

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATMOSFERİK BASINÇ PLAZMA KULLANILARAK SUYUN
DEZENFEKSİYONU**

Gökhan ERGON

**Danışman
Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Gökhan ERGON]

TEZ ONAYI

Gökhan ERGON tarafından hazırlanan "Atmosferik Basınç Plazma Kullanılarak Suyun Dezenfeksiyonu" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Emel SESLİ ÇETİN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğretim Üyesi Aygün IŞIK YILDIZ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Gökhan ERGON



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Plazma İçindeki Parçacıkların Tanımlanması ve Plazmanın Temel Özellikleri	2
1.1.1. Plazma yoğunluğu	2
1.1.2. Plazma İyonlaşma Derecesi.....	3
1.1.3. Plazma Sıcaklığı.....	3
1.1.4. Plazma Frekansı	3
1.1.5. Debye Uzunluğu ve Plazma Kılıfı.....	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Bakteriler.....	5
2.1.1. Escherichia coli'nin genel özellikleri	5
2.2. İçme Suyunda Dezenfeksiyon	8
2.2.1. Isı ile dezenfeksiyon	8
2.2.2. Kimyasal Sterilizasyon	10
2.2.3. Filtre ile dezenfeksiyon	16
2.3. Plazma ile Sterilizasyon.....	17
2.3.1. Morötesi (UV) ışınlarının etkisi	17
2.3.2. Reaktif türlerin etkisi.....	17
2.3.3. Yüklü parçacıkların etkisi.....	17
2.3.4. Plazma sterilizasyonunun etki mekanizması.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	35

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATMOSFERİK BASINÇ PLAZMA KULLANILARAK SUYUN DEZENFEKSİYONU

Gökhan ERGON

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK

Dünya üzerindeki su kaynaklarının arttırılması mümkün olmamasına rağmen dünya nüfusunun artışına paralel olarak temiz su ihtiyacı sürekli artmaktadır. Bu nedenle kullanıma elverişli olmayan suların sterilize edilerek yeniden içme suyu olarak kullanılması yönünde çalışmalar önem kazanmaktadır. İçme sularının dezenfeksiyonu amacıyla kimyasal kullanımı ilk olarak 1896 da ABD de başlamış ve o günden bugüne kullanılmaya devam etmektedir. Fakat 21. Yüzyılda halen içme sularının sterilizasyonunda klorlama yönteminin tercih edilmesine gerek olmayabilir. Bu tez çalışmasında atmosferik basınç plazmanın içme suyundaki bakterilerin dezenfeksiyonu için kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

Atmosferik basınç plazma, korona deşarj yöntemi ile elde edilmiştir. 3 kV gerilim ile elde edilen plazma *Escherichia coli* (E.coli) çözültisi üzerine uygulanmıştır. Uygulama süresi 2, 4 ve 6 dakikadır. Uygulama sonucunda içme suyunun dezenfeksiyonunun sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik basınç plazma, dezenfeksiyon, *E. Coli*, su.

2019, 39 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DISINFECTION OF WATER USING ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA

Gökhan ERGON

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK

Although it is not possible to increase the water resources in the world, parallel to the increase of the world population, the need for clean water is constantly increasing. For this reason, studies that are focused on sterilization of unsuitable water for reuse as drinking water gain importance. The use of chemicals for the disinfection of drinking water was first started in the USA in 1896 and has been used since then. However, it may not be necessary to choose chlorination method for sterilization of drinking water in the 21st century. In this thesis, it was investigated whether atmospheric pressure plasma can be used for sterilization of bacteria in drinking water.

Atmospheric pressure was obtained by plasma, corona discharge method. Plasma obtained with 3 kV voltage was applied on *Escherichia coli* (*E.coli*) solution. Application time is 2, 4 and 6 minutes. As a result of the application it was found that sterilization of drinking water was achieved.

Keywords: Atmospheric pressure plasma, disinfection, E. coli, water.

2019, 39 pages

TEŐEKKÜR

Bu tez çalıőmamda her zaman yardımsever yaklaşımıyla desteğini esirgemeyen, teőekkürlerin yetmeyeceği saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Seyfettin ÇAKMAK'a minnetlerimi sunarım.

Tez çalıőmamın őekillenip geliőmesinde çok büyük katkıları, emekleri bulunan değerli hocam Prof. Dr. Lütfi ÖKSÜZ'e teőekkür ederim.

Bakteri rneklerinin hazırlanmasında, ekiminde, sayımında desteklerini esirgemeyen Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı ğretim yesi Prof. Dr. Emel SESLİ ÇETİN'e teőekkürü borç bilirim.

Son olarak tez çalıőmam boyunca bana her türlü desteği veren, uzun süren tez çalıőmam boyunca yaőadığım her türlü sıkıntılara dayanma gücü bulmamı sağlayan Mert ve Melis ERGON ile hayat arkadaőım, eőim Yeliz ERGON'a sonsuz teőekkürler ederim.

Gökhan ERGON
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bakterilerin hücre yapısı.....	5
Şekil 2.3. Bakteri şekillerine örnekler	7
Şekil 2.2. Escherichia coli bakterisi.....	6
Şekil 2. 4 Kuru hava sterilizatörü	9
Şekil 2.5 Otoklav.....	9
Şekil 2.6. Şehir suyu klorlama sistemleri.....	16
Şekil 2.7. Korona deşarj plazması.....	20
Şekil 2.8. Plazma kesme makinesi	21
Şekil 2.9. <i>E. coli</i> bakterileri üzerine etki eden hava plazmasının sırasıyla 0 sn, 10 sn, 30 sn, 50 sn ve 70 sn süre sonra çekilen SEM görüntülerdir	21
Şekil 2.10. Mikroorganizma sterilizasyonu için kullanılan mikroplazma reaktörünün deneysel seması.....	22
Şekil 2.11. Atmosferik soğuk plazmanın (a) <i>E.coli</i> bakterisi üzerine (b) coccus bakterisi üzerine 15, 30 ve 60 saniye uygulanması ile elde edilen sonuçların SEM görüntüleri.....	23
Şekil 2.12 Atmosferik soğuk plazmanın insan eline uygulanması.....	23
Şekil 3. 1. Ekimi yapılarak üremesi sağlanmış <i>E.Coli</i> bakterisi.....	24
Şekil 3. 2 <i>E. Coli</i> bakterisinin ID Broth içine karıştırılması	25
Şekil 3. 3. Sıvı Besiyeri	25
Şekil 3. 4 BD PhoenixSpec Nephelometer	25
Şekil 3. 5 Parlak deşarj plazma oluşumu için kullanılan gerilim yükseltici devre	26
Şekil 3. 6 Birinci deney düzeneği. Kontamine suyun motorlu bir sistem ile döndürüldüğü plazmanın ise sabit tutulduğu düzenek.....	27
Şekil 3. 7 Parlak deşarjın su üzerine uygulanması	27
Şekil 3. 8 Etüv cihazı	28
Şekil 3. 9 Suyun yavaş bir akışla plazma arkı üzerinden aktığı başka ikinci deney düzeneği	29
Şekil 3. 10 İkinci deney düzeneğinde kontamine edilmiş suyun plazma arkı üzerinden geçirilmesi.....	30
Şekil 4. 1 Kontamine edilmiş sudan plazma uygulaması yapılmadan önce alınan örnekte bakteri gelişimi	31
Şekil 4. 2 Su üzerine 2 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi	32
Şekil 4. 3 Su üzerine 4 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi	32
Şekil 4. 4 Su üzerine 6 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi	33
Şekil 4. 5 Suyun 30 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi.	33
Şekil 4. 6 Suyun 15 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi	34
Şekil 4. 7 Suyun 10 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Doğada bulunan bazı plazmaların önemli parametreleri ve yaklaşık değerleri.....	4
Çizelge 2.1. Su ile bulaşarak infeksiyona sebep olabilen en önemli bakteriler, virüsler, protozoon ve helmintler.....	8
Çizelge 2.2. Klorun içme ve kullanma sularının dezenfeksiyonunda kullanımı ile ilgili başlıca gelişmeler.....	14
Çizelge 5.1. Plazma dezenfeksiyon yöntemlerinin kimyasal yöntemlerle karşılaştırılması.....	36



1. GİRİŞ

1800 lü yılların hemen başında Sir Humpry Davy ile başlayan daha sonra Humpry Davy'nin asistanlığını da yapmış olan Michael Faraday'ın devam ettirdiği çalışmalar ile yüksek voltaj doğru akım (dc) elektriksel deşarj tûpünün geliştirilmesi, maddenin dördüncü hali olarak tanımlanan plazmanın keşfi için ilk adımlar olarak ifade edilebilir. Humpry Davy'nin çalışmalarından yaklaşık 70 yıl sonra William Crookes iyonize olmuş gazları Plazma olarak tanımlamıştır (Akan, T. 2005).

Fakat yüklü parçacıklardan oluşan iyonize olmuş sistemlere her zaman plazma adını vermek mümkün değildir. Plazmanın en önemli özelliklerinden biri; sanki yüksüz olmasıdır. Bu durumu plazmanın dış ortama karşı yüksüz olarak görünürken kendi içinde pozitif ve negatif yükleri bulunduruyor olması olarak açıklayabiliriz. Aynı zamanda bir sistemin plazma olarak tanımlanabilmesi için birim hacme düşen plazma miktarı da önemlidir. Sistem yüksüzlükten uzaklaştıkça plazma tanımından da uzaklaşır (Teke, E. 2012).

Gaz halindeki maddeye enerji vererek gaz atomlarının yapısında bulunan elektronların bu atomların yapısından koparak ayrılması mümkün olacaktır. Bu durumda atomun kendisi negatif yük kaybederek pozitif yüklü hale geçerken ortamda serbest elektronlarda bulunacaktır. Böylece iyonize olmuş olan gaz ortamı artık plazma olarak adlandırılır. Plazma içinde pozitif iyonlar ile birlikte elektronlarında aynı anda ve eşit sayıda bulunmasından dolayı, plazma ciddi miktarda yük yoğunluğuna sahip olmasına rağmen dış ortama karşı nötral kalmaya devam edecektir. Ayrıca gaz içindeki tüm elektronların iyonize olması gibi bir durum söz konusu olmadığından ortamda nötral durumda atomlarda bulunacaktır.

Evrenin %99 u plazmadan oluşur. O halde günlük hayatta maddenin plazma haliyle sık sık karşılaşılıyor olmalıyız. Fakat deneyimlerimiz genellikle bunun aksini söyler. Maddenin daha fazla aşına olduğumuz katı sıvı ve gaz hallerinin tanımlanması çok eski çağlardan beri insanları meşgul etmiş ve bunların

özellikleri günümüze kadar çok farklı şekillerde araştırılmıştır. Plazmanın özelliklerinin anlaşılması ise ancak yakın zamanlarda mümkün olmuştur. Günlük hayatta mum alevi, neon lambalar, sodyum lambaları, floresan lambalar, plazmaya örnek olarak verilebilir. İyonosfer adı verilen atmosfer tabakasında plazmadan meydana gelmektedir. Ayrıca, kutup ışıkları, Van Allen kuşakları, güneş rüzgarları ve şimşek de doğal plazma örnekleridir. En önemlisi güneşimizin ve diğer yıldızlarında plazmadan oluşmuş olmasıdır. Evreni oluşturan maddenin çoğunluğu yıldızlarda bulunduğu için evrenimizin %99'unun plazmadan oluştuğunu söylenebilir.

Plazmadan bahsedildiği anda plazmanın yük yoğunluğu ilk akla gelen özelliği olmaktadır. Fakat plazmayı tanımlamak için sadece yük yoğunluğundan bahsetmek yeterli olmaz. Plazmayı tanımlayabilmek için plazmayı oluşturan gaz, üretiliş şekli, sıcaklığı veya basıncıda bilinmelidir. Plazmalar, sıcaklığına göre termal veya termal olmayan plazmalar olarak ve basıncına göre atmosferik basınç veya düşük basınç plazmaları olarak tanımlanabilir. Ayrıca mikrodalga, korona deşarj plazmaları olarakta tanımlanabilirler. (Akan, T. 2005; Özalın, K. 2009; Güleç, A. 2011)

1.1. Plazma İçindeki Parçacıkların Tanımlanması ve Plazmanın Temel Özellikleri

1.1.1. Plazma yoğunluğu

Plazma içerisinde serbest elektronlar, iyonlar ayrıca nötral atomlar hatta fotonlar bir arada bulunmaktadır. Plazma içerisinde birbirinden ayırt edilebilen her parçacık grubuna bir tür denilir. Plazmanın dışarıya karşı nötral olduğu bilinmekte olduğuna göre plazma içindeki elektron sayısı (n_e), iyon sayısına (n_i) eşit olmalıdır.

$$n_e = n_i = n$$

n: Plazma yoğunluğu olarak adlandırılır.

1.1.2. Plazma İyonlaşma Derecesi

Plazma içindeki yüklü parçacıkların sayısını gösteren parametredir.

1.1.3. Plazma Sıcaklığı

Termal dengede olan plazmayı tanımlayan en önemli parametre moleküllerin ortalama kinetik enerjilerine bağlı bir büyüklük olan sıcaklık değeridir. Farklı türden parçacıkların ortalama kinetik enerjilerinin eşit yada birbirinden farklı olmasına bağlı olarak tanımlanan plazma sıcaklığı plazmanın nasıl adlandırılacağını da belirlemektedir.

1.1.4. Plazma Frekansı

Plazmanın önemli özelliklerinden bir tanesi de plazma içinde bulunan yüklü parçacıkların dış elektrik alana karşı direnç oluşturacak şekilde bir titreşim hareketi yapmalarıdır. Plazma içindeki yüklü parçacıkların dış elektrik alana karşı yaptıkları bu titreşim hareketinin frekansına “plazma frekansı” denilmektedir.

1.1.5. Debye Uzunluğu ve Plazma Kılıfı

Plazma kendini nötral tutma eğilimindedir. Plazma içindeki minimum nötral bölgeye “Debye uzunluğu” adı verilir. Her ne kadar Langmuir 1929 yılında plazmayı iyonize olmuş gaz olarak tanımlamış olsa da aslında bu genel bir tanım olarak düşünülebilir. İyonize olmuş gazın boyutları debye uzunluğundan büyük olmak zorundadır. Bu şekilde değilse iyonize olmuş gaz plazma olarak tanımlanamaz. (Akan, T. 2005)

Plazmaya ait önemli parametreler bu şekilde tanımlanmış ve doğada bulunan bazı plazmaların önemli parametreleri ve yaklaşık değerleri çizelge 1.1 de gösterilmiştir.

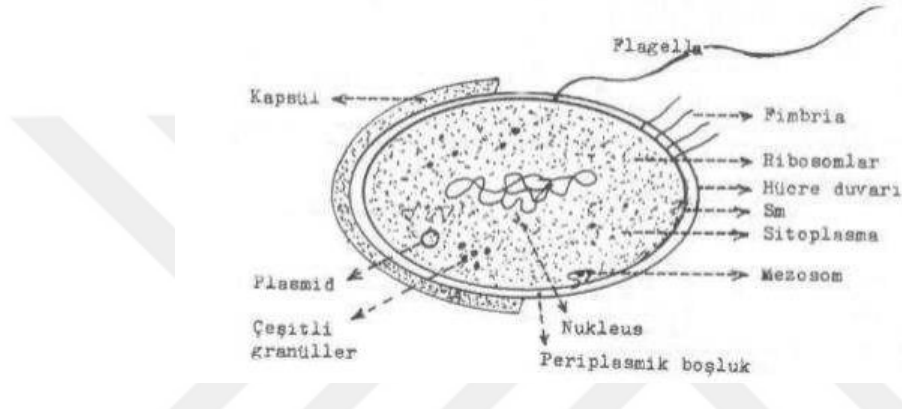
Çizelge 1.1. Doğada bulunan bazı plazmaların önemli parametreleri ve yaklaşık değerleri (Akan, T. 2005)

Plazma Tipi	Parçacık Yoğunluğu $n_e(m^{-3})$	Elektron Sıcaklığı $T_e(eV)$	Plazma Boyutları L (m)	Debye Uzunluğu $\lambda_D(m)$	Plazma Frekansı $\nu_L(Hz)$	$\frac{L}{\lambda_D}$
Yıldızlararası Plazma	10^6	1	10^{16}	7,5	9×10^3	$1,3 \times 10^{15}$
Güneş Rüzgarları	10^7	10	10^{10}	7,5	3×10^4	$1,3 \times 10^9$
Van Allen Kuşakları	10^9	10^2	10^6	2,5	3×10^5	4×10^5
İyonosfer	10^{11}	10^{-1}	10^5	$7,5 \times 10^{-3}$	3×10^6	$1,3 \times 10^7$
Güneş Koronası	10^{13}	10^2	10^8	2×10^{-2}	3×10^7	5×10^9
Gaz Deşarjları	10^{18}	2	10^{-2}	10^{-5}	9×10^9	1×10^3
Soğuk Plazmalar	10^{22}	10^2	10^{-1}	$7,5 \times 10^{-3}$	9×10^9	$1,3 \times 10^3$
Elektrik Ark	10^6	1	10^{-1}	$7,5 \times 10^{-8}$	9×10^{11}	$1,3 \times 10^6$
Endüstriyel Plazmalar	10^{16}	5 - 10	10^{-1}	$2,5 \times 10^{-4}$	9×10^8	4×10^2
Füzyon Reaktörü	10^{20}	10^4	2	$7,5 \times 10^{-5}$	9×10^{11}	3×10^4

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Bakteriler

Bakteriler, boyutları mikron seviyesinde çekirdeksiz canlılardır. Canlı ve canlı olmayan organizmalarda bulunurlar. Şekil 2.1 de yapısı gösterilen bakteriyi dış etkenlerden koruyan yapılar, hücre duvarı ve hemen altındaki hücre zarıdır. Bakteri stoplazmaları glikoz, yağ ve proteinden oluşur. Hayatsal faaliyetlerini DNA molekülleri yönetir. (Özaltın, K. 2009).



Şekil 2.1. Bakterilerin hücre yapısı (Açık Ders Notları Genel Mikrobiyoloji, <https://acikders.ankara.edu.tr>)

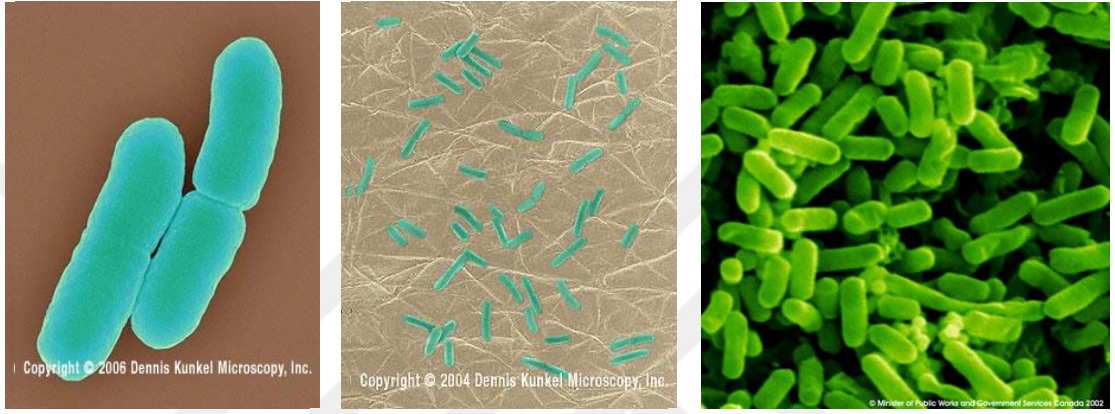
Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi Tıbbi Mikrobiyoloji Laboratuvarından temin edilen *Escherichia coli* bakterisi kullanılmıştır. Kontamine olmuş içme sularında en çok görülen bakteri türü olması sebebiyle *Escherichia coli* bakterisinin kullanılması tercih edilmiştir.

2.1.1. *Escherichia coli*'nin genel özellikleri

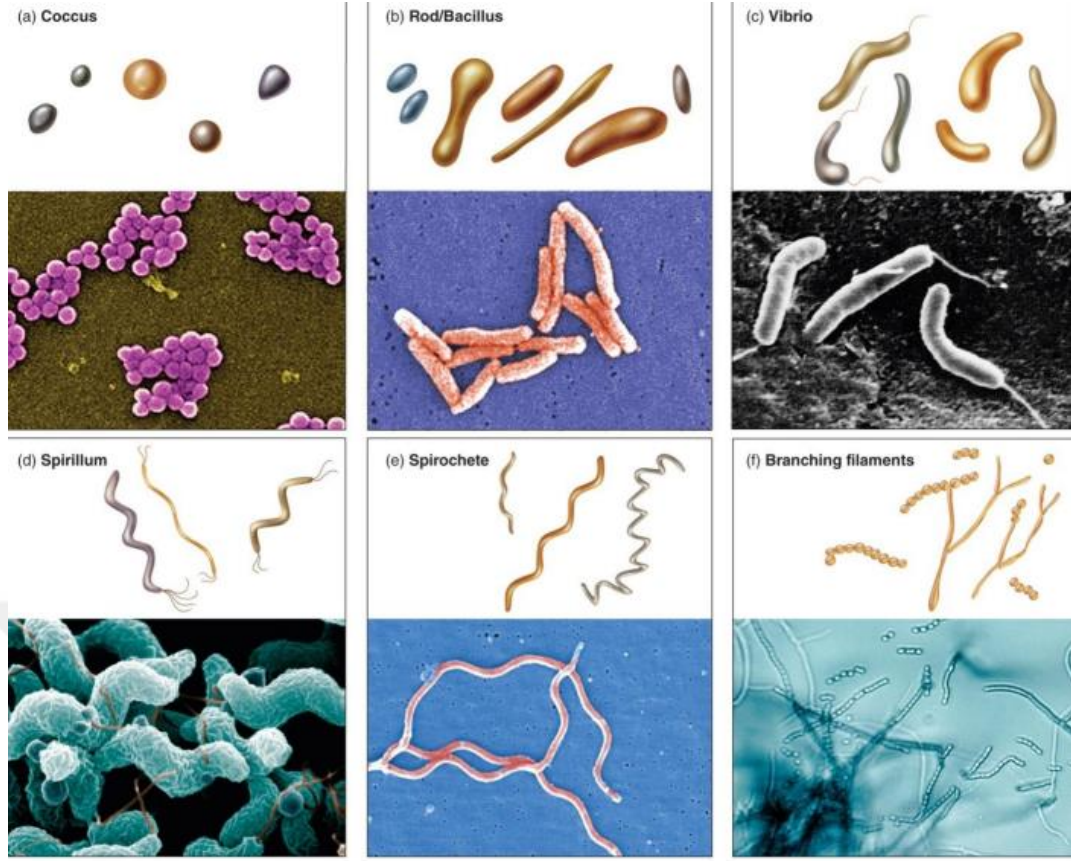
Escherichia coli (*E.coli*) ilk kez 1885 yılında Theodor Escherich tarafından bir çocuğun dışkılarından izole edilmiş ve önce *Bacterium coli commune* olarak, daha sonra *Escherichia coli* olarak adlandırılmıştır. Enterobacteriaceae familyasının koliform grubunun *Escherichia* cinsine girmektedir. *E.coli*, *Escherichia* cinsinde tıbbi öneme sahip olan bir türdür. *E.coli* insan ve bütün sıcakkanlı hayvanların bağırsaklarında kommensal olarak bulunan, bazı suşları insanlarda ve hayvanlarda bağırsak enfeksiyonlarına yol açabilen, ayrıca bağırsak dışında da çok çeşitli enfeksiyonlar oluşturabilen bir bakteridir. Bunun dışında besinlerde, suda, doğada, dışkı kontaminasyonunun indikatörü olarak araştırılan *E.coli*

genetik çalışmalarda en çok kullanılmış olan bakteridir ve bakteri genetiğinin pek çok önemli bulgusu E.coli ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir (ztelli, Y. 2004).

Buğun bilinen en tehlikeli içme suyu kaynaklı patojenlerden bir tanesi olan E. coli bakterisinin görüntüsü Şekil 2.2. de ve farklı türlerden bakterilerin görüntüleri Şekil 2.3. de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Escherichia coli bakterisi
(<http://www.biyolojiegitim.yyu.edu.tr/k/E.c/index.htm>)



Şekil 2.3. Bakteri şekillerine örnekler
(<https://learning.hccs.edu/faculty/r.ramakrishnan/biol-2320fall-2016-crn-17681/lecture-notes/chapter-4>).

Bu tez kapsamında özellikle içme sularının dezenfeksiyonu hedeflenmekte olduğundan sularla bulaşan infeksiyonlara neden olan bakteri türlerinin tanınması da önem arz etmektedir. Sularla bulaşan infeksiyonlarda önemli bir nokta patojenin infeksiyona neden olabilecek dozudur. İnfektif doz patojenlerde farklılık gösterir. Tifo epidemilerinde infekte edici bakteri miktarının çok düşük olduğu bilinmektedir. (Altinkum, M. S. 1996)

Su ile bulaşarak infeksiyona sebep olabilen en önemli bakteriler, virüsler, protozoon ve helmintler Çizelge 2.1. de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Su ile bulaşarak infeksiyona sebep olabilen en önemli bakteriler, virüsler, protozoon ve helmintler (Altinkum, M. S. 1996)

Patojen	Sağlık Yönünden Önemi	Suda Kalıcılığı	İnfektif Doz	Önemli Hayvan Rezervuarı
BAKTERİLER				
<i>C. coli, C. jejuni</i>	Yüksek	Orta Derece	Orta Derece	Var
<i>Patojenik E. coli</i>	Yüksek	Orta Derece	Yüksek	Var
<i>Salmonella typhi</i>	Yüksek	Orta Derece	Yüksek	Yok
<i>Diğer Salmonellalar</i>	Yüksek	Uzun	Yüksek	Var
<i>Shigella spp.</i>	Yüksek	Kısa	Orta Derece	Yok
<i>Vibrio cholerae</i>	Yüksek	Kısa	Yüksek	Yok
<i>P. aeruginosa</i>	Orta Derece	Üreyebilir	Yüksek	Yok
<i>Y. enterocolitica</i>	Yüksek	Uzun	Yüksek	Var
<i>Aeromonas spp.</i>	Orta Derece	Üreyebilir	Yüksek	Yok
VİRÜSLER				
<i>Adenovirüs</i>	Yüksek	Bilinmiyor	Düşük	Yok
<i>Enterovirüs</i>	Yüksek	Uzun	Düşük	Yok
<i>Hepatit A</i>	Yüksek	Bilinmiyor	Düşük	Yok
<i>Norwalk Virüs</i>	Yüksek	Bilinmiyor	Düşük	Yok
<i>Rotavirüs</i>	Yüksek	Bilinmiyor	Orta Derece	Yok
PROTOZOON				
<i>E. histolytica</i>	Yüksek	Orta derece	Düşük	Yok
<i>G. intestinalis</i>	Yüksek	Orta derece	Düşük	Var
<i>C. parvum</i>	Yüksek	Orta derece	Düşük	Var
HELMİNTLER				
<i>D. medinensis</i>	Yüksek	Orta derece	Düşük	Var

2.2. İçme Suyunda Dezenfeksiyon

İçme sularının dezenfeksiyonu veya sterilizasyonu farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.

2.2.1. Isı ile dezenfeksiyon

Isı ile dezenfeksiyon en çok bilinen ve en eski yöntemdir. Fakat bu yöntemle çok miktarda suyun dezenfekte edilmesi mümkün değildir. Örneğin şehir şebekesi

içme sularının dezenfekte edilmesi söz konusu olduğunda ısı ile dezenfeksiyonun tercih edilmesi pek de mümkün görünmemektedir.

Isı sterilizasyonunun nemli ısı uygulamaları (tindalizasyon, kaynatma, otoklav vb.) ve kuru hava sterilizatörleri (pastör fırını) ile uygulanması yaygındır (Özaltın, K. 2009).

Kuru hava sterilizatörü şekil 2.4 de ve otoklav şekil 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 Kuru hava sterilizatörü

Isıl yöntemler içinde en çok tercih edileni otoklavdır (Şekil 2.5). Otoklav, buhar sterilizasyonu olarak da adlandırılır. Su buharı insan sağlığına zarar vermez ve maliyeti düşüktür. Bu sebeple otoklav ile sterilizasyonda su buharı tercih edilir. Otoklavda genellikle 121 °C lik sıcaklık değeri tercih edilir. Gerekli durumlarda 134 °C lik sıcaklık değeri de kullanılır. Sterilizasyon yüksek sıcaklığa bağlı protein denatürasyonu sonucu gerçekleşir(Özaltın, K. 2009).



Şekil 2.5 Otoklav

2.2.2. Kimyasal Sterilizasyon

Mikroorganizmaların sterilizasyonunda kimyasal maddelerin kullanılması en çok tercih edilen metottür. Aynı zamanda kimyasal sterilizasyon yöntemleri zehirli atıklar bırakması nedeniyle en riskli yöntem olarak değerlendirilebilir. Dezenfeksiyon derecesi kullanılan kimyasalın konsantrasyonuna bağlıdır. Kimyasalın yüksek bir konsantrasyonda uygulanması dezenfeksiyonu güçlendirecektir. Fakat bu durumda toksik atık miktarı fazla olacak ve bu atıkların insan sağlığı için tehdit oluşturması gibi bir sorun ortaya çıkacaktır. Uygulanan kimyasal maddenin konsantrasyonu düşük olursa bu kez insan sağlığını tehdit edebilecek olan toksik atık riski azaltılmış olacak fakat dezenfeksiyonun istenen düzeyde yapılamamış olması gibi bir risk ortaya çıkacaktır. Kimyasal yöntemle yapılacak sterilizasyon ve dezenfeksiyonun başarısı ortam sıcaklığı, nem oranı, pH değeri gibi farklı dış etkenlerle değişiklik gösterebilir. (Özaltın, K. 2009).

Kimyasal yöntemler içinde en çok bilineni klorlamadır. İçme sularının klorlanmaya başlanması ile birlikte su kaynaklı salgın hastalıklarda ve bunlara bağlı ölümlerde önemli oranda bir azalma meydana gelmiştir. 1900 lü yılların başlarına kadar dünya çapında su kaynaklı salgın hastalıklar sıkça görülmekteydi. 1896 yılından başlayarak içme sularının dezenfeksiyonu amacıyla klorun kullanılmaya başlanması ile dünya çapında insan sağlığında bir iyileşme söz konusu olmuştur.

Örneğin Amerika Birleşik Devletleri'nde tifo vakası sayısı 1900 yılında yaklaşık 25 bin iken ülke genelinde klorlamanın başlamasıyla bu sayı hızla düşmüştür.

İçme sularının etkin olarak klorlandığı ülkelerde yeni doğan ölüm hızı belirgin şekilde düşmekte ve su kaynaklı hastalıklar tamamen ortadan kalkmaktadır. Bu nedenle, tarihte hiçbir kimyasal maddenin insan sağlığına bu kadar büyük katkı sağlamadığı söylenebilir. Günümüzde en sık kullanılan dezenfektanlar klor, klor dioksit, kloramin ve ozondur.

Klor, günümüzde hala kullanılmakta olan en önemli dezenfektanlardan birisidir.

Bunun sebebi:

- (1) klorlama işleminin geniş bir mikroorganizma çeşidi üzerinde etkili olması,
- (2) kalıntının klor sağladığı için dezenfeksiyon (ikincil dezenfeksiyon) yaparak süreklilik arz etmesi,
- (3) tat, koku ve kimyasal anlamda kontrol sağlaması,
- (4) sudan kaynaklanan hastalıklar ile suyun klorlanması işlemi ve diğer dezenfektan maliyetleri kıyaslandığında klorlamanın ekonomik katkısının daha fazla olması ve
- (5) depolarda da kullanılarak çok yönlü kullanım alanının olması klorlamayı diğer yöntemlere göre avantajlı kılmıştır.

Klor suya gaz halinde (Cl_2), sıvı sodyum hipoklorit ($NaOCl$) şeklinde, $Ca(OCl)_2$ gibi katı formunda da uygulanabilir. Ülkemizde piyasada bulunan Cl_2 , fiyat olarak diğer klorlu dezenfektanlardan daha ucuzdur ve suyu çok daha iyi dezenfekte eder. Diğer bileşiklerine oranla daha az miktarlarda kullanılarak suyu dezenfekte edebilir. Bu sebeplerle gaz halinde (Cl_2) ülkemizde suyun dezenfeksiyonu için daha çok tercih edilmektedir (Genişoğlu, Ş. 2018).

Dünya üzerindeki su kaynaklarının arttırılması mümkün olmamasına rağmen dünya nüfusunun artışına paralel olarak temiz su ihtiyacı sürekli artmaktadır. Bu nedenle kullanıma elverişli olmayan suların sterilize edilerek yeniden içme suyu olarak kullanılması yönünde çalışmalar önem kazanmaktadır. Doğal organik madde içeren yüzeysel su kaynaklarının klorlanması içme sularının dezenfeksiyonu için kullanılan en yaygın dezenfeksiyon yöntemidir. Kloraminler ise ikincil dezenfeksiyon ürünü olarak özellikle uzun mesafelere içme suyunun taşınmasının gerekli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Fakat hem klorun hem de kloraminlerin özellikle içme sularının dezenfeksiyonu amacıyla kullanılmasının bazı dezavantajları da vardır. Klor ve kloraminler sudaki bazı organik maddelerle etkileşerek dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) oluşumuna neden olurlar. Trihalometanların (THM) keşfinden sonra, gerçekleştirilen çalışmalar, dezenfeksiyon işlemi sırasında çok sayıda dezenfeksiyon yan ürünleri oluştuğunu göstermiştir. Trihalometanlar dışında

sularda oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinden birisi haloasetik asitlerdir. Toplam haloasetik asit (monokloroasetik asit, dikloroasetik asit, trikloroasetik asit, monobromoasetik asit ve dibromoasetik asit) miktarı için Amerikan Çevre Koruma Birimi tarafından konulan üst sınır 0.06 mg/L dir. Trihalometanlarda olduğu gibi haloasetik asitlerin sağlık üzerine olan etkileri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Suda bulunabilen birçok trihalometan arasında miktar olarak en çok bulunanı kloroformdur. Yapılan araştırmalar yüksek dozda trihalometanlara maruz kalan hayvanlarda kanser oluşabileceğini göstermiş, ancak sularda bulunmasına izin verilen miktarlarda kanser oluşumu gösterilememiştir. Konuyla ilgili olarak yapılan daha geniş kapsamlı çalışmalarda suda bulunmasına izin verilen miktarların üzerinde dezenfeksiyon yan ürünleri kullanılmış, ancak erkek ve dişi laboratuvar sıçan ve farelerinde kanser dahil herhangi bir sağlık sorunu tespit edilmemiştir, ancak dişi sıçanlarda şüpheli karsinojenik bulgular olabileceği belirtilmiştir Dezenfeksiyon yan ürünlerinin sularda tespit edildiği 1974 yılından bu yana yapılan çalışmalar, bu kimyasallarla insanlarda kanser oluşumu konusunda doğrudan bir ilişki ortaya koyamamış ve Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu, dezenfeksiyon yan ürünlerinin “insanlarda karsinojendir” sınıfına sokulamayacağına karar vermiştir. Dünya Sağlık Örgütü’ de dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) kaynaklı olabileceği ileri sürülen sağlık risklerinin, yetersiz dezenfeksiyon sonucu ortaya çıkabilecek sağlık risklerine göre son derece az olduğunu açıklamış ve dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumunu azaltmak için, suların dezenfeksiyonunu engelleyecek veya azaltacak hiçbir uygulamayı onaylanamayacağını belirtmiştir (Oğur, R. ve Güler, Ç. 2004).

Dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) su arıtımı sırasındaki ham su içerisindeki öncüller ile dezenfektan (klor gibi) arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucunda oluşur. Bu öncül olarak nitelendirilen maddeler inorganik (Br-, I, vb.) ve doğal organik (alg., vb.) maddelerdir. Su arıtımında istenmeyen bir şekilde oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri üzerine yapılan çalışmalar 1970'lerin ortalarında Hollanda içme suyunda klor ile doğal organik maddenin (DOM) arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu Trihalometanların (THM) oluştuğunun keşfedilmesi ile başlamıştır. Rook, 1974 yılında, ilk olarak içme suyundaki

organik madde ve klor arasındaki reaksiyonlar sonucu kloroform (triklorometan) oluşturduğunu bildirmiştir. Bellar vd. (1974) ve Bond vd. (2011)'e göre; kısa bir süre sonra, kloroform ve diğer THM Amerika Birleşik Devletlerin (ABD)'de çeşitli belediye su kaynaklarında bulunmuştur ve Bond vd. (2011)' e göre; ABD Ulusal Kanser Enstitüsü hayvan çalışmalarının sonuçlarına göre, kloroform insanlar için kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. ABD çevre koruma ajansı (USEPA) tarafından içme sularındaki THM seviyeleri 100 µg /L olarak yönetmeliğe alınmıştır, DYÜ diğer bir grubu haloasetik asitler (HAA) THM ile benzer konsantrasyonlarda olduğu bulunmuştur.

Azotlu dezenfeksiyon yan ürünü grubundan (ADYÜ) biri olan dihaloasetonitriller ilk olarak 1980 yılında klorlanmış doğal sularda tespit edilmiştir. Yaklaşık kırk yıldır araştırma konusu olan ADYÜ'ler 2000'li yıllara kadar gereken ilgiyi görememiş, THM ve HAA gibi karbonlu DYÜ' lerin arkasında kalmıştır. Bu sebepten dolayı ADYÜ için yayınlanmış veriler, özellikle toksikoloji alanında sınırlıdır. ABD'de seçilen içme suyu arıtma tesisinde 1988-1989 (Krasner vd., 1989), 1997-98 (McGuire vd., 2002), 2000-2002 (Weinberg vd, 2002) ve 2006-2007 (Krasner vd, 2007; Mitch vd, 2009) yapılan araştırmalarda A-DYÜ incelenmiştir. Kanada'da (Williams vd. 1995, 1997), Avustralya'da (Simpson ve Hayes, 1998) ve İngiltere'de (Goslan vd., 2009) A-DYÜ ile ilgili yapılmış araştırmalar mevcuttur. ADYÜ oluşumunu ve etkilerinin belirlenmesi son yıllarda dikkat çeken araştırma konusu olmuştur. ADYÜ oluşumu etkileyen faktörlerden ilki, kısmen de olsa THM oluşumunu azaltmak amacıyla, klor yerine ya da yardımcı olarak ozon gibi alternatif dezenfektanların kullanımının artması olduğu belirlenmiştir. Toksik etkilerinden dolayı son zamanlarda ADYÜ konusuna odaklanılmıştır. Memeli hücreleri üzerinde yapılan çalışmalar haloasetonitriller (HAN), halonitrometanlar (HNM) ve haloasetamidlerin THM ve HAA'dan çok daha fazla sitotoksik ve genotoksik olduğunu göstermiştir.

Azotsuz DYÜ'lere göre nispeten yüksek toksisitesi bulunan ADYÜ grupları dünyanın herhangi bir yerindeki devlet organları tarafından yönetmeliğe alınmamıştır.

Su hizmeti veren kurumlar yönetmelikte bulunan THM ve HAA oluşumunu sınırlamak amacıyla alternatif dezenfektanlar denemektedirler. Klor yerine kloramin kullanımı son yıllarda giderek popüler hale gelen bir dezenfeksiyon yöntemi olmuştur (Genişoğlu, Ş. 2018).

Klorlama yönteminin kullanımındaki tarihsel gelişim çizelge 2.2 de gösterilmiştir. Yöntemin çok başarılı oluşu alternatif yeni yöntemler aranmasına gerek kalmadığı yönünde güçlü bir izlenim oluşturmuştur. Bu sebeple uzun yıllardır kullanılmasına rağmen klorlama yöntemine alternatif olacak herhangi bir yöntem ortaya çıkmamıştır.

Çizelge 2.2. Klorun içme ve kullanma sularının dezenfeksiyonunda kullanımı ile ilgili başlıca gelişmeler (Oğur, R., Tekbaş, Ö.F., Hasde, M. 2004)

Yıl	Olay
1896	Klor ilk olarak ABD’nde Louisville şehrinde kullanıldı.
1897	Klor İngiltere’de içme sularının dezenfeksiyonunda kullanıldı.
1905	İngiltere’de içme suları düzenli olarak klorlanmaya başlandı.
1908	Klor ABD’nin New Jersey (Boonton) ve Chicago şehirlerinde içme sularının dezenfeksiyonunda sürekli olarak kullanılmaya başlandı.
1909	Sıvı klor ticari olarak üretilmeye başlanmıştır.
1912	Sıvı klor ilk kez Niagara şelalerinden elde edilen suyun klorlanmasında kullanılmaya başlandı.
1915	ABD ilk içme suyu bakteriyel standardını yayınladı.
1917	Kloraminli bileşikler ilk olarak ABD ve Kanada’da kullanılmaya başlandı.
1918	Klor kullanımı ABD’nin 1000’den fazla şehrinde kullanılmaya başlandı.
1920’li yıllar	Sıvı klor, su dezenfeksiyonunda diğer klor formlarının yerini aldı.

1925	İçme suyu bakteriyel standartları netleştirildi ve ABD'nde yasal olarak uygulanmaya başlandı.
1932	Ülkemizde ilk olarak İstanbul'da Terkos içme ve kullanma suyu tesislerinin Kağıthane'deki arıtma istasyonunda kireç kaymağı ile klorlama işlemi başladı.
1936	Ankara'da Çubuk Barajı'ndan getirilen içme ve kullanma suyu Ziraat Fakültesinin arkasındaki arıtma tesislerinde (Süzgeç) gaz klorla sistematik olarak klorlanmaya başlandı.
1940'lı yıllar	Türkiye çapında klorlama işlemi yaygınlaşmaya başladı.
1960'lı yıllar	Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünya genelinde klorla su dezenfeksiyonu yaygın hale geldi.
1970	Klordioksit içme ve kullanma sularının dezenfeksiyonunda diğer klorlu bileşiklere göre daha yaygın olarak kullanılmaya başlandı.
1974	Klorla su dezenfeksiyonu sonucu sularda halojenli dezenfeksiyon yan ürünleri olduğu saptandı.
1991	Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu klorla bağlı gelişen halojenli bileşiklerin insanlar için karsinogen olmadığını açıkladı.

Anlaşıldığı üzere, özellikle içme suyunun dezenfekte edilmemesi durumunda ortaya çıkacak risk klorlama yan ürünleri sonucu ortaya çıkabilecek riske göre 100 ile 1000 kat arası daha fazla tehdit oluşturacaktır. Fakat burada sorulması gereken soru halk sağlığını korumak için dezenfeksiyondan vazgeçilemez ise de dezenfeksiyon yan ürünleri oluşturmadan ve insan sağlığı açısından herhangi bir risk teşkil etmeyen tamamen güvenilir bir dezenfeksiyon yöntemi geliştirilebilir mi? İçme suyunun klorlama yöntemi ile dezenfekte edilmesi 100 yılı aşkın bir süredir kullanılan ve çok etkili bir yöntemdir.



Şekil 2.6. Şehir suyu klorlama sistemleri

Bu tez çalışması kapsamında incelenen Isparta İli Yalvaç İlçesi içme suyu şebekesinde yapılan klorlama çalışmalarında fark edilen önemli bir dezavantajda klorlama yapan cihazların sık sık arızalanıyor olmasıydı. Şehirlere gelen içme suyunun klorlama işlemi, pompalama maliyetleri açısından şehirden daha yüksek bir bölgede yapılmaktadır. Klorlamanın yapıldığı bölgede hava sıcaklığının düşük olması klorlama esnasında klor gazının sıvı hale geçmesine neden olabilmekte veya sistemin tam verimle çalışmamasına neden olarak klorun su içinde homojen olarak yayılmasına engel olmaktadır. Bu durumda dezenfeksiyon verimi düşmektedir. Böyle durumlarda klorlamanın ne denli etkili olduğuna dair elde somut bir veri bulunmamaktadır. Ayrıca yaygın bir şekilde içme suyu olarak kullanılan şehir şebeke suyunun homojen olmayan klorlama koşulları altında kullanımının herhangi bir sağlık problemine sebep olup olmayacağı hakkında da ciddi şüpheler uyanmakla birlikte bu konuda da sağlıklı bir veriye sahip değiliz.

2.2.3. Filtre ile dezenfeksiyon

Por çapı mikroorganizmalardan daha küçük filtreler ile yapılan sterilizasyon tekniğine filtre sterilizasyonu denir (Özaltın, K. 2009).

2.3. Plazma ile Sterilizasyon

2.3.1. Morötesi (UV) ışınlarının etkisi

Elektromanyetik spektrumda özellikle X-ışınları bölgesine yakın dalgalıboylarına sahip ultraviyole ışınlar taşıdıkları yüksek enerji ile iyonize edici özelliğe sahiptir. Plazma oluşumu sırasında ortaya çıkan ultraviyole ışınımı bakterilerin DNA' sında bozulmalara neden olarak bakterilerin replikasyon yeteneğini engeller. Termal olmayan plazmalar farklı dalgalıboylarında ultraviyole ışın çıkışına neden olurlar. 220 - 280 nm dalgalıboyu aralığında yer alan ultraviyole ışınlar antiseptik özelliğe sahiptir. Bu ışınların yeteri dozda uygulanması halinde antiseptik özellikleri görülmektedir.

2.3.2. Reaktif türlerin etkisi

Plazmayı oluşturan gazın iyonizasyonu sırasında ortaya çıkan reaktif türler dezenfekte edici özelliktedir. Hidroksil radikali bakterilerin öldürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Oksijenin varlığı durumunda serbest oksijen ozona dönüşerek bakterilerin hücresel solunumunu engellemekte ve bu sayede dezenfeksiyon sağlayabilmektedir. Reaktif türler içerisinde ozon bilinen bir dezenfektandır.

2.3.3. Yüklü parçacıkların etkisi

Özellikle gram negatif bakterilerin hücre zarlarının parçalanmasında yüklü parçacıkların aşındırıcı etkisi bulunduğu bilinmektedir. Fakat dış zarı olmayıp nispeten daha kalın bir mürein tabakası ile kaplı olan gram pozitif bakteriler için yüklü parçacıkların etkisi önemsizdir. (Bozkurt, D. 2014)

2.3.4. Plazma sterilizasyonunun etki mekanizması

Her ne kadar ultraviyole ışınlar plazmanın dezenfeksiyon mekanizmasında rol oynasa da yüksek basınç plazmalarında ultraviyole ışınlarının etkisi nispeten düşüktür. Yüksek basınç plazmaları için özellikle üç dezenfeksiyon mekanizmasından söz edilebilir;

- (1) Yağ peroksidasyonu, doymamış yağ asitlerinin hidroksil radikalleri ile etkileşimi sonucu gerçekleşen yağ peroksidasyonu.
- (2) Protein oksidasyonu, aminoasitlerin oksidasyona karşı duyarlılığı sonucu oluşan oksidasyon.
- (3) DNA oksidasyonu, oksijen radikalleri ile gerçekleşen tepkimeler ile baz eklentilerinin oluşumu sonucu gerçekleşen DNA oksidasyonu. (Bozkurt, D. 2014)

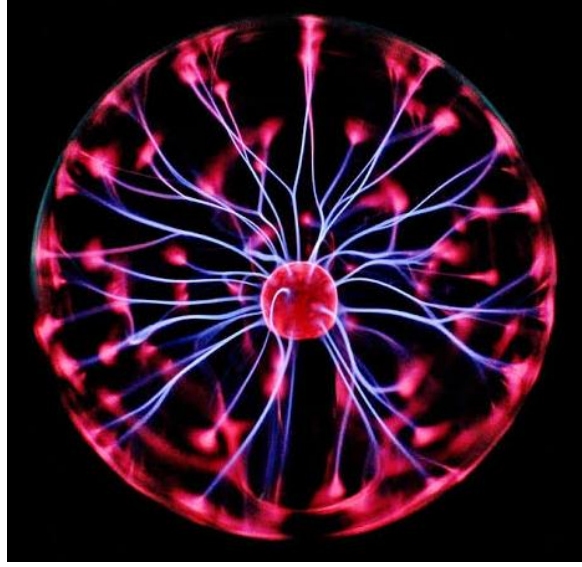
Aşındırma mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için plazma içinde bulunan parçacıkların mikroorganizmaları adeta bombardımana tuttuğu söylenebilir. Bu bombardıman sonucu hücre duvarı aşınmakta ve hücrenin yaşamsal aktivitesi çok kısa sürede sona ermektedir (Devres, O. 2009).

Her ne kadar çeşitli sterilizasyon ve dezenfeksiyon yollarından bahsediyor olsakta esasen sterilizasyon ve dezenfeksiyon birbiri ile ilişkili fakat birbirinden farklı şeylerdir. Sterilizasyon, cansız maddeler üzerinde bulunan tüm mikroorganizmaların öldürülmesidir. Sterilizasyon sonrasında hastalık yapan ve yapmayan tüm mikroorganizmalar sporlar dahil öldürülmektedir. Esasen sterilizasyonun seviyeleri olamaz. Sterilizasyon ya vardır ya da yoktur. Dezenfeksiyon ise, insanlarda hastalık yapma özelliği olan mikropların cansız maddeler üzerinden uzaklaştırma işlemidir. Bakteri sporları dezenfeksiyonun düzeyine göre bir miktar uzaklaştırılabilir. Dezenfeksiyon işleminin dereceleri olabilir. Sterilizasyon ve dezenfeksiyon dışında bir de dekontaminasyondan bahsedilebilir. Dekontaminasyon, kişinin risk taşıyan herhangi bir malzemeye koruyucu bir araç kullanmaksızın elle dokunması durumunda risk altında olmamasını sağlayıcı uygulamadır. (Uzun, N. 2005)

Plazma ile sterilizasyon yöntemleri özellikle ısıl ve kimyasal yöntemlere karşı hassas malzemelerin sterilize edilmesinde önemli bir yöntem olarak görülmektedir. Plazmanın sterilizasyon mekanizması önceden tanımlanmış olsada kabaca bakteri ve sporların plazma etkisi ile hücre duvarını deforme etmesi ve bu sayede yaşamsal aktivitelerinin sonlandırılması olarak açıklanabilir. Plazma sterilizasyonu ile ilgili ilk patent 1968 yılında alınmıştır.

Fakat yapılan ilk çalışmalarda genellikle vakum ortamları kullanılarak dūřuk basınç altında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir gaz karışımında iyonlaştırma voltajı, elektrotlar arasındaki uzaklık (açıklık genişliği) ve aralarındaki gaz basıncı ile belirlenir. Gazın basıncını dūřürmek, gazı iyonlaştırmak için gerekli voltajı dūřürür. Bu nedenle dūřuk basınçta çalışan soğuk plazma sistemleri antimikrobiyal olarak aktif plazma meydana getirmek için daha dūřuk gūce ihtiyaç duyarlar. Dūřuk basınçlı soğuk plazma teknolojisi vakum plazma teknolojisi olarak da adlandırılmaktadır. Soęuk plazma teknolojisinde ilk endüstriyel boyuttaki uygulamaların dūřuk basınçta yapılmasının nedeni atmosferik basıntakine kıyasla dūřuk basınçta, bu tip boşalımları stabilize etmenin daha kolay olmasıdır. Dūřuk basınçta büyük hacimlerde homojen plazma boşalımı üretmek oldukça doğrudur. Bu durumun sıkıntısı ise büyük ölçekli, dūřuk basınçta, ısıl olmayan reaktif plazma meydana getirmek büyük boyutta metal vakum haznesinin ve karışık vakum ekipmanlarının (vakum pompası, gaz akışı kontrol üniteleri vb.) kullanımını gerektirir. Dūřuk basınçta plazma prosesi kesikli proses olarak uygulanmaktadır ki bu proses örneklerin gruplar halinde vakum haznesine yüklenmesini ve işlem sona erdikten sonra boşaltılmasını gerektirir. Ayrıca unutulmamalıdır ki kesikli proses dezavantajının yanı sıra vakum plazma her gıda için uygun değildir çünkü her gıda vakuma dayanıklı değildir. (Özaltın, K. 2009; Bozkurt, D. 2014)

Korona deşarj plazmasına ait bir görüntü Şekil 2.7 de gösterilmiştir.

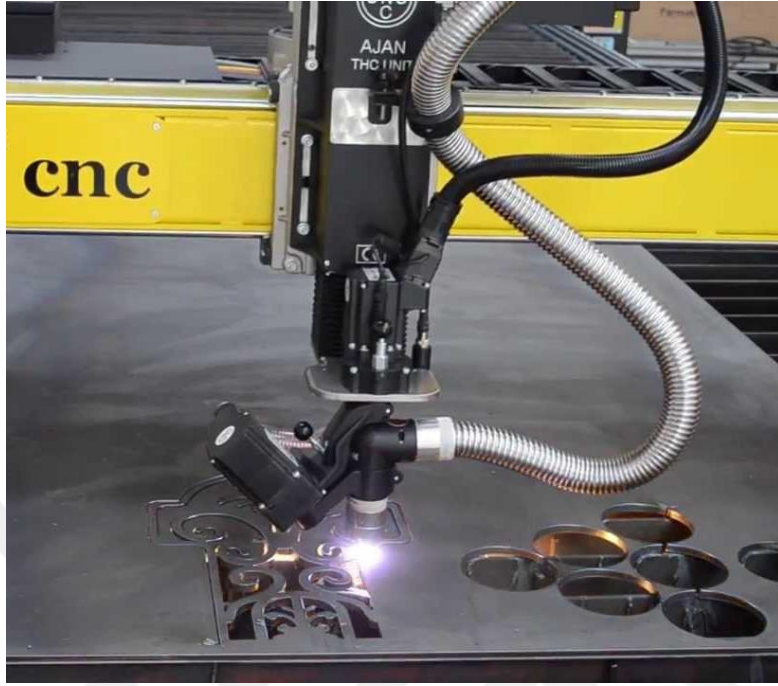


Şekil 2.7. Korona deşarj plazması

İlk olarak Siemens, suyun dezenfeksiyonunda kullanılacak ozonu üretmek için korona boşalmasını önermiştir. Bu çalışma mikroorganizmaların inaktivasyonu için plazmanın ilk kullanımınıdır. Menashi atmosferik basınçta plazma oluşturmak için radyo frekansı ile çalışan korona boşalımı kullanmıştır. Korona boşalım plazmaları elektrik boşalım plazmaları içinde en çok çalışılan çeşitlerden biridir. Korona zayıf ışıltılı boşalımdır ve genellikle atmosferik basınçta gözlenmektedir. Korona boşalımı yüksek voltajda elde edilmektedir ve elektrotların çevresinde oluşmaktadır. Bu tip sistemlerde boşalım bir iğne ucundan ya da tel elektrottan genişleyerek elektrik alanın gittikçe azaldığı ve en sonunda artık boşalımı destekleyemeyen dış ortama (düzlemsel elektroda doğru) çıkar. Bu nedenle tek tip plazma oluşamaz daha çok karışık yapılar bulunur. Morar ve ark. korona plazmasının hava kullanılarak sterilizasyon amacıyla kullanımını ilk olarak rapor etmişlerdir. Bitkilerde bulunan iki parazit, *Tetranicus urticae* ve *Phorodum humuli*, direk boşalıma maruz bırakılmış veya önceden boşalıma maruz bırakılmış havada inkübe edilmiştir. (Bozkurt, D. 2014)

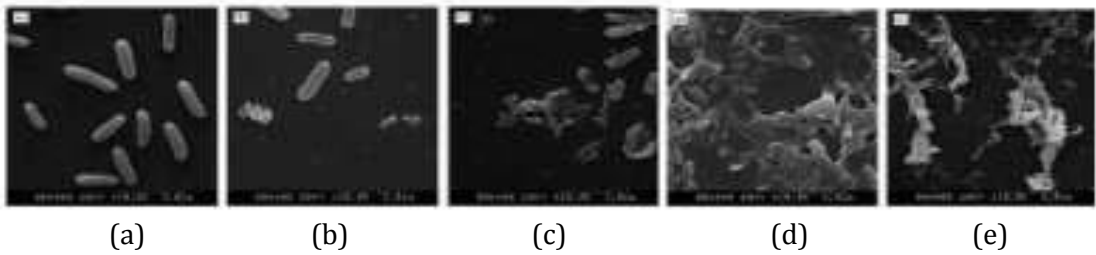
Korona deşarjı basit olarak iki elektrot arasında elde edilebilir. Kısmi olarak bu yöntemle elde edilen elektro deşarj makinesi, yüksek frekanslı doğru akım sinyalleri ile güç üretir. Endüstride taşlama ve şekillendirme için kullanılır.

Metallerin korona deşarj plazması kullanılarak kesilmesi de endüstriyel uygulamalara örnek olarak verilebilir. (Şekil 2.8.)



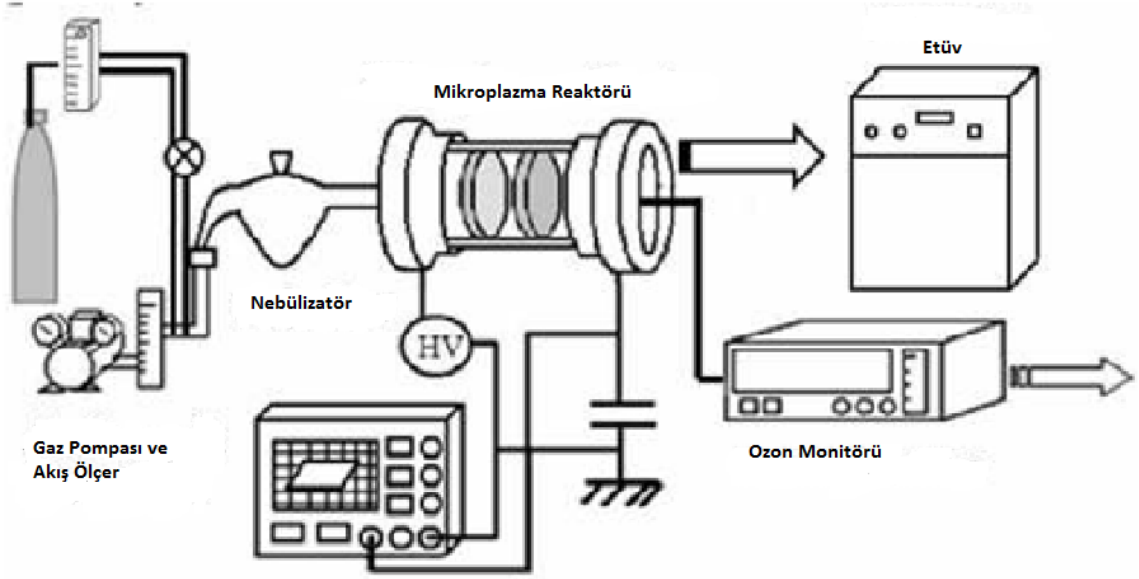
Şekil 2.8. Plazma kesme makinesi

Yapılan bir çalışmada 11 kV' luk puls elektrik alanlar 1ms puls aralığı ile atmosferik basınçta plazma üretilip, direkt olarak *E. coli* bakterileri üzerine uygulanmış (Şekil 2.9.); plazma ortamındaki *E. Coli* bakterilerinin kısa zaman sonra deformasyona uğradığı görülmüştür (Özaltın, K. 2009)



Şekil 2.9. *E. coli* bakterileri üzerine etki eden hava plazmasının sırasıyla (a) 0 sn, (b) 10 sn, (c) 30 sn, (d) 50 sn ve (e) 70 sn süre sonra çekilen SEM görüntülerdir (Özaltın, K. 2009).

E. coli ve *Bacillus subtilis* bakterileri , $10^7 - 10^8$ V/m lik gerilimlerle oluşturulan mikroplazma ile sterilize edilmiştir (Şekil 2.10).

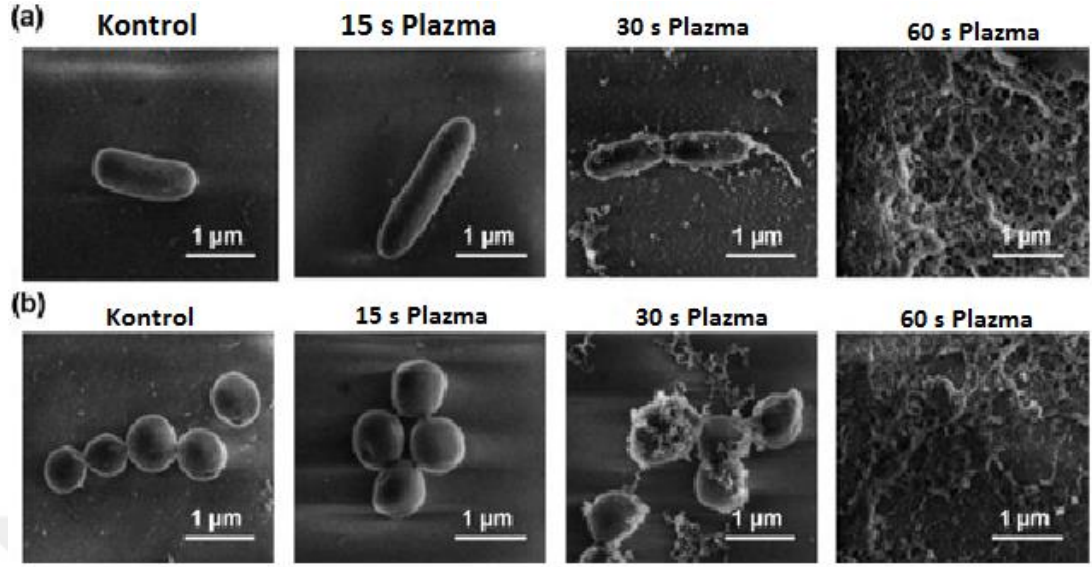


Şekil 2.10. Mikroorganizma sterilizasyonu için kullanılan mikroplazma reaktörünün deneysel seması (Shimizu vd., 2008).

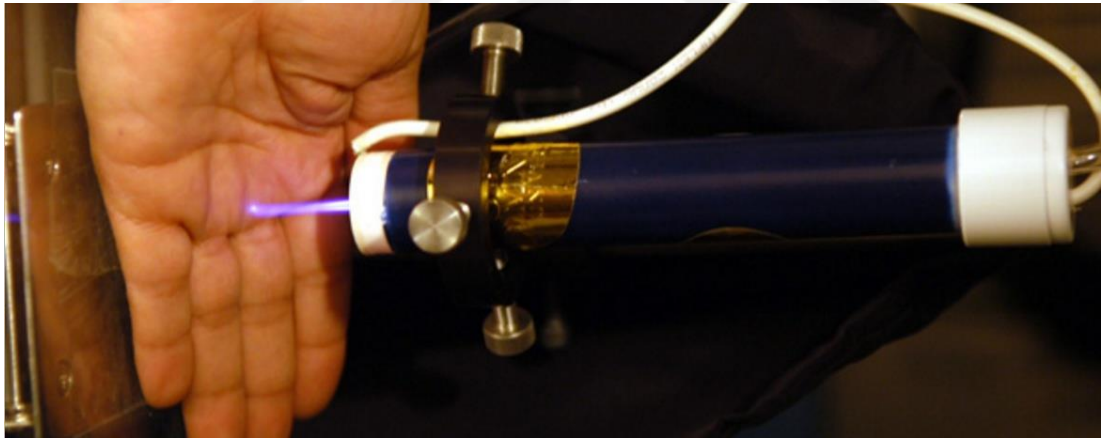
Taşıyıcı gaz olarak havanın kullanıldığı; 1,05 kV gerilimle oluşturulan plazmanın *E. coli* bakterileri üzerine etkisi sonucu % 100 sterilizasyon sağlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak nitrojenin kullanıldığı ve 1,15 kV gerilimle elde edilen plazma ortamında ise bu oranın %77 ye düştüğü gözlenmiştir (Özaltın, K. 2009).

Korona deşarj yöntemi ile oluşturulan plazmanın bakteriler üzerine etkisinin anlaşılması için yapılan bazı çalışmalarda plazma uygulanan bakteri örneklerinin belirli sürelerde elektron mikroskobu ile görüntüleri tespit edilmiştir (şekil 2. 11.).

Termal olmayan plazmanın insan vücudu ile temas etmesi durumunda herhangi bir fiziksel hasara yol açmayacağı şekil 2.12 de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Atmosferik soğuk plazmanın (a) E.coli bakterisi üzerine (b) coccus bakterisi üzerine 15, 30 ve 60 saniye uygulanması ile elde edilen sonuçların SEM görüntüleri (O. Lunov , vd., 2015).



Şekil 2.12 Atmosferik soğuk plazmanın insan eline uygulanması.

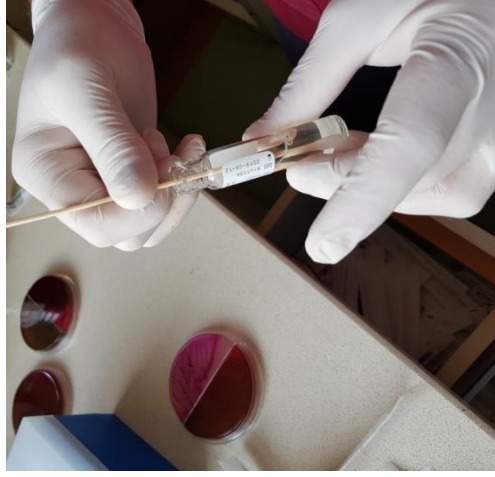
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada 30 kV lik çalışma gerilimine sahip yüksek gerilim kaynağı (şekil 3.5.) ile elde edilen parlak deşarj, içerisinde *E. Coli* bakterisi bulunan çözelti üzerine 0,5 cm mesafeden sabitlenerek uygulanmıştır. Yüksek gerilim plazmasına maruz kalan bakterilerin zamana bağlı yoğunlukları tespit edilmiştir.

Süleyman Demirel Üniversitesi Tıbbi Mikrobiyoloji Laboratuvarında ekimi yapılan *E.coli* bakterisi (şekil 3.1) kullanılmıştır. %5 koyun kanlı agar besiyerinde çoğalan bakteri kolonilerinden alınarak sıvı besiyeri içine karıştırılmıştır (şekil 3.2). Sıvı besiyeri şekil 3.3. de gösterilmiştir. Bakterinin sıvı içinde homojen dağılmasının sağlanması ve bakteri yoğunluğunun belirlenmesi için BD PhoenixSpec Nephelometer cihazı kullanılmıştır (şekil 3.4.).



Şekil 3.1. Ekimi yapılarak üremesi sağlanmış *E.Coli* bakterisi



Şekil 3.2. E .Coli bakterisinin sıvı besiyeri içine karıştırılması

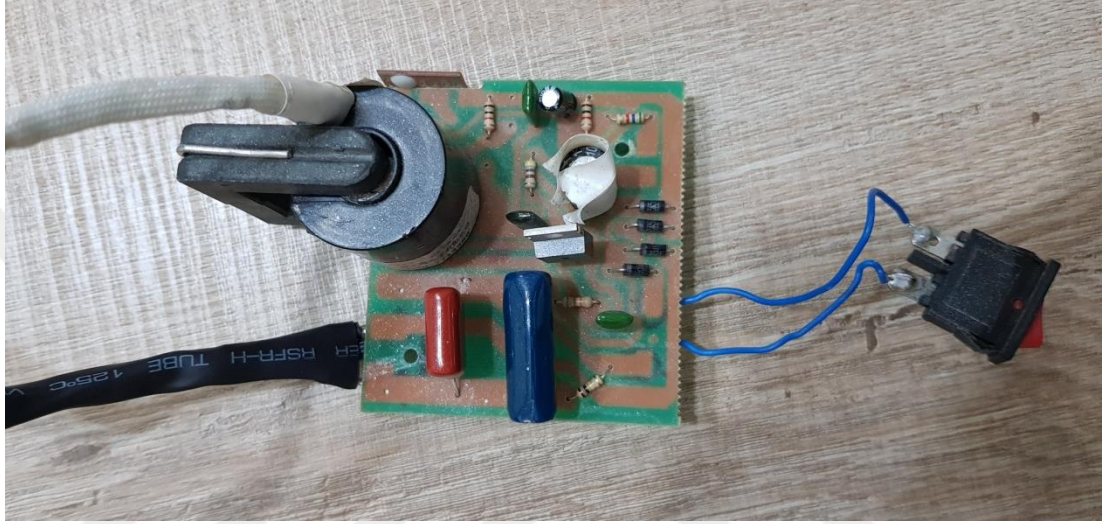


Şekil 3. 3. Sıvı besiyeri



Şekil 3.4. BD PhoenixSpec Nephelometer

Sıvı içindeki bakteri yoğunluğunun belirlenebilmesi amacıyla BD Phoneix nephelometer cihazı kullanılarak bakteri yoğunluğu 0,50 McFarland değerine ayarlanmıştır. Hastalık yapıcı kontamine olmuş su örneği için genellikle kullanılan ortalama değer olarak 0,50 McFarland standardında bakteri süspansiyonu tercih edilmiştir. Bu değer süspansiyonun ml'sinde 10^8 koloni oluşturan birim bakteri bulunduğu (10^8 kob/ml) anlamına gelmektedir.

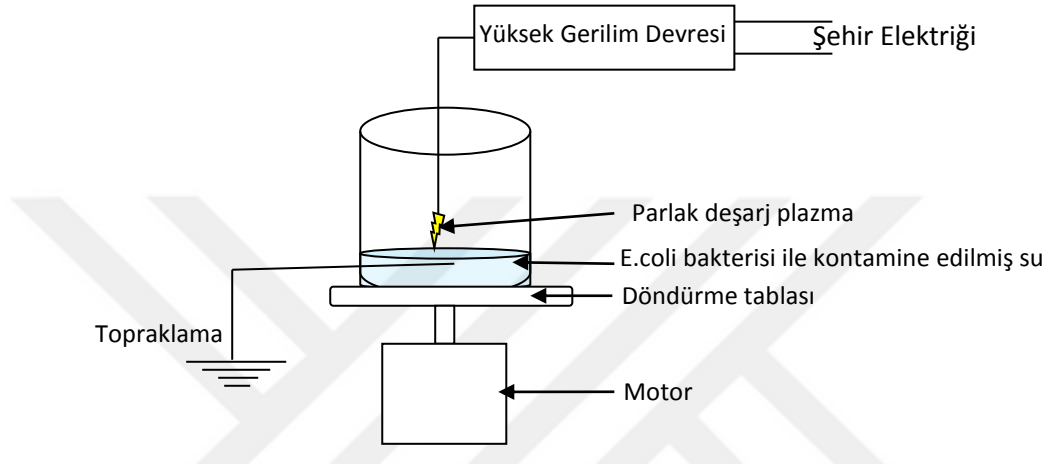


Şekil 3.5. Parlak deşarj plazma oluşumu için kullanılan gerilim yükseltici devre

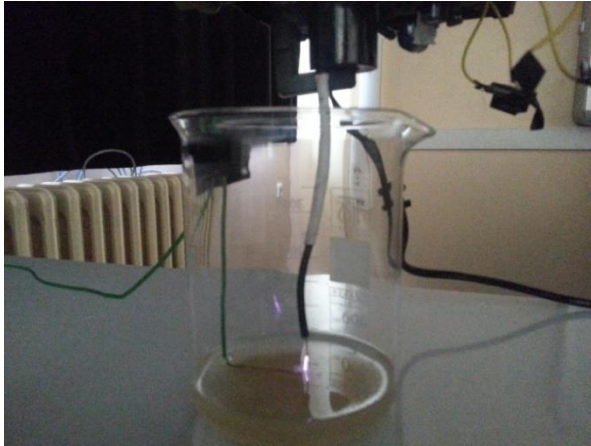
Gerilim Yükseltici devre sayesinde 30 kV' luk bir gerilim elde edilmiştir. Bu gerilim devrenin çıkış elektrotundan diğer ucu toprağa bağlanmış olan elektrota doğru bir parlak deşarj oluşmasını sağlamıştır.

Yapılan deneyde hepsi steril olmak üzere beher, petri kabı, elektrotlar ve yüksek gerilim devresi kullanılmıştır. Deneylerde petri kabı içine 0,5 McFarland bakteri yoğunluğuna sahip 30 ml su koyularak 0,5 cm mesafede sabitlenen parlak deşarj plazma uygulanmıştır. Plazmanın su yüzeyinde her bölgeye temas etmesini sağlamak amacıyla petri kabı tarafımızdan hazırlanan motorlu bir tablanın üstüne koyularak düşük devirlerde dönmesi sağlanmıştır. Motorun düşük devirde hareket ettirilmesi ile kap içindeki sıvının çalkalanmaması sağlanmıştır. Bu sayede düzgün bir sıvı yüzeyine plazma uygulaması yapılmıştır. Şekil 3.6 da gösterildiği gibi kap içine konan E. coli ile kontamine edilmiş suyun içinde topraklanmış bir elektrot bulunmaktadır. Su yüzeyinden 0,5 cm yukarıda

olacak şekilde sabitlenen diğer elektrota 30 kV luk gerilim uygulanmıştır. Uygulanan bu gerilim sayesinde atmosferik basınç hava plazması oluşumu sağlanmıştır. Plazma su yüzeyine etki ettirilerek bu şartlarda suyun sterilizasyonunun ne oranda sağlanabildiği ölçülmüştür. Oluşturulan sistemin çalışması esnasında parlak deşarj plazma oluşumu Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Sistem çalıştırıldığında plazmanın etkisiyle bakteriler hücre çeperlerinin yırtılması sonucu ölmüşlerdir.



Şekil 3.6. Birinci deney düzeneği. Kontamine suyun motorlu bir sistem ile döndürüldüğü plazmanın ise sabit tutulduğu düzenek



Şekil 3.7. (a) Parlak deşarjın su üzerine uygulanması (b) Motorlu sistem üzerinde petri kabında 30 ml suya plazma uygulanması

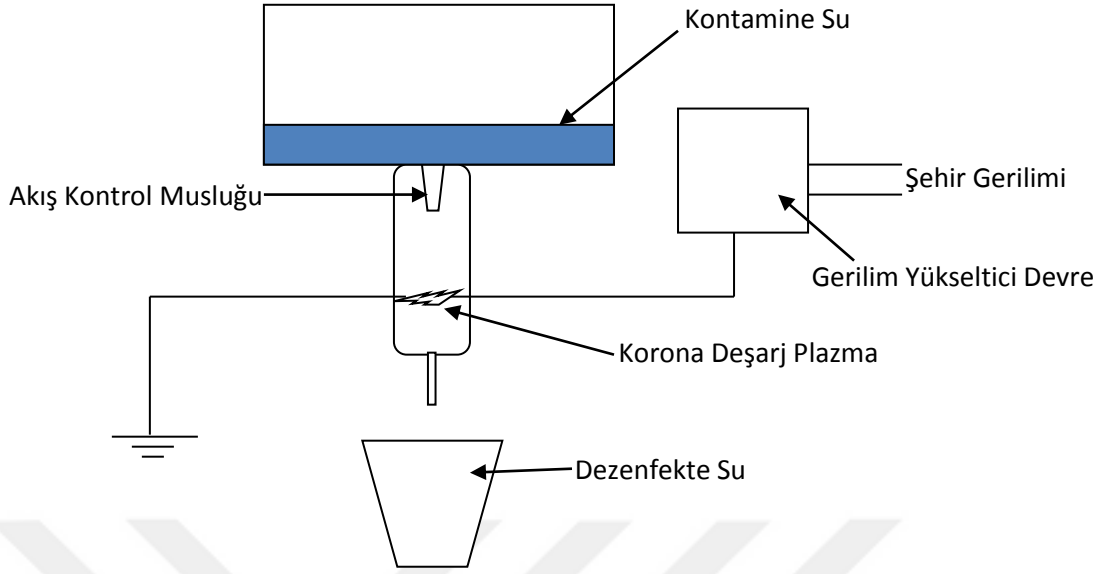
Sırasıyla 2 dakika, 4 dakika ve 6 dakika boyunca plazmaya maruz bırakılan sıvıdan örnekler alınarak her örneğin besiyerlerine ekimi yapılmıştır. Ekim yapılan besiyerleri etüv cihazına (şekil 3.8.) koyularak yaklaşık 18 saat burada tutulmuşlardır. Daha sonra besiyerlerinde bakteri gelişimleri gözlenmiştir.



Şekil 3.8. Etüv cihazı

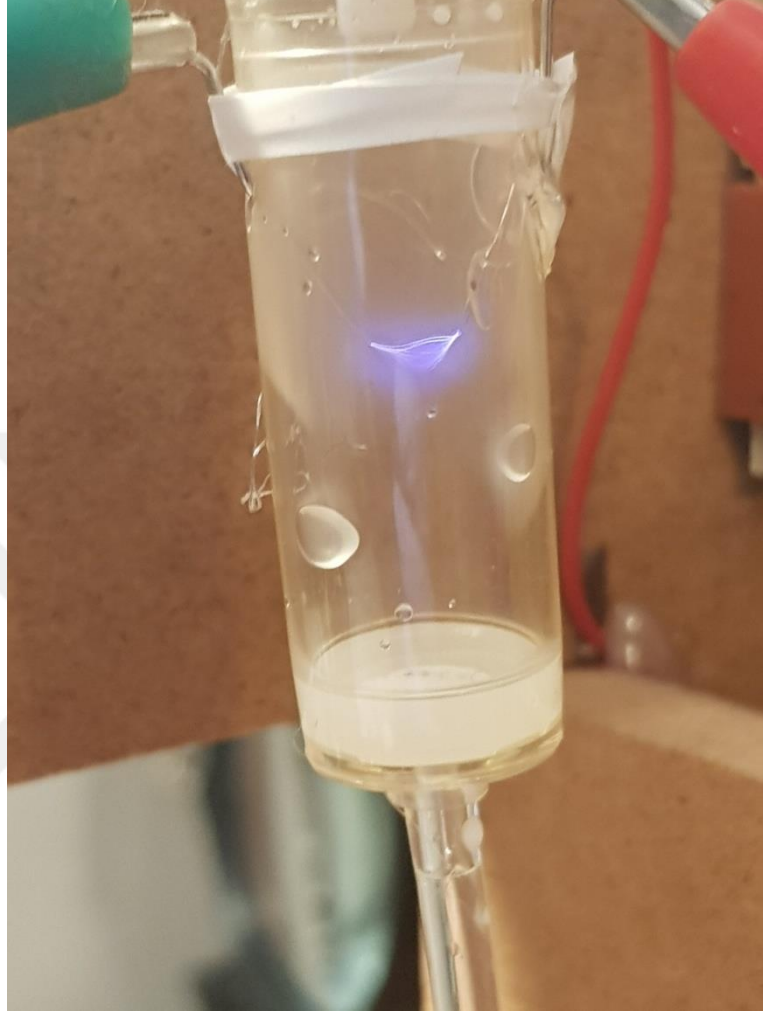
İlk deneylerde birinci deney düzeneği kullanılarak plazmanın su yüzeyine doğrudan uygulanmasının ardından, her ne kadar dezenfeksiyonun hatta sterilizasyonun sağlandığı görülsede bile, korona deşarj yönteminin bazı kısıtlılıkları dikkat çekmiştir. Bu kısıtlamalardan en önemlisi, korona deşarj yöntemi ile oluşturulan plazmanın çok ince olması nedeniyle uygulama yüzeyinin kısıtlı kalmasıdır. Hava ortamında sivri uçlu elektrotlarla oluşturulan parlak deşarj plazmanın çıkış noktasında genişliği 20 μm olarak gösterilmektedir (Güleç, A. 2011). Üstelik suyun dezenfeksiyonu amacıyla plazmanın kullanımında karşılaşılabilecek tek sorunda bu olmayabilir. Suyun dezenfekte edilmesi denilince akla öncelikli olarak içme sularının dezenfekte edilmesi gelmektedir. Bu nedenle şehir içme suyu şebekesinde plazma sisteminin kullanılması düşünülecek olursa plazma uygulamasının büyük oranda akış halindeki sıvıya uygulanması gerekecektir. Akış halindeki sıvıya plazma uygulaması da bu tez kapsamında denenmiştir.

Plazmanın sabit kaldığı suyun yavaş bir akışla plazma arkı üzerinden aktığı başka bir deney düzeneği ile deney tekrar edilmiştir. Bu deney düzeneği şeması da Şekil 3.9 da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Suyun yavaş bir akışla plazma arkı üzerinden aktığı ikinci deney düzeneği

İkinci deney düzeneğinde korona deşarj plazmasının küçük bir hacim içinde oluşturulması ve bu sayede sterilizasyon etki mekanizmasının güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.10 da plazmanın küçük bir hacim içinde oluşturularak kontamine suyun plazma üzerinden akışının sağlandığı deney düzeneği gösterilmiştir.

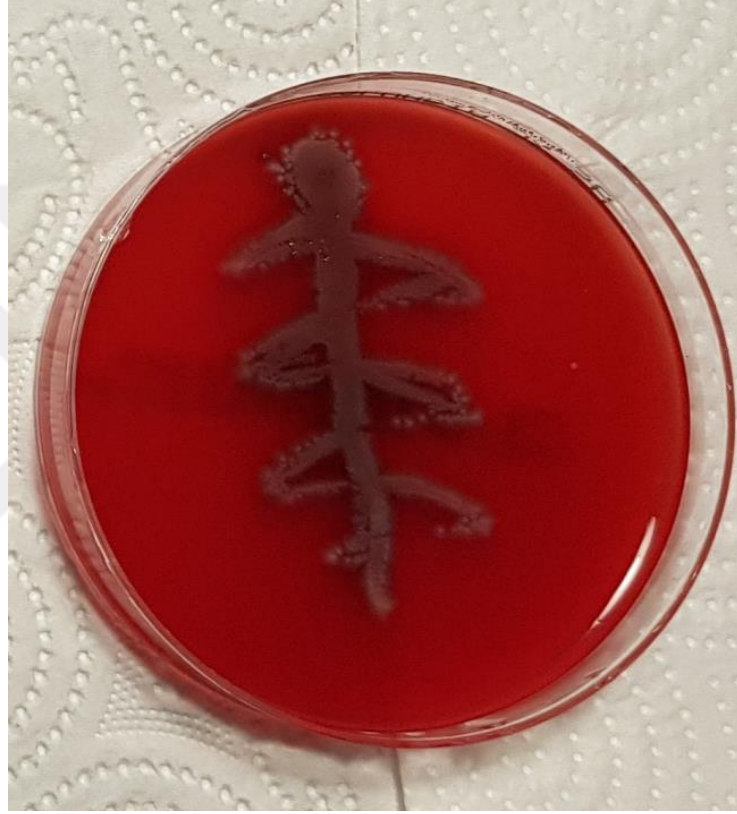


Şekil 3.10. İkinci deney düzeneğinde kontamine edilmiş suyun plazma arki üzerinden geçirilmesi

Bu şekilde tekrarlanan deneyde de 10^8 kob/ml bakteri yoğunluğuna (0,50 McFarland) sahip su, farklı akış hızlarında plazma odacığından geçirilmiştir. Bu şekilde 30 ml suyun 1 dakikada, 2 dakikada ve 3 dakikada sistemden geçirilmesi ile elde edilen bakteri sayısındaki azalma miktarı ilk deneyde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan ilk deneyler sırasında birinci deney düzeneği kullanılarak parlak deşarj plazma su üzerine uygulanmıştır. Plazma uygulaması yapılmadan önce, 2 dakika, 4 dakika ve 6 dakikalık uygulamalar sonucunda sudan alınan örneklerin besiyerlerinde ekimi ve etüvde bekletilmeleri sonucunda bakteri gelişim düzeyleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3, ve 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kontamine edilmiş sudan plazma uygulaması yapılmadan önce alınan örnekte bakteri gelişimi



Şekil 4.2. Su üzerine 2 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi



Şekil 4.3. Su üzerine 4 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi

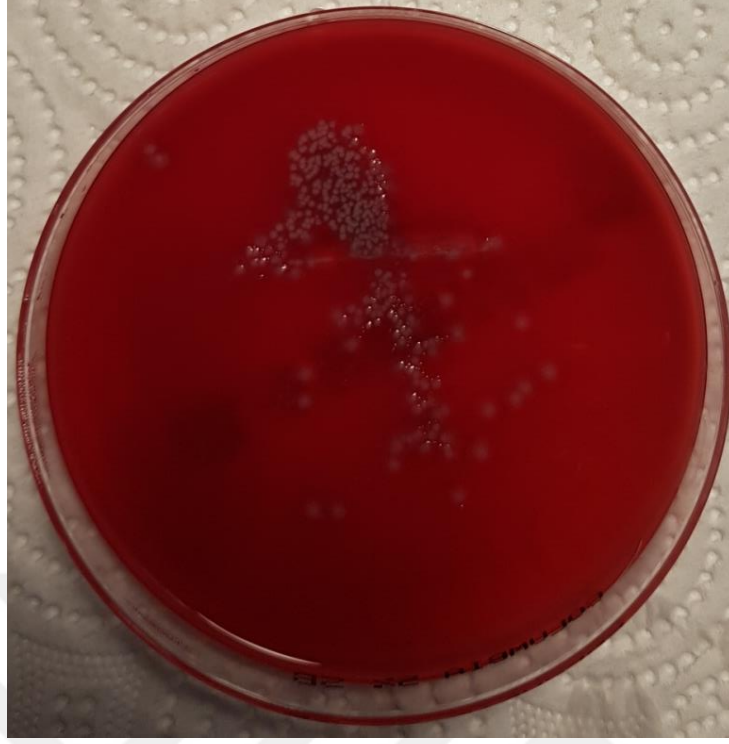


Şekil 4.4. Su üzerine 6 dakika boyunca plazma uygulandıktan sonra alınan örnekte bakteri gelişimi

Tekrarlanan ikinci deneyde kullanılan ikinci deney düzeneği ile sabit ark plazma üzerinden suyun 30 ml/dakika, 15 ml/dakika ve 10 ml/dakika akış hızlarında geçirilmesi ile gözlenen sonuçlar Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Suyun 30 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi



Şekil 4.6. Suyun 15 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi



Şekil 4.7. Suyun 10 ml/dakika akış hızında sistemden geçirilmesinden sonra alınan örnekte bakteri gelişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan ilk çalışmada birinci deney düzeneği kullanılmış ve önceden yüksek oranda kontamine edilmiş olan suyun atmosferik basınç plazma uygulamaları ile dezenfekte edilebileceği görülmüştür. 2 dakikalık uygulama sonucunda dahi bakteri yoğunluğunun ciddi bir şekilde azalması sağlanmıştır. 4 dakika boyunca plazma uygulaması yapılması durumunda bakteri yoğunluğunun ilk duruma göre daha da azaldığı, 6 dakikalık uygulama sonucunda bakterilerin neredeyse tamamen yok edildiği görülmüştür.

Hazırlanan ikinci deney düzeneği ile tekrarlanan deneyde de ilk deney düzeneği ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu ikinci deney düzeneği ile yapılan deneyde dezenfeksiyon süreleri ilk deneydeki süreye göre yarıya yarıya denebilecek düzeyde azalmıştır. 30 ml lik su kullanılarak yapılan birinci deneyde 2, 4 ve 6 dakikalık uygulamalar sonucu elde edilen dezenfeksiyon oranlarına ikinci deney düzeneği kullanılarak 1 dakika (30 ml su için 30ml/dakika akış hızıyla), 2 dakika(30 ml su için 15ml/dakika akış hızıyla) ve 3 dakikada (30 ml su için 10ml/dakika akış hızıyla) ulaşılmıştır. İkinci deney düzeneğinde geleneksel olarak suyun yüzeyine plazma uygulaması yerine plazma üzerine su uygulaması yapılarak sistem verimliliğinin artması sağlanmıştır.

Atmosferik basınç plazma uygulamaları ile suyun dezenfekte edilmesi, içme sularının biyolojik arıtımında kullanılabileceği gibi aynı zamanda havuz sularının dezenfeksiyonunda da tercih edilebilir bir yol olarak görülmektedir. Laboratuvar ortamında düşük maliyetle kurulan basit bir sistemle dahi kısa sürede dezenfeksiyon sağlamak mümkün olabilmektedir. Bu haliyle içme suyu dezenfeksiyonu için plazma yönteminin çeşitli avantajları olduğu açıkça görülmektedir. Sistemin avantaj ve dezavantajları çizelge 5.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Plazma dezenfeksiyon yöntemlerinin kimyasal yöntemlerle karşılaştırılması.

Avantajları	Dezavantajları
Tamamen fiziksel bir yöntem olduğundan insan vücuduna herhangi bir kimyasal temasına yol açmaz.	Klorlama yöntemine göre daha uzun süre gerektirir.
Atmosfer basıncında gerçekleştirildiği için pahalı düzeneklere ihtiyaç duyulmaz.	Mevcut birçok su arıtım sisteminde klorlama yapılmaktadır. Fakat plazma yöntemine geçilebilmesi için yatırım gereklidir.
Herhangi bir gaz akışına ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilir.	Sürekli çalıştırılması gereken sistemler olduğundan enerji sarfiyatını arttırır.
Klorlama sonucu oluşan koku yoktur.	
Dezenfeksiyon yan ürünü olarak ortaya çıkan haloasetik asitler, trihalometanlar v.s. gibi ürünler ortaya çıkmaz.	
Havuz sularının dezenfeksiyonunda kullanıldığı takdirde kimyasal yöntemlerde olduğu gibi havuz kullanıcılarında gözlerde irritasyona neden olmaz.	
Kimyasal dezenfeksiyon yöntemlerindeki gibi kimyasalların depolanması ile ilgili ortaya çıkan tehlike ve sorunlar plazma yönteminde yoktur.	

Atmosferik basınç plazmanın bakteri üzerine uygulanması sonucunda uygulanan frekansın ve gerilimin arttırılması ile dezenfeksiyon işlem süresinin azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca su plazma dezenfeksiyonu için mükemmel bir örnektir. Kuru maddelerin atmosferik plazma ile dezenfeksiyonu

hedeflendiğinde plazma sterilizasyonunun etki mekanizmasında önemli rol oynayan serbest radikallerin yeterli düzeyde oluşmaması nedeniyle dezenfeksiyon oranı düşmektedir. Ayrıca korona deşarjı ile elde edilen plazmanın termal olmaması nedeniyle suda buharlaşmaya, kapalı sistemde basınç yükselmesine de neden olmamaktadır. Küçük ve kolay taşınabilir bir sistemdir.

Yüzyılı aşkın bir süredir kullanılmakta olan klorlama yöntemi günümüzde halen içme sularının dezenfeksiyonunda en çok tercih edilen yöntemdir. Fakat bu yöntemin oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri nedeniyle insan sağlığı için belli oranda zararı olduğu da bilinmektedir. O halde klorlamanın yerini alabilecek yeni yöntemlerin araştırılması son derece önemlidir. İçme sularının plazma yöntemi ile dezenfeksiyonu umut vaad eden bir yöntem olarak görülebilir. Kontamine olmuş içme sularında en çok karşılaşılan bakteri türü olan *Escherichia coli*'dir. *Escherichia coli* ile kontamine olmuş içme sularının atmosferik plazma kullanılarak dezenfekte edilebileceği bu çalışma da gösterilmiştir. Sistemin geliştirilerek şehir şebekelerine entegre edilmesi de mümkün görünmektedir. Özellikle hazırlanan ikinci deney düzeneğinde daha verimli bir dezenfeksiyon elde edilmesi sistemin geliştirilmeye açık olabileceği yönünde de umut vericidir.

KAYNAKLAR

- Akan, T., 2005. Maddenin 4. Hali Plazma Ve Temel Özellikleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Eskişehir.
- Aktan, T., 2011. Atmosferik Basınç Soğuk Plazma İle Yüzey Sterilizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s 44, Isparta.
- Altinkum, M.S., 1996. İstanbul'da Satılan İçme Sularının bakteriyolojik Yönden İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s 90, İstanbul.
- Bozkurt, D., 2014. Soğuk Plazma Uygulamasının Vitaminler ve Polifenol Oksidaz (PFO) Enzimi Aktivitesi Üzerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83 s, Isparta
- Devres, O. 2008. Plazma İle Sterilizasyon. Erişim Tarihi: 10.09.2018.
<http://www.gidacilar.net/sterilizasyon/plazma-ile-sterilizasyon-258.html>
- Erdoğan, T., 2012. Vakum Ortamında Plazma Kaplama Ve Plazma Parametrelerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s, Isparta.
- Genişoğlu, Ş., 2018. Isparta İçme Suyu Kaynağında Ve şebekesinde Halonitrometan Oluşumu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68 s, Isparta.
- Güleç, A., 2011. Yüksek Frekans Atmosferik Basınç Plazma Sisteminin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 90s, Isparta
- O. Lunov , O. Churpita , V. Zablotskii , IG Deyneka , IK Meshkovskii , A. Jäger , E. Syková , Ş. Kubinová. 2015. Non-Thermal Plasma Mills Bacteria: Scanning electron Microscopy Observations, Appl. Phys. Lett. 106, 053703.
- Oğur, R. ve Güler, Ç. 2004. 21. Yüzyılda Niçin Klorlama? TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 2004: 3 (8), Ankara.
- Oğur, R., Tekbaş, Ö.F., Hasde, M. 2004. Klorlama Rehberi (İçme Kullanma Sularının Klorlanması). Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı. Ankara.
- Özaltın, K., 2009. Elektriksel Deşarj Plazma Metodları İle Suyun Sterilizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s 49, Isparta.

Öztelli, Y., 2004. Bayburt İli Merkez ilçede İçme Sularında Enterohemorajik Escherichia coli (O157:H7)'nin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 43 s, Isparta.

Uzun, N., 2005. Sterilizasyon Yüksek Düzey Dezenfeksiyon Yöntemleri. Şişli Etfal Araştırma ve Uygulama Hastanesi, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan ERGON

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir - 1977

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ergongokhan@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : İzmir Atatürk Lisesi, 1991-1994

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat

Fakültesi, Fizik Bölümü, 1994-2000

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı, 2012-2019

Mesleki Deneyim

Isparta Özel Büyük Başarı Dershaneleri

Isparta Özel Birey Dershanesi

Isparta Özel Sınav Dershanesi

TED Isparta Koleji

MEB Kars Haydar Aliyev Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

MEB Şehit Latif Keçeci Anadolu Lisesi

MEB Gönen Çok Programlı Lisesi