

ULTRASONİK SİSTEMLERLE SUDA
***Klebsiella pneumonia* DEZENFEKSİYONU**

Fadime KARAER

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran,2014

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Fadime KARAER'in "Ultrasonik Sistemlerle Suda *Klebsiella pneumoniae* Dezenfeksiyonu" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans tezi 18/ 06/ 2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye(Tez Danışmanı): Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL
Üye : Doç. Dr. Mustafa TOMBUL
Üye : Yrd. Doç. Dr. Filiz BAYRAKCI KAREL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri ve Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ULTRASONİK SİSTEMLERLE SUDA *Klebsiella pneumonia* DEZENFEKSİYONU

Fadime KARAER

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL

2014, 77 sayfa

Günümüzde bulaşıcı hastalıkların önüne geçilmesi amacıyla uygulanan dezenfeksiyon işlemleri içme ve kullanma suyu temininde önemli rol oynamaktadır. Patojen mikroorganizma kaynaklı epidemik hastalıkların önlenmesi amacıyla yaygın olarak uygulanan klorlama, ozonlama, UV ışınma gibi su dezenfeksiyon tekniklerinin sahip oldukları çeşitli dezavantajlar nedeniyle ultrasound gibi alternatif dezenfeksiyon teknolojileri üzerinde yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Geliştirilmekte olan ultrasonik dezenfeksiyon uygulamalarının su arıtımında kullanılabilmesi için çeşitli patojen mikroorganizmalar üzerindeki etkinliği incelenmelidir. Bu çalışma kapsamında *Klebsiella pneumonia* bakterisi kullanılarak 22kHz, 36kHz ve 833 kHz ultrasonik frekanslarda işletilen sürekli ve kesikli reaktörlerde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ultrasonik temas süresinin, uygulanan güç yoğunluğunun, su ortamında bulunan sülfat, nitrat, bikarbonat iyonları ile azot gazının ultrasonik dezenfeksiyon işlemine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca gümüş iyonlarıyla ultrasoundun birlikte kullanımı ile *Klebsiella pneumonia* dezenfeksiyonu için gereken gümüş miktarının azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon, *Klebsiella pneumonia*, Ultrasonik Sistemler, Gümüş, Ortam iyonları, Azot gazı

ABSTRACT

Master Thesis

DISINFECTION OF *Klebsiella pneumonia* IN WATER WITH ULTRASONIC SYSTEM

Fadime KARAER

Anadolu University Graduate School of Science

Environmental Engineering Program

Suprvisor: Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL

2014, 77 pages

Nowadays disinfection processes applied in order to prevent infectious diseases play an important role in the of drinking and usage water supply. The number of studies made on alternative disinfection technologies such as ultrasound are increasing due to water disinfection techniques which are widely used for pathogenic microorganisms borne epidemic disease prevention application such as, chlorination, ozonation, UV radiation, have several disadvantages. Ultrasonic disinfection practices are being developed to be used in water treatment, their efficacy on a variety of pathogenic microorganisms must be investigated. This study the disinfection process was performed in continuous and batch reactors which are run in 22kHz, 36kHz and 833 kHz ultrasonic ultrasonic frequencies via using *Klebsiella pneumoniae* bacteria. In this study the effects of ultrasonic contact time, applied power density, sulfate, nitrate, bicarbonate ions and nitrogen gas existing on the water medium, were investigated to ultrasonic disinfection process. Also, the amount of silver required for *Klebsiella pneumonia* disinfection was reduced with using of ultrasound in combination with silver ions.

Keywords: Disinfection, *Klebsiella pneumonia*, Ultrasonic System, Silver, Media ions, Nitrogen gas

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca engin ilminden ve tecrübelerinden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim, yanında eğitim almaktan ve çalışmaktan onur duyduğum değerli danışman hocam Prof.Dr. Ali Savaş KOPARAL'a,

Eğitimime olan sayısız katkılarının yanı sıra , beni bir aile sıcaklığı ile kucaklayan ve destekleyen kıymetli hocalarım Yrd.Doç. Dr. Filiz BAYRAKÇI KAREL ve Öğr. Gör. Emine Esra GEREK'e,

Laboratuar çalışmalarım boyunca tecrübelerinden yararlanırken gösterdiği hoşgörü ve sabrından dolayı kıymetli hocam Ümit Yılmaz YILDIZ'a,

Birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Elif KAYNAK ve Tuğçe DEMİREL'e

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan sevgili ailem; babam Aslan KARAER'e, annem Aysel KARAER'e , kardeşim Gamze KARAER'e ve her daim yanımda olan tüm dostlarıma

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Fadime KARAER

Haziran 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x

1.GİRİŞ	1
2.DEZENFEKSİYON	3
2.1. Dezenfeksiyon Yöntemleri	4
2.1.1.Ultrasound ile Dezenfeksiyon.....	6
2.2. Metal İyonları ile Dezenfeksiyon.....	7
2.3. Klor ile dezenfeksiyon	8
2.4. Ozon ile Dezenfeksiyon	10
2.5. Elektrokimyasal Dezenfeksiyon	11
2.6. UV ile Dezenfeksiyon.....	12
3.ULTRASOUND İLE DEZENFEKSİYON MEKANİZMASI	14
3.1. Ultrasound İle Mikrobiyal İnaktivasyon	15
3.2.Ultrasoundla Mikroorganizma İnaktivasyonu Etkileyen Faktörler.....	16
4. SULARDA BULUNAN MİKROORGANİZMALAR	20
4.1. Sularla İlişkili Hastalıklar	22
4.2.Mikroorganizmalar	23
4.3. Klebsiella	24

4.3.1. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	25
4.3.1.1. <i>Yaptığı Hastalıklar</i>	25
4.3.1.2. <i>Laboratuvar Tanısı</i>	25

5. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR **27**

5.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma.....	27
5.1.1. Örnek Alma-Alınan Örneğin İnokülasyona Hazırlanması.....	28
5.1.2. Aktarma Teknikleri ve İnokülasyon.....	29
5.1.3. İnkübasyon.....	30
5.2.Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri.....	30
5.2.1.Kültürel Sayım Yöntemi	32
5.2.2.Dolaylı Sayım Yöntemleri	33

6.KONU İLE İLGİLİ ÖNCEDEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR **35**

7.DENEYSEL ÇALIŞMALAR **40**

7.1. Farklı Ultrasonik Frekans Değerlerinin Etkisinin İncelenmesi.....	41
7.2. Suda Eşlik Eden Çeşitli Ortam İyonlarının Etkisinin İncelenmesi	43
7.3. Suda Çözünmüş Halde Bulunan Azot Gazının Etkisinin İncelenmesi	43
7.4. Ag ⁺ İyonunun Etkisinin İncelenmesi.....	43

8.DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR **44**

8.1. Farklı Ultrasonik Frekans Değerlerinin Etkisinin İncelenmesi.....	44
8.2. Suda Eşlik Eden Çeşitli Ortam İyonlarının Etkisinin İncelenmesi	51
8.3. Suda Çözünmüş Halde Bulunan Azot Gazının Etkisinin İncelenmesi	55
8.4. Gümüş İyonunun <i>Klebsiella pneumonia</i> Dezenfeksiyonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi	58

9. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ **70**

10. ÖNERİLER ve TARTIŞMALAR	71
11. KAYNAKLAR	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Yaygın Olarak Kullanılan Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	5
Şekil 4.1: a-b) EMB Agarda Çizgi Ekimi Yapılan <i>Klebsiella pneumonia</i> Görselleri.....	46
Şekil 4.1:c)PCA'ya Ekilen <i>Klebsiella pneumonia</i> Görseli.....	46
Şekil 7.1: a-b) USR22 (22 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri.....	47
Şekil 7.2: a-b) USR36 (36 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri.....	47
Şekil 7.3: a-b) USR833 (833 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri.....	48
Şekil 7.4: Kesikli İşletim Sistemi.....	49
Şekil 7.5: Sürekli İşletim Sistemi.....	49
Şekil 8.1: Uygulanan Gücün Bakteri Giderimine Etkisi.....	51
Şekil 8.2: Uygulanan Gücün Bakteri Giderim Yüzdesine Olan Etkisi.....	52
Şekil 8.3: Uygulanan GücünLogaritmik Bakteri Giderime Olan Etkisi.....	52
Şekil 8.4: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi.....	53
Şekil 8.5: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi (Yüzde).....	53
Şekil 8.6: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi (Logaritmik).....	54
Şekil 8.7: Ultrasonik Temas Süresinin Etkisinin İncelendiği Çalışmanın Sonuçları.....	55
Şekil 8.8: Geridöngü Debinin Bakteri Giderimine Etkisi.....	55
Şekil 8.9: Geridöngü Debinin Bakteri Giderim Yüzdesine Etkisi.....	56
Şekil 8.10: Geridöngü Debinin Logaritmik Bakteri Giderimine Etkisi.....	56
Şekil 8.11 :Sürekli Sistemde Frekansın Ultrasonik Dezenfeksiyona Etkisi.....	57

Şekil 8.12 :Kesikli Sistemde Frekansın Ultrasonik Dezenfeksiyona Etkisi.....	57
Şekil 8.13: Sülfat iyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi.....	58
Şekil 8.14: Bikarbonat iyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi.....	59
Şekil 8.15: Nitrat iyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi.....	59
Şekil 8.16: Ortam İyonlarının Etkisi.....	60
Şekil 8.17: USR22K Sistemde Bikarbonat İyonunun Etkisi.....	60
Şekil 8.18: USR22 K Sistemde Sülfat İyonunun Etkisi.....	61
Şekil 8.19: USR22K Sistemde Nitrat İyonunun Etkisi.....	61
Şekil 8.20: Üç Ortam İyonunun Ultrasonik Sistemde Birlikte Yarattığı Etki.....	62
Şekil 8.21: Ortam İyonlarının Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi.....	62
Şekil 8.22: USR22S'e İlave Edilen Azot Gazı Devisinin Etkisi.....	63
Şekil 8.23: USR22S Sistemine İlave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi.....	64
Şekil 8.24: USR22K Sistemine İlave Edilen Azot Gazı Devisinin Etkisi.....	64
Şekil 8.25: USR22K Sistemine ilave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi.....	65
Şekil 8.26: USR22K Sistemine İlave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi.....	65
Şekil 8.27: Farklı Gümüş İyonu Derişimleri ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemi.....	66
Şekil 8.28: USR22'de 0.005 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	67
Şekil 8.29: USR22'de 0.01 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	67

Şekil 8.30: USR22’de 0.1 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	68
Şekil 8.31: USR22S’de 1 ×10 ⁵ CFU/mL Bakteri Derişiminde Ag ⁺ ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	68
Şekil 8.32: USR22K’de 1 ×10 ⁵ CFU/mL Bakteri Derişiminde Sistemde Ag ⁺ ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	69
Şekil 8.33: USR36’da 0.005 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	69
Şekil 8.34: USR36’da 0.01 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	70
Şekil 8.35: USR36’da 0.1 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	70
Şekil 8.36: USR833’de 0.005 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	71
Şekil 8.37: USR833’de 0.01 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	71
Şekil 8.38: USR833’de 0.01 mM Ag ⁺ Kesikli ve Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri.....	72
Şekil 8.39: USR22’nin Deznfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi.....	72
Şekil 8.40: USR36’nın Deznfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi.....	73
Şekil 8.41: USR833’ün Deznfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi.....	73

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1: Sularla İlişkili Hastalıklar ve Etmeni Mikroorganizmalar.....	30
Tablo 4.2: Arıtılmamış Evsel Atıksularda Bulunan Başlıca Mikroorganizmalar..	31
Tablo 8.1: Ultrasonik Temas Süresinin Etkisinin İncelendiği Çalışmanın Sonuçları.....	54

1.GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak tanımlanan “sağlık” kavramını etkileyen üç temel unsur insan, hastalık yapıcı etmenler ve çevredir. İnsanın dışındaki her şey olarak nitelendirilen içinde yaşadığımız çevre, hastalıklara yol açan en önemli etkenlerin başında gelen mikroorganizmalar ile her an temasta bulunduğumuz ortamdır. Günümüzde yaşam koşullarının değişmesi ve bireylerin zamanlarının çoğunu ev dışında geçirmeleri, değişen beslenme alışkanlıkları ve ulaşım olanakları, uluslararası ziyaretler gibi faktörler, mikroorganizmaların, toplu yaşam alanlarında kolayca bireyden bireye geçişine ve bulaşıcı hastalıkların artmasına neden olmaktadır. Toplu yaşam alanlarının özellikle tuvalet ve banyoları sıklıkla temizlense de, nemli ortam özelliği dolayısıyla mikroorganizmanın üremesi için en riskli mekanlardır. Mikroorganizma miktarı belli oranın üzerine çıktığı takdirde kişisel ve çevresel özelliklere bağlı olarak değişik şiddetler de bulaşıcı hastalıklara hatta salgınlara yol açabilmektedir. Toplumun sağlıklı olabilmesi için toplumu oluşturan bireylerin sağlıklarının korunması gerekmektedir. Bu nedenle, yaşadığımız mekanlarda, çalıştığımız ortamlarda ve kullandığımız ürünlerde, hijyenin sağlanması, yani hastalık oluşturabilecek mikroorganizmalardan arındırılması günlük yaşamımızda giderek önem kazanmaktadır.

Su hayatımızın ayrılmaz bir parçasıdır ve suyun arıtılması insanın varlığı açısından hayati önem taşır. Son 100 yıl içinde, klorun içme suyu arıtımında dezenfektan olarak kullanılmasıyla yaşam kalitesi önemli oranda iyileştirilmiştir. Dünya çapında klor, zararlı organizmalara karşı önemli bir engelleyici olarak kullanılmaktadır. Ancak, klorlama işlemi sonucunda içme suyunda oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) bir takım sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Dezenfeksiyonda kullanılan bir başka yöntem olan ozonlama yüksek maliyetlidir ve kalıntı bırakmadığından arıtılan suya dağıtım sistemine verilmeden önce kalıcı bir dezenfektan katılması gerekir. Diğer bir dezenfeksiyon yöntemi olan ultraviyole ışınlarla dezenfeksiyon, oldukça pahalıdır ve genellikle renk, bulanıklık katı madde içermeyen küçük tesislere uygulanabilir. Bulanıklığa neden

olan kirleticiler UV radyasyonunun bakteriye ulaşmasını engellemektedir. Dezenfeksiyon yöntemlerinde karşılaşılan bu problemler alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin aranmasını ya da bunların hibrit sistemler şeklinde kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Günümüzde bulaşıcı hastalıkların önüne geçilmesi amacıyla uygulanan dezenfeksiyon işlemleri içme ve kullanma suyu temininde önemli rol oynamaktadır. Patojen mikroorganizma kaynaklı epidemik hastalıkların önlenmesi amacıyla yaygın olarak uygulanan klorlama, ozonlama, UV ışımaya gibi su dezenfeksiyon tekniklerinin sahip oldukları çeşitli dezavantajlar nedeniyle ultrasound gibi alternative dezenfeksiyon teknolojileri üzerinde yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Geliştirilmekte olan ultrasonik dezenfeksiyon uygulamalarının su arıtımında kullanılabilmesi için çeşitli patojen mikroorganizmalar üzerindeki etkinliği incelenmelidir. Bu çalışma kapsamında *Klebsiella pneumonia* bakterisi kullanılarak 22kHz, 36kHz ve 833 kHz frekanslarda işletilen sürekli ve kesikli reaktörlerde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ultrasonik temas süresinin, uygulanan güç yoğunluğunun, ortamda bulunan sülfat, nitrat, bikarbonat iyonları ile azot gazının dezenfeksiyon işlemine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca gümüş iyonlarıyla *Klebsiella pneumonia* dezenfeksiyonu yapılmış, ultrasonik sistemle birleştirilerek kullanılan gümüş miktarı azaltılmıştır.

2.DEZENFEKSİYON

Dezenfeksiyon işleminde en önemli değişken temas süresidir. Sabit dezenfektan derişimi için, temas süresi ne kadar fazla ise o kadar çok bakteri ölür. Bu gözlem ilk kez Chick tarafından yapılmıştır ve en basit model olarak sıkça kullanılmaktadır.

Chick Yasası;

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N_t \quad (2.1)$$

- N_t : Herhangi bir t anındaki yaşayan mikroorganizma sayısı
- t : süre
- k : sabit (süre⁻¹)

Öldürme hızı bazı durumlarda zamanla artabilir ya da azalabilir. Bu durumda;

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -k \cdot t^m \text{ olur; burada:} \quad (2.2)$$

m : sabit

- m < 1 ise öldürme hızı zamanla azalır,
- m > 1 ise öldürme hızı zamanla artar.

Sıcaklığın dezenfektan etkisi Van't Hoff – Arrhenius eşitliği ile gösterilir. Sıcaklık arttıkça öldürme hızı artar.

$$\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{E \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2} \quad (2.3)$$

t_1, t_2 : T_1 ve T_2 sıcaklıklarında (K), verilen bir öldürme yüzdesine ulaşmak için gereken süre

- E : Etkileşme enerjisi, J/mol (cal/mol)
- R : Gaz sabiti, 8,314 J/mol K (1,99 cal/ mol K)

Dezenfektanların etkinliği, mikroorganizmaların tiplerinde de etkilenir. Örneğin, büyümekte olan bakteriler kolaylıkla öldürülebilir. Bunun tam aksine

bakteriyel sporlar çok dirençlidir ve kimyasal dezenfektanlar az etkilidir ya da hiç etkili değildir. Bu nedenle ısı gibi diğer dezenfektan etkiler kullanılır.

Askıda katı madde içeren sularda, yabancı organik maddeler, yükseltgen dezenfektanların çoğu ile tepkimeye girerek bunların etkilerini düşürür. Dezenfektan tipine bağlı olarak dezenfeksiyonun etkinliği derişime bağlıdır.

$$C^n \cdot t_p = k \quad (2.4)$$

- C: dezenfektan derişimi
- t_p : sabit bir ölüm yüzdesine ulaşılan süre, t (yüzde yok olma süresi)
- $n > 1$ ise temas süresi dozajdan daha etkin
- $n < 1$ ise temas süresi ve dozaj aynı etkiye sahip

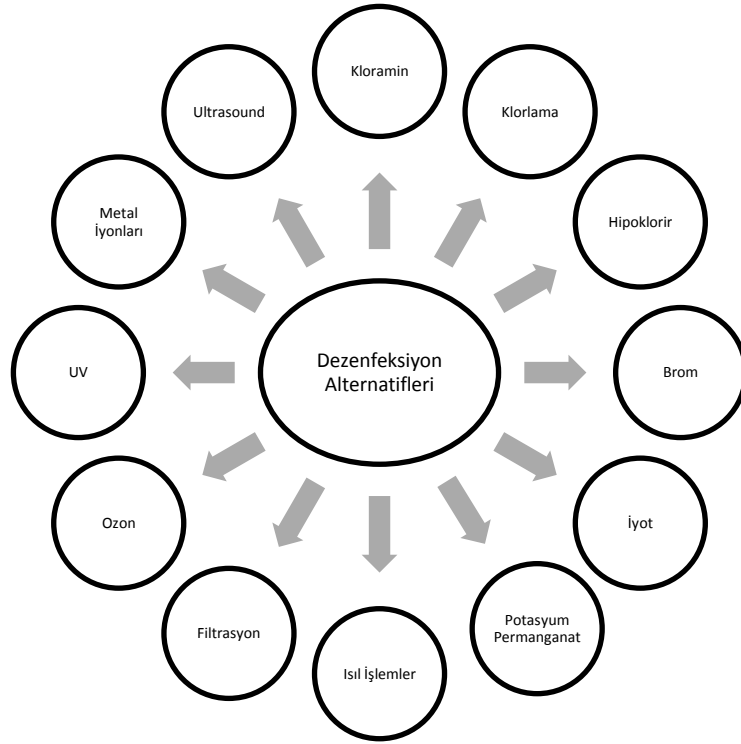
Dezenfeksiyon işleminde kullanılan dezenfektan,

- Toksik etki yaratmamalı,
- Sıcaklık ve pH değişimlerinde uygulanabilmeli,
- Dezenfeksiyon süresi makul olmalı,
- İstenmeyen koku ve tat yaratmamalı,
- Güvenilir, kolay ve uygulanabilir olmalı,
- Uygun dezenfeksiyon derişimi kolay belirlenebilmeli,
- Dezenfeksiyon işleminde sonra da ilave koruma sağlanmalı,
- Uygulanacak dozaj suda güvenlik açısından sorun yaratmamalı ve etkin miktarda olmalıdır (Frank ve Spellman, 1999).

2.1. Dezenfeksiyon Yöntemleri

Mikrobiyal konteminasyon; spesifik bir çevrede yaşayan mikroorganizma varlığı olarak tanınır. Bu mikroorganizmalar genelde, mantarlar, küfler, bakteriler ve virüslerdir.

Dezenfeksiyon; patojenik mikroorganizmaların inaktive edilmesi olarak tanımlanır. Dezenfektan; klordioksit, kloramin ve ozon gibi patojenik mikroorganizmaları öldürmek ya da inaktive etmek amacıyla suya ilave edilerek dağıtılan oksidan madde veya suda bulunan patojenik mikroorganizmaları öldüren fiziksel veya kimyasal proseslerdir. Su kaynaklı hastalıklar (waterborne disease) su ve atık sularda bulunan patojenik mikroorganizmaların sebep olduğu hastalıklardır. Suda koliform varlığı (preence of coliforms) suyun patojenik organizmalar tarafından kontamine olduğunu gösteren birincil parametredir. Dezenfeksiyonun ana gayesi içme suyu işlemlerinde ve arıtılan suların çıkışında rastlanan, su ile taşınabilen ve hastalık yapan mikroorganizmaların giderilmesi ve bulaşmasının önlenmesidir. Bu amaçla uygulanan deznfeksiyon yöntemleri Şekil 2.1.1’de verilmiştir (Frank ve Spellman, 1999).



Şekil 2.1: Yaygın Olarak Kullanılan Dezenfeksiyon Yöntemleri

Dezenfeksiyon alternatiflerini belirlemede etki eden ana faktörler; etkinlik, maliyet, uygulanabilirlik, pilot çalışma gereksinimi ve yan etkiler olarak sıralanabilir. Etkinlik dezenfeksiyon yönteminin seçilen mikroorganizmaların hedef seviyede inhibasyonu sağlanması ve güvenilir olmasıdır. Uygulanacak

dezenfeksiyon yönteminin kullanım maliyeti; ön arıtım maliyeti, işletme maliyeti, amortisman maliyeti ve toplam maliyetini kapsamaktadır. Ayrıca seçilen yöntem pratik olarak uygulanabilmeli, taşıma, depolama ve alanda üretimi kolay olmalı, uygulaması ve kontrolü kolay olmalı, ön görülen sonuçları sağlamalıdır. Dezenfeksiyon amacıyla kullanılacak yöntemin dozaj çalışması ve tasarım detaylarının belirlenmesi için pilot çalışma gereksinimi araştırılmalıdır. Uygulanacak sistemin potansiyel yan etkileri araştırılmalıdır. Dezenfektan, sucul hayata toksit etki yaratmamalı, besinlerin biyoakümüülasyonu ile taşınmamalı ya da oluşmamalı, kanserojen, mutajen ya da toksik maddelere dönüşmemeli ya da oluşturmamalıdır (Frank ve Spellman, 1999).

2.1.1. Ultrasound ile Dezenfeksiyon

Ultrasound bir ortamdaki moleküllerin hareketleri sırasında meydana getirdikleri titreşimler sonucu oluşur. Bu ses durgun suya taş atıldığında oluşan dalgacıklara benzemektedir. 1917'de Biyolog Galton tarafından keşfedilmiştir (Mason, 1990).

Ultrasound dalgaları; işitilebilir mertebeye (16-18 KHz)nin üstünde frekansları olan boyuna dalgalarıdır. Örneğin, bu dalgalar, bir kuartz kristaline alternatif elektrik alanının uygulanmasıyla elde edilebilirler. Bu yol ile, 6×10^8 Hz (=600MHz) kadar yüksek ultrasonik frekanslar elde etmek mümkündür. Sahip oldukları frekansa göre düşük ve yüksek frekanslı ultrasound olarak ikiye ayrılır (Mason, 1990).

Yüksek Frekanslı Ultrasound (Diagnostic Ultrasound):

Frekansı; 2- 10 MHz aralığında olan düşük frekanslı ultrasound dalgaları düşük enerjilerinden dolayı sağlık alanında kullanılmaktadır (Mason, 1990).

Düşük Frekanslı Ultrasound (Power Ultrasound):

Frekansı; 20- 100 kHz aralığında olan düşük frekanslı ultrasound dalgaları 1950'li yılların başlarında keşfedilmiştir. Günümüz de ise geniş çapta ilgi görerek, çeşitli alanlarda uygulama alanı bulmaktadır (Mason, 1990).

Bu ultrases dalgaları, transducer adı verilen cihazların içinde bulunan piezoelektrik malzemeler tarafından oluşturulur. Bu piezoelektrik malzemeler; üzerine basınç yada akım uygulandığında titreşen kristal yapıları malzemelerdir. Kuvars, ADP, KDP, rochelle tuzu ve turmalin, kullanılan bazı piezoelektrik malzemelerdir (Mason, 1990)

Ultrasonik dalgalar, güç jeneratörleri tarafından üretilen yüksek frekansın; transducerlar (ultrason titreştiricileri) vasıtasıyla mekanik basınç dalgalarına çevrilmiş halindedir. Transducerlar çekirdeği uygulanan elektrik veya manyetik alana tepkinin boyutlarını değiştiren piezoelektrik veya magnetostrik elementten oluşmuş kompozit malzemelerdir. Transducerın diğer parçaları ise, enerji transferini geliştirecek şekilde metalik folyolardan mamul malzemelerdir (Eren ve ark. ,2010).

Ultrases dalgaları sıvı bir ortamın yüzeyine çarptığında, sıvı içerisindeki moleküller ; titreşim, dönme ve iteleme hareketi yaparak sıvının buharı yada ortamda bulunan hava sayesinde mikro boyutlu baloncuklar oluşturur. Oluşan bu kabarcıklara “kavitasyon” adı verilir. Oluşan kavitasyonlar sönme eğilimindedir ve stabil ve geçici kavitasyonlar olarak ikiye ayrılır. Geçici kavitasyonların sönümlenmesi ise “kollaps” olarak isimlendirilir ve kavitasyonların içine hapsolmuş enerjiyi açığa çıkarır. Ultrasonik sistemlerde; kollapsların sonucunda ortaya çıkan enerji kullanıldığından, stabil kavitasyonlar yerine geçici kavitasyonların oluşmasına ihtiyaç vardır.Ultrases işlemlerinde kollapslar sonucu ortaya çıkan enerji kullanılmaktadır. Eğer dış basınç bazla ise kavitasyonlar zor oluşur fakat kollapslar kolay gerçekleşir ve daha şiddetlidir. Bu olaylar lokal ve anlıktır, kavitasyonların periyodu ise 10^{-8} saniyedir. (Mason, 1990)

2.2. Metal İyonları ile Dezenfeksiyon

Ağır metallerin çoğu yalnız başına veya bileşikler halinde bazı yerlerde mikroorganizmaların kontrol edilmesinde kullanılabilir. Bu ağır metallerin, antibakteriyel etkileri birbirlerinden farklıdır, fakat antibakteriyel etkilerine göre bir sıraya sokarsak Hg^{++} ve Ag^+ bu sıranın en başında yer alırlar. Bunlar 1 ppm'den daha az yoğunlukta uygulandıklarında bakterileri öldürecek etkiye sahiptirler.

Buna oligodinamik etki de denmektedir. Yani yukarıda belirtildiği gibi metallerin özellikle gümüşün çok az miktarlarının mikroorganizmalar üzerine etki yapmasına mikrobiyoloji literatüründe oligodinamik etki denmektedir. Bir metalin oligodinamik etkisini laboratuarda görmek çok kolaydır. Üzerine herhangi bir mikroorganizma türünün aşılandığı katı bir ortam üzerine temiz ufak bir gümüş ya da bakır metal konduğunda, belirli bir süre sonra ortama bırakılan metalin etrafında herhangi bir büyümenin olmadığı görülür. Burada ortamın sahip olduğu metal iyonu miktarı ppm olarak ifade edilecek kadar azdır. Bu ortamdaki metal iyonu miktarının çok az olmasına rağmen hücreler tarafından bu iyonlar çok miktarda çekilmektedir. Örneğin bu metalin gümüş olması halinde maya veya bakteri hücreleri tarafından Ag^+ iyonları 10^5-10^7 adet iyon yoğunluğunda çekildiklerinde ölüm gerçekleşmektedir. Bu nedenle metal iyonlarının etkinliği ortamdaki hücre sayısı ile de ilgilidir. Eğer çok sayıda hücre ortamda bulunacak olursa hücrelerin içinde yukarıdaki öldürücü yoğunluğa ulaşılmayabilir.

Gümüş, oligodinamik etkiye sahip olduğundan, sargı bezleri ve merhem gibi antiseptik sıhhi malzemelerin hazırlanmasında da kullanılabilir.

Hg^{++} 'nin antibakteriyel etkisi hücre içinde yer alan enzimlerin $-SH$ (sülfidril grupları) 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 (Öner, 1986).

2.3. Klor ile dezenfeksiyon

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 görülür. Bunlar

hidroliz ve iyonizasyondur. Bu reaksiyonlar ve denge bağıntıları aşağıda verilmektedir.

Hidroliz;



$$K = \frac{[\text{HOCl}][\text{H}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{Cl}_2]} = 4,5 \cdot 10^{-4} \quad , 25^\circ\text{C}'de \quad (2.6)$$

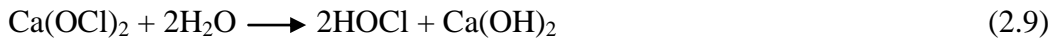
İyonizasyon;



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2,9 \cdot 10^{-8} \quad , 25^\circ\text{C}'de \quad (2.8)$$

Suda bulunan HOCl ve OCl⁻'nin miktarları serbest klor olarak adlandırılır. HOCl, OCl⁻'e göre daha kuvvetli bir dezenfektandır (Metcalf ve Eddy, 1981). Bu nedenle birinci reaksiyonun sağa, ikinci reaksiyonun sola doğru olması istenir. Bu ise belli bir aralıktaki pH değerlerinde mümkün olur(Şengül ve Müezzinoğlu, 1993).

Serbest klor suya hipoklorit tuzları şeklinde de eklenebilir. Bu durumda reaksiyonlar aşağıdaki gibi gerçekleşir (Metcalf ve Eddy, 1981).



Dünyada ve Türkiye'de pek çok içme suyu arıtma tesisinde dezenfektan olarak kullanılan klorun, doğal organik maddelerle reaksiyona girerek "dezenfeksiyon yan ürünleri" olarak tanımlanan klorlu-organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir.

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 bağlantı olduğu bilinmektedir. Klorlanmış su içenlerin bağırsak ve mesane kanserine yakalanma riskleri klorlanmamış su içenlere göre daha yüksektir. ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirlenici Standartları'nda THM'lerin kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir.

1998 yılında USEPA tarafından yürürlüğe konulan talimatlarda toplam THM (TTHM) miktarı $80 \mu\text{g/L}$ olarak belirtilmiştir. Söz konusu sınır değeri 2000 yılı itibari ile $40 \mu\text{g/L}$ olarak belirtilmektedir. Avrupa Birliği'nin 1995 yılında öngördüğü yönergeyle, kloroform ve bromodiklorometan limit değerleri sırasıyla 40 ve $15 \mu\text{g/L}$ olarak belirlenmiştir.

Sudaki toplam organik karbon (TOK) miktarı, sıcaklık, pH, klor dozu ve sudaki bromür derişimi gibi faktörler THM oluşumunu etkilemektedir. Su arıtma sürecinde başlayan THM oluşumu, suda serbest klor bakiyesi bırakılması nedeniyle dağıtım sisteminde de devam etmektedir (Tokmak ve ark., 2000).

2.4. Ozon ile Dezenfeksiyon

Kullanılan bir başka dezenfektan ise ozondur. Ozonun avantajı düşük konsantrasyonlarda bile kuvvetli bir dezenfektan olmasıdır. Dezavantajı ise yüksek maliyetidir. Özellikle tesiste kurulması gereken ozon üretim ekipmanının maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca ozonun kalıcı bir özelliği bulunmamaktadır, bu yüzden dağıtım sistemine verilen suya ilave bir kalıcı dezenfektan, örneğin kloramin, katılır. Ozonun başka bir avantajı ise kullanımı esnasında halojenli organik bileşiklerin oluşmamasıdır. Ancak ozon doğal humik maddelerle reaksiyona girerek, biyolojik parçalanmaya karşı humik maddelerden daha hassas

olan organik maddeleri oluştururlar. Bunun sonucunda ise borularda bakteri oluşumu gözlenebilir ki bu da su kalitesine ve borularda su akışına zararlı olabilir. Sudaki organik maddelerle etkileşmesinden dolayı koku ve tat veren organik maddelerin giderilmesinde de ozon kullanılabilir. 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 (Samsunlu, 1999).

2.5. Elektrokimyasal Dezenfeksiyon

Su dezenfeksiyonu elektrokimyasal olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Son zamanlarda bu konu üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Suyun elektrokimyasal dezenfeksiyonu en az uygulama alanı gerektiren dezenfeksiyon sürecidir. Elektrokimyasal süreçle yapılan dezenfeksiyonun en önemli avantajı, dezenfekte etme özelliğine sahip kimyasalların kullanılacağı yerde üretilmesidir. Böylece klorlamada endişe yaratan klorun depolanması ve taşınması sırasında meydana gelebilecek tehlikelerin önüne geçilmektedir.

Elektrokimyasal dezenfeksiyonda doğru akım veya düşük veya yüksek frekanslı (0,5-800 Hz) alternatif akım uygulanabilmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda doğru akımın dezenfeksiyonda alternatif akımdan çok daha etkili olduğu bulunmuştur. Elektrokimyasal su dezenfeksiyonunda elektrot malzemesi olarak grafit, granüler aktif karbon, aktif karbon lif ve gümüş kullanılabilir. Bazı durumlarda NaCl ve NaBr gibi maddeler suya eklenerek sürecin etkinliği artırılmaktadır.

Elektrokimyasal su arıtımı ile boyutları virüslerden bakteri ve alglere kadar değişen yaklaşık 40 mikroorganizma türünü sudan başarılı olarak giderilebilmektedir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonunun 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 olmaktadır. Bu yöntem hücre içi koenzim A'nın elektro yükseltmesine 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 (Tüzel, 2002).

2.6. UV ile Dezenfeksiyon

Ultraviyole ışık kaynağından yayılan radyasyon su kaynaklarının dezenfeksiyonu amacıyla ilk kez uygulandığı 1900'lü yıllardan beri sınırlı bir kullanıma sahiptir. Başlangıçta yüksek kaliteli su temininde kullanılmaktaydı. Son yıllarda atıksu arıtımında kullanımı önem kazanmaktadır. Yeterli dozlardaki ultraviyole radyasyonunun herhangi bir toksik bileşik oluşturmadan bakterisit ve virüsit olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

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 da hücrenin çoğalmasını engeller ve hücrenin ölmesine neden olur. UV radyasyonunun

bakterisit etkinliği suyun berrak olmasına bağlıdır. Bulanıklığa neden olan kirleticiler UV radyasyonunun doğrudan bakteriye ulaşmasını engelleyecektir.

UV radyasyonunun su dezenfeksiyonunda etkin olabilmesi için en etkili yöntem, suyun ince bir film tabakası şeklinde UV lambalar arasından geçirilmesidir.

UV radyasyonun, kimyasal bir ajan olmaması nedeniyle, suda toksik bir kalıntı oluşturması söz konusu değildir. Buna rağmen sudaki bazı bileşikler UV radyasyon ile değişikliğe uğrayabilmektedir. Ancak bunların daha sonra zararsız formlara dönüştüğu düşünölmektedir. Bu nedenle UV radyasyonun, çevreye zararlı etkilerinin olmadığı düşünölmektedir (Metcalf ve Eddy, 1981).

3.ULTRASOUND İLE DEZENFEKSİYON MEKANİZMASI

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 salınımına uğradıklarında ve sonunda hızla içine çekildiklerinde (implode) meydana gelir. Bu durum yüksek yerel sıcaklık ve basınç oluşturur, 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 (Mason ve ark., 2003).

Ultrasound akustik kavitasyon sonucu artan bir takım fiziksel, mekanik ve kimyasal etkiler ile bakterileri inaktif hale getirebilir ve bakteriyel kümeleri ya da flokları ayırabilir. Çökmede 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 çözeltiliye 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 bozum. Radikaller bakteriyel hücre duvarının kimyasal yapısını bozar ve hücre duvarını zayıflatır. Suyun bu sonokimyasal degradasyonunda son ürün kuvvetli bir bakterisit olan hidrojen peroksit'tir (Joyce ve ark., 2003).

Sonikasyon tek başına kuvvetli bir dezenfeksiyon sağlar. Buna rağmen, sadece ultrasound kullanılarak %100 ölüm oranına ulaşmak için yüksek ultrasonik yoğunluk gerekir. Bu durum tekniği büyük ölçekli mikrobiyal

dekontaminasyonda kullanmak için maliyetli hale getirebilir. Ancak, diğer tekniklere (klorlama, UV vb.) ek olarak dekontaminasyonda ultrasound ile hibrit sistemlerin kullanılması klasik metodları da maliyet açısından aşağı çekebilir. Bununla birlikte bazı mikroorganizmaların biyositler, ultraviyole ışığı ve ısı ile arıtım gibi dezenfeksiyon tekniklerine karşı dirençli hale gelmeleri de hibrit sistemlere ilgiyi artırmaktadır.

3.1. Ultrasound İle Mikrobiyal İnaktivasyon

Ultrasoundun bakterisidal etkisi intrasellüler kavitasyon ile ilgilidir. Kavitasyon ile kabarcık oluşumuna dayanan bu olay genellikle mikrobiyal hücreyi öldürmektedir (Piyasena ve ark., 2003). Kavitasyon sırasında içleri gaz dolu yüksek enerjili küçük baloncuklar meydana gelir (Leighton, 2007). Ultrasound sırasında bu mikroskobik baloncukların patlamalarıyla mekanik bir şok oluşur. Bu şok dalgaları kinetik enerjiye dönüşerek bir ses dalgası ve titreşim oluştururlar. Oluşan ses dalgaları 570 km/sa' lik hızla hareket ederler. Patlamalarda baloncukların çevrelerindeki moleküllerin birbirleriyle çarpışmaları sonucunda yüksek ısı (5500 °C) ve basınç (50 Mpa) noktaları oluşur (Leighton, 1998). Oluşan bu mekanik şok ile hücredeki yapısal ve fonksiyonel yapılar parçalanarak hücre parçalanması gerçekleşir (Skauen, 1976). Sıvı bir ortama uygulanan ultrasound ile sıvının alanda hareketiyle kavitasyon baloncukları patlar ve OH⁻ ve H⁺ reaktif radikalleri üretilir. Bu radikallerin oksijen ile reaksiyona girmesiyle H₂O₂ (hidrojen peroksit) meydana gelir (Lea ve ark., 2005). Yoğun kabarcık oluşumu, sıcaklık ve basınç değişimlerini engelleyerek serbest radikal oluşumuyla DNA yıkımı, hücre zarı parçalanması ve hücre duvarı bozulmasını gerçekleştirir (Manvell, 1997). Yüksek ultrasound protein bozulmalarına ve serbest radikallerin oluşumlarına sebep olabilmesiyle meyveli yada yüksek yağlı yiyeceklerde olumsuz etki yapabilmektedir (Williams, 1994; Sala ve ark., 1995).

Ultrasound ile inaktivasyon, vejetatif hücreler üzerine oldukça etkili olmasına rağmen ultrasoundun tek başına sporlar üzerine bir etkisi yoktur. Kullanılan diğer yardımcı yöntemler sporların inaktivasyonunu arttırabilmektedir (Anonymus, 2000).

Valero ve ark.' larının (2007) yaptığı çalışmada, 1,4 litre portakal suyuna 500 kHz' lik frekansta ve 250 W gücünde 15 dakika boyunca sonikasyon uygulanmıştır. Uygulama sonucunda toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 1,08 logaritmik birim azalma gözlenmişken aynı uygulamada maya ve küf sayısında önemli bir azalma meydana gelmediği belirtilmiştir.

Son yıllarda ultrasoundun gıdalardaki etkileri *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile yapılan çalışmalarda 5 ve 6 log cfu/mL altında azalmalarla önemli sonuçlar elde edilmiştir (D'Amico ve ark., 2006).

3.2.Ultrasoundla Mikroorganizma İnaktivasyonu Etkileyen Faktörler

Ultrasound kullanımını ve verimini etkileyen birtakım faktörler bulunmaktadır.

Bunlar:

- 1) Sıvının Fiziksel Özellikleri;
 - Sıvının molekülleri arasındaki Van Der Waals kuvvetleri,
 - Yüzey gerilimi ve
 - Buhar basıncı
- 2) Ortam sıcaklığı ve basıncı,
- 3) Ultrasonik frekans (kHz),
- 4) Sıvı içinde çözülmüş gazların varlığı,
- 5) Sıvı içinde bulunan partiküller,
- 6) Ultrasonik temas süresi (t),
- 7) Mikroorganizma türü ve morfolojisi,
- 8) Başlangıç mikroorganizma derişimi (CFU/mL),
- 9) Uygulanan güç (Power,W),
- 10) Dezenfekte edilecek su hacmine uygulanan güç yoğunluğu (Power density, W/L),
- 11) Ultrasonik dalgaların amplitüdü (V) ve
- 12) Transducer alanına uygulanan güç yoğunluğu,(Intensity, w/cm^2)'dir (Mason, 1990).

Mikrobiyal inaktivasyon, uygulama süresiyle paralel olarak artmaktadır. Canlılık fraksiyonu ile uygulama zamanı arasında belirli bir ilişki gözlenmiştir. Buna dayanarak ultrasound dalgalarına karşı mikrobiyal direnç, desimal redüksiyon zamanından (D değeri) hesaplanmakta; D değeri ise, verilen sıcaklık, pH ve amplitudde canlı hücrelerin sayısını bir logaritmik birim azaltan ya da populasyonun %90'ını öldürebilmek için gerekli olan süre olarak tanımlanmıştır.

Düşük şiddetli ultrasounun gentamisin ile beraber kullanımında *Escherichia coli* üzerinde etkisi (Peterson ve Pitt, 2000) ve 20 kHz şiddetindeki ultrasoundun etkisi de 45 – 60 °C sıcaklıkla beraber *Aspergillus flavus* ve *Penicillium digitatum* sporları üzerine etkisi artmaktadır (Lopez-Malo ve ark., 2005).

Kavitasyon oluşabilmesi için ultrasonik frekans değerinin 2,5 MHz' in altında olması gerekmektedir (Allinger, 1975).

Ultrasonik dalgaların amplitüdünün yükselmesi, birim zamanda patlayan kavitasyon baloncukların sayısının artışına, bu da mikrobiyal inaktivasyonun artmasına sebep olmaktadır (Suslick, 1988). Ultrasounda karşı vejetatif hücrelerin dirençlerinin farklı olmalarına rağmen, hidrostatik basınç ve amplitüd düzeyinin inaktivasyon etkisinin mikroorganizmadan bağımsız olduğu belirtilmiştir (Pagan ve ark. 1999b).

Patlama yoğunluğu, yüksek basınçlarda daha kuvvetli olmasına rağmen, patlayan baloncuk sayısı daha azdır. Bu yüzden belirli bir basınç değerinin üzerinde ultrasoundun öldürücü etkisi azalmaktadır (Whillock ve Harvey 1997). Pek çok vejetatif hücrenin inaktivasyonunda basınç altında ve ısı ile uygulanan ultrasoundun additif etkili olduğu belirlenmiştir (Pagan ve ark. 1999b; Raso ve ark. 1998b). Bu şekilde kombine uygulamalar *Streptococcus faecium* ve *Bacillus subtilis* sporları üzerine sinerjistik etki sağlanmıştır (Raso ve ark. 1998a).

Manosonikasyon uygulamasının sıcaklık uygulaması ile eş zamanlı yapılmasının da (yüksek mikrobiyal inaktivasyon sağladığı belirtilmiştir. Pek çok vejetatif hücrede manotermosonikasyon öldürücü etkisi additif düzeyde bulunmuşken, *B.subtilis* üzerinde bir sinerjistik etki gözlenmemiştir (Raso ve ark., 1998c; Pagan ve ark., 1999a). Basınç altında ultrasound ve sıcaklık uygulamasının eş zamanlı yapılması durumunda mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu

oldukça yüksektir. Bu nedenle, daha kısa süreli bir uygulama ile ya da daha düşük basınçta aynı inaktivasyon seviyesine ulaşılabilmektedir (Raso ve ark., 1998c).

Çalışmalar mikrobiyal özelliklerinde ultrasound ile mikrobiyal inaktivasyonda etkili olduğunu göstermiştir. Büyük hücreli organizmaların küçük hücrelere, çubuk şekilli bakterilerin de kok türlerine göre ultrasounda karşı daha duyarlı olduğu belirtilmiştir. (Ahmed ve Russell, 1975; Jacobs ve Thornley , 1954). Gram pozitiflerin gram negatiflere göre, anaerobik türlerinde aerobiklere göre, bakteri sporlarının vejetatif hücrelere göre daha dirençli oldukları belirtilmiştir (Ahmed ve Russell, 1975; Sanz ve ark., 1985). Vejetatif hücrelerin ultrasouna karşı farklı direncine rağmen, inaktivasyon etkisi üzerine hidrostatik basınç ve ultrasoundun amplitud etkisinin mikroorganizmadan bağımsız olduğu belirtilmiştir (Pagan ve ark., 1999b).

Çevresel faktörler içinde yer alan ortam asitliğinin, ultrasound direncinden bağımsız olduğu bazı araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. (Pagan ve ark., 1999a; Kinsole ve ark., 1954).Su aktivitesindeki azalmanın ultrasounda karşı mikrobiyal direnci arttırmakta olduğu, fakat bu artışın düşük olduğu belirtilmiştir (Pagan, 1997; Alvarez ve ark., 2003).

Ultrasound sisteminin başka yöntemlerle kombine edilmesi sırasında uygulamayı etkileyen birçok faktör bulunmuştur. Bir ultrasound uygulamasının etkinliğinin, bu etkiye maruz kalan mikroorganizmanın tipine bağlı olduğu belirtilmiştir. Mikroorganizmalar, özellikle sporlar inaktivite edici etkilere karşı oldukça dirençlidir. Bu nedenle ürünün güvenliği için ultrasound uygulama süresinin uzun tutulması gerekmektedir. Ultrasound herhangi bir pratik uygulamada kullanılacaksa, basınç uygulamasıyla (manosonikasyon), sıcaklık uygulamasıyla (termosonikasyon) ya da basınç+sıcaklık (manotermosonikasyon) birlikte uygulanması gerektiği belirtilmektedir (Piyasena ve ark.,2003).

Sıvı içerisinde çözünmüş halde bulunan gazları akustik kaviteasyon balonlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemektedir. Sıvı içerisinde çözünen gazın miktarının değişimi kollapsların oluşumunu ve radikallerin üretimini etkilemektedir. Çözünen gazın türünün değişmesi ise mikro baloncukların adiyabatik oranını, termal iletimini, sıvı yüzeyinin gerilimini ve sıcak nokta ısını değiştirir. Çözünen gaz kimyasal reaksiyonlara katılarak

radikal oluşumunu , kavitasyonları ve lüminesansı artırır.Çözünmüş gazlar sıvı içerisinde nükleolarak bulunurlar. Nükleolarak sistem içerisindeki katı kısım, amfifilik moleküller, duman, partiküller ve diğer kirleticiler tarafından stabilize edilir. Ultrasonik sisteme ilave edilen gaz sıvının yüzey gerilimini azaltarak mikrobaloncukların oluşmasını kolaylaştırır. Ancak baloncukların şekil stabilizesi azalır (Rooze ve ark., 2013).

Ultrasonik dezenfeksiyon işleminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer parametre ise sıvı içerisinde bulunan sülfat, bikarbonat ve nitrat gibi yabancı iyonların varlığıdır. Sisteme eşlik eden iyonların kavitasyon başlatıcı zayıf noktaları oluşturma etkisi ile daha çok miktarda kavitasyon oluştuğu bilinmektedir. (Joyce ve ark., 2003).

Sistemde eşlik eden bu iyonlardan sülfat iyonu varlığının bikarbonat ve klor iyonuna göre çelik ve metal yüzeylerde ultrasonik aşındırmayı daha fazla arttırdığı belirlenmiştir. Sisteme eşlik eden iyonların kavitasyon başlatıcı zayıf noktaları oluşturma etkisi Frank-Robinowitch Etkisi ile açıklanabilir. Sıvı içerisinde iki çözünmüş molekül bir araya gelerek kendilerini çevreleyen sıvı molekülleri arasına hapsolür. Bu yapılar bir araya gelerek “encounter” olarak bilinen daha büyük bir yapıyı oluşturur. Bu şekilde çözünen maddenin moleküllerinin solventin molekülleri arasına hapsolmesi etkisi “cage effect” ya da “Frank-Robinowitch Effect” olarak bilinir. Ultrasonik kavitasyonların oluşumu ve kollapsı encounter frekansına bağlıdır. Örneğin iki Cl^- iyonunun encounter frekansı aynı anda bir SO_4^{2-} iyonundan daha azdır. Bu da sülfat iyonunun sahip olduğu iki oksijen atomundan kaynaklanmaktadır.(Jiang, Zheng ve Yao, 2006).

Bunun yanı sıra su ortamında bulunan yabancı iyonların kavitasyonların sönmelenmesi sonucunda ortaya çıkan enerjiyi çeşitli mekanizmalar içinde kullanarak dezenfeksiyon etkinliğini azaltıcı yönde etkisinin olup olmadığı incelenmelidir.Yapılan çalışmalarda nitrat iyonunun çeşitli katalizörler eşliğinde nitrite indirgenme verimi maksimum %68 iken, bu ingeme işleminin ultasonik ortamda gerçekleşmesi durumunda %92’lik verim ile nitrit oluşumu gözlemlendiği bulunmuştur (Silva ve ark., 2006). Bu gibi çalışmalar su ortamında bulunan nitrat iyonunun kavitasyonların sönmelenmesi sonucunda oluşan enerjiyi dezenfeksiyon işlemi dışında farklı bir mekanizmada da kullanabileceğini göstermektedir.

4. SULARDA BULUNAN MİKROORGANİZMALAR

İçme suyu kirlenmesi, dünyada en önemli çevresel problemlerden birisidir. Son yıllarda nüfusun hızlı artışı, plansız endüstrileşme ve bilinçsiz bir şekilde tarımsal kimyasalların kullanılması, katı atıkların gerektiği gibi uzaklaştırılmaması, atıksuların istenilen kalitede arıtılmaması veya arıtılmadan alıcı ortama verilmesi ve bunun gibi faaliyetler içme suyu kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bölgenin gelişmişlik düzeyine ve tarımsal alanların kullanımına göre bu sorun çok önemli boyutlara ulaşabilmektedir.

Dünya Su Konseyi Başkanı'nın açıklamalarına göre 1990'lı yıllarda 300 milyon insanın yaşadığı 26 ülkede susuzluk mevcuttur. 2050 yılı için yapılan tahminlere göre dünya nüfusunun üçte ikisini yaşadığı toplam 66 ülkede, orta ya da şiddetli su sıkıntısı çekilecektir. Dünya Kaynakları Enstitüsüne göre 1.2 milyar kişi yeterli içme suyundan mahrum yaşamaktadır ve bu sebepten her yıl çoğunluğu çocuk olmak üzere 5 milyon kişi yaşamını yitirmektedir.

Dünya su rezervleri ile ilgili yapılan çalışmaya göre dünya, kaliteli su kaynakları açısından oldukça fakir bir görünüm sergilemektedir. Dünyada toplam 1.4 milyar metreküp su bulunmakta, ancak bu suyun %98'i okyanus ve denizlerdeki tuzlu sudan oluşurken, temiz suyun önemli bir kısmı kutuplarda ve ancak %1'i göl, nehir ve ulaşılabilir akiferlerde bulunmaktadır.

Ülkemizde yapılan çalışmalardan da görüleceği gibi içme suyu kaynaklarımız gün geçtikçe kirlenmektedir. Ancak bu konuda yapılan bireysel çalışmalar ülke genelinde kirliliğin hangi boyutlarda olduğunu tam olarak değerlendirmede yeterli olamamaktadır. Suların kirlenmesine neden olan etkenler arasında özellikle sulara insan ve hayvan dışkılarıyla karışan patojen mikroorganizma ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Patojen mikroorganizmalar ile kirlenmiş suların içme suyu temini amacıyla kullanımı kısıtlanır. Bu nedenle, önemli sağlık riski oluşturan bu sulara uygun bir dezenfeksiyon işleminin yapılması gerekir.

Dünya üzerindeki nüfusun yaklaşık % 20'si güvenilir olmayan içme suyu kullanmakta, yılda 200 milyon civarında insan su ile bağlantılı hastalıklara yakalanmakta ve 2 milyondan fazla insan kirli suların kaynaklanan hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirmektedir. Yeryüzündeki tüm hastalıkların yarısına yakını sularla ilişkili olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde atık suların ancak %5'inin arıtılabilmesi, endüstriyel ve evsel atıkların çevreye, akarsulara ve yer altı sularına denetimsiz bir şekilde verilmesi de ayrı bir sorundur.

Uluslararası seyahatlerin yaygınlaşması, insanların demografik ve davranış özelliklerinin değişmesi, ekolojik değişiklikler, halk sağlığı çalışmalarının yetersizliği ve mikroorganizmalardaki yapı ve davranış değişiklikleri, su ile bulaşan enfeksiyonların sıklığını etkileyen faktörlerdir. Toplumdaki aktif hastaların ya da taşıyıcıların bağırsaklarında bulunan hastalık yapıcı bakteriler, virüsler ve protoozonlar dışkı ile suya geçmekte; sonuçta su, enfeksiyon kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle kontamine suların içilmesi, gıda hazırlamada kullanılması, banyo yapılması, hatta inhale edilmesiyle çeşitli enfeksiyonlar gelişebilmektedir. Su ile bulaşan enfeksiyöz ishaller, dünyadaki tüm ölüm nedenleri arasında 2. sırada yer almaktadır. Sadece ABD'deki ishallerli hastaların yıllık tıbbi bakım ve iş gücü kayıplarının maliyeti 6 milyar dolar olarak hesaplanmıştır (Irmak, 2006).

Su kirliliğinin sebepleri arasında yer alan mikroorganizmalar en basit yaklaşımla, boyutları 1 ile 100 µm arasında değişen, mikroskobik boyutlarda küçük organizmalar olarak tanımlanabilir. Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan hastalık yapıcı (patojen) bakterilerin ve virüslerin önemli bir sağlık riski oluşturduğu bilinmektedir. Patojenler, hastalar ve hastalık taşıyıcılardan idrar ve dışkı yoluyla su ortamlarına ulaşırlar. Mikrobik hastalıklar, özellikle tropikal bölgelerde, alt yapı tesislerinin gelişmediği düşük kültür ve ekonomik seviyelerdeki toplumlarda, her yıl on binlerce insanın ölümüne sebep olur. Su kaynaklarının hijyenik açıdan emniyetli olabilmesi için, suyun fekal (dışkı veya idrarla) kirlenmeye maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi gerekir (Anonim, 1998).

Doğal ortamı oluşturan toprak, hava ve suyun çeşitli mikroorganizmalarla kirlenmesi ve dolayısıyla mikrobiyolojik yapının bozulması mikrobiyal

kirlenmeyi tanımlamaktadır. 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.

İçme suyu kirlenmesi, dünyada ve ülkemizde en önemli çevresel problemlerden birisidir. Son yıllarda nüfusun hızlı artışı, plansız endüstrileşme ve bilinçsiz bir şekilde tarımsal kimyasalların kullanılması, katı atıkların gerektiği gibi uzaklaştırılmaması, atıksuların istenilen kalitede arıtılmaması veya arıtılmadan alıcı ortama verilmesi ve bunun gibi faaliyetler içme suyu kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bölgenin gelişmişlik düzeyine ve tarımsal alanların kullanımına göre bu sorun çok önemli boyutlara ulaşabilmektedir.

4.1. Sularla İlişkili Hastalıklar

Özellikle ılıman ve sıcak iklimlerde insan ve hayvan dışkıları ile kirlenen sularda bol miktarda mikroorganizma bulunur. Aynı şebekeden su temin eden insanların enfekte olmaları nedeniyle salgınlar çıkar. Tifo, Kolera, Viral Hepatit bu gruba giren enfeksiyon hastalıklarıdır.

Suyu çok kıt olan yörelerde kişisel hijyenin sürdürülmesi güçleşir. Vücudun, yiyecek maddelerinin ve giysilerin yıkanmayışı nedeniyle hastalık yayılma olasılığı artar. Trahom ve bazı bağırsak hastalıkları (Basilli Dizanteri) bu gruba girer. Bu hastalıkların önlenabilirliği, kullanılan su miktarının artırılması ile ilişkilidir.

Bazı parazit yumurtaları suda yaşayan omurgasız canlılarda (ör: salyangoz) yerleşir ve gelişir. Olgunlaşan larvalar suya dökülür; suyun içilmesi ya da kullanılması sonucu enfeksiyona yol açarlar. Şistosomiyazis bu grubun tipik örneği olup; GAP bölgesinde sulu tarıma geçilmesi ile birlikte ülkemiz için büyük bir sorun haline geleceği düşünülmektedir. Viral Hepatit ve Tifo'nun bulaşmasında rol oynayan midyeler bu canlılara örnek gösterilebilir.

Çeşit olarak da, sayı olarak da oldukça çok olan sularla ilişkili hastalıkların en önemlileri Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.3: Sularla İlişkili Hastalıklar ve Etmeni Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar	Hastalık	Patojen
Viral	Influenza	<i>Influenza virüs</i>
	Chickenpox	<i>Varicella virüs</i>
	Meoiks	<i>Rubeola virüs</i>
Bakteriyel	Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>
	Tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
	Pneumonia	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	Q Fever	<i>Coxiella burnetii</i>
Fungal	Aspergilosis	<i>Aspergillus fumigatus</i>
	Blastomycosis	<i>Blastomyces dermatitidis</i>
	Histoplasmosis	<i>Histoplasma capsulatum</i>
Protozomal	Pneumocystosis	<i>Pneumocystis carinii</i>

4.2.Mikroorganizmalar

İnsan ve hayvanlardan çok sayıda patojen atıldığından ham atıksu ve araziden süzülen sular patojen içermektedir. Sonuç olarak her su kütleğinde bir miktar patojen bulunur. Bu nedenle içme suyu kaynaklarının patojenler yönünden sürekli denetlenmesi ve patojenlerin belli bir derişimin altında tutulması gerekir. Dünyanın pek çok yerinde içme suları patojenlerden arındırılabilmesi için arıtıma tabi tutulmaktadır. Bazı mikroplar insan, hayvan ve bitkilerde hastalık yapmakta ve patojen olarak adlandırılmaktadır. Patojen olmayan mikroplara genellikle saprofitler denilmektedir.

Patojenler, hastalık yapan organizma tarafından enfekte edilmiş insanlardan idrar ve dışkı yoluyla atılmaktadır. Patojeni almış kişilerin hastalık belirtisi göstermesi şart değildir.

Su kaynaklarının hijyenik açıdan emniyetli olabilmesi için suyun fekal kirlenmeye maruz kalıp kalmadığının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla bazı prosedürler geliştirilmiş olup, bunların çoğu indikatör organizmanın varlığının

belirlenmesine dayanır. İndikatörler, normal olarak hastalık yapmayan, dışkıda çok sayıda bulunan ve patojenlere oranla çok daha kolay tayin edilebilen mikroorganizmalardır. Yüzeysel sularda patojenlerin indikatör organizmalardan daha hızlı öldüğü varsayıldığından, indikatör organizmaların belli bir sayının altında oluşu, çoğu durumda patojenlerin olmadığını garanti eder.

En çok kullanılan indikatör organizmalar, koliform bakteri olup, tanım olarak, aerob ve fakültatif aerob, gram negatif, spor yapmayan, 35°C’de 48 saatte laktozu gaz oluşumuyla fermente eden çubuk şeklindeki bakterilerin tümünü içermektedir. Bu grupta *Escherichia coli* ile normal olarak bağırsakta bulunmayan Enterobakter aerogenes sayılabilir. Arıtılmamış evsel atıksuda bulunan başlıca mikroorganizmalar ve derişimleri Tablo 4.2 ‘de verilmiştir (Frank ve Spellman, 1999).

Tablo 4.4: Arıtılmamış evsel Atıksularda Bulunan Başlıca Mikroorganizmalar ve Derişimleri

Mikroorganizma	Derişim (CFU/ ml)
Toplam Koliform	$10^5 - 10^6$
Fekal Koliform	$10^4 - 10^5$
Fekal Streptococcus	$10^3 - 10^4$
Enterococci	$10^2 - 10^3$
Salmozella	$10^0 - 10^2$
Clostridium Pertringes	$10^1 - 10^3$
Giardia Cysts	$10^0 - 10^1$
Enteric Virus	$10^1 - 10^2$

4.3. Klebsiella

Klebsiella cinsi içinde yer alan türler yapılan çalışmalar sonucunda Klebsiella pneumoniae’nin alt türleri olarak adlandırılmışlardır. Bu türler; Klebsiella pneumoniae subsp. pneumoniae (K. pneumoniae), Klebsiella pneumoniae subsp. ozaenae (K. ozaenae), Klebsiella pneumoniae subsp. rhinoscleroma (K. rhinoscleromatis)dir. Bu türler Enterobacteriaceae familya

üyelerinin genel karakterlerine sahip, Gram negatif, hareketsiz, sporsuz, genellikle kapsüllü basillerdir (Rennie ve ark, 1974) .

4.3.1. *Klebsiella pneumoniae*

Bu bakteriler hareketsiz, sporsuz, kısa ve uçları yuvarlak, 1-2 µm boy ve 0,5-0,8 µm ende basillerdir. Gram negatif, polisakkarid yapısında kapsüllü, aerop ve fakültatif anaerop özellik gösterebilen, 37°C ve pH 7’de iyi üreyen bakterilerdir. (Rennie ve ark, 1974) Polisakkarit yapısında O (somatik) ve K (kapsül) adı verilen antijenleri bulunur. Serolojik tiplendirmeler bu antijenlere göre yapılır. Klebsiella’lar bakteriosinler yaparlar. Bunlar Pneumocin adı verilir. (Rennie ve ark, 1974) Doğada yaygın olarak bulunabilen bakteri; kuruluğa dirençli, sıcaklığa dayanıksız, ancak oda sıcaklığında haftalarca ve 4°C’de aylarca canlı kalabilir (Rennie ve ark, 1974).

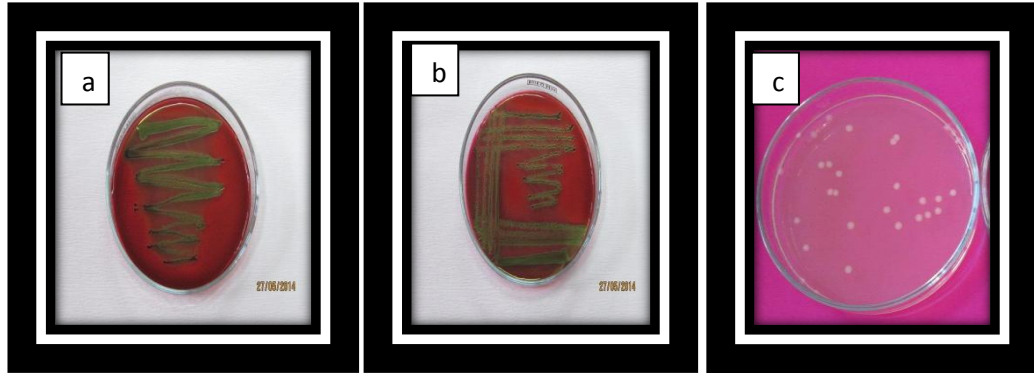
4.3.1.1. *Yaptığı Hastalıklar*

İnsanlarda üst solunum yolu ve dışkı florasında bulunan bir bakteri olduğu için patojenliği uygunsuz koşullar karşında fırsatçı patojen olarak açığa çıkar. Bu nedenle hastane enfeksiyonlarından sorumlu bir bakteridir. Kemoterapötiklere dirençli sular tedavide ve 14 bakterinin enjekte edilmesinde zorluklar çıkarttığı için bakterinin önemi daha da artmıştır. Klebsiella pneumoniae öncelikle pnömoni yapar ve bakteriyel pnömonilerin %2’sinden sorumludur. Daha çok 2 yaş altı ve 40 yaş üstü kişilerde vücut direncinin kırılması, virütik üst solunum yolu enfeksiyonları sonrasında bu tip pnömoniler görülür. Ayrıca; piyelit, piyelonefrit, ve sistit gibi idrar yolu enfeksiyonları, prostatit, otitis media, sinüzit, peritonit, menenjit, kolesistit, anjin ve çeşitli organ hastalıklarından sorumlu olabilir. (Rennie ve ark, 1974)

4.3.1.2. *Laboratuvar Tanısı*

Klebsiella’nın yaptığı hastalıklarına göre farklı yerlerden materyaller alınır. Bunlar; balgam, idrar, boğaz veya yara sürüntüsü, BOS ve kan gibi

örneklerdir. Çabuk tanı amacıyla alınan örneklerden hazırlanan preparatlar bağışık antiserumlarla karşılaştırılarak kapsül şişme reaksiyonunun olup olmadığı incelenir veya hazırlanan preparatların gram boyası ile boyanarak gram negatif, ikişerli ve çevresinde kapsül boşluğu bulunan bakterilerin görülmesi ön tanı koydurur.(Rennie ve ark, 1974) Alınan örnekler kültür için Kanlı Agar, Endo Agar, ve EMB Agar besiyerlerine ekilir. Bu besiyerlerinde mukoid, büyük, akıcı ve S veya R tipi koloniler oluşur. Bu koloniler identifikasyon işlemlerine alınınca şu özellikler görülür. İndol negatif, Metil Red negatif, Voges Proskauer pozitif, Sitrat pozitif yani IMVGC (--++)dır. Üre pozitif, Lizin Dekarboksilaz pozitifdir. Nişastayı 4 günde parçalayıp gaz yapmaları Enterobacteriaceae familya üyelerinden ayrılmasını sağlar. Klebsiella'lar birbirlerinden; indol, ornitin, dekarboksilaz ve D-glukoz fermantasyon özellikleri incelenerek ayrılabilir (Rennie ve ark, 1974).



Şekil 4.1: a-b) EMB Agarda Çizgi Ekimi Yapılan *Klebsiella pneumoniae* Görselleri c)PCA'ya Ekilen *Klebsiella pneumoniae* Görseli

5. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

Dezenfeksiyon çalışmaları sırasınada gerçekleştirilen bakteriyolojik çalışma esasları aşağıda özetlenmiştir.

5.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma

Mikroorganizmaların laboratuvar koşullarında üretilmeleri, saf olarak elde edilmeleri, çeşitli özelliklerinin incelenmesi, biyolojik olarak ve metabolik ürünlerin elde edilmesi için çeşitli besleyici ortamlar kullanılır. Bakterilerin büyük bir çoğunluğu ve mantarlar cansız ortamlarda üretilmektedirler. Bu gibi mikroorganizmaların üretilmeleri, saf olarak elde edilmeleri, koloni ve biyokimyasal özelliklerinin incelenmesi, biyolojik ürünlerin elde edilmesi için onları organizmanın dışında üretmek amacı ile kullanılan cansız, besleyici ortamlara besiyeri adı verilir (Bilgehan, 1992).

Üzerinde veya içinde mikroorganizma üretilmiş (ya da üremiş) besiyerlerine kültür denir. Besiyerinde yalnızca tek bir mikroorganizma türü üretilmiş kültürler saf kültür olarak adlandırılır. Kültür yapma (kültivasyon); mikroorganizmaların buldukları tekniklerle alınarak, uygun bir besiyerine aktarılması ve burada gelişmelerinin sağlanması aşamalarını içerir.

Kültür Elde Etme Aşamaları:

1. Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması
2. İnokülasyon (Ekim, Aşılama)
3. İnkübasyon
4. Kültür

Ancak kültür yapmadaki bu aşamalardan daha önce bir takım ön hazırlıkların gerçekleştirilmesi gereklidir. Bu amaçla yapılacak ilk işlem steril besiyerinin hazırlanmasıdır. Bunun için önce kültürü yapılacak örneğe veya incelenecek mikroorganizma ya da mikroorganizma grubuna uygun bir besiyerinin seçimi yapılır. Daha sonraki aşamada ise, bu besiyeri usulüne uygun olarak hazırlanır ve sterilize edilerek kullanıma hazır hale getirilir.

5.1.1. Örnek Alma-Alınan Örneğin İnokülasyona Hazırlanması

Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması kültür yapmadaki en önemli aşamalardan birisidir. Her zaman olduğu gibi, bu aşamada da aseptik koşullara tümüyle uyulmalıdır. Bu amaçla, örneğin alınmasında kullanılan araç gereç ile örneğin aktarılacağı örnek kapları daha önceden sterilize edilmelidir. Örneğin alınması ve örnek kabına aktarılması anında Bunzen beki alevi altında çalışılmalıdır. Alınan örnek, çoğunlukla bir takım ön işlemlerden geçirilerek inokülasyona hazır hale getirilir. Özellikle mikrobiyolojik sayımlarda, incelenecek örneğin dilüsyonları yapılır. Dilüsyon yapma, gerçekte bir seyreltme işlemidir ve bu amaçla uygun dilüsyon sıvılarından yararlanır.

5.1.1.1. Dilüsyon hazırlama

Kültür sayım yapılacak bir örnekte her milimiltrede binlerce hatta milyonlarca mikroorganizma bulunabilir. Bu durum dikkate alınarak, genellikle incelenecek sıvı örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanır. Dilüsyon hazırlama, mikrobiyolojik yönden incelemeye alınan orjinal örnek içindeki mikroorganizma sayısının belli oranlarda sulandırılarak daha aza indirilmesini amaçlayan bir işlemdir. Dilüsyon yapılırken her bir deney tüpünden 1 ml örnek alınarak bir sonraki deney tüpüne aktarılır. Böylece her bir aktarmada örnek on kat seyreltilmiş olur. Dilüsyon hazırlarken dikkat edilecek en önemli konu, her aktarmada ayrı bir steril pipetin kullanılması ve aktarılacak örneğin, aktarmadan hemen önce kuvvetlice çalkalanarak homojen bir karışımın sağlanmasıdır.

5.1.2. Aktarma Teknikleri ve İnokülasyon

İnokülasyon, ekim ve aşılama isimleriyle de anılmaktadır. İnokülasyon, incelenecek örneğin steril bir besiyerinin üstüne yada içine, aktarma tekniklerinden yararlanılarak, uygun bir şekilde aktarılması olayıdır. Aktarma esnasında kullanılacak olan öze ve pipet gibi gereçler mutlaka steril olmalıdır. Hiç bir şekilde, incelenecek olan örneğe veya aktarma yapılacak olan steril besiyerine sterilize edilmemiş öze veya pipet daldırılmamalıdır. Pipet kutusu içinde veya kağıda sarılı vaziyette sterilize edilmiş olan pipetler, Bunzen beki alevi altında usulüne uygun olarak çıkarılır ve bek alevinden seri bir şekilde geçirilerek aktarma işleminde kullanılır. Aktarma işlemi tamamlandıktan sonra, pipetler tekrar alevden geçirilmez; doğrudan içinde dezenfektan çözeltisi bulunan uygun bir kaba konur. Öze ise işlem bittikten sonra tekrar alevde tutularak sterilize edilir. Böylece de çalışılan bölgenin kontaminasyon riski ortadan kaldırılmış olur. Aktarma işlemleri gerçekleştirilirken, gerek aktarılacak örneği ve gerekse aktarma yapılacak steril besiyerini içeren tüp veya balon gibi cam kapların ağız kısımları, işlemler öncesi ve sonrasında ayrı ayrı olmak üzere mutlaka Bunzen beki alevinden geçirilmelidir. Bu işlem ile kapların ağız kısmındaki boşluklarda konveksiyon akımları yaratılmakta ve böylece de kapların ağız kısımlarından hava yoluyla girebilecek mikroorganizmalar uzaklaştırılabilmektedir. Aktarma tamamlandıktan sonraki alevden geçirme işlemiyle, aktarma anında kapların ağız kısımlarına herhangi bir şekilde kontamine olabilecek mikroorganizmaların yakılarak öldürülmesi de amaçlanmaktadır. Alevden geçirme anında, tüp, balon veya erlenmayer gibi kapların ağızlarındaki pamuk tıkaç usulüne uygun olarak çıkarılır. Bu esnada, pamuk tıkaç hiçbir şekilde, kontaminasyon kaynağı olabilecek yüzeylere temas ettirilmemelidir. Aktarma işlemi seri bir şekilde gerçekleştirilir. Aktarma ve inokülasyon işlemleri biter bitmez, kabın ağız kısmı alevden geçirilir ve pamuk tıkaç kabın ağızına tekrar yerleştirilir.

5.1.3. İnkübasyon

Kültür elde etmedeki son aşamadır. İnkübasyon, ekim yapılmış besiyerini içeren kabın, uygun bir inkübatörde, belli bir sıcaklık derecesinde ve belli bir süre tutulması işlemidir. İnkübasyon için genellikle etüv veya su banyosu gibi inkübatörlerden yararlanır. Petri kutularının inkübasyonu için sadece etüvden yararlanır. Petri kutuları, inokülasyonları takiben, belli bir süre beklendikten sonra ters çevrilerek inkübatöre yerleştirilir. Bu durumda, petri kutusu içinde oluşabilecek su buharının kapakta kondense olup besiyerine damlama, böylece de kültürün kontaminasyonu ile olduğundan fazla sayıda veya büyük koloni oluşumu risklerinin önüne geçilmiş olur. İnkübasyon sıcaklığı ve süresi, ekim yapılan örnek veya çalışılan mikroorganizmanın özelliği ya da çalışmanın amacına göre belirlenir (Temiz, 1996).

5.2.Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri

Mikrobiyolojik problemlerin çözümünde, mikroorganizma sayısı incelenen örneğin mikrobiyolojik kalite yönünden değerlendirilmesini sağlamaktadır. Birçok mikrobiyolojik sayım yöntemi geliştirilmiştir. İncelenen örneğin özelliğine göre bu yöntemlerden uygun olanı seçilir.

Sayım sonuçları, incelenen örneğin sıvı, katı veya yüzey olmasına göre sayı/mL, sayı/g veya sayı/cm² olarak verilmektedir. Katı besiyerinde koloni sayımına dönük sayım yöntemlerinde ise sonuçlar sayı yerine cfu/mL, cfu/g veya cfu/cm² şeklinde belirtilmektedir. Sayım sonuçları mevcut standart, tüzük, yönetmelik, vb. kaynaklarda belirtilen limitlerle karşılaştırılarak, incelenen örneğin mikrobiyolojik kalitesi hakkında karara varılabilir.

Mikrobiyolojik sayım yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Doğrudan Sayım Yöntemleri: Mikroorganizma kolonileri veya hücrelerinin doğrudan sayıldığı yöntemdir.
- Kültürel sayım yöntemleri (canlı sayım, koloni sayımı)

- Dökme plak yöntemi
 - Çift tabakalı dökme plak yöntemi
 - Agar yüzeyine yayma yöntemi
 - Agar damlatma yöntemi
 - Dönen tüp yöntemi
 - Lam üzerinde mikroskopik sayım yöntemi
 - Membran filtre sayım yöntemi
 - Petri film sayım yöntemi
- a. Doğrudan Mikroskopik sayım yöntemleri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)
- Thoma lamı ile sayım yöntemi
 - Petroff-Hauser lamı ile sayım yöntemi
 - Howard lamı ile küflü saha sayımı
 - Breed'in yayma yöntemi
 - Membran filtre yöntemi
 - Floresan mikroskopu yöntemleri
- b. Flow sitometri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)
2. Dolaylı Sayım Yöntemleri
- a. En muhtemel sayı yöntemi
- b. Tüp dilüsyon yöntemi
- c. Türbidimetrik sayım yöntemi
- d. Hücre içeriğindeki belirli bazı maddeleri belirleme prensibine dayalı sayım yöntemleri
- e. Kuru madde tayinine dayalı sayım yöntemi
- f. Toplam sediment miktarı tayinine dayalı sayım yöntemi
- g. McFarland yöntemi
- h. Metabolik aktiviteye dayalı sayım yöntemleri
- Renk maddeleri indirgenmesine dayalı sayım yöntemleri
 - Empedans ölçümüne dayalı sayım yöntemleri
 - Mikrokolorimetri

Mikrobiyolojik sayım yöntemlerinin bu çeşitliliğine rağmen, bunların tümü sık olarak kullanılmamaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar, dökme plak yöntemi, agar yüzeyine yayma yöntemi, direkt mikroskopik sayı yöntemleri, en

muhtemel sayı yöntemi, renk maddeleri indirgenme testleri, türbidimetrik yöntemlerdir.

5.2.1.Kültürel Sayım Yöntemi

Bu yöntemlerde katı besiyerleri kullanılmakta ve inkübasyonu takiben, besiyerinde gelişen mikroorganizma kolonileri sayılarak sonuca gidilmektedir. Bu nedenle kültürel sayım yöntemleri koloni sayımı olarak da adlandırılabilir. İncelenen örnekte yalnızca canlı mikroorganizmalar sayıldığından, bu sayımlar canlı sayım olarak da isimlendirilir.

Kültürel sayım yöntemlerinde, ilk aşamada sayım yapılacak örneğin ekimlere hazırlanması gerekir. Daha sonra örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanarak uygun agarlı bir besiyerine ekimleri gerçekleştirilir. En son aşamada ise inkübasyon işlemine geçilir. İnkübasyon sonrası, canlı bir bakteri katı bir besiyerinde bir koloniye eşdeğerdir varsayımından hareketle koloniler sayılır. Toplam sayının dilüsyon faktörü ile çarpılmasıyla elde edilen sonuç incelenen örneğin özelliğine göre cfu/ml, cfu/g veya cfu/cm² olarak verilir.

5.2.1.1.Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım

İncelemeye alınan örnekteki canlı mikroorganizmaları saymayı amaçlayan bir yöntemdir. Dökme plak yöntemi, petri kutuları ve katı besiyerleri kullanılarak gerçekleştirilir. İncelenecek örnek homojen hale getirilir ve dilüsyon serileri hazırlanır. Ekim yapılacak dilüsyonlar belirlenir. Sterilize edilmiş petri kutularına, steril pipet ile seçilen dilüsyondan 1 mL aktarılır. Çalışmalar üç paralel çalışmaya olacak şekilde yapılmalıdır. Vakit geçirilmeden her bir petriye 15-20 mL eritilmiş ve 44-48°C'ye soğutulmuş steril katı bir besiyeri dökülür. Agar katılaşmadan hemen, petri kutularına düz bir yüzey üzerinde sekiz hareketi çizdirilerek örnek ile besiyerinin homojen karışımı sağlanır ve agarın katılaşması beklenir. Aynı besiyeri sterilize kontrolü için, steril iki tane boş petri kutusuna dökülür ve agarın katılaşması beklenir. Petri kutuları ters çevrilerek, sıcaklığı ayarlanmış ve istenilen sıcaklığa erişmiş bir inkübatöre yerleştirilir. İnkübasyon sonunda 50-500 koloni içeren petri kutular sayıma alınır.

$$\text{cfu/mL} = \text{sayım sonucu} \times \text{dilüsyon faktörü} \quad (5.1)$$

5.2.1.2. Yüzeğe yayma yöntemiyle kültürel sayım

Yüzeğe yayma yönteminin uygulaması basit ve kolaydır. Petri kutusuna agarlı besiyeri dökülürken oluşabilecek hava kabarcıkları ekim öncesi steril bir iğne öze ile ortadan kaldırılır.

Bu yöntemde, yaklaşık 50°C'deki erimiş steril agarlı besiyeri, aseptik koşullarda steril petri kutularına 15-20 ml miktarda dökülür. Agarın katılaşmasından sonra petri kutuları etüvde kurutulur, agar yüzeyinin kuru olması çok önemlidir. İncelenecek dilüsyondan veya sıvı örnekten belli bir miktarda alınarak kuru agar yüzeyine aktarılır ve steril dragalski özesi ile yayılır. Dragalski özesi her kullanımdan hemen önce alkole daldırılır ve daha sonra bunzen beki alevinden geçirilir ve alkolün yanıp uzaklaşması sağlanır. Öze ekim öncesinde besiyerinin boş kısmına değdirilerek soğutulur. Ekimler yine üç paralel olacak şekilde yapılır. Ekim yapılan petri kutuları 10-15 dakika bekletilir ve daha sonra inkübasyona alınır. Bekletmenin amacı, besiyerinin inokulumu absorblamasının sağlamasıdır.

5.2.2. Dolaylı Sayım Yöntemleri

Mikroorganizmaların belirli bazı hücresel özellikleri, metabolik faaliyetleri, bulanıklık gibi besiyerinde oluşturduğu değişiklikler dikkate alınarak dolaylı bir şekilde mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemlerdir. Bu yöntemlerde ilk aşamada standartlar oluşturulmakta, daha sonra alınan sonuçlar bu standartlarla karşılaştırılarak mikroorganizma sayıları belirlenmektedir.

5.2.2.1. Türbidimetrik sayım yöntemi

Bu yöntemde spektrofotometre veya kolorimetreden yararlanılmaktadır. Yöntem, incelenecek olan sıvı örnekte mikroorganizma sayısı ne kadar çoksa, bu sıvının bulanıklığı da o kadar çok olacaktır prensibine dayanmaktadır.

Türbidimetrik sayım yöntemlerinde, kendisi fazlaca bulanık olmayan sıvı besiyerleri tercih edilmelidir. Bir mikroorganizmanın ışınları tutma gücü, onun büyüklüğüne, şekline ve şeffaflık derecesine bağlıdır.

Saf bir mikroorganizma kültüründeki mikroorganizma sayısının belirlenmesi için, ilk aşamada bu mikroorganizmanın farklı derişimlerdeki süspansiyonları kullanılarak standart bir mikroorganizma derişimi-ışık yoğunluğu eğrisi hazırlanır. Daha sonra mikroorganizma sayısı belirlenecek örneğin ışık yoğunluğu belirlenir ve standart eğride bu değere karşılık gelen mikroorganizma sayısı bulunur.

5.2.2.2.McFarland Yöntemi

Baryum klorür ile sülfürik asit karıştırılınca meydana gelen baryum sülfat, ortamda opal renkli bir bulanıklık oluşturmaktadır. Baryum klorür ile sülfürik asit oranlarının değiştirilmesiyle farklı bulanıklıkta çözeltiler oluşmakta olup, bunlara karşılı gelen bakteri sayısı da, bulanıklığın artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Temiz, 1996).

6.KONU İLE İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Literatür taraması yapılarak konuyla ilgili önceden yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Mason ve arkadaşları (2003) suyun biyolojik olarak dekontaminasyonunda olası ultrasound kullanımlarını çalışmışlardır. Eskiden endüstrilerdeki hakim olan endüstriyel ölçekte atıksu arıtımı için ultrasound kullanımının çok maliyetli olacağı yönünde düşünce, su ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde bazı ultrasonik sistemlerin kullanılmaya başlamasıyla değişmiştir. Bu çalışmada da bakteriyel büyüme üzerinde ultrasound ve klorlamanın ayrı ayrı ve birlikte etkileri incelenmiştir.

Blume ve Neis (2004) ultrasonik ön arıtım ile geliştirilmiş atıksu dezenfeksiyonu çalışmışlardır. Düşük yoğunlukta (30 W/l) 20 s ultrasound uygulaması atıksu örneklerinin partikül boyut dağılımını değiştirmiştir, ortalama partikül yarıçapı 70 μm 'den 11 μm 'ye düşmüştür. Beklendiği gibi partikül boyut dağılımındaki bu değişim UV'nin dezenfeksiyon verimini etkilemiştir. İkincil arıtmadan gelen suyun tek başına UV ile arıtımı fekal koliformlarda 2,5 log units'lik bir azalma sağlarken sonikasyon ile ön arıtım dezenfeksiyon verimini açık bir şekilde arttırmaktadır, ön arıtım yapıldığında cfu konsantrasyonundaki azalma 3,3 ile 3,7 log units arasında değişmiştir. Bir ultrasound basamağı uygulaması maliyet verimliliği açısından da yararlı olabilir.

Phull ve arkadaşlarının (1996) yaptığı çalışmada mikroorganizmaların giderilmesinde ultrasound'un etkisi değerlendirilmiştir. Sonuçlar su dezenfeksiyonu için ultrasound'un verimli bir şekilde kullanılabileceği ve çeşitli avantajlarının olduğu göstermektedir. Klor ile birlikte kullanıldığında su örneklerinde bulunan bakteri sayısını önemli bir şekilde azaltmıştır. Aynı zamanda ultrasound kullanımı dezenfeksiyon için gerekli klor miktarını da azaltmıştır.

Joyce ve arkadaşları (2003) bakteriyel süspansiyonların arıtımında ultrasound ile çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada amaç farklı güç ve

frekanslarda ultrasound kullanılarak bunun *Bacillus subtilis* üzerindeki etkisini araştırmaktır. 20 ve 38 kHz'de yapılan düşük frekanslı çalışmalarda sonuçlar *Basillus* türlerindeki ölüm yüzdesinde önemli bir artış göstermiştir. Çalışmada mikrobiyal aktivitenin ölçülmesi için canlı hücre sayım tekniği kullanılmıştır.

Scherba ve ark. (1991) sulu bir çözeltide, 24 kHz frekansta ve farklı ses yoğunluğundaki ultrasoundun, *E.coli* inaktivasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ultrasounda maruz kalma süresi arttıkça, bakteri popülasyonundaki azalma artmış, ancak ses yoğunluğunun artırılmasının ölüm oranını etkilemediğini bildirmişlerdir.

E.coli'nin biyofilmlerde ultrasound ile inaktive edilmesinin gıda ve su endüstrilerinde yararlı olabileceği düşünülmektedir. (Johnson ve ark., 1998; Rediske ve ark., 1999; İnce ve Belen, 2001). Johnson ve ark. (1998) 70kHz'lik ultrasound uygulamasıyla bir antibiyotik (gentamisin sulfat) kombinasyonunun biyofilmdeki *E.coli* sayısının 2 saatte %97 azalttığını göstermişlerdir.

Limaye ve Coakley de (1998) *E.coli* ve *Saccharomyces cerevisiae*'yi, 1 veya 3 MHz ultrasound kullanarak sırasıyla 4.5 ve 11.5 dk'da, %95.5 oranında konsantre etmişlerdir.

İnce ve Belen (2001) deiyonize suda *E.coli* konsantrasyonunun 20kHz ultrasonikasyonla azaldığını göstermişlerdir, ayrıca eklenen katı maddelerle (seramik granülleri, metalik çinko partikülleri ve aktif karbon) *E.coli* inaktivasyonu artırılmıştır. En etkili materyalin, aktif yüzeyi nedeniyle aktif karbon olduğu kaydedilmiştir. Bu partiküllerin sonikasyon esnasında kavitasyonu da arttırdığı belirtilmiştir. (Jimenez-Munguia ve ark., 2001).

Hulmans ve arkadaşları (2010), ultrasound su dezenfeksiyon sistemleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yüksek akış hızı , yüksek güç ve yüksek enerji ile daha hızlı bakteri giderimleri ile istenen bakteri derişimleri elde edilmiştir.

Joyce ve arkadaşları (2003) bakteriyel süspansiyonların arıtımında ultrasound ile çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada amaç farklı güç ve frekanslarda ultrasound kullanarak bunun *Bacillus subtilis* üzerindeki etkisini araştırmaktır. 20 ve 38 kHz'de yapılan düşük frekanslı çalışmalarda elde edilen

sonuçlar *Bacillus* türlerindeki ölüm yüzdesinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Çalışmada mikrobiyal aktivitenin ölçülmesi için canlı hücre sayım tekniği kullanılmıştır.

Yoon ve arkadaşları (2007) gümüş ve bakır nano partiküllerine karşı *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis*'in duyarlılıklarını incelemişlerdir. Deneysel çalışmaların sonuçları, hem gümüş hem de bakır nano partiküllerine karşı *B. Subtilis*'in *E.coli*'den daha fazla hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir. Nano partiküllerin boyutu antimikrobiyal aktivitelerini etkilediğinden daha ileriki çalışmalarda nano partikül boyutu ile duyarlılık sabiti arasındaki ilişkinin araştırılması gerektiği vurgulanmıştır. 100 nm bakır nano partikülleri ile *B. Subtilis*'in reaksiyonu en yüksek hassasiyeti ($Z=0.0734$ mL/ μ g) göstermiştir buna karşı 40 nm gümüş nano partikülleri ile *E.coli*'nin reaksiyonu en düşük hassasiyeti ($Z=0.0236$ mL/ μ g) göstermiştir.

Antoniadis ve arkadaşları (2007); evsel atıksuların sonokimyasal dezenfeksiyonu üzerine yapmış olduğu çalışmada *E. coli* bakterisini 24 kHz ultrasonik frekans ve 450 W güç uygulayarak 30 dakika ultrasonik temas süresi sonucunda 3log azalma meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışmasında sonikasyonun güçlü bir dezenfeksiyon yöntemi olduğunu ancak %100 giderime ulaşmak için yüksek ultrasonik yoğunluk gerektiğini dile getirmiştir. Bunun da büyük ölçekli dezenfeksiyon uygulamaları için pahalı olacağını vurgulamıştır. Buna rağmen UV, ozon, Elektroliz, ısı dezenfeksiyo, klorlama ve biyositleri içeren dezenfeksiyon yöntemlerine dirençli bakteriler için düşük frekanslı ultrasesin kullanımının uygun olacağını savunmuştur.

Dadjour ve arkadaşları (2006); *Legonella pneumophila* 'nın 1 g/mL TiO_2 'nin ilave edildiği 5.8 L'lik ultrasonik banyoda 36 kHz ve 300 W güç uygulanarak 30 dakikada giderilebildiği sonucuna varmıştır.

Declerck ve arkadaşları (2010); *Legonella pneumophila* ve *Acenthomoea castellani* için 36 kHz ultrasonik frekansta 30 dakika sonunda litreye 0,064-0,191 kW güç uygulayarak 1.3 -1.5 log azalma meydana geldiğini bulmuşlardır.

Jyoti ve Pandit (2003); su dezenfeksiyonu için çeşitli kimyasalların ultrases ile hibrit kullanımlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında ozon ve hidrojen peroksitin çeşitli derişimlerde 22 kHz ve 240 W güç uygulanarak 100 mL'ye ultrasonik sisteme ilave edilerek 15 dakika içerisinde %99,3-99,6 'lık fekal koliform giderimi elde etmişlerdir.

Krizhner ve arkadaşları (2009); su sümbülü bitkisinin köklerinde oluşan mikrobiyal biyofilmlerin ultases ile giderilmesi üzerine yaptıkları çalışmsa 20 kHz ve 500 W güç uygulanarak 5-60 dakikada bitk köklerinde 2 log mikrobiyal azalma sağlamışlardır.

Shihang Lin ve ark (2013); ag nanopartilüllü alginat alaşımı boncuklar ile içme suyu dezenfeksiyonunun sağlanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı gümüş derişimlerinde üç farklı alginat boncuk üreterek 1 dakika hidrolik bekletme süresinde *E. coli* dezenfeksiyonu gerçekleştirerek 5 log giderim elde etmişlerdir.

Naddeo ve arkadaşları(2009); *E. coli* içim ultrases ve UV birleşimi atıksu dezenfeksiyonu üzerinde çalışmışlardır. Çalışmaları sonucunda 400 w güç uygulanarak 2-30 dakika ultrasesin tek başına %76-80 bakteri giderimi sağlarken, UV ile birleştirildiğinde %92-96 oranında bakteri giderimi sağlandığı sonucuna varmışlardır. Klorlama ve ozonlamaya alternatif olarak daha yüksek giderim verimine sahip bir dezenfeksiyon uygulaması gerektiğinde böyle bir ultrases ve UV bileşimi metodun uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Brugnera ve ark (2014); 0.05 M $AgNO_3$ katkılı TiO_2 nanotüplerden oluşturulmuş elektrotler ile fotokatalitik dezenfeksiyon uygulaması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında *M. smgnavis* için 3 dakika sonunda %99.6 azalma elde etmişlerdir.

Nawaz ve arkadaşları (2012); yağmursualrında sıkça karşılaşılan *E. coli* ve *P. aeruginosa* için 0,01-0,1 mg/L Ag^+ derişimleri ile dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. *P. aeruginosa* için 10-14 saat sonunda %95-99 azalma, *E. coli* için 8-24 saat sonunda %95-99 azalma elde etmişlerdir. Her iki bakteri dezenfeksiyonunda 0.04 mg/L ve altı gümüş derişimlerinde 168 saat sonunda

tekrar üreme gözlemlemişlerdir. Bu nedenle bakterisidal etki için bu değerin üzeri gümüş derişimi uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır.

7.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gerçekleştirilen bu projede ultrasonik reaktörde farklı frekanslar kullanılmış ve bu frekanslardaki çeşitli ortam iyonlarının sistemin çalışmasında yarattığı etkiler belirlenmiştir. Çalışmalarda kullanılan *Klebsiella pneumonia* Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi'nden temin edilmiştir.

Ultrasonik reaktör ile yapılan çalışmalar sırasıyla ultrasonik frekansın, uygulanan güç yoğunluğunun, su ekosisteminde bulunan ortam iyonlarının ve azot gazının ultrasonik dezenfeksiyon işlemine olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmalar 22 kHz ultrasonik frekansta işletilen USR22, 36 kHz ultrasonik frekansta işletilen USR36 ve 833 ultrasonik frekansta işletilen USR833 kodlu reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik dezenfeksiyon işleminin gerçekleştirildiği USR22'nin görselleri, Şekil 7.1'de, USR36'nın görselleri, Şekil 7.2'de ve USR833'ün görselleri, Şekil 7.3'de, verilmiştir.



Şekil 7.1: a-b) USR22 (22 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri



Şekil 7.2: a-b) USR36 (36 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri



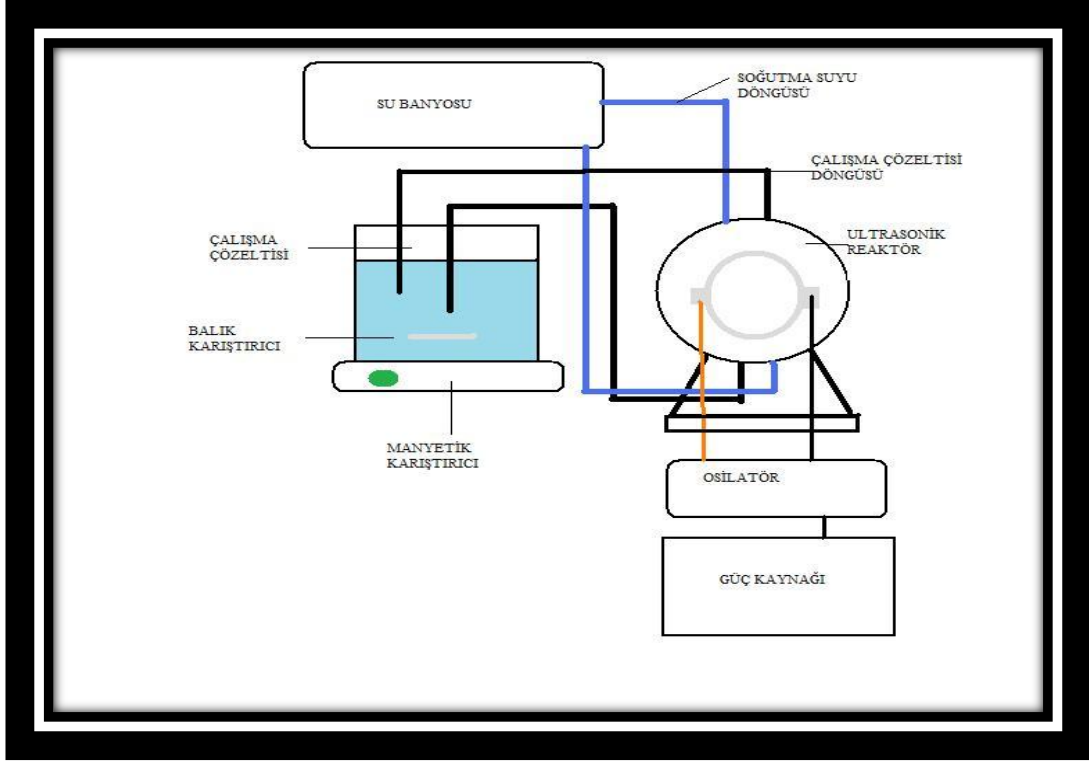
Şekil 7.3: a-b) USR833 (833 kHz Ultrasonik Frekansta İşletilen Reaktör) Görselleri

Çalışmalar farklı başlangıç bakteri derişimlerinde ve farklı frekanslarda, steril kabin (Heraeus KSP-18 ClassII) içinde ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar 100 mL çözelti ile, başlangıç çalışma çözeltisinden ve işlem boyunca belirlenen zamanlarda reaktörden örnekler alınarak yapılmıştır. Alınan örnekler PCA(Merck) katı besi ortamlarına ekim yapılmış ve bakterilerin gelişmesi 37 °C’ de inkübatörde (Innova-42 Shaker Series) inkübe edilmiştir. Uygun süre ve sıcaklıkta inkübe edildikten sonra gelişen kolonilerin sayımı yapılmıştır.

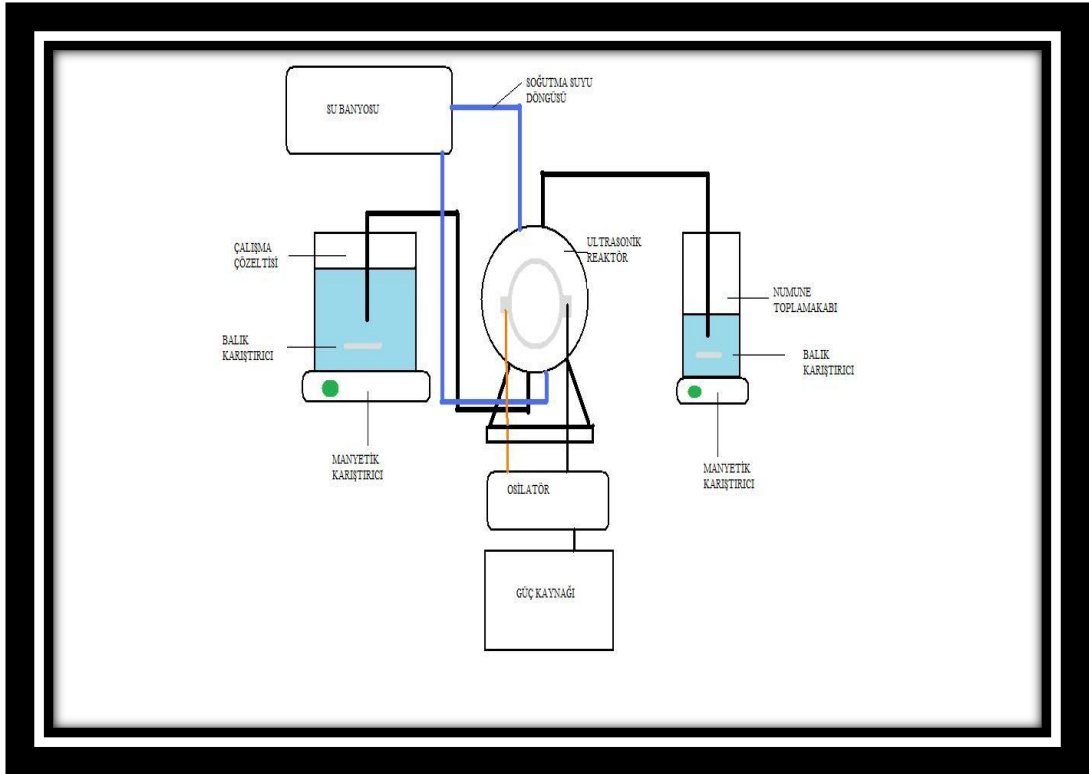
7.1. Farklı Ultrasonik Frekans Değerlerinin Etkisinin İncelenmesi

Ultrasonik sistemlerle suda *Klebsiella pneumonia* dezenfeksiyonuna uygulanan ultrasonik frekansın etkisini incelemek amacıyla 1×10^4 cfu/mL, 1×10^5 cfu/mL başlangıç bakteri derişimlerinde 100 mL çalışma çözeltisi ile USR22, USR36 ve USR833 reaktörlerinde sürekli ve kesikli işletim koşullarında çalışılmıştır. Kesikli ve sürekli sistemin akış şemaları Şekil 7.4 ve 7.5 ‘te gösterilmiştir.

Kesikli sistemde başlangıç ve 10 dakika ara ile, alınan örneklerin gerekli dilüsyonları yapılarak katı besiyerine ekilmiş ve 37°C de inkübe edilmiştir. Ekim yapılan petriyeler sayılarak bakteri miktarındaki azalma belirlenmiştir. Sürekli sistemde başlangıç ve debiyeye bağlı olarak değişen hidrolik bekletme sürelerinin sonunda alınan örneklerin gerekli dilüsyonları yapılarak katı besiyerine ekilmiş ve 37°C de inkübe edilmiştir. Ekim yapılan petriyeler sayılarak bakteri miktarındaki azalma belirlenmiştir.



Şekil 7.4: Kesikli İşletim Sistemi



Şekil 7.5: Sürekli İşletim Sistemi

7.2. Suda Eşlik Eden Çeşitli Ortam İyonlarının Etkisinin İncelenmesi

Çalışmada suda eşlik eden ortam iyonlarının ultrasonik dezenfeksiyon işlemine olan etkisini incelemek amacıyla, 1×10^5 cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde, içme ve kullanma suyu standartlarında belirtilen iyon derişimleri göz önünde bulundurularak 0.02 M SO_4^{-2} , 0,01M SO_4^{-2} , 8.2 mM HCO_3^- ve 4.1 mM HCO_3^- , 4 mM NO_3^- ve 8 mM NO_3^- iyonları USR22'ye kesikli ve sürekli sistemde ilave edilmiştir.

7.3. Suda Çözünmüş Halde Bulunan Azot Gazının Etkisinin İncelenmesi

Çalışmada 1×10^5 cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde, 100 mL çalışma çözeltilisine kesikli ve sürekli sistemde 8L/h N_2 , 12L/h N_2 , ve 16 L/h N_2 hava akış hızları ile verilen azot gazının ultrasonik dezenfeksiyona olan etkisi incelenmiştir.

7.4. Ag^+ İyonunun Etkisinin İncelenmesi

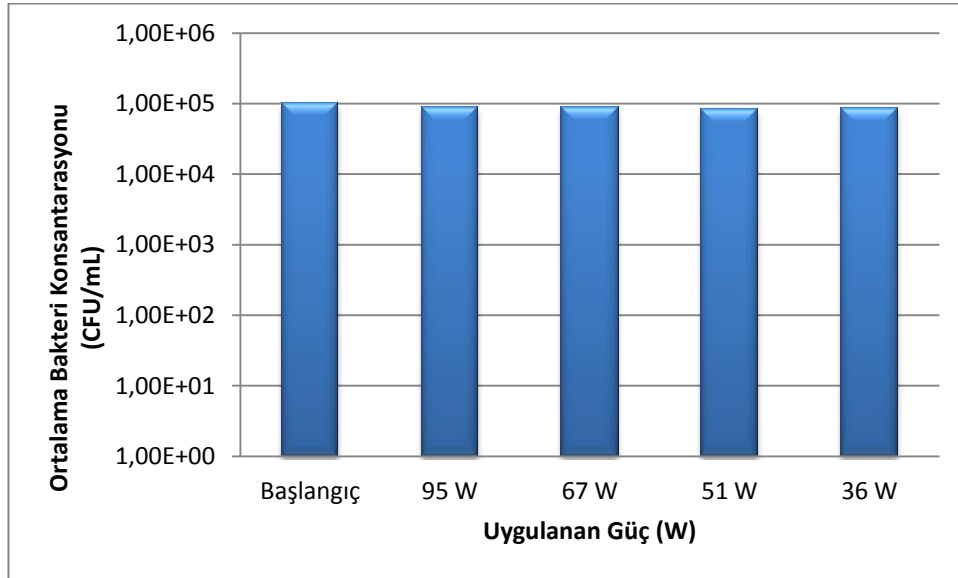
Başlangıç hücre derişimi 10^4 - 10^5 cfu/mL olan ve 0.005 mM Ag^+ , 0.01 mM Ag^+ ve 0.1 mM Ag^+ iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 22, 36 ve 833kHz frekanslarda 100 mL çalışma çözeltilisiyle kesikli ve sürekli sistemde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

8.DENEYSEL ÇALIŞMALAR DAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

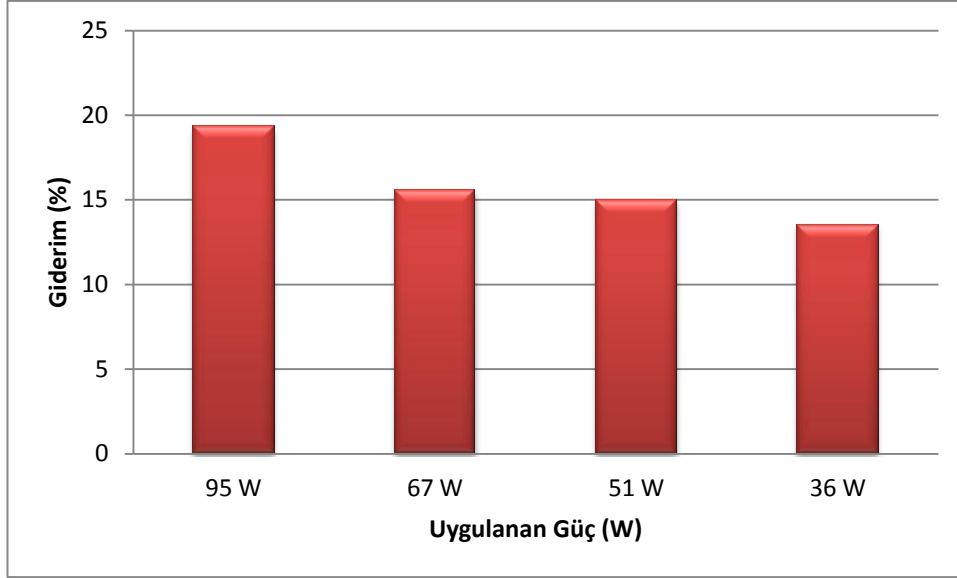
Yapılan deneysel çalışma sonuçları, farklı ultrasonik frekansların etkisinin incelenmesi, ultrasonik hidrolik bekletme süresinin incelenmesi, uygulanan güç yoğunluğunun etkisinin incelenmesi, sucul sistemlerde bulunan ortam iyonlarının etkisinin incelenmesi, sistemde çözülmüş halde bulunan azot gazının etkisinin incelenmesi ve gümüş iyonunun etkisinin incelenmesi başlıkları altında toplanmıştır.

8.1. Farklı Ultrasonik Frekans Değerlerinin Etkisinin İncelenmesi

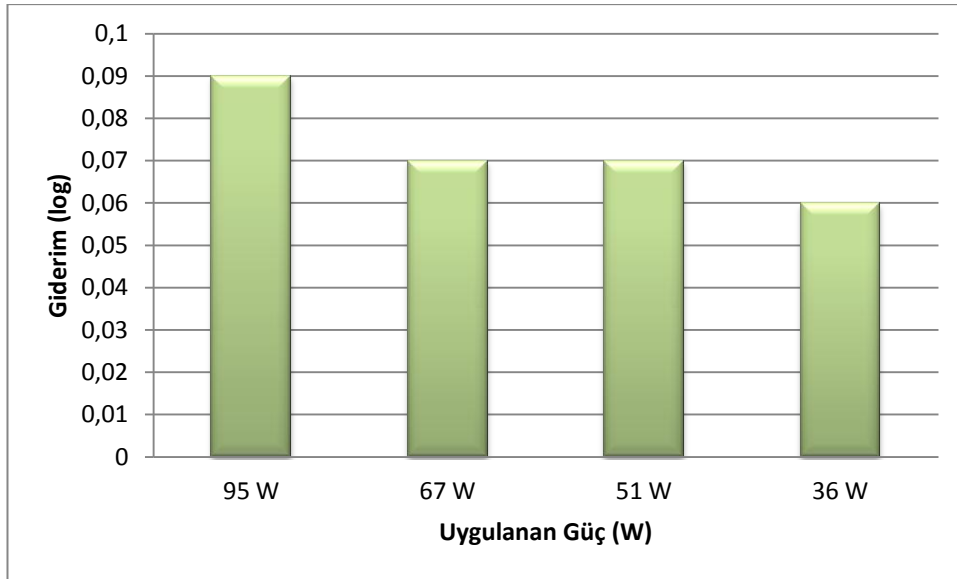
Farklı başlangıç bakteri derişimlerinde (1×10^4 cfu/mL, 1×10^5 cfu/mL) gerçekleştirilen uygulanan gücün etkisinin incelendiği çalışmanın sonuçları Şekil 8.1, Şekil 8.2. ve Şekil 8.3.'de verilmiştir.



Şekil 8.1: Uygulanan Gücün Bakteri Giderimine Etkisi



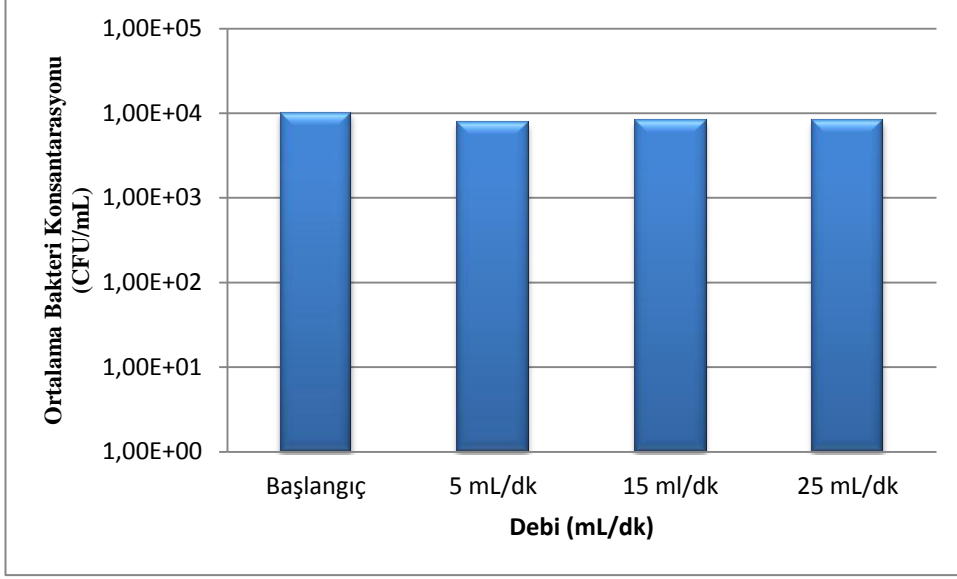
Şekil 8.2: Uygulanan Gücün Bakteri Giderim Yüzdesine Olan Etkisi



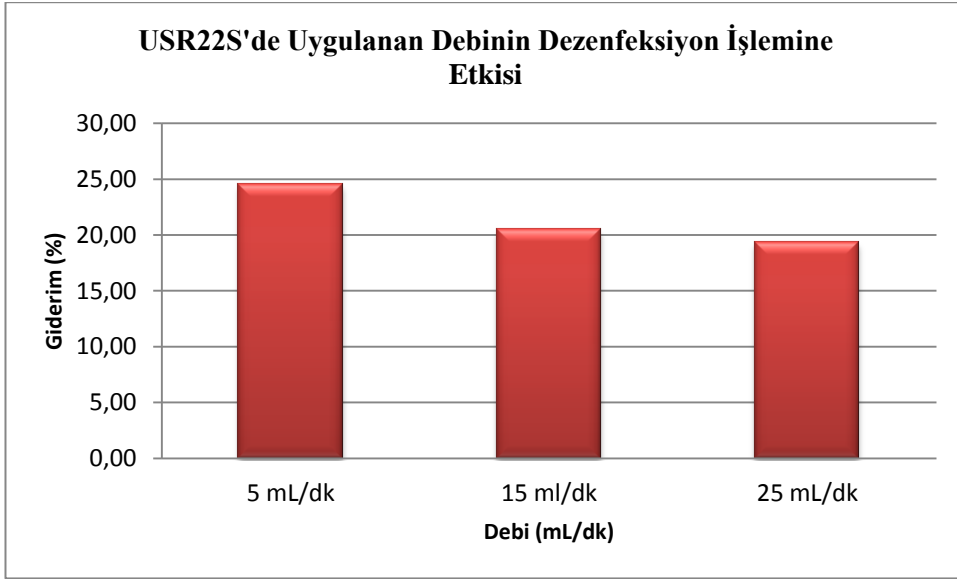
Şekil 8.3: Uygulanan Gücün Logaritmik Bakteri Giderime Olan Etkisi

Bu çalışma sonrasında en iyi giderim veriminin elde edildiği 95 W güçte 5 mL/dk , 15 mL/dk ve 25 mL/dk debiler ile çalışmalar yinelenecek ultrasonik temas süresinin etkisi incelenmiştir.

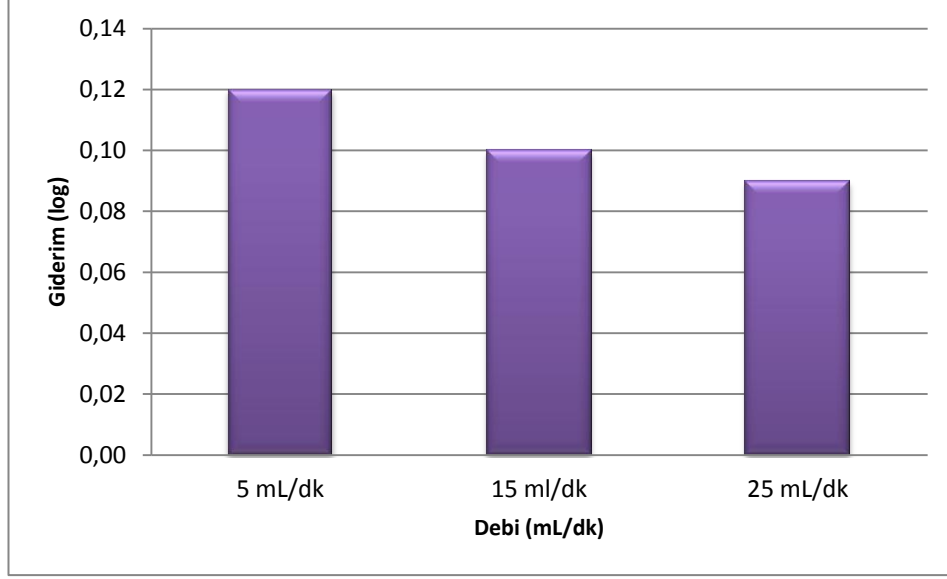
Ultrasonik temas süresinin etkisinin incelendiği çalışmanın sonuçları Şekil 8.4., Şekil 8.5. ve Şekil 8.6.'da verilmiştir.



Şekil 8.4: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi



Şekil 8.5: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi (Yüzde)

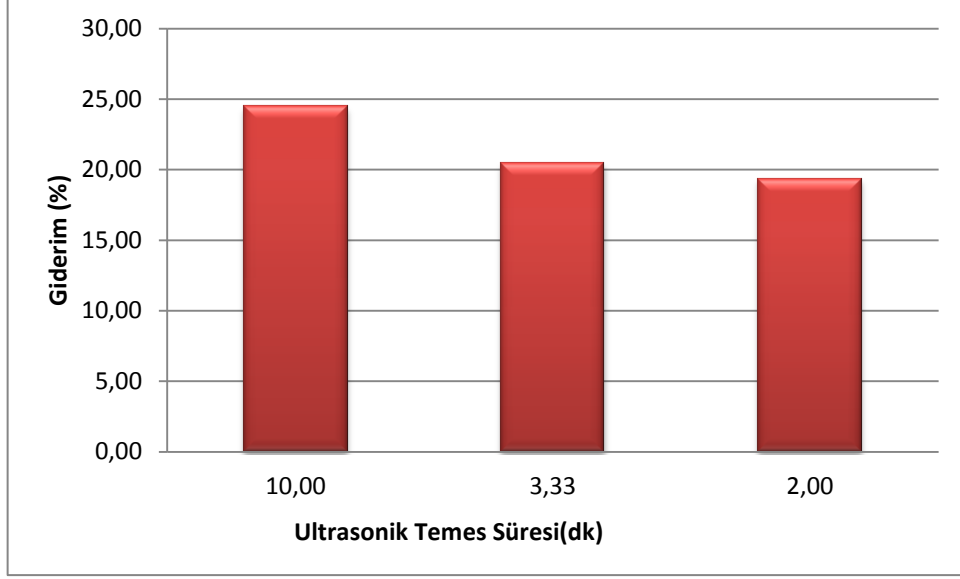


Şekil 8.6: USR22S'de Uygulanan Debinin Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi (Logaritmik)

USR22S sisteminde uygulanan debi değerlerine karşılık gelen ultrasonik temas süreleri hesaplanarak, elde edilen bakteri giderimleri Tablo 8.1'de özetlenmiştir.

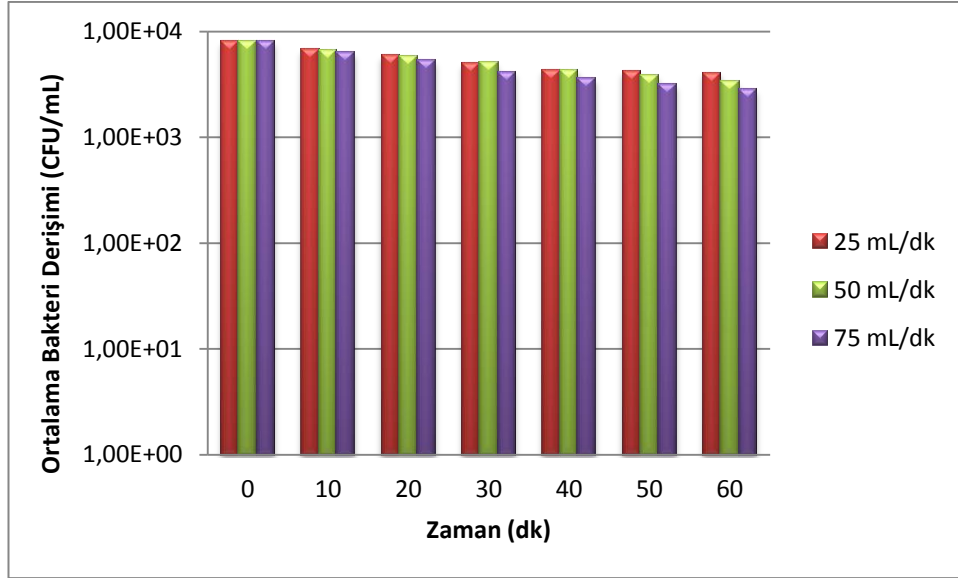
Tablo 8.1: Ultrasonik Temas Süresinin Etkisinin İncelendiği Çalışmanın Sonuçları

Debi(ml/dk)	Ultrasonik Temas Süresi(dk)	Giderim (%)	Giderim (log)
5 mL/dk	10,00	24,46	0,12
15 mL/dk	3,33	20,44	0,10
25 mL/dk	2,00	19,34	0,09

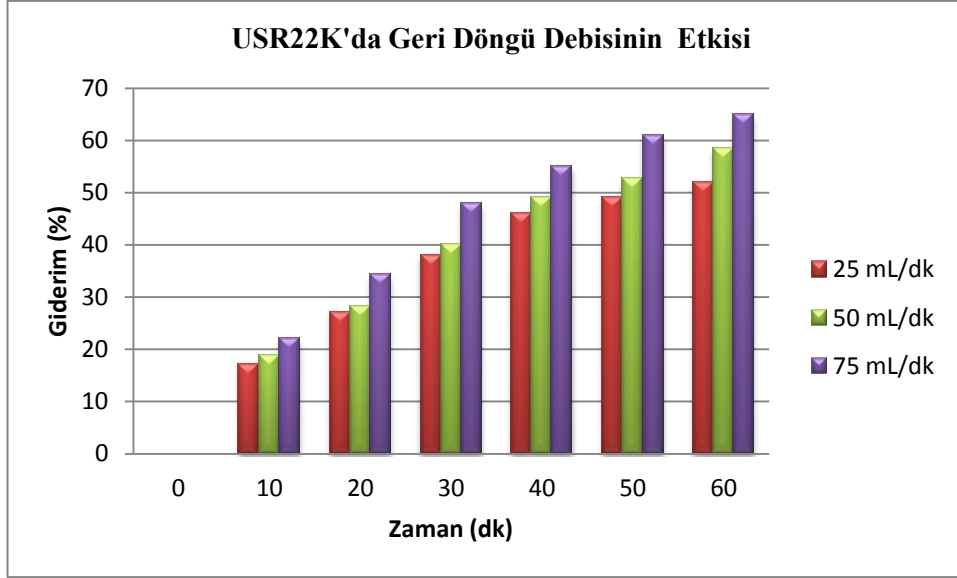


Şekil 8.7: Ultrasonik Temas Süresinin Etkisinin İncelendiği Çalışmanın Sonuçları

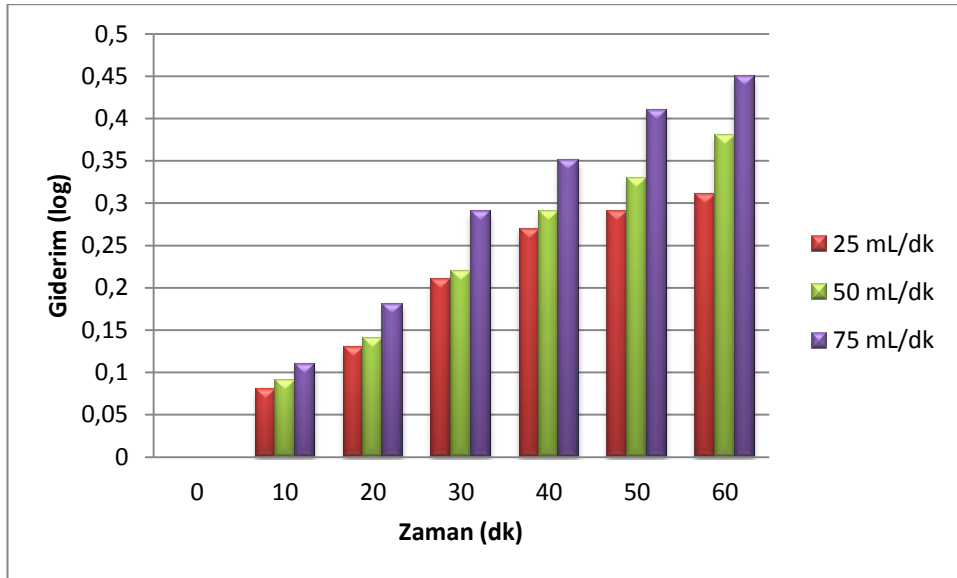
Bu çalışma sonrasında en iyi giderim veriminin elde edildiği 95 W güçte 25 mL/dk , 50 mL/dk ve 75 mL/dk debiler ile çalışmalar kesikli sistemde yinelenmiştir. USR22K sisteminde gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları Şekil 8.8., Şekil 8.9. ve Şekil 8.10.'da verilmiştir.



Şekil 8.8: Geridöngü DebisininUSR22K'da Bakteri Giderimine Etkisi



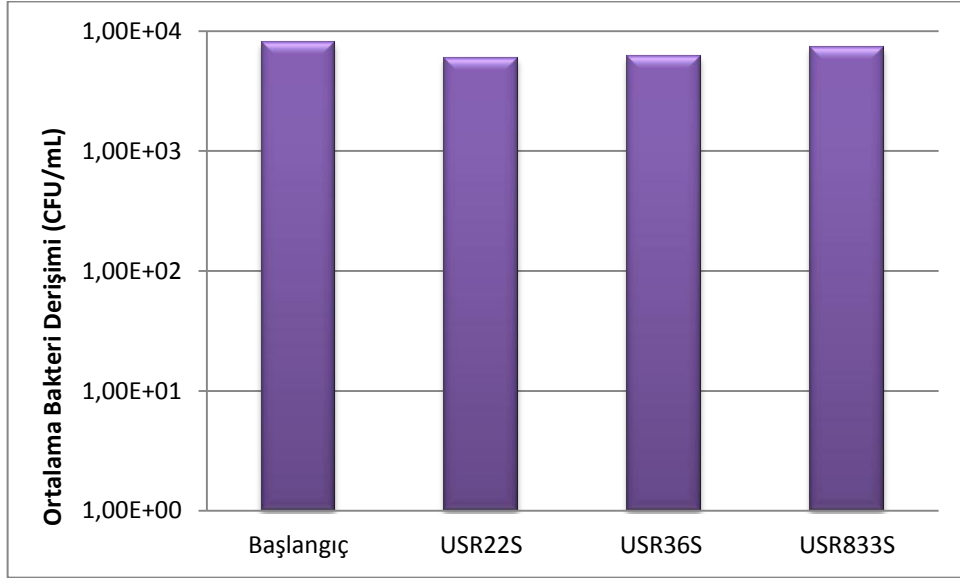
Şekil 8.9: Geridöngü Debinin Bakteri Giderim Yüzdesine Etkisi



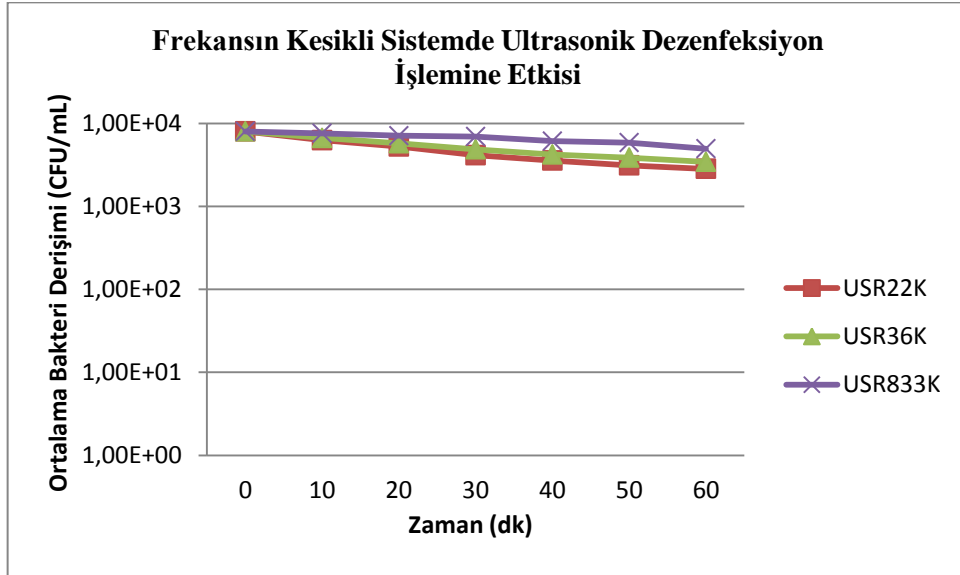
Şekil 8.10: Geridöngü Debinin USR22K'da Logaritmik Bakteri Giderimine Etkisi

Yapılan bu çalışmaların sonunda 95 W güç uygulanarak USR22K sisteminde 75 mL/dk debinin en uygun giderim verimi sağladığı belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra gerçekleşen tüm kesikli sitemlerde için 75 mL/dk debi kullanılmıştır.

Ultrasonik frekansın dezenfeksiyon işlemine etkisini görmek amacıyla 22 kHz'de sürekli ve kesikli sistemlerde gerçekleştirilen çalışmalar 36 kHz ve 833 kHz rekansalarda tekrar edilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları Şekil 8.11 ve Şekil 8.12'de verilmiştir.



Şekil 8.11 :Sürekli Sistemde Frekansın Ultrasonik Dezenfeksiyona Etkisi

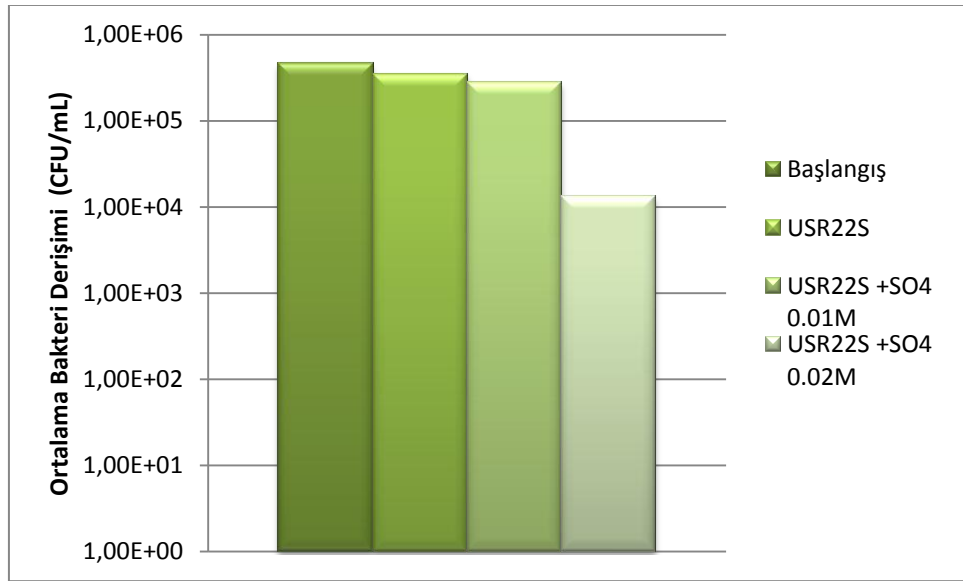


Şekil 8.12 :Kesikli Sistemde Frekansın Ultrasonik Dezenfeksiyona Etkisi

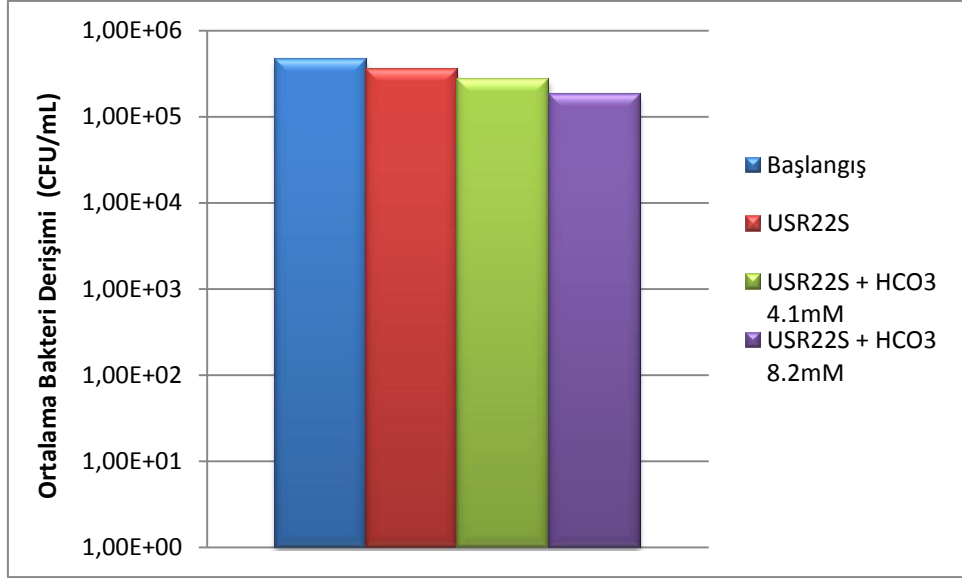
8.2. Suda Eşlik Eden Çeşitli Ortam İyonlarının Etkisinin İncelenmesi

Çalışmada 1×10^5 cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde, içme ve kullanma suyu standartlarında belirtilen derişimler göz önünde bulundurularak ilave edilen 0.02 M SO_4^{-2} , 0,01M SO_4^{-2} , 8.2 mM HCO_3^{-} ve 4.1 mM HCO_3^{-} , 4 mM NO_3^{-} ve 8 mM NO_3^{-} iyonlarının etkisi incelenmiştir.

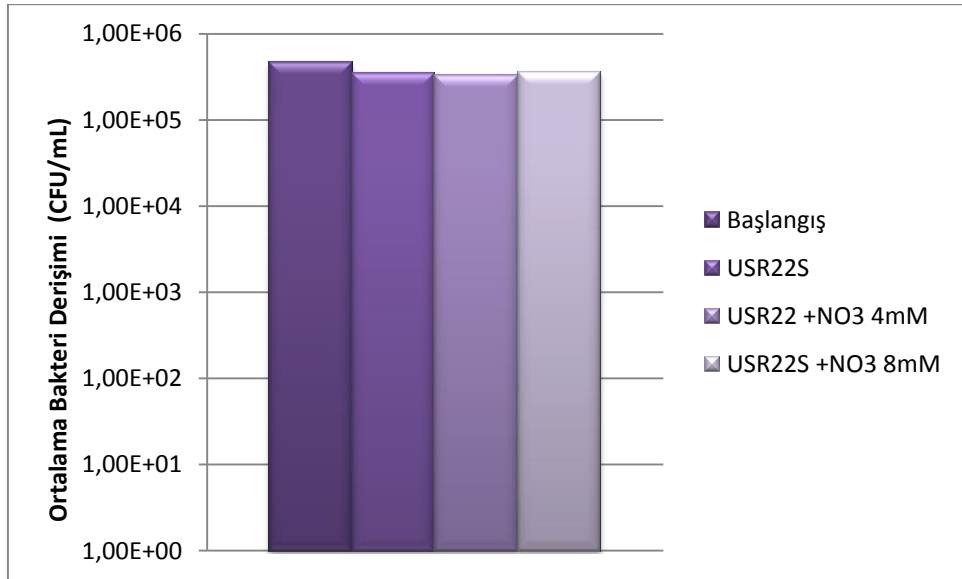
Sürekli sistemde 10 dakika temas süresinde 95 W güç uygulanarak 0.02 M SO_4^{-2} , 0,01M SO_4^{-2} , 8.2 mM HCO_3^{-} ve 4.1 mM HCO_3^{-} , 4 mM NO_3^{-} ve 8 mM NO_3^{-} iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi Şekil 8.13, Şekil 8.14, Şekil 8.15 ve Şekil 8.6'de gösterilmiştir.



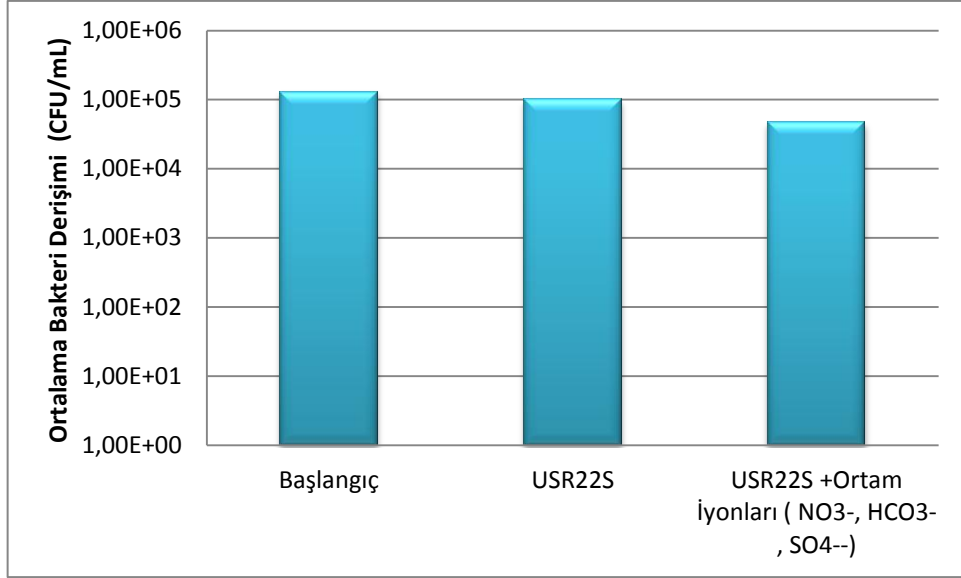
Şekil 8.13: Sülfat iyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi



Şekil 8.14: Bikarbonatinyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi

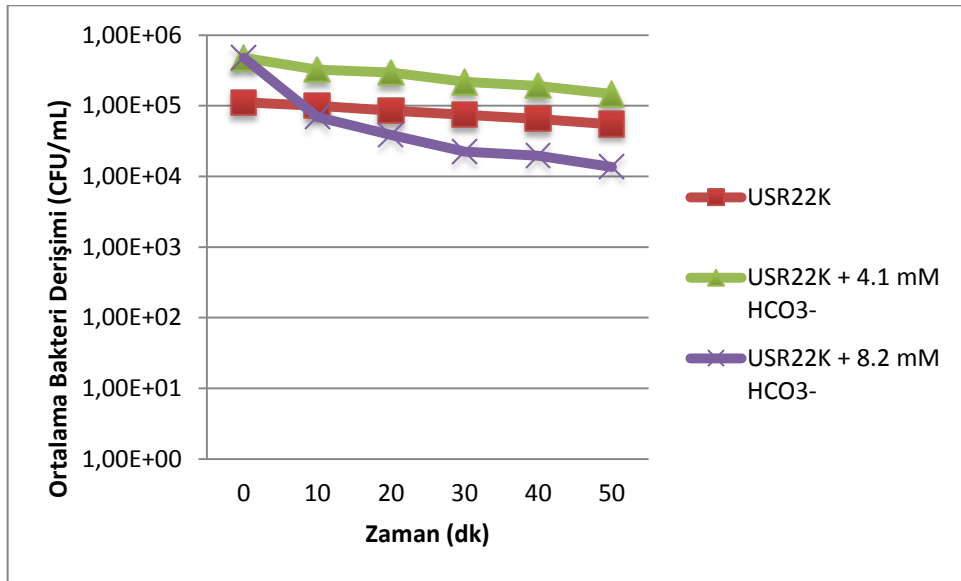


Şekil 8.15: Nitrat iyonunun Ultrasonik Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi

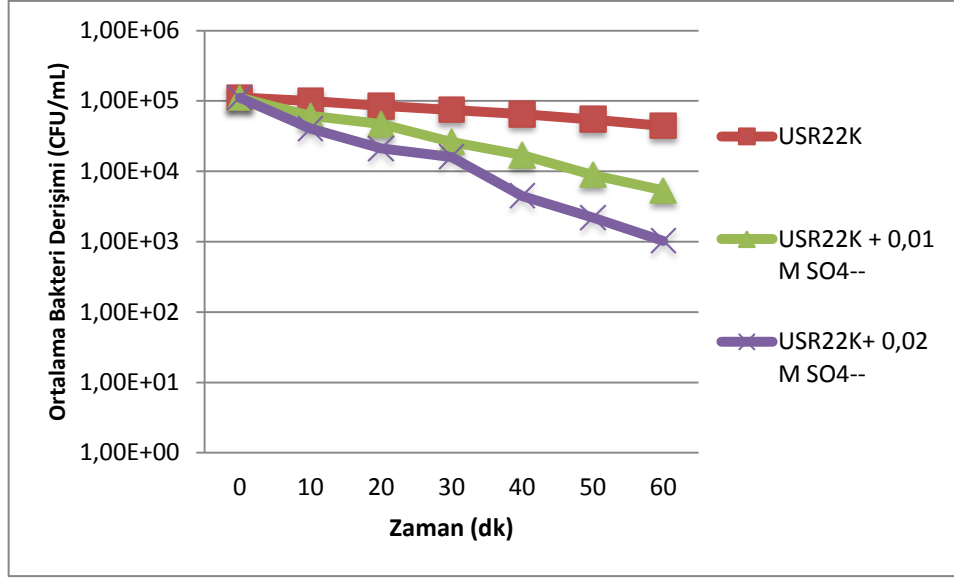


Şekil 8.16: Ortam İyonlarının Etkisi

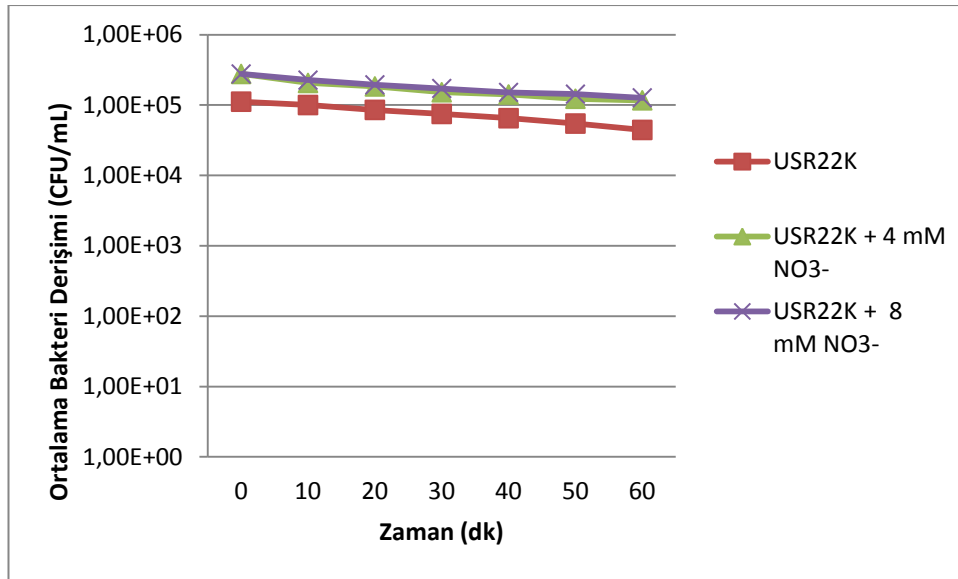
Kesikli sistemde 75 mL/dk debi ve 95W güç uygulanarak 0.02 M SO₄⁻², 0,01M SO₄⁻², 8.2 mM HCO₃⁻ ve 4.1 mM HCO₃⁻, 4 mM NO₃⁻ ve 8 mM NO₃⁻ iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi Şekil 8.17, Şekil 8.18 ve Şekil 8.19'da gösterilmiştir.



Şekil 8.17: USR22K Sistemde Bikarbonat İyonunun Etkisi

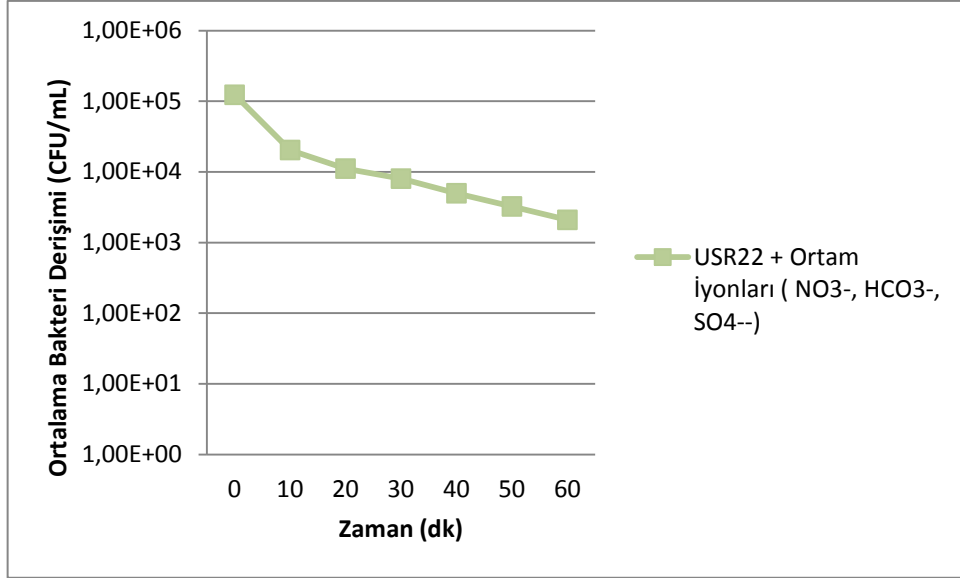


Şekil 8.18: USR22 K Sistemde Sülfat İyonunun Etkisi

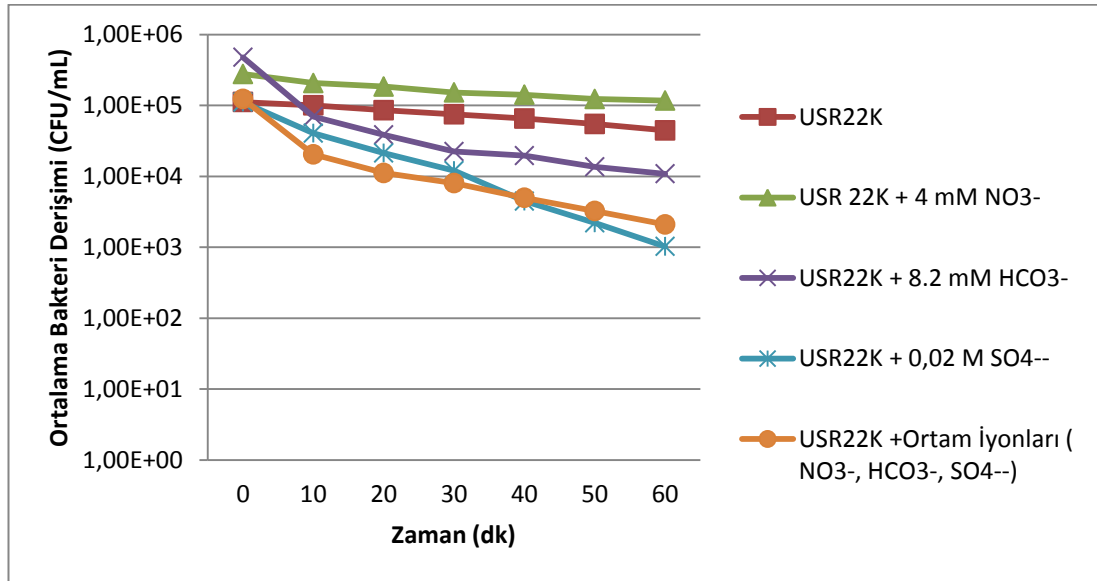


Şekil 8.19: USR22K Sistemde Nitrat İyonunun Etkisi

Çalışmalar sonucunda sülfat ve bikarbonat iyonlarının kaviteasyon oluşumunu hızlandırıcı etkiye sahip zayıf noktaları oluşturmaları nedeniyle ultrasonik dezenfeksiyon işlemine olumlu yönde etkileri gözlemlenmiştir. Nitrat iyonunun ultrasonik dezenfeksiyon işlemine bunun tersi yönde etki yatattığı gözlemlenmiştir. Önceki çalışmalarda nitratın katalizörle ultasonik sistemde nitrit iyonuna indirgendiği belirtilmiştir(Silva ve ark., 2006). Ultasonik dezenfeksiyon mekanizması içinde de ultrasoundun nitratın nitrite dönüşmesini sağlayan indirgen özelliğın olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 8.20: Üç Ortam İyonunun Ultrasonik Sistemde Birlikte Yarattığı Etki



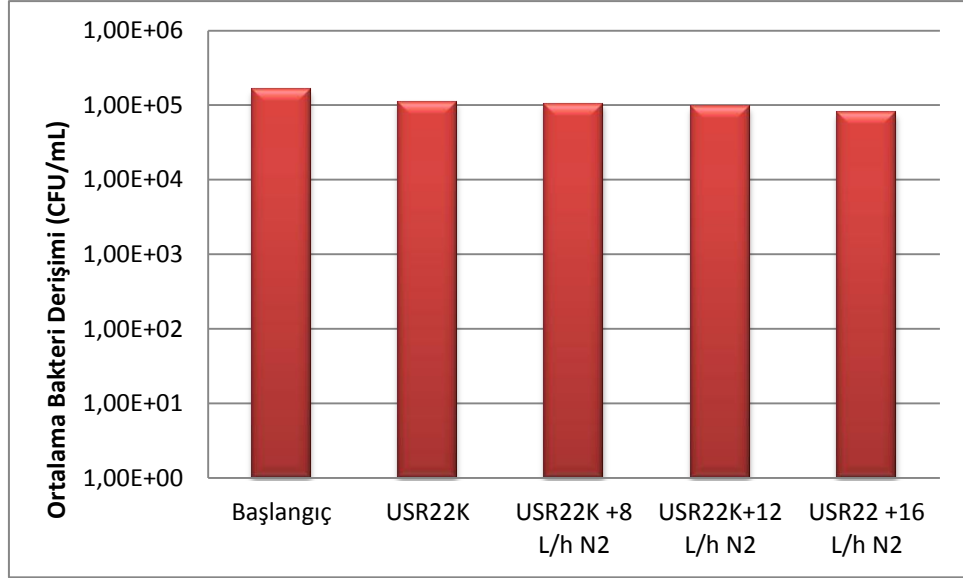
Şekil 8.21: Ortam İyonlarının Dezenfeksiyon İşlemine Etkisi

8.3. Suda Çözünmüş Halde Bulunan Azot Gazının Etkisinin İncelenmesi

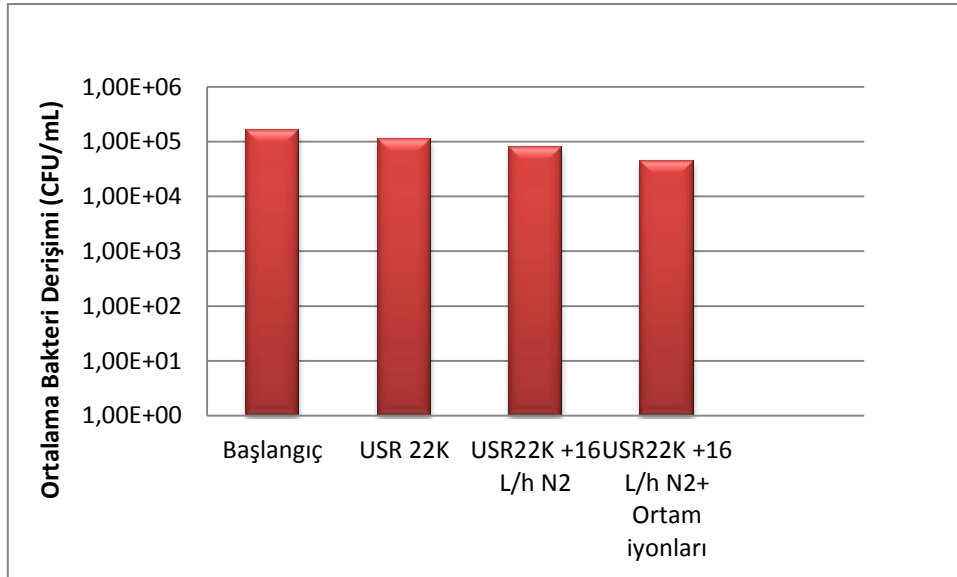
Çalışmada 1×10^5 cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde, 100 mL çalışma çözültisi ile USR22S ve USR22K sistemlerinde 95 W güç uygulanarak 8 L/h N_2 ,

12L/h N₂, ve 16 L/h N₂ hava akış hızları ile sisteme verilen azot gazının ultrasonikdezenfeksiyona olan etkisi incelenmiştir.

USR22S Sistemine ilave edilen azot gazı debisinin etkisi Şekil 8.22’de, ortam iyonları ile azot gazının birlikte yarattığı etki Şekil 8.23’de verilmiştir.

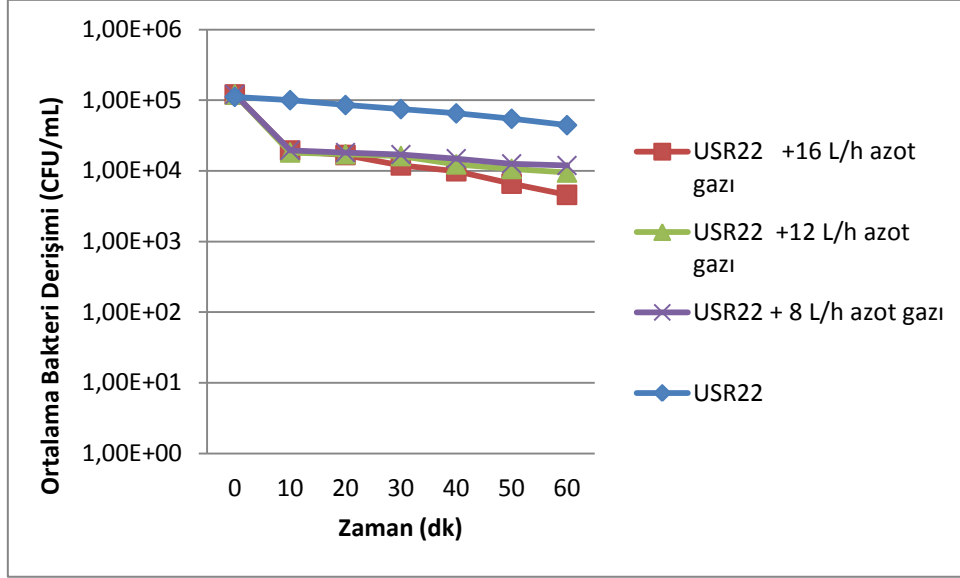


Şekil 8.22: USR22S'e İlave Edilen Azot Gazı Debisinin Etkisi

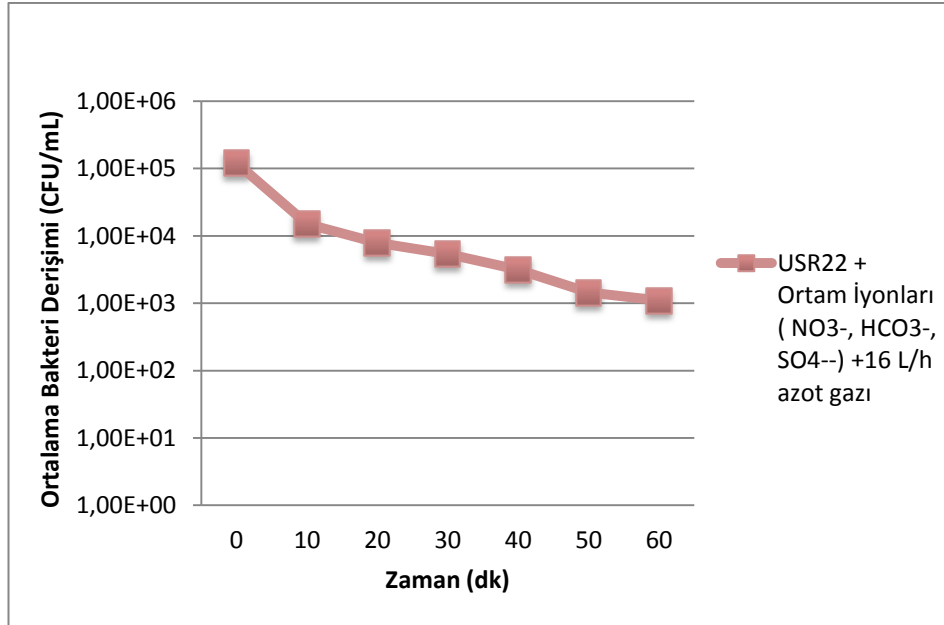


Şekil 8.23: USR22S Sistemine İlave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi

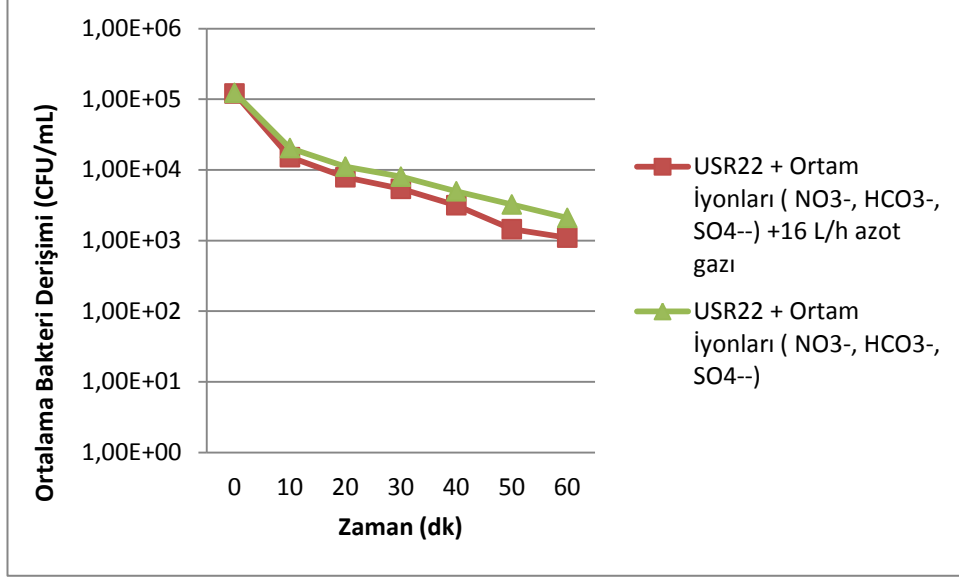
USR22K Sistemine ilave edilen azot gazı debisinin etkisi Şekil 8.24’de, ortam iyonları ile azot gazının birlikte yarattığı etki Şekil 8.25’te verilmiştir.



Şekil 8.24: USR22K Sistemine İlave Edilen Azot Gazı Debisinin Etkisi



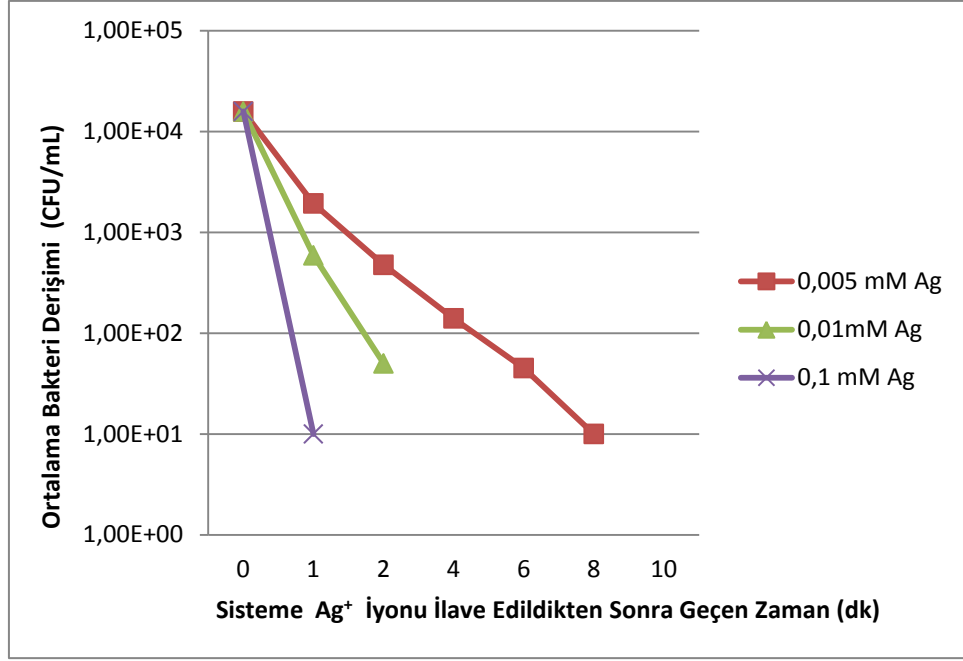
Şekil 8.25: USR22K Sistemine ilave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi



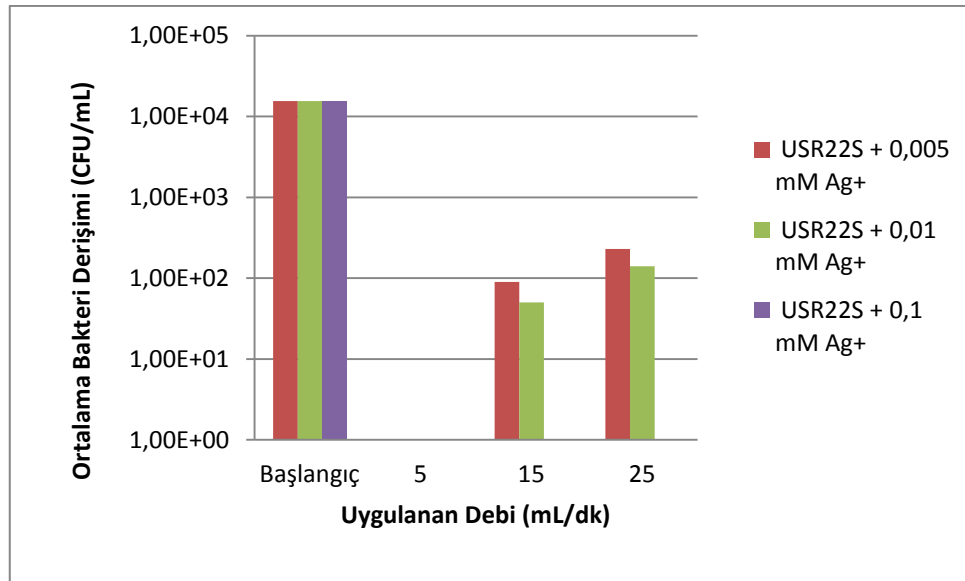
Şekil 8.26: USR22K Sistemine İlave Edilen Azot Gazının ve Ortam İyonlarının Etkisi

8.4. Gümüş İyonunun Klebsiella pneumonia Dezenfeksiyonu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

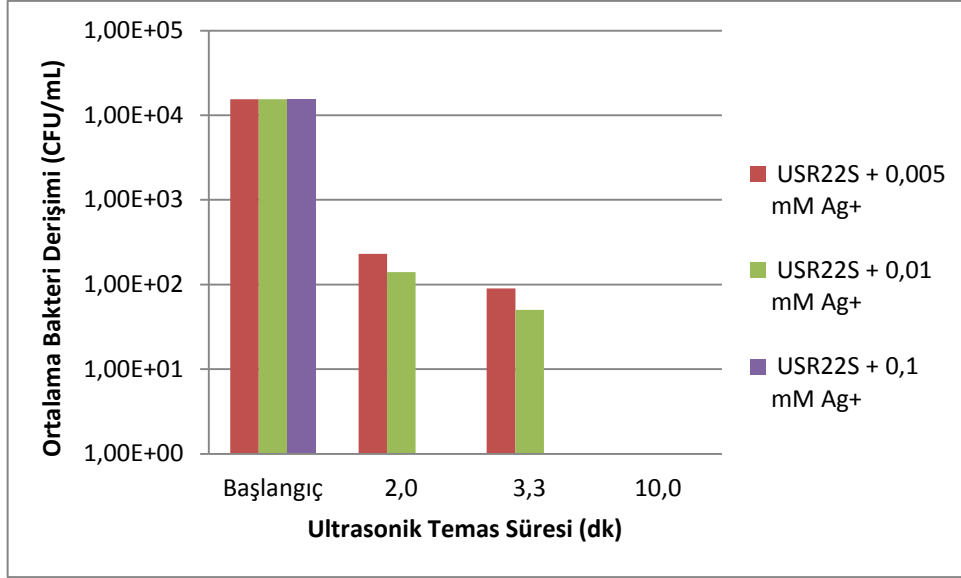
Başlangıç hücre derişimi 10^4 cfu/mL olan ve 0.005 mM Ag⁺, 0.01 mM Ag⁺ ve 0.1 mM Ag⁺ iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 22, 36 ve 833 kHz frekanslarda ultrasonik 95 W güç uygulanarak sürekli ve kesikli sistemde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.



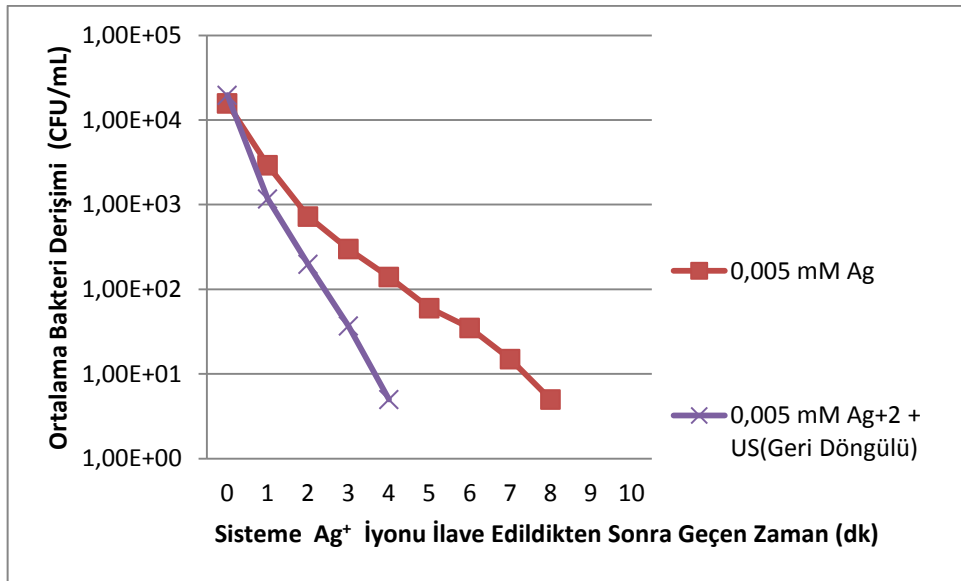
Şekil 8.27: Farklı Gümüş İyonu Derişimleri ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemi



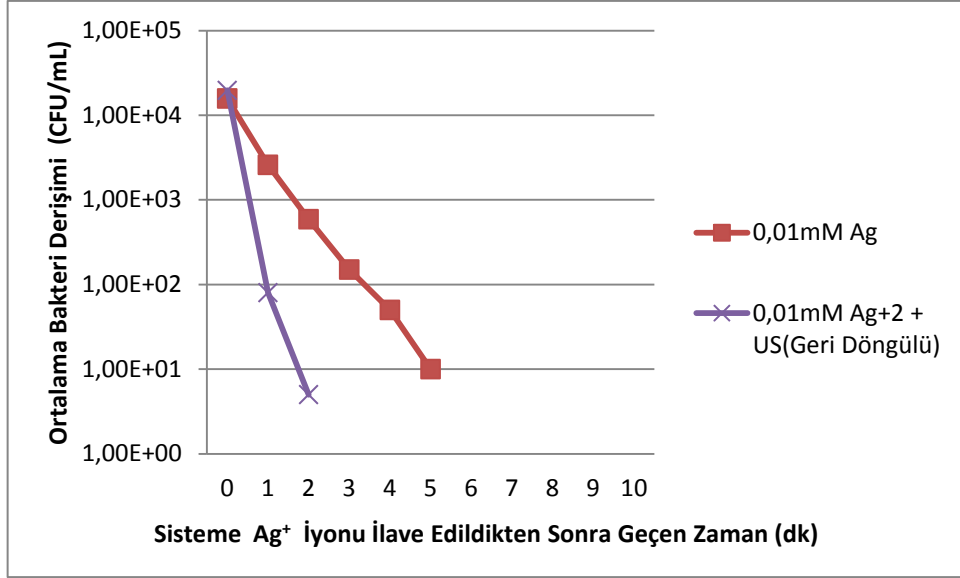
Şekil 8.28: USR22'de Ag⁺ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



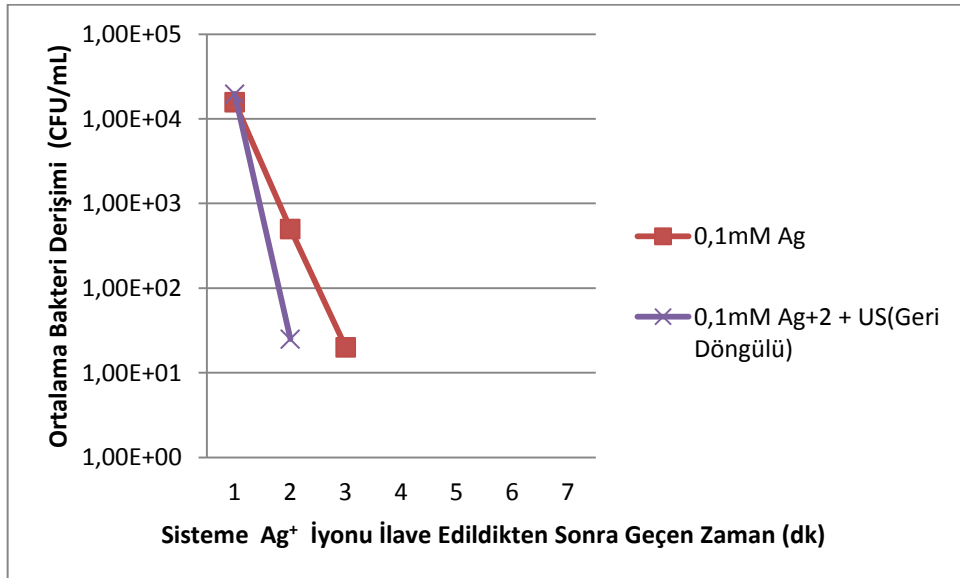
Şekil 8.29: USR22’de Ag⁺ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



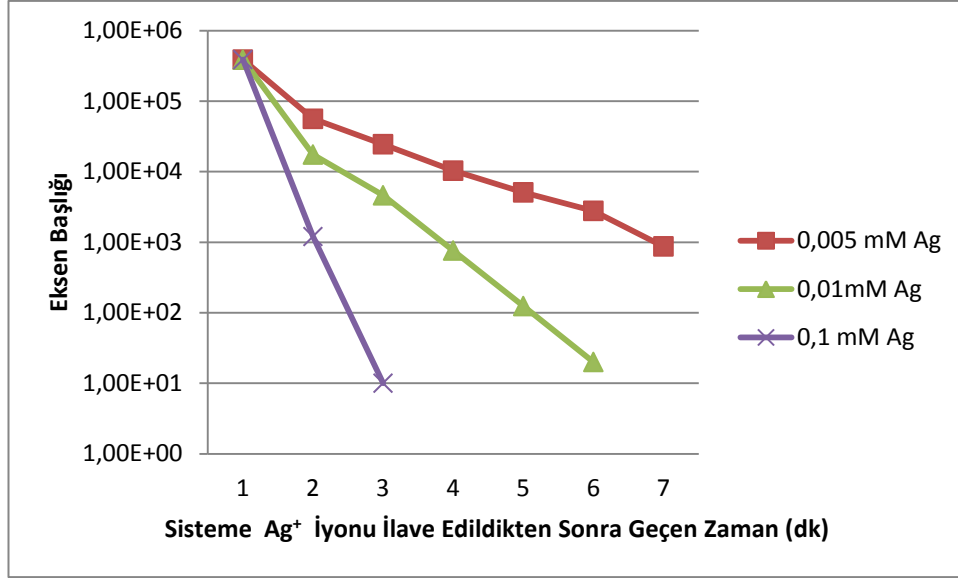
Şekil 8.30: USR22’de 0.005 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



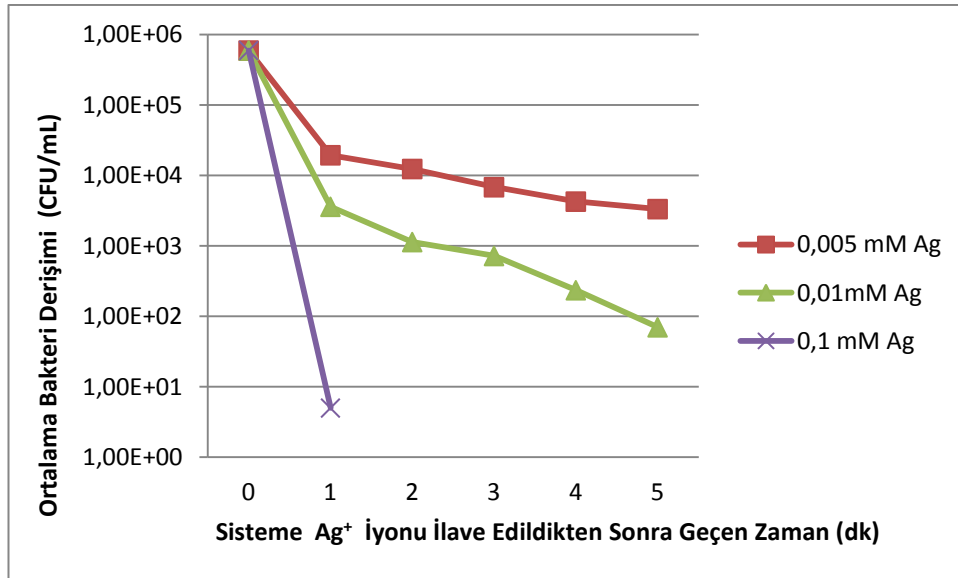
Şekil 8.31: USR22’de 0.01 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



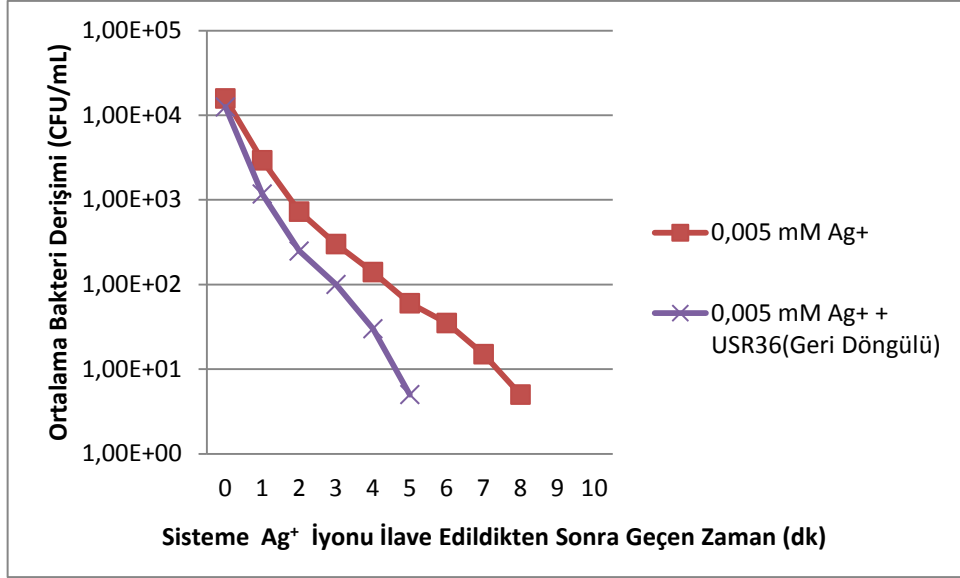
Şekil 8.32: USR22’de 0.1 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



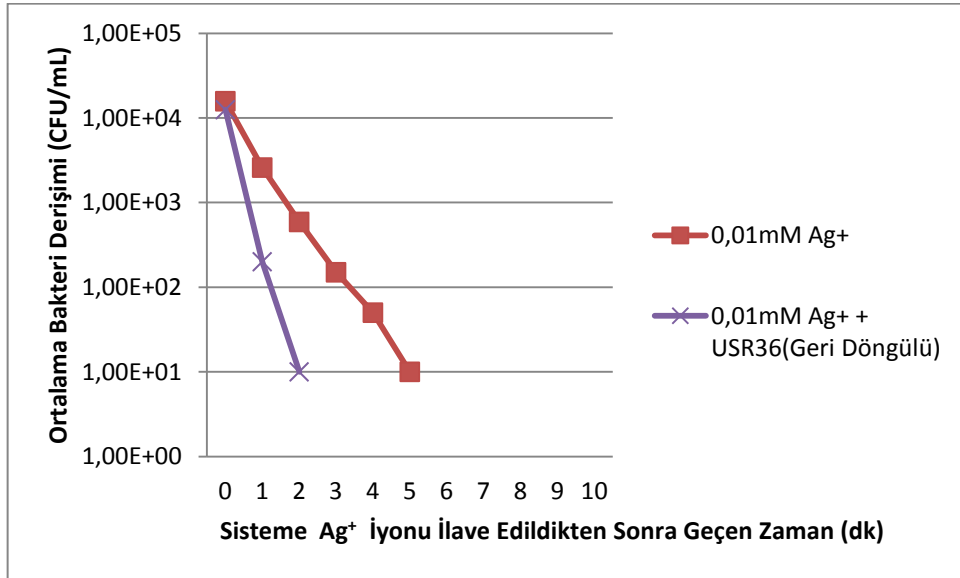
Şekil 8.33: USR22S’de 1×10^5 CFU/mL Bakteri Derişiminde Ag^+ ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



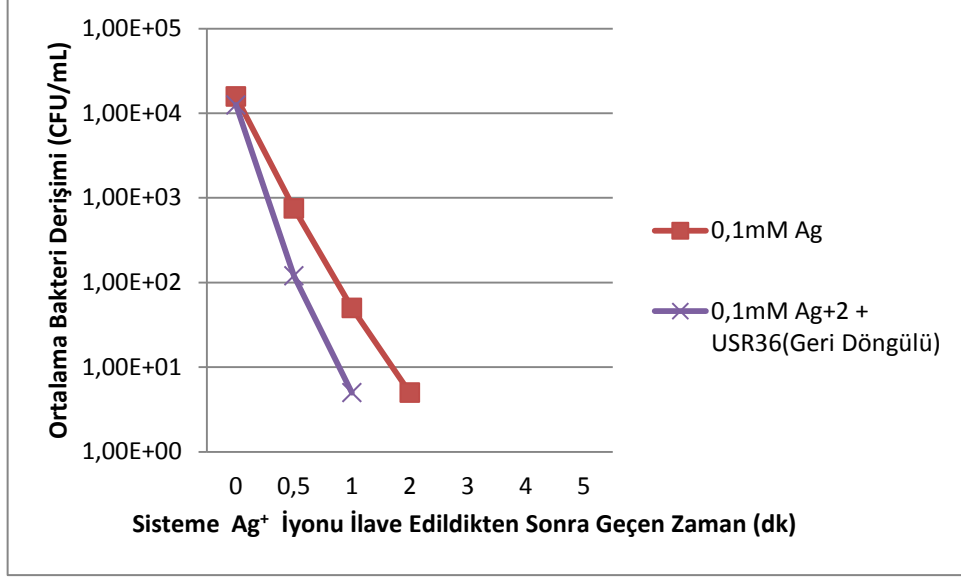
Şekil 8.34: USR22K’de 1×10^5 CFU/mL Bakteri Derişiminde Sistemde Ag^+ ile Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



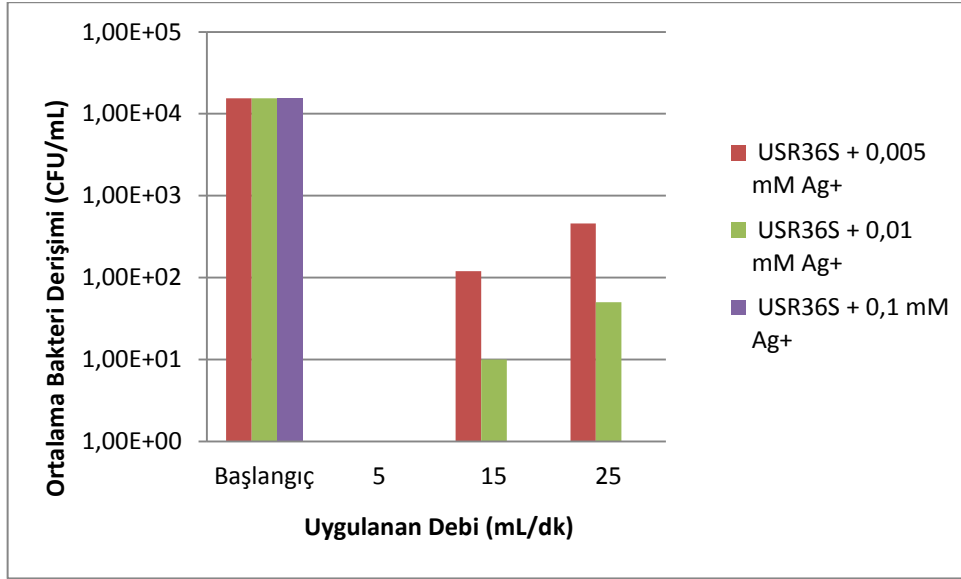
Şekil 8.35: USR36'da 0.005 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



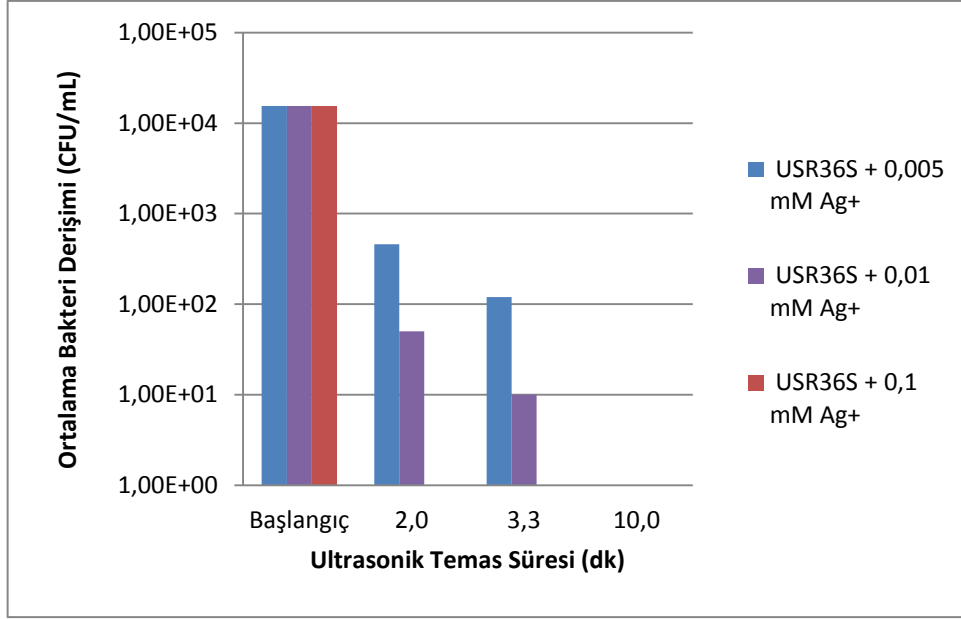
Şekil 8.36: USR36'da 0.01 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



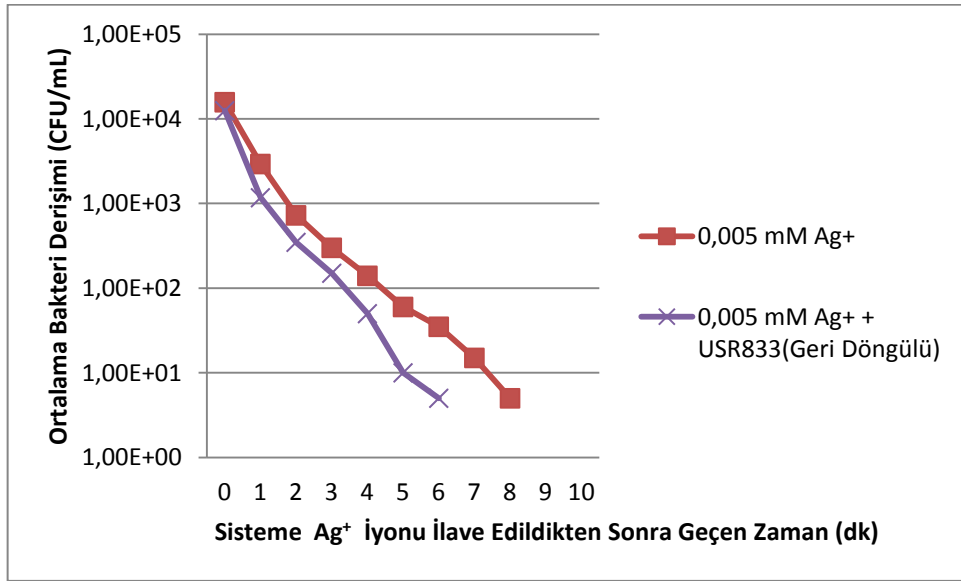
Şekil 8.37: USR36'da 0.1 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



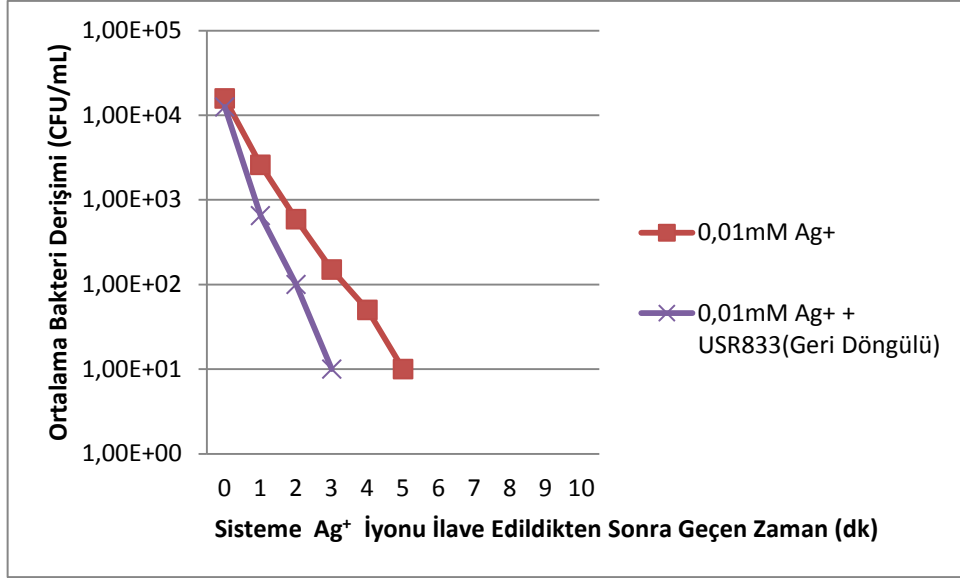
Şekil 8.38: USR36'da Ag⁺ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



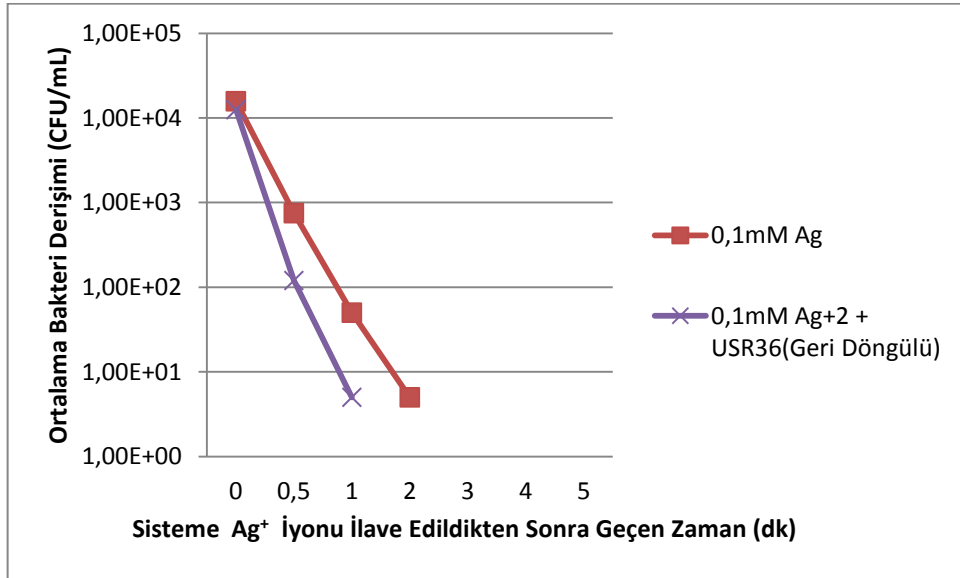
Şekil 8.39: USR36'da Ag^+ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



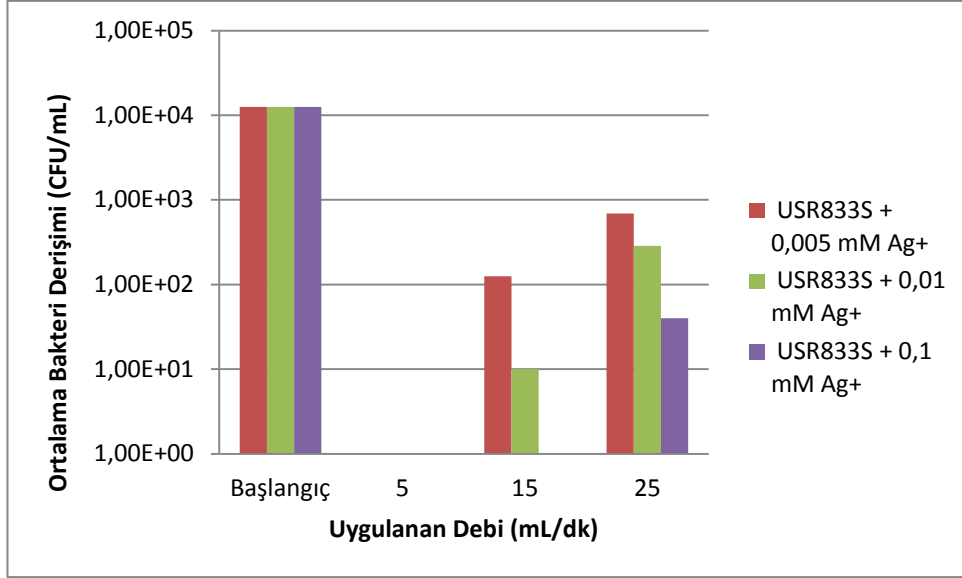
Şekil 8.40: USR833'de 0.005 mM Ag^+ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



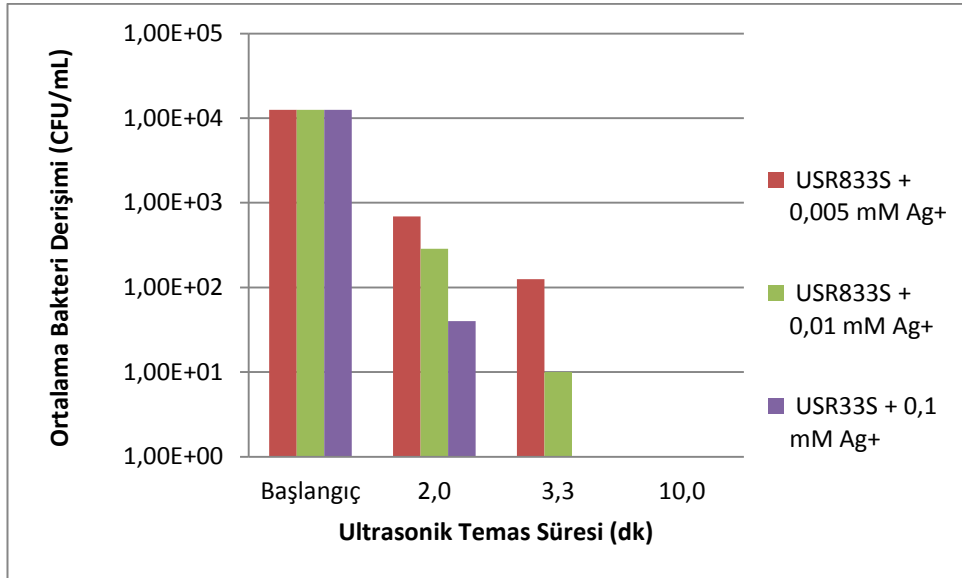
Şekil 8.41: USR833’de 0.01 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



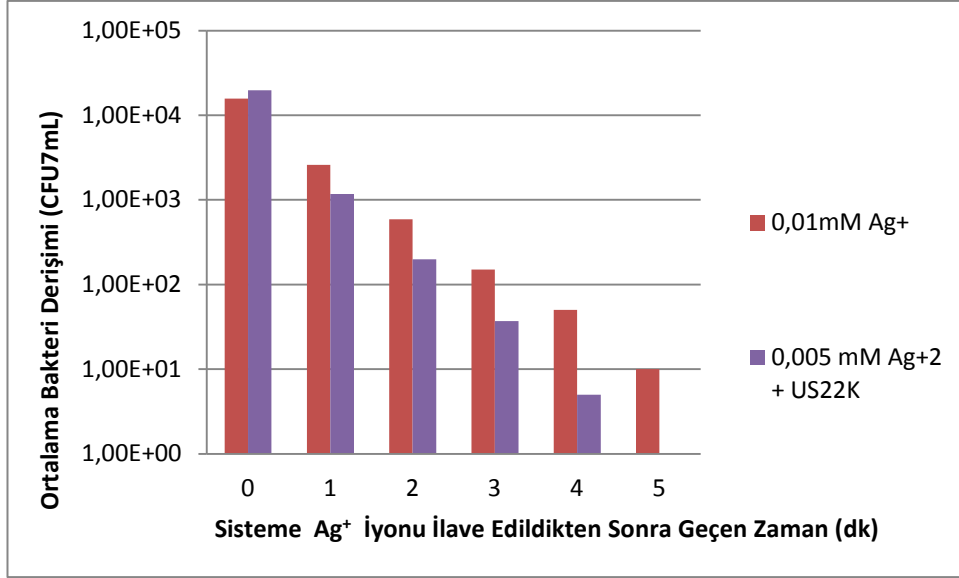
Şekil 8.42: USR833’de 0.01 mM Ag⁺ ile Kesikli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon İşlemleri



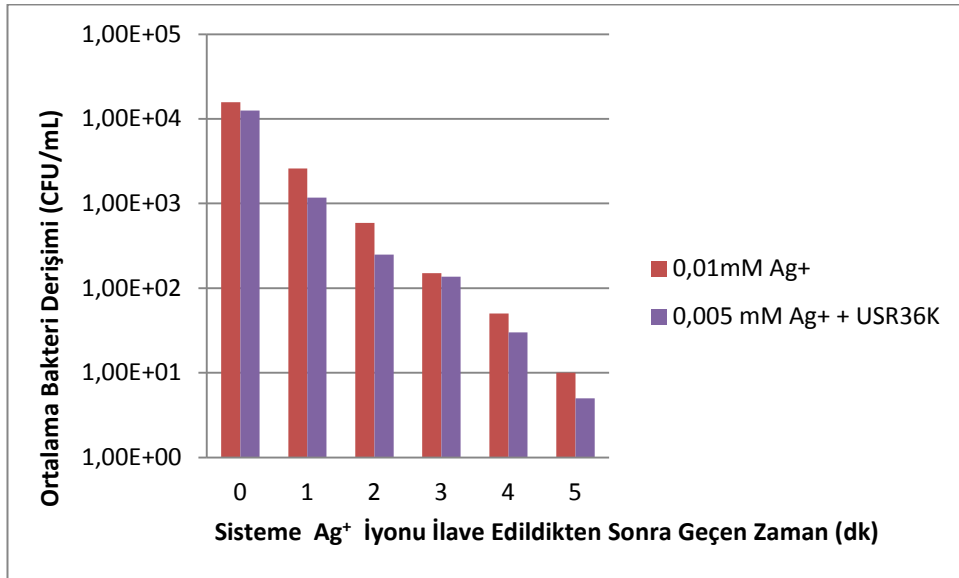
Şekil 8.43: USR833'de Ag⁺ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



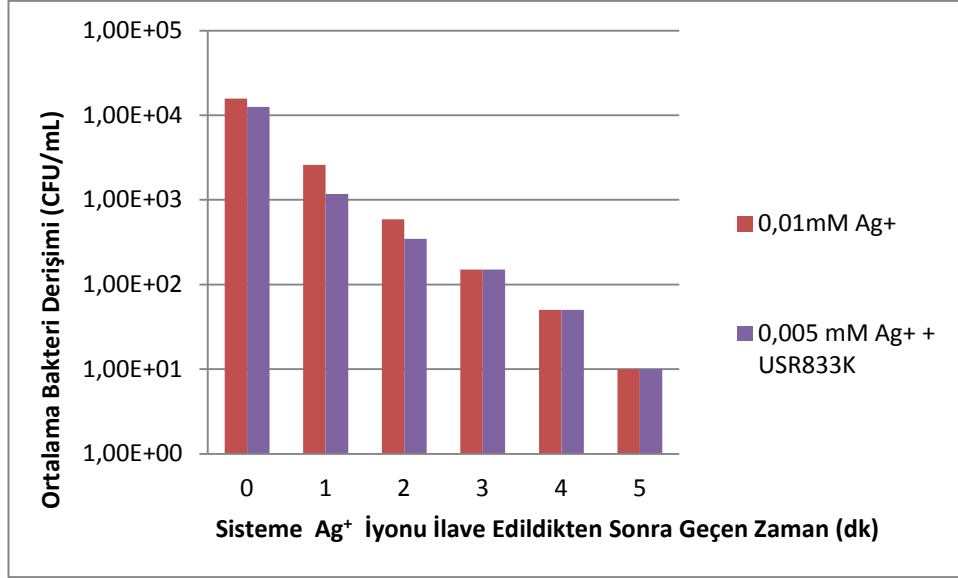
Şekil 8.44: USR833'de Ag⁺ ile Sürekli Sistemde Gerçekleştirilen Dezenfeksiyon



Şekil 8.45: USR22'nin Dezenfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi



Şekil 8.46: USR36'nın Deznfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi



Şekil 8.47: USR833'ün Dezenfeksiyon İşleminde Kullanılan Gümüş Miktarına Etkisi

Ag⁺ iyonu ilavesinin, yalnızca ultrasound ile yapılan çalışmalardan çok daha kısa sürede mikroorganizma inaktivasyonu sağladığı gözlenmiştir. Bunun yanında Ultrasound ve Ag⁺'ün birlikte kullanımı sayesinde *Klebsiella pneumonia* dezenfeksiyonu için gereken gümüş miktarı %50 oranında azaltılmıştır.

9. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ultrasonik reaktörde gerçekleştirilen çalışmalarda en iyi sonuç 22 kHz frekansta elde edilmiştir.

Farklı başlangıç hücre derişimlerine sahip çalışma çözeltileri ile gerçekleştirilen deneylerde, hücre derişiminin artması, mikroorganizma giderimi için gereken sürenin artmasına neden olmuştur. En iyi *Klebsiella pneumonia* Giderimi 95 W güç uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Sürekli sistemde gerçekleştirilen çalışmalarda ultrasonik hidrolik bekletme süresi artıkça bakteri gideriminin arttığı sonucuna varılmıştır. Kesikli sistemde geridöngü debisi artıkça giderimin arttığı görülmüştür.

Sisteme eşlik eden iyonların kavitasyon başlatıcı zayıf noktaları oluşturma etkisi ile daha çok miktarda kavitasyon oluşturduğu bilinmektedir. Ultrasonik reaktör sisteminde SO_4^{2-} , HCO_3^- in bu yönde etkisi görülmüş, her ikisi içinde derişim artıkça mikroorganizma inaktivasyonunda artış olduğu gözlemlenmiştir. NO_3^- iyonunun varlığı ise, ultrasoundun inaktivasyon verimini azaltıcı yönde etkilemiştir.

Başlangıç hücre derişimi 10^5 cfu/mL olan ve farklı Ag^+ iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 22, 36 ve 833 kHz frekanslarda ultrasonik güç uygulanmıştır. Ag^+ iyonu ilavesinin, yalnızca ultrasound ile yapılan çalışmalardan çok daha kısa sürede mikroorganizma inaktivasyonu sağladığı gözlenmiştir. Bunun yanında Ultrasound ve Ag^+ ün birlikte kullanımı sayesinde *Klebsiella pneumonia* dezenfeksiyonu için gereken gümüş miktarı %50 oranında azaltılmıştır.

10. ÖNERİLER ve TARTIŞMALAR

Ultrasonik ortamda bulunabilecek iyonların mikroorganizma inaktivasyonu üzerine etkileri çalışılmış, hedeflenen mikroorganizma inaktivasyon verimlerine ulaşılmıştır. Ultrasonik sistemde farklı bakteri derişimlerinin, farklı frekansların, ortamda bulunabilecek ve ilave edilen iyonların mikroorganizma giderim performansına olumlu veya olumsuz olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmayla ultrasound sisteminde mikroorganizma giderimine etkili olabilecek birçok parametre incelenmiş, literatüre katkı sağlayacak veriler elde edilmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmanın içme ve kullanma suyu artımında önemli bir gelişme olacağı ve ulusal kazanımlar sağlayacağı açıktır.

Çalışma ile içme ve kullanma suyunun ultrasound ile mikrobiyolojik olarak arıtılabileceği sonucuna varılmıştır. Ultrasonik sistemin tek başına veya hibrit olarak çalıştırılması ile çok daha yüksek verimlerde mikroorganizma inaktivasyonu önerilebilir.

Yapılan çalışmalar küçük ölçekli (laboratuar ortamında) gerçekleştirilmiş olup bu çalışmaların pilot ölçekli ve daha büyük sistemlerde denemesi bu çalışma sonucunda öneri olarak verilebilir. Ayrıca hedeflenen su ortamında bulunabilecek spesifik mikroorganizmalar için ayrı çalışmalar ile ultrasound sisteminde test edilebilir.

11. KAYNAKLAR

- Ahmed, F.I.K. ve Russell, C., 1975, Synergism between ultrasonic waves and hydrogen peroxide in the killing of microorganisms, *Journal of Applied Bacteriology*, 39,31-41.
- Allinger, H., 1975, Ultrasonic disruption, *American Laboratory*, 10, 75–85.
- Alvarez, I., Manas, P. ve Condon S., 2006, Inactivation of Salmonella seftenberg 775W by ultrasonic waves under pressure at different water activities, *International Journal Food Microbiology*, 108, 218-225.
- Anonymus, 2000, Food and Drug Administration Report, Kinetics of Microbial
- Antoniadis, A., Poullos, I., Nikolokaki, E., Mantzavinos, D.,2007, Sonochemical Disinfection of Municipal Wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, 146, 492-495.
- Bilgehan, H., “Klinik Mikrobiyolojik Tanı”, Barıs Yayınları (1992).
- Blume, N., Neis, U., Improved wastewater disinfection by ultrasonic pre-treatment, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 11, 333 – 336 (2004)
- D’Amico, D.J., Silk, T.M., Wu, J. ve Guo, M., 2006, Inactivation of microorganism in milk and apple cider treated with ultrasound, *Journal of Food Protection*,69, 556-563. Inactivation for Alternative Food Processing Technologies: Ultrasound, Available at <http://vm.cfsan.fda.gov/~com/ifts-us.html>.
- Edecan, M.E., Kombine Ultrases/Aktif Karbon Kullanarak Tekstil Boyar Maddesinin Renk Gideriminin Modellenmesi ve Optimizasyonu, Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 2006.
- Evans Jr. DJ. ve Evans DG., 1990, Colonization factor antigens of human pathogens, *Current Topics Microbiol Immunol*, 151, 129.

- Frank, R., Spellman, D., 1999, Choosing Disinfection alternatives for Water and Wastewater Treatment, Technomic,U.S.A.
- Giron JA., Ho ASY, ve Schoolnik GK., 1991, An inducible bundle-forming pilus of enteropathogenic Esherichia coli Science, 254:710.
- Gümüřdere, H.T., Zararlı Organik Bileşiklerin Bozundurulmasında Sesötesi Dalgaların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, 2007.
- Hulmans A, Joris K, Lambert N., (2010), Evaluation of process parameters of ultrasonic treatment of bacterial suspensions in a pilot scale water disinfection system, Ultrasonics Sonochemistry, **17**: 1004-1009.
- Irmak, H., Sularla İlişkili Hastalıklar, T.C. Sağlık Bakanlığı, Ekim, Ankara, 2006.
- İnce, N.H. ve Belen, R., 2001, Aqueous phase disinfection with power ultrasound: process kinetics and effect of solid catalyts, Environmental Science and Technology, 35(9), 1885-1888.
- James P.N., Theodore S., ve Richard L.G., April-June 1998, Enteroaggregative Esherichia coli, Emerging Infectious Diseases, 4:2, USA.
- Jacobs, S.E. ve Thornley, M.Y., 1954, The lethal action of the ultrasonic waves on bacteria suspended in milk and other liquids, Journal of Applied Bacteriology, 17,38-56.
- Jimenez-Munguia, M.T., Arce-Garcia, M.R., Argai, A., Palou, E. and Lopez-Malo, A., 2001, Mold spore inactivation during cavitation due to ultrasound treatments, IFT Annual Meeting Technical Program, Abstracts, 154.
- Johnson, L.L., Peterson, R.V. ve Pitt, W.G., 1998, Treatment of bacterial biofilms on polimeric biomaterials using antibiotics and ultrasound, Journal of Biomaterial Science, Polymer Ed., 9(11), 1177-1185.
- Joyce, E., Phull, J.P., Lorimer, J.P., Mason, T.J., The development and evaluation of ultrasound for the treatmentof bacterial suspensions. A study of frequency,

power and sonication time on cultured Bacillus species, Vol. 10, 315 – 318 (2003)

Kinsale, H.E.Ackerman ve Reid , J.J., 1954, Exposure of microorganisms measured sound fields, Journal of Bacteriology , 68, 373-380.

Lea, S.C., Price, G.J. ve Walmsley, A.D., 2005, A study to determine whether cavitation occurs around dental ultrasonic scaling instruments, Ultrasonics Sonochemistry, 12, 233-236.

Leighton, T.G., 1998, The principle of cavitation, In: Povey, M.J.W., Mason, T.J. (Eds), Ultrasound in food processing, Blackie Academic and Professional, London, 151-178.

Leighton, TG., 2007, What is ultrasound?, Prog Biophys Molecüler Biology, 93, 3–83.

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.

Lopez–Malo, A., Paulo, E., Jimenez–Fernandez, M., Alzamora, S.M. ve Guerrero, S.,2005, Multifactorial fungal inactivation combining thermosonication and antimicrobials, Journal Food English, 67, 87-93.

Manvell, C., 1997, Minimal processing of food, Food Science and Technology Today,11, 107-111.

Mason, T.J., 1990, Chemistry with Ultrasound, Elsevier, England.

Mason, T.J., Joyce, E., Phull, J.P., Lorimer, J.P., Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water, Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 10, 139 – 232 (2003)

Metcalf ve Eddy, Wastewater Engineering, McGraw Hill, New York, USA, 1981.

Öner, M., Genel mikrobiyoloji, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, İzmir (1986)

- Pagan R., 1997, Resistance frente al calor y los ultrasonidos bajo presión de *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.
- Pagan, R., Manas, P., Raso, J. and Condon, S., 1999a, Resistance of *Listeria monocytogenes* to ultrasonic waves under pressure at sublethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures, *Food Microbiology*, 16, 139-148.
- Pagan, R., Manas, P., Raso, J. and Condon, S., 1999b, Bacterial resistance to ultrasonic waves under pressure (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures, *Applied and Environmental Microbiology*, 65(1), 297-300.
- Peterson, R.V. ve Pitt, W.G., 2000, The effect of frequency and power density on the ultrasonically-enhanced killing of biofilm-squestered *Escherichia coli*. *Colloid and Surfaces B. Biointerfaces*, 17, 219-227.
- Phull, S.S., Newman, A.P., Lorimer, J.P., Pollet, B., Mason, T.J., The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 4, 157 – 164 (1997)
- Piyasena, P., Mohareb, E. ve McKeller, R.C., 2003, Inactivation of microbes using ultrasound: a review, *Internat Journal Food Microbiol*, 87; 207-216.
- Raso, J., Palo, A., Pagan, R. ve Condon, S., (1998a), Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment, *Journal of Applied Microbiology*, **85**, 849-854.
- Raso, J., Palo, A., Pagan, R. ve Condon, S. (1998b), Inactivation of *Bacillus subtilis* spores by combining ultrasonic waves under pressure and mild heat treatment, *J Appl Microbiol.*, **85**:849-854.
- Raso, J., Barbosa-Canovas, G. V. ve Swanson, B. G. (1998c), Initiation of germination and inactivation by high hydrostatic pressure of *Bacillus cereus*

sporulated at different temperature, IFT Annual Meeting: Book of Abstracts. Atlanta, GA. 154.

Rediske, A.M., Rapoport, N., Pitt, W.G., 1999, Reducing bacterial resistance to antibiotic with ultrasound, Letters in Applied Microbiology, 28(1), 81-84.

Samsunlu, A., Çevre Mühendisliği Kimyası, SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 1999

Sanz, B., Palacios, P., Lopez, P. ve Ordonez, J.A., 1985, Effect of ultrasonic waves on The heat resistance of Bacillus stearothermophilus spores, In Dring, G.J., Ellar, D.J. and Gould, G.W., Fundamental and Applied Aspects of Bacterial Spores, Academic Press, London, 251-259.

Scherba, G.Weigel,R.M. ve O'Brien, W.D., 1991, Quantitative assessment of germicidal efficacy of ultrasonic energy, Applied and Environmental Microbiology, 57(7), 2079-2084.

Silva, L.A., Korn, M., Andrade, J.B.,2006, Influence of u ltrasonic waves in reduction of nitrate to nitrite by hydrazine-Cu(II), ultrasonic sonochemistry, 14, 275-280.

Skauen, D., 1976, A comparison of heat production and catitation intensity in several ultrasonic cell disrupters Ultrasonics, 14, 173-176.

Suslick, K. S., 1988, Ultrasound, its chemical, physical and biological effects, Chapter 4, Homogeneous Sonochemistry, VCH Publishers, 125p.

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

Temiz, A. (1996), Genel Mikrobiyoloji Teknikleri, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara

Tokmak, B., Çapar, G., Dilek, F.B. ve Yetiş, Ü. (1998), Ankara İçme Suyunda Trihalometanlar, 1.Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, Türkiye'nin Çevre Sorunları, 99, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara.

- Türkman, A., Aslan, Ş. ve Özer, A., İçme Suyu Kaynağı Kirlenmesine Bir Örnek, Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, Cilt II, (Ed: Karpuzcu, M., Şenlier, N. ve Kınllı, H.) Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 936-945, 1999.
- Tüzel, O., Elektrokimyasal Su Dezenfeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2002.
- Valero, M., Rescosio, N., Raua, D., Munoz, N., Marti, N. ve Lizama, V., 2007, Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing, Journal Food England, 80,509-516.
- Uslu, O. ve Türkman, A., Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi-1, Ankara, 1998.
- Williams, A., 1994, New Technologies in food processing: Part II, Nutrition and Food Science, 1, 20-23.
- Whillock, G. O. H. ve Harvey, B. F., 1997, Ultrasonically enhanced corrosion of 304L stainless steel I: The effect of temperature and hydrostatic pressure, Ultrasonics Sono- chemistry, 4, 23-31.