

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOĞUK PLAZMANIN İÇME SULARINDA *Escherichia coli* ÜZERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet FIRATOĞLU

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2015**

Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ danışmanlığında, Ahmet FIRATOĞLU'nun hazırladığı “**Soğuk plazmanın içme sularında *Escherichia coli* üzerine etkisinin araştırılması**” konulu bu çalışma 16/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ

Üye : Doç.Dr. Halil DEMİR

Üye :Doç.Dr. Çiğdem KÜÇÜK

Bu Tezin Biyoloji Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK tarafından desteklenmiştir.
Peroje No: 12168

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

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. <i>Escherichia coli</i> (ATCC25922) Bakterisi ve Fekal Koliformlar	4
2.2. Soğuk Plazma	11
2.2.1. Soğuk Plazma ile Sterilizasyon İşlemi	13
3. MATERYAL ve YÖNTEM	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Doğal Kaynak Suyu	20
3.1.2. <i>E. coli</i> (ATCC25922) Bakterisi	20
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Besiyerleri	20
3.1.3.1. Tergitol TTC NKS/NPS (Sartorius 14056)	20
3.1.3.2. Nutrient Broth (Merck 1.05443).....	21
3.1.4. Membran Filtrasyon Düzenegi.....	21
3.1.5. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan DBB Reaktörü ve Elektrot Sistemi	21
3.1.6. DBB Deney Sistemi	22
3.2 Yöntem	23
3.2.1. Doğal Kaynak Suyunun Çalışma için Hazırlanması	23
3.2.2. <i>E. coli</i> ATCC(25922) Bakterisinin Çalışma İçin Hazırlanması	23
3.2.3. Nutrient Broth (Merck 1.05443) Besiyerinin Hazırlanması	23
3.2.4. Çalışmaların Yapıldığı Deney Sistemi.....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	25
4.1. Araştırma Bulguları	25
4.1.1. Uygulama Süresi Etkinliği	27
4.1.2. Uygulama Gerilimi Etkinliği.....	31
4.1.3. Uygulama Frekansı Etkinliği	36
4.2. Tartışma.....	40
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	45
5.1. Sonuçlar	45
5.2. Öneriler.....	46
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	52

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SOĞUK PLAZMANIN İÇME SULARINDA *Escherichia coli* ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet FIRATOĞLU
Harran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ
YIL: 2015, Sayfa: 52

Su kaynakları üzerindeki talebin gün geçtikçe artması ve konuma göre bu kaynakların arzu edilen miktar ve kalitede bulunmaması, mevcut su kaynaklarının ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar içinde en verimli şekilde kullanımını yani yönetimini gerekli kılmaktadır. Ancak su kaynakları yönetim çalışmalarının başarısı, hidrolojik sistemi etkileyen süreçlerin iyi bir şekilde analiz edilerek olumsuz durumları ortadan kaldırmaya yönelik isabetli yöntemler geliştirilmesine ve kesin çözümler ortaya konmasına bağlıdır. Dolayısıyla bu çalışmada, doğal kaynak sularına bulaşabilen *Escherichia coli* (ATCC25922) bakterisinin üreme işleminin, soğuk plazma yöntemi kullanılarak yok edilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada uygunlanan sistemin temel amacı, kanalizasyon yoluyla kirlenmiş olan doğal kaynak sularının elektrik gaz boşalmalarının özel bir türü olan dielektrik bariyer boşalması yöntemi kullanılarak düşük sıcaklıklarda sterilizasyon işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu kapsamda yapılan deneysel uygulamalarda, kullanılan plazma yönteminin *Escherichia coli* bakterisinin üremesi üzerindeki etkisinin incelenmesi işlemlerinde uygulama süresi, uygulama gerilimi ve uygulama frekansı parametrelerinin uygun koşullarda ve bağımsız olarak değiştirilerek optimal rejimlerin belirlenmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmaların her uygulama aşamasından sonra alınan numuneler uygun ortam koşullarında üreme işlemi için en az 24 saat süreyle bekletilerek bakteri kolonilerinin sayımı yapılmış ve sonuçlar değerlendirilerek gerekli yorumlamalar yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre, kullanılan yöntemdeki en uygun uygulama parametreleri olarak; uygulama geriliminin 5 kV, uygulama frekansının 500 Hz ve uygulama süresinin ise 3 dk olduğu tesbit edilmiştir. Sonuç olarak soğuk plazmanın içme sularının sterilizasyonu işleminde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiş ve bu yöntemin uygulanabilirliğinin basit, ekonomik ve yüksek verimliliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: *Escherichia coli*, soğuk plazma, sterilizasyon, içme suyu

ABSTRACT

MSc Thesis

Ahmet FIRATOĞLU

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COLD PLASMA ON *Escherichia coli* IN DRINKING WATER

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Faruk SÜZERGÖZ
Year: 2015, Page: 52

Daily increasing demand on water resources, and according to their location, the lack of desired quantity and quality of these resources requires the management of available water resources in the most efficient way of economic, environmental and social benefits to be used. However, the ultimate success of water resources management depends on the demonstration of hydrological processes affecting the system need to be analyzed in a good way to eliminate negative situations to develop new methods for the accurate and precise solutions. Therefore, in this study it is aimed to eliminate reproduction process of *Escherichia coli* (ATCC25922) bacteria that can be contaminated natural sources, by using cold plasma method. The main purpose of the system used in the study, sterilization process of natural water sources polluted by sewage is carried out at room temperature by using dielectric barrier discharge, which is a special kind of electrical gas discharge methods. In the experimental applications context, the effects of plasma method on *Escherichia coli* bacteria growth operations, the optimal regimes were determined by independently varying the execution time, the application voltage and application frequency parameters under appropriate conditions. The samples taken after each application phase of experimental studies were incubated under ambient conditions suitable for breeding operation for at least 24 hours so that bacterial colonies were counted and the results have been assessed and interpreted. According to the obtained results, the optimal administration parameters in the used method were determined as that the application voltage was 5 kV, the application frequency was 500 Hz and the application time was 3 minutes. As a result, the cold plasma sterilization process of drinking water was observed having a significant effect and the applicability of this method is found simple, economical and have a high efficiency.

KEY WORDS: *Escherichia coli*, cold plasma, sterilization, drinking water

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile her zaman yanımda olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Faruk SÜZERGÖZ'e, tez çalışmalarım boyunca, her konuda yardımcı olan yol gösteren değerli katkılarıyla çalışmamı şekillendiren hayata bakış açımı etkileyen, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım Siirt Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı 2. Danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ömer ŞAHİN'e, teorik ve deneysel çalışmaları beraber yürüttüğümüz ve aynı zamanda tezimin yazımı ve düzenlenmesi konularında bana önemli katkıları olan çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya, Lisans eğitimim sırasında maddi manevi yardımlarını esirgemeyen abilerim Sayın Yrd. Doç. Dr. Z. Abidin FIRATOĞLU ve Sayın Hasan FIRATOĞLU'na, tez çalışmaları sırasında desteğini esirgemeyen bilginin satılamayacak kadar paha biçilemez olduğunu öğrendiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. A. Kadir HALKMAN'a, tezin yazımında yardımlarını gördüğüm değerli hocam sayın Doç.Dr. Halil DEMİR ve Okutman Cüneyt DEMİR'e ayrıca bu hayata gelmeme vesile olan beni eğiten ve yetiştiren Babam Sefer FIRATOĞLU ile annem Şefika FIRATOĞLU'na, hep bana destek olan sıkıldığım ve yorulduğum zamanlarda azmimi artıran eşim Ayten FIRATOĞLU'na, son olarak öğrencileri olmaktan her zaman gurur duyduğum lisans eğitimimde çok şey borçlu olduğum Çukurova Üniversitesi Biyoloji Bölümü'ndeki bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet FIRATOĞLU

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. <i>Escherichia coli</i> bakterisinin şematik görüntüsü.....	4
Şekil 2.2. Hava plazması uygulanan <i>E. coli</i> bakterilerinin SEM görüntüleri	14
Şekil 2.3. Mikrodalga plazma etkisi. MRSA hücrelerinin SEM görüntüleri	15
Şekil 2.4. a) Plazma öncesi <i>E. coli</i> SEM görüntüleri b) 2 dakika plazma uygulaması sonucu elde edilen SEM görüntüleri	16
Şekil 2.5. Zamana bağlı sterilizasyon grafiği	17
Şekil 2.6. <i>E. coli</i> içeren petri kutularına DBB uygulaması sonuçları	17
Şekil 2.7. <i>S.aureus</i> içeren petri kutularına DBB uygulaması sonuçları.....	18
Şekil 3.1. Tergitol TTC'de <i>Escherichia coli</i>	20
Şekil 3.2. Membran Filtrasyon Düzeneği Ekipmanları	21
Şekil 3.3. DBB deney sisteminde kullanılan reaktör şeması	22
Şekil 3.4. DBB Deney Sistemi	22
Şekil 3.5. Çalışmaların yapıldığı deney sistemi	24
Şekil 4.1. DBB ve Korona Boşalması plazma ortamının reaktör şeması	25
Şekil 4.2. DBB soğuk plazma ortamının reaktör şeması	26
Şekil 4.3. Herhangi bir işlem uygulanmamış (Referans) bakteri plağı.....	27
Şekil 4.4. a) Referans b) 30 sn süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	28
Şekil 4.5. a) Referans b) 1 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	29
Şekil 4.6. a) Referans b) 2 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	29
Şekil 4.7. a) Referans b) 3 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	30
Şekil 4.8. a) Referans b) 5 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	30
Şekil 4.9. Bakteri sayısının uygulama süresi ile değişim grafiği.....	31
Şekil 4.10. Gerilim etkinliği için herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan numune	32
Şekil 4.11. a) Referans b) 0.5 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	32
Şekil 4.12. a) Referans b) 1 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	33
Şekil 4.13. a) Referans b) 3 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	34
Şekil 4.14. a) Referans b) 4 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	34
Şekil 4.15. a) Referans b) 5 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	35
Şekil 4.16. Uygulama gerilimi etkinliğinin bakteri üremesi üzerindeki etkisi	35
Şekil 4.17. Frekans etkinliği için herhangi bir işleme tabi tutulmamış örnek	36
Şekil 4.18. a) Referans b) 50 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	37
Şekil 4.19. a) Referans b) 100 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	37
Şekil 4.20. a) Referans b) 200 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	38
Şekil 4.21. a) Referans b) 350 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	38
Şekil 4.22. a) Referans b) 500 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu	39
Şekil 4.23. Uygulama frekansının <i>E. coli</i> üremesi üzerindeki etkinlik grafiği.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. DBB ve Korona Boşalması deney parametreleri.....	26
Çizelge 4.2. Deneyisel çalışmalarda incelenen parametreler	27



SİMGELER DİZİNİ

AC : Alternatif Akım
DBB : Dielektrik Bariyer Boşalması
DC : Doğru Akım
E. Coli : *Escherichia Coli*



1.GİRİŞ

Dünya üzerindeki içme suyu kaynaklarının azalması, gelecekte sağlıklı içme suyu temininin ne denli önemli bir sorun olacağını gözler önüne sermektedir (Irmak, 2008).

Dünya üzerindeki insan nüfusunun yaklaşık %20'si güvenilir olmayan içme suyu kullanmakta, yılda 200 milyon civarında insan su ile ilişkili hastalıklara yakalanmakta ve 2 milyondan fazla insan kirli sulardan kaynaklanan hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirmektedir (Irmak, 2008). Yeryüzündeki tüm hastalıkların yarısına yakını sularla ilişkili olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde atık suların ancak %5'inin arıtılabilmesi, endüstriyel ve evsel atıkların çevreye, akarsulara ve yer altı sularına denetimsiz bir şekilde verilmesi de ayrı bir sorundur (Irmak, 2008).

Toplumdaki aktif hastaların ya da taşıyıcıların bağırsaklarında bulunan hastalık yapıcı bakteriler, virüsler ve protoozonlar dışkı ile suya geçmekte, sonuçta su, enfeksiyon kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Böyle kontamine suların içilmesi, gıda hazırlamada kullanılması sonucunda çeşitli enfeksiyonlar gelişebilmektedir (Irmak, 2008).

Suların dezenfeksiyonundaki amaç insan sağlığı açısından tehdit oluşturan patojen mikroorganizmaların yok edilmesidir. Bu amaçla çok farklı teknikler kullanılmaktadır. Klor bileşikleri, ozon, ultraviyole ve filtrasyon suların dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan başlıca yöntemlerdir (Oğur ve ark., 2004).

Suyun sterilizasyonunda kullanılan yöntemlerden klorlamanın yüksek konsantrasyonlarda etkili olması ve genotoksik etkisi (Bitton, 2005), ozonlama ile sterilizasyonun ise kalıcı etkisinin olmaması ayrıca maliyetinin yüksek olması (Çelfiş, 2010), UV ışınlarının etkisini sadece su derinliğinin fazla olmadığı, demir

içermediği ve bulanık olmadığı durumlarda göstermesi; ayrıca maliyetinin yüksek olması (Özaltın, 2009), gibi etkenler önemli dezavantajlar olarak değerlendirilmektedirler.

Elektrik alanının biyolojik hücreler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gerçeği uzun yıllardır bilinmektedir. Elektrik akımının bakteriler üzerindeki etkisi ilk kez Prochownick ve arkadaşları tarafından 1890'lı yıllarda bulunmuştur (Baysal ve İçier, 2012). Elektrik akımı ile hücredeki oluşumlar ve nedenleri üzerine çeşitli teoriler ortaya konmuştur. Bir teoriye göre protoplazma proteinleri çok az bir etkiyle bile kendilerine has özelliklerini değiştirebildikleri için elektriksel akımın etkisiyle proteinler koagüle olur, çözünürlüğü azalır, biyolojik aktiviteleri düşer, protein çözeltilerinin viskozite ve absorpsiyon özellikleri değişir. Bu durum stoplazmik zarın geçirgenliğinin artmasına neden olur (Baysal ve İçier, 2012). Biyolojik hücrelerin elektrik enerjisiyle parçalanmasına ait temel kuralların dile getirilmesinden sonra dielektrik parçalanma teorisi Zimmermann ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır (Zimmermann ve ark., 1974).

Plazmalar en basit anlatımla, bir gaz ortamına iki elektrot yerleştirilerek ve bu elektrotlara belirli bir frekanstaki gerilim uygulanarak elde edilirler. Kısacası bir gazı iyonlaştırarak plazmasını üretmek için en kolay yöntem, o gaz üzerine elektrik alan uygulamaktır. Normal koşullarda elektriksel plazma üretmek için audio frekans, radyo frekans ve mikro dalga elektrik alanları kullanılmaktadır. Ancak bu tip sinüsoidal elektrik alanlarla düşük sıcaklıklarda (özellikle oda sıcaklığında) plazma üretmek oldukça zordur. Puls şeklindeki elektrik alanların kullanılmasıyla üretilen plazmaların içindeki hızlı enerji taşıyıcısı olan elektronlar, enerjilerini ağır plazma parçacıklarına aktaramazlar. Dolayısıyla çok yüksek enerjili elektronlar meydana getirirler. Bu elektronlar da kimyasal reaksiyonlarla reaktif parçacıklar üretirler. Bu reaktif türler, temasta oldukları yüzeyi örneğin bakterileri aşırı derecede aktive ederler ve öldürürler. Puls elektrik alanlar ayrıca, hücre içine yayılarak hücre içi yapıları bozarlar. Benzer çalışmalar sonucu, plazma ortamında bulunan UV ışınların, oksijen ve hidroksil gibi reaktif parçacıkların ve yüklü parçacıkların bakteriler üzerine öldürücü etkileri olduğu ispatlanmıştır (Akan ve Efe, 2006).

Suyun dezenfeksiyonu için plazmanın bir türü olan korona deşarjın kullanımı ilk kez Siemens tarafından rapor edilerek plazma teknolojisi mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılmaya başlanmıştır (Baysal ve İçier, 2012).

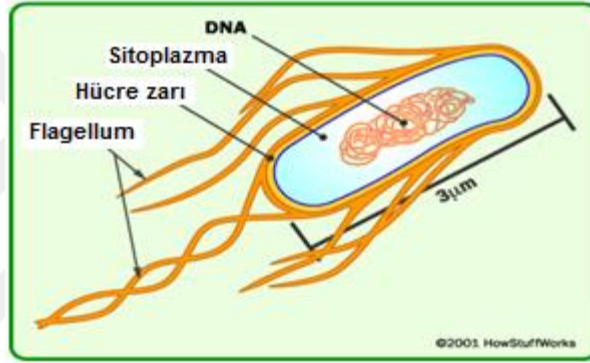
Bu çalışmada, doğal kaynak suyuna bulaştırılan, fekal kontaminasyonun indikatör bakterisi *Escherichia coli* (Çakır, 2000), bakterisinin su ortamında dielektrik bariyer boşalması yöntemiyle sterilizasyonu amaçlanmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. *Escherichia coli* (ATCC25922) Bakterisi ve Fekal Koliformlar

Escherichia coli bakterisi, *Enterobacteriaceae* familyası içinde yer alan Koliform grup bir bakteridir. Koliform grup bakteriler fakültatif anaerob, gram negatif, spor oluşturmeyan, 35° C sıcaklığında ve 48 saat süresinde laktozdan gaz ve asit oluşturan çubuk şeklindeki bakterilerdir (Çakır, 2000). Şekil 2.1.'de *E. coli* bakterisinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1. *Escherichia coli* bakterisinin şematik görüntüsü

Koliform grup bakterilerden normal florası insanların ve sıcakkanlı hayvanların alt sindirim sistemi olanlar "*fekal koliform*" olarak tanımlanmakta ve bu bakteriler fekal kontaminasyonun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Koliform grup içinde fekal koliform olarak tanımlanan bakterilerin büyük çoğunluğunun *E. coli* olduğu bilinmektedir. Herhangi bir örnekte *E. coli* 'ye veya fekal koliform bakterilere rastlanması, oraya doğrudan ya da dolaylı olarak dışkı bulaştığının ve yine bağırsak kökenli *Salmonella* ve *Shigella* gibi primer patojenlerin de olabileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle hiçbir gıda maddesinde, içme ve kullanma sularında, *E. coli* ve fekal koliform bulunmasına izin verilmez (Çakır, 2000).

Doğal kaynak sularının fekal kontaminasyon indikatörü olan *E. coli* ve koliform grup bakteriler suların mikrobiyolojik kirliliğinde önemli bir yere sahiptirler

(Çakır, 2000). Bu noktadan hareketle, yurtdışı ve ülkemizde yapılan birçok araştırmada *E.coli* ve *Koliform* grup bakterilerin suların mikrobiyolojik kirliliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Konuyla ilgili daha önce yapılmış olan bazı önemli çalışmaların kısa özetleri aşağıda verilmiştir.

Bilgel ve ekibi tarafından Gemlik yöresinin şebeke ve kaynak sularıyla ilgili yapılan bir çalışmada, yöredeki 259 şebeke ve kaynak suyu zar – süzgeç yöntemi kullanılarak incelenmiş ve % 54.4'ünün koliform bakteriler yönünden kirli olduğu tespit edilmiştir (Bilgel ve ark., 1985).

Erzurum ovasında yer alan bazı köylerin içme sularının mikrobiyolojik analizleri üzerine yapılan çalışmada, örneklerden 62'sinde (% 51,6) toplam bakteri sayısının 500 adet/ml'den fazla olduğu, 69 örnekte (% 57,5) koliform bakteri ve 55 örnekte (% 48,5) fekal koliform bakteri olduğu tespit edilmiştir (Algur, 1988).

Kadıköy'de bulunan su istasyonlarından alınan 550, şişe sularından 30, kuyu sularından 15 ve musluk sularından 25 örneğin, uluslararası su kalitesi standartlarına uyguladığının baz alındığı bir çalışmada, su istasyonlarından alınan örneklerde % 8,3 oranında bakteriyel kontaminasyon tespit edilmiş, kuyu sularının % 70,3'ünde koliform bakteri saptanmıştır. Musluk sularında ve şişe sularında ise koliform bakteri tespit edilememiştir (Peker ve ark., 1988).

Ankara'nın gecekondü mahallelerindeki yüzeysel kuyularda yapılan araştırmalarda, 150 kuyuya ait su örnekleri rutin analiz metotları ile incelenerek koliform grup bakteriler aranmıştır. 150 su örneğinin 117'sinde (% 78) toplam koliform ve sıklıkla *E. coli* tespit edilmiştir (Yuluğ ve Tuğ, 1988).

Sudaki *E.coli* koliform bakterilerin membran filtrasyon yöntemiyle incelenmesi sonucu, kuyu suyu örneklerinden membran filtre yöntemini kullanarak yapılan incelemelerde 92 analizden 42'sinde 1, 32'sinde 2 ve 18'inde 3 adet toplam koliform belirlenmiştir. İzolatlar *E. coli* olarak tespit edilmiştir (Mates ve Shaffer, 1989).

Malezya'nın merkez laboratuvarına 0-60 km uzaklıktaki yoksul ve gecekondu bölgelerinde işlem görmemiş su kullanan, sağlık eğitimi ve programı uygulanmamış köylerdeki araştırmalarda; yüzeysel kuyulardan alınan 104 örnek membran filtre yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu çalışmada enterotoksijenik *E. coli* (ETEC) aranması yapılmıştır. Bunların 86 tanesinde fekal koliforma rastlanmıştır ve bunların 23 tanesi enterotoksijenik *E. coli* olarak bulunmuştur. Depo sularından alınan 83 örnekte 66 tanesinde fekal koliforma rastlanmıştır ve bunların da 11 tanesinde ise ETEC bulunmuştur (Vadivelu ve ark., 1989).

İzmir İli metropol alanında karışık su örneklerinin çoklu tüp yöntemi incelenmesi sonucu, 600 örnekte % 80.2 toplam koliform, % 47.2'sinde fekal koliform tespit edilmiştir (Coşkun ve ark., 1990).

İzmir'de yapılmış olan diğer bir çalışmada, şehir şebeke suyundan, kuyu sularından, kaynak sularından ve şişelenmiş ticari içme sularından alınan 100 adet su örneğinin 85'inin koliform bakteriler açısından standarda uygun olduğu belirlenirken, su örneklerinin 5'inde ise *E. coli* tespit edilmiştir (Gönül ve Karapınar, 1991).

Bakteriyolojik su göstergelerinin tespiti amacıyla yapılan bir çalışmada, lağım suları ile kirlenmiş nehir ve kaynak sularından alınan 25 örnek, varlık-yokluk, membran filtre ve çoklu tüp metotlarıyla çalışılmıştır. Sularda toplam koliform, fekal koliform, *P. aeruginosa*, *C. velchii*, *S. aureus* ve fekal streptokoklar araştırılmış, inceleme sonunda her örnekte toplam koliforma rastlanmıştır. En iyi metodun membran filtre ve en iyi inkübasyon süresinin de 35°C'de 48 saat olduğu tesbit edilmiştir (Martin ve ark., 1991).

Kanada' da satılan şişe sularının mikrobiyolojik kaliteleri ile ilgili bir araştırmada, 4000 metreden çıkarılan sularda bile çeşitli mikroorganizmaların (*Bacillus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, *Yersinia*) bulunduğu ve bazen mikroorganizma sayısının 105-107 koloni/ml'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, *P. aeruginosa*'nın sularda indikatör bir

mikroorganizma olarak seçilmesinin sebeplerine değinilmiş ve bu sebepler arasında *P. aeruginosa*'nın Brezilya, Kanada, Fransa, Almanya, İspanya ve diğer ülkelerde şişe sularında ve doğal kaynak sularında bulunmaması gerektiğinden, *P. Aeruginosa* varlığının çeşitli kirlenme şekillerine işaret edebildiği, su ile bulaşan başlıca patojen olması, düşük organik besin içerikli sularda (örneğin deiyonize ve distile sularda) gelişebilmesi ve mineral sularda 104 koloni/ml seviyesine ulaşabilmesi *P. aeruginosa* varlığının standart koliform sayım yöntemlerini baskılayabilmesi ve *P. aeruginosa* ile kirlenmenin suyun tadını, rengini ve berraklığını bozduğu gösterilmiştir. Ayrıca 104 içme suyu örneğinin dört tanesinden *P. aeruginosa* izole edilmiştir. Örneklerin hiç birisinde koliform, *E. coli* ve fekal *Streptokok*'lara rastlanmamıştır (Richards ve ark., 1992).

Ankara bölgesindeki kuyu suları ile ilgili yapılan çalışmada *Enterococcus*'ların varlığı m-Sodyum Azid besiyerinde araştırılmıştır. Çalışmada 5 ayrı bölgeden alınan su örneklerinde, Hasköy bölgesinden alınan örneklerde % 30 düzeyinde, diğer bölgelerde % 15 düzeyinde *E. faecalis* izole edilmiştir. Çalışmada ayrıca membran filtrasyon tekniği ile En Muhtemel Sayı (EMS) yöntemi karşılaştırılmış ve membran filtrasyon tekniğinin daha üstün olduğu bildirilmiştir (Rad ve ark., 1994).

Sivas'ta şebeke ve kaynak suları aynı yöntemle araştırılmış ve % 16,9-% 39,5 toplam koliform, % 6,4-25,1 fekal koliform bulunmuştur. Örneklerin % 60,4-83,0'ü temiz olarak değerlendirilmiştir (Alim ve ark., 1995).

İstanbul'da su istasyonlarında satışa sunulan içme sularının mikrobiyolojik analizi ile ilgili yapılan bir araştırmada incelenen 669 kaynak suyu örneğinin 352'sinde (% 52,6) herhangi bir üreme saptanmazken, 317'sinde (% 47,4) toplam koliform bakteri ve 99'unda (% 14,8) fekal koliform bakteri bulunduğu bildirilmiştir (Öz ve ark., 1996).

Eskişehir içme ve kullanma sularının bakteriyolojik kirliliği üzerine yapılan bir araştırmada, içme suyu örneklerinin 1'inde, kullanma suyu örneklerinin 10'unda toplam bakteri sayısı standartlara uygun bulunmamıştır. Yine içme sularının 88'inde

koliform bakteri saptanmış iken bu örneklerin tümünde *E. coli* ve fekal koliform belirlenmiştir. Ayrıca içme sularında Nisan (8 örnekte) ve Haziran (17 örnekte) aylarında fekal *Streptococcus* saptanmıştır (Kıvanç ve ark., 1996).

Suların kirlenmesinde biyolojik etkenler ile birlikte 60000 civarında kimyasal kirleticinin, suların kirlenmesine neden olduğu tesbit edilmiştir. Su kirliliği göstergesinin *E. coli* bakterisi olduğu, Türk içme ve kullanma suyu standardı ile Dünya Sağlık Teşkilatının su ile ilgili standartlarının karşılaştırılmasında, standartlarımızın biraz daha toleranslı olduğu görülmüştür (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Sivas yöresindeki bazı kuyu sularında koliform bakteri araştırılması ve soyutlanan *E.coli* kökenlerinin antibiyotik direnci ile ilgili yapılan çalışmada, Sivas ilindeki bazı kuyu sularından alınan 130 su örneği, çoklu tüp yöntemi ile incelemiş ve örneklerin % 64.6'sında toplam koliform ve % 46.2'sinde fekal koliform tespit edilmiştir (Demirtaş, 1997).

Narlıgöl'ün kimyasal ve biyolojik özellikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada göl sularından alınan numunelerin, çevrede otlatılan havanların pisliklerinden kaynaklanan, koliform bakteri yönünden kirlendiği tespit edilmiştir (Durak ve ark., 1997).

Keçiören İlçesi şebeke suyunun koliform bakteri yönünden yapılan analizlerde 84 şebeke suyu örneğinin 48'inde (% 57,1) toplam koliform, 10'unda (% 11,9) fekal koliform olduğu saptanmıştır (Arısoy ve ark., 1999).

Uludağ'daki su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri yönünden yapılan bir çalışmada Bursa Uludağ'da pınar kaynaklarının çıkış noktalarından alınan 280 adet numune TMAB ve koliform bakteri yönünden incelenmiştir. Numunelerin % 7,69'unda 50'den fazla TMAB ve koliform bakteri bulunduğu saptanmıştır (Günşen ve ark., 2000).

Ankara İl merkezinde bulunan askeri birliklerdeki kuyu sularının Polimeraz Zincir Reaksiyon Sistemi ile yapılan mikrobiyolojik analizlerinde garnizon içerisinde bulunan 4 ayrı birlikten 28 ayrı kuyu suyu alınmış ve alınan su örneklerinde termotoleran (toplam) koliform, *E. coli*, *Shigella* ve *Salmonella* bakterileri araştırılmıştır. 28 su örneğinin 14 tanesinde (% 50) tespit edilen termotoleran koliform bakterilerinin tamamı *E. coli* olarak tanımlanmıştır. Su örneklerinin hiç birinde *Salmonella* ve *Shigella* bakterilerine rastlanmamıştır (Hadse, 2002).

Tokat ilindeki içme sularının koliform bakteriler yönünden araştırılması sonucu Tokat ili halk sağlığı laboratuvarına gönderilen 2495 içme suyu örneği çoklu tüp yöntemine göre incelenmiş ve 342'sini (% 12,7) içmeye elverişsiz bulunmuştur. Patojen etken olarak tüm su örneklerinin 119'unda (% 34,7) *E. coli* (fokal koliform), 223'ünde (% 65,3) de toplam koliform tespit edilmiştir (Avcı ve ark., 2006).

Ankara bölgesinden sağlanan içme sularında *E. coli* ve koliform bakterilerin araştırılması sonucu incelenen toplam 100 su örneğinden, 16 pet şişe su örneğinde toplam bakteri üremezken, 22 damacana su örneğinin, 19'unda (% 86,36) ve 62 şebeke suyu örneğinin 30'unda (% 48,39) toplam bakteri tespit edilmiştir. Ayrıca % 12,24 oranında *Escherichia coli* saptanmıştır (Şeker ve ark., 2006).

Van Bölgesi içme ve kullanma sularının mikrobiyolojik kalitesinin halk sağlığı yönünden incelenmesi sonucunda Van merkez ve ilçelerinde bulunan kuyu, dere, kaynak/çeşme, musluk ve depo sularından alınan toplam 366 adet su örneğinde mezofil ve psikrofil aerob toplam bakteri, *Enterococcus*, koliform grubu mikroorganizma, *E. coli* ve sülfid indirgeyen anaeroblar incelenmiştir. Van merkez de 45 kuyu suyu örneğinin 3'ünde (% 7), ilçelerde 34 örneğin 8'inde (% 24) *E. coli* tespit edilmiştir. Merkezde 32 kaynak/çeşme suyu örneğinin 4'ünde (% 13), ilçelerde 37 örneğin 4'ünde (% 11), musluk suyu örneklerinde, ilçelerde 110 örneğin 1 (%1)'inde *E. coli* tespit edilirken, merkezde ise 30 örneğin hiç birisinde *E. coli*'ye rastlanmamıştır (Alişarlı ve ark., 2007).

İstanbul içme sularının Ekim 2002-Nisan 2006 tarihleri arasında bakteriyolojik yönden incelenmesi sonucunda. 134 içme suyu kaynağından alınan su örneğinin tamamında (% 100) koliform bakteri, % 46'sında dışkı kaynaklı *E. coli* tespit edilmiştir. Bu sularda ayrıca *Aeromonas* % 97, *Pseudomonas* % 67, *Vibrio* % 8 ve *Shigella* % 1 oranlarında bulunmuştur. 446 adet arıtma tesisi genel çıkış suyu ve 1657 şebeke suyu örneklerinde sırasıyla koliform bakteri % 4 ve % 5, dışkı kaynaklı *E. coli* % 1 ve % 2, *Aeromonas* % 16 ve % 23, *Pseudomonas* % 10 ve % 14 oranlarında saptanmıştır (Köksal ve ark., 2007).

Kaynak suyu tesislerinde olası mikrobiyal kontaminasyonun incelenmesi sonucu kaynaktan son ürüne kadar çeşitli noktalardan numuneler alınıp incelenmiştir. TMAB sayısı bakımından kaynağa ait su örneklerinin % 65'inin (ort. 4,3 kob/ml), dolumu yapılmış damacanalardan alınan örneklerin % 50'sinin (ort. 28,95 kob/ml); Koliform bakteri yönünden ise dolumu yapılmış damacanalardan alınan örneklerin %10'unun (ort. 3 EMS/250 ml) yönetmeliğe uygun olmadığı saptanmıştır. Örneklerin hiçbirisinde *E. coli* tespit edilmemiştir (Akhan ve Çetin, 2007).

İngiltere'de 1999-2002 yılları arasında, haftada 5 gün, kaynak sularından ve 5 farklı sahilden toplanan su örnekleri iki farklı metotla çalışılmış ve fekal kirliliğe sebep olan mikroorganizmanın *E. coli* olduğunu belirlenmiştir (Kinzelman ve ark., 2003).

Şişelenmiş su ile musluk suyunun bakteriyolojik kalite açısından karşılaştırılması amacıyla membran filtrasyon yöntemi ile 96 musluk suyu örneğinin 3'ünde toplam koliform ve fekal koliform, 77 şişe suyu örneğinin 31'inde toplam koliform, 8'inde fekal koliform bulunmuştur. Musluk suyu örneklerinde *E. coli* tespit edilmezken, şişe suyu örneklerinin 8'inden *E. coli* izole edilmiştir. Ayrıca 28 musluk suyu, 45 şişe suyu örneğinden *P. aeruginosa* izole edilmiştir. (Zamberlan da Silva ve ark., 2007).

Kaynak sularının fekal kontaminasyon nedenlerini araştırmak için yapılan çalışmada su ve sedimentlerden izole edilen 409 *E. coli* izolatının kaynakları rep-

PCR ile belirlenmiştir. 409 *E. coli* izolatının 201'ini (% 49) sığır, 69'unu (% 17) insan, 29'unu (% 7) at ve 110'unun (% 27) da doğadaki hayvanlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir (Vogel ve ark., 2007).

İngiltere ve İskoçya'da *E. coli* O157:H7'nin, büyükbaş hayvanlardan, havadan ve sudan bulaşarak insanlarda enfeksiyonlara sebep olmaları ile ilgili yapılan bir araştırmada, fekal mikroorganizmalardan özellikle *E. coli*'nin kesimhanelerde kesilen hayvanların feçesleri ile birincil su kaynaklarını kontamine ettikleri belirtilmiştir. Ayrıca İngiltere'de 2000-2006 yılları arasında bakterilerin sebep olduğu gastrointestinal enfeksiyonlara bakıldığında, 140.714 vakanın etmeni *Salmonella* spp. 10.701 vakanın etmeni *Shigella* spp. ve 7.560 vakanın da etmeninin *E. coli* O157:H7 olduğu saptanmıştır (Money ve ark., 2010).

Chongqing Yangtze Nehri havzasında 2007-2009 yılları arasında nehir suyundan membran filtrasyon yöntemi ile 1914 termotolerant koliform (TC) bakteri izole edilmiştir. İzolatlardan 319'unu (% 16,7) geniş spektrumlu beta-laktamaz (GSBL) üreten termotolerant koliform olarak tanımlanmıştır. 319 GSBL üreten TC'lerin 167'sini (% 52,4) *E. coli*, 114'ünü (% 35,8) *Klebsiella pneumoniae*, 9'unu *C. freundii*, 6'sını *Enterobacter cloacae* olarak tanımlanmıştır (Chen ve ark., 2010).

2.2. Soğuk Plazma

Plazma, düzgün bir biçim veya hacme sahip olmama ve manyetik alanda filament ışın veya çift katman oluşturabilme özelliklerinden dolayı maddenin dördüncü hali olarak tanımlanır (Chen, 1984). Başka bir deyişle, iyonik gaz veya elektronlardan oluşmuş gaz bileşikleri, polar iyonik gaz atomları, temel ve uyarılmış durumdaki moleküller ve elektrik alanının uygulanmasıyla meydana gelen ışık kuantasından oluşan bir gaz bileşimi olarak da tanımlanmaktadır (Chen, 1984). Toplamda nötr bir yapıda olan plazma; iyon, elektron, uyarılmış atom, foton, nötral atom veya moleküller içerir. Ancak iyonize olmuş her gaz kütesini plazma olarak tanımlamak yanlıştır. O halde genel olarak; serbest davranışlar gösteren yüklü ve nötr

parçacıkların bir arada bulunarak ortak hareket eden gazlara plazma denir (Chen, 1984).

Plazma parçacıklarının belli bir kısmı iyonlaşmış gaza benzeyen maddenin özel bir halidir. Plazmayı oluşturan temel durum, ısıtılan gazın moleküler bağlarından ayrışması ve onu oluşturan atomlara parçalanmasıdır. Isıtma işleminin devam etmesi iyonlaşmaya neden olur ve onu plazmaya dönüştürür (Baysal ve İçier, 2012).

Plazma teknolojisi günümüzde medikal cihaz, ilaç ve paketleme malzemelerinin sterilizasyonu ve dekontaminasyonu, tekstil ve paket malzemelerin yüzey modifikasyonu, ısıya duyarlı plastiklerden üretilen medikal cihazların yüzeyindeki kimyasalların uzaklaştırılması, su sterilizasyonu ve gıdaların sanitasyonu gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir (Baysal ve İçier, 2012).

Plazma sterilizasyonun etki mekanizması reaktif türlerin ve UV fotonların ayrı ayrı rollerinden ileri gelmektedir. Alışlagelmiş inaktivasyon kinetiği modellerinin aksine plazma sterilizasyonu birbirinden farklı üç temel mekanizmadan oluşmaktadır. Birinci mekanizma, mikroorganizmaların genetik materyallerinin UV ışınlarıyla (280-320 nm) direk yıkılması (Moison ve ark., 2002), ikinci mekanizma, mikroorganizma için temel teşkil eden atomik bileşenlerden gaza dönüşebilen bileşiklerin meydana gelerek UV ışımının etkisiyle foton kaynaklı desorpsiyon oluşmasından dolayı mikroorganizmaların atomik düzeyde aşınmasıdır (Baysal ve İçier, 2012). Üçüncü mekanizma ise, plazmada meydana gelen radikaller veya oksijen atomları kullanılarak yavaş yanmanın bir sonucu olarak gaza dönüşebilen bileşenlerden dolayı yüzeyden kopma sonucu mikroorganizmanın atomik düzeyde aşınmasıdır (Baysal ve İçier, 2012).

Plazmalar elde edilme metodları da dahil olmak üzere pek çok yolla sınıflandırılırlar. Plazma eldesinde kullanılan gaz sıcaklığı, oda sıcaklığında ise plazma soğuk veya termal olmayan plazma olarak isimlendirilir. Tam denge var ise sıcak veya termal plazma olarak isimlendirilir Termal olmayan plazmalar gıda

sterilizasyonu ve hijyen uygulamaları için uygun teknikler olarak düşünülmektedir (Baysal ve İçier, 2012).

Termal olmayan plazmalar, üretim, basınç aralığı ve elektrot geometrisi için kullanılan mekanizmaya bağlı olarak bazı grublara ayrılırlar (Eliason ve Kogelschatz, 1991).

Plazma parlak deşarj, düz elektrotlar arasında meydana gelen düşük basınç boşalmasıdır (Eliason ve Kogelschatz, 1991).

Korona Deşarj, sivri uçlu elektrot ile yüzey veya ince tel gibi homojen olmayan elektrot geometrileri kullanılarak atmosferik basınçta başlatılabilir. Korona deşarjlarında atmosferik basınçta iki elektrot arasında yüksek voltaj uygulanır ve plazma deşarjı telin ucu çevresinde ışık şeklinde ortaya çıkar. Bu süreçte elektronlar plazmanın içine doğru ivmelendirilirken, iyonlar tele doğru ivme kazanır. Plazmadaki bu yüksek enerjili elektronlar iyonlaşma, uyarılma ve radikalleri oluşturan çözümler yoluyla koronadaki ağır parçacıklarla çarpışır (Laroussi, 2002). Korona deşarjın suyun dezenfeksiyonu için ilk kez kullanımı Siemens tarafından rapor edilerek plazma teknolojisi mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılmaya başlanmıştır (Baysal ve İçier, 2012).

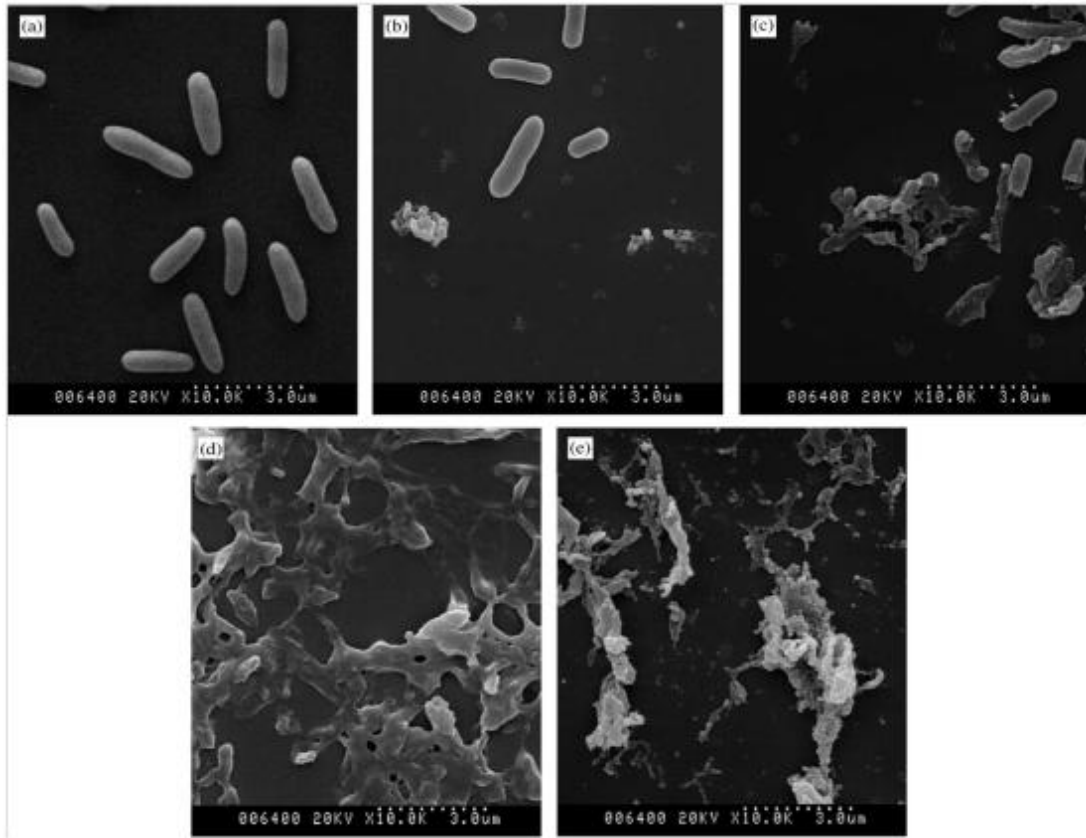
Sessiz deşarj ya da Dielektrik bariyer boşalması, plazma üretmek için akkor deşarjın uyarılmasının büyük bir hacmini ve korona deşarjın yüksek basıncını birleştirir. Sessiz deşarj tipik olarak elektrotlardan en az birini kaplayan dielektrik bariyer içerir. Dielektrik katman, yüksek dielektrik katsayısına sahip olmalıdır. Genellikle ısıya dayanıklı kuartz, cam gibi malzemeler kullanılır (Mark ve Scleup, 2001).

2.2.1. Soğuk Plazma ile Sterilizasyon İşlemi

Suyun dezenfeksiyonu için plazmanın bir türü olan korona deşarjın kullanımı ilk kez Siemens tarafından rapor edilerek plazma teknolojisi mikroorganizmaların

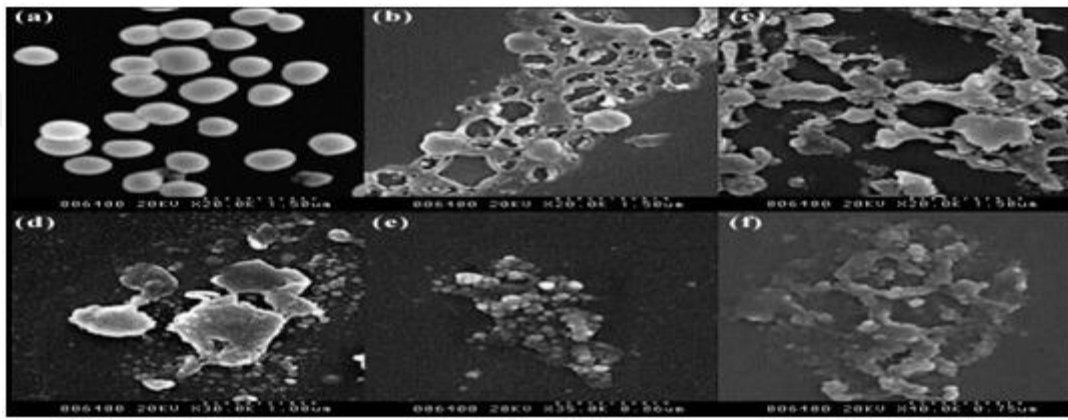
inaktivasyonu için kullanılmaya başlanmıştır (Baysal ve İçier, 2012). Plazma teknolojileri kullanılarak yapılan sterilizasyon çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Choi ve ark. (2006), 11 kV'luk DC puls elektrik alanlar, 1 mikro-saniye puls aralığı ile atmosferik basıncındaki hava üzerine uygulayarak atmosferik koşullardaki hava plazmasını üretmişlerdir. Daha sonra, üretilen bu plazmalar doğrudan prokaryot olan *E. coli* bakterileri üzerine uygulanmıştır. Şekil 2.2.'de farklı uygulama süreleriyle *E. coli* bakterileri üzerine atmosferik hava plazması uygulandıktan sonra çekilmiş olan SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil'den de görüldüğü gibi plazma ortamına maruz kalan *E. coli* bakterileri 10 saniye sonra deformasyona uğramıştır. Uygulama süresinin artmasıyla birlikte, bakterilerin hücre zarları ve hücre yapıları fiziksel olarak önemli derecede zarar görmüştür.



Şekil 2.2. Hava plazması uygulanan *E. coli* bakterilerinin SEM görüntüleri (Choi ve ark., 2006)

Lee ve ark. (2005), 1 kW gücünde ve 2.45 GHz frekansındaki mikrodalga güç kaynağı ile atmosferik basınçta ürettikleri argon plazmasını MRSA hücreleri üzerine uygulamışlardır. Şekil 2.3a.'da, referans (plazma uygulanmamış) hücrenin SEM görüntüsü, diğerleri ise sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 saniye sürelerle plazma ortamına maruz bırakılan MRSA hücrelerinin SEM görüntüleridir. Şekil 2.2.'den de görüldüğü gibi, mikrodalga plazma uygulanan hücrelerin fiziksel yapıları önemli ölçüde zarar görmüştür. Neticede, daha yüksek güç ve daha kısa puls kullanılması bakterilerin daha kısa zamanda etkilenmesine sebep olmuştur.

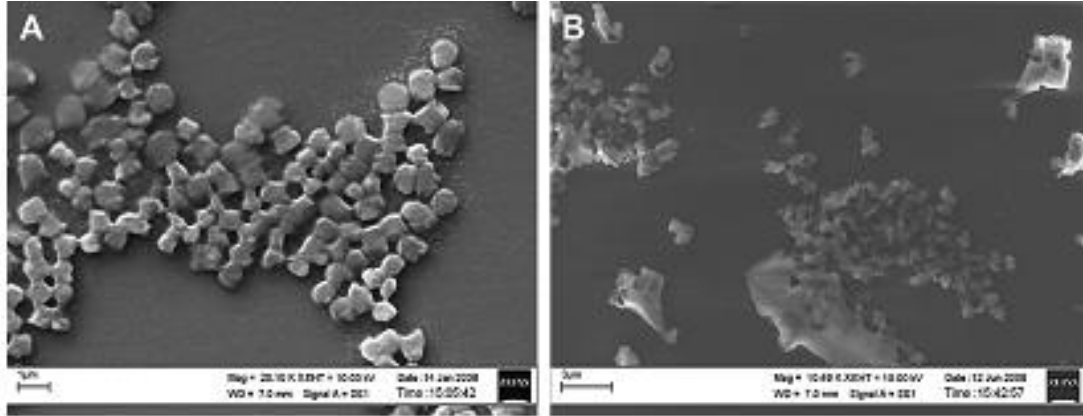


Şekil 2.3. Mikrodalga plazma etkisi. MRSA hücrelerinin SEM görüntüleri (Lee ve ark., 2005)

Plazmaların çoğu sıcak ortamlar oldukları için bakteriler üzerinde ısı etkisi de vardır. Isı etkisi ile sterilizasyon uygulamasının yeni teknolojilerde yeterince kullanışlı olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla son yıllarda, tıp ve biyomedikalde çok pahalı polimer tabanlı yeni cihazlar kullanılmaktadır. Örneğin damar içinde hareket eden ve tıkalı damar tespiti yapan mikro kameralar, son derece pahalı cihazlardır. Bu tip kameraların kullanıldıktan sonra, bir başka insanda tekrar kullanılabilmesi için steril edilmesi gereklidir. Ancak bu cihazlar ısıya karşı çok hassas oldukları için ısı etkisi olmadan steril edilmelidirler (Lee ve ark., 2005).

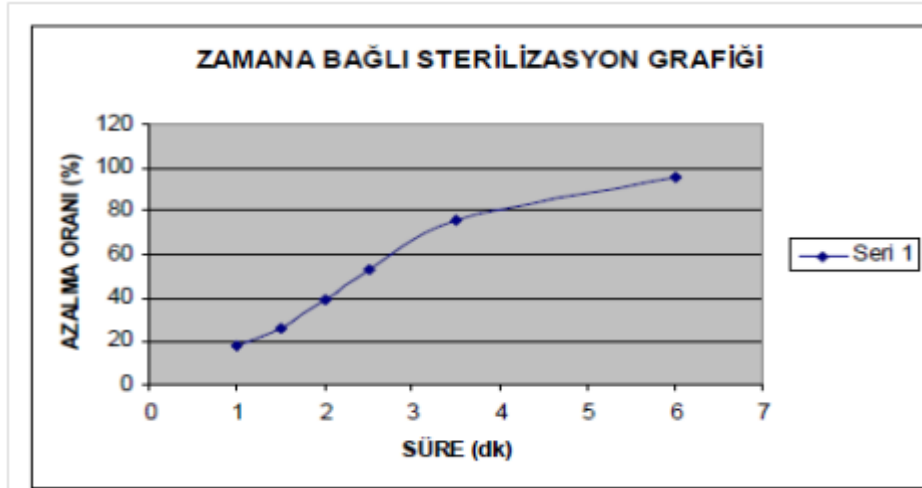
Shimizu ve ark. (2008), tarafından yapılan çalışmada, taşıyıcı gaz olarak havanın kullanıldığı; 1,05 kV'luk gerilimle oluşturulan plazmanın *E. coli* bakterileri üzerine olan etkisi sonucu % 100 sterilizasyon sağlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak nitrojenin kullanıldığı ve 1,15 kV' luk gerilimle elde edilen plazma ortamında ise bu oranın % 77 ye düştüğü gözlenmiştir.

Korachi ve ark. (2010), tarafından yapılmış olan çalışmada, soğuk plazma uygulamalarının *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır. Şekil 2.4.'ten de görüldüğü gibi, 2 dakikalık soğuk plazma uygulamasının bakteriler üzerinde önemli bir deformasyon etkisi meydana getirdiği ve bakteri kolonilerinin sayısının büyük oranda azaldığı gözlenmiştir.



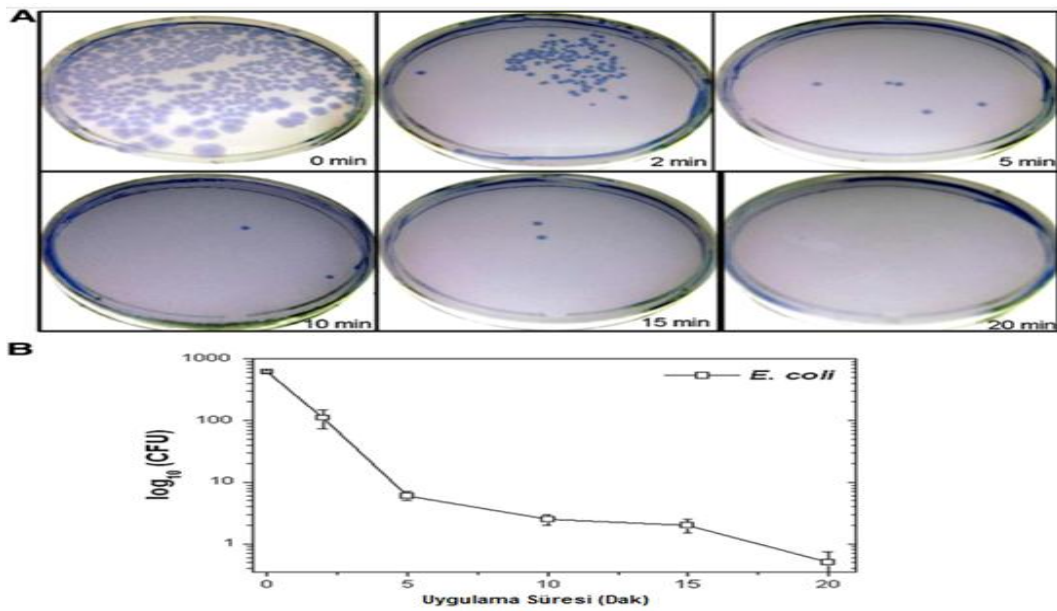
Şekil 2.4. a) Plazma öncesi *E. coli* SEM görüntüleri b) 2 dakika plazma uygulaması sonucu elde edilen SEM görüntüleri (Korachi ve ark., 2010)

Özaltın (2009), tarafından yapılan çalışmada, toprakta bulunan ve genellikle patates ve domates üzerinde yaşayan çürüklükle ilgili bakteriyel hastalık etmeni olan *Erwinia carotovora* bakterisinin parlak deşarj plazma ortamındaki sterilizasyonu incelenmiştir. Sisteme, sabit gerilim ve sabit akım altında parlak deşarj uygulanarak yüksek gerilim plazmasına maruz kalan bakterilerin zaman içerisindeki yoğunlukları belli aralıklarla takip edilmiştir. Şekil 2.5.'ten de görüldüğü gibi plazma etkisi altındaki bakteriler sırasıyla 1 dk, 1,5 dk, 2 dk, 2,5 dk, 3,5 dk ve 6 dk sürelerle yüksek akım ve gerilime maruz kalmışlar ve zaman içerisinde hücrelerini sarmalayan çeperlerinin yırtılmasıyla ölmüşlerdir. Çalışma sonucunda plazma uygulanan *Erwinia carotovora* bakteri çözeltisinin 6 dakikalık uygulama zamanı sonucunda % 96 oranında sterilize oldukları gözlenmiştir.



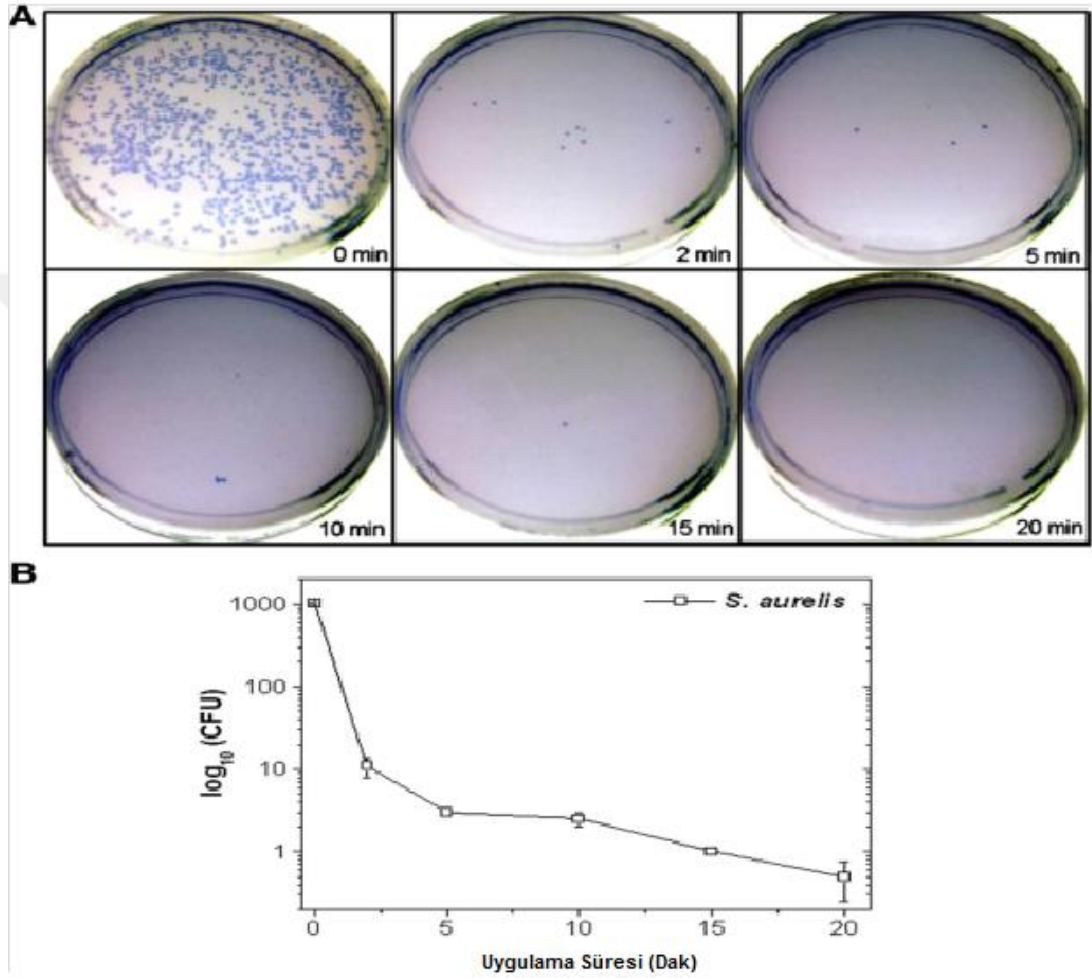
Şekil 2.5. Zamana bağlı sterilizasyon grafiği (Özaltın, 2009)

Kostov ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada ise, başlangıç olarak 10^4 Hücre/mL gram (-) *Escherichia coli* ile gram (+) *Staphylococcus aureus* bakteri süspansiyonunu 6 adet petri kutusuna yaymışlar. Ardından petri kutularından birini kontrol grubu olarak tutarken 5 petri kutusuna da dielektrik bariyer boşalması (DBB) uygulamışlardır. Şekil 2.6.dan da görüldüğü üzere, DBB uygulama süresinin artışına bağlı olarak petri kutularındaki üremenin azaldığı ve 20 dakikalık uygulama sonunda ise bakterilerin tamamen inaktive edildikleri tespit edilmiştir.



Şekil 2.6. *E. coli* içeren petri kutularına DBB uygulaması sonuçları (Kostov ve ark., 2010)

Dielektirik bariyer boşalmasının petri kutularına yayılmış *S.aureus* üzerine olan etkisi Şekil 2.7.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi plazma ortamına maruz bırakılmış olan bütün *S.aureus* bakterilerinin neredeyse tamamı 20. dakikada inaktif hale gelmişlerdir.



Şekil 2.7. *S.aureus* içeren petri kutularına DBB uygulaması sonuçları (Kostov ve ark., 2010)

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için aynı enerji yoğunluğu koşulu dikkate alındığında, frekans değerleri muhtemelen plazma uygulama süresinden daha etkindir ve frekans etkisi uygulama süresiyle ters orantılıdır. Bu nedenle bakteri inaktivasyonu işlemlerinde düşük frekanslı güç kaynakları kullanıldığında, zaman açısından birkaç dakika beklenmesi gerekir (Kostov ve ark., 2010).

Aktan (2011), bakterilerin sterilizasyon işlemi için üretilen atmosferik basınç soğuk plazmayı, yalıtkan bir cam tüp içerisinde akan helyum gazı ile elde etmiş ve 5-10 kHz düşük frekans değerlerinde ve değişik sinüzoidal gerilimlerde *E. coli* ve *S. aureus* bakteri çözeltileri üzerine uygulamıştır. Uygulama süresi, her bir gerilim değeri ve her bir bakteri için 1, 2, 3 dakika olarak belirlenmiştir. Optiksel salınım spektrum (OES) metodu kullanılarak atomik ve moleküler parçacık türleri belirlenmeye çalışılmıştır. Frekansın ve gerilimin artırılması sonucu, *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerinin sterilizasyon işleminin gerçekleştirildiği gözlenmiştir.



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Doğal Kaynak Suyu

Çalışmamızda ticari olarak üretilen ve 0,5 litrelik pet şişelerde ambalajlanmış doğal kaynak suyu kullanılmıştır.

3.1.2. *E. coli* (ATCC25922) Bakterisi

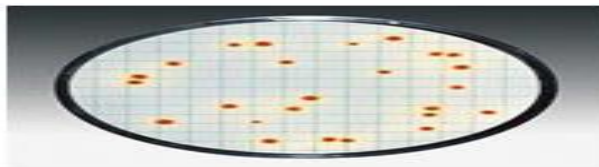
Çalışmamızda, özel medikal bir firmadan temin edilen *E. coli* ATCC(25922) bakterisi kullanılmıştır. Katı besiyerinde muhafaza edilerek laboratuvarımıza ulaştırılan *E. coli* ATCC (25922), nutrient broth sıvı besiyerine pasajlanarak sıvı kültürü hazırlanmıştır.

3.1.3. Çalışmada Kullanılan Besiyerleri

3.1.3.1. Tergitol TTC NKS/NPS (Sartorius 14056)

Çalışmamızda, su numunelerine DBB uygulandıktan sonra suyun mikrobiyolojik analizinde tergitol TTC kullanılmıştır.

Tergitol TTC medikal bir firmadan temin edilmiştir. Tergitol TTC 0,45 μm kalınlığında, beyaz zemin üzerine yeşil çizgi ile karelendirilmiş membran filtre (Sartorius 13906) ile kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Tergitol TTC'de *Escherichia coli* (Halkman, 2012)

3.1.3.2. Nutrient Broth (Merck 1.05443)

Nutrient Broth (Merck 1.05443) Siirt Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

3.1.4. Membran Filtrasyon Düzeneği

Membran filtrasyon düzeneği vakum hunisi, nuçe erleni, membran filtre ve taşıyıcısı ile vakum pompasından oluşur. Vakum hunisi paslanmaz çelik ve plastikten, çoğunlukla da polikarbonattan yapılmıştır. Deney sırasında istenmeyen kontaminasyonların engellenmesi amacıyla, vakum hunisi kapak ile kapatılmıştır. Düzeneğin huni kısmı bir kısıkaç ve paso yardımıyla membran filtrenin yer aldığı filtre taşıyıcısına sabitlenmiştir. Bu kısım nuçe erleni üzerine oturtularak erlen vakum pompasına bağlanmıştır (Pichhardt, 2006). Çalışmamızda paslanmaz çelik vakum hunisi ve 0,45 mikronluk membran filtre kâğıtları kullanılmıştır. Membran filtrasyon ekipmanları Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Membran Filtrasyon Düzeneği Ekipmanları (Sartorius)

3.1.5. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan DBB Reaktörü ve Elektrot Sistemi

Çalışmamızda kullanılan şeffaf reaktör ve elektrot sistemi şeması Şekil 3.3.'te verilmiştir. Reaktör, 30 mm çapında, 50 mm yüksekliğinde ve 35 mL hacminde olan

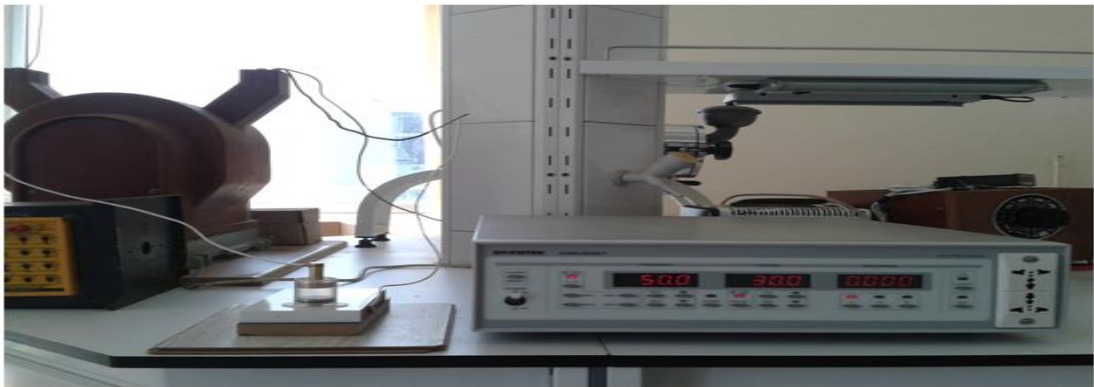
şeffaf polietilen malzemeden yapılmıştır. Reaktörün alt ve üst kısımlarına merkezlenmiş olan ve etraflarına O ring yerleştirilmiş sızdırmaz kuyruklu piston şeklinde iki adet yüksek gerilim elektrodu yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3. DBB deney sisteminde kullanılan reaktör şeması

3.1.6. DBB Deney Sistemi

DBB deney sistemi Şekil 3.4.'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sistemde bir adet 220/33000 V 800 W gücündeki trafo, bir adet GWINSTEK APS-9501 tip 0-500 Hz değişken frekans ve 0-400 V arası gerilim sağlayabilen ve ayarlanabilen dijital güç kaynağı kullanılmıştır. DBB uygulamalarından sonra bakteri inkübasyonu için adet BINDER BD53/E2 tip etüv, homojen karışımı sağlamak amacıyla bir adet SELECTA Celmas-L tip manyetik karıştırıcı, Roto SYNTH Milestone tip mikrodalga fırın ve SHIMADZU AX 200 tip hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3.4. DBB Deney Sistemi

3.2 Yöntem

3.2.1. Doğal Kaynak Suyunun Çalışma için Hazırlanması

Çalışmamızda piyasadan alınarak laboratuvara getirilen doğal kaynak suyu sterilizasyon amacıyla 0,20 mikronluk filtrelerden geçirilerek 5 mL'lik steril plazma reaktörlerine aktarılmıştır. *E. coli* inoküle edilerek plazma reaktörlerine aktarılan doğal kaynak suyuna DBB işlemi uygulanmıştır.

3.2.2. *E. coli* ATCC(25922) Bakterisinin Çalışma İçin Hazırlanması

Çalışmamızda, özel medikal bir firmadan temin edilen *E. coli* ATCC (25922) bakterisi kullanılmıştır. Katı besiyerinde muhafaza edilerek laboratuvarımıza ulaştırılan *E. coli* ATCC (25922), nutrient broth sıvı besiyerine pasajlanarak sıvı kültürü hazırlanmıştır.

3.2.3. Nutrient Broth (Merck 1.05443) Besiyerinin Hazırlanması

Çalışmamızda laboratuvarda hazır olarak bulunan dehidre Nutrient Broth besiyeri 8 gram tartılarak, 1 litre damıtık su içinde çözülmüş ve 100 mililitre hacimlerde erlenmayerlere aktararak sterilize edilmiştir.

3.2.4. Çalışmaların Yapıldığı Deney Sistemi

Bakteri analizlerinin yapıldığı deney sistemi Şekil 3.5.'de verilmiştir. Sistemde 10^{-3} -1 mmHg değerlerine kadar vakum yapabilen bir adet vakum pompası, özel yapım süzgeç, erlen ve ihtiyaca binaen çeşitli ölçek ve tipte cam beherler kullanılmıştır. Sistemde ayrıca, saf su sistemi, UV kaynaklı çeker ocak, Bek Alev Sistemi, pipet, kıskaç, pens vs. kullanılmıştır. Çeker ocağın dış kısımları çelik sacdan, iç kısmı ise paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Ön kısmında ise 5 mm kalınlığındaki düz camdan imal edilmiş olan ve motor yardımıyla hareket ettirilebilen bir kapak mevcuttur. Deneysel çalışmalarda kullanılan su numuneleri bu

sistemde hazırlanmış ve daha sonra Şekil 3.4.'te verilen DBB sisteminde plazma işlemi uygulanmıştır. Analizlerin yapıldığı sistem sterilizasyon amacıyla deneyden 24 saat öncesinde temizlenerek 24 saat süresince UV ışınlarına tabi tutulmuştur. Deney sırasında kullanılan el aletleri ise her durumda Bek alevinden geçirilerek sterilize edilmişlerdir. Her deney işlemi için bu metot ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu şekilde kontaminasyon oranı minimize edilmiştir.

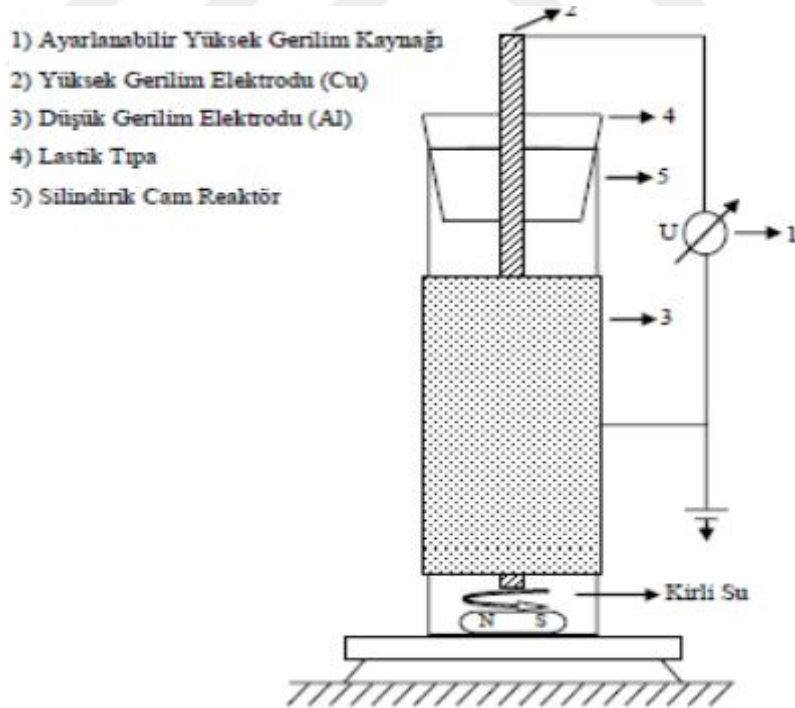


Şekil 3.5. Çalışmaların yapıldığı deney sistemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Çalışmamız kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda suyun sterilizasyonu işleminde, DBB yönteminin oldukça etkin olduğu gözlemlendi. Deneysel çalışmalarda kullanılan plazmanın türüne (Korona veya Bariyer Boşalması) bağlı olarak iki farklı reaktör tipi tasarlanarak deneyler gerçekleştirildi. Şekil 4.1.'de gösterilen reaktörde korona boşalması yardımıyla soğuk plazma ortamı oluşturularak çok sayıda deney yapıldı. Bu reaktör ile yapılan deneyler ile ilgili parametreler özet olarak Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Şekil 4.1.'de gösterilen reaktörün kullanılmasıyla yapılan deneysel çalışmalarda, Çizelge 4.1.'de verilen parametrelerin denenmesine rağmen suyun sterilizasyonuna yönelik kayda değer bir sonuç alınamadı. Bu nedenle, yeni bir reaktör tasarlanarak (Şekil 4.2.) deneysel çalışmalar sürdürüldü.



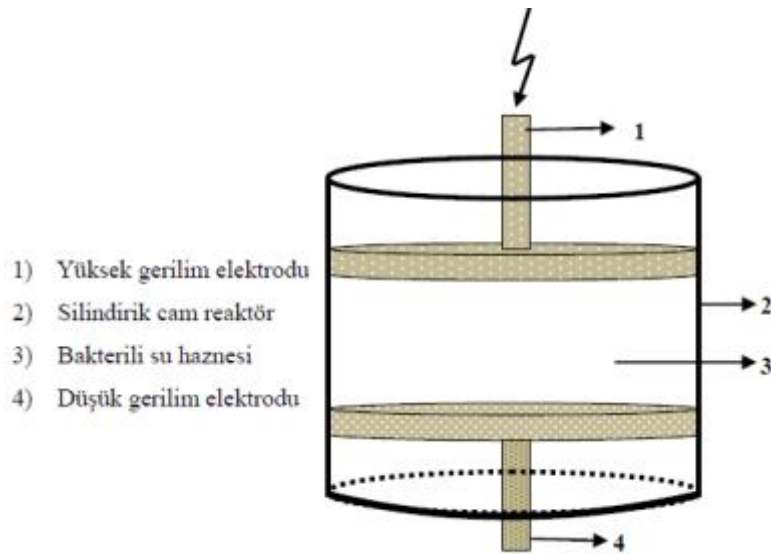
Şekil 4.1. DBB ve Korona Boşalması plazma ortamının reaktör şeması

Çizelge 4.1. DBB ve Korona Boşalması deney parametreleri

1. Reaktör Deney Parametreleri (AC ve DC elektrik akımlarında deneyler tekrarlanmıştır.)															
Parametre	I. Deney Grubu					II. Deney Grubu					III. Deney Grubu				
Uygulama Süresi	1 dk					5 dk					10 dk				
Uygulama Gerilimi	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV
Uygulama Frekansı	50 Hz					50 Hz					50 Hz				

Parametre	IV. Deney Grubu					V. Deney Grubu					VI. Deney Grubu				
Uygulama Süresi	15 dk.					20 dk					25 dk				
Uygulama Gerilimi	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV	1 kV	5 kV	10 kV	15 kV	20 kV
Uygulama Frekansı	50 Hz					50 Hz					50 Hz				

Şekil 4.1.'de verilen reaktörün kullanılmasıyla yapılan deneylerden kayda değer bir sonuç alınamaması üzerine Şekil 4.2.'de gösterilen yeni bir reaktör tasarlanarak ve Çizelge 4.2.'de verilen parametler kullanılarak deneysel çalışmalara devam edildi. Şekil 4.2.'de gösterilen reaktör ile yapılan çalışmalarda, özellikle kaynak frekansının ve gerilimin yüksek olduğu durumlarda boşalma etkisinin daha güçlü olduğu gözlemlendi. Yapılan deneysel çalışmalarda genel olarak uygulama süresi etkinliği, uygulama gerilimi etkinliği ve frekans etkinliği parametreleri incelenerek parametre etkinliği için ise 3 farklı uygulama yapıldı. Uygulamalarda kullanılan parametreler Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.



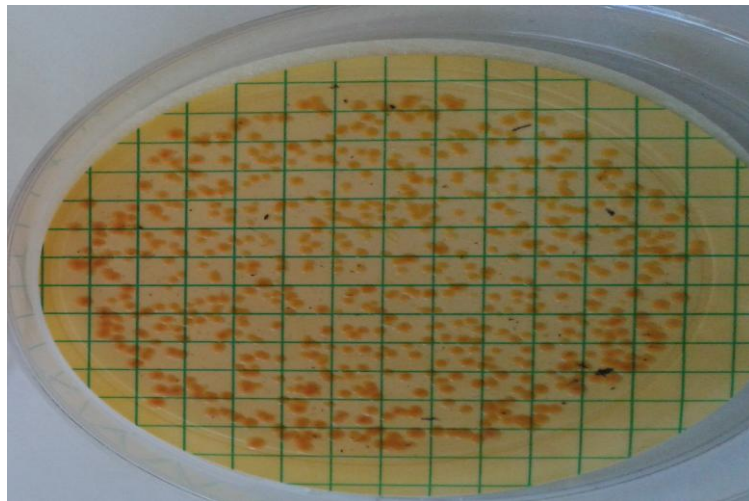
Şekil 4.2. DBB soğuk plazma ortamının reaktör şeması

Çizelge 4.2. Deneysel çalışmalarda incelenen parametreler

Uygulama Süresi					
Parametre	I. Deney	II. Deney	III. Deney	IV. Deney	V. Deney
Uygulama Süresi	30 sn	1 dk	2 dk	3 dk	5 dk
Uygulama Gerilimi	5 kV	5 kV	5 kV	5 kV	5 kV
Uygulama Frekansı	500 Hz	500 Hz	500 Hz	500 Hz	500 Hz
Uygulama Gerilimi					
Parametre	I. Deney	II. Deney	III. Deney	IV. Deney	V. Deney
Uygulama Gerilimi	0,5 kV	1 kV	3 kV	4 kV	5 kV
Uygulama Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk
Uygulama Frekansı	500 Hz	500 Hz	500 Hz	500 Hz	500 Hz
Uygulama Frekansı					
Parametre	I. Deney	II. Deney	III. Deney	IV. Deney	V. Deney
Uygulama Frekansı	50 Hz.	100 Hz.	200 Hz.	350 Hz.	500 Hz.
Uygulama Gerilimi	5 kV	5 kV	5 kV	5 kV	5 kV
Uygulama Süresi	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk	5 dk

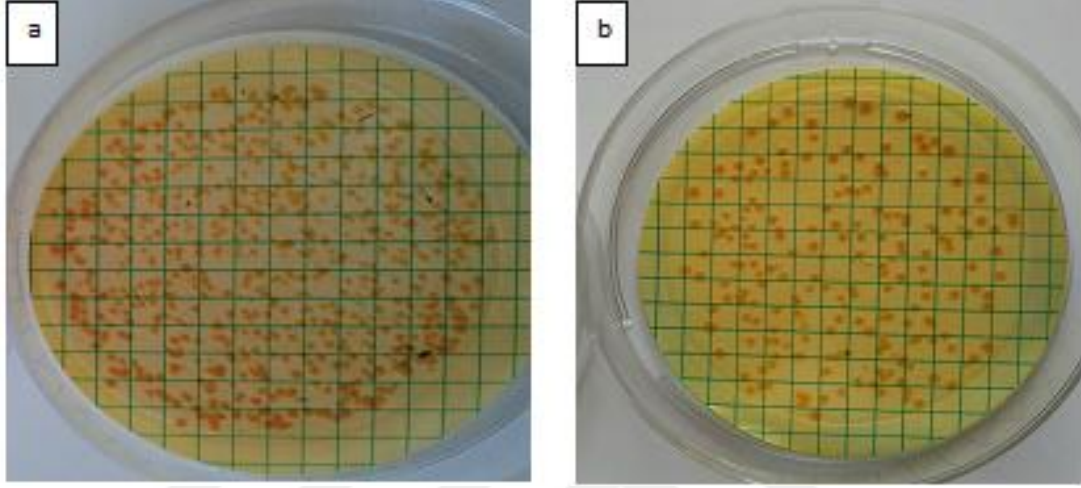
4.1.1. Uygulama Süresi Etkinliği

DBB deneylerinde yapılan analizlerde uygulama süresi etkinliğinin önemli olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.3.'de 10^{-3} oranında seyreltilerek suya inoküle edilen ve herhangi bir işlem uygulanmadan membran filtrasyon tekniği ile ekimi yapılan örnek verilmiştir. Herhangi bir işleme tabi tutulmadığı için referans olarak seçildi.



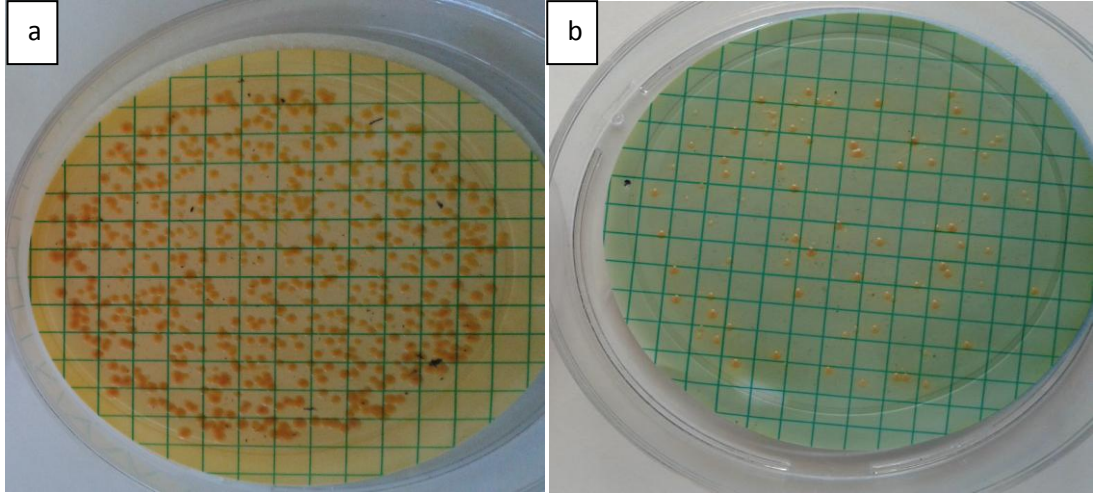
Şekil 4.3. Herhangi bir işlem uygulanmamış (Referans) bakteri plağı

Şekil 4.4.'te verilen bakteri plağına 500 Hz frekansındaki 5 kV uygulama gerilimi altında oluşturulmuş olan DBB soğuk plazma 30 saniye süreyle uygulandı. Şekilden de görüldüğü gibi Şekil 4.3.'te de verilmiş olan referansa göre bu süre zarfında bakteri sayısında önemli derecede bir azalma olmasına rağmen sterilizasyon sağlanamadı. Bu nedenle uygulama süresinin bir sonraki adımına geçildi.



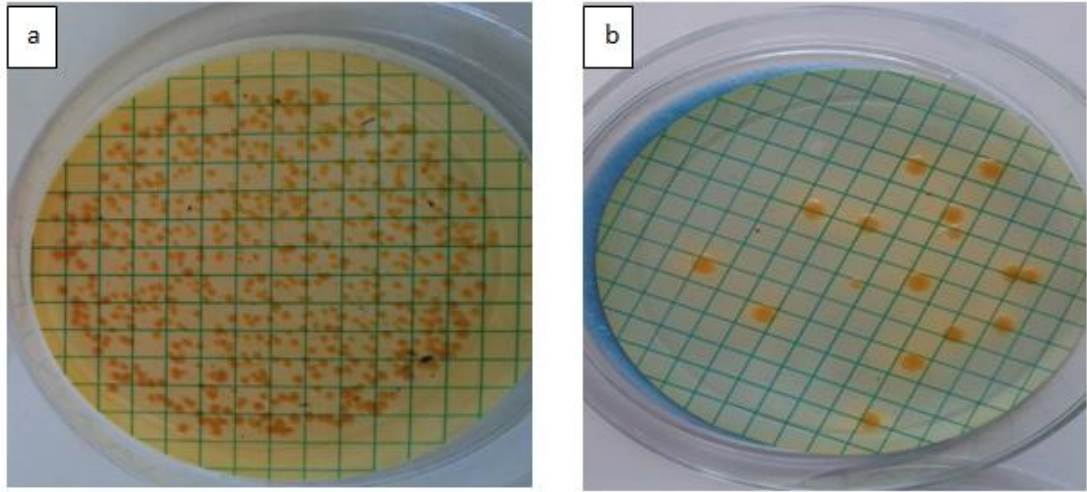
Şekil 4.4. a) Referans b) 30 sn süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

İkinci adımda aynı frekans ve gerilim koşullarında uygulama süresi 1 dakika olarak gerçekleştirildi. Bu koşullarda uygulanan DBB soğuk plazma işlemi neticesinde alınan sonuçlar Şekil 4.5.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bakteri sayısında bir azalma olmuş fakat yine de istenilen düzeyde bir azalma elde edilemedi. Plazma ortamı temel olarak yoğun bir iyon-elektron bulutu ve serbest hareket edebilen yüklü parçacıklar içerdiğinden etki ettiği yüzeyi veya hacmi, uygulama gerilimine bağlı olarak kuvvetli bir bombardıman işlemine maruz bırakır. Bu işlemde katot elektrodundan anot elektroduna doğru bombardıman edilen uzay hacim yükleri, iki elektrot aralığında bulunan maddeye çarpma suretiyle yüzeyde önemli fiziksel değişimler ve tahribatlar meydana getirir. Eğer elektrot aralığındaki madde veya cisim bir canlı bakteri ise bu bakteri, maruz kaldığı kuvvetli elektrik alanı ve yoğun yük bombardımanı sonucunda bakterilerin dış yüzeylerinde veya iç kısımlarında meydana gelen hücre tahribatları veya dış kılıflarının yanması neticesinde canlılıklarını yitirirler.



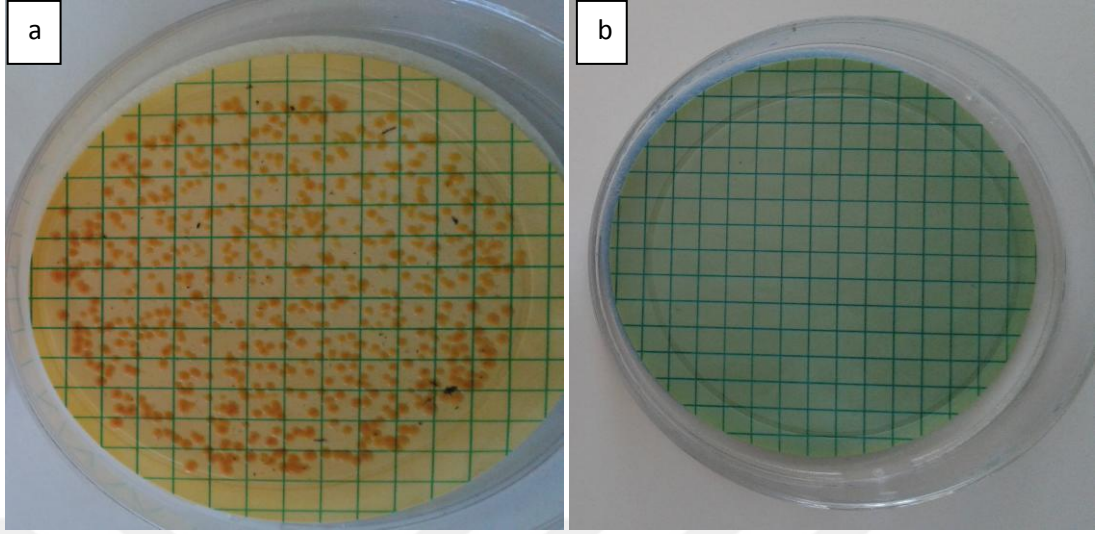
Şekil 4.5. a) Referans b) 1 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama zamanının daha da arttırılarak 2 dk'ya çıkartılması durumunda bakteri kolonileri sayılarında önemli derecede azalma meydana geldiği görüldü. Bu durum Şekil 4.6.'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, 1 dk'lık uygulama süresinde koloni sayısı 100'lerle ifade edilirken, 2 dakikalık uygulama süresinde bu sayının 16 koloniye kadar düştüğü gözlemlendi. Daha sonra uygulama süresi adım adım arttırılarak en etkin uygulama süresi belirleninceye kadar bu artış devam ettirildi.



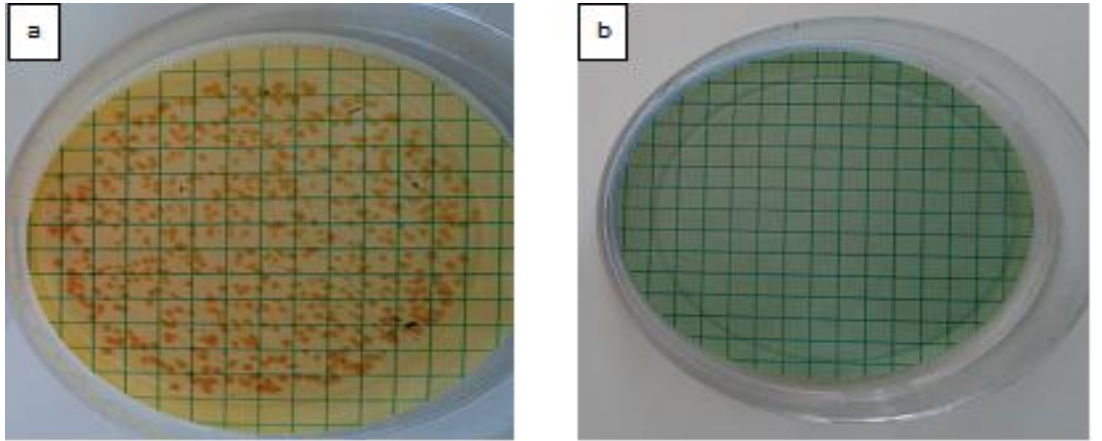
Şekil 4.6. a) Referans b) 2 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama süresinin 3 dakikaya çıkartılması neticesinde ise DBB uygulanan su numesinin sterilizasyon işleminin gerçekleştiği gözlemlendi. Bu durum Şekil 4.7.'de verilmiştir.

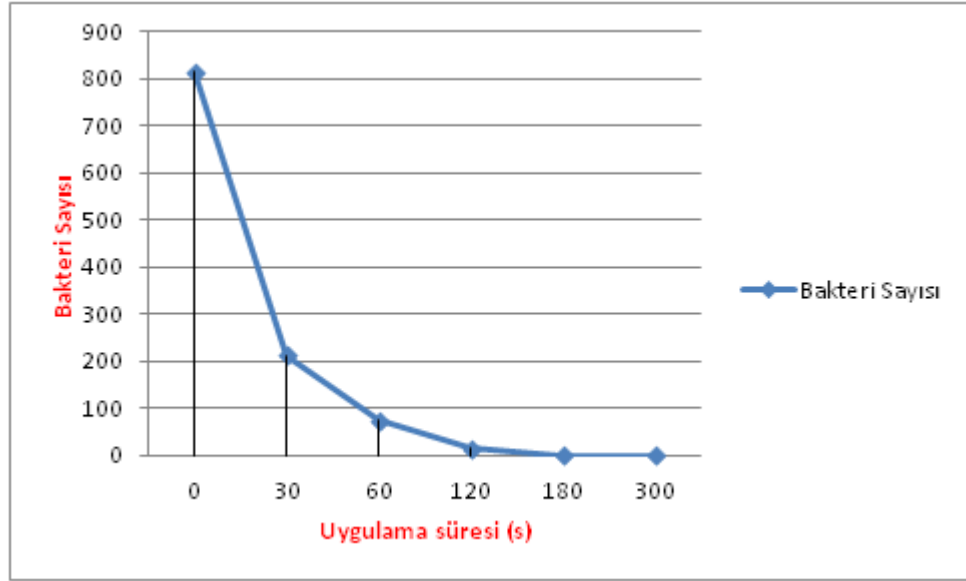


Şekil 4.7. a) Referans b) 3 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama süresinin daha da arttırılarak 5 dk'ya çıkartılması durumunda ise Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi DBB uygulanan su numunesinde tam bir sterilizasyon sağlandığı gözlemlendi. Bu noktadan hareketle, verilen koşullardaki en etkin uygulama süresinin 3 dakika olduğu tespit edildi.



Şekil 4.8. a) Referans b) 5 dk süreli soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

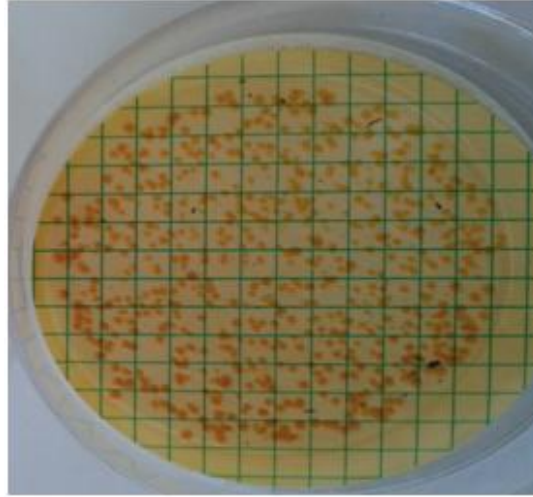


Şekil 4.9. Bakteri sayısının uygulama süresi ile değişim grafiği

Şekil 4.3.-4.8.'de verilen farklı DBB soğuk plazma uygulama süreleri için *E. coli* inoküle edilmiş su numunelerindeki bakteri yoğunluklarının uygulama süresine göre değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi 30 saniye ile başlayan uygulama süresinin bakteri sayısı üzerindeki etkinliğinde, 500 Hz uygulama frekansında ve 5 kV uygulama gerilimi altında bakteri sayısında düzenli bir azalma gerçekleşmiştir. 3 dakika ve 5 dakikalık plazma uygulaması sonucunda su tamamen bakterilerden arındırılmıştır. Bakteri sayısındaki azalmanın uygulama süresine göre değişimi ters orantılı olup davranış non-lineerdir. Uygulama süresi artıkça bakteri sayısında azalma çok hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir.

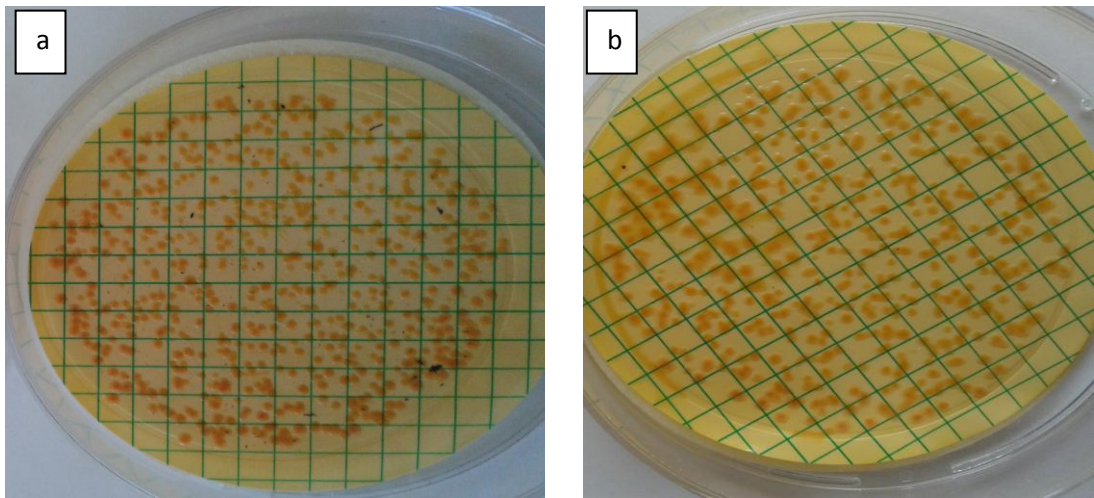
4.1.2. Uygulama Gerilimi Etkinliği

DBB deneylerinde yapılan analizlerde uygulama gerilimi etkinliğinin önemli olduğu gözlemlendi. Şekil 4.10.'da 10^{-3} oranında seyreltilerek suya inoküle edilen ve herhangi işlem uygulanmadan membran filtrasyon tekniği ile ekimi yapılan örnek verilmiştir. Herhangi bir işleme tabi tutulmadığı için referans olarak seçildi.



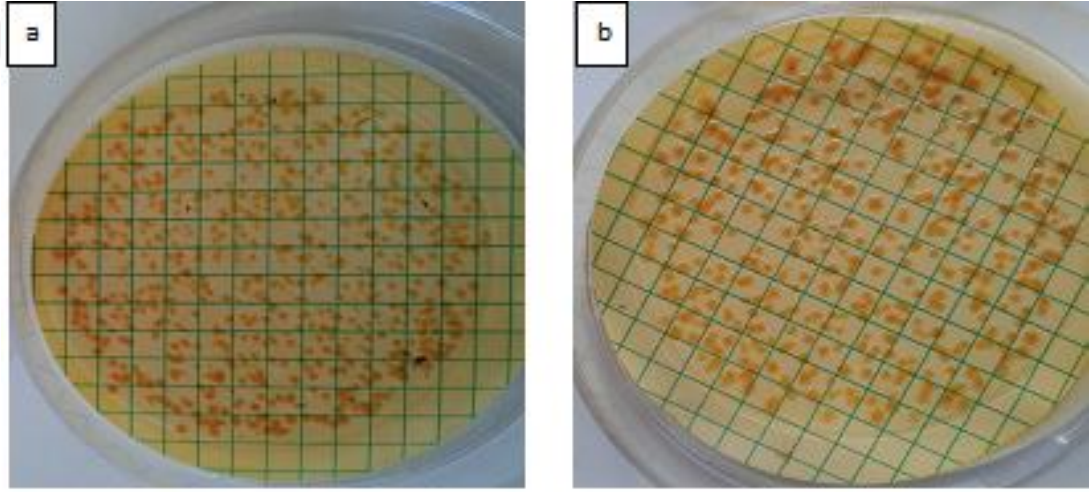
Şekil 4.10. Gerilim etkinliği için herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan numune

Bariyer boşalması yöntemiyle suyun sterilizasyonu işleminde etkin olan diğer bir parametre ise uygulama gerilimi etkinliğidir. Bu parametrenin en iyi etkinlik değerinin belirlenebilmesi için 0.5 kV, 1 kV, 3 kV, 4 kV ve 5 kV gerilim uygulamaları yapıldı. Yapılan analizlerde plazma uygulama geriliminin bakteri üremesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlendi. Şekil 4.11.'de 0.5 kV plazma uygulama gerilimindeki bakteri üreme durumu görülmektedir. Şekil 4.11a. referans grup Şekil 4.11b. ise 0.5 kV plazma uygulama gerilimindeki durumu göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi verilen koşullarda 0.5 kV gerilim değerinin, bakteri üremesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlendi.



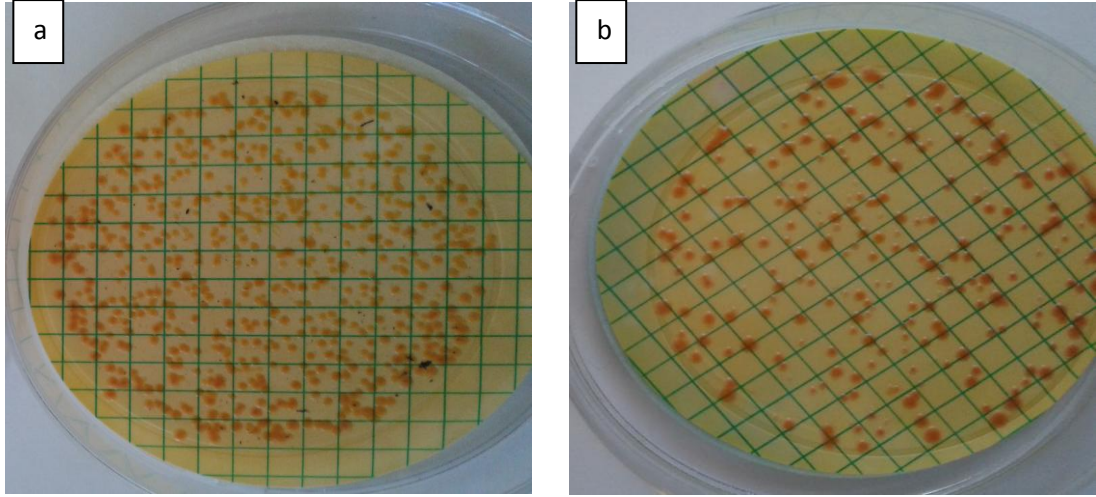
Şekil 4.11. a) Referans b) 0.5 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Şekil 4.12.'de plazma uygulama geriliminin arttırılarak 1 kV değerine çıkarıldı. Bu koşullardaki bakteri üreme durumunda da önemli bir değişiklik olmadığı görüldü. Uygulama gerilimi diğer bir ifadeyle kenar kuvvet anlamına gelmekte ve bu parametre plazma bombardımanı şiddetiyle doğru orantılıdır. Dolayısıyla plazma uygulama gerilimi değeri ne kadar yüksek olursa, plazmanın bombardıman etkisi de o derecede artacaktır. Buna bağlı olarak iki elektrot arasındaki yüklü parçacık yoğunluğu da artacaktır. Yüklü parçacık sayısının artması, ortamdaki bakterilerle çarpışma olasılığını arttıracak ve bu da bakterilerin öldürülmesindeki etkinliği büyük oranda arttıracaktır.



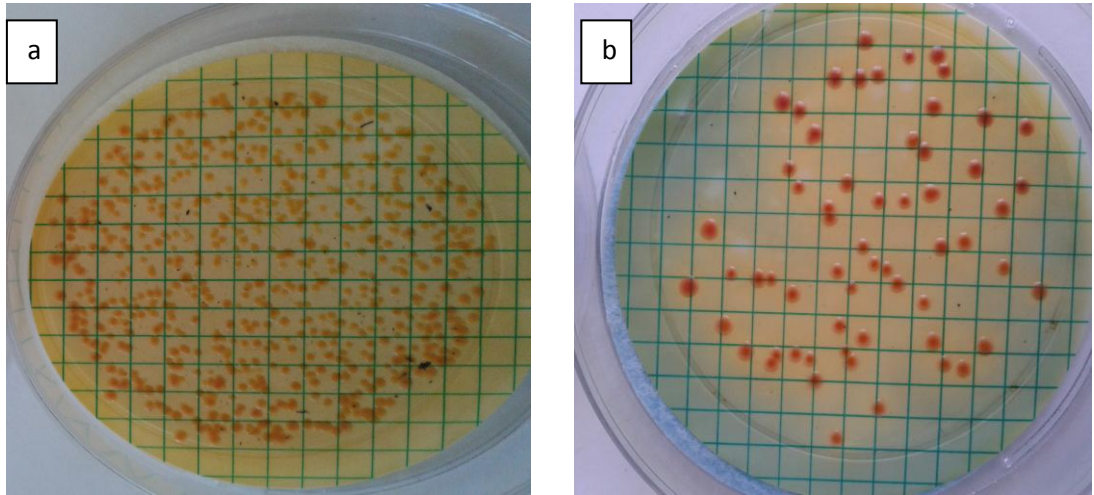
Şekil 4.12. a) Referans b) 1 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama geriliminin daha da arttırılarak 3 kV'a çıkarılması durumunda elde edilen bakteri üreme miktarı Şekil 4.13.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi verilen koşullarda ve 3 kV uygulama gerilimindeki plazmanın bakteri üremesi üzerinde önemli bir etki göstermediği sonucuna varıldı. Bu nedenle uygulama geriliminin bir adım daha arttırıldı.



Şekil 4.13. a) Referans b) 3 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

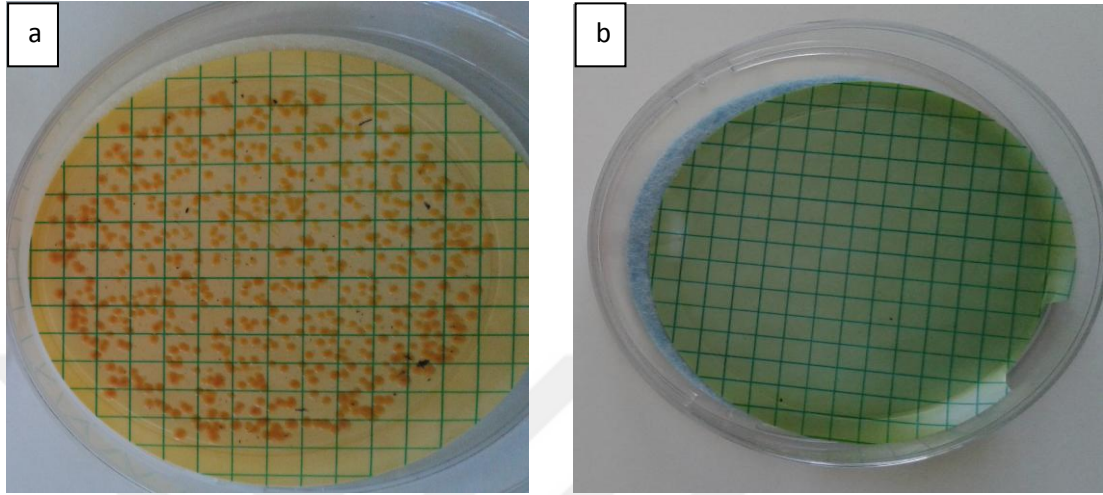
Uygulama geriliminin bir adım daha arttırılarak 4 kV'a çıkarılması durumunda elde edilen bakteri üreme miktarı Şekil 4.14.'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 4 kV uygulama geriliminde oluşturulan soğuk plazmanın bakteri üremesi üzerinde belirgin bir etkisi olmuş ancak bakterileri tamamen inaktive olmadıkları gözlemlendi. Dolayısıyla bu durumda uygulama değerinin en etkin miktarını belirleyebilmek için bu gerilim değerindeki artış miktarı kademeli olarak daha da yükseltildi.



Şekil 4.14. a) Referans b) 4 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama gerilimi değerinin 5 kV'a çıkarılması neticesinde, bu değer bakterinin üremesi üzerinde büyük oranda bir etki gösterdiği ve verilen koşullardaki plazmanın

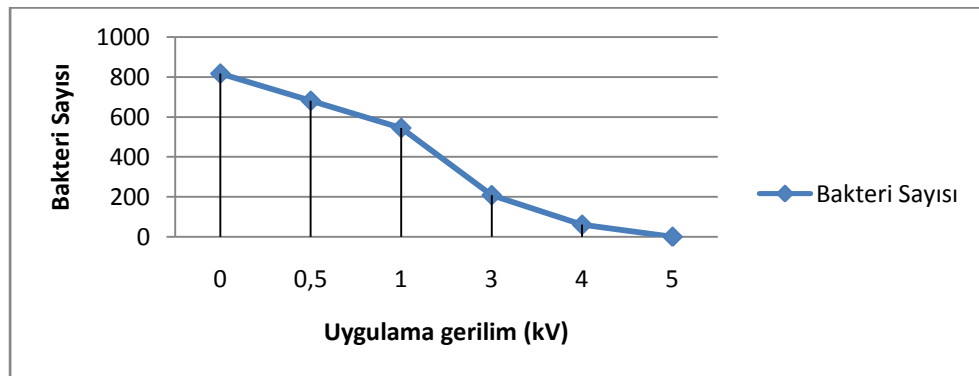
bu uygulama gerilimi değerinde bakteri üremesini tamamen durdurduğu ve dolayısıyla tam bir sterilizasyon sağladığı gözlemlendi. Bu durum Şekil 4.15.'te verilmiştir.



Şekil 4.15. a) Referans b) 5 kV geriliminde soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Şekil 4.15.'ten de görüldüğü gibi uygulanan plazma işleminden sonra petri kutusunda hiçbir bakteri üremesi gerçekleşmedi. Bu noktadan hareketle, yukarıda uygulanmış olan gerilim arttırma adımları sonucunda en etkin olan uygulama gerilimi parametresi değerinin 5 kV olarak tespit edildi.

Uygulama gerilimi ile ilgili yukarıda verilen şekillere bakıldığında, plazma uygulama gerilimi etkisinin bakteri üremesi üzerinde nonlineer bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

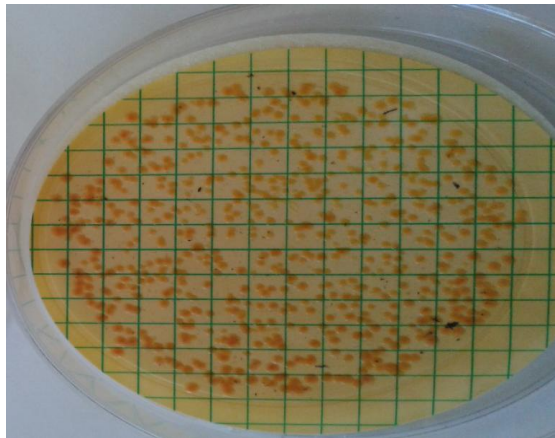


Şekil 4.16. Uygulama gerilimi etkinliğinin bakteri üremesi üzerindeki etkisi

Şekil 4.16.'da ortamdaki bakteri sayısının uygulama gerilimi ile değişimi verilmiştir. Şekil 4.16.'da görüldüğü 0,5 kV ile başlayan uygulama geriliminin bakteri sayısı üzerindeki etkinliği 500 Hz uygulama frekansında ve 5 dk uygulama süresinde, uygulama geriliminin 0,5 kV'tan başlanarak kademeli olarak 1 kV, 3 kV, 4 kV ve 5 kV olması halinde bakteri sayısında düzenli bir azalış gerçekleşmiştir. 5 kV uygulama gerilimi altında plazma uygulaması sonucunda su tamamen bakterilerden arındırılmıştır. Aynı şekil üzerinde görüleceği gibi 1kV'a kadar uygulanan gerilimlerde ortamdaki bakteri sayısındaki azalma, uygulama gerilimi ile lineer olarak azalmakta ve 1kV'dan daha büyük gerilimlerde ise bakteri sayısındaki azalma lineer olarak değil nonliner olarak daha hızlı bir şekilde azalmaktadır.

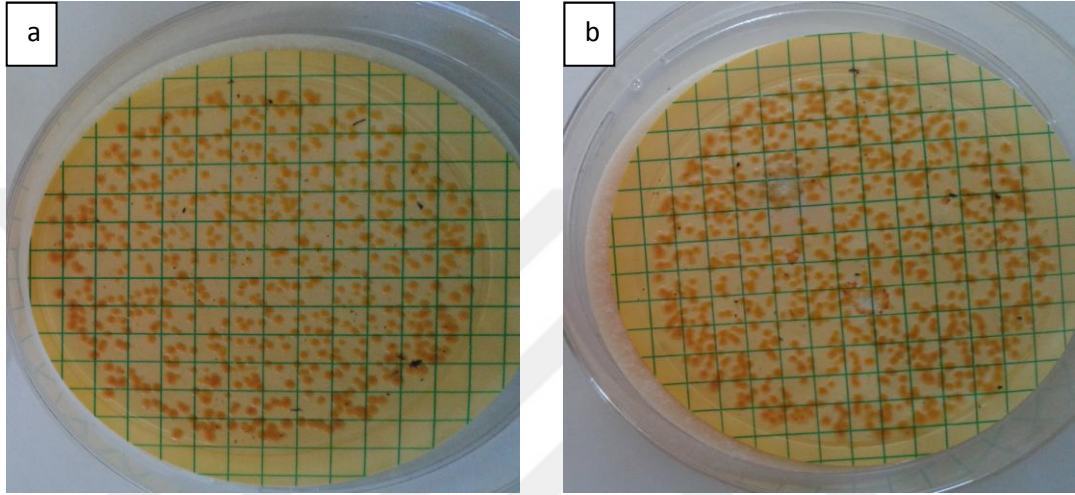
4.1.3. Uygulama Frekansı Etkinliği

DBB deneylerinde yapılan analizlerde uygulama gerilimi etkinliğinin önemli olduğu gözlemlendi. Uygulama süresi adımları 0.5 dakikadan başlayarak kademeli olarak 5 dakikaya kadar yükseltilerek deneysel çalışmalar tekrarlandı. Yapılan analizlerde uygulama süresinin düşük değerlerinde plazmanın etkisinin çok az olduğu, fakat yüksek değerlerde (3-5 dk) ise plazmanın bakteri üremesi üzerinde çok önemli etkiler gösterdiği saptandı. Şekil 4.17.'de 10^{-3} oranında seyreltilerek suya inoküle edilen ve herhangi işlem uygulanmadan membran filtrasyon tekniği ile ekimi yapılan örnek bir bakteri üreme ortamının görüntüsü verilmiştir. Bu örnek, herhangi bir işleme tabi tutulmadığı için deneysel çalışmalarımız için referans olarak seçildi.



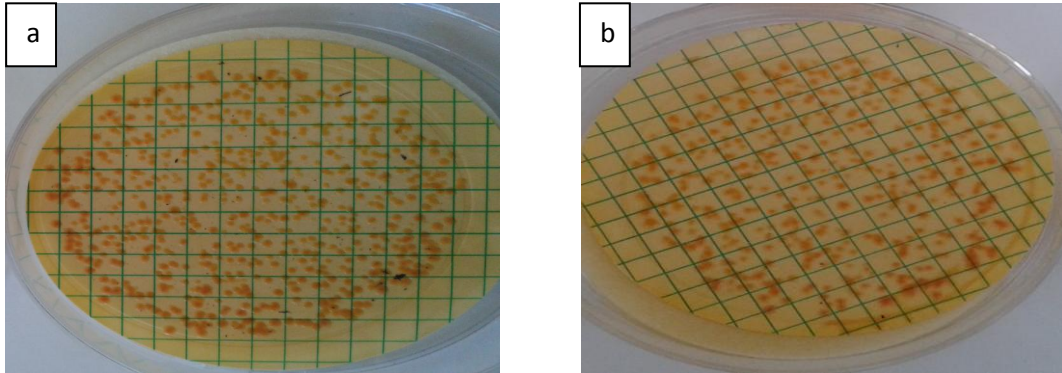
Şekil 4.17. Frekansı etkinliği için herhangi bir işleme tabi tutulmamış örnek

Bariyer boşalmasının uygulama frekansı etkinliği için 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz ve 500 Hz frekans değerleri incelendi. Şekil 4.18.'de 5 kV uygulama gerilimi, 5 dk uygulama süresi ve 50 Hz frekans uygulamasındaki bakteri üreme durumu görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 50 Hz frekansın bakteri üremesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlendi. Bu durumda uygulama frekansı bir adım arttırılarak deneyler tekrarlandı.



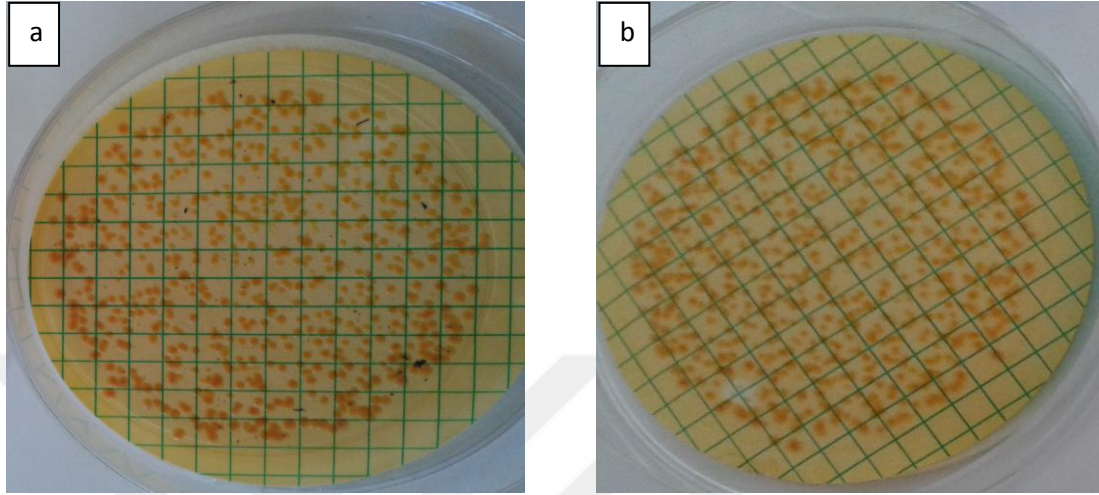
Şekil 4.18. a) Referans b) 50 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Bariyer boşalmasının 5 kV uygulama gerilimi ve 5 dk uygulama süresi koşullarında ve 100 Hz frekansında, sudaki bakteri üreme durumu Şekil 4.19.'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi verilen koşullardaki frekans etkisinin bakteri üremesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlendi.



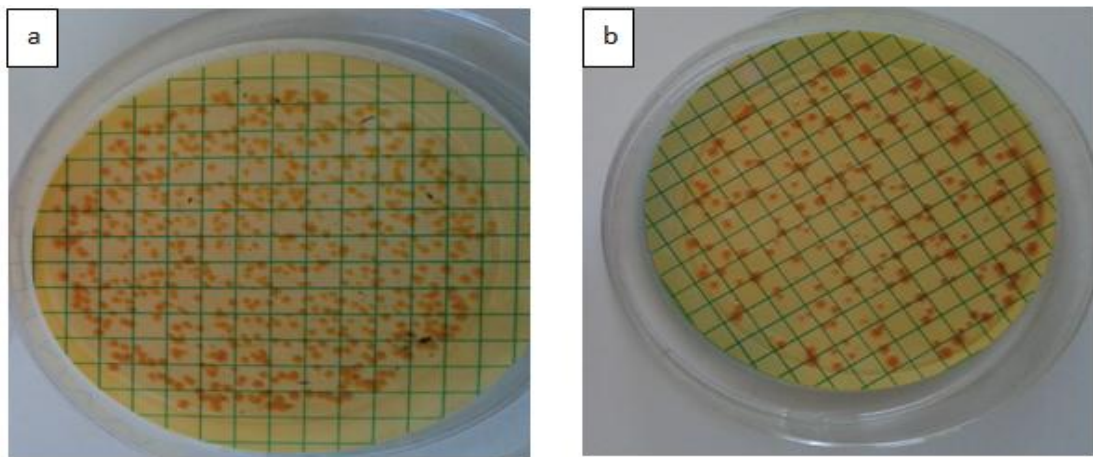
Şekil 4.19. a) Referans b) 100 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Uygulama frekansının daha da yükseltilerek 200 Hz çıkartılması durumundaki bakteri üreme durumu Şekil 4.20.'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bu uygulama frekansı değeri de bakteri üremesi üzerinde istenilen etkiyi göstermedi.



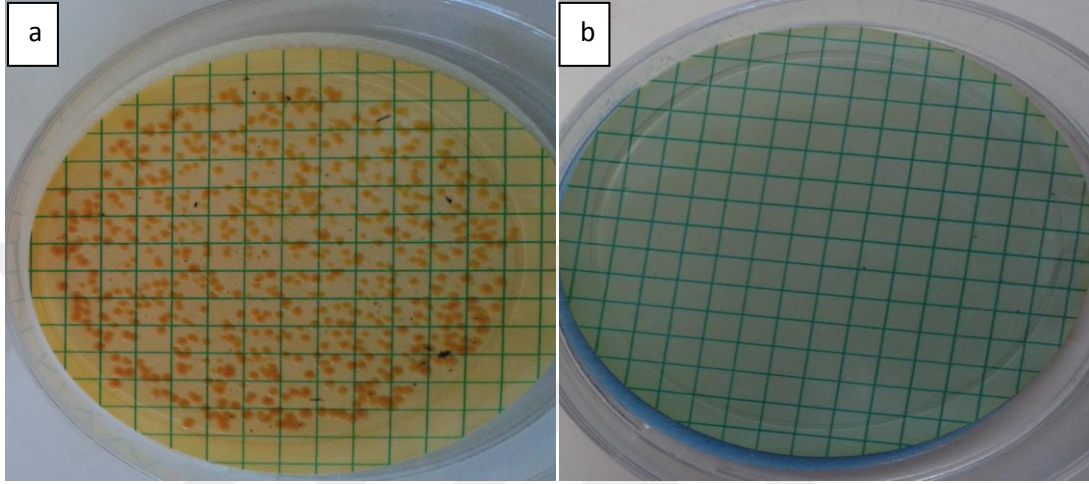
Şekil 4.20. a) Referans b) 200 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Şekil 4.21.'de uygulama frekansı değerinin bir adım daha arttırılarak 350 Hz değerine çıkartılması sonucunda, bu değerin bakteri üremesi üzerinde önemli bir etki gösterdiği gözlemlendi. Fakat 350 Hz frekans değeri de *E. coli* bakteri üremesini tam olarak yok edemediğinden dolayı bu değerin bir adım daha arttırılması gerektiği sonucuna varıldı.



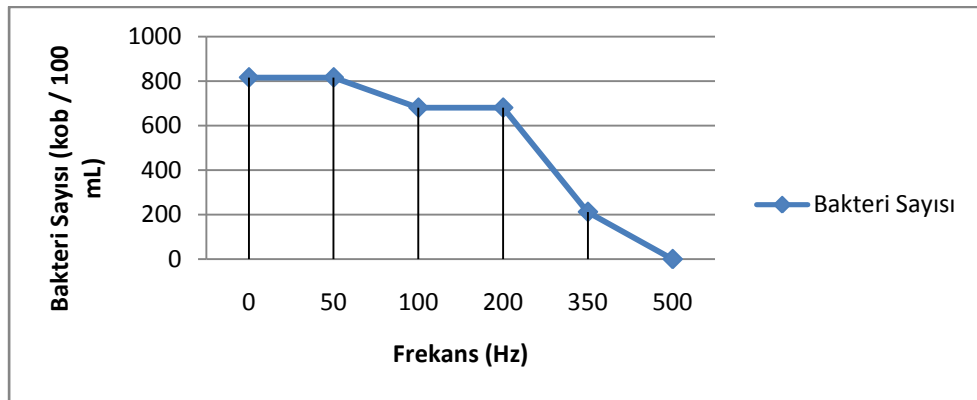
Şekil 4.21. a) Referans b) 350 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Şekil 4.22.'de uygulama frekansı değerinin 500 Hz değerine çıkartılması neticesinde bariyer boşalması plazmasının *E. coli* bakterisi üzerinde önemli derecede etkili olduğu ve tam sterilizasyon sağladığı gözlemlendi. Dolayısıyla, uygulama frekansının bu değerinin en uygun uygulama frekansı değeri olarak seçilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.22. a) Referans b) 500 Hz frekansında soğuk plazma uygulanmış bakteri durumu

Şekil 4.17.- Şekil 4.22. arasında farklı frekansların bakteri sayısı üzerine görsel etkilerinden yararlanılarak bakteri sayısı üzerine farklı frekansların etkinliğinin sayısal grafiği Şekil 4.23.'te verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi DBB soğuk plazma oluşturulurken kullanılan frekans büyüklüğünün bakteri sayısındaki azalma üzerine etkileri adımsaldır. Yani belirli frekans aralıklarında belirli etkiler söz konusudur.



Şekil 4.23. Uygulama frekansının *E. coli* üremesi üzerindeki etkinlik grafiği

Şekil 4.23.'te görüldüğü gibi 50 Hz ile başlayan uygulama frekansının bakteri sayısı üzerindeki etkinliğinde 5 kV uygulama geriliminde ve 5 dk uygulama süresinde, uygulama frekansının 50 Hz'den başlanarak kademeli olarak 100 Hz, 200 Hz, 350 Hz. ve 500 Hz olması sağlanmıştır. Uygulama frekansının 50 Hz'den 100 Hz'e çıkarılması ile bakteri sayısında azalış gerçekleşti. Ancak 100 Hz ile 200 Hz arasında bakteri sayısında herhangi bir azalış gözlenmedi. Uygulama frekansının 200 Hz'den 350 Hz'e çıkarılması durumunda bakteri sayısında ciddi bir azalış gerçekleşmiş ancak maksimum verimlilik 500 Hz'de sağlandı. Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz; uygulanan frekanslar sabit bir zaman aralığında olduğu için söz konusu zaman süreci içinde bakteri azalma hızı, ancak 5 kV ve 500 Hz frekasta artmaktadır.

4.2. Tartışma

Sterilizasyondaki temel esas, virüsler dâhil tüm bakteriler ve protozoon parazitlerin tamamen öldürülmesidir. Suyun sterilizasyonu işlemlerinde başlıca klor, ozon ve UV gibi yöntemler kullanılmaktadır (Bitton, 2005).

Klorlama yöntemi 20. yüzyılın başlarında patojen mikroorganizmalara karşı ek bir güvence sağlamak amacıyla uygulanmaya başlanmıştır. Atık sular içindeki maddelerin çokluğu klorun dezenfeksiyon etkinliğini azaltır. Bu sebeple klor, atık sularda ancak yüksek konsantrasyonlarda (20-30 ppm) etkili olabilir. Fakat son yıllarda yapılan araştırmalara göre klorlama kaynaklı oluşan yan ürünlerin genotoksik olabileceği kanıtlanmıştır (Bitton, 2005).

Ozon yönteminin bakterisidal ve sporosidal etkileri uzun süredir bilinmektedir. Ozon (O_3), çevreye zararlı atık oluşturmamasına rağmen kararsız olması, depolanma güçlüğü ve saf ozonun elde edilmesindeki zorluklar nedeniyle sterilizasyon işlemlerinde kullanımı sınırlıdır (Sultan, 2006). Ozon, sporlu bakteriler ve virüsler için, klor gazına göre daha etkindir. Genel olarak 0,4 mg/L ozonla 4 dakika içinde etkin bir dezenfeksiyon işlemi sağlanabilir. Kalıcı etkisi yoktur. Maliyeti ise yüksektir (Çelfiş, 2010).

Suyun dezenfeksiyonun da kullanılan diğer bir yöntem olan ultraviyole yöntemi ise temelde 200-300 nm dalga boyundaki UV ışınlarıdır. UV yönteminin dezenfektan etkisi yüksektir. UV ışınları, derinliğinin fazla olmaması, demir içermemesi ve bulanık olmaması durumunda suyun içindeki mikroorganizmaları öldürür. Ancak kalıcı etkisi yoktur. Maliyeti ise yüksektir (Özaltın, 2009).

Suyun sterilizasyonunda kullanılan yöntemlerden Klorlamanın yüksek konsantrasyonlarda etkili olması ve genotoksik etkisi (Bitton, 2005), Ozanlama ile sterilizasyonun ise kalıcı etkisinin olmaması ayrıca maliyetinin yüksek olması (Çelfiş, 2010), UV ışınlarının etkisini sadece su derinliğinin fazla olmadığı, demir içermediği ve bulanık olmadığı durumlarda göstermesi; ayrıca maliyetinin yüksek olması (Özaltın, 2009), gibi etkenler önemli dezavantajlar olarak değerlendirilmektedirler.

Suyun dezenfeksiyonu için plazmanın bir türü olan korona deşarjın kullanımı ilk kez Siemens tarafından rapor edilerek plazma teknolojisi mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılmaya başlanmıştır (Baysal ve İçier, 2012).

Çalışmalarda plazmanın bir türü olan sessiz deşarj olarakta adlandırılan dielektrik bariyer boşalması yöntemi kullanılmıştır.

Özaltın (2009), *Erwinia carotovora* bakterisi çözeltilisinin parlak desarj plazma ortamındaki sterilizasyonunu incelemiştir. Çalışma sonucunda plazma uygulanan *Erwinia carotovora* bakteri çözeltilisinin 6 dakikalık uygulama zamanı sonucunda % 96 oranında bakteri yoğunluğunda azalma olduğu gözlenmiştir.

Choi ve ark. (2006), 11 kV'luk DC puls elektrik alanlar, 1 mikro-saniye puls aralığı ile atmosferik basınçtaki hava üzerine uygulayarak atmosferik koşullardaki hava plazmasını katı besi ortamında bulunan *E. coli* bakterisi üzerine uygulamışlardır.. Plazma ortamına maruz kalan *E. coli* bakterileri 10 saniye sonra deformasyona uğramıştır. Bu yöntemde uygulama süresinin artmasıyla birlikte,

bakterilerin hücre zarları ve hücre yapıları fiziksel olarak önemli derecede zarar görmüştür.

Lee ve ark. (2005), 1 kW gücünde ve 2.45 GHz frekansındaki mikrodalga güç kaynağı ile atmosferik basınçta ürettikleri argon plazmasını MRSA hücreleri üzerine uygulamışlardır. Mikrodalga plazma uygulanan hücrelerin fiziksel yapıları önemli ölçüde zarar görmüştür. Neticede, daha yüksek güç ve daha kısa puls kullanılması bakterilerin daha kısa zamanda etkilenmesine sebep olmuştur.

Shimizu ve ark. (2008), tarafından yapılan çalışmada, taşıyıcı gaz olarak havanın kullanıldığı; 1,05 kV'luk gerilimle oluşturulan plazmanın *E. coli* bakterileri üzerine olan etkisi sonucu % 100 sterilizasyon sağlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak nitrojenin kullanıldığı ve 1,15 kV' luk gerilimle elde edilen plazma ortamında ise bu oranın % 77 ye düştüğü gözlenmiştir.

Korachi ve ark. (2010), tarafından yapılmış olan çalışmada, soğuk plazma uygulamalarının *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu kanıtlanmıştır.

Kostov ve ark. (2010), tarafından yapılan bir çalışmada ise, başlangıç olarak 10^4 Hücre/mL gram (-) *Escherichia coli* ile gram (+) *Staphylococcus aureus* bakteri süspansiyonunu 6 adet petri kutusuna yaymışlar. Ardından petri kutularından birini kontrol grubu olarak tutarken 5 petri kutusuna da dielektrik bariyer boşalması (DBB) uygulamışlardır. DBB uygulama süresinin artışına bağlı olarak petri kutularındaki üremenin azaldığı ve 20 dakikalık uygulama sonunda ise bakterilerin tamamen inaktive edildikleri tespit edilmiştir.

Mikroorganizmaların inaktivasyonu için aynı enerji yoğunluğu koşulu dikkate alındığında, frekans değerleri muhtemelen plazma uygulama süresinden daha etkindir ve frekans etkisi uygulama süresiyle ters orantılıdır. Bu nedenle bakteri inaktivasyonu işlemlerinde düşük frekanslı güç kaynakları kullanıldığında, zaman açısından birkaç dakika beklenmesi gerekir (Kostov ve ark., 2010).

Aktan (2011), bakterilerin sterilizasyon işlemi için üretilen atmosferik basınç soğuk plazmayı, yalıtkan bir cam tüp içerisinde akan helyum gazı ile elde etmiş ve 5-10 kHz düşük frekans değerlerinde ve değişik sinüzoidal gerilimlerde *E. coli* ve *S. aureus* bakteri çözeltileri üzerine uygulamıştır. Uygulama süresi, her bir gerilim değeri ve her bir bakteri için 1, 2, 3 dakika olarak belirlenmiştir. Optiksel salınım spektrum (OES) metodu kullanılarak atomik ve moleküler parçacık türleri belirlenmeye çalışılmıştır. Frekansın ve gerilimin artırılması sonucu, *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerinin sterilizasyon işleminin gerçekleştirildiği gözlenmiştir.

Yukarıda kısaca özetlenmiş olan ve daha önce yapılmış çalışmalarda çeşitli soğuk plazma sterilizasyon metotları kullanılmıştır. Fakat kullanılan metotlarda soğuk plazmanın doğrudan katı ortamdaki bakteri plakları üzerine etkileri (Choi ve ark., 2006; Lee ve ark., 2005; Shimizu ve ark., 2008; Korachi ve ark., 2010; Kostov ve ark., 2010; Aktan, 2011) incelenmiş olması, soğuk plazmanın bakteri çözeltisi üzerine uygulamalarında ise tam bir sterilizasyon (Özaltın, 2009), sağlanamamış olması gibi nedenlerle, tez çalışmamız kapsamında mevcut çalışmalardan farklı olarak son zamanlarda sterilizasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan DBB plazma yöntemi doğrudan su ortamına inoküle edilmiş bakteri çözeltisine uygulanmıştır. Konuyla ilgili hazırlanmış olan deney sisteminde, bariyer boşalması yönteminin kullanılmasıyla suyun sterilizasyonu işlemlerindeki optimal koşulları belirlemek için sistemin çeşitli parametrelerinin değiştirilmesiyle hem AC DBB hem de DC DBB uygulamalarına yönelik çok sayıda deneysel işlem yapılmıştır. Bu işlemlerin yanı sıra, elektrik gaz boşalmalarının özel bir türü olan korona boşalması yönteminde de aynı parametreler denenmiş fakat elde edilen sonuçlarda kayda değer bir değişim gözlenemediğinden dolayı alınan bu sonuçlar tez çalışmamıza dâhil edilmemiştir. Deneysel sistem üzerinde yapılan teknik inceleme ve araştırmalar neticesinde reaktör tasarımı ve frekans parametresinin bakteri sterilizasyonu işlemlerinde önemli bir etkiye sahip oldukları tesbit edilmiştir. Bu noktadan hareketle, uygun boyutlara ve elektrot aralığına sahip düzlemsel elektrot sistemine sahip olan yeni bir reaktör tasarlanmış olup bu reaktörün kullanılmasıyla suyun sterilizasyonu işlemlerinde önemli mesafeler katedilmiştir. Kullanılan reaktör sistemindeki en uygun boyutlar belirlendikten sonra uygulama parametrelerinin

farklı alternatifleri kullanılarak optimal rejimlerin belirlenmesi için her bir parametre değeri bağımsız olarak değiştirilerek en iyi sonuçlar elde edilinceye kadar deneyler tekrarlanmıştır.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Elektrik alanının biyolojik hücreler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gerçeği uzun yıllardır bilinmektedir. Elektrik akımının bakteriler üzerindeki etkisi ilk kez Prochownick ve arkadaşları tarafından 1890'lı yıllarda bulunmuştur (Baysal ve İçier, 2012). Elektrik akımı ile hücredeki oluşumlar ve nedenleri üzerine çeşitli teoriler ortaya konmuştur. Bir teoriye göre protoplazma proteinleri çok az bir etkiyle bile kendilerine has özelliklerini değiştirebildikleri için elektriksel akımın etkisiyle proteinler koagüle olur, çözünürlüğü azalır, biyolojik aktiviteleri düşer, protein çözeltilerinin viskozite ve absorpsiyon özellikleri değişir. Bu durum stoplazmik zarın geçirgenliğinin artmasına neden olur (Baysal ve İçier, 2012). Biyolojik hücrelerin elektrik enerjisiyle parçalanmasına ait temel kuralların dile getirilmesinden sonra dielektrik parçalanma teorisi Zimmermann ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır (Zimmermann ve ark., 1974).

Suyun dezenfeksiyonu için plazmanın bir türü olan korona deşarjın kullanımı ilk kez Siemens tarafından rapor edilerek (Laroussi, 2002), plazma teknolojisi mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılmaya başlanmıştır (Baysal ve İçier, 2012).

Suyun sterilizasyonu ile ilgili yapılan ön çalışmalar sonucunda son yıllarda geniş bir kullanım alanına sahip olan elektrik gaz boşalmaları yönteminin denenmesi fikri ortaya çıkmıştır. Elektrik gaz boşalmaları yönteminin kullanılmasıyla gerçekleştirilen suyun sterilizasyonu işleminin, sağladığı avantajlar açısından günümüzde büyük öneme sahip olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, elektrik gaz boşalmalarının özel bir türü olan dielektrik bariyer boşalmasının doğal kaynak suyuna inoküle edilen *Escherichia coli* bakterisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, kullanılan bu

yöntemin bakterilerin üremeleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışma, analiz ve değerlendirmeler sonucunda alınan sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Sistem dâhilindeki çok sayıda parametrenin uygun koşullarda değiştirilmesi neticesinde *Escherichia coli* bakterisinin üremesinin bu parametrelere bağlı olarak kontrol altına alınabileceği sonucuna varılmıştır.
- Bariyer boşalması yöntemiyle oluşturulan plazmanın uygulama süresi parametresinin *Escherichia coli* bakterisinin üremesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en etkin uygulama süresinin 3 dk olduğu saptanmıştır.
- Kullanılan plazma yöntemindeki uygulama geriliminin söz konusu bakteri sterilizasyonu üzerinde kayda değer bir etki gösterdiği deneysel olarak ispatlanmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen en uygun uygulama gerilimi değerinin 5 kV olduğu belirlenmiştir.
- Sterilizasyon işlemi için uygulama frekansı parametresinin *Escherichia coli* bakterisinin üremesi üzerinde çok önemli bir etki gösterdiği gözlenmiştir. Bu kapsamda belirlenmiş olan en etkin uygulama frekansının 500 Hz olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2. Öneriler

Dielektrik bariyer boşalması yönteminin kullanılmasıyla içme sularının sterilizasyonu işlemlerinde önemli sonuçlar alındığı için bir sonraki adım olarak gelecekte yapılması uygun olabilecek muhtemel çalışmalar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Durgun sistem olarak çalışılan bu yöntem, ileriki çalışmalarda dinamik sistemlere de (akışkan model) uygulanabilmesi yönünde çalışmalar yapılmalıdır.
- Kullanılan bu yöntem, merkezi arıtma sistemlerinin yanı sıra ev ve işyeri uygulamaları için küçük prototip uygulamalarının gerçekleştirilmesi yönünde AR-GE çalışmaları yapılmalıdır.
- Uygulanması planlanan yöntemin prototip çalışmalarında optimal boyut ve güvenli kullanım koşullarının sağlanması yönünde araştırmalar yapılmalıdır.
- Sistemin kullanılmasının yaygınlaştırılması yönünde gerekli tanıtım ve yönlendirme çalışmalarına hız verilmelidir.

Tez çalışmamız kapsamında kullanılan yöntemin uygulandığı deneysel sistemin optimize edilmesi ve bu sistemin daha da geliştirilmesi durumunda gelecekte farklı bakteri türlerinin sterilizasyon işlemlerinde ve endüstriyel atık sularının arıtılmasında da kullanılabileceği düşünülmektedir. Yöntemin en büyük avantajları ise uygulanabilirliği kolay, ekonomik ve yüksek verimliliğe sahip olmasıdır.

KAYNAKLAR

- ALGUR, Ö. F., 1988. Erzurum Ovasındaki Bazı Köylerin İçme Sularının Mikrobiyolojik Analizleri. Doğa Tr. J. Biol, 12: 1-5.
- ALİM, A., 1995. Sivas il ve ilçe merkezlerinde içme sularının bakteriyolojik analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, **Yüksek Lisans Tezi**, Kayseri, 49s.
- ALİŞARLI, M., AĞAOĞLU, S. VE ALEMDAR, S., 2007. Van Bölgesi İçme ve Kullanma Sularının Mikrobiyolojik Kalitesinin Halk Sağlığı Yönünden İncelenmesi. YYÜ Vet. Fak. Derg, 18 (1): 67-77.
- AKAN, T., EFE, E., 2006. Nano-Saniye Puls Elektrik Alanların ve Puls Plazmaların Biyolojik Hücreler Üzerine Etkisi. URSI Türkiye Ulusal Komitesi, 66 (1),192-194
- AKHAN, M. ve ÇETİN, Ö., 2007. Bir kaynak suyu tesisinde olası mikrobiyal kontaminasyonun incelenmesi. Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi, 37 (4): 213-220.
- AKTAN, T., 2011. Atmosferik basınç soğuk plazma ile yüzey sterilizasyonu. Süleyman Demirel üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 54s.
- ARISOY, M., ATEŞ, S., PİYAL, B., DALGIÇ, N., ve YILDIZ, A., 1999. Keçiören İlçesi Şebeke Suyunun Koliform Bakteri Yönünden Analizi. Türk Hijyen Dern. Biol. Derg, 56 (3):115-119.
- AVCI, S., BAKICI, M. Z. ve ERANDAÇ, M., 2006. Tokat İlindeki İçme Sularının Koliform Bakteriler yönünden Araştırılması. C. Ü. Tıp Fakültesi Derg, 24 (4): 107-112.
- BAYSAL, T., İÇİER, F. 2012. Gıda Mühendisliğinde Isıl olmayan İşlemler. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık TİC. LTD. ŞTİ., 424s, İZMİR.
- BİLGEL, N., AYTEKİN, H., ve GÜLESEN, Ö., 1985. Gemlik Yöresinin İçme Sularının Bakteriyolojik Analizi. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Sağlık Dergisi, 59: 19-33.
- BITTON, G., 2005. Wastewater Mikrobiology. Department of Environmental Engineering Sciences University of Florida, Florida, 765s.
- CHEN, H., SHU, W., CHANG, X., CHEN, J., GUO, Y., and TAN, Y., 2010. The Profile of Antibiotics Resistance Andintegrons of Extended-spectrum Beta-lactamase Producing Thermotolerant Coliforms Isolated from the Yangtze River Basin in Chongqing. Environmental Pollution, 158: 2459-2464.
- CHEN, F., 1984. Introduction To Plasma Physics And Controlled Fussion. Plenum Press New York And London.
- CHOI, J.H., HAN, I., BAİK, H.K., LEE, M.H., HAN, D., PARK, J., LEE, I., SONG, K.M., AND LIM, Y.S., 2006. Analysis of Sterilization Effect by Pulsed Dielectric Barrier Discharge. Journal of Electrostatics, 64, s. 17–22.

- COŞKUN, S., SEVİNÇ, Ç., ve KESKİN, M., 1990. İzmir İli Metropol Alanında, Şebeke Harici Alternatif Su Kaynaklarının Bakteriyolojik Kirlilik Yüklerinin Araştırılması. *İnfeksiyon Dergisi*, 4 (4): 551-556.
- ÇAKIR, İ., 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yayını, Sim Matbaası, Ankara 522s.
- ÇELFİŞ, Ö., 2010. Ankara’da Damacana Sularının Bazı Bakteriler Yönünden İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 52s.
- DEMİRTAŞ, S., 1997. Sivas Yöresindeki Bazı Kuyu Sularında Koliform Bakteri Araştırılması ve Soyutlanan *E. coli* Kökenlerinin Antibiyotik Direnci. Cumhuriyet Üniv. Tıp Fak. Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, Uzmanlık Bitirme Tezi, Sivas (1997).
- DURAK, Y., KÜÇÜKÖDÜK, M., DURAL, H., ERTUĞRUL, K., ve ÖZTÜRK, C., 1997. Narlıgöl’ün Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri. *Ekoloji Dergisi*, 22: 21-22.
- ERKAN, M. E., ve VURAL, A., 2006. Dicle Nehrinin Hijyenik Kalitesi Üzerine Bir Araştırma. *Dicle Tıp Dergisi*, 33 (4): 205–209.
- ELIASON, B., and KOGELSCHATZ, U., 1991. Nonequilibrium Volume Plasma Chemical Processing. *IEEE Transactions on plasma Science*, 19:1063-1077
- GÖNÜL, Ş.A., ve KARAPINAR, M., 1991. The Microbiological Quality of Drinking Water Supplies of İzmir City: The incidence of *Yersinia enterocolitica*. *International Journal of Food Microbiology*, 13 (1): 69-73.
- GÜLER, Ç., ve ÇOBANOĞLU, Z., 1997. Çevre sağlığı boyutlarıyla Habitat 2 ve kent çevresi. Sağlık Bakanlığı, Aydoğdu ofset, Ankara, 97s.
- GÜNŞEN, U., ANAR, Ş., ve GÜNDÜZ, H., 2000. “Uludağ’daki Su Kaynaklarının Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 2 (2): 21-24.
- GÜRGÜN, V., ve HALKMAN A., 1990. Mikrobiyolojide Sayım Yöntemleri. Gıda Teknolojisi Derneği, Ankara, 146s.
- HADSE, M., OĞUR, R. ve TEKBAŞ, Ö. F., 2002. Ankara İl Merkezinde Bulunan Askeri Birliklerdeki Kuyu Sularının Polimeraz Zincir Reaksiyon Sistemi İle Mikrobiyolojik Analizlerinin Yapılması, *Gülhane Tıp Derg*, 44 (4): 373-377.
- HALKMAN, A., 2012. Sartorius Atölye. Sartonet Seperasyon Teknolojileri Ltd. Şti, Ankara, 47s.
- HALKMAN, A., 2005. Merck Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları. Başak Matbaacılık ve Tanıtım Hizmetleri Ltd. Şti, Ankara, 358.s.
- IRMAK, H., 2008. Sularla İlişkili Hastalıklar.Klasmat Matbaacılık., Ankara, 52s.
- KAMANLI CAN, N., 2011. Çeşitli su Örneklerinde Membran Filtrasyon ve Konvansiyonel Yöntemlerle Mikrobiyolojik Kalite Analizi ve Antibiyotik Dirençliliğinin Saptanması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstirüsü, Doktora Tezi, Ankara, 205s.

- KINZELMAN, J., NG, C., JACKSON, E., GRADUS, S., and BAGLEY, R., 2003. *Enterococci* as Indicators of Lake Michigan Recreational Water Quality: Comparison of two Methodologies and Their Impacts on Public Health Regulatory Events, *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (1): 92-96.
- KIVANÇ, M., KUNDUHOĞLU, B., ATİK, S., ve MALKOÇOĞLU, B., 1996. Eskişehir İçme ve Kullanma Sularının Bakteriyolojik Kirliliği. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 19: 19-21.
- KORACHI, M., CEYDA, G., and NECDET, A., 2010. Atmospheric Plasma Discharge Sterilization Effects on Whole Cell Fatty Acid Profiles of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Electrostatics*, 68:508-512
- KOSTOV, K.G., ROCHA, V., KOGA-ITO, C.Y., MATOS, B.M. ALGATTI, M.A., HONDA, R.Y., KAYAMA, M.E., and MOTA, R.P., 2010. Bacterial Sterilization by a Dielectric Barrier Discharge(DBD) in Air. *Surface & Coatings Technology* 204: 2954–2959.
- KÖKSAL, F., OĞUZKURT, N. ve SAMASTI, M., 2007.İstanbul İçme Sularının Bakteriyolojik Yönden İncelenmesi: *Aeromonas* Sorunu. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 37 (3): 164-168.
- LEE, K.Y., PARK, B.J., LEE, D.H., LEE, I., HYUN, S., CHUNG, K., and PARK, J., 2005. Sterilization of *E. coli* and MRSA Using Microwave-induced Argon Plasma at Atmospheric Pressure. *Sur. & Coa. Tech*, 193, s. 35– 38.
- MARK, P., and SCHLEUP, M., 2001. Destruction of Benzene with Non-thermal Plasma in Dielectric Barrier Discharge Reactors. *Environmental Progress*, 20(3):151-156
- MARTIN, M. T., MYAKI, D. M., PELLIZARI, V. H., ADAMS, C., and BOSSELAN, N. R. S., 1991. Comparison of The Presence-Absence (P-A) Test and Conventional Methods for Detection of Bacteriological Water Quality Indicators. *Water Research*, 25: 1279-1283.
- MATES, A., and SHAFFER, M., 1989. Membrane Filtration Differentiation of *Escherichia coli* from Coliforms in The Examination of Water. *Journal of Applied Microbiology*, 67: 343-346.
- MONEY, P., KELLY, A. F., GOULD, S. W. J., DENHOLM-PRICE, J., THRELFALL, E. J., and FIELDER, M. D., 2010. Cattle, Weather and Water: Mapping *Escherichia coli* O157:H7 Infections in Humans in England and Scotland, *Environmental Microbiology*, 12 (10): 2633-2644.
- MOISAN, M., BARBEAU, J., CREVIER, M.C., PELLTIER, J., PHILIP, N., and SAUDI, B., 2002. Plasma Sterilization. *Methods and Mechanisms*, 74(3):349-358
- OĞUR, R., TEKBAŞI Ö.F., HASDE, M., 2004.Klorlama Rehberi.Gülhane Askeri Tıp Akademisi Halk sağlığı Anabilim Dalı., Ankara, 65s.
- ÖZALTIN, K., 2009. Elektriksel Deşarj Plazma Metodları ile Suyun Sterilizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 49s.

- ÖZ, V., KÖKSAL, S., ÇELİK, Ş., TOPRAK, N., ERGİNÖZ, E., CENGİZ, S., ve ERGİNÖZ, H., 1996. İstanbul'da Su İstasyonlarında Satışa Sunulan İçme Sularının Mikrobiyolojik Yönden Değerlendirilmesi. 5. Ulusal Halk Sağlığı Kongre Bildiri Kitabı, 12-16 Ekim. İstanbul, s.457-460.
- PICHHARDT, K., 2006. Gıda Mikrobiyolojisi. Literatür: Yayıncılık, Dağ. Paz. San. Ve Ltd. Şti., İstanbul, 358s.
- PEKER, İ., ÇİLOĞLU, F., ÖZ, V., ve BİRBİR, M., 1988. Drinking Water Analyses of Kadıköy District in İstanbul. Türk Hijyen Deneyisel Biyoloji Dergisi, 55: 113-120.
- RAD, Y., BABÜR, C., YILMAZ, N., SEVİNÇ, M., ve KOLONKAYA, N., 1994. Ankara'nın Bazı Bölgelerindeki Kuyu Sularında Enterik Bakterilerin Araştırılması, Türk Hij. Biyol, 52 (2): 79-85.
- RICHARDS, J., STOKELY, D., and HIPGRAVE, P., 1992. Quality of Drinking Water. British Medical Journal, 304: 571.
- SHIMIZU, K., YAMADA, M., KANAMORI, M., and BLAJAN, M., 2008. Basic Study of Sterilization at Low Discharge Voltage by Using Microplazma. Industry Applications Society Annual Meeting, 978, 66-82.
- SULTAN, N., 2006. Yeni Sterilizasyon Yöntemleri. Ankem Derg, 20(Ek 2):84-88.
- ŞEKER, S., ER, B., YENTÜR, G., URAZ, G., ve YILMAZ, E., 2006. Ankara Bölgesinden Sağlanan İçme Sularında *E. coli* ve Koliform Bakterilerin Araştırılması. 2. Ulusal Veteriner Gıda Hijyeni Kongresi Bildiri Kitabı, 18-20 Eylül, Cilt I, İstanbul, s.436-441.
- VADIVELU, J., FEACHEUS, R. G., DRASAR, B. S., HARRISON, T. J., PARASAKTHI, N., and THAMBYPILLAI, V., 1989. Enterotoxigenic *E. coli* in the domestic environment of a Malaysian Village. Epidemiology and Infection, 103: 497-511.
- TS 266., 2005. "Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 29.04.2005
- VOGEL, J., R., STOECKEL, D. M., LAMENDELLA, R., ZELT, R. B., SANTO DOMÍNGO, J. V., WALKER, S. R., and OERTHER, D., B., 2007. Identifying Fecal Sources in a Selected Catchment Reach Using Multiple Source-Tracking Tools, Journal of Environmental Quality, 36: 718-729.
- YULUĞ, N., ve TUĞ, A., 1988. Ankara'nın Gecekondü Bölgelerindeki Kuyu Sularının Mikrobiyolojik İncelenmesi. Mikrobiyoloji Bülteni, Ankara, 22: 164-171.
- ZAMBERLAN DA SILVA, M. E., SANTANA, R. G., GUILHERMETTI, M., FILHO, I. C., ENDO, E.H., UEDA-NAKAMURA, T., NAKAMURA, C. V. And DIAS FILHO, B. P., 2008. Comparison of The Bacteriological Quality of Tap Water and Bottled Mineral Water. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 211 (5-6): 504-513.
- ZIMMERMANN, U., PILWAT, G., RIEMANN, F., 1974. Dielectric Breakdown in Cell Membranes. Biophysical Journal, 14(11):881-889

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet FIRATOĞLU
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Siverek/01.01.1980
Telefon : 05056340395
e-mail : ahmet.firatoglu@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Siverek Lisesi, Siverek, Şanlıurfa	1997
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Yüreğir, Adana	2005
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Merkez, Şanlıurfa	2015-Devam

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2005-2006	Siverek Kale Dersanesi	Biyoloji Öğretmeni
2006-2007	Siverek Vakıf İÖÖ	Fen ve Teknoloji Öğretmeni
2007-2008	Siverek Türk Telekom Lisesi	Biyoloji Öğretmeni
2008-2009	Karacapınar Su ambalajlama fabrikası	Mesul Müdür
2009-2010	Sade life Su ambalajlama fabrikası	Mesul Müdür
2010-2015	Siirt Üniversitesi	Bilgisayar işletmeni
2015-	Siirt Üniversitesi	Biyolog

UZMANLIK ALANI

Mikrobiyoloji

YABANCI DİLLER

İngilizce