzelerin pestisit güvenliğinin sağlanmasında ultrases ve düşük şiddet elektrik akımının birlikte kullanılma olanaklarının belirlenmesi.
- Başlar, M. (2011). Ultrases, fotosonikasyon ve vurgulu elektriksel alan işlemlerinin elma suyunun bazı kalite özelliklerine etkisi. Atatürk Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum*.
- Beauclercq, S., Grasteau, S., Petit, A., Berger, Q., Lefèvre, A., Coustard, S., Tesseraud, S., Emond, P., Berri, C., & Duval, E. (2022). A Divergent Selection on Breast Meat Ultimate pH, a Key Factor for Chicken Meat Quality, is Associated with Different Circulating Lipid Profiles. *Frontiers in Physiology*, 13, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.935868>

- Bermúdez-Aguirre, D., Mobbs, T., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2011). Ultrasound applications in food processing. *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, 65-105.
- Betts, G. D., Williams, A., & Oakley, R. M. (2014). Ultrasonic standing waves: Inactivation of foodborne microorganisms using power ultrasound.
- Beyaz Et Sanayicileri ve Damızlıkçıları Birliği Derneği (BESD-BİR). (2023, 25, Nisan). İstatistikler. <https://besd-bir.org/tr/statistikler>
- Bilek, S. E., & Turantaş, F. (2013). Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. *International journal of food microbiology*, 166(1), 155-162.
- Boistier-Marquis, E., Lagsir-Oulahal, N., & Callard, M. (1999). Applications des ultrasons de puissance en industries alimentaires. *Industries alimentaires et agricoles*, 116(3), 23-31.
- Bolder, N. M. (1997). Decontamination of meat and poultry carcasses. *Trends in food science & technology*, 8(7), 221-227.
- Bozkurt, B. (2018). *Çiğ ve yarı-pişmiş bazı et ürünlerinde Salmonella spp. ve Staphylococcus Aureus' un belirlenmesi ve antibiyotik dirençliliklerinin araştırılması* (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Byrd, J. A., & McKee, S. R. (2005). Improving slaughter and processing technologies. Food safety control in the poultry industry, 310-332.
- Canan, B., & Turhan, S. (2006, September). The evaluation of the Turkish kanatlı industry: the degree of market power. In *XII European Poultry Conference, Verona, Italy* (pp. 10-14).
- Cao, C., Xiao, Z., Tong, H., Tao, X., Gu, D., Wu, Y., ... & Ge, C. (2021). Effect of ultrasound-assisted enzyme treatment on the quality of chicken breast meat. *Food and Bioprocesses*, 125, 193-203.
- Cárcel, J. A., Benedito, J., Bon, J., & Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, 76(4), 611-619.
- Cardenas, F. C., & Olivera, D. F. (2016). Texture Changes in Meat During Storage. *Ref. Modul. Food Sci*, 1-5.
- Carvalho, R., Shimokomaki, M., & Estévez, M. (2017). Poultry meat color and oxidation. In *Poultry quality evaluation* (pp. 133-157). Woodhead Publishing.
- Chandrapala, J., Zisu, B., Palmer, M., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). Effects of ultrasound on the thermal and structural characteristics of proteins in reconstituted whey protein concentrate. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(5), 951-957.
- Chemat, F., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Cichoski, A. J., Flores, D. R. M., De Menezes, C. R., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., Wagner, R., ... & Campagnol, P. C. B. (2019). Ultrasound and slightly acid electrolyzed water application: An efficient combination to reduce the bacterial counts of chicken breast during pre-chilling. *International journal of food microbiology*, 301, 27-33.

- Cichoski, A. J., Rampelotto, C., Silva, M. S., de Moura, H. C., Terra, N. N., Wagner, R., ... & Barin, J. S. (2015). Ultrasound-assisted post-packaging pasteurization of sausages. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30, 132-137.
- Croxen, M. A., & Finlay, B. B. (2010). Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nature Reviews Microbiology*, 8(1), 26-38.
- Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., Keeney, K. M., Wlodarska, M., & Finlay, B. B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, 26(4), 822-880.
- Çelik TH, Özdemir H, (2010). Kanatlı Eti Muayenesi, Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Gıda Hijyeni ve Teknolojisi AD, Ankara.
- Çevik Telekoğlu, M. (2019). Piyasada Satılan Etlerde *Salmonella* Spp. ve *E. coli* O157:H7 Varlığının Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çınar, S., & Dikici, A. (2022). Kimyasal Dekontaminasyon Yöntemlerinin Kanatlı Etinin Raf Ömrü Üzerine Etkisi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1), 34-44.
- De Castro, M. D. L., & Capote, F. P. (2006). Introduction: fundamentals of ultrasound and basis of its analytical uses: In: *Analytical Applications of Ultrasound*.
- del Río, E., Panizo-Morán, M., Prieto, M., Alonso-Calleja, C., & Capita, R. (2007). Effect of various chemical decontamination treatments on natural microflora and sensory characteristics of poultry. *International journal of food microbiology*, 115(3), 268-280.
- Demirdöven, A., & Baysal, T. (2008). The use of ultrasound and combined technologies in food preservation. *Food Reviews International*, 25(1), 1-11.
- Demirkaya, A. K. (2014). Bilecik ilinde tüketime sunulan kıyma ve tavuk etlerinde lipid oksidasyonu. *Akademik Gıda*, 12(3), 26-29.
- Demirok, E., Veluz, G., Stuyvenberg, W. V., Castaneda, M. P., Byrd, A., & Alvarado, C. Z. (2013). Quality and safety of kanatlı meat in various chilling systems. *Poultry Science*, 92(4), 1117-1126.
- Demirok, H. 2019. Defne yağı eldesinde destilasyon işlemi öncesi ultrases destekli enzim uygulamasının işlem süresi, proses verimi ve uçucu yağ bileşimine etkisi. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dickens, J. A., Lyon, C. E., & Wilson, R. L. (1991). Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of kanatlı breast muscle and cooked meat. *Poultry Science*, 70(2), 389-396.
- Dinçer, A. H., & Baysal, T. (2004). Decontamination techniques of pathogen bacteria in meat and poultry. *Critical reviews in microbiology*, 30(3), 197-204.
- Dolatowski, Z. J., Stadnik, J., & Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 6(3), 88-99.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.

- Drakopoulou, S., Terzakis, S., Fountoulakis, M. S., Mantzavinos, D., & Manios, T. (2009). Ultrasound-induced inactivation of gram-negative and gram-positive bacteria in secondary treated municipal wastewater. *Ultrasonics sonochemistry*, 16(5), 629-634.
- Ercan, S. S., & Soysal, C. (2013). Use of ultrasound in food preservation.
- Erkmen, O. (2010). GID A MİKROBİYOLOJİSİ. *Elif Yayınevi, Ankara*.
- Erol İ. (2007). *Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi*. Ankara, Pozitif Matbaacılık. 2007: 40-250.
- Ertunç, E. (2017). İzmir, Manisa ve Uşak illerindeki kanatlılardan elde edilen salmonella izolatlarında virülans faktörlerinin, antimikrobiyal ve dezenfektan duyarlılıklarının ve klonal yakınlığın araştırılması.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2009). The community summary report on trends and sources of zoonoses and zoonotic agents in the European Union in 2007. *EFSA Journal*, 7(1), 223r.
- Fabrizio, K. A., Sharma, R. R., Demirci, A., & Cutter, C. N. (2002). Comparison of electrolyzed oxidizing water with various antimicrobial interventions to reduce Salmonella species on poultry. *Poultry science*, 81(10), 1598-1605.
- Fletcher, D. L. (2002). Poultry meat quality. *World's Poultry Science Journal*, 58(2), 131-145.
- Flores, D. R. M., Brasil, C. C. B., Campagnol, P. C. B., Jacob-Lopes, E., Zepka, L. Q., Wagner, R., ... & Cichoski, A. J. (2018). Application of ultrasound in chicken breast during chilling by immersion promotes a fast and uniform cooling. *Food Research International*, 109, 59-64.
- Francisco, C. A. I., Araújo Naves, E. A., Ferreira, D. C., Rosário, D. K. A. D., Cunha, M. F., & Bernardes, P. C. (2018). Synergistic effect of sodium hypochlorite and ultrasound bath in the decontamination of fresh arugulas. *Journal of Food Safety*, 38(1), e12391.
- Fukuzaki, S. (2006). Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol science*, 11(4), 147-157.
- Gomes, I. B., Simões, M., & Simões, L. C. (2016). The effects of sodium hypochlorite against selected drinking water-isolated bacteria in planktonic and sessile states. *Science of the Total Environment*, 565, 40-48.
- Gómez-Salazar, J. A., Ochoa-Montes, D. A., Cerón-García, A., Ozuna, C., & Sosa-Morales, M. E. (2018). Effect of acid marination assisted by power ultrasound on the quality of rabbit meat. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-6.
- Guerrero-Legarreta, I., & Hui, Y. H. (2010). Processed poultry products: a primer. *Handbook of Poultry Science and Technology, Secondary Processing*, 2(1).
- Guo, L., Sun, Y., Zhu, Y., Wang, B., Xu, L., Huang, M., ... & Sun, J. (2020). The antibacterial mechanism of ultrasound in combination with sodium hypochlorite in the control of Escherichia coli. *Food Research International*, 129, 108887.
- Gücüköğlu A, (2020). Kanatlı Kesimi ve Kanatlı Eti Muayenesi . Erişim tarihi 26.07.2023. Erişim adresi:

- Güleç, H. A., Üniv, Y. Y., & Van Bölümü, G. M. (2006). Modern gıda muhafazasında vurgulu elektrik alan ve ultrason uygulamaları. *Türkiye*, 9, 24-26.
- Halkman AK (2005). Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları. 1.Basım Merck. 358s. Ankara.
- Halkman AK, Sağdaş ÖE (2010). Mikrobiyoloji El Kitabı 1. Basım. Merck Millipore. 234s. Ankara.
- Hamm, R. (1961). Biochemistry of meat hydration. In *Advances in food research* (Vol. 10, pp. 355-463). Academic Press.
- Haughton, P. N., Lyng, J. G., Morgan, D. J., Cronin, D. A., Noci, F., Fanning, S., & Whyte, P. (2012). An evaluation of the potential of high-intensity ultrasound for improving the microbial safety of poultry. *Food and bioprocess technology*, 5(3), 992-998.
- Heinz, V., Álvarez, I., Angersbach, A., & Knorr, D. (2001). Preservation of liquid foods by high intensity pulsed electric fields—basic concepts for process design. *Trends in food science & technology*, 12(3-4), 103-111.
- Hinton, M. H., & Corry, J. E. L. (1999). The decontamination of carcass meat. *Poultry meat science*, 25, 285-295.
- ACS Chemistry for Life. (2023, 27 Mayıs). Sodyum Hipoklorit. <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/s/sodium-hypochlorite.html>
- Huang, G., Chen, S., Dai, C., Sun, L., Sun, W., Tang, Y., ... & Ma, H. (2017). Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37, 144-149.
- Hugas, M., & Tsigarida, E. (2008). Pros and cons of carcass decontamination: the role of the European Food Safety Authority. *Meat Science*, 78(1-2), 43-52.
- Hwang, C. A., Porto-Fett, A. C., Juneja, V. K., Ingham, S. C., Ingham, B. H., & Luchansky, J. B. (2009). Modeling the survival of Escherichia coli O157: H7, Listeria monocytogenes, and Salmonella Typhimurium during fermentation, drying, and storage of soudjouk-style fermented sausage. *International Journal of Food Microbiology*, 129(3), 244-252.
- Inguglia, E. S., Zhang, Z., Burgess, C., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2018). Influence of extrinsic operational parameters on salt diffusion during ultrasound assisted meat curing. *Ultrasonics*, 83, 164-170.
- İnal, T. (1992). *Besin hijyeni: Hayvansal gıdaların sağlık kontrolü*. Final Ofset.
- İşeri, Ö., & İrfan, E. R. O. L. (2009). Hindi etinden kaynaklanan başlıca bakteriyel infeksiyon ve intoksikasyonlar. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 56(1), 47-54.
- James, C., Vincent, C., de Andrade Lima, T. I., & James, S. J. (2006). The primary chilling of poultry carcasses—a review. *International Journal of Refrigeration*, 29(6), 847-862.
- Jeong, J. Y., Janardhanan, K. K., Booren, A. M., Karcher, D. M., & Kang, I. (2011). Moisture content, processing yield, and surface color of kanatlı carcasses chilled by water, air, or evaporative air. *Poultry science*, 90(3), 687-693.

- Joyce, E., Al-Hashimi, A., & Mason, T. J. (2011). Assessing the effect of different ultrasonic frequencies on bacterial viability using flow cytometry. *Journal of applied microbiology*, 110(4), 862-870.
- Juneja, V. K., Melendres, M. V., Huang, L., Gumudavelli, V., Subbiah, J., & Thippareddi, H. (2007). Modeling the effect of temperature on growth of Salmonella in chicken. *Food microbiology*, 24(4), 328-335.
- Juneja, V. K., Melendres, M. V., Huang, L., Subbiah, J., & Thippareddi, H. (2009). Mathematical modeling of growth of Salmonella in raw ground beef under isothermal conditions from 10 to 45 C. *International journal of food microbiology*, 131(2-3), 106-111.
- Kaçamakli, Z., & Akşit, M. (2014). Etlik Piliçlerde Kesim Sırasında Uygulanan Soğutma Yöntemlerinin Etin Bazı Kalite Özellikleri ve Raf Ömrü Üzerine Etkisi. *Hayvansal Üretim*, 55(1), 14-18.
- Kang, D. C., Gao, X. Q., Ge, Q. F., Zhou, G. H., & Zhang, W. G. (2017). Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 317-325.
- Kang, D. C., Zou, Y. H., Cheng, Y. P., Xing, L. J., Zhou, G. H., & Zhang, W. G. (2016). Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 33, 47-53.
- Kantaş, Y. (2007). Effect of ultrasound on drying rate of selected produce.
- Karakaya, M., Saricoban, C., & Yilmaz, M. T. (2005). The effect of various types of poultry pre-and post-rigor meats on emulsification capacity, water-holding capacity and cooking loss. *European Food Research and Technology*, 220, 283-286.
- Kentish, S. & Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. In: Feng H, Barbosa-cánovas gv & Weiss J (Eds) *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*. 1 edn. (pp 1-13). New York: CRC Press.
- Kim, H. W., Kim, J. H., Seo, J. K., Setyabrata, D., & Kim, Y. H. B. (2018). Effects of aging/freezing sequence and freezing rate on meat quality and oxidative stability of pork loins. *Meat science*, 139, 162-170.
- Kordowska-Wiater, M., & Stasiak, D. M. (2011). Effect of ultrasound on survival of gram-negative bacteria on chicken skin surface. *Bull Vet Inst Pulawy*, 55, 207-210.
- Koutsoumanis, K. P., Ashton, L. V., Geornaras, I., Belk, K. E., Scanga, J. A., Kendall, P. A., ... & Sofos, J. N. (2004). Effect of single or sequential hot water and lactic acid decontamination treatments on the survival and growth of *Listeria monocytogenes* and spoilage microflora during aerobic storage of fresh beef at 4, 10, and 25 C. *Journal of Food Protection*, 67(12), 2703-2711.
- Koutsoumanis, K. P., Geornaras, I., & Sofos, J. N. (2006). Microbiology of land animals. *Handbook of food science, technology and engineering*, 1, 52-1.
- Kudryashov, L. S., & Kudryashova, O. A. (2023). Water-holding and water-holding capacity of meat and methods of its determination. *Теория и практика переработки мяса*, 8(1), 62-70.

- Kuijpers, M. W. A., Kemmere, M. F., & Keurentjes, J. T. F. (2002). Calorimetric study of the energy efficiency for ultrasound-induced radical formation. *Ultrasonics*, 40(1-8), 675-678.
- Kurt, Ç. (2013). *Yüksek Güçlü Ultrases İşleminin Fermente Süt İçeceğinin Fiziksel Özelliklerine Etkisi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Labas, M. D., Zalazar, C. S., Brandi, R. J., & Cassano, A. E. (2008). Reaction kinetics of bacteria disinfection employing hydrogen peroxide. *Biochemical Engineering Journal*, 38(1), 78-87.
- Leadley, C. E., & Williams, A. (2006). Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. *Food processing handbook*, 201.
- Leal-Ramos, M. Y., Alarcon-Royo, A. D., Mason, T. J., Paniwnyk, L., & Alarjah, M. (2011). Ultrasound-enhanced mass transfer in Halal compared with non-Halal chicken. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 130-133.
- Lee, N. Y., Park, S. Y., Kang, I. S., & Ha, S. D. (2014). The evaluation of combined chemical and physical treatments on the reduction of resident microorganisms and *Salmonella* Typhimurium attached to chicken skin. *Poultry Science*, 93(1), 208-215.
- Li, H., Feng, J., Shi, S., Wang, X., & Xia, X. (2022). Evaluation of effects of ultrasound-assisted saucing on the quality of chicken gizzards. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 106038.
- Li, K., Kang, Z. L., Zhao, Y. Y., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2014). Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE-like chicken breast meat. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 3466-3477.
- Li, K., Kang, Z. L., Zou, Y. F., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2015). Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced-salt chicken breast meat batter. *Journal of food science and technology*, 52(5), 2622-2633.
- Li, Y., KIM, J. W., SLAVIK, M. F., GRIFFIS, C. L., WALKER, J. T., & WANG, H. (1994). *Salmonella typhimurium* attached to chicken skin reduced using electrical stimulation and inorganic salts. *Journal of food science*, 59(1), 23-25.
- Lillard, H. S. (1993). Bactericidal effect of chlorine on attached *Salmonellae* with and without sonification. *Journal of Food Protection*, 56(8), 716-717.
- Lorenzetti, E., Puton, B. M. S., Fernandes, I. A., do Prado, N. V., Frigotto, R., Roman, S. S., ... & Valduga, E. (2018). Water absorption and dripping of chicken breast and carcasses during pre-cooling in an industrial system. *Poultry science*, 97(12), 4462-4469.
- Loretz M, Stephan R, Zweifel C (2010). Antimicrobial activity of decontamination treatments for poultry carcasses: a literature survey. *Food Control.*, 21(6), 791-804
- Madhu, B., Srinivas, M. S., Srinivas, G., & Jain, S. K. (2019). Ultrasonic technology and its applications in quality control, processing and preservation of food: A review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 32(5), 1-11.

- Mañas, P., Pagán, R., Raso, J., Sala, F. J., & Condón, S. (2000). Inactivation of Salmonella Enteritidis, Salmonella Typhimurium, and Salmonella Senftenberg by ultrasonic waves under pressure. *Journal of food protection*, 63(4), 451-456.
- Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing—the way forward. *Ultrasound in food processing*, 105-126.
- Mason, T. J., Riera, E., Vercet, A., & Lopez-Buesa, P. (2005). Application of ultrasound. In D.W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing* (pp. 323-351). London: Academic Press.
- Matthews, K. R., Kniel, K. E., & Montville, T. J. (2017). *Food microbiology: an introduction*. John Wiley & Sons.
- McCann, M. S., Sheridan, J. J., McDowell, D. A., & Blair, I. S. (2006). Effects of steam pasteurisation on Salmonella Typhimurium DT104 and Escherichia coli O157: H7 surface inoculated onto beef, pork and chicken. *Journal of Food Engineering*, 76(1), 32-40.
- McDonnell, C. K., Lyng, J. G., & Allen, P. (2014). The use of power ultrasound for accelerating the curing of pork. *Meat science*, 98(2), 142-149.
- Mead, G. C. (2004). Shelf-life and spoilage of poultry meat. *Poultry meat processing and quality*, 283-303.
- Meireles, A., Machado, I., Fulgêncio, R., Mergulhão, F., Melo, L., & Simões, M. (2015). Efficacy of antimicrobial combinations to reduce the use of sodium hypochlorite in the control of planktonic and sessile Escherichia coli. *Biochemical Engineering Journal*, 104, 115-122.
- Metin, M., & Öztürk, F. (1995). Süt işletmelerinde sanitasyon. *Ege Üniv. Meslek Yüksek Okulu Yayınları*, 17, 79-110.
- Mielnik, M. B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D., & Skrede, G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat. *LWT-Food science and technology*, 39(3), 191-198.
- Morild, R. K., Christiansen, P., Sørensen, A. H., Nonboe, U., & Aabo, S. (2011). Inactivation of pathogens on pork by steam-ultrasound treatment. *Journal of Food Protection*, 74(5), 769-775.
- Moussatov, A., Granger, C., Dubus, B. (2005). Ultrasonic cavitation in thin liquid layers. *Ultrason Sonochem* 12(6), 415-422, doi:10.1016/j.ultsonch.2004.09.001
- Mulet, A., Cárcel, J. A., Sanjuan, N., & Bon, J. (2003). New food drying technologies-Use of ultrasound. *Food Science and Technology International*, 9(3), 215-221.
- Munekata, P. E., Pateiro, M., Rodríguez-Lázaro, D., Domínguez, R., Zhong, J., & Lorenzo, J. M. (2020). The role of essential oils against pathogenic Escherichia coli in food products. *Microorganisms*, 8(6), 924.
- Musavian, H. S., Krebs, N. H., Nonboe, U., Corry, J. E., & Purnell, G. (2014). Combined steam and ultrasound treatment of kanatlıs at slaughter: A promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses. *International Journal of Food Microbiology*, 176, 23-28.

- Nkosi, D. V., Bekker, J. L., & Hoffman, L. C. (2021). The use of organic acids (Lactic and acetic) as a microbial decontaminant during the slaughter of meat animal species: A review. *Foods*, 10(10), 2293.
- Northcutt J, Smith D, Ingram KD, Hinton A, Musgrove M. (2007). Recovery of bacteria from kanatlı carcasses after spray washing with acidified electrolyzed water or sodium hypochlorite solutions. *Poultry Science* 86: 2239–2244.
- Northcutt, J. K., Smith, D., Huezo, R. I., & Ingram, K. D. (2008). Microbiology of kanatlı carcasses and chemistry of chiller water as affected by water reuse. *Poultry Science*, 87(7), 1458-1463.
- Oğur, R., & Güler, Ç. (2004). 21. yüzyılda niçin klorlama. *TSK Koruyucu hekimlik bülteni*, 3(8), 186-195.
- Oh, S. R., Kang, I., Oh, M. H., & Ha, S. D. (2014). Inhibitory effect of chlorine and ultraviolet radiation on growth of *Listeria monocytogenes* in chicken breast and development of predictive growth models. *Poultry Science*, 93(1), 200-207.
- Omerovic, M., Müştak, H. K., & Kaya, İ. B. (2017). *Escherichia coli* Patotiplerinin Virülens Faktörleri. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 28(1), 1-6.
- Oruç, H. H., Cengiz, M., & Kalkanlı, Ö. (2005). Piliç etlerinde lipid oksidasyonu sonucu oluşan malonaldehit (MA) konsantrasyonları. *Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 24(1-2-3-4), 7-9.
- Ozuna, C., Puig, A., García-Pérez, J. V., Mulet, A., & Cárcel, J. A. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119(1), 84-93.
- Paniwnyk, L. (2017). Applications of ultrasound in processing of liquid foods: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 794-806.
- Park, S. Y., Song, H. H., & Ha, S. D. (2014). Synergistic Effects of NaOCl and Ultrasound Combination on the Reduction of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in Raw Laver. *Foodborne Pathogens and Disease*, 11(5), 373-378.
- Patsias, A., Badeka, A. V., Savvaidis, I. N., & Kontominas, M. G. (2008). Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *Food Microbiology*, 25(4), 575-581.
- Peña-Gonzalez, E., Alarcon-Rojo, A. D., Garcia-Galicia, I., Carrillo-Lopez, L., & Huerta-Jimenez, M. (2019). Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 53, 134-141.
- Perry, J. J., & Yousef, A. E. (2011). Decontamination of raw foods using ozone-based sanitization techniques. *Annual review of food science and technology*, 2, 281-298.
- Pietrzak, D., Michalczyk, M., Niemiec, J., Mroczek, J., Adamczak, L., & Lukasiewicz, M. (2013). Comparison of selected quality attributes of meat originating from fast-and slow growing chickens. *Zywnosc-Nauka Technologia Jakosc*, 20(2), 30-38.

- Piñon, M. I., Alarcon-Rojo, A. D., Renteria, A. L., & Carrillo-Lopez, L. M. (2020). Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound. *Ultrasonics*, 102, 105680.
- Pinon, M., Alarcon-Rojo, A., Paniwnyk, L., Mason, T., Luna, L., & Renteria, A. (2018). Ultrasound for improving the preservation of chicken meat. *Food Science and Technology*, 39, 129-135.
- Piñon, M., Paniwnyk, L., Alarcon-Rojo, A., Renteria, A., Nevarez, V., Janacua-Vidales, H., & Mason, T. (2012, July). Power ultrasound effect on poultry meat microbial flora. In *13th Meeting of the European Society of Sonochemistry* (pp. 1-5).
- Piyasena, P., Mohareb, E., & McKellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International journal of food microbiology*, 87(3), 207-216.
- Qian, J., Yan, L., Ying, K., Luo, J., Zhuang, H., Yan, W., ... & Zhao, Y. (2022). Plasma-activated water: A novel frozen meat thawing media for reducing microbial contamination on chicken and improving the characteristics of protein. *Food Chemistry*, 375, 131661.
- Rahman, M. M., Ninomiya, K., Ogino, C., & Shimizu, N. (2010). Ultrasound-induced membrane lipid peroxidation and cell damage of Escherichia coli in the presence of non-woven TiO₂ fabrics. *Ultrasonics sonochemistry*, 17(4), 738-743.
- Rastogi, N. K. (2011). Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(8), 705-722.
- Režek Jambrak, A., Herceg, Z., & Grbavac, J. (2014). Possibilities of applying high power ultrasound in meat industry. *MESO: The First Croatian Meat Journal*, 16(4), 356-361.
- Riesz, P., & Kondo, T. (1992). Free radical formation induced by ultrasound and its biological implications. *Free Radical Biology and Medicine*, 13(3), 247-270.
- Roberts, R. T. (1991). Sound for processing food. *Nutrition & Food Science*, 91(3), 17-18.
- Rossi, A. P., Kalschne, D. L., Byler, A. P. I., de Moraes Flores, E. L., Leite, O. D., Dos Santos, D., ... & Canan, C. (2021). Effect of ultrasound and chlorine dioxide on Salmonella Typhimurium and Escherichia coli inactivation in poultry chiller tank water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105815.
- Royintarat, T., Choi, E. H., Boonyawan, D., Seesuriyachan, P., & Wattanutchariya, W. (2020). Chemical-free and synergistic interaction of ultrasound combined with plasma-activated water (PAW) to enhance microbial inactivation in chicken meat and skin. *Scientific Reports*, 10(1), 1559.
- Sala, F. J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. *New methods of food preservation*, 176-204.
- Sams, A. R. (2000). First processing: slaughter through chilling. In *Poultry meat processing* (pp. 29-44). CRC Press.

- Santos, E. C. C. D., Castro, V. S., Cunha-Neto, A., Santos, L. F. D., Vallim, D. C., Lisboa, R. D. C., ... & Figueiredo, E. E. D. S. (2018). Escherichia coli O26 and O113: H21 on carcasses and beef from a slaughterhouse located in Mato Grosso, Brazil. *Foodborne Pathogens and Disease*, 15(10), 653-659.
- Santos, H. M., & Capelo, J. L. (2007). Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. *Talanta*, 73(5), 795-802.
- Santos, R., Silva, É. F., Dantas, E. J., Oliveira, E. D., Simões, T. B., Araújo, Í. R., ... & Almeida, L. C. (2020). Potential reuse of PET waste bottles as a green substrate/adsorbent for Reactive Black 5 dye removal. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-16.
- Sarjit, A., & Dykes, G. A. (2015). Trisodium phosphate and sodium hypochlorite are more effective as antimicrobials against Campylobacter and Salmonella on duck as compared to chicken meat. *International Journal of Food Microbiology*, 203, 63-69.
- Savell, J. W., Mueller, S. L., & Baird, B. E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat science*, 70(3), 449-459.
- Schreurs, F. J.G., 2000. Post mortem changes in chicken muscle. *World Poultry Science J*, 65:948-956
- Sefna V, Irshad A, Arun Sankar KJ, Lakshmi AT and Vasudevan VN, (2019). The use of chlorine dioxide solution as an effective decontaminant for kanathl chicken carcass. *Int J Livest Res*, 9(8): 268-279.
- Seo, M. K., Jeong, H. L., Han, S. H., Kang, I., & Ha, S. D. (2019). Impact of ethanol and ultrasound treatment on mesophilic aerobic bacteria, coliforms, and Salmonella Typhimurium on chicken skin. *Poultry science*, 98(12), 6954-6963.
- Shi, H., Zhang, X., Chen, X., Fang, R., Zou, Y., Wang, D., & Xu, W. (2020). How ultrasound combined with potassium alginate marination tenderizes old chicken breast meat: Possible mechanisms from tissue to protein. *Food Chemistry*, 328, 127144.
- Sırıken, B., & Haldun, T. Ü. R. K. (2013). Poultry meat and Salmonellosis. *Animal Health Production and Hygiene*, 2(1), 174-182.
- Sikes, A. L., Mawson, R., Stark, J., & Warner, R. (2014). Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(6), 2138-2143.
- Silva, F. B. Da., Arrais, B. R., Ferreira, M. R. A., Sobrinho, I. da S. J., Dias, M., & Moreira, C. N. (2020). Microbiological quality of seasoned chicken cuts using Escherichia coli and Salmonella spp. as quality indicators. *Research, Society and Development*, 9(11), e38091110013.
- Sinhamahapatra, M., & Biswas, S. (2021). Surface decontamination-a prerequisite for safe production of muscle food: A review. *Indian J Anim Health*, 60(2), 85-96.
- Sinhamahapatra, M., Biswas, S., Das, A. K., & Bhattacharyya, D. (2004). Comparative study of different surface decontaminants on chicken quality. *British Poultry Science*, 45(5), 624-630.

- Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofski, J. E., McKeith, F. K., & O'Brien, W. D. (1991, December). Tenderization of semitendinosus muscle using high intensity ultrasound. In *IEEE 1991 Ultrasonics Symposium*, (pp. 1371-1374). IEEE.
- Sofos, J. N., & Smith, G. C. (1998). Nonacid meat decontamination technologies: model studies and commercial applications. *International journal of food microbiology*, 44(3), 171-188.
- Sørensen, G., & Jørgensen, S. S. (1996). A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 202, 205-210.
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in food science & technology*, 21(7), 323-331.
- Stadnik, J., & Dolatowski, Z. J. (2011). Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus). *European Food Research and Technology*, 233, 553-559.
- Stanbridge, L. H., & Davies, A. R. (1998). The microbiology of chill-stored meat. *The microbiology of meat and poultry*, 1, 174-219.
- Stasiak, D. M., Dolatowski, Z. J., & Kordowska-Wiater, M. (2007). Total number of bacteria and Salmonella on the skin of kanatlı chicken carcasses after sonication. *Medycyna Weterynaryjna*, 63(10), 1230-1233.
- Stopforth, J. D., O'connor, R., Lopes, M., Kottapalli, B., Hill, W. E., & Samadpour, M. (2007). Validation of individual and multiple-sequential interventions for reduction of microbial populations during processing of poultry carcasses and parts. *Journal of food protection*, 70(6), 1393-1401.
- Sujiwo, J., Kim, D., & Jang, A. (2018). Relation among quality traits of chicken breast meat during cold storage: correlations between freshness traits and torrymeter values. *Poultry science*, 97(8), 2887-2894.
- Swartz, M. N. (2002). Human diseases caused by foodborne pathogens of animal origin. *Clinical Infectious Diseases*, 34(Supplement_3), S111-S122.
- Şener, A., & Temiz, A. (2004). Tavuk kesimhane ve işletmelerinde kullanılan ticari dezenfektanlar ve etkinlikleri. *Orlab On-Line Mikrobiyolojisi Derg*, 2(10), 1-28.
- Tiwari, B. K., & Mason, T. J. (2012). Ultrasound processing of fluid foods. In *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods* (pp. 135-165). Academic press.
- Tiwari, B. K., Muthukumarappan, K., O'donnell, C. P., & Cullen, P. J. (2008). Colour degradation and quality parameters of sonicated orange juice using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1876-1883.
- Tosun, H. (1999). Bazı kimyasal bileşiklerle kanatlı karkasının mikrobiyal dekontaminasyonu. *Gıda*, 24(6).

- Turantaş, F., Kılıç, G. B., & Kılıç, B. (2015). Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. *International journal of food microbiology*, 198, 59-69.
- Türkmen, F. (2012). *Yüksek güçlü ultrases işleminin sütün fizikokimyasal ve jelleşme özelliklerine etkisi* (Doctoral dissertation, Yüksek lisans tezi). YÖK Ulusal Tez Merkezi. (350561)).
- Uğur, M., Nazlı, B., & Bostan, K. (2001). Gıda hijyeni. *Teknik Yayınları, İstanbul*.
- Uyttendaele, M., De Troy, P., & Debevere, J. (1999). Incidence of Salmonella, Campylobacter jejuni, Campylobacter coli, and Listeria monocytogenes in poultry carcasses and different types of poultry products for sale on the Belgian retail market. *Journal of food protection*, 62(7), 735-740.
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.
- Wang, W. C., Li, Y., Slavik, M. F., & Xiong, H. (1997). Trisodium phosphate and cetylpyridinium chloride spraying on chicken skin to reduce attached Salmonella typhimurium. *Journal of Food Protection*, 60(8), 992-994.
- Weerasooriya, G., Khan, S., Chousalkar, K. K., & McWhorter, A. R. (2022). Invasive potential of sub-lethally injured Campylobacter jejuni and Salmonella Typhimurium during storage in chicken meat juice. *Food Control*, 135, 108823.
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., ... & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops—A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 48, 538-549.
- Wikipedia (2023, 6 Haziran). Salmonella. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Salmonella>
- Wikipedia (2023, 18 Temmuz). Escherichia coli. https://tr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli
- Winterbourn, C. C., van den Berg, J. J., Roitman, E., & Kuypers, F. A. (1992). Chlorohydrin formation from unsaturated fatty acids reacted with hypochlorous acid. *Archives of biochemistry and biophysics*, 296(2), 547-555.
- Xing, T., Xu, Y., Qi, J., Xu, X., & Zhao, X. (2021). Effect of high intensity ultrasound on the gelation properties of wooden breast meat with different NaCl contents. *Food chemistry*, 347, 129031.
- Xiong, G., Fu, X., Pan, D., Qi, J., Xu, X., & Jiang, X. (2020). Influence of ultrasound-assisted sodium bicarbonate marination on the curing efficiency of chicken breast meat. *Ultrasonics sonochemistry*, 60, 104808.
- Yang, S. C., Lin, C. H., Aljuffali, I. A., & Fang, J. Y. (2017). Current pathogenic Escherichia coli foodborne outbreak cases and therapy development. *Archives of microbiology*, 199, 811-825.
- Yeni, A., & Dağdemir, V. (2023). Cost and income analysis in broiler production: The example of the east Marmara region. *Journal of Animal Science and Economics*, 2(1), 7-12.
- Yıldırım, Z., Ceylan, Ş., & Öncül, N. (2015). Tokat piyasasında satışa sunulan tavuk etlerinin mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 13(4), 304-316.

- Yildiz, S., Pokhrel, P. R., Unluturk, S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2021). Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. *Food Research International*, 140, 110040.
- Yildiz, S., Pokhrel, P. R., Unluturk, S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2019). Identification of equivalent processing conditions for pasteurization of strawberry juice by high pressure, ultrasound, and pulsed electric fields processing. *Innovative food science & emergi technologies*, 57, 102195.
- Yüksel, F. (2013). Gıda teknolojisinde ultrases uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Dergisi*, 8(2), 29-38.
- Zhang, Z., Zhang, Q., Lu, T., Zhang, J., Sun, L., Hu, B., ... & Qian, H. (2022). Residual chlorine disrupts the microbial communities and spreads antibiotic resistance in freshwater. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127152.
- Zhao, Y. Y., Wang, P., Zou, Y. F., Li, K., Kang, Z. L., Xu, X. L., & Zhou, G. H. (2014). Effect of pre-emulsification of plant lipid treated by pulsed ultrasound on the functional properties of chicken breast myofibrillar protein composite gel. *Food Research International*, 58, 98-104.
- Zhuang, H., & Savage, E. M. (2009). Variation and Pearson correlation coefficients of Warner-Bratzler shear force measurements within kanatlı breast fillets. *Poultry science*, 88(1), 214-220.
- Zhuang, H., Chatterjee, D., Bowker, B., Rincon, A. M. and Sanchez-Brambila, G. 2016. Effect of the wooden breast condition on shear force and texture profile analysis of raw and cooked kanatlı pectoralis major. 62nd International Congress of Meat Science and Technology, 14-19th August 2016, Bangkok, Thailand
- Zou, Y., Shi, H., Xu, P., Jiang, D., Zhang, X., Xu, W., & Wang, D. (2019). Combined effect of ultrasound and sodium bicarbonate marination on chicken breast tenderness and its molecular mechanism. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, 104735.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Fatma AL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği
- **Lisans** :2024, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
- **Yüksek Lisans** :2024, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM ve ÖDÜLLER:

- 2022-2023 yılları arasında 2021-9-32-135 nolu ve ‘Tavuk Göğüs Etlerine Uygulanan Ultrases Teknolojisinin Salmonella spp. ve E.coli İnaktivasyonu Üzerine Etkisinin Araştırılması’ isimli Sakarya Üniversitesi destekli bilimsel araştırma projesinde (BAP) araştırmacı olarak yer almıştır.
- 2024 yılından itibaren On Dokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN ÜRETİLEN ESERLER:

- Al, F. and Haskaraca G. 2023. A Novel Approach in Poultry Carcass Decontamination: Ultrasound Technology. 6th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (Eurasian BioChem 2023). October 11-13, 2023. p. 231. Online conference, Oral presentation.

DİĞER ESERLER:

- Al, F. and Haskaraca G. 2023. Microbial Inactivation Foodborne Pathogens by Ultrasound Technology. 6th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (Eurasian BioChem 2023). October 11-13, 2023. p. 230. Online conference, Oral presentation.

- Haskaraca, G., and Al, F. 2021. Using of ultrasound technology in poultry sector. 4th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (Eurasian BioChem 2021). November 24-26, 2021. p. 59. Online conference, Oral presentation.

