T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÖRNEKLERİNDEKİ ESCHERICHIA COLI' NİN SES DALGALARIYLA ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİ

ÖZGÜR İSA TEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÇİĞDEM ORUÇ

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÖRNEKLERİNDEKİ ESCHERICHIA COLI'NİN SES DALGALARIYLA ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİ

Özgür İsa TEKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 07.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ORUÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ORUÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Ahmet ALTINDAL

Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof.Dr. Fatma KOKSAL ÇAKIRLAR

İstanbul Ü. Cerrahpaşa Tıp F.



ÖNSÖZ

Bu tezin yazımında beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem Oruç'a sonsuz teşekkür ederim. YTÜ Organik Teknolojiler Laboratuvarını kullanımıma açan değerli hocam Prof. Dr Ahmet Altındal'a çok teşekkür ederim. Deneylerim için gerekli olan Esherichia Coli ve Enterococcus Feacalis temininden ötürü İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalına çok teşekkür ederim. Fizik eğitimimde bu seviyeye gelmemi sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü akademisyenleri başta olmak üzere bütün hocalarıma çok teşekkür ederim. Beni yetiştirip büyüterek bu seviyeye gelmemi sağlayan, sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen başta annem Fatma Tekin olmak üzere tüm aileme, karamsarlığa düştüğümde beni cesaretlendirip motive eden sevgili eşim Merve Pınar Tekin'e teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran, 2018

Özgür İsa TEKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ÇİZELGE LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 5

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER 8

2.1 Sularda Mikrobiyolojik Kirlenme 8
2.2 Escherichia Coli 9
2.2.1 Taksonomisi ve biyokimyasal özellikleri 10
2.2.3 Hastalık oluşturma özelliği 11
2.3 İnaktivasyon Yöntemleri 12
2.3.1 Ultrasound ile inaktivasyon 12
2.3.2 Metal iyonları ile inaktivasyon 15
2.3.3 Klor ile inaktivasyon 16
2.3.4 Ozon ile inaktivasyon 17
2.3.5 Elektrokimyasal inaktivasyon 18
2.3.6 UV ile inaktivasyon 18

2.4 Piezoelektrik 20
2.4.1 Piezoelektriğin Tarihçesi 20
2.4.2 Piezoelektrik Özellik 21
2.4.3 Piezoelektrik Malzemeler 22
2.4.3.1 Piezoelektrik Kristaller 22
2.4.3.2 Piezoelektrik Seramikler 22
2.4.3.3 Piezoelektrik Polimerler 23

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA 25

3.1 Absorpsiyon – Bakteri Koloni Sayısı İlişkisi 25
3.1.1 Turbidometri 25
3.2 UV-Spektrometresi 27
3.3 Ekim 28
3.4 Yöntem 29

BÖLÜM 4

BULGULAR 31

4.1 Sistemimizde Güç Yoğunluğu 31
4.2 Sistemimizde Ses Uygulama Süresi – Sıcaklık Değişimi 32
4.3 10 Khz ile 100 Khz Arasında Ses Uygulanmış Deney Verileri 34
4.4 250 Khz ile 1000 Khz Arasında Ses Uygulanmış Deney Verileri 57
4.5 Ekim Sonuçları 70
4.6 Ses Uygulanmış Enterekok ve E. Coli Karşılaştırılması 75
4.6.1 Enterococcus faecalis 75
4.6.2 Enterococcus faecalis ses uygulanmış deney verileri 77

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 87

KAYNAKLAR 93

ÖZGEÇMİŞ 96

SİMGE LİSTESİ

Cl_2	Klor gazı
I	Işık Yoğunluğu
I_0	Girişteki Işığın Yoğunluğu
O_D	Optik Yoğunluk
c	Hücre süspansiyonundaki biyomas (hücre) konsantrasyonu
Σ	Bulanıklık Katsayısı
d	Küvetin Kalınlığı
λ	Dalga Boyu

KISALTMA LİSTESİ

$Ca(OCl)_2$	Kalsiyum hipoklorit
$CHCl_3$	Kloroform
$CHBrCl_2$	Bromodiklorometan
$CHBr_2Cl$	Dibromoklorometan
$CHBr_3$	Bromoform
ClO_2	Klor dioksit
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
E. coli	Escherichia Coli
HAA	Haloasetikasitler
HAN	Haloasetonitriller
HOCl	Hipokloröz Asit
$LiNbO_3$	Lityum niyobat
$LiTaO_3$	Lityum tantalat
NaBr	Sodyum Bromür
NaCl	Sodyum Klorür
NaOCl	Sodyum hipoklorit
OCl^-	Hipoklorit İyonu
PHBA	Polihidroksi bütirik asit
PVDF	Polyvinylidene flüoride
PZT	Zirkonat titanat
RNA	Ribo Nükleik Asit
THM	Trihalometanlar
USEPA	ABD Çevre Koruma Örgütü
UV	Morötesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Escherichia Coli'nin SEM görüntüsü..... 10
Şekil 2. 3 PZT'nin Curie sıcaklığının altında ve üstünde hücre yapısı 23
Şekil 3. 1 Bakteri sayısı – Absorbans Grafiği.....27
Şekil 3. 2 UV – Spektrometresi Genel Yapısı.....28
Şekil 3. 3 Shimadzu UV-1280 Multipurpose UV-Vis Spectrophotometer..... 28
Şekil 3. 4 Deney düzeneğinde kullanılan GW INSTEK SFG-1003 ses kaynağı.....29
Şekil 3. 5 Deney Düzeneği (Fotoğraf Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü Organik Teknolojiler Laboratuvarında çekilmiştir).....30
Şekil 4. 1 10 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği.....33
Şekil 4. 2 100 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği.....33
Şekil 4. 3 1000 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği.....34
Şekil 4. 4 10 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. –Dalgaboyu Grafiği..... 35
Şekil 4. 5 10 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 36
Şekil 4. 6 10 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 37
Şekil 4. 7 25 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 38
Şekil 4. 8 25 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 39
Şekil 4. 9 25 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 40
Şekil 4. 10 40 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 41
Şekil 4. 11 40 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 42
Şekil 4. 12 40 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 43
Şekil 4. 13 50 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 44
Şekil 4. 14 50 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 45
Şekil 4. 15 50 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği.....46

Şekil 4. 16 60 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 47
Şekil 4. 17 60 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 48
Şekil 4. 18 60 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 49
Şekil 4. 19 75 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 50
Şekil 4. 20 75 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 51
Şekil 4. 21 75 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 52
Şekil 4. 22 100 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 53
Şekil 4. 23 100 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 54
Şekil 4. 24 100 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 55
Şekil 4. 25 250 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 58
Şekil 4. 26 250 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 59
Şekil 4. 27 250 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 60
Şekil 4. 28 500 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 61
Şekil 4. 29 500 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 62
Şekil 4. 30 500 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 63
Şekil 4. 31 750 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 64
Şekil 4. 32 750 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 65
Şekil 4. 33 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 66
Şekil 4. 34 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 67
Şekil 4. 35 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 68
Şekil 4. 36 Ses Uygulanmamış E. Coli Ekimi..... 70
Şekil 4. 37 10 kHz de 1 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi..... 71
Şekil 4. 38 10 kHz'de 3 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi..... 72
Şekil 4. 39 10 kHz'de 6 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi..... 73
Şekil 4. 40 10 kHz'de 15 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi..... 74
Şekil 4. 41 Enterococcus faecalis'in SEM görüntüsü..... 76

Şekil 4. 42 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 77
Şekil 4. 43 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 78
Şekil 4. 44 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 79
Şekil 4. 45 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 80
Şekil 4. 46 100 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 81
Şekil 4. 47 100 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 82
Şekil 4. 48 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 83
Şekil 4. 49 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 84
Şekil 4. 50 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği..... 85

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Sistemimizde kullandığımız piezo transdüserler 10 kHz – 100 kHz frekans aralığı için frekans - güç yoğunluğu tablosu 31
Çizelge 4.2 Sistemimizde kullandığımız piezo transdüserler 250 kHz – 1000 kHz frekans aralığı için frekans - güç yoğunluğu tablosu..... 32
Çizelge 4.3 10 kHz-100 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar 56
Çizelge 4.4 250 kHz-1000 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar. 69

ÖZET

SU ÖRNEKLERİNDEKİ ESCHERICHIA COLI' NİN SES DALGALARIYLA ETKİSİZ HALE GETİRİLMESİ

Özgür İsa TEKİN

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ORUÇ

Toplumun çoğunluğu tarafından ortaklaşa kullanılan yüzme havuzları, plajlar ve içme suyu kaynaklarının bakteriler gibi mikro-organizmalar tarafından kirletilmesi sonucu birçok hastalığın ortaya çıktığı bilinmektedir. Escherichia coli (*E. coli*) çok tehlikeli ve en ölümcül gıda kaynaklı hastalık yapıcı bakteri türlerinden biri olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, su kaynaklarının kullanılabilirliğini garanti altına alınması için hastalık yapıcı ajanlardan arındırılması toplum sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Su kaynaklarındaki bakterilerin in-aktif edilmesinde klorlama ve UV aydınlatma yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Ancak, klorun canlı sağlığı üzerindeki negatif etkisinden UV aydınlatmanın da yüksek absorplayıcı sıvılara uygulanabilmesi gibi nedenlerden dolayı bu yöntemlerin kullanımları oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, bu tür bakterilerin in-aktif hale getirilmesi için yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, su kaynaklarındaki gram negatif bakteri E. Coli'nin ses dalgaları yardımıyla in-aktif hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, belirli bir frekansta titreşen piezoelektrik bir transdüser yardımıyla elde edilen ses dalgaları kullanılmıştır. Piezoelektrik transdüserlar, içerisinde belirli bir konsantrasyonda E. Coli ihtiva eden cam kapların tabanına monte edilmiş ve sabit bir frekansta titreşmesi sağlanmıştır. Ses dalgalarının uygulama süresinin bakteri in-aktivasyonuna etkisini belirlemek amacıyla bakteri örnekleri 1, 3, 6 ve 15 saat olmak üzere farklı sürelerde ses dalgalarına maruz bırakılmıştır. Ses dalgalarının uygulama süresinin bakteri in-aktivasyonu üzerindeki

etkisi bakterili su numunelerinin belirli bir dalga boyundaki absorpsiyon katsayıları karşılaştırılmak suretiyle belirlenmiştir.

Çalışmada, 10kHz, 25kHz, 40kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz, 100 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 750 kHz, 1000 kHz frekanslarındaki ses dalgalarına maruz bırakma süresinin bakteri popülasyonu üzerinde oldukça önemli bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. 1 saat süreyle ses dalgalarına maruz bırakılan numunelerde bakteri populasyonu genel olarak çok değişme göstermezken, 3, 6 ve 15 saat süreyle ses dalgalarına maruz bırakılan numunelerde bakteri populasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Uygun bir frekans ve güçteki ses dalgalarının sulardaki *E.coli'*nin etkili bir şekilde in-aktif edilmesi konusunda oldukça büyük bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Escherichia coli, in-aktivasyon, ses dalgaları, frekans, piezoelektrik transdüser

ABSTRACT

INACTIVATION OF ESCHERICHIA COLI IN WATER SAMPLES BY SOUND WAVES.

Özgür İsa TEKİN

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Çiğdem ORUÇ

It is known that swimming pools, beaches, and drinking water resources used jointly by the majority of the community have been contaminated by micro-organisms such as bacteria. Escherichia coli (E. coli) is known to be the most dangerous and deadly food-borne disease-causing bacteria. Therefore, removal of disease-causing agents to ensure the availability of water resources is of great importance in terms of community health. Chlorination and V illumination are commonly used methods in inactivated bacteria in water sources. However, the use of these methods is rather limited because of the negative effect of chlorine on vital health, as V illumination can also be applied to high absorptive fluids. For this reason, new methods are needed for inactivating such bacteria.

In this study, it was aimed to inactivate gram-negative bacteria (especially E. coli) in water sources with the help of sound waves. For this purpose, the sound waves obtained by the help of a piezoelectric transducer oscillating in a certain frequency are used. Piezoelectric transducers were mounted at the base of glass containers containing E. Coli and Enterococcus faecalis at a given concentration and a constant frequency oscillation was provided. Bacterial samples were exposed to sound waves for different periods of 1, 3, 6 and 15 hours in order to determine the effect of the application of sound waves on bacterial inactivation. The effect of the application

period of sound waves on bacterial inactivation was determined by comparing the absorption coefficients of a certain wavelength of bacterial water samples.

In the study, it was observed that the duration of exposure to sound waves at frequencies of 10kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz, 100 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 750 kHz and 1000 kHz has a considerable effect on the bacterial population. In the samples exposed to sound waves for 1 hour, bacterial populations generally did not show much change, while bacterial populations decreased in samples exposed to sound waves for 3, 6 and 15 hours. In the samples exposed to sound waves for 1 hour, bacterial populations generally did not show much change, while bacterial populations decreased in samples exposed to sound waves for 3, 6 and 15 hours. It has come to the conclusion that a suitable frequency and strong sound waves have a great potential to effectively inactivate E. Coli and Enterococcus in the water.

Keywords: Escherichia coli, inactivation, sound waves, frequency, piezoelectric transduser

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Harvey ve Loomis (1928), yaptıkları çalışmada, bacillus içeren deniz suyu örneklerine 400 kHz ses uygulamış ve sonrasında ekim yapıp 35 °C' de bakterileri ısıtıp üremeye bırakmışlardır. Üremelerini gözlemlemek için bakterileri boyamışlardır. Petride üremeleri incelemişler, ses uygulanan örneklerde üreme ve ışımanın az olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneylerini 375 kHz lik ses dalgası ve ayrıca 19 °C ve 16 °C lik sıcaklıklar için tekrarlamışlardır. Yine ses uygulanan örneklerde üreme ve ışıma az gerçekleşmiştir. Sonuç olarak ses dalgalarının bakteriyi öldürdüğü kanatine varmışlardır. [1]

Peterson ve Pitt (1999). Bu çalışmada E.colinin antibiyotikelere gösterdikleri direnci azaltmak için ses dalgası 70 ve 500 kHz olarak ve güç yoğunluğu 2-200 mW/cm^2 olacak şekilde ses dalgaları piezo yardımıyla antibiyotikli ve antibiyotiksiz sıvılara uygulanmış ve E. coli ölümünün güç yoğunluğuyla ve düşük ses frekansında arttığını tespit etmişlerdir. [2]

Piyasena ve arkadaşları (2003), yayınladıkları rewiev makalede, yiyeceklerde özelikle süt üretiminde bakteri inaktivasyonu için 20 kHz lik ses dalgası kullanıldığını ifade etmişlerdir. Tek başına sesin tam inaktivasyon sağlamadığını, sesle birlikte ısı da kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Söz konusu makale, yiyecek endüstrisi açısından var olan incelemeleri anlattığı için bakterilerin tam olarak inaktivitesi önemlidir. Yine de sesin etkisi sayesinde, sütün çok yüksek ısılara çıkmadan bakteri inaktivasyonu sağlanabilmesi bu teknolojiye önemli katkılarda bulunmuştur. Ayrıca başka

çalışmalarda ses ile basınç bir arada kullanılmış, yine sesin etkisi ile daha sağlıklı bakteri inaktivasyonu tekniklerinden bahsedilmiştir [3].

Hayer (2010), E.coli HB101 bakterisinde 10 s - 1200 s aralığında 48 kHz' lik ultrases uygulamıştır. Kontrol için ses uyguladığı ve uygulamadığı örnekleri 37 °C' de üremeye bırakmış 24. ve 48. saatlerde bakteri kolonilerini saymıştır. Ses uygulanan örneklerde üremenin az olduğunu tespit etmiştir. Düşük ve yüksek konsantrasyonlu $CaCl_2$ eklenmiş sıvılarda (0,05 mM ve 50 mM) deneyi tekrarlamış ve karşılaştırmıştır. Her iki konsantrasyonda da ölüm gözlemlemiştir. Ancak yüksek konsantrasyonlu calsiyum klorid içeren örneklerde sesle ölüm etkisinin daha büyük olduğunu ifade etmiştir [4].

Ultrases uygulanmasının etkileri ve etkinliği bir dizi farklı grup tarafından incelenmiştir. Ultrasonik sesin bakteriyel inaktivasyon sistemlerinde patentler olmasına rağmen, Sala ve ark. (1995), ultrases uygulamasının kendi başına gıda işlemede kullanılmasının çok zorlayıcı bir görev olabileceğini belirtmiştir. Ultrases uygulamasının etkinliği, inaktive edilen bakterilerin tipine bağlıdır. Mikroorganizmalar (özellikle sporlar) etkilere karşı nispeten dirençlidir, dolayısıyla bakteriyi inaktive hale getirmek için uzatılmış ultrasonikasyon süreleri gerekli olacaktır. Herhangi bir pratik uygulamada ultrases kullanılacaksa, büyük olasılıkla basınç uygulaması (manosonikasyon), ısıl işlem uygulaması (termosonikasyon) veya her ikisi (manothermosonication) ile birlikte kullanılmalıdır. Hücrelerin ultrases uygulanması sonucu artmış olan mekanik bozulması, ultrases uygulamasının yanısıra ısı veya basınç uygulamasıyla birleştiğinde gelişmiş öldürme sağlanmaktadır [5]. Bu alanda öncü çalışmalarda Ordonez ve ark. (1984), 5 °C ila 62 °C arasında değişen sıcaklıklarla kombine edilmiş 20 kHz ve 160 W ultrasonografiyi kullanmaktadır. Isı ve ultrases kombinasyonu, uygulama süresine ve enerji tüketimine göre, uygulamaya göre çok daha etkili olmuştur [6]. McClements (1995) ayrıca, mikropların ultrasesi kullanarak inaktivasyonunun, ısıtma, aşırı pH veya klorinasyon gibi diğer dekontaminasyon teknikleriyle birlikte kullanıldığında etkili olduğunu ileri sürmüştür [7].

Limaye ve Coakley (1998) ayrıca, 1 MHz veya 3 MHz ultrases dalgaları kullanılarak E. coli ve Saccharomyces cerevisiae'li çözeltileri inaktive etmeye çalışmışlardır ve sırasıyla % 4.5'luk çözeltide ve 11.5 dakikada %95.5'lik bir uzaklaştırma elde etmişlerdir [8].

Utsunomiya ve Kosaka (1979), başlangıçtaki sıcaklık, ortam ve pH'ın, 700 kHz'de tedavi edilen E. coli'nin sağkalımını etkilediğini fark etmişlerdir. E. coli, salin içinde, 32 °C' lik bir başlangıç sıcaklığında süspanse edildiğinde, sırasıyla, 10 ve 30 dakikalık bir uygulamadan sonra, % 0.83 ve % 0.2' lik bir sağkalım elde edildi; Bununla birlikte, 17 °C' lik bir başlangıç sıcaklığında, bu değerler, yukarıdaki uygulama sürelerinde sırasıyla %37.86 ve %8.1'e yükseldi. Sütte herhangi bir inaktivasyon meydana gelmedi. Sütü %10 portakal suyu eklendiğinde, sadece % 0.3' lük sağkalım, 2.6'lık pH'da bulundu ve 5.6'lık pH'da % 100 sağkalım sağlandı [9].

E. coli'nin biyofilmlerde inaktive edilmesi için ultrasesin kullanılması gıdalar için faydalı olabilir [10], [11]. Johnson ve diğ. (1998), 70 kHz'lik bir ses dalgasının antibiyotik (gentamisin sülfat) ile kombinasyonunun biyofilmde E. coli sayısını 2 saatte % 97 oranına kadar azalttığını bildirmişlerdir [10]. Rediske ve diğ. (1999) ayrıca, Pseudomonas aeruginosa çözeltisine antibiyotik eritromisin eklemiş ve ölümcül olmayan bir ultrases (70 kHz) uygulamışlar, ardından artmış bakteriyel ölme durumunu fark etmişlerdir. Bakteriyel öldürme, tek başına antibiyotik kullanımı üzerine ultrasesinde uygulanmasıyla daha da arttırıldı. Artmış öldürmenin sebebi, esas olarak, hücre zarından lipopolisakkarit tabakasının ultrases ile destabilize olması nedeniyle, antibiyotiğin hücre zarından difüzyonu nedeniyle olmuştur. Bu yöntem, tıbbi cihazlardaki mikrobiyal biyofilmlerin gıda işleme ekipmanına kıyasla çıkarılması için potansiyel olarak daha büyük bir uygulamaya sahiptir [11].

İnce ve Belen (2001), deiyonize sudaki E. coli konsantrasyonunun 20 kHz sonikasyonda uygulama süresi ile azaldığını ve katılar (seramik granüller, metalik çinko parçacıkları ve aktif karbon) eklendiğinde E. coli'nin inaktivasyonunu iyileştirdiğini gözlemlemiştir [12]. Gao ve arkadasları (2014), 850 kHz ses dalgası kullanarak 3 ayrı bakteri türünü (enterobacter, bacillius ve stophykocus) inaktif etmeye çalışmışlardır. Sıvı içindeki bakterilerin inaktivitesinde hidrojen peroksit ve sesi birlikte kullanışlardır. Ultrases uygulamasında süreyi 20 dakikada sabit tutup sesin gücünü 0-70 Watt aralığında değiştirmişlerdir. Bu çalışma yüksek frekansla birlikte sesin gücünün de bakteri inaktivasyonunda oldukça etkin olduğunu ortaya çıkarmıştır. TEM fotoğrafları ile ses uygulanmamış, ses uygulanmış ve hidrojen peroksit kullanılmış bakterilerin hücre

duvarı bozulmaları gösterilmiştir. Ayrıca bakterileri %99 oranında inaktif ettiklerini iddia etmişlerdir [13].

Frederick ve arkadaşları (2014), 20 kHz lik ses dalgası ile toksit mikropların öldürülmesini incelemişlerdir. Kanser tedavisinde diğer tedavi yöntemlerinin zararları düşünüldüğünde ses dalgasının daha az zarar verecek bir yöntem olduğu düşünülmüştür. Yapılan deneyler tek başına ses dalgalarının yeterli oranda mikrobu öldürmeyi başaramadığını ama sonolümünesansla birlikte ses kullanıldığında mikropların hücre duvarların zarar gördüğünü göstermiştir. Bunun sonucunda büyük miktarda toksit mikrop öldürülmüştür [14].

Shamila-Syuhada ve arkadasları (2016), ses dalgaları ile sütün doğal yapısını bozmadan organizmaları inaktif etmeyi hedeflemişlerdir. Sesle birlikte hidrojen peroksit kullanmışlardır. 24 kHz lik ses dalgası kullanmışlar çeşitli sürelerde (5, 10, 15 dakikalık) sütte rastlanan 7 ayrı türde bakteri üzerinde deneylerini takip etmişlerdir. Bu bakterilerden biri de E.coli'dir. Ses uygulanmamış, farklı sürelerde ses uygulanmış ve hidrojen peroksit eklenmiş örneklerin bakteri konsantrasyonları tablolar şeklinde karşılaştırılmıştır. Bu yöntem ile hidrojen pekotsit ile sesin aynı anda uygulandığı örneklerde 15 dakika sonra sütün içindeki çoğu mikro organizmanın inaktif olduğu gözlenmiştir [15].

1.2 Tezin Amacı

Escherichia Coli (E. coli), memelilerin kalın bağırsağında yaşayan bakteri türlerinden biridir. Normalde bağırsakta yaşadığı için, E. coli 'nin çevresel sularda varlığı dışkı kirlenmesinin bir belirtisidir. Özellikle tuzlu sularda kolayca üreyebildikleri için deniz ve içme suyu hazneleri için tehlike teşkil ederler. E.coli' ye maruz kalındığında insanlarda ishal, sistit gibi hastalıklara neden olabilir. E.coli antibiyotiklere direnç gösterebilen ve sayısı belli bir oranın üzerine çıktığında ölümcül sonuçlara yol açabilen bir bakteridir.

Sulardaki bakteri inaktivasyonu için pek çok yöntem kullanılmaktadır. Özellikle klor ve çeşitli kimyasallar (çamaşır suyu, alkol) kullanmak bu yöntemlerden başlıcalarıdır. Ayrıca içilebilen sıvılar (süt, meyve suyu) için yüksek ısı sıkça kullanılan yöntemlerdendir. Ancak bu yöntemlerin insan sağlığına oldukça zararlı etkileri

bulunmaktadır. Isı ise yiyeceklerin faydalı özelliklerini yok edebilmektedir. Bu nedenle insan sağlığına en az zarar verici yöntemler kullanmak temel hedeflerimizdendir. Bu anlamda insan sağlığına zarar vermeden bakteri inaktivitesi için ses kullanmak en mantıklı yollardan biridir. Sesin bakteriler üzerindeki etkisi uzun yıllardır bilinen ve üzerinde hala pek çok çalışmanın sürdürüldüğü bir konudur. Ses dalgası bir enerji türüdür. Bazı frekanslarda bakteriye ses uygulandığında bakterinin hücre duvarı zarar görür, yapısı bozulur ve bakteri ölür. Bu yolla bakteri inaktivitesi sağlanabilir. Literatürde bazı ses frekanslarının E. Coli üzerindeki inaktivasyon etkisi mevcuttur. Ancak genel bir frekans ve güç aralığı tespiti yoktur ve ayrıca etkin uygulama süreleri belirlenmemiştir.

Bu çalışmada, ses kaynağı ve dönüştürücü kullanılarak bakterili sıvıya 10kHz-1000kHz aralığında ultrases uygulanmıştır. Ultrasesin uygulama süresi ve gücü değiştirilerek bu fiziksel süreçlerin bakteri inaktivasyonuna etkisi incelenmiştir. Bakteri inaktivasyonu hem UV absorbsiyon yöntemi ile hem de ekim sayımları ile takip edilmiştir.

1.3 Hipotez

Potansiyel bir mikrobiyal inaktivasyon yöntemi olarak ultrasesin araştırılması, 1960'larda, denizaltı savaşında kullanılan ses dalgalarının balıkları öldürdüğü keşfedildikten sonra başladı [16]. Mikrobiyal öldürme mekanizması esas olarak hücre zarlarının incelmesi, lokal ısıtma ve serbest kabarcıkların üretilmesinden kaynaklanmaktadır [17]. Sonikasyon işlemi sırasında, bir sonik dalga bir sıvı ortamla karşılaştığında, alternatif sıkıştırma ve genişleme bölgeleri oluşturulduğunda uzunlamasına dalgalar meydana gelir [5]. Bu basınç değişimi bölgeleri, kavitasyonun düşük ultrases dalgalarına dayanan doğal bir olaydır. Ultrases dalgaları sıvının içinde gitgide büyüyen ve belli bir büyüklükte patlayan hava kabarcıklarını oluşturur. Bu kabarcıklar, genleşme döngüsü sırasında daha geniş bir yüzey alanına sahiptir, bu da gazın difüzyonunu arttırır ve balonun genleşmesine neden olur. Sağlanan ultrases enerjisinin, kabarcık içindeki buhar fazını korumak için yeterli olmadığı bir noktaya ulaşılır; bu nedenle hızlı yoğuşma meydana gelir. Yoğuşan moleküller şiddetli bir şekilde çarpışarak şok dalgaları yaratır. Bu şok dalgaları, 5500 °C'ye ve 50.000 kPa'ya ulaşan çok yüksek sıcaklık ve basınç bölgeleri oluşturur. Bu implikasyonlardan

kaynaklanan basınç değişimleri, ultrasesteki ana bakterisit etkisidir. Sıcak bölgeler bazı bakterileri öldürebilir.

Bir ortamın kavitasyon eşiği (yani kavitasyonu üretmek için gerekli olan asgari basınç salınımı) bir dizi faktörle belirlenir [18]. Bunlar arasında çözünmüş gaz, hidrostatik basınç, sıvının spesifik ısısı ve kabarcık içindeki gaz ve sıvının gerilme kuvveti vardır. Diğer son derece önemli bir değişken ise kavitasyon eşiği ile ters orantılı olan sıcaklıktır. Kullanılan seviyenin üzerinde kavitasyon oluşmayacağından, kullanılan ultrasonik frekans 2.5 MHz'nin altında olmalıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, bakterinin inaktivasyonunda ultrases ile elde edilen başarı, tedavi edilen organizmaya bağlıdır. Listeria monocytogenes, bir dizi Salmonella spp., Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Bacillus subtilis ve bazı diğer mikroorganizmalar üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Eğer dalgalar yeterince güçlü ise moleküllerdeki çekici kuvvetleri kıracak ve gaz moleküllerini oluşturacaktır. Sıvıya ultrasound enerjisi gelmeye devam ettiğinde gaz kabarcıkları kritik boyuta ulaşana dek genleşmeye devam eder. Kritik boyuta ulaşıldığında gaz kabarcığı patlar ya da çöker. Kavitasyon ile var olan enerji ve tam çökmeden önce gaz baloncuğuna en yakın bölge sıvıda fiziksel ve kimyasal etkiye neden olur. Fiziksel etkiler, kavitasyon hücre membranını yırtacak ve katı yüzeyden partikül ayıracak kadar yoğun olduğunda oluşur. Partikülleri ve organizmaları partikül çarpışması veya onları ayrılmaya zorlayarak yok eder [19].

Bir sıvı ortamdaki kimyasal sistemlere ultrasound'un mekanik etkileri kavitasyon etkileri sonucunda oluşur ve bu kuvvetler biyolojik sistemler üzerinde büyük etkilere sahiptir. Akustik kavitasyon kabaca geçici (transient) ve sabit (stable) olmak üzere iki türe ayrılabilir. Geçici kavitasyon, gaz ya da buhar ile dolu kabarcıklar düzensiz salınıma uğradıklarında ve sonunda hızla içine çekildiklerinde (implode) meydana gelir. Bu durum yüksek yerel sıcaklık ve basınç meydana getirir bu da biyolojik hücreleri parçalar ve / veya bazı enzimleri denature edebilir. Hızla içe çekilen kabarcıklar çözücü içinde yüksek kesme (shear) kuvvetleri ve sıvı jeti de üretir bunlar aynı zamanda hücre duvarına / membrana fiziksel olarak zarar verebilecek yeterli enerjiye sahiptirler [20].

Kısaca, ses dalagaları sıvı içinde bir basınç değişimine ve bunun sonucunda küçük hava

kabarcıklarına neden olur. Bu hava kabarcıkları büyür ve zaman zaman patlar. Bakterili sıvıda meydana gelen bu olaylar bakteri duvarının zarar görmesine ve çatlaklar oluşmasına neden olur. Sonuçta hücre duvarı zarar gören bakteri in-aktif olur.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 Sularda Mikrobiyolojik Kirlenme

İnsanoğlu her gün, her saat, her dakika yaşamsal devamlılığını sürdürebilmek için hidrolojik çevrimden faydalanır neticede bu döngüye ait olmayan kimyevi ve bakteriyel unsurlar temiz su kaynaklarının saflığını bozarak "Su Kirlilği" ne yol açmaktadır. Her geçen gün artan dünya nüfusu ve temiz su kaynaklarının bu nüfusa oranı düşünülecek olursa özellikle bakteriyel kökenli kirlenme ileriki yıllarda önemli bir sorun olarak karşımıza çıkacaktır [21].

Birkaç yüzyıl önce suyun doğadaki çevriminden ötürü hiç bitmeyecek bir kaynak olduğu düşünülmekteydi ama günümüzde aşırı nüfus artışı ve sanayileşme bu kaynağında sınırları olduğunu ortaya koymaktadır. Dünya çapında hızla artmakta olan çarpık kentleşme, plansız yapılaşma ve bilinçsizce oluşturulan çevre kirliliği hem yerüstü sularını hem de yer altı sularını hızla tüketmiş veya kirletilerek kullanılamaz hale getirmiştir.

Dünya nüfusunun % 20'si güveniliği belli olamayan su kaynaklarından faydalanmakta, yılda 200 milyonu aşkın insan su ile ilintili hastalıklara maruz kalmakta ve yine yılda 2 milyon insan kirli su ile kontemine olmaları neticesinde yaşamını yitirmektedir. Gezenimizdeki tüm hastalıkların neredeyse %50 si bu tip sularla ilişkili oluşup, yayılmaktadır. Gelişmişlik düzeyi düşük olan ülkelerde atık suların ancak %5'inin temizlenebilmesi, endüstriyel ve evsel atıkların çevreye, akarsulara ve yer altı sularına karışarak hem insanlığı hemde ekolojiyi tehdit etmesi ayrı bir sorundur**.** Su ile ilintili

konteminasyonla enfeksiyonlara dayalı ishaller, dünyadaki tüm ölümler içinde 2. sırada bulunmaktadır**.** Araştırmalara göre yalnız Amerikadaki diyareli hastalıkların ülke ekonomisine yıllık maliyeti 6 milyar doları bulmaktadır [22].

Bulaşıcı hastalıklar yalnızca insanları da etkilememektedir, hayvanları ve bitkileride enfekte ettiği gibi doğal ortamı oluşturan toprak, hava ve su da hastalık yapıcı çeşitli mikroorganizmalarla kirlenmektedir. Tarım alanlarının kanalizasyon suyu ile sulanması veya kanalizasyon sularının akarsu, göl ve denizlere boşaltılması ile kanalizasyon sularında bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmalar toprağa, suya ve atmosfere geçerek bu ortamların mikrobiyolojik kirlenmesine yol açmaktadır.

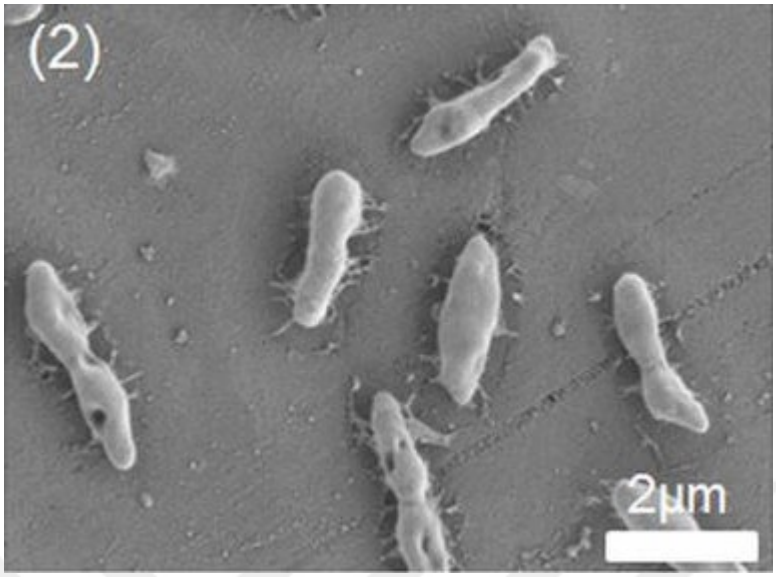
Dünya su rezervleri ile ilgili yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür ki dünya, kaliteli su kaynakları yönünden oldukça zayıflamıştır. Dünyada toplam 1.4 milyar metreküp su hali hazırda vardır fakat bu suyun %98'i okyanus ve denizlerden gelen tuzlu sudan sağlanır, temiz suyun büyük bir kısmı kutuplardadır ve sadece %1'i ulaşılabilir akiferlerde bulunmaktadır [23].

2.2 Escherichia Coli

İlk kez 1885 senesinde Alman çocuk doktoru Theodor Bald Escherich yenidoğanların intestinal florasının gelişimi ile ilgili çalışmaları esnasında tanımlanmıştır. Önceleri *Bacterium coli commune* olarak adlandırılmış. 1919 senesinde Castellani ve Chalmer tarafından '*Escherichia*' cins adı önerildikten sonra ise *Escherichia coli* olarak adlandırılmış olup 1,1-1,5 µm çapında 2,0-6,0 µm boyunda, Gram negatif ve sporsuz bir bakteridir. Bazı suşları kapsüllü olan *E. coli* insan ve çoğu sıcakkanlı hayvanın doğal bağırsak florasında bulunmaktadır [24], [25], [26].

E. coli, Enterobactericeae familyasında Escherichia genusu içinde bulunur. Enterobacteriaceae familyasında insanlar için hastalık yapıcı olan bakterilerin bir kısmı insan ya da hayvan bağırsak florası içerisinde devamlı olarak bulunurken, bir kısmı da bazen bağırsak florasına bulunurlar. Escherichia coli zaten insanların ve hayvanların kalın bağırsağında daimi olarak var olan bir flora bakterisidir. Kalın bağırsak florası içinde en çok rastlanan fakültatif anaerob türü E. coli'dir. Gaitanın gramında 10^5-10^9 E.coli bulunur.

E. coli (Şekil 2.1) bağırsak dışında da uzun süre yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilir ve bu nedenle toprakta ve suda çok rastlanır.



Şekil 2. 1 Escherichia Coli'nin SEM görüntüsü

2.2.1 Taksonomisi ve biyokimyasal özellikleri

E. coli 5 °C - 46 °C arasındaki sıcaklık derecelerinde üreme özelliğine sahipken optimum üreme sıcaklığı 37 °C'dir. Sıcaklık, üreme süresi ve üreme döngüsünde organizmaların miktarını etkiler. Besi yerlerinde üremenin sağlanabilmesi için en uygun pH 7,0-7,2'dir [27]. Laboratuvar ortamındaki besi yerlerinde 18 °C - 44 °C de ürer. Bakterinin 44 °C de üreyebilmesi ayırt edici bir özellik olarakta kullanılabilir örneğin Enterobacter ve Serratia gibi bakter farklı sıcaklıklarda üreyebildiğinden onlardan ayırt edilebilmesini sağlar. E. Coli' lerin agarda oluşturdukları S tipi kolonileri hafif yuvarlak, düzgün, bombeli ve 1-2 mm çapındadır. Kapsüllü E. coli' lerin kolonileri mukoid karakterde olup, çapları daha büyüktür. E. coli sporsuz bir bakteri olduğu halde, dış etkenlere oldukça dayanıklıdır. 60 °C' de 30 dakika, 55 °C' de bir saate, oda sıcaklığında ise oksijenli su, fenol, klor gibi dezenfektanlarla bir kaç dakikada öldürülebilirler [24], [28], [29].

2.2.3 Hastalık oluşturma özelliği

İnsan sağlığı için hastalık yapıcı en önemli sebeplerde birini patojenik bakteriler teşkil etmektedir. İnsanoğlu zamanın başlangıcından beri varlığını tehdit eden bu düşman ile amansız bir savaş halindedir ve muhtemelen insanlık varolduğu sürece bu savaşta devam edecektir. Patojenik bakteriler canlılara çevresel etmenler ve besin maddeleri ile taşınır. Beslenmeden yaşamsal faaliyetlerimizi yerine getiremeyeceğimizden ve çevreden tamamen soyutlanmamız mümkün olmadığından kontaminasyon kaçınılmazdır. Fakat ciddi önlemler alınarak kontaminasyon konsantrasyonu kontrol altında tutulabilir. Bu önlemler zahmetli ve pahalı olabilir fakat ileriki dönemlerde oluşabilecek ciddi salgın riski düşünüldüğünde bu önlemler gereklidir.

Yiyeceklerden kaynaklanan mikrobiyal enfeksiyonların yaygınlığı kalkınmış ülkelerde bile azımsanmayacak boyutlardadır [30].Gıda kökenli patojen bakteriler arasında en tehlikelilerden birisi de Escherichia coli ve özellikle bunun O157:H7 suşudur. E.coli O157:H7 enfeksiyonu ölümle sonuçlanabilecek komplikasyonlara yol açabilir [31].

Üropatojen E. Coli suşları enfeksiyon oluşturmak için idrar yolu epiteline yapışabilmekte ve burada kolonize olabilmektedir. Enfeksiyon aynı zamanda kırmızı kan hücrelerinin yıkımı ile meydana gelen HUS olarak adlandırılan komplikasyonlara da neden olmaktadır.

E.coli O157:H7 enfeksiyonlarında en çok karşılaşılan bulgular şiddetli kanlı ishal ve abdominal ağrılardır. EHEC suşları lizojen bakteriyofaj tarafından kodlanan bir verotoksin salgılamaktadır. E.coli özellikle idrar yolu enfeksiyonlarının en sık etkeni olmakla birlikte basit üretrit, semptomatik sistit, pyelonefritten artrit, pnömoni, menenjit ve sepsise kadar uzanan çok çeşitli klinik tablolara neden olmaktadır [32].

Klinik HUS vakası hastalarda, ciddi semptomlar ve kimi durumlarda sarılık ve sıklıkla yüksek tansiyon oluşmaktadır. Hastalara genellikle diyaliz ve kan nakli uygulamak gerekir ve kalp yetmezliği, koma, kalp krizi gibi kardio-vasküler ve merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları görülebilir [33]. *E.coli* türevi bakteriler genellikle hayvanların ve insanların bağırsak sisteminde bulunmasına ve cenlının sağlığını tehdit edici olmamasına karşın, *E. coli* O157:H7, inek bağırsak sisteminde yaşamını sürdürebilir ve buradan dışkılama ile süt sağımı ve et kesim işlemleri sırasında süte ve ete, toprağa, suya, bitkisel ürünlere ve

dolayısı ile mümkün olan her ortamla kontemine olarak en sonunda insanlara ulaşabilir.

E. coli (VTEC) ya da Shiga benzeri toksin üreten E. coli (STEC) olarak da adlandırılmaktadır. EHEC, hareketli E. coli O157:H7 ve hareketsiz O157 (O157:NM) serotiplerinin yanısıra O26, O111, O103, O121, O45, O145, O165 ve O113 gibi diğer serotipleri de kapsamaktadır. Pastorize olmamış süt tüketimi ve dışkı ile temas olmuş sulara girmek veya bu suları tüketmek de enfeksiyona neden olabilmektedir. *E. coli* O157:H7 yayılmasının ana sebebi olarak kıyma, hastalığı taşıyıcı insan, sebzeler ve iyi yıkanmamış sebze ürünlerinden yapılmış salatalar, içme ve havuz suları, iyi pişmemiş et, çiğ süt ve elma suyu gösterilmiş, ancak %27,9' unun kaynağı tespit edilememiştir [34], [35]. Hastalık, kişisel hijyenin hiçe sayıldığı durumlarda, kontemine olmuş bir kişiden sağlıklı bir kişiye kolaylıkla geçebilmektedir. Özellikle 12 yaş altı bireyler ve 65 yaş üstü bireyler büyük tehlike altındadır**.** Bu nedenle yaşamsal faaliyetlerin sonlanması oransal olarak % 3-5 arasındadır [36].

2.3 İnaktivasyon Yöntemleri

2.3.1 Ultrasound ile inaktivasyon

Ses dalgaları boyuna dalgalar olup, bu dalgalar ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirli bir hızla yayılırlar. Ses dalgası bir ortamda ilerlerken; ortamın parçacıkları, dalganın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişiklikleri ile titreşirler. Bu parçacık hareketi, dalga hareketinin yönüne dik olan enine dalga hareketindeki durumun tersidir. Ses dalgaları şeklinde ortaya çıkan yer değiştirmeler, denge konumundan itibaren her bir molekülün boyuna yer değiştirmesini gerektirir. Bu sıkışma ve genişleme şeklinde yüksek ve alçak basınç düşmelerine yol açar. Frekanslarına göre, boyuna mekanik dalgalar üç gruba ayrılır.

1-) Duyulabilir aralıktaki dalgalar: İnsan kulağının algılayabildiği frekans aralığında olan ses dalgalarıdır. Bu aralık 20 Hz ile 20.000 arasındadır. Bu sesler değişik yöntemlerle oluşturulabilir; müzik aletleriyle, ses telleriyle ve hoparlör ile.

2-) Ses altı dalgalar (Infrasonic) dalgalar; işitilebilir frekans aralığının altındaki frekansta olan boyuna dalgalardır. Örneğin Deprem dalgaları bu gruptadır.

3-) Ses ötesi dalgalar (Ultrasonic) dalgalar; işitilebilir frekans aralığının üstünde frekansları olan boyuna dalgalardır. Örneğin bu dalgalar, bir kuartz kristaline alternatif elektrik alanın uygulanmasıyla elde edilebilirler. Bu yol ile, $6x10^8$ Hz (=600MHz) kadar yüksek ultrasonik frekanslar elde etmek mümkündür. Hava içinde bu frekansa karşılık gelen dalga boyu $5x10^{-5}$ cm'dir. Bu veriler görünür ışık dalga boyu ile aynı mertebededir.

Uygun şekile getirilmiş kuvars piezoelektrik olarak kullanılabilir. Yani, kristale belli bir doğrultuda basınç uygulandığında, buna dik bir doğrultuda bir elektrik sinyali oluşur. Bunun tersi de geçerlidir, kristale alternatif bir gerilim uygulandığında kristal titreşmeye başlar.

Enerjiyi, bir halden diğerine dönüştüren herhangi bir aygıt dönüştürücü (transducer) olarak adlandırılır. Mikrofon ve kuartz kristal gibi, seramik ve magnetik fonograf pikaplar da ses dönüştürücülerine ait genel örneklerdir. Bazı dönüştürücüler ses ötesi dalgalar üretebilirler. Böyle aygıtlar ultrasonik temizleyicilerde kullanılabilir. Ses ötesi dalgaların kullanıldığı tepkimelere Sonokimyasal Tepkimeler denmektedir. Sonokimya 'ses ötesi dalgalar' yoluyla kimyasal tepkimenin gerekleştiği koşulların iyileştirilmesini, tepkime mekanizmasının değiştirilmesini ve tepkimeyi hızlandıracak radikal oluşumunu arttırmayı amaçlamaktadır. Ses ötesi dalgaların kimyasal tepkimelere etkileri çok çeşitlidir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Tepkime hızını artırır.
- Serbest radikal oluşumunu sağlayarak başlatıcı veya katalizör olarak görev yapar.
- Mekanik etkileri sayesinde yüzey alanını artırarak, kütle aktarımını hızlandırır.
- Yan ürünlerin oluşmasını engeller.
- Tepkimenin verimini arttırmakla birlikte tepkim e süresini kısaltır.
- Tepkime yol izini değiştirir
- Yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleşen tepkimenin koşullarını değiştirerek, elverişli koşullarda gerçekleşmesini sağlayabilmektedir [37].

Bunların yanısıra ses dalgaları fiziksel etkiler de içerirler. Örneğin bir çözeltide kavitasyon kabarcıkları bir takım süreçler ile bakterileri ya da biyolojik hücreleri mekanik olarak zayıflatmak ya da parçalamak için yeterli enerji üretir.

- Bakteriyel hücrelerin yüzey rezonansından kaynaklanan güçler kavitasyon ile

oluşur. Gaz kabarcıklarının sönmesinden kaynaklanan basınç ve basınç düşüşleri bakteriyel çözeltiye giren ve bakteriyel hücre duvarının içinde ya da yanında bulunan gaz kabarcıklarının sönmesinden kaynaklanır. Bakteriyel hücre frekansa bağlı olarak belli bir süre mekanik olarak zorlandığında zarar görür.

- Microstreaming'in neden olduğu kesme kuvvetleri bakteriyel hücrelerde meydana gelir
- Sulu ortamlarda kavitasyon boyunca radikallerin (H^+ ve OH^-) oluşumu sayesinde kimyasal bozunma gerçekleşir. Radikaller bakteriyel hücre duvarının kimyasal yapısını bozar ve hücre duvarını zayıflatır.
- Suyun bu sonokimyasal degredasyonunda son ürün kuvvetli bir bakterisit olan hidrojen peroksit'tir (H_2O_2) [38].

Ultrases, frekansı insanların işitme eşiğinin (20 Hz ile 20 kHz) üzerindeki mekanik titreşimlerden oluşan bir enerjidir. Mikrobiyal gruplar içinde yer alan hücreleri sonik ve ultrasonik enerjiden faydalanarak inaktive etmek mümkündür.

Kavitasyona etki eden etmenler aşağıda sıralanmışır:

a) Frekans: Yayınımın frekansı arttığında gerilme fazı kısalması ile;

- Sistemdeki kavitasyon ölçüsünün eşitliğini sürdürmesi için iletimin gücünün artması gerekir. Aynı koşulların devam edebilmesi için yüksek güç ve frekans gerekir.
- Ultrasonik frekans MHz alanına yükseltilirse sıvıdaki kavitasyon ürünü azalır.

b) Çözücü Viskozitesi: Sıvıdaki boşlukların biçimleri ve buhar dolu mikro kabarcıklar sıvıya etki eden gerçek korozif kuvvetleri yine gerilme alanında negatif basınç gerektirirler. Kuvvetler büyük olunca viskoz sıvılarda kavitasyon oluşumu çok zordur.

c) Çözücü Yüzey Gerilimi: Kullanılan düşük yüzey gerilimli çözücüler kavitasyon eşiğinde azalmaya sebep olurlar.

d) Çözücü buhar basıncı: Düşük buhar basınçlı bir çözücüde kavitasyona sebep olmak çok zordur. Bunun için daha uçucu çözücülerdeki kavitasyonu kolaylaştırmak gerekir

Sıcaklık: Atmosfer sıcaklığının artırılmasıyla buhar basıncı artar ve bundan dolayı kolay kavitasyon, fakat daha düşük şiddetli çökme sağlanır.

Başka bir faktör ise yüksek sıcaklıklarda çözücünün kaynama noktasına yaklaşırken

aynı zamanda çok sayıda kavitasyon kabarcıkları oluşur. Bunlar ses iletimine bir engel gibi davranır ve sıvı ortamına giren ultrasonik enerjinin etkisini söndürür.

e) Dış Basınç: Dış basıncı artırmak, kavitasyon oluşumu için daha fazla ultrasonik enerjiye ihtiyaç vardır. Yani dış basıncı artırmak kavitasyonal yığının yoğunluğunu artırır ve sonuç olarak sonokimyasal etki artar.

f) Yoğunluk: Sonikasyonun yoğunluğu direk olarak ultrasonik kaynağın titreşiminin genişliğine bağlıdır. Genelde, yoğunluktaki artış sonokimyasal etkilerdeki artışı sağlar, fakat sistemdeki ultrasonik enerji girdisi belirsiz olarak üç sebepten dolayı artmaz.

2.3.2 Metal iyonları ile inaktivasyon

Ağır metallerin büyük bir kısmından saf veya bileşikler olarak mikroorganizmaların kontrol altında tutulmasında faydalanılır. Ağır metallerin, antibakteriyel olma durumları maddeden maddeye değişir, fakat antibakteriyel olma durumlarına göre Hg^{++} ve Ag^{+} en etkili ağır metallerdir. Bu metaller 1 ppm'den az derişimde bakteriyel temizliği sağlayabilirler. Bu olgu oligodinamik etki olarak adlandırılmıştır.Yani ağır metallerin özellikle gümüşün mikroorganizmalar üzerinde olumsuz bir etki yaratmasına mikrobiyolojik açıdan verilen ad oligodinamik etkidir. Oligodinamik etkiyi laboratuar ortamında tespit edebilmek için herhangi bir mikroorganizma türü ile kontamine olan katı bir cisme temiz bir parça gümüş ya da bakır metal yerleştirildiğinde, zaman içinde metalin çevresinde bir büyümenin gerçekleşmediği farkedilir. Bu anlatılan örnek deneyde metal iyonu derişimi ppm düzeyinde olacak biçimde azdır.Metal iyonu çok az olması hücrelerin bu iyonları daha çok çekmesi ile sonuçlanmaktadır.

Örneğin bu metalin gümüş olması halinde maya veya bakteri hücreleri tarafından Ag^{+} iyonları 10^{5}-10^{7} adet iyon yoğunluğunda çekildiklerinde ölüm gerçekleşmektedir.

Anlaşılacağı üzere oligodinamik etki hüre sayısı ile de ilişkilidir.Ortamda hücre konsantrasyonu fazla ise hücre-iyon derişim miktarı değişeceğinden öldürücü yoğunluğa elde edilemeyebilir.

Gümüş, bahsi geçen özelliklere sahip bir madde olduğu için sıhhi malzemelerin çoğunda kullanılabilir.

$Hg^{++,}$ nin antibakteriyel etkisi hücre içinde yer alan enzimlerin –SH (sülfidril) grupları tarafından ortadan kaldırılabilir. Bu ağır metal iyonları hücre içine girdiklerinde –SH grupları ile birleşerek merkaptidleri oluşturur. Daha önce belirtildiği gibi bu metallerin iyon formları öldürücüdür. Merkaptidlerin oluşması ile hücre içinde bu iyonlar ortadan kalmaktadır. Hücre içine alınan bu tür metal iyonlarının bazıları merkaptidlerin oluşmasına neden olduklarından hücre içinde pasif duruma geçmektedir. Ancak pasif duruma geçirilemeyen metal iyonları öldürücü etkiye sahip olabilmektedir. Bu yüzden hücreler ancak 10^{5}-10^{7} Ag^{+} aldıklarında ölmektedir [39].

2.3.3 Klor ile inaktivasyon

Atıksu arıtım tesislerinde en yaygın kullanılan klor bileşikleri, klor gazı (Cl_2), kalsiyum hipoklorit [$Ca(OCl)_2$], sodyum hipoklorit (NaOCl), ve klor dioksit(ClO_2)'dir. Klor gazı suya ilave edildiğinde ard arda iki reaksiyon meydana gelir. Bunlar hidroliz ve iyonizasyondur.

Suda bulunan HOCl ve OCl^-'nin miktarları serbest klor olarak adlandırılır. HOCl, OCl^-'e göre daha kuvvetli bir dezenfektandır [40]. Bu nedenle birinci reaksiyonun sağa, ikinci reaksiyonun sola doğru olması istenir. Bu ise belli bir aralıktaki pH değerlerinde mümkün olur [41].

Serbest klor suya hipokronit tuzları şeklinde de eklenebilir. Bu durumda reaksiyonlar aşağıdaki gibi gerçekleşir [40].

$Ca(OCl)_2 + 2H_2O \rightarrow 2HOCl + Ca(OH)_2$ (2.1)

$NaOCl + H_2O \rightarrow HOCl + NaOH$ (2.2)

Pek çok ülkede içme suyu arındırma akla geldiğinde klor kullanılmaktadır, klor sudaki organik maddelerle reaksiyona girerek "dezenfeksiyon yan ürünleri" olan klorlu-organik bileşiklerin oluşturur.

Dezenfeksiyon yan ürünleri, organik moleküldeki aktif kısımların halojen olarak adlandırılan klor, brom veya iyot ile yer değiştirmesi sonucu meydana gelir. Bunların başlıcaları, trihalometanlar (THM) haloasetikasitler (HAA) ve haloasetonitriller (HAN)'dir. En sık rastlanan THM bileşikleri; kloroform ($CHCl_3$), bromodiklorometan ($CHBrCl_2$), dibromoklorometan ($CHBr_2Cl$) ve bromoform ($CHBr_3$) olup, genellikle

toplam olarak ifade edilmektedir.

Sindirim sistemi kanseri ile içme suyunda düşük seviyede bulunan THM'lere uzun süreli maruz kalınması arasında bir bağıntı olduğu bilinmektedir.
Klorlanmış su içenlerin bağırsak ve mesane kanserine yakalanma riskleri klorlanmamış su içenlere göre daha daha yüksektir. ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları'nda THM' lerin kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir.

2.3.4 Ozon ile inaktivasyon

Bir başka yöntemde ise ozondur. Ozon kullanmanın en önemli tarafı düşük derişimlerde bile etkili bir dezenfektandır. Fakat yüksek maliyetidir. Hem yöntemin sürekliliği için ozon üretim cihazı oldukça pahalıdır hem de ozon kalıcı bir çözüm değildir, ozon ile anlık çözüm sunulduğundan devir daim sistemine verilen suya ayrıca kalıcı bir dezenfektan, örneğin kloramin, eklenir.

Ozon, klorun aksine halojenli organik bileşik oluşturmaz. Ancak ozon doğal humik maddelerle reaksiyona girerek, biyolojik parçalanmaya karşı humik maddelerden daha hassas olan organik maddeleri oluştururlar. Bunun sonucunda ise içinden ozon geçen borularda bakteri oluşumu gözlenebilir ki bu da su kalitesine ve borularda su akışına zararlı olabilir.

Suya karışan bazı organik bileşiklerin suyun saflığını bozarak su da koku ve tat oluşumuna sebebiyet vermeside ayrı bir sorundur. Bu gibi durumlarda da ozondan faydalanılır.

Ayrıca ozon uygulanması ile indirgenmiş demir ve mangan tuzlarının çözünmeyen oksitlere dönüştürülerek dağıtımdan önce uzaklaştırma yoluna da gidilmektedir. Bakiye ozon ölçüm yöntemleri ozonun organik maddeyi oksitleme kabiliyetine dayanmaktadır. Burada indigo, mavi renkli boya, kolorimetrik işlem için kullanılmaktadır. Asidik şartlarda ozon hızla indigoyu oksitleyerek renksizleştirir. Ozon içeren sudan kaynaklanan standart indigo çözeltisindeki bu renk açılması spektrofotometre ile ölçülür [42].

2.3.5 Elektrokimyasal inaktivasyon

Sudaki mikrobiyal yapılar elektrokimyasal olarak da inaktive edilebilir. Son yıllarda bu konu oldukça popüler bir konu olmuştur. Elektrokimyasal metodla dezenfekte etme özelliğine sahip kimyasalların kullanılacağı yerde imal edilebilmesi birçok açıdan gündelik hayatta kolaylık sağlar. Örneğin klorlama metodu ile karşılaştırma yapmak gerekirse klorun saklanması ve taşınması sırasında oluşabilecek kazalar minimum indirilir.

Elektrokimyasal yöntemde DC akım ya da düşük veya yüksek frekanslı (0,5 800 Hz) AC akım kullanılabilmektedir. Elektrokimyasal yöntem esnasında elektrot malzemesi olarak grafit, granüler aktif karbon, aktif karbon lif ve gümüş uygulanabilir. Bazı durumlarda NaCl ve NaBr gibi maddeler suya katılarak aktiflik arttırılabilir. Elektrokimyasal su arıtımı ile boyutları virüslerden bakteri ve alglere kadar uzanan 40 tür mikroorganizma sudan temizlenebilir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonun etki mekanizması temel olarak bakterilerin anotta direkt olarak yükseltgenmesine ya da elektrokimyasal olarak bir yükseltgen üretilerek bakterilerin elektrokimyasal reaktörde indirekt yolla yükseltgenmesine dayanmaktadır. Direkt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonda, elektrokimyasal reaktöre sabit gerilim uygulanması ile bakteri hücrelerinin solunum aktivitesinin azalması sağlanmakta ve sonuçta ölümüne sebep olunmaktadır. Bu yöntem hücre içi koenzim A' nın elektro yükseltgemesine dayanmaktadır.

İndirekt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonun prensibi elektrokimyasal bir hücrede bir yükseltgen üretilmesine dayanmaktadır. Üretilen yükseltgen de genellikle klordur. Suda her zaman bulunan klorür elektrokimyasal olarak yükseltgenerek ya da suya ilave edilen sodyum klorür ile klor veya hipoklorit üretilerek kirleticilerin dezenfeksiyonunda kullanılabilir [43].

2.3.6 UV ile inaktivasyon

19. Yüzyılda ilk kez kullanılmaya başlanan radyasyondan faydalanarak suların arındırılması metodu yeterince verimli bir yöntem değildir. Önceleri kaliteli su elde etmek amacıyla kullanılırken, son zamanlarda da atıksu temizleme amacıyla kullanılmaktadır. Belirli miktarlarda UV radyasyonun toksik etki yaratmadan bakteri ve

virüslere karşı kullanılabileceği tespit edildi.

Günümüzde düşük basınçlı civalı ark lambaları UV radyasyonunun dezenfeksiyon amacıyla kullanımında en yaygın kaynaktır. Civalı ark lambalarının ürettiği 254 nm dalga boyunda monokromatik ışık optimum germisidal etkiyi sağlamaktadır. 254 nm dalga boyundaki radyasyon mikroorganizmanın hücre duvarından geçerek, hücre içindeki DNA ve RNA tarafından absorblanır.

Bu durum hücre artışının engeller ve hücrenin yaşamsal faaliyetlerinin sona ermesi ile sonuçlanır.UV radrasyonun bakterisit olması suyun saflığına bağlıdır.

Suyun saflığı bozan kirleticiler UV radyasyonunun direk bakteriye gitmesini önleyecektir.

UV radyasyonunun su arıtma tekniği olarak yararlı olabilmesi için en etkili metod, suyun ince kesitler halinde UV kaynaklarına sokulmasıdır.UV radyasyonu bildiğiniz üzere kimyasal bir birleşim değildir bu sebeple suda zehirli bir varlık oluşturmaz.Bununla birlikte bazı bileşikler UV radyasyon değişim geçirebilmektedir.Fakat bunların tehlikesiz olduğu sanılmaktadır.

Bu sebeplerle UV radyasyonun, doğa için tehlikeli veya yararlı etkilerinin bulunmadığı varsayılmaktadır [40].

UV ile dezenfeksiyon sürecinin etkinliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- UV ışın yoğunluğu,
- Temas süresi,
- Atık su kalitesi (bulanıklık, toplam askıda katı madde).

Temizlenecek atık suyun saflığı önemli bir problem olabilmektedir. Eğer temizlenecek suyun kalitesi iyi değilse, UV ışını katılara etki edemez ve uygulama verimsizleşir.

2.4 Piezoelektrik

2.4.1 Piezoelektriğin Tarihçesi

19. yüzyılın sonlarına doğru ilk defa piezoelektrik özellik ile kristal yapıları birleştiren deneysel çalışma Pierre Curie ve Jacques Curie kardeşlerce yapılmıştır. Curie'ler tourmaline, quartz, topaz, cane sugar, Rochelle tuzu kristalleri ile piezoelektrik etkiyi araştırmışler bu araştırmayı yaparkende pyroelektrik hakkındaki bilgilerinden yola çıkmışlardır. Bilindiği üzere piezoelektrik, malzemeye uygulanan mekanik stres sonucu üretilen elektriktir.

Pierre Curie ve Jacques Curie doğrudan piezoelektrik etkiyi ispatlamışlardı ancak, dolaylı piezoelektrik etkiyi (uygulanan elektrik alan neticesinde malzemede meydana gelen gerinme) ön görememişlerdi.

Gabriel Lippmann 1881 senesinde temel termodinamik ilkelerden dolaylı piezoelektrik etkiyi matematiksel olarak ispatlamıştır. Curie'ler Lipmann'ın bulduğu bu ispatın üzerine deneysel çalışmalar yaparak dolaylı piezoelektrik etkiyi tespit etmişlerdir.

Piezoelektrik özellik ispat edildikten sonraki 25 yıl boyunca laboratuvarlarda piezoelektrik özelliği bulunan kristal yapıların çeşitleri araştırılmıştır. Woldemar Voight'ın 1910 yılında tensor analizi kullanarak piezoelektrik sabitleri ve piezoelektrik özellik sergileyen 20 doğal kristal sınıfı tanımladığı Lehrbuch der Kristallphysik kitabının yayınlanmasıyla bu çalışmalar sonuçlandı.

I. Dünya Savaşı sırasında piezoelektrik ile ilgili önemli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaladan biri de Fransa'da Paul Langevin ve arkadaşları tarafından imal edilen ultrasonik denizaltı detektörüdür. Detektör, iki çelik levha arasına ince kuvars kristallerinin sabitlenmesi ile yapılmıştır. Bu kompozit sistem 50 kHz değerinde rezonans frekansına sahiptir. Bu cihaz suyun içine yüksek frekansta sinyal gönderiyor ve daha sonra yansıyan sesi algılıyordu. Bu yöntemle sistem denizaltındaki cisimlerin mesafesini hesaplayabiliyordu. Piezoelektrik ile çalıştırılan bu sonarın populeritesi artınca sonraki senelerde de yeni piezoelektrik malzemeler ve yeni uygulamalar üretildi.(Mikrofonlar, titreşim algılayıcıları, hızölçer, sigortalar, mikropompalar, kulaklıklar, ultrasonik temizleyiciler, osilatörler, transformatörler vs.)

II. Dünya Savaşı süresince, ABD, Rusya ve Sovyetler Birliği'nde çeşitli araştırmacılar doğal kristallerden 100 kat daha fazla dielektrik sabite sahip sentetik malzemeler (ferroelektrik olarak adlandırıldı) buldular. II. Dünya Savaşı bittiktan sonra da bu malzemeler elektrik alana maruz bırakılarak piezoelektrik özellik elde edebildiği bulundu.

1970'li yıllara kadar üzerinde çalışılan piezoelektrik özellik gösteren malzemeler doğada bulunan kristallerden ve yapay olarak üretilen seramiklerden oluşuyordu. Kawai 1969 yılında polimer yapılı bir malzeme olan hem piezoelektrik hem de pyroelektrik özellik gösteren polyvinylidene flüoride (PVDF)'i keşfetti.

Bu tip malzemenin piezoelektrik özellik kazanması için yalnızca elektrik alana maruz kalması yeterli değildi. Kawai PVDF ile ilgili ilk makalesinde bu malzemenin yaptığı bir dizi işlemler sonucunda piezoelektrik özelliği gösterdiğini açıklıyordu.

30 yılı aşkın bir süredir malzeme bilimi entegre olabilen ve yüksek verimli kompozit malzemeler geliştirmektedir. Piezoelektrik ve pyroelektrik malzemeler, dışardan basınç ya da sıcaklık uygulandığında elektrik üretmektedirler bu özellikleri ile bu malzemeler, akıllı malzemeler çeşitli dedeksiyon cihazlarında algılayıcı olarak kullanılır ve çevre koşullarına göre değişkenlik gösterip birçok uygulamada yer alırlar.

2.4.2 Piezoelektrik Özellik

'Piezo' kelimesi aslen grek kökenli olup basınç manasına gelmektedir. Piezoelektrik ise basınç sonucunda elektrik üretimidir. Kristalin iç sisteminde merkezi simetri yok ise, uygulanan mekanik basıncın malzemede elektrik potansiyel oluşturması piezoelektrik etki olarak tanımlanmaktadır. Sonradan yapılan çalışmalarda piezoelektrik malzemelerin tersinir olduğu bulunmuştur. Piezoelektrik malzeme üzerinden elektrik akımı geçirildiği zaman malzeme üzerinde bir gerilme oluşur, buna piezoelektrik etki denir. Doğada 32 kristal sınıfı içinde tespit edilmiştir. Bu kristal sınıflarından 20 tanesi merkezi simetri göstermemektedir ve bunlar piezoelektrik özellikleri bulunmamaktadır. Bu gruptan 10 kristal piezoelektrik sınıfı polardır. Bir malzemenin polar olması demek o malzemenin doğal olarak bir dipol momente sahip olmasıdır. Bu 10 kristal sınıfı aynı zamanda sıcaklık değişimi ile de elektrik potansiyeli oluşturmaktadır ve bu özelliğe

pyroelektrik etki denilmektedir. Bu sınıfa dahil bir malzeme türüde de ferrolektrik malzemelerdir. Ferroelektrik, malzeme içinde bulunan doğal dipol momentlerinin belirli bir elektrik alan uygulanmasıyla yönlendirilmesidir.

2.4.3 Piezoelektrik Malzemeler

Piezoelektrik malzemeler dört grup altında incelenebilir: piezoelektrik kristaller (kuvars, rochelle tuzu, vb.), piezoelektrik seramikler (kurşun zirkonat titanat, baryum titanat, vb.), piezoelektrik polimerler (naylon, vinilidin florür, vb.) ve piezoelektrik kompozitler. Özelliklerinden dolayı her birinin faaliyet alanı farklıdır. Buna bağlı olarak üç ana grup oluşturulacak olursa.

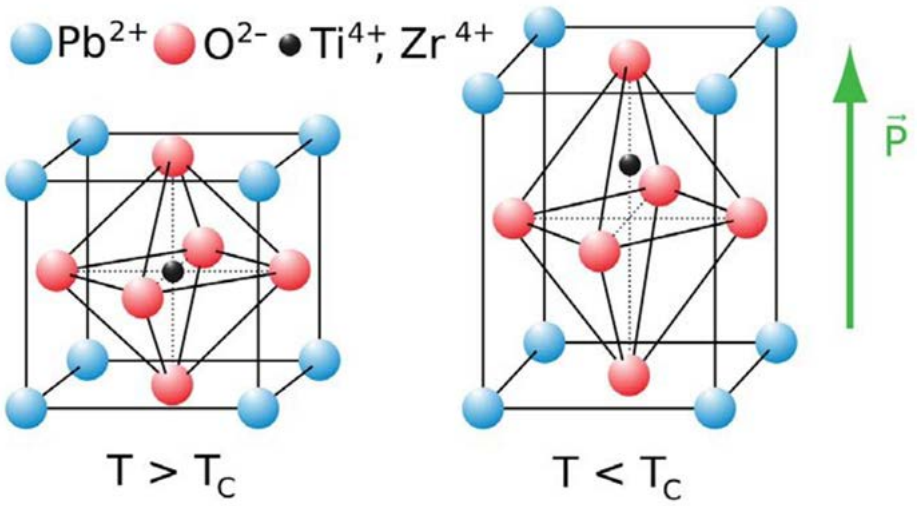
2.4.3.1 Piezoelektrik Kristaller

Doğada en çok bulunan piezoelektrik malzemeler kristal şeklindedir. Bu kristallerin piezoelektrik özellik gösterebilmeleri için malzemelerin kristalografik doğrultuları göz önünde bulundurularak kesmek ve şekillendirmek gerekir.

Kuvars, rochelle tuzu, turmalin, lityum niyobat ($LiNbO_3$) ve lityum tantalat ($LiTaO_3$) kristal malzemelere örnek gösterilebilir. Bu kristallerin kullanım alanlarına örnek vermek gerekirse Kuvars kristali genellikle ivme ölçer cihazlarda yer alırken, Turmalin yüksek piezoelektrik gerilim katsayısından ötürü ticari hidrofonlarda bulunmaktadır.

2.4.3.2 Piezoelektrik Seramikler

Piezoelektrik malzemeler arasında piezoseramikler oldukça fazla kullanım alanına sahiptir. Mikro elektromekanik sistemler piezoelektrik seramikler önemli fonksiyonel malzemelerdendir. Bu malzemeler piezoelektrik kristallere göre daha dengeli ve mekanik, fiziksel ve piezoelektrik açıdan daha yararlıdır.



Şekil 2. 2 PZT'nin Curie sıcaklığının altında ve üstünde hücre yapısı

Piezoelektrik seramiklerin geneli perovskit kristelize haldedir. Hücreler küp şeklinde olup köşelerinde büyük "A" iyonları, merkezde küçük "B" iyonu ve hücre yüzeylerinin merkezinde oksijen iyonları yer almaktadır. Hücre yapısını kurşun zirkonat titanat (PZT) için örnek göstermek gerekirse hücrede köşelerde kurşun iyonları, merkezde titanyum iyonu ve hücre yüzeyinin merkezinde ise oksijen iyonları yer alır.

Piezoelektrik seramikler, ferroelektrik malzemelerin alt grubudur. Bütün piezoseramikler ferroelektrik özellik gösterir. Piezoseramiklerin piezoelektrik özellik içermesi için belli şartları barındırmaları gerekir. Curie sıcaklığı en önemli koşullardan biridir. Şekil 2.2 'de görüldüğü üzere PZT Cruie sıcaklığının üzerinde ise simetrik bir yapıya sahip ve dipol momentler oluşmamıştır. Curie sıcaklığının altında ise hücre yapısı simetrik olmayan bir yapıya gelmiş başka bir ifadeyle faz değişikliğine uğramıştır. Faz değişikliğinden sonra piezoelektrik özelliğin en temel özelliği olan hücre içinde dipol momentler oluşmuştur. Piezoelektrik seramiklerin piezoelektrik özellik göstermeleri için Curie sıcaklığının altında olmaları ve bunun dışında dipol momentlerinin yönlendirilmeleri için kutuplanmaları gerekir.

2.4.3.3 Piezoelektrik Polimerler

Kawai 1969 yılında polimer polyvinylidene flüoride (PVDF)'in piezoelektrik özelliğini keşfetti ve daha sonra 1971'de PVDF'in pyroelektrik özelliği ve doğrusal olmayan optik özellikleri keşfedildi. 1970'lerde bu yapılan keşifler PVDF'in ferrolektrik özelliğinin

buluşuna sebep oldu. Bu keşifler ferroelektrik polimer biliminin ve mühendisliğinin oluşmasını sağladı. Birçok ferroelektrik özellik gösteren malzeme bulundu: poliüreler, ferroelektrik saydam kristal polimerler, PVDF'in kopolimerleri, vb. Bu malzemeler arasında PVDF ve PVDF'in kopolimerleri gösterdikleri yüksek polarizasyon ve yüksek kimyasal kararlılık sebebiyle üzerinde en çok araştırma yapılan ve geliştirilen ferroelektrik polimer olmuştur.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Absorpsiyon – Bakteri Koloni Sayısı İlişkisi

Optik yoğunluğun fotometrik olarak ölçülmesi, homojen hücre süspansiyonlarında mümkün olur ve bu amaçla turbidometri ve nefelometri olmak üzere iki yöntem kullanılır. Turbidometride, mo-nokromatik bir ışığın bir hücre süspansiyonundan geçerken uğradığı yoğunluk kaybının ölçülmesi söz konusu olduğu halde (toplam ekstinksiyon); nefelometride ışığın süspansiyon içinden geçerken parçacıklara çarparak kırılma açısının ölçülmesi, esası teşkil eder. Hücre yoğunluğu ölçülmesinde, turbidometrik yöntem daha fazla kullanılır.

3.1.1 Turbidometri

Lambert - Beer kanununa göre, bir hücre süspansiyonundan geçen ışığın yoğunluğu (I) girişteki ne (I0) göre azalır (3.1). Optik yoğunluğun bir ölçüsü olan ekstinksiyon hücre süspansiyonundaki biyomas (hücre) konsantrasyonu (c) ile doğrudan orantılıdır.

$$I = I_0 . e^{-\Sigma} . c . d \qquad (3.1)$$

$$O_D = \log I_0 / I = (\Sigma . d . c) / 2{,}303 = k_{OD} . c \qquad (3.2)$$

Ortalama hücre boyutları sabit kaldığı sürece optik yoğunluğun alt sınırlarında (< 0,3 E) optik yoğunluk değerleri ile hücre yoğunluğu (hücre sayısı/ml) arasında lineer bir ilişki vardır. 1 ml 'deki kuru ağırlık veya hücre sayısı ile optik yoğunluk arasındaki düzeltme faktörü her mikroorganizmaya göre değişen bir değerdir.

$$1 / k_{OD} = (2{,}303) / (\Sigma d) \qquad (3.3)$$

Yuvarlak şekilli hücrelerin birim kuru ağırlığa karşılık gelen optik yoğunluk değerleri genellikle çubuk şeklinde olanlardan daha fazladır.

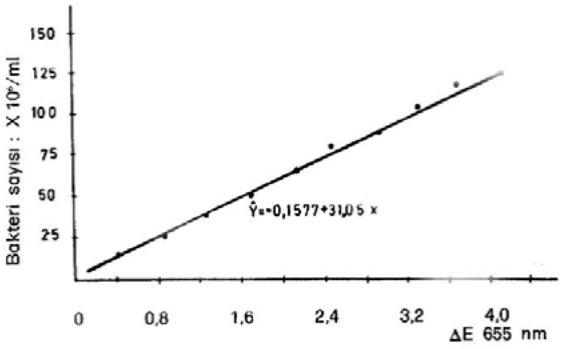
Kullanılan ışığın dalga boyu arttıkça (350 - 880 nm arası kullanılabilir) ölçümün hassasiyeti ters orantılı olarak azalır. Buna karşın kısa dalga boyunda yapılan ölçümlerde ise çeşitli besi yeri ortamlarının kendinden kaynaklanan ekstinksiyonları dolayısıyla deney hassasiyeti her zaman sağlanamaz. Bu nedenle, fototrof bakteriler gibi renkli pigmentleri olan bakterilerin optik yoğunlukları ölçülürken 650 nm gibi yüksek bir dalga boyu kullanıldığı halde, E. coli gibi pigment içermeyen bakterilerin optik yoğunluğu ölçülürken 545 nm gibi daha düşük bir dalga boyu seçilir.

Optik yoğunluğa dayalı yöntemlerle hücre sayısının belirlenmesinde pek çok hata kaynağı vardır ve bu nedenle protein ve kuru madde tayinine dayalı yöntemlere göre daha az doğru sonuçlar alınır. Üreme koşullarının optimumdan sapması ölçüsünde, hücre içinde ışık kırılmasına neden olabilecek poli - hidroksi bütirik asit (PHBA), volutin ve vakuol gibi hücre sayısına bağlı olmayan yapılar oluşabilir ve sonuçta hücre sayısı artmadığı halde, absorbans miktarında bir artış olabilir. Diğer yandan optik yoğunluğun ölçülebileceği besiyerinin bileşimi ve rengi de standart olmalıdır. Besiyeri bileşimine giren öğelerden herhangi birinin az ya da çok olması ve sterilizasyon normlarının değişmesi gibi etkenler optik yoğunluğun farklı değerlerde ölçülmesine neden olabilmektedir.

Tüm bu ve buna benzer sakıncalarına rağmen fotometrik yöntemler, gelişen bilim ve teknoloji yaklaşımları altında üzerinde en çok çalışılan, yeni cihazlar geliştirilerek en doğru sonuca varılmayı hedefleyen yöntemler arasındadır. Fotometrik yöntem, diğer standarda dayalı yöntemlere göre daha kolay ve çok kısa bir sürede sonuç vermesi gibi önemli üstünlüklere sahiptir.

Aşağıda fotometrik yöntemin uygulanışına ilişkin bir örnek verilmiştir. Standart kurvenin hazırlanması amacıyla bakteri besiyerine aşılanmış, belirli zaman aralıkları ile ekstinksiyonları ölçülmüş, aynı anda kültürel sayım yapılmış, böylece çeşitli ekstinksiyon değerlerine karşı gelen canlı hücre sayıları belirlenmiş, tüm değerler milimetrik kâğıda işlendikten sonra standart kurve (Şekil 3.1) çizilmiştir. Standart

kurvenin çiziminde istatistik hesaplamalar ile elde edilen regresyon doğrusu kullanılmıştır.

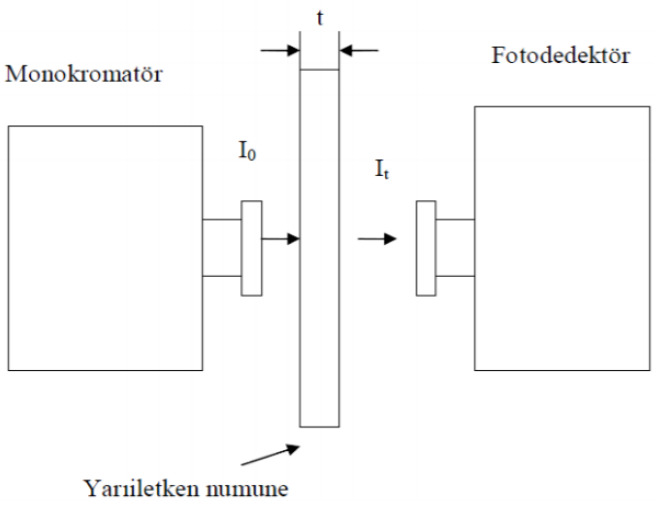


Şekil 3. 1 Bakteri sayısı – Absorbans Grafiği

Standart kurve bu şekilde elde edildikten sonra aynı koşullarda üretilen popülasyonlar için kullanılabilir. Bu amaçla kültürün sadece ekstinksiyon değeri ölçülüp, kurveden buna karşı gelen mikroorganizma sayısı belirlenir. [44]

3.2 UV-Spektrometresi

Yarı iletken üzerine foton gönderildiği zaman atomların elektronları ve fotonların etkileşmesi sonucu kırılma, yansıma, soğurulma ve geçirgenlik meydana gelir. Fotonların soğurulması ile yarıiletkenlerin enerji bant aralığı hesaplanabilmektedir. Fotonların enerjisi yarı iletkenlerin bant aralığından büyükse valans bandından bir elektronu yarılarak iletim bandına geçer bu olaya soğurma denir [45]. Uv spektrometresi yine bu özellikten faydalanır. Şekil 3.2 ‘de ki gibi monokromatörden çıkan I_0 ışını numuneden geçerek fotodedektör vasıtasıyla I_t olarak ölçülür. Bu UV-Spektrometresinin genel çalışma prensibidir.



Şekil 3. 2 UV – Spektrometresi Genel Yapısı

Işığın malzemeden geçişini ve soğurulma spetrumlarını ölçer. Dalga boyu (λ) değiştikçe ışığın malzemeden geçiş ve soğrulma oranlarındaki değişimi verir. Numunelerimizin optik geçirgenlikleri 350 ile 1100 nm dalga boyu aralığında Shimadzu UV-1280 spectrophotometer (Şekil 3.3) isimli ultraviyole spektrometresi ile ölçülmüştür.



Şekil 3. 3 Shimadzu UV-1280 Multipurpose UV-Vis Spectrophotometer

3.3 Ekim

Katı besiyerine yayma yöntemi ile deney sonuçlarını gözlemlemek amacıla 1/1 000 000 konsantrasyona kadar sulandırılarak daha önceden ses uygulanmamış, 1 saat ses uygulanmış, 3 saat ses uygulanmış, 6 saat ses uygulanmış ve 15 saat ses uygulanmış E.

Coli çözeltisinin ekimi yapılmış olup, yayma ekim yapılan petriler etüvde 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. E.Coli ekimi sonucunda üreme olma / olmama durumunun elimizdeki verilerle uyumu gözlemlenmiştir.

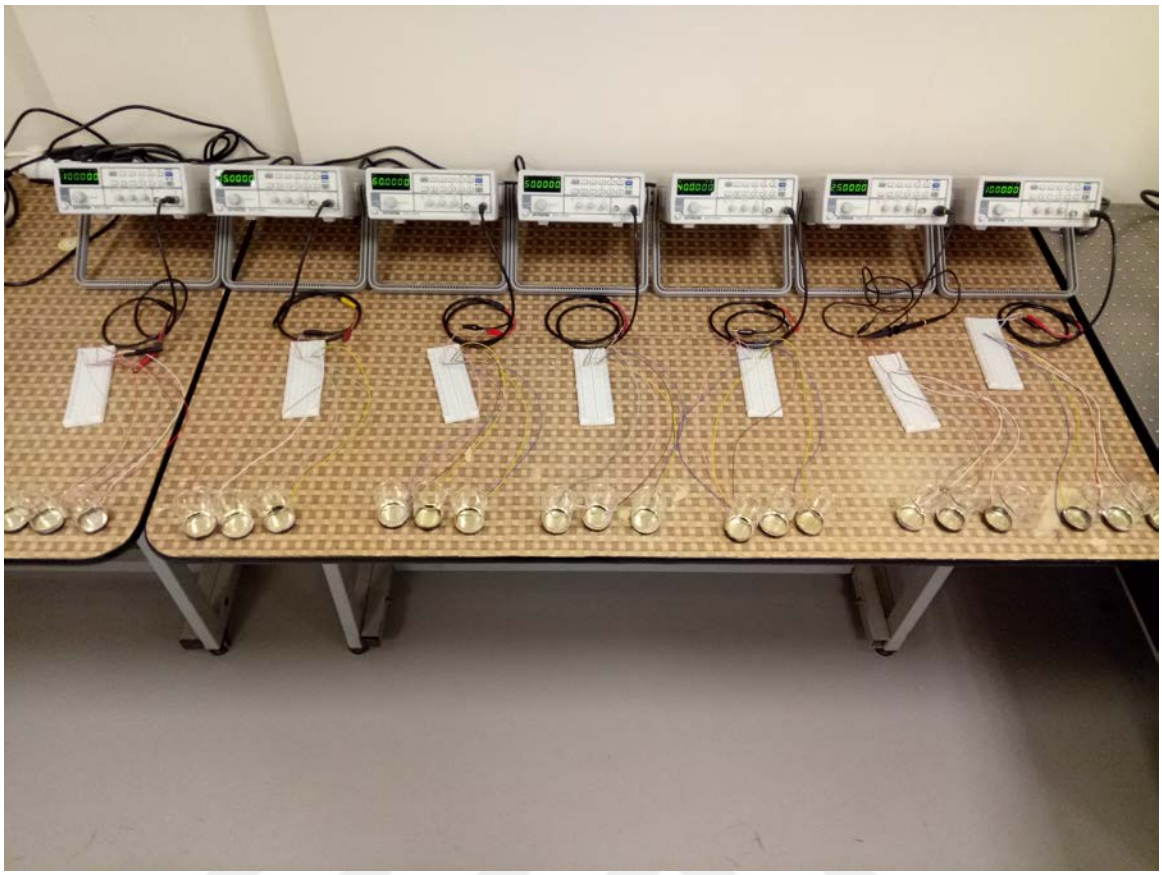
3.4 Yöntem

Belirli bir frekansta (10 khz, 25 khz, 40 khz, 50khz, 60 khz, 75 khz, 100 khz, 250 khz, 500 khz, 750 khz, 1000 khz) titreşen PZT seramik piezoelektrik bir transduser yardımıyla ses kaynağından (Şekil 3.4) elde edilen ses dalgaları kullanılmıştır.



Şekil 3. 4 Deney düzeneğinde kullanılan GW INSTEK SFG-1003 ses kaynağı.

Piezelektrik transdüserler, içerisinde belirli bir konsantrasyonda (545 nm dalga boyunda absorbansı 0.133 olan) E. coli ihtiva eden cam bir beherin tabanına monte edilmiş ve sabit bir frekansta titreşmesi sağlanmıştır. Ses dalgalarının uygulama süresinin bakteri in-aktivasyonuna etkisini belirlemek amacıyla bakteri örnekleri 1 saat, 3 saat, 6saat ve 15 saat olmak üzere farklı sürelerde ses dalgalarına maruz bırakılmıştır.



Şekil 3. 5 Deney Düzeneği (Fotoğraf Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü Organik Teknolojiler Laboratuvarında çekilmiştir).

Örnekler 1 saat, 3 saat, 6 saat ve 15 saat ses uygulanmasının ardından cam beherlerin içerisinden E. Coli konsantrasyonu quartz küvetlere transfer ediliyor ve UV-Vis spektroskopileri Shimadzu UV-1280 spectrophotometer yardımıyla elde ediliyor.

Kullanılan ışığın dalga boyu arttıkça (= 350 - 880 nm arası kullanılabilir) ölçümün hassasiyeti ters orantılı olarak azalır. Buna karşın kısa dalga boyunda yapılan ölçümlerde ise çeşitli besiyeri ortamlarının kendinden kaynaklanan ekstinksiyonları dolayısıyla deney hassasiyeti her zaman sağlanamaz. Bu nedenle, fototrof bakteriler gibi renkli pigmentleri olan bakterilerin optik yoğunlukları ölçülürken 625 nm gibi yüksek bir dalga boyu kullanıldığı halde, E. coli gibi pigment içermeyen bakterilerin optik yoğunluğu ölçülürken 545 nm gibi daha düşük bir dalga boyu seçilir [44].

BÖLÜM 4

BULGULAR

4.1 Sistemimizde Güç Yoğunluğu

Sistemimizde kullandığımız piezo transdüserler için frekans - güç yoğunluğu ölçümü yapılmış olup ve bu ölçüm sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' de verilmiştir. Buna göre piezo transdüserlerimizin güç yoğunlukları en az 0.016 W/cm^2 ile en çok 0.161 W/cm^2 arasında değer almaktadır.

Çizelge 4. 1 Sistemimizde kullandığımız piezo transdüserler 10 kHz -100 kHz frekans aralığı için frekans - güç yoğunluğu tablosu

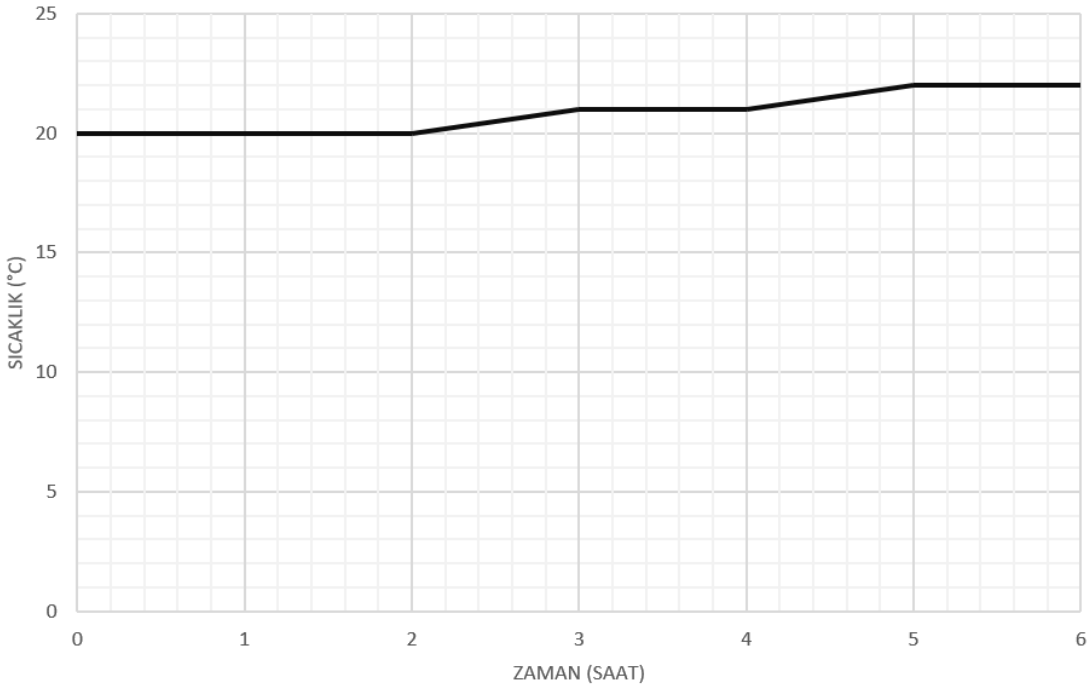
Frekans (kHz)	Güç Yoğunluğu (W/cm^2)
10	0.016
25	0.038
40	0.060
50	0.075
60	0.090
75	0.089
100	0.136

Çizelge 4. 2 Sistemimizde kullandığımız piezo transdüserler 250 kHz -1000 kHz frekans aralığı için frekans - güç yoğunluğu tablosu

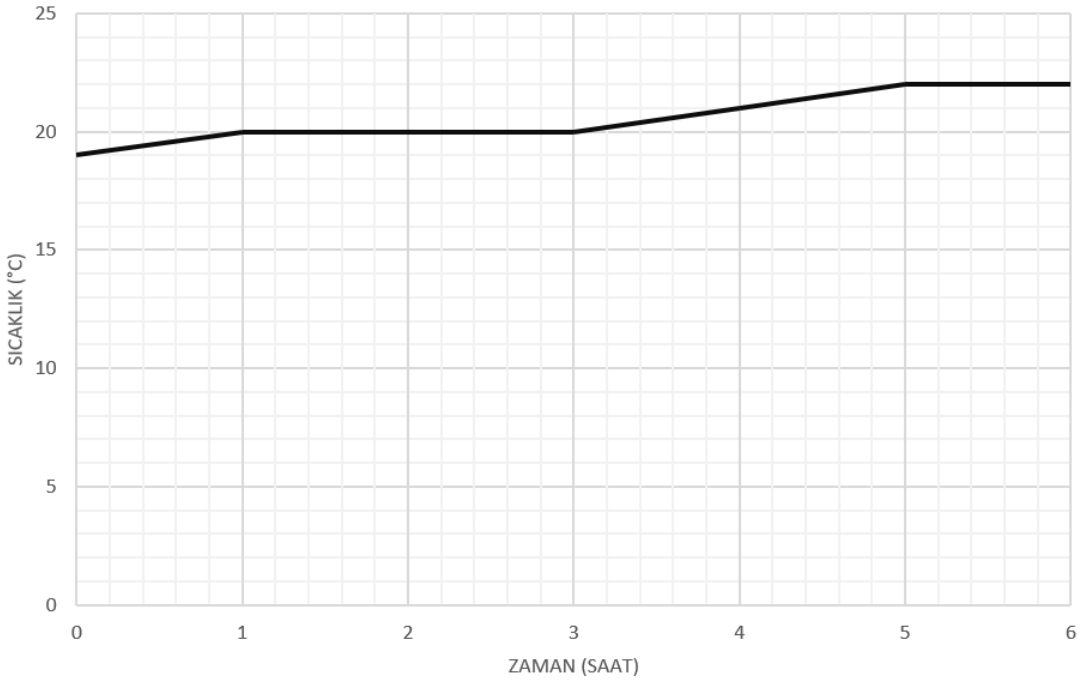
Frekans (kHz)	Güç Yoğunluğu (W/cm^2)
250	0.154
500	0.161
750	0.159
1000	0.145

4.2 Sistemimizde Ses Uygulama Süresi – Sıcaklık Değişimi

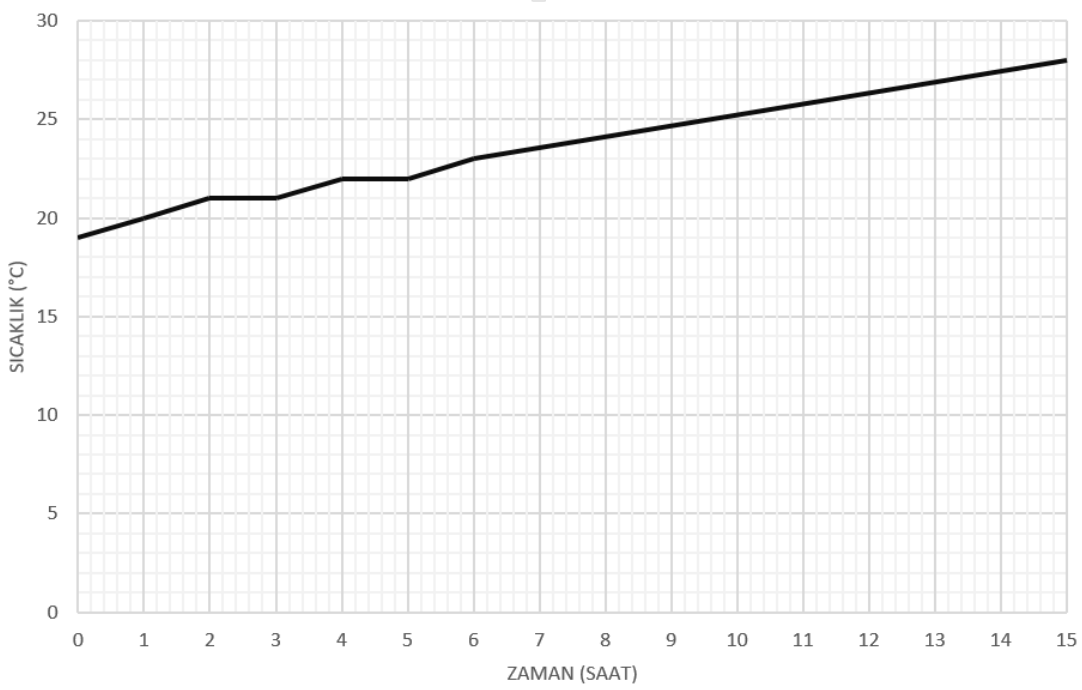
Hücre süspansiyonuna daldırılan sonikatör, titreşim yaparak ve yüksek ses dalgalarıyla hücre bütünlüğünü bozar. Ultrasonikatör kullanıldığında ani bir hız yükselmesi olduğu için, bakterinin sıcaklıktan mı yoksa sesten mi öldüğü net bir şekilde anlaşılamamaktadır. Fakat bizim sistemimizde, aşağıdaki Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' te görüldüğü üzere bir miktar sıcaklık yükselmesi olmasına rağmen bu yükselme az bir değerdedir. Literatürde E. Coli 5 °C - 46 °C arasındaki sıcaklık derecelerinde üreme özelliğine sahipken optimum üreme sıcaklığı 37 °C'dir. E. coli sporsuz bir bakteri olduğu halde, dış etkenlere oldukça dayanıklıdır. 60 °C' de 30 dakika, 55 °C' de bir saate ölebilirler. Fakat bizim sıcaklığımız 15 saatlik uygulamanın sonunda dahi 28 °C'ye çıktığı için sıcaklıktan kaynaklı bir inaktivasyon söz konusu değildir. Kesinlikle aşağıda belirtmiş olduğumuz inaktivasyon etkisi uygulamış olduğumuz sesten kaynaklıdır.



Şekil 4. 1 10 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği



Şekil 4. 2 100 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği

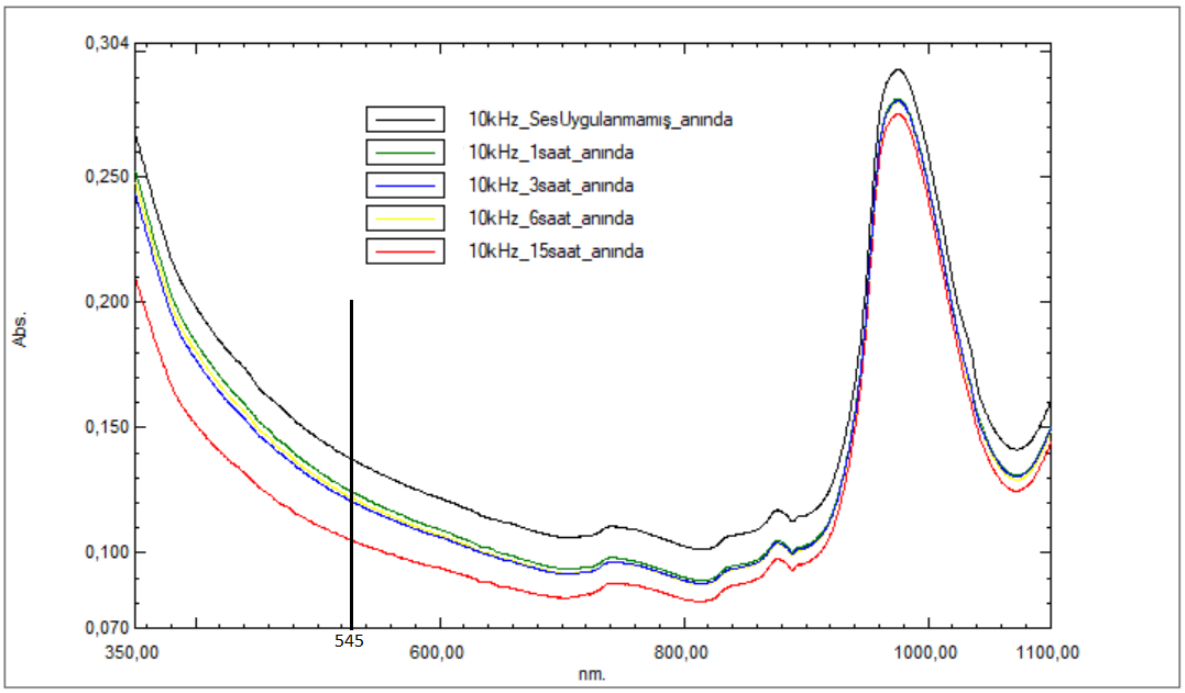


Şekil 4. 3 1000 kHz ses uygulaması sıcaklık – zaman grafiği

4.3 10 Khz ile 100 Khz Arasında Ses Uygulanmış Deney Verileri

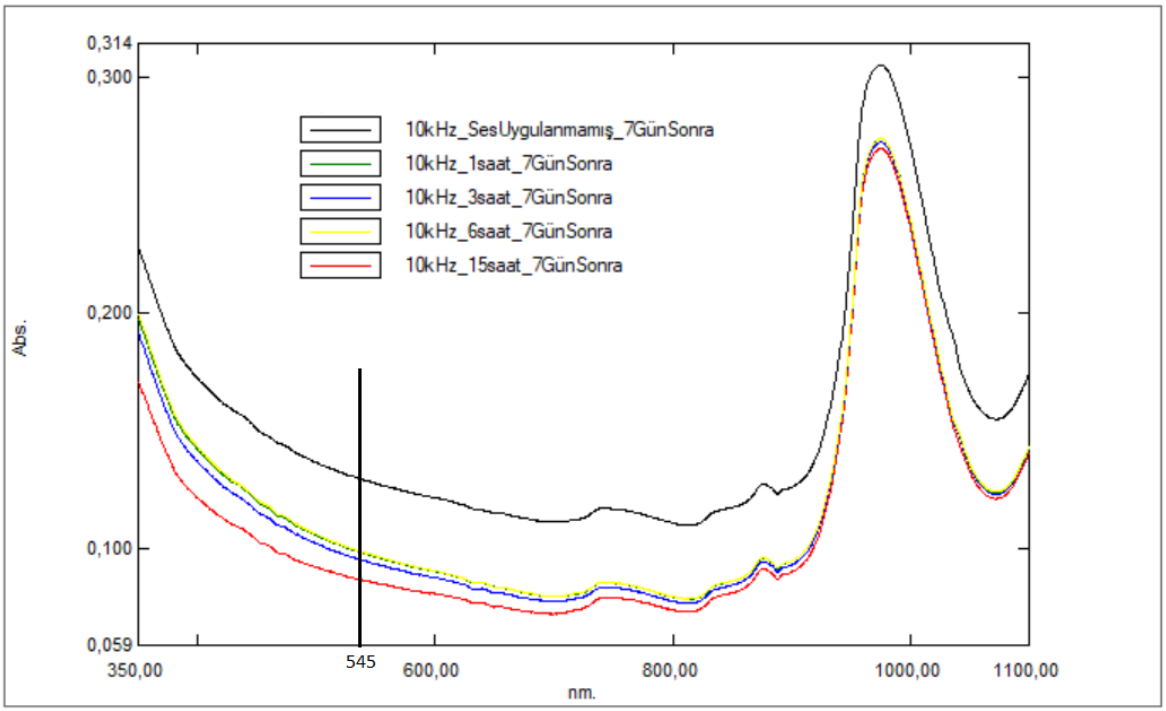
Literatürde ses dalgaları ile inaktivasyon çalışmaları daha çok 10 kHz-100 kHz frekans aralığı incelenmiştir. Bizim çalışmalarımız da daha etkin inaktivite frekans aralığının bu aralık olduğunu göstermiştir. Bu nedenle biz de bulgularımizi değerlendirirken 10 kHz-100 kHz aralığını kendi arasında 250 kHz-1000 kHz aralığını kendi arasında grupladık.

Grafikler literatürde Ecoli için daha uygun olduğu belirtilen 545 nm dalgaboyunda incelenmiştir. Grafiklerde 545 nm ye karşılık gelen absorbsiyon katsayıları kullanılarak inaktivasyon azalma oranları belirlenmiştir.



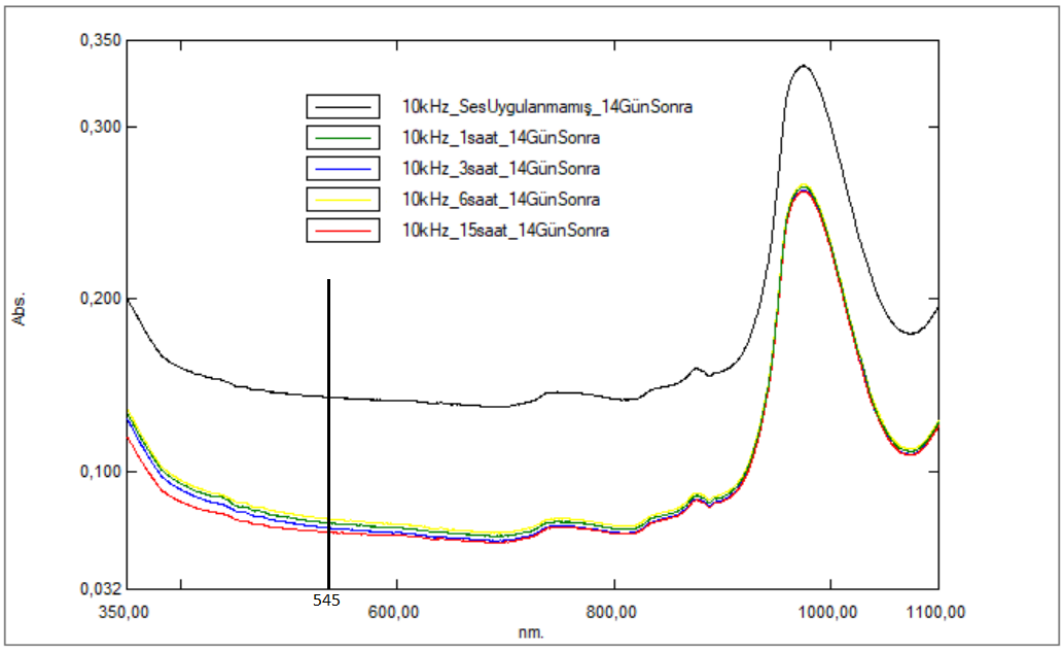
Şekil 4. 4 10 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.4' te görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %9.77, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %12.78, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 11.27, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 24.06 oranında azalmıştır.



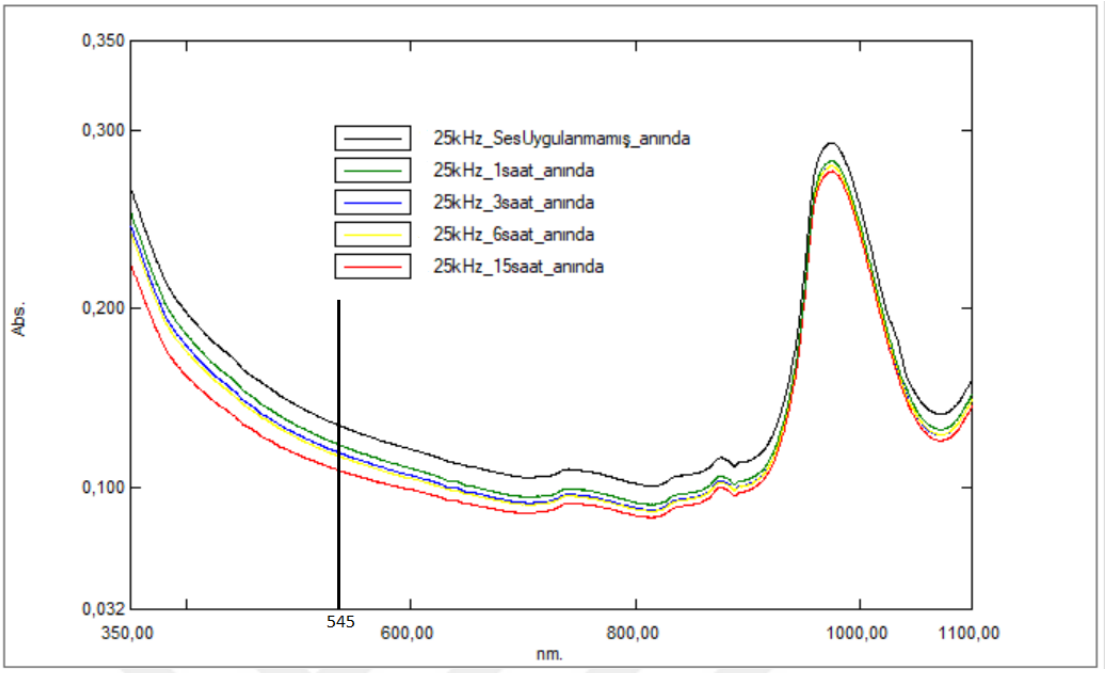
Şekil 4. 5 10 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.5' te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 24.21, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %26.56, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %23.43 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %32.81 azaldığı gözlemlenmiştir.



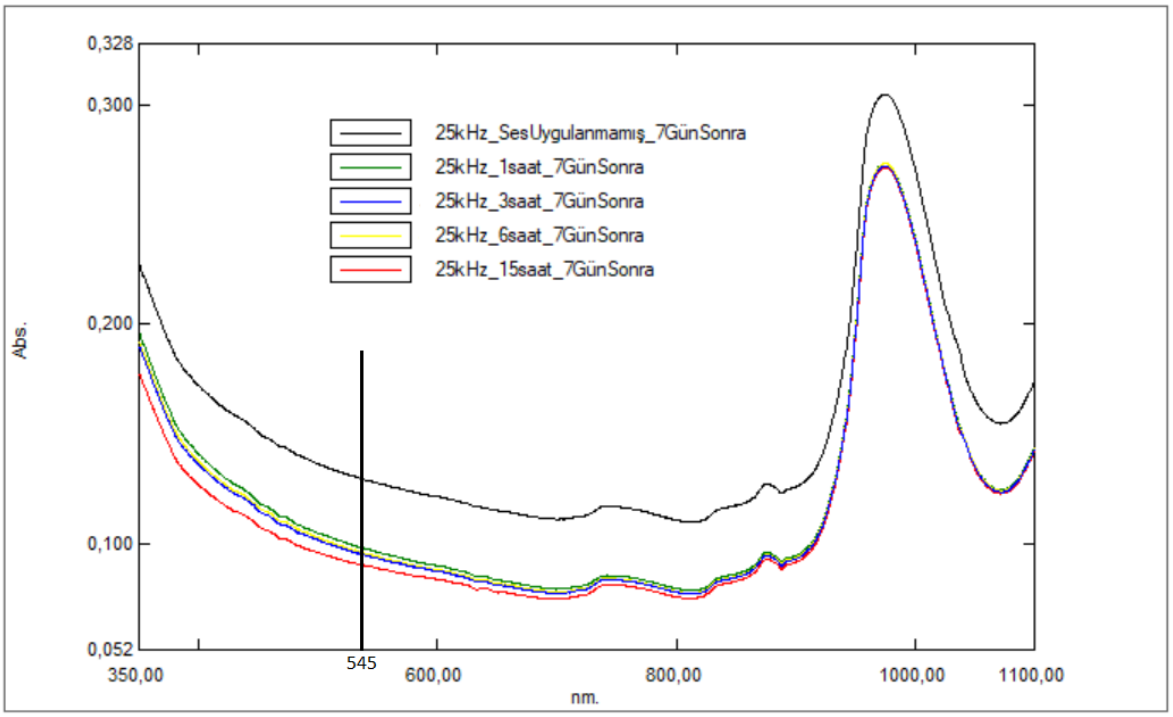
Şekil 4. 6 10 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.6' da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 51.04, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %53.14, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %49.65 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %54.55 azaldığı gözlemlenmiştir.



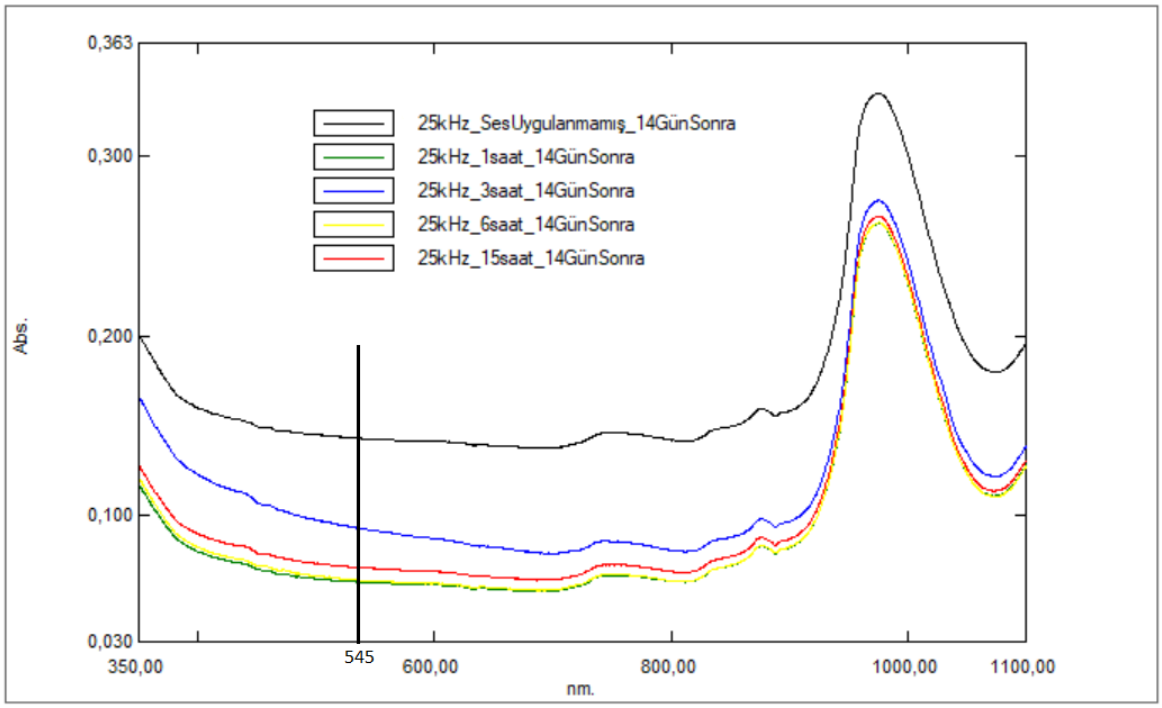
Şekil 4. 7 25 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %8.27, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %11.27, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %12.78 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 18.79 oranında azalmıştır.



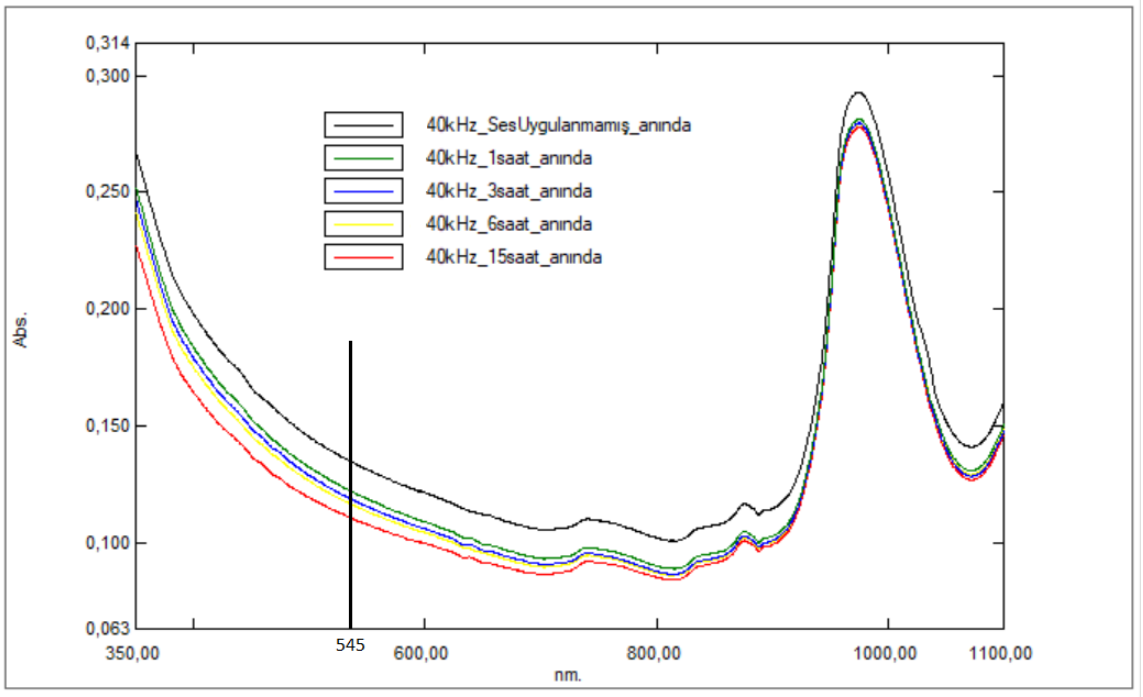
Şekil 4. 8 25 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 24.21, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %26.56, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25.78 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %30.46 azaldığı gözlemlenmiştir.



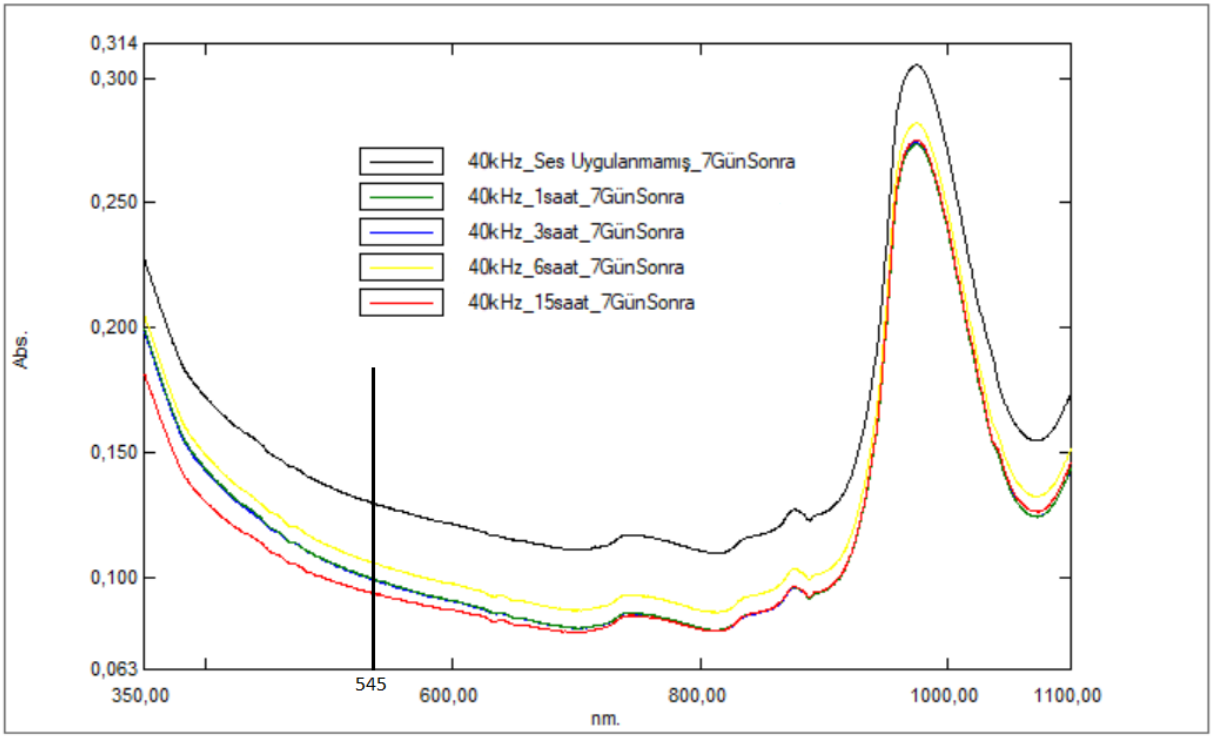
Şekil 4. 9 25 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.9’ da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 55.94, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %35.66, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.24 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %50.34 azaldığı gözlemlenmiştir.



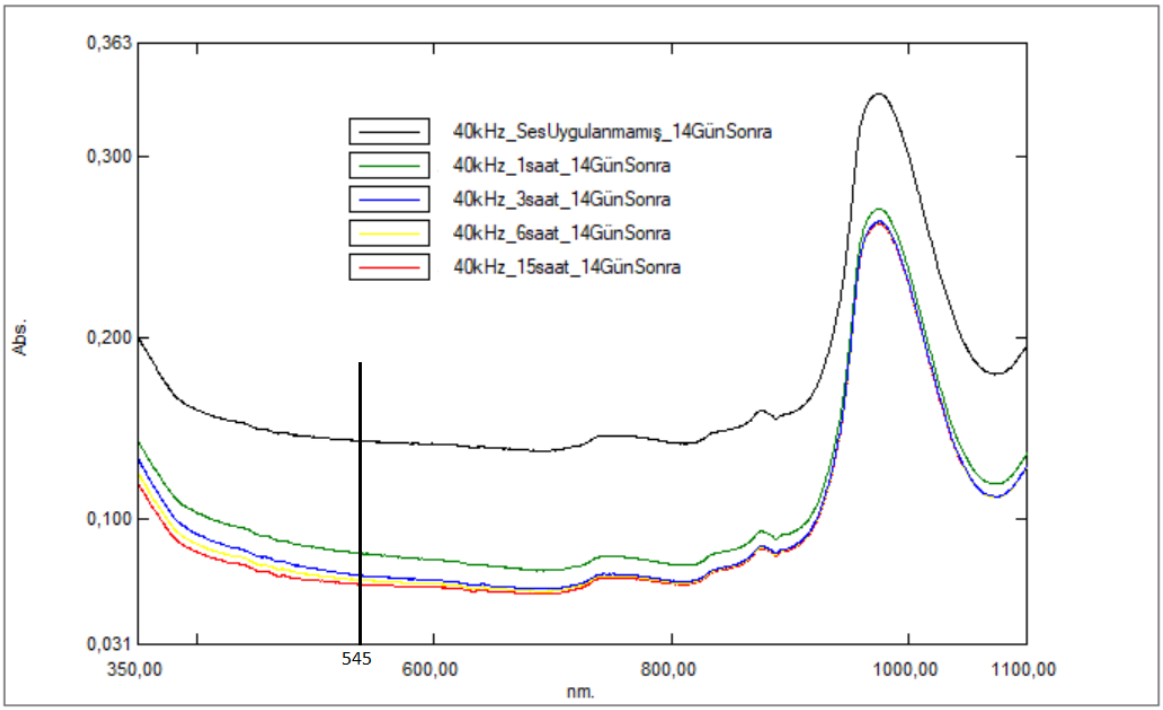
Şekil 4. 10 40 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.10’ da görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %9.77, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %12.03, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 13.53 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 18.04 oranında azalmıştır.



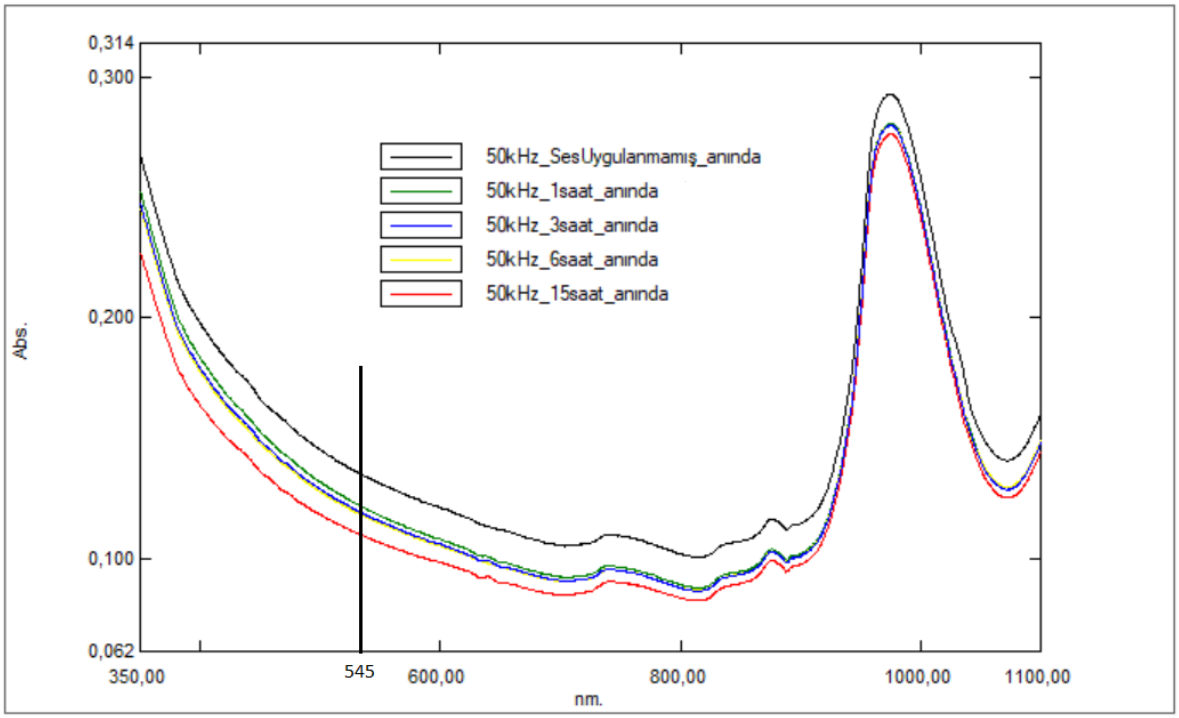
Şekil 4. 11 40 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.11’ de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 23.43, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %23.43, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %17.96 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %27.34 azaldığı gözlemlenmiştir.



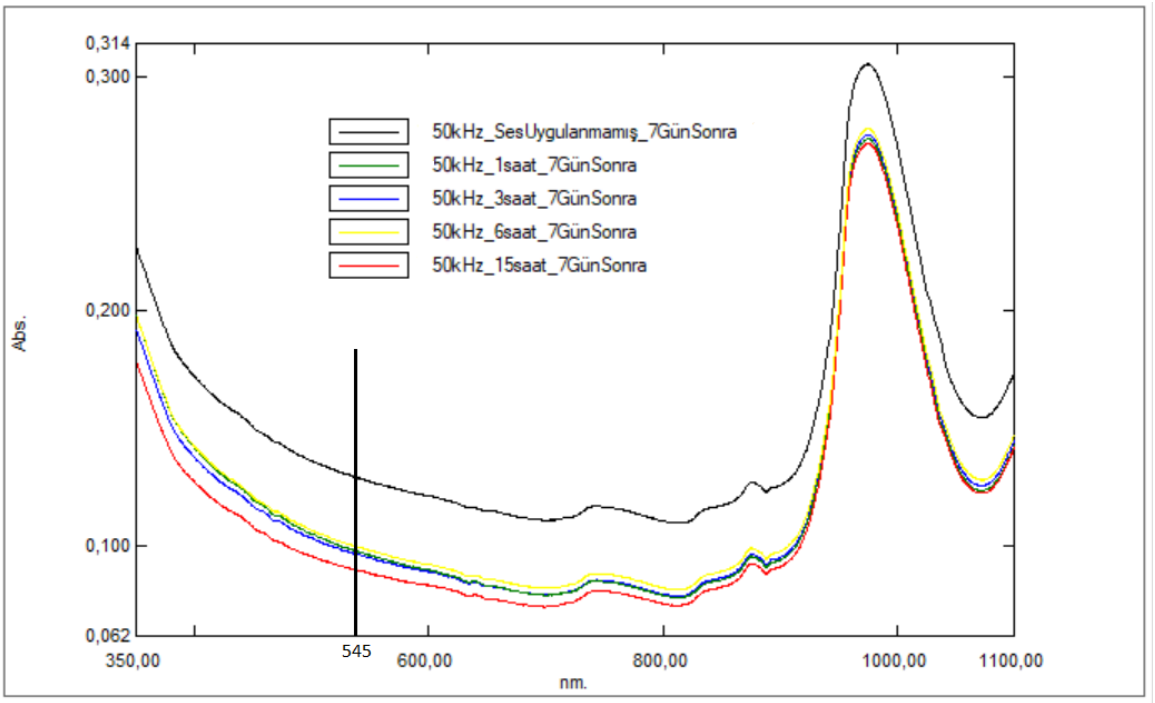
Şekil 4. 12 40 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.12’ de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 43.35, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %51.74, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %53.84 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.24 azaldığı gözlemlenmiştir.



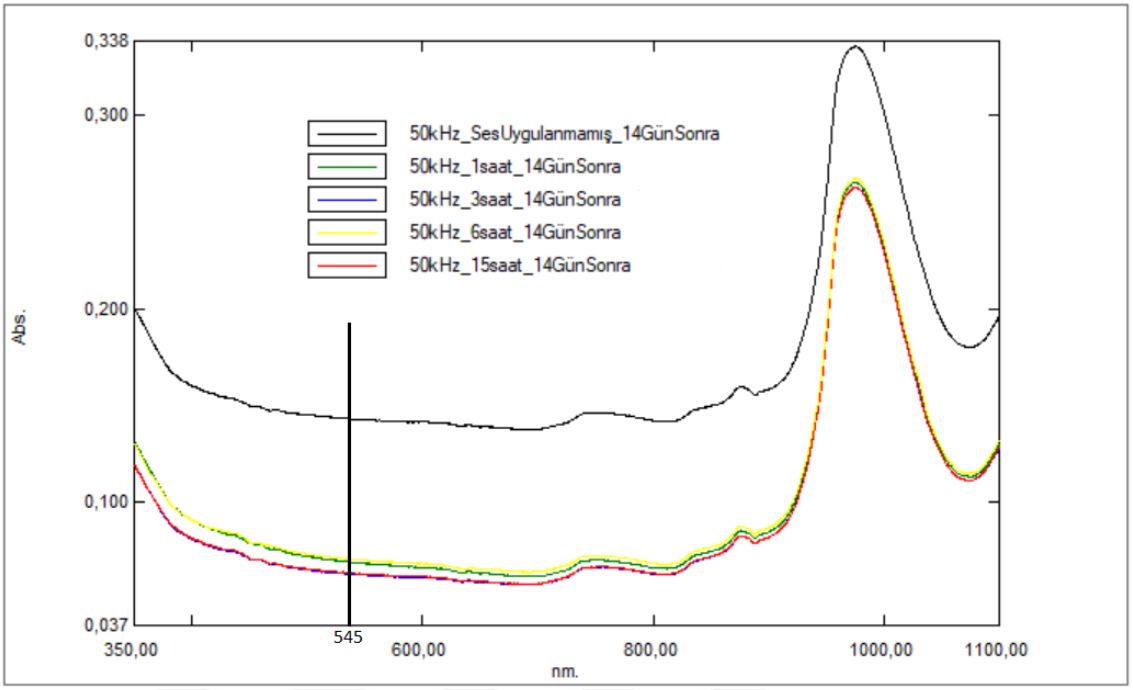
Şekil 4. 13 50 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.13' te görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %10.52, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %12.03, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 12.78, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 18.79 oranında azalmıştır.



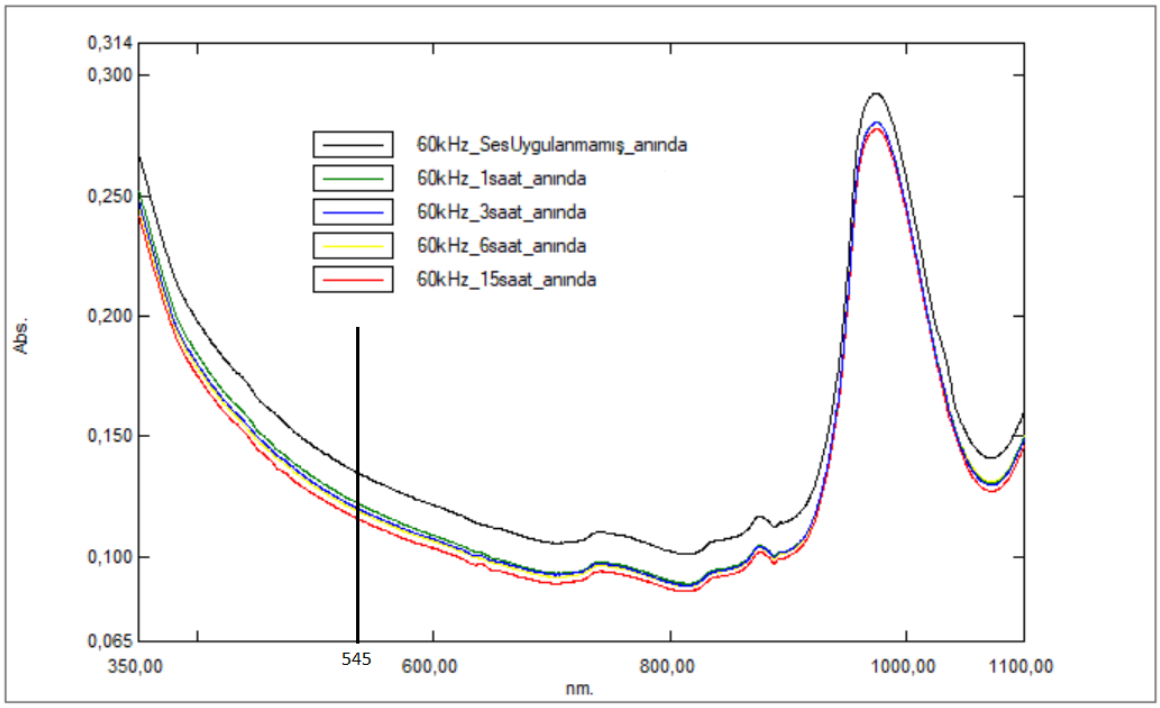
Şekil 4. 14 50 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.14' te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 24.21, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 25, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 22.65 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %30.46 azaldığı gözlemlenmiştir.



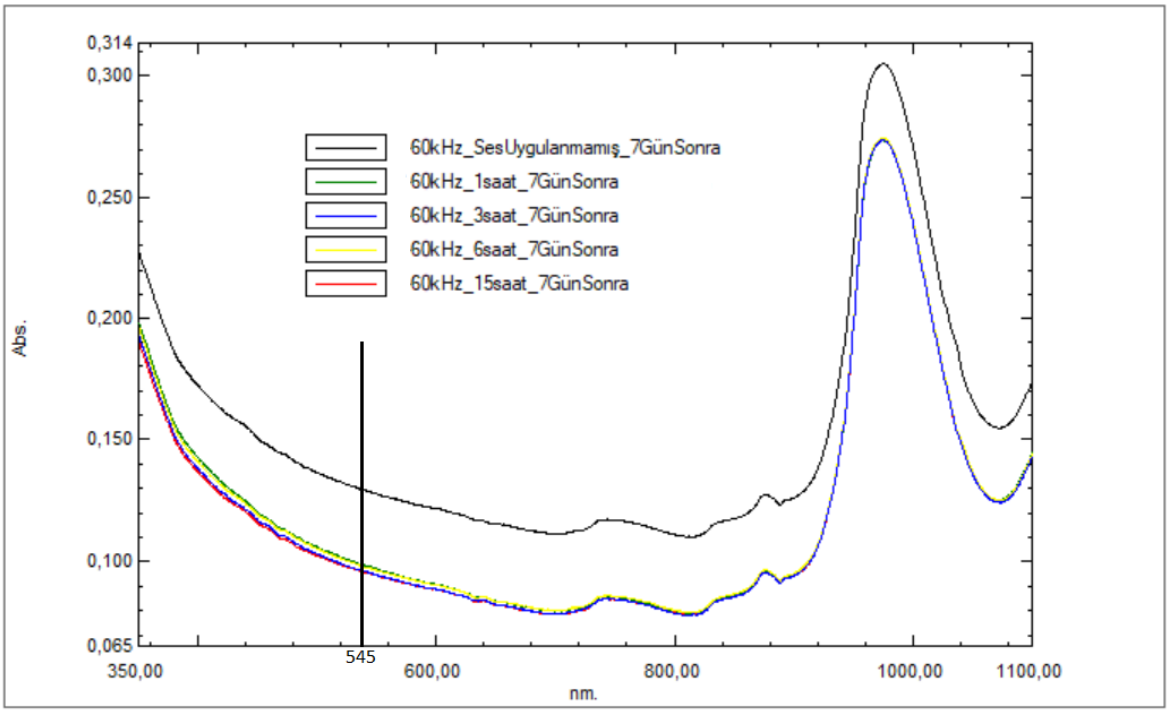
Şekil 4. 15 50 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.15’ te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 51.74, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.94, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %50.34 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %51.74 azaldığı gözlemlenmiştir.



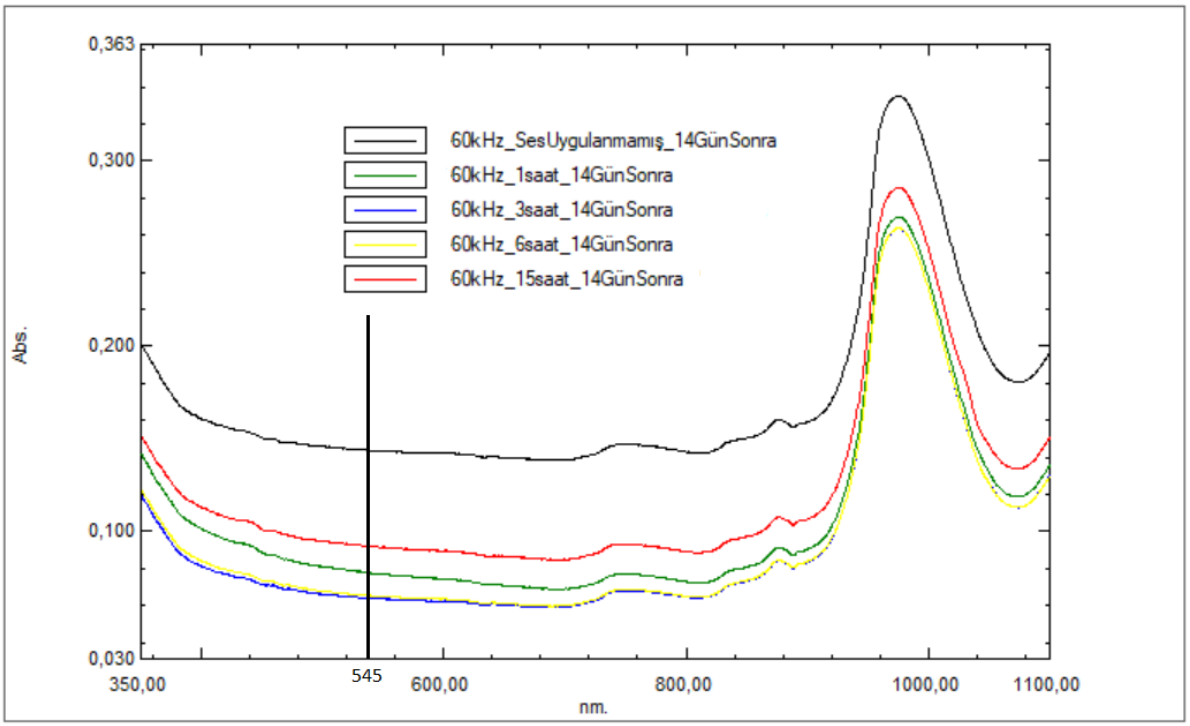
Şekil 4. 16 60 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.16’ da görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %9.77, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %11.27, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 12.03, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 14.28 oranında azalmıştır.



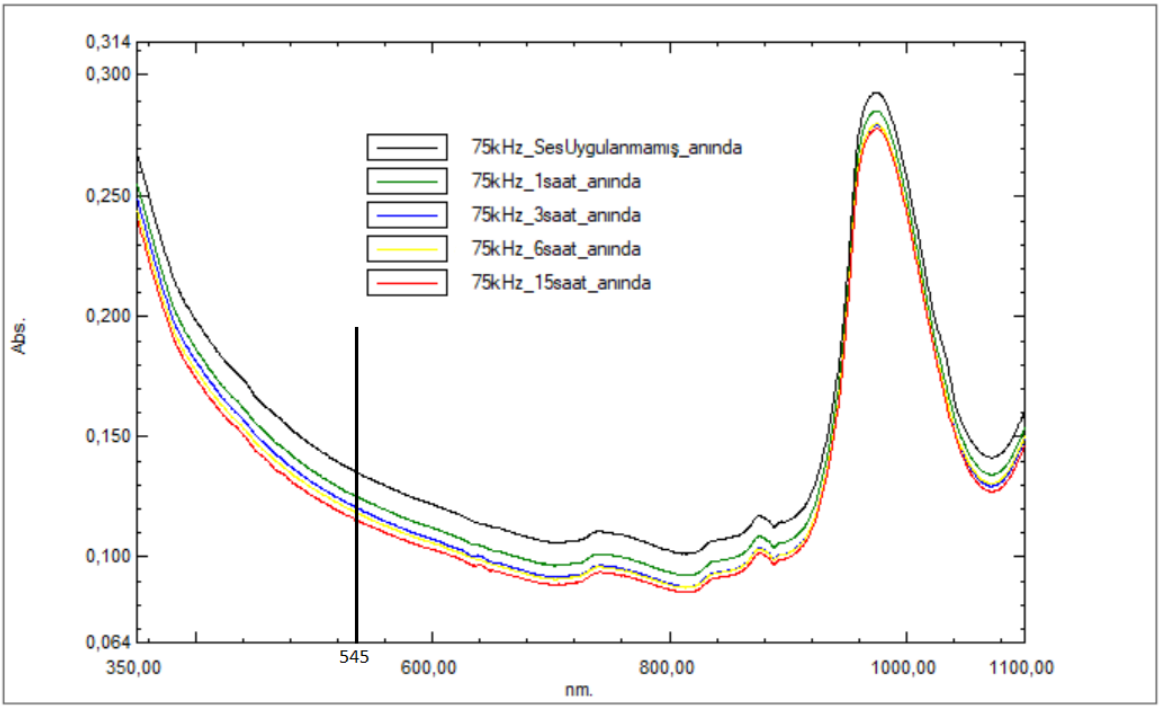
Şekil 4. 17 60 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.17’ de görüldüğü gibi eneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 23.43, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25.78, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %24.21 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25.78 azaldığı gözlemlenmiştir.



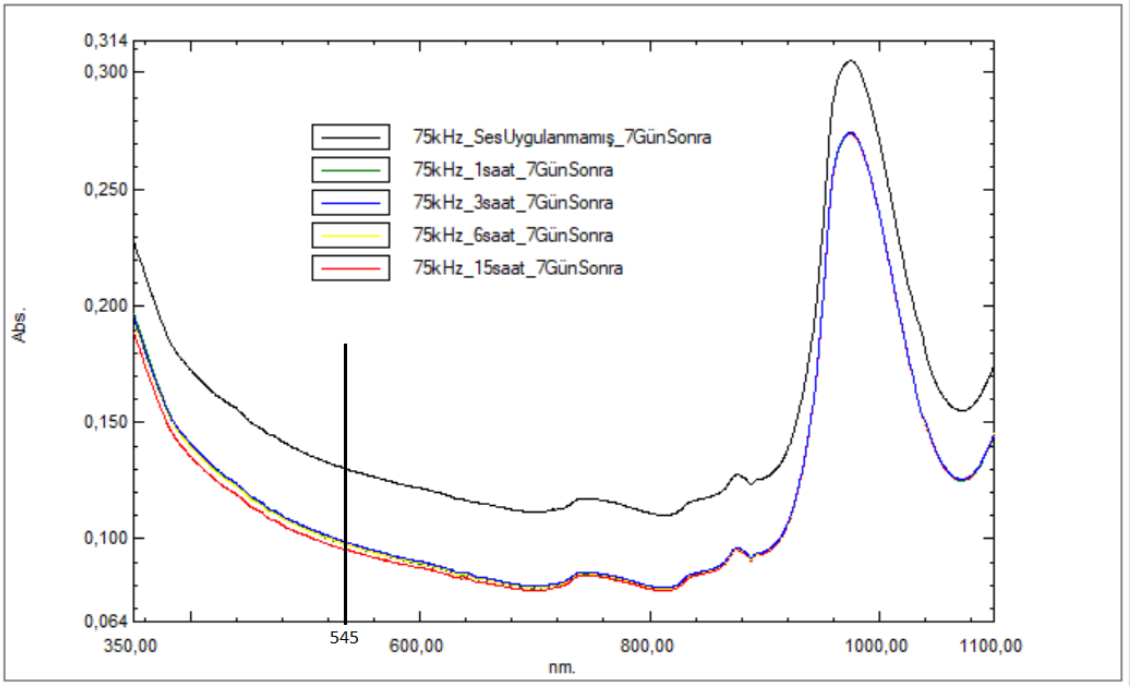
Şekil 4. 18 60 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.18' te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 46.15, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.94, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.24 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %36.36 azaldığı gözlemlenmiştir.



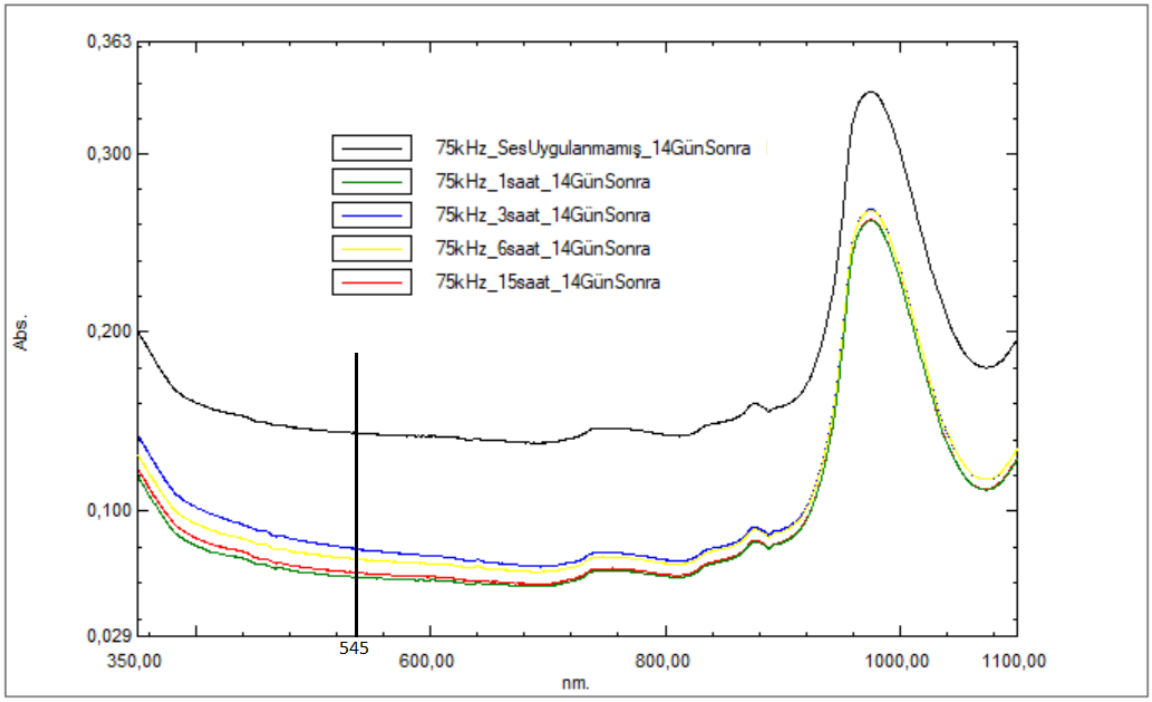
Şekil 4. 19 75 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %7.51, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %11.27, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 12.78, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 15.03 oranında azalmıştır.



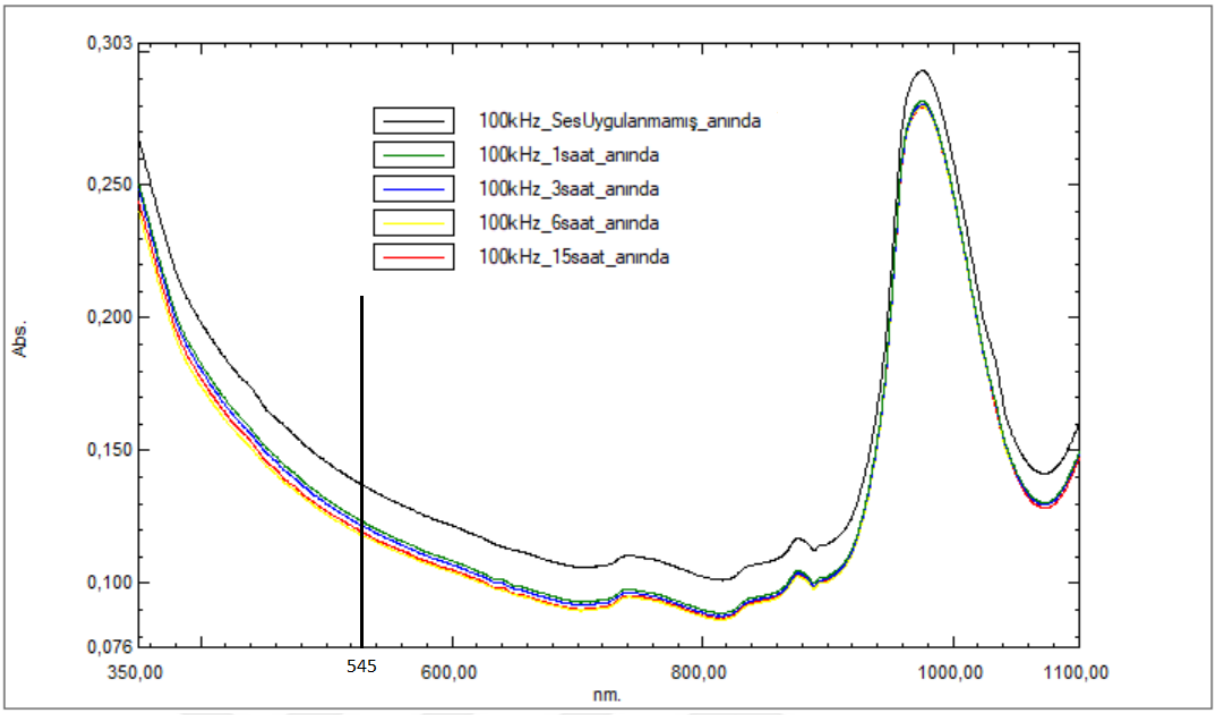
Şekil 4. 20 75 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.20' de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre %3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 25, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %24.21, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %26.56 azaldığı gözlemlenmiştir.



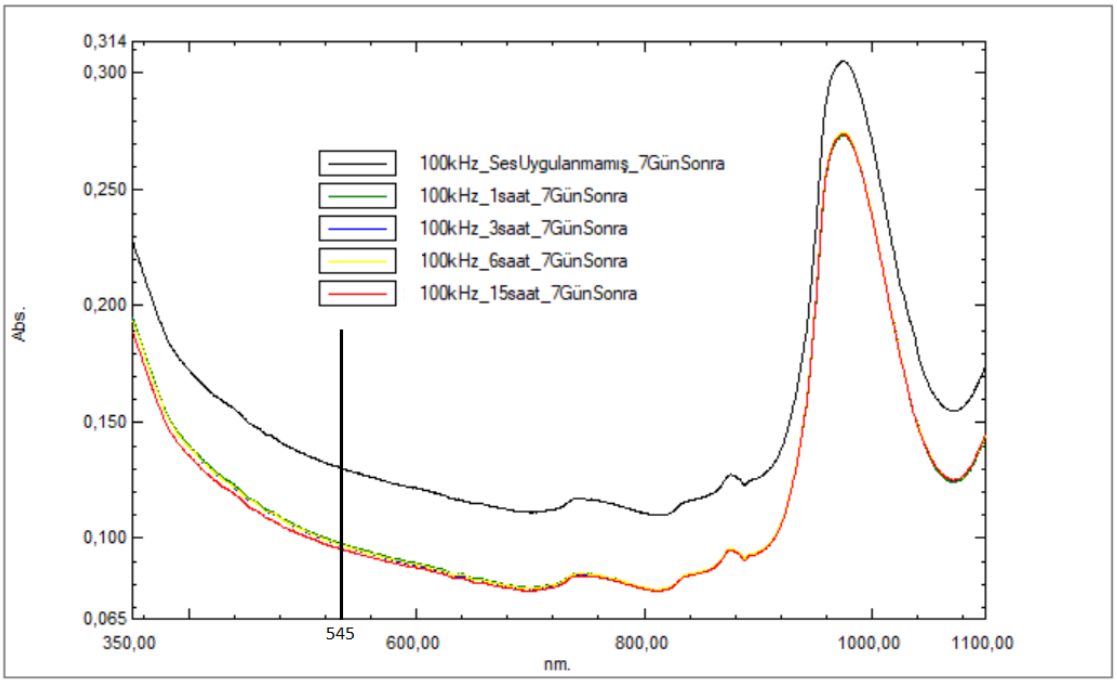
Şekil 4. 21 75 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.21' de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 56.64, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %45.45, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %49.65 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %55.24 azaldığı gözlemlenmiştir.



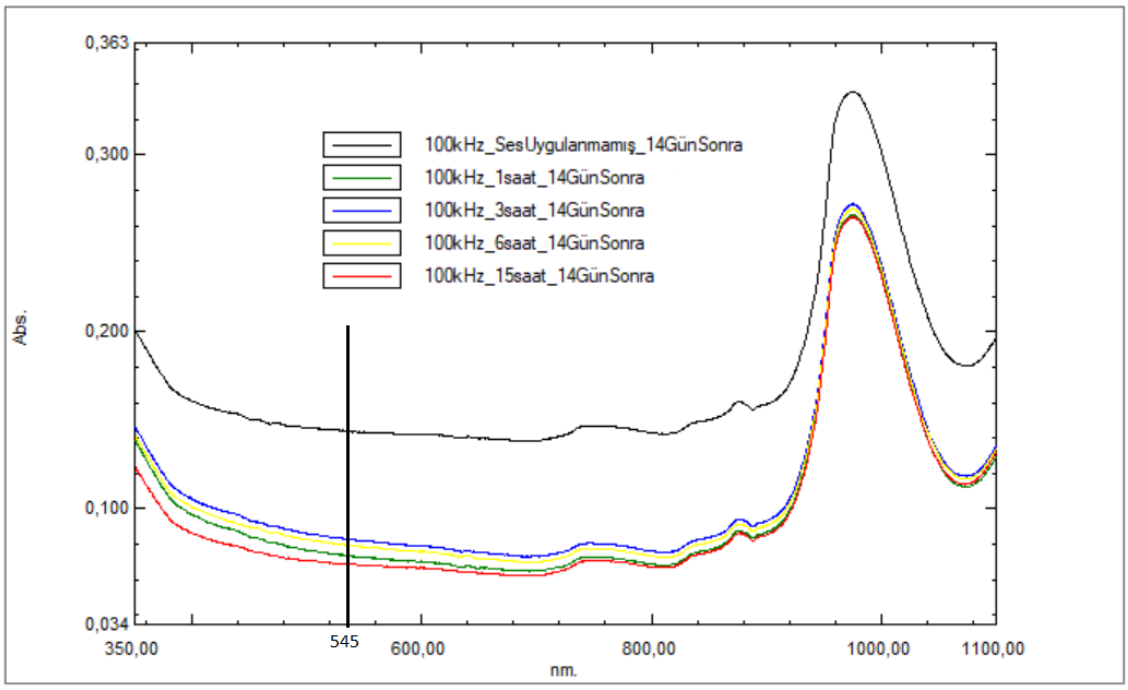
Şekil 4. 22 100 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.22’ de görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %10.52, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %11.27, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 14.28, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 13.53 oranında azalmıştır.



Şekil 4. 23 100 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.23’ te görüldüğü gibi eneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 3.75 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 25, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25.78, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %25 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %26.56 azaldığı gözlemlenmiştir



Şekil 4. 24 100 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.24' te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 7.51 artmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 49.65, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %42.65, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %45.45 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %52.44 azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. 3 10 kHz – 100 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar

	10 KHZ				25 KHZ			
	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT
ANINDA	% 9.77	% 12.78	% 11.12	% 24.06	% 8.27	% 11.27	% 12.78	% 18.79
7 GÜN	% 24.21	% 26.56	% 23.43	% 32.81	% 24.21	% 26.56	% 25.78	% 30.46
14 GÜN	% 51.04	53.14	49.65	% 54.55	% 55.94	% 35.66	% 55.24	% 50.34
	40 KHZ				50 KHZ			
	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT
ANINDA	% 9.77	% 12.03	% 13.53	% 18.04	% 10.52	% 12.03	% 12.78	% 18.79
7 GÜN	% 23.43	% 23.43	% 17.96	% 27.34	% 24.21	% 25	% 22.65	% 30.46
14GÜN	% 43.35	% 51.74	% 53.84	% 55.24	% 51.74	% 55.94	% 50.34	% 51.74
	60 KHZ				75 KHZ			
	1 SAAT	3 SAAT	6 SAAT	15 SAAT	1 SAAT	3 SAAT	6SAAT	15SAAT
ANINDA	% 9.77	% 11.27	% 12.03	% 14.28	% 7.51	% 11.27	% 12.78	% 15.03
7 GÜN	% 23.43	% 25.78	% 24.21	% 25.78	% 25	% 24.21	% 25	% 26.56
14 GÜN	% 46.15	% 55.94	% 55.24	% 36.36	% 56.64	% 45.45	% 49.65	% 55.24
	100 KHZ							
	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15SAAT				
ANINDA	% 10.52	% 11.27	% 14.28	% 13.53				
7 GÜN	% 25	% 25.78	% 25	% 26.56				
14 GÜN	% 49.65	% 42.65	% 45.45	% 52.44				

Çizelge 4.3 ’den de görüldüğü üzere; 10-100 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar, ortalama olarak benzer sayılabilir.

Ses uygulanmasının hemen ardından anında olarak isimlendirdiğimiz incelemelerde:

1 saatlik ses uygulaması anında ortalama % 9'luk bir bakteri sayısı azalmasına neden olmuştur. 3 saatlik uygulama ile 6 saatlik uygulama etkisi anında yaklaşık olarak aynıdır ve % 13 civarındadır. 15 saatlik ses uygulaması anında ise frekanslar arası etki farklılaşması görülmeye başlanmıştır. En büyük etki 10kHz lik frekansta ve % 25 civarındadır. 25 kHz de % 19, 40 kHz-50 kHz de yaklaşık % 18, 60 kHz-75 kHz-100 kHz'de ise yaklaşık % 15 civarında olmuştur. Yani küçük frekanslar inaktivitede daha başarılıdır. Frekans arttıkça etki yüzde oranları azalmıştır.

7 gün sonundaki durum:

10 kHz frekansı için 7 gün sonunda 1 saatlik ses uygulaması % 3, 3-6 saatlik ses uygulaması % 26 ve 15 saatlik ses uygulaması bakteri azalma yüzdesi % 32 olarak gerçekleşmiştir.

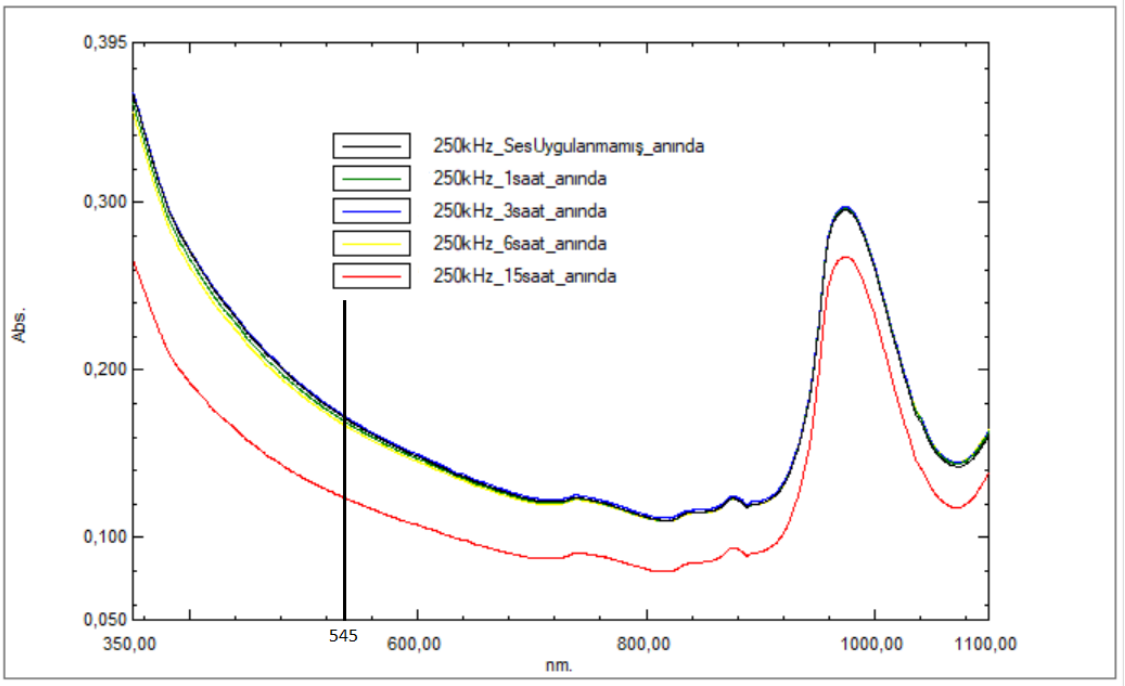
Diğer tüm frekanslarda 7 gün sonraki yüzde azalma mikterı ortalama olarak aynı olup yaklaşık % 25 civarındadır.

14 gün sonraki durum:

14 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 55 civarında gerçekleşmiştir.

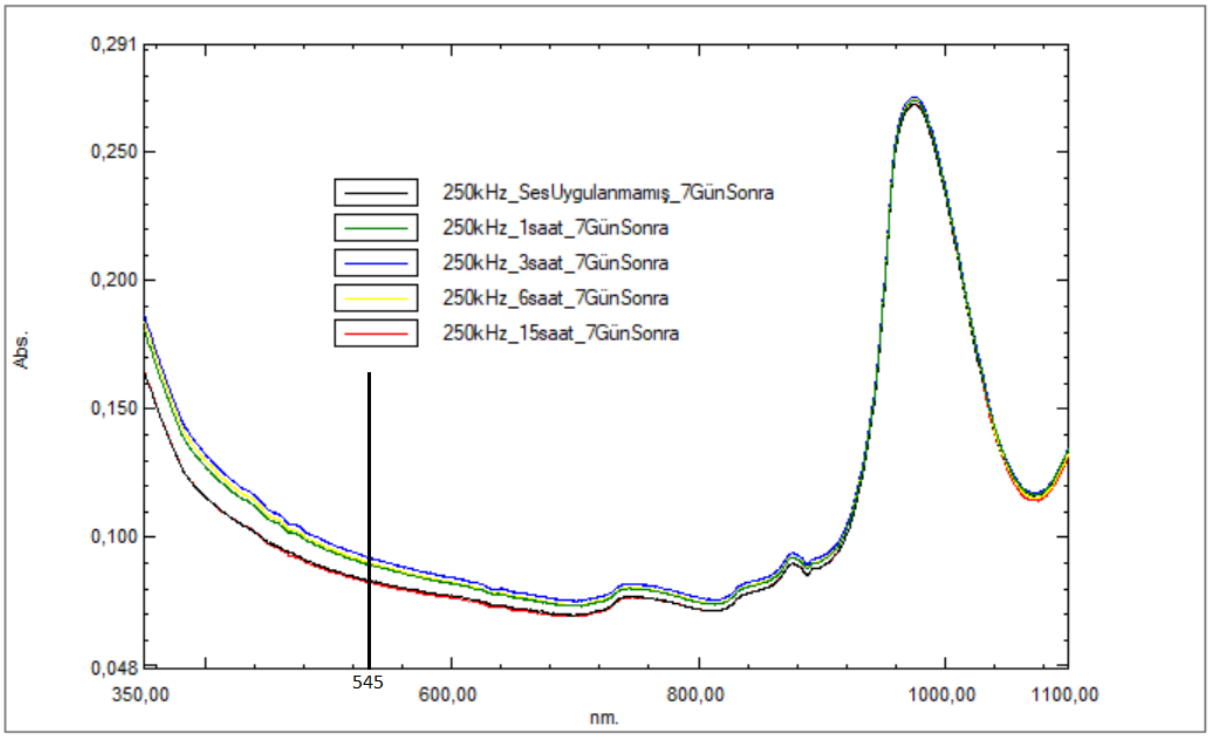
4.4 250 Khz ile 1000 Khz Arasında Ses Uygulanmış Deney Verileri

Frekans aralığı artıkça ses dalgalarının inaktivasyon etkileri azalmıştır. Gerçekten literatür çalışmalarında da bu frekanslarda başarı azdır.



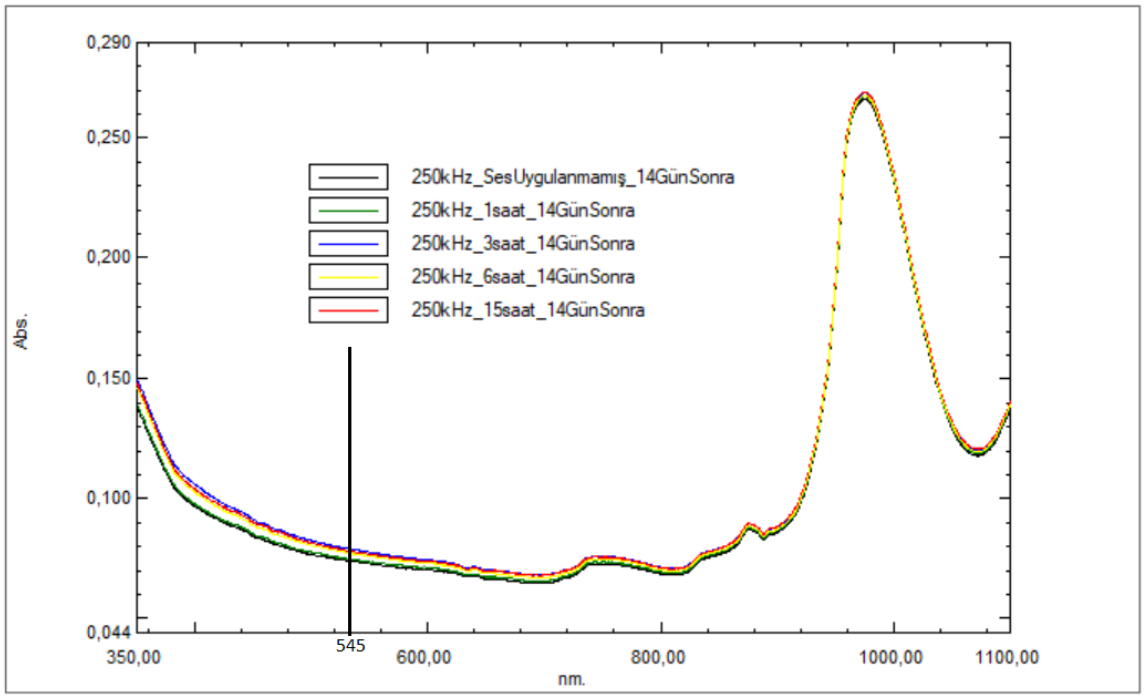
Şekil 4. 25 250 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.25’ te görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %1.19 oranında azalmış, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %0.6 oranında artmış, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 2.39, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 28.14 oranında azalmıştır. Bu frekansta sadece 15 saatlik ses uygulaması etkin olmuştur.



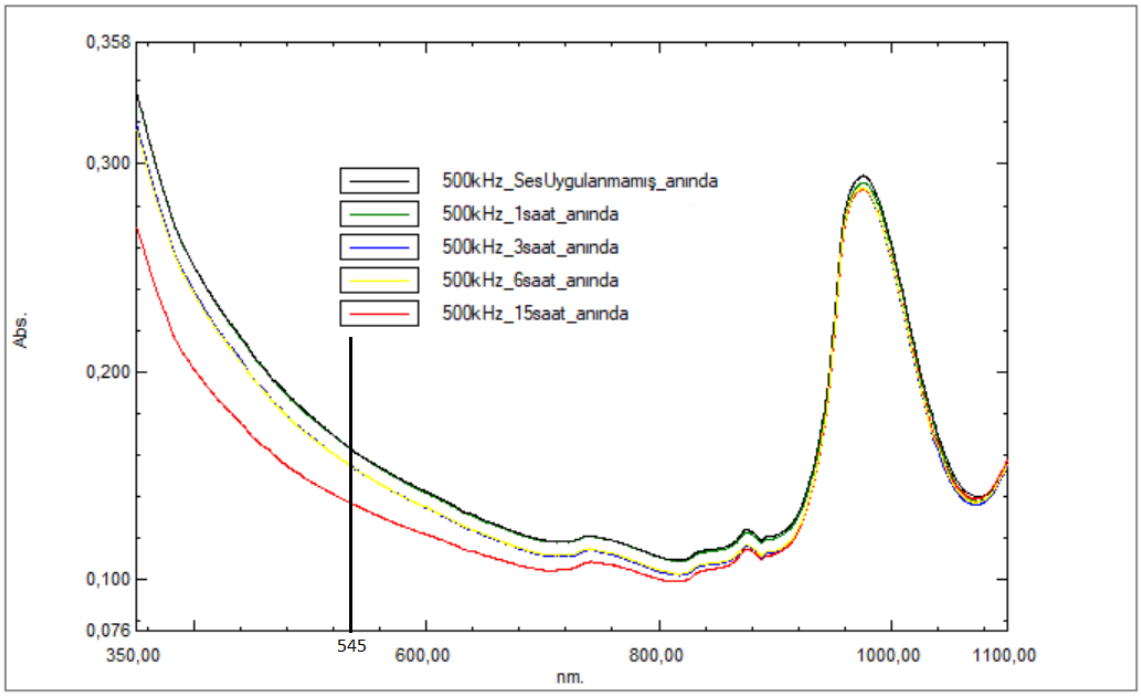
Şekil 4. 26 250 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.26’ da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 51.59 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun % 8.64, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %11.11 ve 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %8.64 fazla olduğu gözlemlenmiştir. 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun ise ses uygulanmamış örnek ile aynı olduğu gözlemlenmiştir.



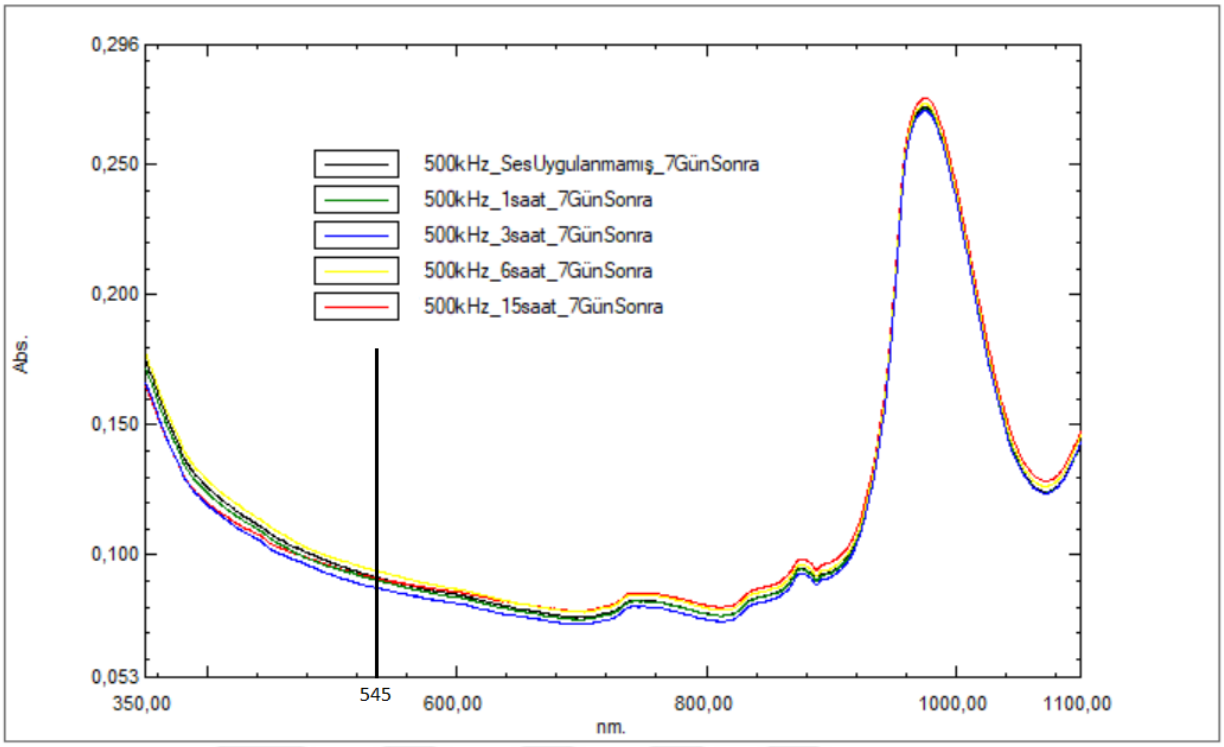
Şekil 4. 27 250 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.27’ de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre %56.28 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %4 ten az olacak şekilde değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.



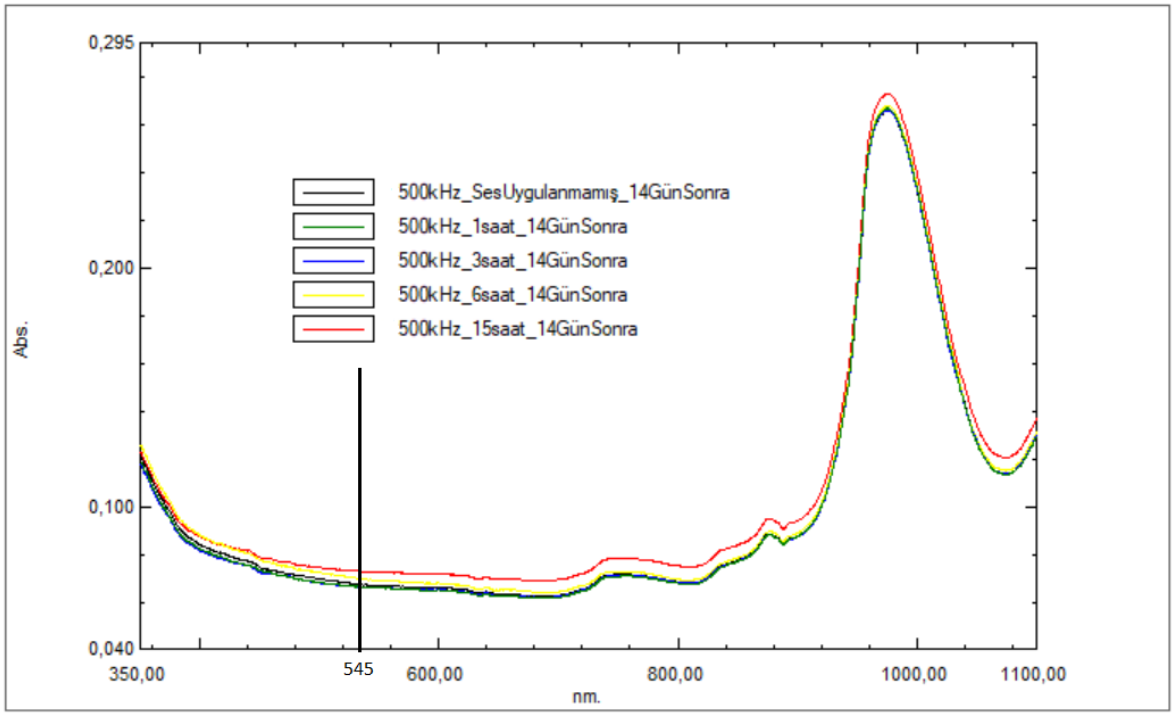
Şekil 4. 28 500 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.28' te görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluğun değişmediği, 3 saat ve 6 saat ses uygulanmış örneklerde optik yoğunlukların % 5.03 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Ses uygulanmamış örneğe göre 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ise % 15.72 oranında azalmıştır.



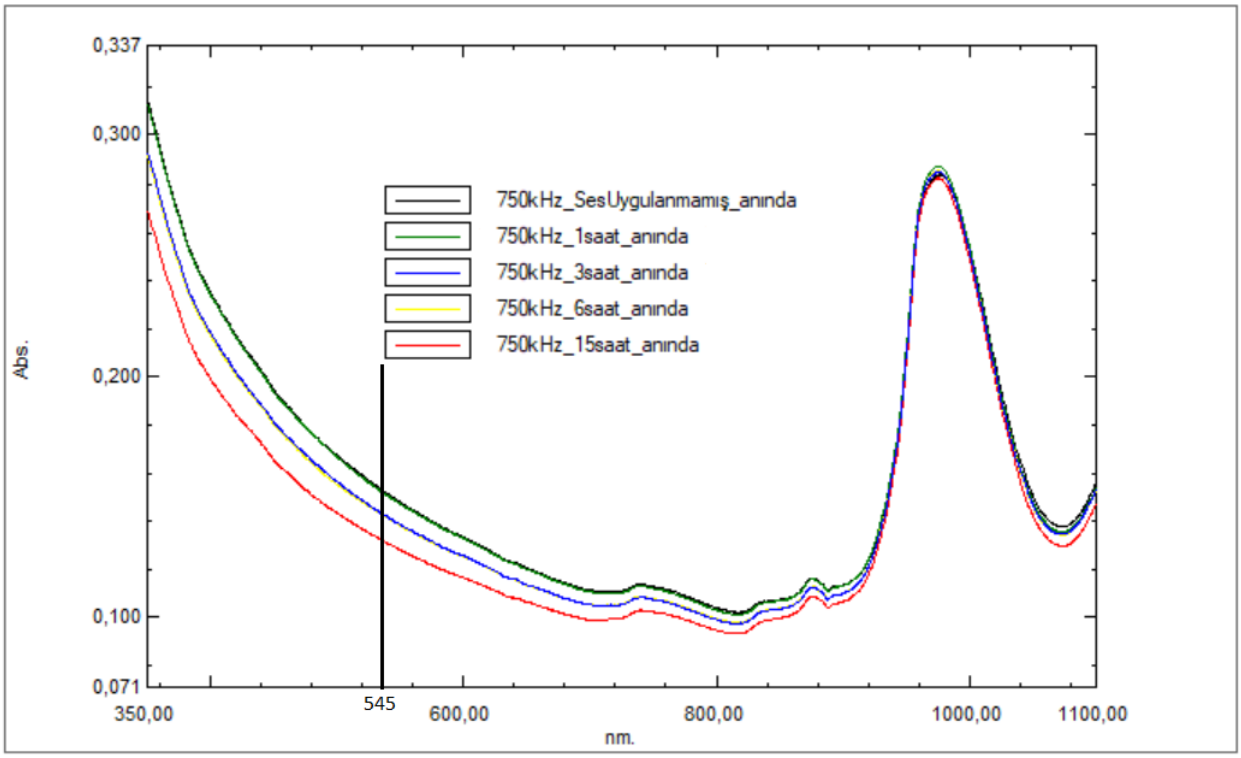
Şekil 4. 29 500 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.29’ da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu, 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 43.39 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %4 ten az olacak şekilde değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.



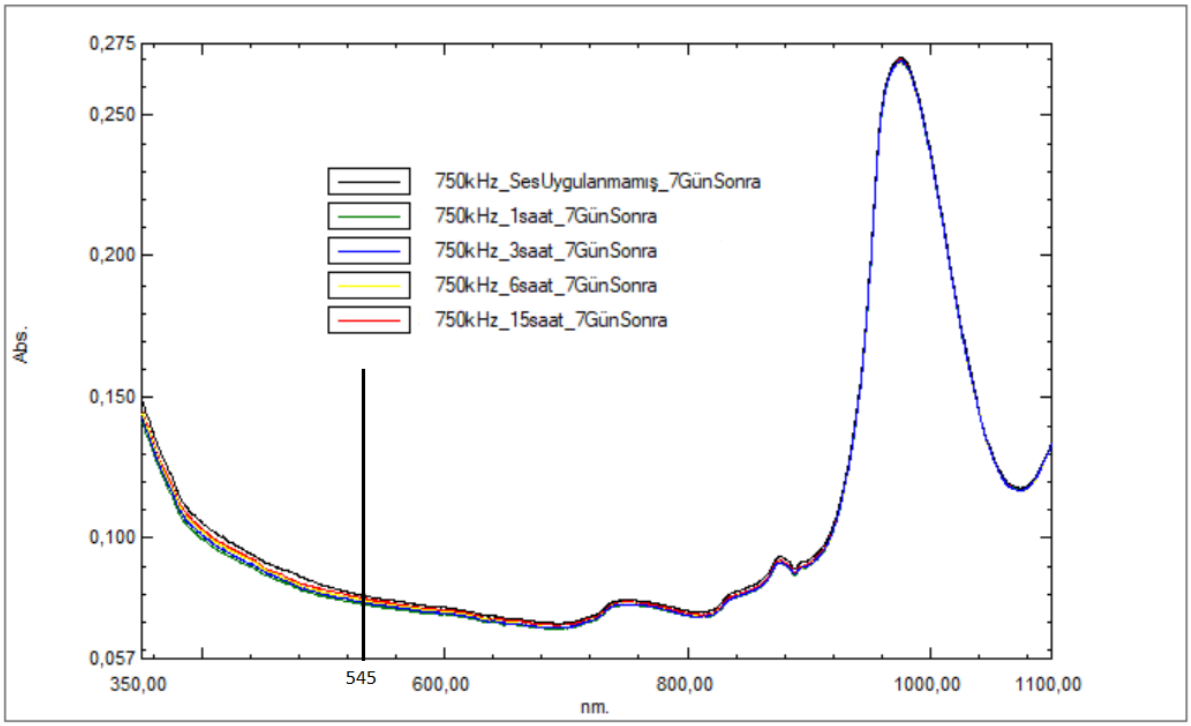
Şekil 4. 30 500 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.30’ da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu, 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 57.86 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %4 ten az olacak şekilde değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.



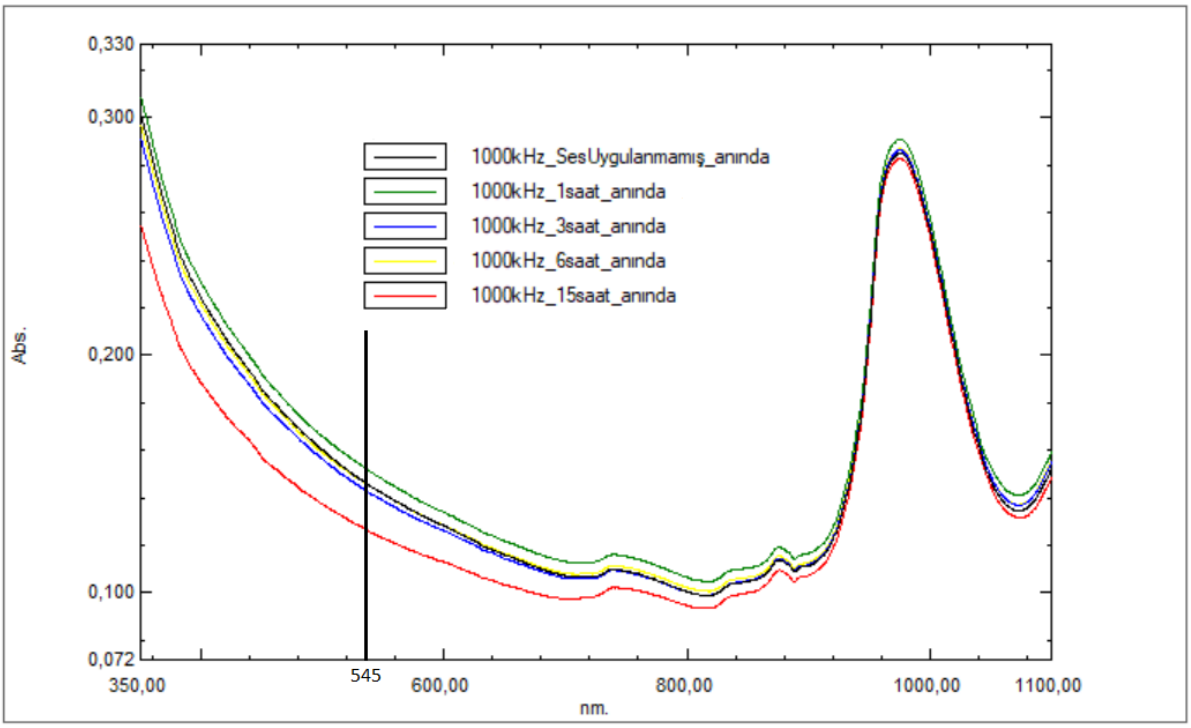
Şekil 4. 31 750 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.31’ de görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %0.67, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %6.04, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 6.71, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 13.42 oranında azalmıştır.



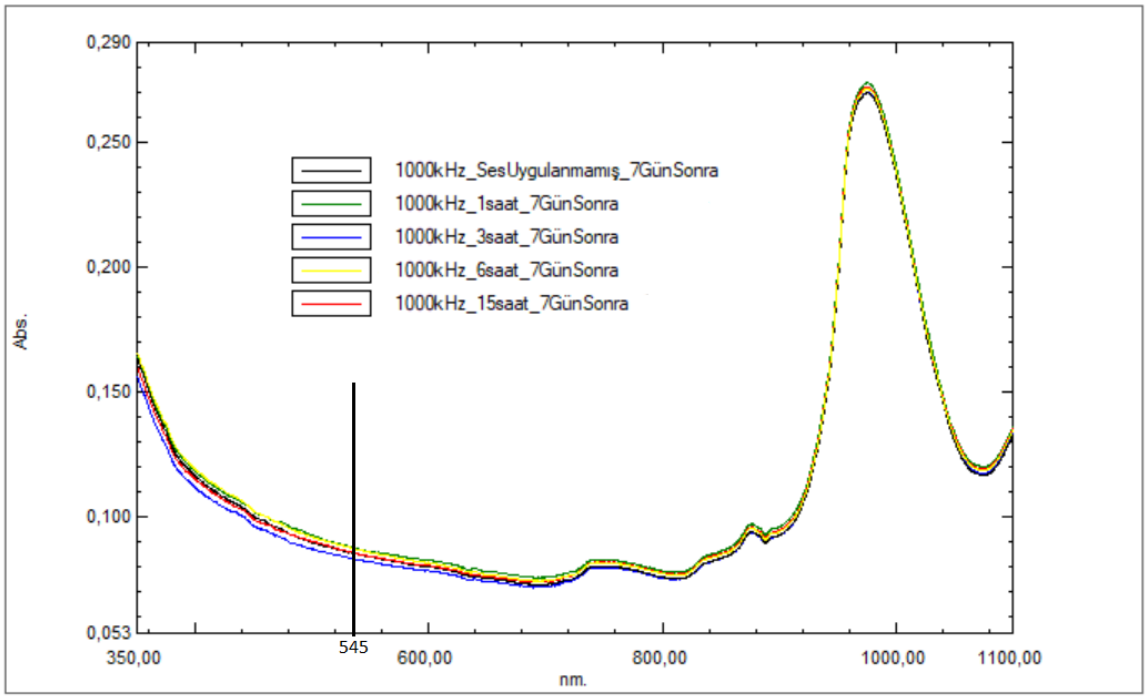
Şekil 4. 32 750 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.32’ de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu, 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 47.65 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun %2 den az olacak şekilde değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir.



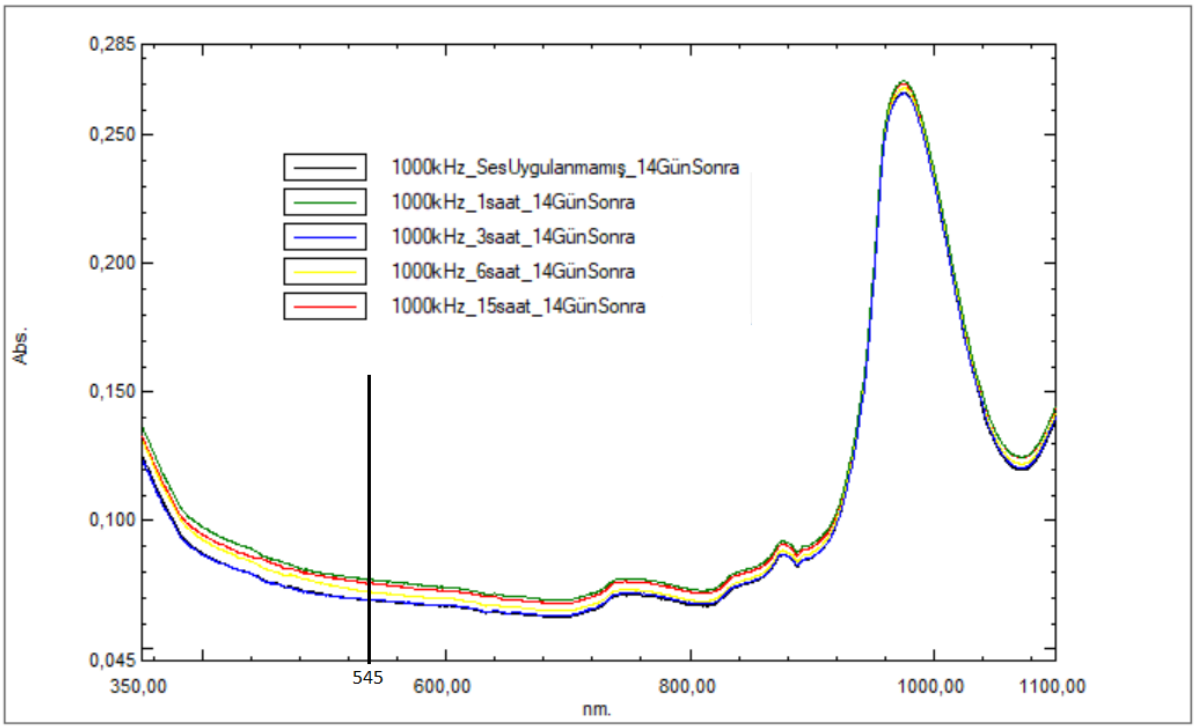
Şekil 4. 33 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.33’ te görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %4.19 artmıştır. 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %2.1 azalmış ve 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk değişmemiştir. 15 saat ses uygulanmış örnekte ise optik yoğunluk %13.28 oranında azalmıştır.



Şekil 4. 34 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 7 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.34’ te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 41.25 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu 2.38 artmıştır. Ses uygulanmamış örneğe göre 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun değişim oranı ise %2 nin altında kalmıştır.



Şekil 4. 35 1000 kHz Ses uygulanan örneğin deneyden 14 Gün Sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.35’ te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 52.44 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu %11.76 artmıştır. Ses uygulanmamış örneğe göre 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun ve 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğunun değişim oranı ise %3 ün altında kalmıştır. 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ise ses uygulanmamış örneğe göre %8.82 artmıştır.

Çizelge 4. 4 250 kHz-1000 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar

	250 KHZ				500 KHZ			
	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT
ANINDA	% 1.19	% 0.6	% 2.39	% 28.14	AYNI	% 5.03	% 5.03	% 15.72
7 GÜN	% 8.64	% 11.11	% 8.64	AYNI	%4			
14 GÜN	AYNI				AYNI			
	750 KHZ				1000 KHZ			
	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT	1SAAT	3SAAT	6SAAT	15 SAAT
ANINDA	% 0.67	% 6.04	% 6.71	% 13.42	+ % 4.19	% 2.1	AYNI	%13.28
7 GÜN	%2				+ % 2.38	%2		
14GÜN	-	-	-	-	+%11.76	%3		+%8.82

Çizelge 4. 4 ’ten de anlaşılacağı üzere 250 kHz-1000 kHz frekans aralığında yapılan çalışmalar, ortalama olarak benzer sayılabilir.

Ses uygulanmasının hemen ardından anında olarak isimlendirdiğimiz incelemelerde:

1 saatlik ses uygulaması anında ortalama % 1’lik bir bakteri sayısı azalmasına neden olmuştur. 3 saatlik uygulama ile 6 saatlik uygulama etkisi anında yaklaşık olarak aynıdır ve % 5 civarındadır. 15 saatlik ses uygulaması anında ise ortalama % 15 lik bir azalma görülmüştür.

7 gün sonundaki durum:

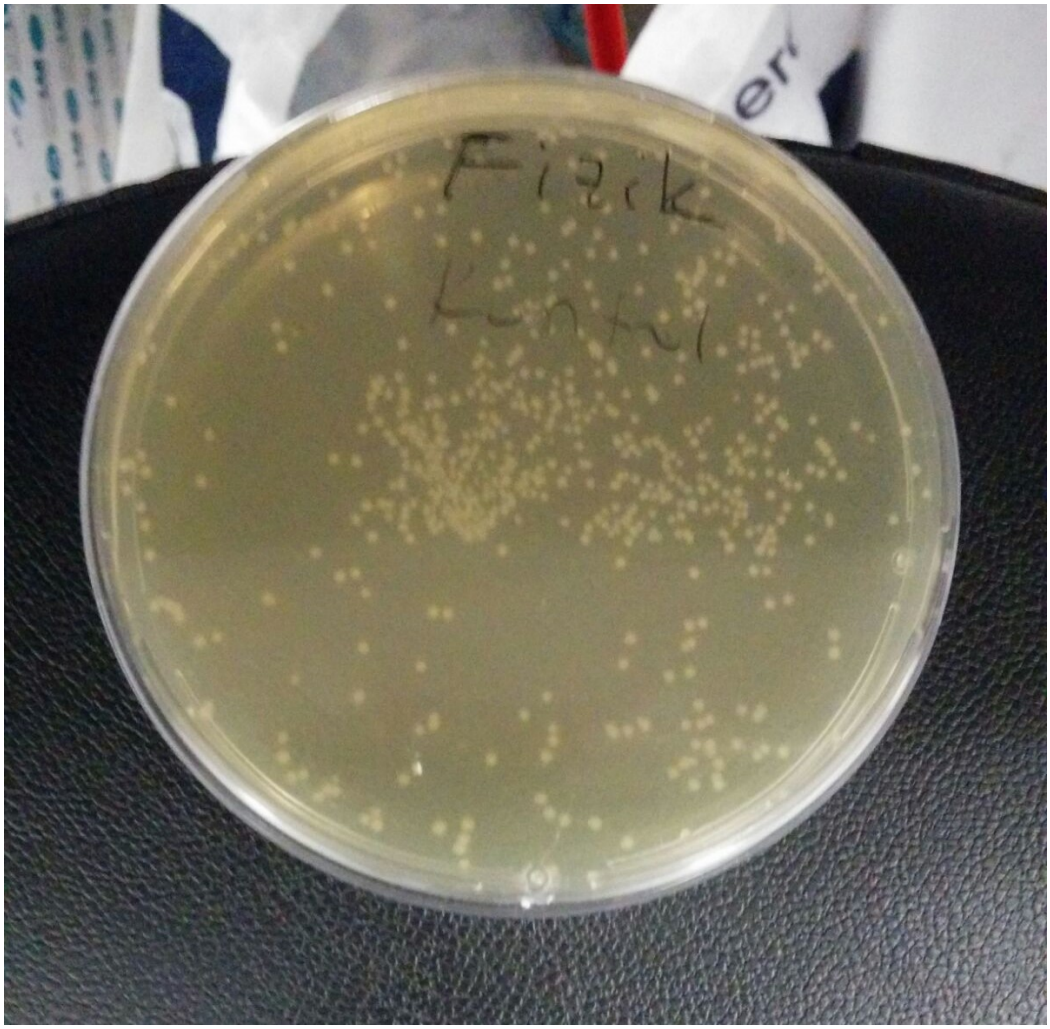
7 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri, anında durumuna göre yaklaşık tüm frekanslar için aynı olup % 40 civarında gerçekleşmiştir.

14 gün sonraki durum:

15 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 50 civarında gerçekleşmiştir.

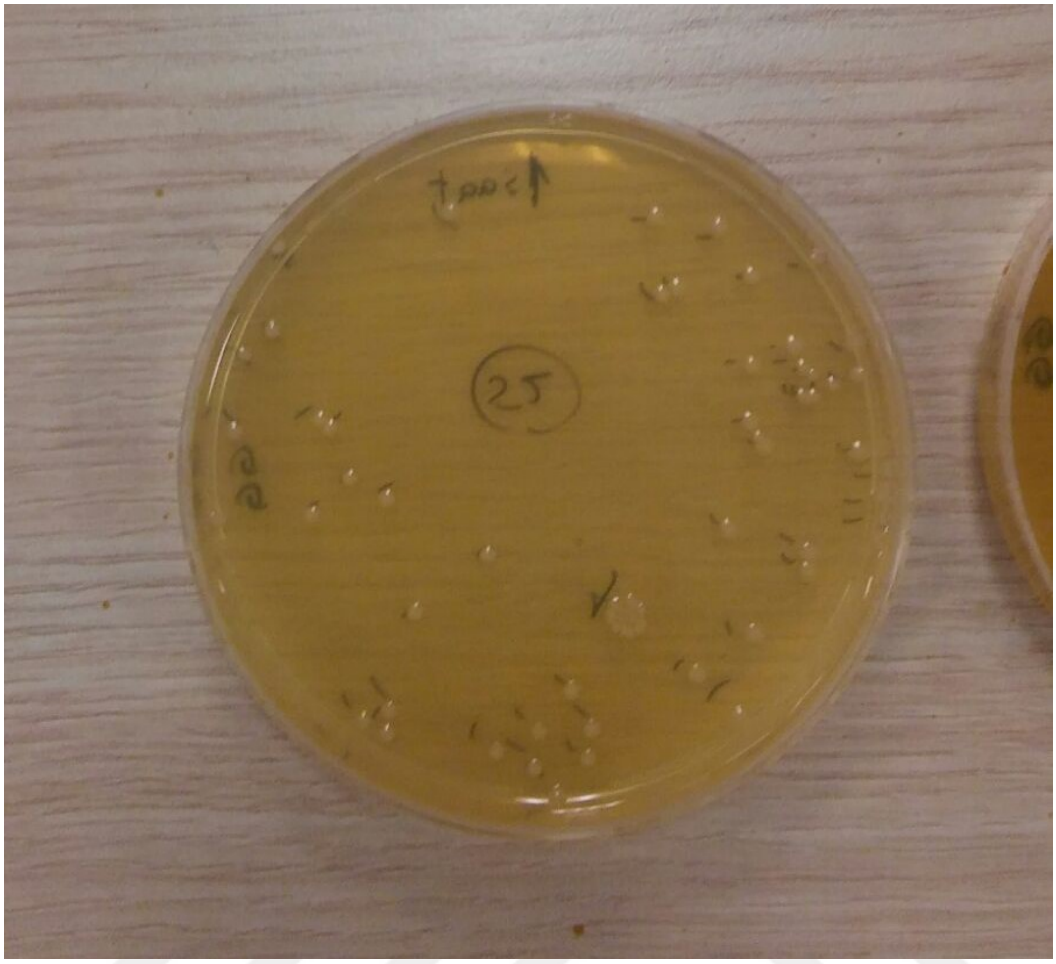
4.5 Ekim Sonuçları

10 kHz de ses uygulanmamış ve 1 saat, 3 saat, 6saat ve 15 saat ses dalgası uygulanan örnekler 1 e 100000 seyreltilerek katı besi yerine ekilmiş ve 24 saat sonunda koloniler sayılmıştır.



Şekil 4. 36 Ses Uygulanmamış E. Coli Ekimi

Ses uygulanmamış E. Coli çözeltisinin ekimi gerçekleştirildiğinde (Şekil 4.36) 350+ sayıda bakteri kolonisi olduğunu gördük.



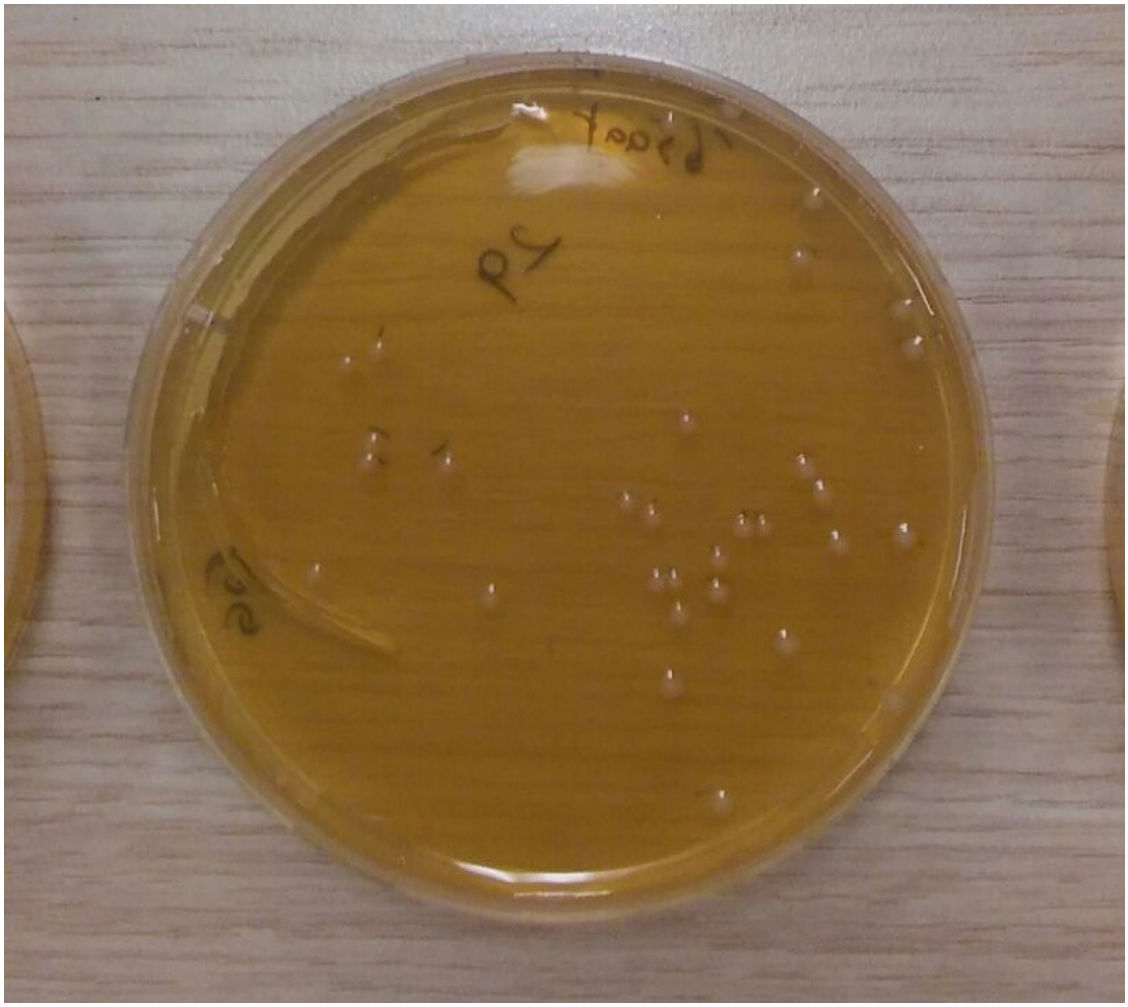
Şekil 4. 37 10 kHz de 1 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi

1 saat ses uygulanmış E. Coli çözeltisinin ekimi gerçekleştirildiğinde (Şekil 4.37) 46 tane bakteri kolonisi olduğunu gördük.



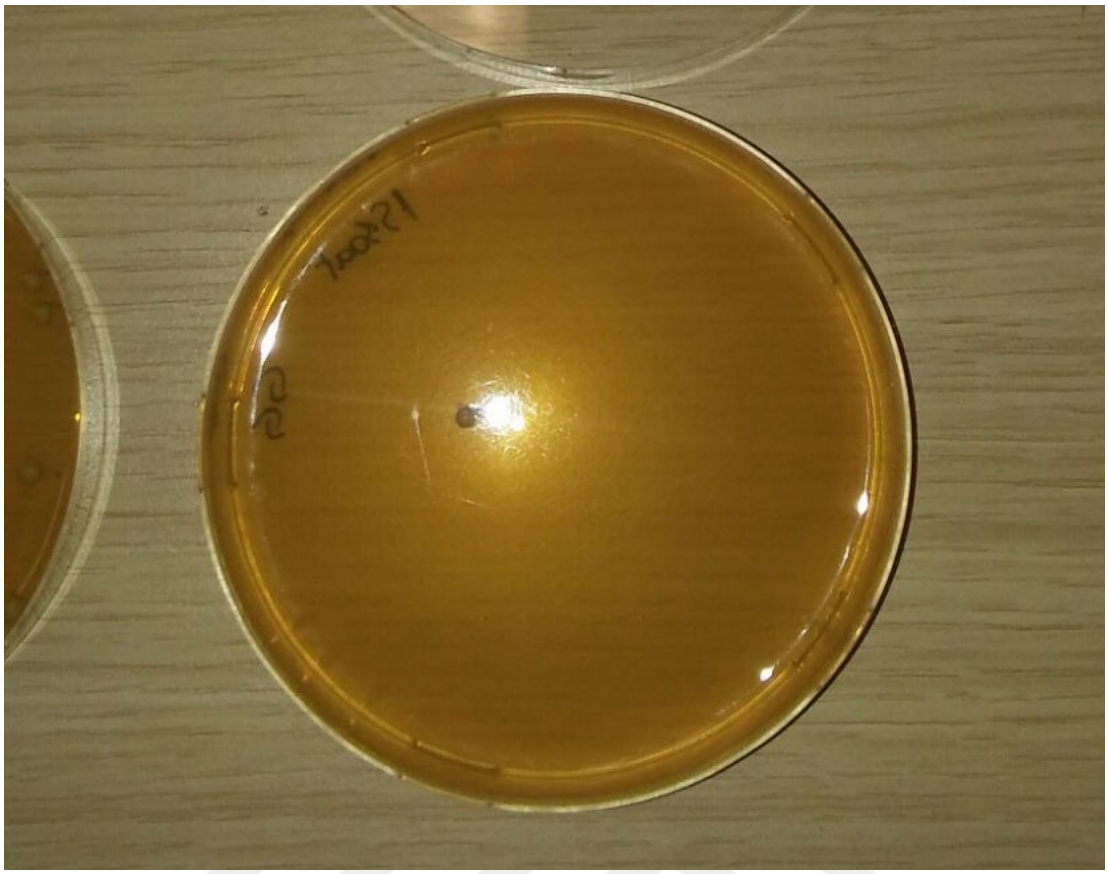
Şekil 4. 38 10 kHz’de 3 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi

3 saat ses uygulanmış E. Coli çözeltisinin ekimi gerçekleştirildiğinde (Şekil 4.38) 14 tane bakteri kolonisi olduğunu gördük.



Şekil 4. 39 10 kHz’de 6 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi

6 saat ses uygulanmış E. Coli çözeltisinin ekimi gerçekleştirildiğinde (Şekil 4.39) 26 tane bakteri kolonisi olduğunu gördük.



Şekil 4. 40 10 kHz'de 15 saat Ses Uygulanmış E. Coli Ekimi

15 saat ses uygulanmış E. Coli çözeltisinin ekimi gerçekleştirildiğinde (Şekil 4. 40) 1 tane bakteri kolonisi olduğunu gördük.

Ekim sonuçlarına göre Ses uygulanmamış, 1 saat 10 kHz ses uygulanmış, 3saat 10 kHz ses uygulanmış, 6 saat 10 kHz ses uygulanmış ve 15 saat 10 kHz ses uygulanmış bakteri çözeltilerinin, inaktivasyonunun sesi uyguladığımız saat oranı arttıkça arttığını teyit ettik. Deneyin hemen ardından yapılan 10 kHz optik yoğunluk ölçümleri 1 saat için %9.77, 3 saat için %12.78, 6 saat için % 11.12 ve 15 saat için % 24.06 azalma gösteriyordu. Bu sonuçlar ile yapmış olduğumuz optik yoğunluk ölçümlerinin de doğruluğunu yaklaşık olarak teyit etmiş olduk. Burada ses uygulanmamış örnekte 350 den fazla koloni varken 1 saatlik uygulamada bu sayı 46'ya düşmüştür. 3 ve 6 saatlik ekim sonuçlarında deney hatası kabuledilebilecek 14 ve 26 koloni sayımı mevcutken, 15 saatlik uygulamada sadece 1 koloniye rastlanmıştır.

4.6 Ses Uygulanmış Enterokok ve E. Coli Karşılaştırılması

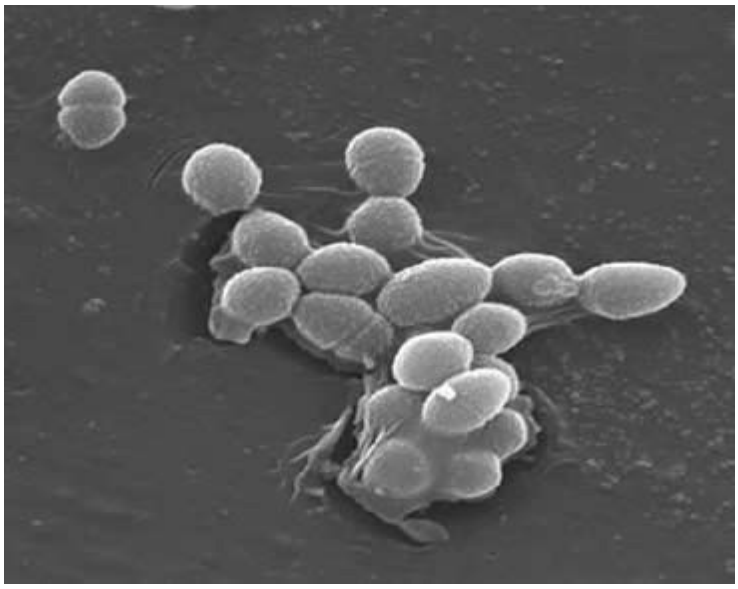
4.6.1 Enterococcus faecalis

Enterokok (Enterococcus faecalis) terimini ilk kez 1899'da Fransa'da Thiercelin kullanmıştır. Aynı sene MacCallum ve Hastings sonraları hemolitik bir enterokok olduğu anlaşılan *Micrococcus zymogenes olarak* adlandırdıkları endokardite yol açan bir bakteri bulmuşlardır. 1906'da Andrewes ve Horder, endokarditli bir kişiden elde ettikleri bakteriyi *Streptococcus faecalis* (Şekil 4.41) olarak adlandırmıştır [46].

Enterokoklar çetin ortamlara dayanıklı bakterilerdir. Geniş bir pH spektrumunda çoğalabilirler. Temizlenmiş (dekontaminasyon ve dezenfeksiyon) koşullarda canlılıklarını devam ettirebilirler, bu da en önemlisi hastane şartlarında da dayanıklı olmalarını sağlar. Yapılan araştırmalara göre hastane görevlileri tarafından yada sağlık ekipmanları aracılığı ile insanlara bulaşmaktadır [47].

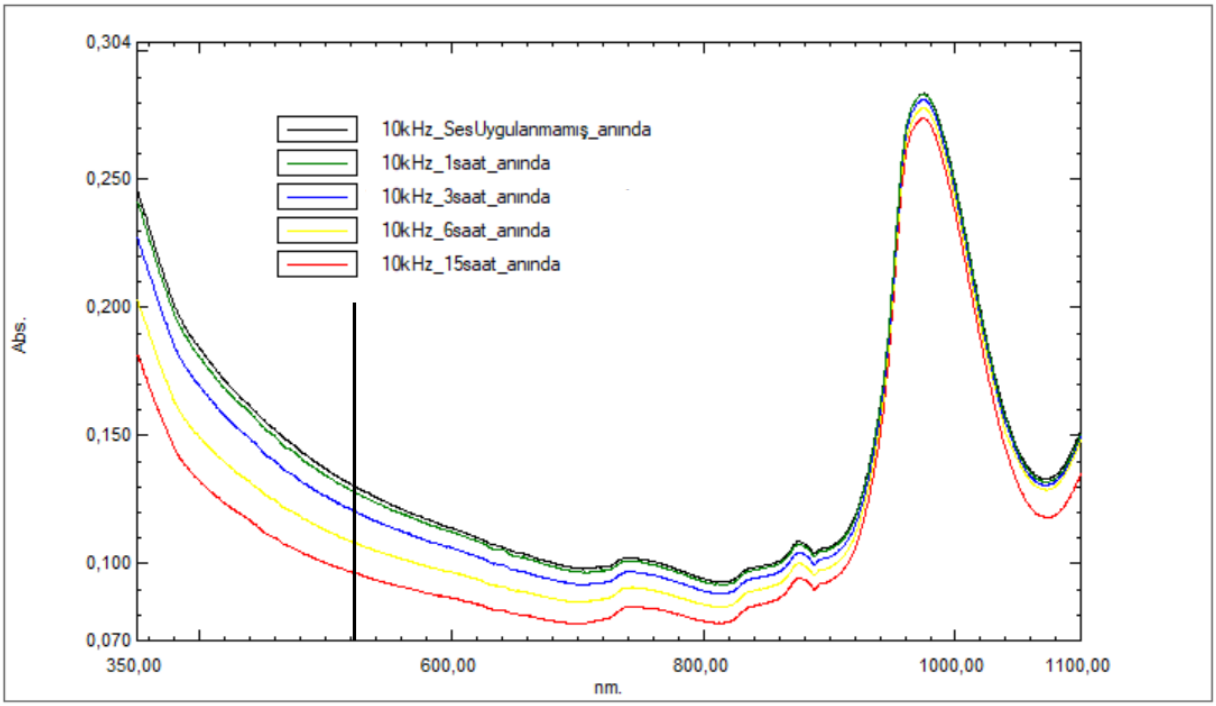
Enterokoklar 10°C–45°C' de çoğalabilen, %6,5 NaCl' lü şartlarda çoğalmayı sürdürebilen, 60°C' de 30 dakika canlılığını sürdürebilen ve eskülini hidrolize edebilen bakterilerdir. Ayrıca pH 9,6'da, %40 safra tuzu içeren besiyerinde çoğalabilirler**.**

Üriner sistem enfeksiyonları enterokokların sebep olduğu klinik hastalıkların fazla tespit edilen bir tipidir ve klinik mikrobiyoloji laboratuvarında elde edilen enterokokların en önemli kaynağı idrar kültürleridir [48]. Enterokokların etken olduğu üriner sistem enfeksiyonlarının çoğu nozokomiyaldir ve genellikle üriner kateterizasyon beraberinde gelir. Özellikle yapısal uyumsuzluğu veya tekrarlayan üriner sistem enfeksiyonu olan hastalarda sıktır [49].



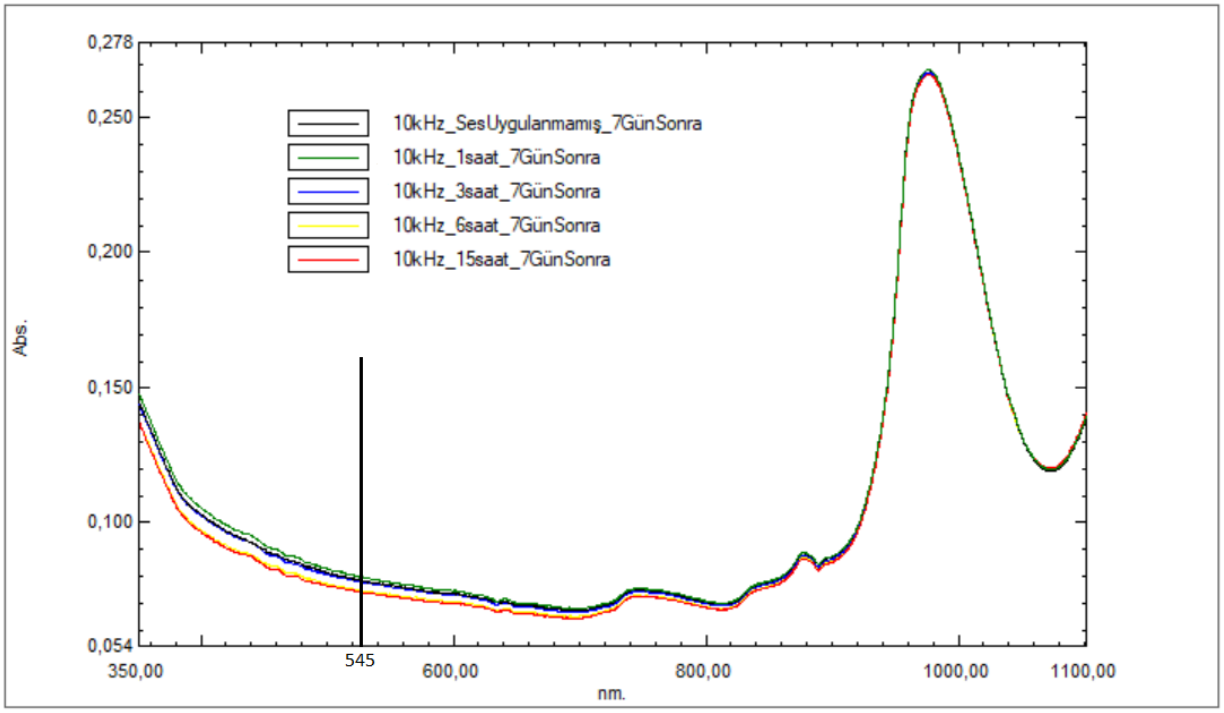
Şekil 4. 41 Enterococcus faecalis’in SEM görüntüsü

4.6.1 Enterococcus faecalis ses uygulanmış deney verileri



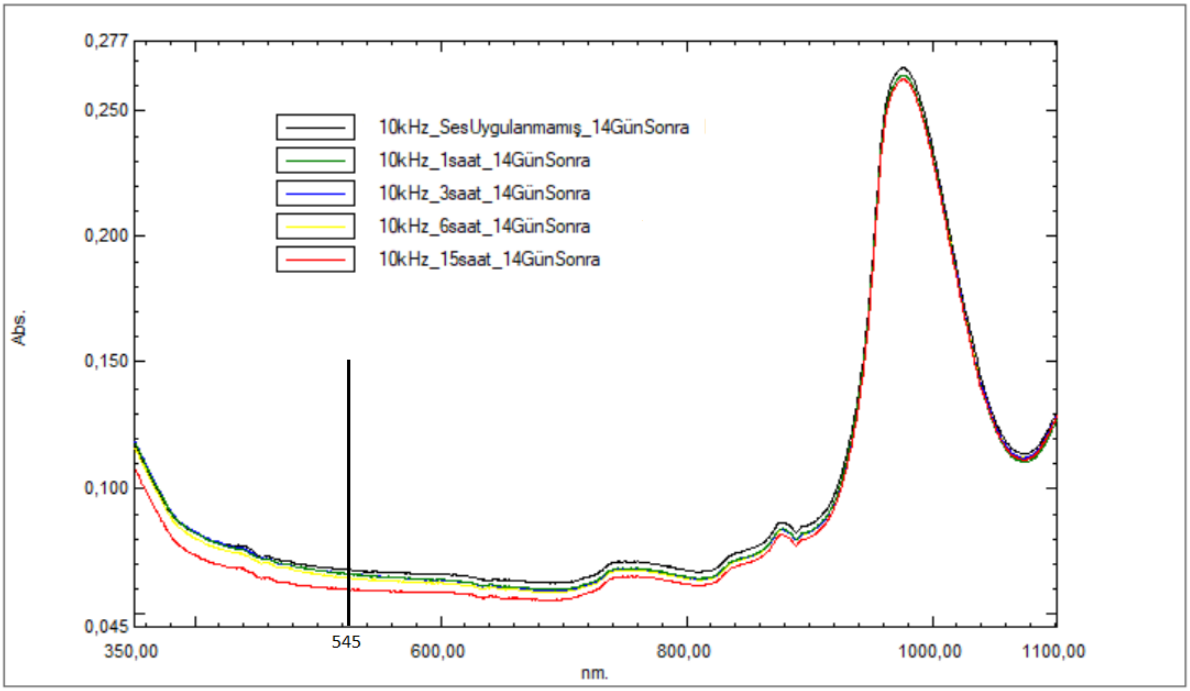
Şekil 4. 42 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.42' de görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %0.8, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %7.25, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 16.12, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 25.80 oranında azalmıştır.



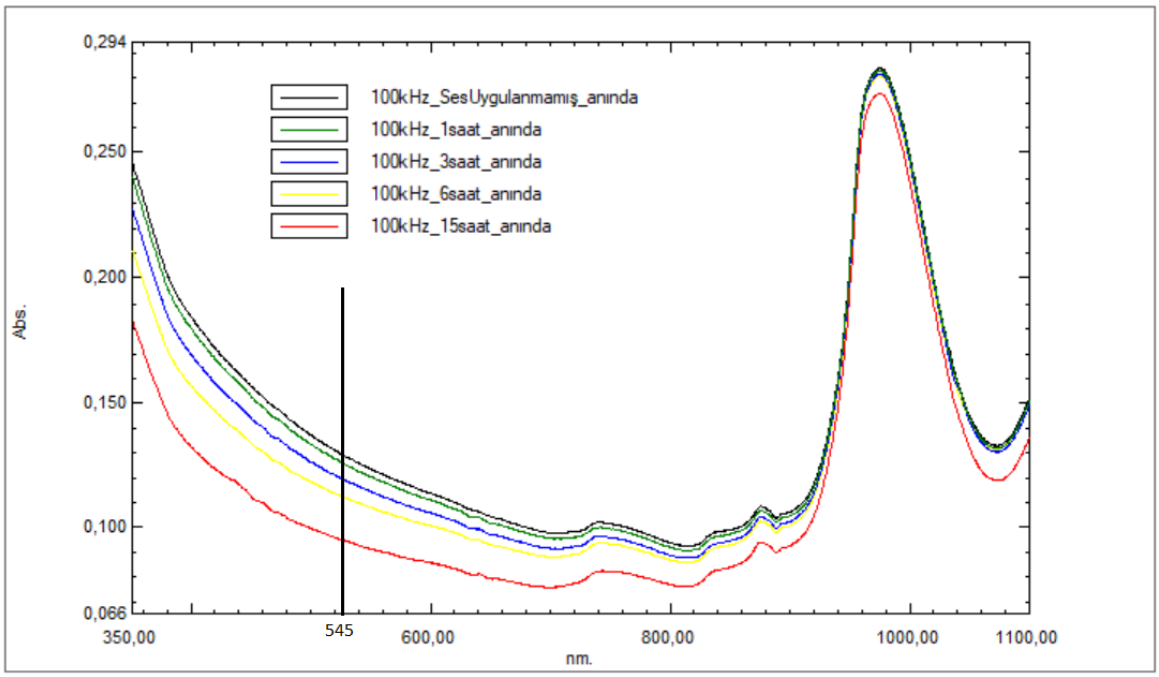
Şekil 4. 43 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.43' te görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 37.90 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre optik yoğunlukları 1 saat ses uygulanmış ve 3 saat ses uygulanmış örneklerin optik yoğunlukları neredeyse değişmemiş, 6 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu %5.19 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu %6.49 azaldığı gözlemlenmiştir.



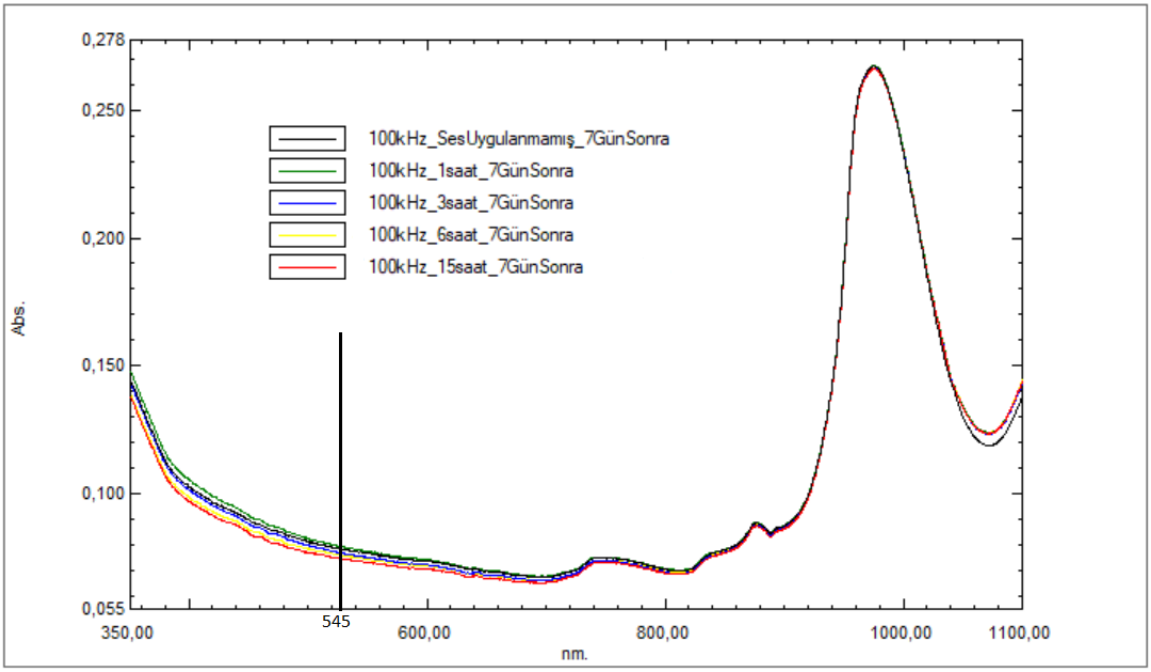
Şekil 4. 44 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.44' te görüldüğü gibi eneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 45.96 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat, 3saat ve 6 saat ses uygulanmış örneklerin optik yoğunlukları %5ten daha az olmak üzere azaldığı ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ise % 11.94 azaldığı gözlemlenmiştir.



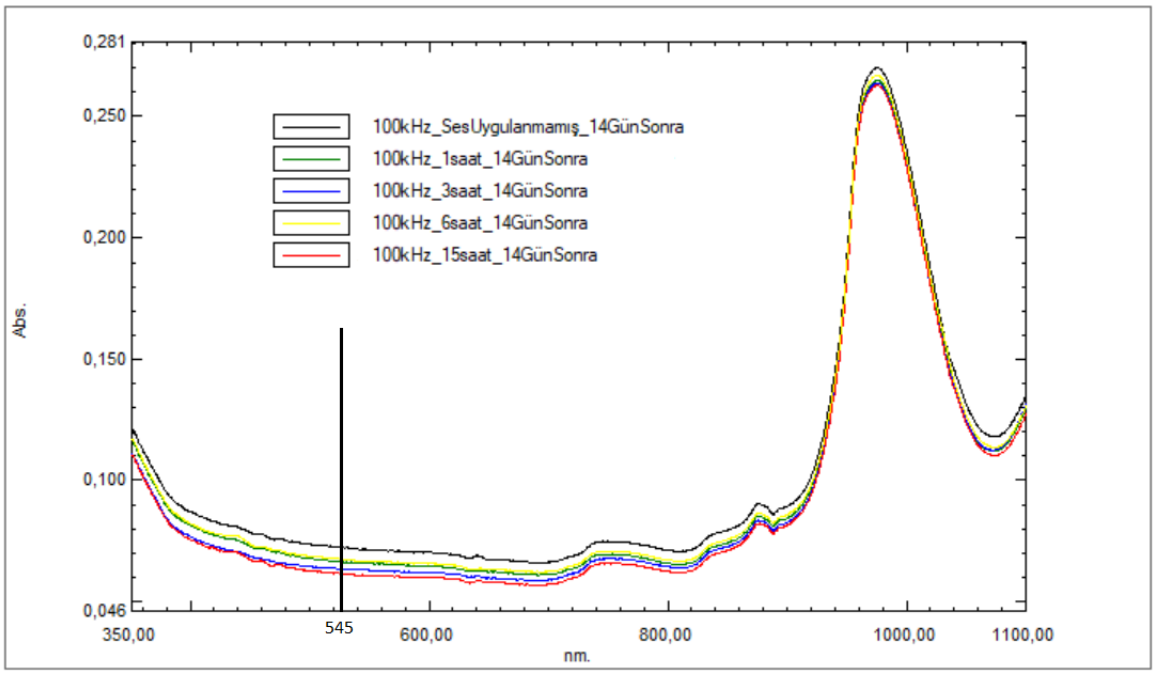
Şekil 4. 45 10 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.45' te görüldüğü gibi eneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %2.41, 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %7.25, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 12.09, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 25.80 oranında azalmıştır.



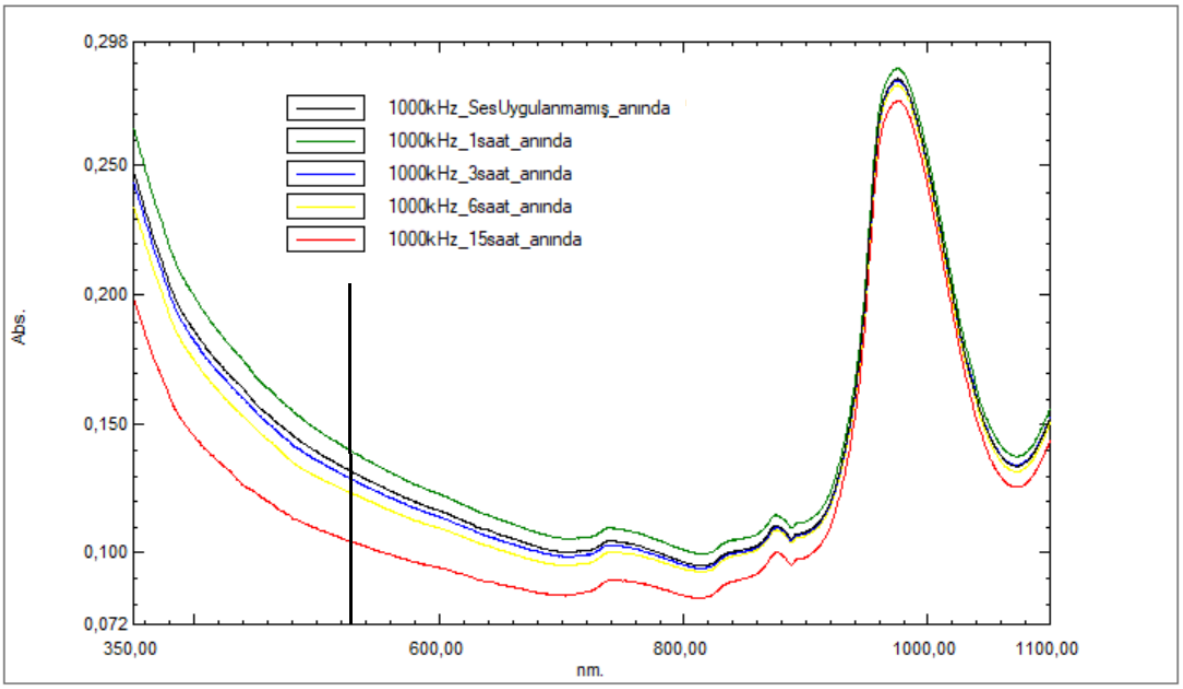
Şekil 4. 46 100 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.46' da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 37.09 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat, 3saat ve 6 saat ses uygulanmış örneklerin optik yoğunlukları %5ten daha az olmak üzere azaldığı ve 15 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu ise % 6.41 azaldığı gözlemlenmiştir.



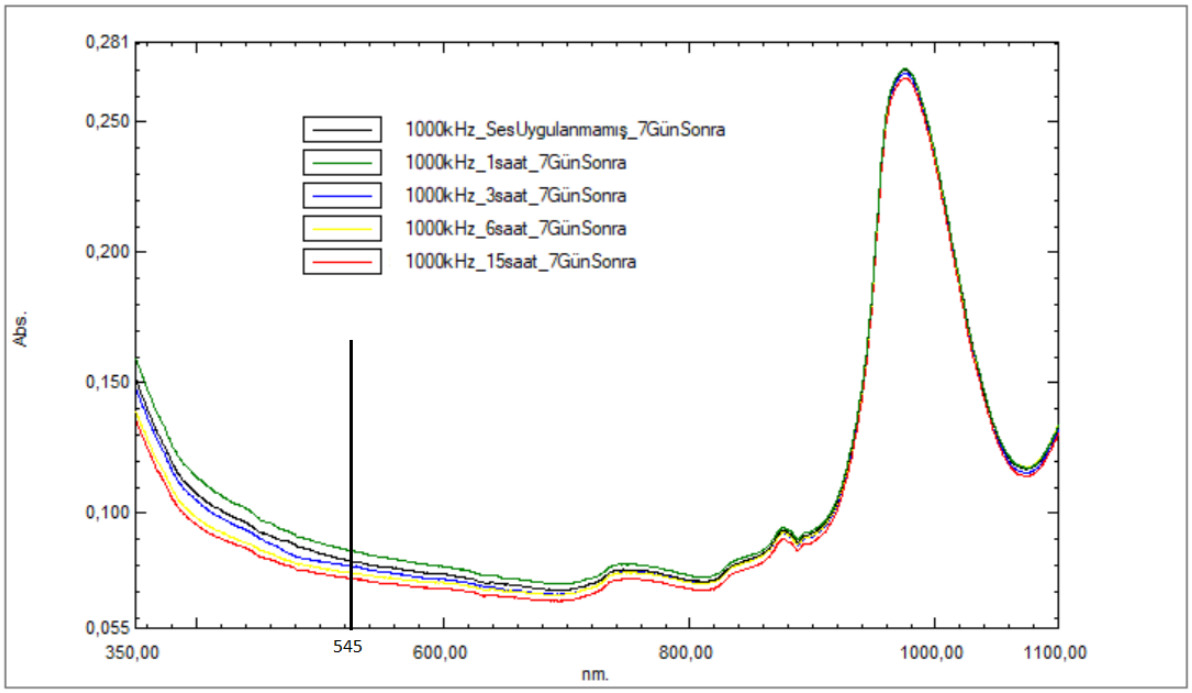
Şekil 4. 47 100 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.47' de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre, ses uygulanmamış örneğin optik yoğıunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 41.93 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre optik yoğunlukları 1 saat ses uygulanmış örneğin % 8.33, 3 saat ses uygulanmış örneğin %12.50, 6 saat ses uygulanmış örneğin %6.94 ve 15 saat ses uygulanmış örneğin %15.27 azaldığı gözlemlenmiştir.



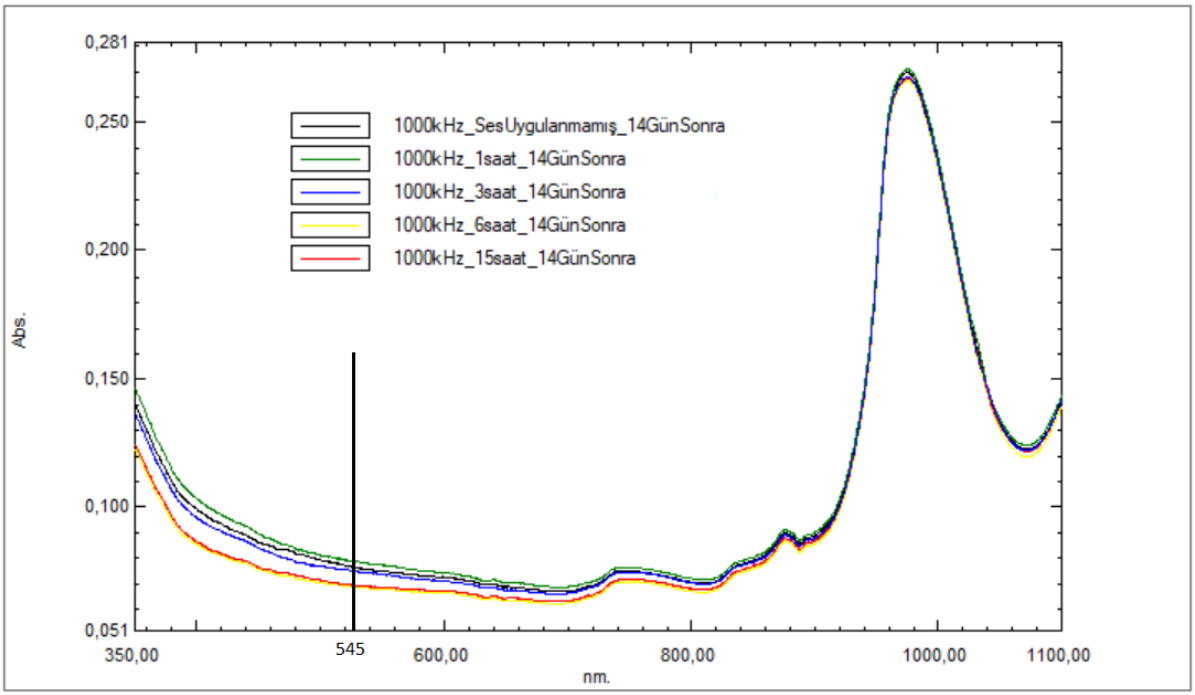
Şekil 4. 48 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deney anında yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.48' de görüldüğü gibi deneyin bitmesinin hemen ardından yapılan ölçümlere göre ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk %5.46 artmıştır. 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk ses uygulanmamış örneğe göre %2.34, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk ses uygulanmamış örneğe göre % 6.25, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 20.31 oranında azalmıştır.



Şekil 4. 49 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 7 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.49' da görüldüğü gibi deneyin üzerinden 7 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre ses uygulanmamış örneğin optik yoğıunluğu 7 gün önce yapılan ölçüme göre % 38.28 azalmıştır. 7 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu % 5.06 artmış, 3 saat, 6 saat ve 15 saat ses uygulanmış örnekerin optik yoğunlukları ise %5in altında azalma göstermiştir.



Şekil 4. 50 1000 kHz Ses uygulanan Enterococcus faecalis'in deneyden 14 gün sonra yapılan ölçümünün Abs. – Dalgaboyu Grafiği

Şekil 4.50' de görüldüğü gibi deneyin üzerinden 14 gün geçtikten sonra yapılan ölçümlere göre ses uygulanmamış örneğin optik yoğıunluğu 14 gün önce yapılan ölçüme göre % 41.40 azalmıştır. 14 gün sonraki ölçümlere göre ise ses uygulanmamış örneğe göre 1 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu % 2.66 artmış, 3 saat ses uygulanmış örneğin optik yoğunluğu %1.25 azalmış, 6 saat ve 15 saat ses uygulanmış örneklerin optik yoğunlukları ise %9.33 azalmıştır.

Ses uygulanmasının hemen ardından anında olarak isimlendirdiğimiz incelemelerde:

10 kHz ile 100 kHz için bakarsak, 1 saatlik ses uygulaması anında ortalama % 2'luk bir bakteri sayısı azalmasına neden olmuştur. 3 saatlik uygulama etkisi anında yaklaşık %7lik, 6 saatlik uygulama etkisi anında yaklaşık olarak % 13 civarındadır. 15 saatlik ses uygulaması anında ise frekanslar arası etki farklılaşması görülmeye başlanmıştır. En büyük etki 10kHz – 100 kHz frekans aralığında olup yaklaşık % 26 civarında olmuştur. 1000 kHz'lik uygulama ise 1 saatlik uygulamasında ise % 5.46 lık bir bakteri artışına neden olmuştur. (Literatürde bazı frekansların bakteriyi öldürmek yerine beslediğine dair bilgiler bulunmaktadır. Burada 1000 kHz frekansında 1 saatlik uygulamanın %5.46 lık bakteri artışı bu sebeple de olabilir. Ancak biz bunun deney hatası olabileceğini

düşünüyoruz). 1000 kHz için 3 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk ses uygulanmamış örneğe göre %2.34, 6 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk ses uygulanmamış örneğe göre % 6.25, 15 saat ses uygulanmış örnekte optik yoğunluk % 20.31 oranında azalmıştır. Burada da bir etki olduğu görülmektedir.

Yani küçük frekanslar inaktivitede daha başarılıdır. Frekans arttıkça etki yüzde oranları azalmıştır.

7 gün sonundaki durum:

10 kHz ile 100 kHz frekansı için 7 gün sonunda yüzde azalma miktarı ortalama olarak aynı olup yaklaşık % 40 civarındadır. 1000 kHz de ise yine benzer azalma görülmüştür.

14 gün sonraki durum:

14 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 55 civarında gerçekleşmiştir.

Burada da görüldüğü gibi sitemimiz sadece E coli bakterisine değil ekok bakterisine de etki etmiş olup özellikle anında yapılan ölçümlerde benzer etkiler göstermiştir. E kok için 7 ve 14 gün sonraki ölçümlerde bakterinin genel şartlara olan dayanıksızlığı ile ses etkisi detaylı olarak incelenememiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Grafikler literatürde E. coli için daha uygun olduğu belirtilen 545 nm dalga boyunda incelenmiş olup, grafiklerde 545 nm dalga boyuna karşılık gelen absorbsiyon oranları kullanılarak inaktivasyon azalma oranları belirlenmiştir. Bu oranları sırasıyla yazmak istersek 1 saat ses uygulama sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları %9.77, %8.27, %9.77, %10.52, %9.77, %7.51 ve %10.52 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 1 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 9.44 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır.

3 saat ses uygulama ve deneyin hemen ardından ölçüm sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları %12.78, %11.27, %12.03, %12.03, %11.27, %11.27 ve %11.27 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 3 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 11.70 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 3 saat ses uygulamak 10khz - 100khz için deneyin yapıldığı anda alınan ölçümlere göre 1 saat ses uygulanmasından daha fazla bakteri inaktivasyonu sağlamıştır, fakat değerler birbirine çok yakındır.

6 saat ses uygulama sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları sırasıyla %11.12, %12.78, %13.53, %12.78, %12.03, %12.78 ve %14.28 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 3 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 12.75 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 6 saat ses uygulamak 10 kHz – 100 kHz için deneyin yapıldığı anda alınan ölçümlere göre 1 saat ve 3 saat ses uygulamalarından daha fazla bakteri inaktivasyonu sağlamakla beraber değerler birbirine yakındır.

15 saat ses uygulama sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları sırasıyla %24.06, %18.79, %18.04, %18.79, %14.28, %15.03 ve %13.53 tür. Bu değerlere baktığımız takdirde 15 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 17.50 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 15 saat ses uygulamak 10 kHz – 100 kHz için deneyin yapıldığı anda alınan ölçümlere göre 1 saat, 3 saat ve 6 saat ses uygulamalarından daha fazla bakteri inaktivasyonu sağlamaktadır. Düşük frekanlardaki inaktivite oranı frekans attıkça azalmışıtr.

1 saat ses uygulama ve 7 gün sonraki ölçüm sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları %24.21, %24.21, %23.43, %24.21, %23.43, %25 ve %25 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 1 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 24.21 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır.

3 saat ses uygulama ve 7 gün sonra ölçüm sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğun ses uygulanmamış bakteri çözeltisine göre olan optik yoğunluk azalma oranları %26.56, %26.56, %23.43, %25, %25.78, %24.21 ve %25.78 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 3 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı %25.33 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 3 saat ses uygulamak 10 kHz – 100 kHz için deneyin yapıldığı anda alınan ölçümlere göre 1 saat ses uygulanması ile neredeyse aynı oranda bakteri inaktivasyonuna sahiptir.

6 saat ses uygulama ve deneyin hemen ardından ölçüm sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları %23.43, %25.78, %17.96, %22.65, %24.21, %25 ve %25 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 3 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 23.43 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 3 saat ses uygulamak 10 kHz – 100 kHz için 7 gün sonra alınan ölçümlere göre 1 saat ve 3 saat ses uygulanması ile neredeyse aynı bakteri inaktivasyonu sağlamıştır.

15 saat ses uygulama ve deneyin hemen ardından ölçüm sonucunda frekansa göre sırasıyla 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz ve 100 kHz frekansa karşılık gelen optik yoğunluğunluğun azalma oranları %32.81, %30.46, %27.34, %30.46, %25.78, %26.56 ve %26.56 dir. Bu değerlere baktığımız takdirde 15 saat ses uygulanma sonucunda ortalama olarak optik yoğunluğun ses uygulanmamış olan çözeltinin optik yoğunluğuna göre azalma oranı % 28.86 e karşılık gelmektedir. Bu da gösteriyor ki 545 nm dalga boyunda absorbsiyon oranı 0.133 olan E. coli çözeltisinin optik yoğunluğu dolayısıyla aktif bakteri miktarı azalmıştır. 15 saat ses uygulayarak 10 kHz – 100 kHz

aralığı için 7 gün sonra alınan ölçümlere göre 1 saat 3 saat ve 6 saat ses uygulanmasından daha fazla bakteri inaktivasyonu sağlamıştır, fakat değerler birbirine çok yakındır.

15 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri 10 kHz ve 100 kHz aralığındaki tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 55 civarında gerçekleşmiştir.

Bütün bu durumlar göz önüne alındığında 10 kHz ile 100 kHz frekanları uygulanma deneylerinde 15 saatlik sabit bir frekansta ses uygulamanın 1 saat, 3 saat ve 6 saat ses uygulamaya oranla bakteri inaktivasyonunda daha etkin olduğu sonucunu vermektedir. Ses uygulanmasının hemen ardından anında olarak isimlendirdiğimiz incelemelerde 1 saatlik ses uygulaması anında en büyük etki 10 kHz lik frekansta ve ortalama % 25 civarındadır. 25 kHz de % 19, 40 kHz-50 kHz de yaklaşık % 18, 60 kHz-75 kHz-100 kHz'de ise yaklaşık % 15 civarında olmuştur. Yani küçük frekanslar inaktivitede daha başarılıdır. Frekans arttıkça etki yüzde oranları azalmıştır.

10 kHz frekansı için 7 gün sonunda 1 saatlik ses uygulaması % 24, 3-6 saatlik ses uygulaması % 26 ve 15 saatlik ses uygulaması bakteri azalma yüzdesi % 32 olarak gerçekleşmiştir. Diğer tüm frekanslarda 7 gün sonraki yüzde azalma miktarı ortalama olarak aynı olup yaklaşık % 25 civarındadır. Bu ölçüm de ilk andaki ölçümlerimizi doğrular nitelikte olup küçük frekanslardaki inaktivasyon oranının fazlalığına dikkat çekmektedir.

15 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri 10 kHz ile 100 kHz aralığındaki tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 55 civarında gerçekleşmiştir. Bu da 15 gün sonraki ölçümler için bu süreçte bakteri inaktivasyonunun gerçekleşmesi ve üremenin olmaması / en aza inmesi anlamına gelmektedir.

Ses uygulanmasının hemen ardından anında olarak isimlendirdiğimiz incelemelerde 1 saatlik ses uygulaması anında 250 kHz, 500 kHz ve 750 kHz ses uygulanmalarında ortalama % 1'lik bir bakteri sayısı azalmasına neden olmuş, 1000 kHz'lik uygulama ise % 4.19 luk bir bakteri artışına neden olmuştur. (Literatürde bazı frekansların bakteriyi öldürmek yerine beslediğine dair bilgiler bulunmaktadır. Burada 1000 kHz frekansında 1 saatlik uygulamanın %4 lük bakteri artışı bu sebeple de olabilir. Ancak biz bunun deney hatası olabileceğini düşünüyoruz). 250 kHz, 500 kHz ve 750 kHz ses

uygulanmalarında 3 saatlik uygulama ile 6 saatlik uygulama etkisi anında yaklaşık olarak aynıdır ve % 5 civarındadır, 1000 kHz'lik uygulama ise optik yoğunluk açısından bir değişim sağlamamıştır. 15 saatlik ses uygulaması anında ise ortalama % 15 lik bir azalma görülmüştür.

7 gün sonundaki ölçümlerimizde ise bakteri azalma yüzdeleri, anında durumuna göre 250 kHz, 500 kHz ve 750 kHz ses uygulanmalarında yaklaşık aynı olup % 40 civarında gerçekleşmiştir. 1000 kHz ses uygulamasında ise optik yoğunluk artışı gözlenmiştir.

15 gün sonundaki bakteri azalma yüzdeleri tüm frekanslar için yaklaşık aynı olup % 50 civarında gerçekleşmiştir. Bu da 15 gün sonraki ölçümler için bu süreçte bakteri inaktivasyonunun gerçekleşmesi ve üremenin olmaması/en aza inmesi anlamına gelmektedir.

Deney sistemimizde kullanmış olduğumuz piezoların güç yoğunluğu 10 kHz, 25 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz, 75 kHz, 100 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 750 kHz ve 1000 kHz için sırasıyla 0.016 W/cm^2 , 0.038 W/cm^2, 0.060 W/cm^2 , 0.075 W/cm^2 , 0.090 W/cm^2 , 0.089 W/cm^2 , 0.136 W/cm^2 , 0.154 W/cm^2 , 0.161 W/cm^2 , 0.159 W/cm^2 , 0.145 W/cm^2 şeklindedir. Güç yoğunluğu daha fazla olan piezolarla sistemimizdeki piezoları değiştirip yeniden bu ve benzer deneyler yapılabilir. Bu sonuçlara göre güç yoğunluğunun bakteri inaktivasyonuna olan etkileri incelenebilir. Ayrıca bakteri inaktivasyonunda ses uygulama sürelerinin mi yoksa piezo tercihlerinin mi daha agresif ve kesin etkiler yarattığı ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Harvey, E.N. ve Loomis, A.L., (1929). "The destruction of luminous bacteria by high frequency sound waves.", J. Bacteriol, 17: 373–376.

[2] Peterson, R. V. ve Pitt, W.G., (2000)." The effect of frequency and power density on the ultrasonically-enhanced killing of biofilm-sequestered Escherichia coli", Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 17: 219-227.

[3] Piyasena, P., Mohareb, E. ve McKellar, M. C., (2003). "Inactivation of microbes using ultrasound: a review", International Journal of Food Microbiology, 87: 207-216.

[4] Hayer, K. (2010). "The effect of ultrasound exposure on the transformation efficiency of Escherichia coli HB101", Bioscience Horizons, 2: 141-147.

[5] Sala, F.J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P. ve Raso, J., (1995). ''New Methods of Food Preservation.'', Blackie Academic & Professional, 1: 176-204.

[6] Ordonez, J.A., Sanz, B., Hernandez, P.E. ve Lopez-Lorenzo, P., (1984). ''A note on the effect of combined ultrasonic and heat treatments on the survival of thermoduric streptococci.'', Journal of Applied Bacteriology, 54: 175– 177.

[7] McClements, D.J., (1995). ''Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing.'', Trends in Food Science and Technology, 6 (9): 293–299.

[8] Limaye, M.S. ve Coakley, W.T., (1998). ''Clarification of small volume microbial suspensions in an ultrasonic standing wave.'', Journal of Applied Microbiology, 84 (6): 1035– 1042.

[9] Utsunomiya, Y. ve Kosaka, Y., (1979). ''Application of supersonic waves to foods.'', Journal of the Faculty of Applied Biological Science, 18: 225–231.

[10] Johnson, L.L., Peterson, R.V.ve Pitt, W.G., (1998). ''Treatment of bacterial biofilm on polymeric biomaterials using antibiotics and ultrasound.'', Journal of Biomaterials Science (Polymer Ed.), 9 (11): 1177– 1185.

[11] Rediske, A.M., Rapoport, N. ve Pitt, W.G., (1999). ''Reducing bacterial resistance to antibiotics with ultrasound.'', Letters in Applied Microbiology, 28 (1): 81– 84.

[12] Ince N.H. ve Belen R., (2001). ''Aqueous phase disinfection with ultrasound: Process kinetics and the effect of solid catalysts.'', Environmental Science & Technology, 35: 1885-1889.

[13] Gao, S., Hemar, Y., Ashokkumar, M., Paturel, S. ve Lewis, G. D., (2014). "Inactivation of bacteria and yeast using high-frequency ultrasound treatment", Water Research, 60: 93-104.

[14] Frederick, H., Dennison S. R. ve Phoenix D. A. (2014)."Sounding the death knell for microbes?", Trends in Molecular Medicine, 7: 363-367.

[15] Shamila-Syuhada A. K., Chuah L., Wan-Nadiah, W. A., Cheng, L. H., Alkarkhi, A. F.M., Effarizah, M. E. ve Rusul, G., (2016)." Inactivation of microbiota and selected spoilage and pathogenic bacteria in milk by combinations of ultrasound, hydrogen peroxide, and active lactoperoxidase system", International Dairy Journal, 61: 120-125.

[16] Earnshaw, R.G., Appleyard, J. ve Hurst, R.M., (1995). ''Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure.'', Int. J. Food Microbiol, 28 (2): 197-219.

[17] Butz, P. ve Tauscher, B., (2002). ''Emerging technologies: chemical aspects.'', Food Res. Int., 35 (2-3): 279-284.

[18] Rahman, M.S., (1999). ''Light and sound in food preservation.'', Handbook of Food Preservation,1: 673–686.

[19] Dehghani, H.D., (2005). "Effectiveness Of Ultrasound On The Destruction Of E.Coli", American Journal Of Environmental Sciences, 1 (3): 187-189.

[20] Mason, T.J., Joyce, E., Phull, J.P. ve Lorimer, J.P., (2003). ''Potential Uses Of Ultrasound İn The Biological Decontamination Of Water.'', Ultrasonics Sonochemistry, 10: 139 –232.

[21] Uslu, O. ve Türkman, A. (1998), Su Kirliliği ve Kontrolü, 1, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, Ankara.

[22] Irmak, H. (2006), Sularla İlişkili Hastalıklar, T.C. Sağlık Bakanlığı, Ankara.

[23] Türkman, A., Aslan, Ş. ve Özer, A., (1999). ''İçme Suyu Kaynağı Kirlenmesine Bir Örnek'', Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, 18-19 Kasım 1999, Kocaeli.

[24] Sarı, A., (2008), Beyaz Peynirlerde E. coli O157:H7 Serotipinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

[25] Bilgehan, H., (2004). Klinik Mikrobiyoloji, 9. Baskı, Fakülteler Kitabevi Barış Yayınları, İzmir.

[26] Aydın, N. ve Paracıkoğlu J. (2006)., Veteriner Mikrobiyoloji (Bakteriyel Hastalıklar), 1. Baskı, İlke-Emek Yayınları, Ankara.

[27] Erol, İ. (2007), Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi, 2. Baskı, Pozitif Matbaacılık Ltd.

Şti., Ankara.

[28] Muray, R.G.E., Brenner D.J. ve Bryant M.P., (1994). ''Enterobacteriaceae'', Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 1: 420-423.

[29] Temiz, A. (1998), Gıdalarda İndikatör Mikroorganizmalar, 2. Baskı Eds A. Ünlütürk ve F. Turantaş. Mengi Tan Basım Evi, İzmir.

[30] Güder G., (2006), Avrupa Birliği Gıda Güvenliği Politikası Ve Üyelik Sürecinde Türkiye'ye Yansımaları, Uzmanlık Tezi, Avrupa Birliği İle İlişkili Genel Müdürlüğü, Ankara.

[31] Cdc, (2006), Escherichia Coli O157:H7, www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/escherichiacoli g.htm, 05 Ekim 2018.

[32] Baştürk, S., (2005), Escherichia Coli, Klebsiella Pneumoniae, Pseudomonas Aeruginosa Ve Acinetobacter Baumannii Suşlarında Çeşitli Kinolon Grubu Antibiyotiklerin Duyarlılıklarının Araştırılması, (Uzmanlık Tezi), T.C. Sağlık Bakanlığı Haseki Eğitim Ve Araştırma Hastanesi Enfeksiyon Hastalıkları Ve Klinik Mikrobiyoloji Kliniği, İstanbul.

[33] Özbaş Z.Y. ve Aytaç S.A., (1995). ''Escherichia coli O157: H7 epidemiyolojisi, gıdalarla ilişkisi, patojenitesi ve izolasyon yöntemleri'', Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 52: 47- 53.

[34] Deısıngh, A. K. ve Thompson, M., (2004). ''Strategies for the detection of Escherichia coli O157:H7 in foods.'', J. Appl. Microbiol, 96: 419–429.

[35] Yu, L.S.L., Uknalis, J. ve Tu, S., (2001), ''Immunomagnetic separation methods for the isolation of Campylobacter jejuni from ground poultry meats.'', J. Immunol. Methods, 256: 11–18.

[36] Kochanıak, A. L., Czajkowska, D. ve Popowski, J., (2002). ''Detection of Escherichia coli O157:H7 in raw meat by immunomagnetic separation and multiplex PCR.'', Acta Microbiol. Pol., 51: 327–337.

[37] Gümüşdere, H.T.,(2007), Zararlı Organik Bileşiklerin Bozundurulmasında Sesötesi Dalgaların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[38] Joyce, E., Phull, J.P., Lorimer, J.P. ve Mason, T.J., (2003). ''The Development And Evaluation Of Ultrasound For The Treatmentof Bacterial Suspensions.'', A Study Of Frequency, Power And Sonication Time On Cultured Bacillus Species, 10: 315 – 318.

[39] Öner, M. (1986), Genel Mikrobiyoloji, 1, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İzmir.

[40] Metcalf ve Eddy (1981), Wastewater Engineering, 4, McGraw Hill, New York.

[41] Şengül, F. ve Müezzinoğlu, A.,(1993). Çevre Kimyası, 3, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir.

[42] Samsunlu, A.,(1999). Çevre Mühendisliği Kimyası, 2, SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul.

[43] Tüzel, O., (2002)., Elektrokimyasal Su Dezenfeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

[44] Gürgün V. ve Halkman K., (1990). Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri, 2. Baskı, Gıda Teknolojisi Derneği Yayın no 7, Ankara.

[45] Şener, D., (2006). SOL_GEL yöntemiyle hazırlanan metal oksit ince filmlerin elektriksel, yapısal ve optik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[46] Murray, B. (1990), The life and times of the enterococcus clınıcal microbıology., Program in ınfectious diseases and clinical microbiology, 3, university of texas medical school at Houston, Texas.

[47] Sümerkan B. (2002). Sterilizasyon dezenfeksiyon hastane infeksiyonları kitabı http://www.das.org.tr/tr/dosya/kongre/kong2002/035.pdf, 12 Nisan 2017.

[48] Moellering R.C, JR. (2005). ‘’Enterococcus species, Streptococcus bovis and Leuconostoc species.’’, Principles and Practice of Infectious Diseases, 50: 2411-2421.

[49] Murray B.E., (1998). ‘’Enterococci’’, W. B. Saunders Company Journals, 2: 1723- 1730.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özgür İsa TEKİN

Doğum Tarihi ve Yeri : 01.09.1990, Kocaeli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ozgurisatekin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Fizik	Kocaeli Üniversitesi	2014
Lise	Fen	Cibali YDA Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013	Kocaeli Üniversitesi	Asistan Öğrenci

YAYINLARI

Bildiri

1. Oruç, Ç., Tekin, İ. Ö. ve Altındal, A., “Escherichia Coli inactivation by ultrasound with a frequency of 75 khz.”, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering, 08-10 Mayıs 2017, Nevşehir.
2. Tekin, İ. Ö., Oruç, Ç. ve Altındal, A., “Su Kaynaklarındaki Escherichia coli’nin 50 kHz’deki Ses Dalgaları ile İn-aktivasyonu.”, 6. Ulusal Moleküler Biyoloji ve Biyoteknoloji Kongresi, 05-07 Ekim 2017, Adana.