

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İÇME SULARININ OZONLA DEZENFEKSİYONUNUN MİKROBİYAL  
ANALİZİ**

**Atiye ATGÜDEN**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2010**

Yrd. Doç. Dr. Feridun DEMİR danışmanlığında, Atiye ATGÜDEN'in hazırladığı "İçme Sularının Ozonla Dezenfeksiyonunun Mikrobiyal Analizi" konulu bu çalışma 26/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Feridun DEMİR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Kasım YENİGÜN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Fatih ASLAN

**Bu Tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım**

**Prof. Dr. Mehmet CİCİ**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 692**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. İçme Suyu.....	5
2.1. İçme Suyu Kaynakları.....	5
2.3. Dezenfeksiyon.....	6
2.3.1. Dezenfeksiyon yöntemleri.....	7
2.3.1. Dezenfeksiyonu etkileyen faktörler.....	9
2.4. Ozon.....	10
2.4.1. Ozonun bakteriler üzerindeki etkisi.....	13
2.4.2. Ozonun virüsler üzerindeki etkisi.....	13
2.4.3. Ozonun protozalar üzerindeki etkisi.....	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. TYPE: Standart TTC Test Kiti ile <i>Bacillus subtilis</i> analiz.....	16
3.2.2. TYPE: Endo Test Kiti ile <i>Escherichia coli</i> ve <i>coliform</i> analiz.....	17
3.2.3. TYPE: Azide/ KF Strep Test Kiti ile <i>Streptococcus faecalis</i> analiz.....	18
3.2.4. TYPE: m FC Test Kiti ile <i>Escherichia coli</i> ve <i>coliforms</i> analiz.....	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	20
4.1. Mikroorganizma Sayısının Sıcaklıkla Değişimi.....	20
4.2. Mikroorganizma Sayısının Dozajla Değişimi.....	22
4.3. Mikroorganizma Sayısının Zamanla Değişimi.....	25
4.4. Mikroorganizma Sayısının pH ile Değişimi.....	27
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	31
5.1. Sonuçlar.....	31
5.2. Öneriler.....	33
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	39
ÖZET.....	40
SUMMARY.....	42

## ÖZ

### Yüksek Lisans Tezi

## İÇME SULARININ OZONLA DEZENFEKSİYONUNUN MİKROBİYAL ANALİZİ

Atiye ATGÜDEN

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Feridun DEMİR  
Yıl: 2010, Sayfa: 43

Su insan hayatının ve tüm canlıların vazgeçilmez ihtiyaçlarının başında gelir. İnsan gıda maddeleri almadan uzun bir süre yaşayabilmesine rağmen, susuz ancak bir hafta yaşayabilir. Su canlıların vücutlarına enerji vermez ama onların tüm metabolik faaliyetlerin ana kaynağıdır. Kullanılmış suların içinde patojen özellik taşıyan sağlık açısından istenmeyen maddeler bulunur. Suyun tekrar kullanılabilir hale gelmesi, patojen özelliklerinden kurtarılması için çeşitli fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemleriyle arıtılması gerekmektedir. Son işlem olarak çeşitli dezenfeksiyon metotları uygulanır ve suyun kalitesi artırılır.

Dezenfeksiyon, su içerisindeki patojenik mikroorganizmaların elimine edilmesidir. Suyun içindeki mikrobiyal yaşamın kontrolü amacıyla suyun dezenfekte edilmesi gerekmektedir. İçme ve kullanma su kaynaklarının sınırlı olması yüzünden, atık suların dezenfeksiyonla tekrar kullanıma hazır hale getirilmesi ve su kaynaklarının tükenmesi engellenmelidir. Birçok dezenfeksiyon yöntemi vardır ve en yaygın olarak kullanılan metotlar; klorlama, UV ve ozonlamadır.

Bu çalışmada, içme suyunun ozonla dezenfeksiyonu yapıldığı zaman gerçekleşen mikrobiyal faaliyetler farklı sıcaklıklarda, dozajlarda, alıkonma sürelerinde ve pH değerlerinde incelenmiştir. Mikrobiyal aktivitelerin araştırılması için temin edilen içme suyundaki mikroorganizmaların sayıları ozonlamadan önce ve sonra laboratuvar ortamında test kitleri kullanılarak belirlenmiş ve incelenmiştir. Mikrobiyal sayımdan sonra, su içerisinde Escherichia coli ve coliform, Bacillus subtilis ve Streptococcus faecalis bakterilerine rastlanmıştır. Ozonla dezenfeksiyondan sonra, Escherichia coli, coliform ve Streptococcus faecalis bakterileri %95 - %98 oranında giderilmiştir. Ancak, Bacillus subtilis bakterilerinin giderimi %80 - %95 oranında gerçekleşmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Ozon, Dezenfeksiyon, İçme suyu, Mikrobiyal aktivite

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **MACROBIAL ANALYSIS OF DISINFECTION OF DRINKING WATER BY OZONE**

**Atiye ATGÜDEN**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Feridun DEMİR  
Year: 2010, Page: 43**

Water is the main indispensable necessity of human life and all livings. Even though human can live without taking any foods for a long time, they cannot live more than a week without drinking water. Water does not give energy to human body, but it is the main source of their metabolic activities. There are unwished pathogenic microorganisms in terms of health in used waters. To bring water to use again and to remove its pathogen properties, it needs to be treated physically and chemically in various treatment methods. For final treatment, various disinfection methods are usually applied and quality of water is increased.

Disinfection is a method of elimination of pathogenic microorganisms in water. To control the microbial life, water needs to be disinfected. Since drinking and used water sources are limited, they should be brought to reuse by disinfection and the consumption of water sources should be eliminated. There are many disinfection methods and commonly used methods are chlorination, UV and ozonation.

In this study, the microbial activity of drinking water when it was disinfected with ozone at different temperatures, dosages, residence times and pH values was investigated. To search the microbial activity, population of microorganisms was determined and investigated in the laboratory before and after ozonation using test kits for supplied drinking water. After microbial count, Escherichia coli and Coliform, Bacillus subtilis and Streptococcus faecalis bacteria's were encountered in the water. 95% - 98% of Escherichia coli, Coliform and Streptococcus faecalis bacteria's were removed, after disinfection with ozone. But, removal of Bacillus subtilis bacteria was only 80% - 95%.

**KEY WORDS:** Ozone, Disinfection, Drinking water, Microbial activity

## TEŐEKKÖR

Bu tezi hazırlamamda bana yol gösteren ve her konuda yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Feridun DEMİR'e, katkılarından ve yardımlarından dolayı Yüksek Çevre Mühendisi Yasemin BAYINDIR'a, Araştırma Görevlisi Özlem DEMİR'e, Araştırma Görevlisi Deniz UÇAR'a ve Yüksek Lisans Öğrencisi Adem YURTSEVER'e teşekkür ederim.

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

Çizelge 4.1. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının sıcaklıkla değişimi (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=6 mg/dak, Zaman=5 dakika, pH=7).....	21
Çizelge 4.2. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının dozajla değişimi (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Zaman=5 dakika, Sıcaklık(°C)=13, pH=7) .....	23
Çizelge 4.3. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının zamanla değişimi (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2 ).....	26
Çizelge 4.4. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının pH ile değişimi (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dakika) .....	28

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 4.1. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=6 mg/dak, Zaman=5 dakika, pH=7).....	21
Şekil 4.2. İçme suyu mikroorganizma sayısının sıcaklıkla içerisindeki değişimi (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=6 mg/dak, Zaman=5 dakika, pH=7).....	22
Şekil 4.3. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü, (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Zaman=5 dakika, Sıcaklık(°C)=13, pH=7).....	24
Şekil 4.4. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının dozaj ile değişimi, (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Zaman=5 dakika, Sıcaklık(°C)=13, pH=7).....	25
Şekil 4.5. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü, (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2).....	26
Şekil 4.6. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının zamanla değişimi, (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2).....	27
Şekil 4.7. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü, (KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dakika).....	29
Şekil 4.8. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının pH ile değişimi(KOİ=3.14 mg/l, Ç.O=8.12 mg/l, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dakika).....	30



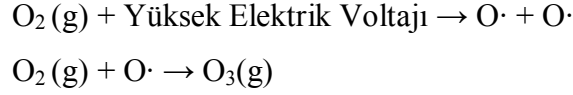
## **1. GİRİŞ**

Dezenfeksiyon su kaynaklı hastalıkların yayılmasını önlemek için patojenik organizmaların öldürülmesi olayıdır. Etkili bir dezenfeksiyon olayının gerçekleşebilmesi için, öncelikle suyun içerisindeki safsızlıklardan arıtılması ve hazır duruma getirilmesi gerekmektedir.

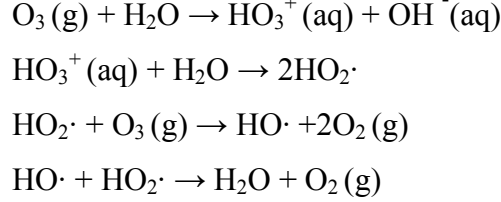
Ozonun dezenfektant özelliğe sahip olduğu ilk defa 1873 yılında keşfedilmiş ve suyun dezenfeksiyonu için 1893 yılında Hollanda'nın Oudshoom bölgesinde kullanılmıştır (Bicknell, ve Jain, 2002; Evans, 1972). Bundan sonra, içme sularının dezenfeksiyonu alanında büyük ilgi görmüştür. Ozon bu ilgisini 1940'lı yıllarda kimyasal silahların yapımı sırasında klor gazı eldesi için uygun bir metot bulunmasıyla kaybetmiştir (Langlais ve ark. 1991). Eğer klor gazı üretimi için ucuz bir yol bulunmasaydı, bugün dünyada en yaygın dezenfeksiyon metodu ozonlama olurdu. Ozon dezenfektant olarak Avrupa da yaygın olarak kullanılmaktadır.

İçme sularının ozon ile dezenfekte edilip temizlenmesi günümüzde gittikçe artmaktadır. Ozon üç oksijen atomunun bir araya gelmesiyle oluşmuş bir gazdır ve aynı zamanda oksijenin bir allotropudur. Normal sıcaklıklarda mavi renkli, keskin ancak hoş olmayan kokuya sahip bir gazdır. Ozon oldukça kuvvetli bir yükseltgendir. Oksijen gümüşü yükseltgeyemezken, ozon rahatlıkla yükseltgeyebilir. İnsanlar için zehirli bir etkiye sahiptir ve düşük dozlarda grip gibi etkilere sebep olur.

Ozon gazının sudaki çözünürlüğü oldukça fazladır ve oksijenin çözünürlüğünün yaklaşık on katıdır (Anonim, 1999; Anonim, 2002). Ancak ozon, oksijen gibi saf olarak üretilip satılmaz. Kullanılacağı yerde havanın içerisindeki oksijenin ozon üreticisi içerisinden geçirilip, yüksek voltajdaki elektrik arkı vasıtasıyla aşağıdaki reaksiyonlara göre üretilir (Chand ve ark., 2007; Şengül, F. 2002).



Bu gazın su içerisindeki çözünürlüğü ise aşağıdaki şekildedir.



Buradaki HO· ve HO<sub>2</sub>· serbest radikalleri büyük yükseltgeme potansiyellerine sahiptirler ve patojenlerin de dahil olduğu metal tuzları ve organik maddeler gibi safsızlıklarla karşı reaktiflerdir (Grasso, 1996; Hsieh ve ark., 2002; Kleiser, 2000; Beltran, 2004; Gujer ve Gunten, 2003).

Ozonun patojenler üzerindeki etkisi oldukça fazladır. Ozonlama için gerekli olan dozaj miktarı, klorlama metodunda olduğu gibi C×t çarpanına bağlı olarak hesaplanır (Jung ve ark., 2008; Petala ve ark., 2008; Chick, 1908). Ozonun su içerisindeki yarılanma süresi sıcaklığa ve kirliliğin indirgenme potansiyeline bağlı olarak yaklaşık 7 dakikadır. Ozon seviyesindeki bu hızlı azalma akış ile hızlı temas sağlar ve böylece su içerisindeki bakiye ozon miktarı düşük seviyelerde bulunur. Su içerisindeki bakiye ozon miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır (Lovato ve ark., 2009)

$$C_t = C_o \times 0,5^{(t/7)}$$

Burada

C<sub>o</sub> = Başlangıçtaki ozon konsantrasyonu

C<sub>t</sub> = t anındaki ozon konsantrasyonu

Ozon su içerisinde bulunan organik maddelerle de reaksiyona girer ve oksitlenmiş organikleri oluşturur. Bunlardan bazıları zararlı bazıları da zararsız

olabilir. Fenolik bileşikler ve yağ asitleri ozon tarafından yükseltgenirler ve bunların neden olduğu tat ve kokular ortamdaki giderilebilir.

Ozon dezenfeksiyonu sonucunda istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünleri oluşur ve bunlar formaldehit ve aldehitler, karboksilik asitler, hidrojen peroksit, bromat, bromometanlar, bromlanmış asetik asitler, bromlanmış asetonitriller ve ketonlardır (Bull ve ark., 1991; Huang, 2004; Richardson ve ark., 1999; Wang, 2007; Legube, 2004; Hua ve Reckhow, 2007; Sujbert ve ark., 2006; Xie, 2004; Hammes ve ark., 2006; Froese ve ark., 1999). Bu dezenfeksiyon yönteminin dezavantajı ise ortamda bakiye dezenfektanın az bulunması, şebeke sisteminde yeniden biyolojik büyüme probleminin olması, yüksek maliyeti ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin zehirliliği ve doğası üzerinde sınırlı bilgiye sahip olunmasıdır (Demir, 2001; Meunier ve ark., 2006).

Su dağıtım şebekesinde bulunan bakiye dezenfektant suya karışabilecek hastalık yapıcı kirliliklere karşı suyu korur. Ozon su içerisinde oldukça reaktif bir maddedir ve bunun yarılanma süresi oldukça kısadır. Bunda dolayı, ozonla dezenfeksiyondan sonra su dağıtım şebekesinde hastalık yapıcı maddelere karşı koruma yapabilmek için ortama klor gibi dezenfeksiyon süresi uzun olan maddeler eklenmelidir. Ozon dezenfeksiyonu büyük topluluklarda küçük topluluklara göre daha fazla kullanılmaktadır. Ozon aynı zamanda su içerisindeki alglerin kontrol altında tutulmasını sağlar. Alg hücrelerini yok eder ve bunların arıtma tesisinde büyümelerini engeller. Bundan başka son zamanlarda ozonun içme sularında pıhtılaştırıcı özelliğinin olduğu da bulunmuştur. Aynı zamanda, sudaki mikro kirlenmelerin ve pestisitlerin de uzaklaştırılmasında kullanılır. Bütün bu faydaların nedeni ise ozonun yüksek yükseltgeme yeteneğidir (Selma ve ark., 2008; Bicknell ve ark., 2002).

Ozon suya üç farklı şekilde verilir. Bunlar

- Gözenekli difüzörler
- Enjektörler
- Emisyon türbinleri

Eğer su içerisindeki ozon gazının karışımı iyi olursa, suyun arıtılması daha iyi olur ve dezenfeksiyonun daha iyi gerçekleşmesi sağlanır.

Bu çalışmada, içme sularında bulunan patojenik mikroorganizmaların ozon ile dezenfeksiyonu sonucunda ne kadar bertaraf edildiği belirlenecektir. Aynı zamanda, farklı sıcaklıklarda, dozajlarda, alıkonma sürelerinde ve pH değerlerinde ozon dezenfeksiyonu hangi verimde gerçekleştiği ve bu parametrelerin dezenfeksiyon üzerindeki etkileri incelenecektir.

## **2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

### **2.1. İçme Suyu**

Temiz bir içme suyu insan sağlığı açısından en önemli faktörlerden birisidir. Ancak, dünyada 2 milyardan fazla insan güvenli içme suyu kaynağına sahip değildir. Dünya genelinde her yıl 15 ile 20 milyon bebek su kaynaklı hastalıklardan (tifo, dizanteri, kolera v.b.) dolayı hayatını kaybetmektedir. İçme sularındaki bu hastalıkların kaynağı bakteriler, virüsler ve protozalar (Hunter, 2003; Percival, 2004). Az gelişmiş ülkelerdeki kirlenmiş su kaynakları ve yetersiz sağlık koruma sistemi hastalıkların %80'inin nedenini oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, belediye su arıtma sistemlerindeki geçen yüzyılda gerçekleşen gelişmeler daha sağlıklı suların elde edilmesine ve su kaynaklı hastalıkların azalmasına neden olmuştur (Siddiqui ve Murphy 1997). Örneğin içme sularının filtrasyonu ve dezenfeksiyonu, kolera ve tifo gibi hastalıkları büyük oranda ortadan kaldırmıştır.

Ancak, 1974 yılında yapılan bir araştırma, dezenfeksiyon sonucunda oluşan trihalometanlar gibi yan ürünlerin insan sağlığı açısından risk taşıyabileceğini göstermişti (Richardson ve ark., 1999; Richardson ve ark., 2007; Hua ve Reckhow, 2007; Sujbert ve ark., 2006). Bundan dolayı araştırmacılar farklı dezenfeksiyon yöntemleri araştırma başlamışlardır.

### **2.2. İçme Suyu Kaynakları**

İçme suyu kaynakları yeraltı suları ve yüzeysel sular olmak üzere ikiye ayrılırlar. Amerika Birleşik Devletlerinde, yeraltı suları ve kuyular, içme suyunun %53'ünü, rezervuarlar, nehirler ve göller gibi yüzey suları ise %47'sini oluşturmaktadırlar. Yeraltı suları, yeraltı akiferlerinden açılan sondaj kuyularından elde edilmektedir. Bu kuyular onlarca veya yüzlerce metre derinliğe sahip olabilirler.

Genellikle, derin akiferlerdeki sular yüzeyden sızan suyla yer değiştirir ve bu durum yüzler veya binlerce yılda yavaş yavaş gerçekleşir.

Yeraltı suları yüzeysel sulardan daha az kirlilik gösterirler. Yüzeydeki organik maddelerin bakterilerce parçalanıp yeraltı sularına ulaşmaları uzun zaman aldığından, yeraltı suları yüzey kirliliğinden daha fazla korunmuş durumdadırlar. Toprağın kendisi filtre görevi görür ve daha az kirliliğin geçişine izin verir.

Yüzeysel sular göllerden, nehirlerden ve rezervuarlardan meydana gelir. İçerisinde genellikle yeraltı sularından daha fazla askıda katı madde vardır ve güvenli bir şekilde içmek için daha fazla işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Yüzey suları içme suyundan ziyade başka amaçlar için kullanılır ve sıklıkla lağım ve endüstriyel atıksularla kirlenirler. Nehirlerin başlangıcından sonuna doğru gidildikçe, suyun tekrar tekrar kullanımından dolayı kirlilik artar (Weiner, 2000).

### **2.3. Dezenfeksiyon**

Dezenfeksiyon, su kaynaklı hastalıkların yayılmasını engellemek için su içerisinde bulunan patojenik mikroorganizmaların aktivitelerinin durdurulması veya öldürülmesi için yapılan işleme denir (Anonim, 2002; EPA, 1999). Bir dezenfeksiyonun verimliliği, hedef alınana mikroorganizmayı etkilemesine, temas zamanına ve dezenfektanın konsantrasyonuna bağlıdır (Gunten ve ark., 2001). Su arıtma işleminin en önemli bölümü bakterilerin, virüslerin ve protozaların öldürülmesi olayıdır (Gunten, 2003a ve 2003b; Gottschalk ve ark., 2000). İyi bir dezenfeksiyon işleminde, su dağıtım şebekesi boyunca yeterli miktarda kalıntı dezenfektant bulunması istenir. Bu durum su dağıtım şebekesinde tekrardan oluşabilecek kirlenmeye karşı devamlı olarak suya koruma sağlar. Büyük şehirlerde, su kullanılmadan önce şebekede beş gün veya daha fazla kalabilir. Beş gün mikroorganizmaların tekrardan çoğalmaları için yeterli bir zamandır. Düşük basıncın olduğu göller ve su depoları tekrardan kirlenmeye karşı uygun yerlerdir ve düşük basınçta bakteriler daha çok çoğalırlar. Bundan dolayı, etkili bir dezenfeksiyonun gerçekleşebilmesi için, suda devamlı olarak yeterli miktarda kalıntı dezenfektant

bulunmalıdır (Liu, 1999; Spellman, 2003). Suda bulunabilecek patojenik mikroorganizmalar ve bunların neden oldukları hastalıklar Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Evsel atıksularda bulunabilecek potansiyel hastalık yapıcı mikroorganizmalar (EPA, 1999; Pervival, 2004)

Mikroorganizma	Neden Olunan Hastalık
<b>Bakteri</b>	
<i>Escherichia coli</i>	Mide ve bağırsak iltihabı
<i>Leptospira</i>	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Tifo
<i>Salmonella</i> (=2,100 serotypes)	Salmonellosis
<i>Shigella</i> (4 spp.)	Shigellosis (bacillary dysentery)
<i>Vibrio cholerae</i>	Kolera
<b>Protoza</b>	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiosis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (amoebic dysentery)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<b>Helminths</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Taeniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis
<b>Virüs</b>	
Enteroviruses (72 tipi, örneğin, polio, echo, ve coxsackie virüsleri)	Gastroenteritis, heart anomalies, meningitis
Hepatitis A virüs	Infectious hepatitis
Norwalk agent	Gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis

### 2.3.1. Dezenfeksiyon yöntemleri

İçme sularında yaygın olarak kullanılan dezenfeksiyon yöntemleri aşağıda verilmiştir (Grasso, 1996).

– Klor

- Ozon
- UV
- Kloraminler
- Klor dioksit
- Isı
- Kimyasallar (halojenler, oksidantlar ve metaller)
- Çok ince filtreler

Bunlardan sadece klor, ozon ve UV büyük su kütlelerinin dezenfeksiyonu için kullanılmaya uygundur (Liu, 1999; Spellman, 2003). Diğerleri küçük su kütlelerinin veya dezenfektandan kaynaklanan zehirliliğe karşı güvenliğin sağlandığı ortamlar için uygundur.

Geleneksel olarak, klorlama, içme sularının arıtımı için en yaygın şekilde kullanılan dezenfeksiyonu yöntemidir. Ancak, içme suyu arıtım tesislerinde bulunan ve klorla karşı dirençli patojenik mikroorganizmalar olan *Cryptosporidium parvum* oocysts ve *Giardia lamblia* kistlerinin varlığı, dezenfeksiyonun istenen hedefte gerçekleşmesini engellemektedir (Jung, 2008; Korich ve ark., 1990; Mackenzie ve ark., 1994). Buna ek olarak, içme sularında klorun bulunması, haloasetik asit ve potansiyel kanserojen etki gösteren trihalometanlar gibi istenmeyen halojenli yan ürünlerin oluşumuna neden olabilir (Gunten ve ark., 2001). Klorlamanın bunlar gibi birkaç dezavantajının bulunması, farklı dezenfeksiyon yöntemleri olan ozon, UV, Klor dioksit (ClO<sub>2</sub>), kloraminler veya bunların birlikte kullanıldığı yöntemlerin incelenmesini gerekli kılmıştır.

Bundan önceki çalışmalarda, eğer ozonlamadan sonra serbest klor veya monokloramin kullanılırsa, *Cryptosporidium parvum* oocysts ve *Bacillus subtilis*'in mikrobiyal aktivitelerin azalmasında birbirlerini kuvvetlendirici etki gösterdikleri gözlemlenmiştir (Rennecker ve ark., 1999 ve 2000; Driedger ve ark., 2000, 2001a ve 2001b). Eğer ozonlamadan sonra klor dioksit kullanılırsa, *Cryptosporidium parvum* oocysts'in dezenfeksiyonunda birlikte daha iyi etki gösterdikleri gözlemlenmiştir (Liyanage ve ark. 1997). O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> birleşik sistemi veya O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> birleşik sistemini



takip eden serbest klor kullanımı uygulandığı zaman, *Bacillus subtilis*'in dezenfeksiyonunda oldukça büyük düşüş gözlemlenmiştir (Cho ve Yoon, 2006; Dow ve ark., 2006). Koivuen ve Heinonen-Tansaki (2005) de yapmış olduğu çalışmada, perasetik asit/UV birleşik dezenfeksiyon sisteminin toplam bakterilerin aktivitesini azalttığını gözlemiştir. Bir dezenfeksiyon sisteminin ardışık veya birleşik olarak kullanılışı, o dezenfeksiyonun sürecinin tamamlanma süresi ve tasarımı açısından önemlidir. Ardışık veya birleşik sistemlerin karşılaştırılması amacıyla çalışmalar yapılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir (Jung ve ark., 2008; Biswas ve ark., 2005; Mishchuk ve ark., 2008).

### 2.3.1. Dezenfeksiyonu etkileyen faktörler

Dezenfeksiyonu etkileyen en önemli faktörler aşağıda verilmiştir.

- Dozajı
- Temas süresi
- Askıda katı maddeler
- pH
- Kimyasal oksijen ihtiyacı
- Organik karbon
- Sıcaklık
- Temas sağlayıcı tasarımı

Ozon dezenfeksiyonunda en önemli faktörler dozaj ve temas süresidir. Su ile ozonun tamamen karıştığından emin olabilmek için uygun temas süresi seçilmelidir. Ozon dozajı, mikroorganizmalardan daha hızlı reaksiyona sahip olan organik ve inorganik bileşiklerle olan reaksiyonlara da yetecek şekilde seçilmelidir. Ozonun organik ve inorganik bileşiklerle olan reaksiyonları tamamlandıktan sonra, dezenfeksiyon reaksiyonları başlar. Suda bulunan askıda katı maddeler organizmaların saklanmalarını sağlarlar ve bundan dolayı suyun ozon ihtiyacında artış görülür (Grasso, 1996).

Sıcaklık, KOİ, pH ve organik karbon miktarı ozonun su içerisindeki ayrışma hızını ve ozon ihtiyacını etkiler. Sıcaklığın su içerisindeki ozona oldukça büyük bir etkisi vardır. Düşük sıcaklıklarda ozonun su içerisindeki bozunma hızı daha yavaş olmaktadır. Ancak bu seferde mikroorganizmaları öldürme yeteneğinde azalma görülmektedir. pH değerinin ozon dezenfeksiyonu üzerinde fazla büyük bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür (Gottschalk ve ark., 2000; Grasso, 1996).

Temas sağlayıcılar dezenfeksiyon ortamındaki kütle transferi verimini ve uygun karıştırmayı sağlayan etkenlerdir. Bunlar ortamda bulunan mikroorganizmalar ile dezenfektantların temas etmelerini ve daha etkin bir dezenfeksiyonun oluşumunu sağlarlar (Grasso, 1996).

#### 2.4. Ozon

Ozon yapısında üç oksijen atomu bulunan ve aynı zamanda oksijenin allotropu olan bir gaz molekülüdür. Normal sıcaklıklarda açık mavi renkli olan gaz, keskin ancak hoş olmayan bir kokuya sahiptir. Ozon -111,9 °C de mavi bir sıvı oluşturacak şekilde sıvılaşır ve bu sıvı patlayıcıdır. Kararsız bir yapıya sahip olduğundan dolayı, oksijen gazı oluşturacak şekilde kısa sürede bozunur. Bu bozunma, sıcaklığa ve ortamda bir katalizör bulunmasına bağlı olarak artar. Ozon gazının özellikleri Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Ozon gazının temel özellikleri (Rosenthal, 1981)

Özellik	Değer
Molekül ağırlığı	48 g/mol
Sudaki çözünürlüğü	1,09 g/l (0 °C) 0,57 g/l (20 °C)
Donma noktası	-192,5 °C
Kaynama noktası	-111,9 °C
Kritik sıcaklık	-12,1 °C
Kritik basınç	54,6 atm
Isı kapasitesi (gaz)	33,3 j/g.mol°C, -173°C
Buharlaşma ısısı	15,19 kj/mol, -112°C

Çizelge 2.2. Devam

Yükseltgenme potansiyeli	2,07 V (Asidik ortamda) -1,24 V (Bazik ortamda)
Absorbsiyon dalgaboyu	2537 Angström
Renk	Açık mavi
Test	Keskin, taze, hoş olmayan, sert

Ozon aynı zaman da flor gazından sonraki en kuvvetli yükseltgen gazdır. Bu özelliğinden dolayı yükseltgen veya dezenfektant olarak yaygın biçimde kullanılır. Ozonun ve diğer dezenfektanların yükseltgenme potansiyelleri Çizelge 2. 3 de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kimyasal dezenfektanların yükseltgenme potansiyelleri (Liu, 1999, Environmental Engineer's Handbook, 2nd Ed., Gordon ve Bubnis, 2000)

Dezenfektant	Reaksiyon Mekanizması	Yükseltgenme Potansiyeli (V)
Ozon	$O_3 + 2H^+ + 2e \rightarrow O_2 + H_2O$	2,07
Permanganat	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1,67
Hipobromöz asit	$HOBr + H^+ + e \rightarrow 1/2 Br_2 + H_2O$	1,59
Klor dioksit	$ClO_2 + e \rightarrow ClO_2^-$	1,50
Hipokloröz asit	$HClO + H^+ + 2e \rightarrow Cl^- + H_2O$	1,49
Hipoyodöz asit	$HIO + H^+ + e \rightarrow 1/2 I_2 + H_2O$	1,45
Klor gazı	$Cl_2 + 2e \rightarrow 2Cl^-$	1,36
Oksijen	$O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$	1,23
Brom gazı	$Br_2 + 2e \rightarrow 2Br^-$	1,09
Hipoklorit	$ClO^- + H_2O + 2e \rightarrow Cl^- + 2OH^-$	0,94
Klorit	$ClO_2^- + 2H_2O + 4e \rightarrow Cl^- + 4OH^-$	0,76
İyot gazı	$I_2 + 2e \rightarrow 2I^-$	0,54

İçme sularının ozonla dezenfeksiyonu konusunda yapılan çalışmalar mutajenik aktivitelerin her zaman aynı şekilde etkilenmediğini göstermiştir (Gottschalk ve ark., 2000). Ancak birçok çalışma ozonun mutajenik aktiviteyi klordan daha fazla azalttığını göstermiştir. Şartların farklı olduğu durumlarda bunun terside elde edilmiştir (Huck ve ark., 1987; Lehtola ve ark., 2001). Bu gibi sonuçların elde edilmesinin nedeni, ozonla ilgili reaksiyonların çoğunun dozaj ve pH ile ilgili

olmasından kaynaklanmaktadır. Ozon dozajlamasının yeterli şekilde yapıldığı durumda, mikrobiyal aktivitelerin azaldığı gözlemlenmiştir (Petala ve ark., 2008; Camel ve Bermond, 1998).

Ozonun bakterilerle olan reaksiyon mekanizmasında, ozonun önce difüzyon ile hücre zarından hücre içine girdiğine ve sonra hücre enzimlerinin tersinmez olarak yükseltgenmesi şeklinde gerçekleştirdiğine inanılmaktadır. Ozon ile dezenfeksiyon normalden daha hızlıdır ve düşük ozon dozajı gerektirir.

Ozonlama sırasında dezenfeksiyonun yanı sıra renk, tat ve koku kontrolü de gerçekleşir. Ozon bütün yükseltgenebilir organik ve inorganik maddelerle reaksiyona girer. Dezenfeksiyon için gerekli ozon dozajı, su içerisindeki kimyasallara, kirliliğe ve mikroorganizmaların konsantrasyonuna bağlıdır. Temiz bir su içerisindeki bütün koliform bakterilerini öldürmek için gerekli ozon dozajı 0,2 ile 0,3 ppm civarındadır. Belediye su arıtma tesisleri genellikle 1,5 ppm civarında ozon kullanırlar ve bu dozaj dezenfeksiyonun yanı sıra sudaki tat, koku ve rengin giderilmesi için yeterlidir (Gottschalk ve ark., 2000; Grasso, 1996).

Eğer su ozon ile dezenfekte edilirse, klorlamada olduğu gibi suya kalıntı dezenfektant bırakmaz. Bundan dolayı, içme suyu arıtım tesislerinde ozonlamadan sonra klorlamanın yapılması gerekmektedir. Uygun bir içme suyu için, öncelikle ozonlama yapılmalı ve su içerisindeki renk, koku ve tat uzaklaştırılmalı, bakteriler, virüsle ve diğer organizmalar yok edilmelidir. Daha sonra, hafif bir şekilde klorlama yapılmalı ve tekrar oluşabilecek kirlenmelere karşı koruma sağlanmalıdır.

Dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konu ise ozonun insanlar için zehirli olmasıdır. Havada 8 saatlik dönem için kabul edilebilir maksimum ozon dozajı hacimce 0,1 ppm dir.

### 2.4.1. Ozonun bakteriler üzerindeki etkisi

Ozon gazı dezenfektant olarak 10 mg/l veya daha az dozajlarda kullanırsa, koliform bakterilerini sürekli olarak %99 oranında ortamdaki uzaklaştırabilir (Gottschalk ve ark., 2000). Yine yapılan başka bir çalışmada, belediye ikinci dereceden sularının dezenfeksiyonu için, ozon dozajının 1,75 veya 3,5 mg/l, alıkonma süresinin ise 10 ile 20 dakika arasında olduğu durumlarda bile yeterli dezenfeksiyonun sağlandığı gösterilmiştir (Paraskeva ve Graham, 2005; Petala ve ark., 2008). Çok küçük ozon dozajı bile *Escherichia coli* konsantrasyonunu büyük oranda düşürmektedir (Hunt ve Marinas, 1997 ve 1999; Smeets ve ark., 2006).

Literatürde, ozonun bakterileri öldürmesi konusunda birbirini tutmayan açıklamalar vardır (Grasso, 1996). Bazı çalışmalar ozonun proteinleri değiştirdiğini ve hücre zarı içerisindeki yağ asitlerinin doymamış bağlarının geçirgenliği zıt şekilde etkilediğini belirtmişlerdir (Grasso, 1996). Ancak, bazı araştırmacılar ise ozonun hücrenin deoxyribonucleic (DNA)'sini etkilediğini ve bu şekilde hücrenin aktivitesini durdurduğunu belirtmişlerdir. (Grasso, 1996; Lin ve Wu, 2006).

### 2.4.2. Ozonun virüsler üzerindeki etkisi

Ozonun virüsler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, klora karşı en dayanıklı virüslerden biri olan poliovirus üzerinde birçok çalışma yapılmıştır (Beltran, 2004; Dietrich ve ark., 2007; Thurston-Enriquez ve ark., 2005). Yapılan bir çalışmada, ozon dozajının 0,4 mg/l ve alıkonma süresinin 4 dakika olduğu bir durumda %99,9'luk bir dezenfeksiyonu gerçekleştirdiği görülmüştür (Grasso, 1996).

Poliovirüs'ün ozon ile olan dezenfeksiyonunun iki adımda gerçekleştiği görülmüştür. 8 saniyelik birinci adımda virüslerin %99,5'inin aktivitesini kaybettiği, 1 ile 5 dakika arasında ise tamamının aktivitesini kaybettiği gözlemlenmiştir (Grasso, 1996). Bu çalışmaya göre, virüslerin ozon saldırısına karşı dirençli kümeler oluşturma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü birinci aşamada ozon ile temas halindeyken virüslerin büyük bir kısmı ölmüş ve bu durum

ozonun kalan virüslerle temasını azaltmıştır. Bunların dışında farklı virüsler ile ozon dezenfeksiyonu çalışılmış ve virüslerin bazılarının ozona karşı daha hassas oldukları gözlemlenmiştir (Grasso, 1996).

#### 2.4.3. Ozonun protozalar üzerindeki etkisi

Ozon *Giardia* ve *Cryptosporidium* kistleri için kuvvetli bir dezenfektandır (Grasso, 1996; Spellman, 2003; Rennecker ve ark., 1999; Rennecker ve ark., 2000; Kim ve ark., 2007; Haas ve Kaymak, 2003). UV dezenfeksiyon yöntemi koliform ve diğer indikatör bakterilerine karşı etkili olsa da, bağırsak parazitlerinin kistlerine karşı etkili değildir. Bundan dolayı, eğer içme suyu veya atıksu içerisinde parazitler varsa, bunların dezenfeksiyonu ozonla yapılmalıdır. Ozon ile yapılan dezenfeksiyonda, *Giardia Muris*, *Giardia Lamblia*, *Cryptosporidium Parvum*, ve *Cryptosporidium Baileyi* kistlerinin ozona karşı oldukça hassas oldukları görülmüş ve farklı  $C \times T$  değerlerinde kistlerin %99 ve %99,9'unun aktivitelerini kayb ettikleri gözlemlenmiştir (Grasso, 1997). Ozonun kistler üzerindeki reaksiyon mekanizmasının pek anlaşılmamıştır. Fakat kist duvar yüzeyinin daha geçirgen ve enfeksiyonsuz olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir (Grasso, 1996).

**3. MATERYAL ve YÖNTEM****3.1. Materyal**

Çalışmanın başlatılabilmesi için, öncelikle kurallara uygun şekilde içme suyu numunesi alınmıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan içme suyunun daha önce herhangi bir dezenfektant ile işlem görmemiş olmasına dikkat edilmiştir. Alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenip ortamda bulunan zararlı mikroorganizmaların nicel ve nitel analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla besi yeri içeren test kitleri kullanılmış ve mikroorganizmaların sayılarının belirlenmesi yapılmıştır. Ortamda yeterince mikroorganizmanın olmadığı durumda aşılama yapıp, gerekli miktarda elde edilinceye kadar beklenmiştir. Oluşan patojenik mikroorganizmaların ozonla dezenfeksiyon yapıldığı zaman gerçekleşen mikrobiyal faaliyetlerin farklı sıcaklıklarda, dozajlarda, alıkonma sürelerinde ve pH değerlerinde incelenmesi amacıyla, istenen ortamlar sağlanmış ve laboratuvarında bulunan Ozoneks marka ozon üreticisi ile suyun dezenfeksiyonu yapılmıştır. Dezenfeksiyondan önce ve sonra mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Aynı zamanda, Merck marka Spektroquant fotometre ve Merck ozon test kitleri kullanılarak su içerisindeki ozon miktarı ölçülmüştür.

Bu çalışmanın yanı sıra alınan su numunelerinin pH, çözünmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi parametreleri ölçülmüş ve sonuçlar dezenfeksiyon sırasındaki mikrobiyal faaliyetlere bağlı olarak yorumlanmıştır. Daha sonra elde edilen kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, suyun kalitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Analiz için uygun sayıdaki numune Şanlıurfa ilindeki Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından içme suyundan temin edilmiştir.

### 3.2. Yöntem

Yapılan ölçümler aşağıda belirtilen test kitlerinin kullanma talimatına göre yapılmış ve bu analiz sırasında kullanılan bütün malzemeler Ender Tıbbi Cihazlar marka Otoklav kullanılarak sterilize edilmiştir. Çözünmüş Oksijen ve KOİ ölçümlerinde ise Standart Metotlar kitabında belirtilen yöntem kullanılmıştır.

Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından su numunesi alınmıştır. Alınan numunedan 500 ml ölçülerek alındı ve gaz yıkama şişelerine konularak farklı ozon dozajları, sıcaklık, pH ve süreler için numunelerin ozonlanması yapıldı. Ozonlanmış numunelerden 50 ml alınıp vakum ortamında filtrelendikten sonra, filtre kağıtları hazır besi yerleri üzerine konuldu ve belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletildi. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kitte belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapıldı. Ozonlanmış numune içerisindeki ozon konsantrasyonu ise ozonlamanın hemen arkasından Merck marka Spektroquant fotometre ve Merck marka ozon test kitleri kullanılarak ölçüldü.

#### 3.2.1. TYPE: Standart TTC Test Kiti ile *Bacillus subtilis* analiz

Bu teste 0,45 µm filtre kalınlığında, hazır besi yeri içeren ve petri tabağında bulunan test kiti kullanılmıştır. Besi yeri içeriği kullanım kılavuzunda belirtilmiştir. Buna göre;

- Kullanıma başlamadan önce bütün araç ve gereçler otoklav kullanılarak sterilize edilmeli,
- Bir paket kesilerek açılmalı ve kullanılacak sayıda besi yeri içeren petri tabakları çıkarılmalı,
- Petri tabağı üzerine 3,0-3,5 ml steril, damıtık su konulmalı,
- Membran filtre paketinin geçirgen plastik tabakasını geriye doğru soyulmalı,
- Membranı uzaklaştırmak için cımbız kullanılmalı ve filtre AKM cihazının üzerine yerleştirilmeli,



- Numuneyi filtreden geçirmeli ve AKM cihazının içerisini steril damıtık suyla yıkanmalı,
- Membran filtre uzaklaştırmalı ve petri kapı içerisindeki besi yeri üzerine içerisinde hiçbir hava kabarcığı olmayacak şekilde yerleştirmeli
- Petri tabağı içerisindeki besi yeri ve membran filtreyi kapağı yukarı gelecek şekilde inkübatöre veya karanlık etüve konmalı
- 2 ile 5 gün arasında  $30 \pm 2$  °C de bekletilmeli,
- Sonuçları kullanım kılavuzuna göre değerlendirilmelidir.

### 3.2.2. TYPE: Endo Test Kiti ile *Escherichia coli* ve *coliform* analiz

Bu teste 0,45 µm filtre kalınlığında, hazır besi yeri içeren ve petri tabağında bulunan test kiti kullanılmıştır. Besi yeri içeriği kullanım kılavuzunda belirtilmiştir. Buna göre;

- Kullanıma başlamadan önce bütün araç ve gereçler otoklav kullanılarak sterilize edilmeli,
- Bir paket kesilerek açılmalı ve kullanılacak sayıda besi yeri içeren petri tabakları çıkarılmalı,
- Petri tabağı üzerine 3,0-3,5 ml steril, damıtık su konulmalı,
- Membran filtre paketinin geçirgen plastik tabakasını geriye doğru soyulmalı,
- Membranı uzaklaştırmak için cımbız kullanılmalı ve filtre AKM cihazının üzerine yerleştirilmeli,
- Numuneyi filtreden geçirmeli ve AKM cihazının içerisini steril damıtık suyla yıkanmalı,
- Membran filtre uzaklaştırmalı ve petri kapı içerisindeki besi yeri üzerine içerisinde hiçbir hava kabarcığı olmayacak şekilde yerleştirmeli
- Petri tabağı içerisindeki besi yeri ve membran filtreyi kapağı yukarı gelecek şekilde inkübatöre veya karanlık etüve konmalı
- $24 \pm 2$  saatte ve  $36 \pm 2$  °C de bekletilmeli,
- Sonuçları kullanım kılavuzuna göre değerlendirilmelidir.

**3.2.3. TYPE: Azide/ KF Strep Test Kiti ile *Streptococcus faecalis* analiz**

Bu teste 0,45 µm filtre kalınlığında, hazır besi yeri içeren ve petri tabağında bulunan test kiti kullanılmıştır. Besi yeri içeriği kullanım kılavuzunda belirtilmiştir.

Buna göre;

- Kullanıma başlamadan önce bütün araç ve gereçler otoklav kullanılarak sterilize edilmeli,
- Bir paket kesilerek açılmalı ve kullanılacak sayıda besi yeri içeren petri tabakları çıkarılmalı,
- Petri tabağı üzerine 3,0-3,5 ml steril, damıtık su konulmalı,
- Membran filtre paketinin geçirgen plastik tabakasını geriye doğru soyulmalı,
- Membranı uzaklaştırmak için cımbız kullanılmalı ve filtre AKM cihazının üzerine yerleştirilmeli,
- Numuneyi filtreden geçirmeli ve AKM cihazının içerisini steril damıtık suyla yıkanmalı,
- Membran filtre uzaklaştırmalı ve petri kapı içerisindeki besi yeri üzerine içerisinde hiçbir hava kabarcığı olmayacak şekilde yerleştirmeli
- Petri tabağı içerisindeki besi yeri ve membran filtreyi kapağı yukarı gelecek şekilde inkübatöre veya karanlık etüve konmalı
- 44 ± 4 saatte ve 36 ± 2 °C de bekletilmeli,
- Sonuçları kullanım kılavuzuna göre değerlendirilmelidir.

**3.2.4. TYPE: m FC Test Kiti ile *Escherichia coli ve coliforms* analiz**

Bu teste 0,45 µm filtre kalınlığında, hazır besi yeri içeren ve petri tabağında bulunan test kiti kullanılmıştır. Besi yeri içeriği kullanım kılavuzunda belirtilmiştir.

Buna göre;

- Kullanıma başlamadan önce bütün araç ve gereçler otoklav kullanılarak sterilize edilmeli,

- Bir paket kesilerek açılmalı ve kullanılacak sayıda besi yeri içeren petri tabakları çıkarılmalı,
- Petri tabağı üzerine 3,0-3,5 ml steril, damıtık su konulmalı,
- Membran filtre paketinin geçirgen plastik tabakasını geriye doğru soyulmalı,
- Membranı uzaklaştırmak için cımbız kullanılmalı ve filtre AKM cihazının üzerine yerleştirilmeli,
- Numuneyi filtreden geçirmeli ve AKM cihazının içerisini steril damıtık suyla yıkanmalı,
- Membran filtre uzaklaştırmalı ve petri kapı içerisindeki besi yeri üzerine içerisinde hiçbir hava kabarcığı olmayacak şekilde yerleştirmeli
- Petri tabağı içerisindeki besi yeri ve membran filtreyi kapağı yukarı gelecek şekilde inkübatöre veya karanlık etüve konmalı
- $20 \pm 4$  saatte ve  $36 \pm 2$  °C de bekletilmeli, (banyo suyu sıcaklığı  $44 \pm 1$  °C olmalı)
- Sonuçları kullanım kılavuzuna göre değerlendirilmelidir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada içme suyundaki mikroorganizmaların ozon dezenfeksiyonu ile giderimi aşağıda belirtilen durumlarda incelenmiştir. Toplam bakteri sayımı, içme suyunun güvenilirliğini yani sağlığa zararlı olup olmadığını gösterme yönünden büyük önem taşımaya da suya uygulanan işlemlerin etkinliğini göstermede ve dağıtım şebekesindeki suyun temizlik derecesini ölçmede yararlı bir kriterdir. Diğer taraftan doğal olarak yüksek sayıda bakteri içeren sular sağlığa az veya çok zararlı kabul edildiğinden toplam canlı bakteri sayımı suyun kirlilik derecesi hakkında bir fikir verir.

##### 4.1. Mikroorganizma Sayısının Sıcaklıkla Değişimi

Alınan numune farklı sıcaklıklarda ozonlanmıştır. Sıcaklığın dezenfeksiyon üzerindeki etkisini incelemek için, sabit ozon dozajı ve sürede farklı sıcaklıklarda dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için, ozonlanmanın yapıldığı gaz yıkama şişeleri büyük bir beher içerisine yerleştirilmiş ve alttan manyetik ısıtıcı vasıtasıyla ısıtılarak istenilen sıcaklığa getirilmiştir. İstenilen sıcaklığa geldikten sonra gaz yıkama şişesi ısıtma ortamından uzaklaştırılmış ve ozonlama gerçekleştirilmiştir. Ozonlanmış numuneler vakum ortamında filtreledikten sonra, filtre kağıtları hazır besi yerleri üzerine konulmuş ve belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletilmiştir. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kitte belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Su içerisindeki ozonlamadan önceki ve sonraki mikroorganizma sayısı Çizelge 4.1 de verilmiş ve etüvdeki bekleme süresinde filtre kağıdı üzerinde çoğalan ozonlanmamış su içerisindeki mikroorganizmaların görünümü Şekil 4.1 de görülmektedir.

Ozonlama ile yapılan dezenfeksiyon işleminde mikroorganizmalar büyük oranda giderilmektedir. Yapılan çalışmada, ozonlama ile su içerisinde bulunan

Escherichia coli ve coliform bakterilerinin %99,9 giderildiği gözlemlenmiştir. Streptococcus faecalis bakterileri %92-%95 oranında giderilmiştir.

Çizelge 4.1. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının sıcaklıkla değişimi (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12mg/lt, Dozaj=6mg/dak, Zaman=5 dakika, pH=7)

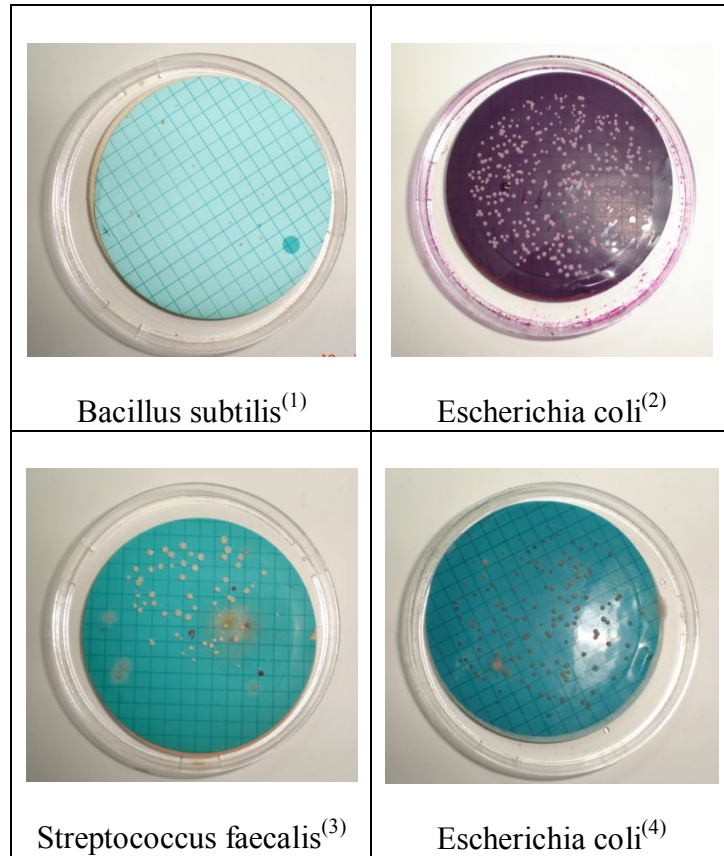
Sıcaklık (°C)	Bacillus subtilis <sup>1</sup>	Escherichia coli <sup>2</sup>	Streptococcus faecalis <sup>3</sup>	Escherichia coli <sup>4</sup>	O <sub>3</sub> (mg/l)
Doğal (10)	400	3 000	1200	2 640	
11	320	340	40	360	0.05
18.5	320	-	100	-	0.03
25.5	300	140	120	180	0.03

(1) Type: Standart TTC test kiti kullanıldı

(2) Type: Endo test kiti kullanıldı

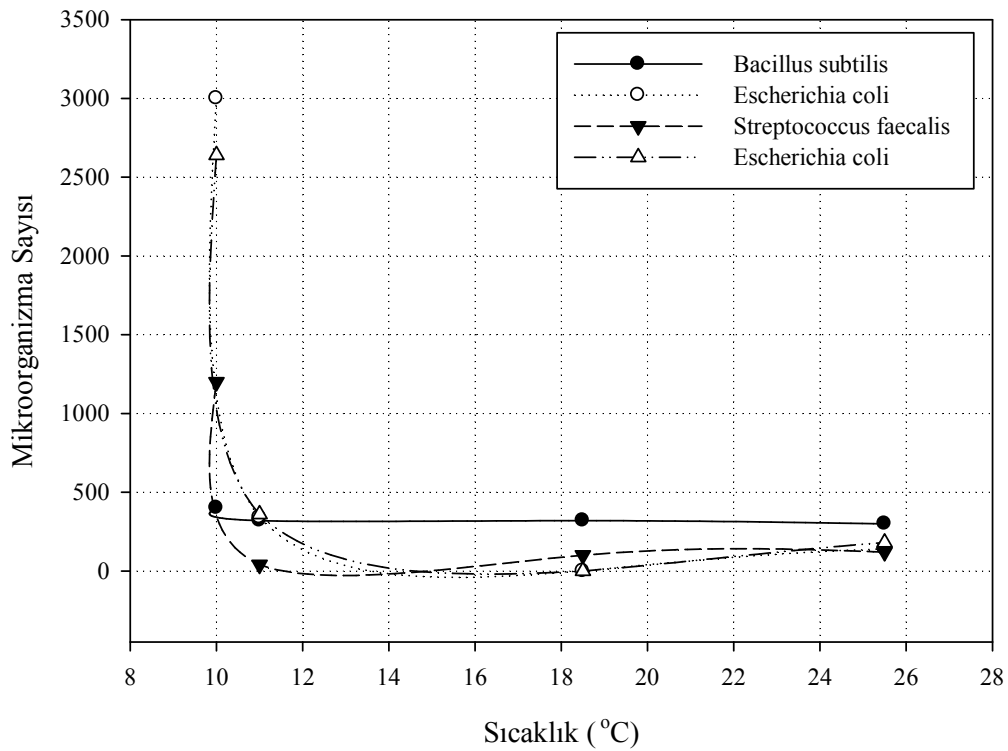
(3) Type: Azide/KF Strep test kiti kullanıldı

(4) Type: m FC test kiti kullanıldı



Şekil 4.1. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=,8.12mg/lt Dozaj=6mg/dak., Zaman=5 dak, pH=7)

Sadece *Bacillus subtilis* bakteri giderimi %40 oranında gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.2 de grafiksel olarak görülmektedir. *Escherichia coli* ve coliform bakteri ve *Streptococcus faecalis* mikroorganizmaları kusma ve ishale neden olur ve böyle sular içme suyu olarak kullanılırsa besin zehirlenmesi yapabilir. *Bacillus subtilis* mikroorganizması ise kusma ve ishalin yanı sıra deri hastalıklarına neden olur.



Şekil 4.2. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının sıcaklıkla değişimi (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12mg/lt, Dozaj=,6mg/dak Zaman=5 dak, pH=7)

#### 4.2. Mikroorganizma Sayısının Dozajla Değişimi

Dozajın dezenfeksiyon üzerindeki etkisini incelemek için, sabit sıcaklık ve sürede farklı dozajlarda dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için farklı numuneler gaz yıkama şişelerin konmuş ve ozon üreticisi üzerinden dozaj ayarlaması yapılarak dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ozonlanmış numuneler vakum ortamında filtrelendikten sonra, filtre kağıtları hazır besi yerleri üzerine konulmuş ve

belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletilmiştir.. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kitte belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Su içerisindeki ozonlamadan önceki ve sonraki mikroorganizma sayısı Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının dozajla değişimi (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12 mg/lt, Zaman=5 dakika, Sıcaklık(°C)=13, pH=7)

Dozaj (mg/dak)	Bacillus subtilis <sup>1</sup>	Escherichia coli <sup>2</sup>	Streptococcus faecalis <sup>3</sup>	Escherichia coli <sup>4</sup>	O <sub>3</sub> (mg/l)
0	600	2600	900	2580	-
2	500	160	320	60	0.03
4	420	160	160	160	0.05
6	460	60	120	60	0.05
8	300	80	60	120	0.04

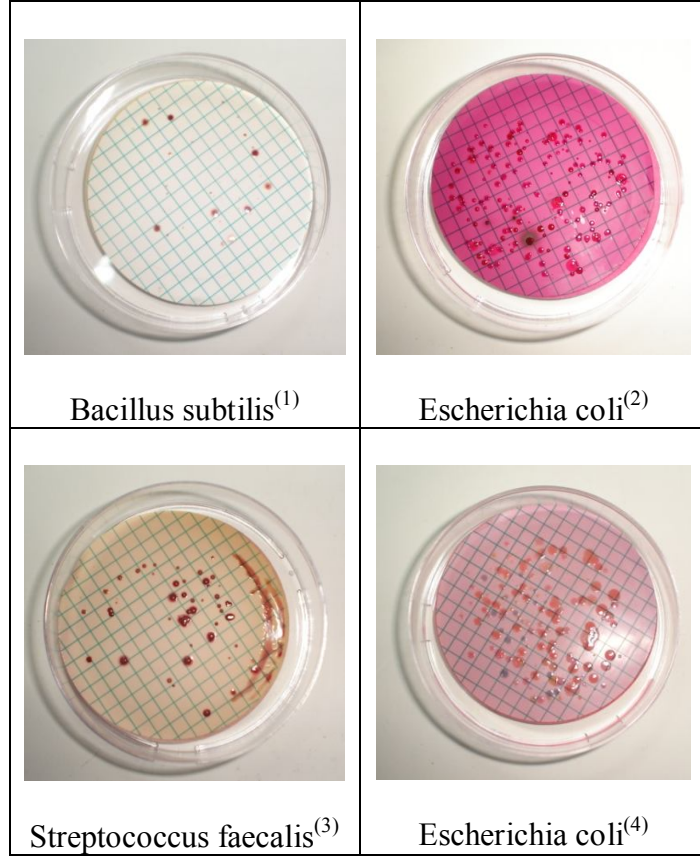
(1) Type: Standart TTC test kiti kullanıldı

(2) Type: Endo test kiti kullanıldı

(3) Type: Azide/KF Strep test kiti kullanıldı

(4) Type: m FC test kiti kullanıldı

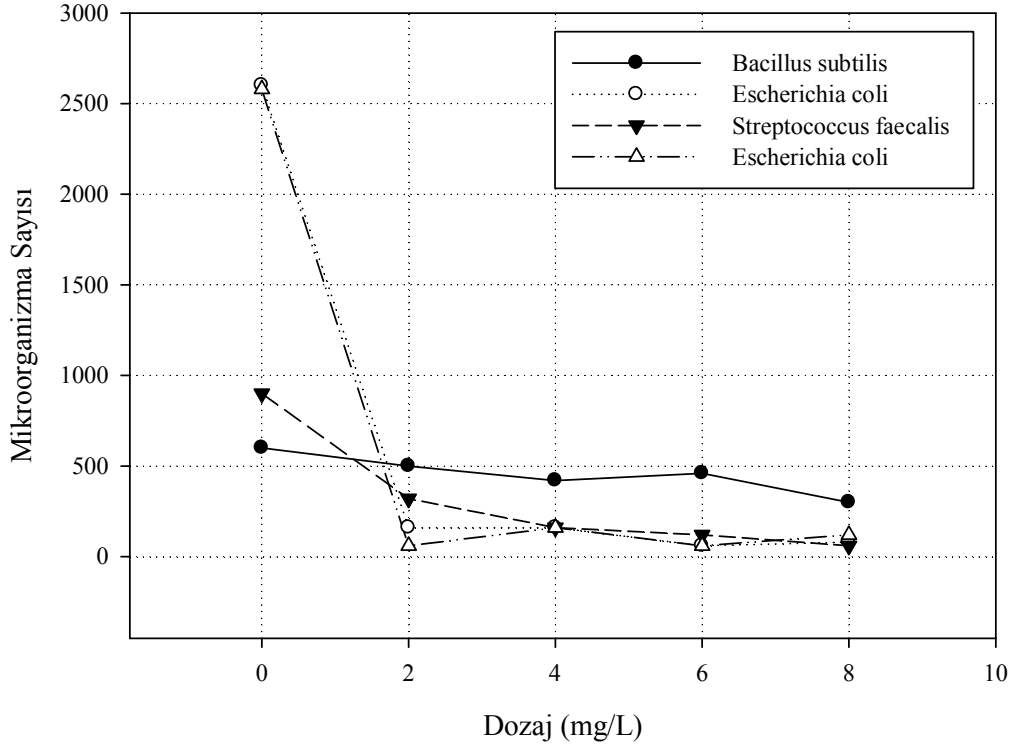
Etüvdeki bekleme süresinde filtre kağıdı üzerinde çoğalan ozonlanmamış su içerisindeki mikroorganizmaların görünümü ise Şekil 4.3 de görülmektedir. Ozonlama ile yapılan dezenfeksiyon işleminde mikroorganizmalar büyük oranda giderilmektedir. Yapılan çalışmada, ozonlama ile su içerisinde bulunan Escherichia coli ve coliform bakterilerinin %96-%98 giderildiği gözlemlenmiştir. Streptococcus faecalis bakterileri %92-%94 oranında giderilmiştir. Sadece Bacillus subtilis bakteri giderimi %45 oranında gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir. Ozon, Escherichia coli ve coliform bakterileri ile Streptococcus faecalis bakterileri üzerinde oldukça etkilidir ve düşük dozajlarda bile bu bakterileri ortamdaki büyük oranda gidermektedir. Ancak aynı etkiyi Bacillus subtilis bakterileri üzerinde gösterememekte ve yüksek dozajlarda bile ortamda bu bakterilerden bulunmaktadır.



Şekil 4.3. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü, (KOİ=3.14 mg/lit, Ç.O=8.12 mg/lit, Zaman=5, Sıcaklık(°C)=13, pH=7)

Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 de grafiksel olarak görülmektedir. Grafikte de görüldüğü mikroorganizma sayısında düşük dozajlarda bile bükük azalma gözlemlenmektedir.





Şekil 4.4. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının dozaj ile değişimi, (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12 mg/lt, Zaman=5, Sıcaklık(°C)=13, pH=7)

### 4.3. Mikroorganizma Sayısının Zamanla Değişimi

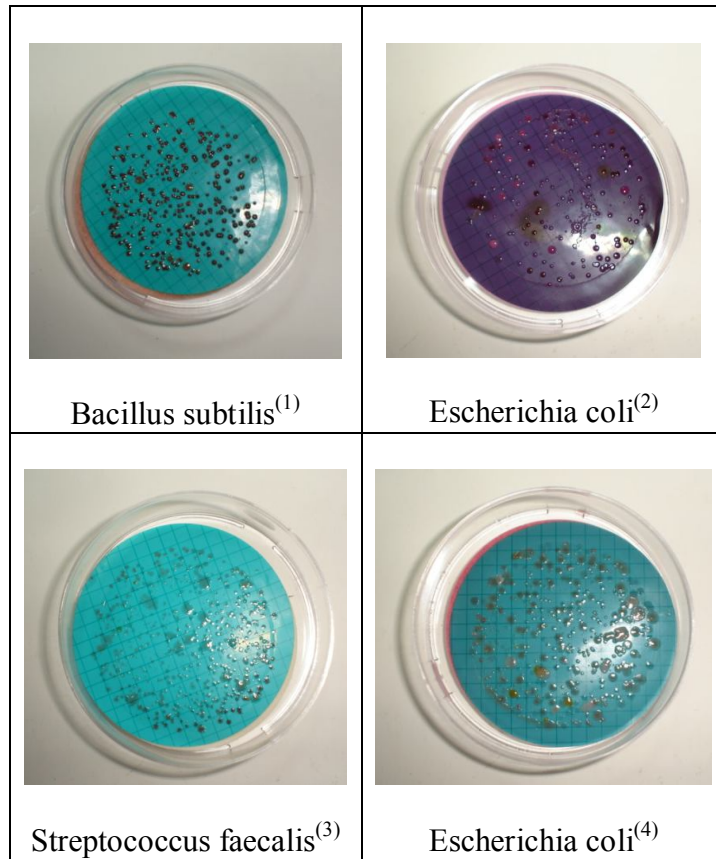
Bekleme süresinin dezenfeksiyon üzerindeki etkisini incelemek için, sabit sıcaklık ve dozajda farklı sürelerde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için farklı numuneler gaz yıkama şişelerine konmuş ve farklı sürelerde ozon üreticiden ortama ozon gazı verilmiştir. Ozonlanmış numuneler vakum ortamında filtrelendikten sonra, filtre kağıtları hazır besiyerleri üzerine konulmuş ve belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletilmiştir. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kitte belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Su içerisindeki ozonlamadan önceki ve sonraki mikroorganizma sayısı Çizelge 4.3 de verilmiştir. Etüvdeki bekleme süresinde filtre kağıdı üzerinde çoğalan ozonlanmamış su içerisindeki mikroorganizmaların görünümü ise Şekil 4.5 de görülmektedir.

Ozonlama ile yapılan dezenfeksiyon işleminde mikroorganizmalar büyük oranda gidermektedir.

Çizelge 4.3. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma zamanla değişimi (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12mg/lt, Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2 )

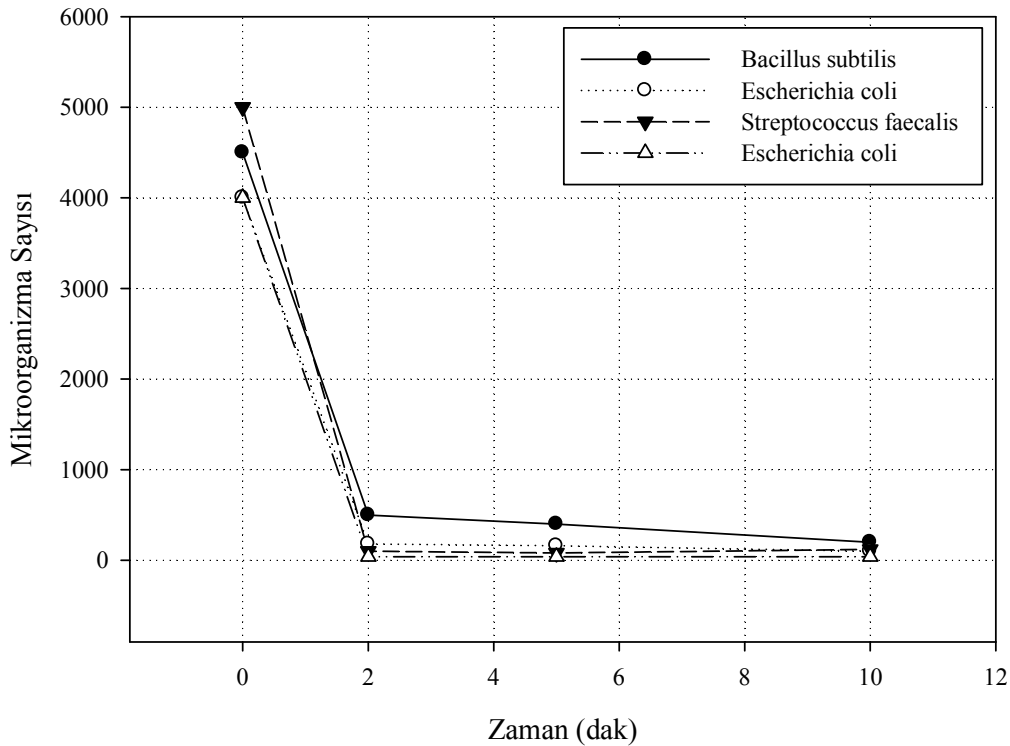
Zaman (dak)	Bacillus subtilis <sup>1</sup>	Escherichia coli <sup>2</sup>	Streptococcus faecalis <sup>3</sup>	Escherichia coli <sup>4</sup>	O <sub>3</sub> (mg/l)
0	4 500 civarı	4 000 civarı	5 000 civarı	4 000 civarı	-
2	500	180	100	40	0.03
5	400	160	80	40	0.03
10	200	100	120	40	0.04

- (1) Type: Standart TTC test kiti kullanıldı  
 (2) Type: Endo test kiti kullanıldı  
 (3) Type: Azide/KF Strep test kiti kullanıldı  
 (4) Type: m FC test kiti kullanıldı



Şekil 4.5. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların görünümü, (KOİ=3.14mg/lt, Ç.O=8.12 mg/lt, Dozaj=5mg/dak Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2 )

Yapılan çalışmada, ozonlama ile su içerisinde bulunan Escherichia coli ve coliform bakterilerinin %98-%99 giderildiği gözlemlenmiştir. Streptococcus faecalis bakterileri %97-%98 oranında ve Bacillus subtilis bakterileri %95 giderilmiştir. Bu durum eğer yeterince zaman verilirse Bacillus subtilis bakterilerinin büyük oranda giderildiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6 de grafiksel olarak görülmektedir



Şekil 4.6. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının zamanla değişimi, (KOİ=3.14mg/lit, Ç.O=,8.12mg/lit Dozaj=5mg/dak, Sıcaklık(°C)=13, pH=7.2 )

#### 4.4. Mikroorganizma Sayısının pH ile Değişimi

pH değerinin dezenfeksiyon üzerindeki etkisini incelemek için, sabit sıcaklık, bekleme süresi ve dozajda farklı pH değerlerinde dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerin pH değerlerinin ayarlanması sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak yapılmıştır. Bunun için numuneler gaz yıkama şişelerin konmuş ve sülfürik asit veya sodyum hidroksit

eklendikten sonra ozonlama yapılmıştır. Ozonlanmış numuneler vakum ortamında filtrelendikten sonra, filtre kağıtları hazır besiyerleri üzerine konulmuş ve belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletilmiştir. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kiti belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Su içerisindeki ozonlamadan önceki ve sonraki mikroorganizma sayısı Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının pH ile değişimi (KOİ=3.14 mg/lt, Ç.O=8.12 mg/lt, Dozaj=5 mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dak)

pH	Bacillus subtilis <sup>1</sup>	Escherichia coli <sup>2</sup>	Streptococcus faecalis <sup>3</sup>	Escherichia coli <sup>4</sup>	O <sub>3</sub> (mg/l)
Doğal pH=7.2	4 500 civarı	4 000 civarı	5 000 civarı	4 000 civarı	-
Doğal pH=7.2	3 000 civarı	360	200	320	0.04
3.08	540	320	100	60	0.04
5.53	700	320	40	40	0.05
9.23	700	180	200	40	0.06
10.81	680	40	340	180	0.09

(1) Type: Standart TTC test kiti kullanıldı

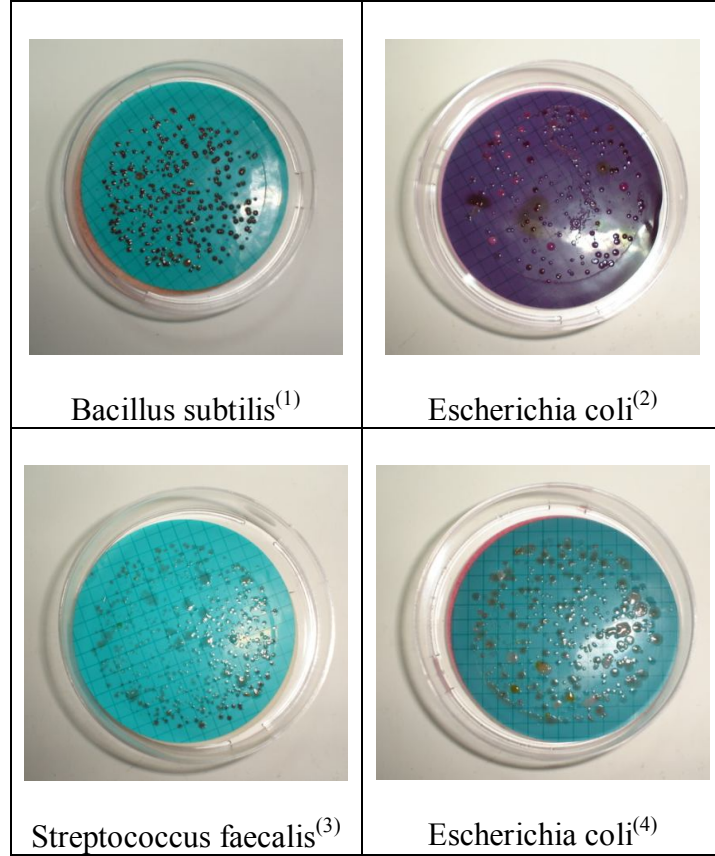
(2) Type: Endo test kiti kullanıldı

(3) Type: Azide/KF Strep test kiti kullanıldı

(4) Type: m FC test kiti kullanıldı

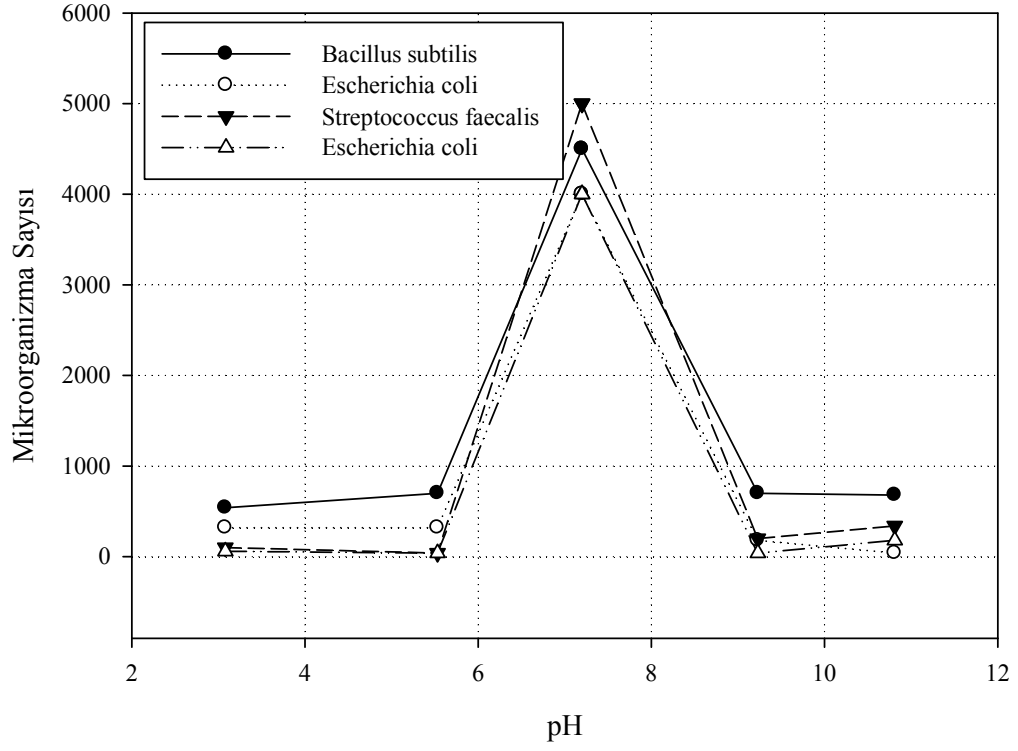
Etüvdeki bekleme süresinde filtre kağıdı üzerinde çoğalan ozonlanmamış su içerisindeki mikroorganizmaların görünümü ise Şekil 4.7 de görülmektedir.

Ozonlama ile dezenfeksiyon mikroorganizmaları büyük oranda gidermektedir. Ozonlanmış su numunesinde ozonlama yapılmadan önce bulunan Escherichia coli ve coliform bakteri %97-%99 oranında giderilmiştir. Streptococcus faecalis %96-%98 oranında giderilmiştir. Bacillus subtilis bakteri giderimi %95 oranında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7. İçme suyu içerisindeki mikroorganizmaların oda sıcaklığındaki görünümü, (KOİ=3.14 mg/lit, Ç.O=8.12 mg/lit, Dozaj=5 mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dak)

Elde edilen sonuçlar Şekil 4.8 de grafiksel olarak görülmektedir. Burada ortamda bulunan asit ve baz iyonlarının da, ( $H^+$ ,  $OH^-$ ), bakterilerin mikrobiyolojik faaliyetleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Çünkü doğal pH değerlerinde ve aynı koşullarda yapılan daha önceki çalışmada, Bacillus subtilis bakterilerinin %40-45 arasında giderildiği gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmada bu bakterilerin gideriminin %95 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. İçme suyu içerisindeki mikroorganizma sayısının pH ile değişimi (KOİ=3.14 mg/lt, Ç.O=8.12 mg/lt, Dozaj=5 mg/dak, Sıcaklık(°C)=11, Zaman=5 dak)

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

İçme sularının dezenfeksiyonu amacıyla uygulanan klorlama işleminin sonunda meydana gelen trihalometanların (THM), özellikle bu gruba giren trihalometanın (kloroform) kanserojen etkisi üzerindeki iddiaların yaygınlaşması üzerine dezenfeksiyon işleminin yeniden gözden geçirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. ABD de yapılan bir kısım epidemiyolojik araştırmalarda, içme sularında klorlama sonucu oluşan trihalometan nedeniyle mesane, barsak, mide, yemek borusu, meme ve akciğer kanserlerinde artış olduğu ortaya konulmuştur. Trihalometanların oluşumuna bağlı olarak meydana gelen sağlık sorunlarının giderilmesi için alternatif dezenfeksiyon yöntemleri kullanılmalıdır.

Ozon kuvvetli bir dezenfektan olması ve hızlı etki etmesi gibi avantajlarının yanında son derece kararsız bir bileşik olması ve üretiminin pahalı olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Klorlama ise kuvvetli ve ozona oranla nispeten daha kararlı bir dezenfektan aracıdır. Ancak suya koku ve tat vermektedir. Klor etkisini su gerçek anlamda kullanılıncaya kadar sürdürmekteyken ozonda bütün bir etki söz konusudur. Bu nedenle kısa hatlarda ve depo çıkışlarında (ön dezenfeksiyon) kullanılmaktadır. Ozon, suyu dezenfekte ederken, oksijenden başka kimyasal madde suda kalmaz. Ancak ozon ile birlikte, su tesisat borularının yeterince güvenli olmadığı için temiz suya şebekeyi koruma amaçlı olarak çok az miktarda klor verilmelidir.

Hammaddesi oksijen gazıdır. Doğal tek dezenfektandır. Ozon gazı kararsız yapısından dolayı oksijene dönüşür doğal bir dezenfeksiyon olması nedeni ile insan sağlığına zararlı değildir. Bilinen kimyasal dezenfektanlardan çok üstün olduğu için yaşanan ortamlardaki organizmaları okside edebilmesi ve kullanım kolaylığından dolayı ve tat ve koku bırakmadığından ozon çeşitli endüstrilere girerek burada kullanım alanlarını arttırdığı için ozon kullanılır. Ayrıca;

- Bilinen en iyi oksidandır
- İşletme maliyetini düşürür
- Çevre dostudur
- Kalıntı bırakmaz
- Uluslar arası standartlara haizdir
- Kanserojen değildir

Şehir şebeke suyunda koliform bakterisinde artış olması şebekeye sızıntı olduğunu kanıtlar niteliktedir. Su kirlilik sonuçlarına bağlı olarak insanlarda tifo, bulaşıcı sarılık, ishal, dizanteri, çocuk felci, trahom, tifüs, mantar, uyuz, sıtma, humma, beyin iltihabı gibi hastalıklara rastlanılmıştır. Bu sebeple bir içme suyu kaynağı tahlil edildiğinde eğer E-Koli bulunmuşsa, bu suyun insan, memeli hayvan veya kuşların dışkılarıyla kirlendiği anlaşılır.

Bu çalışmada Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından alınan içme suyunun mikroorganizma sayımı yapıldığında, ortamda *Escherichia coli* ve coliform bakterileri, *Bacillus subtilis* ve *Streptococcus faecalis* bakterilerine rastlanmıştır.

Alınan içme suyunun sıcaklığını değiştirilerek ozonlama yapılmıştır. Sonuç olarak, 5 dakika süreyle 18,5 °C de ozonlanmış su numunesinde, ozonlama yapılmadan önce bulunan *Escherichia coli* ve coliform bakterilerinin %99,9 oranında giderildiği gözlemlenmiştir. *Streptococcus faecalis* %92-%95 oranında giderilmiş ve *Bacillus subtilis* bakterileri ise sadece %40 oranında giderilmiştir. Suyun sıcaklığı arttıkça ozonun çözünme verimi azalır.

Farklı dozajlarda ozonlama yapmak için su numunesine 5 dakika süreyle değişik dozajlarda ozon verilmiştir. 6 mg/L ozon verildiğinde, *Escherichia coli* ve coliform bakterilerinin %96-%98, *Streptococcus faecalis* bakterilerinin %92-%94 ve *Bacillus subtilis* bakterilerinin ise %45 oranında giderildiği gözlemlenmiştir.

Alınan numunenin ozonlama süresi değiştirildiğinde ise, kısa sürede bile ozonlamanın mikroorganizmalar üzerinde büyük etkisi olduğu gözlemlenmiştir. 5 dakika süreyle 5 mg/L ozon verilerek yapılan ozonlamada, ortamda bulunan *Escherichia coli* ve coliform bakterilerinin %98-%99, *Streptococcus faecalis*



bakterilerinin %97-%98 ve Bacillus subtilis bakterilerinin %95 oranında giderildiği gözlemlenmiştir.

pH değerinin dezenfeksiyon üzerindeki etkisini araştırmak için, ortamın pH değeri sülfürik asit ve sodyum hidroksit kullanılarak değiştirilmiştir. 5 dakika süreyle ve 5 mg/L ozon verilerek yapılan dezenfeksiyon sonucunda, ortamda bulunan Escherichia coli ve coliform bakterilerinin %97-%99, Streptococcus faecalis bakterilerinin % 96-% 98 ve Bacillus subtilis bakterilerinin ise % 95 oranında giderildiği gözlemlenmiştir.

## **5.2. Öneriler**

Bu çalışmada, alınan içme suyunda mikroorganizma sayımı yapıldığında mikroorganizma varlığı tespit edilmiştir. Su kirliliği sonuçlarına göre, bu mikroorganizmalar insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen tifo, ishal, dizanteri ve mantar gibi hastalıklara neden olabilmektedirler.

Harran Üniversitesi Makine Fabrikası içme suyuna ozonlama yapılarak iyi bir dezenfeksiyon işlemi sağlanmış olur. Konut ile su kaynağı arasındaki şebeke sisteminin kısa olması sebebiyle ozonun yarılanma süresinden kaynaklanan sorunların oluşmamasından dolayı en uygun dezenfeksiyon yöntemi olarak önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- ANONİM, 1999. Ozone Disinfection, Wastewater Technology Fact Sheet, Environmental Protection Agency, EPA 832-F-99-063, Washington, D.C., USA.
- ANONİM, 2002. Otago Polytechnic Drinking Water Assessors Course US 18453-Disinfection, Water ITO, Otago Polytechnic, USA.
- BELTRAN, F. J., 2004. Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems, Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton.
- BICKNELL, D. L., and JAIN, R. K., 2002. Ozone disinfection of drinking water—technology transfer and policy issues, *Environ Eng Policy* 3: 55-66.
- BISWAS, K., CRAIK, S., SMITH, D. W. and BELOSEVIC, M., 2005. Synergistic inactivation of *Cryptosporidium parvum* using ozone followed by monochloramine in two natural waters, *Water Research* 39: 3167–3176.
- BULL, R.J., KOPFLER, F.C., 1991. Health Effects of Disinfection By-products, American Water Works Association, Denver.
- CAMEL, V. and BERMOND, A., 1998. The Use of Ozone and Associated Oxidation Processes in Drinking Water Treatment, *Water Research* 32 (11): 3208-3222.
- CHAND, R., BREMNER, D. H., NAMKUNG, K. C., COLLIER, P. J. and GOGATE, P. R., 2007. Water disinfection using the novel approach of ozone and a liquid whistle reactor, *Biochemical Engineering Journal* 35: 357-364.
- CHICK H., 1908. An investigation of the laws of disinfection. *Journal of Hygiene* 8, 92-158.
- CHO, M., YOON, J., 2006. Enhanced bacterial effect of  $O_3/H_2O_2$  followed by  $Cl_2$ . *Ozone Sci. Eng.* 28, 335-340.
- DEMİR, F., 2001. Modeling of Chlorine Disinfection and Kaolin Dispersion Systems with Control Applications, Doktora Tezi, University of Florida, Gainesville, Florida, A.B.D.
- DIETRICH, J. P., LOGE, F. J., GINN, T. R. and BAŞOĞLU, H., 2007. Inactivation of particle-associated microorganisms in wastewater disinfection: Modeling of ozone and chlorine reactive diffusive transport in polydispersed suspensions, *WATER RESEARCH* 41: 2189-2201.
- DOW, S. M., BARBEAU, B., GUNTEN, U. V., CHANDRAKANTH, M., AMY, G. and HERNANDEZ, M., 2006. The impact of selected water quality parameters on the inactivation of *Bacillus subtilis* spores by monochloramine and ozone, *Water Research* 40: 373-382.
- DRIEDGER, A., STAUB, E., PINKERNELL, U., MARINAS, B., KÖSTER, W. and GUNTEN, U. V., 2001a. Inactivation of *Bacillus Subtilis* Spores and Formation of Bromate during Ozonation, *Water Research* 35 (12): 2950-2960.
- DRIEDGER, A. M., RENNECKER, J. L., and MARINAS, B. J., 2001b. Inactivation of *Cryptosporidium Parvum* Oocysts with Ozone and Monochloramine at Low Temperature, *Water Research Vol. 35* (1): 41-48.

- DRIEDGER, A. M., RENNECKER, J. L., and MARINAS, B. J., 2000. Sequential inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone and free chlorine. *Water Research*. 34 (14); 3591-3597.
- EPA, 1999. Wastewater Technology Fact Sheet, Ozone Disinfection, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., EPA 832-F-99-063 September.
- EVANS, F., 1972. *Ozone in Water and Wastewater Treatment*. Environmental protection Agency, Cincinnati, Ohio, Ann Arbor Science Publisher, Ann Arbor Michigan.
- FROESE, K. L., WOLANSKI, A. and HRUDEY, S. E., 1999. Factors Governing Odorous Aldehyde Formation as Disinfection By-Products in Drinking Water, *Water Research* 33 (6): 1355-1364.
- GRASSO, D., 1996. *Wastewater Disinfection*, Water Environmental Federation, 601 Wayne Street, Alexandria, Virginia, USA.
- GORDON, G and BUBNIS, B., 2000. Environmentally Friendly Methods of Water Disinfection: The Chemistry of Alternative Disinfectants, *Progress in Nuclear Energy*, 37 (1-4): 37-40.
- GUJER, W. and GUNTEN, U. V., 2003. A stochastic model of an ozonation reactor, *Water Research* 37: 1667–1677.
- GUNTEN, U. V., 2003a. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation, *Water Research* 37: 1443-1467.
- GUNTEN, U. V., 2003b. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine, *Water Research* 37: 1469-1487.
- GUNTEN, U. R., DRIEDGER, A., GALLARD, H., and SALHI, E., 2001. By-Products Formation During Drinking Water Disinfection: A Tool to Assess Disinfection Efficiency?, *Water. Research*. 35, No. 8, 2095–2099.
- GOTTSCHALK, C., LIBRA, J. A. and SAUPE, A., 2000. *Ozonation of Water and Waste Water, A Practical Guide to Understanding Ozone and its Application*, WILEY-VCH, Weinheim, Germany.
- HAAS, C. N., and KAYMAK, B., 2003. Effect of initial microbial density on inactivation of *Giardia muris* by ozone, *Water Research* 37: 2980-2988.
- HAMMES, F., SALHI, E., KÖSTER, O., KAISER, H., EGLI, T., and GUNTEN, U. V., 2006. Mechanistic and kinetic evaluation of organic disinfection by-product and assimilable organic carbon (AOC) formation during the ozonation of drinking water, *Water Research* 40: 2275-2286.
- HUA, G. and RECKHOW, D. A., 2007. Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants, *Water Research* 41: 1667-1678.
- HUANG, W. J., FANG. G. C., and WANG, C. C., 2004. The determination and fate of disinfection by-products from ozonation of polluted raw water, *Science of the Total Environment*.
- HUCK, P. M., ANDERSON, W. B., SAVAGE, E., VON BORSTEL, R. C., DAIGNULT, S A, RECTOR, D. W., IRVINE, G. A., WILLIAMS, D. T., 1987. Pilot Scale evaluation of ozone and other drinking water disinfectants using mutagenicity testing, 8th Ozone world congress, Zurich, Switmland, September, C29-CS4.

- HUNT, N. K. and MARINAS, B. J., 1999. Inactivation of Escherichia Coli with Ozone: Chemical and Inactivation Kinetics, *Water Research* 33 (11): 2633-2641.
- HUNT, N. K. and MARINAS, B. J., 1997. Kinetics of Escherichia Coli Inactivation with Ozone, *Water Research* 31 (6): 1355-1362.
- HUNTER, P. R., WAITE, M. and RONCHI, E., 2003. *Drinking water and infectious disease : establishing the links*, IWA Publishing, CRC Press LLC, London.
- HSIEH, J. L., CHIKARMANE, H. M., SMOLOWITZ, R., UHLINGER, K. R., MEBANE, W. and KUZIRIAN, A. M., 2002. Microbial Analysis of Ozone Disinfection in Recirculating Seawater System, *Biol. Bull.* 203: 266-267.
- JUNG, Y. J., OH, B. S. and Kang, J. W., 2008. Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of *Bacillus subtilis* spores, *Water Research* 42: 1613-1621.
- KORICH, D. G., MEAD, J.R., MADORE, M.S., SINCLAIR, N.A., ve STERLING, C.R., 1990. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *J. Appl. Environ. Microbiol.* 56, 1423-1428.
- KLEISER, G. and FRIMMEL, F. H., 2000. Removal of precursors for disinfection by-products (DBPs)-differences between ozone-and OH-radical-induced oxidation, *The Science of the Total Environment* 256: 1-9.
- KIM, J., ELOVITZ, M. S., GUNTEN, U. V., SHUKAIRY, H. M. and MARINAS, B. J., 2007. Modeling *Cryptosporidium parvum* oocyst inactivation and bromate in a flow-through ozone contactor treating natural water, *Water Research* 41: 467-475.
- KOIVUNEN, J., HEINONEN-TANSKI, H., 2005. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Res.* 39, 1519-1526.
- LANGLAIS, B., RECKHOW, D., and BRINK, D., 1991. *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*, Lewis, Chelsea, Michigan.
- LEGUBE, B., PARIENT, B., GELINET, K., BERNE, F. and CROUE, J., 2004. Modeling of bromate formation by ozonation of surface waters in drinking water treatment, *Water Research* 38: 2185-2195.
- LEHTOLA, M. J., MIETTINEN, I. T., VARTIAINEN, T., MYLLYKANGAS, T. and MARTIKAINEN, P. J., 2001. Microbially Available Organic Carbon, Phosphorus, and Microbial Growth in Ozonated Drinking Water, *Water Research* 35 (7): 1635-1640.
- LIN, Y. and WU, S., 2006. Effects of ozone exposure on inactivation of intra- and extracellular enterovirus 71, *Antiviral Research* 70: 147-153.
- LIU, I., 1999. *Environmental Engineer's Handbook*, 2nd Ed., Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton.
- LOVATO, M. E., MARTIN, C. A., and CASSANO, A. E., 2009. A reaction kinetic model for ozone decomposition in aqueous media valid for neutral and acidic pH, *Chemical Engineering Journal* 146: 486-497.
- LIYANAGAE, L. R. J., FINCH, G. R., BELOSEVIC, M., 1997. Sequential disinfection of *Cryptosporidium parvum* by ozone and chlorine dioxide. *Ozone Sci. Eng.* 19: 409-423.
- MACKENZIE, W. R., HOXIE, N. J., PROCTER, M. E., GRADUS, M. S., BLAIR, K. A., PETERSON, D. E., KAZMERCZAK, J. J., ADDIASS, D. G., FOX,

- K. R., ROSE, J. B., DAVIS, J. P., 1994. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New Engl. J. Med.* 331, 161-167.
- MEUNIER, L., CANONICA, S. and GUNTEN, U. V., 2006. Implications of sequential use of UV and ozone for drinking water quality, *Water Research* 40: 1864-1876.
- MISHCHUK, N. A., GONCHARUK, V. V. and VAKULENKO, V. F., 2008. Theoretical analysis of physicochemical processes occurring during water treatment by ozone and ultraviolet radiation, *Advances in Colloid and Interface Science* 139: 62-73.
- PARASKEVA, P. and GRAHAM, N. J. D., 2005. Treatment of a secondary municipal effluent by ozone, UV and microfiltration: microbial reduction and effect on effluent quality, *Desalination* 186: 47-56.
- PETALA, M., SAMARAS, P., ZOUBULIS, A., KUNGOLOS, A. and SAKELLAROPOULOS, G. P., 2008. Influence of ozonation on the in vitro mutagenic and toxic potential of secondary effluents, *Water Research* 42: 4929-4940.
- PERCIVAL, S., CHALMERS, R., EMBREY, M., HUNTER, P., SELLWOOD, J. and EYE-JINES, P., 2004. *Microbiology of Waterborne Diseases*, Elsevier Academic Press, Chennai, India.
- RENNECKER, J. L., MARINAS, B. J., OWENS, J. H. and RICE, E. W., 1999. Inactivation of *Cryptosporidium Parvum* Oocysts with Ozone, *Water Research* 33 (11): 2481-2488.
- RENNECKER, J. L., DRIEDGER, A. M., RUBIN, S. A., MARINAS, B.J., 2000. Synergy in sequential inactivation of *Cryptosporidium parvum* with ozone/free chlorine and ozone/monochloramine. *Water Research.* 34 (17): 4121-4130.
- RICHARDSON, S. D., PLEWA, M. J., WAGNER, E. D., SCHOENY, R. and 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.
- RICHARDSON, S. D., THRUSTON, A. D., CAUGHRAN, T. V., CHEN, P. H., COLLETTE, T. W. and 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.
- SELMA, M. V., ALLEDA, A., LOPEZ-GALVEZ, F., CONESA, M. A., and GIL, M. I., 2008. Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry, *Food Microbiology* 25: 809-814.
- SIDDIQUI, M. S., AMY, G. L. And MURPHY, B. D., 1997. Ozone Enhanced Removal of Natural Organic Matter from Drinking Water Sources, *Water Research.*31 (12): 3098-3106.
- SMEETS, P. W. M. H., VAN DER HELM, A.W.C., DULLEMONT, Y.J., RIETVELD, L.C. VAN DIJK, J.C. and MEDEMA, G. J., 2006. Inactivation of *Escherichia coli* by ozone under bench-scale plug flow and full-scale hydraulic conditions, *Water Research* 40: 3239-3248.
- SPELLMAN, F. R., 2003. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*, Lewis Publishers, CRC LLC, Boca Raton.

- SUJBERT, L., RACZ, G., SZENDE, B., SCHRÖDER, H. C., MÜLLER, W. E. G. and 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.
- ŞENGÜL, F., 2002. Çevre Mühendisliği Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, 5. Baskı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- THURSTON-ENRIQUEZ, J. A., HAAS, C. N., JACANGELO, J. and GERBA, C. P., 2005. Inactivation of enteric adenovirus and feline calicivirus by ozone, *Water Research* 39: 3650-3656.
- WANG, W., YE, B., YANG, L., LI, Y. and WANG, Y., 2007. Risk assessment on disinfection by-products of drinking water of different water sources and disinfection processes, *Environmental International* 33: 219-225.
- WEINER, E. R., 2000. *Application of Environmental Chemistry: A Practical Guide for Environmental Professionals*, Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton.
- XIE, Y., 2004. *Disinfection byproducts in drinking water: formation, analysis, and control*, Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1981 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Şanlıurfa'da tamamladı. 1999 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüne girdi. 2003 yılında Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.2004 yılında Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalına girdi. Halen bu bölümde yüksek lisans öğrencisi olarak okumaktadır. 2006 yılında KOSGEB Şanlıurfa İşletme Geliştirme Merkez Müdürlüğünde Dış Uzman Danışman olarak çalışmaya başlamıştır.

## ÖZET

İçme sularının dezenfeksiyonu amacıyla uygulanan klorlama işleminin sonunda meydana gelen trihalometanların (THM), özellikle bu gruba giren trihalometanın (kloroform) kanserojen etkisi üzerindeki iddiaların yaygınlaşması üzerine dezenfeksiyon işleminin yeniden gözden geçirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. ABD de yapılan bir kısım epidemiyolojik araştırmalarda, içme sularında klorlama sonucu oluşan trihalometan nedeniyle mesane, barsak, mide, yemek borusu, meme ve akciğer kanserlerinde artış olduğu ortaya konulmuştur. Trihalometanların oluşumuna bağlı olarak meydana gelen sağlık sorunlarının giderilmesi için alternatif dezenfeksiyon yöntemlerinin kullanılmalıdır. En iyi alternatif dezenfeksiyon yöntemi, ABD de 80 eyaletinde kullanılan ve ülkemizde de kullanılmaya başlanılan ozonlamadır.

Çalışmanın başlatılabilmesi için, öncelikle kurallara uygun şekilde içme suyu numunesi alınmıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan içme suyunun daha önce herhangi bir dezenfektant ile işlem görmemiş olmasına dikkat edilmiştir. Alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenip ortamda bulunan zararlı mikroorganizmaların nicel ve nitel analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla besi yeri içeren test kitleri kullanılmış ve mikroorganizmaların sayılarının belirlenmesi yapılmıştır. Ortamda yeterince mikroorganizmanın olmadığı durumda aşılama yapıp, gerekli miktarda elde edilinceye kadar beklenmiştir. Oluşan patojenik mikroorganizmaların ozonla dezenfeksiyon yapıldığı zaman gerçekleşen mikrobiyal faaliyetlerin farklı sıcaklıklarda, dozajlarda, alıkonma sürelerinde ve pH değerlerinde incelenmesi amacıyla, istenen ortamlar sağlanmış ve laboratuvarında bulunan Ozoneks marka ozon üreticisi ile suyun dezenfeksiyonu yapılmıştır. Dezenfeksiyondan önce ve sonra mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Aynı zamanda, Merck marka Spektroquant fotometre ve Merck ozon test kitleri kullanılarak su içerisindeki ozon miktarı ölçülmüştür.



Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından su numunesi alınmıştır. Alınan numuneden 500 ml ölçülerek alınmış ve gaz yıkama şişelerine konularak farklı ozon dozajları, sıcaklık, pH ve süreler için numunelerin ozonlaması yapılmıştır. Ozonlanmış numunelerden 50 ml alınıp vakum ortamında filtrelendikten sonra, filtre kağıtları hazır besi yerleri üzerine konuldu ve belirtilen sıcaklık ve sürelerde etüvde bekletilmiştir. Belirtilen süre sonucunda petri kapları etüvden alınıp, test kitte belirtilen şekilde mikroorganizma sayımı yapılmıştır. Ozonlanmış numune içerisindeki ozon konsantrasyonu ise ozonlamanın hemen arkasından Merck marka Spektroquant fotometre ve Merck marka ozon test kitleri kullanılarak ölçülmüştür. Bu çalışmada, içme suyundaki mikroorganizmaların ozon dezenfeksiyonu ile mikroorganizma sayısının sıcaklık, dozaj, zaman ve pH ile değişimi incelenmiştir.

Bu amaç doğrultusunda, Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından alınan içme suyunun mikroorganizma sayımı yapıldığında, Escherichia coli ve coliform, Bacillus subtilis ve Streptococcus faecalis bakterilerine rastlanmıştır. Bu durum şebekeye sızıntıların olduğunu göstermektedir. İçme suyu ozonlanarak su içerisinde bulunan Escherichia coli, coliform ve Streptococcus faecalis bakterilerini %95-%98 oranında giderilmiştir. Sadece Bacillus subtilis bakteri giderimi %80-%95 oranındadır.

Harran Üniversitesi Makine Fabrikasından alınan içme suyunda mikroorganizma sayımı yapıldığında mikroorganizma varlığı tespit edilmiştir. Su kirliliği sonuçlarına göre insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen tifo, ishal, dizanteri ve mantar gibi hastalıklara neden olabilirler.

Harran Üniversitesi Makine Fabrikası içme suyuna ozonlama yapılarak iyi bir dezenfeksiyon işlemi sağlanmış olur. Konut ile su kaynağı arasındaki şebeke sistemi kısa olması sebebiyle ozonun yarılanma süresinden kaynaklanan sorunların oluşmamasından dolayı en uygun dezenfeksiyon yöntemi olarak önerilebilir.

## **SUMMARY**

Since trihalomethans that can occur at the end of chlorination process are believed that they have carcinogenic effect, chlorination of drinking water needs to be revised. Some epidemiological studies that have been done in The United States comes out that trihalomethans which form as a result of chlorination of drinking waters can cause an increase in bladder, bowel, stomach, esophagus, breast and lung cancer. Alternative disinfection methods should be used instead of chlorination to solve health problems which occur due to the formation of trihalomethans. The best alternative disinfection method used in 80 states of the United States and is being used in our country is ozonation.

Drinking water samples have been taken in according to the sample taking rules to start the study. While samples were taken, it has been careful that water was not been treated with any disinfectant before. The samples have been investigated in the laboratory and harmful microorganisms have been analyzed both quantitatively and qualitatively. Test kits which include nutrient pad sets in petri dishes with membrane filters have been used to count microorganisms. To investigate microbial activities of drinking water at different temperature, dosage, retention time and pH value, when pathogenic microorganisms were disinfected, desired medium has been provided in the laboratory and Ozoneks brand ozone generator has been used to disinfect the water. Microbial count has been made before and after disinfection of microorganisms. At the same time, Merck test kits and Merck brand Spektroquant photometer has been used to measure the amount of ozone in disinfected water.

In this study, the change of microorganism number in drinking water with ozone disinfection has been investigated at different temperature, dosage, time and pH. To achieve these objectives, samples have been taken from drinking water of Machine Factory of Harran University. 500 ml of water sample has been taken and put into the gas washing bottle for the disinfection at the different dosage of ozone, retention time, temperature, and pH. After disinfection, 50 ml of samples have been

taken and filtered by vacuum. Filter papers have been placed on the ready nutrient pad sets in petri dishes with 3.5 ml pure water and waited for certain times at the oven at  $34 \pm 1$  °C. Petri dishes have been taken from the oven to count microorganisms according to the test kits. Results have been reported after multiplying by 20 because of diluting factor. At the same time, Merck test kits and Merck brand Spektroquant photometer have been used to measure the amount of ozone in disinfected water. Escherichia coli and Coliform, Bacillus subtilis and Streptococcus faecalis bacteria's have been determined after microbial count. After disinfection, 95% - 98% of Escherichia coli, Coliform and Streptococcus faecalis bacteria's have been removed. But, Bacillus subtilis bacteria removal was only 80% - 95%.

As a result of research, it has been determined that drinking water of Machine Factory of Harran University includes microorganisms. These microorganisms can cause typhoid fever, diarrhea, dysentery and mushroom illness.

This study shows that if the drinking water of Machine Factory of Harran University is disinfected by ozone, good disinfection will be achieved. Since the water network is very short and the problem of ozone caused by the formation of half-time would not be occurred, ozonation can be suggested as the most suitable disinfection method.