



**BAKIR İYONİZASYONU İLE DEZENFEKSİYON
VERİMLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Melis Ece ÖZYİĞİT



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAKIR İYONİZASYONU İLE DEZENFEKSİYON VERİMLİLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

Melis Ece ÖZYİĞİT

ORCID NO: 0000-0001-9134-1377

Doç. Dr. Arzu TEKSOY

ORCID NO: 0000-0002-0467-7188

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Melis Ece ÖZYİĞİT tarafından hazırlanan “BAKIR İYONİZASYONU İLE DEZENFEKSİYON VERİMLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Arzu TEKSOY
ORCID NO: 0000-0002-0467-7188

Başkan : Doç. Dr. Arzu TEKSOY
ORCID NO: 0000-0002-0467-7188
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sevil ÇALIŞKAN ELEREN
ORCID NO: 0000-0002-8489-9214
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Aşkın BİRGÜL
ORCID NO: 0000-0002-7718-0340
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylım

Prof. Dr. Hüseyin Akşel EREN
Enstitü Müdürü

.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26.09.2019


Melis Ece ÖZYİĞİT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAKIR İYONİZASYONU İLE DEZENFEKSİYON VERİMLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Melis Ece ÖZYİĞİT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Arzu TEKSOY

Bu çalışmada iyonizasyon ile elde edilen bakır iyonlarının dezenfeksiyon verimliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında (0,5, 1,5, 3,3 mg/L) gerçekleşen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* inaktivasyonları kültürel yöntemin yanı sıra lüminometrik yöntem olan ATP ölçümü ile belirlenmiştir. Ayrıca suyun pH, bikarbonat ve Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliği gibi özelliklerinin dezenfeksiyon verimliliğine olan etkisi belirlenmiştir. Deneyler; farklı pH (6, 7 ve 8,5), bikarbonat (0, 50 ve 150 mg/L) ile Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliğine sahip (0, 50 ve 150 mg/L) sulara, seçilen konsantrasyonlarda bakır iyonu uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışma sonunda bakır iyonizasyonunun, test bakterilerinin inaktivasyonunda etkili olduğu görülmüştür. İnaktivasyon katsayıları karşılaştırıldığında, her üç bakteri için bakır iyonu konsantrasyonunun artışına bağlı olarak inaktivasyon katsayılarının arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar tüm bakır iyonu konsantrasyonlarında *Escherichia coli*'nin inaktivasyon katsayılarının, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'e göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum *Escherichia coli*'nin bakır iyonları ile *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'ten daha fazla giderildiğini ve dezenfeksiyona karşı daha hassas olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma sonunda suyun pH değerinin bakır iyonları ile dezenfeksiyonda etkili olduğu, asidik pH'ta daha fazla *Escherichia coli* inaktivasyonu meydana geldiği görülmüştür.

Suda bulunan bikarbonat iyonu varlığı ile sudaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliğinin *Escherichia coli* inaktivasyonunda önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Başlangıçta ölçülen bakteriyel ATP değerlerinin dezenfeksiyon sonunda kullanılan bakır dozlarına ve temas süresine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. ATP miktarında meydana gelen bu azalma bakteri sayısında meydana gelen azalma ile paralellik göstermektedir.

Sonuç olarak bakır iyonların suların dezenfeksiyonunda tek başına etkili olabildiği ve ATP ölçümünün su kalitesinin kısa bir sürede belirlenebilmesi için umut verici bir yöntem olabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bakır iyonizasyonu, Dezenfeksiyon, İnaktivasyon, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus epidermidis*

2019, viii + 128 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF DISINFECTION EFFICIENCY BY COPPER IONIZATION

Melis Ece OZYIGIT

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Arzu TEKSOY

In this study, it is aimed to determine the disinfection efficiency of copper ions obtained by ionization. *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis* inactivations at different copper ion concentrations (0,5, 1,5, 3,3 mg/L) were determined by ATP measurement, which is a luminometric method as well as cultural method. In addition, the effect of water properties such as pH, bicarbonate and Ca^{+2} and Mg^{+2} hardnesson disinfection efficiency were determined. The experiments were carried out at different pH values (6, 7 and 8,5), bicarbonate values (0, 50 and 150 mg/L), Ca^{+2} and Mg^{+2} hardness values (0, 50 and 150 mg/L), selected copper ion concentrations.

Copper ionization was found to be effective in inactivation of test bacteria. When the inactivation coefficients has been compared, it has been seen that the inactivation coefficients increase due to the increase of copper ion concentration for all bacteria. The results showed that the inactivation coefficients of *Escherichia coli* were higher in all three copper ion concentrations than *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis*. This suggests that *Escherichia coli* is removed more than *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis* and more sensitive to disinfection.

In experiments conducted to determine the effect of water pH on disinfection with copper ions, it was found that acidic pH is a parameter that increases the disinfection efficiency of *Escherichia coli* inactivation.

It was determined that the presence of bicarbonate ion, Ca^{+2} and Mg^{+2} hardness had no significant effect on *Escherichia coli* inactivation.

It was determined that the bacterial ATP values measured at the beginning of disinfection decreased according to the copper doses and contact time at the end of disinfection. This decrease in the amount of ATP is parallel to the decrease in the number of bacteria.

As a result, it was concluded that copper ions were effective on water disinfection, and ATP measurement could be a promising method for determination of microbial quality of water in a short time.

Key words: Copper ionization, Disinfection, Inactivation, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus epidermidis*.

2019, viii + 128 pages.

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans eğitimim ve bu tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, her koşulda desteğini gördüğüm, tez çalışmam süresince karşılaştığım problemlerin çözümünde bilgi ve emeğini esirgemeyen tez danışmanım ve hocam, Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Arzu TEKSOY'a teşekkürü borç bilirim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca, bilgilerinden faydalandığım ve desteklerini gördüğüm Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm değerli hocalarıma,

Laboratuvar çalışmalarımda yardımcı olan bölümümüz lisans öğrencileri; Elif ALACA, Tuğçe YANAR, Emine OKUR, Gökçenur KUTSAL, Batuhan ASLAN'a,

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli aileme, her zaman yanımda olan sevgili eşime ve hayatımı anlamlandıran canım oğluma çok teşekkür ederim.

Melis Ece ÖZYİĞİT

26.09/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Dezenfeksiyon.....	4
2.1.1. Dezenfeksiyonun Tanımı.....	4
2.1.2. Suların Dezenfeksiyonu.....	4
2.1.3. Dezenfektan Seçimi.....	7
2.1.4. Dezenfeksiyon Yöntemleri.....	7
2.1.5. Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler.....	12
2.2. ATP Ölçümü ile Mikrobiyal Aktivitenin Belirlenmesi.....	19
2.2.1. ATP'nin Yapısı ve Özellikleri.....	19
2.2.2. ATP'nin Kullanılması.....	19
2.3. Elektrolitik Metal İyonizasyonunun Dezenfeksiyon Amacıyla Kullanılması.....	20
2.3.1. Elektrolitik Metal İyonizasyonu Kullanımının Tarihsel Gelişimi.....	22
2.3.2. Elektrolitik Metal İyonizasyon Sisteminin Dezenfeksiyon Mekanizması.....	23
2.3.3. Bakır İyonizasyon Sistemi ile Dezenfeksiyonun Etkili Olduğu Mikroorganizmalar.....	24
2.3.4. Elektrolitik Metal İyonizasyonu ile Dezenfeksiyonun Farklı Alanlardaki Uygulamaları.....	24
2.4. Kullanılan Bakteriler ve Mikrobiyolojik Önemleri.....	27
2.4.1. <i>Escherichia coli</i>	27
2.4.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	28
2.4.3. <i>Staphylococcus epidermidis</i>	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	30
3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	31
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1. Mikroorganizma Süspansiyonlarının Hazırlanışı.....	32
3.2.2. Cam Malzemelerin Sterilizasyonu.....	35
3.2.3. Seyreltme Sıvısının Hazırlanması.....	35
3.2.4. Fosfat Tamponu Hazırlanması.....	36
3.2.5. Besiyerlerinin Hazırlanması.....	36
3.2.6. Su Kalitesi Parametrelerinin Dezenfeksiyon Verimliliğine Etkisinin Belirlenmesi.....	37
3.2.7. Bakır İyonizasyonu ile Dezenfeksiyon.....	39
3.2.8. Bakır İyonlarının Belirlenmesi.....	41
3.2.9. Bakteri Sayılarının Belirlenmesi.....	42
3.2.10. İnaktivasyon Katsayısının (k) Hesaplanması.....	43

3.2.11. Lüminometrik ATP Ölçümü	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona pH'ın Etkisi	49
4.2. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona Bikarbonat Konsantrasyonunun Etkisi	54
4.3. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona Sertliğin Etkisi	57
4.4. Bakır İyonizasyonunun Bakteriler Üzerindeki Etkisi	63
4.5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyonun Mikrobiyal ATP'ye Etkisi.....	86
5. SONUÇ.....	99
KAYNAKLAR	102
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	128



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektrolitik metal iyonizasyon sistemi.....	21
Şekil 3.1. <i>Escherichia coli</i> kültürü çoğalma eğrisi.....	34
Şekil 3.2. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> çoğalma eğrisi.....	34
Şekil 3.3. <i>Staphylococcus epidermidis</i> çoğalma eğrisi.....	35
Şekil 3.4. Bakır iyonları ile dezenfeksiyon deneyi.....	41
Şekil 3.5. Mikroplazma atomik emisyon spektrometresi MP-AES 4100 Agilent cihazı.....	42
Şekil 3.6. Sıklıkla karşılaşılan inaktivasyon eğrileri.....	44
Şekil 3.7. ATP'nin belirlenmesi için Luc tayini, 1) hücrelerden ATP'nin ekstraksiyonu, 2) luciferase / luciferase ile reaksiyon ve 3) biyoluminesans ölçümü.....	46
Şekil 3.8. ATP ölçümü.....	47
Şekil 3.9. ATP standard serisinin relatif luminesans değerleri.....	48
Şekil 4.1. Farklı pH'a sahip suların bakır iyonları ile dezenfeksiyonu sonrasında bakteri sayısının değişimi.....	50
Şekil 4.2. Farklı pH'a sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderimleri.....	51
Şekil 4.3. Farklı pH'a sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderim yüzdeleri.....	53
Şekil 4.4. <i>Escherichia coli</i> bakterisinin giderimine bikarbonatın etkisi.....	54
Şekil 4.5. Farklı bikarbonat iyonuna sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderimleri.....	55
Şekil 4.6. Farklı bikarbonat iyonuna sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderim yüzdeleri.....	56
Şekil 4.7. Bakır iyonları ile dezenfeksiyona Ca^{+2} iyonunun etkisi.....	57
Şekil 4.8. Farklı Ca^{+2} sertliğine sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderimleri.....	58
Şekil 4.9. Farklı Ca^{+2} sertliğine sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderim yüzdeleri.....	59
Şekil 4.10. Bakır iyonları ile dezenfeksiyona Mg^{+2} sertliğinin etkisi.....	60
Şekil 4.11. Farklı Mg^{+2} sertliğine sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderimleri.....	61
Şekil 4.12. Farklı Mg^{+2} sertliğine sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> giderim yüzdeleri.....	62
Şekil 4.13. 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi.....	64
Şekil 4.14. 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri.....	65
Şekil 4.15. 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ve <i>Staphylococcus epidermidis</i> giderim yüzdeleri.....	67
Şekil 4.16. 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi.....	69

Şekil 4.17. 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri.....	70
Şekil 4.18. 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ve <i>Staphylococcus epidermidis</i> giderim yüzdeleri.....	71
Şekil 4.19. 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi.....	72
Şekil 4.20. 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri.....	73
Şekil 4.21. 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ve <i>Staphylococcus epidermidis</i> giderim yüzdeleri.....	74
Şekil 4.22. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri.....	75
Şekil 4.23. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve farklı temas sürelerinde elde edilen <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ve <i>Staphylococcus epidermidis</i> giderim yüzdeleri.....	76
Şekil 4.24. <i>Escherichia coli</i> için hesaplanan inaktivasyon katsayıları.....	81
Şekil 4.25. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> için hesaplanan inaktivasyon katsayıları.....	83
Şekil 4.26. <i>Staphylococcus epidermidis</i> için hesaplanan inaktivasyon katsayıları.....	85
Şekil 4.27. Farklı türde bakteri içeren suların bakır iyonları dezenfeksiyonu sonrasında bulunan inaktivasyon katsayılarının karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.28. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonrasında ATP konsantrasyonlarının değişimi.....	88
Şekil 4.29. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonunda <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ve <i>Staphylococcus epidermidis</i> 'in temas süresine bağlı ATP konsantrasyonlarındaki değişim.....	90
Şekil 4.30. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde <i>Escherichia coli</i> 'nin ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri.....	92
Şekil 4.31. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 'nın ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri.....	93
Şekil 4.32. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde <i>Staphylococcus epidermidis</i> 'in ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri.....	94
Şekil 4.33. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında <i>Escherichia coli</i> 'nin logaritmik bakteri sayısı ve ATP konsantrasyonundaki azalma.....	96
Şekil 4.34. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında <i>Pseudomonas aeruginosa</i> 'nın logaritmik bakteri giderimi ve ATP konsantrasyonundaki azalma.....	97
Şekil 4.35. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında <i>Staphylococcus epidermidis</i> 'in logaritmik bakteri giderimi ve ATP konsantrasyonundaki azalma.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Dezenfeksiyon işlemlerinde uygulanan yöntemler.....	8
Çizelge 2.2. Sık kullanılan dezenfeksiyon metotlarının karşılaştırılması.....	11
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan içme suyuna ait özellikler.....	30
Çizelge 3.2. Ölçülen Bakır Konsantrasyonları.....	40
Çizelge 3.3. ATP standard serisinin ölçülen relatif luminesans değerleri.....	47



1. GİRİŞ

İnsanlar ve diğer canlılar için vazgeçilmez bir ihtiyaç olan su, insan sağlığını ilgilendiren en önemli fiziksel etmendir. İçme ve kullanma sularının kimyasal ve mikrobiyolojik standartlara uygun olması, halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla kullanılacak olan sular; zararlı kimyasalları ve organik maddeleri içermemeli, hastalık yapıcı mikroorganizmaları bulundurmamalıdır. Suyun içerisinde bulunan mikroorganizmalar sağlık açısından büyük risk oluşturmaktadır. Patojen mikroorganizmaları içeren sular, yetişkinlerde ve çocuklarda bazı hastalıklar meydana getirmektedir. Arıtma işlemleri uygulanmış sulara dezenfeksiyon proseslerinin uygulanmasıyla patojen mikroorganizmalar etkin bir şekilde inaktive edilebilmektedir.

Geçmiş yıllarda gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan su kaynaklı salgın hastalıkların kontrolü için filtrasyon ve klor ile dezenfeksiyon kullanılmıştır. Ancak yapılan çalışmalar sonunda sudan kaynaklanan salgın hastalıkların yüksek oranlarda varlığını sürdürdüğü görülmüştür. Gelişmekte olan ülkelerde ise suyla geçen hastalıklar ölüm nedeni olmaya devam etmektedir. 2017’de WHO tarafından yayınlanan raporda, dünya nüfusunun yaklaşık %29’unun güvenli su kaynaklarına ulaşmada sıkıntı çektiği ortaya konulmuştur. Bu nedenle suların dezenfeksiyonu ve mikrobiyal kontrolü büyük önem arz etmektedir. Su ve atıksuların dezenfeksiyonu, su ile bulaşan hastalıkların önlenmesi ve halk sağlığının korunması açısından en etkili yöntemdir (Anonim 2017c).

Suların dezenfeksiyonu için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Dezenfeksiyon amacıyla kullanılan klasik yöntemler; mekanik dezenfeksiyon, kimyasal dezenfeksiyon ve UV radyasyonuna dayalı dezenfeksiyon olarak sınıflandırılmaktadır (Eroğlu 1995).

İdeal bir dezenfektan, suda organik yan ürünler oluşturmamalı, bakteri ve virüslerde yüksek dezenfeksiyon verimi sağlayabilmeli, protozoların gideriminde de etkili olabilmeli ve kontaminasyonlara karşı koruma sağlayabilecek kalıntı bırakabilmelidir. Hiçbir

dezenfeksiyon yöntemi tek başına bu özelliklerin tümünü yerine getirememektedir. Daha düşük maliyetli, suda daha uzun süre dezenfektan etkisi gösterebilen ve gerek halk sağlığı gerekse çevre üzerinde olumsuz etkileri minimum düzeyde olan dezenfektanların kullanımına yönelik çalışmalar yıllardır devam etmektedir. Dezenfeksiyon yöntemleri arasında sinerjistik etki oluşturulması ile söz konusu ideal dezenfeksiyon yöntemine ulaşılması mümkün olabilmektedir (Cairns 1993, Meriç 1996, USEPA 1999).

Halihazırda kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri, patojen mikroorganizma kontrolünde etkili olmasına rağmen son yıllarda yapılan araştırmalara göre dezenfeksiyon sırasında oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri (DBPs) olumsuzluklar meydana getirmektedir. Su, atıksu ve yüzme havuzlarının dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılan serbest klor gibi kimyasal dezenfektanlar, suyun doğal yapısında bulunan organik bileşikler ile reaksiyona girerek birçoğu kanserojenik özelliğe sahip dezenfeksiyon yan ürünlerini oluşturmaktadır. Ayrıca dezenfektanlara karşı yüksek direnç gösteren *Cryptosporidium* ve *Giardia* gibi patojen mikroorganizmalar, inaktivasyonları için oldukça yüksek dezenfektan dozu gerektirdiğinden daha fazla DBP oluşumuna yol açmaktadırlar. (Singer 1999, Pignata ve ark. 2012). Öte yandan tüm formları korozif ve toksik özellikte olan klorun depolanması, taşınması ve teması potansiyel risk oluşturduğundan uygulama esnasında da özel güvenlik önlemleri gerektirmektedir (USEPA 1984). Ancak ozon ve UV dezenfeksiyonu, dezenfeksiyon yan ürünü oluşturmamaları açısından cazip görünmekle birlikte dezenfektan sürekliliğini sağlamamaları ve ikincil bir dezenfektana gerek duymaları nedeniyle dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle yenilikçi yaklaşımlar dikkate alınarak uzun süreli dezenfektan etkisi sağlayan, sudaki patojen miktarını önemli ölçüde azaltan dezenfeksiyon yöntemleri geliştirilmektedir (Galvez ve ark. 2007, Alvarez 2008, Backhaus ve ark. 2010).

Altın, bakır, gümüş gibi bazı metaller antimikrobiyal özelliklerinden dolayı yüzyıllardır çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Pozitif yüklü ağır metal iyonları; mikroorganizmaların negatif yüklü hücre duvarına bağlanarak hücre zarı tahribatına, sülfidril iyonlarının tüketilmesine sebep olarak hücre yapısı içinde oksidatif stres ortamının oluşumuna, hücrenin hayati fonksiyonlarının bozulmasına, ağır metallerin indirgenerek hücrenin DNA ve

proteinlerinin hasarına neden olmaktadır (Thurman ve ark. 1989, Varkey ve ark. 2013). Metallerin bu özellikleri dikkate alınarak günümüzde elektrolitik olarak üretilen bakır ve gümüş iyonları, sudaki bakteri, virüs ve mikroorganizmaları inaktive etmek için kullanılmaktadır. Gümüş ve bakır içeren elektrotlar tek başına kullanılabildikleri gibi birlikte kullanılarak inaktivasyon etkisi arttırılabilmektedir (Landeem ve ark. 1989, Yahya ve ark. 1990, Lin ve ark. 1996, Orta de la Velásquez ve ark. 2008, Shih ve ark. 2010, Walraven ve ark. 2016). Patlayıcı, parlayıcı olmaması, stok süresine ve depolamaya ihtiyaç duymaması nedeniyle elektrolitik iyonizasyon sistemi soğutma kuleleri, hastane ve okulların sıcak su sistemleri, yüzme havuzları gibi farklı alanlarda tercih sebebi olabilmektedir (Anonim 2014b).

Dezenfeksiyon proseslerinin verimliliğinin belirlenmesinde mikroorganizma sayılarındaki değişimlerin tespit edilmesi için yaygın olarak kültürel büyümeye dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten son yıllarda bakteriyel büyümenin belirlenmesinde gerekli olan sürenin kısaltılması amacıyla turbidite ölçümü, akım sitometrisi ile hücre sayısı belirlenmesi ve biyoluminesans ölçümü gibi yöntemler de kullanılmaktadır (Khlyntseva ve ark. 2009). Adenozin tri fosfat (ATP) ölçümü bu amaçla kullanılan hızlı yöntemlerden biri olması nedeniyle son zamanlarda suyun mikrobiyal kalitesinin değerlendirilmesinde dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada elektrolitik iyonizasyon ile elde edilen bakır iyonlarının dezenfeksiyon verimliliği incelenmiştir. Bu amaçla farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında gerçekleşen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* inaktivasyonları kültürel yöntem ile belirlenmiştir. Bunun yanı sıra lüminometrik yöntem olan ATP ölçümü ile mikrobiyal aktivite belirlenmiş ve dezenfeksiyon verimliliğinde ATP ölçümünün etkinliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Su kalitesinin bakır iyonları ile dezenfeksiyon verimliliğindeki önemini belirlemek amacıyla pH, bikarbonat ve sertlik parametrelerinin dezenfeksiyon verimliliğine olan etkileri incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Dezenfeksiyon

2.1.1. Dezenfeksiyonun Tanımı

Dezenfeksiyon, hastalık yapan ya da besinlere ve diğer maddelere zarar vererek bozulmalarına neden olan mikroorganizmaların kimyasal-fiziksel yöntemler veya okside edici karakteristiğe sahip kimyasal maddeler kullanılarak yok edilmesi ya da üremelerinin sınırlandırılmasıdır (Aydın 2009). Suyun içerdđi tüm canlı organizmaların yok edilmesi işlemine ise suyun sterilizasyonu denir. Sterilizasyon dezenfeksiyonun bir ileri kademesidir. Dezenfeksiyonun sterilizasyondan farkı, dezenfeksiyonda yalnızca hastalık yapıcı ve zarar verici mikroorganizma ve canlıların hedef alınmasıdır. Sterilizasyonda ise ortamda bulunan tüm mikroorganizmaların yok edilmesi esastır (Metcalf 2004).

2.1.2. Suların Dezenfeksiyonu

Sular; içme ve yemek pişirme, kişisel temizlik (çamaşır, banyo, temizlik vd), konut temizliği, ısınma ve soğutma, tarımda sulama, cadde ve sokakların temizliği, eğlence ve sportif amaçlar (yüzme havuzları, banyo vd), park, bahçe havuzları ve fiskiyeler, hidroelektrik santralleri, ticari ve endüstriyel amaçlar (kağıt, kok kömürü, demir vd üretimi), acil ihtiyaçlar (yangın söndürme), atıkların yerleşim yerlerinden taşınması (kanalizasyon sistemleri) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Anonim 2014a).

Dünyadaki toplam su rezervi yaklaşık 1.500.000.000 km³ olup bu suyun ancak % 0,2'si içme ve kullanma suyu olarak kullanılacak niteliktedir (Köksal 2017). İçme ve kullanma suları nitelik olarak birbirlerinden farklı olmamalıdır. Toplumda genel olarak içme ve kullanma sularının birbirinden farklı olabileceği şeklinde bir kanı mevcut olsa da temizlik, bulaşık ve çamaşır için kullanılan suyun da halk sağlığını tehdit edecek özellikte olmaması gerekmektedir (Akar 2000). Çünkü temiz içme ve kullanma suyunun temin edilmesi insan sağlığı açısından

en önemli faktörlerden biridir. Ancak, dünyada 2 milyardan fazla insan güvenli içme ve kullanma suyu kaynağına sahip değildir. Dünya genelinde her yıl 15 ile 20 milyon bebek su kaynaklı hastalıklar (tifo, dizanteri, kolera v.b.) nedeni ile hayatını kaybetmektedir. İçme sularındaki hastalıkların kaynağı; bakteriler, virüsler ve protozalardır (Hunter 2003, Percival 2004). Az gelişmiş ülkelerdeki kirlenmiş su kaynakları ve yetersiz sağlık koruma sistemi, hastalık sebeplerinin %80'ini oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, kentsel su arıtma sistemlerinde uygulanan teknolojik yöntemler daha sağlıklı suların elde edilmesine ve su kaynaklı hastalıkların azalmasına neden olmuştur (Siddiqui ve Murphy 1997). Gelişmekte olan ülkelerde ise sıkıntılar devam etmektedir.

Suların tüketiciye sunulması sırasında, suya uygun özelliklerin kazandırılabilmesi için suyun birçok temel işlemde geçirilmesi gerekmektedir. İçme ve kullanma suları sağlık açısından herhangi bir patojenik mikroorganizma içermemelidir. Bu nedenle ızgara, havalandırma, koagülasyon, çöktürme, filtrasyon, dezenfeksiyon gibi temel işlemler uygulandıktan sonra kullanıma hazır hale gelmektedir. Bu işlemler arasında mikroorganizma gideriminde en etkili proses dezenfeksiyon prosesidir (Molt 1978, Eroğlu 1995, Anonim 2014a).

Toplumun temel içme ve kullanma suyu kaynağı musluk suyudur bu suyun sağlıklı ve güvenli olması gerekmektedir. Bu nedenle suların kalitesinin değerlendirilmesinde bulanıklık, renk, sıcaklık gibi fiziksel özellikleri; sertlik, alkalinite, pH, nitrat, metaller gibi kimyasal özellikleri ve bakteri, virüs gibi mikrobiyolojik özellikleri incelenmektedir (Aydın 2009). Bu kapsamda özellikle içme amaçlı kullanılacak suların aşağıdaki niteliklere sahip olması gerekmektedir (Eroğlu 1995).

- Su kokusuz, renksiz, berrak, tortusuz ve içimi lezzetli olmalıdır.
- Sular hastalık yapan mikroorganizmaları ihtiva etmemelidir (Eroğlu 1995). Suda bulunan *Vibrio cholera*, *Salmonella typhi*, hepatit virüsü gibi mikroorganizmalar sudan bulaşarak hastalığa sebep olurlar. Suların bakteriyolojik kirlilik içermemesi gerekmektedir (İlgar 2017).

- Su kullanım amaçlarına uygun olmalıdır. İçme suyu ve sanayide, kullanma sularında demir, manganez ve sertlik değerleri önemlilik arzeder (İlgar 2017).
- Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tat veren maddeler bulunmamalıdır (Eroğlu 1995).
- Sular agresif olmamalıdır. Suların agresifliği, serbest karbondioksit (CO₂) ile bikarbonat (HCO₃⁻) iyonunun dengede olmasından ileri gelir. Suların agresifliği boruların korozyonuna sebebiyet verir. Ayrıca boruların aşınması halinde borudan ayrılan elementler su kalitesinin bozulmasına sebep olur. (İlgar 2017).
- Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır (Eroğlu, 1995). Bazı kimyasal maddeler zehirli etki yapabilir. Arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, civa gibi. Bunun yanında baryum, nitrat, florür, radyo aktif maddeler, amonyum, klorür gibi maddeler sınır değerlerinin üzerinde sağlığa olumsuz etkileri olan maddelerdir. Aynı zamanda bazıları suya kirli suların karıştığıının göstergesidir (İlgar 2017).

Hastalık yapıcı mikroorganizmaların inaktivasyonu için içme ve kullanma suyunda kullanılan dezenfektanın etkisi, suyun tüketiciye ulaşımına kadar sürmelidir. Hastalık yapıcı mikroorganizmalar; henüz işlem görmemiş su kaynağında bulunabileceği gibi suyun iletimi ve depolanması sırasında da suya karışabilmektedir. (Topbaş 2015).

Uygulanan dezenfeksiyon yöntemleri ile suyun mikrobiyal kalitesi standartlara uygun bir hale getirilmektedir. Ancak içme-kullanma suları ile yüzme havuzu gibi sportif faaliyetlerde kullanılan sularda, biyolojik stabilitenin sürekliliğinin sağlanması ve sonradan çoğalmanın önlenmesi büyük önem taşımaktadır. Arıtılmış sudaki biyobozunabilir organik bileşikler sonradan mikrobiyal çoğalmaya neden olmaktadır. Biyolojik stabilitenin (suda mikrobiyolojik çoğalmayı destekleyecek herhangi bir faktörün bulunmaması) sağlanması için mikrobiyal büyümeyi destekleyici nütrientler suyun arıtılması sırasında dezenfeksiyondan önce giderilmeli ve arıtılmış suda dezenfektan kalıntısının sürekliliği sağlanmalıdır (USEPA 2001). Yapılan araştırmalar, dezenfeksiyon sonucunda oluşan trihalometanlar gibi yan ürünlerin insan sağlığı açısından risk taşıyabileceğini göstermiştir

(Richardson ve ark. 1999, Sujbert ve ark. 2006, Hua ve Reckhow 2007, Richardson ve ark. 2007). Bu nedenle farklı dezenfeksiyon yöntemleri üzerinde araştırmalar devam etmiştir.

2.1.3. Dezenfektan Seçimi

Dezenfektanlar özellikleri gereği genellikle toksik maddeler olup mikroorganizmaları inaktive etmek ya da yok etmek üzere kullanılır. Herhangi bir dezenfektanı kullanmak üzere seçmeden önce dezenfektanın hangi mikroorganizma cinsi üzerinde etkin olduğu konusunda bilgiye ihtiyaç duyulur. Bu mikroorganizma cinsleri; virüsler, bakteriler, bakteri sporları ve mantarlar olmak üzere kategorize edilmeli ve dezenfektan maddenin bunlara karşı bakterisid veya bakteriyostatik aktivitelerinin bilinmesi gerekmektedir (Öztürk 2005).

2.1.4. Dezenfeksiyon Yöntemleri

Dezenfeksiyon işlemlerini kimyasal madde ilavesiyle, mekanik, fiziksel yöntemler ve radyasyonla muamele işlemleriyle gerçekleştirmek mümkündür. Dezenfektan olarak klor ve klor bileşikleri, brom ve iyot bileşikleri, ozon, fenol ve fenolik bileşikler, alkoller, ağır metaller, çeşitli boyalar, sabunlar ve sentetik deterjanlar, amonyum bileşikleri, hidrojen peroksit, çeşitli alkaliler ve asitler kullanılabilir (Çizelge 2.1). Dezenfeksiyon prosesinde kullanılan fiziksel yöntemler ise, ısı ve ışık (ultraviyole) ile muamele yöntemleridir (Kestioğlu 2001).

Çizelge 2.1. Dezenfeksiyon işlemlerinde uygulanan yöntemler (Kestioğlu 2001)

DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİ	
Fiziksel Yöntemler	Kimyasal Yöntemler
1. Isı ile Dezenfeksiyon	1. Alkali ve Asitlerle Dezenfeksiyon
2. Ultraviyole Işığı ile Dezenfeksiyon	2. Yüzey Aktif Maddelerle Dezenfeksiyon
	3. Metal İyonları ile Dezenfeksiyon
	4. Halojenler ile Dezenfeksiyon
	5. Ozon ile Dezenfeksiyon
	6. Potasyum Permanganat ile Dezenfeksiyon

Isı ile dezenfeksiyon işlemi daha çok, küçük hacimli içme sularının dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır (Kestioğlu 2001).

Potasyum permanganat dezenfektan olarak çok küçük ölçeklerde ve evsel amaçlarla zararlı organizmaların kontrolünde kullanılmaktadır (Tünay 1996). Uzun süreli temas süreleri gerektirmesinden dolayı belirli virüslere karşı etkili olabilmesine rağmen iyi bir dezenfektan değildir. Demiri, manganı ve koku ve tat problemine sebep olan bileşikler okside eder. Potasyum permanganat, THM ve diğer dezenfeksiyon yan ürünlerinin kontrolünde kullanılabilen ve yapılan araştırmalarda herhangi bir dezenfeksiyon yan ürünü oluşturmadığı belirlenen bir kimyasaldır. Potasyum permanganat toksiktir ve yutulduğunda ciddi sağlık problemlerinin oluşmasına neden olur (USEPA 1999).

Gümüş, civa, kobalt, bakır ve nikel iyonları kuvvetli dezenfektanlardır. Bunlardan bakır, bakır sülfat olarak arıtma tesislerinde alg gelişimini önlemek için yaygın olarak kullanılır. Civa, insan ve diğer canlılara zehirli etkisi nedeniyle kullanılmaz. Diğer metaller ancak özel ve küçük çaplı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak gümüş ve bakırın elektrolitik olarak dezenfeksiyon amacıyla uygulanması soğutma kuleleri, yüzme havuzu v.b. sistemlerde giderek artmaktadır (Ateşli 2006, Triantafyllidou ve ark. 2016, Walraven ve ark. 2016).

Katyonik deterjanlar sağlık kuruluşlarında dezenfektan olarak kullanılırlar (Ateşli 2006).

İyot, brom ve klor; sularda dezenfeksiyon amacıyla kullanılabilen halojenlerdir. Amonyak içeren sularda oluşan monobrom aminin kuvvetli bir bakteri öldürücü olması ve tribromamin oluşumu olması nedeniyle, klora nazaran daha zayıf bir dezenfektan olan brom, küçük çaplı uygulamalarda yüzme havuzlarında kullanılmaktadır. İyot organik maddelerle klor kadar kolay reaksiyon vermemesi ve yüksek dezenfeksiyon gücü nedeniyle, avantajlı bir dezenfektandır. İyot amonyakla iyotaminler oluşurmaz ancak amonyağı oksitler. Dezenfeksiyon sonrası artık iyotun kararlı olması ve tad ve koku oluşurmaması da bir avantajdır. Su arıtımında etkilerinin iyi bilinmemesi nedeniyle kullanılmamaktadır. Yüzme havuzları gibi küçük çaplı dezenfeksiyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Tünay 1996).

Tüm yer altı ve yerüstü suları arıtma tesislerinde dezenfektan olarak en yaygın dezenfektan olan klor tercih edilmektedir. Klorla dezenfeksiyonda klorun  formu olan klor gazı, sodyum hipoklorit veya klorit kullanılmaktadır. Dezenfektan olarak klor kullanılmasının avantajları; suda bulunan patojenlerin büyük bir kısmını etkin bir şekilde inaktive etmesi, kolay ölçülüp kontrol edilebilen kalıntı bırakması ve ekonomik olmasıdır. Bununla birlikte kullanımını kısıtlayan faktörler de mevcuttur:

- Suda bulunan doğal organik ve inorganik bileşiklerle reaksiyona girerek istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerini meydana getirmesi
- Özellikle klor gazı kullanımına bağlı olarak meydana gelen tehlikeli bileşiklerin özel arıtma işlemleri gerektirmesi
- Yüksek klor dozlarının tat ve koku problemlerine yol aması (USEPA 1999).

Klorlama esnasında oluşan kloraminler önceleri tat ve koku kontrolünde içme sularının arıtımında kullanılmaktaydılar. Dağıtım şebekelerinde serbest klordan daha stabil ve bakteriyel çoğalmanın kontrolünde etkili olduklarının fark edilmesi ile birlikte daha sonraları mikroorganizma giderimi sırasında da tercih edilmeye başlanmışlardır. Son yirmi yıl içinde

klorlu organik bileşikler (örneğin THM ve HAA) konusundaki endişeler arttığı ve kloraminler de suda çok az dezenfeksiyon yan ürünü oluşturdukları için kloraminlerin kullanımı arttırmıştır (USEPA 1999).

Suların arıtımında ozon da dezenfeksiyon ve oksidasyon amacıyla kullanılan bir kimyasaldır. Daha az temas süresi ve konsantrasyonlarda bile etkili olabilmesi ile diğer zayıf dezenfektanlardan ayrılan güçlü bir oksidanttır. Fakat dezenfeksiyon sürekliliğini sağlayamamasından dolayı yalnızca primer dezenfektan olarak tercih edilmektedir (USEPA 1999). Ozonlama, bakteri ve virüslerde etkili bir dezenfektan olduğu gibi sistli yapılara sahip olan ve diğer dezenfektanlara karşı dirençli *Cryptosporidium* ve *Giardia*'larda da oldukça etkilidir (Lazarava ve ark. 1999).

Su arıtımında UV ışını radyasyonu kullanımına 1900'lerde başlanmıştır (Metcalf 1991). Kanserojenik yan ürünler oluşturmamasından ve düşük maliyetli olmasından dolayı, UV dezenfeksiyonunun kullanımı cazip hale gelmiştir. (Cairns 1994, Lethola ve ark. 2003). Ancak dağıtım sistemlerinde kalıcı bir dezenfeksiyon etkisinin olmaması ve oluşabilecek mikrobiyolojik bulaşmalara karşı sistemi korunmasız bırakması bu prosesin dezavantajlarıdır. Bu yüzden hem suda kalıcı bir dezenfeksiyon etkisi oluşturmak hem de daha etkili bir dezenfeksiyon sağlanabilmesi için UV ışını radyasyonu ile birlikte klor, klordioksit, kloramin ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi ilave kimyasallar kullanılmaktadır (USEPA 1999).

Çizelge 2.2'de en çok kullanılan dezenfeksiyon metotlarının birbiri ile karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Sık kullanılan dezenfeksiyon metotlarının karşılaştırılması (Tchobanoglous 1991)

Özellik	Olması gereken Durum	Klor	Sodyum hipoklorit	Kalsiyum hipoklorit	Klor dioksit	Brom Klorür	Ozon	UV radyasyonu
Mikroorganizmalara olan toksisite etkisi	Fazla seyreltmede bile yüksek toksisitede olmalı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Kalıcılığı	Mikroorganizmalar üzerindeki etkisi çabuk Kaybolmamalı	<u>Kalıcı</u>	Az kararsız	Oldukça kararlı	Kararsız Kullanılırken oluşturulmalı	Az kararsız	Kararsız Kullanılırken oluşturulmalı	Kullanılırken oluşturulmalı
Çözünürlüğü	Suda veya hücre dokularında çözünebilmesi	Biraz	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Biraz	Yüksek	Bilinmiyor
Homojenliği	Karışım, bileşim içine homojen dağılmalı	Homojen	Homojen	Homojen	Homojen	Homojen	Homojen	Bilinmiyor
Yabancı maddelerle etkileşimi	Bakteri hücreleri dışındaki organik maddeler tarafından absorbe edilemez.	Organik maddeleri oksitler	Aktif oksitleyicidir	Aktif oksitleyicidir	Yüksek	Organik maddeleri oksitler	Organik maddeleri oksitler	
Çevredeki sıcaklıkla etkileşimi	Çevredeki sıcaklık derecelerinde etkili Olabilmeli	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Nüfuz etmesi	Yüzey boyunca nüfuz etme kabiliyeti olmalı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Korozif etkisi	Metallerin veya boyaların biçimini bozmamalı	Fazla korozif	Korozif	Korozif	Fazla korozif	Korozif	Fazla korozif	Bilinmiyor
Kokuları yok etme kabiliyeti	Dezenfeksiyon sırasında kokuları da yok etmeli	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Yüksek	
Elde edilebilirliği	Fazla miktarlarda ve uygun fiyatlarda elde Edilebilmeli	Maliyeti düşük	Maliyeti biraz düşük	Maliyeti biraz düşük	Maliyeti biraz düşük	Maliyeti biraz düşük	Maliyeti biraz düşük	Maliyeti biraz düşük

2.1.5. Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler

Dezenfeksiyonu etkileyen faktörler üç ana başlık altında toplanmaktadır:

1. Mikroorganizmaya bağlı faktörler
2. Dezenfektana bağlı faktörler
3. Çevresel faktörler (Alıcı 2007)

1. Mikroorganizmaya bağlı faktörler:

Dezenfeksiyonu etkileyen mikroorganizmaya bağlı faktörler mikroorganizmalarda direnç ve mikroorganizmaların sayısı olarak 2 ana başlıkta incelenmektedir.

Mikroorganizmalarda Gerçek ve Mevcut Direnç:

Mikroorganizmanın cins ve türleri ile bulunduğu yaşam evresine dezenfektan maddelerin etkisi farklıdır. Sporlar bakterilerin vejetatif şekillerine göre dezenfektan maddelere karşı oldukça dirençlidir. Bakterilerin sayıları, üreme fazları ve diğer özel yapıların varlığı da dayanıklılık üzerine etkilidir. Yaşlı hücreler büyümekte olan bakteri hücrelerinden daha dayanıklıdır, büyümekte olan hücreler daha kolay ölürler. Virüs ve protozoalar her bir kimyasal dezenfektan için ayrı ayrı direnç gösterirler (Akçay 2010).

Mikroorganizmaların dezenfektan ajanlara karşı duyarlılıkları yapısal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Doğal direnç, genellikle dezenfektan maddenin hücre içine alınmasının azalmasıyla ilişkilidir. Vejetatif bakteriler ve zarflı virüsler genellikle en duyarlı mikroorganizmaların, bakteri sporları ve protozoa sistleri en dirençli grubu oluşturur. Gram-negatif bakterilerin dış membran tabakası ve mikrobakterilerin kompleks hücre duvarı hidrofobik yapıları nedeniyle fiziksel bariyer oluşturarak, dezenfektanların hücreye girişini kısıtlar. Bu nedenle, gram pozitif bakterilerle kıyaslandığında her iki bakteri grubu dezenfektanlara karşı daha dirençlidirler. Özellikle *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia*

cepacia, *Proteusspp.* ve *Provi-dencia stuartii* birçok dezenfektana en fazla dirençli olan bakterilerdir. *Pseudomonas aeruginosa*'nın dezenfektanlara ve antibiyotiklere daha dirençli olmasının nedeni temel olarak dış membranlarının daha az geçirgen olmasına bağlıdır. *Cryptosporidium parvum* ve *Mycobacterium chelonae*'nin %2'lik gluteraldehid içinde, *Pseudomonas* cinsi bakterilerin klorheksidin ve fenol türü dezenfektanlarda hayatlarını devam ettirdikleri saptanmıştır. Fungusların hücre duvarı, plazma membran yapısı, hangi üreme fazında oldukları fungal dezenfektan direncinde önemlidir. Virüslerin zarflı olup olmaması dezenfektan direncini belirleyen önemli bir faktördür. Zarf içeren virüsler lipofilik olup dezenfektanlara daha duyarlı iken, zarf içermeyenler ise hidrofilik yapıda olup daha dirençlidir. Protozoa sistleri bakteri sporlarına benzer yapılardır, çevre şartlarına ve dezenfektanlara karşı, bariyer görevi yaparak dayanıklı olmayı sağlamaktadırlar. Kazanılmış direnç kromozomal mutasyonlar veya plazmidler/transpozonlar aracılığıyla gelişir. Dezenfektan hedefinde değişiklik olması, permeabilitenin azalması ve hücre dışına atılım pompaları belli başlı mekanizmalardır (Alıcı 2007).

Mikrobiyal patojenlerin dezenfektanlara karşı direnci büyük değişim göstermektedir. Spor oluşturan bakteriler vejetatif bakterilere göre dezenfektanlara karşı daha dirençlidir. Örneğin *Legionella pneumophila* klora karşı *Escherichia coli*'den daha dirençlidir. Mikroorganizmalar aşağıdaki sıraya göre dezenfektanlara direnç göstermektedirler (Bitton 2005).

Vejetatif bakteriler < enterik virüsler < spor oluşturan bakteriler < protozoal sistler

Dezenfektan ve antiseptiklerin mikroorganizmalara etki mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Hücre zarına etki,
- Mikroorganizmaların proteinlerini denatüre ederek etki,
- Mikroorganizma enzimlerinin işlevlerini bozarak etki,
- Nükleik asitlere etki.

Hücre zarı lipoprotein yapısındadır. Hücre zarını etkileyen fenol ve bileşikleri (krezol, lizol, klorhexidin, hexaklorofen), deterjanlar (katyonik, anyonik, noniyonik deterjanlar), organik çözücüler (alkol, aseton, eter) gibi dezenfektanlar yapısal düzeni bozmak suretiyle hücre zarının yarı geçirgenliğini, aktif transport sistemlerini ve enerji metabolizmalarını inaktif hâle getirir.

Asitler, alkaliler, alkoller ve aseton gibi dezenfektanlar proteinlerin üç boyutlu yapılarını bozarak halka ve helezonik (spiral, sarmal) hale dönmesine yol açarlar. Enzimler protein yapısında olduğundan bu tür dezenfektanlar enzimleri etkileyerek mikroorganizmaları inaktive ederler.

Ağır metaller (mertiolat, gümüş nitrat), tuzlar ve iyonlar (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, borik asit, salisilik asit), oksidan maddeler (hidrojen peroksit), halojenler (klor, klorid, iyot), formaldehit, glutaraldehit gibi dezenfektanlar enzimlerin aktif gruplarıyla birleşerek enzimin görevini engeller ve işlevlerinin bozulmasını sağlarlar.

Bazı kimyasal maddeler mikroorganizmaların nükleik asitlerini etkileyerek de tesirli olmaktadır. Mikrobiyolojik boyama yöntemlerinde kullanılan boyar maddeler mikroorganizmaların nükleik asitleriyle bileşikler yaparak aktivitelerini bozmakta ve bu şekilde etkili olmaktadır. Bu boyar maddelerin çeşitli konsantrasyonlarının farklı mikroorganizmalar üzerindeki etkileri de farklı şiddette olmaktadır. O nedenle bu seçicilik özelliklerinden yararlanılarak istenmeyen bakterilerin inhibe edilmesinde kristal viyole, malaşit yeşili, metilen mavisi, akridin boyaları çeşitli besiyerlerinde kullanılmaktadırlar (Anonim 2009).

Mikroorganizmaların Sayısı:

Diğer koşulların sabit kalması şartıyla, mikroorganizmaların sayısı ne kadar fazla ise antimikrobiyal maddenin mikroorganizmaları ortadan kaldırması daha uzun zaman alır. Bakterilerin katı yüzeyle teması sonrası oluşan biyofilm tabakası içinde mikroorganizmalar

hızla kolonize olurlar. Dezenfektanların bu tabaka içinde yaşayan mikroorganizmalara ulaşmaları fiziksel olarak zorlaşırken, aynı zamanda bu tabaka içerisinde üretilen birtakım enzimler ve nötralizan kimyasal maddeler tarafından etkisiz hale getirilebilmektedirler. Bu nedenle biyofilm tabakası içindeki mikroorganizmalar da fizyolojik olarak değişime uğrayıp daha dirençli hale gelmektedirler. (Alıcı 2007)

2. Dezenfektana Bağlı Faktörler:

Dezenfektana bağlı faktörler dezenfektan tipi ve konsantrasyonu, dezenfeksiyon süresi olarak 2 ana başlıkta incelenmektedir.

Dezenfektan Tipi ve Konsantrasyonu:

Dezenfeksiyon verimi kullanılan kimyasalın tipine bağlı olarak değişmektedir. Her dezenfektan ayrı bir güce ve özelliğe sahiptir. Ozon, klordioksit gibi bazı dezenfektanlar klordan daha güçlü oksidantlardır (Bitton 2005).

Dezenfektan maddenin etkisi konsantrasyonla doğru orantılı olarak artmaktadır. Genelde dezenfektanlar yüksek konsantrasyonda, bakteriler üzerinde daha etkilidirler. Herbert Watson, yaptığı bir çalışmada inaktivasyon oranı sabitinin, dezenfektan konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu saptamıştır (Alıcı 2007).

Dezenfektan konsantrasyonunun dezenfeksiyon ile ilişkisi (Muslu 2002):

$$C^n t_p = \text{Sabit} \quad (2.1)$$

formülü ile ifade edilir. Burada;

C = Dezenfektan konsantrasyonu

n = Bir sabit

t_p = Belirli bir etki (yok etme) yüzdesi için gerekli olan süre

$n > 1$ ise, temas süresi konsantrasyondan daha etkilidir. Dezenfektanın seyreltmeyle tesirinin azalacağını gösterir.

Dezenfeksiyon Süresi:

Dezenfektanlar yardımı ile patojen inaktivasyonu zamana bağlı olarak artmakta ve birinci derece kinetik ile gerçekleşmektedir. Bu gözlem ilk defa Chick tarafından formüle edilmiş ve Chick Kanunu olarak bilinen aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir (Metcalf 2004, Bitton 2005).

$$\ln N_t/N_0 = -(k)(t)^m \quad (2.2)$$

Burada;

N_t : t anındaki mikroorganizma sayısı

t: süre

N_0 : t = 0 anındaki mikroorganizma sayısı

k: inaktivasyon sabiti

m: sabiti göstermektedir.

$m < 1$ ise ölüm hızı zaman ile azalacak, $m > 1$ ise ölüm hızı zamanla artacaktır.

Dezenfektan konsantrasyonu ile temas süresi arasındaki ilişki ise Watson kanunu ile gösterilmektedir:

$$K = C_n \cdot t \quad (2.3)$$

Burada;

K: ölüm hız katsayısı

C: dezenfektan konsantrasyonu

t: popülasyonun belirli bir yüzdesinin ölmesi için gereken süre

n: seyrelme sabitidir.

Çift logaritmik kâğıtta t-C'ye karşı grafiğe döküldüğünde, n düz çizginin eğimini göstermektedir. n değeri mikroorganizma inaktivasyonunda dezenfektan konsantrasyonunun veya temas süresinin önemini belirlemektedir. $n < 1$ olduğunda dezenfeksiyon kontrolünde dezenfeksiyon temas süresi daha önemli iken; $n > 1$ olduğunda dezenfektan konsantrasyonu daha önemlidir (Bitton 2005).

3. Çevresel Faktörler:

Dezenfeksiyonu etkileyen çevresel faktörler ortam pH'ı ve uygulama sıcaklığı kullanılan suyun sertliği, fiziksel ve kimyasal girişim olarak 3 ana başlıkta incelenmektedir.

Ortam pH'ı ve Uygulama Sıcaklığı:

Sularda pH değişimi dezenfeksiyonu etkileyen bir faktördür. pH düzeyindeki uç değerler mikroorganizmaların çoğalmasını etkili biçimde sınırlandırır. Bununla beraber ortamın pH düzeyinde meydana gelebilecek bir değişiklik antimikrobiyal aktiviteyi, dezenfektanların molekül yapısını bozarak etkilemektedir. pH düzeyinde meydana gelen artış bazı antimikrobiyallerin aktivasyonunu artırırken (gluteraldehid, kuvaterner amonyum bileşikleri gibi), bazılarının aktivasyonunu azaltabilmektedir (fenoller, hipoklorit, iyodin). Her dezenfektan için geçerli olmasa da sıcaklık artışı birçok dezenfektanın aktivitesini arttırmaktadır. Sıcaklık yüzey gerilimini azaltır, böylece solüsyonun maddeyi ıslatması kolaylaşır ve kimyasal reaksiyon hızlanır (Saniç 1994, Alıcı 2007)

Kullanılan Suyun Sertliği:

Suyun kalitesi temizlik sürecinde önemli bir faktördür. Suyun fazla miktarda kalsiyum ve magnezyum tuzu içermesi suyun sertlik derecesini arttırdığı için bazı problemlere sebep

olabilir. Çözünmeyen kalsiyum ve magnezyum tuzları zamanla araçlar üzerinde birikip istenmeyen kalıntılar oluşmasına yol açar. Bu kalıntılar uygun dezenfeksiyon yapılmasını engelleyecek bir zemin hazırlayabilir. Bu tuzlarının çözünbilir tuzlara dönüştürülebilmesi için yumuşatıcılar kullanılabilir. Ayrıca yıkama sırasında çeşme suyu kullanılıyorsa, içinde bulunan kloridler suya karışabilir. Klorid iyonları çelik malzemelere etki ederek demir moleküllerinin suya salınmasına, dolayısıyla metal alette korozyona neden olmaktadır. Suda bulunabilen silikat tuzları da malzemelerde çökerek önceleri opak sonraları koyu mavi renge dönüşen bir tabaka oluşturabilmektedir. Kaliteyi arttırmak amacıyla suların filtre edilmesi, distilasyonu, deiyonizasyonu ve ters ozmoz ile iyonlarından arındırılması ve saf su oluşturulması bu sorunların önlenmesi için gerekli olmaktadır (Alıcı 2007).

Fiziksel ve Kimyasal Girişim:

Sulardaki bazı bileşiklerin girişim yapması dezenfeksiyonu etkileyen önemli bir faktördür. İnorganik ve organik azotlu bileşikler, demir, manganez ve hidrojen sülfür gibi bileşikler dezenfeksiyon ile girişim yapmaktadır. Çözünmüş organik bileşikler klor ihtiyacını arttırmakta, bunların varlığı dezenfeksiyon veriminin düşmesine neden olmaktadır.

Sularda bulanıklık mikrobiyal hücrelerin yanı sıra inorganik (silt, kil, demir oksit vb.) ve organik maddelerden meydana gelmektedir. Sularda 1 NTU bulanıklığa izin verilmektedir. Partiküllere bağlı mikroorganizmalar dezenfeksiyona karşı serbest halde bulunan mikroorganizmalardan daha dirençlidirler. Dezenfeksiyon veriminin artırılabilmesi için bulanıklığın giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca bulanıklıktan kaynaklanan toplam organik karbon (TOK) suyun klor ihtiyacını arttırmaktadır. Su ve atıksudaki partiküllerin koruyucu etkisi partikül yapısına ve büyüklüğüne bağlıdır. Hücreye bağlı poliovirüsler klor inaktivasyonundan korunurken, kil partikülleri, alüminyum ve fosfat gibi inorganik bileşikler virüsler için böyle bir koruma sağlamamaktadırlar. Virüsler ve bakteriyel indikatörler suda kil partikülleri bulunduğu anda ozon inaktivasyonundan korunamazlar. 7.0 µm'den büyük fraksiyonlar mikroorganizmalar için koruyucu etki göstermektedir (Bitton 2005).

2.2.ATP Ölçümü ile Mikrobiyal Aktivitenin Belirlenmesi

2.2.1. ATP'nin Yapısı ve Özellikleri

Canlı sistemlerinde en fazla kullanılan enerji kimyasal enerjidir. Kimyasal enerji bir molekülün atomları arasındaki bağlarda depo edilir. İki atom arasında kurulan bağ ne kadar kuvvetliyse, bağ kırıldığında çıkan enerji de o kadar büyüktür. Kimyasal bağ oluşurken açığa çıkan enerji, bağı kırarken gereken enerjiye eşittir. ATP enerjisi bir kimyasal enerji olup yaşayan tüm canlılar için enerji sağlayıcı moleküldür (Anonim 2017b).

ATP molekülü, adenin denilen bir organik baz, beş karbonlu bir şeker olan riboz ve üç fosfat grubundan meydana gelmektedir.

ATP molekülü yüksek enerjili fosfat bağlarını içerdiğinden bu bağların hidrolizle kopması diğer kimyasal bağlardan daha fazla enerjinin serbest kalmasına neden olmaktadır (Anonim 2017b).

2.2.2. ATP'nin Kullanılması

Hücredeki biyokimyasal tepkimeler genellikle ekzergonik (enerji açığa çıkaran) ve endergonik (enerji tüketen) tepkime çiftleri halinde yürütülmektedir. Ekzergonik tepkimeler sonucu açığa çıkan enerji, bir diğer basamaktaki endergonik tepkimelerde kullanılmaktadır.

Hücrede ekzergonik tepkimeler (solunum tepkimeleri) ile önce ATP sentezlenmektedir. Daha sonra aktif taşıma ve biyosentez gibi endergonik tepkimelerde gerekli olan enerji bu ATP'den sağlanmaktadır.

ATP hücrede biyosentez tepkimelerinde (protein, yağ, karbonhidrat ve nükleik asit sentezi), fiziksel hareketlerde (kas kasılması, hücre bölünmesi, sitoplazmik hareketler), aktif taşımayı sağlayan biyokimyasal tepkimelerde, sinirsel iletimi sağlayan tepkimelerde ve salgılama gibi

biyokimyasal olaylarda enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle ATP'nin varlığı hücresel aktiviteyi ifade etmektedir. Dolayısı ile ATP miktarının yüksek oluşu ile aktif hücre miktarı arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur (Hammes ve ark. 2008). Bu nedenle ATP ölçümü ile mikroorganizma miktarı hakkında tahminde bulunulması mümkün olabilmektedir.

2.3. Elektrolitik Metal İyonizasyonunun Dezenfeksiyon Amacıyla Kullanılması

Metal iyonlarının biyosidal etkisi asırlardır bilinmektedir. Özellikle gümüş ve bakır antik Roma ve Yunan dönemlerinden beri dezenfeksiyon amaçlı kullanılmaktadır (Meyer 2001, Ruelas 2007). Günümüzde gümüş iyonlarının kullanımı hastanelerde sıcak su sistemlerinde, rekreasyonel, içme ve endüstriyel su sistemlerinde, medikal uygulamalarda, antimikrobiyal giysilerin üretiminde uygulama bulmaktadır (Ruelas 2007). Algisit olarak yıllardır yoğun bir şekilde kullanılan bakır sucul ortamda heterotrofik bakteriler için en toksik metallere biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca bakır iyonları bakteriyostatik özellikte olduğundan hem içme suyu dezenfektanı olarak hem de bazı filtrelere emdirilerek filtre materyali olarak mikrobiyal yeniden büyümeyi önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1950 yıllarından beri pek çok ticari filtrenin imalatında bakır kullanılmaktadır (Berger ve ark. 1976, Beer ve ark. 1999).

Stabil olmalarından dolayı etkin dezenfektan kalıntısı özelliği gösteren bakır ve gümüş iyonlarının elde edilmesinde çözünebilir metal tuzlarının kullanılması birtakım sorunlar yaratabilmektedir. Metal tuzlarının suda dezenfektan etkisi gösterecek konsantrasyona ulaşım ulaşmadığının kontrol edilmesi zordur. Günümüzde sudaki çözünmüş metal konsantrasyonlarını kontrol etmek için elektrolitik iyon jeneratörlerini kullanan daha modern bakır/gümüş iyonizasyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler dezenfekte edilecek suya bakır ve gümüş iyonunu elektriksel olarak temin ederek mikrobiyal inaktivasyonu sağlamaktadır (Yahya ve ark. 1990).

Elektrolitik jeneratörler genellikle metalden yapılmış negatif yüklü katot ile pozitif yüklü anottan veya iyonize olabilen metal yüzeylerden meydana gelmektedir. Elektrotlar dezenfekte edilecek suyun içinden geçeceği bir hücrede bulunmaktadır. Elektrotlara bağlı güç kaynağı, bakır ve gümüşün suda iyonize olması için birkaç voltluk akım meydana getirmektedir. Elektrolitik hücreden suya salınan metal iyonları konsantrasyonu, oluşan akıma ve elektrotlardan geçen suyun hızına bağlıdır. Metal iyonlarının üretimi elektrotlara uygulanan akım ile kontrol edilebilirken hücreden geçen suyun akış hızı çözünmüş iyon konsantrasyonunu belirler (Yahya 1990). Şekil 2.1’de elektrolitik olarak bakır ve gümüş iyonizasyonunu sağlayan sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Elektrolitik metal iyonizasyon sistemi (Yahya 1990)

Bu sistemlerde bakır ve gümüş elektrotları birlikte veya tek başına kullanılabilir. Dezenfeksiyon verimliliğinin artırılması ve sinerji oluşturulması adına birlikte kullanımları yaygın hale gelmiştir.

İyonizasyon sistemlerinin faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Kimyasal madde maliyetini %80'e varan oranlarda azaltır.
- Stok ihtiyacı yoktur. Kullanımı otomatik olduğundan günlük bakım gerektirmez.
- Su kalite kontrolü kolaydır.
- Korozif olmamaları nedeniyle makine aksamını yıpratmaz.

- Havuz ve depoların derz, pvc membranları, seramik veya btb kaplamalarını aşındırmaz.
- Kimyasal madde maliyetini azaltmasının yanısıra zaman ve personel giderimi tasarrufu sağlar.
- Saçta, ciltte tahriş ve alerjik reaksiyona neden olmaz.
- Suyla bulaşan bakteri, virüs, mantar ve alg gibi mikroorganizmaları inaktive edebilmektedir.
- Su kaynaklı hastalıklara engel olur.
- Suyun pH değerini değiştirmez.
- Kokusuz ve tatsızdır.
- Suyun kullanım şekli, süresi, miktarı veya kullanan sayısı iyonizasyonu etkilemez.
- Su, optimum hacim / süre oranında iyonize edildikten sonra, su kaybı olmadığı sürece etkisini kaybetmez (Anonim 2014b).

2.3.1. Elektrolitik Metal İyonizasyonu Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Bakır ve gümüş gibi metallerin kullanımı M.Ö. 2400'lü yıllardan NASA araştırmalarıyla günümüze taşınmaktadır. Roma, Aztek, Hint ve Pers medeniyetlerinde içme sularının ve yaraların dezenfeksiyonunda bakırın kullanımına rastlanmıştır. Gümüşün anti-bakteriyal özelliği de aynı şekilde binlerce yıldır bilinmektedir. Pers İmparatorluğu'nun su tanklarını gümüş ile kaplayarak suyun hijyenini sağladığı tarihçi Herodot'un kaynaklarında görülmektedir. İyonizasyon sistemi ise NASA'nın 1960'lı yıllarda hayata geçirdiği bir su dezenfeksiyon sistemine dayanmaktadır. Uzaya gönderilen araçlarda klor gibi kimyasal maddeler bulundurmamak sakıncalı olduğu için astronotların içme ve kullanım suyu dezenfeksiyonu üzerine çalışmalar yapılmış ve sonuç olarak gümüş-bakır iyonizasyonu geliştirilmiştir. İyonizasyon yönteminde, gümüş ve bakır iyonları elektrotlar aracılığıyla suya katılarak dezenfeksiyon sağlanmıştır. 1988'den beri Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da okullar, belediyeler, hastaneler ve oteller gibi kamusal yapılarda standart kullanıma girmiştir. Gümüş-bakır iyonizasyonu yüzme havuzlarından besi ve balık

çiftliklerine kadar suyun olduğu her alanda kullanılmaktadır. Sistem özellikle turistik tesislerde, ölümcül hastalık riski taşıyan Legionella bakterisini önleyebilmesi ile öne çıkmaktadır (Anonim 2013b).

2.3.2. Elektrolitik Metal İyonizasyon Sisteminin Dezenfeksiyon Mekanizması

Elektrolitik iyonizasyon sistemlerinde bakır elektrotlardan suya bakır iyonları verilmektedir. Suya verilen bakır iyonları mikroorganizmaların yüzeyindeki negatif yüklü iyonlarla reaksiyona girme eğilimindedir. Pozitif yüklü bakır iyonları negatif yüklü mikroorganizmaların hücre duvarı ile elektrostatik bağlar kurarlar. Bu bağlar gerilim oluşturarak hücre duvarının geçirgenliğinin bozulmasına neden olurlar. Bakır iyonlarının bakteriler üzerinde farklı etki mekanizmaları bulunmaktadır. Aşağıda verilen fenton tipi reaksiyon ile meydana getirdikleri hidroksil iyonları, redoks özelliğinden dolayı bakterilerin selüler moleküllerinde protein ve lipid oksidasyonuna ve ardından hücresel membran hasarına yol açarlar. Bu oksidatif reaksiyonlar hücre geçirgenliğini bozduğu için hücrenin ölümüne neden olmaktadır (Avery ve ark. 1996, Lebedev ve ark. 2002, Teitzel ve ark. 2006).



Ayrıca bakır iyonları sülfidril iyonlarının tüketilmesine de neden olmaktadır. Bakırın bir diğer toksisitesi ise demir sülfür bileşiklerindeki demir iyonları ile yer değiştirmesidir. Benzer şekilde çinko veya diğer metallerin yerine geçerek proteinlere bağlanabilmektedir (Shanmuganathan ve ark. 2004).

Bakır iyonları DNA ve RNA, selüler proteinler ve solunum enzimleri gibi hücrenin belli kısımlarına bağlanarak hücredeki tüm yaşamsal sistemleri immobilize ederler, böylelikle hücre büyümesi ve hücre bölünmesi engellenir. Bunlara ilaveten ATP üretiminde önemli olan enzim ve proteinlerin oluşumunu bloke ederek hücrenin membran yapısının korumasını önler (McDonnell ve Russell 1999, Butkus ve ark. 2005, Yamanaka ve ark. 2008). İyonların suda sürekli aktif halde bulunmasından dolayı gümüş, bakır veya gümüş-bakır iyonizasyon

sistemleri diğer dezenfeksiyon yöntemlerine göre nispeten daha uzun süreli ve kalıcı bir dezenfeksiyon sağlamaktadır.

2.3.3. Elektrolitik Metal İyonizasyon Sistemi ile Dezenfeksiyonun Etkili Olduğu Mikroorganizmalar

Bakır-gümüş iyonizasyon sistemi, aşağıdaki mikroorganizma, bakteri ve protozalara karşı etkilidir.

Amoebae dysenteriae, Bacillus subtilis, Bacillus typhosus, Cryptosporidium, Endamoeba histolytica, Escherichia coli (E. coli), Giardia lamblia, Herpes virus, HIV, Influenza A & B, Legionella pneumophila, Poliomyelitis virus, Proteus vulgaris, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella, Saccharomyces cerevisiae, Sarcina Flava, Shigella dysenteriae, Saphylococcus aureus, Streptococcus faecalis, V. cholera, Vaccinia virus, Vibrio cholera (Güllüoğlu 2010).

Sadece tek hücreli mikroorganizmalara etkili olduğundan, göl, gölet ve balık havuzlarında da kullanılabilir. Balıklara ve suda var olan bitkilere zarar vermez.

2.3.4. Elektrolitik Metal İyonizasyonu ile Dezenfeksiyonun Farklı Alanlardaki Uygulamaları

Bakır ve gümüş gibi metallerin elektrolitik iyonizasyonu, yüzme havuzlarının dezenfeksiyonunda kullanılmalarının yanı sıra uzun süreli ve geniş antimikrobiyal etki aralığına sahip olmalarından dolayı su, tıbbi ürünler, soğutma kuleleri, balık çiftlikleri, tavuk çiftlikleri, su dolum tesisleri, su geri dönüşüm tesisleri, akvaryumlar, su depoları ve dekoratif çeşmeler gibi diğer ticari ve endüstriyel ortamların dezenfeksiyonunda da tercih edilmektedir.

Yüzme havuzlarında yüzücülerden suya geçen organik ve inorganik maddeler (saç, kepek, güneş yağları, idrar vb.) kirlenmeye neden olmakta ve havuz suyunun insan sağlığını tehdit edecek derecede riskli olmasına sebep olmaktadır. Elektrolitik bakır gümüş iyonizasyonunun kullanımı ile havuzlarda etkin bir dezenfeksiyon sağlanmaktadır. Bu sistemlerin kullanılmasıyla klor ihtiyacı 1 – 3 ppm (ortalama 2 ppm) aralığından, 0,3 – 0,6 ppm (ortalama 0,5 ppm) aralığına düşmektedir (Anonim 2014b). Son yıllarda havuz dezenfeksiyonunda bakır iyonizasyon sistemi tek başına kullanılarak ardından UV dezenfeksiyonu uygulaması gerçekleştirilmektedir.

Su soğutma kulelerinde soğutma sistemi içinde çoğalan mikroorganizmalar ısı geçirgenliğinin yüksek olması arzu edilen yüzeylerde biyofilm oluştururlar. Biyofilm sudaki katıların birbirine yapışmasını sağlayarak kalın katmanların oluşmasına sebep olur. Bunun sonucunda ısı geçirimi çok azalır. (Anonim 2014b)

Öte yandan soğutucu fanların kule soğutma yüzeylerinin gözeneklerine yönlendirdiği güçlü hava akımıyla kuledeki su zerrecikler halinde çevreye yayılarak bölgede bulunan insanlar için büyük risk oluşturmaktadır. 1976 yılında A.B.D. Philadelphia’da 200 kişinin aynı zamanda akciğer hastalığına yakalanması ve bunlardan 27’sinin ölümü neticesinde yapılan bakteriyolojik araştırmalarda *Legionella* adlı bakterinin (*L. pneumophila*) soğutma sistemlerinde ürediği ve soğutma kulelerinden çevreye yayılan su zerrecikleri ile insanlara geçerek akciğerlerde zatürre gibi semptomlar gösteren tehlikeli bir hastalığa sebep olduğu tespit edilmiştir. Bakır ve gümüş iyonizasyon sistemlerinin kullanılmasıyla bu tür problemler kontrol altına alınabilmektedir. Bu sistemlerde elektrolitik bakır gümüş iyonizasyonunun kullanılması ile söz konusu problemler kontrol altına alınmaktadır (Anonim 2014b).

Elektrolitik iyonizasyon sistemi besicilik ve seracılık alanlarında da uygulama bulmaktadır. Büyük, küçükbaş besicilikte ve kümes hayvanı yetiştiriciliğinde, hayvanların içmesi için kullanılan, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından elde edilen su çeşitli bakteri, virüs ve mikroorganizmaları barındırabilmektedir. Bunların hayvanlara ve hayvanlar vasıtasıyla insanlara geçişinin kontrol altına alınabilmesi için bu tip işletmelerde kullanılan suların

mutlaka dezenfekte edilmesi gerekir. Söz konusu bakteri virüs ve mikroorganizmalar, hayvanların kilo alımından, hastalıklara direncine kadar birçok faktöre de etki etmektedir. Kontrol amaçlı kimyasal kullanımı üretim süreci büyük ve küçük baş hayvancılığa göre çok daha kısa olan kümes hayvanı yetiştiriciliğinde kanatlıların gerekli averaj kilolarına ulaşmalarını engellemekte ve kas gücü kaybına yol açmaktadır. İyonizasyon sistemlerinin kullanılarak dezenfeksiyon yapılması ile kümes hayvanlarının hızlı ve sağlıklı bir şekilde kilo alması ve diğer hastalıklara karşı daha dirençli olması sağlanabilmektedir. Amerika'da yapılan araştırmalarda iyonizasyon sisteminin uygulandığı çiftliklerde *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* gibi bakteriler üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Anonim 2014b).

Seracılıkta kullanılan su da tüm alanlarda olduğu gibi dezenfeksiyona ihtiyaç duyar. Yeraltından çeşitli bakteri, virüs ve mikroorganizmaları barındırarak gelen suyun dezenfekte edilmeden sulamada kullanılması, bu etkenlerin önce ürüne, tüketim sürecinde de insana geçmesi sonucunu doğurur. Bu etkenleri bertaraf etmek için kullanılan klor ve benzeri kimyasallar, ürünün gelişimini yavaşlatır. Bakır gümüş iyonizasyonu bu etkileri çok daha ekonomik ve sağlıklı bir şekilde yok eder (Anonim 2014b).

Su depolarından gelen kullanma suları birçok riske açıktır. Binaların su gereksinimini sağlayan depolarda kaynağa ve diğer faktörlere bağlı olarak çeşitli virüs, mikroorganizma ve bakteriler bulunur. Kaynak temiz olsa bile az miktardaki bakteri ve mikroorganizmalar üremeye son derece elverişli olan nemli ortamlarda inanılmaz bir hızda çoğalır. Depolar gerek yapısal özellikleri gerekse temizlenmekte karşılaşılan fiziki zorluklar nedeniyle uzun süre kapalı kalırlar. Evlerin musluklarından akan suda, kaynak temiz olsa bile sadece depo şartlarından dolayı enfeksiyona neden olacak bakteri ve mikroorganizmalar bulunur. Bunlar kullanım suyuyla vücudumuza girer. Bakteri ve mikroorganizmalarla mücadelede en çok kullanılan yöntem klorlamadır. Klor özellikle korozyon etki göstermesinin yanında, klora dirençli olan bazı virüs ve bakteriler karşısında yeterince etkili olmaz. *Legionella pneumophilla* (lejyoner bakterisi), *Escherichia coli* (*E.coli*), *Streptococcus faecalis* gibi bakteri ve virüsler yaşamaya ve çoğalmaya devam eder. Bakır ve gümüş gibi metallerin

iyonizasyonu ile bu sistemlerde, klorun yetersiz kaldığı veya sağlayamadığı dezenfeksiyon sağlanabilmektedir (Anonim, 2013a).

2.4. Kullanılan Bakteriler ve Mikrobiyolojik Önemleri

2.4.1. *Escherichia coli*

Sindirim sisteminde yaşadığı için, *Escherichia coli*'nin çevresel sularda varlığı dışkı ile kirlenmenin belirtisidir (Barnes ve Gros 1997; Manning 2010).

İnsanın bir günde dışkı yoluyla vücudundan atılan *Escherichia coli* sayısı 10^{11} ila 10^{14} arasındadır. Dışkı içinde bulunan başlıca bakteriler anerobik bakterilerdir, fakültatif anerobik *Escherichia coli* hücrelerinin sayısı diğer bakteri türlerinin binde biri kadardır. Hayvanlarda etkisiz olan bazı *Escherichia coli* tipleri insanlarda hastalık sebebi olabilmektedir (Anonim 2016). Özellikle idrar yolları, safra kesesi ve safra yolları, akciğer, periton ve menenjlere ulaşan *Escherichia coli* bakterileri önemli hastalıklara yol açabilmektedir (Bilgehan 2000, Öztelli 2004).

Escherichia coli Gram-negatif bir bakteri olduğundan endospor oluşturmaz, pastörizasyon veya kaynatma ile ölür. Memeli hayvanların bağırsaklarında büyümeye adapte olduğu için en iyi vücut sıcaklığında çoğalır (Anonim 2016).

Suların arıtımında *Escherichia coli* su kirliliğinin "göstergesi" olarak kullanılmaktadır. *Escherichia coli* genel anlamda zararsız olmasına rağmen kirlenme ölçütü olarak kullanılmasının sebebi, Fakültatif anaerob olmasından dolayı kolay kültürlenebilmesidir. Ayrıca, dışkıda bulunan *Escherichia coli* sayısı patojen bakterilerin (örneğin tifo etmeni *Salmonella typhi*) sayısından çok daha fazladır. Bu nedenle indikatör olarak kullanılmaktadır (Anonim 2016).

2.4.2. *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa, çoğunlukla toprak ve suda bulunur. Glikozu oksidasyon yoluyla parçalayan fakat fermentasyon yapmayan bakterilerdir (Balcht ve ark. 1994).

Uzunlukları çok değişik olmakla beraber *Pseudomonas aeruginosa* 1,5-3 µm genişliğinde, bazen ikili bazen de kısa zincirler halinde görülen sporsuz, kapsülsüz, çubuk şeklinde aerob bakteridir. Çoğu kez bir uçlarında bir, nadiren iki-üç adet kirpiği vardır ve çok hareketlidirler. Kolay boyanırlar ve Gram negatiftirler. Uzun süre beklemiş kültürlerinde ve antiseptik maddelerin bulunduğu ortamlarda kısa veya çok uzun deforme şekilleri, hareketsiz ve pigmentsiz olanları, R (rough) tipinde üreyenlerin bulunduğu bildirilmiştir (Ryan ve ark. 2004).

Pseudomonas aeruginosa özellikle, bağışıklık yetersizliği olan hastalarda solunum ve idrar yollarının, yanıkların ve açık yaraların fırsatçı patojenidir aynı zamanda kanda da enfeksiyonlar yapabilir. Nozokomial (hastane kaynaklı) enfeksiyonların onda biri *Pseudomonas aeruginosa* sebebiyledir. Kistik fibroz hastaları *Pseudomonas aeruginosa* enfeksiyonlarına özellikle yatkındırlar. *Pseudomonas aeruginosa* kirli küvet ve jakuziler gibi su kalitesinin düşük olduğu durumlara maruz kalındığında dermatite sebep olabilir (Nagoba ve ark. 2013).

Pseudomonas aeruginosa; solunum yolu enfeksiyonları, bakteriyemi, endokardit, merkezi sinir sistemi enfeksiyonları, kulak enfeksiyonları, göz enfeksiyonları, kemik ve eklem enfeksiyonları, gastrointestinal sistem enfeksiyonları, üriner sistem enfeksiyonları, deri ve yumuşak doku enfeksiyonlarına sebep olmaktadır (Poole 2004).

2.4.3. *Staphylococcus epidermidis*

Stafilokoklar; hareketsiz, sporsuz, kuruluğa ve yüksek tuz konsantrasyonuna dayanıklı, doğada yaygın olarak bulunan fakültatif anaerob mikroorganizmalardır. İnsanda başlıca;

deri, nazofarinks, burun, vajen ve rektumda yaygın kolonizasyon gösterirler. İnsanlardan en sık izole edilen enfeksiyon etkenlerinden birini oluştururlar ve insandan insana direk temasla ve hava yolu ile bulaşabilirler. Stafilokoklar kanlı agar gibi basit besiyerlerinde 18-24 saat içinde beyaz veya altın sarısı pigmentli S tipi koloniler oluştururlar. Kanlı agardaki kolonileri beta hemolitik veya nonhemolitik olabilir, ancak alfa hemoliz oluşturmazlar. Katalaz enzimi üretmeleri bu bakterileri katalaz üretmeyen streptokoklardan ayırt eden en önemli özellikleridir (Gül 2010).

Staphylococcus epidermidis koagülaz negatif stafilokoklar içerisinde en sık enfeksiyona neden olan türdür. Deri florasında en fazla bulunan bakteridir. Flora üyesi olduklarından enfeksiyon yerinden alınan örneklerde sıklıkla kontaminan olarak bulunurlar. Prostetik materyal, IV kanül gibi vücutta bulunan yabancı cisimler *Staphylococcus epidermidis*'in ürettikleri polisakkarit yapıdaki biyofilm (slaym) tabakasının kolayca tutunmasını sağlarlar. Slime tabakası içindeki bakterilerin klinik önemi bu bakterilerin vücut savunma hücreleri ve antibiyotikler gibi dış etkilere kaçabilmeleri ve tedavi sorunu yaratan kronik enfeksiyonlara neden olabilmeleridir (Gül 2010, Batıkutlu 2006).

Fakültatif anaerobik özellikte olan bu mikroorganizmaların, optimum üreme sıcaklıkları; 30-37°C arasında seyrederken, optimum gelişim gösterdikleri pH değeri; 7,0–7,5 arasındadır. %7,5–10 NaCl içerikli ortamda gelişim gösterebilme yeteneğine sahiptir (Batıkutlu 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada materyal olarak sterilize edilmiş içme suyu kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de bu suya ait özellikler gösterilmektedir. pH ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan içme suyuna ait özellikler

PARAMETRE	BİRİM	DEĞER
pH		7,64
Renk	Pt-Co	0
Bulanıklık	NTU	0,26
Toplam Sertlik	(CaCO ₃) mg/L	176
Toplam Demir	µgFe/L	23
Mangan	µgMn/L	12
Klorür	mgCl/L	4,3
Sülfat	mgSO ₄ /L	27
Nitrat	mgNO ₃ /L	1,6
Nitrit	mgNO ₂ /L	0
Amonyum	mgNH ₄ /L	0
İletkenlik	µS/cm	352
Permanganat İndeksi (Oksitlenebilirlik)	mgO ₂ /L	0,22
Florür	mgF/L	0,06
Serbest Klor	mg/L	0,64

3.1.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Maddeler

pH ayarlanmasında: 1 N ve 0,1 N HCl (Merck, %37, 100314) ve NaOH (Merck, 106498)

ATP reaktif çözeltisi, Promega cell titer Glo-Luminescent cell viability assay

ATP standart çözeltisi, Bacfilter 610

SYBR® Green I asit jel boya, 10000X DMSO'da konsantre edilmiş, invitrogen, Kat.No: S-7563

Propidium iyodür, İnvitrogen Kat.No: P1304MP

Dimetil sülfoksit, susuz, ≥99.9% 276855

LB broth

PCA agar

mFC Agar

Endo Agar

mPA-agar

Mannitol Salt Agar

Ringer Tablet

Etil alkol

Sodyum tiyosülfat Sodyum tiyoglukolat, T0632-25G

Hidrojen Peroksit solüsyonu %35 EMPROVE® Merck (2,5lt. amb.)M1086002500

Perasetik asit solüsyonu, ~39% asetik asitte (RT) 77240, 500ml

Merck Aquaquant® Bakır Test Kiti (0.3-0.6-1-1.5-2-2.5-3-5 mg/l Cu)

3.1.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Bakır İyonizasyon Cihazı (SYSTEC)

Mikroplazma Atomik Emisyon Spektrometresi (MP-AES AGILENT 4100)

Otoklav (SYSTEC VE-75)

Etüv (ELEKTROMAG M6 PHILIP HARRIS LTD.

İnkübatör (PHILIP HARRIS LTD.)

Orbital İnkübatör (GALLENKAMP INR200)

Manyetik Karıştırıcı (CHILTERN HS31)

Kaynatmalı saf su cihazı (GFL 2001/4)

Su arıtma cihazı (RAINBOW FM30)

Termoregülatör/Soğutucu (TECHNE TE-10D/FC-200)

Derin dondurucu ve buzdolabı

Soğutmalı Santrifüj (BECKMAN COULTER Allegra 25R)

Spektrofotometre (HACH LANGE DR5000)

Turbidimetre (HACH LANGE 2100Q)

Mikroskop (NIKON Eclipse E100)

Su Banyosu (CLIFTON NE2-22)

Kaba Terazî (GEC AVERY Model: CB53)

Multiparametre ölçüm cihazı (HACH LANGE HQ40d-pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ölçümü)

Mikropipet (RAININ PIPET-LITE SL-200 ve SL-5000)

Luminometre

Hettick universal 340 model santrifüje rotoruna uygun tüp adaptörü, LB.5.01999 kodlu, 12x0.2-2 ml tüpler için

Blok ısıtıcı

Vortex karıştırıcı

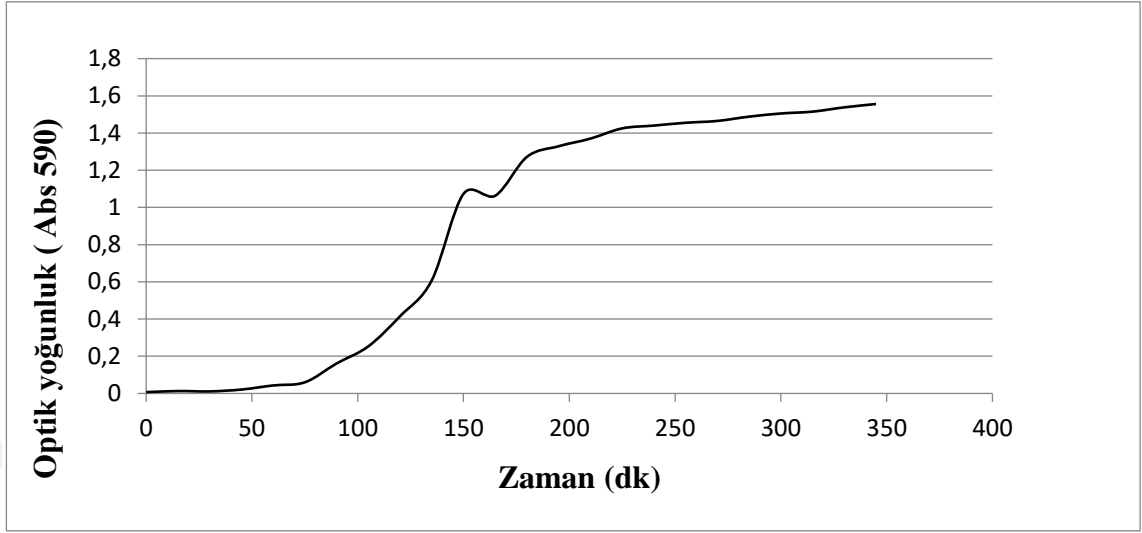
Elektronik Termometre, kablolu ölçüm problu, -20/+50 C°

3.2.Yöntem

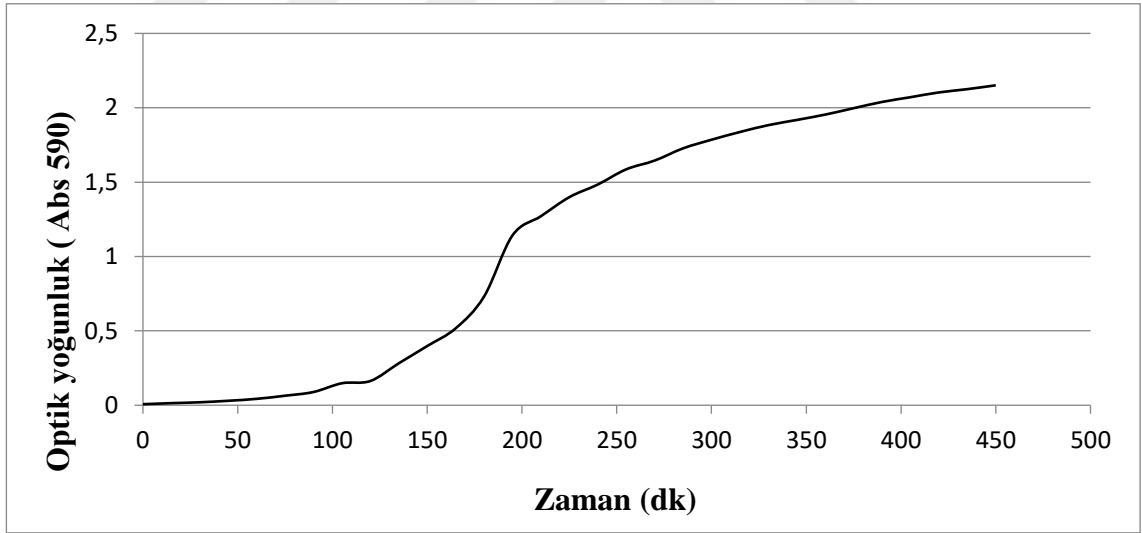
3.2.1. Mikroorganizma Süspansiyonlarının Hazırlanışı

Liyofilize *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* ATCC (15542) ve *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12828) ATCC tarafından belirtildiği şekilde sulandırılıp, Tryptic Soy Agar içeren petri kutularına aktarılmış ve 37 °C'de 16-24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan koloniler, steril öze yardımı ile, %20 gliserol içeren boncuklu kriyo tüplerine aktarılmıştır. Bu şekilde hazırlanan tüpler, -20 °C'de yaklaşık 1 yıl saklanabilmektedir. Her uygulamadan önce, boncuklardan 5-6 adet alınmış, 100 ml Nutrient Broth'a aşılanmış ve orbital inkübatörde (Oxoid, Hampshire) 37 °C'de 16-24 saat inkübe edilmiştir.

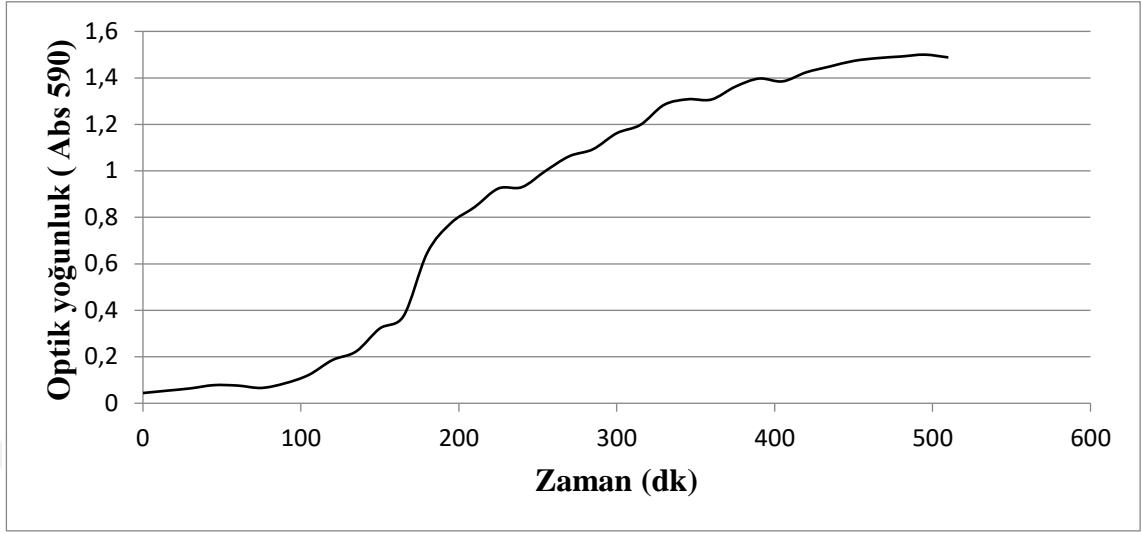
Mikroorganizmaların logaritmik çoğalma fazının ortasına (mid-log fazı) ulaşabildikleri süreyi belirlemek amacıyla kültürler, optik yoğunluğu 0,01 olacak şekilde steril ılık nütrient broth ile seyreltilmiş ve orbital inkübatörde 35°C’de bakteri kültürü durgun faza ulaşana kadar inkübe edilmiştir. Bu süre içinde 15 dakikada bir mikroorganizmaların 595 nm’deki OY değerleri ölçülmüş ve çoğalma eğrisi oluşturulmuştur. Çoğlama eğrisi üzerinden mid-log fazına ulaşma süreleri belirlenmiştir. *Escherichia coli* için elde edilen çoğalma eğrisi Şekil 3.1’de, *Pseudomonas aeruginosa* için elde edilen çoğalma eğrisi 3.2’de, *Staphylococcus epidermidis* için elde edilen çoğalma eğrisi ise 3.3’te gösterilmiştir. Bu çoğalma eğrileri yardımıyla *Escherichia coli*’nin inkübasyondan 3,5 saat sonra, *Pseudomonas aeruginosa* ‘nın inkübasyondan 4,5 saat sonra *Staphylococcus epidermidis*’in ise inkübasyondan 5,5 saat sonra mid-log fazına ulaştığı tespit edilmiştir. Daha sonra her bir mikroorganizma kültürü steril 100 ml nutrient broth içine ilave edilerek belirlenen mid-log sürenine ulaşan kadar inkübasyon yapılmıştır. Mid- log fazına ulaşan bakteri kültürleri 4000 rpm’de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiş, steril fosfat tamponu çözeltisi ile iki kez yıkanmış ve çözelti içerisinde bulunan bakteri yumaklarının dağılması için 15 dakika boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen süspansiyon yaklaşık 10^6 CFU/100 ml bakteri içerecek şekilde seyreltilerek 4°C’de saklanmıştır. Bakterilerin sayısını kontrol edebilmek amacıyla her deney öncesinde süspansiyonun OY değeri ölçülmüştür (Hassen ve ark. 2000, Fujikowa ve ark. 2004, Rauprich ve ark. 2004).



Şekil 3.1. *Escherichia coli* kültürü çoğalma eğrisi



Şekil 3.2. *Pseudomonas aeruginosa* çoğalma eğrisi



Şekil 3.3. *Staphylococcus epidermidis* çoğalma eğrisi

3.2.2. Cam Malzemelerin Sterilizasyonu

Dezenfeksiyon deneyleri öncesinde ihtiyaç duyulan petri kutusu, pipet ve kullanılacak olan diğer cam malzemeler etüvde 170° C’de 2 saat sterilize edilmiştir. Pipetler pipet kutusuna konularak sterilize edilmiştir. Malzemeler etüvden çıkarıldıktan sonra soğumaları için beklenmiştir.

3.2.3. Seyreltme Sıvısının Hazırlanması

Bakteri sayısının belirlenmesinde seyreltmelerde kullanılacak olan Ringer çözeltisini hazırlamak için 500 ml saf suya 1 adet Ringer tableti konulmuş, manyetik bar yardımı ile manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Hazırlanan Ringer çözeltisi, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* miktarının belirlenmesinde kullanılmak üzere, cam şişelere 90’ar ml paylaştırılıp kapakları kapatılmıştır. Seyreltme şişeleri otoklavda sterilize edilmiştir.

Deney süresince seçilen temas sürelerinde (t anında) seyreltme şişelerine %14’ lik sodyum tiosülfat ve sodyum tiyoglukont çözeltisinden 10 ml’ye 100 µL olacak şekilde ilave

edilmiştir. Böylelikle inkübasyon süresince bakır iyonlarının dezenfeksiyonun devam etmesi engellenmiştir.

3.2.4. Fosfat Tamponu Hazırlanması

- 34 g KH_2PO_4 , 500 ml saf suda çözülmüştür. pH 7,2+0,5 veya 7,2-0,5'e ayarlanmıştır. Hazırlanan çözelti 1 N NaOH ile ve saf su ile 1 L'ye tamamlanmıştır. Bu hazırlanan stok çözeltilerdir.
- 81.1 g $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1L saf suda çözülür.
- Fosfat tamponunun hazırlanması için 1,25 ml stok fosfat tampon çözeltisi ve 5 ml MgCl_2 çözeltisi 1 L'ye tamamlanır.

3.2.5. Besiyerlerinin Hazırlanması

Escherichia coli Belirlenmesi için Besiyerinin Hazırlanması:

Su örneklerindeki *Escherichia coli* miktarını belirlenmesinde amacıyla Standart Metotlar'da belirtilen MFC agar besiyeri kullanılmıştır (Anonim 2017a). 1 L'ye 52 g olacak şekilde kullanılacak olan petri sayısına uygun miktarda besiyeri hazırlanmıştır. Besiyeri tartıldıktan sonra üzerine gerekli miktarda saf su ilave edilip beher manyetik karıştırıcının üzerinde balık yardımıyla karıştırılmış ve bir yandan da ısıtılmıştır. Kaynamaya başladıktan sonra %1'lik rosalik asit çözeltisi eklenmiştir. 1-2 dakika kaynadıktan sonra besiyeri petrilere boşaltılarak soğumaya bırakılmıştır.

- Rosalik Asit Çözeltisinin Hazırlanması:

Rosalik asit çözeltisi, 50 ml ve 0,2 N'lik NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi içinde 0,5 g katı rosalik asit eritilerek hazırlanmıştır. Buzdolabında 3-4 gün kadar saklanarak muhafaza edilmiştir.

Pseudomonas aeruginosa Belirlenmesi İçin Besiyerinin Hazırlanması:

Su örneklerindeki *Pseudomonas aeruginosa* sayısının belirlenmesi için Standart Metotlar'da önerilen mPA Agar kullanılmıştır (Anonim 2017a). 1 L için 38 g tartılmıştır ve petri sayısına bağlı olarak gerekli miktarda hazırlanmıştır. Daha sonra manyetik karıştırıcıya konulmuş, hem karışması hem de ısıtıcının açılıp kaynaması sağlanmıştır. Kaynayan besiyeri daha sonra petri kaplarına dökülmüştür.

Staphylococcus epidermidis Belirlenmesi İçin Besiyerinin Hazırlanması:

Su örneklerindeki *Staphylococcus epidermidis* sayısının belirlenmesi için Standart Metot'larda önerilen Mannitol Salt Agar (sigma) kullanılmıştır (Anonim 2017a). Dehidre besiyeri 108,0 g/L olacak şekilde ısıtılarak damıtık su içinde eritilmiş ve otoklavda 121 °C'da 15 dakika sterilize edilmiştir. Otoklavdan çıkarılan besiyeri steril petri kutularına dökülmüştür.

3.2.6. Su Kalitesi Parametrelerinin Dezenfeksiyon Verimliliğine Etkisinin Belirlenmesi

A) pH'ın Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Verimliliğine Etkisi

pH'ın bakır iyonları ile dezenfeksiyon verimliliği üzerindeki etkisini belirlemek için, pH değeri 6, 7 ve 8,5 olan deiyonize su örnekleri ile dezenfeksiyon deneyleri yapılmıştır. 2000 ml lik beher içindeki su örneklerinin pH'ı, 1 M HCl ve 1 M NaOH çözeltileri eklenerek 6, 7 ve 8,5'a ayarlanarak bu değerlerde bakır iyonları ile *Escherichia coli* inaktivasyonu belirlenmiştir. Bakır iyonu konsantrasyonu 0,5 mg/L olarak seçilmiştir. 6 adet 2 litrelik beher alınarak pH istenen değerlere ayarlanmış daha sonra 3 tanesi kontrol olarak ayrılmıştır. pH'ı ayarlanan örnekleri içeren beherlerde 0,5 mg/L olacak şekilde iyonizasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hem kontrol hem de bakır içeren tüm su örneklerine 10^6

CFU/100 ml *Escherichia coli* aşıl原因mıştır. Bakır içeren örneklerden her temas süresi sonunda örnek alınarak bakteri sayısı belirlenmiştir.

B) Bikarbonat İyonlarının Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Verimliliğine Etkisi

Bikarbonat iyonlarının bakır iyonları ile dezenfeksiyon verimliliğine olan etkisini belirlemek için 0, 50 ve 150 mg/L bikarbonat iyonu içeren deiyonize su örnekleri ile dezenfeksiyon deneyleri yapılmıştır. Su örneklerinde seçilen konsantrasyonda bikarbonat iyonunu sağlamak için 1.000 mg/L NaHCO₃ stok çözeltisi kullanılmıştır. Örneklerin pH'ı, 1 M HCl ile 7'ye ayarlanmıştır. 6 adet 2 litrelik beher alınarak istenen bikarbonat konsantrasyonları sağlanmış daha sonra 3 tanesi kontrol olarak ayrılmıştır. Su örneklerini içeren beherlerde 0,5 mg/L olacak şekilde iyonizasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hem kontrol hem de bakır içeren tüm su örneklerine 10⁶ CFU/100 ml *Escherichia coli* aşıl原因mıştır. Bakır içeren örneklerden her temas süresi sonunda örnek alınarak bakteri sayısı belirlenmiştir.

C) Sertliğin Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Verimliliğine Etkisi

Sertliğin bakır iyonları ile dezenfeksiyon verimliliğine olan etkisini belirlemek için 0, 50 ve 100 mg/L kalsiyum iyonu ve 0, 50 ve 100 mg/L magnezyum iyonu içeren deiyonize su örnekleri ile dezenfeksiyon deneyleri yapılmıştır. 1.000 mg/L kalsiyum iyonu ve 1.000 mg/L magnezyum iyonu içeren stok çözeltiler kalsiyum klorür ve magnezyum klorür ile hazırlanmıştır. Örneklerin pH'ı, 1 M HCl ile 7'ye ayarlanmıştır. 6 adet 2 litrelik beher alınarak istenen kalsiyum konsantrasyonları sağlanmış daha sonra 3 tanesi kontrol olarak ayrılmıştır. Su örneklerini içeren beherlerde 0,5 mg/L olacak şekilde iyonizasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hem kontrol hem de bakır içeren tüm su örneklerine 10⁶ CFU/100 ml *Escherichia coli* aşıl原因mıştır. Bakır içeren örneklerden her temas süresi sonunda örnek alınarak bakteri sayısı belirlenmiştir. Aynı işlemler magnezyum içeren su örnekleri için de gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. Bakır İyonizasyonu ile Dezenfeksiyon

Bakır iyonizasyonu ile dezenfeksiyon deneyleri 2 L'lik beher içerisinde gerçekleştirilmiştir. Dezenfeksiyon amacıyla seçilen bakır iyonu konsantrasyonu 0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L'dir. İstenen bakır iyonu konsantrasyonlarını sağlamak amacıyla öncelikle iyonizasyon optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. İyonizasyon sisteminin çalışma prensibinde elektrotların bulunduğu sistemden suyun belli bir hızla geçişi sırasında verilen elektrik akımı yardımıyla elektrotlardan suya bakır iyonlarının geçişi söz konusudur. Böylelikle suyun devir daimi ile suda bakır iyonlarının belli bir konsantrasyona ulaşması sağlanmaktadır. Verilen akım şiddetine bağlı olarak suya elektrotlardan bakır iyonu geçişi söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada iyonizasyon sistemi ile kesikli olarak çalışılmıştır. Bu nedenle istenen bakır iyonu konsantrasyonlarını sağlamak için 2 L steril içme suyu içeren beher içine iyonizasyon sisteminin bakır elektrodu konulmuş ve istenen konsantrasyonunun sağlanması için gerekli olan süre kadar çalıştırılmıştır.

Seçilen bakır iyonu konsantrasyonlarının suda temin edilmesi için gereken süreler ön denemeler ile belirlenmiştir. Bu ön denemeler sonucunda 0,1 A akım şiddeti ile 5 V elektrik verildiğinde 5 dakika sonunda 2 litre su içerisinde 0,5 mg/L bakır iyonu oluştuğu tespit edilmiştir. Cihazın 15 dakika çalıştırılması ile 1,5 ve 30 dakika çalıştırılması ile 3,3 mg/L bakır iyonunun 2 litre su içerisinde meydana geldiği ölçülmüştür. Bakır konsantrasyonları mikroplazma atomik emisyon spektroskopisi ile belirlenmiştir. Her konsantrasyon için 5 deneme yapılmış ve bu denemelerin sonunda ölçülen bakır konsantrasyonlarının ortalaması alınmıştır (Çizelge 3.2)

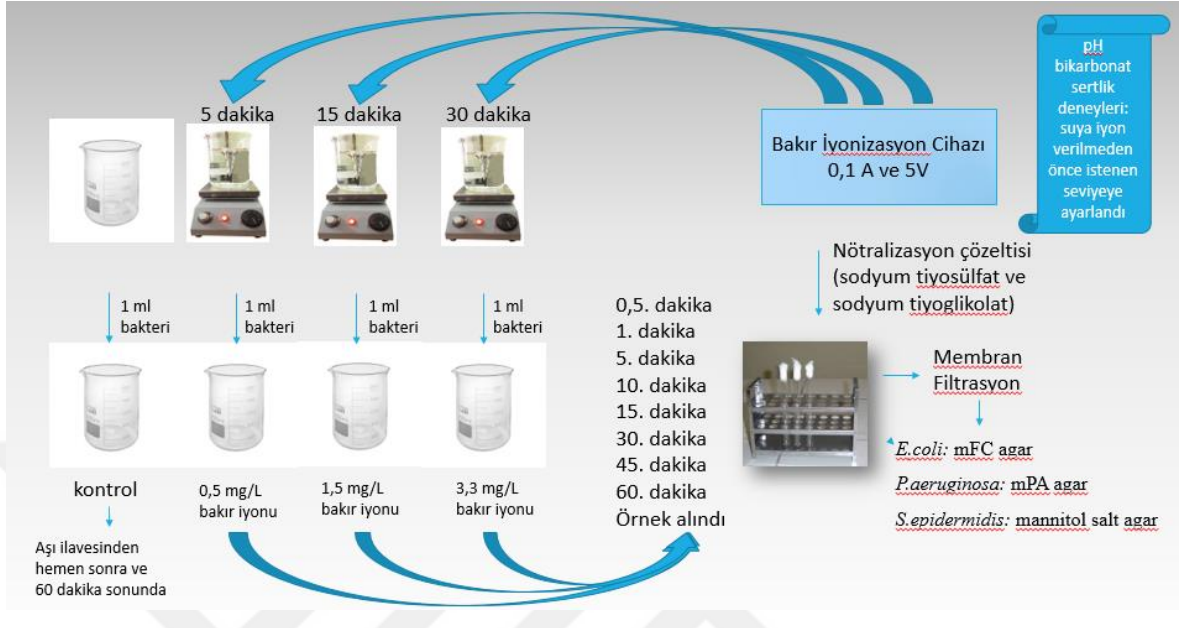
Çizelge 3.2. Ölçülen bakır konsantrasyonları

0,1 A ve 5 V ile cihazın 5 dakika çalıştırılması		0,1 A ve 5 V ile cihazın 15 dakika çalıştırılması		0,1 A ve 5 V ile cihazın 30 dakika çalıştırılması	
1.Deneme	0,498	1.Deneme	1,501	1.Deneme	3,5
2.Deneme	0,5	2.Deneme	1,5	2.Deneme	3,5
3.Deneme	0,5	3.Deneme	1,493	3.Deneme	3,503
4.Deneme	0,5	4.Deneme	1,499	4.Deneme	3,513
5.Deneme	0,502	5.Deneme	1,50	5.Deneme	3,499
Ortalama	0,5	Ortalama	1,4986	Ortalama	3,503

Dezenfeksiyon deneylerine başlamadan önce 4 adet steril 2 litrelik beher hazırlanmıştır. Beherlerden biri kontrol amacıyla bakır iyonu içermemektedir. Diğer 3 behere iyonizasyon cihazının elektrodu konularak 0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L bakır konsantrasyonu elde edecek sürede iyonizasyon gerçekleştirilmiştir. İyonizasyon süresi boyunca manyetik balık yardımı ile karıştırma sağlanmıştır.

Daha sonra kontrol ve 0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L bakır içeren beherlere 10^6 CFU/100 ml olacak şekilde 1 ml bakteri steril pipet yardımı ile aşılanmıştır. 2-3 saniye kadar karışma işlemi gerçekleştirildikten sonra beklemeye bırakılmıştır. 0,5., 1., 5., 10., 15., 30., 45. ve 60. dakikalarda alınan örneklerde bakteri sayımı yapılarak dezenfeksiyon verimliliği belirlenmiştir. Ayrıca her bir temas süresi sonunda mikrobiyal aktivite kontrolü lüminometrik ATP ölçümü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol beherinde aşı ilavesinden hemen sonra ve toplam dezenfeksiyon süresinin sonunda bakteri sayıları ölçülmüştür.

Dezenfeksiyon işlemi üç bakteri için iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bakır iyonları ile dezenfeksiyon deneyi

3.2.8. Bakır İyonlarının Belirlenmesi

Suların elektrolitik bakır iyonizasyonu ile dezenfeksiyonunda *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterilerinin bakır iyonları ile inaktivasyonunun incelenmesi amacıyla bakır iyonizasyon cihazı kullanılarak içme suyunda farklı temas sürelerinde farklı bakır iyonu konsantrasyonları elde edilmiştir. Elde edilen bakır iyonu konsantrasyonları Şekil 3.5'te gösterilen Mikroplazma Atomik Emisyon Spektrometresi ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Mikroplazma atomik emisyon spektrometresi MP-AES 4100 Agilent cihazı

3.2.9. Bakteri Sayılarının Belirlenmesi

Escherichia coli, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterilerinin sayılarının belirlenmesi için membran filtrasyon yöntemi kullanılmıştır. Temas süreleri sonunda alınan su örneklerine nötralizasyon çözeltisi eklenmiştir. %14,6 sodyum tiyosülfat ve %16 sodyum tiyoglikolat çözeltilerinden oluşan nötralizasyon çözeltisi bakteri sayısının belirlenmesinde inkübasyon süresince daha fazla dezenfeksiyonun gerçekleşmesine engel olmaktadır (Lin ve ark. 1996).

Bu amaçla, öncelikle membran filtrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Filtre desteği ve üzerindeki huni, bek alevinden geçirilerek steril edilmiştir. Daha sonra alevden geçirilmiş ve alkolle sterilize edilen bir pens yardımıyla koruyucusundan çıkartılan steril membran filtre, filtre desteği üzerine yerleştirilmiştir. Cihazın kirli su çıkışı bir erlene tıpa yardımıyla sabitlenmiştir. Huni yerine yerleştirilmiş ve çalışılacak örnek huni içerisine konulmuştur. Vakum pompası çalıştırılarak, musluk açılmış ve bakteri sayısı belirlenecek 100 ml su örneği filtre edilmiştir. İşlem tamamlandıktan sonra bek alevinden geçirilen bir pens yardımıyla membran filtre alınıp, analizi yapılacak mikroorganizma için uygun besiyerini içeren petri kaplarına dikkatlice yerleştirilmiş ve petri kaplarının kapakları kapatılmıştır. Besiyerleri ters

çevrilmeden inkübatöre kaldırılmış ve uygun sıcaklık ve sürede inkübe edilmiştir. Bu işlemler her bir seyreltme için çift paralelli uygulanmıştır. Yapılan her işlemde cihaz sterilize edilmiştir.

Petriler *Escherichia coli* için 37,5°C'de 48 saat inkübe edildikten sonra mavi menekşe rengindeki mFC besiyeri üzerindeki filtre kağıdında çoğalan mavi koloniler sayılmıştır. *Pseudomonas aeruginosa* için 35°C'de 24 saat inkübasyon sonunda pembe kırmızı mPA agar üzerindeki filtre kağıdında çoğalan şeffaf koloniler sayılmıştır. *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 için kırmızı renkli mannitol salt agar besiyeri üzerindeki filtreden gelişen beyaz koloniler sayılmıştır. Belirlenen sayı seyreltme faktörü yardımı ile aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{CFU/100 ml} = \frac{\text{Koloni sayısı} * \text{Seyreltme faktörü}}{\text{Hacim(100 ml)}} \quad (3.1.)$$

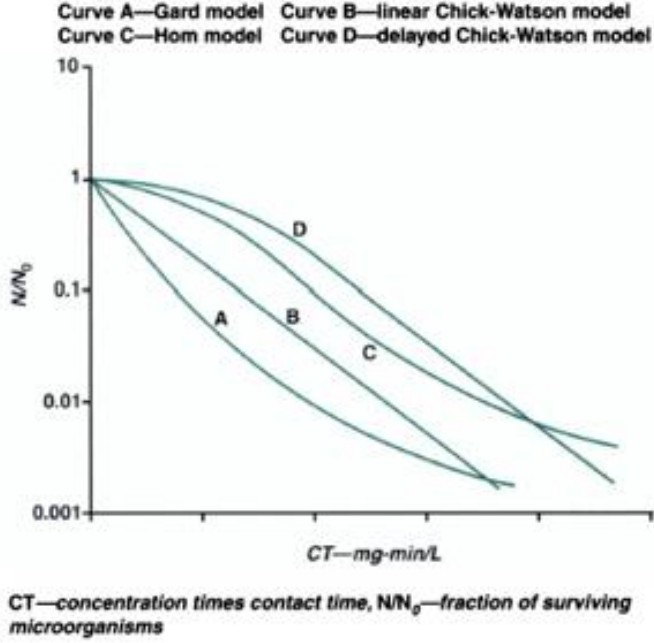
3.2.10. İnaktivasyon Katsayısının (k) Hesaplanması

Belirli bir organizmanın bir dezenfektan tarafından etkisiz hale getirilmesi çalışmalarında en yaygın kullanılan model, canlı mikrobiyal sayıdaki düşüş oranını, dezenfektan konsantrasyonuna göre azalan birinci dereceden oran ifadesi olarak belirleyen Chick-Watson modelidir. dN / dt ifadesi, N'nin (canlı veya bulaşıcı organizmaların sayısı) t (zaman) üzerindeki değişim oranını belirtir (Najm 2019).

Ancak bu çalışmada elde edilen deneysel veriler Chick modeline uyum sağlamamaktadır. Bu nedenle inaktivasyon verimliliğini en iyi yansıtan Gard modeli kullanılmıştır. (Montgomery 1985).

Çalışmada elde edilen veriler değerlendirilip inaktivasyon grafiği çizildiğinde Chick-Watson modelinde olduğu gibi bir lineerlik olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.6'da bazı inaktivasyon kinetikleri modellerinin eğrileri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Najm 2019). Çalışmada

elde edilen veriler Gard modelinin eğrisine uygunluk gösterdiği için Gard modeli ile inaktivasyon sabitleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Sıklıkla karşılaşılan inaktivasyon eğrileri (Najm 2019)

Bu modele göre, organizmaların inaktivasyonu, aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi düşüş oranını takip eder (Najm 2019):

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{kN}{1 + a(Ct)} \quad (3.2)$$

N = Zamana bağlı canlı organizma konsantrasyonu ($t = t_0$ iken $N = N_0$)

C = Dezenfektan konsantrasyonu

k = İnaktivasyon katsayısı

a = Oran katsayısı

t = Temas süresi

$$N / N_0 = [1 + a * (Ct)]^{-k/a} \quad (3.3)$$

$$\text{Log} (N / N_0) = - [(k * Ct) / (1 + a * Ct)] \quad (3.4)$$

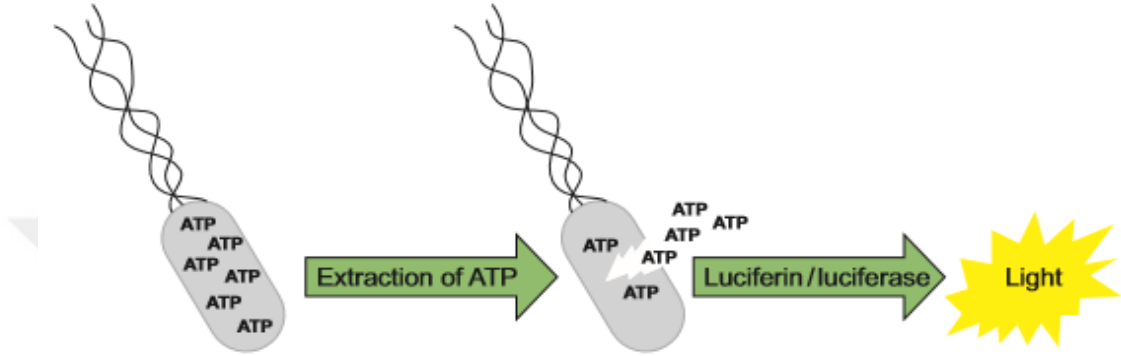
Formüldeki a ve k katsayıları SPSS istatistik programında non-linear regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Ct değeri her veri noktası için C (dezenfektan konsantrasyonu) ve t (temas süresi) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.11. Lüminometrik ATP Ölçümü

ATP ve diğer nükleotidlerin ölçümünde biyoluminesans yöntemleri, kromatografik yöntemler, floresan yöntemleri, sensörler, spektrofotometrik yöntemler ve elektrokimyasal yöntemler kullanılmaktadır (Khlyntseva ve ark. 2009).

Kromatografik yöntemler (iyon değiştirme, ters faz veya iyon çifti ters fazlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve ince tabaka kromatografisi) bir karışımdaki nükleotidlerin eş zamanlı tespiti için kullanılabilir. Flüoresan, nükleotidlerin kromatografik belirlenmesinde bir algılama tekniği olarak kullanılmakla birlikte ayrı bir analitik teknik olarak da kullanılabilir. Ayrıca, mikro molar aralıkta ATP'yi tespit edebilen immobilize lüsiferazlı çeşitli sensörler geliştirilmiştir (Khlyntseva ve ark. 2009). Biyoluminesan, bir enzim katalizli biyokimyasal tepki ile uyarılan bir biyolojik sistemdeki ışığın emisyonudur (Leitão ve ark. 2010). ATP'nin saptanması için en yaygın yöntem ateşböceği lüsiferaz enzimini kullanan biyoluminesans yöntemidir. Bu yöntem Luc deneyi olarak da adlandırılır. Luc testi, yüksek hassasiyeti (10-14 M ATP), seçiciliği ve nispeten kolay kullanımı açısından avantajlıdır. Diğer adenin nükleotidleri olan ADP ve AMP, adenilat kinaz (ADK) ve piruvat kinaz ile ATP'ye dönüştürülerek belirlenebilir ve daha sonra lüsiferin / lüsiferaz ile standart reaksiyon ile belirlenir (Khlyntseva ve ark. 2009). Hücresel ATP'nin tayini için kullanılan Luc deneyinin dayandığı temel esaslar aşağıdaki gibidir (Şekil 3.7):

1. ATP'nin ekstraksiyonu (örneğin, reaktif ile hücre lizizi, ısıl işlem)
2. Lusiferin / lusiferaz ile reaksiyon (biyolüminesans)
3. Işık emisyonu ölçümü bir foto-çoğaltıcı.



Şekil 3.7. ATP'nin belirlenmesi için Luc tayini, 1) hücrelerden ATP'nin ekstraksiyonu, 2) luciferase / luciferase ile reaksiyon ve 3) biyolüminesans ölçümü (Khlyntseva ve ark. 2009).

Ham su ve bakır iyonları ile dezenfekte edilmiş su örneklerindeki bakteriyel ATP miktarı lüminometre yardımı ile ölçülmüştür.

9 adet steril 50 ml'lik şişelere steril 0,5 ml nötralizasyon çözeltisi (% 14,6 sodyum tiyosülfat ve % 16 sodyum tiyoglikolat sodyum tiyosülfat) eklenmiştir. 0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L bakır ile dezenfeksiyon yapılan 2 litrelik su örneklerinden dezenfeksiyonun 0,5., 1., 5., 10., 15., 30., 45. ve 60 dakikalarında alınan örnekler hazırlanan şişelere aktarılmıştır. Ayrıca bakır iyonu içermeyen kontrol örneğinden de başlangıçta örnek alınarak nötralizasyon çözeltisi içermeyen 50 ml lik şişeye konulmuştur. Daha sonra ATP ölçümü için her bir şişeden Eppendorf tüpüne 2 ml aktarılmıştır. Termal bloğun sıcaklığı 37-38°C'ye ayarlanmıştır. İstenen sıcaklığa ulaşan termal bloğa bir eppendorf tüpleri yerleştirilmiştir. Önceden termal blok içine konulmuş olan ATP standartları ile aynı sıcaklığa gelmesi için 7-8 dakika kadar beklenmiştir. Daha sonra örneğin bulunduğu eppendorf tüpünden alınan 450 µL örnek 50 µL ATP standardının olduğu tüpe eklenmiş, 20 saniye inkübasyon için beklenmiş ve lüminometre de hızlıca ölçümü yapılmıştır. Bu işlem üç paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Bakteriyel ATP'nin belirlenmesi için ayrıca tüm su örnekleri 0.1µm gözenek çapına sahip

şırınga tipi filtreden geçirilmiştir. Böylelikle bakteriler ayrılmış ve filtrelenmiş suda serbest ATP ölçülmüştür. Toplam ATP ve serbest ATP arasındaki fark hesaplanarak bakteriyel ATP miktarı belirlenmiştir. Diğer dezenfeksiyon sürelerinde alınan örneklere de aynı prosedür uygulanarak ATP ölçümleri tamamlanmıştır. ATP ölçümünün yapıldığı düzenek Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

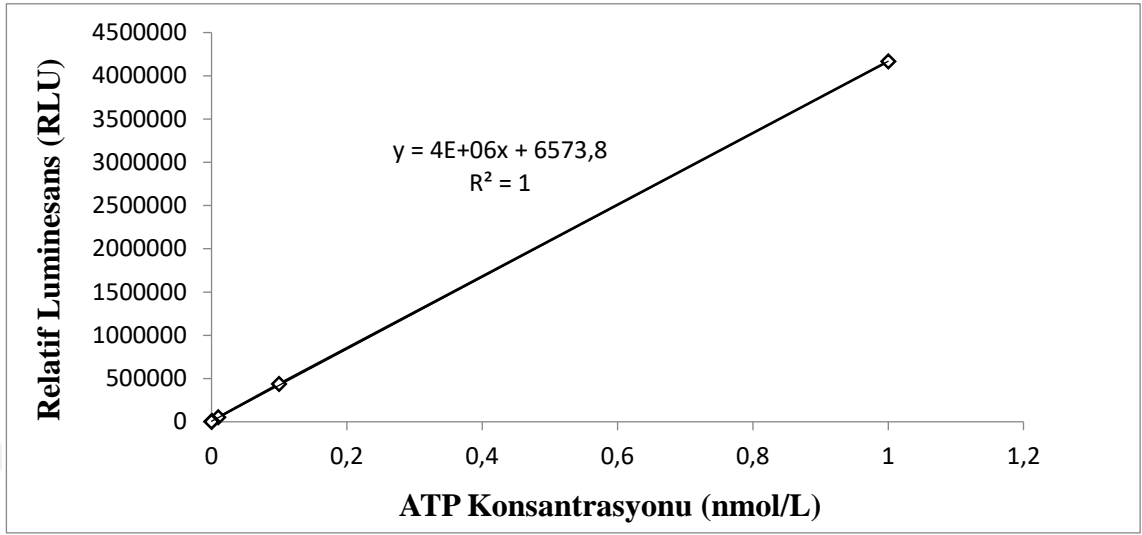


Şekil 3.8. ATP ölçümü

ATP değerlerinin hesaplanması için hazırlanan ATP standardının artan konsantrasyonlarının çizelge 3.3’de gösterilen relatif luminesans değerlerinden elde edilen grafik kullanılır (Şekil 3.9).

Çizelge 3.3. ATP standart serisinin ölçülen relatif luminesans değerleri

ATP Miktarı (nmol/L)	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0
Relatif Luminesans (RLU)	4167174	435415	51145	6255	2408	1322



Şekil 3.9. ATP standart serisinin relatif luminesans değerleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona pH'ın Etkisi

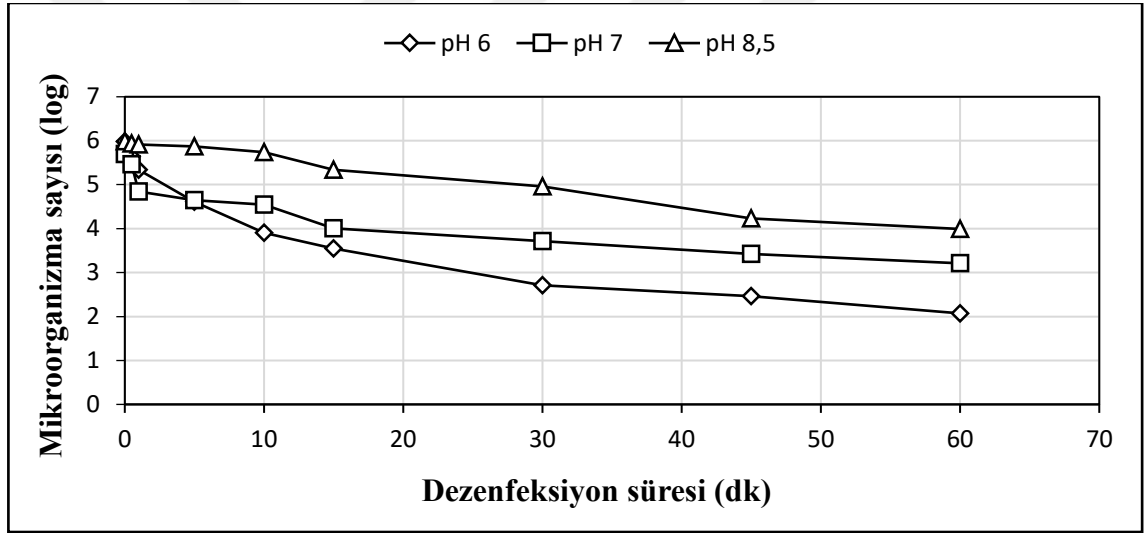
Suyun pH değerinin bakır iyonları ile dezenfeksiyona olan etkisinin belirlenebilmesi için tek bakır iyonu konsantrasyonu (0,5 mg/L), tek bakteri türü (*Escherichia coli*) ve üç pH değeri (6, 7 ve 8,5) seçilmiştir. pH değeri seçilirken içme ve kullanma suyu pH aralığı göz önünde bulundurulmuştur. Farklı pH değerine sahip suların 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonu sonrasında elde edilen *Escherichia coli* bakteri sayıları EK 1'de verilmiştir.

Farklı pH değerine sahip suların bakır iyonları ile dezenfeksiyonu sonrasında *Escherichia coli* bakterisinin log değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

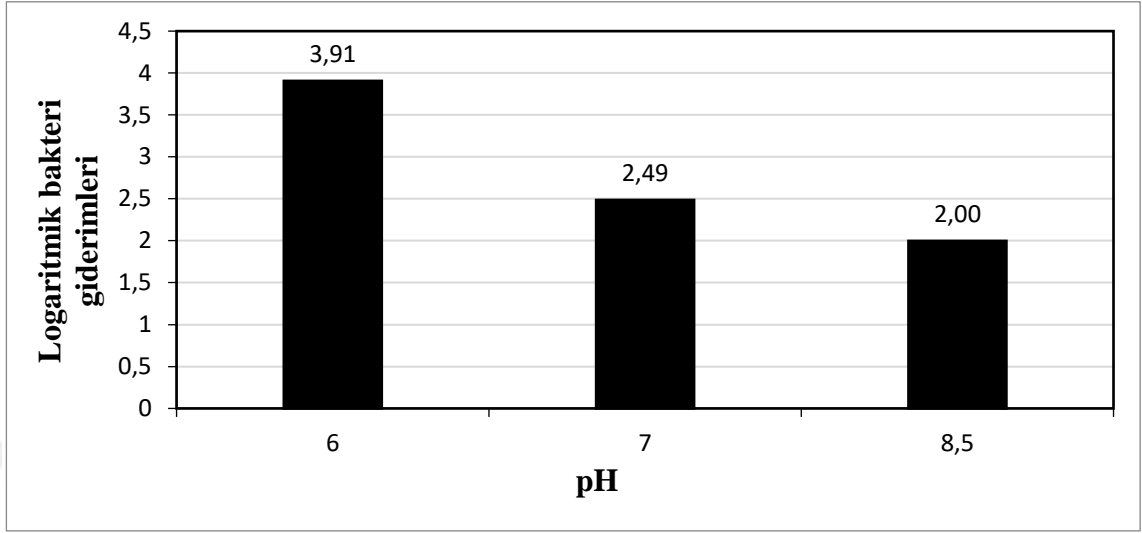
Şekilde görüldüğü üzere bakteri sayısı, farklı pH'a sahip üç su örneğinde zamana bağlı olarak azalmıştır. Ancak giderim oranları farklılık göstermektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde; *Escherichia coli* bakterisinin pH 6 değerinde 5,98 log'dan 2,07 log'a düşerek 60 dakika temas süresi sonunda toplamda 3,91 log azaldığı görülmektedir. pH 7'de başlangıçtaki log bakteri sayısı 5,70'ten 3,21'e düşerek 2,49 log azalmıştır. pH 8,5 değerinde ise bakteri sayısı 5,99'dan 3,99'a düşerek 2 log azalmıştır. Şekil 4.2'de, üç pH değerinde meydana gelen logaritmik bakteri giderimleri görülmektedir. Bu durum bakır iyonlarının düşük pH değerine sahip sularda daha etkin olduğunu, pH değeri yükseldikçe bakır iyonlarının dezenfeksiyon etkisinin azaldığını göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalar da suyun pH değerinin bakır-gümüş iyonlaşmasının biyosidal etkinliğini etkileyebildiğini göstermektedir (Anonim 2006, Bedford 2012, Lin ve ark. 2002). Mikroorganizmaların iyonlaşma yoluyla yok edilmesi, çözüner (aktif) iyon kompleksinin bakteriyel hücre duvarlarına bağlanması ile gerçekleşmektedir. Bakır komplekslerinin çözünlülüğü pH arttıkça azaldığından dolayı; pH değeri yükseldikçe, çözüner (aktif) bakır iyonlarının dezenfeksiyon etkisi azalmaktadır (Lin ve ark. 2002). 7,5'tan yüksek olan pH değerinde, toksik olan serbest Cu^{+2} iyonu konsantrasyonunun, artan bakır konsantrasyonlarıyla orantılı olarak azaldığı belirtilmektedir (Anonim 2006, Lin ve ark. 2002). Yüksek pH'ta, serbest bakır iyonlarının hidroksil ve

karbonat iyonları ile kompleksleşmeleri artmaktadır. Serbest Cu^{+2} iyonunun azaltılması, bakırın biyosidal aktivitesinin azalmasına neden olmaktadır.

Bakır ve gümüş iyonunun etkinliği sadece pH'a değil, aynı zamanda suyun tüm kimyasal bileşimine ve eğer içme suyu ise suyun taşındığı boruların kimyasal bileşimine de bağlıdır. Yapılan çalışmalar, bakır borularda bakır iyonlarının etkinliğinin suyun pH değeri 9'un üzerine çıktığında azaldığını, plastik borularda ise 8,6'nın üzerine çıktığında azaldığını göstermektedir (Walveren ve ark. 2016, Lin ve ark. 2002).



Şekil 4.1. Farklı pH'a sahip suların bakır iyonları ile dezenfeksiyonu sonrasında bakteri sayısının değişimi

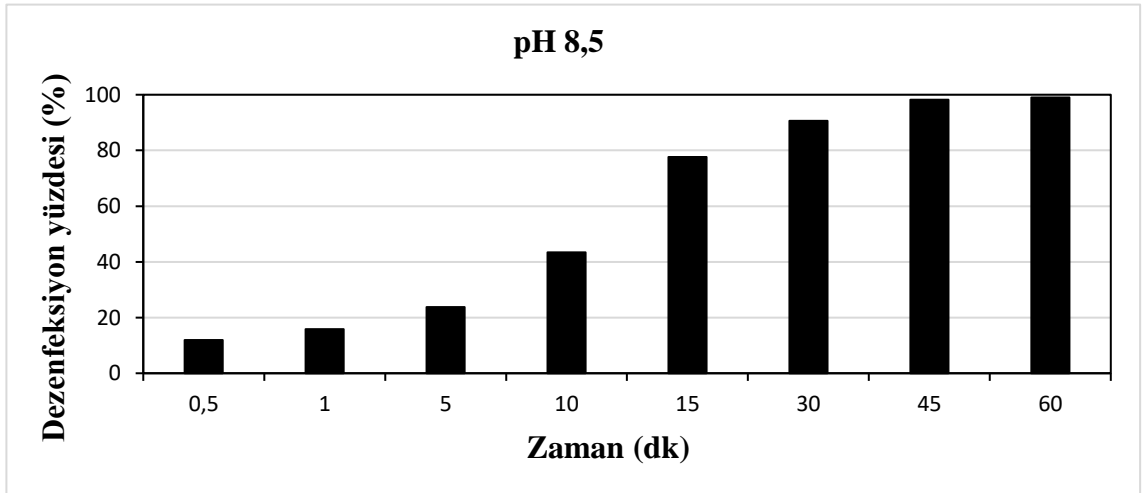
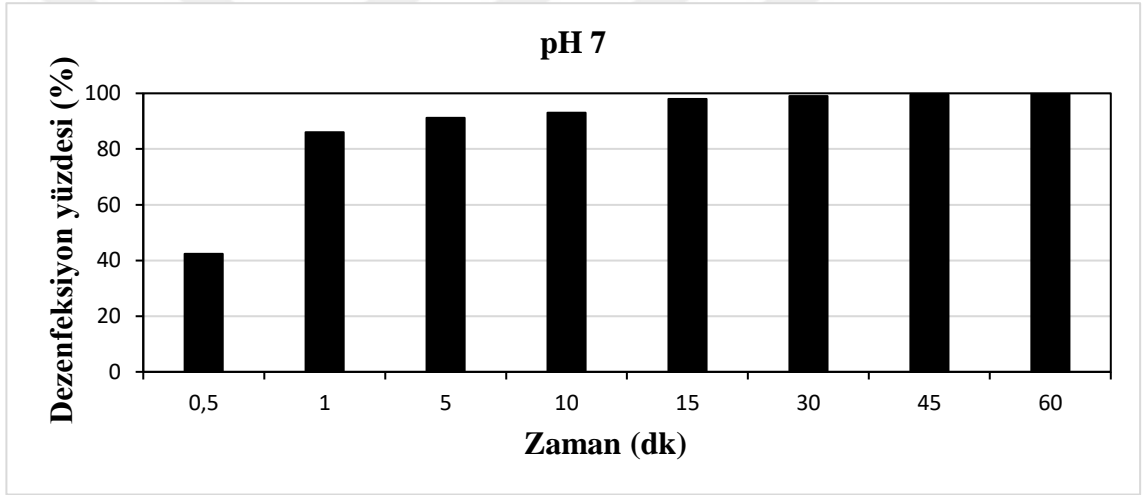
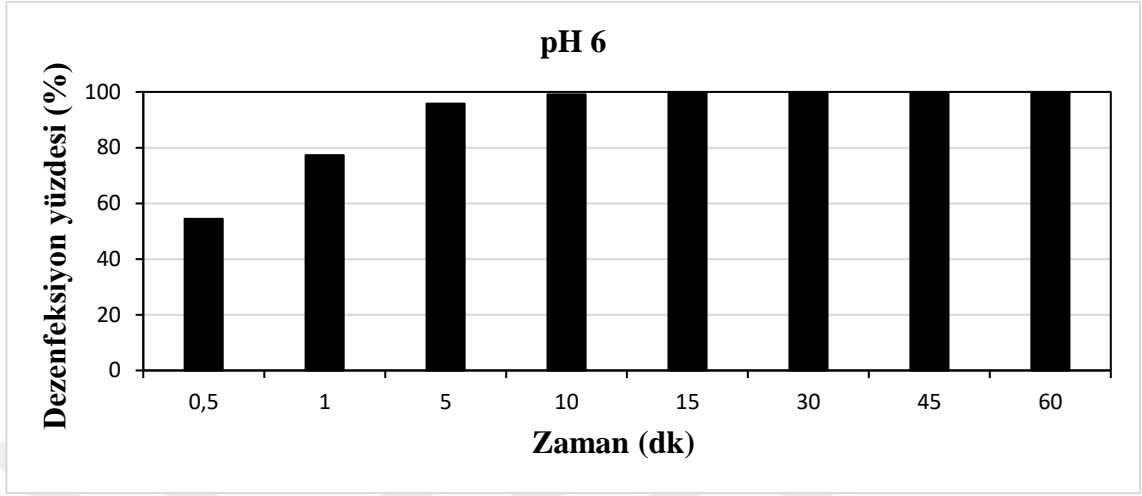


Şekil 4.2. Farklı pH'a sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen *Escherichia coli* giderimleri

Şekil 4.3'te farklı pH değerlerinde ve temas sürelerinde gerçekleşen *Escherichia coli*'nin dezenfeksiyon yüzdeleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, suyun pH değerinin 6 olması durumunda *Escherichia coli* ilk 1 dakika içinde %77 oranında inaktive olmuştur ve 10. dakika sonunda %99 giderimi sağlanmıştır. Suyun pH değerinin 7 olması durumunda dezenfeksiyon için gereken süre biraz daha artmış ve ancak 45 dakika sonunda %99 bakteri giderimine ulaşılmıştır. Çalışılan en yüksek değer olan pH'ın 8,5 olması durumunda ise 60 dakika sonunda henüz %99 bakteri giderimi sağlanamamıştır. Bu durum suyun pH değeri arttıkça bakteri giderimi için gerekli olan sürenin de arttığını göstermektedir. Suyun pH değerinin artışı dezenfeksiyon verimini olumsuz etkilemektedir.

7,5'tan yüksek olan pH değerinde, toksik olan serbest Cu+2 iyonu konsantrasyonunun, artan Cu konsantrasyonlarıyla orantılı olarak azaldığı belirtilmektedir (Anonim 2006, Lin ve ark. 2002). Yüksek pH'ta, serbest bakır iyonlarının hidroksil ve karbonat iyonları ile kompleksleşmeleri artmaktadır. Serbest Cu iyonunun azaltılması, bakırın biyosidal aktivitesinin azalmasına neden olmaktadır.

Benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalardan da elde edilmiştir. Lin ve ark (2002) yaptıkları çalışma ile sudaki pH değerinin 7 ve 9 olması durumlarında bakır iyonlarının *Legionella pneumophila* üzerindeki bakterisidal etkisini 0,4 mg/L bakır konsantrasyonu kullanarak test etmişlerdir. pH 9 değerine sahip suya bakır iyonizasyonu ile 0,4 mg/L bakır iyonu uygulandığında, 72 saat sonunda istenilen *Legionella pneumophila* inaktivasyonu gerçekleşmemiştir. Suyun pH'ı 7'ye düşürüldüğünde, 0,4 mg/L bakır konsantrasyonu ile 1,5 saat sonunda *Legionella pneumophila* inaktivasyonu sağlanmıştır. Bakır iyonlarının pH 9'daki *Legionella pneumophila* üzerindeki bakterisidal etkisi testi, yeterli dezenfeksiyon için önerilen konsantrasyondan 10 kat daha yüksek olan 4 mg/L bakır konsantrasyonu ile yapılmıştır. Benzer şekilde, pH 9'da 4 mg/L bakır iyonu ile 72 saat içinde hedeflenen *Legionella pneumophila* inaktivasyonu sağlanamamıştır. Bu sonuçlar, pH'ın su sistemlerinde bakır iyonizasyonunun etkinliğinde önemli bir faktör olabileceğini göstermektedir.

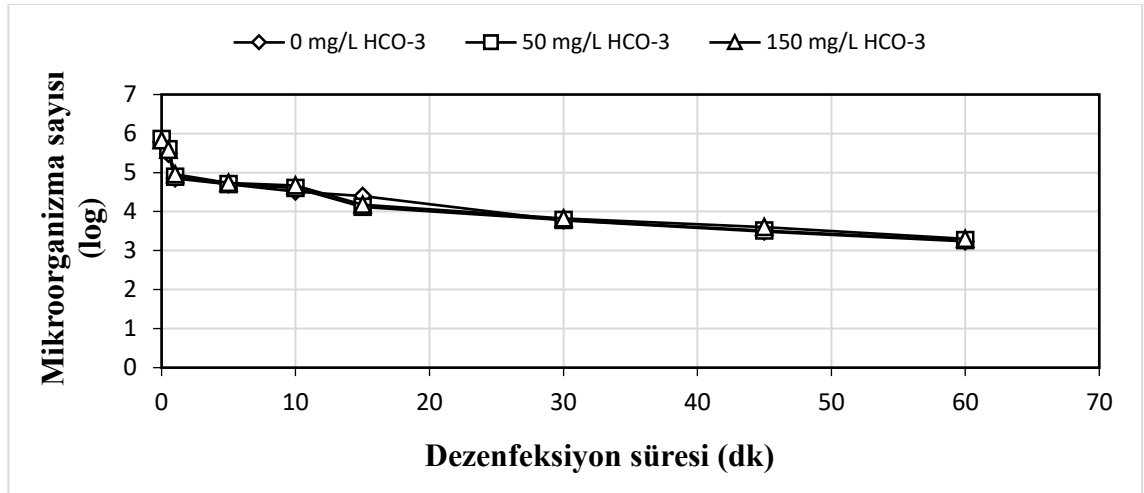


Şekil 4.3. Farklı pH'a sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli* giderim yüzdeleri

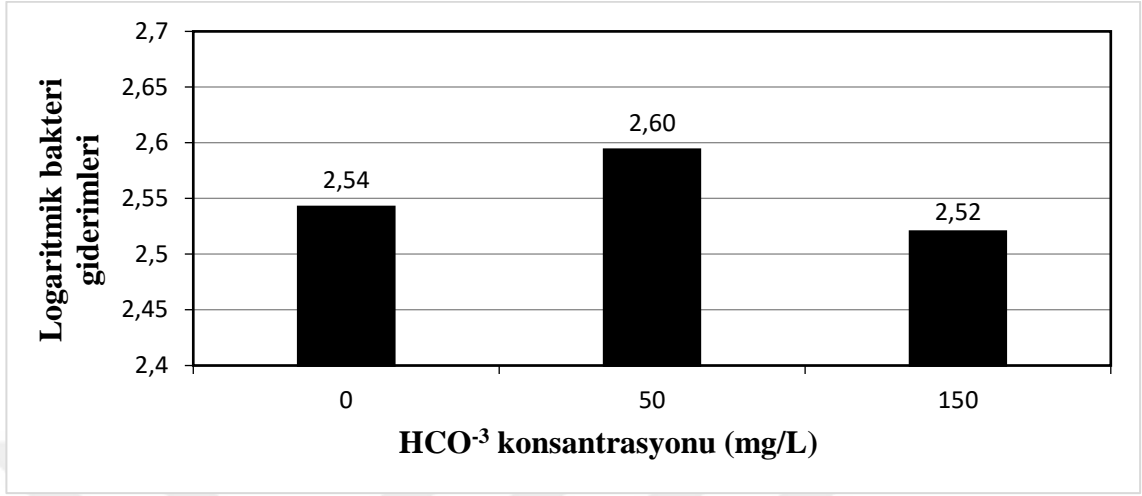
4.2. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona Bikarbonat Konsantrasyonunun Etkisi

Bakır iyonları ile dezenfeksiyonda suda bulunan bikarbonat iyonlarının dezenfeksiyon verimliliğine olan etkisinin belirlenebilmesi için tek bakır iyonu konsantrasyonu (0,5 mg/L), tek bakteri türü (*Escherichia coli*) ve üç bikarbonat değeri (0, 50 mg/L ve 150 mg/L) seçilmiştir. Farklı bikarbonat iyonuna sahip suların 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonu sonrasında elde edilen *Escherichia coli* bakteri sayıları EK 2’de verilmiştir.

Şekil 4.4’te artan bikarbonat konsantrasyonlarında *Escherichia coli* sayısının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere üç farklı konsantrasyonda bikarbonat iyonu içeren suların dezenfeksiyonunda elde edilen giderim miktarları birbirine benzerlik göstermektedir. 0, 50 mg/L ve 150 mg/L bikarbonat iyonu içeren sularda 60 dakika temas süresi sonunda, bikarbonat içermeyen suda 2,54 log, 50 mg/L bikarbonat iyonu içeren suda 2,60 log, 150 mg/L bikarbonat iyonu içeren suda 2,52 log bakteri giderimi meydana gelmiştir (Şekil 4.5).

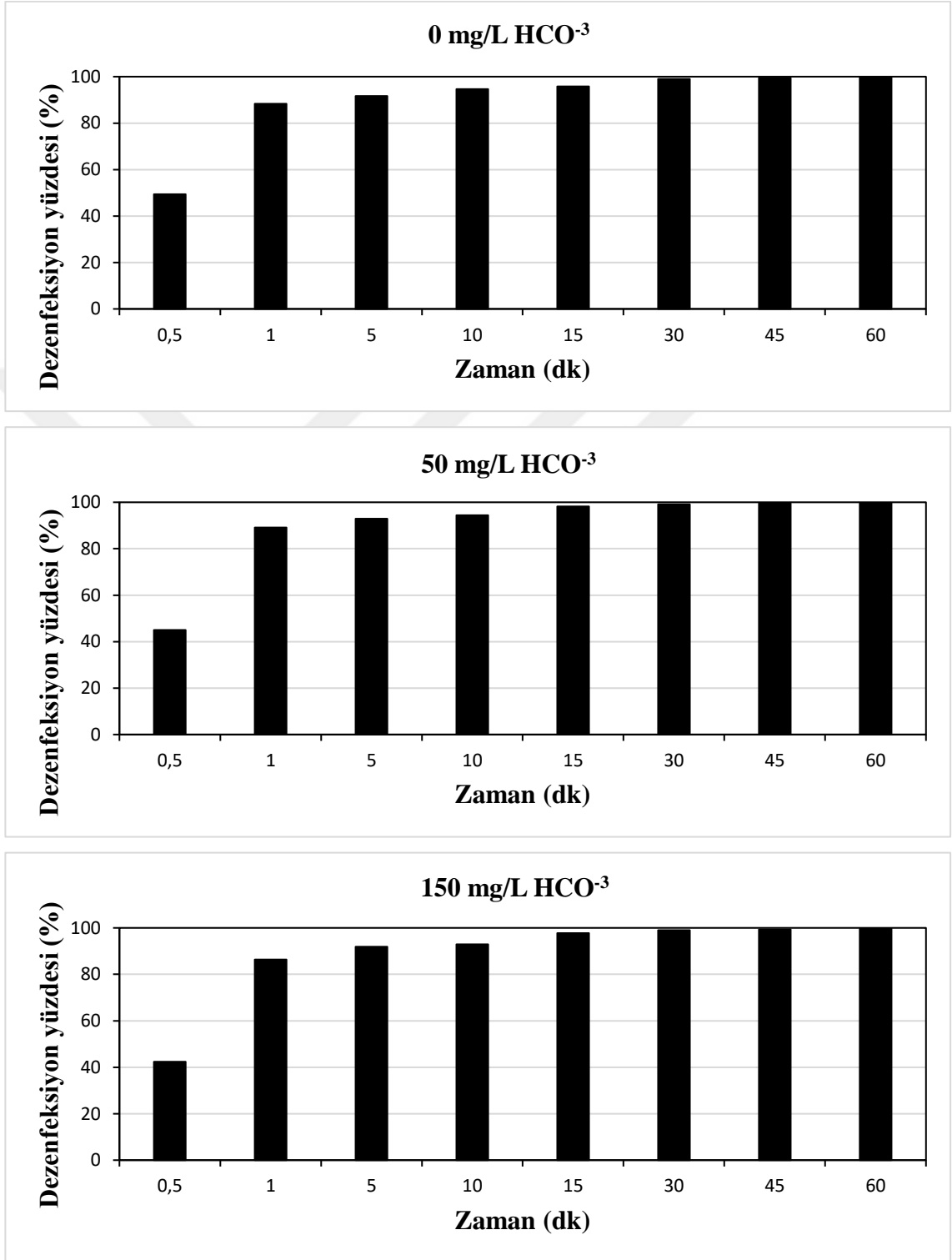


Şekil 4.4. *Escherichia coli* bakterisinin giderimine bikarbonatın etkisi



Şekil 4.5. Farklı bikarbonat iyonuna sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen *Escherichia coli* giderimleri

Şekil 4.6’da ise tüm bikarbonat iyonu konsantrasyonlarında zamana bağlı *Escherichia coli* giderim yüzdeleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere üç konsantrasyonda da ilk 1 dakikada %86-%89 giderim meydana gelmiştir. 60 dakika sonunda ise 0, 50 ve 150 mg/L bikarbonat iyonu konsantrasyonlarında sırasıyla %99,71, %99,75 ve %99,70 *Escherichia coli* giderimi sağlanmıştır. Bu durum, bakır iyonları ile dezenfeksiyonda bikarbonat iyonu varlığının önemli bir etkisi olmadığını işaret etmektedir. Lin ve ark. (2002), bakır-gümüş iyonizasyonunun, hastanelerin sıcak su sistemlerinde bulunan *Legionella pneumophila*’nın inaktivasyonuna pH’ın, suda bulunan bikarbonat iyonlarının, suyun sertliğinin ve çözünmüş organik karbon değerinin etkisini araştırdıkları çalışmada 3×10^6 CFU/ml *Legionella pneumophila* başlangıç konsantrasyonu, 0,4 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ve 0,08 mg/L gümüş iyonu konsantrasyonu kullanmışlardır. Çalışma sonunda bikarbonat iyonunun (50, 100 ve 150 mg/L) nötr pH’da %95 güven aralığında *Legionella pneumophila* inaktivasyonunda bakır ve gümüş iyonlarının etkinliği üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir.

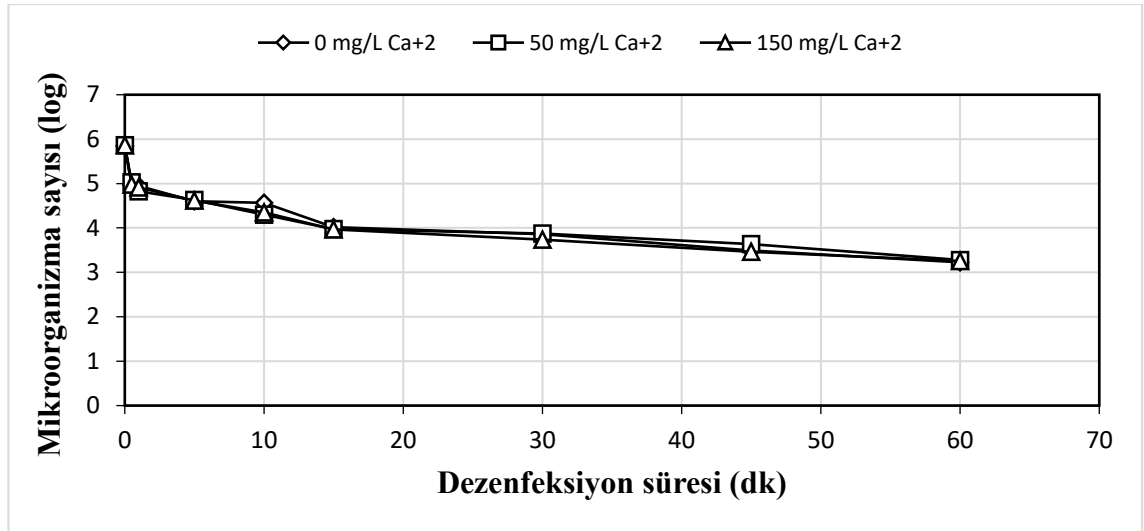


Şekil 4.6. Farklı bikarbonat iyonuna sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli* giderim yüzdeleri

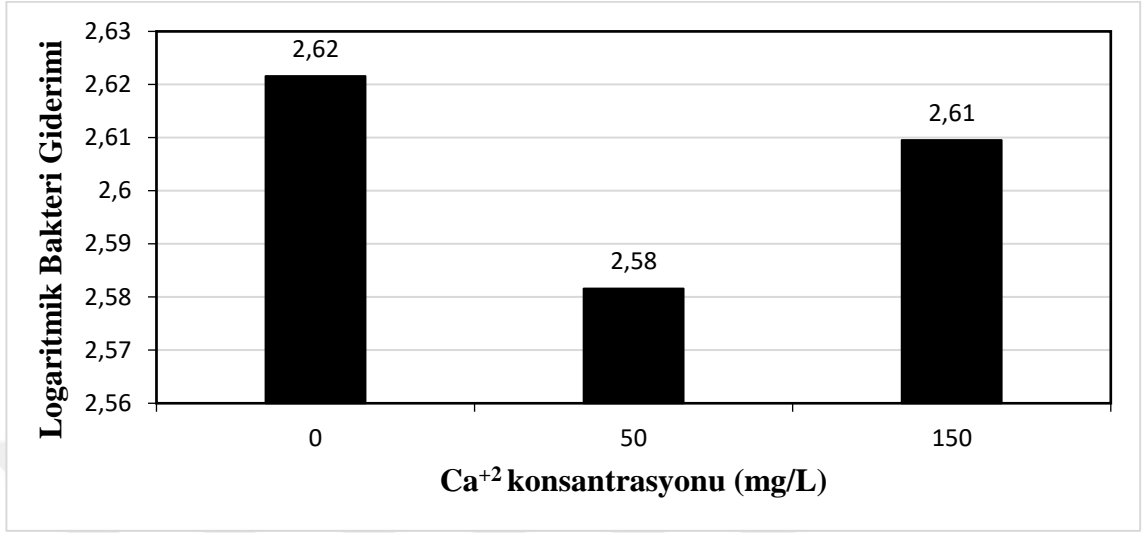
4.3. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyona Sertliğin Etkisi

Bakır iyonları ile dezenfeksiyonda suyun sertliğinin dezenfeksiyon verimliliğine olan etkisinin belirlenebilmesi için farklı Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliklerine sahip su örneklerinde dezenfeksiyon denemeleri yapılmıştır. Farklı Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonlarına sahip sulardaki *Escherichia coli* 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfekte edilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeren suların dezenfeksiyonu sonrasında bakteri sayıları ekte verilmiştir (EK 3).

Şekil 4.7’de farklı Ca^{+2} konsantrasyonlarında *Escherichia coli* sayısının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere üç farklı konsantrasyonda Ca^{+2} iyonu içeren suların dezenfeksiyonunda elde edilen giderim miktarları birbirine benzerlik göstermektedir. 0, 50 ve 150 mg/L Ca^{+2} sertliği içeren sularda 0,5. dakika sonunda büyük oranda bakteri giderimi gerçekleşmiştir. 60 dakika temas süresi sonunda Ca^{+2} içermeyen suda 2,62 log, 50 mg/L Ca^{+2} iyonu içeren suda 2,58 log, 150 mg/L Ca^{+2} iyonu içeren suda 2,61 log giderim meydana gelmiştir (Şekil 4.8).

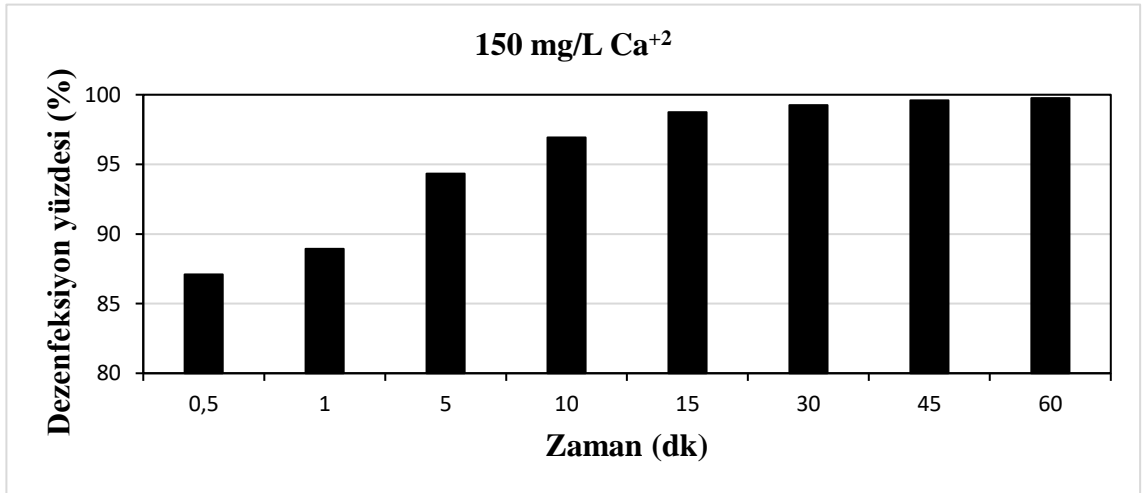
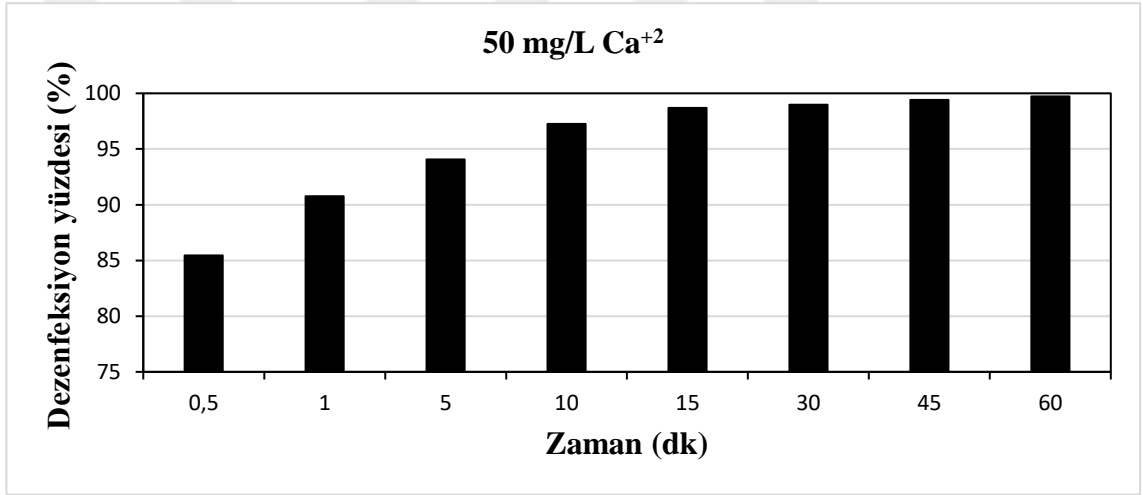
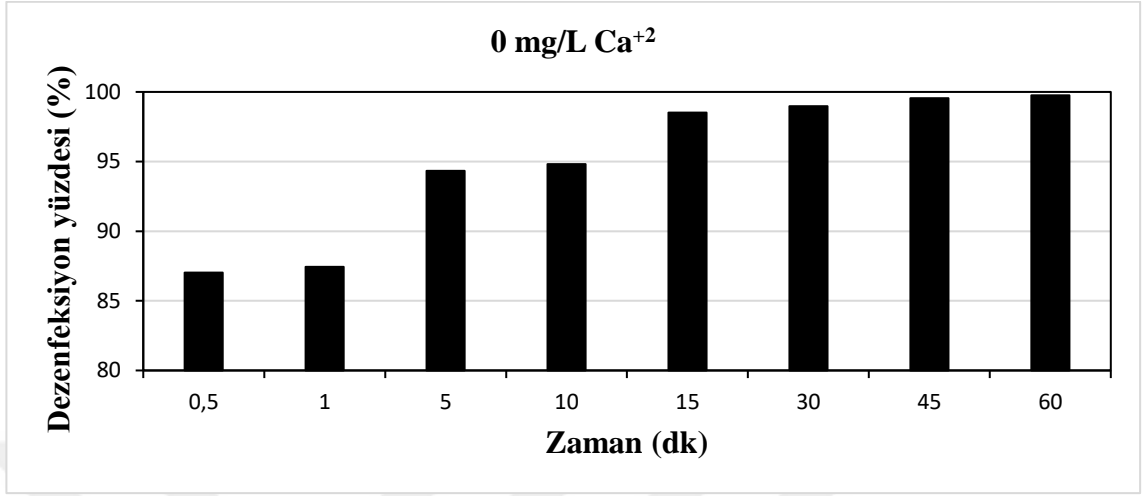


Şekil 4.7. Bakır iyonları ile dezenfeksiyona Ca^{+2} İyonunun Etkisi



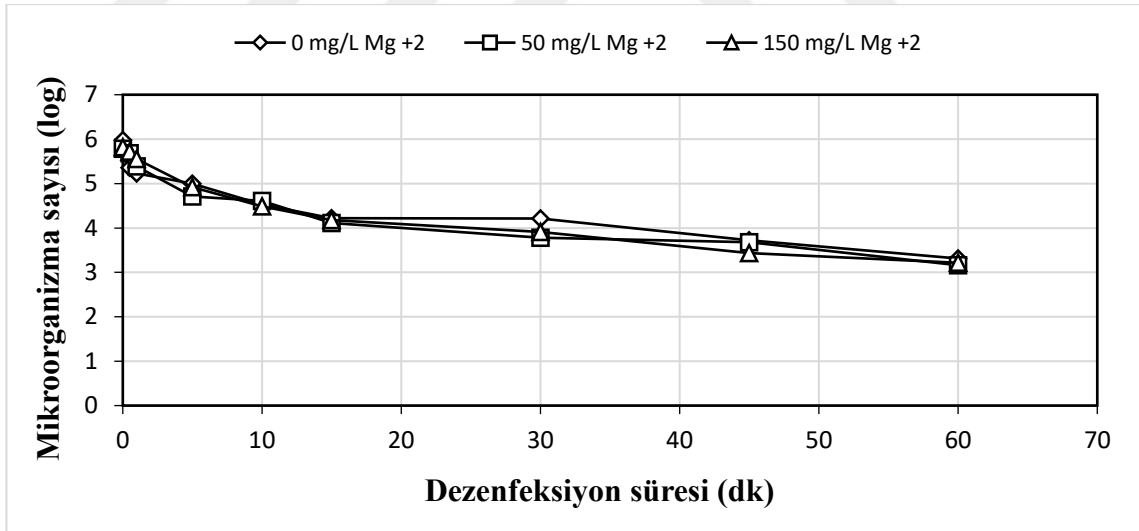
Şekil 4.8. Farklı Ca²⁺ sertliğine sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen *Escherichia coli* giderimleri

Şekil 4.9’da ise tüm Ca²⁺ iyonu konsantrasyonlarında zamana bağlı *Escherichia coli* giderim yüzdeleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere üç konsantrasyonda da ilk 0,5 dakikada %85-%87 giderim meydana gelmiştir. 60 dakika sonunda ise 0, 50 ve 150 mg/L Ca²⁺ iyonu konsantrasyonlarında sırasıyla %99,76, %99,74 ve %99,75 *Escherichia coli* giderimi sağlanmıştır. Bu durum, bakır iyonları ile dezenfeksiyonda Ca²⁺ sertliğinin önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir.

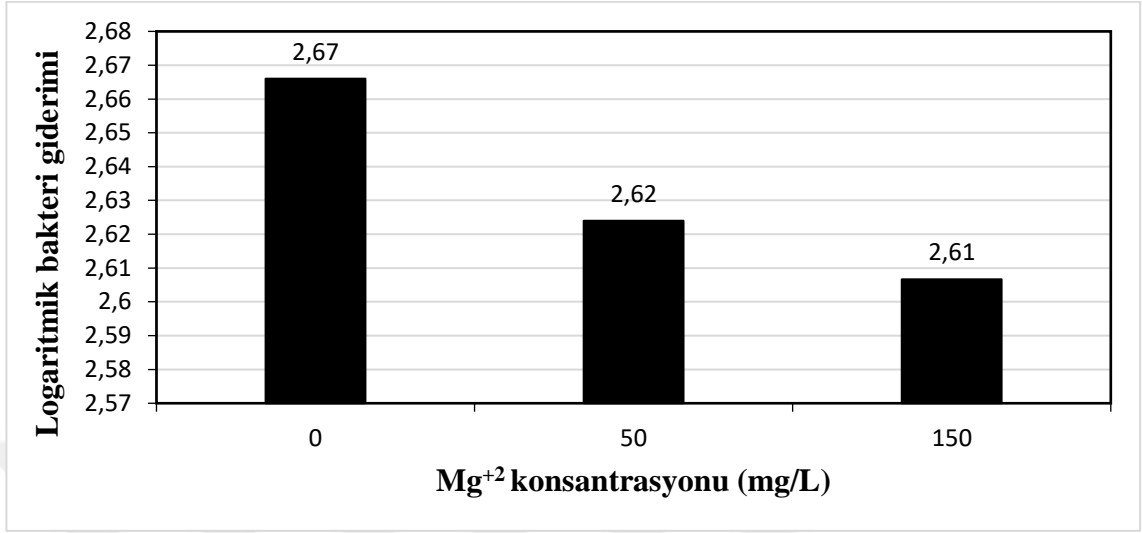


Şekil 4.9. Farklı Ca²⁺ sertliğine sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli* giderim yüzdeleri

0,5 mg/L bakır konsantrasyonu ve *Escherichia coli* ile yapılan dezenfeksiyon deneylerinde Mg^{+2} sertliğinin değişimine bağlı olarak bakteri sayılarının değişimi şekil 4.10'da gösterilmektedir. Şekilden de anlaşıldığı üzere üç farklı konsantrasyonda Mg^{+2} iyonu içeren suların dezenfeksiyonunda elde edilen giderim miktarları birbirine benzerlik göstermektedir. 0, 50 mg/L ve 150 mg/L Mg^{+2} sertliği içeren sulara 60 dakika temas süresi sonunda Mg^{+2} içermeyen suda 2,67 log, 50 mg/L Mg^{+2} iyonu içeren suda 2,62 log, 150 mg/L Mg^{+2} iyonu içeren suda 2,61 log giderim meydana gelmiştir (Şekil 4.11). Bu durum sudaki Mg^{+2} iyonu arttıkça *Escherichia coli* gideriminin çok küçük oranda değiştiğini göstermektedir. Ancak genel olarak çok küçük miktarlar olması nedeniyle *Escherichia coli*'nin bakır iyonları ile dezenfeksiyonunda Mg^{+2} sertliğinin bakteri giderimine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

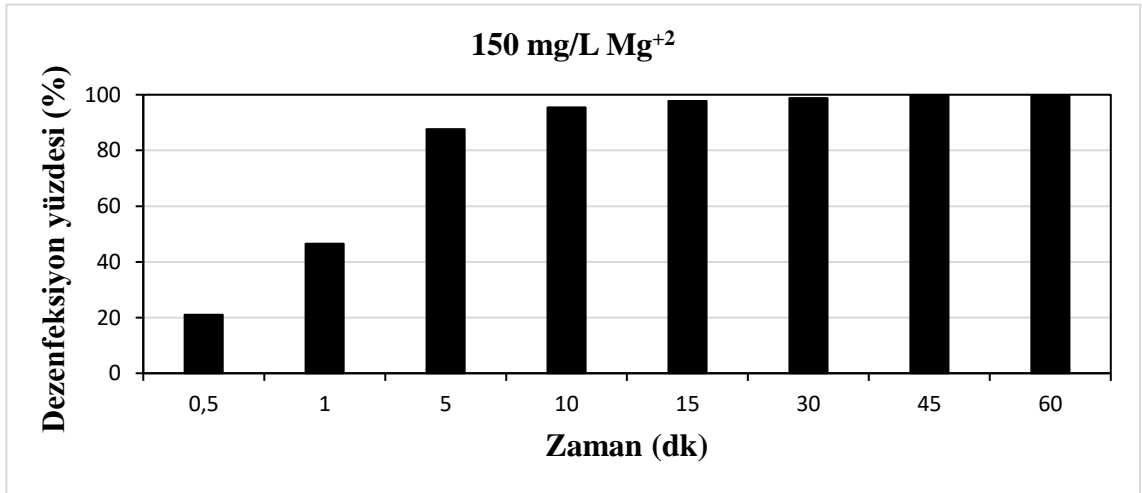
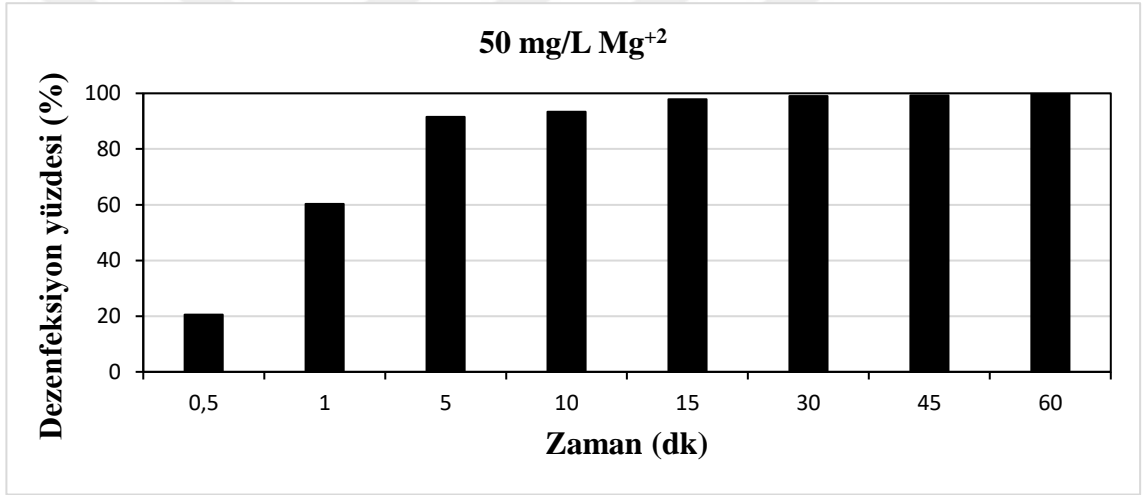
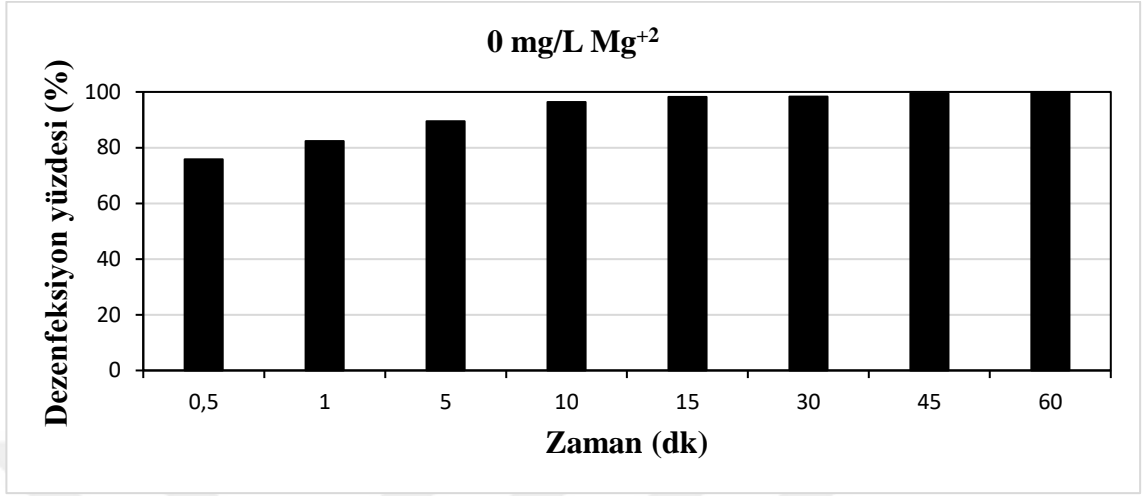


Şekil 4.10. Bakır iyonları ile dezenfeksiyona Mg^{+2} sertliğinin etkisi



Şekil 4.11. Farklı Mg⁺² sertliğine sahip sularda bakır iyonları ile 60 dakika dezenfeksiyon sonunda elde edilen *Escherichia coli* giderimleri

Şekil 4.12’de ise tüm Mg⁺² iyonu konsantrasyonlarında zamana bağlı *Escherichia coli* giderim yüzdeleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere üç konsantrasyonda ilk 5 dakika sonunda %88-%92 giderim meydana gelmiştir. 60 dakika sonunda ise 0, 50 ve 150 mg/L Ca⁺² iyonu konsantrasyonları için sırasıyla %99,78, %99,76 ve %99,75 *Escherichia coli* giderimi sağlanmıştır. Bu durum, bakır iyonları ile dezenfeksiyonda Mg⁺² sertliğinin önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir.



Şekil 4.12. Farklı Mg⁺² sertliğine sahip sularda farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli* giderim yüzdeleri

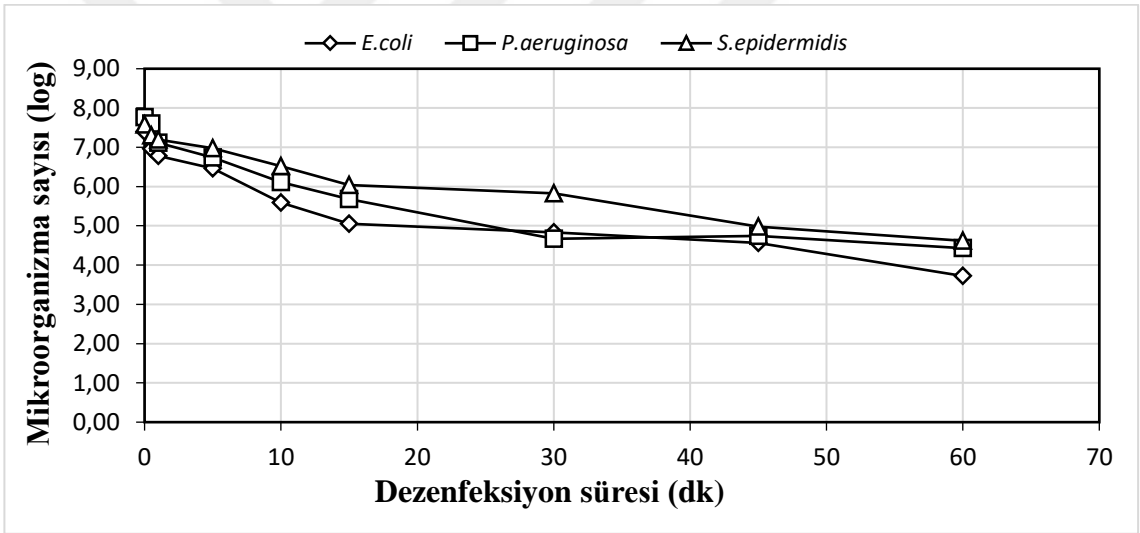
Çalışmada elde edilen veriler değerlendirildiğinde, bakır iyonları ile dezenfeksiyonda Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliğinin önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Walveren ve ark. (2016) farklı karakterlerdeki içme suyu dağıtım sistemlerinde ve soğutma kulelerinde bulunan *Legionella pneumophila* bakterisinin kontrolü amacıyla yaptıkları çalışmada; su sertliğinin, bakır-gümüş iyonlaşmasını etkilediğine dair herhangi bir kanıt bulunamadığını belirtmişlerdir.

Lin ve ark. (2002) bakır gümüş iyonizasyonu ile hastanelerin sıcak su sistemlerinde bulunan *Legionella pneumophila*'nın inaktivasyonunda, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının (50 ve 100 mg/L Ca^{+2} , 40 ve 80 mg/L Mg^{+2}) nötr pH'ta bakır (0,4 mg/L) ve gümüş (0,08 mg/L) iyonlarının biyosidal etkinliği üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır. Fakat yüksek su sertliğinin, bakır ve gümüş elektrotlarının kalsiyum karbonat ile kaplanıp etkinliğinin azalmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Bu durumun, bakır ve gümüş iyonlarının suda beklenen dozunda düşüş olmasına neden olabileceği belirtilmektedir (Anonim 2006).

4.4. Bakır İyonizasyonunun Bakteriler Üzerindeki Etkisi

Elektrolitik olarak üretilen bakır, gümüş ile birlikte sıcak su sistemlerinden su kulelerine, süs havuzlarına kadar pek çok alanda kullanılmakla birlikte tek başına havuz sularının dezenfeksiyonunda primer dezenfektan olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda bakır iyonu içeren sularda *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* giderimleri incelenmiştir. 0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L bakır iyonu içeren sularda 60 dakikalık temas süresi boyunca kontrol numunesi bakteri sayısı ($t=0$) ve bakır iyonu içeren dezenfeksiyon kabından belli temas süreleri sonunda alınan bakteri sayıları kullanılarak logaritmik bakteri giderimleri belirlenmiştir. Yapılan dezenfeksiyon deneyleri sonucu seçilen bakır konsantrasyonları ile dezenfeksiyon sonucu zamana bağlı olarak bakteri sayılarında meydana gelen değişimler EK 4'te verilmiştir.

0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ile yapılan dezenfeksiyon denemelerinde test bakterilerinin sayılarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere 0,5 mg/L bakır iyonu varlığında *Escherichia coli* için başlangıçta 7,40 olan logaritmik bakteri sayısı ilk 5 dakika içinde hızlı bir azalma göstererek 6,46'ya düşmüştür. Bu süre sonundaki logaritmik azalma 0,94'tür. *Pseudomonas aeruginosa* sayısı ilk 5 dakikada 7,76'dan 6,74'e düşerek 1,02 log azalmıştır. *Staphylococcus epidermidis* bakterisi de *Pseudomonas aeruginosa*'ya benzer bir giderim eğilimi göstermiş olup ilk 5 dakikada 7,58 den 6,98'e düşmüş ve 0,6 log giderim sağlanmıştır.

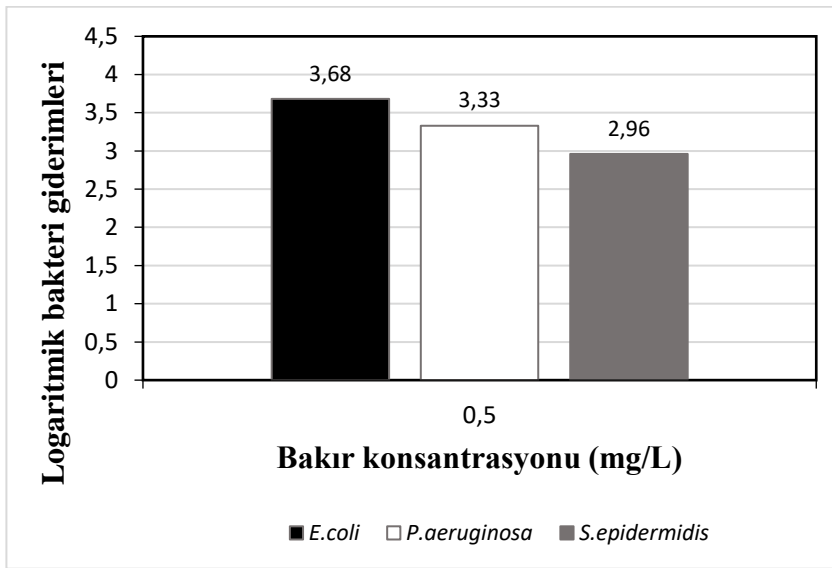


Şekil 4.13. 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi

0,5 mg/L bakır iyonu varlığında 60 dakika temas süresi sonunda test bakterilerinin toplam giderimleri şekil 4.14'te gösterilmektedir. *Escherichia coli* için 60 dakika sonundaki toplam giderim 3,68 log, *Pseudomonas aeruginosa* için 3,33 log ve *Staphylococcus epidermidis* için 2,96 log olarak bulunmuştur. Bu durumda 0,5 mg/L bakır iyonu varlığında en fazla giderimi sağlanan bakterinin *Escherichia coli* olduğu açıkça görülmektedir.

Çalışmada 1 saat sonunda 0,5 mg/L bakır iyonu ile test bakterilerinin hemen hepsinde 3 log'tan fazla giderim elde edilmiştir. Lin ve ark. (1996) bakır ve gümüş iyonlarının tek tek

ve birlikte kullanımıyla *Legionella pneumophila* inaktivasyonunu inceledikleri çalışma sonunda 2,5 saat içinde 0,1 mg/L bakır iyonları ile 6 log giderim elde edildiğini belirlemişlerdir. Aynı giderimin 0,08 mg/L gümüş iyonu ile sağlanması için 24 saate ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir. 0,02/0,02, 0,02/0,04, 0,04/0,02 ve 0,04/0,04 mg/L bakır/gümüş iyonu konsantrasyonlarında sırasıyla 8,2, 5,6, 3,6 ve 1,6 saate *Legionella pneumophila* tamamen giderilmiştir. 0,8/0,08 mg/L bakır/gümüş iyonu konsantrasyonlarında 48 saat içinde %99,9 giderim sağlanmıştır. 7 gün inkübasyon sonunda katı besiyerinde herhangi bir üreme belirlenmemiştir. Landeen ve ark. (1989) da yaptıkları çalışmada soğutma kuleri, klimalar, havalandırma sistemleri, sıcak su tankları ve sıcak su havuzlarından *Legionella pneumophila* izole etmiş, elektrolitik olarak üretilen 0,2/0,02 0,4/0,04 ve 0,8/0,08 mg/ bakır/gümüş konsantrasyonları ve düşük konsantrasyonlarda klor ile *Legionella pneumophila* 'nın giderim verimlerini incelemiştir. 24 saatlik temas süresinde 0,4/0,04 mg/L bakır/gümüş iyonlarının bakteri kolonilerini 3 log azalttığı tespit edilmiştir.

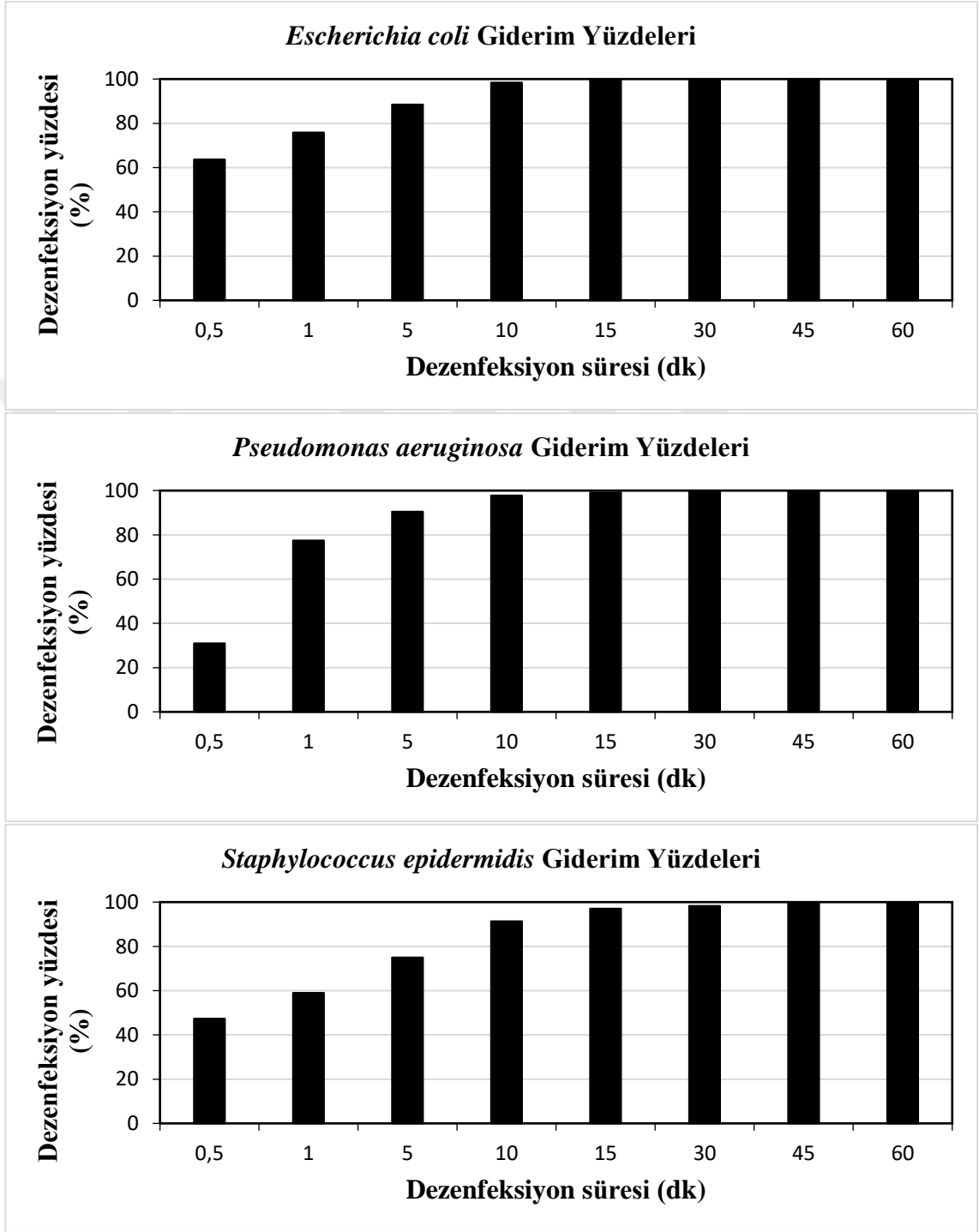


Şekil 4.14. 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri

Şekil 4.15'te 0,5 mg/L bakır iyonu varlığında test bakterilerinin temas süresine bağlı dezenfeksiyon yüzdeleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, *Escherichia coli* 'nin 15

dakika sonunda %99 oranında giderimi sağlanmıştır. *Pseudomonas aeruginosa* 'nın da benzer şekilde 15 dakika sonunda %99 oranında inaktivasyonu sağlanırken, *Staphylococcus epidermidis*'te 45 dakika sonunda %99 oranında giderim gözlemlenmiştir. Bu durum; 0,5 mg/L bakır iyonu varlığında *Staphylococcus epidermidis* 'in %99 oranında inaktivasyonunun sağlanabilmesi için *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa* 'dan daha uzun temas süresine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.





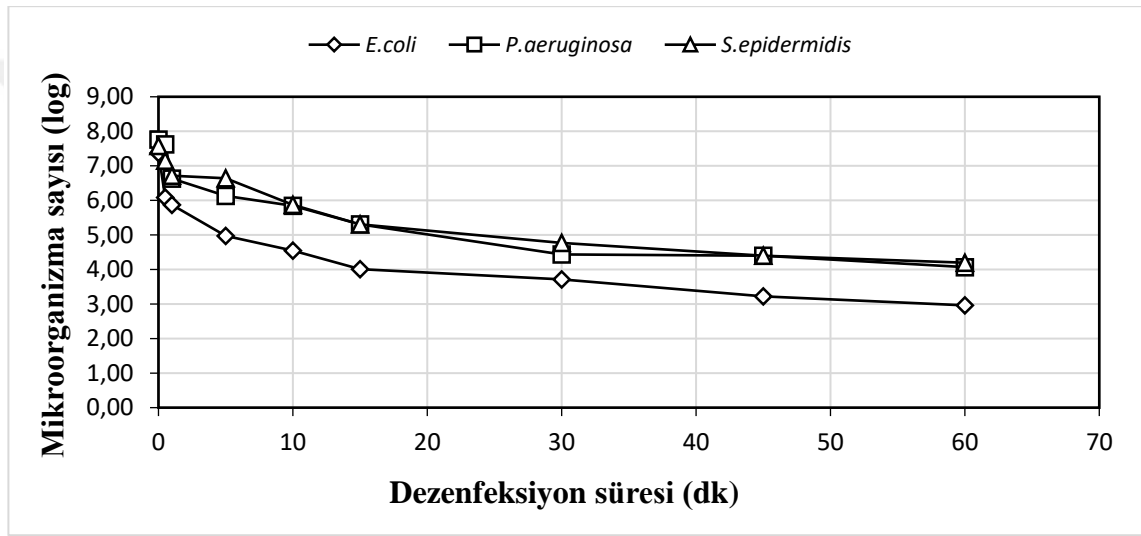
Şekil 4.15. 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* giderim yüzdeleri

Yapılan çalışmada 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ve 60 dakika dezenfeksiyon süresi sonunda test bakterilerinin hepsinde %99 giderim sağlanmıştır. Benzer şekilde Walraven ve ark. (2016) farklı karakterlerdeki içme suyu dağıtım sistemlerinde ve soğutma kulelerinde bulunan *Legionella pneumophila* bakterisinin kontrolünde bakır-gümüş iyonizasyonunun etkinliğini inceledikleri çalışmada, 0,4±0,2 mg/L bakır ve 0,04±0,02 mg/L gümüş dozlarındaki iyonların *Legionella* bakterisini kontrol etmede, azaltmada ve yok etmede etkili olduğunu belirlemişlerdir. Armstrong ve Sobsey (2012) ise iyonik bakırın içme suyunun depolanması sırasında hastalık yapıcı patojenlerden korunması için *Escherichia coli* B, *Pseudomonas aeruginosa* ve MS-2 kolifajlarına karşı inaktivasyon verimliliğini test ettikleri çalışmada 0,3 mg/L ve üzerindeki konsantrasyonlarda bakteri ve virüslerde 6 saat içinde 2 log'tan fazla giderim olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre iyonik bakırın, içme sularının toplanması, iletimi ve depolanması sırasında mikrobiyal kirlenmeden korunması için alternatif yöntem olarak daha fazla önemi hak ettiğini belirtmişlerdir.

Sudha ve ark. (2012) mikrobiyal kirlenmeye maruz kalmış bakır kaplar içindeki içme sularında bakırın inaktivasyon etkisini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, bakırın *Vibrio cholerae* O1, *Shigella flexneri* 2a, enterotoksijenik *Escherichia coli*, enteropatojenik *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, and *Salmonella paratyphi* gibi enterik bakterilere karşı antibakteriyal etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. 500 CFU/ml bakteri sayısına sahip, pH'ı 7,3 olan suyun oda sıcaklığında 16 saat bakır kap içerisinde bekletilmesi sonucunda, alınan örnekler katı kültür üzerine ekildiğinde herhangi bir üreme olmadığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar 177±16 ppb (0,177±0,016 mg/L) bakır konsantrasyonunda bakterilerin kültür oluşturabilme özelliklerini kaybettiğini ve bakırın gelişmekte olan ülkelerde içme suyunun dezenfeksiyonunda yerinde uygulama yöntemi olarak umut vaat ettiğini belirtmişlerdir.

1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ile yapılan dezenfeksiyon deneylerinde test bakterilerinin sayılarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterileri dezenfeksiyon süresi boyunca birbirine benzer giderim eğilimi göstermiş olup *Escherichia coli*'den daha az giderilmiştir. *Escherichia coli* 1,5 mg/L bakır ile temas ettikten sonra ilk 5

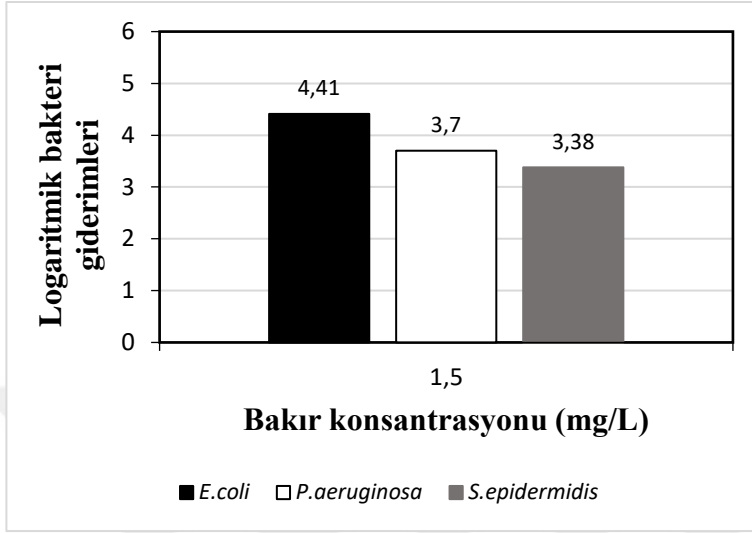
dakikada 7,37'den 4,97'ye düşerek 2,4 log'luk bir azalma göstermiştir. *Pseudomonas aeruginosa* 7,76'dan 6,13'e düşerek 1,63 log azalma göstermiştir ve *Staphylococcus epidermidis* sayısı ise 5 dakika sonunda 7,58'den 6,64'e düşerek 0,94 log azalma göstermiştir. Genel olarak bakıldığında üç bakterinin de ilk 5 dakika içinde önemli oranda inaktive olduğu ancak daha sonra inaktivasyon hızının yavaşladığı ve en fazla giderim sağlanan bakterinin *Escherichia coli* olduğu görülmektedir.



Şekil 4.16. 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi

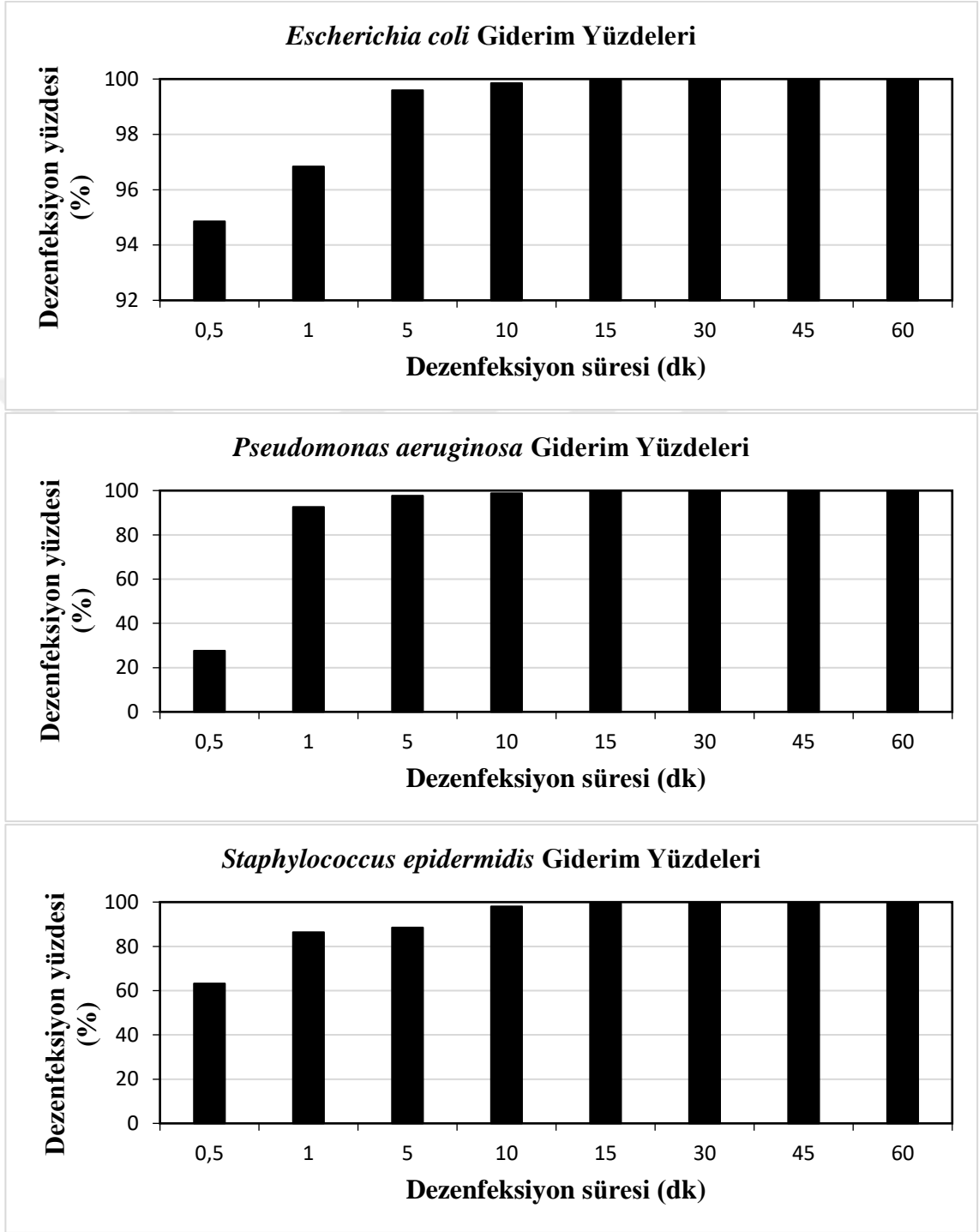
1,5 mg/L bakır iyonu varlığında 60 dakika temas süresi sonunda test bakterilerinin toplam giderimleri şekil 4.17'de gösterilmektedir. *Escherichia coli* için 60 dakika sonundaki toplam giderim 4,41 log, *Pseudomonas aeruginosa* için 3,7 log ve *Staphylococcus epidermidis* için 3,38 log olarak bulunmuştur. Bu durumda 1,5 mg/L bakır iyonu varlığında en fazla giderimi sağlanan bakterinin *Escherichia coli* olduğu açıkça görülmektedir.

Martinez ve ark. 2004 soğutma suyu olarak atık su kullanımını değerlendirdiği çalışmasında, 75 mg/L klorür konsantrasyonuna sahip arıtılmış atık sularda 1,2 mg/L bakır/0,6 mg/L gümüş konsantrasyonları ile 2 saat içerisinde 2 log bakteri giderimi elde etmiştir. Bu çalışmada ise 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ile 1 saat sonunda 3-4 log arasında bakteri giderimi gözlemlenmiştir.



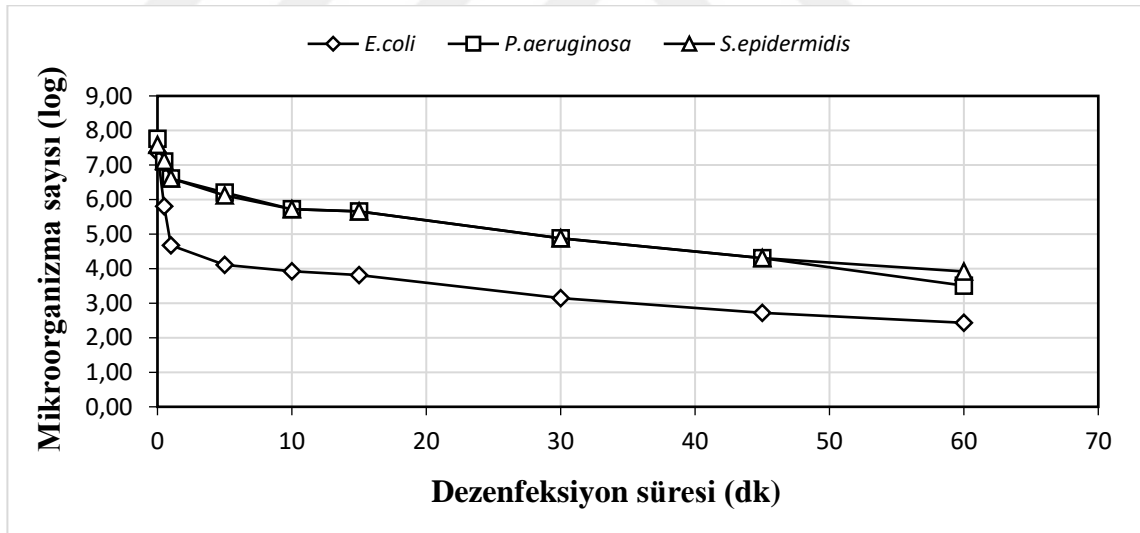
Şekil 4.17. 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri

Şekil 4.18'de 1,5 mg/L bakır iyonu varlığında test bakterilerinin temas süresine bağlı dezenfeksiyon yüzdeleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, *Escherichia coli*'nin 5 dakika sonunda %99 oranında giderimi sağlanırken *Pseudomonas aeruginosa*'nın 10 dakika ve *Staphylococcus epidermidis*'in ise 15 dakika sonunda %99 oranında inaktivasyonu gözlemlenmiştir. Bu durum; 1,5 mg/L bakır iyonu varlığında *Escherichia coli*'nin diğer iki bakteriye göre daha az temas süresi sonunda %99 inaktivasyonunun sağlandığını, *Staphylococcus epidermidis*'in %99 gideriminin sağlanması için ise *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya göre daha fazla temas süresine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.



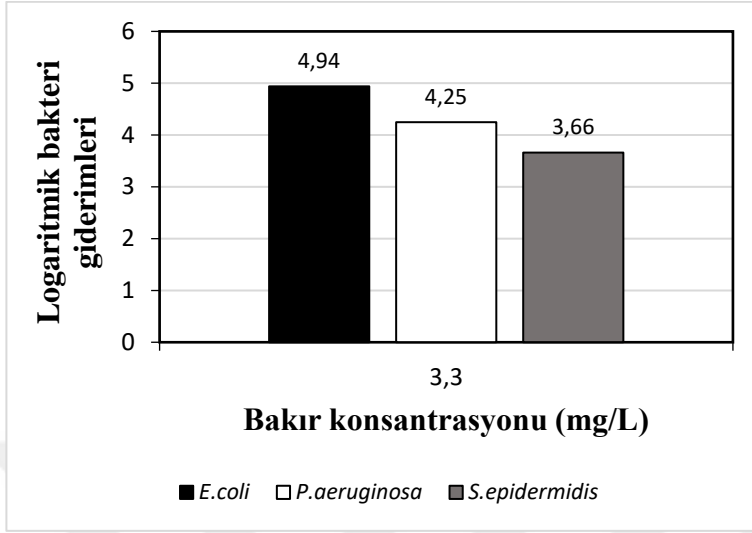
Şekil 4.18. 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* giderim yüzdeleri

3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ile yapılan dezenfeksiyon denemelerinde test bakterilerinin sayılarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterileri 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda birbirine benzer bir azalma eğilimi göstermiştir. *Escherichia coli* için başlangıçta 7,37 olan logaritmik bakteri sayısı ilk 5 dakika içinde hızlı bir azalma göstererek 4,10’a düşmüştür. Bu süre sonundaki logaritmik azalma 3,27’dir. *Pseudomonas aeruginosa* sayısı ilk 5 dakikada 7,76’dan 6,20’ye düşerek 1,56 log azalmıştır. *Staphylococcus epidermidis* bakterisi de *Pseudomonas aeruginosa*’ya benzer bir giderim eğilimi göstermiş olup ilk 5 dakikada 7,58’den 6,12’ye düşmüş ve 1,46 log giderim sağlanmıştır. Genel olarak bakıldığında üç bakterinin de ilk 5 dakika içinde önemli oranda inaktive olduğu ancak daha sonra inaktivasyon hızının yavaşladığı ve 3,3 mg/L bakır iyonu varlığında en fazla giderim sağlanan bakterinin *Escherichia coli* olduğu görülmektedir.



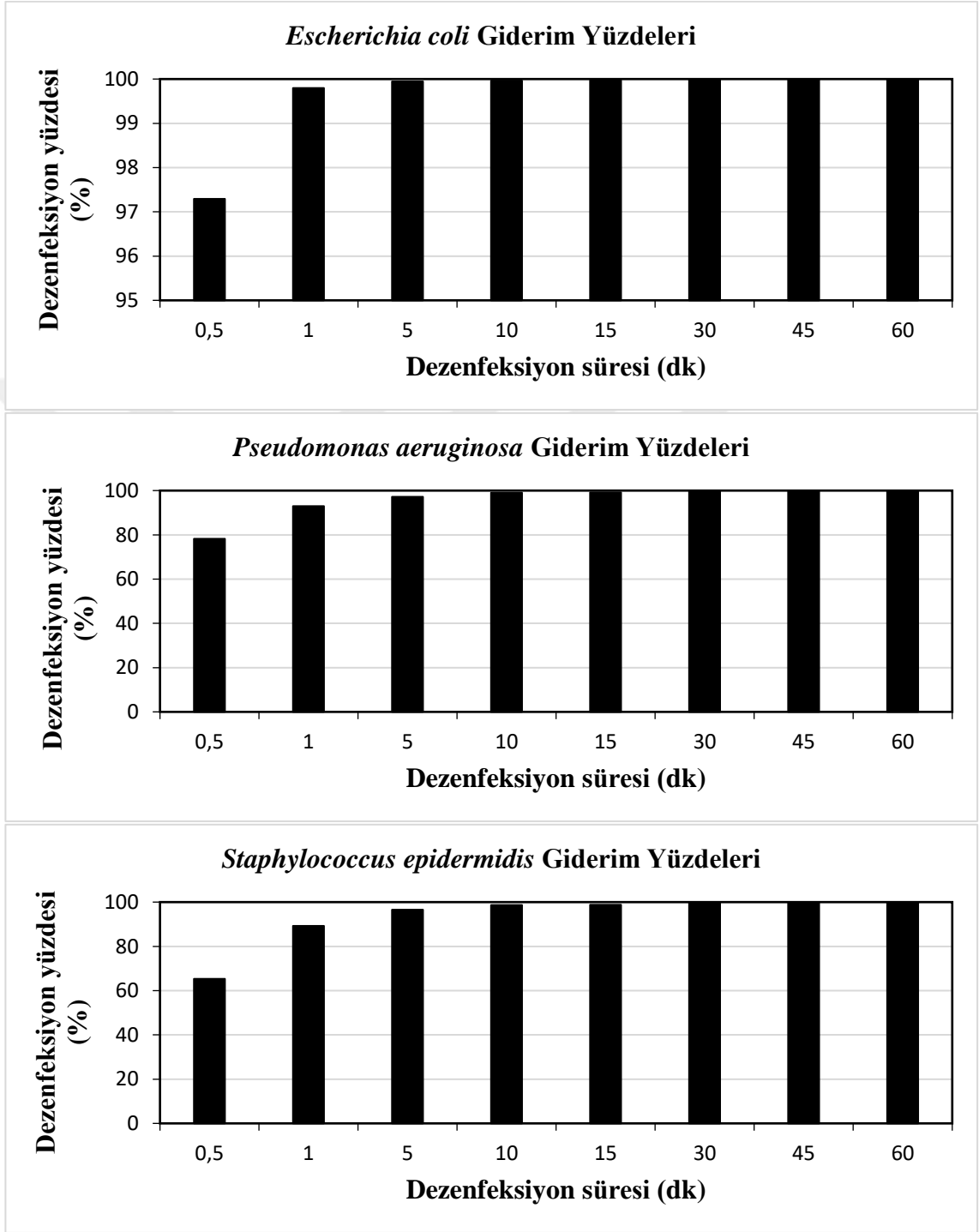
Şekil 4.19. 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonrasında bakteri sayılarının değişimi

3,3 mg/L bakır iyonu varlığında 60 dakika temas süresi sonunda test bakterilerinin toplam giderimleri şekil 4.20’de gösterilmektedir. *Escherichia coli* için 60 dakika sonundaki toplam giderim 4,94 log, *Pseudomonas aeruginosa* için 4,25 log ve *Staphylococcus epidermidis* için 3,66 log olarak bulunmuştur. Bu durumda 3,3 mg/L bakır iyonu varlığında en fazla giderimi sağlanan bakterinin *Escherichia coli* olduğu açıkça görülmektedir.



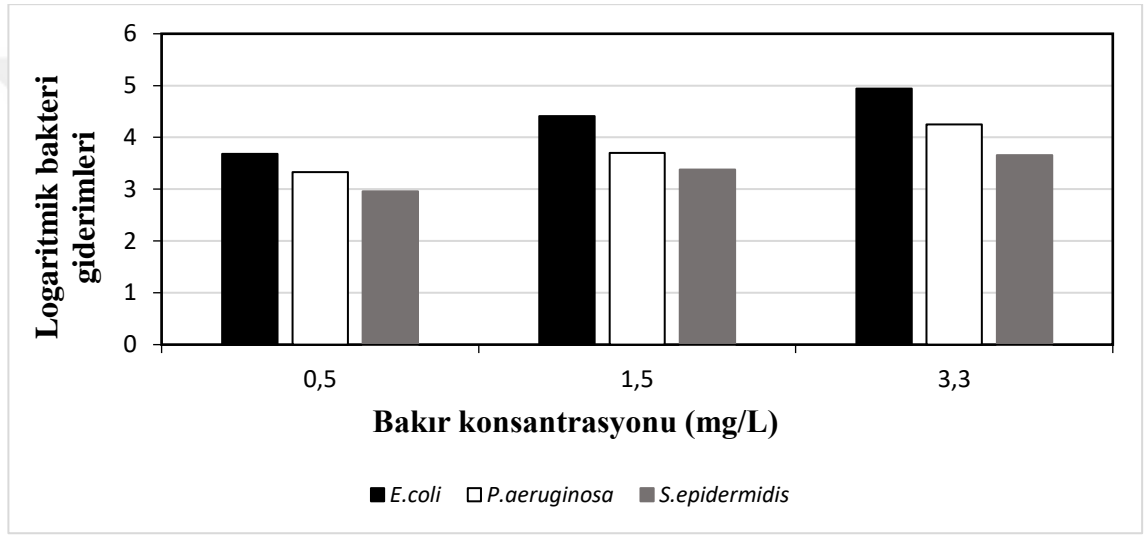
Şekil 4.20. 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri

Şekil 4.21’de 3,3 mg/L bakır iyonu varlığında test bakterilerinin temas süresine bağlı dezenfeksiyon yüzdeleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, *Escherichia coli*’nin 1 dakika sonunda %99 oranında giderimi sağlanmıştır. *Pseudomonas aeruginosa*’nın %99 oranında gideriminin sağlanması için 10 dakika temas süresi gerekli olurken *Staphylococcus epidermidis*’in %99 oranında inaktivasyonu 30 dakika sonunda gözlemlenmiştir. Bu durum; 3,3 mg/L bakır iyonu varlığında *Escherichia coli*’nin diğer iki bakteriye göre daha az temas süresi sonunda %99 inaktivasyonunun sağlandığını, *Staphylococcus epidermidis*’in %99 gideriminin sağlanması için ise *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*’ya göre daha fazla temas süresine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.



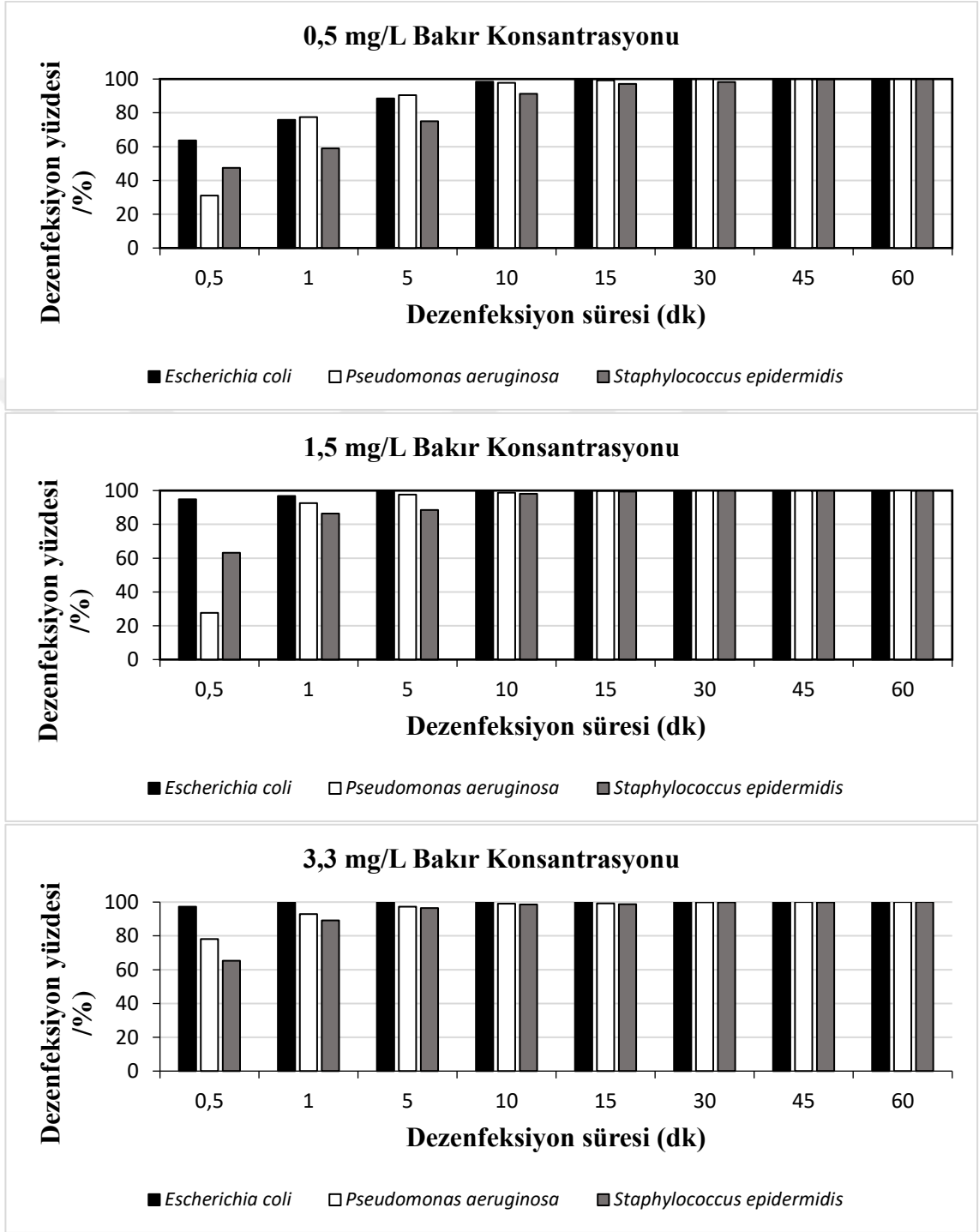
Şekil 4.21. 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ve farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* giderim yüzdeleri

Şekil 4.22’de, seçilen bakır iyonu konsantrasyonlarında test bakterilerinde 60 dakika temas süresi sonunda toplamda meydana gelen logaritmik azalmalar verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, 3 bakır iyonu konsantrasyonunda da (0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L) en fazla inaktivasyonu gerçekleştiren bakteri *Escherichia coli* iken en az inaktivasyonu gerçekleştiren bakteri ise *Staphylococcus epidermidis*’tir. Aynı zamanda, şekilden de anlaşıldığı üzere 3 bakteri için de bakır iyonu konsantrasyonu arttıkça inaktivasyon verimi de artmıştır.



Şekil 4.22. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonunda elde edilen bakteri giderimleri

Şekil 4.23’te, seçilen bakır iyonu konsantrasyonlarında test bakterilerinde temas süresine bağlı olarak gerçekleşen dezenfeksiyon yüzdeleri verilmektedir. Tüm bakır iyonu konsantrasyonlarında (0,5, 1,5 ve 3,3 mg/L) %99 bakteri giderimi için en az temas süresine ihtiyaç duyulan bakteri *Escherichia coli* iken, en fazla temas süresi gerektiren bakteri ise *Staphylococcus epidermidis* olmuştur. Aynı zamanda; uygulanan bakır iyonu konsantrasyonu arttıkça *Escherichia coli*’nin %99 inaktivasyonu için gerekli olan temas süresi azalmış fakat bakır iyonu konsantrasyonunun artışının *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*’in %99 giderimi için gerekli olan temas süresine önemli bir etkisi olmamıştır.



Şekil 4.23. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve farklı temas sürelerinde elde edilen *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* giderim yüzdeleri

Metal iyonlarının dezenfeksiyon etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar çoğunlukla bakır ve gümüş iyonları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu iyonların bakterilere etkisi daha önce yapılan çalışmalarda kültürel yöntemler, DNA ve RNA'ların incelenmesi, enzim aktivitelerinin belirlenmesi veya taramalı elektron mikroskopuyla hücre yapılarının incelenmesi gibi yöntemlerle incelenmiştir. Dezenfeksiyon sonrasında floresan boyalar yardımı ile membran bütünlüğünde meydana gelen hasarın ve bakterilerin enerji seviyelerindeki değişimin belirlenmesi ise detaylı incelenmesi gereken konular arasında yer almaktadır.

Yapılan çalışmalar, elektrolitik olarak üretilen bakır ve gümüş iyonlarının düşük konsantrasyonlarının pek çok alg ve bakterinin kontrolünde oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu miktarlar suda istenmeyen tat, koku veya kullanıcılarda herhangi bir sağlık problemi oluşturmadan mikrobiyal inaktivasyona yetecek seviyededir (Meyer 2001). Günümüzde hastanelerin sıcak su sistemlerinin ve yüzme havuzlarının dezenfeksiyonunda yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, bakır ve gümüş iyonu konsantrasyonlarının gerek insan sağlığına gerekse ekosisteme zarar vermemeleri için düşük seviyede tutulması, işletim sırasında sudaki miktarlarının izlenmesi gerekmektedir (Borkow ve Gabbay 2005, Rohr ve ark. 1999). EPA ikincil içme suyu standartlarında, içme suyu bakteriyolojik kalitesinin sağlanması için herhangi bir sağlık riski olmadan gümüş konsantrasyonlarının 0,1 mg/L ye bakır konsantrasyonlarının ise 1,3 mg/L'ye kadar tolere edilebilir olduğunu belirtmektedir (USEPA 2009). Tarım ve Orman Bakanlığı içme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik'e göre içme ve kullanma suları kategorilere ayrılmıştır:

- A1: Basit fiziksel arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen suları,
- A2: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen suları,
- A3: Fiziksel arıtma, kimyasal arıtma, ileri arıtma ve dezenfeksiyon ardından içilebilir hale gelen suları ifade etmektedir.

A1 kategorisi için bakır limiti 2 mg/L, A2 kategorisi için 5 mg/L ve A3 kategorisi için 20 mg/L olarak belirlenmiştir (Anonim, 2019).

Yüzme havuzlarının tabi olacağı sağlık esasları hakkında yönetmelik'te ise tolere edilebilir bakır limiti 1 mg/L olarak verilmektedir (Anonim, 2011)

Literatür bilgileri farklı dezenfektanların birlikte kullanımının sinerjistik etki göstererek bunların ayrı ayrı kullanımlarına göre daha fazla inaktivasyon etkisi gösterdiğini, sucul sistemlere bakır ve gümüş iyonlarının birlikte uygulanmasının dezenfeksiyon için kullanılan serbest klor konsantrasyonunu azalttığını göstermektedir. Landeen ve ark. (1989) yaptıkları çalışmada gümüş ve bakır iyonlarını düşük klor konsantrasyonu ile kombine ettiklerinde *Legionella pneumophila* inaktivasyonunun, sadece serbest klorla dezenfeksiyona oranla çok daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yahya ve ark. (1990) iyonik bakır ve gümüş iyonlarının klor ile veya klorsuz kombinasyonlarının karışık bakteriyel kültürlerle olan etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada sırasıyla 400 ve 40 ppb konsantrasyonlarındaki bakır ve gümüş iyonlarının, 0,3 mg/L serbest klor ile veya klorsuz olarak banyo sularındaki etkilerini 4 haftalık süre boyunca incelemişlerdir. Deney sonuçları bakır/gümüş ve düşük konsantrasyonlarda serbest klor ile toplam koliform, *Pseudomonas* ve *Staphylococci*'nin 1 mg/L serbest klor kullanımıyla aynı oranda giderildiğini göstermiştir. Bakır ve gümüş iyonlarının hastanelerdeki su sistemlerinde *Legionella* kontrolünde ve soğutma kulelerinde bakteriyel büyüme kontrolünde kullanılabileceği diğer araştırmacılar tarafından da ifade edilmiştir (Beer ve ark. 1999, Berger ve ark. 1976).

Orta de la Velásquez ve ark (2008), hidrojen peroksit ve perasetik asidin bakır ve gümüş ile kombine edildiğinde dezenfeksiyon verimliliğini güçlendirdiğini, atık sudaki fekal bakterilerin ve helmint yumurtalarının inaktivasyonunu önemli oranda arttırdığını vurgulamışlardır. Davoudi ve ark. (2012), 30 ppb gümüş iyonu ve %0,3 lük hidrojen peroksitin dezenfeksiyon verimliliğini belirledikleri çalışmalarında, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* ve *Klebsiella pneumonia*'nın hem karbon içeriği yüksek besi ortamı içinde ve hem de paslanmaz çelik yüzey üzerinde 24 saat içerisinde tamamen inaktive olduğunu belirtmişlerdir.

Abad ve ark. (1994) bakır ve gümüş iyonları ile düşük klor kombinasyonunun bazı enterik insan virüsleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Hepatit- A (HAV), İnsan Rotavirüsü (HRV), İnsan Adenovirüsü (HAD) ve Poliovirüsleri 0,7/0,07 mg/L bakır/gümüş konsantrasyonları ve 0,5-0,2 ppm klor varlığında dezenfekte etmişlerdir. Çalışma sonuçları poliovirüslerin tamamen inaktive olduğunu, insan adenovirüslerinin dirençli olmalarına rağmen daha uzun temas süresi sonunda giderilebildiğini göstermiştir. İnsan rotavirüslerinin ise bu konsantrasyonlara dirençli olduğu belirlenmiştir.

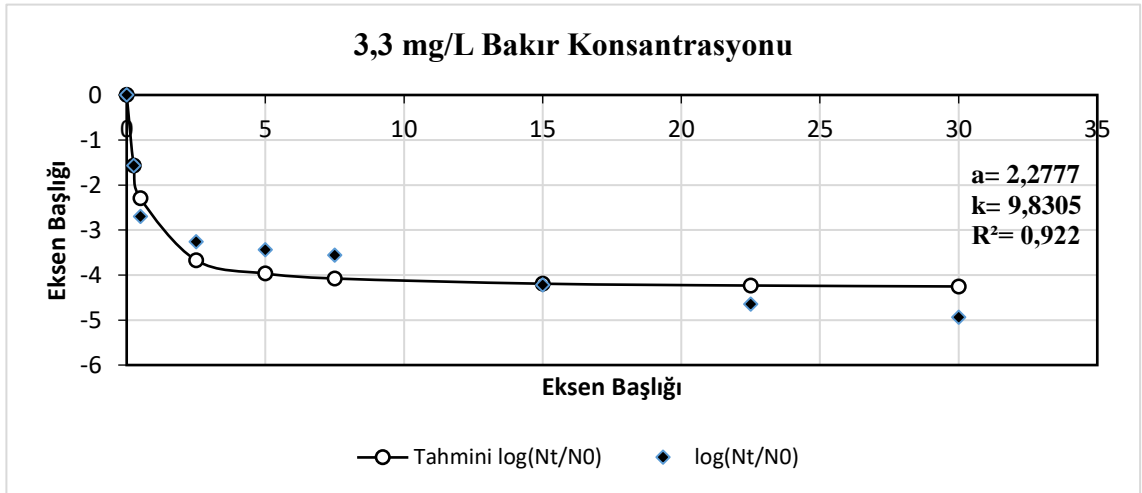
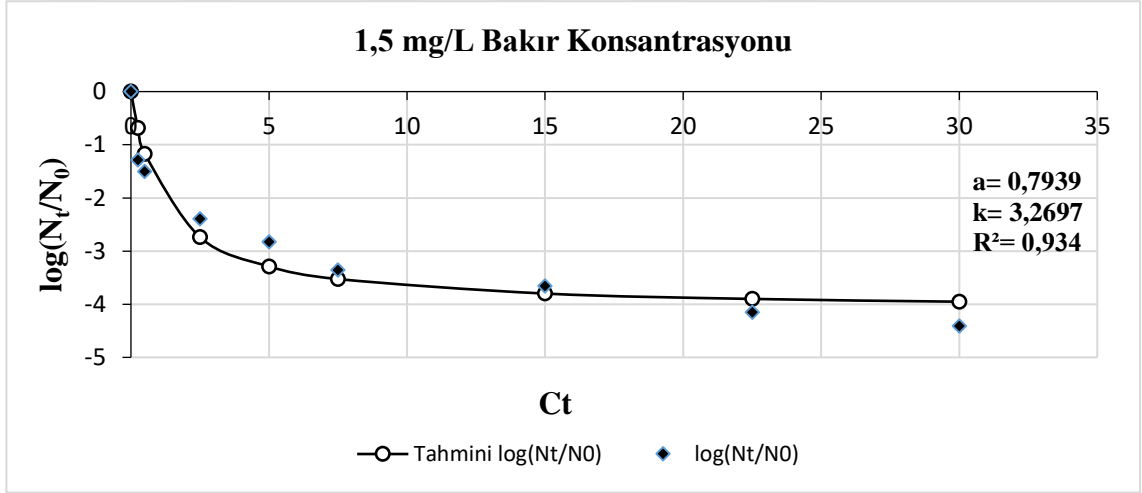
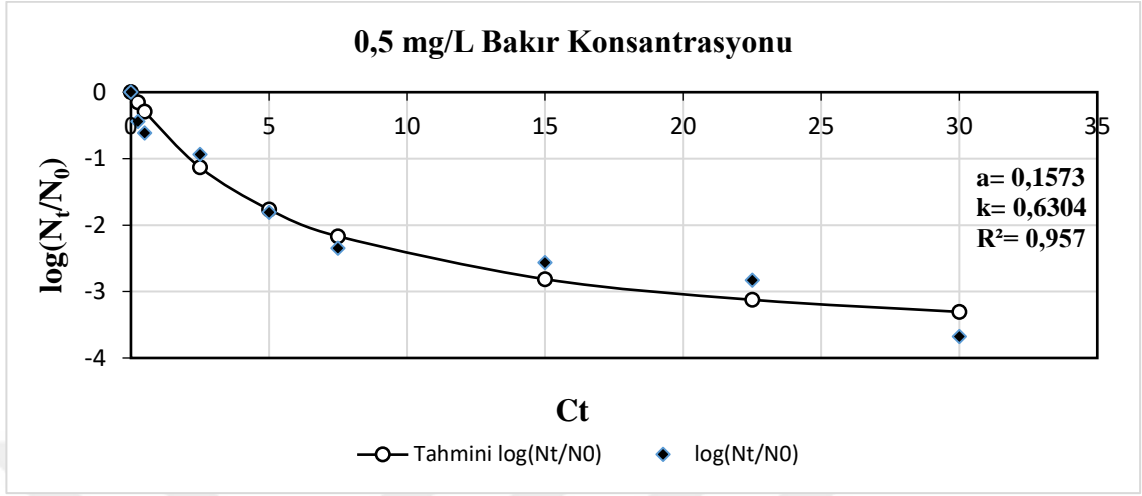
Martinez ve ark. (2004), elektrolitik olarak üretilen bakır ve gümüş iyonlarının soğutma kulelerindeki demir bakterileri, sülfat indirgeyen bakteriler, biyofilm oluşturan bakteriler ve koliform bakterileri üzerindeki etkisini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada bu iyonları farklı klor konsantrasyonları ile kombine etmişlerdir. Gümüş/Bakır/Klor konsantrasyonları sırasıyla 1,2/0,6/0 mg/L ve 0,2/1,2/0,3 mg/L olduğunda minimum çevresel etki ile mikroorganizmaların inaktive edildiğini, bu dozların yüksek konsantrasyonda klorun tek başına kullanımına alternatif olabileceğini bildirmişlerdir. Çalışma sonuçları bakır-gümüş iyonizasyon sistemleri ile dezenfekte edilen soğutma sularında bulunan, mikrobiyal korozyona neden olan bakteri popülasyonunun ve biyofilm oluşumunun klasik yöntemlerle dezenfekte edilenlere göre çok daha düşük miktarda olduğunu göstermiştir.

İnaktivasyon Katsayılarının Hesaplanması:

Bu çalışmada inaktivasyon katsayısı (k), iki tekrarlı gerçekleştirilen deneyler sonunda elde edilen bakteri sayıları kullanılarak, SPSS programı ile non-lineer analiz metoduyla modelleme yapılarak hesaplanmıştır. Sonuçların hassasiyetine, noktalardan geçirilen eğrinin determinasyon katsayısına (R^2) göre karar verilmiştir. Farklı bakır konsantrasyonları için hesaplanan k , a ve R^2 değerleri sırasıyla *Escherichia coli* için Şekil 4.24'te, *Pseudomonas aeruginosa* için Şekil 4.25'te ve *Staphylococcus epidermidis* için Şekil 4.26'da gösterilmektedir.

Şekil 4.24, 4.25 ve 4.26’da verilen inaktivasyon katsayıları incelendiğinde her üç bakteri için bakır iyonu konsantrasyonunun artışına bağlı olarak inaktivasyon katsayılarının ve dolayısı ile bakterilerin ölüm hızlarının arttığı görülmektedir.

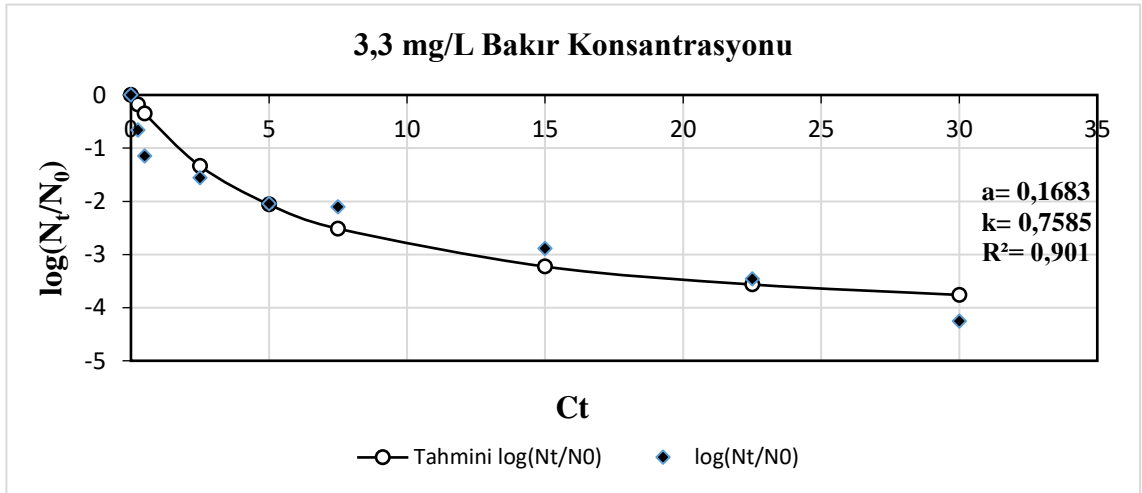
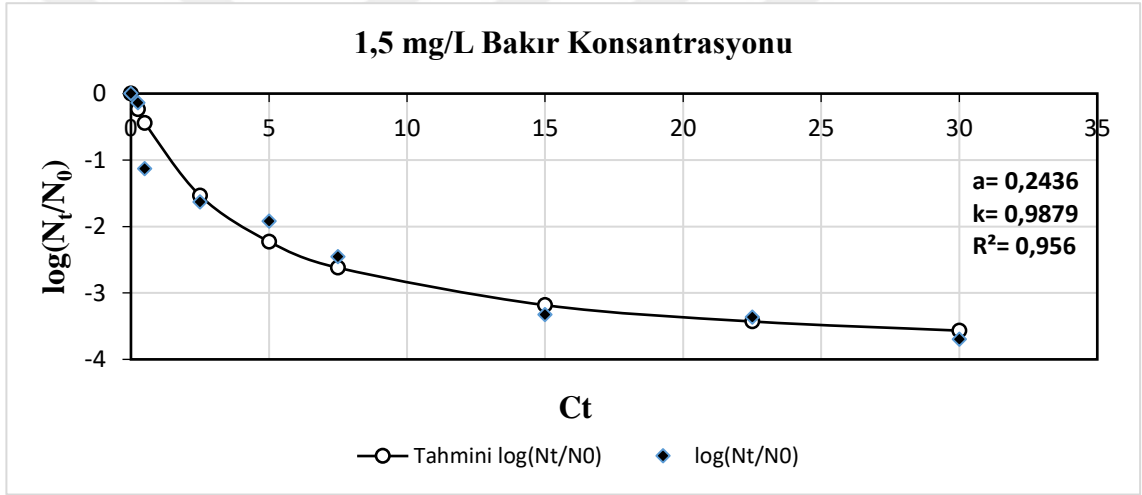
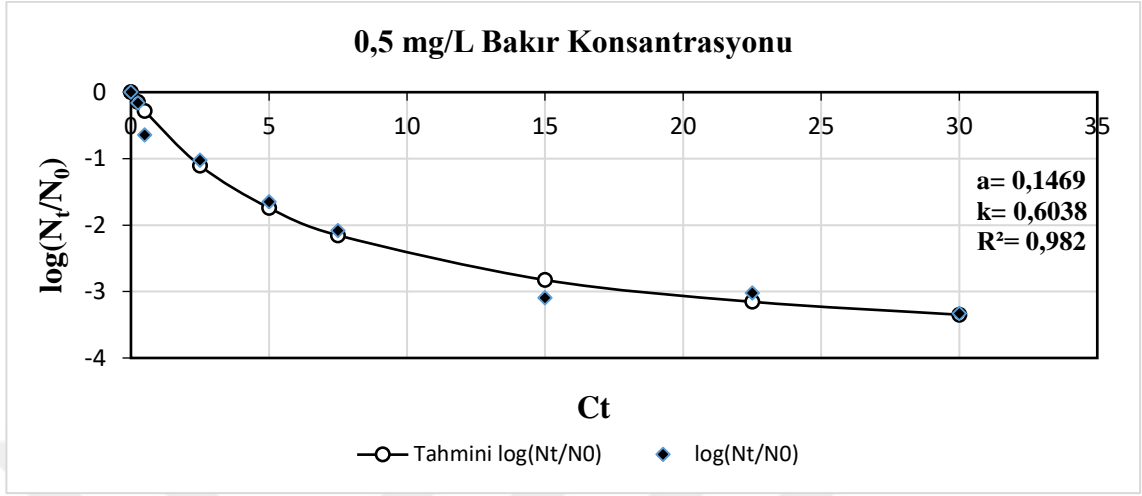
Escherichia coli için hesaplanan inaktivasyon katsayıları incelendiğinde, 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değerinin 0,1573 ve k değerinin 0,6304 olduğu görülmektedir. 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 0,7939 ve k değeri 3,2697 iken 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 2,2777 ve k değeri ise 9,8305’tir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. *Escherichia coli* için hesaplanan inaktivasyon katsayıları

Pseudomonas aeruginosa için hesaplanan inaktivasyon katsayıları incelendiğinde, 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değerinin 0,1469 ve k değerinin 0,6038 olduğu görülmektedir. 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 0,2436 ve k değeri 0,9879 iken 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 0,1683 ve k değeri ise 0,7585'tir (Şekil 4.25).

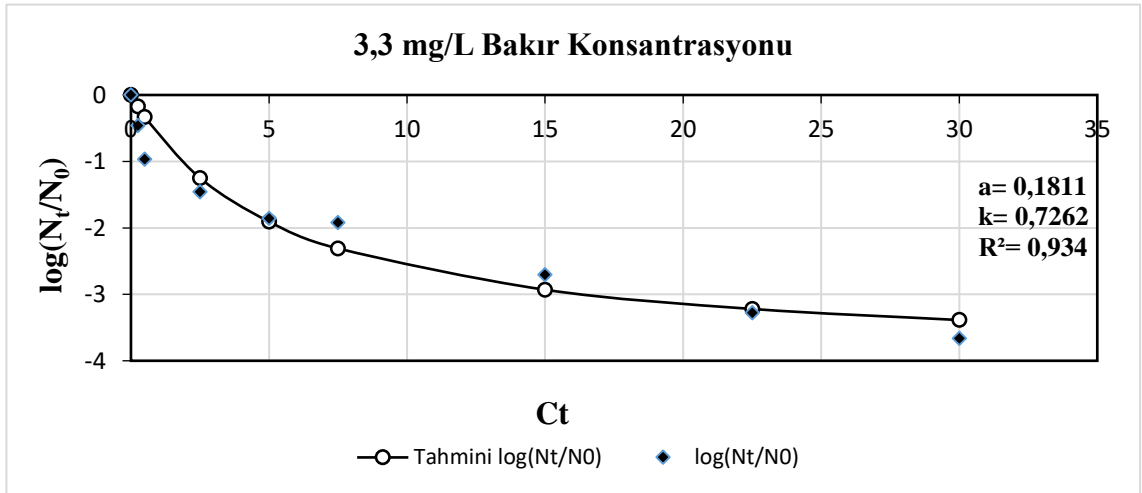
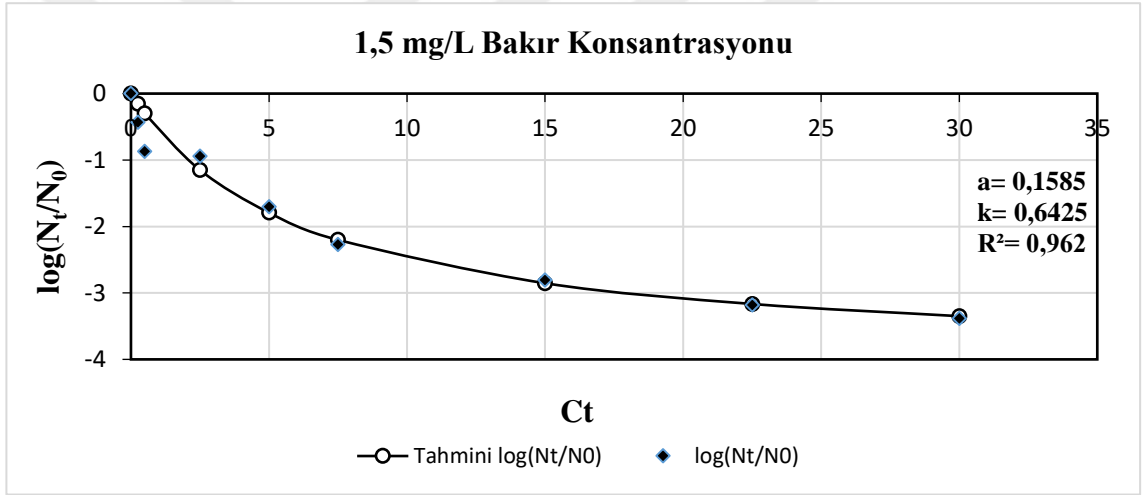
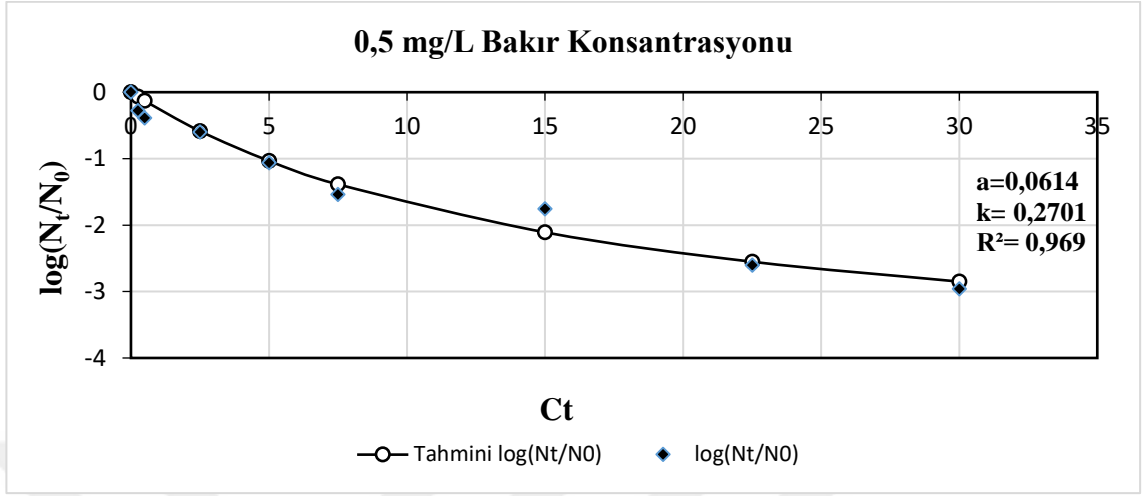




Şekil 4.25. *Pseudomonas aeruginosa* için hesaplanan inaktivasyon katsayıları

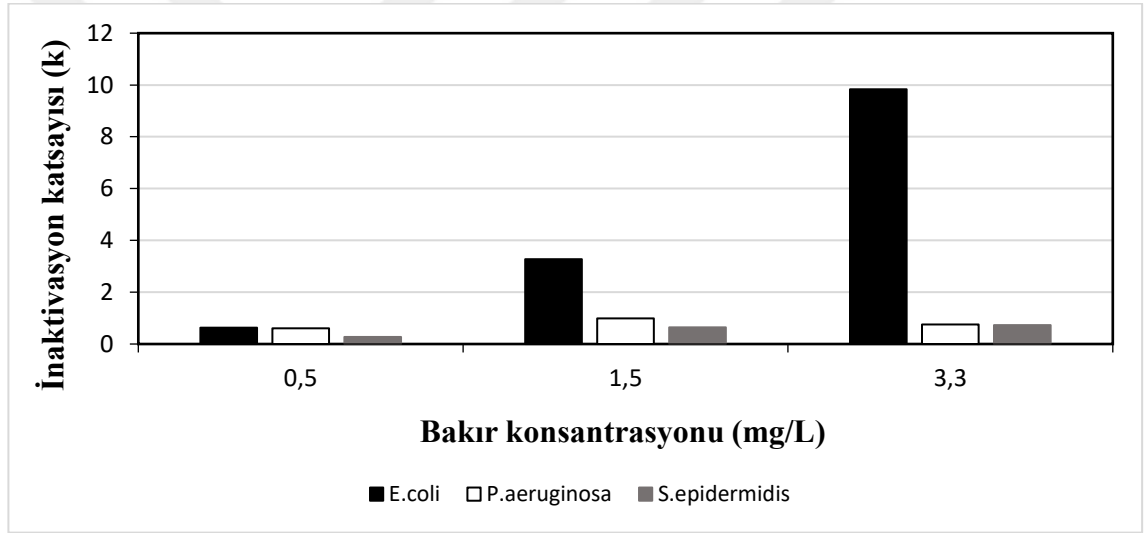
Staphylococcus epidermidis için hesaplanan inaktivasyon katsayıları incelendiğinde, 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değerinin 0,0614 ve k değerinin 0,2701 olduğu görülmektedir. 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 0,1585 ve k değeri 0,6425 iken 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda a değeri 0,1811 ve k değeri ise 0,7262'dir (Şekil 4.26).





Şekil 4.26. *Staphylococcus epidermidis* için hesaplanan inaktivasyon katsayıları

Elde edilen inaktivasyon katsayıları her üç bakır iyonu konsantrasyonunda *Escherichia coli*'nin, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'e göre daha yüksek olduğunu göstermiştir (Şekil 4.27). Bu durum *Escherichia coli*'nin daha fazla giderildiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bakır iyonu konsantrasyonunun artışı ile her bir bakteri için inaktivasyon katsayısının artması da giderim hızının, dolayısı ile dezenfeksiyon verimliliğinin arttığını göstermektedir. Ancak su içindeki izin verilebilir bakır iyonu konsantrasyonunun halk sağlığı açısından göz önünde bulundurulması gerçeği bu konsantrasyonların kullanımını sınırlamaktadır.



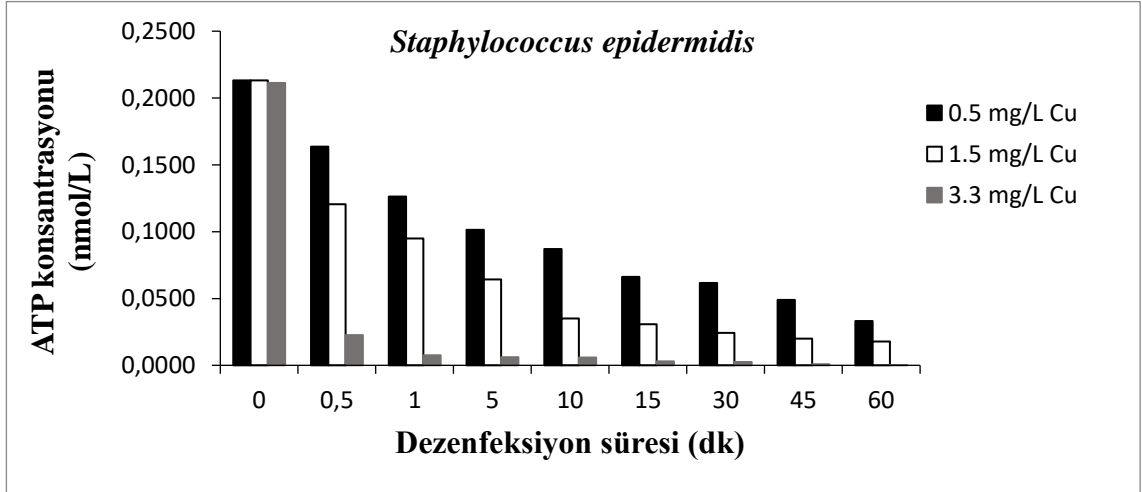
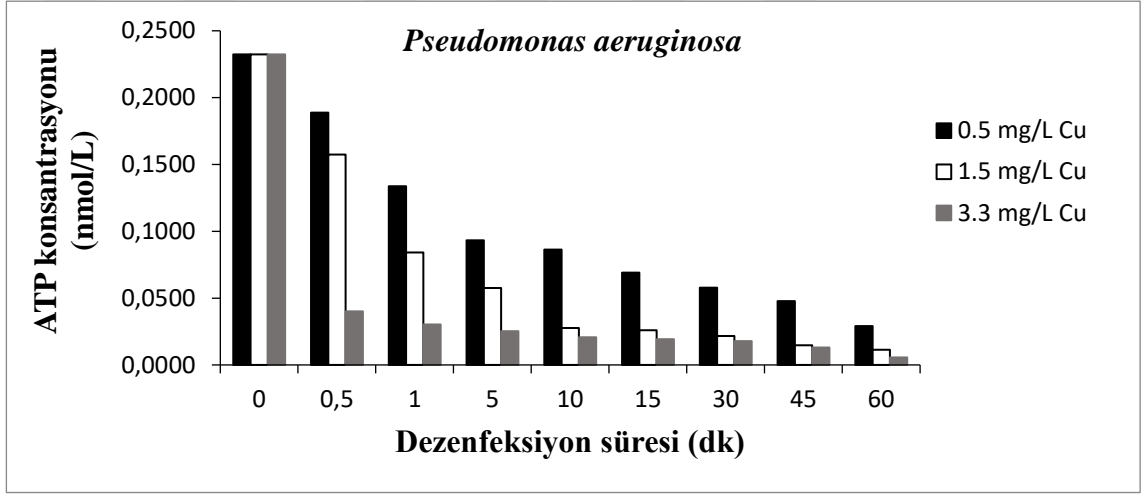
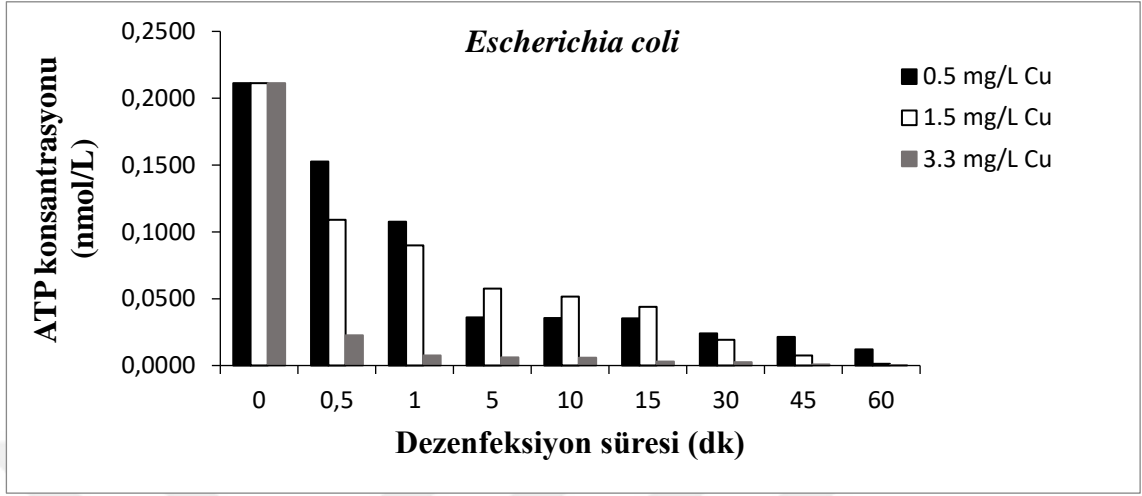
Şekil 4.27. Farklı türde bakteri içeren suların bakır iyonları dezenfeksiyonu sonrasında bulunan inaktivasyon katsayılarının karşılaştırılması

4.5.Bakır İyonları ile Dezenfeksiyonun Bakteriyel ATP'ye Etkisi

Bakır iyonlarının dezenfeksiyon verimliliğinin mikrobiyal aktiviteye olan etkisini belirlemek amacıyla her dezenfeksiyon sonunda ATP ölçümleri yapılmıştır. Seçilen bakır iyonu konsantrasyonlarında *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterileri ile yapılan deneyler sonucu ölçülen mikrobiyal ATP konsantrasyonları EK 5'te verilmiştir.

Şekil 4.28’de 0,5 mg/L, 1,5 mg/L ve 3,3 mg/L bakır iyonu varlığında *Escherichia coli*’nin, *Pseudomonas aeruginosa*’nın ve *Staphylococcus epidermidis*’in ATP miktarlarının temas süresine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere her üç bakteri için de ATP konsantrasyonlarındaki azalma en fazla 3,3 mg/L bakır iyonu uygulanması ile meydana gelmiştir. ATP konsantrasyonundaki en düşük azalma ise 0,5 mg/L bakır iyonu uygulanması durumunda görülmüştür. ATP varlığının bakterilerin yaşam bulgusu olduğu göz önüne alındığında, kültürel yöntemlerle belirlenen bakteri sayıları ile ATP miktarlarının benzer eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, ATP ölçümünün mikrobiyal varlığın indikatörü olduğunu işaret etmektedir.

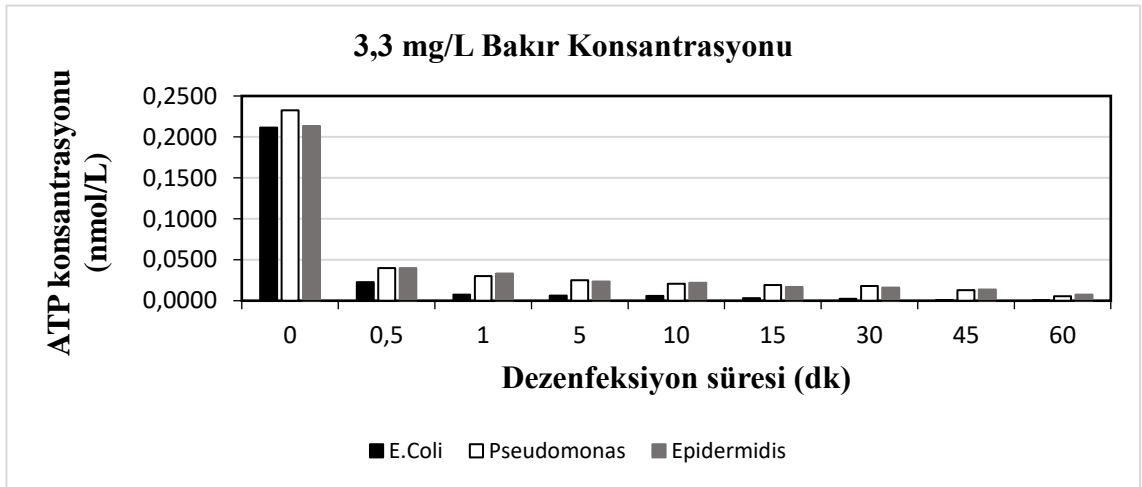
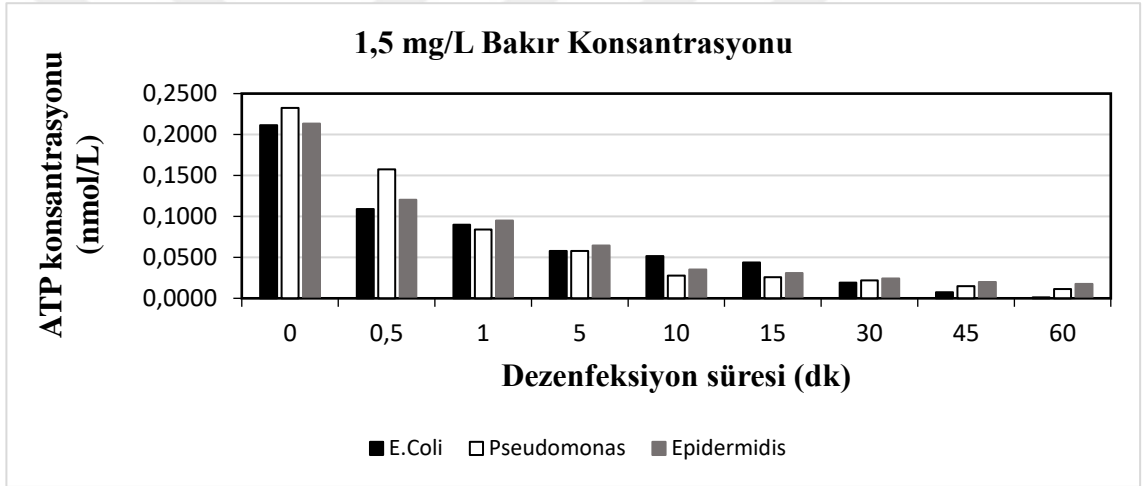
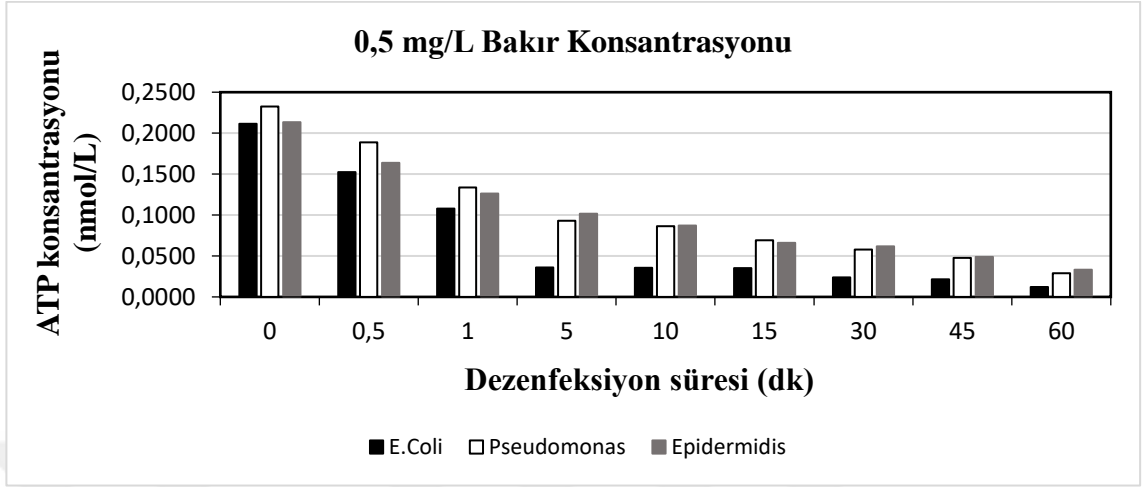
Literatürde mikrobiyal aktivite ile ATP miktarı arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar mevcuttur. Örneğin Lautenschlager ve ark. (2010) tarafından ev musluklarında yapılan çalışmada içme suyunun gece durgun halde olmasının mikrobiyal büyümeye olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 10 evden aldıkları beklemiş su örneklerinde bakteri miktarı; akım sitometrisi, ATP ölçümü ve heterotrofik bakteri sayımı ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar arasında güçlü bir korelasyon olduğu ifade edilmiştir. Literatürde yer alan farklı çalışmalarda da bakteri sayısı ile ATP miktarı arasında önemli bir korelasyon olduğu belirtilmektedir (Velten ve ark. 2007, Hammes ve ark. 2008, Hammes ve ark. 2010, Vital ve ark. 2012, Nescerecka ve ark. 2016, de Vera ve ark. 2019).



Şekil 4.28. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonrasında ATP konsantrasyonlarının değişimi

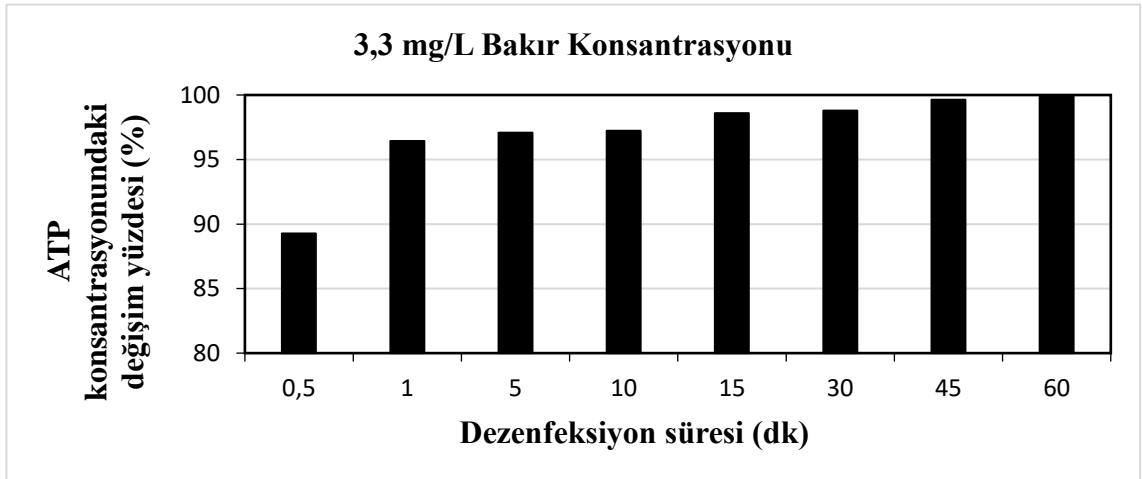
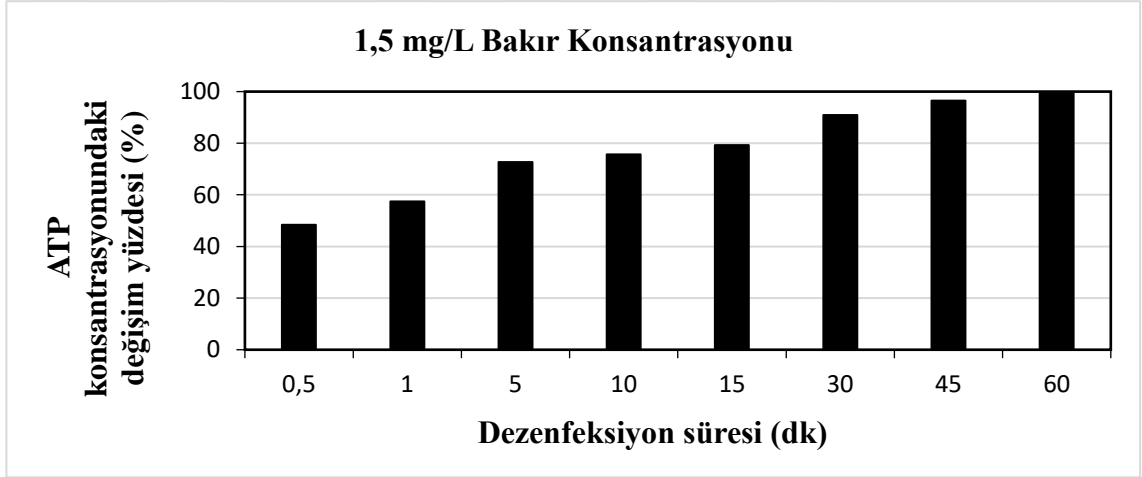
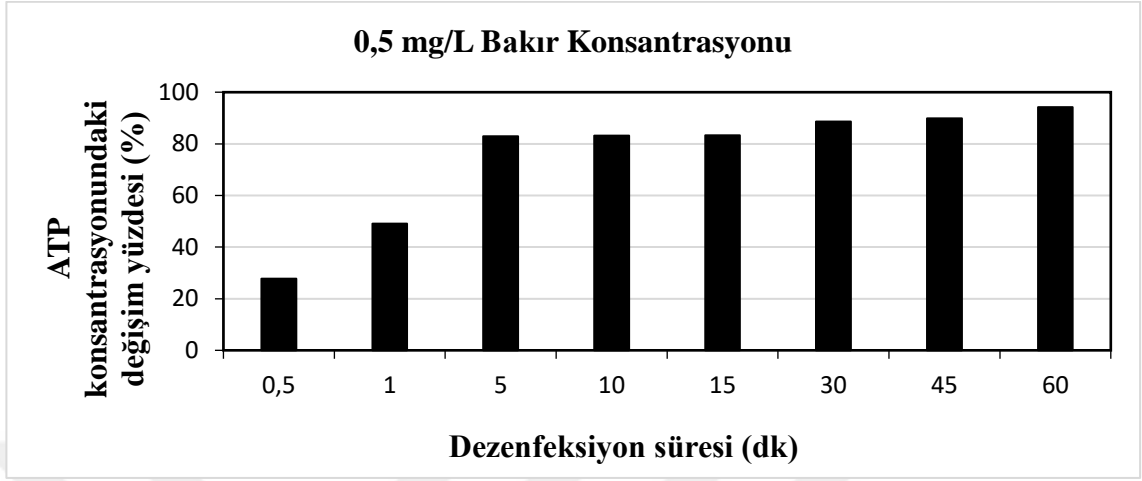
Şekil 4.29’te suya 0,5 mg/L, 1,5 mg/L ve 3,3 mg/L bakır iyonu uygulanması durumlarında *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*’in dezenfeksiyon süresine bağlı olarak ATP konsantrasyonlarındaki değişim gösterilmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere 3 farklı bakır iyonu uygulanması durumunda da en fazla ATP miktarındaki azalma *Escherichia coli*’de, en az azalma ise *Staphylococcus epidermidis*’te olmuştur.



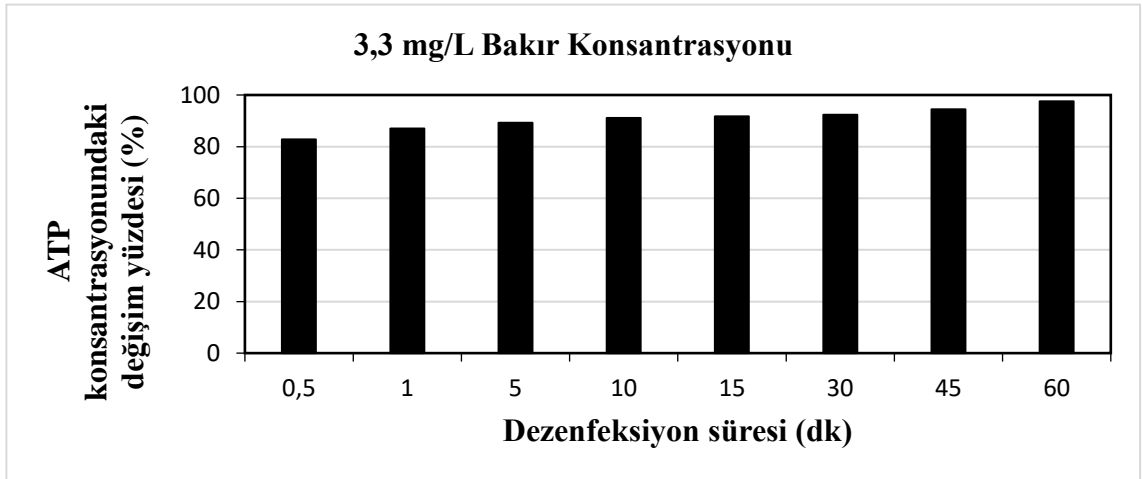
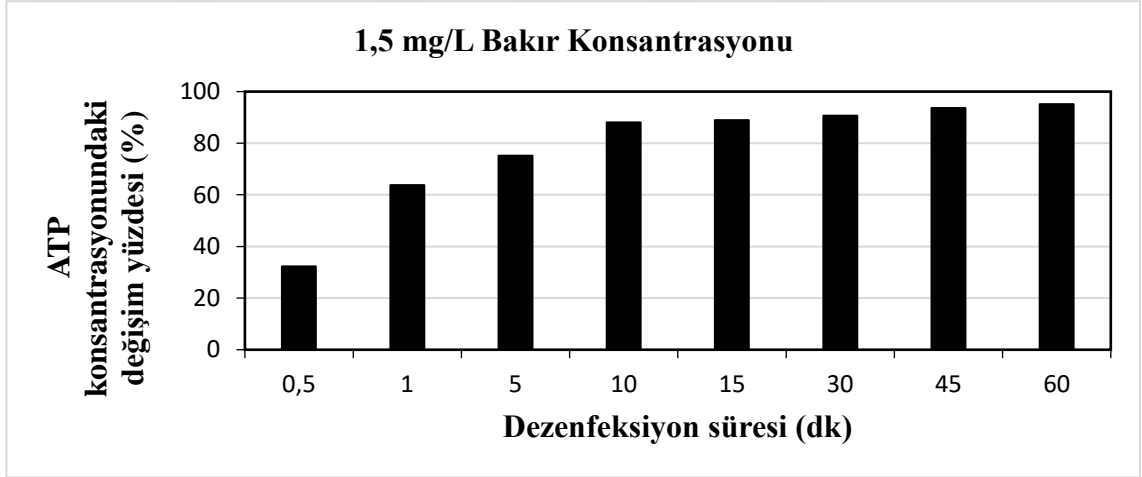
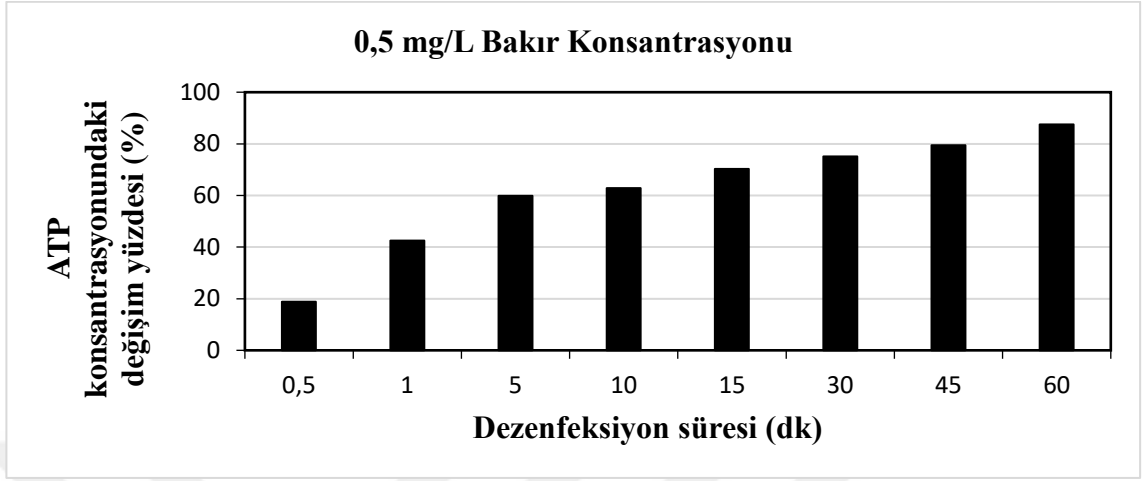


Şekil 4.29. Farklı bakır iyonları ile dezenfeksiyon sonunda *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'in temas süresine bağlı ATP konsantrasyonlarındaki değişim

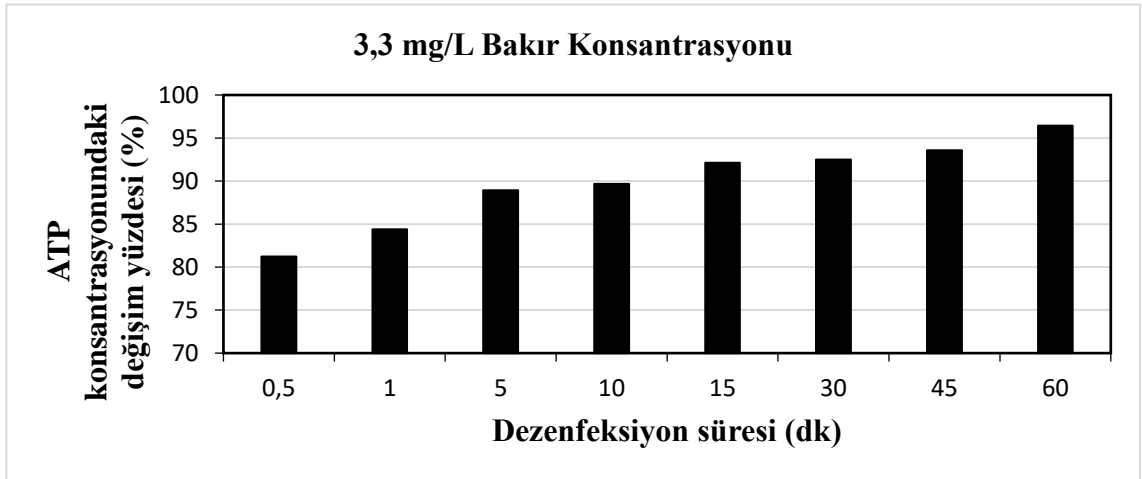
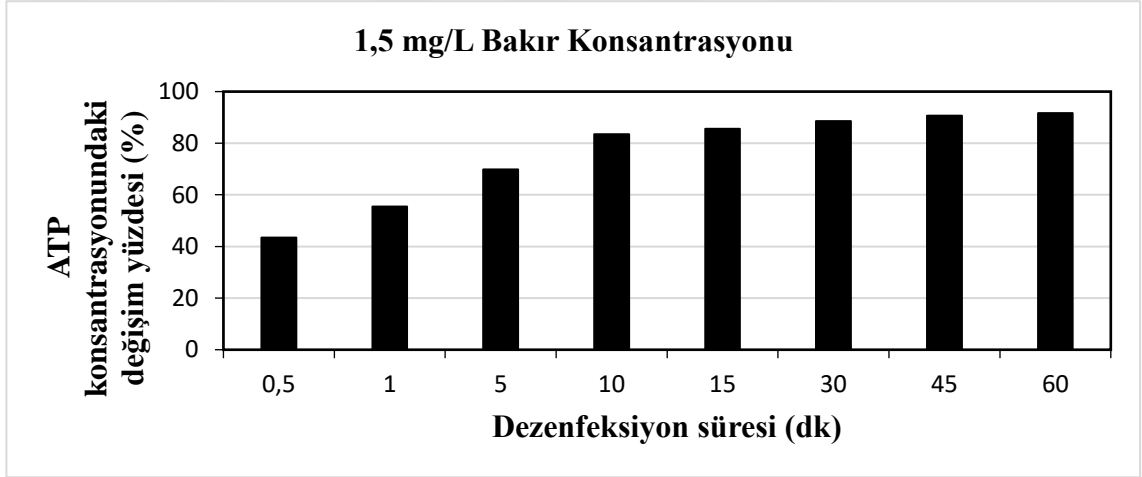
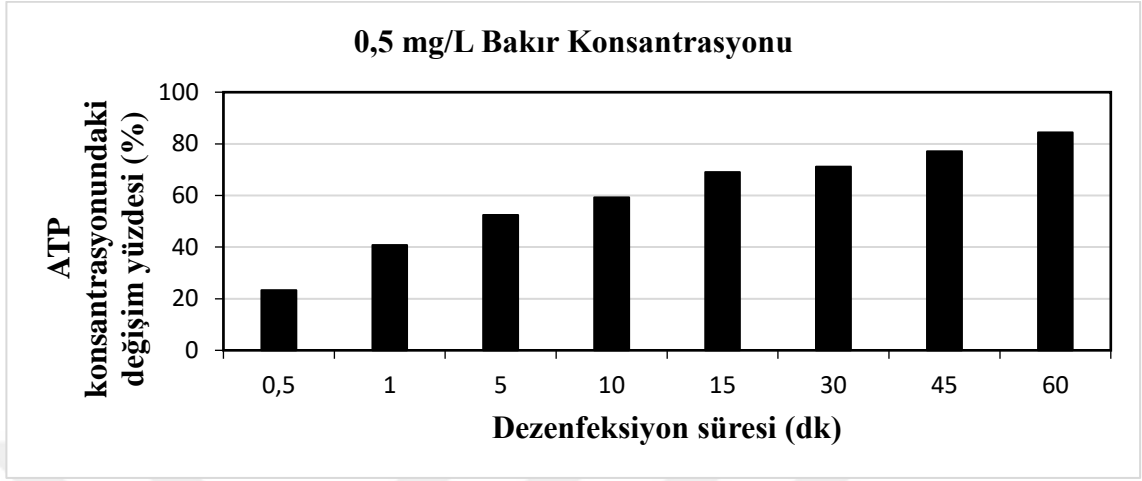
Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32’de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*’in 3 farklı bakır iyonu konsantrasyonu uygulanması sonrasında ATP miktarının azalma oranları verilmektedir. Suyun 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonunda 60 dakika temas süresi sonunda *Echerichia coli*’nin ATP miktarında %94 azalma meydana gelirken, 1,5 mg/L ve 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda aynı süre sonunda %99 azalma olmuştur. *Pseudomonas aeruginosa* için 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda 60 dakika temas süresi sonunda %88 azalma olurken, 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda aynı sürede %95 bakteri giderimi sağlanmış ve 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda %98 azalma sağlanmıştır. *Staphylococcus epidermidis* için ise; 0,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda 60 dakika temas süresi sonunda %84 azalma olurken, 1,5 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda aynı sürede %92 bakteri giderimi sağlanmış ve 3,3 mg/L bakır iyonu ile dezenfeksiyonda %96 azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.30. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde *Escherichia coli*'nin ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri



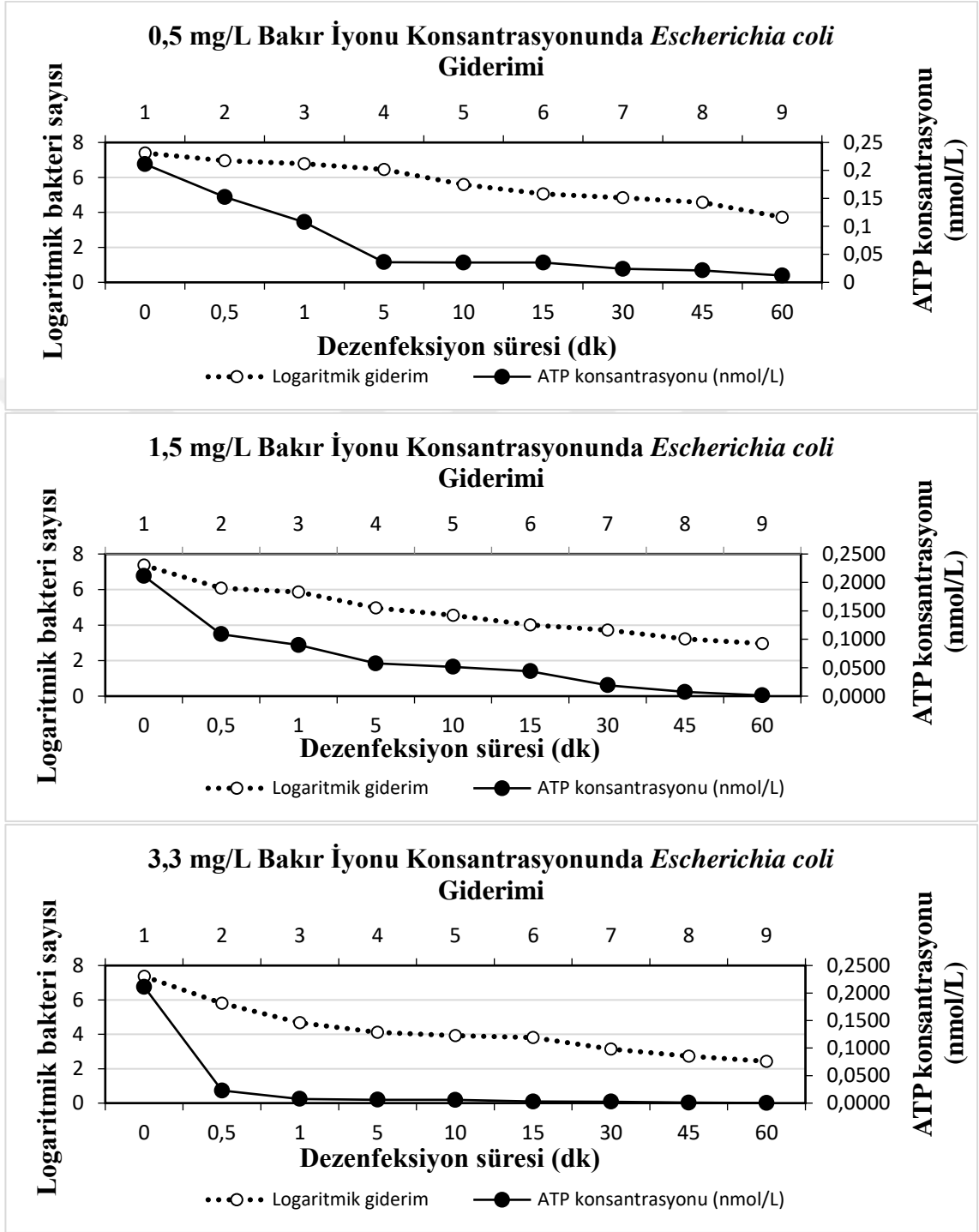
Şekil 4.31. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde *Pseudomonas aeruginosa*'nın ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri



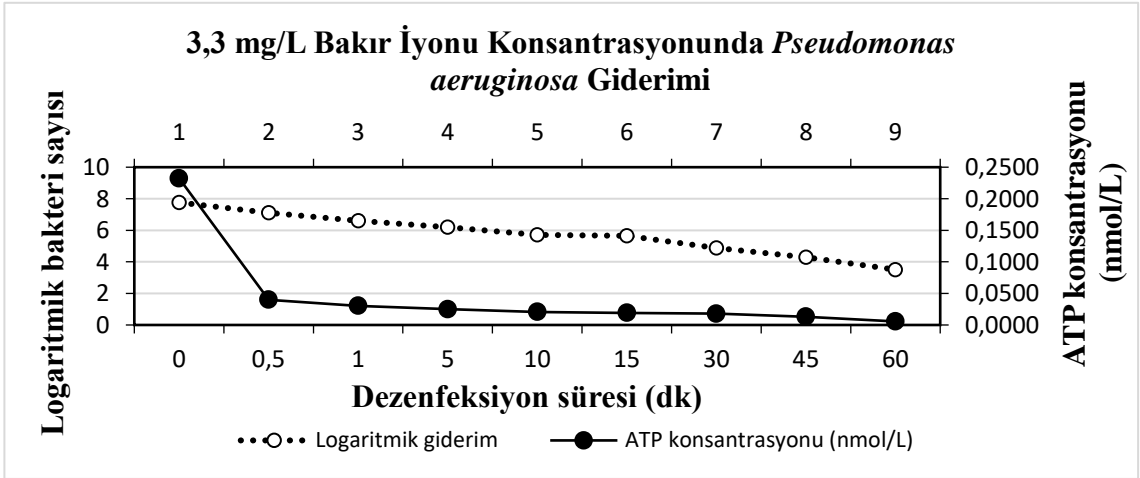
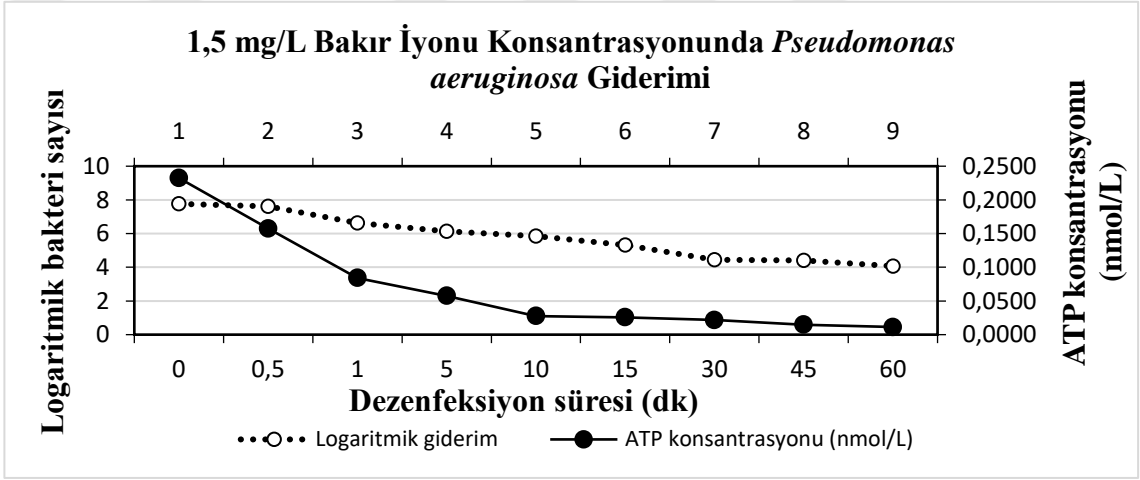
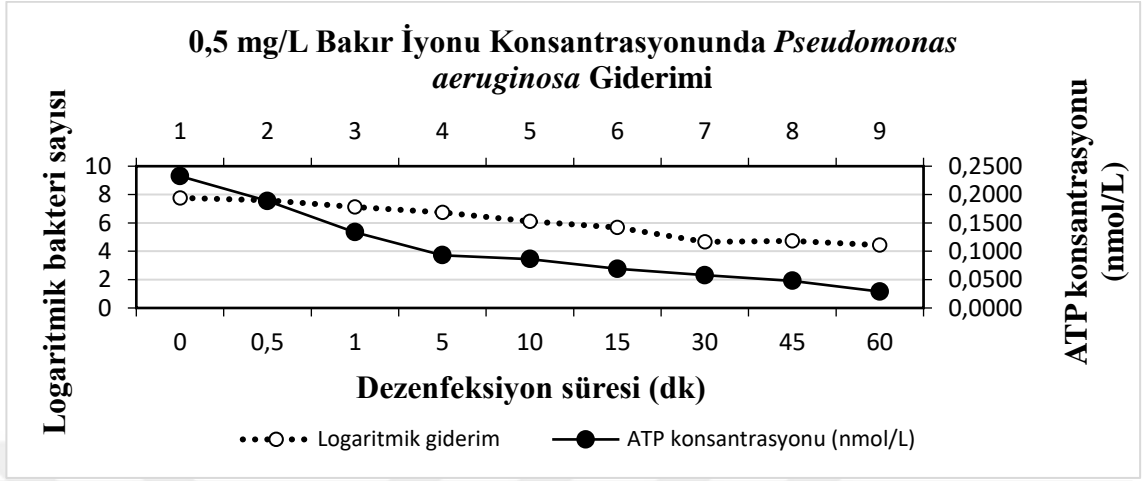
Şekil 4.32. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında ve temas sürelerinde *Staphylococcus epidermidis*'in ATP konsantrasyonundaki azalma yüzdeleri

Şekil 4.33, 4.34 ve 4.35'te farklı bakır konsantrasyonlarında test bakterilerinin dezenfeksiyonunda meydana gelen logaritmik bakteri giderimleri ve ATP konsantrasyonları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere logaritmik bakteri giderimleri ile ATP konsantrasyonlarındaki azalma karşılaştırıldığında sonuçlar birbiri ile paralellik göstermektedir.

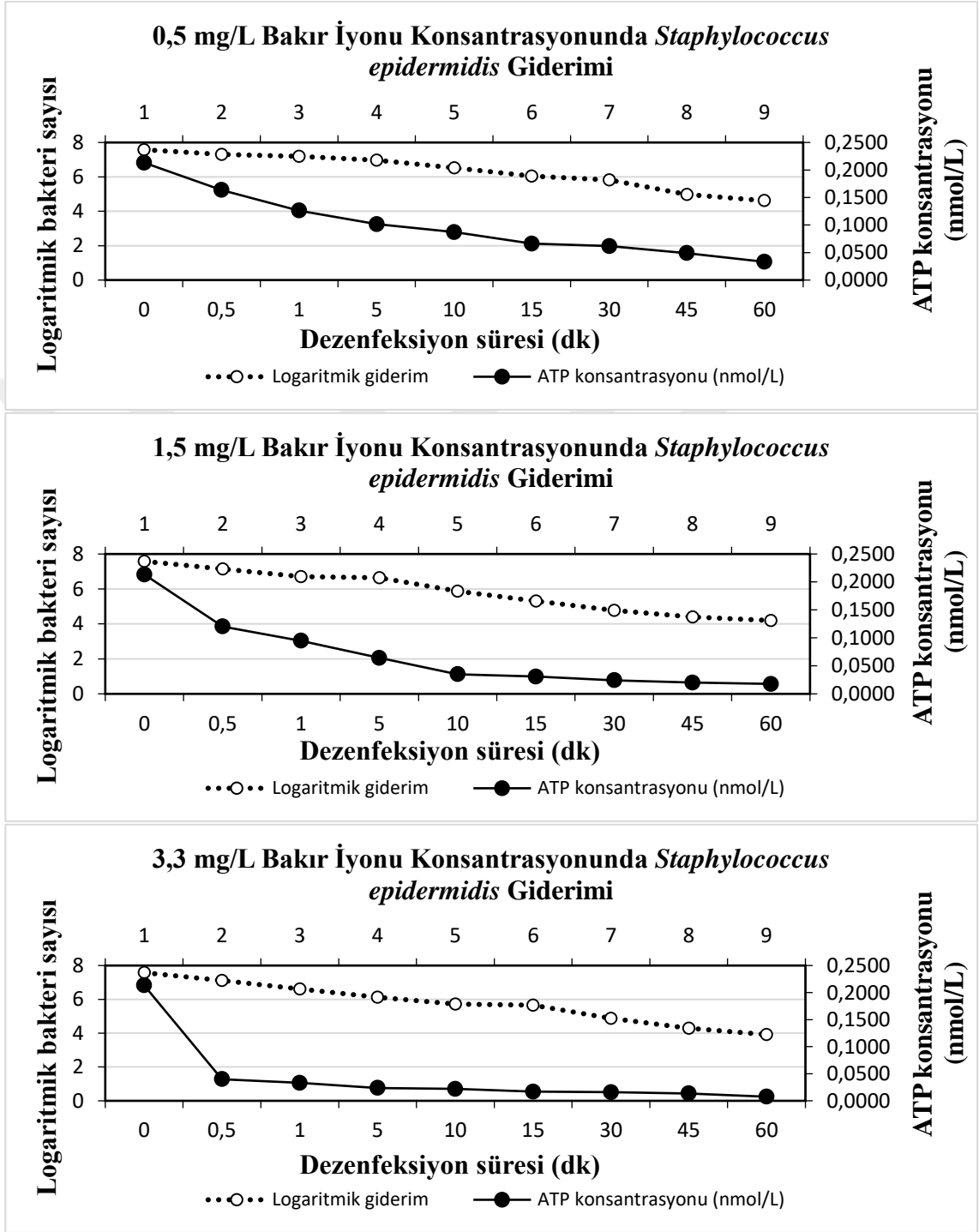




Şekil 4.33. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında *Escherichia coli*'nin logaritmik bakteriyel sayısı ve ATP konsantrasyonundaki azalma



Şekil 4.34. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında *Pseudomonas aeruginosa*'nın logaritmik bakteri giderimi ve ATP konsantrasyonundaki azalma



Şekil 4.35. Farklı bakır iyonu konsantrasyonlarında *Staphylococcus epidermidis*'in logaritmik bakteri giderimi ve ATP konsantrasyonundaki azalma

5. SONUÇ

Bu çalışmada, iyonizasyon yöntemi ile elde edilen bakır iyonlarıyla *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterilerinin giderimi araştırılmıştır. Yapılan dezenfeksiyon deneylerinde bakır konsantrasyonu, temas süresi, pH, bikarbonat ve sertlik parametrelerinin dezenfeksiyon verimliliğine olan etkileri incelenmiştir. Çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Düşük pH'a (6) sahip sulara bakır iyonları daha etkili olmuş ve daha fazla inaktivasyon meydana gelmiş, yüksek pH'ta (8,5) ise dezenfeksiyon olumsuz etkilenmiş ve daha az inaktivasyon gerçekleşmiştir. Bu durum bakır iyonları ile *Escherichia coli* inaktivasyonunda pH'ın dezenfeksiyon verimini etkileyen bir parametre olduğunu göstermektedir.
- Artan bikarbonat konsantrasyonlarına sahip olan suların dezenfeksiyonunda tüm örneklerde %99 giderim sağlanmıştır. Bu durum sudaki bikarbonat miktarının (0, 50, 150 mg/L) bakır iyonları ile dezenfeksiyonda *Escherichia coli* inaktivasyonu üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını işaret etmektedir.
- Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliğinin bakır iyonları ile *Escherichia coli* inaktivasyonunda herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı, 0, 50, 150 mg/L konsantrasyonlarında Ca^{+2} ve Mg^{+2} sertliği içeren sulara dezenfeksiyon sonunda %99 giderim sağlandığı tespit edilmiştir.
- 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ve 60 dakikalık temas süresi sonucunda 3,68 log *Escherichia coli*, 3,33 log *Pseudomonas aeruginosa* ve 2,96 log *Staphylococcus epidermidis* giderimi sağlanmıştır.
- 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonu ile %99 *Escherichia coli* giderimi için 15 dakika temas süresine ihtiyaç duyulurken, 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda 5 dakika ve 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ise 1 dakika yeterli olmuştur.

- 0,5 mg/L ve 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonlarında %99 *Pseudomonas aeruginosa* giderimi için 15 dakika temas süresine ihtiyaç duyulurken, 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda 10 dakika temas süresi yeterli olmuştur.
- 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda %99 *Staphylococcus epidermidis* giderimi için 45 dakika temas süresi gerekli olurken, 1,5 mg/L ve 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonları için 15 dakika temas süresi yeterli olmuştur.
- Yapılan çalışma sonunda *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* bakterileri için elde edilen inaktivasyon katsayıları (k) 0,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda sırasıyla 0,6304, 0,6038 ve 0,2701, 1,5 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda sırasıyla 3,2697, 0,9879 ve 0,6425, 3,3 mg/L bakır iyonu konsantrasyonunda ise sırasıyla 9,8305, 0,7585 ve 0,7262'dir. Bu sayılar bakır iyonu konsantrasyonunun artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Elde edilen sonuçlar tüm bakır iyonu konsantrasyonlarında *Escherichia coli*'nin inaktivasyon katsayılarının, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'e göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum *Escherichia coli*'nin dezenfeksiyona karşı *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis*'ten daha az dirençli olduğunu ortaya koymaktadır.
- Çalışmada ölçülen bakteriyel ATP değerleri kullanılan bakır dozlarına ve temas süresine bağlı olarak azalmıştır. ATP miktarında meydana gelen bu azalmanın bakteri sayısında meydana gelen azalma ile paralellik göstermesi, bakır iyonlarının bakteriler üzerinde meydana getirdiği geri dönüşsüz hasarın ATP ölçümü gibi biyomoleküler yöntemlerle kısa sürede belirlenebileceğini işaret etmektedir. Böylelikle ATP ölçümü, dezenfeksiyon işlemlerinde giderim verimliliğinin belirlenmesi için kullanılan kısa sürede sonuçları alınabilen alternatif bir ölçüm yöntemi olabilecektir.

Sonuç olarak; bakır iyonizasyonu ile dezenfeksiyonun *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus epidermidis* inaktivasyonunda etkin bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Ancak günümüzde bakır iyonlarının dezenfeksiyon amacı ile kullanımı cazip

görünse de toksik etkilerinin de göz önünde bulundurulması ve standartlar dikkate alınarak uygun dozların kullanılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Abad, F.X., Pinto R.M., Diez J.M., Bosch A., 1994.** Disinfection of human enteric viruses in water by copper and silver in combination with low levels of chlorine. *Applied and Environmental Microbiology* 60 (7): 2377–2383.
- Akar, A., 2000.** İçme Suyu Kalitesi Açısından Kirlilik Parametrelerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 141 s.
- Akçay, B.T., 2010.** Metal Katkılı Dolgulu Kolon ve UV Kolon Kullanılarak *Escherichia Coli* ve *Staphylococcus Aureus* Dezenfeksiyonu; Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Akman, M., 1975.** Zar süzgeç (Membran Filtre) yöntemi ile sularda *E. coli* sayımı, *Mikrobiyoloji Bülteni*, 9 (3): 257-267.
- Alıcı, Ö., 2007.** Dezenfeksiyonu Etkileyen Faktörler. 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi. Fatih Üniversitesi Tıp Fakültesi, İnfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, ANKARA.
- Alvarez, 2008.** Antimicrobialnanomaterials for water disinfection and microbialcontrol: Potentialapplications and implications. Rice University, USA, 4593 s.
- Anonim, 2006.** *KIWA Water Research (KWR)*, Evaluatie van praktijktesten met alternatieve technieken voor Legionellapreventie. Koper/zilver-ionisatie, anodische oxidatie (waaronder elektrodiagnostiek), pasteurisatie en ultrafiltratie. KWR 05.066. Nieuwegein, Nederland.
- Anonim, 2009.** Bakteri Membranlarının Fonksiyonunu Bozanlar. <http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeKardes.aspx?F6E10F8892433CFFA79D6F5E6C1B43FF9919DDE3B9E607D2>-(Erişim Tarihi: 25.06.2015)
- Anonim, 2011.** Yüzme Havuzlarının Tabi Olacağı Sağlık Esasları Hakkında Yönetmelik. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.aspx?MevzuatKod=7.5.14777&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=->-(Erişim Tarihi: 11.05.2019)
- Anonim, 2013a.** Su Depoları. <http://www.iyontek.com/su-depolari>-(Erişim Tarihi: 25.11.2015)
- Anonim, 2013b.** Gümüş ve Bakır İyonizasyon Sistemi ile Suyun Dezenfeksiyonu <http://www.rank.com.tr/latest/gumu-bak-r-yonizasyon>-(Erişim Tarihi: 16.04.2018)
- Anonim, 2014a.** <http://www.iyoncel.com/gumus-bakir-iyonizasyonunun-faydalari/>-(Erişim Tarihi: 05.09.2015)
- Anonim, 2014b.** Gümüş Bakır İyonizasyonu. <http://www.iyoncel.com/gumus-bakir-iyonizasyonu-nedir/>-(Erişim Tarihi: 12.04.2015)
- Anonim, 2016.** https://tr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli-(Erişim Tarihi: 20.11.2018)
- Anonim, 2017a.** Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 rd Edition, American Public Health Association, (APHA) Washington D.C.
- Anonim, 2017b.** ATP'nin Yapısı ve Özellikleri. <http://webders.net/435/atpnin-yapisi-ve-ozellikleri.html>-(Erişim Tarihi: 18.11.2017)
- Anonim, 2017c.** World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF). Progress on drinking water, sanitation and hygiene. Launch version July 12 Main report. 2017 Update and SDG Baselines. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Switzerland.

- Anonim, 2019.** İçme Suyu Temin Edilen Suların Kalitesi Ve Arıtılması Hakkında Yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/07/20190706-8.htm>-(Erişim Tarihi: 11.05.2019)
- Armstrong, A.M., Sobsey, M.D., 2012.** Characterization of ionic copper for disinfection of stored drinking water. IWA World Water Congress Exhibition 2012, 16-21 September 2012, Busan, Korea.
- Ateşli, A., 2006.** Hümik Maddelerin İçme Suyu Dezenfeksiyonu Prosesine Etkileri, Bursa, s.7
- Avery S.V., Howlett N.G., Radice S., 1996.** Copper toxicity towards *Saccharomyces cerevisiae*: dependence on plasma membrane fatty acid composition. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:3960–3966. 36.
- Aydın, K., 2009.** Ultraviyole Işınları ile Suların Dezenfeksiyonu, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
- Backhaus K., Marugán J., Grieken R.V., Sordo C., 2010.** Photocatalytic inactivation of *E. faecalis* in secondary wastewater plant effluents, *Water Science and Technology*, 61(9):2355-2361.
- Balcht, A., Smith, R., 1994.** *Pseudomonas aeruginosa*: Infections and Treatment. *Informa Health Care*. pp. 83-84. ISBN 978-0-8247-9210-7.
- Batı Kutlu, S., 2006.** “Çeşitli Klinik Materyallerden İzole Edilen Staphylococcus aureus Suşlarında Metisilin Direnci ve E -Test ile Vankomisin Mıç Değerlerinin Araştırılması”, T.C. Sağlık Bakanlığı, Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Kliniği.
- Beer C.W., Guilmartin L.E., McLoughlin T.F., White T.J., 1999.** Swimming pool disinfection: efficacy of copper/silver ions with reduced chlorine levels. *J. Environ. Health* 61: 9-13.
- Bedford, B., 2012.** *Legionella* Control in Water Systems Using Copper and Silver Ion Generation Systems. PhD Thesis Cranford University, Institute of Bioscience and Technology, 2012.
- Berger T.J., Spadaro J.A., Chapin S.E., Becker R.O., 1976.** Electrically generated silver ions: quantitative effects on bacterial and mammalian cells. *Antimicrob. Agents Chemother.* 9: 357-358.
- Bitton, G., 2005.** Wastewater Microbiology. John Wiley & Sons, Inc., Canada, 765 s.
- Boe-Hansena, R., Albrechtsen H.J., Arvina E., Jorgensen C., 2002.** Bulk water phase and biofilm growth in drinking water at low nutrient conditions, *Water Research* 36, P4477–4486.
- Borkow, G., Gabbay, J., 2005.** Copper as a biocidal tool. *Curr. Med. Chem.* 12: 2163-2175.
- Brenner, K.P., Rankin, C.C., 1990.** New screening test to determine the acceptability of 0,45µm membrane filters for analysis of water. *Appl. Env. Microbio.*, 54-64.
- Butkus M.A., Labare M.P., Starke J.A., Moon K., Talbot M., 2004.** Use of aqueous silver to enhance inactivation of coliphage MS-2 by UV disinfection. *Appl Environ Microbiol.*,70(5):2848-53.
- Cairns, W.L., 1993.** Comparing Disinfection by Ultraviolet Light and Chlorination-The Implications of Mechanism for Practice. Proceeding of The WEF Specialty Conference on Planning, Design and Operations of Effluent Disinfection Systems, Water Environment Federation, Alexandria, Virginia, 555-566 p.

- Cairns, W.L., 1994.** Ultraviolet technology for water supply treatment. 20th Annual Convention and Exhibition, Water Quality Association, Phoenix, Arizona, USA.
- Clarke, N.A., Berman, D., 1983.** Disinfection of drinking water, swimming pool water and treated sewage effluents, p. 529-534. In S. S. Block (ed.), Disinfection, sterilization and preservation. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Davis, R.I., Etris S.F., 1997.** Development and functions of silver in water-purification and disease-control. *Catalysis Today* 36:107–114.
- Davoudi, M., Ehrampoush, M.H., Vakili, T., Absalan, A., Asghar, E., 2012.** Antibacterial effects of hydrogen peroxide and silver composition on selected pathogenic Enterobacteriaceae. *Int J Env Health Eng*, 1, 23.
- de Vera, G.A., Wert, E.C., 2019.** Using discrete and online ATP measurements to evaluate regrowth potential following ozonation and (non) biological drinking water treatment. *Water Research* 154 (2019) 377-386.
- Delahaye, E., Welté, B., Levi, Y., Leblon, G., Montiel, A., 2003.** An ATP-based method for monitoring the microbiological drinking water quality in a distribution network. *Water Research* 37, 3689-3696.
- Erdem, U.C., 1995.** Membran filtrasyon tekniği ve gıdalarda kullanım alanları, Seminer, A.Ü. Vet. Fak. Besin Hij. ve Tekn. A.B.D., Ankara.
- Eroğlu, V., 1995.** Su Tasfiyesi, İTÜ, İstanbul, s. 7-10-245-258.
- Galvez, J.B., Ibanez, P.F., Rodriguez, S.M., 2007.** Solar photocatalytic detoxification and disinfection of water: *Recent overview, Journal of Solar Energy Engineering*, 129(1):4-15.)
- Gunten, U.V., Driedger, A., Gallard, H., Salhi, E., 2000.** By-Products Formation During Drinking Water Disinfection: A Tool To Assess Disinfection Efficiency, EAWAG, *Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology*, CH-8600 Dübendorf, Switzerland.
- Gül, M., 2010.** Hemşireler İçin Mikrobiyoloji, Nobel Tıp Kitabevi Ltd. Şti., 168-170, İstanbul.
- Güler, Ç., 1997.** Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No: 43, Ankara.
- Güllüoğlu, S., 2010.** Havuz, Çocuk ve Dezenfeksiyon, ISBN 978-605-61249, Ankara.
- Halkman, A.K., Ayhan, K., 2000.** Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Genişletilmiş 2. Baskı; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yayını. Sim Matbaası, Ankara 522 s 06. Bölüm *Acinetobacter baumannii*: implications for on-site disinfection for hospital infection control. *Water Res* 42:73-80.
- Hammes, F., Berney, M., 2008.** Flow-cytometric total bacterial cell counts as a descriptive microbiological parameter for drinking water treatment processes, *water research* 42, P269–277.
- Hammes, F., Goldschmidt, F., Vital, M., Wang, Y., Egli, T., 2010.** Measurement and interpretation of microbial adenosine tri-phosphate (ATP) in aquatic environments. *Water Research*, 44, 3915-3923.
- Hassen, A., Mahrouk, M., Ouzari, H., Cherif, M., Boudabous, A., Damelincourt, J.J., 2000.** UV Disinfection of Treated Wastewater in a Large-Scale Pilot Plant and Inactivation of Selected Bacteria in a Laboratory UV Device, *Bioresource Technology*, 74:141-151.
- Hısım, S., Ayan, N., 2005.** İçme Sularının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Klorun İnsan Sağlığına Etkileri ve Dezenfeksiyon Esnasında Oluşan Klorlanmış Yan Ürünlerin Tayini, Antalya.

- Hua, G., Reckhow, D.A., 2007.** Comparison of disinfection by product formation from chlorine and alternative disinfectants, *Water Research* 41: 1667-1678.
- Huang, H.I., Shih, H.Y., Lee C.M., Yang, T.C., Lay J.J., Lin, Y.E., 2008.** In vitro efficacy of copper and silver ions in eradicating *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* and *Acinetobacter baumannii*: implications for on-site disinfection for hospital infection control.
- Huck P.M. Gagnon G.A., 2004.** Understanding the distribution system as a bioreactor: a framework for managing heterotrophic plate count levels, 2004, *International Journal of Food Microbiology* 92, P347– 353.
- Huck, P.M., 1990.** Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth in drinking water. *Journal of American Water Works Association* 82, 7, pp. 78–86.
- Hunter, P. R., Waite, M. And Ronchi, E., 2003.** Drinking water and infectious disease: establishing the links, *IWA Publishing*, CRC Press LLC, London.
- Ilgar, R., 2017.** Dünya Su Yönetimi ve Su Eğitimi/World Water Management and Water Education. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Kestioğlu, K., 2001.** Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri, Uludağ Üniversitesi, ISBN 975-564-114-9, Bursa, sf 261-266.
- Khaydarov, R.A., Khaydarov R.R., Olsen R.L., Rogers, S. E., 2004.** Water disinfection using electrolytically generated silver, copper and gold ions. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* (2004) 53 (8): 567-572.
- Khlyntseva S.V., Bazel Ya.R., Vishnikin A.B., Andruch V., 2009.** Methods for the Determination of Adenosine Triphosphate and Other Adenine Nucleotides. *Journal of Analytical Chemistry*, 2009, Vol. 64, No. 7, pp. 657–673.
- Köksal, S., 2017.** Dersler, Çevre Sağlığı, İçme ve Kullanma Suları. İstanbul, <http://www.selcukkoksal.com/>-(Erişim Tarihi: 25.03.2018).
- Landeen, L.K., Yahya, M., Kutz, S.M., Gerba, C.P., 1989.** Microbiological evaluation of copper: silver disinfection units for use in swimming pools. *Water Science & Technology*, 21(3), 267–270.
- Lautenschlager, K., Boon, N., Wang, Y., Egli, T., Hammes, F., 2010.** Overnight stagnation of drinking water in household taps induces microbial growth and changes in community composition. *Water Research* 44 (2010) 4868-4877.
- Lazarava, V., Savoye, P., Janex, M.L., Blatchley III, E.R., 1999.** Examination and Characterization of Distribution System Biofilms. *Appl. Environ. Mikrobiology*, 53 (12), 2714 2724.
- Lebedev, V.S., Veselovskii, A.V., Deinega, E., Fedorov, I., 2002.** The role of reactive oxygen species in copper-induced permeability of plasma membranes in *Escherichia coli*. *Biofizika* 47:295–299.
- Lechevallier, M.W., Shaw, N.E., Kaplan, L.A., Bott, T.L., 1993.** Development of a rapid AOC method for water. *Applied Environmental Microbiology* 59, p. 1526.
- Lehtola, M.J., Nissinen, T.K., Miettinen, I.T., Martikainen, P.J., Vartiainen, T., 2004.** Removal of soft deposits from the distribution system improves the drinking water quality. *Water Research* 38 (3), 601-610.
- Leitão, J.M.M., Silva, J.C.G.E., 2010.** Firefly luciferase inhibition, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 101, pp 1-8.

Lethola, M.J., Miettinen, I.T., Vartiainen, T., Rantakokko P., Hirvonen, A., Martikainen, P.J., 2003. Impact of Disinfection on Microbially Available Phosphorus, Organic Carbon and Microbial Growth in Drinking Water. *Wat. Res.* 37, 1064-1070.

Lin, Y.E., Vidic, R.D., Stout, J.E., Yu, V.L., 1996. Individual and combined effects of copper and silver ions on inactivation of *Legionella pneumophila*. *Wat. Res.*, 30, 1905–1913.

Lin, Y.E., Vidic, R.D., Stout, J.E., Yu, V.L., 1998. *Legionella* in water distribution systems. *J. Am. Water Works Assoc.* 90:112–121.

Lin, Y.E., Vidic, R.D., Stout, J.E., Yu, V.L., 2002. Negative effect of high pH on Biocidal Efficacy of copper and silver ions in controlling *Legionella pneumophila*, *Appl. Environ. Microbiol.* 68 (6): 2711–2715. (sonradan eklendi)

Liu, Z., Stout, J.E., Tedesco, L., Boldin, M., Hwang, C., Diven, W.F., Yu, V.L., 1994. “Controlled Evaluation of Copper-Silver Ionization in Eradicating *Legionella pneumophila* from a Hospital Water Distribution System.” *J. Infect. Dis. Apr:* 169(4): 919-22.

Martinez, S.S, Gallegos, A.A., Martinez, E., 2004. Electrolytically generated silver and copper ions to treat cooling water: an environmentally friendly novel alternative. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29, 921–932.

Mcdonnell, G., Russell, AD., 1999. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin. Microbiol. Rev.* 12: 147-179.

Meriç, S., Topacık, D., 1996. Arıtma Tesisi Çıkış Sularının UV ile Dezenfeksiyonu, I. Uludağ Üniversitesi Sempozyumu, s. 153-154, Bursa.

Metcalf & Eddy, 1991. Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, p. 324-352.

Metcalf & Eddy, 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse.

Meyer, W.C., 2001. Coping with resistance to copper/silver disinfection. *Water Engineering and Management*, November 2001, 25-27.

Molt, E.L., 1978. İçme suyu Arıtılmasında Birim İşlemler, Çeviren: Vahap BALMAN, Ankara, s 50-67.

Muslu, Y., 2002. Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Temel Prosesler, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Nabizadeh, R., Alimohammadi M., Nematı, R., Naddafi, K., Naseri, S., Aslani, H., Mousavipour S.N., 2013. Disinfection of secondary treated wastewater using under pressure dissolved oxygen, copper ions and hydrogen peroxide. *Global NEST Journal*, Vol 15, No 1, pp 121-130.

Nagy, L.A., Olsen, B.H., 1985. Occurrence and significance of bacteria, fungi and yeast associated with distribution pipe surfaces. *Advanced in water analysis and treatment. Technology Conference Proceedings. American Water Works Association, Houston*, pp. 213-237.

Nagoba, B.S., Selkar, S.P., Wadher, B.J., Gandhi, R.C., 2013. "Acetic acid treatment of pseudomonal wound infections--a review". *Journal of Infection and Public Health.* 6 (6): 410–5. doi:10.1016/j.jiph.2013.05.005. PMID 23999348.

Orta De Velásquez, M.T., Yáñez-Noguez, I., Jiménez-Cisneros, B., Luna Pabello, V.M., 2008. Adding silver and copper to hydrogen peroxide and peracetic acid in the disinfection of an advanced primary treatment effluent. *Environ Technol.*, 29(11):1209-17.

Özkütük, N., 2005. Mikrodalga ve Ultraviyole ile Dezenfeksiyon Uygulamaları, Kullanım Alanları Genel Özellikleri.

- Öztürk, M., Saral, A., 2004.** Kimyasal Temel İşlemler; Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi.
- Percival, S., Chalmers, R., Embrey, M., Hunter, P., Sellwood, J., Wyn-Jones, P., 2004.** Microbiology of waterborne diseases. Boston: *Elsevier Academic Press*.
- Pignata, C., Fea, E., Rovere, R., Degan, R., Lorenzi, E., De Ceglia, M., Schilirò, T., Gilli, G., 2012.** Chlorination in a wastewater treatment plant: acute toxicity effects of the effluent and of the recipient water body. *Environ Monit Assess* 184:2091–2103.
- Poole, K.J., 2004.** "Efflux-mediated multiresistance in Gram-negative bacteria". *Clinical Microbiology and Infection*. 10 (1): 12-26.
- Richardson, S.D., Thruston, A.D., Caughran, T.V., Chen, P.H., Collette, T.W., Floyd, T.L., 1999.** Identification of New Ozone Disinfection By-products in Drinking Water, *Environ. Sci. Technol.*, ASAP Article 10.1021/es981218c S0013-936X(98)01218.
- Richardson, S.D., Plewa, M.J., Wagner, E.D., Schoeny, R., Demarini, D.M., 2007.** Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research, *Mutation Research* 636 : 178-242.
- Rittmann, B.E., Snoeyink, V.L., 1984.** Achieving biologically stable drinking water, *Journal of American Water Works Association* 76:10, 106-114.
- Rohr, U., Senger, M., Selenka, F., Turley, R., Wilhelm, M., 1999.** Four years of experience with silver-copper ionization for control of *Legionella* in a German university hospital hot water plumbing system. *Clin. Infect. Dis.* 29: 1507-1511.
- Rook, J.J., 1974.** Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters, *Water Treatment and Examination* 23, 234–243.
- Ruelas E E.S., 2007.** The development alternative methods of disinfection, Department of Soil, Water and Environmental Science, In the Graduate College, The University of Arizona.
- Ryan, K.J., Ray, C.G., 2004.** Sherris Medical Microbiology (4th ed.). McGraw Hill. ISBN 978-0-8385-8529-0
- Saniç, A., 1994.** Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon İlkeleri. *Klimik Dergisi*; 7:13-16.
- Shanmuganathan, A., Avery, S.V., Willetts, S.A., Houghton, J.E., 2004.** Copper-induced oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* targets enzymes of the glycolytic pathway *FEBS Letters* 556, 253-259.
- Shih, H.Y., Lin, Y.E., 2010.** Efficacy of Copper-Silver Ionization in Controlling Biofilm- and Plankton-Associated Waterborne Pathogens. *Applied And Environmental Microbiology*, Mar. 2010, p. 2032–2035. Graduate Institute of Environmental Education, National Kaohsiung Normal University, Kaohsiung, Taiwan.
- Nescerecka, A., Juhna, T., Hammes, F., 2016.** Behavior and stability of adenosine triphosphate (ATP) during chlorine disinfection. *Water Research* 101 (2016) 490-497.
- Ningthoujam, D.S., Shovarani, N., 2008.** "Isolation and Characterization of *Pseudomonas aeruginosa* Strain DN1 Degrading p-Nitrophenol". *Research Journal of Microbiology*: 345–351.
- Siddiqui, M.S., Amy, G.L., Murphy, B.D., 1997.** Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter from Drinking Water Sources, *Water Research*.31 (12): 3098-3106.
- Silvestry-Rodriguez, N., Bright, K.R., Uhlmann, D.R., Slack, D.C., Gerba, C.P., 2007.** Inactivation of *Pseudomonas aeruginosa* and *Aeromonas hydrophila* by silver in tap water. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2007 Sep;42(11):1579-84.

- Singer, C.P., 1999.** Formation and control of disinfection by-products in drinking water. AWWA. 424 s
- Sudha, V.B.P., Ganesan, S., Pazhani, G.P., Ramamurthy, T., Padma, N., Venkatasubramanian, G.B., 2012.** Storing drinking-water in copper pots kills contaminating diarrhoeagenic bacteria. *J Health Popul Nutr*; 30(1):17-21.
- Sujbert, L., Racz, G., Szende, B., Schröder, H.C., Müller, W.E.G., Török, G., 2006.** Genotoxic potential of by-products in drinking water in relation to water disinfection: Survey of pre-ozonated and post-chlorinated drinking water by Ames-test, *Toxicology* 219: 106-112.
- Szewzyk, U., Szewzyk, R., Manz, W., Schleifer, K.H., 2000.** Microbiological Safety of drinking water, *Annual review of microbiology*, Vol. 54, 8-127.
- Şakar, İ., 2004.** Çevre Mikrobiyolojisi II- Ders Notları, İstanbul, 22-24 s.
- Şengül, F., Küçükgül E.Y., 1997.** Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, 4.Baskı, DEÜ Basım Ünitesi, İzmir, 177 s.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., 1991.** Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf & Eddy, Inc. New York. p.269.
- Teitzel, G.M., Geddie, A., De Long, S.K., Kirisits, M.J., Whiteley, M., Parsek, M.R., 2006.** Survival and growth in the presence of elevated copper: Transcriptional profiling of copper-stressed *Pseudomonas aeruginosa*, *J. Bacteriol.* 188(20):7242.
- Thurman, R.B., Gerba, C.B., 1989.** The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses. *Critical Reviews in Environmental Control*, 18 (4), 295-315.
- Tofant, A., Pavičić, Ž., Matković, K., Hadina, S., Križanić, J., 2003.** Pig slurry hygienization with hydrogen peroxide - silver complex, an environmentally acceptable disinfectant. *Vet. arhiv* 73 (6), 345-353.
- Triantafyllidou, S., Lytle, D., Muhlen C., Swertfeger J., 2016.** Copper-silver ionization at a US hospital: Interaction of treated drinking water with plumbing materials, aesthetics and other considerations. *Water Research* 102: 1-10.
- Tünay, O., 1996.** Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, p 53-79.
- USEPA, 1984.** Chlorine effect on aquatic organisms: Evaluation of selected toxicity models, EPA-600/7-84-040, Washington DC.
- USEPA, 1999.** Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, Office of Water, 815 R-99-014.
- USEPA, 2001.** Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water. Office of Research and Development, Washington DC 20460.
- USEPA, 2009.** US Environmental Protection Agency, National Secondary Drinking Water Regulations, EPA 816-F-09-004, Ohio, USA.
- Ustaçelebi, Ş., 1999.** Temel Ve Klinik Mikrobiyoloji, Güneş Kitabevi Ltd. Şti., 340-346, Ankara.
- Ünlütürk, A., Turantaş, F., 1988.** Sularda toplam koliform sayımında kullanılan membran filtrasyon ve kuvvetle muhtemel sayı yöntemlerinin karşılaştırılması. *Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Müh. Dergisi*, 6 (2): 137-145.
- Van Der Kooij, D., 1992.** Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Journal of American Water Works Association*, 84:57-65.

- Van Der Kooij, D., Veenendaal, H.R., Baars-Lorist, C., Van Der Klift, H.W., Drost, Y.C., 1995.** Biofilm formation on surfaces of glass and teflon exposed to treated water, *Water Research* 29, P 1655-1662.
- Van Der Kooij, D., Vrouwenvelder, J.S., Veenendaal, H.R., 2003.** Elucidation and control of biofilm formation processes in water treatment and distribution using the unified biofilm approach. *Water Science and Technology* 47(5) pp 83-90.
- Van Der Kooij, D., 2003.** Managing regrowth in drinking-water distribution systems. In: Emerging Issues in Water and Infectious Diseases Series. Heterotrophic plate counts and drinking-water safety: The significance of HPC's for water quality and human health, 199-232.
- Van Der Wielen, P.W., Van Der Kooij, D., 2010.** Effect of water composition, distance and season on the adenosine triphosphate concentration in unchlorinated drinking water in the Netherlands. *Water Research* 44 (17), 4860-4867.
- Varkey, A.J., Dlamini, M.D., Mansuetus, A.B., Tiruneh, A.T., 2013.** Germicidal Action of Some Metals/Metal Ions in Combating *E.coli* Bacteria in Relation to Their Electro-Chemical Properties, *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 1132-1143.
- Velten, S., Hammes, F., Boller, M., Egli, T., 2007.** Rapid and direct estimation of active biomass on granular activated carbon through adenosine tri phosphate (ATP) determination. *Water Research* 154 (2019) 377-386.
- Verberk, J.Q.J.C., O'halloran, K.J., Hamilton, L.A., Vreeburg, J.H.G., Van Dijk, J.C., 2007.** Measuring particles in drinking water transportation systems with particle counters *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* 56 (5), pp. 345-355.
- Vital, M., Dignum, M., Magic-Knezev, A., Ross, P., Rietveld, L., Hammes, F., 2012.** Flow cytometry and adenosine tri-phosphate analysis: Alternative possibilities to evaluate major bacteriological changes in drinking water treatment and distribution systems. *Water Research* 46 (2012) 4665-4676.
- Volk, C.J., Lechevallier, M.W., 2000.** Assessing biodegradable organic matter. *Journal of American Water Works Association* 92(5), 64–76.
- Vreeburg, J.H.G., Boxall, J.B., 2007.** Discolouration in potable water distribution systems: *A review Water Research* 41 (3), pp. 519-529.
- Vreeburg, J.H.G., Schippers, D., Verberk, J.Q.J.C., Van Dijk J.C., 2008.** Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system, *Water Research* 42, P4233-4242.
- Walraven N., Pool W., Chapman C., 2016.** Efficacy of copper-silver ionisation in controlling Legionella in complex water distribution systems and a cooling tower: Over 5 years of practical experience. *Journal of Water Process Engineering* 13: 196–205.
- Who, 2013.** Water safety plan manual (WSP manual): Step-by-step risk management for drinking-water suppliers, *Water Safety Plans: Managing drinking-water quality for public health*, accessed 21.08.2013:
- Yahya, M.T., Landeen, L.K., Messina, M.C., Kutz, S.M., Schulze, R., Gerba, C.P., 1990.** Disinfection of bacteria in water systems by using electrolytically generated copper:silver and reduced levels of free chlorine. *Can J Microbiol.* 1990 Feb;36(2):109-16.
- Yahya, M.T., Landeen, L.K., Messina, M.C., Kutz, S.M., Schulze, R., Gerba, C.P., 1990.** "Disinfection of Bacteria in Water Systems by using Electrolytically Generated Copper. Silver and Reduced Levels of Free Chlorine." *Can. J. Microbiol.* Feb: 36(2): 109-16.

Yamanaka, M., Hara, K., Kudo, J., 2005. Bactericidal actions of a silver ion solution on *Escherichia coli*, Studied by energy-filtering transmission electron microscopy and proteomic analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(11), 7589–7593.

Yoshida, K., Tanagawa, M., Atsuta, M., 1999. Antibacterial activity of resin composites with silver-containing materials. *J. Biomed. Mater. Res.*47, 516.



EKLER

- EK 1** Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda pH Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar
- EK 2** Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda Bikarbonat Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar
- EK 3** Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda Sertliğin Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar
- EK 4** Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar
- EK 5** Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları

EK 1. Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda pH Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

<i>Escherichia coli</i> 0,5 mg/L Cu												
Temas süresi (dk)	pH 6				pH 7				pH 8,5			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	9,4x10 ⁵	9,3x10 ⁵	9,3x10 ⁵	5,97	5,1x10 ⁵	4,9x10 ⁵	5x10 ⁵	5,7	9,7x10 ⁵	9,7x10 ⁵	9,7x10 ⁵	5,99
0,5	4,4x10 ⁵	4,3x10 ⁵	4,3x10 ⁵	5,64	2,3x10 ⁵	3,4x10 ⁵	2,8x10 ⁵	5,5	8,2x10 ⁵	8,1x10 ⁵	8,1x10 ⁵	5,91
1	2,1x10 ⁵	2,1x10 ⁵	2,1x10 ⁵	5,34	6,6x10 ⁴	7,4x10 ⁴	7x10 ⁴	4,9	6,6x10 ⁵	1x10 ⁶	8,5x10 ⁵	5,93
5	3,8x10 ⁴	4,3x10 ⁴	4x10 ⁴	4,61	4,5x10 ⁴	4,3x10 ⁴	4,4x10 ⁴	4,6	7,5x10 ⁵	7,2x10 ⁵	7,4x10 ⁵	5,87
10	7x10 ³	9,1x10 ³	8x10 ³	3,91	3,2x10 ⁴	3,6x10 ⁴	3,4x10 ⁴	4,5	5,2x10 ⁵	5,7x10 ⁵	5,5x10 ⁵	5,74
15	3x10 ³	4x10 ³	3,5x10 ³	3,54	1,1x10 ⁴	9,2x10 ³	1x10 ⁴	4	2,4x10 ⁵	1,9x10 ⁵	2,1x10 ⁵	5,34
30	5,1x10 ²	5x10 ²	5x10 ²	2,7	5x10 ³	5,3x10 ³	5,1x10 ³	3,7	8,9x10 ⁴	9,2x10 ⁴	9x10 ⁴	4,96
45	2,9x10 ²	2,9x10 ²	2,9x10 ²	2,46	2,5x10 ³	2,8x10 ³	2,6x10 ³	3,4	1,6x10 ⁴	1,8x10 ⁴	1,7x10 ⁴	4,23
60	1,2x10 ²	1,1x10 ²	1,1x10 ²	2,07	1,5x10 ³	1,7x10 ³	1,6x10 ³	3,2	9,7x10 ³	9,9x10 ³	9,8x10 ³	3,99

EK 2. Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda Bikarbonat Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

<i>Escherichia coli</i> 0,5 mg/L Cu												
Temas süresi (dk)	0 mg/L HCO ³⁻				50 mg/L HCO ³⁻				150 mg/L HCO ³⁻			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	6,1x10 ⁵	5,9x10 ⁵	6x10 ⁵	5,78	7,3x10 ⁵	7x10 ⁵	7,1 x10 ⁵	5,86	6,4x10 ⁵	6,8x10 ⁵	6,6x10 ⁵	5,82
0,5	2,9x10 ⁵	3,1x10 ⁵	3x10 ⁵	5,48	3,9x10 ⁵	3,9x10 ⁵	3,9x10 ⁵	5,6	3,9x10 ⁵	3,7x10 ⁵	3,8x10 ⁵	5,58
1	7,6x10 ⁴	6,4x10 ⁴	7x10 ⁴	4,85	8,1x10 ⁴	7,5x10 ⁴	7,8x10 ⁴	4,89	8,8x10 ⁴	9,2x10 ⁴	9x10 ⁴	4,95
5	4,9x10 ⁴	5,1x10 ⁴	5x10 ⁴	4,7	5x10 ⁴	5x10 ⁴	5x10 ⁴	4,7	5,5x10 ⁴	5,3x10 ⁴	5,4x10 ⁴	4,73
10	2,7x10 ⁴	2,3x10 ⁴	2,5x10 ⁴	4,4	3,9x10 ⁴	4,1x10 ⁴	4x10 ⁴	4,61	4,8x10 ⁴	4,5x10 ⁴	4,6x10 ⁴	4,67
15	1x10 ⁴	9,8x10 ³	9,9x10 ³	4	1,3x10 ⁴	1,3x10 ⁴	1,3x10 ⁴	4,11	1,5x10 ⁴	1,4x10 ⁴	1,5x10 ⁴	4,18
30	6,1x10 ³	5,8x10 ³	5,9x10 ³	3,77	5,9x10 ³	6,1x10 ³	6x10 ³	3,78	6,8x10 ³	6,5x10 ³	6,6x10 ³	3,82
45	3,2x10 ³	2,9x10 ³	3x10 ³	3,49	3,4x10 ³	3,1x10 ³	3,2x10 ³	3,51	3,9x10 ³	4,1x10 ³	4x10 ³	3,6
60	1,8x10 ³	1,6x10 ³	1,7x10 ³	3,24	1,7x10 ³	1,9x10 ³	1,8x10 ³	3,26	1,9x10 ³	2,1x10 ³	2x10 ³	3,3

EK 3. Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda Sertliğin Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

<i>Escherichia coli</i> 0,5 mg/L Cu												
Temas süresi (dk)	0 mg/L Ca ⁺²				50 mg/L Ca ⁺²				150 mg/L Ca ⁺²			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	7,2x10 ⁵	6,9x10 ⁵	7x10 ⁵	5,85	7,3x10 ⁵	7,2x10 ⁵	7,2x10 ⁵	5,86	7,5x10 ⁵	7,1x10 ⁵	7,3x10 ⁵	5,86
0,5	9x10 ⁴	9,3x10 ⁴	9,1x10 ⁴	4,96	1x10 ⁵	1x10 ⁵	1x10 ⁵	5,02	9,6x10 ⁴	9,3x10 ⁴	9,4x10 ⁴	4,98
1	8,8x10 ⁴	8,9x10 ⁴	8,8x10 ⁴	4,95	6,5x10 ⁴	6,9x10 ⁴	6,7x10 ⁴	4,83	8x10 ⁴	8,2x10 ⁴	8,1x10 ⁴	4,91
5	4,1x10 ⁴	3,9x10 ⁴	4x10 ⁴	4,6	4,1x10 ⁴	4,5x10 ⁴	4,3x10 ⁴	4,63	3,9x10 ⁴	4,4x10 ⁴	4,1x10 ⁴	4,62
10	4,2x10 ⁴	3,1x10 ⁴	3,6x10 ⁴	4,56	1,9x10 ⁴	2,1x10 ⁴	2x10 ⁴	4,3	2x10 ⁴	2,5x10 ⁴	2,2x10 ⁴	4,35
15	1x10 ⁴	1x10 ⁴	1x10 ⁴	4,02	9,3x10 ³	9,5x10 ³	9,4x10 ³	3,97	8,9x10 ³	9,6x10 ³	9,2x10 ³	3,97
30	6,1x10 ³	8,4x10 ³	7,2x10 ³	3,86	7,6x10 ³	7,3x10 ³	7,4x10 ³	3,87	5,3x10 ³	5,7x10 ³	5,5x10 ³	3,74
45	3,2x10 ³	3x10 ³	3, x10 ³	3,49	4x10 ³	4,7x10 ³	4,3x10 ³	3,64	2,7x10 ³	3,1x10 ³	2,9x10 ³	3,46
60	1,7x10 ³	1,6x10 ³	1,6x10 ³	3,23	1,8x10 ³	2x10 ³	1,9x10 ³	3,28	1,8x10 ³	1,8x10 ³	1,8x10 ³	3,26

EK 3. Bakır İyonlarının Dezenfeksiyonunda Sertliğin Etkisi Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

<i>Escherichia coli</i> 0,5 mg/L Cu												
Temas süresi (dk)	0 mg/L Mg ⁺²				50 mg/L Mg ⁺²				150 mg/L Mg ⁺²			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	9,6x10 ⁵	9,4x10 ⁵	9,5x10 ⁵	5,98	6,1x10 ⁵	6x10 ⁵	6,1x10 ⁵	5,79	6,5x10 ⁵	6,8x10 ⁵	6,6x10 ⁵	5,82
0,5	2,2x10 ⁵	2,4x10 ⁵	2,3x10 ⁵	5,36	5,2x10 ⁵	4,5x10 ⁵	4,8x10 ⁵	5,69	4,2x10 ⁵	6,3x10 ⁵	5,2x10 ⁵	5,72
1	1,5x10 ⁵	1,8x10 ⁵	1,6x10 ⁵	5,23	2,1x10 ⁵	2,7x10 ⁵	2,4x10 ⁵	5,38	3,1x10 ⁵	3,9x10 ⁵	3,5x10 ⁵	5,55
5	9,9x10 ⁴	1x10 ⁵	1x10 ⁵	5	5,2x10 ⁴	5,1x10 ⁴	5,1x10 ⁴	4,71	8,5x10 ⁴	8x10 ⁴	8,2x10 ⁴	4,92
10	3,8x10 ⁴	3x10 ⁴	3,4x10 ⁴	4,53	3,9x10 ⁴	4,1x10 ⁴	4x10 ⁴	4,61	3,6x10 ⁴	2,5x10 ⁴	3x10 ⁴	4,48
15	1,5x10 ⁴	1,8x10 ⁴	1,6x10 ⁴	4,28	1,2x10 ⁴	1,3x10 ⁴	1,2x10 ⁴	4,11	1,4x10 ⁴	1,6x10 ⁴	1,5x10 ⁴	4,18
30	1,8x10 ⁴	1,3x10 ⁴	1,6x10 ⁴	4,2	5,9x10 ³	6,1x10 ³	6x10 ³	3,78	8,6x10 ³	7,7x10 ³	8,1x10 ³	3,91
45	6,5x10 ³	4,1x10 ³	5,3x10 ³	3,72	5,4x10 ³	4,1x10 ³	4,7x10 ³	3,68	2,5x10 ³	2,9x10 ³	2,7x10 ³	3,43
60	1,8x10 ³	2,3x10 ³	2x10 ³	3,31	1,3x10 ³	1,6x10 ³	1,4x10 ³	3,16	1,6x10 ³	1,6x10 ³	1,6x10 ³	3,22

EK 4. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar

<i>Escherichia coli</i>												
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu				1,5 mg/L Cu				3,3 mg/L Cu			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	$2,4 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$	7,4	$2,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$	7,4	$2,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$	$2,3 \times 10^7$	7,37
0,5	$9,1 \times 10^6$	9×10^6	9×10^6	6,96	$1,1 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	$1,2 \times 10^6$	6,1	$6,3 \times 10^5$	$6,3 \times 10^5$	$6,3 \times 10^5$	5,8
1	$4,9 \times 10^6$	$7,1 \times 10^6$	6×10^6	6,78	7×10^5	$7,8 \times 10^5$	$7,4 \times 10^5$	5,9	$4,6 \times 10^4$	$4,7 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$	4,67
5	$2,7 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	$2,8 \times 10^6$	6,46	$9,3 \times 10^4$	$9,4 \times 10^4$	$9,4 \times 10^4$	5	$1,1 \times 10^4$	$1,4 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	4,1
10	$3,9 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	5,59	$3,4 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	$3,4 \times 10^4$	4,5	$9,4 \times 10^3$	$7,6 \times 10^3$	$8,5 \times 10^3$	3,93
15	$7,2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^5$	5,05	$1,1 \times 10^4$	$9,2 \times 10^3$	1×10^4	4	$6,9 \times 10^3$	$6,1 \times 10^3$	$6,5 \times 10^3$	3,81
30	$8,1 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$	$6,7 \times 10^4$	4,83	$5,4 \times 10^3$	$4,9 \times 10^3$	$5,1 \times 10^3$	3,7	$1,1 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	3,15
45	$3,7 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$	4,57	$1,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$	3,2	$4,2 \times 10^2$	$6,3 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$	2,72
60	$5,2 \times 10^3$	$5,3 \times 10^3$	$5,2 \times 10^3$	3,72	$9,4 \times 10^2$	$8,9 \times 10^2$	$9,1 \times 10^2$	3	$2,5 \times 10^2$	$2,9 \times 10^2$	$2,7 \times 10^2$	2,43

EK 4. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>												
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu				1,5 mg/L Cu				3,3 mg/L Cu			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	5,9x10 ⁷	5,6x10 ⁷	5,8x10 ⁷	7,76	5,9x10 ⁷	5,6x10 ⁷	5,8x10 ⁷	7,76	5,9x10 ⁷	5,6x10 ⁷	5,8x10 ⁷	7,76
0,5	3,9x10 ⁷	4,1x10 ⁷	4x10 ⁷	7,6	4,1x10 ⁷	4,2x10 ⁷	4,2x10 ⁷	7,62	1,1x10 ⁷	1,3x10 ⁷	1,2x10 ⁷	7,1
1	1,3x10 ⁷	1,2x10 ⁷	1,3x10 ⁷	7,12	4,2x10 ⁶	4,3x10 ⁶	4,3x10 ⁶	6,63	2x10 ⁶	6,1x10 ⁶	4,1x10 ⁶	6,61
5	5,5x10 ⁶	5,4x10 ⁶	5,5x10 ⁶	6,74	1,3x10 ⁶	1,4x10 ⁶	1,3x10 ⁶	6,13	1,5x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,6x10 ⁶	6,2
10	1,3x10 ⁶	1,2x10 ⁶	1,3x10 ⁶	6,11	7,7x10 ⁵	6,2x10 ⁵	6,9x10 ⁵	5,84	5x10 ⁵	5,5x10 ⁵	5,2x10 ⁵	5,72
15	4,7x10 ⁵	4,9x10 ⁵	4,8x10 ⁵	5,68	1,9x10 ⁵	2,1x10 ⁵	2x10 ⁵	5,3	3,4x10 ⁵	5,7x10 ⁵	4,5x10 ⁵	5,66
30	8,2x10 ⁴	1,1x10 ⁴	4,6x10 ⁴	4,67	2,5x10 ⁴	3x10 ⁴	2,7x10 ⁴	4,43	8x10 ⁴	7x10 ⁴	7,5x10 ⁴	4,88
45	5,6x10 ⁴	5,3x10 ⁴	5,4x10 ⁴	4,74	2,4x10 ⁴	2,5x10 ⁴	2,5x10 ⁴	4,4	2x10 ⁴	1,9x10 ⁴	2x10 ⁴	4,3
60	1,1x10 ⁴	4,2x10 ⁴	2,7x10 ⁴	4,43	1,2x10 ⁴	1x10 ⁴	1,1x10 ⁴	4,06	3,4x10 ³	3x10 ³	3,2x10 ³	3,5

EK 4. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen Sonuçlar (Devam)

<i>Staphylococcus epidermidis</i>												
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu				1,5 mg/L Cu				3,3 mg/L Cu			
	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log	1. Deneme	2. Deneme	Ortalama	log
0	3,7x10 ⁷	3,9x10 ⁷	3,8x10 ⁷	7,58	3,7x10 ⁷	3,9x10 ⁷	3,8x10 ⁷	7,58	3,7x10 ⁷	3,9x10 ⁷	3,8x10 ⁷	7,58
0,5	1,9x10 ⁷	2x10 ⁷	2x10 ⁷	7,3	1,4x10 ⁷	1,3x10 ⁷	1,4x10 ⁷	7,15	1,3x10 ⁷	1,3x10 ⁷	1,3x10 ⁷	7,12
1	1,9x10 ⁷	1,2x10 ⁷	1,5x10 ⁷	7,19	5x10 ⁶	5,2x10 ⁶	5,1x10 ⁶	6,71	4,2x10 ⁶	4x10 ⁶	4,1x10 ⁶	6,61
5	9x10 ⁶	1x10 ⁷	9,5x10 ⁶	6,98	4,4x10 ⁶	4,3x10 ⁶	4,3x10 ⁶	6,64	1,1x10 ⁶	1,5x10 ⁶	1,3x10 ⁶	6,12
10	3,5x10 ⁶	3,1x10 ⁶	3,3x10 ⁶	6,52	7,9x10 ⁵	7,1x10 ⁵	7,5x10 ⁵	5,88	5x10 ⁵	5,5x10 ⁵	5,2x10 ⁵	5,72
15	1,2x10 ⁶	1x10 ⁶	1,1x10 ⁶	6,04	1,9x10 ⁵	2,1x10 ⁵	2x10 ⁵	5,3	5,7x10 ⁵	3,4x10 ⁵	4,5x10 ⁵	5,66
30	5,1x10 ⁵	8,2x10 ⁵	6,6x10 ⁵	5,82	4,2x10 ⁴	7,6x10 ⁴	5,9x10 ⁴	4,77	7,4x10 ⁴	7,6x10 ⁴	7,5x10 ⁴	4,88
45	9,5x10 ⁴	9,4x10 ⁴	9,4x10 ⁴	4,98	2,5x10 ⁴	2,4x10 ⁴	2,5x10 ⁴	4,4	1,8x10 ⁴	2,1x10 ⁴	2x10 ⁴	4,3
60	3,9x10 ⁴	4,4x10 ⁴	4,1x10 ⁴	4,62	1,6x10 ⁴	1,4x10 ⁴	1,5x10 ⁴	4,2	8,5x10 ³	8x10 ³	8,2x10 ³	3,92

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları

<i>Escherichia coli</i>								
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	843053	0,2091198	856014	0,2123601	856345	0,2124428	851804	0,21130755
0,5	622927	0,1540883	602536	0,1489906	625364	0,1546976	616942,3333	0,15259213
1	484520	0,1194866	425360	0,1046966	402365	0,0989478	437415	0,1077103
5	149537	0,0357408	151512	0,0362346	150248	0,0359186	150432,3333	0,03596463
10	141729	0,0337888	151764	0,0362976	151515	0,0362353	148336	0,03544055
15	141320	0,0336866	151512	0,0362346	150248	0,0359186	147693,3333	0,03527988
30	102679	0,0240263	102878	0,0240761	102222	0,0239121	102593	0,0240048
45	92679	0,0215263	92878	0,0215761	90222	0,0209121	91926,33333	0,02133813
60	54437	0,0119658	54987	0,0121033	56222	0,0124121	55215,33333	0,01216038

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Escherichia coli</i>								
Temas süresi (dk)	1,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	843053	0,20912	856014	0,21236	856345	0,212443	851804	0,21130755
0,5	433623	0,106762	451750	0,111294	441510	0,108734	442294,3333	0,10893013
1	350651	0,086019	371140	0,091142	376520	0,092487	366103,6667	0,08988247
5	231370	0,056199	234691	0,057029	245730	0,059789	237263,6667	0,05767247
10	211710	0,051284	200069	0,048374	225460	0,054722	212413	0,0514598
15	186532	0,04499	164582	0,039502	195332	0,04719	182148,6667	0,04389372
30	85420	0,019712	83478	0,019226	81224	0,018663	83374	0,01920005
45	35065	0,007123	37696	0,007781	37114	0,007635	36625	0,0075128
60	10570	0,000999	13781	0,001802	11244	0,001168	11865	0,0013228

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Escherichia coli</i>								
Temas süresi (dk)	3,3 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	843053	0,2091198	856014	0,2123601	856345	0,2124428	851804	0,21130755
0,5	98562	0,0229971	98209	0,0229088	95321	0,0221868	97364	0,02269755
1	36343	0,0074423	38209	0,0079088	35364	0,0071976	36638,66667	0,00751622
5	31467	0,0062233	31031	0,0061143	31039	0,0061163	31179	0,0061513
10	30562	0,0059971	29550	0,0057441	29589	0,0057538	29900,33333	0,00583163
15	18325	0,0029378	18380	0,0029516	18415	0,0029603	18373,33333	0,00294988
30	16148	0,0023936	17188	0,0026536	16750	0,0025441	16695,33333	0,00253038
45	9755	0,0007953	9512	0,0007346	9876	0,0008256	9714,333333	0,00078513
60	7947	0,0003433	7589	0,0002538	7017	0,0001108	7517,666667	0,00023597

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>								
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	931425	0,2312128	935395	0,2322053	942356	0,2339456	936392	0,23245455
0,5	757360	0,1876966	737469	0,1827238	789562	0,1957471	761463,6667	0,18872247
1	554394	0,1369551	492497	0,1214808	576325	0,1424378	541072	0,13362455
5	377387	0,0927033	383643	0,0942673	376528	0,0924886	379186	0,09315305
10	353065	0,0866228	350352	0,0859446	352145	0,0863928	351854	0,08632005
15	270999	0,0661063	299100	0,0731316	279564	0,0682476	283221	0,0691618
30	234876	0,0570756	240783	0,0585523	236524	0,0574876	237394,3333	0,05770513
45	188758	0,0455461	207994	0,0503551	196583	0,0475023	197778,3333	0,04780113
60	134257	0,0319208	113256	0,0266706	119658	0,0282711	122390,3333	0,02895413

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>								
Temas süresi (dk)	1,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	931425	0,2312128	935395	0,2322053	942356	0,2339456	936392	0,23245455
0,5	631425	0,1562128	635395	0,1572053	642356	0,1589456	636392	0,15745455
1	340160	0,0833966	346473	0,0849748	342563	0,0839973	343065,3333	0,08412288
5	229102	0,0556321	252326	0,0614381	229563	0,0557473	236997	0,0576058
10	115691	0,0272793	115263	0,0271723	119689	0,0282788	116881	0,0275768
15	108498	0,0254811	111256	0,0261706	109564	0,0257476	109772,6667	0,02579972
30	91722	0,0212871	94555	0,0219953	93564	0,0217476	93280,33333	0,02167663
45	78842	0,0180671	76726	0,0175381	73568	0,0167486	76378,66667	0,01745122
60	69734	0,0157901	63199	0,0141563	62576	0,0140006	65169,66667	0,01464897

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>								
Temas süresi (dk)	3,3 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	931425	0,2312128	935395	0,2322053	942356	0,2339456	936392	0,23245455
0,5	167806	0,0403081	165788	0,0398036	166253	0,0399198	166615,6667	0,04001047
1	124940	0,0295916	133654	0,0317701	123654	0,0292701	127416	0,03021055
5	108666	0,0255231	105568	0,0247486	106538	0,0249911	106924	0,02508755
10	81501	0,0187318	89646	0,0207681	95654	0,0222701	88933,66667	0,02058997
15	82082	0,0188771	85236	0,0196656	83489	0,0192288	83602,33333	0,01925713
30	73315	0,0166853	81269	0,0186738	79365	0,0181978	77983	0,0178523
45	65685	0,0147778	50112	0,0108846	59653	0,0132698	58483,33333	0,01297738
60	29653	0,0057698	28626	0,0055131	28191	0,0054043	28823,33333	0,00556238

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Staphylococcus epidermidis</i>								
Temas süresi (dk)	0,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	873053	0,2166198	856014	0,2123601	850340	0,2109416	859802,3333	0,21330713
0,5	656060	0,1623716	637259	0,1576713	689559	0,1707463	660959,3333	0,16359638
1	524323	0,1294373	492497	0,1214808	517325	0,1276878	511381,6667	0,12620197
5	477334	0,1176901	383643	0,0942673	376528	0,0924886	412501,6667	0,10148197
10	352460	0,0864716	360225	0,0884128	351110	0,0861341	354598,3333	0,08700613
15	280930	0,0685891	273200	0,0666566	259126	0,0631381	271085,3333	0,06612788
30	232350	0,0564441	260783	0,0635523	266249	0,0649188	253127,3333	0,06163838
45	199758	0,0482961	207994	0,0503551	198340	0,0479416	202030,6667	0,04886422
60	154859	0,0370713	133578	0,0317511	129065	0,0306228	139167,3333	0,03314838

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Staphylococcus epidermidis</i>								
Temas süresi (dk)	1,5 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	873053	0,2166198	856014	0,2123601	850340	0,2109416	859802,3333	0,21330713
0,5	482359	0,1189463	507562	0,1252471	475456	0,1172206	488459	0,1204713
1	380678	0,0935261	386490	0,0949791	392240	0,0964166	386469,3333	0,09497388
5	259568	0,0632486	252000	0,0613566	279346	0,0681931	263638	0,06426605
10	145346	0,0346931	135567	0,0322483	159679	0,0382763	146864	0,03507255
15	128400	0,0304566	131278	0,0311761	129567	0,0307483	129748,3333	0,03079363
30	101722	0,0237871	104845	0,0245678	103987	0,0243533	103518	0,02423605
45	88842	0,0205671	86789	0,0200538	83500	0,0192316	86377	0,0199508
60	79700	0,0182816	73709	0,0167838	79086	0,0181281	77498,33333	0,01773113

EK 5. Bakır İyonları ile Dezenfeksiyon Deneyinde Elde Edilen ATP Konsantrasyonları (Devam)

<i>Staphylococcus epidermidis</i>								
Temas süresi (dk)	3,3 mg/L Cu							
	1. Deneme		2. Deneme		3. Deneme		Ortalama	
	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L	RLU	nmol/L
0	873053	0,2166198	856014	0,2123601	850340	0,2109416	859802,3333	0,21330713
0,5	167806	0,0403081	165788	0,0398036	166253	0,0399198	166615,6667	0,04001047
1	144560	0,0344966	150068	0,0358736	123654	0,0292701	139427,3333	0,03321338
5	98666	0,0230231	101558	0,0237461	102544	0,0239926	100922,6667	0,02358722
10	91211	0,0211593	99235	0,0231653	93462	0,0217221	94636	0,02201555
15	72043	0,0163673	75312	0,0171846	73431	0,0167143	73595,33333	0,01675538
30	70764	0,0160476	70869	0,0160738	69213	0,0156598	70282	0,01592705
45	63145	0,0141428	60412	0,0134596	59653	0,0132698	61070	0,01362405
60	33453	0,0067198	38236	0,0079156	38658	0,0080211	36782,33333	0,00755213

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melis Ece ÖZYİĞİT
Doğum Yeri ve Tarihi : Artvin / 29.10.1990
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi / 2008
Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü / 2014
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Teknik Üniversitesi

İletişim (e-posta) : melismedin@gmail.com