

**ULTRASONİK SİSTEMLER İLE  
SUDA *Staphylococcus aureus*  
DEZENFEKSİYONU**

Filiz Bayrakçı Karel

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı  
Biyoteknoloji Bilim Dalı

Temmuz 2011

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projeleri Komisyonu  
Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1005F116**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Filiz Bayrakçı Karel**'in “**Ultrasonik Sistemlerle Suda *Staphylococcus aureus* Dezenfeksiyonu**” başlıklı İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Biyoteknoloji Bilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 01/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
Üye (Tez Danışmanı):	<b>Prof. Dr. A. SAVAŞ KOPARAL</b>	.....
Üye	<b>: Prof. Dr. AYDIN DOĞAN</b>	.....
Üye	<b>: Doç. Dr. YUSUF YAVUZ</b>	.....

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

**Enstitü Müdürü**



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ULTRASONİK SİSTEMLER İLE SUDA *Staphylococcus aureus* DEZENFEKSİYONU

Filiz BAYRAKCI KAREL

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı  
Biyoteknoloji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Savaş KOPARAL

2011, 58 sayfa

Bu çalışmada, gümüş iyonu ile desteklenmiş kesikli reaktör sisteminde (düşük frekanslı) ve sürekli akışlı reaktör sisteminde (yüksek frekanslı) ultrasonik yöntem ile su dezenfeksiyonu yapılmıştır. Çalışmalar kesikli reaktör sisteminde farklı ultrasonik frekanslarda, farklı bakteri başlangıç derişimlerinde ve farklı derişimlerde gümüş iyonu katkısının etkisi incelenerek gerçekleştirilmiştir. Sürekli akışlı reaktör sisteminde yine farklı ultrasonik frekanslarda, farklı akış hızlarında, farklı sıcaklıkta ve gümüş iyonu katkısı da incelenerek su dezenfeksiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik sistemler kullanılarak su dezenfeksiyonunun sağlanabildiği ve sistemlerin etkinliğinin gümüş iyonu katkısı ile artırılabilirdiği görülmüştür. Çalışmalar *Staphylococcus aureus* bakterisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dezenfeksiyon, Ultrasound, Gümüş İyonları, *Staphylococcus aureus*

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

**DISINFECTION OF  
*Staphylococcus aureus*  
IN WATER WITH  
ULTRASONIC SYSTEMS**

**Filiz BAYRAKCI KAREL**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Department of Advanced Technologies  
Biotechnology Program**

**Supervisor: Prof. Dr.A. Savaş KOPARAL  
2011, 58 pages**

In this study water disinfection was performed in batch reactor system containing silver ions (with low frequency) and in continuous flow reactor (high frequency) by ultrasonic method. The study was carried out at various ultrasonic frequencies, various initial bacteria concentrations and various concentrations in batch reactor system analyzing the effect of silver ion addition. The water disinfection study was carried out at various ultrasonic frequencies, various flow rates, and various temperatures analyzing also the silver ion addition. It was seen that the water disinfection can be provided and the efficiency of the systems can be improved by using ultrasonic systems. The studies were conducted using the bacteria *Staphylococcus aureus*.

**Key Words:** Disinfection, Ultrasound, Silver ions, *Staphylococcus aureus*

## TEŞEKKÜR

Akademik kariyerimin başlangıcından itibaren her konuda desteğini, hoşgörüsünü ve yardımlarını esirgemeyen ve bundan sonra da esirgemeyeceğine emin olduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. A.Savaş KOPARAL'a,

Öneri ve destekleri ile çalışmama katkıda bulunan hocam Prof. Dr. Aydın DOĞAN'a

Hiçbir yardım çağrımı cevapsız bırakmayan sevgili arkadaşlarım Öğr. Gör. E. Esra GEREK ve Ümit Yılmaz YILDIZ'a,

Bugüne kadar her durumda sevgileri ve her türlü destekleri ile yanımda olan sevgili eşim Serhan KAREL, canım kızım Yağmur KAREL ve sevgili aileme

en içten teşekkürlerimi sunarım.

Filiz BAYRAKCI KAREL

Temmuz 2011

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii

<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. SULARDA MİKROBİYOLOJİK KİRLENME</b>	<b>3</b>
2.1. Sularla İlişkili Hastalıklar.....	5
2.2. Mikroorganizmalar .....	6
2.2.1. <i>Staphylococcus aureus</i> .....	7
2.2.1.1. Taksonomi, üreme ve biyokimyasal özellikleri .....	9
2.2.1.2. Patojenite .....	10
<b>3. SULARDA DEZENFEKSİYON</b>	<b>13</b>
3.1. Dezenfeksiyon mekanizması .....	13
3.2. Dezenfeksiyona etki eden faktörler.....	13
3.2.1. Mikroorganizmaya bağlı faktörler.....	14
3.2.1.1. Mikroorganizmalarda doğal ve kazanılmış direnç.....	14
3.2.1.2. Mikroorganizmaların sayısı.....	16
3.2.1.3. Biyofilm oluşumu.....	16
3.2.2. Dezenfektana bağlı faktörler.....	16
3.2.2.1 Dezenfektanın tipi ve konsantrasyonu.....	16
3.2.2.2. Dezenfeksiyon süresi.....	17
3.2.3. Çevresel Faktörler .....	18
3.2.3.1. Ortam pH'sı ve sıcaklığı.....	18

3.2.3.2. Organik ve inorganik maddelerin varlığı ve tipi.....	19
3.3. Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	20
3.3.1. Ultrasound ile dezenfeksiyon.....	20
3.3.2. Metal iyonları ile dezenfeksiyon.....	27
3.3.3. Klor ile dezenfeksiyon.....	28
3.3.4. Ozon ile dezenfeksiyon.....	30
3.3.5. Elektrokimyasal dezenfeksiyon.....	31
3.3.6. UV ile dezenfeksiyon.....	32
<b>4. MİKROBİYOLOJİK ÇALIŞMALAR</b>	<b>34</b>
4.1. Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri.....	34
4.1.1. Kültürel sayım yöntemleri.....	35
4.1.2. Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım.....	36
4.1.3. Yüzeğe yayma yöntemiyle kültürel sayım.....	36
4.1.4. İndirekt sayım yöntemleri.....	37
4.1.5. Türbidimetrik sayım yöntemi.....	37
4.1.6. McFarland yöntemi.....	38
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	<b>39</b>
5.1. Sürekli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu .....	39
5.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör İle Su Dezenfeksiyonu .....	41
<b>6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI</b>	<b>42</b>
6.1. Sürekli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu .....	42
6.1.1. 40 kHz Frekansta ultrasonik reaktörün etkinliğinin incelenmesi.....	42
6.1.1.1. Geri dönüşlü sistemde farklı güçlerin etkisinin incelenmesi..	42

6.1.1.2. Sürekli akış sisteminde farklı akış hızlarının etkisinin incelenmesi.....	43
6.1.1.3. Geri dönüşlü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi.....	43
6.1.2. 40 kHz Frekansta ultrasonik reaktörün etkinliğinin belirlenmesi.....	44
6.1.2.1. Sürekli akış sisteminde farklı güçlerin etkilerinin incelenmesi.....	44
6.1.2.2. Geri döngülü sistemde reaktör etkinliğinin incelenmesi.....	45
6.1.2.3. Geri döngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi.....	45
6.1.3. 938 kHz Frekansta ultrasonik reaktör etkinliğinin incelenmesi.....	46
6.1.3.1. Geri dönüşlü sistemde reaktör etkinliğinin incelenmesi.....	46
6.1.3.2. Sürekli sistemde farklı akış hızlarının etkilerinin incelenmesi.....	46
6.1.3.3. Geri dönüşlü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi.....	47
6.1.3.4. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik etkinliğinin belirlenmesi.....	48
<b>6.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör İle Su Dezenfeksiyonu .....</b>	<b>48</b>
6.2.1. Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi.....	49
6.2.2. Başlangıç hücre derişiminin etkisinin incelenmesi.....	50
6.2.3. Gümüş iyon derişiminin etkisinin incelenmesi.....	50
6.2.4. Suda eşlik eden iyonların etkisi.....	52
<b>7. BULGULARIN TARTIŞILMASI .....</b>	<b>53</b>
7.1. Sürekli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu (Yüksek Frekans).....	53
7.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu (Düşük Frekans).....	53
7.3. Ultrasonik Sisteme Gümüş İyonu Etkisi.....	54



<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>56</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

sayfa

2.1. <i>Staphylococcus aureus</i> .....	9
3.1. Mikroorganizmaların dezenfektana karşı dirençleri.....	17
3.2. Ultrasonik dalganın piezoelektrik madde ile oluşturulması.....	23
5.1. 404 ve 938 kHz frekanslı ultrasonik reaktör.....	41
5.2. 40 kHz frekansta ultrasonik reaktör.....	41
5.3. Ultrasonik reaktör sürücü.....	42
5.4. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör.....	43
6.1. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişime farklı güçlerin etkisi.....	44
6.2. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde farklı hızların etkisi.....	45
6.3. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine sıcaklığın etkisi.....	45
6.4. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine farklı güçlerin etkisi.....	46
6.5. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine 126 watt gücünün etkisi.....	47
6.6. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine sıcaklığın etkisi.....	47
6.7. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine 17 watt gücünün etkisi.....	48
6.8. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine akış hızının etkisi.....	49
6.9. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişimine sıcaklığın etkisi.....	49
6.10. $10^5$ CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistemin birlikte etkisi.....	50
6.11. $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişimine ultrasonik frekansın etkisi.....	51
6.12. $1 \times 10^6$ /mL başlangıç bakteri derişimine ultrasonik frekansın etkisi.....	51

6.13. 28 kHz'de başlangıç bakteri derişiminin etkisi.....	52
6.14. 28 kHz'de gümüş iyonunun etkisi.....	53
6.15. 45 kHz'de gümüş iyonunun etkisi.....	53
6.16. Gümüş iyonunun etkisi.....	54
6.17. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ve HCO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi.....	54

## 1. GİRİŞ

Çevresel etkenler insan sağlığında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çevrede sağlığı doğrudan ya da dolaylı etkileyen önemli etkenler bulunmaktadır. Sulardaki mikrobiyal kirlenmede bu etkilerden biri olarak sayılabilir. Günümüzde yaşam koşullarının değişmesi ve bireylerin zamanlarının çoğunu ev dışında geçirmeleri, değişen beslenme alışkanlıkları gibi faktörler, mikroorganizmaların, toplu yaşam alanlarında kolayca bireyden bireye geçişine ve bulaşıcı hastalıkların artmasına neden olmaktadır. Mikroorganizma miktarı belli oranın üzerine çıktığı takdirde kişisel ve çevresel özelliklere bağlı olarak değişik şiddetler de bulaşıcı hastalıklara hatta salgınlara yol açabilmektedir.

İçme suyu kirlenmesi, dünyada ve ülkemizde en önemli çevresel problemlerden biri olma özelliği göstermektedir. 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. Dünyada en önemli su kirliliği problemlerinde biri patojen mikroorganizmalarla suların kirlenmesidir.

Hayatımızın ayrılmaz bir parçası olan suyun arıtılması insan sağlığı açısından hayati önem taşır. Mikrobiyolojik olarak kirlenmiş sular önemli hastalıklara ve bunların salgınlara dönüşmesine yol açabilir. 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. Dezenfektan olarak kullanılan klorun, doğal organik maddelerle reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünü olan klorlu organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir. Bunlara örnek olarak trihalometanlar verilebilir. Trihalometanların kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir.

Klora alternatif olarak kullanılan bir başka kuvvetli dezenfektan ise ozondur. Ozonun avantajı düşük konsantrasyonlarda bile kuvvetli bir dezenfektan

olması ve klorlu organik bileşiklerin oluşumuna yol açmamasıdır. Ancak 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.

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, ultrasonik sistemler ile su dezenfeksiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sisteme gümüş iyonlarının etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar *Staphylococcus aureus* bakterisi ile gerçekleştirilmiştir.

## 2. SULARDA MİKROBİYOLOJİK KİRLENME

İnsanlar, yaşamsal ve ekonomik gereksinimleri için, suyu hidrolojik çevrimden alırlar ve kullandıktan sonra aynı döngüye iade ederler. Bu işlemler sırasında suya karışan maddeler suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek, “Su Kirliliği” olarak adlandırılan olguyu ortaya çıkarırlar. Artan nüfus ve gelişen endüstrileşme sonucunda yoğunlaşan su kullanımı, su kirliliğini hızlandıran bir etken olarak karşımıza çıkarır (Uslu ve Türkman, 1998). Su kirliliği özellikle içilebilir su kaynaklarının bakteriyolojik kirliliği sonucu sağlıklı içme suyu temin edilmesindeki problemler çözülmesi gereken en önemli sorunlardan biridir.

Günümüzde, dünya üzerindeki içme suyu kaynaklarının hissedilir derecede azalması, gelecekte sağlıklı içme suyu temininin ne denli önemli bir sorun olacağını gözler önüne sermektedir. Bir zamanlar, suyun doğadaki sürekli dönüşümü nedeni ile sonsuza kadar bitmeyecek bir kaynak olduğu düşünülüyordu. Oysa artık su, dünyanın pek çok yerinde, endüstri ve kentsel gelişmedeki hızlı büyüme gibi nedenlerle sınırlı bir kaynak haline gelmiştir. Dünyanın pek çok ülkesinde çarpık kentleşme, plansız yapılaşma ve bilinçsizce oluşturulan çevre kirliliği sonucu yerüstü suları olduğu kadar yer altı suları da hızla tüketilmiş veya kirletilerek kullanılamaz hale getirilmiştir. Su zengini bir ülke olmadığımız gibi her geçen gün su kaynaklarımız kirlenmekte ve dolayısı ile azalmakta olduğundan gerekli önlemlerin alınmaması ve insanlarımızın su kullanımında dikkatli ve tasarruflu olmaması durumunda susuzluk çekeceğimiz günler uzak değildir.

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 sulardan 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) bakteriler ve virüsler 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.

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 (Türkman ve ark., 1999).

## **2.1. Sularla İlişkili Hastalıklar**

Su ile bağlantılı hastalıklar, bulaşma yollarına göre dört grupta incelenebilir.

### **Sulardan Kaynaklanan Hastalıklar:**

Özellikle ılıman ve sıcak iklimlerde insan ve hayvan dışkı 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.

### **Su Yokluğundan Kaynaklanan Hastalıklar:**

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



### Suda Yaşayan Canlılarla Bulaşan Hastalıklar:

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.

### Sularla Bağlantılı Vektörlerle Bulaşan Hastalıklar:

Vektörlüğünü sivrisineklerin yaptığı Sıtma bu gruba girer. Bu sorun durgun su birikintilerinin ortadan kaldırılması ve suyun borularla taşınması ile giderilebilir.

Çeşit olarak da, sayı olarak da oldukça çok olan sularla ilişkili hastalıkların en önemlileri şunlardır:

- İshal
- Basilli ve Amipli Dizanteri
- Giardiyaz
- Bağırsak Parazitoları
- Gine Kurdu Hastalığı (Dracunculiasis)
- Tifo ve Paratifolar
- Yersinya Gastroenteriti
- Kampilobakter Enfeksiyonu
- Kolera
- Viral Gastroenteritler
- Hepatit A ve Hepatit E (Irnak,2006).

## 2.2. Mikroorganizmalar

Geçmişte mikroorganizmalar bitkiler ve hayvanlar olarak iki temel grupta toplanmıştı. Taksonomik güçlüklerden dolayı son eğilim mikroorganizmaları üç grupta toplamaktır, bunlar protista, bitkiler ve hayvanlardır.

Mikroorganizmalar, doğada organik ve anorganik maddeler arasındaki geçişi sağlarlar. Bu biyosferde yaşamın sürdürülebilmesi için gereklidir. C, O, N, S ve P gibi maddelerin biyojeokimyasal çevrimleri mikroorganizma faaliyetleri ile oluşur. Mikroorganizmalar aynı zamanda, bazı atıkların arıtılması ve yeniden kullanılabilir hale gelebilmesi açısından da büyük önem taşırlar.

%0.12 den az, çok az sayıda bazı mikroplar insan, hayvan ve bitkilerde hastalık yapmakta ve patojen olarak adlandırılmaktadır. Patojen olmayan mikroplara genellikle saprofitler denilmektedir.

İnsan ve hayvanlardan çok sayıda patojen atıldığından ham atıksu ve araziden süzülen sular patojen içermektedir. Sonuç olarak her su kütlelerinde 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.

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.

### **2.2.1. *Staphylococcus aureus***

'Staphylococcus' ismi ilk defa 1881 yılında insan apselerinden izole ettiği organizmaları tanımlayan ve fareye enjekte edildiğinde piyojenik hastalıklara neden olduğunu gösteren İskoçyalı cerrah Alexander Ogston tarafından verilmiştir. Staphylus eski Yunanca'da üzüm anlamına gelmekte olup bu

bakterilerin üreme esnasında birbirlerinden ayrılmayarak üzüme benzer kümeler yapmalarından dolayı bu deyim kullanılmıştır (Sandel ve McKillip, 2004). İki yıl sonra Rosenbach saf kültürdeki gelişimlerini pigmentasyon bazında tanımlayarak sarı koloni oluşturan suşlara *Staphylococcus aureus* adını vermiştir (Ünlütürk ve Turantaş, 1998). Stafilokoklar ortam şartlarına karşı oldukça dayanıklı mikroorganizmalar olup doğada çok yaygın olarak bulunurlar (Hacıbektaşoğlu ve ark., 1993). İnsan, hayvan ve bitkilerde normal flora üyesi olarak bulunabilirler. Doğal olarak en fazla burun ve boğaz boşluğunda, insan ve hayvan dışkılarında, ciltte apseli yaralarda ve sivilcelerde yoğun olarak bulunurlar. *S. aureus* insanlarda birçok enfeksiyonlara neden olmaktadır. Ortam şartlarına dayanıklı olduklarından doğada çok yaygındırlar. Bunun yanında insan ve hayvanlarda birçok hastalıkların etkeni olarak da önem taşırlar. Halen en sık karşılaşılan cilt ve yumuşak doku enfeksiyonu, septik artrit, ostomyelit, infektif endokardit, bakteriyemi, mastit, menenjit, gibi klinik bir çok tablonun etkenidirler (Avkan, 1997).



Şekil 2.1. *Staphylococcus aureus* (http1)

### 2.2.1.1. Taksonomi, üreme ve biyokimyasal özellikleri

Firmucutes şubesi, Bacilli sınıfı, Bacillales takımı, Staphylococcaceae familyası, Staphylococcus cinsi içinde yer alan *S. aureus*, hareketsiz gram pozitif kok şeklinde, genellikle düzensiz kümeler oluşturur (Boone ve Castenholz, 2001). Fakültatif anaerob, katalaz pozitif olan *S. aureus* seçici olmayan besiyerlerinde düz, parlak, dairesel, konveks koloniler oluşturmaktadır (Tükel ve Doğan, 2000). Genellikle kapsülsüzdürler. Bazı kökenlerinde belirgin ve polisakkarit yapısında bir kapsül ya da bir mukus katmanı olur. Koagülaz üreten *S. aureus* %10'a kadar olan NaCl konsantrasyonlarında iyi gelişirken, %15 NaCl konsantrasyonlarında gelişimi zayıftır. *S. Aureus* suşları optimum 30-37°C'lerde gelişirler. Optimum olarak 7.0-7.5 pH'da gelişirler.

Glukoz, laktoz, maltoz ve mannitolden aerobik ve anaerobik koşullarda asit meydana getirir, ayrıca diğer karbonhidratların çoğundan aerobik koşullarda asit meydana getirirler (Tükel ve Doğan, 2000). Altın sarısı, limon sarısı ve porselen beyazı renkte üç çeşit suda eriyen pigment üretirler. Pigment rengine göre isimlendirilirler. Ender olarak bazı izolatlar pigmentsizdir. Anaerobik şartlarda veya sıvı besiyerlerinde üreyenlerde pigment görülmeyebilir veya bej rengi olarak görülür. Pigment üretimi 24-48 saatte oda ısısında inkübasyon ile artırılabilir. Ortamda sığır kremasının bulunması, pigment oluşturma özelliğini artırıcı etki yapar. Çoğu koyun, at, insan kanlı besiyerinde 24-36 saat içinde hemolizin üretir, hemoliz görülür. Kanlı agar besiyerinde kolonilerin çevresinde genellikle çoğu tam hemoliz bölgesi oluştururlar, diğerleri ise hemoliz oluşturmazlar. Jelatini eritir, nitratları nitrat ve amonyağa indirgerler. Stafilocokların fermantatif ve proteolitik özellikleri de vardır. Ancak, üredikleri gıdalarda herhangi bir kötü koku ve görünüş meydana getirmezler. Stafilocok zehirlenmelerine neden olan bakterinin bizzat kendisi değil, ortama salgıladıkları enterotoksin adı verilen bir maddedir (Vural ve Öztan, 1993)

Aerobik ve anaerobik şartlarda selektif olmayan kanlı agar, nütrient agar, tryptic soy agar, brain heart infusion agarda ürerler. *S. aureus* kolonileri genişliği 6-8 mm çapında keskin kenarlı, düz, konveks, yarı şeffaftır. Besin istekleri fazla değildir. Gelişme sınırları 6-46°C arasındadır. Toksin oluşturmaları için gerekli

minimum ve maksimum sıcaklık dereceleri biraz daha yüksek olup 10-48<sup>0</sup>C'dir. Optimum olarak 7.0-7.5 pH'da gelişirler. Minimum su aktivite değeri aerop gelişme için As:0.83-0.86, anaerop gelişme için As:0.90 olarak belirlenmiştir. Feçes gibi kontamine örneklerden stafilocokları ayırmak ve çoğaltmak için selektif besiyerleri (mannitol salt agar, schleifer-kramer agar, Columbia colistinnalidixic asit agar- CNA-, lipaz salt mannitol agar veya feniletıl alkol agar) kullanılır (Avkan, 1997).

Klinik mikrobiyolojide kullanılan pek çok antibiyotiğe karşı genetik olarak kazanılmış bir direnç sistemine sahiptir. Bununla beraber tuz dışında gıda koruyucularına direnci yoktur. Tuza dayanıklılıkta en önemli ozmoprotektant maddeler hücre içine biriken glisin, betain, ve prolin'dir. Tuzlu ve düşük su aktiviteli gıdalarda gelişemez iken diğer bakterilerin rekabetçi etkisinden kurtularak daha rahat bir gelişme gösterir (Tükel ve Doğan, 2000).

#### 2.2.1.2. Patojenite

Stafilocoklar sıcak kanlı hayvanların vücut yüzeylelerinde yaygın olarak bulunurlar. Bu mikroorganizmaların neden oldukları hastalıklar septisemi, stafilocokkal gıda zehirlenmesi gibi akut enfeksiyonlardır. *S. Aureus* formları özellikle ekzotoksin ve aggresinlerle hastalık yapmaktadırlar (Brock ve Madigan, 2006). *S. aureus*'un yol açtığı enfeksiyonların büyük çoğunluğu, fronkül, sellülit, impetigo ve operasyon sonrası yara enfeksiyonları gibi cilt enfeksiyonlarıdır. Bu mikroorganizma bakteriyemi, pnömoni, osteomyelit, akut endokardit, perikardit, serebrit, menenjit ve bir çok doku ve organda apse formasyonu gibi ciddi enfeksiyonlara yol açabilir (Demiroglu, 2000).

*S. aureus* tarafından oluşturulan toksinler sindirim sisteminde etkisini gösterdiği için bunlara 'enterotoksin' denilmiştir. Enterotoksinler pirojenik olarak bilinen immun sistem hücrelerine etkili, düşük molekül ağırlıklı (26000-34000 Da) suda çözülebilen tek zincirli proteinlerdir. Enterotoksinler suşa özgü olmakla birlikte bir suş birden fazla toksin üretebilmektedir. Antijenik özellikleri dikkate alındığında enterotoksinler beş büyük serolojik gruba ayrılırlar (SEA, SEB, SEC, SED, SEE). Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalarla dokuz yeni

enterotoksin identifiye edilmiştir SEG-O. Gıda zehirlenmelerine daha çok A ve D enterotoksinleri neden olmaktadır. *S. aureus* tarafından üretilen enterotoksinler ısıya ve proteaz, tripsin, kimotripsin, papain, rennin'e dirençli bir ekzotoksindir ve süperantijenik bir karakter taşırlar. Enterotoksin içeren gıdaların tüketiminden yaklaşık 2-6 saat sonra mide bulantısı, karın ağrısı, ishal gibi belirtiler görülür (Atanassova ve ark, 2001).

Toksinlere bağlı olarak ortaya çıkan hastalıklar:

Besin zehirlenmesi: Uygun şartlar ve ısıda bekleyen *S. aureus* ile kontamine, bol karbonhidratlı besin maddelerinin yenmesiyle oluşur. Enterotoksinin alınmasından 1-6 saat sonra bulantı, kusma ve bazen de ishal başlar. Pişirme ile bakteriler ölse bile, ısıya dirençli enterotoksinin etkisi sürebilir.

Stafilokokkal soyulmuş deri sendromu: En sık beş yaş altında saptanır. Yeni doğanlarda hastane salgınları şeklinde görülür. Bu yaş grubundaki stafilokokkal soyulmuş deri sendromuna Ritter hastalığı adı verilir. Daha büyük çocuklarda ve erişkinlerde ise, kırmızı ve nemli görünümlü yerel büller ortaya çıkar. Bu sendrom Lyell hastalığı veya haşlanmış deri sendromu olarak bilinir. Büyük çocuklarda ve erişkinlerde kızıl benzeri bir döküntü de ortaya çıkabilir.

Toksik şok sendromu: İlk olarak 8-17 yaşlarındaki çocuklarda görülen ve yüksek ateş, hipotansiyon, derin diare, deride yaygın kırmızı döküntü, bilinç bulanıklığı ve böbrek yetmezliği gibi bulgularla seyreder. Etiyolojisinde *S. aureus*'un ürettiği bir toksinin (enterotoksin F) rol oynadığı düşünülmektedir. *S. aureus* derinin doğal florasında bulunup, el teması ile yara pansumanı veya tampon kontamine olur. En sık görülen ölüm nedeni şoktur.

İnvazyon ve sistemik yayılım sonucu ortaya çıkan hastalıklar:

**Dermal enfeksiyonlar:** Genellikle cilt bütünlüğünü bozan, büyük veya küçük travma ya da ekzema gibi cilt hastalıklarını teşkil eder. Burun taşıyıcılarında sık olarak tekrarlayan enfeksiyonlara yol açar. İmpetigo, fronkül, sellülit, lenfanjit, lenfadenit, mastit veya yara enfeksiyonları.

**Kemik kas ve eklem enfeksiyonları:** Travma ve yaralarla kemik ve eklem dokusuna ulaşır. Osteomyelit, septik artrit, bursit, pyomyozit.

**Stafilokok pnömonisi:** Stafilokokların solunum yollarından aspirasyonları ya da kan yolu ile akciğerlere yerleşmeleri suretiyle gelişir. Bazen akciğerlerde geniş apselerin oluşmasına bazende stafilokokların diğer organlara yayılmasıyla seyreder.

**Menenjit ve beyin apsesi:** *S. aureus*'un etken olduğu menenjitler sıklıkla santral sinir sistemine tanısal amaçla yapılan bir girişim veya cerrahi işlem komplikasyonu olarak ortaya çıkar.

**Üriner sistem enfeksiyonları:** *S. aureus* iki yolla üriner sistem enfeksiyonuna sebep olur. Bakteriyemik bir atak sırasında renal kortekse yerleşerek renal kortikal apseye yol açar. İkinci olarak kalıcı üriner kateteri olanlarda asentan yolla enfeksiyona yol açabilir.

**Stafilokokkal endokardit:** Miyokardiyal apse, pürülan perikardit, ring apseleri lokal komplikasyonlar *S. aureus*'un endokarditlerinde en sık görülür.

**Stafilokokal bakteriyemi:** Titremeye yükselen ateş, eklem ağrıları, plöretik ağrı, bilinç durumunda değişiklikler görülür (Avkan, 1997).

### 3. SULARDA DEZENFEKSİYON

Dezenfeksiyon hastalığa neden olan organizmaların seçimli bir şekilde yok edilmesi işlemidir. Sterilizasyon ile karıştırılmamalıdır, sterilizasyon tüm organizmaların öldürülmesi anlamına gelir.

Dezenfeksiyon en yaygın olarak, kimyasal, fiziksel etkenler, mekanik araçlar ve radyasyon kullanılarak yapılır.

#### 3.1. Dezenfeksiyon Mekanizması

Dezenfektan maddelerin etkisi dört şekilde gerçekleşir. Bunlar;

- Hücre duvarını tahrip etme
- Hücre geçirgenliğinin değiştirilmesi
- Protoplazmanın kolloidal yapısının değiştirilmesi
- Enzim aktivitesinin inhibisyonu

Hücre duvarının tahribi hücrenin ölümüne neden olur. Bazı maddeler (penisilin gibi) bakteriyel hücre duvarı sentezini inhibe ederler.

Fenolik bileşikler ve deterjanlar gibi maddeler ise stoplazmik membranın geçirgenliğini değiştirirler. Bu bileşikler, membranın seçimli geçirgenliğini bozarlar ve yaşam için gerekli azot ve fosfor gibi maddelerin hücre tarafından kullanılmasını engellerler.

Isı, radyasyon, kuvvetli asit ve kuvvetli bazlar, protoplazmanın kolloidal yapısını değiştirirler. Isı hücre proteinini koagüle eder. Dezenfeksiyonun diğer etkin mekanizması enzim inhibasyonudur. Klor gibi oksitleyici maddeler enzimlerin kimyasal düzenini bozabilir ve enzimleri etkisiz hale getirirler (Gül, 1994).

#### 3.2. Dezenfeksiyona etki eden faktörler

Dezenfeksiyon işleminde aşağıdaki faktörler rol oynar;

- Organizma türü ve derişimi
- Dezenfektan türü, derişimi ve kullanılış biçimi



- Suyun fiziksel, kimyasal özellikleri (sıcaklık, askıda katı madde, organik madde derişimi, pH gibi)
- Temas süresi

### 3.2.1. Mikroorganizmaya bağlı faktörler

Dezenfektanların etkinliği, mikroorganizmaların tiplerinden etkilenir. Örneğin, büyümekte olan bakteriler kolaylıkla öldürülebilir. Bunun tam aksine bakteriyel sporlar çok dirençlidir ve kimyasal dezenfektanlar az etkilidir ya da hiç etkili değildir. Isı gibi diğer dezenfektan etkiler kullanılır.

#### 3.2.1.1. Mikroorganizmalarda doğal (intrensek) ve kazanılmış (ekstrensek) direnç

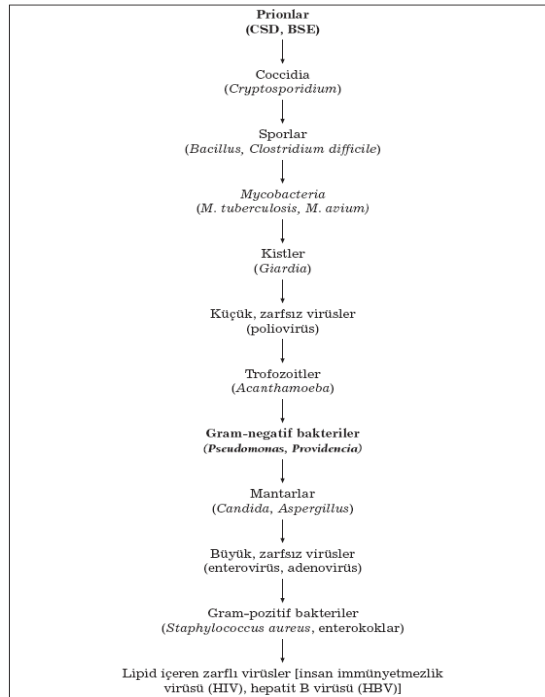
Mikroorganizmaların dezenfektan ajanlara karşı duyarlılıkları yapısal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Doğal direnç, genellikle dezenfektan maddenin hücre içine alınımının azalmasıyla ilişkilidir.

Vejetatif bakteriler ve zarflı virüsler genellikle en duyarlı, mikroorganizmalar- ken bakteri sporları ve protozoon kistleri en dirençli grubu oluşturur. Doğal direnç mekanizmalarının başında bakteri sporları gelmektedir. Sporlar sterilizasyona en dirençli yapılardır, bunun temel nedeni ise spor yapısındaki su içeriğinin oldukça az olmasıdır. membran tabakası hidrofobik yapıları nedeniyle fiziksel bariyer oluşturarak, dezenfektanların hücreye girişini kısıtlar. Her iki bakteri grubu bu nedenle grampozitif bakterilerle kıyaslandığında, dezenfektanlara karşı daha dirençlidirler. Özellikle *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cepacia*, *Proteus spp.* ve *Providencia stuartii* birçok dezenfektanlara en fazla dirençli olan bakterilerdir. *P.aeruginosa*'nın dezenfektanlara ve antibiyotiklere daha dirençli olmasının nedeni temel olarak dış membranlarının daha az geçirgen olmasına bağlıdır. *Cryptosporidium parvum* ve *Mycobacterium chelonae*'nin %2'lik glutraldehid içinde, *Pseudomonas* cinsi bakterilerin klorheksidin ve fenol türü dezenfektanlarda hayatlarını devam ettirdikleri saptanmıştır.

Fungusların hücre duvarı, plazma membran yapısı, hangi üreme fazında oldukları fungal dezenfektan direncinde önemlidir. Virüslerin zarflı olup olmaması dezenfektan direncini belirleyen önemli bir faktördür. Zarf içeren virüsler lipofilik olup dezenfektanlara daha duyarlı iken, zarf içermeyenler ise hidrofilik yapıda olup daha dirençlidirler. Protozoon kistleri bakteri sporlarına benzer yapılardır, çevre şartlarına ve dezenfektanlara karşı, bariyer görevi yaparak dayanıklı olmayı sağlamaktadırlar.

Kazanılmış direnç kromozomal mutasyonlar veya plazmidler/transpozonlar aracılığıyla gelişir. Dezenfektan hedefinde değişiklik olması, permeabilitenin azalması ve hücre dışına atılım pompaları belli başlı mekanizmalardır. Antibiyotiklerden farklı olarak, dezenfektanlar birden çok hedefe yönelik etki gösterirler, bu nedenle dezenfektanlara karşı ekstrensek direncin pratik uygulamadaki önemi henüz tam olarak belli değildir.

Her mikroorganizmanın dezenfektan direnci farklıdır, aşağıdaki tabloda mikroorganizmalar dezenfektana karşı dirençlerine güçlüden zayıfa doğru sıralanmıştır.



Şekil. 3.1. Mikroorganizmaların dezenfektana karşı dirençleri

### 3.2.1.2. Mikroorganizmaların sayısı

Diğer koşulların sabit kalması şartıyla, mikroorganizmaların sayısı ne kadar fazla ise antimikrobiyal maddenin onları ortadan kaldırması o ölçüde daha uzun zaman alır.

### 3.2.1.3. Biyofilm oluşumu

Bakterilerin katı yüzeyle teması sonrası oluşan biyofilm tabakası içinde mikroorganizmalar hızla kolonize olurlar. Dezenfektanların bu tabaka içinde yaşayan mikroorganizmalara ulaşmaları fiziksel olarak zorlaşırken, aynı zamanda bu tabaka içerisinde üretilen bir takım enzimler ve nötralizan kimyasal maddeler tarafından etkisiz hale getirilebilmektedirler. Biyofilm tabakası içindeki mikroorganizmalar da fizyolojik olarak değişime uğrayıp daha dirençli hale gelmektedirler (Alıcı, 2007).

## 3.2.2. Dezenfektana bağlı faktörler

### 3.2.2.1. Dezenfektanın tipi ve konsantrasyonu

Dezenfektan tipine bağlı olarak dezenfeksiyonun etkinliği derişime bağlıdır.

$$C^n \cdot t_p = k \quad (3.1)$$

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 (Reynolds, 1996).

Seçilecek dezenfektan ve yöntem infeksiyon riski düzeyine göre de belirlenir. Örneğin bir yüzeyin dezenfeksiyonu için alkol kullanılacaksa optimum olarak %70'lik çözeltisi kullanılmalıdır.

Birçok dezenfektan konsantre halde bulunur ve sulandırılarak kullanılır. Dilüsyon mutlaka üretici firmanın önerisi doğrultusunda yapılmalıdır. İstenenden düşük konsantrasyonda hazırlanmış dezenfektanın etkinliği azalırken, olması gerekenin üstündeki konsantrasyonlar aletlere kimyasal hasar verebilir, aynı zamanda kullanan kişiler üzerindeki toksik etkileri artmış olur. Hazırlanan solüsyonlar uzun süre stabil kalamadığı için etkinliği değişebilir, bu nedenle ancak üretici firmanın önerdiği süre boyunca kullanılması uygundur. Bu sürenin her dezenfektan için farklı olduğu unutulmamalıdır. Örneğin; glutaraldehitler sulandırılarak ve ancak belli bir zaman dilimi içinde kullanılırlar. Solüsyon içindeki aktif maddelerin konsantrasyonları zamanla çeşitli nedenlere bağlı olarak azalabilir. Bu solüsyonların etkinliği kimyasal test stripleri kullanılarak kontrol edilebilir. Test yapılma sıklığı ise solüsyonların kullanım sıklığına bağlı olarak değişmektedir. Her gün kullanılıyorsa, test günlük yapılmalıdır. Bu test stripleri kesinlikle dezenfektanların önerilen süreden fazla kullanılması için kullanılmamalıdır (Alıcı, 2007).

### 3.2.2.2. Dezenfeksiyon süresi

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;

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot N_t \quad (3.2)$$

$N_t$  : Herhangi bir t anındaki yaşayan mikroorganizma sayısı

t : süre

k : sabit (süre<sup>-1</sup>)

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

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -k \cdot t^m \text{ 'dir.} \quad (3.3)$$

m : sabit

m < 1 ise öldürme hızı zamanla azalır

m > 1 ise öldürme hızı zamanla artar (Reynolds, 1996).

Dezenfekte edilecek materyal örneğin bir tıbbi cihaz ise dezenfektan içinde önerilenden daha uzun süre tutulmasının yararı yoktur. Bu alette geri döndürülemez hasar oluşturabilir. Bu nedenle dezenfeksiyon süresi de araçların enfeksiyon riski düzeyine göre belirlenir. Buna göre; bazı araçlarda hedef bakteri sporlarını ortadan kaldırmak olduğu için, aletin yapısına uygun sterilizasyon yöntemlerinden birisi tercih edilir. Kimyasal dezenfektanlar ile sporosidal aktivite ancak bakteri sporlarına etkili bir dezenfektanın uzun süre uygulanmasıyla elde edilebilir (dezenfektanın türüne göre 6-20 saat) (Alıcı, 2007).

### 3.2.3. Çevresel faktörler

#### 3.2.3.1. Ortam pH'sı ve sıcaklığı

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

$$\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{E \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2} \quad (3.4)$$

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> : T<sub>1</sub> ve T<sub>2</sub> sıcaklıklarında (°K), verilen bir öldürme yüzdesine ulaşmak için gereken süre.

E : Aktivasyon enerjisi, J/mol (cal/mol)

R : Gaz sabiti, 8,314 J/mol °K (1,99 cal/ mol °K) (Reynolds, 1996).

pH düzeyindeki uç değerler mikroorganizmaların çoğalmasını etkili biçimde sınırlandırır. Bununla beraber ortamın pH düzeyinde meydana gelebilecek en ufak bir değişiklik antimikrobiyal aktiviteyi, dezenfektanların moleköl yapısını bozarak etkilemektedir. pH düzeyinde artış bazı antimikrobiyallerin aktivasyonunu arttırırken (gluteraldehid, kuvaterner amonyum bileşikleri gibi), bazılarının aktivasyonunu azaltabilmektedir (fenoller, hipoklorit, iyodin).

Her dezenfektan için geçerli olmasa da, ısı arttıkça birçok dezenfektanın aktivitesi artar. Bilindiği gibi ısı yüzey gerilimini azaltır, böylece solüsyonun maddeyi ıslatması kolaylaşır ve kimyasal reaksiyon hızlanır.

### 3.2.3.3 Organik ve inorganik maddelerin varlığı ve tipi

Dezenfekte edilecek olan materyal veya ortamda organik madde bulunması mikroorganizma için besin görevi görebilir, bunun yanında mikroorganizmaları çevreleyip dezenfeksiyonu da güçleştirebilir. Asıl önemli olan nokta ise dezenfektan olarak eğer klor kullanılacaksa, klorun doğal organik maddelerle reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünü olan klorlu organik bileşiklerin oluşumuna yol açtığı bilinmektedir. Bunlara örnek olarak trihalometanlar verilebilir. Trihalometanların kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir (Alıcı, 2007).

### 3.3. Dezenfeksiyon Yöntemleri

#### 3.3.1. Ultrasound ile dezenfeksiyon

Ses dalgaları, değişik ortamlar içinde yayılan boyuna dalgalardır. Bu dalgalar her hangi bir ortamda (yani gazlar, katılar veya sıvılar), ortamın özelliklerine bağlı olan bir hızla yayınırlar. Ses dalgası bir ortamda yayılırken; ortamın parçacıkları, dalganın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişiklikleri üreterek titreşirler. Bu parçacık hareketi, dalga hareketinin yönüne dik olan enine dalga hareketindeki durumun tersidir. Ses dalgaları şeklinde ortaya çıkan yer değiştirmeler, denge konumundan itibaren her bir molekülün boyuna yer değiştirmesini gerektirir. Bu sıkışma ve genişleme şeklinde yüksek ve alçak basınç düşmelerine yol açar. Frekanslarına göre, boyuna mekanik dalgalar üç gruba ayrılır.

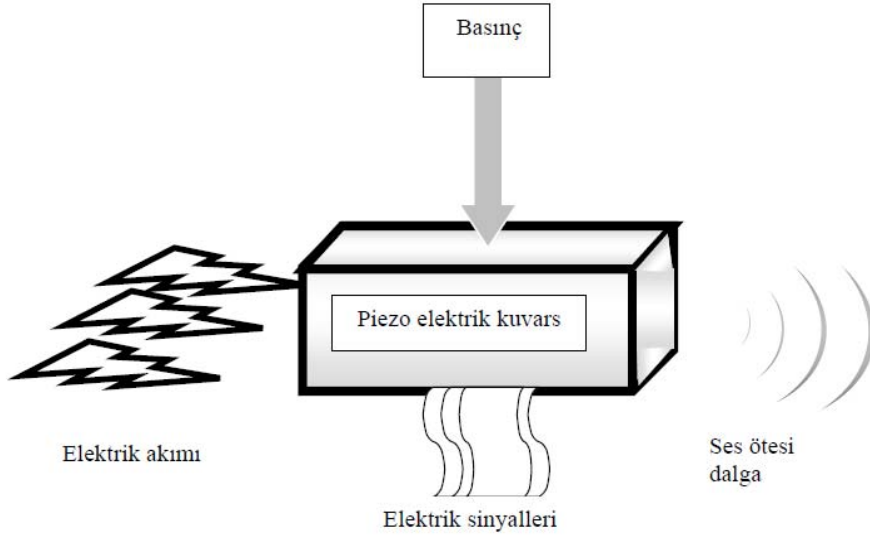
1-) İşitilebilir dalgalar: İnsan kulağının duyarlık sınırı içinde olan ses dalgalarıdır. Bu dalgalar 20 Hz ile 20.000 Hz frekansları arasındadır. Bu sesler değişik yollarla yaratılabilir; müzik aletleriyle, boğazdaki ses telleriyle ve hoparlör ile.

2-) Ses altı dalgalar ( Infrasonic ) dalgalar; işitilebilir mertebenin altındaki frekansta olan boyuna dalgalardır. Deprem dalgaları bu dalgalara örnektir.

3-) Ses ötesi dalgalar ( Ultrasonic ) dalgalar; işitilebilir mertebenin üstündeki frekansları olan boyuna dalgalardır. Örneğin, bu dalgalar, bir kuartz kristaline alternatif elektrik alanın uygulanmasıyla elde edilebilirler. Bu yol ile,  $6 \times 10^8$  Hz (=600MHz) kadar yüksek ultrasonik frekanslar elde etmek mümkündür. Hava içinde bu frekansa karşılık gelen dalga boyu  $5 \times 10^{-5}$  cm'dir. Bu değer görünür ışık dalgalarının boyu ile aynı büyüklüktedir.

Megahertz (MHz) mertebesindeki sinyaller radyo frekans dalgaları olarak adlandırılmasına rağmen, radyo frekans dalgaları ile ses ötesi dalgalar arasında (aynı frekans bandında olmalarına karşın) yapı itibariyle bazı temel farklar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, radyo frekans dalgalarının elektromanyetik dalgalar olması, ses ötesi dalgalarının ise akustik yapıda olmasıdır. Örneğin 2,5 MHz' lik bir sinyal uygun bir antene bağlanırsa

elektromanyetik bir ışınlım meydana gelirken aynı sinyal bir ses ötesi dalga dönüştürücü (transduser) uygulanırsa ses ötesi dalgaları oluşmaktadır. Kuvars ve benzeri birkaç madde, günümüzde de ses ötesi dalga üretmek için kullanılmaktadır. Uygun şekilde kesilmiş bir kuvars parçası piezoelektrik özelliği göstermektedir. Yani, kristale belli bir doğrultuda basınç uygulandığında, buna dik bir doğrultuda bir elektrik sinyali oluşur. Bunun tersi de geçerlidir, kristale alternatif bir gerilim uygulandığında kristal titreşmeye başlar. Kristalin büyüklüğü, doğal titreşim frekansı uygulanan elektrik sinyalinin frekansına eşit olacak şekilde ayarlanırsa, titreşimler çok büyük olabilmekte ve yoğun bir ses dalgası üretmektedir.



Şekil 3.2. Ultrasonik dalganın piezoelektrik madde ile oluşturulması

Gücü, bir halden diğerine dönüştüren herhangi bir aygıt dönüştürücü (transducer) olarak adlandırılır. Mikrofon ve kuartz kristal gibi, seramik ve magnetik fonograf pikaplar da ses dönüştürücülerine ait genel örneklerdir. Bazı dönüştürücüler ses ötesi dalgalar yaratabilirler. Böyle aygıtlar ultrasonik temizleyicilerde kullanılabilir.



Ses ötesi dalgaların kullanıldığı tepkimelere Sonokimyasal Tepkimeler denmektedir. Sonokimya ‘ses ötesi dalgalar’ yoluyla kimyasal tepkimenin gerektiği koşulların iyileştirilmesini, tepkime mekanizmasının değiştirilmesini ve tepkimeyi hızlandıracak radikal oluşumunu arttırmayı amaçlamaktadır. Ses ötesi dalgaların kimyasal tepkimelere etkileri çok çeşitlidir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Tepkime hızını artırır.
- Serbest radikal oluşumunu sağlayarak başlatıcı veya katalizör olarak görev yapar.
- Mekanik etkileri sayesinde yüzey alanını artırarak, kütle aktarımını hızlandırır.
- Yan ürünlerin oluşmasını engeller.
- Tepkimenin verimini arttırmakla birlikte tepkime süresini kısaltır.
- Tepkime yol izini değiştirir
- Yüksek sıcaklık ve basınçta gerçekleşen tepkimenin koşullarını değiştirerek, elverişli koşullarda gerçekleşmesini sağlayabilmektedir (Gümüsdere, 2007).

Sıvılar titreşime maruz kaldığında kavitasyon olarak bilinen fiziksel etki ile fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kavitasyon, sıvıdaki moleküller ultrasound enerjisini absorbladıkça sıvıdaki mikroskobik gaz moleküllerin oluşumu, genişmesi ve iç patlama oluşmasıdır. Sıkıştırılmış ve basıncı azalmış dalgalar hızla sıvı ortam içinde hareket eder. Eğer dalgalar yeterince güçlü ise moleküllerdeki çekici kuvvetleri kırarak ve gaz moleküllerini oluşturacaktır. Sıvıya ultrasound enerjisi gelmeye devam ettiğinde gaz kabarcıkları kritik boyuta ulaşana dek genişlemeye devam eder. Kritik boyuta ulaşıldığında gaz kabarcığı patlar ya da çöker. Kavitasyon ile var olan enerji ve tam çökmeden önce gaz baloncukuna en yakın bölge sıvıda fiziksel ve kimyasal etkiye neden olur. Fiziksel etkiler, kavitasyon hücre membranını yırtacak ve katı yüzeyden partikül ayıracak

kadar yoğun olduğunda oluşur. Partikülleri ve organizmaları partikül çarpışması veya onları ayırmaya zorlayarak yok eder (Dehghani, 2005).

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 meydana 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 ayrırabilir.

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 bozunma gerçekleşir. Radikaller bakteriyel hücre duvarının kimyasal yapısını bozar ve hücre duvarını zayıflatır.
- Suyun bu sonokimyasal degradasyonunda son ürün kuvvetli bir bakterisit olan hidrojen peroksit'tir ( $H_2O_2$ ) (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.

Ultra ses, frekansı insanların duyma sınırının (20 Hz ile 20 kHz ) üzerinde bulunan mekanik titreşimlerden meydana gelmiş bir enerji çeşididir.

Mikrobiyal popülasyonlar içinde yer alan hücreleri sonik ve ultrasonik enerjiden yararlanılarak öldürmek mümkündür. Ultrasonik ses dalgaları, sıvı içindeki mikroorganizmalara uygulandığında hücreler yırtılmakta ve içerikleri açığa çıkmaktadır. Bu metot mikroorganizmaların öldürülmesinden ziyade, hücre çeperi ve hücre içi yapıların, enzimlerin ekstraksiyonunda kullanılmaktadır. Ultrasonik aralıktaki (range) ses dalgaları bakterisidal etkiye sahiptir. Böyle ses dalgaları, çok çeşitli materyalleri etrafa dağıtır, proteinlerin yapısını bozar ve bakterileri parçalar.

Hücre parçalanmasının sonik dalgalarla mekanizması şöyle olmaktadır: Ses olduğu kaynaktan bir fiziksel ortama dalgalar halinde yayılır. Örneğin kulakla duyulabilen sonik dalgaların titreşim aralıkları (range) saniyede 40-20000 dögüdür. Ancak, bugün saniyede 15000 ' den birkaç yüz bin dögüye sahip ultrasonik dalgalar üretebilecek aletler yapılmış bulunmaktadır. Sonik dalgalar, özellikle ultrasonik dalgalar, bir mikrobiyal popülasyonun içinde bulunduğu ortama iletilecek olursa bu dalgalar sıvı içinde hızla hareket eden hava kabarcıklarının oluşmasına sebep olmakta ve bu hava kabarcıklarından bazıları zaman zaman birleşerek hücre civarlarında daha büyük kabarcıklar oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar, hücrelerin yüzeylerinden ve civarlarından geçerken son derece büyük basınç farklılıklarının oluşmasına sebep olmaktadır.

Bu basınç farklılıklarına dayanamayan hücre çeperi ise yırtılmaktadır (Reynolds, 1996).

Kavitasyon, sıvıdaki moleküller ultrasound enerjisini absorbladıkça mikroskopik gaz moleküllerin oluşması, genişmesi ve patlamasıdır. Sıkıştırılmış ve basıncı azalmış dalgalar hızla sıvı ortam içinde hareket eder. Eğer dalgalar yeterince güçlü ise moleküllerdeki çekici kuvvetleri kırarak ve gaz moleküllerini oluşturacaktır (Şengül ve Müezzinoğlu, 1993).

Kavitasyona etki eden parametreler şunlardır:

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

- Sistemdeki kavitasyon miktarının eşitliğini sürdürmesi için yayınımın gücünün artması gerekir. Yine aynı etkinin devam etmesi için yüksek güç ve frekans gerekir.

- Ultrasonik frekans MHz alanına yükseltirse sıvıdaki kavitasyon ürünü azalır.

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

c) Çözücü Yüzey Gerilimi: Kullanılan düşük yüzey gerilimli çözücüler kavitasyon

eşiğinde azalmaya sebep olurlar.

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

e) Sıcaklık: Atmosfer sıcaklığının artırılmasıyla buhar basıncı artar ve bundan dolayı kolay kavitasyon, fakat daha düşük şiddetli çökme sağlanır. Diğer bir faktör ise yüksek sıcaklıklarda çözücünün kaynama noktasına yaklaşırken aynı zamanda çok sayıda kavitasyon kabarcıkları oluşur. Bunlar ses iletimine bir engel gibi davranır ve sıvı ortamına giren ultrasonik enerjinin etkisini söndürür.

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

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

Bunlar;

- Sonikatörde kullanılan transducer, sonunda buradaki boyutsal değişmelerin artışıyla bozulacak ve maddeyi kıracaktır.
- Yüksek titreşimsel genişlikte ultrases kaynağının tam devir boyunca sıvı ile teması sürdürülmez ve bu durum kaynaktan ortama güç transferinin veriminde büyük bir düşüşe sebep verir.
- Büyük miktarda ultrasonik güç sistemine girdiğinde çözültide çok sayıda kavitasyon kabarcıkları meydana gelir. Bunların çoğu birleşerek büyürler ve daha kararlı kabarcıklar oluştururlar. Buda sıvı içerisindeki ses enerjisinin yolunu nemiendirerek sonokimyasal etkiler vermek üzere çöken bir çok küçük kabarcıklar çıkar.

h) Sesin Azalması: Ortam içerisinde çeşitli sebeplerden dolayı sesin yoğunluğu azaltılır. Azalmanın boyutu frekansla ters orantılıdır. Bu saf su içerisinde ses azalması örneğiyle gösterilebilir. 118 kHz deki ses suyu 1km geçtikten sonra yoğunluğu yarisına azalır. 20kHz ses için aynı yoğunluk azalmasını sağlamak için daha fazla uzaklığa ihtiyaç vardır. Ultrasonik yayınımla etkilenen kimyasal reaksiyonların bazı tipik sınıfları aşağıda verilmiştir.

- Homojen Reaksiyonlar
- Heterojen Katı-Sıvı Reaksiyonlar
- Heterojen Sıvı-Sıvı Reaksiyonlar (Edecan,2006)

Ultrasonik sistemler ile su dezenfeksiyonu ultrasonik yöntemin uygulamadaki basitliği ve istenmeyen yan ürünler (toksik vb) oluşturmaması nedeniyle tercih edilmektedir. 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 ölçekte dezenfeksiyonda kullanmak için maliyetli hale getirebilir. Ancak, diğer tekniklere (klorlama, UV vb.) ek olarak dekontaminasyonda ultrasound ile melez ve ardışık sistemlerin kullanılması klasik yöntemleri de maliyet açısından aşağı çekebilir. Bununla birlikte bazı mikroorganizmaların biyositler, ultraviyole ışığı ve ısı ile arıtım gibi dezenfeksiyon tekniklerine karşı dirençli hale gelmeleri de melez ve ardışık sistemlere ilgiyi artırmaktadır.

### 3.3.2. Metal iyonları 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.

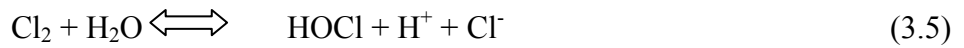
Gümüş, oligodinamik etkiye sahip olduğundan, sargı bezleri ve merhem gibi antiseptik sıhhi malzemelerin hazırlanmasında da kullanılabilir.

$Hg^{++}$ '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).

### 3.3.3. 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;



$$K = \frac{[HOCl][H^+][Cl^-]}{[Cl_2]} = 4,5 \cdot 10^{-4} \quad , 25^\circ C'de \quad (3.6)$$

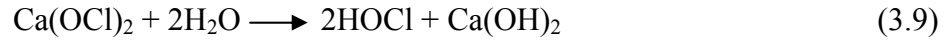
İyonizasyon;



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ , } 25^\circ\text{C}'\text{de} \quad (3.8)$$

Suda bulunan HOCl ve OCl<sup>-</sup>'nin miktarları serbest klor olarak adlandırılır. HOCl, OCl<sup>-</sup>'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. PH'a bağlı HOCl yüzdeleri Şekil 4.1.'de verilmiştir (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<sub>3</sub>), bromodiklorometan (CHBrCl<sub>2</sub>), dibromoklorometan (CHBr<sub>2</sub>Cl) ve bromoform (CHBr<sub>3</sub>) 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 daha yüksektir. ABD Çevre Koruma Örgütü (USEPA) Ulusal Birincil İçme Suyu Kirletici Standartları'nda THM' lerin kanserojen oldukları ve karaciğer, böbrek ve sindirim sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu belirtilmektedir.

1998 yılında USEPA tarafından yürürlüğe konulan talimatlarda toplam THM (TTHM) miktarı 80 µg/L olarak belirtilmiştir. Söz konusu sınır değer 2000 yılı itibari ile 40 µg/L olarak belirtilmektedir. Avrupa Birliği'nin 1995 yılında öngördüğü yönergeyle, kloroform ve bromodiklorometan limit değerleri sırasıyla 40 ve 15 µg/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).

#### **3.3.4. 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).

### 3.3.5. 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 tür mikroorganizma türünü başarılı olarak sudan giderebilmektedir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonun etki mekanizması temel olarak bakterilerin anotta direkt olarak yükseltgenmesine ya da elektrokimyasal olarak bir yükseltgen üretilerek bakterilerin elektrokimyasal reaktörde indirekt yolla yükseltgenmesine dayanmaktadır.

Direkt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonda, elektrokimyasal reaktöre sabit gerilim uygulanması ile bakteri hücrelerinin solunum aktivitesinin azalması sağlanmakta ve sonuçta ölümüne sebep

olunmaktadır. Bu yöntem hücre içi koenzim A'nın elektro yükseltmesine dayanmaktadır.

İndirekt yükseltme 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).

### 3.3.6. 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 radyasyonun herhangi bir toksik bileşik oluşturmadan bakterisit ve virüsit olarak kullanılabilceği 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 radyasyonun 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 dönüştüğü düşünülmektedir. Bu nedenle UV radyasyonun, çevreye

zararlı ya da faydalı etkilerinin olmadığı düşünölmektedir (Metcalf ve Eddy, 1981).

UV ile dezenfeksiyon sürecinin etkinliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

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

Dezenfekte edilecek atık suyun bulanıklığı önemli sorunlar yaratabilmektedir. Eğer dezenfekte edilecek suyun kalitesi kötüyse, UV ışını katılara nüfuz edemez ve sürecin etkinliği azalır.

## 4. MİKROBİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

### 4.1. Suda Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri

Mikrobiyolojik problemlerin çözümünde, mikroorganizma sayısı incelenen örneğin mikrobiyolojik kalite yönünden değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bir çok 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/cm<sup>2</sup> olarak verilmektedir. Katı besiyerinde koloni sayımına dönük sayım yöntemlerinde ise sonuçlar sayı yerine cfu/ml, cfu/g veya cfu/cm<sup>2</sup> 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;

- 1. Direkt Sayım Yöntemleri: Direkt olarak mikroorganizma kolonileri veya hücrelerinin sayıldığı yöntemdir.
  - a. 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
    - Petrifilm sayım yöntemi
  - b. Direkt 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
- Flouessant mikroskobi yöntemleri
- c. Flow sitometri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)
  - 2. İndirekt 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 mikroskobik sayı yöntemleri, en muhtemel sayı yöntemi, renk maddeleri indirgenme testleri, türbidometrik yöntemlerdir.

#### 4.1.1. 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/cm<sup>2</sup> olarak verilir.

#### 4.1.2. 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 çalışma olacak şekilde yapılmalıdır. Vakit geçirilmeden her bir petriye 15-20 ml miktarda 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 sterilit 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.

$$\text{cfu/ml} = \text{sayım sonucu} \times \text{dilüsyon faktörü} \quad (4.1)$$

#### 4.1.3. 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 değiştirilerek 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.

#### **4.1.4. İndirekt 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.

#### **4.1.5. 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. Bu nedenle türbidimetrik yöntemlerle sayım, ancak saf bir mikroorganizma kültür örneği üzerinde gerçekleştirilebilir.

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



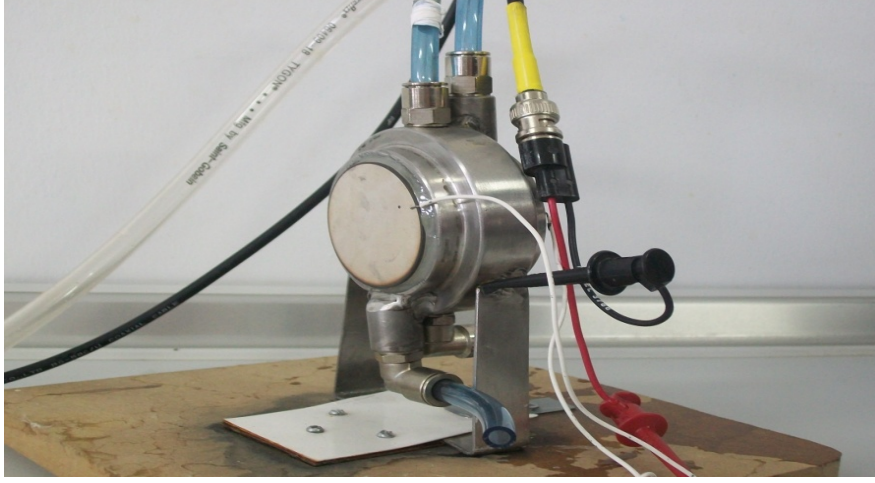
#### 4.1.6. McFarland yöntemi

Baryum klorür ile sülfürik asit karıştırılınca meydana gelen baryum sülfat, ortamda opak renkli bir bulanıklık oluşturmaktadır. Çok kompleks olmayan bir besiyerinde üretilen bakteriler de aynı renkte bir bulanıklık meydana getirmektedir. 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).

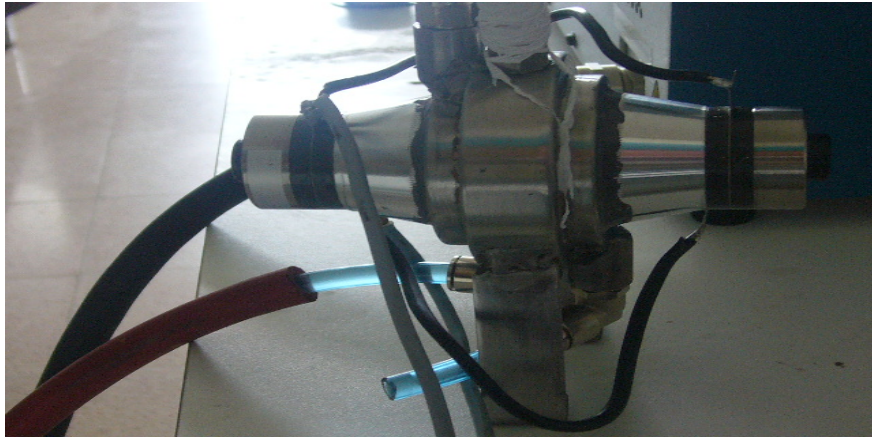
## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Sürekli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu (Yüksek Frekanslı)

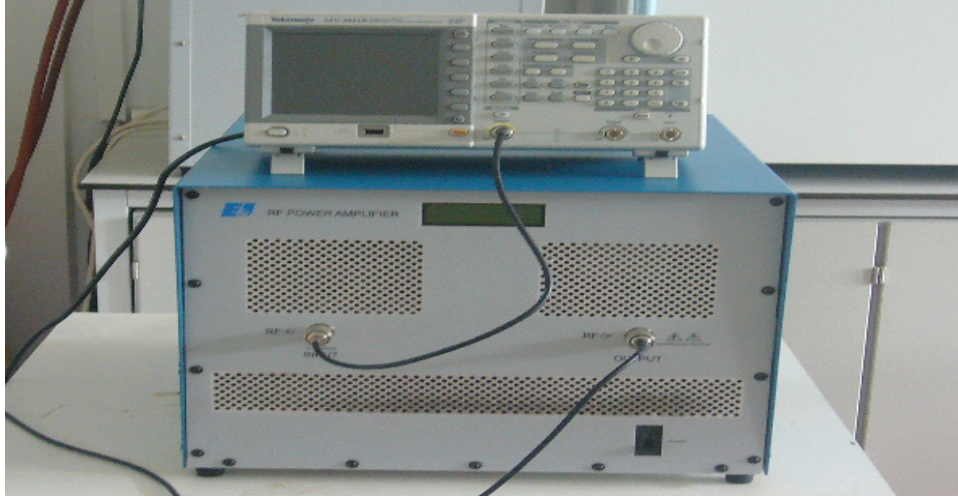
Çalışmalar iki yanında 40 kHz, 404 kHz, 938 kHz frekanslarda ses üreten iki adet transducer bulunduran ultrasonik reaktör ile gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik reaktör 60 mm çapında ve 40 mm genişliğindedir. Ultrasonik reaktör Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’ de ve ultrasonik reaktör ve sürücüsü Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.1. 404 ve 938 kHz frekanslı ultrasonik reaktör



Şekil 5.2. 40 kHz frekansta ultrasonik reaktör



**Şekil 5.3.** Ultrasonik reaktör sürücüsü

Sürekli akışlı ultrasonik reaktör ile gerçekleştirilen çalışmalarda sisteme  $1 \times 10^5$  cfu/mL başlangıç S.aureus bakteri derişiminde farklı frekansların ve bu frekanslarda uygulanan güçlerin, farklı akış hızlarının ve sıcaklığın ve gümüş iyonunun etkisi incelenmiştir. Çalışmalar geri döngülü sistemde 180 mL çalışma çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir. Sisteme verilen çalışma çözeltisinin akış hızı peristaltik pompa (IKA Werka) kullanılarak ayarlanmıştır.

Sisteme gümüş iyonunu etkisini belirlemek için gerçekleştirilen çalışmalarda antibakteriyel dolgulu kolonun ultrasonik reaktörle birlikte olan etkisini görmek amacıyla ön işlem dolgulu kolonda olmak üzere iki sistem ile ardışık olarak çalışılmıştır.

Su dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılacak olan çözelti steril edilmiş distile suya S.aureus eklenerek elde edilmiştir. İstenen başlangıç bakteri derişimi bir gün önceden hazırlanan gecelik bakteri kültüründen belli seyreltmeler yapılarak uygun miktarlarının çözeltiye eklenmesi ile elde edilmektedir. Çalışmalar steril kabin (Heraeus KSP-18 ClassII) içinde ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

## 5.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör ile Su Dezenfeksiyonu (Düşük Frekanslı)

Düşük frekanslı ultrasonik reaktör, 28, 45, ve 100 kHz frekanslarda ses üreten iki adet transducer bulunduran bir sistemdir. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4 Düşük frekanslı ultrasonik reaktör

Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ile yapılan çalışmalar 28, 45 ve 100 kHz frekanslarında ve üç frekansın sırayla veriliği ardışık frekans kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardışık frekans çalışmalarında üç frekans 1'er saniye olmak üzere işlem boyunca sırayla verilmektedir. Çalışmalarda dezenfeksiyon verimine farklı frekansların, farklı başlangıç bakteri derişimlerinin, suda bulunabilecek iyonların ( $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$ ) ve dezenfektan etkisine yardımcı olarak  $\text{Ag}^+$  iyonunun etkisi incelenmiştir. Çalışmalar 100 mL çözelti ile gerçekleştirilmiştir.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

### 6.1. Sürekli ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu (Yüksek frekanslı)

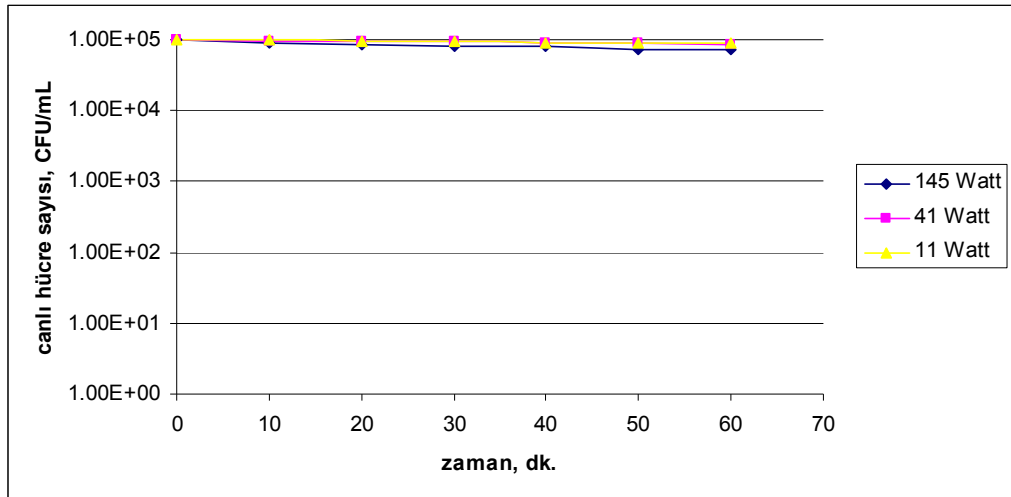
Çalışmalar iki yanında 40 kHz, 404 kHz, 938 kHz frekanslarda ses üreten iki adet transducer bulunduran ultrasonik reaktör ile gerçekleştirilmiştir.

#### 6.1.1. 40 kHz frekansta ultrasonik reaktörün etkinliğinin belirlenmesi

Dezenfeksiyon çalışmaları  $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişiminde 25 ml/dk., 50 ml/dk., 50 ml/dk., ve 100 ml/dk. akış hızlarında, 11 watt, 41 watt ve 145 watt (elde edilebilen max. güç) güçlerde, geri döngülü ve sürekli akışlı sistemde gerçekleştirilmiştir. Geri döngülü sistemde gerçekleştirilen çalışmalarda 180 mL çalışma çözeltisi kullanılmıştır.

##### 6.1.1.1. Geri döngülü sistemde farklı güçlerin etkisinin incelenmesi

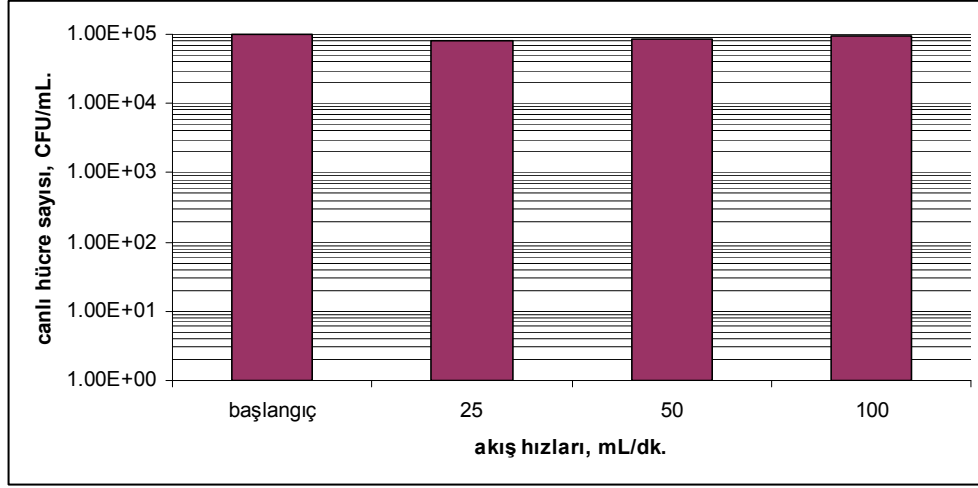
Çalışmalar , 11 watt, 41 watt ve 145 watt güçlerinde,, 25 mL/dk. akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi kullanılarak  $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde farklı güçlerin etkisi

### 6.1.1.2. Sürekli akışlı sistemde farklı akış hızlarının etkisinin incelenmesi

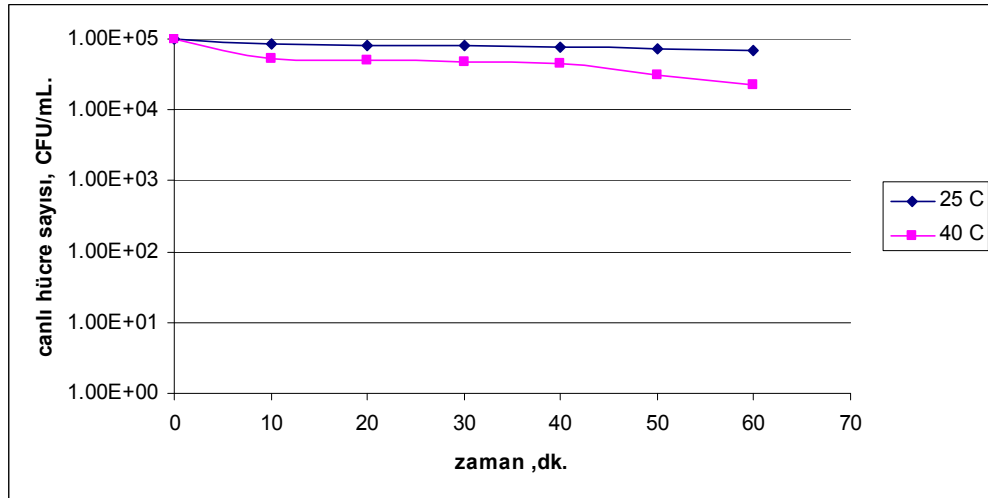
Çalışmalar 25 mL/dk., 50 mL/dk., ve 100 mL/dk., akış hızlarında, en iyi sonucun elde edildiği 145 Watt gücünde,  $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.2.'de verilmiştir.



Şekil 6.2  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde farklı akış hızlarının etkisi

### 6.1.1.3. Geri döngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi

Çalışmalar 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda, 145 Watt gücünde, 100 ml/dk akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi ile  $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.3.'de verilmiştir.



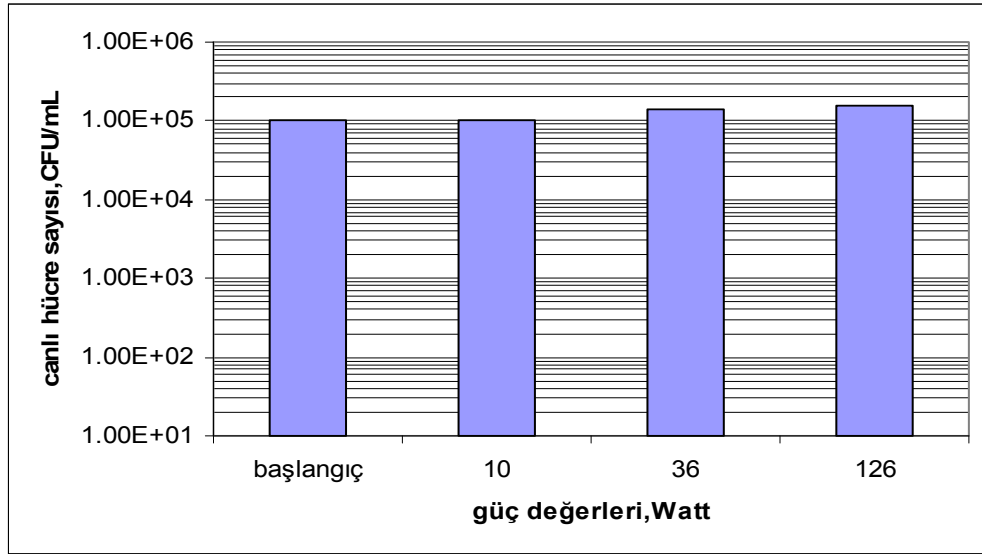
Şekil 6.3  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde sıcaklığın etkisi

## 6.1.2. 404 kHz Frekansta ultrasonik reaktörün etkinliğinin belirlenmesi

Gerçekleştirilen dezenfeksiyon çalışmaları için 10 watt, 36 watt, 126 watt (elde edilebilen max. güç) güçlerde 404 kHz frekansta ses üreten ultrasound reaktör kullanılmıştır.

### 6.1.2.1. Sürekli akışlı sistemde sistemde farklı güçlerin etkisinin incelenmesi

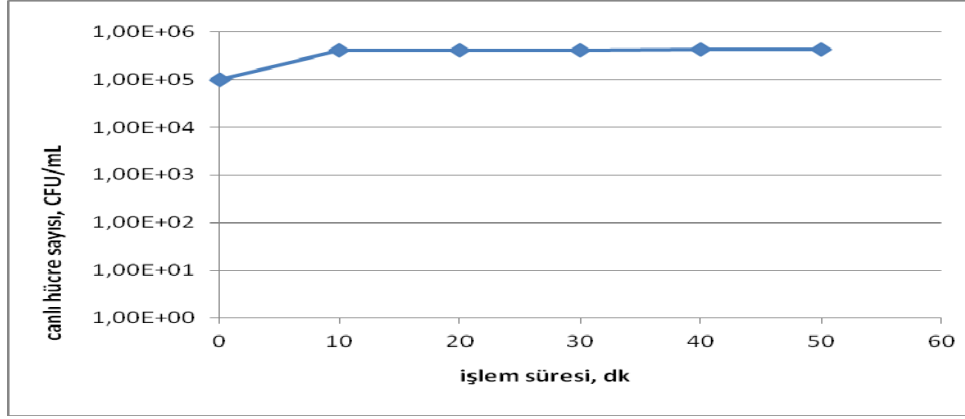
404 kHz frekansta ses üreten reaktör ile gerçekleştirilen çalışmalarda ilk olarak gücün giderime olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla çalışmalar 10 Watt, 36 Watt ve 126 Watt güçlerinde, farklı akış hızlarında,  $1 \times 10^5$  cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.4’de verilmiştir.



Şekil 6.4.  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde farklı güçlerin etkisi

### 6.1.2.2. Geri döngülü sistemde reaktör etkinliğinin incelenmesi

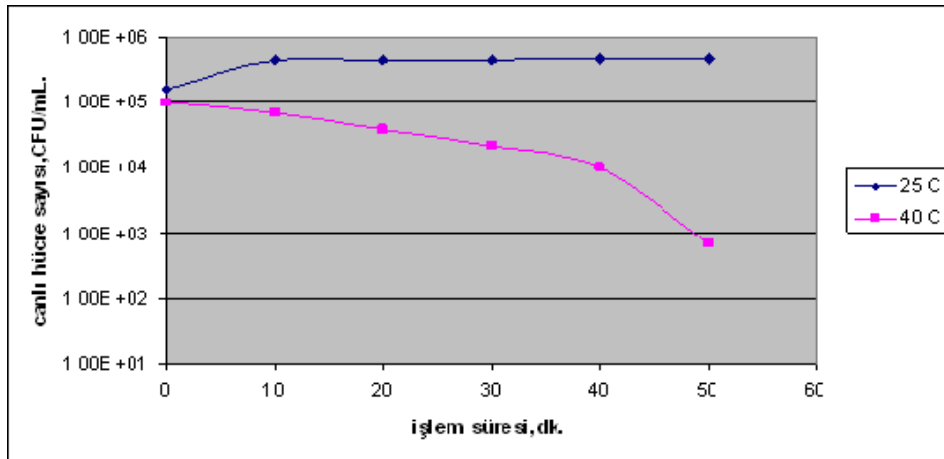
126 Watt gücünde, 25 mL/dk. akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi kullanılarak  $1 \times 10^5$  cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.5.'de verilmiştir.



Şekil 6.5  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde 126 watt gücünün etkisi

### 6.1.2.3. Geri döngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi

Sıcaklığın ultrasound reaktörün verimine olan etkisi 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda, elde edilebilen en yüksek güç olan 126 Watt gücünde, 25 mL/dk akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi ile  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.6.'de verilmiştir.



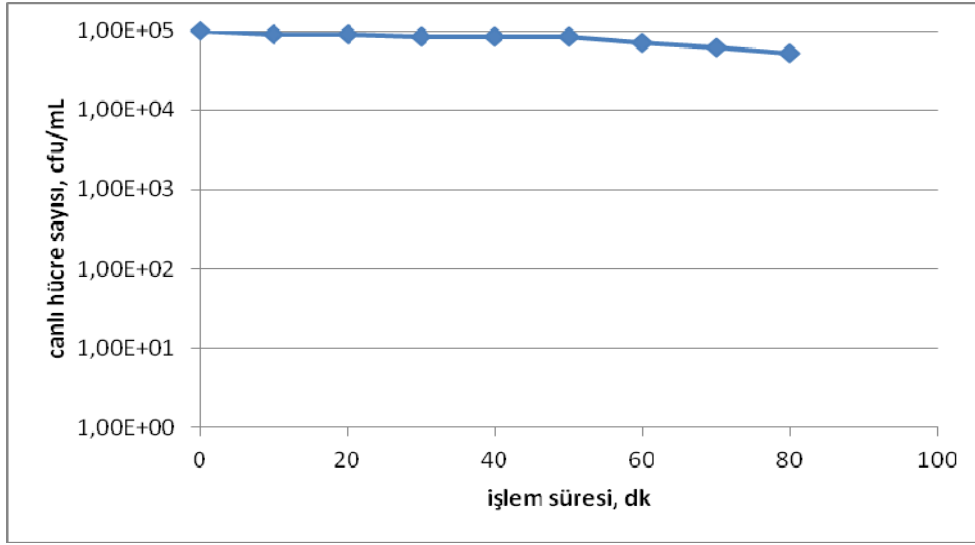
Şekil 6.6  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde sıcaklığın etkisi



### 6.1.3. 938 kHz Frekansta ultrasonik reaktörün etkinliğinin belirlenmesi

#### 6.1.3.1. Geri döngülü sistemde reaktör etkinliğinin incelenmesi

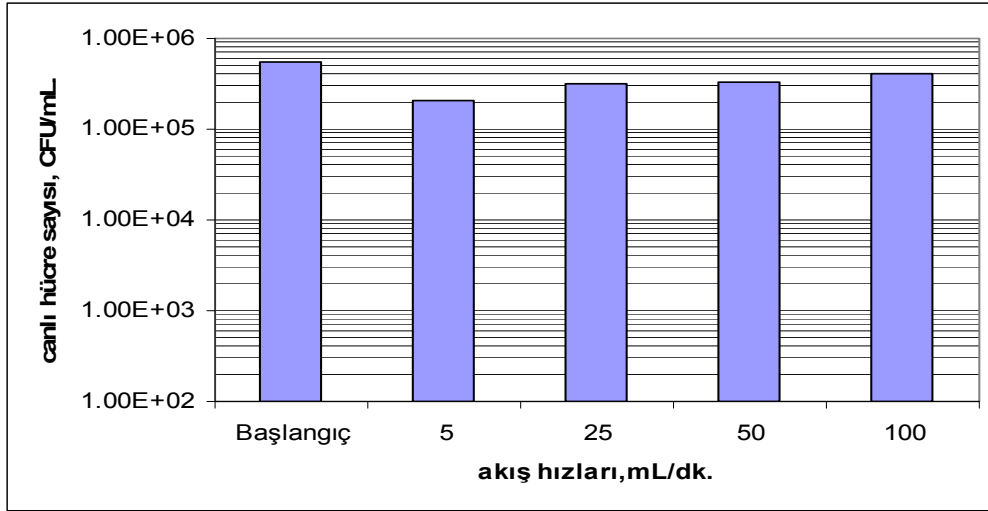
17 Watt gücünde (elde edilebilen max. güç), 25 mL/dk. akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi kullanılarak  $1 \times 10^5$  cfu/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.7’da verilmiştir.



Şekil 6.7.  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde 17 watt gücünün etkisi

#### 6.1.3.2. Sürekli sistemde farklı akış hızlarının etkisinin incelenmesi

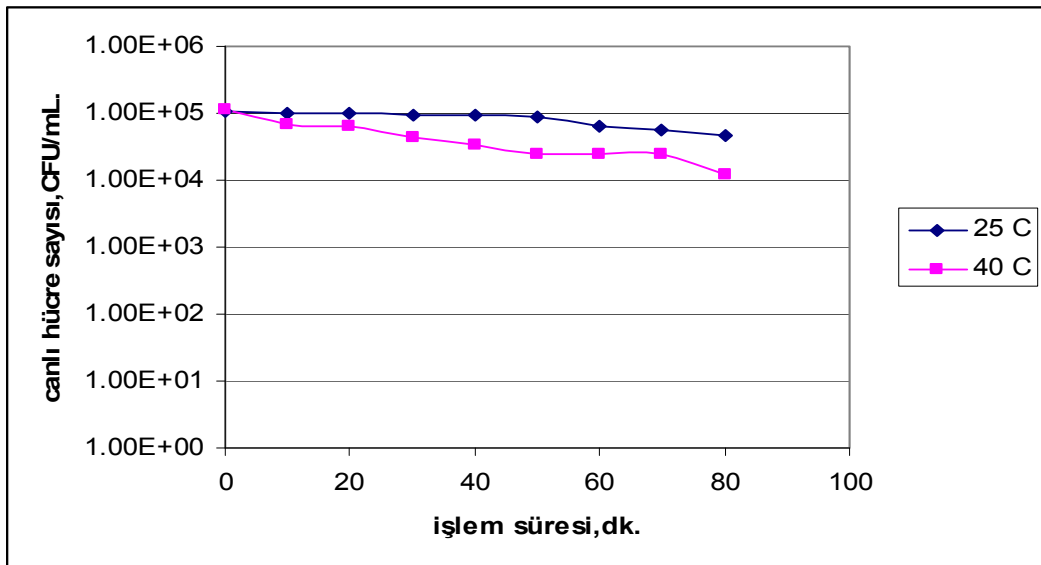
Farklı akış hızlarının bakteri giderimine etkisinin incelendiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda 17 watt güç (elde edilebilen max. güç) kullanılmış olup 5 mL/dk., 25 mL/dk., 50 mL/dk ve 100 mL/dk akış hızları ile çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8.  $5 \times 10^5$  CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

### 6.1.3.3. Geri döngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi

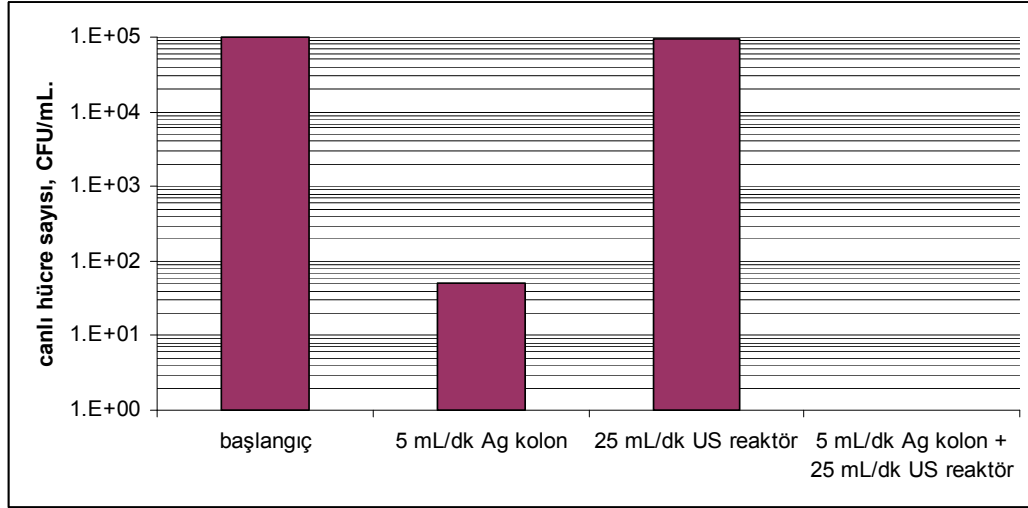
Sıcaklığın ultrasound reaktörün verimine olan etkisi  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda, elde edilebilen en yüksek güç olan 17 watt gücünde, 25 mL/dk akış hızında, 180 mL çalışma çözeltisi ile  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.9.  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde sıcaklığın etkisi

#### 6.1.3.4. Antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistemin birlikte etkinliğinin belirlenmesi

Bu çalışmada antibakteriyel dolgulu kolonun ultrasonik reaktörle birlikte olan etkisini görmek amacıyla ön işlem dolgulu kolonda olmak üzere iki sistem ile ardışık olarak çalışılmıştır. alışmalar, antibakteriyel dolgulu kolonda 5 mL/dk akış hızında ve ultrasonik reaktörde 40 kHz frekansta ve 145 Watt gücünde 25 mL/dk. akış hızında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.10'da verilmiştir.



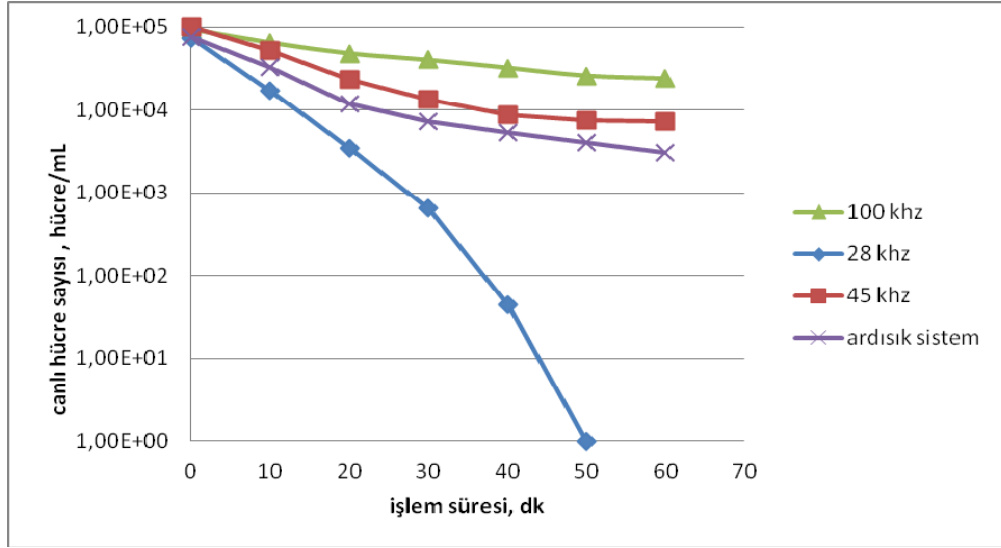
Şekil 6.10.  $1 \times 10^5$  CFU/mL başlangıç derişiminde antibakteriyel dolgulu kolon ve ultrasonik sistemin birlikte etkisi

#### 6.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör İle Su Dezenfeksiyonu (Düşük Frekanslı)

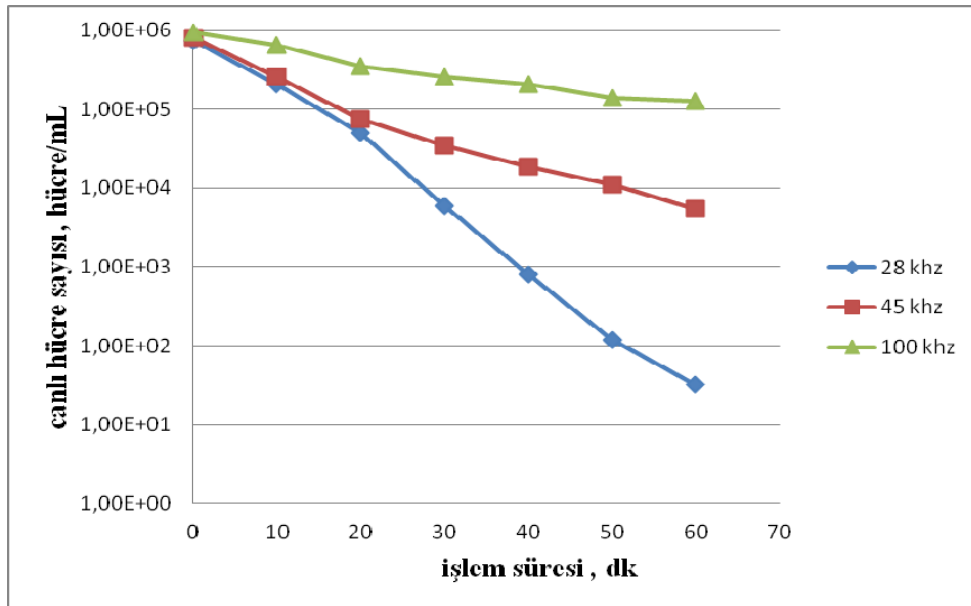
Düşük frekanslı ultrasonik reaktör ile yapılan çalışmalar 28, 45 ve 100 kHz frekanslarında ve üç frekansın sırayla verilği ardışık frekans kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardışık frekans çalışmalarında üç frekans 1'er saniye olmak üzere işlem boyunca sırayla verilmektedir. alışmalar 100 mL çözelti ile gerçekleştirilmiştir.

### 6.2.1. Ultrasonik frekansın etkisinin incelenmesi

Farklı başlangıç bakteri derişimlerinde ( $1 \times 10^5/\text{mL}$ ,  $1 \times 10^6/\text{mL}$ ) gerçekleştirilen frekans etkisinin incelendiği çalışmanın sonuçları Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmektedir.



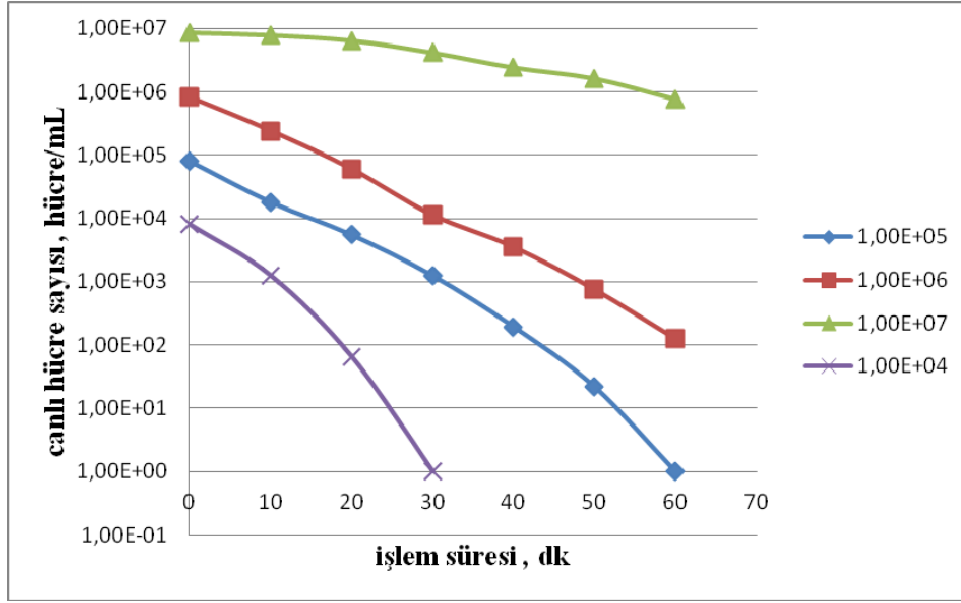
Şekil 6.11.  $1 \times 10^5/\text{mL}$  başlangıç bakteri derişiminde ultrasonik frekansın etkisi



Şekil 6.12  $1 \times 10^6/\text{mL}$  başlangıç bakteri derişiminde ultrasonik frekansın etkisi

### 6.2.2. Başlangıç hücre derişiminin etkisinin incelenmesi

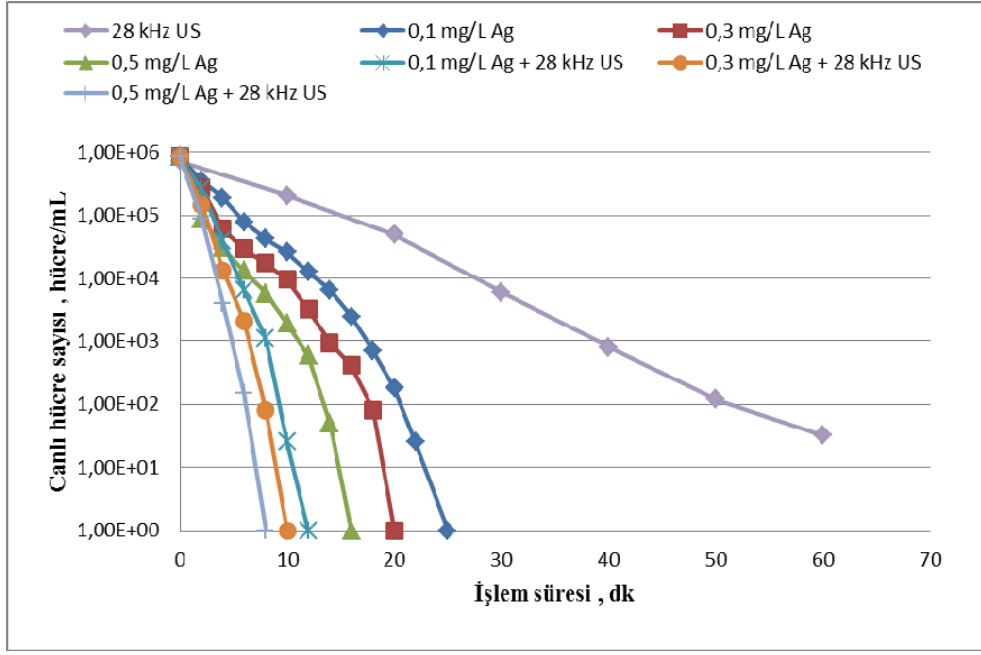
Bu çalışma, farklı başlangıç hücre derişimlerine sahip çalışma çözeltileri ile en iyi dezenfeksiyon veriminin elde edildiği 28 kHz frekans'da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.13.'da verilmiştir.



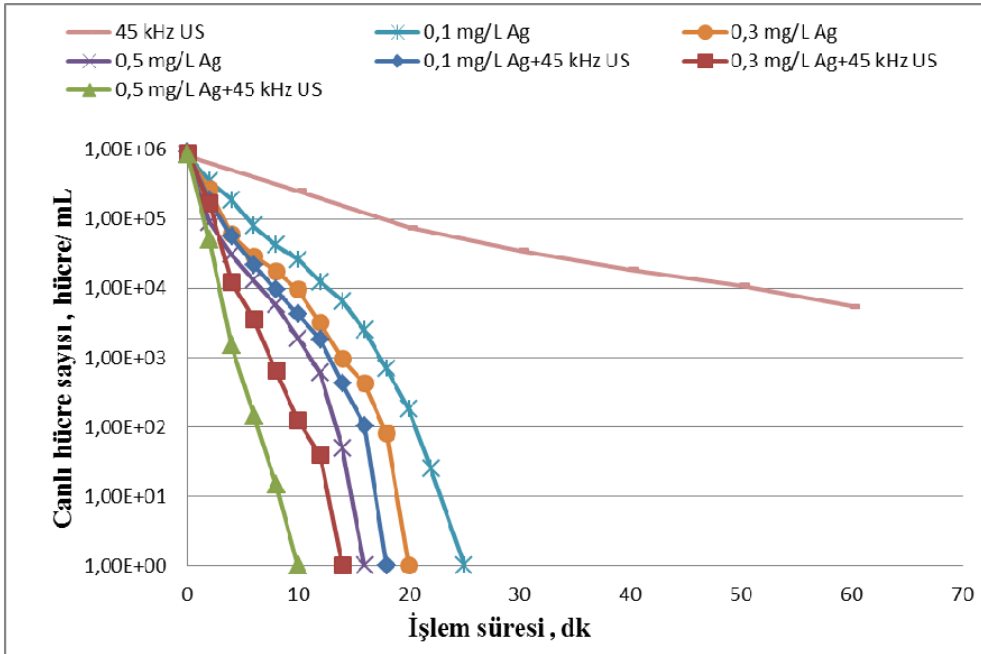
Şekil 6.13. 28 kHz'de başlangıç bakteri derişiminin etkisi

### 6.2.3. Gümüş iyon derişiminin etkisinin incelenmesi

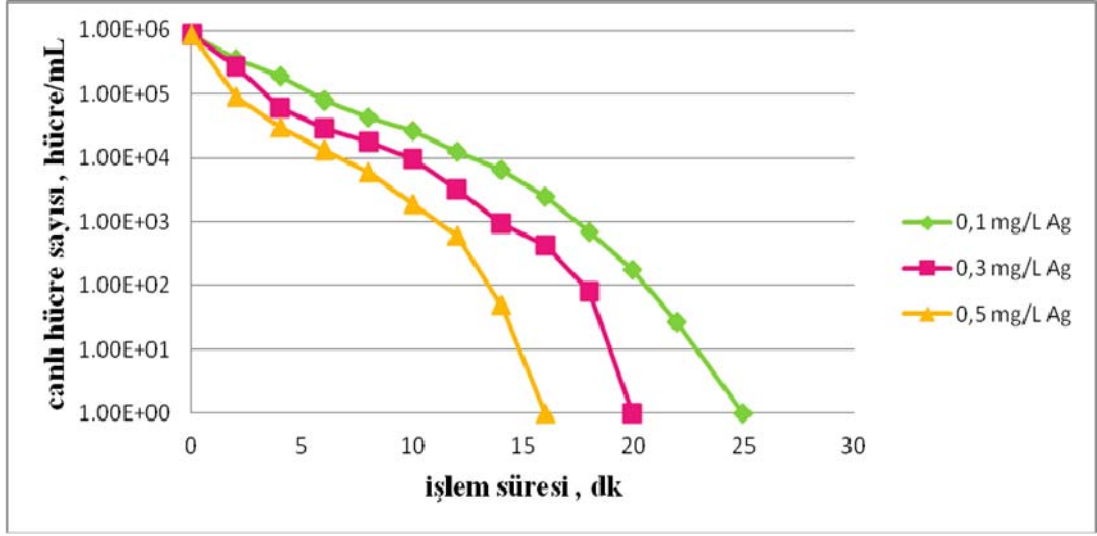
Başlangıç hücre derişim  $1 \times 10^6$  hücre / mL olan ve farklı Ag<sup>+</sup> iyon derişimleri içeren çalışma çözeltilisine 28 ve 45 kHz frekanslarda ultrasonik güç uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.14-16'da verilmiştir.



Şekil 6.14. 28 kHz'de gümüş iyonunun etkisi



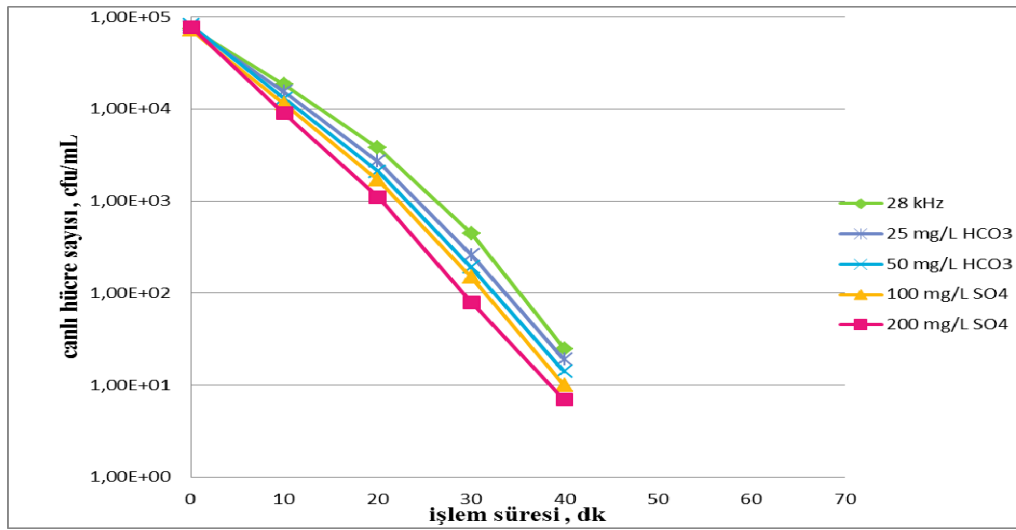
Şekil 6.15. 45 kHz'de gümüş iyonunun etkisi



Şekil 6.16. Gümüş iyonunun etkisi

#### 6.2.4. Suda eşlik eden iyonların etkisinin incelenmesi

Bu çalışmada sodyum tuzları olarak bikarbonat ve sülfat iyonları kullanılmıştır. Çalışmada  $1 \times 10^5$ /mL başlangıç bakteri derişiminde, 100 mL çalışma çözeltisi ile 28 kHz ultrasonik frekansta 200 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , 100 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , 50 mg/L  $\text{HCO}_3^-$  ve 25 mg/L  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.17.  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarının ultrasonik sisteme etkisi

## 7. BULGULARIN TARTIŞILMASI

### 7.1. Sürekli ultrasonik reaktör ile su dezenfeksiyonu (Yüksek frekanslı)

Sürekli ultrasonik reaktör sisteminde 40 kHz, 404 kHz ve 938 kHz frekanslarda çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 40 kHz’de gerçekleştirilen çalışmalar ile *Stafilococcus aureus* dezenfeksiyonunun etkisiz olduğu gözlemlenmiştir. Farklı frekanslarda gerçekleştirilen sıcaklık etkisinin belirlenmesi çalışmalarında 40 °C’ de geri döngülü sistemde gerçekleştirilen dezenfeksiyon sonucunda 25 °C sıcaklığa göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Şekil 6.3., Şekil 6.6 ve Şekil 6.9). Ultrasonik reaktör ile 404 kHz frekansta *S.aureus* bakterileri ile gerçekleştirilen çalışmalarda sürekli akışlı sistemde ve geri döngülü sistemde bakteri sayısının arttığı görülmektedir. Bu durum uygulanan güç ve frekansın bakterileri öldürmeye yetmemesi ancak bir aradaki kolonileri birbirinden ayırabilmesinden kaynaklanmaktadır. (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5). Karşılaşılan bu durum dezenfeksiyon amaçlı uygun değilmiş gibi gözükse de bir sonraki dezenfeksiyon aşaması için bakterilerin daha korunaksız hale gelmesini sağlayabilir.

### 7.2. Kesikli Ultrasonik Reaktör İle Su Dezenfeksiyonu (Düşük Frekanslı)

Düşük frekanslı ultrasonik reaktörde gerçekleştirilen çalışmalarda en iyi sonuç 28 kHz frekansta elde edilmiştir (Şekil 6.10).

Sisteme ilave edilen suda eşlik iyonların kaviteasyon başlatıcı zayıf noktaları oluşturma etkisi ile daha çok miktarda kaviteasyon oluşturduğu bilinmektedir. Düşük frekanslı ultrasonik reaktör sisteminde hem  $SO_4^{-2}$  hem de  $HCO_3^{-}$ ’in bu yönde etkisi görülmüş, her iki iyon içinde derişim arttıkça dezenfeksiyonda artış olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.17).



### 7.3. Ultrasonik Sisteme Gümüş İyonu Etkisi

Ultrasonik sistemlerin kütle aktarımını artırıcı etkisinden yararlanılarak gümüş iyonları sıvı içerisinde daha kolay ve homojen şekilde dağıtılabilmekte ve bunun sonucu olarak sıvı içinde her noktada gümüş – bakteri teması sağlanarak dezenfeksiyonun etkinliği arttırılmaktadır. Ayrıca ultrasound'un bakterilerin hücre zarına zarar vermesi ve hasarlı hücre zarında gümüş iyonlarının daha fazla etki göstermesi dezenfeksiyon verimini arttıran bir başka etkendir. (Şekil 6.11, Şekil 6.14-15). Kesikli ultrasonik reaktör sisteminde 28 kHz'de gerçekleştirilen çalışma sonucunda ultrasonik sistem ile gümüş iyonlarının birlikte kullanımının gümüş kullanımı 5 kata kadar azaltabildiği görülmüştür (Şekil 6.14).

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar küçük ölçekli (laboratuvar ortamında) gerçekleştirilmiş olup bu çalışmaların pilot ölçekli ve daha büyük sistemlerde denenmesi bu çalışma sonucunda öneri olarak verilebilir. Ayrıca hedeflenen dezenfeksiyon ortamında bulunabilecek diğer spesifik mikroorganizmalar için ayrı çalışmaların yapılarak bu sistemler için dezenfeksiyon güvenilirliğinin ön çalışmalar ile test edilmesi bir başka önerimiz olacaktır.

Çalışmalar için deneysel çalışma düzenekleri kurulmuştur ve ultrasonik reaktör sisteminde belirlenen parametrik koşullarda su dezenfeksiyonun gerçekleştirilmiştir. *Staphylococcus aureus* bakterisinin ultrasound yöntemi ile giderilebildiği ve gümüşün ultrasonik sistemin etkinliğini arttırdığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- Alıcı, Ö., Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler, 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, 4-8 Nisan, Antalya, 2007.
- Avkan, V., *Staphylococcus aureus Prevelansı ve Methicillin Direnci*, Uzmanlık Tezi, Sağlık Bakanlığı, Şişli Etfal Hastanesi, İnfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji, İstanbul, 1997.
- Boone, D.R., Castenholz, R.W. , *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* – 2nd Ed. – New York, Springer, 2001.
- Brock, T.D., ve Madigan, M.T., *Biology of Microorganisms*, 11. Edition, Pearsons Prentice Hall, New Jersey, A.B.D, 2006.
- Dehghani, H.D., “Effectiveness Of Ultrasound On The Destruction Of E.Coli”, *American Journal Of Environmental Sciences* 1 (3): 187-189, 2005.
- Demirölük, S., *Çeşitli Klinik Örneklerden İzole Edilen S.aureus Kökenlerinin Antibiyotik Duyarlılık, Faj Tipleme ve Kapsül, Polisakkarit Tipleme Yöntemleriyle İncelenmesi*, Uzmanlık Tezi, Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, İstanbul, 2000.
- 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.
- Gül, Ş., *Atık Suların Dezenfeksiyonu*, Atıksu Arıtma Sistemleri, Uygulamaları ve İşletilmeleri Bildiriler Kitabı, (Ed: KARIŞLI, H.) Makine Mühendisleri Odası, Adana, 73-91, 1994.

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

Hacıbektaşoğlu, A., Eyigün, C. P. ve Özsoy, M.F. , "*Gıda Elleyicileri*"nde Burun ve Boğaz Portörlüğü, Mikrobiyoloji Bülteni, 27, 62-70, 1993.

Irmak, H., *Sularla İlişkili Hastalıklar*, T.C. Sağlık Bakanlığı, Ekim, Ankara, 2006.

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.

Mason, T.J., Joyce, E., Phull, J.P., Lorimer, J.P., Potential Uses Of Ultrasound İn 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.

Reynolds, D.R. ve Richards P.A., *Unit Operations and Processes in Environmental Enginnering*, Publishing Company,USA, 1996

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

Sandel, M.K. ve McKillip, J.L., *Virulence and Recovery of Staphylococcus aureus Relevant to the Food Industry Using Improvements on Traditional Approaches*, Food Control, 15, 5-10, 2004.

Şengül, B., ve Şengül, Ü., *İçme ve Kullanma Suları Klorlama Teknikleri*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed: Atlı, V. ve Belenli, İ.), Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi, Kayseri, 132-138, 1998.

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

Tükel, Ç. ve Doğan, H.B., "*Staphylococcus aureus*", *Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları*, (Ed. Tunail, N.), Ankara Üniv. Ziraat Fak. Gıda Müh Bölümü Yayını, Sim Matbaacılık, Ankara, 357-365, 2000.

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 Kınıllı, H.) Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, 936-945, 1999.

Tüzel, O., *Elektrokimyasal Su Dezenfeksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2002.

USEPA,. *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. 815-R-99014, 1999.

Uslu, O. ve Türkman, A., *Su Kirliliği ve Kontrolü*, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi-1, Ankara, 1998.

Ünlütürk, A., ve Turantaş, F. , *Gıda Mikrobiyolojisi*, Pınar Yayınları, İzmir, 1998.

Vural, H. ve Öztan, A., *Effects of Starter Culteres on Growth of Staphylococcus aureus in Fermented Meat Products*, *Gıda*, 18(4), 259-263, 1993.