



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

GIDA MÜHENDSİLİĞİ ANABİLİM DALI

**ULTRASONİKASYON VE KARVAKROLÜN *E. COLI*
ATCC25922'YE KARŞI ETKİLERİNİN ET MODEL
SİSTEMİNDE BELİRLENMESİ VE GIDA BİLEŞENLERİ İLE
ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kamran BAGHIROV

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma ŞAHMURAT

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212324801 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Kamran BAGHIROV tarafından hazırlanan “**ULTRASONİKASYON VE KARVAKROLÜN *E. COLI* ATCC25922'YE KARŞI ETKİLERİNİN ET MODEL SİSTEMİNDE BELİRLENMESİ VE GIDA BİLEŞENLERİ İLE ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Fatma ŞAHMURAT
Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç.Dr. Ayhan DURAN
Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Nihat YAVUZ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 27/06/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Kamran BAGHIROV

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana rehberlik eden, değerli bilgi ve tecrübeleriyle çalışmama katkıda bulunan sayın danışmanım Dr. Öğr. Üyesi. Fatma Şahmurat'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecinde karşılaştığım zorlukların üstesinden gelmemde gösterdiği sabır, destek ve anlayış için minnettarım. Çalışmam boyunca yol gösterici tavsiyeleri ve yapıcı eleştirileri, akademik gelişimime önemli ölçüde katkı sağlamıştır.

Kamran BAGHIROV

AKSARAY, 2024



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ULTRASONİKASYON VE KARVAKROLÜN *E. COLI* ATCC25922'YE KARŞI ETKİLERİNİN ET MODEL SİSTEMİNDE BELİRLENMESİ VE GIDA BİLEŞENLERİ İLE ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Kamran BAGHIROV

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Fatma ŞAHMURAT

ÖZET

Bu çalışmada ısıl olmayan bir muhafaza yöntemi olarak ultrasonikasyon (ultrases) ve doğal bitkisel kaynaklı bir antimikrobiyal olan karvakrol birlikte kullanılarak, *E. coli* ATCC 25922'ye karşı inaktivasyon etkileri et model gıda ortamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda antimikrobiyalın etkin dozları, sonikasyon süresi ve sinerjik etkileri incelenmiştir. Bu amaçla *E. coli* ATCC 25922 ile $\sim 10^7$ kob/ml düzeyinde kontamine edilmiş et model gıda örneklerine, 600 ppm, 900 ppm, 1200 ppm antimikrobiyal eklenmiş ve antimikrobiyal eklenmemiş olan örneklerle birlikte ultrasonikasyon cihazında (20kHz, 200W) %90 amplitüd ve 0,5 sn lik çalışma-durma döngüsü (Cycle: 5) ayarları ile 22 dakikalık sonikasyon işlemi uygulanmıştır. İşlem boyunca sıcaklık 30 ± 2 °C' de sabit tutulmuş ve 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22 dakikalarında canlı mikroorganizma sayımları yapılmıştır. Model gıdaların protein ve yağ yüzdeleri sırasıyla %15-%5 (Grup A), %10-%10 (Grup B), %5-%15 (Grup C) olacak şekilde TSB içerisinde hazırlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre 22'nci dk'da Grup A'da 0 ppm ve 600 ppm kullanılan örnekte $5,15 \pm 0,11$ log ve $5,45 \pm 0,20$ log azalma gözlenirken, 900 ppm ve 1200 ppm'de ise bakterilerin sayılamayacak kadar az olduğu 18'inci dk'da ise, sırasıyla $4,98 \pm 0,23$ ve $4,99 \pm 0,23$ log azalma olduğu gözlemlenmiştir. Grup B'de 22'nci dk'da 0 ppm ve 600 ppm kullanılan örnekte $5,4 \pm 0,06$ log ve $5,55 \pm 0,01$ log, 900 ppm ve 1200 ppm'de ise 18'inci dk'da $5,59 \pm 0,28$ log ve $5,25 \pm 0,33$ log azalma olmuştur. Grup C'de 18'nci dk'da sırasıyla $5,47 \pm 0,19$ log, $5,5 \pm 0,06$ log, $5,55 \pm 0,35$ log ve $5,21 \pm 0,34$ log azalma olmuştur. Antimikrobiyal kullanılmayan örnekleri karşılaştırdığımız zaman protein içeriğinin ultrasonikasyonun bakterisidal etkisini yağ içeriğinden daha fazla azalttığı sonucuna varılmıştır. Yağ konsantrasyonu arttıkça antimikrobiyalın biyoaktifliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Model gıdada *E. coli* ATCC 25922'nin inaktivasyonunun birinci derece kinetik modele uyduğu gözlenmiş ve yapılan lineer regresyon analizleri ile kinetik model denklemleri ve D değerleri her bir koşul için belirlenmiştir. Yapılan tek değişkenli istatistik analiz sonucu model gıda formülasyonunun (protein/yağ) D değerine etkisi istatistiksel olarak etkili bulunmuş ($p < 0,05$), diğer faktörler (antimikrobiyal dozu) etkisiz bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Escherichia coli*, Ultrasonikasyon, Model Gıda, Karvakrol, Doğal Antimikrobiyeller, Sinerjik Etki.

Haziran, 2024; 46 sayfa

M.Sc. THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF ULTRASONICATION AND CARVACROL AGAINST *E. COLI* ATCC25922 IN A MEAT MODEL SYSTEM AND INVESTIGATION OF THEIR INTERACTION WITH FOOD INGREDIENTS

Kamran BAGHIROV

Aksaray University
Faculty of Engineering
Department of Food Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Fatma ŞAHMURAT, PhD

ABSTRACT

In this study, ultrasonication as a non-thermal preservation method and carvacrol, a natural plant-derived antimicrobial, were used to evaluate the inactivation effects against *E. coli* ATCC 25922 in a meat model food system. In this context, the effective doses, sonication time and their synergistic effects were investigated. For this purpose, model food samples contaminated with *E. coli* ATCC 25922 at the level of $\sim 10^7$ cfu/ml were sonicated with 600 ppm, 900 ppm, 1200 ppm antimicrobial added and the sample without antimicrobial added in an ultrasonication device (20kHz, 200W) with 90% amplitude and 0.5 s run-stop cycle (Cycle: 5) settings for 22 minutes. Alive microorganisms were counted at 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22 minutes. Meat model foods were prepared in TSB with protein and fat percentages of 15%-5% (Group A), 10%-10% (Group B), 5%-15% (Group C), respectively. In Group A, for 0 ppm and 600 ppm at the 22nd minute, 5.15 ± 0.11 log and 5.45 ± 0.20 log reductions were observed, and for 900 ppm and 1200 ppm at the 18th minute, 4.98 ± 0.23 and 4.99 ± 0.23 log reduction were observed respectively. In Group B, for 0 ppm and 600 ppm, 5.4 ± 0.06 log and 5.55 ± 0.01 log at 22nd min, and for 900 ppm and 1200 ppm 5.59 ± 0.28 log and 5.25 ± 0.33 log reductions at 18th min were observed respectively. In Group C, there were 5.47 ± 0.19 log, 5.5 ± 0.06 log, 5.55 ± 0.35 log and 5.21 ± 0.34 log reductions at 18th min, respectively. When we compared the samples without antimicrobial, it was concluded that protein content decreased the bactericidal effect of ultrasonication more than fat content. It was observed that as the fat concentration increased, the antimicrobial bioactivity decreased. The inactivation of *E. coli* ATCC 25922 in the model food was observed to fit the first order kinetic model and the kinetic model equations and D values were determined for each condition by linear regression analysis. As a result of univariate statistical analysis, the effect of model food formulation (protein/fat) on D value was found to be statistically effective ($p < 0.05$), while other factors (antimicrobial dose) were found to be ineffective.

Keywords: *Escherichia coli*, Ultrasonication, Carvacrol, Food Model System, Natural Antimicrobials, Synergistic Effect.

June, 2024; 46 pages

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1 Ultrasonikasyon	3
2.1.1 Çalışma prensibi.....	3
2.1.2 Kullanım alanları.....	6
2.1.3 Et ürünlerinde kullanımı	7
2.1.4 Termosonikasyon	9
2.1.5 Mikroorganizmalar üzerine etkisi	10
2.2 Escherichia coli (<i>E. coli</i>).....	12
2.2.1 Et ve et ürünlerinde (<i>E. coli</i>).....	13
2.3 Karvakrol	15
2.3.1 Mikroorganizmalara etkisi	15
2.3.2 Gıdalarda koruyucu olarak kullanımı	17
2.4 Ultrasonikasyon ve antimikrobiyalların birlikte uygulanması	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1 Materyal.....	21
3.1.1 Kullanılan mikroorganizmalar	21
3.1.2 Kullanılan besiyerleri ve çözeltiler	21
3.2 Yöntem	21
3.2.1 <i>E. coli</i> ATCC 25922 mikroorganizmasının aktiveleştirilmesi	21
3.2.2 Model gıda	21
3.2.3 Deney tasarımı	23
3.2.4 Bakteri sayımı	24
3.2.5 İnaktivasyon Kinetiği	26
3.2.6 İstatistiksel analiz	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
4.1 İnaktivasyon eğrisi.....	28
4.2 İnaktivasyon kinetiği ve D değerleri.....	34
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ultrasonikasyon ses diyagramı.	3
Şekil 1.2. Ultrasonikatörün temel parçaları.	4
Şekil 3.1. Ultrasonikasyon cihazı.	24
Şekil 3.2. Ekipmanlarının kurulum diyagramı.....	24
Şekil 3.3. Bakteri koloni sayımı.....	25
Şekil 4.1. Grup A (protein/yağ=3) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.	28
Şekil 4.2. Grup B (protein/yağ=1) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.	29
Şekil 4.3. Grup C (protein/yağ=0,3) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.	30
Şekil 4.5. Antimikrobiyal içeren örneklerin inaktivasyon eğrileri; (a) 600 ppm, (b) 900 ppm, (c) 1200 ppm.	33
Şekil 4.6. D değerleri.	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı bitkilerin esansiyel yağlarında bulunan karvakrol oranları.	15
Çizelge 3.1. Deney tasarımı.	23
Çizelge 4.1. Doğrusal Regresyon sonucu elde edilen doğru denklemleri ve R^2 değerleri.	36
Çizelge 4.2. Örnek grupları ve anttimikrobiyal dozlarının model gıdada <i>E. coli</i> ATCC 25922'ye karşı D değerlerine etkileri için ANOVA tablosu.	37
Çizelge 4.3. Örnek gruplarının Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları tablosu..	37



SİMGELER VE KISALTMALAR

ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
ATCC	American Type Culture Collection
ATP	Adenozin Trifosfat
CFU	Koloni oluşturan birim
DAEC	Diffusely Adherent <i>Escherichia coli</i> (Yaygın derecede yapışkan)
DNA	Deoksiriboz Nükleik Asit
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EHEC	Enterohemorajik <i>Escherichia coli</i>
EIEC	Enteroinvaziv <i>Escherichia coli</i>
EO	Bitki Esansiyel Yağları
EPEC	Enteropatojenik <i>Escherichia coli</i>
ETEC	Enterotoksijenik <i>Escherichia coli</i>
FDA	Gıda ve İlaç İdaresi
HTST	Yüksek Sıcaklık Kısa Süre
Hz	Hertz
US	Ultrasonikasyon
L	Litre
LAB	Laktik asit bakterileri
LSCM	Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop
LTLT	Düşük Sıcaklık Uzun Süre
MAP	Modifiye atmosfer paketlenme
MHz	Megahertz
MIK	Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu
PASPI	Peyniraltı suyu protein isolatı
PCA	Plate Count Agar
PPM	Parts Per Million (Milyonda Bir Birim)
spp	Türleri
TAMB	Toplam aerob mezofil bakteri
TEON	Kekik esansiyel yağı nanoemülsiyonları
TSA	Tryptic Soy Agar
TSB	Tryptic Soy Broth
TVC	Mezofilik toplam canlı sayısı
cm	Santimetre
cm²	Santimetrekare
dk	Dakika
g	Gram
kHz	Kilo Hertz
kob/ml	Bir Mililitre Başına Koloni Oluşturan Birim
mg	Miligram
ml	Mililitre
µg	Mikrogram
µl	Mikrolitre
µM	Mikromolar
nm	Nanometre
pH	Potansiyel Hidrojen
R²	Regrasyon Katsayısı
W	Watt
Wcm⁻²	Watt başına santimetre kare

W/ml	Watt başına mililitre
w/w	Ağırlıkça yüzde
°C	Santigrat
%	Yüzde
<	Küçüktür
~	Yaklaşık



1. GİRİŞ

Et, önemli protein ve çeşitli temel vitamin ve mineral kaynağıdır. Besin değeri yüksek olduğu için, et ürünlerinde mikroorganizmalar hızla çoğalabilir ve uygun olmayan koşullarda kolayca bozulabilir. Bu nedenle, et ürünlerinin saklanması ve işlenmesi sırasında hijyenik koşullara ve uygun sıcaklık kontrolüne dikkat edilmesi önemlidir. Aksi takdirde, mikrobiyal kontaminasyon riski artabilir ve gıda güvenliği tehlikeye girebilir.

Gıda endüstrisi, günümüzün hızla gelişen ve değişen teknoloji dünyasında, kaliteyi artırmak ve verimliliği optimize etmek amacıyla yenilikçi yöntemlere yönelmektedir. Bu bağlamda, ultrasonikasyon teknolojisi, gıda işleme ve muhafaza tekniklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ultrasonikasyon, yüksek frekanslı ses dalgalarının kullanılmasıyla gerçekleştirilen bir işlem olup, gıdaların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini etkileyerek ürün kalitesini ve güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Ultrasonikasyonun gıda endüstrisinde kullanımı, hem bilimsel araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar açısından geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu teknoloji, çeşitli gıda maddelerinin işlenmesinde, homojenizasyon, ekstraksiyon, emülsifikasyon, sterilizasyon ve kurutma gibi birçok alanda uygulanmaktadır. Örneğin, ultrasonikasyon, meyve suyu üretiminde daha yüksek verim elde etmek için hücre duvarlarının parçalanmasını sağlarken, süt ürünlerinde mikrobiyal yükü azaltarak raf ömrünü uzatabilmektedir.

Ultrasonikasyonun gıda endüstrisinde sunduğu faydalar sadece ürün kalitesiyle sınırlı değildir. Aynı zamanda enerji tasarrufu, işlem süresinin kısaltılması ve kimyasal katkı maddelerinin kullanımının azaltılması gibi çevresel ve ekonomik avantajlar da sunmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir ve verimli gıda üretim tekniklerinin geliştirilmesinde ultrasonikasyon önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde gıda endüstrisinde gıda güvenliği, ürün kalitesi ve raf ömrü gibi faktörlerin optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, doğal bileşenlerin antimikrobiyal özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, gıda korunması ve hijyenik uygulamaların geliştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Gıda

endüstrisinde mikrobiyal kontaminasyonun önlenmesi ve gıda güvenliğinin sağlanması için doğal antimikrobiyal bileşenlerin kullanımı son derece önemlidir. Karvakrol, birçok bitkide doğal olarak bulunan, keskin ve baharatlı bir aromaya sahip olan fenolik bir bileşiktir. Özellikle kekik ve mercanköşk gibi bitkilerin esansiyel yağlarında yüksek oranda bulunur. Güçlü antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve antioksidan özelliklere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, tıbbi tedavilerde enfeksiyonları önlemek ve iltihaplanmayı azaltmak için kullanılır. Gıda endüstrisinde ise hem tatlandırıcı hem de koruyucu olarak işlev görür; yiyeceklerin raf ömrünü uzatır ve lezzetini artırır. Bu nedenle, ultrasonikasyon teknolojisinin etkisi ve karvakrol gibi doğal bileşenlerin antimikrobiyal özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, endüstriyel uygulamalarda değerli katkılar sağlayabilir.

Bu yüksek lisans tezi, et model gıdada ultrasonikasyon teknolojisinin ile birlikte doğal antimikrobiyal olan karvakrolu kullanarak *E. coli* ATCC 25922 etkileri incelenmiştir. Bunların birlikte kullanımının gıda endüstrisindeki uygulamalarını, bu teknolojinin temel prensiplerini ve gıda bileşenleri üzerinde etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

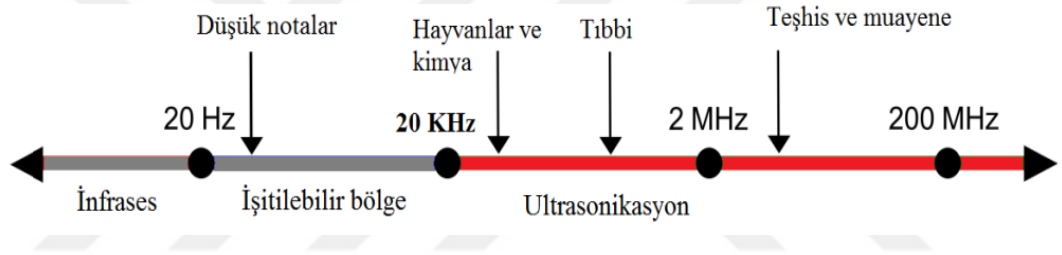
Çalışmada model gıda için farklı konsantrasyonlarda ayçiçek yağı ve protein olarak et ekstrakı (beef extract) kullanılarak üzerine eklenen planlanmış dozlarda karvakrolün ve sonikasyonun *E. coli* ATCC 25922 karşı birlikte kullanımının sinerjik etkileri ve gıda bileşenleri ile etkileşimi incelenmiştir. Alınan sonuçlara göre inaktivasyon eğrisi çizilmiş ve D değeri hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak fark olup olmadığını analiz etmek için univariate analiz yapılmış ve ANOVA tablosu elde edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi ile de örnek grupları ve antimikrobiyal dozları gruplandırmaya tabi tutulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Ultrasonikasyon

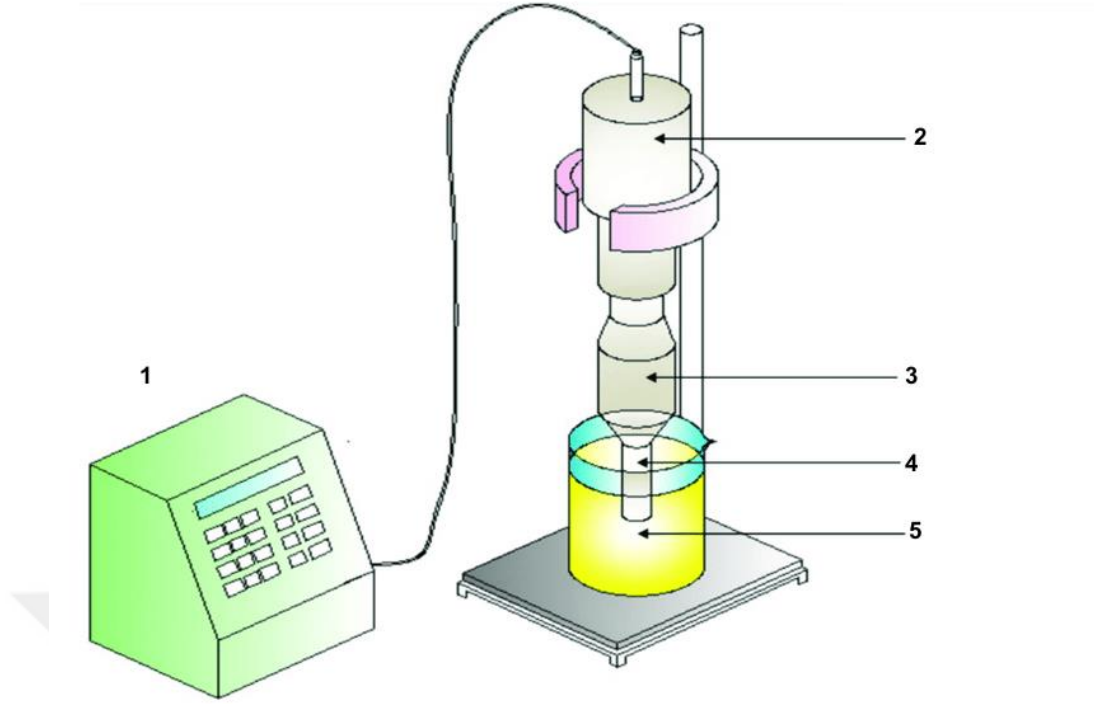
2.1.1 Çalışma prensibi

Ultrasonikasyonun çalışma mekanizması ses dalgalarının saçılması ve yankısına dayanır. Ses dalgaları mekanik dalgalar oldukları için katı, sıvı ve gaz maddelerde sabit hızlarda yayılmaktadır. 20 Hz ile 20.000 Hz frekans arasındaki sesleri insan kulağı işitebilmektedir. Bu aralık (Şekil 1.1) duyulabilir ses bölgeleri olarak ifade edilmektedir. Ultrasonikasyon, insan kulağı tarafından duyulmayacak yüksek frekanslardaki ses dalgalarının enerjisi olarak tanımlanmaktadır. 20 kHz ve 10 MHz arasındaki frekans aralığında gerçekleşir. Bu frekans aralığının altında olan frekanstaki seslere ise infrases olarak adlandırılmaktadır (Tuğçe, 2023).



Şekil 1.1. Ultrasonikasyon ses diyagramı (Tuğçe, 2023).

Ultrasonikasyon sistemi, jeneratör (1), dönüştürücü (2), US probu (3), iletici (4) ve örnek haznesi (5) kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 1.1) (Hussain, ve diğerleri, 2020). Jeneratör, şebekeden gelen akımı daha yüksek frekanslı bir akıma dönüştürdüğünde, bu yüksek frekanslı akım dönüştürücüde mekanik titreşimler oluşturur. Oluşan titreşimler, iletici kısımdan sıvının titreşimi aracılığıyla ultrasonikasyon uygulanan örneklerle aktarılmaktadır. Ultrasonikasyonun belirleyici parametreleri; frekans, dalga boyu, genlik, sıcaklık ve ultrasonikasyon gücü olarak belirtilir. Uygulama şekli ise ultrasonik banyo ve probu ultrasonikasyon olmak üzere iki türde gerçekleştirilir (Tuğçe, 2023).



Şekil 1.2. Ultrasonikatörün temel parçaları (Hussain vd., 2020).

Ultrasonikasyon, ısı ve basınç kombinasyonlarıyla da kullanılmaktadır. Bu kombinasyonlar aşağıdaki gibidir:

- Termosonikasyon: Ultrasonikasyon ve ısıyı kombine edildiği bir yöntemdir. Ürün aynı anda ultrasonikasyon ve orta dereceli ısıya tabi tutulur. Bu yöntem, mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerinde tek başına ısıdan daha büyük bir etki yaratır.
- Manosonikasyon: Ultrasonikasyon ve basıncın birlikte uygulandığı kombine bir yöntemdir. Manosonikasyon, ultrasonikasyonu düşük sıcaklıklarda orta dereceli basınçlarla (100 ila 300 kPa) birleştirerek enzimlerin ve/veya mikroorganizmaların inaktive edilmesini sağlar.
- Manotermosonikasyon: Isı, ultrasonikasyon ve basıncın kombine edildiği bir yöntemdir. Uygulanan sıcaklık ve basınç, inaktivasyon seviyesini artıran ortamdaki kavitasyon veya kabarcık patlamasını en üst düzeye çıkarır. Termo toleransı yüksek olan mikroorganizmalar manotermosonikasyon ile inaktive edilebilir (Meenu vd., 2020).

Gıda endüstrisinde mikrobiyal ve enzim inaktivasyonu uygulamalarında ultrasonikasyonun verimliliğini artırmak için kimyasallar, basınç ve sıcaklık ile

birlikte de kullanılabilir. Ultrasonikasyonun kullanımıyla, enzimler ve mikroorganizmalar daha düşük sıcaklıklarda inaktive edilebilir, bu da daha kaliteli, lezzetli ve besleyici meyve sularının üretimini sağlayabilir (Tuğçe, 2023).

Gıda endüstrisindeki ultrases uygulamaları, frekans ve yoğunluk temeline dayanarak iki ana gruba ayrılır. Güç ultrasesi olarak da bilinen yüksek yoğunluklu uygulamalar, genellikle 20 kHz ile 100 kHz aralığındaki düşük ses frekansları kullanır ve daha yüksek genlikte ultrasonik dalgalar üretir. Böyle uygulamalar, dondurma, çözündürme, ekstraksiyon ve kurutma gibi işlemlerde malzemenin fizikokimyasal özelliklerini veya yapısını değiştirebilir (Aday, 2021).

Az yoğunluklu uygulamalar ise, genellikle 1 MHz'den yüksek frekansta, düşük genlikli ultrasonik dalgaları içerir ve yayıldıkları materyale zarar vermeden etki ederler. Böyle uygulamalar ise genellikle, gıda maddelerinin bileşimi, yapısı, akış hızı ve parçacık boyutu gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlemek için kullanılır (Aday, 2021).

Ultrases üretimini sağlayan sistemin üç temel bileşeni bulunmaktadır. İlk olarak, jeneratör adı verilen birim, elektronik veya mekanik bir osilatör şeklindedir. İkinci bileşen ise dönüştürücüdür; bu parçalar, belirli frekans aralıklarında mekanik veya elektrik enerjisini ultrasonik enerjiye dönüştürür. Son bileşen ise taşıyıcıdır; bu bileşen, ultrases dalgalarını ortamdaki maddeye ileten önemli bir bileşendir (Aday, 2021).

Ultrasesin sıvı içerisinde uygulanması sonikasyon olarak ve sonikasyonun yarattığı etki mekanizması kavitasyon adlandırılmaktadır: Sıvının içerisinden geçen ses dalgası boyuna dalgalar yaratır ve bunun sonucunda ardarda olarak kasılıp gevşeme olayları meydana gelir. Ses dalgası gevşeme evresine geçtiğinde, negatif basınç sıvının noktasal çekme kuvvetini aştığında mikro kabarcıklar ve boşluklar meydana gelir. Sıvı içindeki minik kabarcıklar, ultrases dalgalarının gevşeme ve sıkışma hareketleri ile hızla büyür ve kritik bir seviyeye ulaştığında patlar; bu olaya kavitasyon denir. Bunun sonucunda noktasal olarak çok yüksek sıcaklık (5000 °C) ve basınç (100 MPa) meydana gelir (Dinçer ve Topuz, 2018). Kavitasyonu etkileyen faktörler üç ana başlık altında toplanabilir: akustik değişkenler, sıvının özellikleri ve termodinamik değişkenler. Akustik değişkenlerden biri olan güç, yüksek düzeylerde

kavitasyon oluşturarak ultrases etkisini artırır. Ancak belirli bir aşamadan sonra oluşan büyük ve stabil kabarcıklar, ses dalgalarının yayılmasını engelleyen bir sönümleme etkisi yaratarak, kavitasyon sürecini etkileyebilir (Gonzalez, 2003).

Kavitasyonu etkileyen en önemli faktörlerden biri ultrases frekansıdır; bu faktör, oluşan kabarcığın boyutunu belirler. Düşük frekanslarda (20 kHz gibi), üretilen kabarcıklar genellikle daha büyük boyuttadır ve patladıklarında daha yüksek enerji açığa çıkar. Öte yandan, daha yüksek frekanslarda (>2,5 MHz gibi), kabarcık oluşumu daha zor olabilir ve bu frekansta kavitasyon genellikle gerçekleşmez. (Altaf vd., 2018).

Geçici ve kararlı kavitasyonlar olmak üzere iki tip akustik kavitasyon çeşidi vardır. Kararlı kavitasyon, çeşitli akustik döngüler için düzenli olarak salınan kabarcıkları içerir, bu da mikro akışa neden olarak mikroorganizmalara zarar verir. Geçici kavitasyon işlemi sırasında, üretilen kabarcıklar düzensiz salınımlara neden olur ve bu da hızlı bir sıcaklık ve basınç değişimi meydana getirir (Qiu vd., 2020).

2.1.2 Kullanım alanları

Ultrasound teknolojisinin gıda enzimleri üzerindeki etkisinin, mikroorganizmalar üzerindeki etkisi gibi yüksek basınç ve ısıl işlemlerin birlikte uygulanması ile arttığı vurgulanmaktadır. Meyve ve süt ürünlerindeki polifenoloksidaz (PPO), peroksidaz (POD) ve lipoksijenaz (LOX) ile lipaz ve proteaz gibi ısıya dayanıklı enzimler üzerinde monosonikasyon, termosonikasyon ve monotermosonikasyon uygulamalarının etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu teknolojinin mikroorganizmalar üzerindeki etkisi gibi enzimler üzerindeki etkisi de kavitasyon sonucu oluşan kabarcıkların patlamasından kaynaklanmaktadır (Yıldız, 2021).

Yapılan bir araştırmada ultrasonik dalgaların katalaz, lizozim ve alkol dehidrogenaz enzimleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bulgular, ultrasonik dalgaların katalaz üzerinde düşük bir etki gösterdiğini, ancak lizozim ve alkol dehidrogenaz üzerinde yüksek düzeyde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, ultrasesin enzimler üzerindeki etki derecesinin, enzimlerin özgül yapısal özelliklerine ve amino asit bileşimlerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği belirtilmiştir. Bu bağlamda, alfa amilaz enziminin termosonikasyon uygulamasıyla inaktif olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, bazı enzimlerin, özellikle pepsin, invertaz ve katalaz gibi

enzimlerin, ultrases uygulamasına karşı dirençli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışma, ultrasonik işlemlerin enzimlerin yapısal ve fonksiyonel özelliklerine göre farklı tepkiler verebileceğini göstermektedir (Ulusoy ve Karakaya, 2011).

Emülsiyonlar stabiliteyi artırmak için yüzey aktif maddeler kullanılır ve bu maddeler maddenin sıvı fazda toplanıp birikmesini engeller. Bunun yanı sıra yüzey aktif maddeler sıvı içerisinde bulunan gaz kabarcıklarında kapsülleyebilir. Bu durumda istenmeyen gaz kabarcıkları sonikasyon yoluyla basitçe uzaklaştırılabilir, kabarcık sayısı azaltılır ve emülsiyon desteklenmiş olur. Bir kavitasyon kabarcığının iki farklı sıvının temas yüzeyinde patlaması, düşük enerji koşullarında bile oldukça kararlı bir emülsiyon yaratır (Gallo vd., 2018).

Nanoemülsiyonlar, 100-600 nm boyut aralığını kapsayan damlacıklara sahip su içinde yağ dispersiyonlarından oluşur. Genellikle küre şeklinde olan nanoemülsiyonlar, kozmetik, teşhis, ilaç tedavileri ve biyoteknoloji alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ultrasonik nanoemülsiyon tekniğinde önceden karıştırılmış emülsiyon 20 kHz ultrasonik frekansta işleme maruz bırakılarak damlacıklar nano damlacık boyutuna indirgenir. Sonikatör ucu sıvıya temas ettiğinde mekanik titreşimler üretilir ve bu da sıvı içinde oluşan buhar boşluklarının çökmesine yol açan kavitasyona neden olur. Bu teknik esas olarak 0,2 µ'den küçük damlacık boyutu gerektiğinde kullanılmaktadır (Ahire ve Gorle, 2021).

Yüksek güç kullanılan ultrases, kavitasyon oluşturarak sıvı içinde girdaplara neden olarak donma sırasında çekirdeklenmeyi artırmaya ve yüzeyde buz kabuklanmasını önlemeye yardımcı olarak dondurma üretimi sırasında daha küçük kristaller ve mikro akış, ısı ve kütle transferini iyileştirebilir. Akustik stres ayrıca buz kristallerinin kırılmasına neden olarak daha küçük kristaller oluşturur (Cook ve Hartel, 2010). Ayrıca, ultrases kullanımı, çekirdeklenme sıcaklığını yükseltebilir, bu da daha yüksek sıcaklıklarda çekirdek oluşumuna katkı sağlayarak donma süresini kısaltır. Ek olarak, kavitasyon sonucu oluşan gaz kabarcıkları çekirdek görevi görerek çekirdeklenme hızını artırabilir (Aday, 2021).

2.1.3 Et ürünlerinde kullanımı

Yapılan bir çalışmada etin olgunlaşma fazını hızlandırmak için düşük frekans ve yoğunluktaki ultrases dalgalarının kullanıldığı bildirilmiştir. Ultrases teknolojisinin

işlem görmüş sığır etine uygulanması neticesinde pişirme verimliliğini artırdığı ve doku niteliğini iyileştirdiği tespit edilmiş olup, tuz kullanılmaya gerek kalmadan yeni kas görüntüsü ve daha kırmızı bir renk elde edildiği tespit edilmiştir. Bu işlemlerin dışında ultrases teknolojisi ile işlem gören etlerde kas liflerinin kolayca kaslardan ayrıldığı gözlemlenmiştir (Yıldız, 2021).

Ultrases gücü, kavitasyon etkisi nedeniyle etin yumuşaklığını da etkiler. Zou ve arkadaşları (2018) artan ultrases gücü (0, 400, 600, 800 ve 1.000 W, 20 kHz frekans) ile basınç kaybının ve kesme kuvvetinin azaldığını göstermiştir. 400 W ile işlem gören numune, miyofibriller arasındaki boşluğun artması nedeniyle kontrol grubuna kıyasla daha iyi bir yumuşatma etkisine sahipti ve daha iyi jelleşme elde edildi, bu da baharatlı sığır etinin yumuşaklığının ultrases gücünün artmasıyla artmasına neden oldu. Etin yumuşaklığı, belirli bir süre sonikasyon uygulandığında zamanla artar. Bu nedenle, ultrason destekli et yumuşatma işlemi, işlem süresi, frekans ve gücün birlikte ayarlanmasıyla etkili bir şekilde kontrol edilebilir. Bununla birlikte, çok uzun bir işlem süresi proteaz aktivitesini azaltır ve protein ayrışmasını engeller, bu da etin yumuşamasında bir azalmaya yol açabilir.

Dickens ve arkadaşları broyler göğüs kası ile bir deney (2400 W güç 40 kHz'de) gerçekleştirmiş ve ultrasonik işlemden sonra kesme kuvveti değerlerinde önemli bir düşüş olduğunu bildirmiştir. Bu değişim, kas içinde ve çevresinde kavitasyon yoluyla miyofibriller bileşenlerin parçalanmasıyla ilişkilendirilmiştir. İşlem boyunca 3-4 °C'lik sıcaklık artışları gözlemlenmiştir. Ultrasesin ortamdaki termal etkileri, ortamın özelliklerine (gaz içeriği, viskozite) bağlı olan ultrases emilimi nedeniyle ortaya çıkar. Karkas ve ortamdaki (su banyosu) bu tür sıcaklık artışları, kavitasyon için eşiği tetiklemiş olabilir, çünkü sıcaklık boşlukların çökmesini etkileyen birçok faktörden biridir (Jayasooriya vd., 2008).

Zayas ve Strokova, ultrasonun proteinlerin yapı ve enzimatik aktivite gibi özelliklerini değiştirebildiğini öne sürmüştür. Miyozin fraksiyonunun çözünürlüğündeki önemli iyileşme sadece 3 dakikalık ultrasonik maruziyetten sonra meydana gelmiştir. Buna ek olarak, kas dokularında önemli ölçüde daha yüksek serbest radikal seviyeleri ve kas proteinlerinden amino asitlerin salınımında değişiklikler görülmüştür. Ultrasonla muamele edilmiş et örneklerinde belirli amino asitlerin miktarlarında önemli artışlar olmuştur (Zayas ve Strokova 1972).

2.1.4 Termosonikasyon

Ultrasonikasyonun sıcaklık işlemleriyle kombinasyonu, geleneksel ısı işlemlerle benzer bir mikrobiyal inaktivasyon sağlarken, işlem için gereken sıcaklık seviyelerini ve sürelerini azaltabilir (Meenu vd., 2020).

Termosonikasyon işlemeyi en aza indirmek, kaliteyi en üst düzeye çıkarmak ve gıda ürünlerinin güvenliğini sağlamak için geliştirilen gelişmekte olan teknolojilerden biridir. Termosonikasyon, kütle transferinde iyileşme, gıdaların korunması, ısı işlemlerin desteklenmesi ve doku manipülasyonu ve gıda analizi gibi gıda işlemede olumlu etkiler sağlamak için uygulanır. Termosonikasyon, geniş uygulama yelpazesi, bilgi ve araştırma çalışmalarının artması nedeniyle çok yönlü ve yenilikçi bir teknolojidir. Gıda endüstrisinde analiz yöntemleri ve dondurma, kesme, kurutma, temperleme, homojenleştirme, gaz giderme, köpük giderme, filtreleme ve ekstraksiyon gibi gıda işleme gibi birçok amaç için kullanılır. Termosonikasyon, gıda işlemeye bir destekleyici veya alternatif olarak kullanılabilir. Etkili karıştırma, artan kütle transferi, azaltılmış enerji, azaltılmış sıcaklık ve artan üretim hızı gibi gıda işleme için termosonikasyon kullanmanın sayısız avantajı olabilir. Gıdaların besinlerini tahrip etmeden mikroorganizmaların ve enzimlerin yok edilmesi nedeniyle, termosonikasyon, gıdaların korunmasında ısı işlemlere alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir. Ek olarak, düşük güçlü termosonikasyonun, fiziksel ve kimyasal değişiklikler, beslenme kaybı ve organoleptik özelliklerdeki değişiklik gibi ısı işlemler sırasında ortaya çıkan sorunların üstesinden gelinmesi nedeniyle çekici bir termal olmayan yöntem olduğu düşünülmektedir (Meenu vd., 2020).

Ultrasonik dalgaların bir ortamda oluşturduğu kabarcıkların son derece hızlı bir şekilde oluşması ve çökmesi, termosonikasyonun antimikrobiyal etkisini yaratır. Kaviteasyon işlemi sırasında, basınç ve sıcaklıktaki yerel değişiklikler hücrelere çeşitli zararlar verebilir. Bu süreç, hücre duvarlarının yıkılmasına, hücre zarlarının incelmesine ve hasar görmesine, ayrıca serbest radikal üretimi yoluyla DNA'nın zarar görmesine yol açar. Termosonikasyonun mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisi, uygulanan termosonikasyonun yoğunluğuna ve sıklığına da bağlıdır. Genel olarak, 200 - 600 kHz frekans aralığı, termosonikasyonun mikroorganizmalar üzerindeki etkilerini arttırmıştır (Meenu vd., 2020).

Portakal suyunda *Staphylococcus aureus* inaktivasyonu üzerine yapılan bir çalışmada ultrasonikasyonun sıcaklığı arttıkça işlem süresinin azaldığı gözlemlenmiştir (Tahi vd., 2021).

Havuç suyunda yapılan termosonikasyon işleminin, geleneksel ısı işleme nazaran daha kısa sürede daha yüksek düzeyde PME enzimi inaktivasyonu sağladığı, pektin ve karotenoid oranını kayda değer şekilde artırdığı ve renk parametrelerini muhafaza ederek daha üstün bir kalite sunduğu belirlenmiştir. Bu yenilikçi yöntem, besin değerlerinin korunması ve ürünün görsel çekiciliğinin sürdürülmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Karagöz ve Demirdöven, 2016).

2.1.5 Mikroorganizmalar üzerine etkisi

Mikroorganizmanın ultrasonik işleme karşı direnci mikroorganizmanın türüne göre değişmektedir. Bu farklılıklar hücresel yapı, zarf ve metabolizmadaki farklılıklar nedeniyle ortaya çıkar. Sıcaklık ve basınç sabit tutulduğunda, beş tip mikroorganizmanın direnci D değerleri ile şu sırayla ifade edilir: sporlar > mantarlar > mayalar > Gram pozitif > Gram negatif hücreler, bunun sonucunda da inaktivasyon oranı (log KOB/dak) Gram negatif hücreler > Gram pozitif hücreler > mayalar > mantarlar > sporlar şeklindedir (Chaturvedi vd., 2021).

Ultrases kullanımının mikroorganizmalar üzerindeki etkisi, hücre duvarlarının yıkımı ile gerçekleşir. Bu süreçte oluşan gaz kabarcıklarının patlaması, yüksek sıcaklık ve basınç bölgeleri oluşturur. Bu durum, ortamdaki mikroorganizmaların hücre duvarlarına zarar vererek etkisiz hale gelmelerine yol açar (Yıldız, 2021).

Gıdalarda ultrasonikasyon işlemiyle inaktive edilen mikroorganizmalar arasında en çok tercih edilenler *Saccharomyces cerevisiae* ve *Escherichia coli*'dir. Mikroorganizmaların ultrasonikasyona karşı dirençleri farklılık göstermektedir. Gram pozitif bakterilerin kalın hücre duvarları, onları gram negatif bakterilere kıyasla ultrasonikasyona karşı daha dirençli kılar. Koklar ise, basillerle karşılaştırıldığında hücre yüzeyi ve hacmi bakımından ultrasonikasyona daha dayanıklıdır. Ultrasonikasyonun, büyük hücreler üzerinde, küçük hücrelere kıyasla daha etkili olduğu belirtilmiştir (Tuğçe, 2023). Daha kalın kapsülü olan mikroorganizmaların ultrasonik işleme son derece dirençli olduğu bildirilmiştir (Majid vd., 2015).

Pastörizasyona alternatif olarak ultrasonikasyon işleminin çiğ keçi sütü mikroorganizmaları ve *Brucella melitensis* dahil olmak üzere bazı gıda patojenleri üzerindeki zararlı etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 20 kHz gücünde %100, %50 ve %10 genliklerde pulsasyonlu veya pulsasyonsuz altı farklı ultrasonikasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bakteriler üzerinde en zararlı etki %100 genliklerde elde edilmiştir. Çiğ sütte TAMB, koliform, streptokok, laktobasil, maya ve küf sayılarındaki azalma sırasıyla 6,52, 6,27, 5,31, 5,61, 5,27 ve 4,02 log kob/ml olmuştur. Keçi sütüne inoküle edilen gıda patojenleri *Brucella melitensis* tip 3, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ve metisiline dirençli *Staphylococcus aureus*'un inaktivasyonu yaklaşık %99 oranında gerçekleşmiş ve bu oran HTST ve LTLT pastörizasyon işlemleri kadar etkili olmuştur (Tavsanlı vd., 2022).

Kürleme işlemi sırasında ultrasonikasyonun salamura ve sığır etindeki *Escherichia coli* O157:H7 ve *Bacillus cereus*'un vejetatif hücre sayısı üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Salamura ve ette ultrasonikasyon gücü (2,39, 6,23, 11,32 ve 20,96 Wcm⁻²) ve 10 °C'de sonikasyon süresi (30, 60, 90 ve 120 dakika) değerlendirilmiştir. Bakteri sayımı sonuçlarına 120 dakika boyunca 20,96 Wcm⁻²'nin bakteriyel azalmalar için en uygun işlem olduğunu tespit edilmiştir. *E. coli* O157:H7, salamuraadaki *B. cereus*'a kıyasla ilk 30 dakikada ultrasonik işleme daha olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, 120 dakika süreyle sonikasyona tabi tutulduğunda her iki kültürde de yaklaşık %40'lık benzer bir azalma yüzdesine ulaşılabilir. Tuz çözeltisinde (%6) ultrases ile mikrobiyal inaktivasyonu tahmin eden eğrilerin belirgin şekli ile Weibull modelinin iyi uygunluğu (R² > 0.98; RMSE < 0.12) elde edilmiştir. Ultrases ile tuzlu suda hidrojen peroksit üretimi, kürleme işlemi sırasında ultrasesin mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerindeki etkilerini doğrulamıştır. Ultrasonikasyonun *E. coli* O157:H7 ve *B. cereus* membranının bütünlüğünü yok ederek hücre parçalanmasına neden olabileceğini göstermiştir (Kang vd., 2017).

Yapılan bir çalışmada, ultrasonikasyonun etkisiyle *E. coli* O157:H7'nin inaktivasyon mekanizması salatalık ve acı kabak sebze sularında araştırılmıştır. Sonuçlar, US uygulamasının *E. coli* O157:H7 üzerinde iyi bir antibakteriyel aktivite gösterdiğini ortaya koymuştur. İletkenlik ve β -galaktosidaz aktivitesinin belirlenmesi yoluyla, US uygulamasından sonra bakterilerin membran geçirgenliğinde önemli bir artış olduğu

teyit edilmiştir. US ile muamele edilen *E. coli* O157:H7'nin morfolojileri, hücre zarının bütünlüğünün US muamelesi ile bozulduğunu göstermiştir. SDS-PAGE ve LSCM verileri, US'nin hücre zarındaki kırılma yoluyla proteinlerin ve DNA'nın sızmasına yol açan yıkıcı etkisini kanıtlamıştır. Metabolizma ile ilgili enzim aktivitesindeki azalma, bakteriyel metabolizmanın araştırılmasıyla doğrulanmıştır. Antibakteriyel mekanizma analizi, US'nin hücre içi oksidatif stresin artmasına, enerji metabolizmasının zayıflamasına ve heksoz monofosfat yolunun inhibisyonuna neden olan serbest radikaller üretebileceğini göstermiştir. US işlemi, duyu kalite üzerinde belirgin bir etkisi olmaksızın sebze sularında *E. coli* O157:H7 hücre canlılığının yok olmasına neden olabilir (Lin vd., 2009).

Pinon ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ultrasesin tavuk etinin mikrobiyotası üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Örnekler (20 kHz ve 27,6 W/cm² ; 40 kHz ve 10,3 W/cm² ; 850 kHz ve 24,1 W/cm²) frekans ve güç ile işlem görmüştür. Mikrobiyal sayımlar ultrases uygulamasından önce, hemen sonra ve 4°C'de 7 günlük aerobik depolamanın ardından yapılmıştır. Sonuçlar, yüksek güçte ultrasesin tavuk etinde bulunan laktik asit, mezofilik ve psikrofilik bakterilerin büyümesini engellediğini göstermiştir. Sonuç olarak, yüksek güçteki ultrasesin bakterisidal etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Pinon vd., 2019).

2.2 Escherichia coli (*E. coli*)

E. coli, gram negatif, çubuk şeklinde, fakültatif anaerob, spor oluşturmeyen ve katalaz pozitif bir bakteridir. Glikozdan asit ve gaz üretir. Laboratuvar koşullarında bu bakteriyi tanımak için, triptofandan indol oluşturma, sitratı yıkımlama ve pH 4,4'ün altında asit oluşturma yeteneklerinden faydalanılır. Mezofilik bir organizma olup, optimum gelişme sıcaklığı 37 °C'dir (Balpetek, 2009).

E. coli O157:H7, ilk kez 1982 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıktı ve bu bakteri, kontamine hamburgerlerin tüketilmesiyle ilişkilendirilen besin zehirlenmelerinde izole edildi. Bu olay, gıda güvenliği önlemlerinin ve denetimlerinin artırılmasına yönelik önemli bir uyarı niteliğinde oldu (Ertaş vd., 2013).

E. coli'lerin, üriner sistem hastalıkları, meningitis, sepsis ve enterik hastalıklara sebep olduğu bilinmektedir. Diyarejenik *E. coli*, bağırsak enfeksiyonlarına yol

açabilen farklı alt gruplara ayrılır. Bu gruplar, insan sağlığına zararlı olan ve çeşitli patojenik özelliklere sahip olan *E. coli* türlerini temsil eder. Bu gruplar arasında enteropatojenik *E. coli* (EPEC), enterotoksijenik *E. coli* (ETEC), enteroinvazif *E. coli* (EIEC), enterohemorajik *E. coli* (EHEC), diffüz-adhering *E. coli* (DAEC) ve enteroagregatif *E. coli* (EAggEC) bulunmaktadır. Her bir alt grup, belirli enfeksiyon belirtileri ve patojenik mekanizmalarla ilişkilendirilmiştir. Bu sınıflandırma, tıbbi tanı ve tedavi süreçlerinde önemli bir rol oynar, çünkü farklı *E. coli* türleri farklı hastalıklara neden olabilir ve tedavileri farklılık gösterebilir. Shiga benzeri toksin salgılayan *E. coli*, özellikle O157:H7 serotipi, önde gelen bir gıda patojeni olarak görülmektedir.. Bu bakteri suşu, Shiga benzeri toksinler üretebilir ve bu toksinler bağırsak hücrelerinde ciddi hasara neden olabilir, hatta bazen kanlı ishale (hemorajik kolit) ve daha ciddi bir durum olan hemolitik üremik sendrom (HÜS) gibi komplikasyonlara yol açabilir (Ertaş vd., 2013).

2.2.1 Et ve et ürünlerinde *E. coli*

E. coli O157:H7, çiğ veya yeterince pişmemiş hayvansal gıdaların ve hayvan dışkıları ile kontamine olan besinlerin tüketilmesi yoluyla bulaşabilir. Bu bakterinin bulaşmasında en yaygın rezervuar sığırlardır. Ancak, domuz ve kanatlı etleri de bu organizma için bir rezervuar olabilir. Bununla birlikte, sığır dışkısı ile kontamine içme suları ve bitkisel ürünlerin tüketilmesi de salgınlarda önemli bir rol oynayabilir (Ertaş vd., 2013).

E. coli O157:H7'nin kaynağı konusunda farklı görüşler olsa da, sığırların özellikle etkin bir rol oynadığı bilinmektedir. Bu bakteri, özellikle süt inekleri ve diğer sığırlar arasında yaygın olarak bulunur. Sığırların kaslarında doğrudan *E. coli* O157:H7 bulunmaz, ancak enfekte olmuş bir sığırın dışkısıyla veya bağırsak temasıyla kontamine olan ette bulaşma riski mevcuttur. Bu nedenle, etin işleme ve hijyen süreçleri sırasında sığırların dışkılarından veya bağırsak içeriğinden bulaşma riski dikkate alınmalıdır (Nalan, 2021).

Tokat'ta satışa sunulan tavuk etlerinin mikrobiyolojik kalitesini değerlendirmek amacıyla, çeşitli kaynaklardan örnekler toplanmıştır. Kasap, market ve bakkallardan temin edilen 25'er adet tavuk göğsü ve but örneği detaylı bir mikrobiyolojik incelemeye tabi tutulmuştur. Analiz sonuçlarına göre, incelenen tavuk göğsü

örneklerinin %84'ünde *E. coli* biyotip 1, %8'inde *E. coli* biyotip 2 ve %24'ünde *E. coli* O157 tespit edilmiştir. Aynı şekilde, tavuk butu örneklerinde de %96 oranında *E. coli* biyotip 1, %8 oranında *E. coli* biyotip 2 ve %24 oranında *E. coli* O157 bulunmuştur. Bu sonuçlar göre, tavuk göğsü ve butlarının yüksek mikrobiyal yüke sahip olduğunu ve birçok gıda kaynaklı patojen bakteriyi içerdiğini göstermektedir. Bu durum, halk sağlığını riske atan bir tablonun ortaya çıkmasına neden olmuştur (Yıldırım vd., 2015).

Et ve et ürünlerinin hijyenik koşullara uyulmadan hazırlanması ve tüketime sunulması, ciddi insan sağlığı sorunlarına ve ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu nedenle, et üretimi proses basamaklarında gerekli hijyen ve sanitasyon şartların sağlanması hayati öneme sahiptir. Hijyen standartlarına uygun ekipman kullanılmalı, personel eğitimi sağlanmalı ve uygun temizlik ve sanitasyon prosedürleri uygulanmalıdır. Ayrıca, et ürünlerinin uygun sıcaklıkta muhafaza edilmesi, mikroorganizmaların çoğalmasını engeller ve ürünlerin güvenliğini sağlar. Bu önlemler, hem tüketicilerin sağlığını korumak hem de işletmelerin itibarını korumak için kritik öneme sahiptir. Hijyenik koşullara uyulmadan hazırlanan ve sunulan et ürünleri, ciddi sağlık sorunlarına ve işletmeler için ekonomik kayıplara neden olabilir, bu nedenle gıda işletmeleri hijyenik standartlara titizlikle uymalı ve sürekli olarak bu standartları gözden geçirmelidir (Başkaya vd., 2004).

Samsun'da modifiye atmosferde paketlenme (MAP) yöntemiyle paketlenen 100 adet gıda (50 adet sığır kıyması, 50 adet sığır eti), *E. coli* suşları (O157 ve O157:H7) açısından incelenmiştir. İncelenen ürünler arasında özellikle kıyma ürünlerinden birinde O157:H7 patojeni tespit edilmiştir. Araştırma, üretim aşamasındaki hijyenik koşulların yetersizliğinden kaynaklanabilecek ürün kontaminasyonunu işaret etmektedir. Bu durum, gıda endüstrisinde hijyen standartlarının gözden geçirilmesi ve güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Çadırcı vd., 2017).

Erzurum'da çeşitli satış noktalarından temin edilen kıyma örneklerinde (toplamda 100 adet), insan sağlığını ciddi şekilde etkileyebilecek bir dizi patojen mikroorganizma analiz edilmiş ve tanımlanmıştır. Uygulanan analizler neticesinde, şarküteriden temin edilen örneklerde *E. coli* O157:H7 tespit edilmemişken, market ve kasaptan temin edilen örneklerde sırasıyla 2 ve 1 adet *E. coli* O157:H7 bulunmuştur. Bu bulgular, mikrobiyal açıdan güvenli ürün temininin önemini

vurgularken, çiğ ürünlerin yeterli şekilde pişirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu önlemler, tüketicilerin sağlığını korumak ve gıda güvenliğini sağlamak için gereklidir (Atasever 2015).

2.3 Karvakrol

Karvakrol (5-izopropil-2-metilfenol) monoterpenoid bir alkol olup, kaynama noktası 236-237 °C ve yoğunluğu 20 °C'de 0,976 g/mL olan bir sıvıdır. Suda çözünmez ancak etanol, aseton ve dietil eterde çözünür (Maçzka vd., 2023). Kekik esansiyel yağının büyük çoğunluğu karvakrolden oluşmaktadır. Kekik *Lamiaceae* familyasına aittir bir bitkidir. Kekik eski zamanlardan beri geleneksel olarak gıdalarda aroma verici olarak kullanılmıştır. Son zamanlarda gıda koruyucusu olarak kullanılmaktadır (Salehia vd., 2019). Aşağıdaki tabloda bazı bitkilerin karvakrol oranı verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı bitkilerin esansiyel yağlarında bulunan karvakrol oranları (Vincenzia vd., 2004).

Latince İsmi	Türkçe İsmi	Karvakrol (%)
<i>T. capitatus</i>	Acıkekik	12,7-74,4
<i>T. vulgaris</i>	Bahçe Kekiği	9-60
<i>T. serpyllum</i>	Yabani Kekik	12-36,9
<i>T. zygis</i>	Tıbbi Kekik	4,8-25
<i>S. mortensis</i>	Mercimek Otu	1,2-44
<i>S. montana</i>	Geyik otu	30-40
<i>O. dictamnus</i>	Girit Kekiği	58,8-82,3
<i>O. majorana</i>	Mercanköşk	48,7

2.3.1 Mikroorganizmalara etkisi

Bakteriyel hücre membranları antibiyotiklerin ve kimyasal fungusitlerin nüfuz etmesine karşı bariyerler oluşturur ve vücudun bağışıklık sisteminin fagositozunu önler (Zhang vd., 2018). Yapılan çalışmalar, sitoplazmik membranın bozulmasının, karvakrolün antibakteriyel aktivitesi için önemli bir mekanizma olduğunu ve hücre membranlarının akışkanlığını, bütünlüğünü ve işlevselliğini ciddi şekilde etkilediğini öne sürmüştür (Hammer ve Heel, 2012; Vasconcelos vd., 2017).

Karvakrolün gram-pozitif bakteriler üzerinde gram-negatif bakterilerden daha güçlü bir antibakteriyel etkiye sahip olduğu öne sürülmüştür, bunun nedeni muhtemelen hücre zarındaki hidrofilik lipopolisakkarit bakımından daha sonra zengin olmasıdır (Zhang vd., 2018).

Karvakrol bakterilerin sitoplazmasına girdiğinde, karvakrolün hidroksil oksijeni üzerindeki delokalize yalnız elektron çifti, benzen halkası ile bir p- π konjugatı oluşturarak fenolik hidroksil grubu üzerindeki protonun bakteriyel sitoplazmaya salınmasını teşvik edebilir ve böylece bakteriyel sitoplazmanın asitliğini artırabilir. Normal sitoplazmik pH genellikle nötre yakındır. Hücre içinde uygun pH'ı korumak için, bakteriler ATP tüketimi ile birlikte aşırı protonu hücre dışına taşımak zorunda kalırlar ve sonunda hücre içi ATP havuzunu tüketerek hücre ölümüne yol açarlar (Zhang vd., 2018).

E. coli'ye karşı antibakteriyel etkinliklerini belirlemek amacıyla öjenol, sinnamaldehit, timol, karvakrol ve bu bileşiklerin çeşitli kombinasyonları ayrı ayrı incelenmiştir. İlk olarak, 4 bileşenin minimal inhibitör konsantrasyonunu belirlemek için broth makro-dilüsyon deneyi kullanılmıştır. İkinci olarak, kombinasyon testi chequerboard yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, kombine etkiler, fraksiyonel inhibitör konsantrasyon ve kombinasyonun etkisi indekslerine birlikte dayanan geliştirilmiş bir yöntemle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, 4 bileşenin MİK değerlerinin sırasıyla 1600, 400, 400 ve 400 ppm olduğunu; sinnamaldehit/öjenol, timol/öjenol, karvakrol/öjenol ve timol/karvakrol ile yapılan muamelelerin 2 indekse göre sinerjik etkiler ortaya koyduğunu göstermiştir. Kombinasyon sayesinde öjenol, sinnamaldehit, timol ve karvakrolün MİK değerleri sırasıyla 400, 100, 100 ve 100 ppm'e düşmüştür. Sonuç olarak, bu 4 bileşenin hoş olmayan kokusunun olumsuz etkileri en aza indirilebilmiş ve gıdalara koruyucu olarak eklenmeleri mümkün hale gelmiştir (Pei vd., 2009).

Karvakrol ve nisin'in kullanımı ile ısıtılma işleminin *L. monocytogenes*'in büyümesi üzerindeki kombine etkisini ve gıda koruyucusu olarak potansiyel kullanımlarını değerlendirilmiştir. Karvakrol doza bağlı bir inhibitör etki gösterirken, nişin etki göstermemiştir, *L. monocytogenes*'in büyüme hızını %20'ye kadar azaltmış ve test edilen konsantrasyonların herhangi birinde (0,13-0,39 μ M) gecikme süresini yaklaşık %25 artırmıştır. Her iki antimikrobiyal kombine edildiğinde sinerjik bir etki gözlenmiştir. Bu etki, test edilen en düşük konsantrasyonda bile en az 15 gün boyunca üremenin gözlenmediği 55 °C'de 15 dakikalık ısıtılma işlemleriyle birleştirildiklerinde daha da artmıştır. Bu etki hem triptik soya suyunda hem de havuç suyunda görülmüştür (Esteban vd., 2011).

2.3.2 Gıdalarda koruyucu olarak kullanımı

Karvakrolün FDA tarafından gıdalarda kullanımı onaylanmıştır ve Avrupa Konseyi tarafından, içeceklerde 2 ppm, katı gıdalarda 5 ppm ve şekerlemede 25 ppm düzeyinde gıda maddelerine eklenebilen B kategorisi kimyasal tatlandırıcılar listesine dahil edilmiştir (Vincenzia vd., 2004).

Limon çeşitlerinde karvakrol, öjenol ve timolün üç farklı konsantrasyonu (100, 500 ve 1000 µL/mL) ayrı ayrı ve kombinasyon halinde uygulanmıştır. Mantar insidansı (esas olarak *Penicillium digitatum* ve *P. italicum*) 35 gün boyunca haftalık olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, limonların ana farklı kalite parametreleri (ağırlık kaybı, sertlik, renk, toplam çözünür katı madde, titre edilebilir asitlik ve toplam fenolik içerik) hasatta ve 35 günlük soğuk depolamadan sonra değerlendirilmiştir. Sonuçlar, en düşük konsantrasyondaki (100 µL/L) karvakrolün, depolama sırasında limon kalite parametreleri üzerinde negatif olmayan bir etkiyle en düşük mantar insidansını sağladığını, en yüksek konsantrasyonların ve uçucu yağların kombinasyonunun ise ters etkiye neden olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, hasat öncesi 100 µL/L'de uygulanan karvakrol, limon çürümelerini kontrol etmek için mevcut fungusitlere çevre dostu bir alternatif olabilirken, optimum kalitelerini de koruyabilir (Gutiérrez-Pozo vd., 2023).

Karvakrol ve monokaprinin tavuk göğsü eti muhafazasında *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella Typhimurium* karşı etkileri değerlendirilmiştir. Karvakrolün dış membran geçirgenliğini hızla artırarak monokaprinin her iki patojenin hücrelerine girmesine ve plazma membranına zarar vermesine izin verdiğini ve monokaprinin karvakrolün reaktif oksijen türleri biriktirme etkisini artırarak hücre ölümüne neden olduğunu göstermiştir. Monokaprin ve karvakrol ayrıca 4 °C'de depolama sırasında tavuk göğsü etinde *S. Typhimurium*'un ve *E. coli* O157:H7 büyümesini geciktirmede sinerjik etki göstermiştir. Ayrıca, görünüm, koku, sıklık ve genel kabul dahil olmak üzere duyuşal değerlendirme sonuçları, kombine işlemin tavuk göğsü etinin duyuşal özelliklerinde bozulmayı azalttığını göstermiştir (Ma vd., 2022).

Mikrobiyolojik riskleri azaltmak için soya sosu ile doğal bileşikler karvakrol ve timol arasındaki sinerjik etkiden yararlanılarak sığır eti ürünleri için etkili bir bakterisit soğuk marine etme yöntemi uygulanmıştır. *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria*

monocytogenes ve *Salmonella Typhimurium* (3,1–3,5 log CFU/g) ile inoküle edilmiş sığır dilimleri, karvakrol ve timol (% 0,3 ve 0,5) içeren veya içermeyen bir teriyaki sosunda marine edilmiştir. 4 ° C'de 1, 3 ve 7 gün sonra, marine edilmiş sığır etinin yerli mikroflora popülasyonu, rengi, lipid oksidasyonu, pH'ı incelenmiştir. Tek başına teriyaki sosu, hedef patojenlerin veya yerli bakterilerin hiçbirini azaltmadı veya inhibe etmedi, % 0,5 karvakrol veya timol içeren teriyaki sosu ise 7 gün içinde gelişmeden tüm inoküle edilen bakterileri etkisiz hale getirmiştir. Uygulanan işlem, yerli aerobik bakterilerin ve inaktive edilmiş koliform bakterilerin büyümesini inhibe etmiştir. Fizikokimyasal parametreler anlamlı olarak etkilenmemiştir (Moon vd., 2017).

Karvakrol ve timol aerobik veya vakumlu ambalaj altında depolanan marine edilmiş sığır etini korumak için %0,4 ve %0,8 (w/w) oranlarında eklenmiştir. Mikrobiyolojik ve duyuşal (koku) parametreler 4 °C'de 21 gün boyunca değerlendirilmiştir. Daha yüksek EO konsantrasyonuna sahip uygulamalar, daha düşük olanlardan daha yüksek antimikrobiyal aktivite elde etmiş ve mezofilik toplam canlı sayısını (TVC), laktik asit bakterilerini (LAB), *Brochothrix thermosphacta*, *Pseudomonas spp.*, toplam koliformları, *Escherichia coli*, mayaları ve küfleri önemli ölçüde azaltmıştır. Daha yüksek EO konsantrasyonu mikrobiyolojik raf ömrünü TVC'ye göre ve kontrollere (aerobik ve vakumlu paketlenme) kıyasla 6 gün uzatmış ancak duyuşal olarak kabul edilemez olmuştur. Daha düşük EO konsantrasyonu, aerobik ve vakum koşulları altında mikrobiyolojik raf ömrünü 3 gün, duyuşal raf ömrünü ise sırasıyla 9 ve > 12 gün artırmıştır (Karam vd., 2020).

2.4 Ultrasonikasyon ve antimikrobiyalların birlikte uygulanması

Silindirik bir ultrasonikasyon sisteminde *Escherichia coli* O157:H7'nin inaktivasyonu üzerinde ultrasonikasyon ve antimikrobiyal peptid çekropin P1'in antimikrobiyal etkisinin sinerjik etkisi araştırılmıştır. *E. coli*'nin pH 7,4'te inaktivasyonu ultrasonikasyon (14, 22 ve 47 kHz), çekropin P1 (20 µg/mL) ve her ikisinin kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek tek uygulamalara (sadece ultrases veya çekropin P1) kıyasla, 22 kHz, 8W'de 15 dakika maruz kalma ve daha yüksek frekansta ultrases (47 kHz, 8 W) ve bir dakika maruz kalma için çekropin P1 kombinasyonunun daha etkili olduğunu ve hücre yoğunluğunu altı büyüklük mertebesinde azalttığı tespit edilmiştir. Boya sızıntısı çalışmaları ve

transmisyon elektron mikroskopisi bu sonuçları daha da doğrulamıştır. Sinerjinin daha yüksek ultrasonikasyon frekanslarında ve güç seviyelerinde daha fazla olduğu gösterilmiştir. Ultrasonik işleme akustik kavitasyon, hücre membranlarında gözenek oluşturma yeteneklerini artırarak antimikrobiyal peptidler cecropin P1 ile mikrobiyal deaktivasyonu büyük ölçüde artırabilir. Ultrasonikasyon ve antimikrobiyal peptid sistemi, gıda güvenliği uygulamaları için enerji tasarruflu ve ekonomik bir sterilizasyon yöntemi olabileceği vurgulanmıştır (Fitriyanti vd., 2023).

Uçucu yağ nanoemülsiyonlarının, tek başına uçucu yağa veya kaba emülsiyona kıyasla daha güçlü antimikrobiyal etkilere sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada *Escherichia coli* O157:H7'ye karşı TEON uygulamalarıyla birlikte ultrasoundun bakterisidal etkileri araştırılmıştır. US (20 kHz, 255 W/cm², 9 dakika) ve TEON (0,375 mg/mL) uygulamalarının 22 °C'deki sinerjik etkileri *E. coli* O157:H7 popülasyonlarını $7,42 \pm 0,27$ log CFU/mL azaltmıştır. Farklı işlemlere maruz kalan hücrelerin morfolojik değişimleri taramalı elektron mikroskobu ve transmisyon elektron mikroskobu ile gözlemlenmiştir. Sonuçlar, ultrases ve TEON uygulamalarının sinerjik etkilerinin bakteri hücrelerinin morfolojisini ve iç mikro yapısını değiştirdiğini göstermiştir. Lazer taramalı konfokal mikroskopi görüntüleri, ultrases ve TEON kombinasyon işlemlerinin hücre membranlarının geçirgenliğini değiştirdiğini ve bunun *E. coli* O157:H7 hücrelerinin bütünlüğünü etkilediğini ortaya koymuştur (Guo vd., 2020).

Ultrases ve nisin/karvakrolün, *Bacillus subtilis*'in laboratuvar ortamında ve sütte spor çimlenmesi, büyümesi ve vejetatif hücre büyümesi üzerindeki sinerjik inhibitör etkileri değerlendirilmiştir. Ultrases ön muamelesi (3,33 W/mL, 15 dakika) ve nisin/karvakrol (%0,01, %0,02) sinerjik olarak laboratuvar ortamında spor çimlenmesini, büyümesini ve sporların vejetatif büyümesini inhibe etmiştir. Akış sitometrisi analizi, nisin/karvakrol ile kombine edilmiş ultrases ön işlemlili sporların çimlenme kapasitelerinin (sırasıyla %67,3 ve %30,5) işlem görmemiş sporlarından (%95,1) daha düşük olduğunu göstermiştir. Ultrases ve karvakrol kombine uygulamasının laboratuvar ortamında ve sütte *B. subtilis*'in sporlarını ve vejetatif hücrelerini depolama sırasında kontrol etmek için etkili bir strateji olduğunu ortaya koymuştur (Fana vd., 2019).

Ultrases ve kekik esansiyel yağı nanoemülsiyonlarının hem tek başına hem de kombinasyon halinde *S. aureus*'a karşı inaktivasyon aktivitesini incelenmiştir. US (3,33 W/mL) ve TEON uygulamasının 3 dakika süreyle eş zamanlı olarak uygulanması önemli sinerjik etki göstermiş ve *S. aureus*'un bakteri yükünü 3,21 log kob/mL azaltmıştır. Ultrasonun hücre morfolojisinde fiziksel hasara yol açarak TEON'un bakteriye girişini kolaylaştırabileceğini göstermiştir. Hücresel membranı etkili bir şekilde geçirgen hale getirmiştir, bu da muhtemelen sitoplazmik inklüzyonların kitlesel çıkışına katkıda bulunabilir. Anormal iyon akışlarıyla birlikte hücre membranının büyük ölçüde depolarizasyonuna yol açmıştır. Yağ asitleri, fosfolipitler, proteinler ve benzerleri dahil olmak üzere membran bileşimlerinin modifikasyonu üzerinde etkili olmuştur (He vd., 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Kullanılan mikroorganizmalar

Bu araştırmada, Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne ait Gıda Biyoteknoloji Laboratuvarı'nın kültür koleksiyonundaki *E. coli* ATCC 25922 suşu kullanılmıştır.

3.1.2 Kullanılan besiyerleri ve çözeltiler

Araştırmada *E. coli* ATCC 25922 mikroorganizmasının canlandırılması, kültür eldesi ve model gıda hazırlamak için Tryptic Soy Broth (TSB) (Merck, Germany) ve mikroorganizmaların sayılması için Plate Count Agar (PCA) (Merck, Germany) besiyerleri kullanılmıştır. Bakteri dilüsyonları peptonlu su ile yapılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 *E. coli* ATCC 25922 mikroorganizmasının aktifleştirilmesi

Gliserol içinde dondurucuda saklanan *E. coli* ATCC 25922 suşu stok kültüründen 100 µl alınarak Tryptic Soy Broth (TSB) (10 ml) besiyerine inoküle edilmiştir ve 37 °C'de 24 saat inkübatörde bırakılarak aktifleştirilmiştir. İnkübasyon işlemi sonrasında, bu tüplerden Plate Count Agar (PCA) besiyerine sürme yapılarak tek koloni elde edilmiştir. Analiz öncesinde, tek koloniden alınan örnekler TSB (50 ml) içerisinde çoğaltılmıştır.

3.2.2 Model gıda

Proteinin gıdada fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılması sırasında yapılacak müteakip işlemler, sistemde, özellikle de diğer etkileşimli bileşenlerin varlığında meydana gelen değişiklikleri de beraberinde getirecektir. Gıdanın özelliklerindeki bu tür değişiklikler genellikle tahmin edilemez; bu nedenle, ürün geliştirmede bir ara adım olarak model gıda sistemlerinin kullanılmasına ihtiyaç vardır (Owusu-Apenten 2004).

Model gıda sistemlerinin kullanımının standart işlevsellik testlerine göre avantajlarının şunları içerdiğini belirtilmiştir: (a) kullanım kolaylıkları, (b) özel ekipman ve metodolojilere ihtiyaç duyulmaması, (c) ürün optimizasyonuna yardımcı olma yeteneği ve (d) birden fazla ürün için test etme yeteneği. Formülasyon ve işleme ile ilgili faktörler ve etkileşimler (Owusu-Apenten 2004).

Model gıda sistemleri, aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli şekillerde kullanılabilir:

- Bileşenlerin ana etkilerinin göreceli öneminin belirlenmesi.
- Gıdalardaki kimyasal ve fiziksel değişiklikleri etkileyen faktörlerin incelenmesi (Maillard reaksiyon, lipid oksidasyonu, vb.).
- Gıdanın formülasyon ve işlemedeki değişikliklere karşı hassasiyetinin değerlendirilmesi.
- Bileşen etkileşimlerinin tanımlanması.
- Formülasyonun kullanılabilirliğini optimize edilmesi.
- Ürünün işlenmesindeki kritik adımların belirlenmesi.
- Bileşenler ve süreç arasındaki karşılıklı ilişkilerin belirlenmesi.
- Belirli bir gıda uygulaması için bileşenleri özel olarak üretmenin bir yolu olarak.
- Ürün özelliklerinin formülasyona ve sürece olan duyarlılığının değerlendirilmesi ve en aza indirilmesi (Harper 2008).

Çalışmada kullanılan model gıdada protein kaynağı olarak et ekstkratı (Beef Extract, Condalab, Laboratorios Canda S.A, Spain), yağ kaynağı olarak ise ticari olarak satışı bulunan ayçiçek yağı (Sole, Reka Bitkisel Yağlar, Tekirdağ) kullanılmıştır. Araştırmada %98 saflıkta karvakrol (Sigma Aldrich, USA) antimikrobiyal ajan olarak kullanılmıştır.

Et model gıda TSB içerisinde toplamda %20 oranında yağ ve protein içerecek şekilde tasarlanmıştır. TSB ve protein saf su ile çözülmüş, üzerine yağ eklenmiş ve tüm çözelti otoklavda steril edilmiştir. Steril örnekler 30 ml olacak şekilde 50 ml lik steril cam beherlere aseptik koşullarda bölünmüş ve parafilm ile kapatılmıştır. Antimikrobiyal içermeyen örnekler 5 dakika boyunca kesintisiz olarak probu alkolle steril edilen Bandelin Sonopuls marka HD 2200 model (200 W/20 kHz)

ultrasonikasyon cihazında % 90 amplitüdle, buz banyosu içerisinde homojenize edilmiştir. Antimikrobiyal içeren örnekler için model gıda 3 dakika homojenize edildikten sonra üzerlerine antimikrobiyaller eklenerek iki dakika daha homojenize edilmiştir.

3.2.3 Deney tasarımı

Deney, toplam 3 grup yağ ve protein kombinasyonu (Grup A, Grup B, Grup C), 0 ppm de dahil olmak üzere 4 antimikrobiyal dozu olacak şekilde planlanmıştır (Çizelge 3.1). Dozlar, Pamuk, 2022 tarafından belirlenen karvakrolün *E. coli* ATCC 25922'ye karşı belirlenen minimum inhibasyon konsantrasyonu (MİK), 300 ppm, temel alınarak bu değerin 2, 3 ve 4 katı olacak şekilde belirlenmiştir. Toplamda tüm örneklerle 22 dakika sonikasyon uygulanmış ve belirli aralıklarla bakteri sayımı için örnek alınmıştır. Tüm deneyler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney tasarımı.

Gruplar	Protein (%)	Yağ (%)	Karvakrol (ppm)
Grup A	15	5	0
			600
			900
			1200
Grup B	10	10	0
			600
			900
			1200
Grup C	5	15	0
			600
			900
			1200

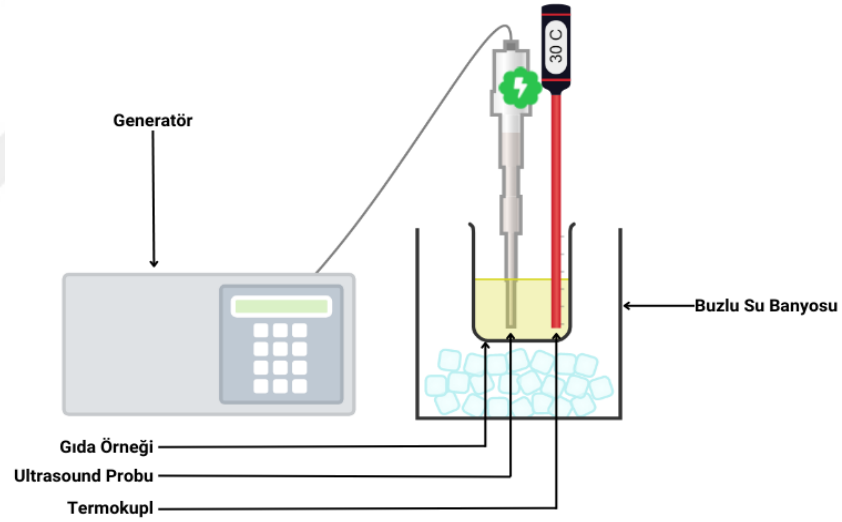
3.2.3 Sonikasyon işlemi

Hazırlanan örneklerin üzerine ilk yük $\sim 10^7$ kob/ml olacak şekilde *E. coli* ATCC 25922 bakteri kültürü eklenmiştir. İnaktivasyon için ultrasonikatörün prob ucu her zaman model gıdanın yüzeyinin 1,5 cm altına yerleştirilerek, %90 amplitüd ve 0,5 sn lik çalışma-durma döngüsü (Cycle: 5) ile çalıştırılmıştır (Şekil 3.1). Beher buzlu su banyosuna konulmuş ve işlem boyunca sıcaklık (30 ± 2 °C) sabit tutulmuştur. Gıda örneğinin sıcaklığı, model gıdanın içine yerleştirilen bir termometre ile

izlenmiştir (Şekil 3.2). Sonikasyon işlemi süresince 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22. dakikalarda örnekler alınmış, ekim yapılmıştır.



Şekil 3.1. Ultrasonikasyon cihazı.



Şekil 3.2. Deney ekipmanlarının kurulum diyagramı.

3.2.4 Bakteri sayımı

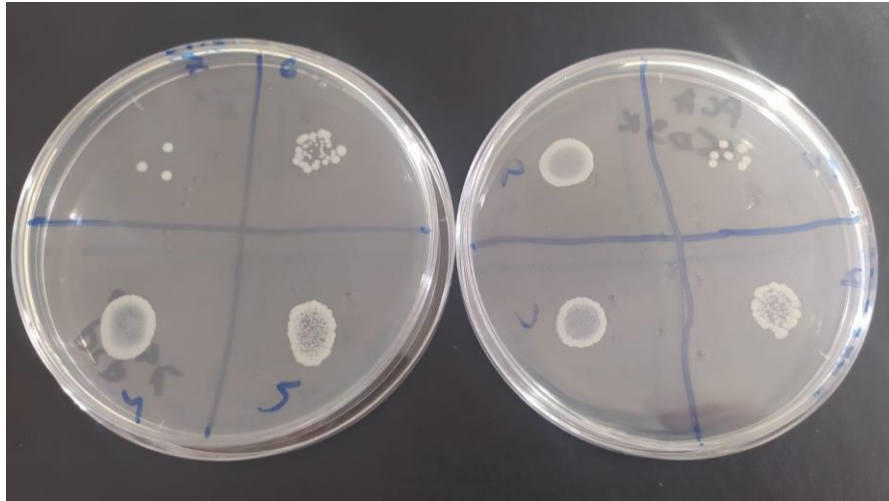
Miles ve Misra yöntemi, standart dökme-plak yöntemine göre çok daha küçük hacimlerde çalışır. Küçük hacimler, daha az pipetleme hatası ve örnekleme varyansı ile sonuçlanabilir. Miles ve Misra yöntemi, daha az besiyeri ve malzeme gerektirir, bu da laboratuvar çalışmalarında pratik avantajlar sağlar. Miles ve Misra yöntemi genellikle daha hızlıdır çünkü daha az hazırlık ve işleme süresi gerektirir.

Laboratuvar alışmaları için hız ve maliyet önemli kriterler olduğunda, genellikle daha avantajlı olabilir (Hedges, 2002)

Miles ve Misra yönteminin uygulanması için istatistiksel nedenlerden dolayı ortalama en az 3 sayıma ihtiyaç vardır. Petrilerin 20μl'lik damlanın 15-20 dakika içinde emilmesine yetecek kadar kuru olması gerekir. Petriler ¼ bölünerek 4 farklı bölüme ayrılır, her bölmede agarın yüzeyine 2.5 cm'lik bir yükseklikten 20 μl seyreltme damlatılır ve kuruması için 15-20 dk bekletilir. Kuruma bittikten sonra inkübasyona bırakılır. Inkübasyon süresi bittikten sonra 2-20 arası koloni gelişen bölümlerin sayımı yapılır ve formüle göre hesaplama yapılır (Formül 3.1) (Miles vd., 1938).

Koloni sayımı yapılması için sonikasyon boyunca 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 22 dakikalada 0,1 ml örnekler alınmış 0,9 ml peptonlu su içerisinde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Damla plak (Miles and Misra method) yöntemi ile 3 paralelli olacak şekilde PCA besiyerine koloni sayımı için ekim yapılmıştır. Petriler 37 C'de 18-24 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Örneklerde canlı bakteri sayısı koloni sayımıyla belirlenmiştir (şekil 3.3).

$$\frac{KOB}{ml} = \frac{\text{ortalama koloni sayısı} * \text{dilüsyon faktörü}}{0,02 ml} \quad (3.1)$$



şekil 3.3. Bakteri koloni sayımı.

3.2.5 İnaktivasyon Kinetiği

Zamana karşı alınan canlı bakteri sayıları birinci derece inaktivasyon kinetiği modeli (logaritmik lineer model) (Formül 3.2) ile değerlendirilmiş ve her örnek için D değerleri lineer regresyon ile hesaplanmıştır. Modelin uygunluğu R² değerlerine bakılarak test edilmiştir.

$$\log \left(\frac{N}{N_0} \right) = -\frac{t}{D} \quad (3.2)$$

N₀: Başlangıç mikrobiyal yük, kob/ml

N: t anındaki mikrobiyal yük, kob/ml

t: zaman, dakika

D: Desimal azalma süresi, dakika (Mazzola vd., 2003).

3.2.6 İstatistiksel analiz

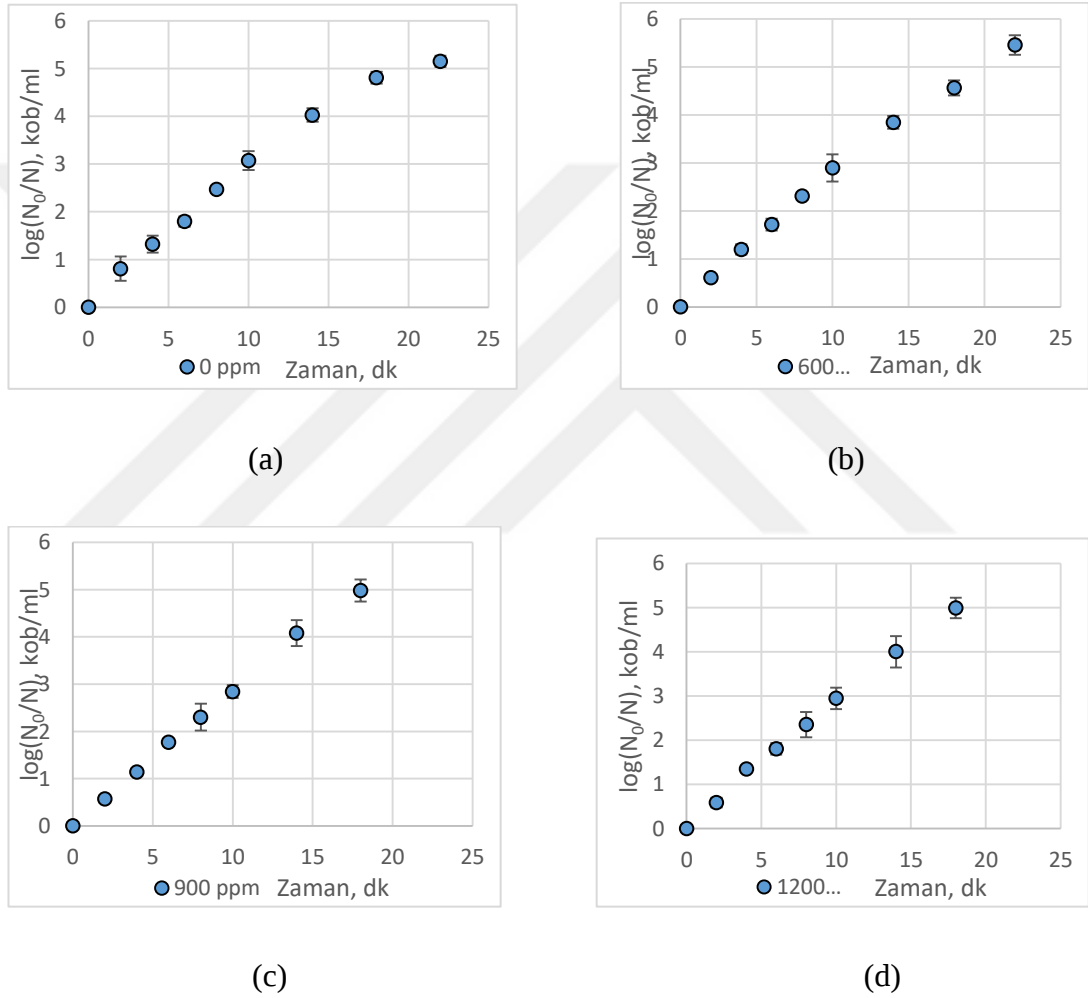
Model gıda formülasyonu ve antimikrobiyalın *E. coli* ATCC 25922'nin sonikasyonla inaktivasyonuna etkilerinin olup olmadığını belirlemek için univariate analiz yapılmış ve ANOVA tablosu elde edilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi ile de örnek grupları ve antimikrobiyal dozları gruplandırmaya tabi tutulmuştur. Tüm analizler SPSS paket programında (SPSS Version 26) gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, TSB içerisinde farklı protein ve yağ içeriğinden oluşan model gıdada *E. coli* ATCC 25922'nin inaktivasyonu, ultrasonikasyon kullanılarak ve antimikrobiyal olarak karvakrolün farklı dozlarıyla sonikasyon işlemi kombine edilerek incelenmiştir. Sonikasyon işlemi karvakrol içermeyen ve içeren tüm örneklerle ön işlemlerle karar verilen işlem sürelerinde uygulanmış ve belirli zaman aralıklarında örnekler alınıp koloni sayımı yapılmıştır. Literatüre göre ultrasonikasyonda kullanılan sonikatör cihazının güç, pulse ayarları, amplitüdü, probun çapı gibi farklılıklardan dolayı sonikasyon süresinde kesin bir zaman aralığının olmadığı görülmektedir (Kang vd., 2017; Tahi vd., 2021; Meenu vd., 2020). Toplam işlem süresine ön denemelerle karar verilmiştir. Yapılan ön denemelerde TSB içerisinde antimikrobiyal olmadan *E. coli* ATCC25922'de 5 log azalma sağlamak için gereken süre 12 dakika, %10 protein-%10 yağ içeren model gıdada 20 dakika, 300 ppm karvakrol içeren %10 protein-%10 yağ içeren örnekte 20 dakika, ve 600 ppm karvakrol içeren %10 protein-%10 yağ içeren örnekte 18,5 dakika olarak bulunmuş ve yüksek protein içeren (%15) model gıda içerisinde antimikrobiyal olmadan ~5log azalma 22. dakikada gerçekleşmiştir. Bu çalışmalarda en uzun inaktivasyon süresi 22 dakika olarak tespit edildiği için deney planında sonikasyonun 22 dakika boyunca yapılmasına karar kılınmıştır. Aynı zamanda MİK değeri olarak belirlenmiş olan 300 ppm karvakrolün (Pamuk, 2022) sonikasyon işleminin etki süresini kısaltmadığı ancak 600 ppm karvakrol eklenmesiyle işlem süresinde kısalma yaşandığı tespit edildiğinden, eklenecek antimikrobiyal dozlarının MİK değerinin 2,3 ve 4. katları şeklinde olmasına karar verilmiştir. Sonikasyon uygulanan 22 dakika boyunca, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18 ve 22. dakikalarda örnekler alınıp koloni sayımı yapılmıştır. Logaritmik azalma değerleri kullanılarak inaktivasyon eğrileri çizilmiş, kinetiği incelenmiş ve D değerleri belirlenmiştir. Her örnek grubu ve antimikrobiyal dozu için belirlenen D değerlerine varyans analizi yapılmış ve ANOVA tablosu elde edilmiş, model gıda formülasyonunun (protein/yağ oranının) ve antimikrobiyal dozunun etkisinin önemli olup olmadığına karar verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak etkileri tartışılmıştır.

4.1 İnaktivasyon eğrisi

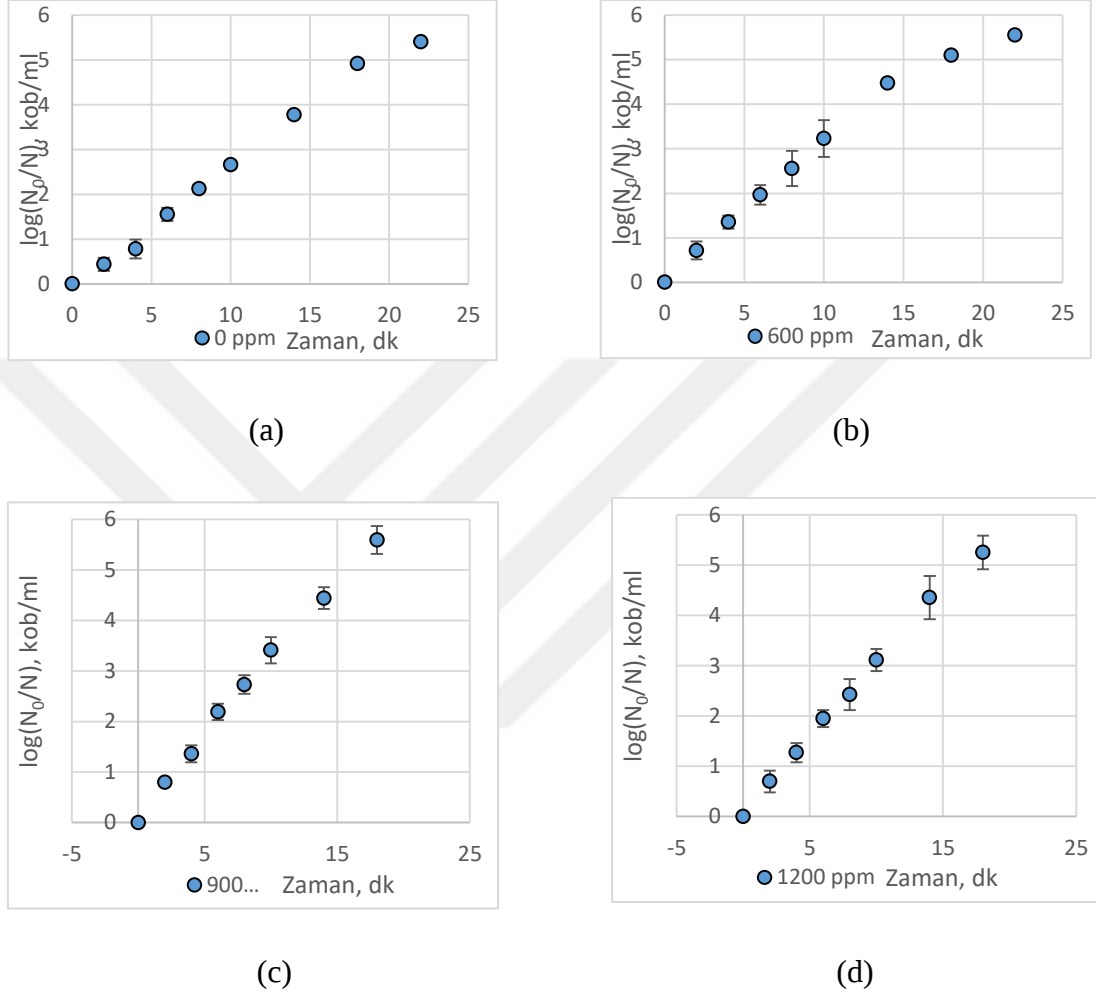
FDA'nın hedef mikroorganizmada 5 log azalma kriteri birçok araştırmacı tarafından kabul görmüş ve ortaya çıkan gıda muhafaza teknikleri bu hedefe yaklaşmak için tasarlanmış ve test edilmiştir. Bu bağlamda et model gıda örneklerinde *E. coli* ATCC 25922'in sonikasyon ve sonikasyon/antimikrobiyal kombinasyonlarında zamana karşı log azalma ($\log N_0 - \log N$ ya da $\log(N_0/N)$) verileri değerlendirilmiş ve tüm örnekler için inaktivasyon eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3).



Şekil 4.1. Grup A (protein/yağ=3) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.

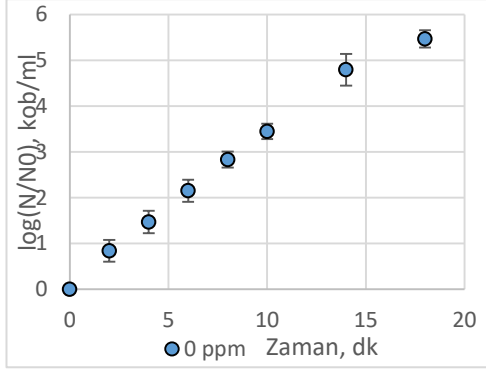
Protein/yağ oranı en yüksek olan (3) grup A örneklerine bakıldığında (Şekil 4.1) antimikrobiyal kullanılmayan örnekte 22 dk sonra $5,15 \pm 0,12$ log azalma olmuş, 600 ppm karvakrol kullanılan örnekte 22 dk sonra $5,45 \pm 0,20$ log azalma olmuştur. Ancak 900 ppm ve 1200 ppm antimikrobiyal içeren ve ilk yükleri ~ 7 log olan örneklerde 22 dakika sonunda bakteri sayısı belirlenebilir limitler dışında kalmıştır. Yüksek

karvakrol içeren bu örneklerde 5 log azalma hedefine 18 dakikada ulaşılmış ve gerekli sonikasyon süresi neredeyse 4 dakika kısalmıştır. 18 dakika sonunda 900 ppm karvakrol içeren örnekteki azalma $4,98 \pm 0,23$ log ve 1200 ppm karvakrol içeren örnekte $4,99 \pm 0,23$ log olarak gerçekleşmiştir.

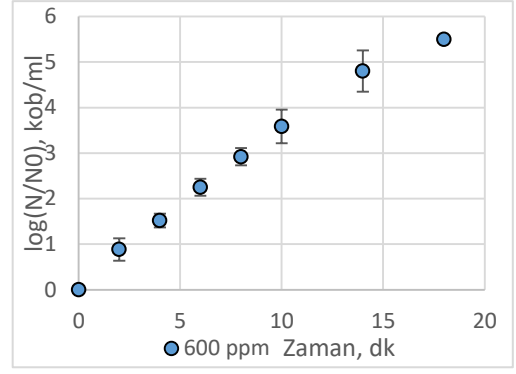


Şekil 4.2. Grup B (protein/yağ=1) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.

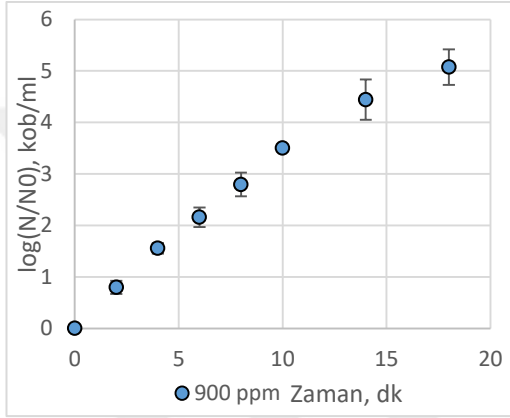
Protein ve yağ miktarı eşit olan (protein/yağ=1) grup B örneklerinde antimikrobiyal içermeyen ve 600 ppm antimikrobiyal içeren örneklerde 22 dakika sonunda sırasıyla $5,40 \pm 0,06$ ve $5,55 \pm 0,01$ log azalma olurken, 900 ppm ve 1200 ppm karvakrol içeren örneklerde 5 log azalma hedefi grup A örneklerine benzer olarak yine 18. dakikada yakalanmıştır (Şekil 4.2). 18 dakika sonunda 900 ppm karvakrol içeren örnekteki azalma $5,59 \pm 0,28$ log ve 1200 ppm karvakrol içeren örnekte $5,25 \pm 0,33$ log olarak gerçekleşmiştir. Örnek içeriğinde proteinin azalıp, yağın artmasıyla sonikasyon sonunda ulaşılan inaktivasyonun arttığı söylenebilir.



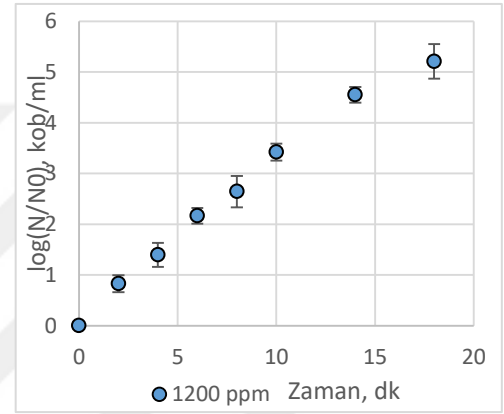
(a)



(b)



(c)



(d)

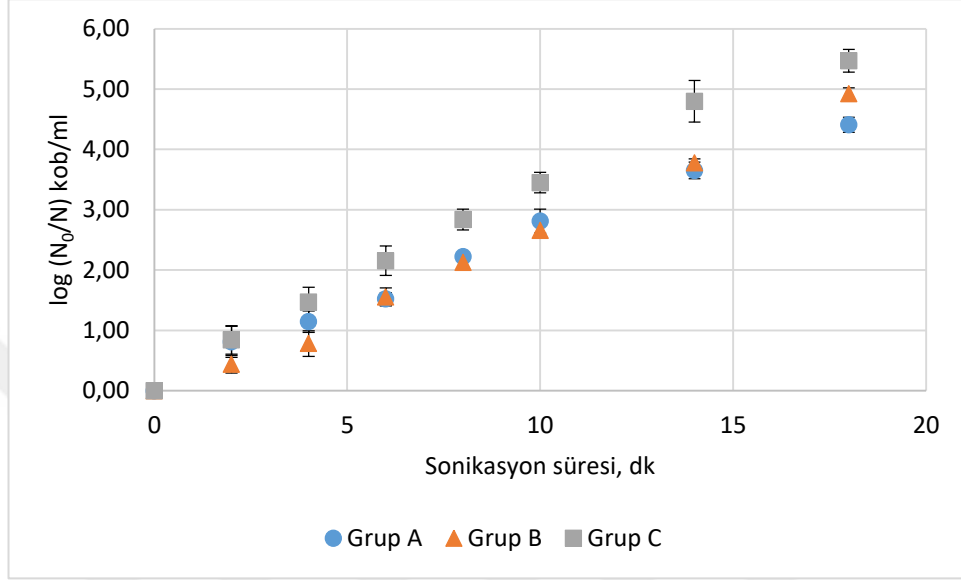
Şekil 4.3. Grup C (protein/yağ=0,3) olan örnek için (a) 0 ppm, (b) 600 ppm, (c) 900 ppm ve (d) 1200 ppm karvakrol içeren durumlarda inaktivasyon eğrileri.

Grup C örnekleri protein/yağ oranı en küçük (0,3) olan örneklerdir. Bu grubun tüm üyeleri için 22. dakikada dilüsyonlardan yapılan ekimlerde koloni gözlenmemiş, direk örnekten yapılan ekimlerde ise yüksek yağ içeriği nedeniyle besiyeri üzerindeki yağ tabakası sayım yapılmasını engellemiştir. Bu nedenle yalnız 18 dk' ya kadar sayım yapılmıştır. Grup C örneklerinde (0 ppm, 600 ppm, 900 ppm ve 1200 ppm) sırasıyla $5,47 \pm 0,19$ log, $5,5 \pm 0,06$ log, $5,55 \pm 0,35$ log ve $5,21 \pm 0,34$ log azalma olmuştur (Şekil 4.3).

Tüm örneklerde görüldüğü gibi özellikle 900 ppm üstüne çıkınca, antimikrobiyal varlığı sonikasyon ile *E. coli* 'nin inaktivasyonunun arttırmıştır. Pamuk tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada karvakrolün *E. coli* ATCC 25922'ye karşı minimum inhibasyon konsantrasyonu (MİK) 300 ppm olarak belirlenmiştir (Pamuk, 2022). Besiyeri ortamında belirlenen bu değer gerçek et örneklerinde yetersiz kalmıştır ve

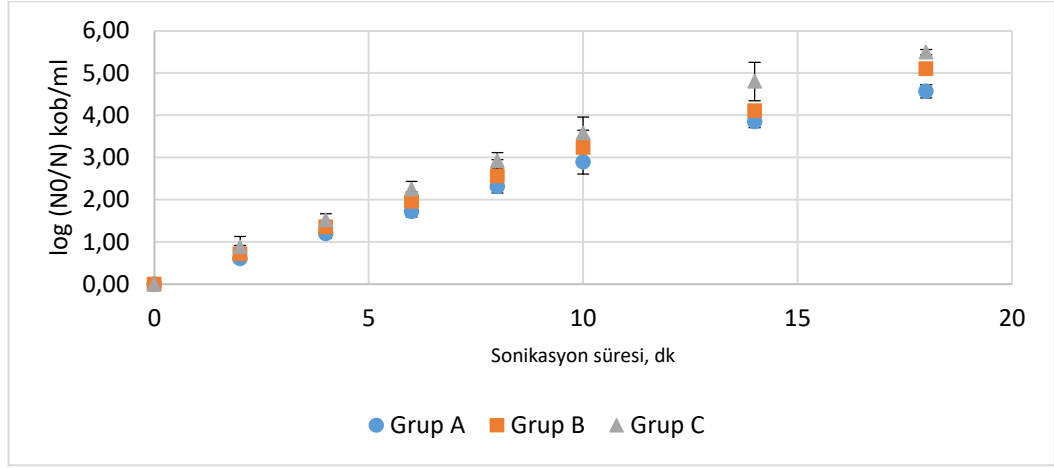
görüldüğü gibi model gıdada da ultrasonikasyonla engeller teknolojisi olarak birlikte kullanılmasına rağmen bu doz yeterli değildir. Bu çalışmada MİK değerinin 2, 3 ve 4 katı olarak eklenen karvakrol sonikasyon işlemi ile bir sinerji oluşturmuş görünmektedir. Özellikle 900 ppm düzeyinden sonra eklenen fazladan karvakrol çok fazla sonucu etkilememiş görülmektedir. Literatürde karvakrolün *E. coli*’ye etkisinin zamana bağımlı olduğu bildirilmiştir (Khan, 2017). Aynı çalışmada bir saat sonunda 5 log azalmaya ulaşılırken sayım limitlerinin dışına çıkması için 120 dakika gerekmiştir. Karvakrol klinik olarak önemli *E. coli* O157, O145, O104, O103, O45, O121, O26 ve O111'e karşı güçlü bir antimikrobiyal aktiviteye sahip bulunmuş ve etkisini, hücre zarı geçirgenliğinde değişikliklere sebep olarak, protein ve nükleik asit salınımına ve ATP seviyelerinde azalmaya neden olarak göstermiştir (Alexandros Ch Stratakis, 2018). Ultrasonikasyon işlemi de bakterilerin hücre duvarını parçalayıp, hücre geçirgenliğini bozmakta ve karvakrolün gösterdiği antimikrobiyal etkinliğe benzer etkilere sebep olmaktadır. Inguglia ve arkadaşları *E. coli* K12 ye karşı ultrasonikasyon işleminin TSB besiyerinde bir saat içinde 6 log azalma sağlığında rapor etmişler, 5 log azalma süresini 19,17 dk olarak belirlemişlerdir (Inguglia vd., 2018). Benzer özelliklerdeki sonikatör ile gerçekleştirilen Inguglia ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın sonuçları bu çalışma ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Sıvı tüm yumurta, yumurta sarısı ve yumurta beyazına 20 ve 40 kHz’lik sonikasyon işlemleri düşük sıcaklık uygulamalarıyla kombine edilerek uygulanmış ve *E. coli*’ye karşı etkileri incelenmiştir (Nagy D, 2022). Bu çalışma sonucunda en belirgin fark, 40 kHz ve 6,9 W emilen güç ile 60 dakikalık muamelede gözlenmiştir; burada azalma tüm yumurta sıvısı, sarısı ve albüminde 5-log CFU $\times$ mL⁻¹ olarak bulunmuştur. Yumurta sarısında, 5 log kob/ml azalma, uygulanan frekansa ve ultrasonun gücüne bakılmaksızın elde edilmiştir. Albümin varlığı, sonikasyon frekansı ve absorbe edilen gücün *E. coli* sayısındaki azalmayı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde antimikrobiyal içermeyen örneklerde, yumurta beyazında olduğu gibi, yüksek protein içeren Grup A örneği ve en düşük protein içeriğine sahip olan grup C örnekleri birbirlerinden belirgin şekilde ayrılmış ve en düşük protein içeriğinde (Grup C) için sonikasyon daha etkili olmuştur. Bir çalışmada, peyniraltı suyu protein isolatı (PASPI) ilavesinin *E. coli*’nin ultrasonik bakterisidal aktivitesi üzerindeki etkisi, korelasyonu ve yapısal mekanizması araştırılmıştır (Liu vd., 2018). Ultrasonik işlem sırasında eklenen PASPI konsantrasyonunun artmasıyla, *E. coli*’nin hayatta kalma oranı artmıştır ve

PASPIIn ultrasonik işlem altında bakteriyel aktivite üzerindeki etkisi, proteinin birincil yapısındaki değişimlerden değil, üçüncül ve daha yüksek seviyeli yapıların değişiminden kaynaklanabileceği tartışılmıştır. Protein bakteriyi koruyan bir tampon gibi davranıp, besleyici ve onarıcı özelliği ile mikroorganizmaların toparlanmasını kolaylaştırıyor olabileceğinden sonikasyonun etkisini azaltıyor olabilir.

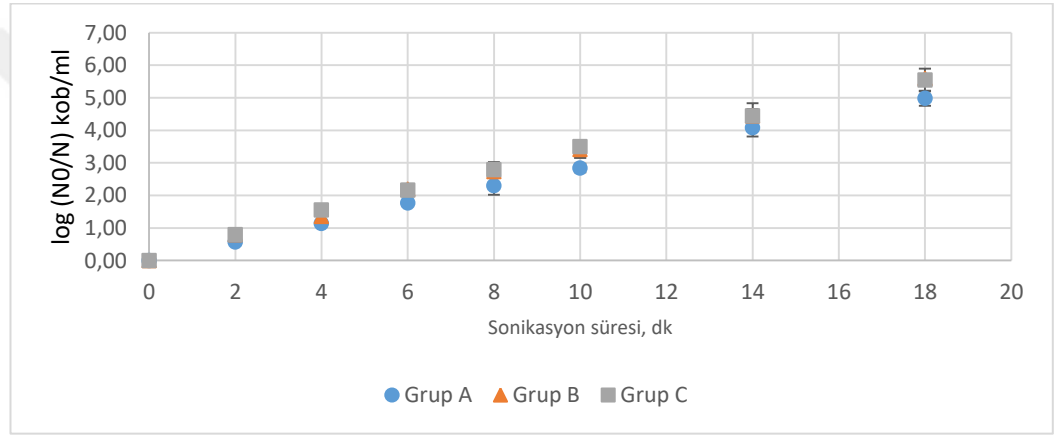


Şekil 4.4. Antimikrobiyal içermeyen (0 ppm) örneklerin inaktivasyon eğrisi.

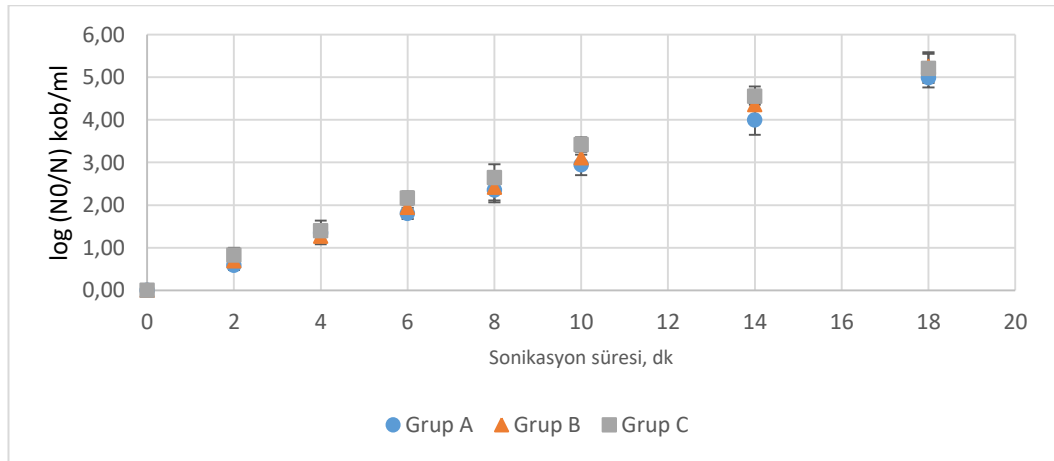
Örneklere antimikrobiyal eklenmesiyle yüksek protein oranının ultrasonikasyonun bakterisidal etkisine olan olumsuz etkisi doza bağlı olarak elemine edilebilmektedir (Şekil 4.5a, Şekil 4.5b, Şekil 4.5c). Yüksek antimikrobiyal içeriğine sahip olan örnekler için Şekil 4.5b (900 ppm) ve Şekil 4.5c (1200 ppm)'deki grafiklerde, antimikrobiyal hiç içermeyen örnekler (Şekil 4.4) ve 600 ppm karvakrol içeren örnekler (Şekil 4.5a) da gözlenen gruplar arasındaki fark kapanmıştır. Bir çalışmada sütteki yağ içeriğinin termo-sonikasyonun *Listeria innocua*'nın inaktivasyonu üzerindeki etkisi incelenmiş ve *Listeria* hücrelerinin inaktivasyonunun ilk olarak yağsız sütte gerçekleştiği ve inaktivasyon oranının artan yağ içeriği ile azaldığı belirtilmiştir (Daniela Bermúdez-Aguirre, 2008) ki bu çalışmada sunulan sonuçların tersidir. Antimikrobiyal içeren (Şekil 4.5a, b, c) ve içermeyen (Şekil 4.4) tüm örnekler için yüksek yağ, düşük protein içeren Grup C örneğinde ultrasonikasyonun etkisiyle zamanla log azalma daha yüksek olarak gözlenmiştir. Bu durumda protein içeriğinin ultrasonikasyonun bakterisidal etkisini yağ içeriğinden daha fazla azalttığı sonucuna varılabilir.



(a)



(b)



(c)

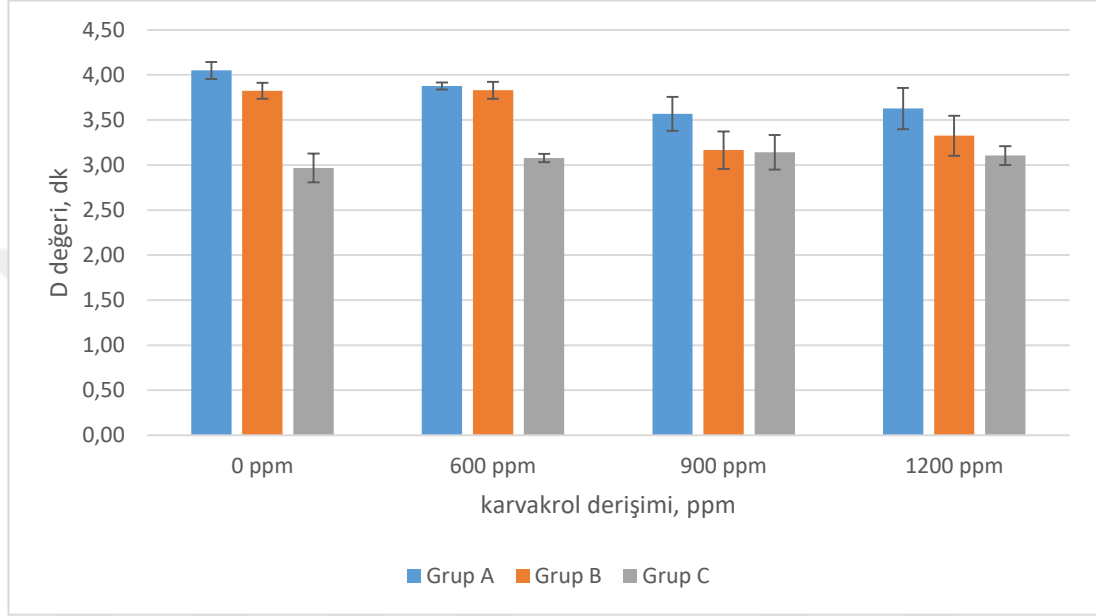
Şekil 4.5. Antimikrobiyal içeren örneklerin inaktivasyon eğrileri; (a) 600 ppm, (b) 900 ppm, (c) 1200 ppm.

Tüm örnekler için 18. dkda en yüksek inaktivasyon değerlerine 900 ppm antimikrobiyal içeren örneklerde ulaşılırken, en düşük inaktivasyon değerleri hiç antimikrobiyal içermeyen örneklerde görülmüştür. Protein/yağ oranı arttıkça antimikrobiyal içermeyen ve 900 ppm antimikrobiyal içeren örneklerin 18. dakikadaki logaritmik azalma değerleri arasındaki fark artmıştır. Grup A için bu fark 1,05 bulunurken Grup B ve Grup C için sırasıyla 0,94 ve 0,57 olmuştur. Yani en çok yağ içeren Grup C örneğinde antimikrobiyalin etkisi en az olurken, en az yağ içeren Grup A örneğinde en fazla olmuştur. Bu sonuçları destekleyecek şekilde, Gutierrez ve ark. yaptığı çalışmada kekik esansiyel yağının farklı oranlarda ayçiçek yağı üzerinde *L. Monocytogenes* inaktivasyonu incelenmiş, ayçiçek yağının kekik esansiyel yağının biyolojik aktifliği üzerinde olumsuz etki yaptığını tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada kekik yağının sıfır ve az yağlı (90 g / Kg) sığır sosisli sandviçlerinde *L. monocytogenes*'in bakteri popülasyonunu önemli ölçüde azalttığını, ancak tam yağlı sosisli sandviçlerde (260 g / Kg) etkisinin olmadığını bildirilmiştir (Perricone vd., 2015). Gıdadaki lipitler, esansiyel yağ bileşenleri gibi hidrofobik antimikrobiyal ajanları çözebilir veya bağlayabilir; bu da, bu ajanların etkinliğinin azalmasına veya sulu fazdaki mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivitenin tamamen ortadan kaldırılmasına yol açabilir (Chen vd., 2015). Aynı zamanda bakteri hücrelerinin yüzeyinde koruyucu bir yağ tabakasının oluşabilir ve aktif antimikrobiyal bileşiklerin hücreye ulaşması yağ tabakası tarafından engellenebilir (Farhood vd., 1976).

4.2 İnaktivasyon kinetiği ve D değerleri

İnaktivasyon eğrileri (Şekil 4.1, Şekil 4.2, ve Şekil 4.3) incelendiğinde sonikasyon süresiyle *E. coli* ATCC 25922'nin logaritmik azalma değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu görülmektedir. Yani model gıda örneklerinde *E. coli* ATCC 25922'nin ultrasonikasyon ve antimikrobiyallerle inaktivasyonu birinci dereceden kinetik modele uygun görülmektedir. Lineer regrasyon analizi ile her örnek grubu için D değerleri hesaplanmış ve Şekil 4.6 da sunulmuştur. D değeri yani *E. coli* ATCC 25922 popülasyonunun ultrasonikasyon ile 1 log birim azaltılabilmesi için gereken süre Grup A örnekleri için en uzun iken Grup C örnekleri için en kısa bulunmuştur. Proteinin en yüksek olduğu Grup A örneklerinde 1 log azalma için diğer örneklere göre aynı antimikrobiyal içeriğinde daha uzun süre gerekirken, protein içeriği en düşük, yağ içeriği en yüksek olan Grup C içinse daha kısa süreler

gerekmektedir. Daha önce tartışıldığı gibi proteinin varlığı inaktivasyonu zorlaştırmaktadır. Özellikle A grubu örneklerde antimikrobiyal miktarı arttıkça D değeri azalırken, Grup C örneklerinde bu değişim gözlenmemektedir. Yüksek yağ içeriğinin antimikrobiyalin etkinliğini azaltmakta olduğu D değerleri karşılaştırılınca da anlaşılmaktadır. Grup C örnekleri için artan antimikrobiyal derişimine rağmen D değerinin neredeyse hiç değişmeden kaldığı görülebilmektedir.



Şekil 4.6. D değerleri.

Her örnek için model denklemi ve determinasyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.1’de verilmiştir. R^2 değerleri türetilen modelin bağımlı değişkenleri tahminlemede ne kadar başarılı olduğunu ifade eden istatistiksel bir değerdir. Bu değer 1’e ne kadar yakınsa model bilinmeyen değerleri tahminlemede oldukça başarılıdır anlamı taşır ve Çizelge 4.1 den görüldüğü gibi tüm modellerin determinasyon katsayısı $>0,95$ dir ve 1’e oldukça yakındır. Yani üretilen doğrusal modeller, ait oldukları örnekler ve antimikrobiyal içeriklerinde zamana bağlı olarak ultrasonikasyonla *E. coli* ATCC 25922’nin canlı sayısında ulaşacağı logaritmik azalma yüksek oranda tahminleyebilmektedir.

Çizelge 4.1. Doğrusal Regresyon sonucu elde edilen doğru denklemleri ve R² değerleri.

Gruplar	Protein (%)	Yağ (%)	Karvakrol (ppm)	Model	D	R ²
Grup A	15	5	0	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{4,05}$	4,05±0,09	0,9907
			600	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,88}$	3,88±0,04	0,9885
			900	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,57}$	3,57±0,19	0,9967
			1200	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,63}$	3,63±0,23	0,9951
Grup B	10	10	0	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,82}$	3,82±0,09	0,9907
			600	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,83}$	3,83±0,09	0,9907
			900	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,17}$	3,17±0,21	0,9935
			1200	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,33}$	3,33±0,22	0,9951
Grup C	5	15	0	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{2,97}$	2,97±0,16	0,9930
			600	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,08}$	3,08±0,04	0,9942
			900	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,14}$	3,14±0,19	0,9684
			1200	$\log \left(\frac{N_0}{N} \right) = \frac{t}{3,10}$	3,10±0,10	0,9739

Model gıda formülasyonu ve antimikrobiyalın *E. coli* ATCC 25922'nin sonikasyonla inaktivasyonuna etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için D değerlerine univariate analiz yapılmış ve ANOVA tablosu elde edilmiştir (Çizelge 4.2). Duncan çoklu karşılaştırma testi ile de örnek grupları ve antimikrobiyal dozları gruplandırmaya tabi tutulmuştur. Örnek grubu yani model gıdanın formülasyonunun (protein/yağ) D değerine etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş (p<0,05), antimikrobiyal dozunun etkisi ise anlamsız bulunmuştur

($p>0,05$) (Çizelge 4.2). Örnek grubu ve antimikrobiyal dozunun birlikte D değerine etkisi de anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Yapılan Duncan çoklu karşılaştırma testi ile Grup A ve Grup C'nin D değerleri ortalamaları sırasıyla 3,69^b ve 3,28^a dk olarak bulunmuş ve birbirlerinden net bir şekilde ayrılmıştır. Grup B ise her iki gruba da yakın ortalamaya sahip olmuş (3,46^{ab}) ve iki gruba da dahil edilmiştir (Çizelge 4.2.) .

Çizelge 4.2. Örnek grupları ve anttimikrobiyal dozlarının model gıdada *E. coli* ATCC 25922'ye karşı D değerlerine etkileri için ANOVA tablosu.

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	F	p
Örnek grubu	1,017	2	4,284	0,026
Antimikrobiyal dozu	0,067	3	0,188	0,904
Grup * Doz	1,239	6	1,74	0,155

Çizelge 4.3. Örnek gruplarının Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları tablosu.

Örnek Grubu	N	A	B
C	12	3,28	
B	12	3,46	3,46
A	12		3,69
Sig.		0,212	0,114

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gıda endüstrisinin evrimi, tüketici tercihlerindeki değişiklikler, güvenli ve yüksek kaliteli gıdalar üretme ihtiyacı tarafından yönlendirilmektedir. Gelişmekte olan teknolojiler, söz konusu özelliklere ulaşmak için en iyi alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler arasında yer alan ultrasonikasyon özellikle ekonomik oluşu, kullanım kolaylığı ve enerji verimliliği ile pek çok amaçla kullanılabilmektedir. Son yıllarda tüketicilerin daha az katkı maddesi içeren ve doğal bütünlüğü daha iyi korunmuş güvenli, taze, besleyici, ve yüksek kaliteli ürünlere olan talebinin artması nedeniyle gıda sektörü ve araştırmacıları geleneksel koruma yöntemlerine alternatif az işlenmiş gıda üretim sistemleri geliştirme çalışmalarına yoğunluk vermiştir.

Ultrason akustik enerjidir, bu nedenle iyonlaştırıcı olmayan, invazif olmayan ve kirlenici olmayan bir mekanik enerji biçimidir. Gıdanın kalitesine zarar vermeden süreçleri kontrol etmek, iyileştirmek ve hızlandırmak için büyük bir potansiyele sahip gelişmekte olan bir yöntem olarak kabul edilmektedir. İşleme sırasında gıda bileşenlerinin ve ürünlerin bileşimini ve fizikokimyasal özelliklerini izlemek için düşük güçlü ve yüksek frekanslı ultrason tahribatsız muayene aracı olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda araştırmalar ultrasonun kütle transferi veya marinyasyon, et yumuşatma, kristalizasyon, dondurma, kurutma, emülsifikasyon, homojenizasyon ve mikroorganizmaların inaktivasyonu gibi işlemler üzerindeki etkilerini değerlendirmeye odaklanmıştır. Ultrason dalgaları çeşitli matrisler ve prosesler için çok çeşitli özellikleri iyileştirmek için kullanılmış olsa da, ultrasonik uygulamanın endüstriyel seviyelere kadar ölçeklendirilmesi nispeten az sayıda proses için oluşturulmuştur. Özellikle meyva suları gibi sıvı gıda proseslerinde ısı olmayan bir pastörizasyon tekniği olarak değerlendirilen ultrasonikasyonun, mikroorganizmalar üzerindeki bakterisidal etkisinin gıdanın karmaşık içeriğinden nasıl etkilendiği konusunda çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmayla ilk kez protein ve yağın ultrasonikasyonun bakterisidal özelliğine etkisi et model gıdada incelenmiştir. Tek başına yeterli pastörizasyonu sağlamak konusunda birtakım kısıtlamalara sahip olan ultrasonikasyon işlemi genellikle ısı ya da başka bir koruma yöntemiyle engeller teknolojisi kapsamında kombine

değerlendirilmektedir. Yine bu çalışmayla ultrasonikasyon ve doğal bir antimikrobiyal olan karvakrol birlikte kullanılarak *E. coli* ATCC 25922 ile kontamine edilmiş et model gıdaya etkisi incelenmiştir. Farklı protein/yağ oranında hazırlanan et model gıdalara , 4 farklı doz (0, 600, 900, 1200 ppm) karvakrol eklenmiş ve 22 dakika sonikasyona tabi tutulan örneklerde belirli aralıklarla canlı bakteri sayısı belirlenmiştir. İnaktivasyon kinetikleri incelenmiş ve birinci derece doğrusal modele uygun şekilde bir azalma gözlenmiştir. Her bir deney koşulu için D değerleri de hesaplanarak örnek kompozisyonu ve antimikrobiyal dozunun bu değere etkisi tartışılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada proteinin sonikasyon etkinliğini azaltmış, sonikasyon ve karvakrolün birlikte kullanımının proteini yüksek olan model gıda örneğinde karvakrolün bakteri inaktivasyonuna olumlu etkisi olmuştur, ancak yüksek yağ içeren model gıda örneğinde karvakrolün hiç etkisi olmamıştır. Bu sonuçlara göre yüksek yağ konsatrasyonu içeren gıda örneklerinde karvakrol gibi bitkisel esansiyel yağların kullanılması tavsiye edilmiyor. Karvakrol asıl etkisi ultrasonikasyon işleminden sonra depolanma zamanı görülür, çünkü sonikasyonun etkisiyle bakterinin hücre duvarı zarar görür ve uzun süre karvakrola maruz kalarak tekrar gelişmesi engellenir. Karvakrol gibi antimikrobiyaller kullanılmayan durumlarda depolanma zamanı *E.coli* kendini yenileyerek tekrar çoğalabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aday, S. M., 2021. Ultrasesin gıda işleme ve muhafazasında kullanımı, MAS Journal of Applied Sciences, 6, 3, 661–684.
- Ahire, K. ve Gorle, A. P., 2021. An overview on methods of preparation and characterization of nanoemulsion, World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 10, 8, 897-908.
- Stratakos, A. C., Sima, F., Ward, P., Linton, M., Kelly, C., Pinkerton, L., Stef, L., Pet, I. ve Corcionivoschi, N., 2018. The in vitro effect of carvacrol, a food additive, on the pathogenicity of O157 and non-O157 shiga-toxin producing Escherichia coli, Food Control, 84, 290-296.
- Altaf, U., Rouf, A., Kanojia, V., Ayaz, Q. ve Zargar, I., 2018. Ultrasound treatment: a novel processing technique for food preservation, The Pharma Innovation Journal, 7, 2, 234-241.
- Atasever, M. A. ve Atasever, M., 2015. Kıymalarda bazı patojenlerin izolasyon ve identifikasyonu, İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 41, 1, 60-68.
- Balpetek, D., 2009. Bazı et ürünlerinde E. Coli 0157:H7 varlığının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Başkaya, R., Karaca, T., Sevinç, İ., Çakmak, Ö., Yıldız, A. ve Yörük, M., 2004. İstanbul'da satışa sunulan hazır kıymaların histolojik, mikrobiyolojik ve serolojik kalitesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 15, 2, 41-46.
- Chaturvedi, K., Chaturvedi, S., Singha, S. ve Das, K., 2021. Ultrasonic in food microbiology: application and future trends, Network Biology, 11, 4, 315-333.
- Chen, W., Golden, D. A., Critzer, F. J. ve Davidson, P. M., 2015. Antimicrobial activity of cinnamaldehyde, carvacrol, and lauric arginate against Salmonella tennessee in a glycerol-sucrose model and peanut paste at different fat concentrations, Journal of Food Protection, 78, 8, 1488–1495.
- Cook, K. ve Hartel, R., 2010. Mechanisms of ice crystallization in ice cream production, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9, 2, 213-222.
- Çadircı, Ö., Gücükoğlu, A., Gülel, G. T., Uyanık, T., Abdulahi, A. ve Alişarlı, M., 2017. Characterization and antimicrobial-resistance profile of Escherichia coli O157 and O157: H7 isolated from modified atmosphere packaged meat samples, Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology, 5, 10, 1142-1147.

- Bermúdez-Aguirre, D. ve Barbosa-Cánovas, G. V., 2008. Study of butter fat content in milk on the inactivation of *Listeria innocua* ATCC 51742 by thermosonication, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 2, 176–185.
- Dickens, J.A., Lyon, C.E. ve Wilson, R.L., 1991. Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat, *Poultry Science*, 70, 389–396.
- Dinçer, C. ve Topuz, A., 2018. Meyve suyu işlemede ultrases kullanımı, *Gıda*, 43, 4, 569-581.
- Ertaş, N., Yıldırım, Y. ve Karadal, F., 2013. Hayvansal gıdalarda *Escherichia coli* O157:H7'nin önemi, *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 10, 1, 45-52.
- Esteban, M.D. ve Palop, A., 2011. Effect of nisin and carvacrol on *L. monocytogenes*, *Food Technology Biotechnology*, 49, 1, 89–95.
- Fana, L., Ismaila, B. B., Houa, F., Muhammada, A. I., Dinga, T. ve Liua, D., 2019. Ultrasound pretreatment enhances the inhibitory effects of nisin/carvacrol against germination, outgrowth and vegetative growth of spores of *Bacillus subtilis* ATCC6633 in laboratory medium and milk: population and singlecell analysis, *International Journal of Food Microbiology*, 311, 108329.
- Farhood, M. L., Macneil, J. H. ve Ostovar, K., 1976. Effect of rosemary spice extractive on growth of microorganisms in meats, *Milk Food Technology*, 39, 10, 675-679.
- Fitriyanti, M., Bagherzadeh, S. ve Narsimhan, G., 2023. Synergistic effect of ultrasound and antimicrobial solutions of cecropin P1 in the deactivation of *Escherichia coli* O157:H7 using a cylindrical ultrasonic system, *Scientific Reports*, 10, 10997.
- Gallo, M., Ferrara, L. ve Naviglio, D., 2018. Application of ultrasound in food science and technology: a perspective, *Foods*, 7, 10, 164.
- Gonzalez, G. M., 2003. Effects of power ultrasound treatments on properties of Longissimus beef muscle, Doctoral Thesis, Department of Animal Science, Iowa State University, Iowa, USA.
- Guo, M., Zhang, L., He, Q., Arabi, S. A., Zhao, H., Chen, W., Ye, X. ve Liu, D., 2020. Synergistic antibacterial effects of ultrasound and thyme essential oils nanoemulsion against *Escherichia coli* O157:H7, *Ultrasonics Sonochemistry* 66, 104988.
- Gutiérrez-Pozo, M., Serna-Escolano, V., Giménez-Berenguer, M., Giménez, M. J. ve Zapata, P. J., 2023. The preharvest application of essential oils (Carvacrol, Eugenol and Thymol) reduces fungal decay in Lemons, *Agriculture*, 13, 7, 1437.

- Hammer, K. A. ve Heel, K. A., 2012. Use of multiparameter flow cytometry to determine the effects of monoterpenoids and phenylpropanoids on membrane polarity and permeability in *Staphylococci* and *Enterococci*, *Elsevier International Journal of Antimicrobial Agents*, 40, 3, 239-245.
- Harper, W., 2008. Model food systems and protein functionality, In *Elsevier eBooks*, 409–428.
- He, Q., Zhang, L., Song, L., Zhang, X., Liu, D., Hu, Y. ve Guo, M., 2021. Inactivation of *Staphylococcus aureus* using ultrasound in combination with thyme essential oil nanoemulsions and its synergistic mechanism. *LWT*, 147, 111574.
- Hussain, F., Soudagar, M. E., Afzal, A., Mujtaba, M., Fattah, I. R., Naik, B. ve Rahman, S. A., 2020. Enhancement in combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine fueled with Ce-ZnO nanoparticle additive added to soybean biodiesel blends, *Energies*, 13, 4578.
- Inguglia, E. S., Tiwari, B. K., Kerry, J. P. ve Burgess, C. M., 2018. Effects of high intensity ultrasound on the inactivation profiles of *Escherichia coli* K12 and *Listeria innocua* with salt and salt replacers, *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 492–498.
- Jayasooriya, S. D., Bhandari, B. R., Torley, P. ve D’Arcy, B. R., 2004. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: a review, *International Journal of Food Properties*, 7, 2, 301–319.
- Kang, D., Jiang, Y., Xing, L., Zhou, G. ve Zhang, W., 2017. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Bacillus cereus* by power ultrasound during the curing processing in brining liquid and beef, *Food Research International*, 102, 717-727.
- Karagöz, Ş. ve Demirdöven, A., 2016. Termosonikasyon ve geleneksel ısıtma uygulamalarının havuç suyuna etkileri: pektin metilesteraz inaktivasyonu ve fizikokimyasal özellikler, *Gıda*, 41, 5, 345 - 350.
- Karam, L., Chehab, R., Osaili, T. M. ve Savvaidis, I. N., 2020. Antimicrobial effect of thymol and carvacrol added to a vinegar-based marinade for controlling spoilage of marinated beef (shawarma) stored in air or vacuum packaging, *International Journal of Food Microbiology*, 332, 108769.
- Khan, I., Bahuguna, A., Kumar, P., Bajpai, V. K. ve Kang, S. C., 2017. Antimicrobial potential of carvacrol against ropathogenic *Escherichia coli* via membrane disruption, depolarization and reactive oxygen species generation, *Frontiers in Microbiology*, 8, 2421.
- Lin, L., Wang, X., Li, C. ve Cui, H., 2019. Inactivation mechanism of *e. coli* O157:H7 under ultrasonic sterilization, *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, 104751.

- Liu, L., Xu, R., Li, L., Li, B., Zhang, X., Zhang, X. ve Xu, Z., 2018. Correlation and in vitro mechanism of bactericidal activity on *E. coli* with whey protein isolate during ultrasonic treatment, *Microbial Pathogenesis*, 115, 154–158.
- Ma, M., Zhao, J., Yan, X., Zeng, Z., Wan, D., Yu, P. ve Gong, D., 2022. Synergistic effects of monocaprin and carvacrol against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* in chicken meat preservation, *Food Control*, 132, 108480.
- Mączka, W., Twardawska, M., Grabarczyk, M. ve Wińska, K., 2023. Carvacrol a natural phenolic compound with antimicrobial properties, *Antibiotics*, 12, 5, 824.
- Majid, I., Nayik, G. A. ve Nanda, V., 2015. Ultrasonication and food technology: a review, *Cogent Food and Agriculture*, 1, 1, 1071022.
- Meenu, R., Monika, S., D, B. J., Bhat, A. ve Isha, G., 2020. Thermosonication technology and its application in food industry, *International Journal of Chemical Studies* 8, 3, 922-928.
- Miles, A. A., Misra, S. S. ve Irwin, J. O., 1938. The estimation of the bactericidal power of the blood, *Journal of Hygiene*, 38, 6, 732 - 749.
- Moon, H., Kim, N. H., Kim, S. H., Kim, Y., Ryu, J. H. ve Rhee, M. S., 2017. Teriyaki sauce with carvacrol or thymol effectively controls *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, and indigenous flora in marinated beef and marinade, *Meat Science*, 129, 147–152.
- Nagy, D., Baranyai, L., Nguyen, L. L., Brückner, A. T., Zsom, T., Németh, C. ve Zsom-Muha, V., 2022. Combined effect of ultrasound and low-heat treatments on *E. coli* in liquid egg products and analysis of the Inducted structural alterations by NIR Spectroscopy, *Sensors*, 22, 24, 9941.
- Nalan, T., 2021. Gıdalarda *Escherichia coli* O157:H7 yaygınlığının riskleri ve kontrolü, *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 5, 1, 101-114.
- Owusu-Apenten, R. K., 2004. Testing protein functionality in proteins in food processing, pp.217-44, in: Yada R. Y. (Editor), Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Pamuk, F., 2022. Karvakrol, timol ve küminaldehitin *Escherichia coli*'ye karşı sinerjik etkilerinin belirlenmesi ve etin mikrobiyolojik raf ömrü üzerine etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Pei, R., Zhou, F., Ji, B. ve Xu, J., 2009. Evaluation of combined antibacterial effects of eugenol, cinnamaldehyde, thymol, and carvacrol against *E. coli* with an improved method, *Journal of Food Science*, 74, 7.

- Perricone, M., Arace, E., Corbo, M. R., Sinigaglia, M. ve Bevilacqua, A., 2015. Bioactivity of essential oils: a review on their interaction with food components, *Frontiers in Microbiology*, 6, 76.
- Piñon, M., Alarcon-Rojo, A., Paniwnyk, L., Mason, T., Luna, L. ve Renteria, A., 2019. Ultrasound for improving the preservation of chicken meat, *Food Science and Technology*, 39, 1, 129–135.
- Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B. ve Bhandari, B., 2020. Application of power ultrasound in freezing and thawing processes: effect on process efficiency and product quality, *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105230.
- Salehia, B., Abu-Darwishb, M. S., Tarawnehc, A. H., Cabrald, C., Gadetskayag, A. V., Salgueiroh, L. ve Ayatol, S. A., 2019. Thymus spp. plants - food applications and phytopharmacy properties, *Trends in Food Science and Technology*, 85, 287-306.
- Suslick, K. S. ve Price, G. J., 1999. Application of ultrasound to materials chemistry, *Annual Review of Materials Science*, 29, 1, 295-326.
- Tahi, A. A., Sousa, S., Madani, K., Silva, C. L. ve Miller, F., 2021. Ultrasound and heat treatment effects on Staphylococcus aureus cell viability in orange juice, *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105743.
- Tavsanlı, H., Aydın, M., Ede, Z. A. ve Cibik, R., 2022. Influence of ultrasound application on the microbiota of raw goat milk and some food pathogens including Brucella melitensis, *Food Science and Technology International*, 28, 7, 634-640.
- Tuğçe, Ç., 2023. Ultrasonikasyon destekli ultraviyole ışık uygulamasının elma suyunda mikrobiyal inaktivasyon için kullanımı ve ürünün bazı kalite özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.
- Ulusoy, K. ve Karakaya, M., 2011. Gıda endüstrisinde ultrasonik ses dalgalarının kullanımı, *Gıda*, 36, 2, 113-120.
- Vasconcelos, S. E., Melo, H. M., Cavalcante, T. T., Júnior, F. E., Carvalho, M. G., Menezes, F. G. ve Albuquerque, R., 2017. Plectranthus amboinicus essential oil and carvacrol bioactive against planktonic and biofilm of oxacillin and vancomycin-resistant Staphylococcus aureus, *BMC Complement Altern Med*, 17, 1, 462.
- Vincenzia, M. D., Stamatib, A., Vincenzic, A. D. ve Silanoa, M., 2004. Constituents of aromatic plants: carvacrol, *Fitoterapia*, 75, 801 – 804.
- Yıldırım, Z., Ceylan, Ş. ve Öncül, N., 2015. Tokat piyasasında satışa sunulan tavuk etlerinin mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi, *Akademik Gıda*, 13, 4, 304-316.

- Yıldız, E., 2021. Gemlik çeşidi siyah sofralık zeytinlerin işlenmesinde ultrases ve ozon uygulamalarının etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Zayas, J.F. ve Strokova, N.D., 1972. Influence of ultrasound on properties of meat proteins, XVIII Eur. Congr. Meat Res Workers, 206–213.
- Zhang, D., Gan, R., Ge, Y., Yang, Q., Ge, J., Li, H. ve Corke, H., 2018. Research progress on the antibacterial mechanisms of carvacrol, Bioactive Compounds in Health ve Disease, 1, 6, 71-81.
- Zou, Y., Zhang, W., Kang, D. ve Zhou, G., 2018. Improvement of tenderness ve water holding capacity of spiced beef by the application of ultrasound during cooking, International Journal of Food Science and Technology, 53, 828–836.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Kamran BAGHIROV

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü,
2016-2020

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim
Dalı, 2021-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Poznan University of Life Sciences 2019 / Erasmus + Staj programı
2. Universidade Católica Portuguesa – Centre Regional do Porto 2023 / Erasmus
+ Staj programı

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Baghirov, K. 2024. Ultrasonikasyon ve doğal antimikrobiyellerin E. Coli ATCC25922'ye karşı etkilerinin et model sisteminde belirlenmesi ve gıda bileşenleri ile etkileşimlerinin incelenmesi, 1. Uluslararası İyonya Bilimsel Araştırmalar Kongresi 18-20 Aralık, İzmir