

**METAL KATKILI DOLGULU KOLON
VE UV KOLON KULLANILARAK
Escherichia Coli ve *Staphylococcus Aureus*
DEZENFEKSİYONU**

Betül Tuba AKÇAY
Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran 2010

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Betül Tuba Akçay'ın “**Metal Katkılı Dolgulu Kolon ve UV Kolon Kullanılarak *Escherichia Coli* ve *Staphylococcus Aureus* Dezenfeksiyonu**” başlıklı **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 28.06.2010 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof.Dr. A. SAVAŞ KOPARAL	
Üye :	Prof.Dr. AYDIN DOĞAN	
Üye :	Öğr.Gör.Dr. FİLİZ BAYRAKÇI KAREL	

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**METAL KATKILI DOLGULU KOLON
VE UV KOLON KULLANILARAK
Escherichia coli ve *Staphylococcus aureus*
DEZENFEKSİYONU**

Betül Tuba AKÇAY

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL
2010, 55 sayfa**

Bu çalışmada, antibakteriyel dolgulu kolonda, UV reaktörde ve her iki sistemin birlikte kullanıldığı birleşik sistemde su dezenfeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Antibakteriyel dolgulu kolon ile geri döngülü ve sürekli akışlı sistemlerde, farklı başlangıç bakteri derişimlerinde, farklı akış hızlarında ve farklı sıcaklıklarda *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerinin giderimi incelenmiştir. Ayrıca, UV reaktörde farklı akış hızlarında *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri ile dezenfeksiyon gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktör birlikte kullanılarak ardışık sistemlerin etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dezenfeksiyon, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*
Antibakteriyel, UV

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DISINFECTION OF *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* USING ANTIBACTERIAL MATERIAL FILLED COLUMN AND UV COLUMN

Betül Tuba AKÇAY

**Anadolu University
Graduate School Of Sciences
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Prof. A. Savaş KOPARAL
2010, 55 pages**

In this study, water disinfection has been implemented on columns with UV and antibacterial filling material. Removal of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria are examined in antibacterial filling material at feed back and continuous system with different initial bacterial concentrations, different flow rates and different temperatures. Besides, disinfection of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria are applied with UV reactors at different flow rates. Moreover, the effect of sequential systems are analysed by using antibacterial filling material and UV reactors together.

Keywords: Disinfection, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* Antibacterial, UV

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve bu tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her koşulda desteğini gördüğüm değerli danışman hocam Prof. Dr. A. Savaş KOPARAL'a;

Çalışmalarım süresince yol gösterici yaklaşımlarından dolayı Öğr.Gör.Dr. Filiz BAYRAKCI KAREL ve Öğr.Gör. Esra GEREK'e ;

Deneysel çalışmalarım sırasında beni hiç yalnız bırakmayan, her konuda yardım ve desteğini gördüğüm sevgili dostum Araş. Gör. Burcu ŞİMŞEK'e;

Deneylerim sırasında bana yardımcı olan Şevkiye TURAN ve Elif Gizem ALBAYRAK'a;

Bugüne kadar her durumda sevgileri ve destekleri ile yanımda olan sevgili ailem ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Betül Tuba AKÇAY

Haziran 2010

Anneme...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. SU KİRLİLİĞİ	3
2.1. Kirlilik Unsurlarının Sınıflandırılması.....	3
2.2. Suda Mikrobiyal Kirlenme	7
2.2.1. <i>Escherichia coli</i>	10
2.2.3. <i>Staphylococcus aureus</i>	10
3. DEZENFEKSİYON	11
3.1. Dezenfeksiyon Mekanizması.....	11
3.1.1. Dezenfektan maddelerin etkileri üzerinde rol oynayan temel faktörler	12
3.2. Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	13
3.2.1. Klor ile dezenfeksiyon.....	15
3.2.1.1 Klorlamanın kimyası	16
3.2.1.2 Kırılma noktası klorlaması.....	17
3.2.2. Klordioksit ile dezenfeksiyon	19
3.2.3. Brom klorür ile dezenfeksiyon.....	20
3.2.4. Ozon ile dezenfeksiyon	20
3.2.5. UV ile dezenfeksiyon	21
3.2.6. Metal iyonları ile dezenfeksiyon.....	25
3.2.7. Ultrasonik sistemler ile dezenfeksiyon.....	26
3.2.8. Elektrokimyasal dezenfeksiyon	28
4. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR	29
4.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma	29
4.1.1. Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması.....	29

4.1.1.1 Dilisyon hazırlama	30
4.1.2. Aktarma teknikleri ve inokülasyon	31
4.1.3. İnkübasyon.....	32
4.2. Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri.....	32
4.2.1. Kültürel sayım yöntemleri	34
4.2.1.1 Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım.....	35
4.2.1.2 Yüzeye yayma yöntemiyle kültürel sayım.....	36
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
5.1. Gümüş Salım Miktarı.....	37
5.2. Antibakteriyel Doldulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu	37
5.3. UV Sistemde Su Dezenfeksiyonu	38
5.4. Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	39
5.4.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu	39
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	40
6.1. Gümüş Salım Miktarının Belirlenmesi	40
6.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonun Etkinliğinin İncelenmesi	41
6.2.1. Geri döngülü sistemde antibakteriyel dolgulu kolonun etkinliğinin incelenmesi.....	41
6.2.2. Sürekli akışlı sistemde antibakteriyel dolgulu kolonun etkinliğinin incelenmesi.....	42
6.2.3. Geri döngülü sistemde sıcaklığın etkisinin incelenmesi	47
6.3. UV Sistemin Etkisinin İncelenmesi	48
6.4. Ardışık Sistemlerin Etkisinin İncelenmesi.....	49
6.4.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistemin birlikte etkisinin incelenmesi.....	49
7. BULGULARIN TARTIŞILMASI	51
7.1. Gümüş Salım Miktarının Belirlenmesi	51
7.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu	51
7.3. UV Sistem ile Su Dezenfeksiyonu.....	52
7.3. Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu.....	52
7.3.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu	52
8. SONUÇLAR	53

KAYNAKLAR.....	54
-----------------------	-----------

ŞEKİLLER DİZİNİ

3.1. Kırılma noktası klorlaması	18
5.1. Antibakteriyel dolgu malzemesi	38
5.2. UV reaktör	38
6.1. Geridöngülü sistemde gümüş miktarları	40
6.2. Sürekli akışlı sistemde gümüş miktarları	40
6.3. <i>Staphylococcus aureus</i> ile Antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi	41
6.4. <i>Escherichia coli</i> ile Antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi	42
6.5. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^4 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	42
6.6. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 4×10^4 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	43
6.7. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	43
6.8. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 5×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	44
6.9. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^6 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	44
6.10. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 6×10^6 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	45
6.11. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	45
6.12. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 2×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	46
6.13. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	46

6.14. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 1×10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi	47
6.15. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 1×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde sıcaklığın etkisi.....	47
6.16. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 1×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde sıcaklığın etkisi.....	48
6.17. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 5×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde UV reaktörde akış hızının etkisi.....	48
6.18. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 5×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde UV reaktörde akış hızının etkisi.....	49
6.19. <i>Staphylococcus aureus</i> kullanılarak 10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolondan sonra UV reaktörün etkisi ...	50
6.20. <i>Escherichia coli</i> kullanılarak 10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde antibakteriyel dolgulu kolondan sonra UV reaktörün etkisi	50

1.GİRİŞ

İnsanlar, doğal ve yapay olarak sınıflandırılan bir çevre içinde yaşamaktadır. Doğal çevre, canlıların hayatları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri fiziki ve biyolojik ortamdır. Yapay çevre ise, insan faaliyetleri ile doğal kaynaklar kullanılarak oluşturulan çevredir. Hava, su ve toprak bu çevrenin fiziki unsurlarını; bitkiler üretici, hayvanlar tüketici, mikroorganizmalar da daha çok ayrıştırıcı olarak biyolojik unsurlarını oluştururlar. Çevrede, canlıların fiziki ve biyolojik unsurlarla olan ilişkileri onların sağlıklı gelişmesine olanak veriyorsa doğal denge mümkün olduğu kadar korunmakta, aksine durumlarda ise bu denge bozulmaktadır.

Gelişen teknoloji, endüstrileşme ve nüfus artışı ile birlikte bu denge sürekli bozularak, çevre kirliliğinin önemli boyutlarda artmasına neden olmaktadır. Çevre kirliliğinin en büyük nedenlerinden biri ülkelerin gelişmelerine dayalı kalkınmanın temel unsurlarını oluşturan tarım, sanayi, ulaşım, turizm ve enerji sektörleridir. Ancak bu sektörlerde kalkınma sağlanırken, yapılacak yatırımların mutlaka çevre ile uyumlu olması ve çevrenin korunması gereklidir [1].

Tabii kaynakların en önemli olanını oluşturan su aslında canlı bir ortamdır, çünkü içerisinde milyonlarca canlı mikroskobik varlıklar içerir. Su kirliliği, su kalitesinin dolayısıyla su ortamının doğal dengesinin bozulması demektir ve aynı zamanda suyun normal durumundan ne kadar uzaklaştığını, halk sağlığına etkisini veya ekolojik etkilerini belirtir.

Suların kirlenme sorunu, hiç şüphesiz çağdaş medeniyetin doğal ortamı bozmasının en fazla endişe verici sorunlarından birini oluşturmaktadır. Eğer insan faaliyeti kısa ve uzun vadede, kirlilik etkenlerinin tamamını engelleyemezse, yakın bir zamanda kara ve okyanus sularının kirliliği çağdaş bir sorun olarak karşımıza çıkacaktır. Su krizi zaten dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Su azlığı sanayileşmiş ve kurak iklime sahip olan üçüncü dünya ülkelerini ve buralardaki tarım ürünlerini oldukça etkilemektedir [2].

Suda meydana gelen kirlenme doğal yöntemlerle zaman içinde temizlenebilmektedir. Ancak günümüzde kirlenme o kadar hızlıdır ki doğal sistemler yetersiz kalmaktadır [3]. Bu nedenle kullanılmış suların alıcı ortamlara

deşarj edilmeden önce bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım işlemlerinden geçirilmesi gerektiği gibi içme ve kullanma suyu temininde de bazı arıtım işlemleri uygulanmalıdır. Özellikle sularda bulunan patojen mikroorganizmalar birçok salgın hastalığın yayılmasına neden olduğundan içme ve kullanma suyu temininde dezenfeksiyon önemli bir yöntemdir.

Dezenfeksiyon için en yaygın olarak kullanılan yöntem klorlama olarak bilinmektedir. Klor yüzyılın başından itibaren patojenik mikroorganizmalara karşı ek bir önlem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak son yıllarda klorlamanın insan ve hayvanlar için toksik veya genotoksik olabilen yan ürünlere yol açtığına dair bulgular, daha güvenli dezenfektanların araştırılmasına neden olmuştur. Ayrıca bazı patojen veya parazitlerin dezenfektanlara karşı dirençli olduğu ve bilinen indikatör mikroorganizmaların her zaman suyun güvenliği hakkında fikir vermediği fark edilmiştir [4].

Klorlama ile dezenfeksiyonun bu olumsuz yönlerinden dolayı, klora alternatif olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de ozonlamadır. Fakat bu yöntemin de maliyeti fazladır ve kalıntı bırakmamaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerde karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle alternatif dezenfeksiyon yöntemleri geliştirilmektedir. Bu alternatifler yöntemler arasında UV ve metal iyonları ile dezenfeksiyon yer almaktadır.

Bu çalışmada, antibakteriyel dolgulu kolon ile farklı bakteri türlerinde, farklı akış hızlarında, farklı başlangıç bakteri derişimlerinde ve 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda, dezenfeksiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yine UV reaktörde farklı bakteri türlerinde, farklı akış hızlarında dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktör ikili sistemler ile birlikte kullanılarak da ardışık sistemlerin etkisi incelenmiştir.

2. SU KİRLİLİĞİ

Su kirliliği, insan faaliyetlerinden dolayı suyun fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinde meydana gelen olumsuz değişim şeklinde tanımlanabilir. Belediyelerin kanalizasyon ve katı atıkları, endüstri ve ticari faaliyetler sonucu oluşan sıvı veya katı atıklar, toksik maddeler, tarımsal gübre ve ilaçlar (pestisitler) ve hayvansal atıklar, su kirliliğine neden olan temel kirletici kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin bazıları yapıları gereği çok zararlı olmamalarına rağmen su kaynaklarına karıştıktan sonra oluşan biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda çok zararlı hale gelebilir. Organik atıkların mikroorganizmalar tarafından parçalanmaları sırasında mikroorganizmalar sudaki çözünmüş oksijeni tüketir. Ayrıca, organik atıklardaki besin maddeleri mikroorganizmaların tüketim kapasitelerinin çok üzerinde olması durumunda sucul bitki ve alg popülasyonunda patlama meydana gelir ve bu olay ötrofikasyon olarak adlandırılır. Mikroorganizmalar ve algler sudaki çözünmüş oksijeni tüketerek oksijen açığına neden olur. Bu durumda oksijene ihtiyaç duymayan anaerobik mikroorganizmalar organik maddeyi parçalamaya başlar ve oksijene ihtiyaç duyan su canlılarına zararlı olan metan ve hidrojen sülfür gibi gazlar oluşur. Sonuçta, balıklar ve diğer su canlıları ölür, sudaki biyolojik çeşitlilik azalır ve ekolojik denge bozulur.

Kirli sular, içme ve kullanma, rekreasyon, tarım ve endüstriyel faaliyetler için uygun değildir. Kirli sular, içme sularının zehirlenmesine, ötrofikasyon nedeniyle akarsu veya göl ekosistemlerinin bozulmasına, su canlılarının ölmesi sonucu biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve çeşitli çevresel problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Su kirliliği, evsel veya endüstriyel atıkların minimize edilmesiyle azaltılabilir veya önlenebilir [1].

2.1. Kirlilik unsurlarının sınıflandırılması

a) Mikroorganizmalar: Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan patojen mikroorganizma ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Patojenlerle kontamine olmuş suların içme suyu temini ve rekreasyon amacıyla kullanımı kısıtlıdır. Bu nedenle, insan ve hayvan dışkıları içeren ve önemli bir sağlık riski oluşturan atıksuların akarsu, göl veya seyreltme potansiyeli düşük olan koy ve

körfezler gibi alıcı ortamlara verilmesinden önce uygun bir dezenfeksiyon işlemi yapılması gerekir.

b) Organik Maddeler: Atıksuların içerdikleri organik unsurlar, alıcı ortamlarda bakteriler aracılığı ile ayrıştırılırlar. Bu ayrışma başlangıçta aerobik şartlarda oluşur ve sudaki çözünmüş oksijen, bakterilen metabolik faaliyetleri için tüketilir. Tüketilen oksijen, atmosferle su arasındaki ara kesitte gerçekleşen gaz transferi ile yeniden kazanılır ve “doğal arıtma” olarak adlandırılan bu döngü kararlı halde sürer gider. Doğal arıtmayı gerçekleştiren canlı türleri, bunlar arasındaki etkileşimler ve organik maddenin parçalanması sırasında oluşan biyokimyasal reaksiyonlar çok karmaşık yapılara sahiptir. Aerobik ayrışım devam edebildiği sürece, çevresel açıdan organik maddeler bir sorun teşkil etmemektedir. Çünkü reaksiyon son ürünleri su kirliliğine neden olmamaktadır. Sulardaki oksijen tüketim hızı, oksijen kazanma hızından çok daha yüksek ise, çözünmüş oksijen derişimi 0 mg/l’t’ ye kadar düşer. Bu durumda tüm aerobik yaşam durur. Bunların yerini oksijensiz ortamda yaşayabilen anaerobik mikroorganizmalar alır. Anaerobik mikroorganizmalar da sularda bulunan organik maddeyi tüketirler. Ancak anaerobik bakteriyel metabolizma, aerobik metabolizmaya kıyasla çok farklı özellikler gösterir. Anaerobik biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda, amonyak, metan ve hidrojen sülfür gibi yarı stabil son ürünler açığa çıkar. Bu tür su ortamlarında balık ve diğer yüksek su canlılarının yaşamı mümkün olmadığı gibi, oksijensiz sular içme ve kullanma suyu temini, rekreasyon gibi kullanımlara da uygun değildir.

c) Ağır Metaller: Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların içinde bazen eser miktarlarda bazen de yüksek derişimlerde ağır metaller bulunur. Ağır metaller boşaltım ortamlarındaki canlı yaşam üzerinde, derişimleri ile orantılı olarak toksik etki yaparlar. Özellikle kadmiyum, civa, kurşun ve krom gibi ağır metaller, besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılamadıkları için canlılarda fizyolojik olarak birikime neden olurlar ve bünyede belirli sınır derişimlerin aşılması halinde toksik etki yaparlar. Bu birikim sonucunda sularda yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleriyle beslenen insanların yaşamı bile tehlikeye girebilir.

d) Yapay Organik Maddeler: Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan yapay organik kimyasal maddeler, tarım alanlarında kullanılan pestisid ve herbisidler, suda doğal olarak güç parçalanarak bileşiklerdir. Bu bileşiklerin bir kısmı, canlı bünyelerinde yukarıda ağır metaller için anlatılanlara benzer şekilde birikime ve toksik etkilere neden olurlar; diğer bir kısmı ise canlı bünyede mutajen ve kanserojen etkiler yaparlar. Geniş bir biçimde tarım yapılan arazilerde kullanılan tarım ilaçları genellikle çok dayanıklı olduklarından, ayrışmaları yıllarca sürebilir. Bunlar hem toprak kirlenmesine hem de dolaylı olarak su kaynaklarının önemli ölçüde kirlenmelerine neden olmaktadır.

e) Yağlar: Yağlar ve benzeri maddeler su yüzeyini kaplayarak estetik açıdan olumsuz bir görüntü oluştururlar. Yüzeyde oluşan bu yağ tabakası sulara atmosferden oksijen transferini büyük ölçüde engeller ve atıksuların neden olduğu kritik oksijen dengelerini olumsuz bir biçimde etkiler. Bu etkilerin ötesinde, yağların kimyasal açıdan organik bileşikler oldukları hatırlanırsa, alıcı ortamlarda yukarıda organik maddeler için belirtilen tüm olumsuz etkilerin, yağlar için de geçerli olduğu ortaya çıkar. Sulardaki ayrışabilirlikleri açısından yağların kökenleri de önem taşır. Bitkisel ve hayvansal kökenli yağların alıcı su ortamlarında parçalanmaları, mineral kökenli yağlara kıyasla daha hızlıdır. Alıcı su ortamlarına evsel ve endüstriyel atıksularla karışan yağların ötesinde, özellikle liman trafiği, tanker kazaları, sintine ve balast sularının boşaltımı denizlerimizde mineral yağlarla kirlenmeyi hızlandırmaktadır. Ayrıca, karada tankerlerle yapılan petrol, fuel-oil ve akaryakıt taşınimleri sırasında oluşabilecek kazalar sonucunda çevreye yayılan yağlar, gerek yüzeysel gerekse de yeraltı suları için önemli kirlenme riskleri oluştururlar.

f) Deterjanlar: Sentetik deterjanlar içerdikleri fosfor nedeniyle, alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olmaktadır. Ayrıca deterjanların sularda neden olduğu köpük, estetik bir sorun olarak ortaya çıkar. Bunun da ötesinde, deterjanlar kimyasal yapılarına bağlı olarak alıcı su ortamlarında çeşitli düzeylerde kirliliğe neden olabilirler.

g) Atık Isı: Su kirliliği sadece atıksularla alıcı ortamlara verilen çeşitli maddelerden kaynaklanmaz. Atıksuların içerdiği atık enerji de su kirliliğine neden olabilir. Özellikle termik ve nükleer santrallerin soğutma suları alıcı ortamlarda

çok olumsuz etkiler yaratır. Su ortamlarının sıcaklığının artması, mevcut ekolojik dengelerin bozulmasına neden olur. Bunun da ötesinde, sıcaklık artışı sulardaki biyokimyasal reaksiyonları hızlandırır. Böylece oksijen tüketim hızları artar. Öte yandan sulardaki oksijen doygunluk derişimi sıcaklığın artışıyla azalır. Böylece artan sıcaklıklarda bir yandan oksijen tüketimi, hızlanan biyokimyasal faaliyetler nedeniyle artarken, suların oksijen kazanma hızları yavaşlar. Alıcı su ortamlarına yukarıda etkileri belirtilen organik kirlilik yükü vermekle atık ısı vermek, sonuçta aynı etkileri doğurur. Ayrıca sulardaki doğal sıcaklık dağılımları bu ortamlardaki ekolojik dengeler ve canlı yaşamı açısından büyük önem taşır. Atık ısı deşarjları bu dengeleri tamamıyla bozabilir. Bu nedenle, özellikle termik santral yapımı kararları verilmeden önce, hava kirliliğı ve uçucu kül gibi problemlerin yanı sıra, soğutma sularının içerdiği atık ısının yaratacağı çevresel etkiler dikkatle incelenmelidir.

h) İnorganik Tuzlar: Endüstriyel ve evsel kullanımdan kaynaklanan atıksular inorganik tuzlarda içerirler. Alıcı ortamda tuz içeriğinin bir miktar artışı yukarıda sayılan diğer kirlletici etkilere kıyasla daha az zararlı etkiler yapmakla beraber, yükselen tuz derişimleri, suların gerek içme ve kullanma suyu, gerekse de tarımsal sulama suyu olarak kullanım kalitelerini olumsuz yönde etkiler.

i) Askıda Katı Madde: Atıksuların içerdiği askıdaki katı maddeler, bu suların deşarj edildiğı alıcı ortamlarda birikintilere ve dip çamuru oluşumuna neden olurlar. Dip çamuru oluşumu, su ortamlarının tabanında gelişen canlıların yaşamını engeller. Askıdaki katı maddeler organik kökenli ise, oluşan dip çamuru zamanla anaerobik ayrışmaya uğrar ve çözünmüş organik madde için belirtilen tüm sakıncalı durumlar, bu kez tabanda oluşur. Aşırı miktarda askıda katı madde içeren atıksuların alıcı ortamlara verildiğı kanalizasyon çıkış ağızlarının çevresinde su yüzeyine kadar yükselen ve estetik olmayan görüntüler oluşur. Askıda katı maddeler sulardaki bulanıklığı arttırırlar ve ışık geçirgenliğini azaltırlar. Bunun sonucunda sağlıklı bir ekosistem için gerekli olan fotosentez solunum dengeleri bozulur. Alıcı su ortamlarına evsel ve endüstriyel atıksuların getirdiğı askıda katı maddelerin yanı sıra, ormanların ve meraların tahribi, yamaç alanlarında tarım yapmak için orman ve mera alanlarının açılması, yanlış hayvan otlatılması, sanayi ve yerleşim için yanlış yer seçimi gibi etkiler, doğal toprak

örtüsünün yok olması ve büyük boyutlara varan erozyona yol açmakta ve bunun sonucunda verimli toprak üst katmanları su ortamlarına taşınarak, bu ortamlarda yukarıda anlatılmaya çalışılan tüm olumsuz etkileriyle birlikte askıda katı madde yükü olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu şekilde oluşan erozyon ürünleri, taşınıp geldikleri baraj ve göllerin dolmasına ve bu yapay ve doğal su kaynaklarının zamanla yok olmasına neden olmaktadır. Türkiye topraklarının %91.1 'inde çeşitli şiddetlerde erozyon vardır. Bu toprakların taşınması ve sellerin oluşumu yerleşme yerlerine zarar vermekte, tarım alanlarını kullanılmaz derecede tahrip etmekte ve toprağın taşındığı yerler verimini kaybetmektedir.

Sonuç olarak bir yandan çeşitli yüzeysel ve yer altı suyu kullanımları, doğal toprak örtüsünün yok olması, kentsel alanlar, madencilik alanları ve tarım arazileri gibi yaygın kaynaklar, diğer yandan evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları gibi noktasal kaynaklardan alıcı ortamlara ulaşan kirleticilerin bu su kaynaklarını büyük ölçüde kirlettikleri ve alıcı suyun eğlence ve dinlenme açısından kullanımını da büyük ölçüde engelledikleri söylenebilir. Kullanılmış atıksularla kirletilmiş alıcı ortamlarında yüzme, su sporları, balıkçılık yapma olanakları da çok kısıtlanır, kirlenmenin artması ile de ortadan kalkar. Estetik açıdan da kirletilmiş sular insanlar için hoş bir görüntü değildir.

Kirletilmiş alıcı sular, bu suların değişik amaçlar için kullanımını da engeller. Endüstriyel ve kentsel su temini için bu kirletilmiş alıcı su kaynaklarının arıtılması gereklidir. Bu da büyük bir maliyet gerektirdiğinden, alıcı su kaynaklarının kirletilmesi ekonomik açıdan da zararlıdır. Eğer alıcı su ortamı içme suyu temininde kullanılacaksa, içme suyu için gerekli sınırları sağlamak çok zor olur. Bu durumlarda, ileri arıtma yöntemleri gerekir ve arıtılmış su maliyeti önemli ölçüde artar [5].

2.2. Suda mikrobiyal kirlenme

Canlıların evrimine bir göz attığımızda, mikroorganizmaların dünyamızda ilk oluşan canlılar olduklarını görürüz. O halde mikroorganizmalar yeryüzünde yaşam koşullarının çok değişmesine rağmen, değişen durumlara karşı uyum yetenekleri sayesinde varlıklarını zamanımıza dek sürdürmüşlerdir. İnsanoğlu yeryüzünde var olduğu günden beri mikroorganizmalarla karşı karşıya kalmış;

sürekli bir şekilde onların yararlı faaliyetlerini öğrenmeye ve zararlı faaliyetlerinden sakınmaya çalışmıştır [6].

En basit bir yaklaşımla mikroorganizmalar, boyutları 1 ila 100 µm arasında değişen küçük canlı organizmalar olarak tanımlanabilir.

İnsan ve hayvanlardan çok sayıda patojen atıldığında ham atık su ve araziden süzülen sular da patojen içermektedir. Sonuç olarak her su kütlesinde 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 patojenden arındırılabilmesi için arıtmaya tabi tutulmaktadır. İçme suyu kaynaklarının kalite yönünden sürekli denetimi, 19. yüzyılda Luis Pasteur ve Robert Koch tarafından yapılan çalışmalar sonucunda son yüzyılda yaygınlaşmıştır.

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

Bazı kişiler, bir hastalığın mikrobunu aldıktan sonra, yaşamları boyunca hastalık yapan mikrobu, hiçbir hastalık belirtisi göstermeden barındırabilirler. Bu insanlar portör (patojen taşıyıcı) denilmektedir. İnsanlar arasında bir hastalığın taşıyıcılığını yapan insan sayısı çok küçüktür. Örneğin, Frobisher (1969), tifodan iyileşen insanların % 2- 4 kadarının, *Salmonella typhi* adı verilen ve tifoya neden olan bakteriyi taşımaya devam ettiklerini belirtmektedir. Bazı durumlarda portör, taşıdığı organizmanın neden olduğu hastalığı geçirip geçirmediğinin bile farkında olmamaktadır. Portörün dışında, herhangi bir anda, hasta olan ya da hastalıktan iyileşmekte olan insanlar da çok büyük sayılarda hastalık yapıcı organizmaları atmaktadır. Bu insanlar patojenleri geçici bir süre için taşırlar. Hayvanlar da, bazıları insanlar için hastalık yapıcı olan mikroorganizmalarla enfekte olabildiklerinden insan hastalıkları için portörlük yapabilmektedirler. Bu nedenle, evsel atık sular ile araziden süzülen suların, su kaynaklarını patojenlerle kirletmesi söz konusudur.

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 durumlarda patojenlerin olmadığını garanti eder. Ancak, son yıllarda, patojen bakteriler ve virüslerin tayini için daha iyi teknik ve prosedürler geliştirilmiş, bunların yardımıyla, bazı durumlarda, özellikle sıcak iklim koşullarında, patojenlerin, indikatör organizmaların bulunmadığı durumlarda bile bulunduğu gösterilmiştir. Benzer sonuçlar klorlama ile de elde edilmiştir. Bulunan bu sonuçlar, suların incelenmesinde kullanılan metotlar ve anlayışın universal olmadığına işaret etmektedir. Yine de fekal kirlenmenin belirlenmesinde kullanılan alışlagelmiş yöntemleri suyun bakteriyoloji yönünden emniyetli olup olmadığını gösteren temel kıstaslar olup, bu yöntemlerin uygulanmasıyla salgın hastalıkların baş göstermemesi, yöntemlerin kullanılabilirliğini en önemli göstergesidir.

En çok kullanılan indikatör organizmalar, koliform bakteri olup, tanım olarak; aerob ve fakültatif aerob, Gram-negatif, spor yapmayan, 35 °C’ de 48 saatte laktozu gaz oluşumuyla fermente eden çubuk şeklindeki bakterilerin tümünü içermektedir. Bu grupta *Escherichia coli* ($10^6 - 10^9$ hücre/g dışkı) ile normal olarak bağırsakta bulunmayan Enterobakter aerogenes sayılabilir.

Su ortamında mikroorganizmaların ölümü pek çok nedenden dolayı gerçekleşmektedir. Bunlardan en önemlisi besinlerin azlığındandır. Yüzeysel sularda mikroorganizmalar, diğer hiçbir etki olmaması durumunda herhangi bir besinin tükenmesi sonucu yaşamlarını kaybetmeye başlamaktadır. Yaşamsal faaliyetlerin sürmesi açısından ilk tükenen besine “sınırlayıcı besin” denilmektedir. Su ortamında mikroorganizmaların hızla yok olmasına neden olan ikinci etken sıcaklıktır. Patojenler ve bağırsakta yaşayan bakteriler için optimum sıcaklık 37 °C olup yüzeysel sular ve yeraltı suları genellikle bu sıcaklığın altında olduklarından mikroorganizmaların yaşaması için çok uygun olmayan bir ortam niteliğini taşırlar.

Sıcaklığın düşük olması durumunda mikroorganizmaların metabolik faaliyeti çok yavaşlamakta ve aktivitesi azalmaktadır. Bazı mikroorganizmaların düşük

sıcaklıkta yaşam süresinin uzaması, metabolik faaliyetlerin durmasından dolayı meydana gelir. Ancak bu durumda hastalık yapmaları söz konusu değildir. Uygun sıcaklık koşulları oluştuğunda yeniden aktif hale geçerler [5].

2.2.1. *Escherichia coli*

Escherichia genusu içinde 6 tür olduğu kabul edilmektedir. Bunlardan en önemlisi olan *E. coli* yaklaşık olarak 2-6 µm boyunda ve 1.0-1.5 µm eninde, düz uçları yuvarlak çomakçık şeklinde bakterilerdir.

Bakteriyolojik boyalarla kolay boyanırlar ve gram negatiftirler. Etraflarında kapsül maddeleri bulunur ve organizmada bağırsak dışındaki yerlerden soyutlanan kökenlerin çoğunda kapsül ya da mikrokapsül bulunur [7].

Escherichia coli insan da dahil olmak üzere tüm sıcak kanlı hayvanların bağırsaklarında bulunur. Diğer organizmalara ilaveten, insan bünyesinden kişi başına günde 100- 400 milyar koliform bakteri atılmaktadır. Koliform türlerinin çok büyük bir kısmı zararsız olup, atık su arıtma tesislerinde organik maddenin ayrıştırılmasına katkıda bulundukları için yararlıdırlar. Atık sularda çok miktarda bulunmaları ve analizlerinin patojen organizmalardan daha kolay olması nedeniyle su kirliliğinde indikatör olarak kullanılırlar.

2.2.2. *Staphylococcus aureus*

Doğada oldukça yaygın olan, tozda, toprakta, eşya üzerinde, insan ve hayvan deri, burun mukozası, ağız ve nazofarinks floralarında bulunan *Staphylococcus aureus* bakterilerinin, günümüz için en önemli yönleri kullanılmakta olan kemoterapötik maddelerin birçoğuna hızla dayanıklılık kazanmaları ve bu nedenle eskiye oranla enfeksiyonlarına daha sık rastlanmasıdır. Optimal olarak 37⁰C’de ve pH 7.4 de ürerler. Jeloz besiyerinde bolca ürer ve yuvarlak kenarlı mat, kabarık, parlak yüzeyli, S tipinde ve 1-2 mm çapında koloniler yaparlar. Uygun ortamda koloniler 6-8 mm çapına ulaşabilirler[8].

3. DEZENFEKSİYON

Bir suyun içerdği patojenik mikroorganizmaların elimine edilerek güvenli içilebilecek hale getirilmesi işlemine suyun dezenfeksiyonu denir. Suyun içerdği tüm canlı organizmaların yok edilmesi işlemine ise suyun sterilizasyonu denir. Sterilizasyon dezenfeksiyonun bir ileri kademesidir. Uygulamada bu iki terim birbirine çok karıştırılmakta ve yanlış olarak aynı anlamda kullanılmaktadır.

İçme sularının herhangi bir yöntemle dezenfeksiyonu, su vasıtasıyla yayılan bulaşıcı hastalıkların önlenmesini amaçlamaktır [9].

Suların dezenfeksiyonu milattan önce 200 yılına kadar uzanmaktadır. Sanksrit dilinde, suyun güneş ışığında bekletilmesi ve odun kömüründen süzülmesi; kirli suyun ise kaynatılarak, sıcak bir bakır çubuğun yedi kere suya daldırılması ve süzülmesi işlemlerinden geçirilmesi gerektiği yazılmıştır.

Suyun klorlanmasına ilişkin ilk patent Amerika’ dan alınmıştır. Böylece büyük ölçekte suyun klorlanmasına geçilmiştir. Suların dezenfekte edilebilmesi için pek çok dezenfektan kullanılmaktadır. Suların dezenfeksiyonu patojen ve indikatör organizmaların giderilmesi içindir. Suların tüm mikroorganizmalardan arıtılması (sterilizasyon) gerekli değildir [10].

3.1. Dezenfeksiyon mekanizması

İçme suyu arıtımında kullanılan kimyasal dezenfektan maddelerin çoğu oksitleyici maddelerdir(Klor, klor dioksit, ozon, permanganat gibi). Eski teorilere göre reaksiyon serbest oksijenin açığa çıkması şeklindedir.



Oksidasyon karakteristikleri, redoks potansiyelleri (ORP) ile belirlenir ve bu kavram dezenfektan maddelerin veriminin belirlenmesinde en önemli kavramdır. Bilindiği üzere ORP değerleri aslında diğer ürünlerle reaksiyona girme eğilimini gösterir. Ancak dezenfeksiyon reaksiyonunun kinetiğini belirlemezler. ORP değerleri oksitleyici maddeler olan dezenfektanların öldürücü potansiyelini gösterir.

Kimyasal dezenfeksiyonun mekanizması öncelikle maddenin su içindeki yayılmasıyla başlar. Daha sonra organizmanın içine nüfuz ederek yaşamsal moleküllerin aktivitesini bozma aşaması görülür. Dışındaki hücre zarı kapsül halini almış veya spor fazına geçmiş organizmaların öldürülmesi, vejetatif halde bulunanlara göre çok daha zordur. Dezenfektan maddenin hücreye nüfuz edebilme hızı (penetrasyon hızı) ORP' nin yanı sıra o dezenfektan maddenin en önemli karakteristiklerindendir.

Dezenfektan madde oragnizma tarafından alındıktan sonra, dezenfektanın gerçek etkisi enzimleri oksitleyerek ortaya çıkar.

Aktif maddenin hücre üzerine difüzyon hızı, bakteriyel verim konusunda en önemli parametredir. Penetrasyondan sonra dezenfektan madde enzim gruplarını parçalama, modifiye etme özelliğinde olmalıdır [9].

3.1.1. Dezenfektan maddelerin etkileri üzerinde rol oynayan temel faktörler

a) Temas süresi

Dezenfektan maddenin konsantrasyonu sabit tutulduğu zaman, temas süresi ne kadar uzunsa, bakteriler o kadar fazla ölürler. Bu gözlem ilk defa Chick tarafından formüle edilmiş ve Chick Kanunu adı ile bilinen aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$dN/dt = -kN \quad (3.3)$$

Burada N, t zamanındaki organizma sayısını; k, zaman⁻¹ boyutunda olan bir sabiti göstermektedir. Eğer t=0 anında organizma sayısı N ise,

$$\ln(N/N_0) = -kt; N/N_0 = e^{-kt} \quad (3.4)$$

şeklinde entegre edebilir. Fakat genel olarak durum bu denkleme uymaz ve m bir sabiti göstermek üzere,

$$\ln(N/N_0) = -kt^m \quad (3.5)$$

şeklinde bir bağıntı kabul edilir. m<1 ise, ölüm hızı zamanla azalır, aksi halde artar. Temas süresinin gözlenen etkisini ifade etmek için kullanılan bir diğer formül,

$$(N/N_0) = e^{-kt^m} \quad (3.6)$$

şeklinde dir. Bu bağıntı, klorlamanın etkisiyle ilgili olarak yapılan deneylerden elde edilmiştir.

b) Dezenfektan maddenin konsantrasyon ve cinsinin etkisi

Kimyasal maddenin cinsine bağılı olarak, dezenfeksiyonun etkisi, konsantrasyon ile sıkı sıkıya ilgilidir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$c^n t_p = \text{Sabit} \quad (3.7)$$

Burada c: dezenfektan maddenin konsantrasyonu; n: bir sabit; t: sabit bir yok olma yüzdesini gerçekleştirmek için gerekli zaman

c) Organizmanın sayısı

Atık su gibi, seyreltilmiş bir sistemde, organizma konsantrasyonunun nadiren önemi vardır. Bununla beraber, genel olarak, organizma konsantrasyonu ne kadar büyükse, verilen bir yok olma oranı için, gerekli zamanın da o nispette uzun olacağı söylenebilir. Organizma konsantrasyonunun etkisini ifade için aşağıdaki ampirik bağıntı verilmiştir.

$$c^q N_p = \text{Sabit} \quad (3.8)$$

Burada, c: dezenfektan maddenin konsantrasyonu; N_p : verilen zamanda, verilen oranda azaltılan organizma konsantrasyonu; q: dezenfektan maddenin kuvveti ile orantılı bir sabit

d) Diğer etkenler

Organizmanın cinsi, askıda katı maddenin türü, ve sıcaklık gibi faktörler bunlar arasında sayılabilir. Sıcaklığın etkisi, Van't Hoff-Arrhenius denkleminin değişik bir şekli ile ifade edilmektedir. Sıcaklık artınca dezenfektan maddenin öldürme etkisi daha fazla olmaktadır. T_1 ve T_2 sıcaklıklarında, aynı bir ölüm oranını veren, t ve t süreleri arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur:

$$\ln(t_1/t_2) = E(T_1 - T_2)/RTT_2 \quad (3.9)$$

Burada, $[T_1]$, $[T_2]$: sıcaklık; K; E: Aktivasyon enerjisi, J/mol(cal/mol) ; R: gaz sabiti, 8,314 J/mol [11] .

3.2. Dezenfeksiyon yöntemleri

Su ve atıksu arıtımında dezenfeksiyon için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanlar fiziksel ve kimyasal dezenfeksiyon yöntemleridir.

1- Fiziksel Dezenfeksiyon Yöntemleri: Bakterilere karşı geliştirilen, gama ışını, ultraviyole (UV) ışını, ultrason vb. yöntemler en etkin fiziksel yöntemlerden

bazılarıdır. Son 10 yıldır bahsedilen yöntemlere ek olarak fotokatalitik oksidasyon, gümüş ve bazı ağır metal içerikli antimikrobiyal sistemler konusunda yoğun çalışmalar yürütülmekte olup, başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fotokatalitik etkiye sahip malzemelerin başında anataz fazında TiO_2 gelmektedir. Fotokatalitik sistemler, UV'ye maruz kaldığında aktif oksijen oluşumuna yol açmaktadır. Aktif oksijen, kaplama yüzeyinde organik maddelerin oksitlenmesi, bakterilerin ölmesi, organik lekelerin temizlenmesi ve havadaki istenmeyen kokuların giderilmesi gibi özelliklere sahiptir. Bu malzemelerin en etkin kullanım alanı UV ışınımını sağlayan fotokatalitik kaplamaların hava temizleme sistemleridir. Ancak UV ışını gereksinimi, nanometre kalınlığında bir kaplama kalınlığı koşulu ve yüzey sertliğinin düşük olması bu malzemenin kullanımını kısıtlamaktadır. Gümüş ve benzeri metal içeren sistemler ise UV gereksinimi olmadan çalışabilen sistemlerdir [12].

Fiziksel dezenfeksiyon yöntemlerinden bazıları şunlardır:

- a) Su içinden Ultraviyole ışınlarının geçirilmesi
- b) Suyun kaynatılması
- c) Suyun süzülmesi [10].

2-Kimyasal Dezenfeksiyon Yöntemleri: En yaygın olarak kullanılan yöntem kimyasal maddelerin yardımıyla gerçekleştirilen dezenfeksiyon yöntemidir. Kimyasal malzemeler sıvı ve gaz formunda kullanılmaktadır. Alkoller, fenol bileşimler, hidrojen peroksit, hipoklorid, klorin, iyot gibi kuvvetli oksitleyici sistemler, etiloksit, lipit içerikli deterjanlar ve civa, bakır ve gümüş gibi ağır metal tuzları yaygın kullanılan antimikrobiyal kimyasal ajanlardır. Ancak son yıllarda bu kimyasalların insan sağlığı için kanser dahil birçok sağlık sorunlarını yarattığı ve atıklarının çevre kirliliğine yol açtığı bilinen bir gerçektir. Kimyasal ajanlar ile yapılan bakterilerden arındırma işlemi sonrasında, kimyasal etkisi bir süre sonra geçmekte ve yüzeyde tekrar bakteri üreyebilmektedir [12].

Kimyasal dezenfeksiyonda kullanılan kimyasal maddelerden bazıları şunlardır:

- a) O_3 = Ozon
- b) KMnO_4 = Potasyum Permanganat
- c) Halojenler: Klor, Brom, İyod

- d) Ca(OH)_2 = Sönmüş kireç
- e) $\text{Ca(OC}l)_2$ = Kireç kaymağı
- f) Metaller(gümüş, civa vb.) [6].

3.2.1. Klor ile dezenfeksiyon

Klor, normal ısı ve basınçta sarımsı-yeşil bir gaz olup, havadan ağırdır. Çok keskin bir kokusu vardır. Sularda bütün elementlere etki eder. Sadece asal gazlar ve oksijenle tepkimeye girmez.

Klor ya serbest klor ya da hipoklorit formunda kullanılır. Her iki halde de kuvvetli bir oksitleyici gibi davranır ve genellikle çok hızlı yan reaksiyonlara girdiği için başarılı bir dezenfeksiyon için klor ihtiyacının fazlasının eklenmesi gerekir [13].

Klorlamadan beklenen faydaların sağlanabilmesi için klorun su ile yeterli bir sürece temas halinde kalması ve yeteri kadar büyük dozda verilerek serbest klorun bağlı klor a oranının belirli bir miktara ulaşması gereklidir.

Bu şartlar yerine getirilirken şu kısımlar dikkate alınmalıdır:

- Klorun hangi noktada tesise verileceği,
- Uygulamanın en iyi şekilde kontrol edilme yöntemi.

Klorlamanın faydaları aşağıda açıklanmıştır:

a. Dezenfeksiyon: Klor dozu ve temas süresi sadece hastalık yapıcı mikroorganizmaların ölmesine yetecek kadar ve bağırsak yolu ile geçen virüsleri de etkisiz hale getirecek kadar olmalıdır. Bunun için de 2-3 mg/L bağımsız artık klorun 1,5 ile 2 saat kadar temas süresine ihtiyaç vardır.

b. Koku ve tad kontrolü: Meydana getirilecek bağımsız artık klorun koku ve tad yönünden de içilmeye en elverişli suyu vermesi gereklidir. Bunun için verilecek doz, dezenfeksiyonun gerektirdiği dozdan fazla olabilir.

c. Yosun oluşumunu önlemek: Flokülasyon, çökelme ve filtre havuzlarında yosunlaşma oluşumunu önlemek için suda belli bir dozda bağımsız klor bulundurmak gereklidir.

d. Filtrelerin temizliğinin kontrolü: Yukarıdaki 3 ana hizmet sağlandıktan sonra kum filtresi yatağındaki çamur canlılarının üremesini, çamur yumaklarının oluşumunu ve anaerobik bakterilerin üremesini önlemek çok daha kolaylaşacaktır.

e. Demir - mangan giderimi: Eğer suda hidrojen sülfür, demir ve mangan gibi organik olmayan maddeler varsa bunlar da bağımsız klorla oksitlenerek bertaraf edilirler.

f. Renk giderilmesi: Eğer suda organik kaynaklı renk varsa bu da bağımsız klor tarafından çoğu zaman kolayca yok edilmektedir [10].

3.2.1.1. Klorlamanın kimyası

• Su ile reaksiyonu

Klor su ile reaksiyona girdiğinde hipoklorit (OCl^-) ve hipokloröz asit (HOCl) oluşur.



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]}{[\text{Cl}_2]} = 4 \times 10^{-4} \quad (3.11)$$

Bu denge, pH'ı 2-3 olan ve vakum klorinatörlerinden elde edilen klor içerikli sular açısından önemlidir; özellikle klorlu su dezenfeksiyon amacıyla herhangi bir suya ilave edildiğinde önemi artar. Reaksiyonların oluşumu içerdikleri serbest klor'a bağlıdır.

Oluşan hipokloröz asit (HOCl) zayıf bir asittir ve $\text{pH} < 6$ değerlerinde çok az çözünür. Hipoklorit asit (OCl^-) ise kuvvetli bir asittir ve bu yüzden aşağıdaki denklemin sola doğru gerçekleşmesi istenir. Bu ise ancak çok düşük pH değerlerinde mümkün olur.



$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2,7 \times 10^{-8} \quad (3.13)$$

Hipokloritler, sodyum hipoklorit çözeltisi ve yüksek kaliteli kuru kalsiyum hipoklorit formunda kullanılırlar. Sodyum hipoklorit büyük miktarlara ihtiyaç duyulduğunda, kalsiyum hipoklorit ise sınırlı kullanımın gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Her ikisi de suda hipoklorit iyonu oluşturmak üzere çözünürler;



Oluşan iyon denklem 3.12' den de görüleceği gibi hidrojen iyonları ile bir denge oluşturacaktır. Bu dengenin klorür ya da hipoklorit eklenmesine bakılmaksızın suda da oluşacağı söylenebilir. Bunlardan birinin eklenmesiyle oluşacak temel fark pH'da olacaktır. Klor pH'yı düşürürken hipoklorit yükselmektedir, bu da denge halindeki OCl^- ve HOCl miktarlarındaki değişim şeklinde etkiyecektir.

● Amonyak ile reaksiyonu

Amonyum iyonu amonyak ve hidrojen ile denge halinde bulunurlar. Amonyak, klor ve hipokloritler ile reaksiyona girerek monokloraminleri, dikloraminleri ve trikloraminleri oluştururlar. Oluşan bu reaksiyon ürünleri pH, sıcaklık, temas süresi ve başlangıçtaki klor/amonyak oranına bağlıdır.



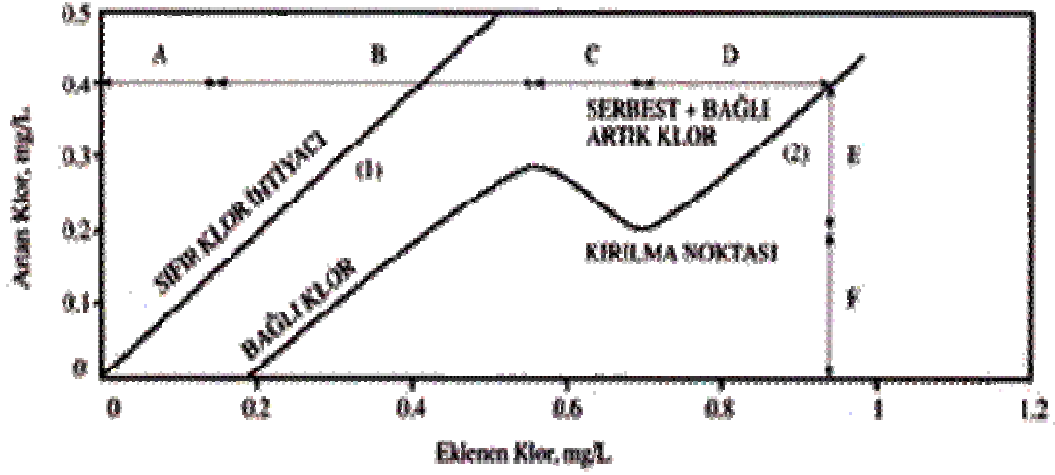
Suyun pH değeri 8'den büyük ise monokloramin, pH 3'ten küçük ise trikloraminler oluşur.

Monokloraminlerin ve dikloraminlerin dezenfektan özellikleri vardır ve bu yüzden kalıntı klor ölçümlerinde dikkate alınırlar [13].

3.2.1.2. Kırılma noktası klorlaması

Klor ihtiyacı suya ilave edilen klor ile, belli bir temas süresi sonunda kalan serbest ve yararlanılabilir klor arasındaki farktan bulunur. Hiçbir indirgen madde içermeyen sularda eklenen klor dozuna karşı kalıntı klor beklentisi bir 45° eğrisi çizer. İndirgen maddeler ve amonyak içeren suya klor ilave edildiğinde Şekil 3.1.'deki eğri elde edilir. Klor dozunun doğal ve atık sularda oluşturduğu kalıntı klor derişimini izleyerek, suların klor ihtiyacını belirlemek bu eğri yardımıyla

olur.



Şekil 3.1. Kırılma noktası klorlaması

Klor önce sudaki indirgen maddelerle reaksiyona girer ve AB eğrisini oluşturur. B noktası, indirgen maddelerin giderimi için gerekli dozu gösterir. B noktasından sonra klor ilave edildiğinde kloraminler oluşur. Monokloramin ve dikloramin genellikle birlikte ele alınır. Bunlar dezenfektan olarak etkilidir ve birleşik kalıntı klor oluştururlar. Bunların karşılıklı miktarları ortamın pH'ına bağlıdır. Tüm amonyak tüketildiğinde, C noktasına gelinir. Serbest yararlanılabilir klor arttıkça, önceden oluşan kloraminler okside edilir. Bu ise, azot oksit, azot triklorür gibi okside olmuş azot bileşiklerinin oluşup serbest kloru tüketmesine neden olur. Böylece C ve D noktaları arasındaki eğri oluşur. Kloraminlerin tümünün oksidasyonu tamamlandıncaya, suya ilave edilen klor suda kalıntı klor olarak artmaya başlar. D noktası kırılma noktası olarak ifade edilir. Bu noktanın ilerisinde daha fazla klor ilavesi sonucu tüm klorun serbest yararlanılabilir klor haline geçmesi gerekir.

Bu bilgiler sadece suların garantili dezenfeksiyonunda değil, atıksulardan azotlu maddelerin nihai arıtımı için de önemlidir [14] .

3.2.2. Klordioksit ile dezenfeksiyon

Bir dezenfektan olarak klor dioksitin serbest klor ve hipokloritlere oranla belirgin avantajları vardır. Bir oksitleyici olarak hipokloröz asit kadar etkilidir ve yüksek pH değerlerinde iyi bir dezenfektandır. Klordioksit amonyakla reaksiyona girmediğinden kloraminler oluşmaz, ayrıca organik maddelerle de reaksiyona girmediğinden kloroform veya diğer trihalometanların oluşumu söz konusu değildir. Klor dioksitin bir başka avantajı ise klorun farklı türleri ile reaksiyona giren fenollü bileşikler bozarak istenmeyen tatlara neden olan klorlu fenollerin oluşumunu engellemesidir.

Klordioksit çok kararsız bir gazdır, bu yüzden de genellikle arıtma tesisinde sodyum klorit (NaClO_2) ile kuvvetli bir klor çözeltisinin karıştırılması ile elde edilir.



Klordioksitin eldesi biraz fazla klor ilavesi ile pH' nın 4'ün altına düşürülmesi ile arttırılabilir. Klor dioksitin yaygın olarak kullanılmamasının sebepleri diğer klor formlarına göre pahalı olması ve konuda fazla uygulamanın olmamasındandır. Ayrıca klordioksit ile dezenfekte edilen sularda klorit oluşabilir ve günümüzde kloritin insan sağlığı üzerine etkileri konusunda şüpheler bulunmaktadır. Bu sebeple avantajları ve dezavantajları tam açığa kavuşmadan yeni bir dezenfektanın kullanımına dikkatli yaklaşılmaktadır.

Amperometrik titrasyon veya DPD metodu kullanılarak klordioksit tayini yapılabilir. Ancak klordioksiti diğer klor formlarından ayırabilmek için, onun bazı kimyasal özelliklerini bilmek gereklidir. pH = 12 gibi yüksek pH değerlerinde klor dioksit klorite ve klorata dönüşür.



Nötr pH değerlerinde, klor dioksitin oksitleme gücü, DPD veya Fenilarsin oksit gibi indirgen maddelerden birinin titrasyonu ile klorit oluşumunu sağlayarak kısmen ölçülebilir,



pH =2 gibi düşük değerlerde ise, klorit klorüre indirgenir, bu da eşit miktarda iyotun oksitlenmesine karşılık gelir.



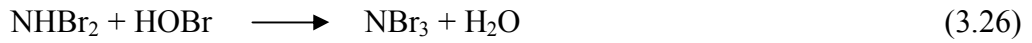
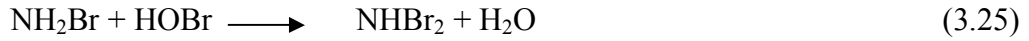
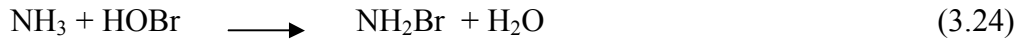
Değişik pH değerlerinde, farklı kimyasal kimyasal madde ilaveleri ile klorlu türlerin indirgenmesini hızlandırarak veya önleyerek yapılacak titrasyonlar sonucu serbest klor, bileşik klor, klordioksit, klorit ve klorat konsantrasyonları yukarıdaki kimyasal denklemlerin de yardımıyla bulunabilirler. Eğer suda hangi klorlu bileşiğin bulunduğu biliniyorsa titrasyon sayısı azaltılabilir [13] .

3.2.3. Brom klorür ile dezenfeksiyon

Brom klorür gazı suda hipobromöz asit oluşturur ve bu bileşik brom bileşikleri arasında en fazla germisidal etkiye sahip olanıdır.



Hipobromöz asit suda bulunan amonyak ile aşağıdaki şekilde bromaminleri oluşturur.



Bromaminler, kloraminlerden daha az kararlıdır ve germisidal etkinlikleri daha fazladır. Brom klorür ile dezenfeksiyon işlemi sırasında da suda bulunan organik bileşikler ile bromlu organik bileşikler oluşmaktadır. Ancak bu bileşikler hidrolitik ve fotokimyasal tepkimelerle kolayca bozunmaktadır [15].

3.2.4. Ozon ile dezenfeksiyon

Ozon oksijenin allotropik bir şeklidir ve özel bir oksidasyon maddesidir. Açık mavimsi renkli, keskin kokulu, stabil olmayan bir gazdır. Bu nedenle ozon kullanılacağı zaman üretilir. Ozon sadece dezenfektan olarak değil suyun rengini ve kokusunu gidermek üzere oksidasyon maddesi olarak da kullanılır. Ozonla dezenfeksiyon işleminin avantajları şöyle sıralanabilir:

- 1) Tad, koku ve renk problemlerini tamamen giderir.
- 2) Güçlü bir oksidasyon maddesidir.
- 3) Geniş pH ve sıcaklık aralığında dezenfeksiyon işlemi yapılabilir.

4) Bakterisidal ve sporisidal etkisi hızlıdır.

5) Kokusuz ve sağlık açısından tehlikeli değildir [5].

Ozonun 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 oluşturur. Bunun sonucunda ise borularda bakteri oluşumu gözlenebilir ki bu da su kalitesine ve borularda su akışına zararlı olabilir. Sudaki organik maddeler ile etkileşmesinden dolayı koku ve tat veren organik maddelerin giderilmesinde de ozon kullanılabilir. Ayrıca ozon tatbiki 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 rensizleştirir. Ozon ihtiva eden sudan kaynaklanan standart indigo çözeltisindeki bu renk açılması spektrofotometre ile ölçülür [13].

3.2.5. UV ile dezenfeksiyon

UV-C ışınlarının dezenfektan etkisini su arıtımında kullanmaya yönelik çalışmalar 19. yy sonlarına dayanır. İhtiyaç duyulan UV-C ışınlarını sentetik olarak üreten civa buharlı UV lambalar 20. yy başlarında keşfedilmiş ve dünyanın ilk UV su dezenfeksiyon sistemi 1910 yılında Marsilya -Fransa'daki arıtma tesisinde devreye alınmıştır. Fakat birkaç yıllık işletmeden sonra uygulama durdurulmuş, yerine daha kolay ve ucuz olması nedeniyle klorlama uygulaması getirilmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte UV lambalar daha etkili ve ekonomik hale gelmiş, her kapasitede UV dezenfeksiyon cihazları üretilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren UV ışınları ile su dezenfeksiyonu hızla yaygınlaşmış ve günümüzde standart ve güvenilir bir uygulama halini almıştır.

- **Etki mekanizması**

Yaklaşık 254 nm dalga boylu yüksek enerjiye sahip UV-C ışınları mikroorganizmaların hücre zarından içeri süzülür ve DNA'yı oluşturan başta “Timin” adlı nükleik asitler tarafından absorbe edilir. Bu enerji transferi sonucu DNA zinciri birçok noktasından tahrip olur. DNA'sı bozulan canlının üreme dahil tüm hücre faaliyetleri durur ve hücre ölümü gerçekleşir.

Başarılı bir UV lamba en az elektrik enerjisi harcayarak en fazla miktarda UV ışını üretmeli ve mümkün olan en uzun süre hizmet etmelidir. Ayrıca lambanın yaydığı ışın spektrumu “monokromatik” olmalı yani sadece 254 nm dalga boylu ışınlar üretmelidir. Daha geniş spektrumda 200 nm ile 400 nm aralığında UV ışınları üreten “polikromatik” UV lambalar da mevcuttur. Ancak aşırı enerji tüketimleri ve 240 nm altı ışınların oluşturduğu yan etkiler nedeniyle bu tür UV lambaların içme suyu arıtımında kullanımı sınırlıdır.

- **Bir UV cihazını oluşturan ana parçalar**

a) UV reaktörü: İçinde UV lamba(lar) yer alır. Suyla direkt temastan korumak için her UV lamba ayrı bir koruyucu kuvars tüp içindedir. UV reaktörü içinden akan su, lambalardan yayılan UV ışınlarına maruz kalmaktadır. Başarılı bir dezenfeksiyon için UV reaktörünün tasarımı ve lamba yerleşimi çok önemlidir.

b)Elektrik/Kontrol panosu: UV lambaları çalıştıran güç kaynaklarını (balast) ve cihazın fonksiyonlarının kontrolü/izlenmesi için gerekli elektrik/elektronik donanımları içerir. Ana enerji beslemesi bu panoya yapılır, UV lamba ve sensörlerin enerjileri panodaki özel kablolar zerinden UV reaktörüne aktarılır.

c)UV sensörü: UV lambalardan yayılarak suya ulaşan UV ışın şiddetini ölçer. Ölçülen değer panodaki göstergeden eşzamanlı izlenebilir. Cihazın veriminin takibi açısından önemlidir. UV cihazlarının su debisine bağlı dezenfeksiyon gücünün sayısal bir değer olarak verilmesi gerekir. Bu sayısal değer “UV dozu” olarak adlandırılır ve ölçüsü “Joule/m²”dir. Bir UV cihazının suya vereceği UV dozu, içinden akan suyun debisi arttıkça düşer, azaldıkça yükselir. UV cihazının doğru seçimi için hedef alınan mikroorganizmanın hangi UV dozu ile etkisiz hale getirileceğinin bilinmesi gerekir. Ek bilgi olarak, yapılan çalışmalar göstermiştir

ki, 400 J/m² UV dozu ile hemen hemen tüm patojen mikroorganizmaları %99,99 oranında gidermek mümkündür. Bu nedenle UV cihazı seçiminde emniyetli tarafta kalmak için UV dozu en az 400 J/m² olarak tercih edilmelidir.

Bir UV cihazının sağlayabileceği UV dozu temelde aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

1. Reaktördeki UV ışın yoğunluğu: UV reaktörü içinde “ortalama UV ışın yoğunluğu” yeterince yüksek seviyede olmalı ve mümkün olduğunca homojen bir şekilde dağılmalıdır. UV ışın yoğunluğu, birim yüzey alana düşen UV-C254nm enerjisidir ve W/m² birimiyle ölçülür. Merkezi tek UV lambalı bir cihazın reaktör en kesiti düşünülürse, UV lambaya yaklaştıkça UV ışın yoğunluğu artarken, uzaklaştıkça azalır. Lambadan en uzak nokta olan UV reaktörü cidarında UV ışın yoğunluğu en düşüktür.

UV ışın yoğunluğu UV reaktöründen akan suyun kalitesine de bağlıdır. Kıyasla daha kirli bir suda UV ışınları kısa mesafelerde enerjisini kaybedeceğinden ortalama UV ışın yoğunluğu temiz su şartlarına göre daha düşük olacaktır.

2. Temas süresi: UV reaktörü içinden akan suyun reaktör içinde yeterince kalması, böylece mikroorganizmaların UV ışınlarına “yeterli süreyle temas etmesi” gerekir. Bu nedenle reaktörde ihtiyaca uygun net hacim bulunmalıdır. Temas süresi “saniye” cinsinden belirtilir. Dezenfeksiyon için, UV ışın yoğunluğundan bağımsız, en az 1 saniye temas süresi gereklidir denilebilir.

UV dezenfeksiyon gücü için ana ölçü olan “UV dozu” yukarıda açıklanan iki parametre ile hesaplanır:

$$\text{UV dozu [Joule/m}^2\text{]} = \text{UV ışın yoğunluğu [Watt/m}^2\text{]} \times \text{Temas süresi [saniye]} \quad (3.27)$$

$$\text{UV dozu birimi J/m}^2 = 0,1 \text{ mJ/cm}^2 = 100 \text{ mikroWatt-s/cm}^2 \quad (3.28)$$

olarak birbirine dönüştürülebilen çeşitli şekillerde gösterilebilir. Eğer yeterli UV dozu uygulanmazsa, UV cihazı çıkışından alınan su numunelerinde önce “öldüğü” görülen bazı mikroorganizmaların sonradan DNA’larını enzimler yoluyla onararak tekrar “canlandığı” gözlenmiştir. Bu olaya “fotoreaktivasyon” adı verilmiştir. Yapılan araştırmalar, 40.000 mikroWatts/ cm² (= 400 J/m²) UV

dozunun fotoreaktivasyon ihtimalini ortadan kaldırdığını göstermiştir. Fotoreaktivasyon sorununa karşı için UV cihazlarının en az 400 J/m² UV dozu verebilecek şekilde seçilmesi gerekir.

- **UV cihazında olması gereken genel özellikler**

1. Yeterli kalite ve yoğunlukta UV-C ışını üretimi: UV lambanın UV-C üretim gücü çok önemlidir. Bununla birlikte lambanın sadece 250-260 nm aralığında ışın üretmesi, daha kısa veya uzun dalga boylu ışınlar üretmemesi istenir. Bu tür UV ışınları Nitrat'ı Nitrit'e dönüştürmek, alg oluşumunu hızlandırmak gibi istenmeyen yan etkiler oluşturur ve aşırı ısı yayarlar. Ayrıca, lambanın ömrü boyunca sağlıklı çalışabilmesi için lambaya uygun tasarlanmış enerji besleme sistemi (balast) kullanılmalıdır.

2. Su sıcaklığından etkilenmeyen dezenfeksiyon performansı: Kullanılan UV lambanın geniş bir su sıcaklığı aralığında hemen hemen stabil bir verimle çalışması istenir. Mevsimsel değişiklik gösteren su sıcaklıklarında güvenli bir dezenfeksiyon verimine ulaşmak için bu durum büyük önem taşır.

3. Yüksek UV dozu: Patojen bir çok mikroorganizma için 10.000 - 25.000 mikroWatt-s/cm² (=100-250 J/m²) UV dozu yeterli oluyorsa da; virüslere, sporlara, parazitlere ve fotoreaktivasyon" ihtimaline karşı UV cihazlarının seçiminde en az 400 J/m² UV dozu esas alınmalıdır.

4. Test edilmiş sertifikalı cihaz: Dezenfeksiyon verimi test edilmiş bir cihaz kullanmak, yetersiz kapasite nedeniyle oluşacak ciddi riskleri minimize edecektir. Ayrıca farklı üretici ve modellerin kıyaslanması durumunda haksız rekabetin önüne geçilecektir.

5. UV sensörü: Sadece 254 nm dalgaboyuna duyarlı olması gereken bu sensörler, UV reaktörü cidarında yer alır. Böylece UV lambaya en uzak noktadaki "minimum UV ışın yoğunluğunu" sürekli olarak ölçer, yeterli yoğunluğu bulamazsa alarm verir ve/veya girişteki otomatik vanayı kapatarak su geçişini durdurabilir. Kullanılan UV sensörün ilgili standartlara uygun olması gerekir.

6. UV lambaların izlenmesi: UV cihazının tam olarak kontrolü için UV sensörü yanında (özellikle birden fazla UV lamba içeren cihazlarda) her bir UV lambanın ayrı olarak izlenmesi ve çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi gerekir.

Çoklu UV lambalı cihazlarda tek bir lambanın sönmesi bile dezenfeksiyon performansını önemli oranda düşürebilir.

7. Malzeme ve imalat kalitesi: UV cihazı imalatında kullanılan malzeme kalitesi önemsenmelidir. UV reaktörü kaliteli çelikten (en az AISI-316) ve uygun kaynak / polisaj teknikleri ile imal edilmelidir. Kuvars camlar uzun ömürlü ve yüksek UV-C geçirgenliğine sahip olmalıdır. Ayrıca sızdırmazlık parçaları (contalar, oringler, v.b.) gıda kalitesinde olmalıdır. Elektrik panosu ve kablolar ilgili standartlara ve çalışma ortamına uygun seçilmelidir [16].

3.2.6. Metal iyonları ile dezenfeksiyon

Ağır metallerin çoğu yalnız başına veya bileşikler halinde bazı yerlerde mikroorganizmaların kontrol edilmesinde kullanılabilmektedir. Bu ağır metallerin, antibakteriyel etkileri birbirlerinden farklıdır, fakat antibakteriyel etkilerine göre bir sıraya sokarsak Hg^{++} ve Ag^+ bu sıranın en başında yer alır. Bunlar 1 ppm'den daha az yoğunlukta uygulandıklarında bakterileri öldürecek etkiye sahiptirler. Yani yukarıda belirtildiği gibi metallerin özellikle gümüşün çok az miktarlarının mikroorganizmalar üzerine etki yapmasına mikrobiyoloji literatüründe oligodinamik etki denmektedir. Bir metalin oligodinamik etkisini laboratuvarında 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. Ortamdaki metal iyonu miktarının çok az olmasına karşın 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 merkaptidler oluşturur. Daha önce belirtildiği gibi bu metallerin iyon formları öldürücüdür. Merkaptidlerin oluşması ile hücre içinde bu iyonlar ortadan kalkmaktadır. 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 [6].

3.2.7. Ultrasonik sistemler ile dezenfeksiyon

Sıvılar titreşime maruz kaldığında kavitasyon olarak bilinen fiziksel etki ile fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kavitasyon, sıvıdaki moleküller ultrasound enerjisini absorbladıkça mikroskobik gaz moleküllerin oluşması, genleşmesi 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. Sıvıya ultrasound enerjisi gelmeye devam ettiğinde gaz kabarcıkları kritik boyuta ulaşana dek genleşmeye devam eder. Kritik boyuta ulaşıldığında gaz kabarcığı patlar ya da çöker. Kavitasyon ile var olan enerji ve tam çökmeden önce gaz baloncuğuna en yakın bölge sıvıda fiziksel ve kimyasal etkiye neden olur. Fiziksel etkiler, kavitasyon hücre zarını yırtacak ve katı yüzeyden parçacık ayıracak kadar yoğun olduğunda oluşur. Kavitasyon partikülleri ve organizmaları parçacık çarpışması veya onları ayrılmaya zorlayarak yok eder [17].

Bir sıvı ortamdaki kimyasal sistemlere ultrasoundun mekanik etkileri kavitasyon etkileri sonucunda oluşur ve bu kuvvetler biyolojik sistemler üzerinde büyük etkilere sahiptir. Akustik kavitasyon kabaca geçici ve kararlı olmak üzere iki türe ayrılabilir. Geçici kavitasyon, gaz ya da buhar ile dolu kabarcıklar düzensiz salınımına uğradıklarında ve sonunda hızla içine çekildiklerinde meydana gelir. Bu durum yüksek yerel sıcaklık ve basınç oluşturur bu da biyolojik hücreleri parçalar ve / veya bazı enzimleri bozar. Hızla içe çekilen kabarcıklar çözücü

içinde yüksek kesme kuvvetleri ve sıvı jeti de üretir. Bunlar aynı zamanda hücre duvarına / zarına fiziksel olarak zarar verebilecek yeterli enerjiye sahiptir[18].

Ultrasound akustik kavitasyon sonucu artan bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal etkiler ile bakterileri inaktif hale getirebilir ve bakteriyel kümeleri ya da flokları ayırabilir.

Çökme sırasında kavitasyon kabarcıkları bir takım süreçler ile bakterileri ya da biyolojik hücreleri mekanik olarak zayıflatmak ya da parçalamak için yeterli enerji üretir.

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

- Microstreaming'in neden olduğu kesme kuvvetleri bakteriyel hücrelerde meydana gelir.

- Sulu ortamlarda kavitasyon boyunca radikallerin (H^+ ve OH^-) oluşumu sayesinde kimyasal bozunma gerçekleşir. Radikaller bakteriyel hücre duvarının kimyasal yapısını bozar ve hücre duvarını zayıflatır.

- Suyun bu sonokimyasal degradasyonunda son ürün kuvvetli bir bakterisit olan hidrojen peroksit'tir (H_2O_2) [19].

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.

3.2.8. 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 lif ve gümüş kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda NaCl ve NaBr gibi maddeler suya eklenerek sürecin etkinliği arttırılmaktadır.

Elektrokimyasal su arıtımı, boyutları virüslerden bakteri ve algilere kadar değişen yaklaşık 40 tür mikroorganizma türünü başarılı olarak sudan giderebilmektedir.

Elektrokimyasal su dezenfeksiyonu, etki mekanizması temel olarak bir yükseltgen üretilerek bakterilerin elektrokimyasal reaktörde indirekt yolla yükseltgenmesine dayanmaktadır.

İndirekt yükseltgeme ile elektrokimyasal dezenfeksiyonun prensibi, elektrokimyasal bir hücrede bir yükseltgen üretilmesine dayanmaktadır. Üretilen yükseltgen de genellikle klordur. Suda her zaman bulunan klorür elektrokimyasal olarak yükseltgenerek ya da suya ilave edilen sodyum klorür ile klor veya hipoklorit üretilerek kirleticilerin dezenfeksiyonunda kullanılabilir. [20].

4. BAKTERİYOLOJİK ÇALIŞMALAR

4.1. Mikrobiyolojik Örnek Alma ve Kültür Yapma

Üzerinde veya içinde mikroorganizma üretilmiş (ya da üremiş) besiyerlerine kültür denir. Besiyerinde yalnızca tek bir mikroorganizma türü üretilmiş kültürler saf kültür olarak adlandırılır.

Kültür yapma (kültivasyon); mikroorganizmaların bulundukları ortamdan belirli tekniklerle alınarak, uygun bir besiyerine aktarılması ve burada gelişmelerinin sağlanması aşamalarını içerir.

Kültür Elde Etme Aşamaları:

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

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

4.1.1. Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması

Örnek alma ve alınan örneğin inokülasyona hazırlanması kültür yapmadaki en önemli aşamalardan birisidir. Her zaman olduğu gibi, bu aşamada da aseptik koşullara tümüyle uyulmalıdır. Bu amaçla, örneğin alınmasında kullanılan araç-gereç ile örneğin aktarılacağı örnek kapları daha önceden sterilize edilmelidir. Örneğin alınması ve örnek kabına aktarılması anında Bunzen beki alevi altında çalışılmalıdır.

Alınan örnek, çoğunlukla bir takım ön işlemlerden geçirilerek inokülasyona hazır hale getirilir. Özellikle mikrobiyolojik sayımlarda, incelenecek örneğin

dilüsyonları yapılır. Dilüsyon yapma, gerçekte bir seyreltme işlemidir ve bu amaçla uygun dilüsyon sıvılarından yararlanılır.

4.1.1.1. Dilüsyon hazırlama

Kültürel sayım yapılacak bir örneğin ml'sinde binlerce hatta milyonlarca mikroorganizma bulunabilir. Bu durum dikkate alınarak, genellikle incelenecek sıvı örneğin uygun seri dilüsyonları hazırlanır. Dilüsyon hazırlama, mikrobiyolojik yönden incelemeye alınan orjinal örnek içindeki mikroorganizma sayısının belli oranlarda sulandırılarak daha az indirilmesini amaçlayan bir işlemdir. Bu amaçla kullanılan sıvılara dilüsyon sıvısı denir.

Damıtık su, serum fizyolojik, $\frac{1}{4}$ kuvvetindeki Ringer çözeltisi, tamponlu fosfat dilüsyon sıvısı ile Nütrient broth gibi bazı sıvı besiyerleri en sık kullanılan dilüsyon sıvılarıdır. Dilüsyon sıvıları ekimler öncesinde hazırlanarak sterilize edilir.

Dilüsyon sıvılarının incelenen örneğe veya mikroorganizma kültürünün özelliğine göre seçilip kullanılması çok önemlidir. Aksi takdirde, seri dilüsyonların hazırlanması esnasında hücreler canlılık özelliklerini yitirebilirler. Dilüsyon sıvılarının seçiminde, incelenecek örnekteki osmatik basınç ile, bu örneğin dilüe edileceği dilüsyon sıvısındaki osmatik basıncın birbirine çok yakın olmasına dikkat edilmelidir. Dikkat edilecek bir diğer konu ise, dilüsyon işlemleri ve ekimler arasında geçen sürenin olabildiğince kısa tutulması gerektirir.

Dilüsyon serileri, ondalıklı (desimal), iki katlı ve dört katlı dilüsyon serileri şeklinde hazırlanabilir ancak bu amaçla en çok kullanılan ondalıklı dilüsyon serileridir.

Ondalıklı dilüsyon serileri hazırlanırken, dilüsyon sıvısından her bir deney tüpüne 9 ml konulur. Dilüsyon yapılırken her bir deney tüpünden 1 ml örnek alınarak bir sonraki deney tüpüne aktarılır. Böylece her bir aktarmada örnek on kat seyreltilmiş olur.

Dilüsyon hazırlarken dikkat edilecek en önemli konu, her aktarmada ayrı bir steril pipetin kullanılması ve aktarılacak örneğin, aktarmadan hemen önce kuvvetlice çalkalanarak homojen bir karışımın sağlanmasıdır.

4.1.2. Aktarma teknikleri ve inokülasyon

İnokülasyon, ekim ve aşılama isimleriyle de anılmaktadır. İnokülasyon, incelenecek örneğin steril bir besiyerinin üstüne yada içine, aktarma tekniklerinden yararlanılarak, uygun bir şekilde aktarılması olayıdır.

Aktarma esnasında kullanılacak olan öze ve pipet gibi gereçler mutlaka steril olmalıdır. Hiç bir şekilde, incelenecek olan örneğe veya aktarma yapılacak olan steril besiyerine sterilize edilmemiş öze veya pipet daldırılmamalıdır. Pipet kutusu içinde veya kağıda sarılı vaziyette sterilize edilmiş olan pipetler, Bunzen beki alevi altında usulüne uygun olarak çıkarılır ve bek alevinden seri bir şekilde geçirilerek aktarma işleminde kullanılır. Aktarma işlemi tamamlandıktan sonra, pipetler tekrar alevden geçirilmez; doğrudan içinde dezenfektan çözeltisi bulunan uygun bir kaba konur. Öze ise işlem bittikten sonra tekrar alevde tutularak sterilize edilir. Böylece de çalışılan bölgenin kontaminasyon riski ortadan kaldırılmış olur.

Aktarma işlemleri gerçekleştirilirken, gerek aktarılacak örneği ve gerekse aktarma yapılacak steril besiyerini içeren tüp veya balon gibi cam kapların ağız kısımları, işlemler öncesi ve sonrasında ayrı ayrı olmak üzere mutlaka Bunzen beki alevinden geçirilmelidir. Bu işlem ile kapların ağız kısmındaki boşluklarda konveksiyon akımları yaratılmakta ve böylece de kapların ağız kısımlarından hava yoluyla girebilecek mikroorganizmalar uzaklaştırılabilmektedir. Aktarma tamamlandıktan sonraki alevden geçirme işlemiyle, aktarma anında kapların ağız kısımlarına herhangi bir şekilde kontamine olabilecek mikroorganizmaların yakılarak öldürülmesi de amaçlanmaktadır.

Alevden geçirme anında, tüp, balon veya Erlenmayer gibi kapların ağızlarındaki pamuk tıkaç usulüne uygun olarak çıkarılır. Bu esnada, pamuk tıkaç hiçbir şekilde, kontaminasyon kaynağı olabilecek yüzeylere temas ettirilmemelidir. Aktarma işlemi seri bir şekilde gerçekleştirilir. Aktarma ve inokülasyon işlemleri biter bitmez, kabın ağız kısmı alevden geçirilir ve pamuk tıkaç kabın ağızına tekrar yerleştirilir.

4.1.3. İnkübasyon

Kültür elde etmedeki son aşamadır. İnkübasyon, ekim yapılmış besiyerini içeren kabın, uygun bir inkübatörde, belli bir sıcaklık derecesinde ve belli bir süre tutulması işlemidir. İnkübasyon için genellikle etüv veya su banyosu gibi inkübatörlerden yararlanılır. Petri kutularının inkübasyonu için sadece etüvden yararlanılır. Petri kutuları, inokülasyonları takiben, belli bir süre beklendikten sonra ters çevrilerek inkübatöre yerleştirilir. Bu durumda, petri kutusu içinde oluşabilecek su buharının kapakta kondense olup besiyerine damlama, böylece de kültürün kontaminasyonu ile olduğundan fazla sayıda veya büyük koloni oluşumu risklerinin önüne geçilmiş olur.

İnkübasyon sıcaklığı ve süresi, ekim yapılan örnek veya çalışılan mikroorganizmanın özelliği ya da çalışmanın amacına göre belirlenir.

4.2. Mikrobiyolojik Sayım Yöntemleri

Bir örnekte hangi tip mikroorganizmaların bulunduğu bilinmesi(çeşit, grup, cins, tür v.b.) yani mikroorganizmaların örnekten izole edilmesi ve tanımlanması çoğu zaman önemli olmaktadır. Bunun yanı sıra, örneğe ait bazı mikrobiyolojik problemlerin çözümünde, örnekteki mikroorganizma sayısı da önemli olup, sayım sonuçları, incelenen örneğin mikrobiyolojik kalite yönünden değerlendirilmesinde önemli ipuçları vermektedir.

Bugüne kadar birçok mikrobiyolojik sayım yöntemi geliştirilmiştir. Amaca, incelenen örneğin özelliğine ve eldeki olanaklara göre bu yöntemlerden birisi seçilerek uygulanabilmektedir. Ancak şu anda kullanılan sayım yöntemlerinden hiçbirisi, bir örnekteki mikroorganizma sayısını tam ve kesin olarak belirlemeye olanak sağlamamaktadır. Bazı yöntemler belirli yönleriyle diğer bazılarına üstünlük sağlamasına karşılık, her yöntemin uygulanması veya verdiği sonuçlar yönünden sakıncalı tarafları bulunabilmektedir.

Sayım sonuçları, incelenen örneğin sıvı, katı veya yüzey olmasına göre genel olarak sayı/ml, sayı/g veya sayı/cm² olarak verilmektedir. Katı besiyerlerinde koloni sayımına dönük sayım yöntemlerinde ise, sonuçlar çoğunlukla sayı yerine cfu/ml, cfu/g, cfu/cm² şeklinde belirtmektedir (cfu:colony forming unit). Sayım

sonuçları mevcut standart, tüzük, yönetmelik, vb. kaynaklarda belirtilen limitlerle karşılaştırılarak, incelenen örneğin mikrobiyolojik kalitesi hakkında karara varılabilir.

Mikrobiyolojik sayım yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Direkt Sayım Yöntemleri:

Direkt olarak mikroorganizma kolonileri veya hücrelerinin sayıldığı yöntemlerdir.

a) Kültürel Sayım Yöntemleri (canlı sayım) (koloni sayımı)

Dökme plak yöntemi

Çift tabakalı dökme plak yöntemi

Agar yüzeyine yayma yöntemi

Agar damlatma yöntemi (damla kültür yöntemi)

Dönen tüpyöntemi (roll-tüp yöntemi)

Lam üzerinde mikroskopik sayım yöntemi (Frost'un lam 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-Hausser lamı ile sayım yöntemi

Howard lamı ile küflü saha sayımı

Breed'in yayma yöntemi (Froti yöntemi)

Membran filtre yöntemi

Flouessant mikroskopi yöntemleri

Flow Sitometri (canlı ve ölü hücrelerin toplam sayımı)

2. İndirekt Sayım Yöntemleri

Mikroorganizmaların belirli bazı hücresel özellikleri, metabolik faaliyetleri, besiyerinde oluşturduğu değişiklikler gibi durumlar dikkate alınarak dolaylı bir şekilde mikroorganizma sayılarının belirlenmesi ya da tahmin edilmesine yönelik yöntemlerdir. Bu yöntemlere çoğunlukla ilk aşamada standartlar oluşturulmakta, daha sonra da alınan sonuçlar bu standartlarla karşılaştırılarak sayının belirlenmesi yoluna gidilmektedir.

- 1.EMS (En Muhtemel Sayı) yöntemi
 - 2.Tüp dilisyon yöntemi
 - 3.Türbidimetrik sayım yöntemi
 - 4.Hücre içeriğindeki belirli bazı maddeleri belirleme prensibine dayalı sayım yöntemleri
 - ATP (adenozin trifosfat) ölçümüne dayalı sayım yöntemi
 - Diğerleri (azot, karbon, fosfor, DNA, RNA, thermostable DNase ve diğer bazı enzimler)
 - 5.Kuru madde tayini prensibine dayalı sayım yöntemi
 - 6.Toplam sediment miktarı tayini prensibine dayalı sayım yöntemi
 - 7.McFarland yöntemi
 - 8.Metabolik aktiviteye dayalı sayım yöntemleri
 - Renk maddeleri indirgenmesine dayalı sayım yöntemleri (renk maddeleri indirgenme testleri)
 - Empedans ölçümüne dayalı sayım yöntemi
 - Mikrokaleorimetre
- Bu yöntemlerden en sık kullanılanları: Dökme plak yöntemi, direkt mikroskopik sayım yöntemleri, EMS yöntemi, renk maddeleri indirgenme testleri, türbidimetrik yöntemlerdir.

4.2.1. Kültürel sayım yöntemleri

Bu yöntemlerde katı besiyerleri kullanılmakta ve inkübasyonu takiben, besiyerinde gelişen mikroorganizma kolonileri sayılarak sonuca gidilmektedir. Bu nedenle kültürel sayım yöntemleri koloni sayımı olarak da anılabilmektedir. Diğer taraftan incelenen örnekte yalnızca canlı mikroorganizmalar sayıldığı için, bu sayımlar canlı sayım olarak da isimlendirilebilmektedir.

Kültürel sayım yöntemlerinde, genel olarak ilk aşamada sayım yapılacak örneğin ekimlere hazırlanması gerekmektedir. 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, maya veya küf hücresi katı bir besiyerinde bir koloniye eşdeğerdir

varsayımından hareketle koloniler sayılır. Toplam sayının dilüsyon faktörü ile çarpılmasıyla elde edilen sonuç; incelenen örneğin özelliğine göre genellikle cfu/ml, cfu/g, cfu/cm² olarak verilir.

Bu yöntemlerde sonuçlar uzun sürede alınır. Mikroorganizma sayısı, kullanılan besiyerine, inkübasyon sıcaklığı ve süresine göre değişiklik gösterebilmektedir.

4.2.1.1. Dökme plak yöntemiyle kültürel sayım

İncelemeye alınan örnekteki canlı mikroorganizmaları veya bunların sporlarını saymayı amaçlayan bir yöntemdir. Kültür yaparak gerçekleştirilen bu sayımda, inkübasyon aerobik koşullarda yapılmışsa; canlı aerobik mikroorganizma sayısından, anaerobik koşullarda gerçekleştirilmişse; canlı anaerobik mikroorganizma sayısından söz edilir. Dökme plak yöntemiyle bakteri, maya ve küfler ile sporlarını saymak mümkündür.

Dökme plak yöntemi petri kutuları ve katı besiyerleri kullanılarak gerçekleştirilir. İncelenecek örnek homojen hale getirilerek ve seri dilüsyonları hazırlanır. Ekimi yapılacak dilüsyonlar belirlendikten sonra steril edilmiş petri kutularına steril pipetle birer ml örnek konulur. Her bir dilüsyon için çalışmalar üç paralel olacak şekilde yapılmalıdır. Örnek petri kutusuna aktarıldıktan sonra vakit geçirmeden her bir petriye eritilmiş ve 44- 48 °C'ye soğutulmuş uygun steril katı bir besiyerinden 15-20 ml dökülür. Besiyeri katılaşmadan hemen, petri kutularına düz bir yüzey üzerinde sekiz hareketi çizdirilerek örnek ile besiyerinin homojen karışımı sağlanır ve besiyerinin katılaşması beklenir. Aynı besiyerinden steril iki tane boş petri kutusuna dökülerek sterilit kontrolü yapılır. Petri kutuları ters çevrilerek sıcaklığı ayarlanmış ve istenilen sıcaklığa erişmiş bir inkübatöre yerleştirilir. İnkübasyon sonunda 30-300 koloni içeren petri kutuları sayıma alınır. Sayım sonucu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Direkt sayım sonucu x dilüsyon faktörü = sayı/ml veya cfu/ml

4.2.1.2. Yüzeye yayma yöntemiyle kültürel sayım

Yüzeye yayma yönteminin dökme plak yöntemine göre bazı üstünlükleri ve sakıncalı tarafları bulunmaktadır. Herşeyden önce bu yöntemin uygulanışı kolay ve çabuktur. Petri kutularına besiyeri dökülürken oluşabilecek hava kabarcıkları ekim öncesi steril bir iğne öze ile ortadan kaldırılabilir. Dökme plak yönteminde sıcaklığa duyarlı mikroorganizmalar besiyeri sıcaklığı yüksek olursa zarar görebilirler. Buna karşılık yayma yönteminde kullanılan Drigalski özesinde bir miktar mikroorganizma özede kalabilir.

Yüzeye yayma yönteminde, yaklaşık 50°C'deki, erimiş agarlı besiyeri, aseptik koşullarda steril petri kutularına 15-20 ml miktarlarda dökülür. Agarın katılaşmasından sonra petri kutuları etüvde kurutulur. Bu yöntemde agar yüzeyinin kuru olması çok önemlidir. İncelenecek

Dilüsyondan veya sıvı örnekten belirli bir miktar alınarak kuru agar yüzeyine aktarılır ve steril Drigalski özesi ile yayılır. Drigalski özesi her kullanımdan önce alkole daldırılır ve daha sonra Bunzen beki alevinden geçirilir ve alevin yanıp uzaklaşması sağlanır. Öze ekim öncesinde besiyerinin boş bir kısmına değdirilerek soğutulur. Bu yöntemde de ekimler üç paralel olacak şekilde yapılmalıdır. Ekim yapılan petri kutuları 10-15 dakika bekletilerek besiyerinin inokulunu absorblaması sağlandıktan sonra inkübasyona alınırlar. [21].

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Gümüş Salın Miktarı

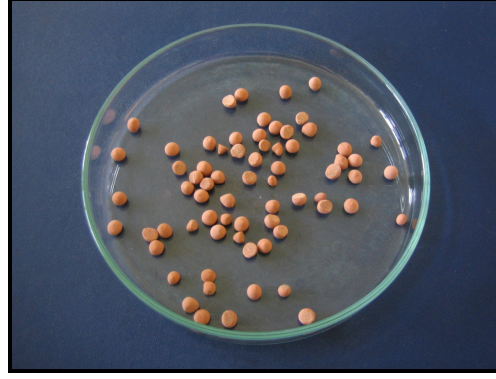
Çalışma çözeltisi 5 mL/dk., 25 mL/dk., 50 mL/dk., 100 mL/dk. akış hızlarında sürekli sistemde ve 25 mL/dk. akış hızında 500 mL çalışma çözeltisi ile geri döngülü sistemde antibakteriyel dolgu kolondan geçirilmiştir. Alınan örnekler daha sonra ICP- OES 720 ES spektrofotometre cihazında okunarak çalışma çözeltisindeki gümüş miktarları belirlenmiştir.

5.2. Antibakteriyel Dolgu Kolonda Su Dezenfeksiyonu

Su dezenfeksiyon çalışmalarında kullanılacak çözelti, steril edilmiş distile suya istenen derişimde *Escherichia coli* veya *Staphylococcus aureus* eklenerek elde edilmiştir. İstenen başlangıç bakteri derişimleri bir gün önceden 37 °C’ de 1 gün bekletilen gecelik bakteri kültüründen gerekli seyreltme yapılarak elde edilmiştir. Çalışmalar steril kabin içinde ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında alınan örnekler, uygun besiyerine ekildikten sonra 37 °C’de 1 gün boyunca inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası, canlı bir bakteri katı bir besiyerinde bir koloniye eşdeğerdir varsayımından hareketle koloniler sayılmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan reaktör 30 cm yüksekliğinde ve 2 cm çapındadır. Reaktörde kullanılan dolgu malzemeleri yaklaşık 2 mm çaplarında ve küre şeklillidir.

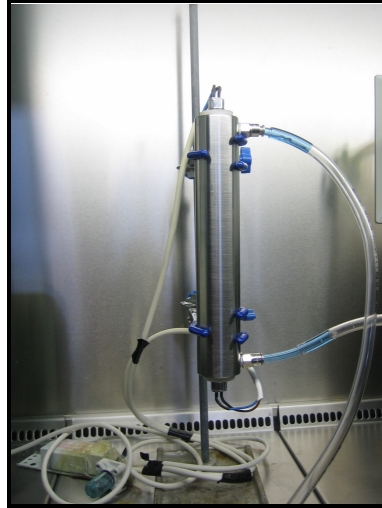
Çalışmalar, geri döngülü ve 5 mL/ dk., 25 mL/dk., 50 mL/dk. ve 100 mL/dk. akış hızlarında çalışma çözeltisinin reaktörden bir kez geçtiği sürekli akışlı sistemde, *Escherichia coli* veya *Staphylococcus aureus* bakterileri ile, farklı derişimlerde ve 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda en az 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Çalışmalar, başlangıç çalışma çözeltisinden ve işlem boyunca belirli zaman aralıklarında çıkış suyundan örnekler alınarak yapılmıştır. Sisteme verilen çözeltinin akış hızı peristaltik pompa (IKA, Werke) kullanılarak ayarlanmıştır. Çalışmalar steril kabin (Heraeus KSP- 18 Class II) içinde ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Dolgu malzemeleri Şekil 3.1.’de görölmektedir.



Şekil 5. 1. Antibakteriyel dolgu malzemesi

5.3. UV Sistemde Su Dezenfeksiyonu

Çalışmalarda kullanılan UV dezenfeksiyon kolonu 4,6 cm çapında ve 25 cm uzunluğundadır. Reaktörde kullanılan UV lambası mikroorganizmaları etkisiz hale getiren yaklaşık 254 nm dalga boyundadır. Çalışmalar farklı başlangıç bakteri derişimlerinde, farklı akış hızlarında ve *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri ile sürekli akışlı sistemde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan UV reaktör Şekil 5.5'te görölmektedir.



Şekil 5. 2. UV reaktör

5.4. Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

Çalışmalar su dezenfeksiyonu sistemlerin sinerjik etkilerini görmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalarda, antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ikili sistem olarak ard arda kullanılmıştır. En iyi sonuçlar antibakteriyel dolgulu kolonun önde olduğu durumda gerçekleştiği için çalışmalar antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktör düzeninde sistemin kurulması ile gerçekleştirilmiştir.

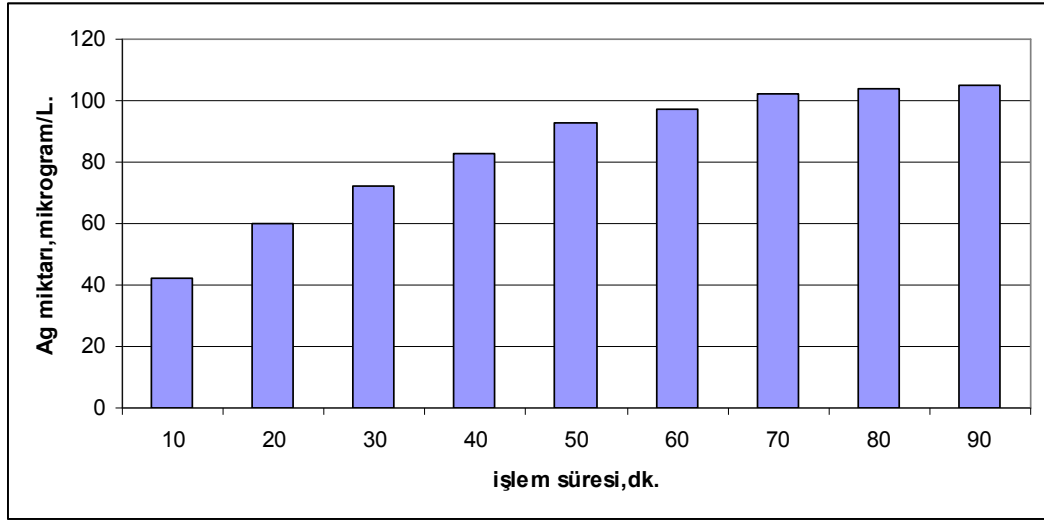
5.4.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktörün ardışık kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmaları farklı bakteri türlerinde, farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ardından farklı akış hızlarında UV reaktörde 5×10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir.

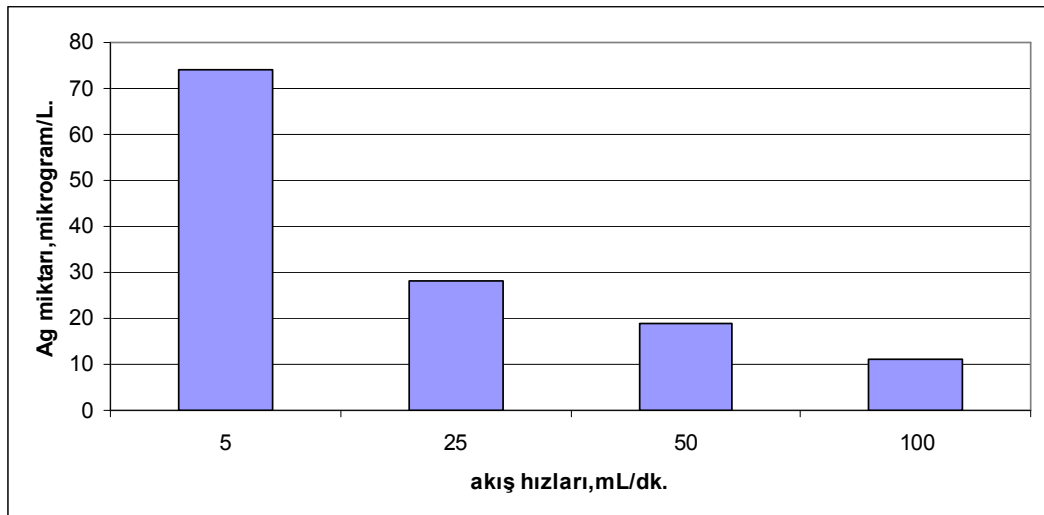
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1. Gümüş Salım Miktarının Belirlenmesi

5 mL/dk., 25 mL/dk., 50 mL/dk., 100 mL/dk., akış hızlarında sürekli sistemde ve 500 mL çalışma çözeltisi ile 25 mL/dk. akış hızında geri döngülü sistemde antibakteriyel dolgulu kolondan geçirilen çalışma çözeltisinde bulunan gümüş miktarları Şekil 6.1.-6.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Geridöngülü sistemde gümüş miktarları



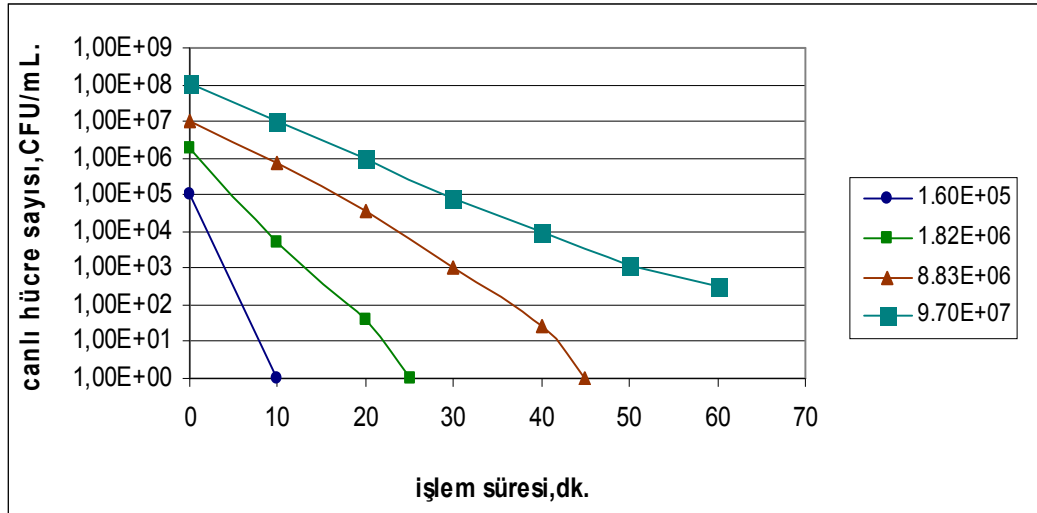
Şekil 6.2. Sürekli akışlı sistemde gümüş miktarları

6.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonun Etkinliğinin İncelenmesi

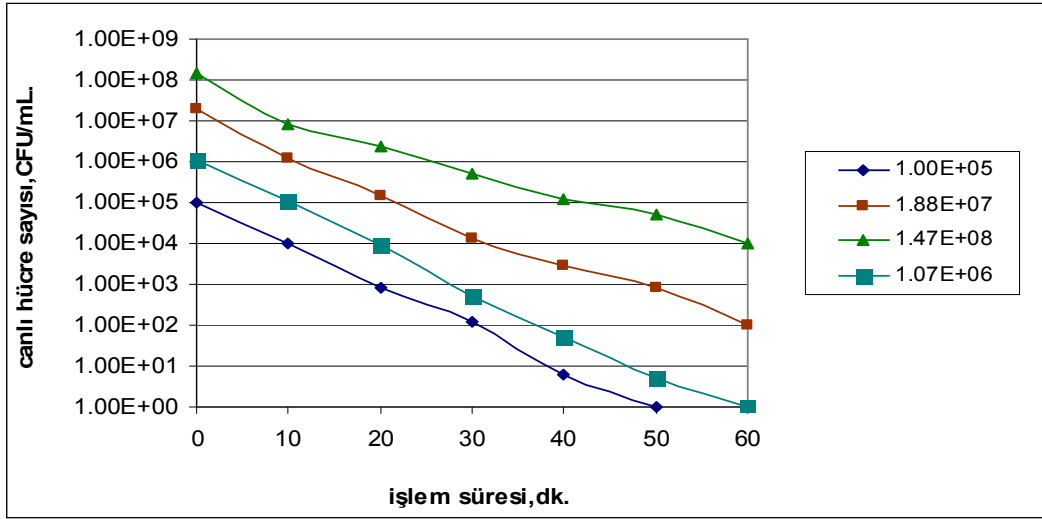
Antibakteriyel dolgulu kolonda *S.aureus* ve *E.coli* bakterileri ile ilgili çalışmalar, 1×10^5 CFU/mL, 1×10^6 CFU /mL, 1×10^7 CFU/mL, 1×10^8 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde, 50 mL/dk. akış hızında geri döngülü ve 5 mL/dk., 25 ml/dk., 50 ml/dk., ve 100 ml/dk. akış hızlarında, 1×10^4 CFU/mL, 1×10^5 CFU/mL, 1×10^6 CFU /mL, 1×10^7 CFU/mL, 1×10^8 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde sürekli akışlı sistemde gerçekleştirilmiştir.

6.2.1.Geri döngülü sistemde antibakteriyel dolgulu kolonun etkinliğinin belirlenmesi

Geri döngülü sistemde 50 mL/dk. akış hızında, 150 mL çalışma çözeltisi ile *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterileri kullanılarak farklı başlangıç bakteri derişimlerinde gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları Şekil 6.3-6.4' de verilmiştir.



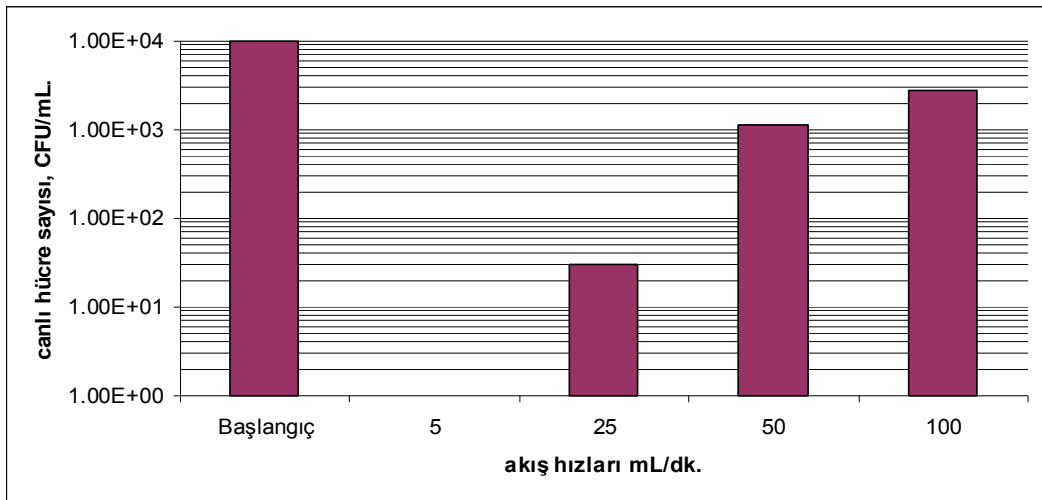
Şekil 6. 3. *Staphylococcus aureus* ile antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi



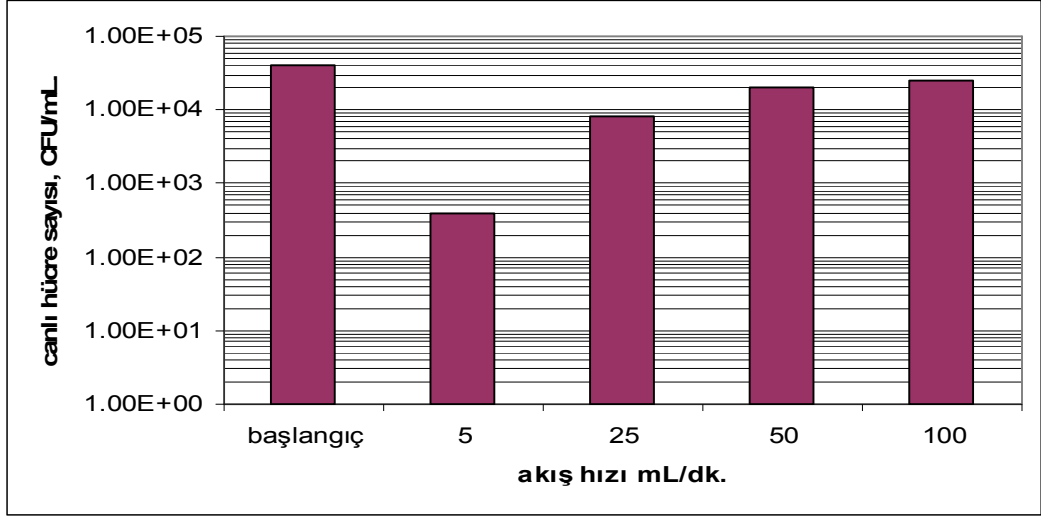
Şekil 6. 4. *Escherichia coli* ile antibakteriyel dolgulu kolonda başlangıç bakteri derişiminin etkisi

6.2.2. Sürekli akışlı sistemde antibakteriyel dolgulu kolonun etkinliğinin belirlenmesi

Çalışmalar 5 mL/dk., 25 mL/ dk., 50 mL/dk., ve 100 mL/dk. akış hızlarında, çalışma çözeltisinin reaktörden bir kez geçtiği sürekli akışlı sistemde, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* mikroorganizmaları kullanılarak 3 farklı başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. 10^4 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil.6.5-6'da verilmiştir.

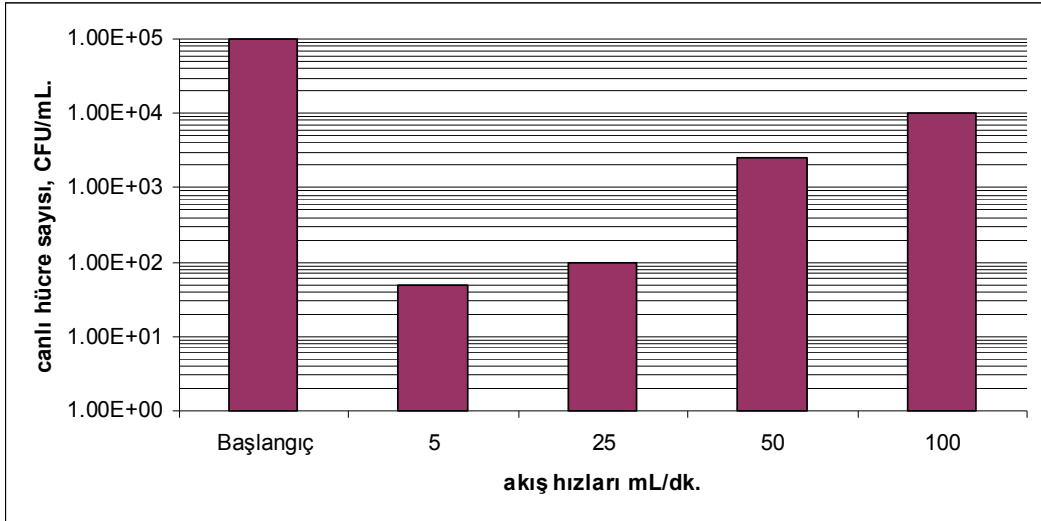


Şekil 6.5. *Staphylococcus aureus* kullanılarak, 1×10^4 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde, akış hızının etkisi

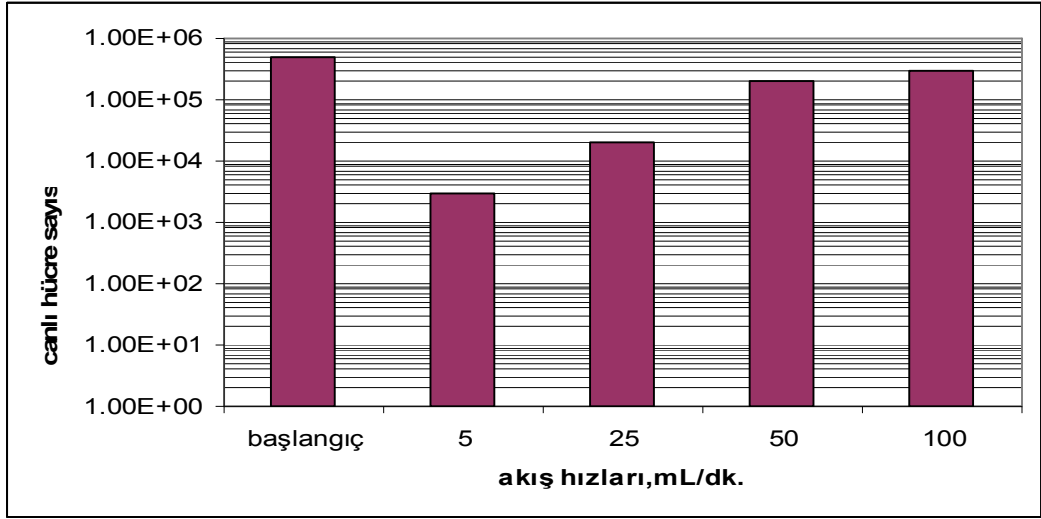


Şekil 6.6. *Escherichia coli* kullanılarak 4×10^4 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde, akış hızının etkisi

10^5 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.7. -6.8.' de verilmiştir.

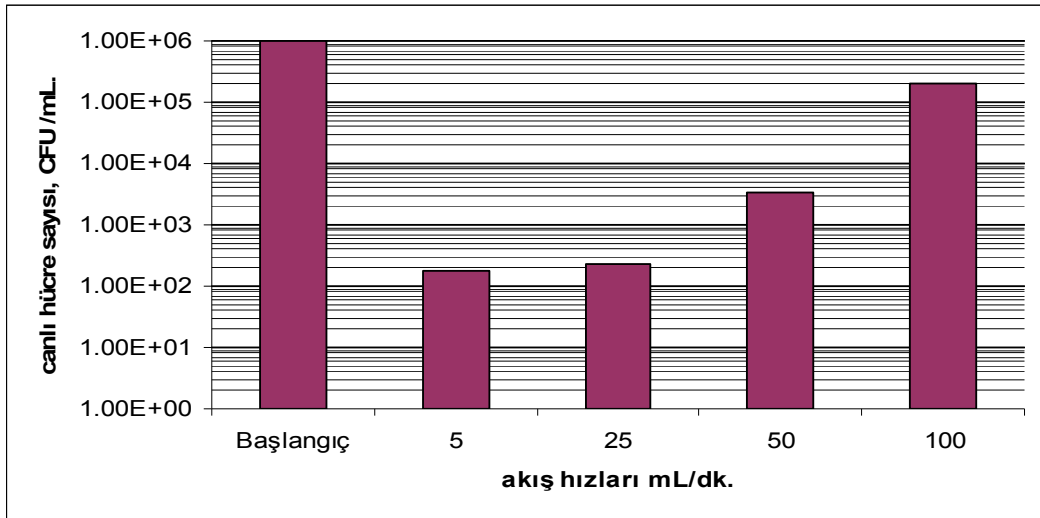


Şekil 6.7. *Staphylococcus aureus* kullanılarak 1×10^5 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

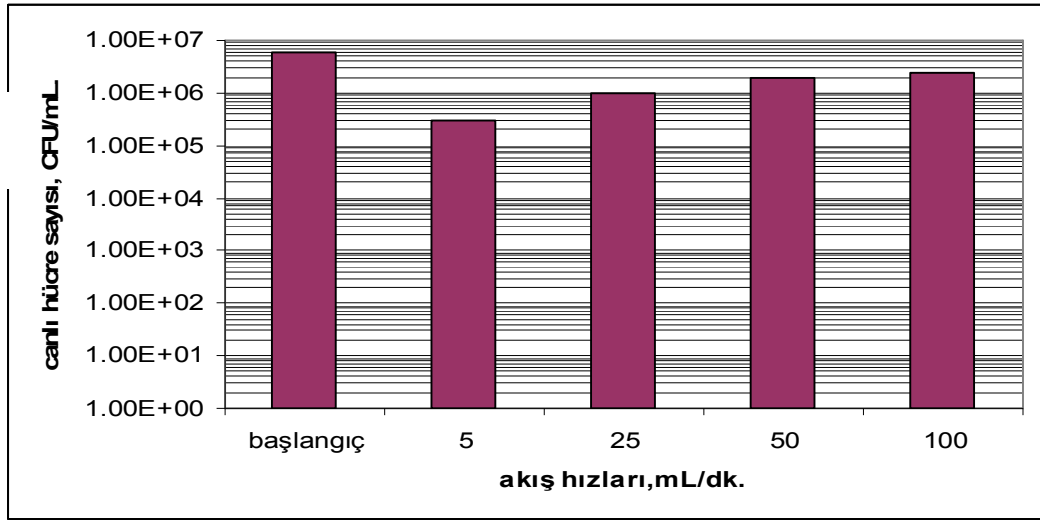


Şekil 6.8. *Escherichia coli* kullanılarak 5×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

10^6 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.9. -6.10.' da verilmiştir.

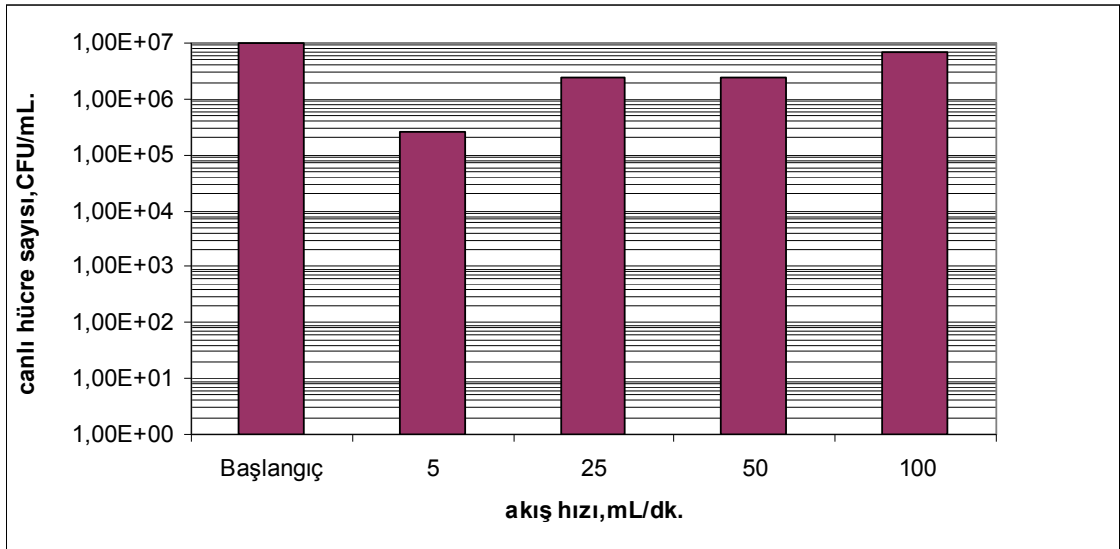


Şekil 6.9. *Staphylococcus aureus* kullanılarak 1×10^6 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

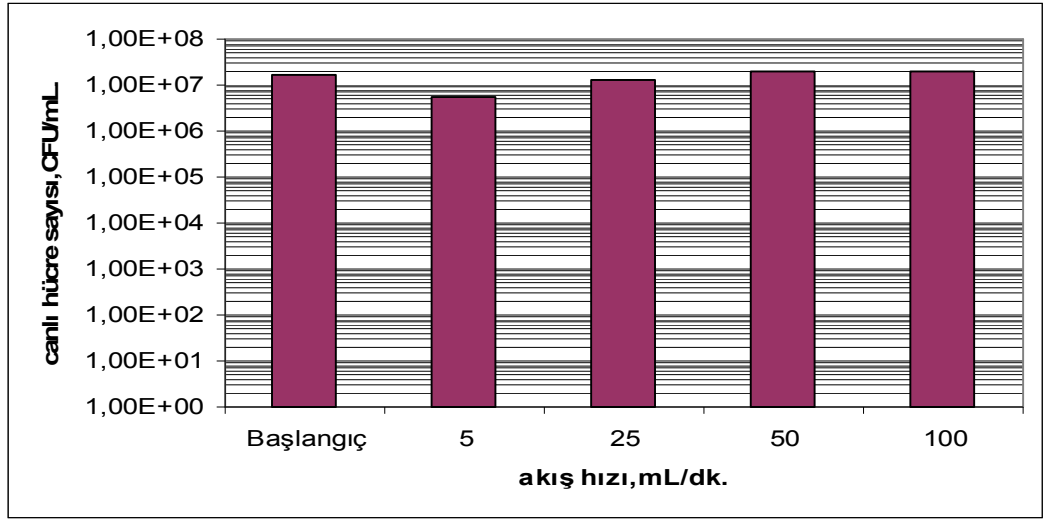


Şekil 6.10. *Escherichia coli* kullanılarak 6×10^6 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

10^7 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.11 -6.12’de verilmiştir.

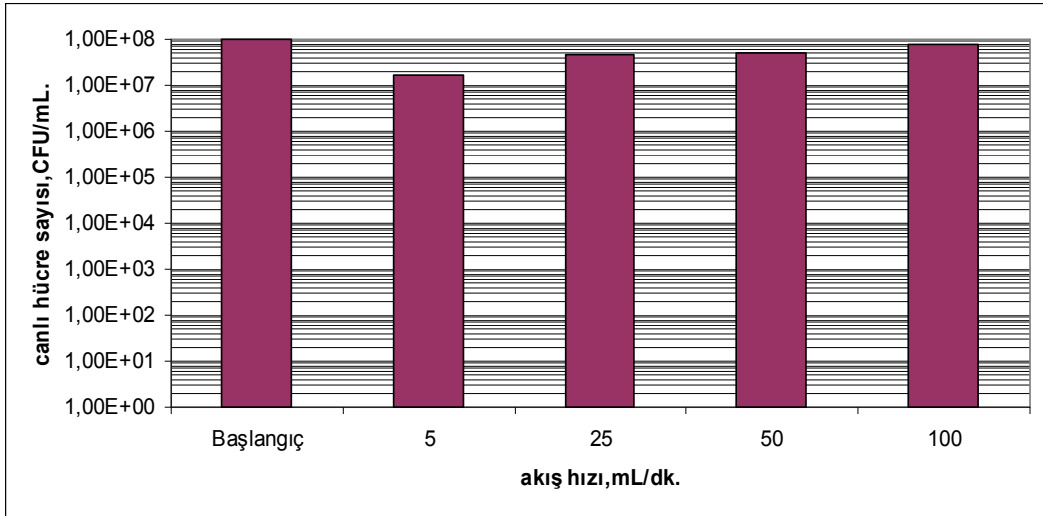


Şekil 6. 11. *Staphylococcus aureus* bakterisi kullanılarak 1×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

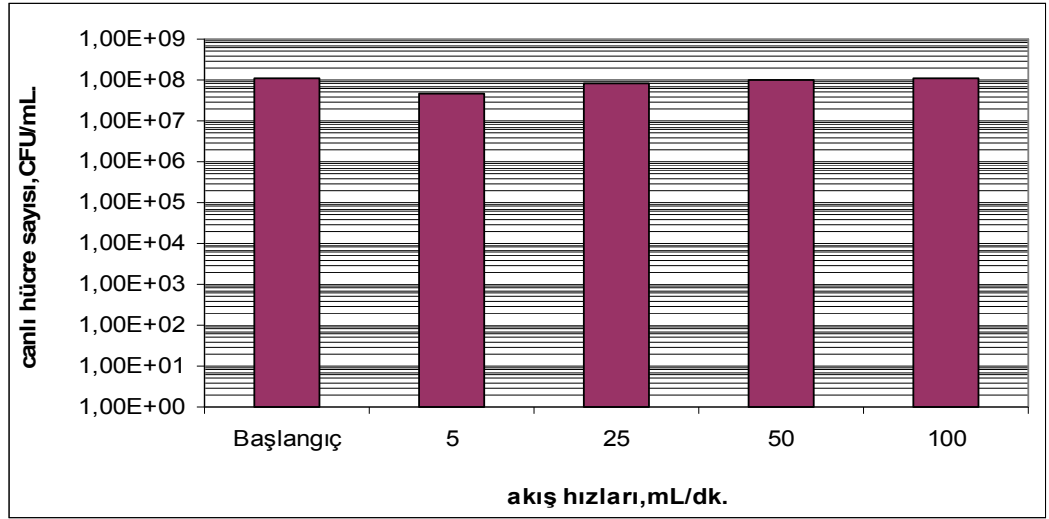


Şekil 6.12. *Escherichia coli* kullanılarak 2×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

10^8 CFU/mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilen çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.13 -6.14' de verilmiştir.



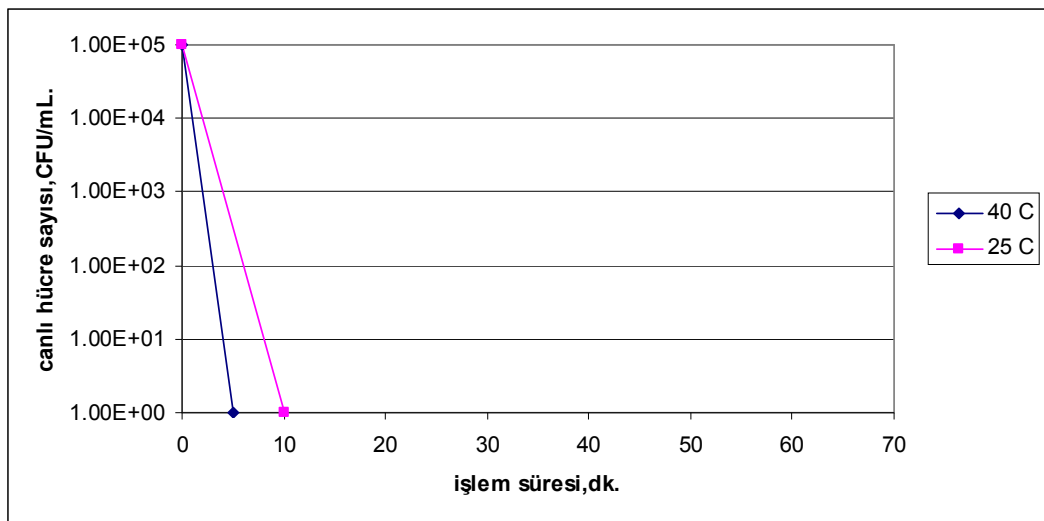
Şekil 6. 13. *Staphylococcus aureus* bakterisi kullanılarak 1×10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi



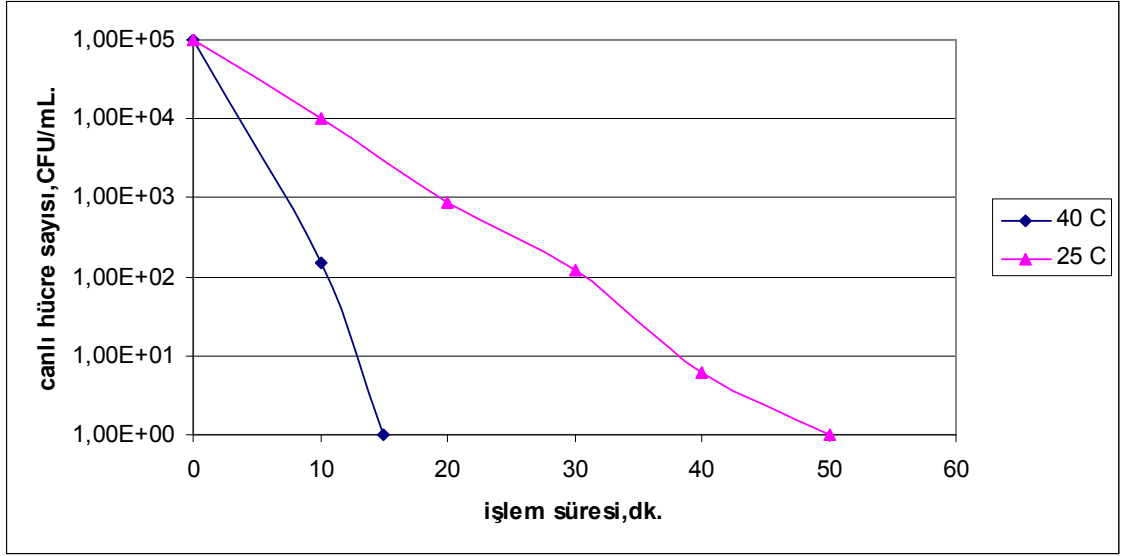
Şekil 6. 14. *Escherichia coli* kullanılarak 1×10^8 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde akış hızının etkisi

6.2.3. Geri döngülü Sistemde Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi

Antibakteriyel dolgulu kolonda *Escherichia Coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri ile 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda 50 mL/dk akış hızında 150 mL çalışma çözelti ile gerçekleştirilen geri döngülü çalışmalara ait deney sonuçları Şekil 6.15-6.16.'da verilmiştir.



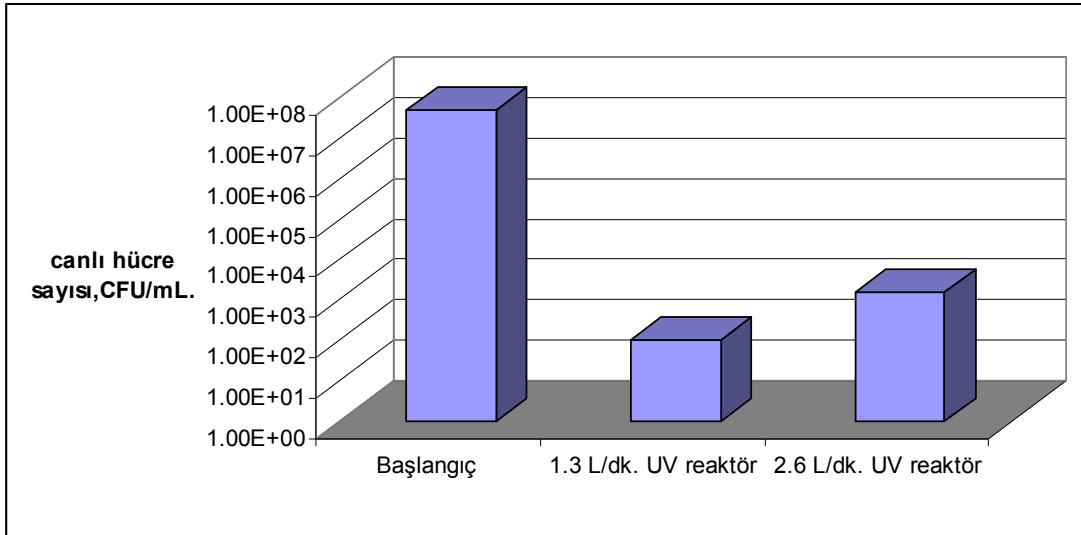
Şekil 6. 15. *Staphylococcus aureus* kullanılarak 1×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde sıcaklığın etkisi



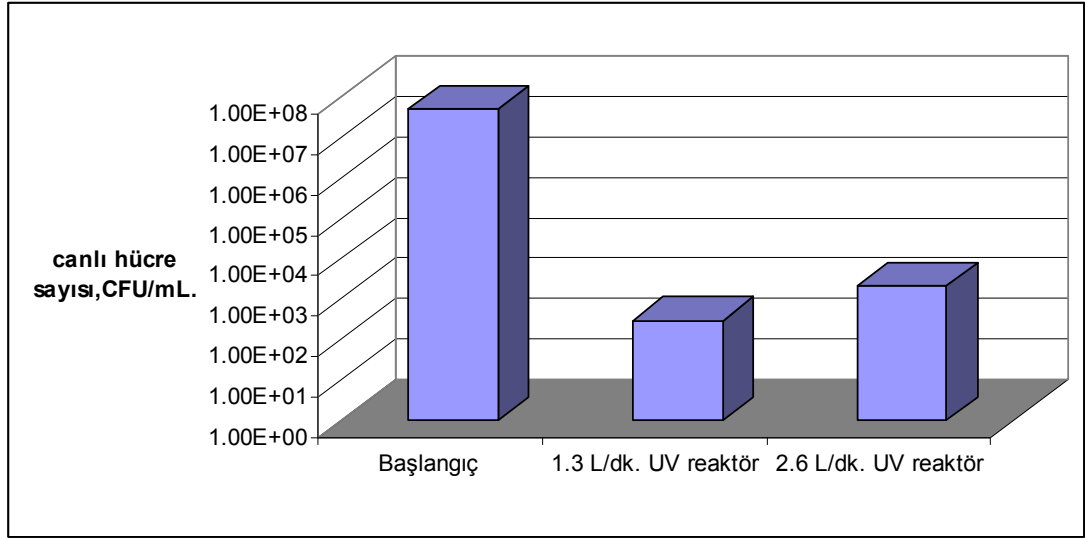
Şekil 6. 16 . *Escherichia coli* kullanılarak 1×10^5 CFU /mL başlangıç bakteri derişimininde sıcaklığın etkisi

6.3.UV Sistemin Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada 5×10^8 /mL başlangıç bakteri derişiminin ve iki farklı akış hızının (1,3 L/dk, 2,6 L/dk) sürekli akış sisteminde UV dezenfeksiyon sistemine etkisi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.17-6.18’de verilmiştir.



Şekil 6. 17. *Staphylococcus aureus* kullanılarak 5×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde UV reaktörde akış hızının etkisi

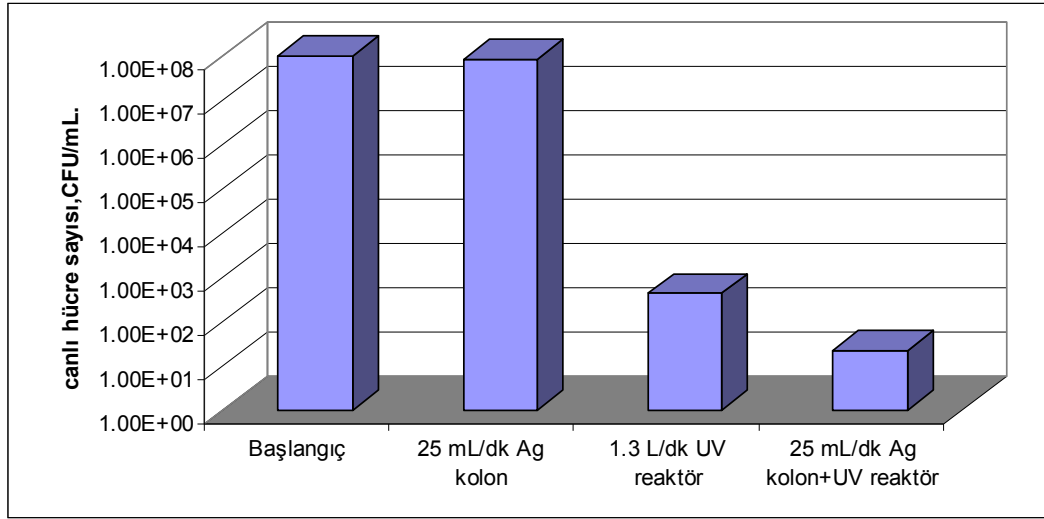


Şekil 6. 18. *Escherichia coli* kullanılarak 5×10^7 CFU /mL başlangıç bakteri derişimininde UV reaktörde akış hızının etkisi

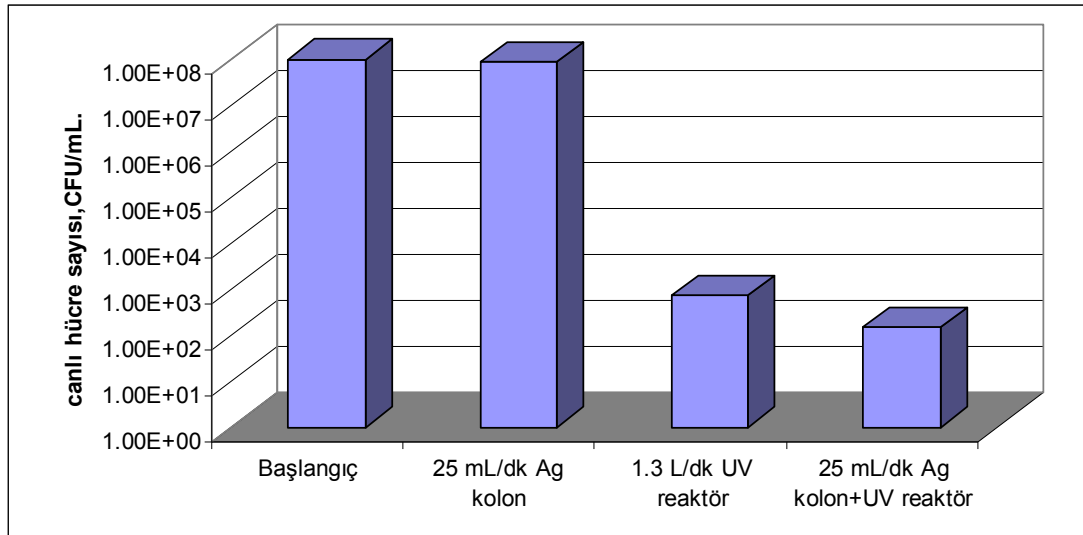
6.4. Ardışık Sistemlerin Etkisinin İncelenmesi

6.4.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistemin etkisinin incelenmesi

Antibakteriyel dolgulu kolon ile UV reaktör birlikte kullanıldığında gösterdikleri etkiyi belirlemek amacıyla farklı akış hızlarında antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktör ile ard arda çalışılmıştır. Çalışmalar 5×10^7 /mL başlangıç bakteri derişiminde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 6.19-6.20.'de verilmiştir.



Şekil 6.19. *Staphylococcus aureus* kullanılarak 10^8 CFU/mL. başlangıç bakteri derişiminde, antibakteriyel dolgulu kolondan sonra UV reaktörün etkisi



Şekil 6.20. *Escherichia coli* kullanılarak 10^8 CFU/mL. başlangıç bakteri derişiminde, antibakteriyel dolgulu kolondan sonra UV reaktörün etkisi

7. BULGULARIN TARTIŞILMASI

7.1. Gümüş Salım Miktarının Belirlenmesi

Gümüş salım miktarlarının belirlenmesi için gerçekleştirilen çalışmalarda sürekli akışlı ve geri döngülü sistemde çalışma çözeltisinde bulunan gümüş miktarları belirlenmiş ve sürekli akışlı sistemde en düşük akış hızı olan 5 mL/dk. akış hızında gümüş miktarının 25 mL/dk., 50 mL/dk., 100 mL/dk. akış hızlarındaki gümüş miktarından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda en düşük akış hızındaki (5 mL/dk.) gümüş miktarı 74 µg/L olarak belirtilmiştir. Geri döngülü sistemde ise 10. dakikada 42 µg/L, 40. dakikada 83 µg/L gümüş bulunurken 90. dakika sonunda çalışma çözeltisindeki gümüş miktarı 105 µg/L olarak belirlenmiştir.

7.2. Antibakteriyel Dolgulu Kolonda Su Dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolonda sürekli akışlı sistem de gerçekleştirilen çalışmalarda başlangıç bakteri derişiminin azalmasıyla birim etkin antibakteriyel yüzeye düşen bakteri derişimi azalacağından bakteri gideriminin artması gerektiği bilinmektedir. E.coli ve S.aureus bakterisi ile gerçekleştirilen çalışmalarda, sürekli akışlı sistemde en fazla bakteri giderimi, 4×10^4 CFU /mL başlangıç bakteri derişiminde ve 5mL/dk. akış hızında sağlanmıştır.

Geri döngülü sistemde çalışma süresinin artmasıyla bakterilerin etkin yüzeyle temas süresi de artmakta bunun sonucu olarak da bakteri gideriminde beklendiği gibi artış görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalara da beklenen bu sonuç görülmektedir. 10^5 CFU/mL. başlangıç bakteri derişiminde E.coli ile yapılan çalışmalarda 50. dakikada ve S.aureus bakterisi ile gerçekleştirilen çalışmalarda 10. dakikada tüm bakteriler giderilmiştir.

40 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen çalışmalarda 25 °C ye göre daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve 10^5 CFU/mL. başlangıç bakteri derişiminde E.coli ile yapılan çalışmalarda 15. dakikada ve S.aureus bakterisi ile gerçekleştirilen çalışmalarda 5. dakikada tüm bakterilerin giderildiği gözlemlenmiştir.

7.3. UV Sistem ile Su Dezenfeksiyonu

UV reaktör gerçekleştirilen çalışmalarda, 5×10^7 CFU/mL olan çok yüksek başlangıç bakteri derişimlerinde de etkin dezenfeksiyon gerçekleştirilebildiği görölmüştür.

7.4. Ardışık Sistemler ile Su Dezenfeksiyonu

7.4.1. Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV sistem ile su dezenfeksiyonu

Antibakteriyel dolgulu kolon ve UV reaktörün birlikte kullanıldığı dezenfeksiyon çalışmalarında sistemlerin tek başlarına olan etkilerinden daha güçlü dezenfektan etki sağladıkları görölmüştür.

8.SONUÇLAR

Antibakteriyel dolgulu kolonda, UV kolonda ve her ikisinin birlikte kullanıldığı birleşik sistemde su dezenfeksiyonu başarılı şekilde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık arttıkça bakteri gideriminin arttığı literatürde de belirtilen bir durumdur ve bu durum deneysel çalışmalarla desteklenmiş, antibakteriyel dolgulu kolonda sıcaklık arttıkça mikroorganizmaların hayatta kalma oranlarının azalışıyla daha iyi bir dezenfeksiyon sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca birleşik sistem kullanıldığında tek başına antibakteriyel dolgulu kolondan ve tek başına UV kolondan daha çok bakteri giderimi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Çınar,Ö., *Çevre Kirliliği ve Kontrolü*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [2] Akman Y., Ketenoğlu O., Evren H., Kurt L., Düzenli S., *Çevre Kirliliği(Çevre Biyolojisi)*, Palme Yayıncılık, Ankara, 2000.
- [3] Elevli, B., *Madencilik, Çevre ve ÇED Raporu*, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No: 78, Sivas, 1999.
- [4] Alkan, U., *Çevre Mikrobiyolojisi Ders Notları* (yayınlanmamış), Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2005.
- [5] Uslu, O., Türkman, A., *Su Kirliliği ve Kontrolü*, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi-I, Ankara, 1987.
- [6] Öner, M., *Genel Mikrobiyoloji*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, İzmir, 2001.
- [7] Bilgehan, H., *Klinik Mikrobiyoloji*, Barış Yayınları, İzmir, 1993
- [8] Üçışık, H. A., “*Klinik Gelişim*” , İstanbul Tabip Odası, 1994.
- [9] Şengül, F.ve Küçükgül, E.Y., *Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 153, İzmir, 2002.
- [10] Erdemgil, M.N., *Su Getirme*, Bilim Yayınları, Ankara, 1995.
- [11] Muslu, Y., *Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- [12] Doğan, A., Pekşen, C., “Metal İyon Katkılı Antimikrobiyal Malzemelerin Hastane Enfeksiyonlarını Önlemede Katkıları ve Uygulamaları,” *4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, Samsun, 59-68, 2005.
- [13] Samsunlu, A., *Çevre Mühendisliği Kimyası*, SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayını, İstanbul, 1999.
- [14] Şengül, F. ve Müezzinoğlu, A., *Çevre Kimyası*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir, 1993.
- [15] Gül, Ş., *Atık Suların Dezenfeksiyonu*, Atıksu Arıtma Sistemleri, Uygulamaları ve İşletilmeleri Bildiriler Kitabı, (Ed: Karışlı, H.) Makine Mühendisleri Odası, Adana, 1994

- [16] Aydın, K., *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Seminer Bildirisi*
- [17] Dehghani, H.D., *Effectiveness of Ultrasound on the Destruction of E.Coli*, American Journal of Environmental Sciences, **1** (3): 187-189, 2005.
- [18] Mason, T.J., Joyce, E., Phull, J.P., Lorimer, J.P., *Potential Uses of Ultrasound in the Biological Decontamination of Water*, Ultrasonics Sonochemistry, **10**, 139-232, 2003.
- [19] Joyce, E., Lorimer, J.P., Mason, T.J., Phull, J.P., *The development and Evaluation of Ultrasound for the Treatment Bacterial Suspensions. A study of Frequency, Power and Sonication Time on Cultured Bacillus Species*, Ultrasonics Sonochemistry, **10**, 315-318, 2003.
- [20] Tüzel, O., *Elektrokimyasal Su Dezenfeksiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2002.
- [21] Temiz, A., *Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri*, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, 1996.