

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL KOŞULLARDA KİRLENMİŞ OLAN SULARIN TEKRAR
KULLANILABİLİRLİĞİ İÇİN FARKLI DEZENFEKSİYON
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Pervin SAYGIN
506111019**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111019 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Pervin SAYGIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**EVSEL KOŞULLARDA KİRLENMİŞ OLAN SULARIN TEKRAR KULLANILABİLİRLİĞİ İÇİN FARKLI DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Melek TÜTER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sevil YÜCEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **7 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda, evsel koşullarda kirlenmiş olan suları temsilen hazırlanan su çözeltilerinin tekrar kullanılabilirliğinin sağlanması amacıyla farklı dezenfeksiyon yöntemleri literatür araştırması yapılarak incelenmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ultrases, ozon ve ultraviyole radyasyon yöntemlerinin suyun mikrobiyal kalitesine olan etkileri deneysel olarak irdelenmiştir.

Yüksek lisans çalışmamı yönlendiren, değerli tecrübeleri, görüş ve eleştirileri ile tez çalışmamı destekleyen çok değerli danışman hocam Sn. Prof. Melek TÜTER'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmalarımın yürütülmesi için imkan sağlayan, Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Cem KURAL ve Sn. Yalçın GÜLDALİ'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her aşamasında bana destek olan ve deneyimlerini paylaşarak beni yönlendiren Sn. Zehra ÜLGER ve Sn. Burcu YAKARTAŞ'a tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Tüm Temizleme Teknoloji Ailesi'ne hem deneysel çalışmalarım konusunda ihtiyacım olan düzenek tasarımı ve teknik problemlerin çözülmesi, hem de arkadaşlıkları için tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Hijyen Laboratuvarı'nda tüm deneysel çalışmalarım süresince bana yardımcı olan ve aynı zamanda sorunların üstesinden keyifli çözüm yöntemleri ile gelmeyi beraber başardığımız Sn. Emine Füsün DUMAN ve Gizemnür YILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Arçelik A.Ş.'de tanıma fırsatı bulduğum, mutlu ve umutlu zamanlar geçirdiğimiz arkadaşlarım Betül BULUT, Merve AYDIN, Ezgi GÜNEŞ, Duygu KAVADARLI, ve Oğuzhan Aykut EKŞİOĞLU'na teşekkür ederim.

Meslektaşım, yol arkadaşım Zülfiye YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda sevgisini ve anlayışını eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Pervin SAYGIN
Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TEORİK ÇALIŞMA.....	7
2.1 Evsel Koşulda Faydalanılan Sularda Mikroorganizma Gelişimi	7
2.2 Su Dezenfeksiyon Yöntemleri	11
2.2.1 Ultrases uygulamaları	15
2.2.2 Ozon uygulamaları	20
2.2.3 Ultraviyole dezenfeksiyon uygulamaları	23
2.2.4 Plazma uygulamaları.....	30
2.2.5 Fotokataliz uygulamaları.....	33
2.2.6 Elektroliz uygulamaları.....	34
2.2.7 Mikrodalga uygulamaları.....	35
2.2.8 Kombine uygulamalar ve diğer alternatif yöntemler	36
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
3.1 Materyal- Metod.....	40
3.1.1 Mikroorganizmalar ve büyüme koşulları	40
3.1.2 US yöntemi ekipmanları	46
3.1.3 Ozon yöntemi ekipmanları.....	50
3.1.4 UV dezenfeksiyon yöntemi ekipmanları.....	51
3.2 Test Düzenekleri ve Parametrik Şartlar.....	53
3.2.1 US yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları	53
3.2.2 Ozon yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları.....	56
3.2.3 UV yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları.....	58
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	61
4.1 US Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu	61
4.2 Ozon Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu.....	65
4.3 UV Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu.....	68
5. VARGILAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

ANQIP	: National Association of the Quality of Hydroulic Building Systems
ANSF	: American National Standardization Foundation
BOD	: Biological oxygen demand (biyolojik oksijen ihtiyacı)
CFU	: Colony forming unit (kob: koloni oluşturan birim)
COD	: Chemical oxygen demand (Kimyasal oksijen ihtiyacı)
DO	: Dissolved oxygen (çözünmüş oksijen)
EPA	: Environment Protection Agency
FDA	: Food and Drug Administration
FTS	: Fizyolojik tuz çözeltisi
HIFU	: High intensity focused ultrasound
IR	: Infrared (Kızılötesi)
NPB	: Nano particle beam
NSF	: National Sanitation Foundation
PCR	: Polymerase chain reaction
PP	: Polipropilen
SEM	: Scanning electron microscope
SPE	: Solid polymer electrolyte
SS	: Stainless steel (Paslanmaz çelik)
TOC	: Total organic carbon (toplam organik karbon)
UNICEF	: The United Nations Children Fund's
US	: Ultrases
UV	: Ultraviyole
WHO	: World Health Organization

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Su kullanımında etkili güçler .	2
Çizelge 2.1 : Evsel atık sularda enfeksiyon riski oluşturan mikroorganizmalar .	8
Çizelge 2.2 : Evsel koşulda faydalanılan su saflaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması	14
Çizelge 2.3 : Ozon gazı ile atık su dezenfeksiyonunun avantaj ve dezavantajları	23
Çizelge 2.4 : Mikroorganizmaların UV' ye karşı dirençleri ve uzaklaştırma için gerekli UV dozları	25
Çizelge 2.5 : Mikroorganizmaların kombine dezenfeksiyon yöntemleriyle uzaklaştırılma % leri.	38
Çizelge 3.1 : Faydalanılan besiyeri ortamları ve mikroorganizma türlerinin petri kabı içindeki görüntüleri.	43
Çizelge 3.2 : US uygulaması ekipmanları ve özellikleri.	46
Çizelge 3.3 : Ozon uygulaması ekipmanları ve özellikleri.	50
Çizelge 3.4 : UV radyasyon uygulaması ekipmanları ve özellikleri.	51
Çizelge 3.5 : US uygulaması deney koşulları	55
Çizelge 3.6 : Ozon dezenfeksiyon yöntemi deney koşulları.	57
Çizelge 3.7 : UV dezenfeksiyon uygulaması deney koşulları.	60
Çizelge 4.1 : Deterjanlı US koşullarında <i>B.cereus</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10 L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Evsel koşulda atık su toplama sistemi	3
Şekil 2.1 : Biyofilm oluşum mekanizması.....	11
Şekil 2.2 : Kavitasyon olayının etkisi.	16
Şekil 2.3 : Kavitasyonla kir taşınması	17
Şekil 2.4 : US uygulamasının kimyasal dezenfeksiyon yöntemi ile..... karşılaştırılması.	18
Şekil 2.5 : US STRATOJET' in mikroorganizmalar üzerindeki dezenfeksiyon etkisi	20
Şekil 2.6 : Ozon oluşum mekanizması	21
Şekil 2.7 : UV ışınları dezenfeksiyon etkisi	23
Şekil 2.8 : UV ışık yoğunluğunun su içindeki ilerleyişi ve güç kaybı	26
Şekil 2.9 : Parça etkisiz farklı UV dozlarının <i>E. coli</i> inaktivasyonuna etkisi.....	27
Şekil 2.10 : Parça etkili UV dozlarının <i>E.coli</i> inaktivasyonuna etkisi	28
Şekil 2.11 : Farklı sıcaklık ve UV dozları uygulaması sonrasında sulu çözelti	29
ortamındaki mikrobiyal konsantrasyon değişimi	29
Şekil 2.12 : Farklı dezenfeksiyon uygulaması sonucunda toplam bakterilerin	29
biyofilm oluşturma etkisinin değişimi	29
Şekil 2.13 : Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey.....	31
Şekil 2.14 : Doğrudan ve dolaylı olarak oksijen plazmaya maruz bırakılan <i>B.stearothermophilus</i> 'un sayısındaki değişimin zamana bağlı olarak değişimi	32
Şekil 2.15 : <i>B. stearothermophilus</i> 'un farklı uygulamalar sonrasında SEM fotoğrafları.....	32
Şekil 2.16 : TiO ₂ 'nin enerji düzeyi ve fotokataliz mekanizması	33
Şekil 3.1 : Bakteri kültürü hazırlanması.	41
Şekil 3.2 : Dilüsyon ve ekim yöntemi.	45
Şekil 3.3 : RF amplifikatör.	47
Şekil 3.4 : Temas tipi transduser.	47
Şekil 3.5 : Daldırma tipi transduser.	48
Şekil 3.6 : HIFU tipi transduser.	48
Şekil 3.7 : Transduser bağlı bir yıkama tankı ve yıkama tankını yerleştirmek için tasarlanmış destek.	49
Şekil 3.8 : Kavitasyon enerjisi ölçümü için kullanılan cihaz.....	50
Şekil 3.9 : Debi ölçer.	51
Şekil 3.10 : Ozon jeneratörü.	51
Şekil 3.11 : UV dezenfeksiyon ünitesi şematik gösterimi.	52
Şekil 3.12 : Polipropilen ve paslanmaz çelik UV lamba kılıfları.	52

Şekil 3.13 : UV lambalar.	53
Şekil 3.14 : Ultrasonik etkiyle mikroorganizma inaktivasyonu sağlamak için hazırlanan proses akım şeması.	54
Şekil 3.15 : US ile su dezenfeksiyonu sağlamak için hazırlanan test düzeneği.	54
Şekil 3.16 : Ozon gazı etkiyle mikroorganizma inaktivasyonu sağlamak için hazırlanan proses akım şeması.	56
Şekil 3.17 : Ozon ile su dezenfeksiyonu sağlamak için hazırlanan test düzeneği.	58
Şekil 3.18 : UV dezenfeksiyon ünitesi proses akım şeması.	59
Şekil 3.19 : UV dezenfeksiyon ünitesi deney düzeneği.....	59
Şekil 4.1 : Deterjansız US koşullarında <i>S. aureus</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	62
Şekil 4.2 : Deterjansız US koşullarında <i>B. cereus</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	62
Şekil 4.3 : Deterjansız US koşullarında <i>E. faecalis</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	63
Şekil 4.4 : Deterjanlı US koşullarında <i>E. faecalis</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	64
Şekil 4.5 : Deterjanlı US koşullarında <i>S.aureus</i> mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).	64
Şekil 4.6 : Steril su içerisinde ki ozon gazı konsantrasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 1L steril su).	66
Şekil 4.7 : Ozon üretiminin pasif olduğu durumda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 1L mikroorganizmalı su çözeltisi).	67
Şekil 4.8 : Ozon üretiminin aktif olduğu durumda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C,Ortam: 1L mikroorganizmalı su çözeltisi).	68
Şekil 4.9 : 5W UV lambası ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon işlemi koşulunda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 5L tekil mikroorganizmalı su çözeltisi, UV Kılıf: Paslanmaz çelik).	69
Şekil 4.10 : 11W UV lambası ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon işlemi koşulunda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 5L tekil mikroorganizmalı su çözeltisi, UV Kılıf: Paslanmaz Çelik).	70
Şekil 4.11 : 11W UV lamba gücünün farklı kılıf içerisine konumlandırılmasının toplam aerobik canlı üzerindeki inaktivasyon etkisinin zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 2L süspansiyon halindeki mikroorganizmalı su çözeltisi).....	71

EVSEL KOŞULLARDA KİRLENMİŞ OLAN SULARIN TEKRAR KULLANILABİLİRLİĞİ İÇİN FARKLI DEZENFEKSİYON YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Canlı yaşamı için kritik öneme sahip olan su kaynaklarının, artan şehirleşme, iklim değişikliği, nüfus artışı ile tükenmesi gibi sebeplerle su tasarrufu sağlanması günümüzün önemli konuları arasındadır. Her geçen gün su kalitesinin bozulması ile sağlık problemlerinin hatta ölümlerin gerçekleşmesi gibi etkenler su kalitesinin iyileştirilmesi, atık suların geri kazanımı ve kullanılması üzerine yapılan çalışmaların önemini daha da artırmaktadır. Plazma, fotokataliz, elektroliz, ultrases (US), ultraviyole (UV), ozon ve mikrodalga uygulamaları çeşitli alanlarda uygulanan dezenfeksiyon yöntemlerindendir. Bu çalışmada, evsel koşulda geri kullanılabilir sularda gelişme gösterebilen *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus cereus* ve *Aspergillus niger* gibi fırsatçı patojen mikroorganizmaların US, ozon ve UV dezenfeksiyon yöntemleri ile evsel koşullardaki banyo ve mutfak yıkama sularının tekrar kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

İncelenen su dezenfeksiyon yöntemlerinden biri olan US metodunda, sulu ortamlarda belli bir frekans ve güç değerine sahip ses dalgaları ile kavitasyon etkisi oluşturulmakta, böylece çözeltide oluşan hava kabarcıklarının yüzeylere çarpması ile hem yüzeydeki kirlerin uzaklaştırılması hem de mikroorganizmaların hücre duvarına zarar vererek canlı hücrelerin inaktivasyonu sağlanabilmektedir. US uygulamasının sulu çözelti ortamında mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, farklı transduser tipi, farklı frekans ve farklı güç gibi parametre koşulları incelenmiştir.

İncelenen diğer dezenfeksiyon yöntemlerinden olan ozon (O₃), oksidasyon gücü çok yüksek olan bir gaz ve bilinen en kuvvetli dezenfektanlardan biridir. Ozon gazı yüksek oksidasyon gücü nedeniyle çok farklı alanlarda temizleme etkisi nedeniyle içme sularında istenmeyen tat, koku ve rengin giderilmesi, suların dezenfeksiyonu ve hava temizleme alanlarında tercih edilmektedir. Ozon ile mikroorganizmaların hücre duvarı parçalanmakta, böylece hücrelerin inaktivasyonu ile sterilizasyon sağlanması mümkün olmaktadır. Su ortamına ozon gazı uygulamasının farklı mikroorganizmalar üzerindeki uzaklaştırma etkisi zamana bağlı olarak incelenmiştir.

Su dezenfeksiyonunda yaygın kullanım alanına sahip olan UV dezenfeksiyon yöntemi, görünür ışın ile X ışını arası dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaların, mikroorganizmaların genetik materyali üzerinde etki gösteren temizleme yöntemlerinden olup, mikroorganizmaların DNA yapısına zarar vererek canlılığın hücre faaliyetleri engellenmekte ve hücre ölümü gerçekleşmektedir. UV dozu, lamba adedi ve yerleşimi, tasarım ve kapasite seçimi, uygulama süresi, lamba gücü ve ömrü, suyun debisi, mikroorganizma cinsi ve seviyesi gibi özellikler sistemin performansını etkilemektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, farklı UV güç ve

tasarımına sahip lambalar kullanılarak farklı mikroorganizmalar üzerindeki uzaklaştırma etkisi, zamana bağlı olarak incelenmiştir.

US yöntemi ile evsel atık suların mikrobiyolojik kalitesini artırmak için gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, deterjansız kaynatılarak gazı giderilmiş (degaze) suda farklı transduser tipleri ve farklı frekanslardaki çalışmaların sonuçları incelendiğinde, transduser tipi ve gücünün *S. aureus*, *B.cereus* ve *E. faecalis* bakterileri üzerinde zamana bağlı bir inaktivasyon etkisi ölçülememiştir. Yapılan ön çalışmada temas tipi transduserlerin kontrollü mikroorganizma konsantrasyonuna sahip çözeltiyi temizleme etkinliğinin diğer tip transduserlerden daha olumlu sonuçlar göstermesi nedeniyle US teknolojisinden faydalanılarak yapılan testler, deterjanlı degaze suda temas tipi transduserler kullanılarak tekrar edilmiştir. Deterjanlı degaze su uygulamasında; *E. faecalis* ve *B. cereus* bakterileri üzerinde belirgin bir etki gözlenmemiş; ancak *S. aureus* için ise 30 dakika kaviteasyon uygulaması sonunda yaklaşık 3 log (cfu/mL)'lik bir azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak US teknolojiinin gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda sulu ortamda mikroorganizma inaktivasyonu için tek başına yeterli olmadığı görülmüştür.

Ozon gazı kullanımının su dezenfeksiyonu sağlama etkisini incelemek amacıyla oluşturulan test düzeneğinde, kontrollü mikroorganizma çözeltisinin kullanıldığı çalışmalarda, ozon jeneratörünün kapalı tutulduğu ve sadece hava debisi ile zamana bağlı kaviteasyon oluşturulduğu durumlarda bile mikroorganizma uzaklaştırmada etkili olduğu; ancak tüm mikroorganizmaların inaktivasyonunda başarı sağlanamadığı gözlemlenmiştir. Ozon jeneratörünün aktif olduğu durumda, 5-15 dakika gibi kısa bir sürede tüm bakteri türleri üzerinde yüksek seviyede inaktivasyon sağlanmış; ancak küf üzerinde ozon gazının belirgin bir temizleme etkinliği ölçülememiştir. Ozon gazının su dezenfeksiyon yöntemleri arasında başarılı bir yöntem olduğu; ancak tüm mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında yeterli olmadığı gözlenmiş, ozon gazının kararsız yapı göstermesi ve test süresince konsantrasyonunun sabit tutulamaması bu yöntemin uygulama zorlukları olarak belirlenmiştir.

UV yöntemi kullanılarak evsel tip atık suların mikrobiyal kalitesini artırmak için yapılan çalışmalarda, 5W ve 11W UV lambalarla tekil mikroorganizma çözeltileri ve karışım halindeki çözeltiler kullanılmış; 1 saat UV dezenfeksiyon ünitesinde su sirkülasyonu yapılmıştır. 5W UV lamba gücü ile tekil mikroorganizma çözeltilerinde *S. aureus* ve *E.coli* seviyelerinde 0-1 log (cfu/mL)'ye kadar azalma kaydedilirken, *E. faecalis* ve *A. niger* üzerinde yaklaşık 2.5 log (cfu/mL) inaktivasyon sağlanmıştır. 11W UV lamba sonuçları değerlendirildiğinde, seçilen bakteri ve küf türlerinin inaktivasyonunda yüksek dereceli etki görülmüştür. UV gücünün artmasıyla mikroorganizma inaktivasyon hızının arttığı, UV dezenfeksiyon etkisinin ise mikroorganizma türüne göre farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. 11W UV lambanın kullanıldığı uygulama koşulunda, 30. dakikada çalışılan mikroorganizmalar üzerinde yüksek oranda inaktivasyon sağlandığı, 40. dakikada ise tüm mikroorganizmaların uzaklaştırıldığı görülmektedir. 5W ve 11W lamba çalışmalarında *A. niger* küfü tamamen uzaklaştırılamamıştır.

UV yöntemi ile su dezenfeksiyonundaki etkilerini daha ayrıntılı incelemek amacıyla planlanan testlerde, dört farklı mikroorganizma ile hazırlanan kontrollü 2 litre su ortamında, 11W UV lamba gücünün paslanmaz çelik ve polipropilen UV kılıflarda konumlandırıldığı pilot çalışma yapılmış, farklı kılıf malzemesinin test şartlarında toplam aerobik canlı mikroorganizma inaktivasyonunda belirgin bir etki

göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca, 11W UV lamba gücü kullanılan deneysel çalışmalarda, toplam aerobik canlı sayımı inaktivasyonunun, bireysel mikroorganizma inaktivasyonundan daha düşük seviyelerde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, karışım mikroorganizmaları ile hazırlanan su çözeltisinin, tekil mikroorganizmalar kullanılarak hazırlanan çözeltiden daha bulanık yapıda olmasından ve UV ışık verimini etkileyen su berraklığının, önemli bir kriter olabileceği düşünülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, evsel koşullarda kontamine olmuş atık suların dezenfeksiyonu amacıyla üç farklı yöntemden biri olan ozon uygulamalarının ultrases uygulamalarından daha başarılı olduğu; ozon uygulamasının tek başına tüm bakteri ve küfleri uzaklaştırmak için yeterli olmadığı; UV uygulamalarının başarısının ise güce bağlı olduğu ve özellikle incelenen parametrelerden biri olan geri dönüştürülmek istenilen su bulanıklığının UV dezenfeksiyon verimi üzerinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir.

THE INVESTIGATION OF DIFFERENT DISINFECTION METHODS FOR RECOVERY OF HOUSEHOLD GREYWATER

SUMMARY

Due to global warming, rapid industrialization, urbanization and limitations on natural resources; recycling of water has become a popular title all around the world. As water is one of vital necessities for human life, water scarcity will result in loss of sanitization quality which will cause health problems, diseases and even death cases. Most of the research topics focus on the recovery of larger amounts of waste water as a clean source for different usage purposes. Researches on both academic foundations and industrial applications are being conducted for the advanced waste water treatment systems to obtain a healthy water which can be used for household water from kitchen, washing process and bath water. Plasma, photocatalysis, electrolyse, ultrasound (US), ultraviolet (UV) disinfection, ozone, and microwave technologies are being proposed as alternatives for recycling water in safety. According to such studies, the aim to show the disinfection performance of US, ozone and UV disinfection technologies can be a solution for the recycle of domestic drain water especially from washing processes, bath water and kitchen.

The disinfection method which is searched as a part of thesis study is US technology. Sound wave which has a specific frequency and power creates cavitation effect in the aquatic condition. When the air bubble crashes the surface, dirt is removed and also cell wall of microorganism is damaged and inactivated. The transducers that have different types of frequency and power was used for microorganism inactivation in water solution for this experimental research.

The other disinfection method which is investigated under thesis study is ozone technology. Ozone (O_3) is preferred for cleaning agent for remotion of taste, odor and colour in drinking water, air cleaning because of one of the most powerful oxidation gas and one of the strong disinfectant. When the cell wall breaks up with ozone, the cell inactivation is occurred. In this study, the effects of ozone gas application on removing of microorganism from water media was examined by time depended behavior.

UV disinfection method which has the common usage area for water cleaning is electromagnetic wave between visible area and X-ray. UV light destroys genetic material of bacteria, blocks cell activity of microorganism and results in cell death. UV dose, number of lamps and settling, design and capacity, exposure time, lamp power and life of lamp, water flow, species and degrees of microorganism are the parameters which effect the UV disinfection system. In this thesis experimental research, the reduction effect of UV radiation was investigated for different power and design UV sources as a function of time.

The main aim of this study is to compare the disinfection performance of three methods; US, ozone and UV propose a procedure for the recovery of domestic drain water. In the presented study, the effect of US, ozone and UV disinfection methods on the survival of opportunistic pathogens which are *S. aureus*, *E. coli*, *E. faecalis*, *B. cereus*, *A. niger* in the domestic drain water solution was evaluated.

The performance of disinfection methods was determined by classical microbiology analysis methods where total aerobic and specific agar plates were used.

The experiments which were investigated to measure greywater disinfection degree with US technology, were planned in degase water without detergent and with different type of transducer and frequency, it wasn't measured significant reduction of *S. aureus*, *B. cereus* and *E. faecalis* as the function of time. On the other hand, contact type of US equipments were more efficient decreasing capacity from the other types so it was promoted to make tests for only these type transducer and degase water with detergent. For the detergent degase water condition, inadequate inactivation level was recorded for *E. faecalis* and *B. cereus* microorganisms. However, cavitation effect of contact type transducer was provided nearly 3 log (cfu/mL) reduction for *S. aureus* up to 30 minutes. Therefore, it was investigated that US technology is not sufficient effect on microorganism inactivation by stand alone.

Ozone disinfection experiments were showed that, for closed ozone generator condition, the all microorganism did not decrease with air flow cavitation effect. On the other hand active ozone generator condition, the all bacteria inactivated during 5-15 minutes in a high disinfection degree. However the fungal species didn't removed from water which is required to clean. Because of fast cleaning influence of ozone systems, it was a good technology on bacteria, but inconstant structure of ozone and non provided steady concentration ozone gas were the difficulties of this treatment.

The efficiency of UV units to improve the microbial quality of household greywater for recycling of water, different volume water were artificially inoculated with approximately 6 log (cfu/mL) of *E. coli*, *S. aureus*, *E. faecalis*, *B. cereus*, *A. niger* and inactivation of 5W and 1W UV lamps were determined for individual suspensions and mixtures during 1 hour as a function of time. The performance of disinfection method was evaluated by classical microbiology analysis methods where total aerobic counts and specific agar plates were used. Treatments at 5W UV lamp was reduced the *S. aureus* and *E. coli* from ~5 log (cfu/mL) to 0-1 log (cfu/mL). However inactivation of *A. niger* and *E. faecalis* obtained with this lamp was nearly 2.5 log (cfu/mL); for the individual inoculations. 11W UV radiation has a significant effect on selected microorganisms including both bacterial and fungal species. On the following tests; effect of stainless steel and polypropylene housing was investigated by mixtures of 4 different microorganisms for 11W UV source. Different housing material did not show to be having significant effect on total aerobic counts in the test conditions. On the other hand inactivation effect found to be lower when mixture of microorganisms were used. This is thought to be resulting from the higher turbidity of the test solution; which was a very important criteria for UV applications. This project shows that UV disinfection treatment has an outstanding inactivation effect on reduction of microorganism in water.

In summary, in the thesis which is interested in the success of recovery of household greywater disinfection methods, three different technology were investigated. The main aim of this study is to compare the disinfection performance of three methods; US, ozone and UV and propose a procedure for the recovery of domestic drain water. Ozone disinfection methods showed more significant cleaning degree from US treatment; however ozone didn't display enough disinfection effect on both bacteria and fungal species. Lastly but not least important water treatment which is UV efficiency is depended on lamp power and especially water turbidity for the aim of obtaining high UV disinfection performance. For the improved water quality, system parameters (higher power, replacement of lamps, water flow rate and application period, turbidity and initial quality of fed water) should be investigated in detail. Alternative technologies should also be taken in to consideration for improved applications.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

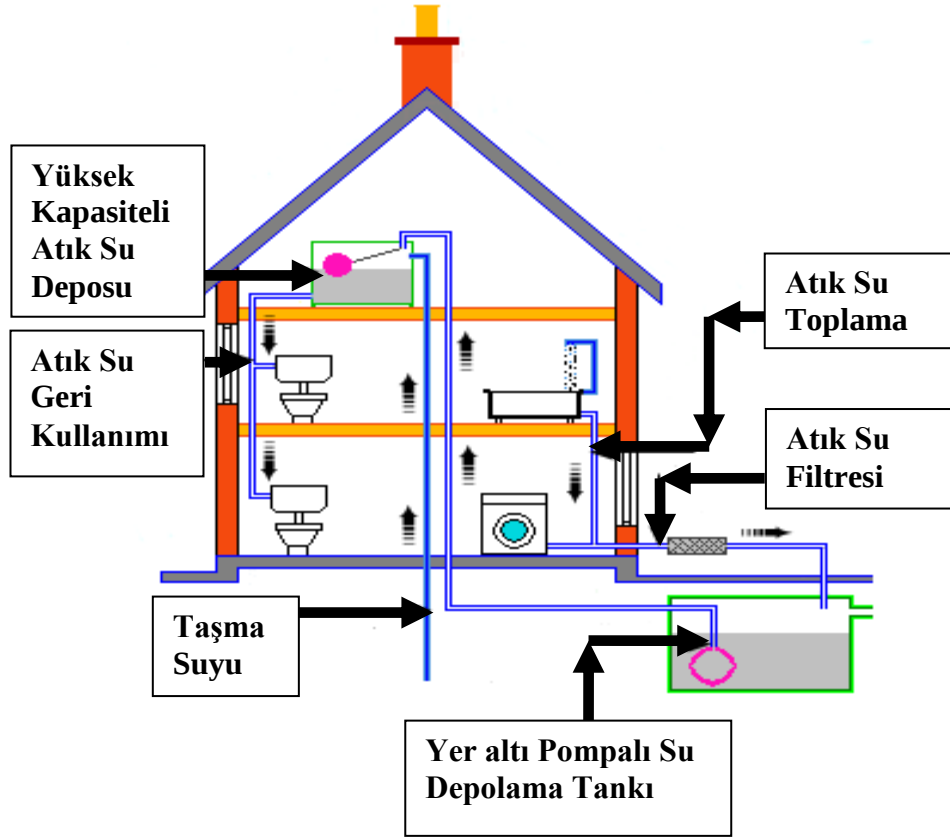
Banyo, çamaşır makinası ve bulaşık makinası yıkama suları, mutfak atık suları gibi ev kaynaklı atık suların geri kullanılabilirliği günümüz ve gelecek ihtiyaçları için önemli hale gelmektedir. Yerel yönetimlerin suyun tasarruflu kullanımını teşvik etmek amacıyla yayınladığı çeşitli yönetmelikler doğrultusunda; musluk suyunun bahçe sulama gibi ev dışı aktivitelerde kullanımı engellenmekte ve buna ek olarak suyun geri kullanımı teşvik edilmektedir [1-3]. Diğer taraftan atık suların ya da mikrobiyolojik olarak kirli olan suların, içme suyu olarak kullanılması; potansiyel sağlık riski taşımakta, hatta bu tür işlem görmemiş sularla sulanmış/ yıkanmış sebzelerin çiğ tüketilmesi hastalık risklerini artırmaktadır. Bireysel olarak evlerdeki atıksu yapısı değerlendirildiğinde, ortaya çıkan hastalıkların tüm aile bireylerini etkilediği belirlenmiş; ancak kayıt altına alınmamıştır [2, 4]. Birçok çalışmaya göre, farklı kişisel alışkanlıklar ya da çevresel faktörler düşünüldüğünde su tüketimi alışkanlıklarını etkileyen faktörler; doğrudan sürücü güçler ya da dolaylı sürücü güçler olarak iki farklı başlıkta incelenebilmektedir. Su tüketimi üzerinde etkili olan faktörler; iç ve dış etkiler olarak sınıflandırıldığında ise; iç etkiler yemek pişirme, su içme, banyo suları, bulaşık yıkama suları, çamaşır yıkama suları, drenaj atıkları; dış etkiler bahçe sulama, temizlik, yüzme havuzu, vs olarak örneklendirilebilmektedir [1]. **Çizelge 1.1**'de su kullanımında doğrudan ve dolaylı olarak etkili güçler verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Su kullanımında etkili güçler [1].

Doğrudan sürücü güçler	Dolaylı sürücü güçler
İklim/ Mevsimsel çeşitlilik	İnsan karakteristiği (subjektif yapı, davranış kontrolü)
Teşvik edici/engelleyici uygulamalar (Su kazanım tarifi, fiyatlandırma yapısı)	Enstitüsel güvenilirlik (su temin edicisine karşı olan güven)
Yönetmelikler (kullanım sınırlanmaları, yerel yönetim düzenlemeleri)	Kişisel davranışlar (diğer tüketicilere olan güven)
Karakteristik özellikler (havuz, tank, ev büyüklüğü, evin yaşı)	Uygunluk (karar verme mekanizmaları, su kısıtlamaları, yeni boru hatları)
Ev karakteristiği (Ev yapısı, ev geliri, su kazanım teknolojisi, su sağlama teknolojisi)	Çevresel değerler & koruma limitleri
İnsan karakteristiği (Su geri kazanım bilinci, su geri kazanım metodları hakkında bilgi)	Sosyo- ekonomik faktörler (gelir, ev eşyaları, yaş, cinsiyet, eğitim vs)

Çizelge 1.1 incelendiğinde; coğrafyanın iklimsel özellikleri ya da farklı bölgelere özel regülasyonlar doğrudan su tüketimini etkileyen faktörler olarak değerlendirilirken; kişisel alışkanlık/ tercihler veya sosyo-ekonomik süreçler dolaylı sürücü güçler olarak ifade edilmektedir [1].

Atık sulara yönelik yapılan birçok farklı ve geniş sınıflandırmaya bakıldığında; ev tipi atık sularının; çamaşır, bulaşık yıkama ve banyo sularının geri kullanımına olanak sağlayan sular olarak tanımlandığı görülmektedir. Fekal kirlilik içeren gider ve tuvalet suları; geri kullanıma olanak sağlayan ev tipi atık su sınıfına dahil olmadığı görülmektedir [2]. **Şekil 1.1**'de bir evde genel olarak atık su kaynakları ve bu suların toplanmasına yönelik şema gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Evsel koşullarda atık su toplama sistemi [5].

Şekil 1.1'de sunulan gösterime göre; çamaşır makinası, banyo suyu gibi yıkama sularının bir atık su filtresi/ arıtım sistemi üzerinden geçirilerek sifonlama suyu olarak geri kullanımı mümkün hale getirilebilmektedir [5].

Evsel koşullarda oluşan atık sular içeriklerine ve geri kullanılabilirliklerine göre siyah ve gri su olarak sınıflandırılmaktadır. Birçok ev tipi atık suyu; geri kullanımı mümkün olmayan siyah sudan ayırmak suyun kirlilik seviyesine bağlı olarak mümkün olmaktadır. Siyah suların evsel arıtım sistemlerinde; doğrudan tahliye edilmesiyle, evsel koşullarda sadece gri suların arıtım sistemine alınması ve böylece doğrudan geri dönüştürülür hale gelmesi sağlanabilmektedir. Atık suların depolandıktan sonra geri kazanımı; depolama süresince çökme gibi etkilerden faydalanılması ile hem daha kısa sürede olmakta, hem de sudaki organik kirlerin temizlenmesine fayda sağlamaktadır [6].

Evsel koşullarda toplanan atık sular; içerdiği organik bileşenler, mikroorganizmalar ve su sıcaklığı gibi parametrelerin değerlendirilmesi ile atık su geri kullanımına ilişkin sistem oluşturulmaktadır. Buna göre; uygulanacak temizleme işleminin depolamadan önce ya da sonra gerçekleştirilmesine, işlem sonrasında suyun hangi

amaç ile kullanılabileceğine de karar verilmektedir [7, 8]. Geri dönüşümü sağlanan sular hiçbir zaman içme suyu amacıyla kullanılamamakta; ancak filtrasyon ve mikrobiyal önlemler sonrasında sifonlama suyu olarak kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Bu suların bir bölümü hiçbir temizleme işlemine maruz bırakılmadan doğrudan bahçe sulamada da kullanılabilmektedir. Atık su karakteristiğini belirlemek için; bulanıklık, çözünmüş oksijen ihtiyacı (DO), pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD) ve toplam organik karbon içeriği (TOC) değerleri ile mikroorganizma kontaminasyonları, virüs ve protozoa seviyelerinin kontrolü göz önünde bulundurulmaktadır. Atık suların farklı amaçlarla geri kullanımının sağlanmasına yönelik uygulamalar; insan sağlığını korumak ve su kaynaklarının devamlılığını sağlamak amacıyla üç temel başlıkta sınıflandırılabilir [9];

- Fiziksel ayırma işlemleri: Temizlenecek kirleticilerin herhangi bir kimyasal değişime uğramadan sadece fiziksel özelliklerinden faydalanılarak uzaklaştırılmasını sağlayan yöntemler olup; karıştırma, çöktürme ve filtrasyon gibi uygulamalar bu işlemlere örnek verilebilmektedir. Arıtma sistemlerinde genellikle birden fazla yöntem kullanılmakta; fiziksel yöntemler ise özellikle ön işlemlerde tercih edilmektedir.
- Kimyasal ayırma işlemleri: Kirletici maddelerin; kimyasal ilavesi ya da kimyasal reaksiyonlar ile formunun değiştirilmesi, daha az zararlı hale getirilmesi ve/veya daha kolay uzaklaştırılabilir hale getirilmesine dayanan yöntemlerdir.
- Biyolojik ayırma işlemleri: Fiziksel ve kimyasal ayırma işlemlerinden farklı olarak mikroorganizmaların hücresel metabolik faaliyetlerinden faydalanılarak gerçekleştirilen nitrifikasyon ya da denitrifikasyon gibi prosesler ile dezenfeksiyon sağlama işlemidir [9].

Suyun geri kullanımının faydaları arasında; nehirlerden ve diğer su kaynaklarından daha az taze su ihtiyacı, enerji kullanımının azalması, kimyasal kirliliğin engellenmesi ve endüstriyel yatırımların artırılması yer almaktadır. Özellikle Avrupa’da, mevcut su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle ve hızla artan nüfusun su ihtiyacını karşılamak amacıyla, alternatif su teknolojileri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir [2].

Portekiz’de gerçekleştirilen bir araştırmada, ev tipi atık suların yerleşim alanlarındaki (konutlarda) gerikullanımı ile genellikle %40-47 oranında toplam su tüketimeinden tasarruf edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ticari ve sosyal tesis gibi bölgelerde ise toplam su tüketimeinin %48-53’ü içme suyu dışındaki amaçlar için kullanılmakta; fakat sadece %2-15 oranlık kısmı geri kullanılabilir suyu temsil etmektedir. Bireysel evlerde ise özel su geri kazanım sistemleri ile daha fazla su kazanımı sağlamak mümkündür [2]. İşlem görmemiş atık su mikrobiyal kalitesi açısından değerlendirildiğinde, $\sim 4\log(3,8 \times 10^4 \text{ cfu/mL})$ fekal koliform, $\sim 7\log(1.6 \times 10^7 \text{ cfu/mL})$ heterotrofik bakteri içerebilmektedir [6]. Klorlama, öktürme ve kum filtrelerinin yanısıra, daha karmaşık teknolojiler olan biyoreaktörler, membran sistemleri, ev tipi suların geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu yöntemler kullanılırken geri kullanılabilir atık su kalite kriterleri ulusal yönetimler tarafından belirlenmektedir. Portekiz’ de bu alanda ‘‘National Association of the Quality of Hydraulic Building Systems (ANQIP)’’ geri kullanılabilir atık su kalite kriterleri belirleme alanında çalışmaktadır [2].

Bu tez çalışmasında, evsel koşulda geri kullanılabilir suların dezenfeksiyonu için uygun teknolojilerin araştırılması ve bu sularda gelişim gösterebilen *S. aureus*, *E. coli*, *E. faecalis*, *B. cereus* ve *A. niger* gibi fırsatçı patojen mikroorganizmaların US, ozon ve UV dezenfeksiyon uygulamalarından faydalanılarak uzaklaştırılmasında bu dezenfeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

2.1 Evsel Koşulda Faydalanılan Sularda Mikroorganizma Gelişimi

WHO ve UNICEF 2000 yılı raporlarına göre, dünyada 1.1. milyar insan yeterli su kaynağına ulaşamamakta ve 2.4 milyar insan ise yetersiz kalitedeki su kullanarak yaşamını sürdürmektedir. Yeterli su temini oranları incelendiğinde ise bu oranın şehirlerde yaşayanların %94'ünü, kırsal bölgelerde yaşayanların ise %71'ini kapsadığı; yeterli hijyenik suya erişebilme yüzdesinin ise şehirleşen bölgelerde %86 ve kırsal kesimlerde ise %38 olduğu tespit edilmiştir. Su temini ve hijyen kalitesi konusunda son 10 yıldır ortaya çıkan gelişmeler olmasına rağmen, bu çalışmaların şehirlerle sınırlı olduğu ve kırsal bölgelerdeki sorunlar için çözüm oluşturmadığı raporlanmıştır. Yeterli hijyenik suya ulaşma oranları incelendiğinde, kırsal bölgelerdeki oranın, şehirlerdekinin yarısı kadar geride kaldığı görülmektedir [10].

Hijyen koşulları ve su kullanımına bağlı olarak ishal enfeksiyonlarının halk sağlığı üzerinde ciddi problemler oluşturduğu ve her yıl özellikle 5 yaş altı çocuklarda görülen yaklaşık 4 milyar vakanın 2.2 milyonu ölümle sonuçlandığı WHO ve UNICEF raporlarında açıklanmıştır [11].

EPA raporlarına göre evsel atık sularda enfeksiyonlara yol açabilen mikroorganizmalar **Çizelge 2.1**'de özetlenmiştir [12].

Çizelge 2.1 : Evsel atık sularda enfeksiyon riski oluşturan mikroorganizmalar [12]

Mikroorganizma	Enfeksiyon	
Bakteri	<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
	<i>Leptospira (spp.)</i>	Leptospirosis
	<i>Salmonella typhi</i>	Typhoid fever
	<i>Salmonella</i> (=2 100 serotip)	Salmonellosis
	<i>Shigella (4 spp.)</i>	Shigellosis
	<i>Vibrio cholerae</i>	Kolera
Protozoa	<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiosis
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
Helminths	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
	<i>T. Solium</i>	Taeniasis
	<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis
Virüs	<i>Enteroviruses</i> (72 tip)	Gastroenteritis, kalp anormallikleri
	<i>Hepatit A virüsü</i>	Hepatit enfeksiyonu
	<i>Norwalk ajanı</i>	Gastroenteritis
	<i>Rotavirüs</i>	Gastroenteritis

Çizelge 2.1’de sunulan mikroorganizmalar ve sebep oldukları enfeksiyon türleri incelendiğinde; evsel koşullarda oluşan kontamine suların mikroorganizma içeriğine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde çok ciddi etkilerinin varlığından söz edilebilmektedir [12]. İçme suyu kalitesini artırmak amacıyla doğrudan musluğa adapte edilen fiziksel su arıtma sistemleri ya da alternatif su sebilleri gibi yöntemler kullanımı yaygınlaşmaktadır. Evsel koşullarda su geri kullanımı konusunda suyun mikrobiyal kalitesi sağlık açısından üzerinde durulması gereken önemli parametrelerdendir [13].

Evsel ortam, birçok mikroorganizma için gelişime uygun şartlar sağlamaktadır. Özellikle evlerde en yüksek kontaminasyon gösteren mutfak ve banyolar olarak ifade edilse de; hastalık yapıcı patojen mikroorganizmaların bu ortamlarda yaygın olmadığı bilinmektedir. Örnek olarak; banyolarda ve özellikle musluk sularında sıklıkla rastlanan mikobakteri türleri incelendiğinde; tüberküloz oluşturmeyen mikobakteri türlerinden *Legionella spp.* ve *Pseudomonas aeruginosa* ile karşılaşılmaktadır. Benzer şekilde evsel yüzeylerden izole edilen metisilin dirençli *S. aureus* türü de doğrudan hastalık riski teşkil etmemektedir. Kontamine hava ve gıdaların etkisiyle evsel ortamlarda küf varlığından da söz edilebilmektedir [14].

O'Toole ve arkadaşlarının evsel koşuldaki atık suların mikrobiyal kalitesini tespit etmek amacıyla yaptıkları çalışmada; Avustralya'da toplam 96 evde; 75 tanesi çamaşır makinası yıkama suyu, 74 tanesi çamaşır makinası durulama suyu ve 36 tanesi banyo suyu olmak üzere toplam 185 atık su örneğinde fekal indicator *E. coli* analizi gerçekleştirilmiştir. Klasik mikrobiyoloji analizlerine ek olarak polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile gerçekleştirilen moleküler biyoloji analizlerinde, toplanan örneklerin 104 tanesinde patojenik *E. coli* ve rotavirus gibi canlıların varlığı incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında; indicator *E. coli* varlığının çeşitlilik gösterdiği ve değerlendirilen atıksulardaki *E.coli* varlığının mide-bağırsak hastalıkları arasındaki benzerlikler ile ilişkilendirilemediği görülmüştür [3].

Lee ve arkadaşlarının 2007 yılında Amerika'da gerçekleştirdiği çalışmada, mutfak araç-gereçleri üzerindeki bakteriyel floranın bulaşık yıkama koşullarında dayanıklılığı araştırılmış ve bulaşık makinası, yıkama sıcaklığı ve süresi, organik materyal, temizlik şartları ve bakteri tipi gibi parametrelerin etkisi incelenmiştir. Çalışmada; porselen tabaklar, cam beherler, paslanmaz çelik çatal-kaşık ve bıçaklar ile plastik servis tabakları üzerine yumurta, peynir, reçel ve süt gibi kirlerle beraber *E. coli* ve *L.innocua* inokulasyonu yapılmış ve daha sonra, bulaşık makinasında düşük sıcaklıkta (24°C) gerçekleştirilen yıkama sonrasında süt ile kirletilmiş bakterili cam beherler dışındaki tüm bulaşık yüzeylerinde 5 log (cfu/mL) bakteri uzaklaştırma sağlandığı belirtilmiştir. Bakteri türlerinin organik materyal çeşidinden ve yıkama suyu sıcaklığından etkilendiği; ancak *E. coli*, *L. innocua* ile karşılaştırıldığında özellikle reçelli araç-gereçlerde canlılığını sürdürdüğü tespit edilmiştir. Diğer yıkama koşullarında çalışılan her iki mikroorganizma için belirgin bir farklılık kaydedilmemiştir [15].

Amerika'da bulaşık makinalarının hijyen performansının değerlendirilmesinde kullanılan ANSI/ NSF 2001 standardı incelendiğinde; özellikle sıcaklık ve deterjan/ kimyasal etkilerinin farklı kombinasyonlarının vurgulandığı görülmektedir. Bulaşık makinası dışında yıkanan bulaşıklarda bulaşığın miktarı, ilk durumdaki mikroorganizma seviyesi, deterjan miktarı, su sıcaklığı yıkanan yüzeylerden mikroorganizma uzaklaştırmadaki etkinliğini ve atık su mikrobiyal kalitesini etkileyen parametreler olarak tanımlanmaktadır [16].

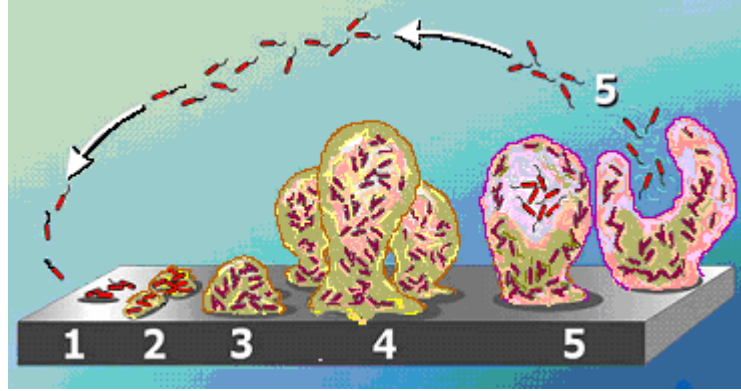
Wernersson ve arkadaşları tarafından 2004 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise; gıda kaynaklı hastalıklara neden olduğu ve patojen etkiler gösterdiği bilinen *S.*

aureus ve *B. cereus* bakterilerinin bulaşık makinası ortamında varlığını sürdürebilme dayanımı incelenmiştir. Deneysel çalışma 2 litrelik tankta; sıcaklık, pH, organik kir, deterjan tipi ve mikroorganizma konsantrasyonu parametreleri incelenerek gerçekleştirilmiştir. Bulaşık sularındaki *S. aureus* inaktivasyonu, elde bulaşık yıkama ve bulaşık makinasında yıkama gibi farklı şartlarda 45°C sıcaklık ve pH 7 şartlarında 50 dakikalık zaman diliminde gözlemlenmiştir. *S. aureus* ve *B. cereus* inaktivasyon süresini belirlemek amacıyla 45-65°C aralığındaki sıcaklıklarda testler yapılmıştır. 45°C uygulamasında *S.aureus* üzerinde çok az seviyede inaktivasyon gözlenmiş, 55°C sıcaklığında ise, 3 log (cfu/mL) mikrobiyal azalma için 7 dakika süre gerektiği kaydedilmiştir. Vejetatif *B. cereus* inaktivasyonu üzerinde de *S. aureus* ile benzer sonuçlar kaydedilmiş; ancak sporlu *B. cereus* için 65°C sıcaklığın bile mikroorganizma sayısını azaltmada yeterli olmadığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada, bulaşık sularındaki mikroorganizma sayılarını azaltmak için en etkili yollardan birinin su sıcaklığının >55°C'nin üstünde tutulmasıyla bulaşık yıkama suyu ile bulaşık yükleri arasındaki çapraz kirlilik riskinin azaltılabileceği vurgulanmaktadır [17].

Sağlık riski açısından evsel kontamine sular değerlendirildiğinde, bu suyun geri kullanılabilir olması için başlangıç mikrobiyal limit değerlerinin incelendiği bir çalışmada, fekal koliform seviyesinin 5 log (10^5 cfu/mL), toplam aerobik canlı sayımının ise 5-7 log (10^5 - 10^7 cfu/mL) olması gerektiği belirtilmektedir [6].

Evsel koşullardaki sularda mikroorganizma kontaminasyonları arasında özellikle ıslak yüzeylerde gözlenen biyofilm oluşumu da değerlendirilmektedir. Biyofilm oluşumu genellikle, boru hatlarında, üretim sistemindeki atık suların bulundukları su altı depolama tanklarında, yüzeylerde, atık drenajlarında, sürekli temizlenemeyen kanallarda görülmektedir. Biyofilmin partikülleri su birikintilerinin ardından yayılarak boruların içinden uzak bölgelere, yiyecek ve atıklara ulaşabilmektedir. Bakteri, mantar, küf, virüsler ve algler Van der Waals kuvveti ile yüzeye tutunmakta; mikroorganizmalar çevreden besin ve organik madde çekmek için ince fiber ve ekstra selüler yapı üretimine başlamaktadır. Mikroorganizmaların koloni oluşturmasıyla biyofilm oluşumu tamamlanmaktadır. Bakteriler, mayalar, küfler, algler ve protozoalar biyofilm oluşturma yeteneğine sahip canlılardır. Örneğin, *Pseudomonas aeruginosa* ve *P. fluorescens* büyümenin mümkün olduğu her koşulda biyofilm oluşturabilmektedir [18, 19].

Biyofilm oluşturma yeteneğine sahip bakterilere ise; *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Listeria*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*, *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Yersinia*, *Candida*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* örnek olarak verilebilmektedir. Bu mikroorganizmaların oluşturduğu biyofilm tabakalarının sebep olduğu hastalıklar arasında; tifo, çocuk felci, mantar enfeksiyonları, Hepatit, dizanteri, kolera, *E. coli* enfeksiyonları ve göz-kulak enfeksiyonları sayılabilmektedir. **Şekil 2.1**'de biyofilm oluşum mekanizması özetlenmektedir [19, 20].



Şekil 2.1 : Biyofilm oluşum mekanizması [18].

Şekil 2.1'de sunulan şematik biyofilm gösterimine göre; birinci aşamada yüzeydeki serbest bakterilerin oluşumu, ikinci aşamada ekstra selüler yapı oluşumu, üçüncü ve dördüncü aşamalarda ise biyofilm oluşumu ve gelişimi, son basamakta ise bakterilerin yeni biyofilm tabakaları oluşturması görsellenmektedir [20].

2.2 Su Dezenfeksiyon Yöntemleri

Canlı yaşamı için kritik öneme sahip olan su kaynaklarının; artan şehirleşme, iklim değişikliği ve nüfus artışı gibi faktörler ile tükenmesi sebebiyle su tasarrufu sağlanması günümüzde önemli bir konu haline gelmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yeterli su kaynağına ulaşmanın zor olması ve atık suların kalitesini iyileştirmek amacıyla fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kirleticilerin uzaklaştırılması için çeşitli prosesler geliştirilmektedir. Dezenfeksiyonda birincil amaç, mikroorganizmaların inaktivasyonudur. Klor gibi kimyasal dezenfektanlar, yaygın olarak bu amaçla tercih edilen; ancak suya kanserojenik ajan transferine izin veren yöntemlerdendir. Dezenfeksiyon yöntemlerinde en önemli parametre; sıcaklık,

bulanıklık ve akış gibi çözelti ortamlarında yöntemin etkinliğinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır [7, 21].

Farklı proseslerde faydanılan su sterilizasyon yöntemlerinin temel amacı tüm mikroorganizmaların inaktivasyonu iken; mikroorganizmaların metabolik faaliyetleri ve farklı koşullarda sergiledikleri direnç dolayısıyla tam inaktivasyon sağlanması evsel uygulamalarda mümkün olamamaktadır. Ancak; sterilizasyon amacıyla kullanılan yöntem ve uygulamanın optimizasyonu ile sağlık riskini ortadan kaldıracak şekilde inaktivasyon sağlanabilmektedir [22].

Mikroorganizmaların Bölüm 1.1’de bahsedilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik dezenfeksiyon yöntemlerine karşı gösterdikleri direnç ve bu duruma bağlı olarak inaktivasyon süreleri farklılık göstermektedir. Örnek olarak; farklı koşullarda daha yüksek direnç gösterdiği bilinen sporlu mikroorganizmaların yok edilmesinde seçilen dezenfeksiyon tekniği önem taşımaktadır. Sıcaklık uygulamaları, kimyasal madde kullanımı, süzme, filtrasyon gibi fiziksel ayırma işlemleri ve UV uygulamalarının tek başına ve/veya farklı kombinasyonları ile su dezenfeksiyonu sağlanabilmektedir [22].

Suda başlangıçta bulunan mikroorganizma yükü dezenfeksiyon işleminin başarısını etkilemektedir. Fiziksel temizleme işlemleri genellikle sudaki mikroorganizmaları öldürmemekte, sadece gözenek çapının üstündeki mikroorganizmaların suya tekrar taşınması engellenmekte; ancak diğer temizleme yöntemlerinde ise mikroorganizmanın hücre yapısı bozularak hücrenin büyüme ve çoğalma faaliyetlerinin zarar görmesi ve buna bağlı olarak hücre inaktivasyonu sağlanabilmektedir [22].

Agrawal ve arkadaşlarının 2009 yılında derlediği yayında; evsel kaynaklı sularda gastrointestinal hastalık risklerinin azaltılması amacıyla kullanılan temizleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu yayında; seramik filtreler ile filtreleme, klorlama, iyileştirilmiş su hattında depolama, termal UV ve güneş ışığı etkisiyle dezenfeksiyon, kimyasal koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon, evsel koşullarda su dezenfeksiyonunda uygulanabilir teknolojiler olarak ifade edilmiştir. Her bir teknolojinin uygulama limitleri ve etkinliklerinin, metodların bir arada kullanımı ile artırılabilirdiği vurgulanmıştır [8].

Dezenfeksiyon yönteminin seçiminde; metodun uygulanabilirliği, maliyeti, mikrobiyal inaktivasyon derecesi, uygulama süresi ve sıklığı, uygulama zorlukları

gibi parametrelerin yanı sıra hedeflenen su kalitesini sağlayabilmek amacıyla, atık suyun başlangıç mikrobiyal kirlilik seviyesi, bulanıklığı, atık su akış debisi, atık su depolama kısıtlarının doğru analiz edilmesi gerekmektedir [23]. **Çizelge 2.2**'de bu bölümde bahsedilen evsel koşulda su temizleme yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Evsel koşulda faydalanılan su saflaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması [23].

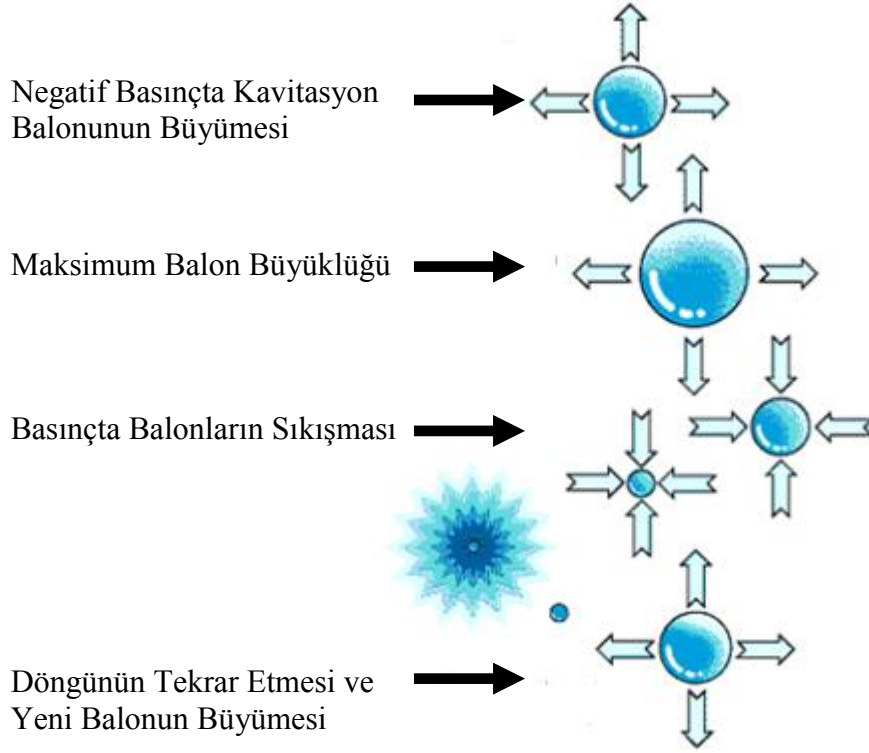
Yöntem	Uygulanabilirlik	Maliyet	Mikrobiyal İnaktivasyon Etkisi	Kısıtlar
Yüksek Sıcaklık Uygulamaları	Değişken	Kaynağa bağlı	Yüksek	Yüksek maliyet/ Uygulama süresi uzunluğu
Güneş ışığı	Yüksek	Düşük	Orta	Hava şartları/ Düzensiz su debisi
UV	Değişken	Değişken	Yüksek	Yüksek maliyet/ Düzensiz su debisi/ Su-elektrik hattı gerekliliği
Çöktürme	Yüksek	Düşük	Düşük	Uygulama sürenin uzunluğu Düşük etkinlik
Filtrasyon (Seramik-membran filtrasyon)	Değişken	Değişken	Değişken	Maliyet/ Düzenli Filtre Temizliği Filtre gözenek çapına bağlı etkinlik
Klorlama	Yüksek	Değişken	Yüksek	Bulanık suda düşük etki
İyon değişimi	Düşük/ Değişken	Yüksek	Orta	Maliyet/ Düzenli Filtre Temizliği Filtre gözenek çapına bağlı etkinlik
Ozon Gazı	Yüksek	Değişken	Yüksek	Sistem optimizasyonu/ Su kalitesi
Ultrases	Düşük/Değişken	Yüksek	Değişken	Maliyet/ Uygulama zorluğu

Çizelge 2.2'de özetlenen evsel koşulda faydalanılan su dezenfeksiyon metodlarına ek olarak farklı alanlarda kullanılan uygulamalara bakıldığında; elektroliz, fotokataliz, mikrodalga, gümüş iyonları, biyosidler, plazma gibi yöntemlerle karşılaşılmaktadır.

2.2.1 Ultrases uygulamaları

Ultra-sonik temizleme çoğunlukla yüksek frekanslarda ses dalgalarının sulu ortamlarda oluşturdukları kavitasyon etkisi ile yüzey temizleme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Sulu ortamlarda belli bir frekans ve güç değerine sahip ses dalgaları ile kavitasyon etkisi oluşturulmakta, böylece çözeltide oluşan hava kabarcıklarının yüzeylere çarpması ile hem yüzeydeki kirlerin uzaklaştırılması hem de mikroorganizmaların hücre duvarına zarar vererek canlı hücrelerin inaktivasyonu sağlanabilmektedir. Bir saniye içerisindeki titreşim sayısı olan frekans değerine göre sınıflandırılma yapıldığında ultrasonik ses, insan kulağının duyamayacağı frekanslardaki sesler olarak tanımlanıp, frekansı 20 kHz'in üstündedir. Frekans aralığı ultrasonik sesten düşük olan sesler alçak frekanslı (infrasonik), frekans değeri 500 kHz'ten büyük olan sesler ise yüksek frekanslı (megasonik) olarak gruplandırılmaktadır [24].

Ses dalgalarının transduser aracılığıyla sulu ortamlarda iletilmesinin meydana getirdiği basınç farklılıkları kavitasyona neden olmaktadır. Kavitasyon sonucunda oluşan baloncukların patlaması ile anlık ve bölgesel olarak yüksek sıcaklık ve basınç değerlerine ulaşmakta ve böylece yüzeylerdeki kir ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması sağlanmaktadır [24]. **Şekil 2.2'**de kavitasyon oluşumu ve baloncuk patlaması şematik olarak gösterilmiştir.

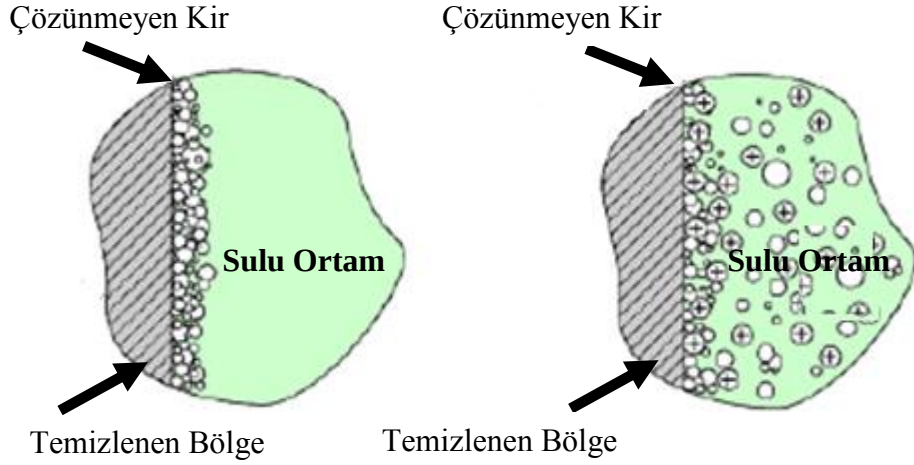


Şekil 2.2 : Kavitasyon olayının etkisi [25].

Şekil 2.2’de kavitasyon oluşum basamakları temsil edilmektedir. Ses dalgaları kullanılarak gerçekleştirilen yıkama işleminde temel etki kavitasyon oluşumudur. Yıkama işleminde transduser aracılığıyla oluşturulan ultrasonik ses dalgalarının yarattığı basınç farklılıkları kavitasyon oluşumu sağlamaktadır. Basıncın azalması ile sıvı molekülleri genişlemekte böylece etki terse dönmekte ve sıkıştırma işlemi gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak kabarcık patlamaktadır. Bu işlem mikro saniyeler içinde gerçekleşmektedir. Baloncukların içeri çökmesiyle yok olması sırasında boşalan hacme temizleme çözeltisi büyük bir hızla hücum etmekte ve bu olay ultrasonik kavitasyon olarak isimlendirilmektedir. Kavitasyon sırasında hareket eden çözelti molekülleri, parça yüzeyleri yüksek atmosfer basıncında bir basınçla bombardımana tabi tutulması ile yüzey temizleme işlemi gerçekleşmektedir. Kavitasyonu etkileyen parametreler arasında, sıcaklık, statik basınç etkisi, genlik etkisi, güç ve frekans, viskozite etkisi, sıvı yüksekliği, uygulama süresi, sudaki başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu, mikroorganizma yapısı sayılabilmektedir [26].

Akustik koşulların optimum olması için sıvı yüksekliğinin US dalga boyunun yarısının katları olmalıdır. Yüksek viskozitelerde kavitasyon oluşumu zor; ancak

baloncuk patlamaları daha şiddetli olmaktadır. Genlik etkisinin artması, US gücünde artırmaktadır. Basınç artışı ultrasonik güç artışında etkilidir; ancak bu etkinin derecesi işlem sıcaklığına bağlıdır. Sıvının sıcaklığı arttığında kabarcık sayısı da çoğalmakta ve kavitasyonu daha fazla yoğunlaştırıcı etki yaratmaktadır. Diğer taraftan sıcaklık yükselirken kabarcıkların içerisindeki gaz içeriği de artmakta ve böylece patlama şiddeti azalmaktadır [25]. Düşük frekansta daha büyük boyutlu kabarcıklar oluşmakta bu nedenle patlama şiddeti daha yüksek olmaktadır. Sulu ortamda US temizleme işleminde, sıvı filmi su ve yüzey aktif madde çözeltileri oluşturmaktadır. **Şekil 2.3**'te kavitasyon etkisi ile yüzeydeki kirin temizleme ortamına taşınımı şematik olarak gösterilmiştir [26].

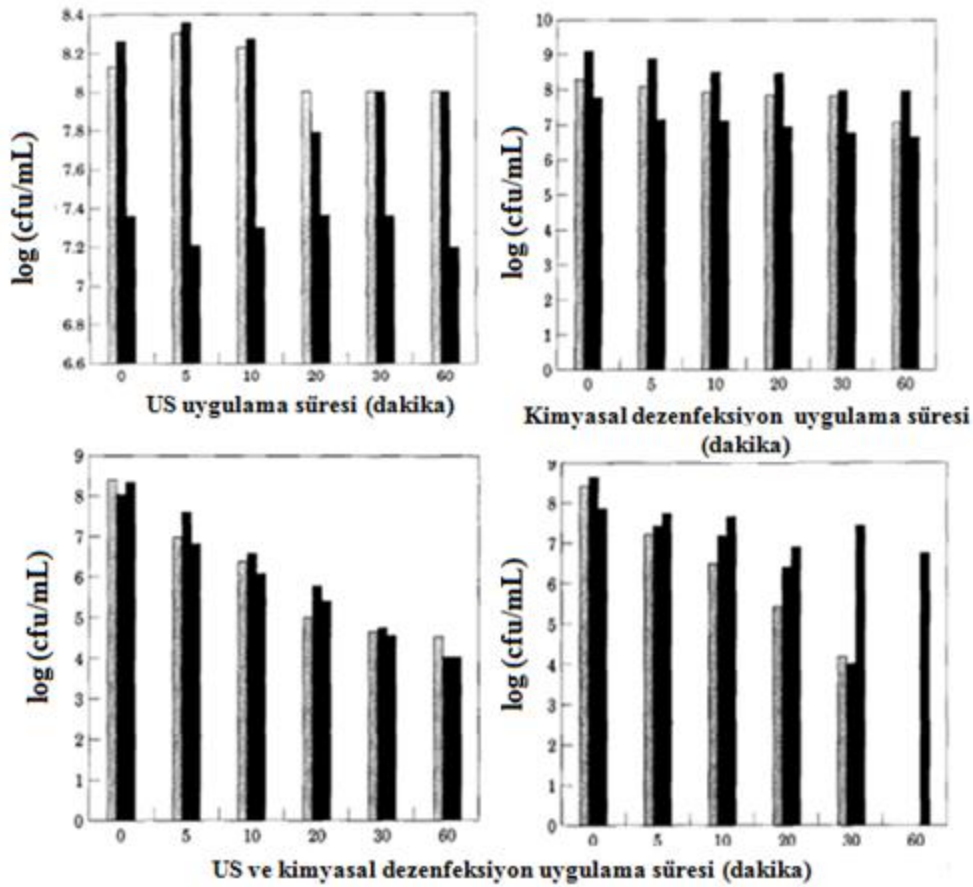


Şekil 2.3 : Kavitasyonla kir taşınması [26].

Hulsmans ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada pilot ölçekli su dezenfeksiyon sistemleri üzerine US tekniğinin etkileri ve bu teknik üzerine etki eden parametreler incelenmiştir. Ana parametre olarak, güç, su hacmi ve uygulama süresi seçilmiştir. Çalışmada, klorlama, ozonlama ve UV gibi kimyasal ve fiziksel tekniklerin çevreye duyarlı olmaması ve kanserojen etki yaratabilme olasılığına alternatif olarak US teknolojisi tercih edildiği belirtilmektedir. Tek geçiş US uygulaması ve sirkülasyonlu US sisteminde deneyler gerçekleştirilmiştir. *P. aeruginosa*, *Flavobacterium breve*, *Aeromonas hydrophila* ve *E. coli* gibi suyun doğal florasında bulunan mikroorganizmalar ile çalışılmış, sonuç olarak, sirkülasyonlu su proseslerinde US teknolojisi ile bakteri kirliliği azaltma etkinliğinin düşük seviyelerde kaldığı; ancak US dezenfeksiyon yönteminin farklı dezenfeksiyon uygulamaları ile birlikte daha verimli şekilde kullanılabilirliği görülmüştür. Düşük akış debisi ve tek geçiş US

uygulamasındaki bakteri inaktivasyonu, tek geçiş US ve yüksek akış debisine göre daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [27].

Jatzwauk ve arkadaşlarının US dezenfeksiyon yönteminin özellikle cerrahi ve diş ekipmanlarının temizliğindeki etkinliğinin artırılmasına yönelik gerçekleştirildiği çalışmada, US etkisinin kimyasal ve kimyasal kombinasyonları ile 35 kHz frekansındaki testlerin; *S. aureus*, *P. aeruginosa* ve *Candida albicans* kültürleri üzerindeki dezenfeksiyon etkisi 1 saat boyunca incelenmiştir. Tek başına US çalışmasının 60 dakikada bakteri ve mayaların inaktivasyonunda ciddi azalma sağlamadığı; ancak US teknolojisinin mikroorganizmalara karşı kimyasal kullanımının yanında kavitasyonla sinerjik etki ile inaktivasyonda önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Benzer sinerjik etki sadece US uygulamasında gözlenememiş; bunun sebebi olarak kavitasyonun US banyo içinde homojen olmadığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çalışmada elde edilen mikroorganizma inaktivasyon seviyeleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir [28].



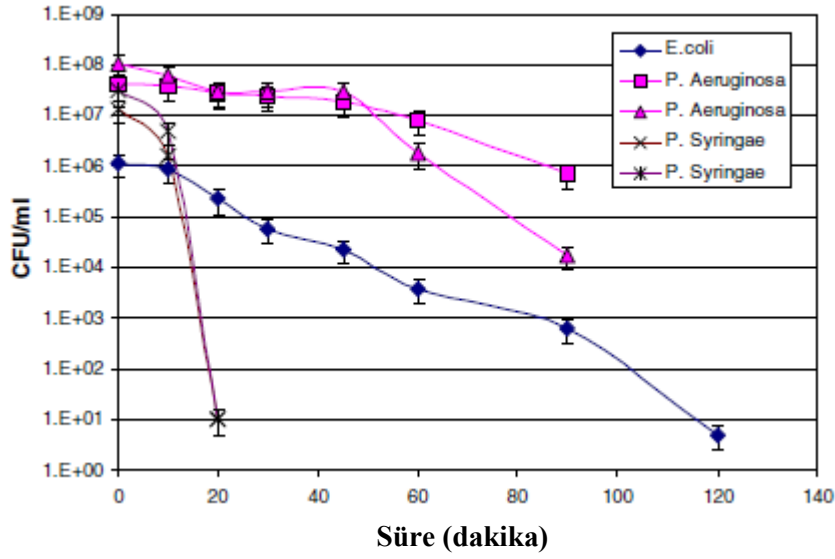
Şekil 2.4 : US uygulamasının kimyasal dezenfeksiyon yöntemi ile karşılaştırılması [28].

Şekil 2.4'te ultrasonik etkinin mikroorganizma uzaklaştırmada tek başına yeterli olmadığı, US teknolojisi ile kimyasal dezenfeksiyon etkisinin bir arada kullanıldığı durumlarda mikroorganizma uzaklaştırmada başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir [28].

Kavitasyonel reaktörlerin su dezenfeksiyonunda kullanımının durumu ve alternatif pratik yöntemlerin Gogate tarafından incelendiği bir başka çalışmada, pilot ölçekli sonik-kimyasal reaktör kullanılarak konvansiyonel dezenfeksiyon tekniklerine göre ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, laboratuvar ölçeklerinde gerçekleştirilen operasyonlarda kavitasyon etkisinin güçlü olduğu; fakat endüstriyel bazlı konvansiyonel kimyasal yöntemler ile karşılaştırıldığında ciddi yatırımlar olduğu görülmüştür [21].

Madge ve arkadaşlarının 2002'de yaptığı çalışmada, 20 kHz US ünitesi evsel atık su dezenfeksiyonunda kullanılmış ve 1L su hacminde 70W gücünde 0.003 log (cfu/mL) ve 1250W gücünde ise 1.8 log (cfu/mL) mikrobiyal uzaklaştırma etkinlikleri kaydedilmiştir. Bu çalışmada; suyun başlangıç kalitesinin dezenfeksiyon etkinliğinde belirgin bir farklılık yaratmadığı, US kaynaklı ani sıcaklık artışının büyük etkisi olduğu vurgulanmıştır. US uygulamasında genel olarak antibakteriyel etkinliğin %52'sinin sıcaklıktan, %36'sının mekanik gerilimden ve %12'sinin ise belirlenemeyen etkileşimlerinden kaynaklandığı belirtilmiştir [29].

Loraine ve arkadaşlarının ticari bir ürün olan STRATOJET (8 orifizli/ pompa basıncı:16.5 bar) adındaki kavitasyonlu jet teknolojisini kullanarak *E. coli*, *Klebsiella pneumonia*, *P. syringae* ve *P. aeruginosa* gibi mikroorganizmalar üzerindeki dezenfeksiyon etkisini inceledikleri çalışmada; bu türler üzerinde hidrodinamik kavitasyon jetinin mikroorganizma konsantrasyonunda önemli azalma sağladığı ve gram-negatif türler üzerindeki inaktivasyonun gram-pozitiflerden daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı şartlardaki farklı mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyona bakıldığında, *P. aeruginosa* 'da 3 log (cfu/mL) azalma, *P. syringae* 'de 6 log (cfu/mL) azalma ve son olarak *E. coli* 'de 5-6 log (cfu/mL) azalma kaydedilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar **Şekil 2.5**'te verilmiştir [30].



Şekil 2.5 : US STRATOJET' in mikroorganizmalar üzerindeki dezenfeksiyon etkisi [30].

Şekil 2.5'e göre, seçilen mikroorganizmalar üzerinde en az 3 log (cfu/mL) azalma *P. aeruginosa* ve en fazla inaktivasyon ise *E. coli* ve *P. syringae* üzerinde kaydedilmiştir. Diğer taraftan *Bacillus subtilis* gibi gram-pozitif bakteri için uzaklaştırma etkisi gözlenememiştir. Yazarlar tarafından bu çalışmada gram-negatif mikroorganizmaların hücre duvarlarının daha ince yapıda olması uygulamanın etkinliğini artırarak, hücre duvarı yapılarının bu sterilizasyon metodunda önemli faktör olduğu sonucuna ulaşılmıştır [30].

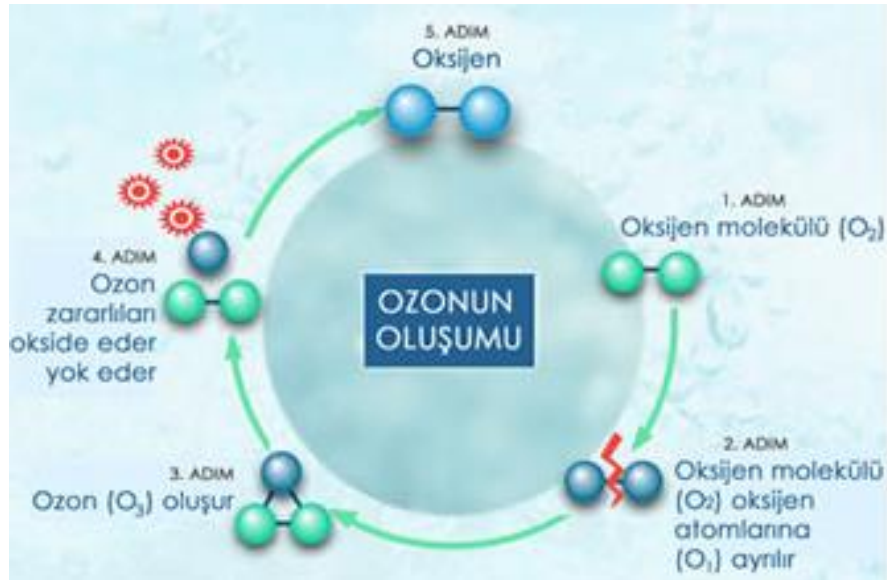
Sonuç olarak; ultrases teknolojisi kullanılarak sulu ortamların dezenfeksiyonu ile ilgili yapılan literatür araştırmasında, uygulamanın başarısının atık suyun başlangıç mikroorganizma konsantrasyonu, su debisi, sıcaklık, US gücü ve frekansı, uygulama süresi gibi birçok parametreye bağlı olduğu ve tek başına US uygulaması yerine kimyasal, ozon, dezenfektan, bakterisit, elektroliz gibi teknolojilerle kombine olarak kullanımının mikroorganizma uzaklaştırmada olumlu yönde sinerjik etki oluşturduğu görülmektedir.

2.2.2 Ozon uygulamaları

İncelenecek diğer dezenfeksiyon yöntemlerinden olan ozon (O_3), oksidasyon gücü çok yüksek olan bir gaz ve bilinen en kuvvetli dezenfektanlardan biridir. Ozon gazı yüksek oksidasyon gücü nedeniyle çok farklı alanlarda temizleme etkisi nedeniyle içme sularında istenmeyen tat, koku ve rengin giderilmesi, suların dezenfeksiyonu, hava temizleme alanlarında, ağır metallerin giderilmesi, dezenfektanların yan

ürünlerinin giderilmesi alanlarında tercih edilmektedir. Ozon ile mikroorganizmaların hücre duvarı parçalanmakta, böylece hücrelerin inaktivasyonu ile dezenfeksiyon sağlanması mümkün olmaktadır. Diğer taraftan organik bileşenler ile oksidasyon reaksiyonlarına girmekte ve bu bileşenlerin daha küçük karbonlu bileşenlere parçalanmasını sağlamaktadır [31].

Ozon gazının üretimi için en yaygın olarak kullanılan yöntemler *corona discharge* ozon jeneratörleri ve ultraviyole ozon jeneratörleri ile ozon üretimidir. *Corona discharge* yöntemi, elektriksel alandan oksijence zengin bir gaz geçirilerek yoğun enerji nedeniyle bazı oksijen moleküllerinin parçalandığı ve oluşan oksijen atomlarının diğer oksijen molekülleriyle birleşerek üç oksijen atomlu ozon molekülünü oluşturması mekanizması ile işlemektedir. Bu yöntemde kullanılan yaygın gazlar arasında; kuru hava, azotu alınmış kuru hava oksijeni ve sıvılaştırılmış saf O_2 sayılabilmektedir. Bu yöntem daha az enerji tüketimi ve maliyetinin düşük olmasının yanı sıra daha fazla ozon üretimi sağladığından diğer yöntemlerden daha avantajlıdır. Ultraviyole ozon jeneratörlerinin çalışma prensibi incelendiğinde, oksijen atomu 220 nm'den kısa dalga boylu ışık sağlayan UV lambanın etrafından geçirilerek parçalanma sağlanır ve serbest kalan oksijen atomu ile birleşerek ozon gazı oluşturduğu görülmektedir. **Şekil 2.6**'da ozon oluşum mekanizması gösterilmektedir [32, 33].



Şekil 2.6 : Ozon oluşum mekanizması [34].

Organik madde içeren suya ozon verildiğinde, ozon öncelikli olarak sudaki cansız organik maddeler ile reaksiyona girmekte, bu maddelerin seviyesi azaldıkça mikroorganizmaların inaktivasyonu sağlanmaktadır. Bu nedenle, ozon uygulamalarında dezenfeksiyon etkisinin artırılması için ön işlemden geçirilmiş (filtrasyon vs.) sularda uygulanması daha yüksek fayda sağlamaktadır. Ozon gazının bakterisit etkisi; sudaki organik kirlilik seviyesi ve çözünmüş madde miktarı, su pH'ı ve sıcaklığı ile temas süresi ile doğrudan ilişkilidir [31].

Xu ve arkadaşlarının ozon uygulamalarından faydalanılarak atık su dezenfeksiyonunu etkileyen temel parametrelerin belirlenmesi konusunda yaptıkları çalışmada, transfer edilen ozon dozunun kritik parametrelerden olduğu sonucuna ulaşmıştır [33].

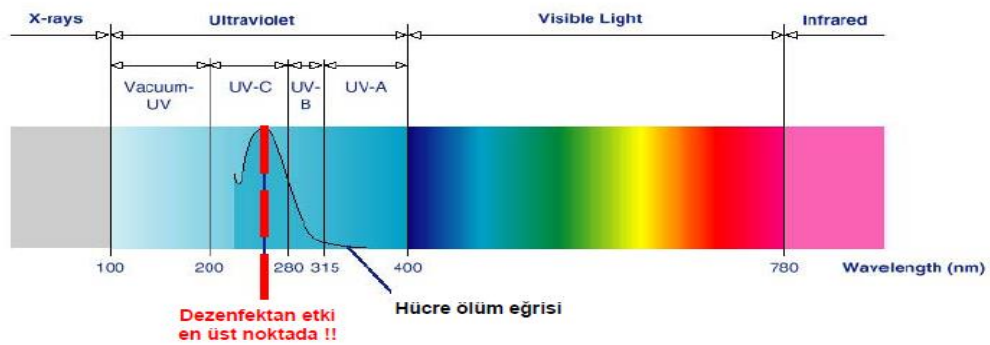
Organik atık oluşturmaması, suyun pH'ını değiştirmemesi, suyun tadının giderilmesi, su depolama tanklarında kalsiyum karbonatın tortu oluşturmamasını engellenmesi ozon ile dezenfeksiyon uygulamalarının avantajlarından [31]. Ozon ile dezenfeksiyonun dezavantajlarına bakıldığında ise, ozonun kararsız bir gaz olması, depolanamaması, korozyon etkiye sahip olması ve ozon üretimi sırasında koku oluşumu sayılabilmektedir. Diğer taraftan, deterjanların içerisinde bulunan organik bileşenlerin de ozon gazı için bir reaktan olabileceğinden, deterjanlı sularda dezenfeksiyon etkisi düşük olabilmektedir [31,33]. **Çizelge 2.3'**te ozon ile dezenfeksiyonun avantaj ve dezavantajları özetlenmektedir.

Çizelge 2.3 : Ozon gazı ile atık su dezenfeksiyonunun avantaj ve dezavantajları
[31-33].

Avantajlar	Dezavantajlar
Mikroorganizma inaktivasyonunda başarılı	Düşük ozon dozlarında etkisiz
Kısa sürede dezenfeksiyon etkisi (10- 30 dakika)	Diğer dezenfeksiyon yöntemlerinden karmaşık yapı
Ozonun hızlı bozunması/ yan ürün üretmemesi	Reaktif ve koroziv/ tank yapısının malzeme kriteri
Mikroorganizmaların yeniden gelişiminin engellenmesi	Ön işlem uygulanmamış atık sular için ekonomik değil
Kullanımının tehlike yaratmaması	Tahriş edici özellik
Sudaki çözünmüş O ₂ miktarının artırılması	Kararsız yapı/ Maliyet

2.2.3 Ultraviyole dezenfeksiyon uygulamaları

Su dezenfeksiyonunda yaygın kullanım alanına sahip olan UV dezenfeksiyon yöntemi, görünür ışın ile X ışını arası dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaların, mikroorganizmaların genetik materyali üzerinde etkisinden faydalanılan dezenfeksiyon yöntemlerinden olup, canlıların genetik materyali üzerinde etki göstermektedir. UV; dalga boyu aralıklarına göre UV-A, UV-B ve UV-C olarak sınıflandırılmakta, bunlardan 200-280 nm dalgaboyu aralığını kapsayan UV-C ışınları dezenfeksiyon amacı ile kullanılmaktadır [35]. **Şekil 2.7'**de ışık spektrumu ve UV ışınları dezenfeksiyon etkisi gösterilmektedir [36].



Şekil 2.7 : UV ışınları dezenfeksiyon etkisi [36].

Şekil 2.7'de mikroorganizmaları inaktive edici dezenfeksiyon etkisinin 200-280 nm dalga boyunda gerçekleştiği gösterilmektedir.

Su arıtım sistemlerinde ise özellikle 254 nm dalgaboylu UV-C ışıklarından faydalanılmakta, bu dalga boyu ile mikroorganizmaların DNA yapısında fotooksidasyon ile hasar oluşması sağlanmakta ve DNA'sı tahrip olan canlının üreme dahil tüm hücre faaliyetleri durdurularak hücre ölümü gerçekleşmektedir [37].

UV dozu, lamba adedi ve yerleşimi, tasarım ve kapasite seçimi, uygulama süresi, lamba gücü ve ömrü, suyun debisi, mikroorganizma cinsi ve seviyesi gibi özellikler sistemin performansını etkilemektedir [35-37].

UV uygulamalarında, su dezenfeksiyonu için en etkili parametre UV dozu olarak tanımlanmaktadır. UV dozu, uygulama süresi ile ilgili bir parametre olup, suyun akış debisi ile yakından ilişkilidir. Buna göre; kullanılan suyun debisi arttıkça, akış halindeki su UV'ye daha kısa süre maruz kalacağından UV dozu düşmektedir. UV dozu;

$$\text{UV dozu (Joule/m}^2\text{)} = \text{UV ışın yoğunluğu (Watt/m}^2\text{)} \times \text{Temas süresi (saniye)} \quad (2.1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Literatür verilerine bakıldığında, 400 J/m² UV dozu ve sistem parametrelerinin optimizasyonu ile patojen mikroorganizmaların %99.99 oranında giderilebildiği görülmektedir. Bazı kaynaklarda patojen mikroorganizmaların farklı seviyelerde inaktivasyonu için gerekli olduğu belirtilen UV dozları **Çizelge 2.4**'te görülmektedir [35].

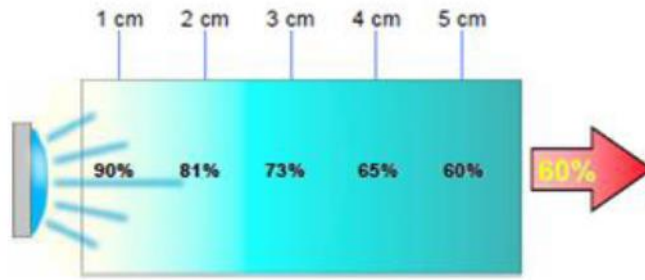
Çizelge 2.4 : Mikroorganizmaların UV' ye karşı dirençleri ve uzaklaştırma için gerekli UV dozları [35].

Patojen Mikroorganizma	Mikroorganizma giderimi için gerekli UV dozları (J/m ²)			
	%90	%99	%99.90	%99.99
<i>Cryptosporidium oocysts</i>	-	100	190	350
<i>Vibrio cholerae</i>	65	110	180	300
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	15	28	41	56
<i>Salmonella typhimurium</i>	80	118	152	195
<i>Hepatitis A virüs</i>	55	140	220	300
<i>Poliovirus Type 1</i>	60	140	230	300
<i>Coxsackie B5 virus</i>	69	140	220	300
<i>Rotavirus SA11</i>	71	150	240	365
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	-	-	65	125
<i>Sarcina lutea</i>	-	-	265	350
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	3300
<i>Rhizopus nigricans</i>	-	-	-	2200
<i>Penicilium roqueforti</i>	-	-	-	220
<i>S.cerevisia</i>	-	-	-	13.2
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	-	10.5
<i>S. aureus</i>	-	-	-	66
<i>St. hemolyticus</i>	-	-	-	55
<i>Ebethella typosa</i>	-	-	-	41

Çizelge 2.4 incelendiğinde; farklı mikroorganizma türlerinin farklı seviyelerdeki inaktivasyonunda çok değişken UV dozlarına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. UV dozuna ek olarak; lamba adedi ve yerleşimi, UV dalga boyu, tasarım ve kapasite seçimi, uygulama süresi, lamba gücü, ömrü ve tasarım parametreleri, suyun

geçirgenlik değeri ve debisi, mikroorganizma cinsi ve seviyesi sporlu olup olmaması) gibi özellikler sistemin performansında önemli rol oynamaktadır [35].

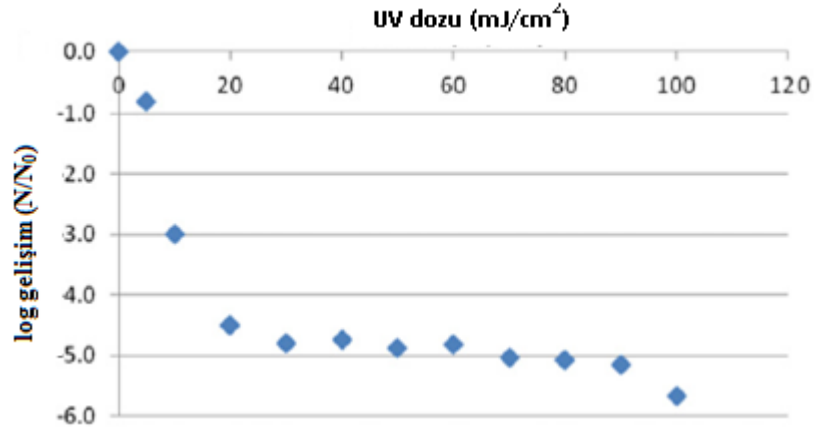
UV uygulamaları ile dezenfeksiyon, düşük işletim maliyeti, kullanımının kolay olması, düşük temas süresi, suya herhangi bir kimyasal eklenmemesi, suda kansorejen etki oluşturmaması gibi avantajlara sahiptir. Bunlara ek olarak; UV uygulamalarının suyun renk, tat, koku gibi fiziksel özellikleri üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmaması, kimyasal dezenfeksiyon yöntemlerine karşı büyük avantaj sağlamaktadır. Lamba gücünün zamanla kaybolması, lamba tüpü üzerinde ince tabaka oluşması, suyun bulanıklığının lamba gücü üzerine olumsuz etkisi ve UV uygulamasından sonra su depolanacaksa ek dezenfeksiyon yöntemlerine ihtiyaç duyulması gibi problemler ise yöntemin dezavantajları olarak gösterilmektedir. Ayrıca, UV'nin uygulama şartlarına bağlı olarak özellikle polimer yüzeylerinde sararma ve koku oluşumuna sebep olduğu bilinmektedir [35-38]. **Şekil 2.8**'de UV ışık yoğunluğunun su içindeki ilerleyişi ve güç kaybına ilişkin şematik gösterim verilmiştir.



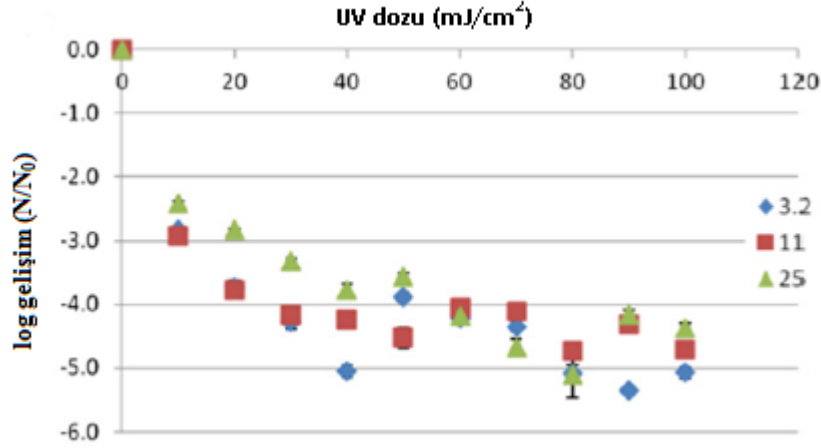
Şekil 2.8 : UV ışık yoğunluğunun su içindeki ilerleyişi ve güç kaybı [35].

Şekil 2.8'de gösterildiği gibi, sulu ortamda UV lambaya olan uzaklığın artmasıyla azalan ışık yoğunluğuna bağlı olarak UV dezenfeksiyon etkisi azalma göstermektedir. 20. yüzyılın başlarından itibaren içme suyunun dezenfeksiyonu için kullanılan UV lambalarla, su kaynaklı klora dayanıklı protozoa olan *Cryptosporidium parvum* oocysts ve *Giardia lamblia* cyst'in üzerinde >%99.9 oranında inaktivasyon sağlandığı kaydedilmiştir. Ancak sudaki çözünmüş organik madde miktarı UV dozunu düşürmekte ve mikrobiyal dezenfeksiyon etkisini azaltmaktadır. Ayrıca UV, uygulama sonrası su kirlenmelerinde belirgin inaktivasyon etkisi sağlamamaktadır [8].

Kollu ve arkadaşlarının *E. coli*'nin UV ile dezenfeksiyonunda parça ve biyoflokülasyon etkisini incelenildiği çalışmada, UV dezenfeksiyon sisteminin, partiküllü, mikroorganizmalı atık su örneklerinin temizlenmesindeki verimliliği artırarak bu yöntemin kararlı bir uygulama haline getirilmesi amaçlanmıştır. Kontrollü test düzenekleri oluşturulmuş, farklı boyutlarda lateks parçaları ile çözeltideki partiküler etki sağlanmıştır. Partiküler etkinin olmadığı ve UV dozunun 90 mJ/cm^2 olduğu şartlarda, *E. coli* inaktivasyonu tamamen sağlanamamıştır. Partikül varlığının olduğu durumlarda ölçülen *E.coli* inaktivasyon seviyesinin, partikül olmayan duruma göre daha düşük seviyede kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. $<9 \text{ mJ/cm}^2$ UV dozu gibi düşük doz uygulamalarında da partikül boyutunun ya da flokülasyon derecesinin çözeltideki *E. coli* seviyesini azaltmada belirgin bir etkisi kaydedilememiştir. Yüksek UV dozlarında (80 mJ/cm^2) partikül boyutunun mikroorganizma inaktivasyonunda önemli rol oynadığı belirlenmiştir. $3.2 \mu\text{m}$, $11 \mu\text{m}$ ve $25 \mu\text{m}$ gibi boyutlardaki partiküllerin varlığındaki inaktivasyon seviyesi, partikül olmayan durumla karşılaştırıldığında belirgin farklar kaydedilememiştir. **Şekil 2.9** ve **Şekil 2.10**'da partikül etkili ve partikül etkisiz sulu çözeltideki *E. coli* inaktivasyonuna ilişkin sonuçlar verilmiştir [38].



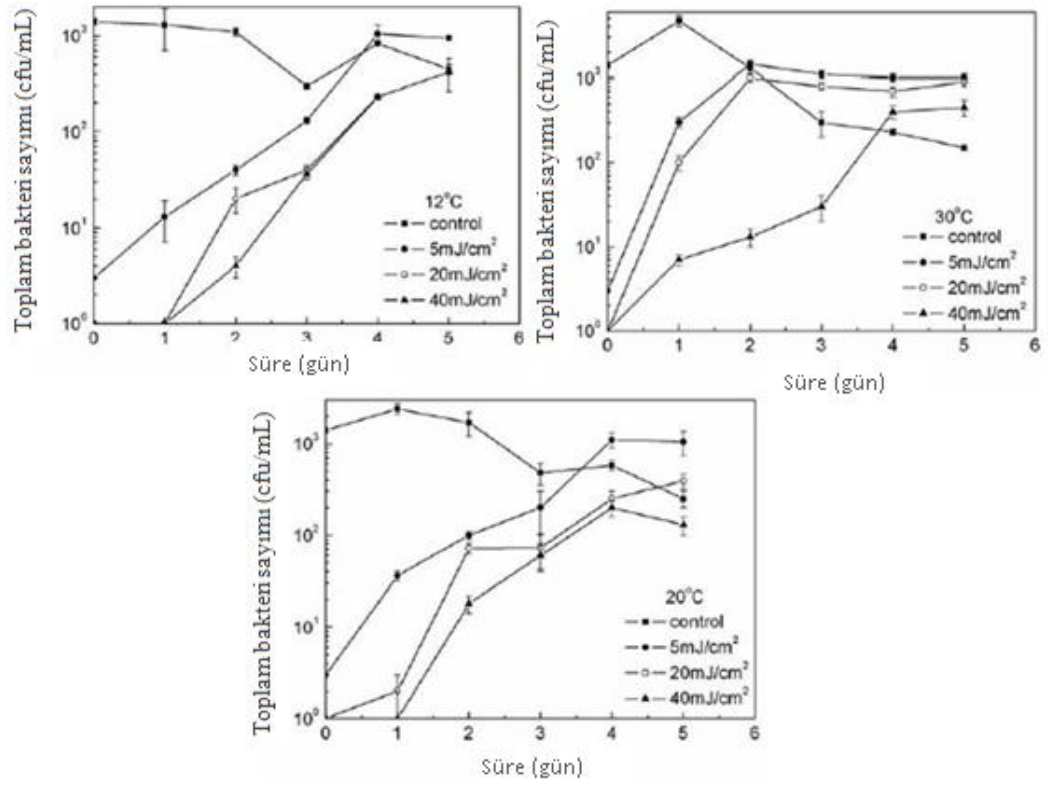
Şekil 2.9 : Parça etkisiz farklı UV dozlarının *E. coli* inaktivasyonuna etkisi [38].



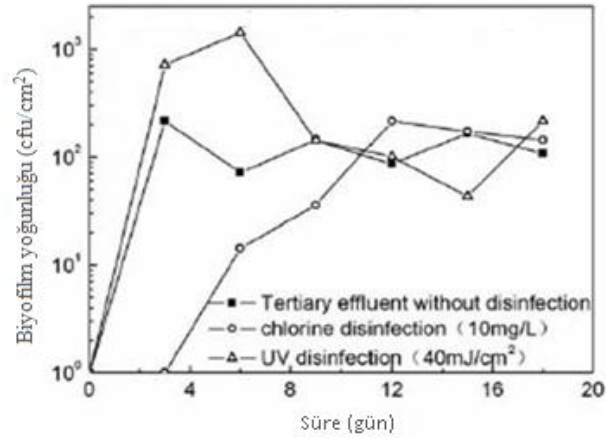
Şekil 2.10 : Parça etkili UV dozlarının *E.coli* inaktivasyonuna etkisi [38].

Şekil 2.9 incelendiğinde partikül olmaması durumunda indirgemenin oldukça yüksek olduğu buna karşın Şekil 2.10 incelendiğinde, 40 mJ/cm² UV dozu değerinde, 3.2 µm’de 5 log (N/N₀), 11 µm’de 4.2 log (N/N₀), 25 µm’de ise 3.8 log (N/N₀) indirgeme olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, 40 mJ/cm² UV dozunda partikül olmadığı durumlarda maksimum bakteri inokülasyonu sağlanmış, partikül olan durumlarda ise yüksek UV dozu uygulamasına rağmen, mikroorganizmaların partiküler tarafından UV etkisinden korunduğu gözlemlenmiştir. 11 ve 25 µm partikül boyutlarında, 80 mJ/cm² dozunda floküle olmamış ve floküle olmuş şartlardaki *E. coli* inaktivasyonları arasında ciddi farklar gözlemlenmiştir. Flokülasyon derecesinin sadece yüksek UV dozlarında ve büyük parçalar bulunduran çözeltilerde bakteri varlığının belirlenmesinde önemli faktör olduğu kaydedilmiştir [38].

Guo ve arkadaşlarının atık suların UV ile dezenfeksiyonundan sonra geri kullanım su hattının biyokaralılığının incelendiği çalışmada, 12°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarda, 5 mJ/cm², 20 mJ/cm² ve 40 mJ/cm² civalı UV dezenfeksiyon ünitesi ile gerçekleştirilen testlerde, dezenfeksiyon etkisinin sadece birkaç gün sürdürülebildiği; sıcaklığın mikroorganizma seviyesini indirgemedi belirgin fark yaratmadığı ve toplam bakteri sayımının 5 günde dezenfekte edilmemiş su örneklerindeki toplam canlı sayımlarıyla eş seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir [39].



Şekil 2.11 : Farklı sıcaklık ve UV dozları uygulaması sonrasında sulu çözelti ortamındaki mikrobiyal konsantrasyon değişimi [39].



Şekil 2.12 : Farklı dezenfeksiyon uygulaması sonucunda toplam bakterilerin biyofilm oluşturma etkisinin değişimi [39].

Şekil 2.12 incelendiğinde, UV ve klor uygulamalarından sonra suda artan biyofilm konsantrasyonları arasında fark gözlenmemekte; ancak 18 günün sonunda her iki işlemde biyofilm konsantrasyonu eşit seviyeye ulaştığı görülmektedir. Klorlama gibi

diğer dezenfeksiyon işlemleri ile karşılaştırıldığında UV dezenfeksiyon ünitesi mikroorganizma inaktivasyonunda belirgin farklılık yaratmamaktadır [39].

Pozos ve arkadaşlarının UV dezenfeksiyon sisteminin, biyofilm oluşumu ve mikrobiyal gelişim üzerine etkilerini incelediği çalışmada, 3 log (10^3 cfu/mL) konsantrasyonunda *E. coli* ve *Klebsiella pneumoniae* fırsatçı patojenlerinden mikrobiyal çözeltiler hazırlanmış ve heterotrofik bakteri biyofilm oluşumu sağlandıktan sonra, UV uygulamasının biyofilm oluşumunu engelleme yönünde katkı sağlamadığı belirtilmiştir [40].

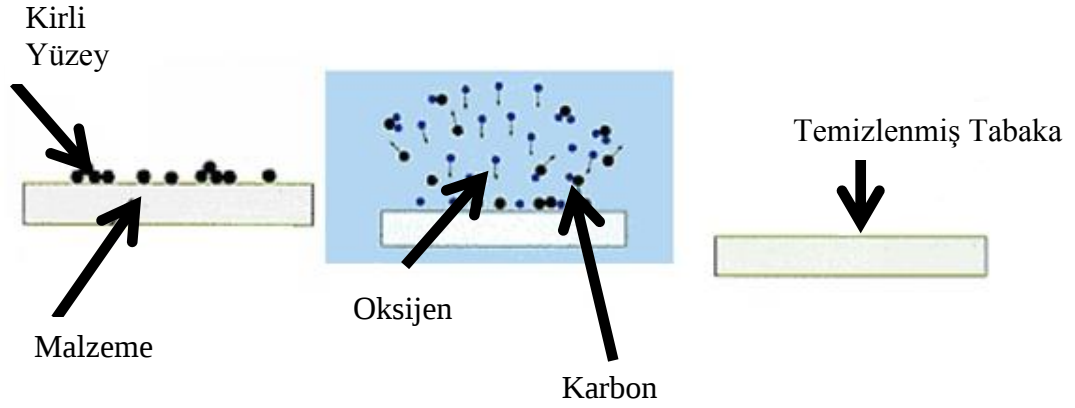
Sonuç olarak UV kullanılarak sulu ortamların dezenfeksiyonu ile ilgili yapılan literatür araştırmasında, uygulamanın başarısının suyun bulanıklığına, lamba gücüne, suyun başlangıç mikrobiyal konsantrasyonuna, uygulama süresine, UV dozu gibi parametrelerle yakından ilgili olduğu görülmektedir.

2.2.4 Plazma uygulamaları

Katı, sıvı ve gaz fazlarından sonra maddenin dördüncü hali olarak ifade edilen plazma; geniş bir sıcaklık aralığında elektromanyetik alanlarda, temel veya uyarılmış halde bulunan elektronlardan, iyonlardan gaz atomlarından ve moleküllerden oluşan ve toplam yükü nötr olan iyonize gaz olarak tanımlanmaktadır [41].

Serbestçe hareket eden gaz atomlarının sıcaklığı daha fazla arttırıldığında gaz atomlarından bir ya da birkaç elektron kopmakta ve serbest hareket eden yüklü parçacıklara (pozitif iyonlar ve elektronlar) ayrışarak maddenin plazma halini oluşturmaktadır [41].

Plazma; bazı kaynaklarda elektronlar, iyonlar veya nötral partiküllerden oluşan bir gaz bulutu olarak da tanımlanmaktadır. Düşük sıcaklıkta plazma oluşumunu sağlayabilmek için kapalı bir kabin, vakum sistemi ve plazmaya dönüşebilecek bir kimyasala ihtiyaç vardır. Plazmayı oluşturacak bir elektromanyetik enerji kaynağı bulunmalıdır. Elektromanyetik alan ortamdaki kimyasal (hidrojen peroksit vs.) ile etkileşerek plazma oluşumunu sağlamaktadır. Açığa çıkan serbest radikaller, kimyasallar, UV ve kızıl ötesi (IR) ışınlarla mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamaktadır. Bu uygulama, spor oluşturma yeteneği göstermeyen mikroorganizmalara ek olarak, yüksek dirence sahip sporlu mikroorganizmalar üzerinde de etki göstermektedir [42]. **Şekil 2.13**'te plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey şematize edilmiştir [43].

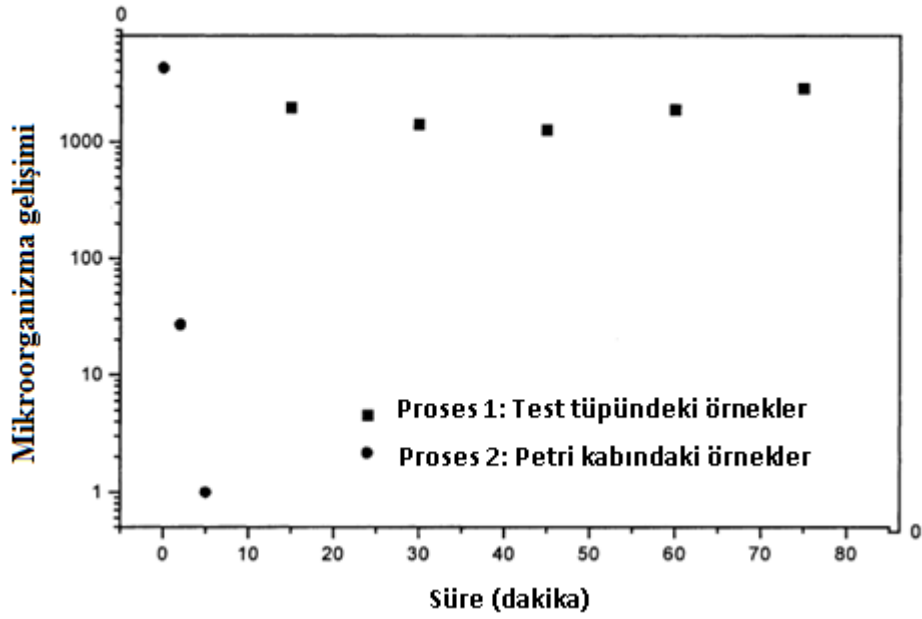


Şekil 2.13 : Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey [43].

Plazmalar, sıcaklık şartlarına göre, toplam termodinamik dengede olan plazmalar, lokal termodinamik dengede olmayan plazmalar ve lokal termodinamik dengede olan plazmalar şeklinde sınıflandırılırken; basınca göre vakum plazmalar ve atmosferik plazmalar olarak gruplandırılmaktadır [43].

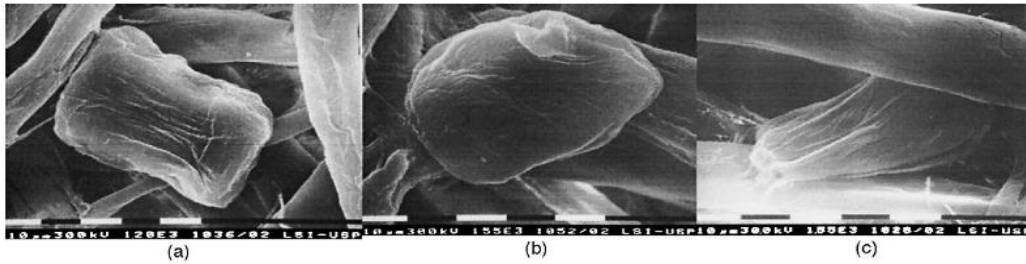
Plazma ile dezenfeksiyon işlemine etki eden parametreler incelendiğinde, kullanılan gaz özellikleri (gaz cinsi, debisi, bileşimi), uygulanan basınç, uygulanan güç, işlem süresi, kullanılan materyal, elektriksel alanın hacmi, elektronların yapısı plazma yoğunluğunu etkilediğinden önemlidir [42, 43].

Moreira ve arkadaşları *Bacillus stearothermophilus* sporlarını inaktive etmek amacıyla ozon plazma kullanarak plazma teknolojisinin sterilizasyon etkisini incelemiştir. Doğrudan (petri kabı) ve dolaylı olarak (test tüpü) oksijen plazmaya maruz bırakılan seçilen mikroorganizma inaktivasyonu zamana bağlı olarak gözlemlenmiştir. Test sonuçları **Şekil 2.14**'te verilmektedir [44].



Şekil 2.14 : Doğrudan ve dolaylı olarak oksijen plazmaya maruz bırakılan *B.stearothermophilus* 'un sayısındaki değişimin zamana bağlı olarak değişimi [44].

Şekil 2.14 incelendiğinde, test tüpleri kullanıldığı durumda, dezenfeksiyonun ilk anlarında, mikroorganizma inaktivasyonunda hızlı bir artış gözlemlenmemiş; ancak 15. dakikadan itibaren herhangi belirgin bir değişiklik kaydedilmiştir. Petri kabındaki örnekler incelendiğinde 7 dakika sonrasında herhangi canlı mikroorganizma sayımı elde edilmemiştir. Çalışmada, otoklav ve plazma sterilizasyonu sonrasında yapılan SEM analizlerinde, bakteri sporları deformasyonu Şekil 2.15'te gösterilmiştir. *B. stearothermophilus* 'un farklı uygulamalar sonrasındaki SEM fotoğraflarına bakıldığında, a görüntüsü 10 dakika oksijen plazma uygulaması sonrası; b görüntüsü 15 dakika otoklav sterilizasyonu sonrası; c görüntüsü ise işlem uygulanmamış kontrol örneğini temsil etmektedir [44].



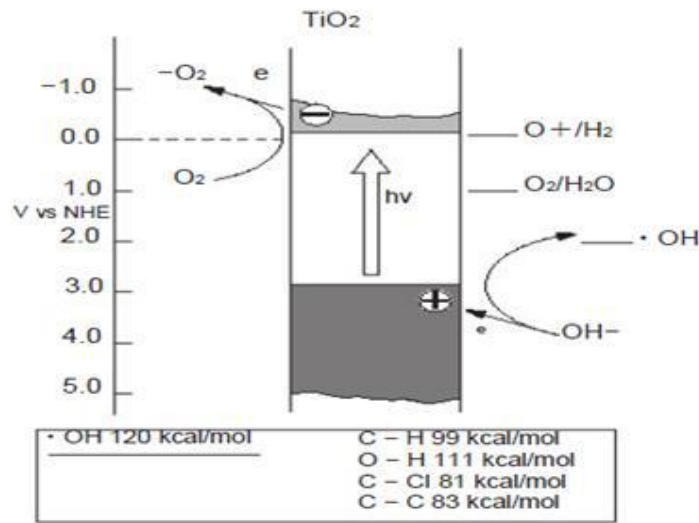
Şekil 2.15 : *B. stearothermophilus* 'un farklı uygulamalar sonrasındaki SEM fotoğrafları [44].

Şekil 2.15'te sterilizasyona uğramamış bakteri yapısının diğerlerine göre büyük ve köşeli olduğu görülmektedir.

Yapılan literatür araştırmasında, plazma uygulamalarında gaz olarak H_2O_2 kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Son yıllarda plazma üzerine yapılan çalışmalar ise atmosferik basınçta uygulamalara yönelmekte, özellikle yüzey kaplamalarında plazma teknolojisinden faydalanılarak yüzey hijyeni sağlamaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

2.2.5 Fotokataliz uygulamaları

Fotokatalitik malzemenin ışık ile uyarılması sonucunda serbest radikaller oluşması prensibine dayanan fotokataliz uygulamaları; oluşan oksijen, hidroksil ve peroksit radikalleri ile organik bileşikler toksik olmayan gazlara dönüştürerek parçalanmasını sağlamakta, ortamdaki mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkili olmaktadır. Su arıtma, koku giderme, hava filtrasyonu, tazelik koruma gibi amaçlarla uygulamaları mevcuttur. Fotokatalitik malzemeler, ışığı absorbe ederek yüksek enerjiyle yüklenen ve tepkimeye giren ürünlere bu enerjiyi sağlayarak kimyasal tepkimeye neden olmakta ve daha küçük moleküllere parçalanmasını sağlamaktadır. Yarı iletkenler ve metal karışımlar fotokatalist olarak kullanılabilir. Toksik olmaması, kolay bulunabilmesi ve yüksek etkinlik göstermesi nedeni ile en yaygın tercih edilen fotokatalist ise TiO_2 'dir [45, 46]. Bu malzemenin enerji düzeyi ve fotokataliz mekanizmasına ilişkin şematik gösterim **Şekil 2.16**'da verilmiştir [47].



Şekil 2.16 : TiO_2 'nin enerji düzeyi ve fotokataliz mekanizması [47].

Şekil 2.16'daki fotokataliz mekanizması incelendiğinde, TiO_2 'nin ışığa maruz kaldığında, negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü yapılar oluşturduğu ve bu elektron ve yapıların güçlü indirgeme/ oksitleme faaliyeti göstererek su ile çözünür oksijenin reaksiyonuyla OH radikali gibi aktif oksijen ve negatif O_2 iyonları açığa çıkardığı görülmektedir. Organik maddeyi oluşturan moleküllerdeki karbon- karbon, karbon- hidrojen, karbon- azot, karbon- oksijen, oksijen- hidrojen ve azot- hidrojen bağlarının bağ enerjileri düşük iken, OH radikallerinin enerjileri çok daha yüksek olduğundan bu bağlar kırılarak sudaki zararlı mikroorganizmalar fotokataliz uygulaması ile yok edilebilmektedir [47].

Literatür araştırmalarında karşılaşılan uygulamalarda, su arıtma sistemlerinde küçük boyutlu TiO_2 parçacıkları kullanımının performans nedeni ile tercih edildiği; ancak küçük boyutlara sahip olan fotokatalistin sudan ayrıştırılmasında zorluklarla karşılaşıldığı görülmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi amacıyla fotokatalist malzemenin, bir yüzeye sabitlenmesi ile temizleme ortamına dağılmasının önüne geçilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Su arıtma ve koku giderme amaçlı kullanımlarda, yüzey alanının artırılması ile temizleme performansının artırılacağı belirtilmekte ve bu nedenle katalist yüzeyinin pürüzlü ve gözenekli olmasının avantaj sağlayabileceği ifade edilmektedir. Bu teknolojinin farklı alanlarda sağladığı avantajlar ise aşağıda özetlenmektedir:

- Yan ürün oluşumuna neden olmamaktadır.
- Ortam sıcaklığı ve atmosferik basınçta gerçekleşmektedir.
- Seçici özellikler göstermemektedir.
- Görünebilir ışık dalga boyunda sağlanabilmektedir.
- Fotokatalitik malzeme tükenmemekte, rejenerasyona ihtiyaç duymamaktadır [45-48].

2.2.6 Elektroliz uygulamaları

Elektroliz, elektrik akımı yardımıyla, genellikle tuzlu bir çözelti içerisinde çözünmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması işlemidir. Sudan elektrik akımı geçirildiğinde suda çökelti oluşturmakta, bu sırada kirli sudaki kolloid yapıdaki maddeleri adsorbe ederek sürüklenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde elektrik akımı, temizleyici kimyasal maddelerin yerini almaktadır [49].

Elektrokimyasal dezenfeksiyon etkinliği; hücre yapısına, elektrot malzemesi ve bileşimine, suyun akış debisi ve yoğunluğuna bağlıdır. Bu yöntem genellikle musluk sularının dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır [50].

Yapılan literatür araştırmasında; elektoliz uygulamalarında, alkali uygulama yerine (tuzlu su) *solid polymer electrolyte* (SPE) isimli elektrot malzemesine dayanan teknolojiler ile karşılaşılmıştır. SPE'ler enerji verimliliği, üretim oranı fazlalığı ve yüksek gaz saflığı gibi avantajlara sahiptir; ancak bu teknolojiye, O₂ oluşturan elektrotların geliştirilmesi ve optimizasyonu gereklidir. Soy metaller, metal oksitler SPE su elektrolizi için, O₂ kataliz materyali olarak kullanılmaktadır. Bu alanda yüksek elektrokatalitik aktivite göstermesi nedeni ile IrO₂ ve RuO₂ gibi soy metaller anot olarak tercih edilmektedir. IrO₂'nin korozyona karşı dirençsiz olması ve RuO₂'nin ise asidik ortamda kararsız yapı göstermesi ve uzun süreli uygulamalar için uygun olmaması nedeniyle, bu elektrotların daha ucuz inert bileşenlerle kombinasyonu ile anodik kararlılıkları artırılmaktadır [51].

Elektrolizin su sistemlerinin dezenfeksiyonunda tercih edilmesinin nedenleri arasında, aktif maddeleri kısa ömürlü olduğundan durulama gerektirmemesi, toksik ürün oluşturmaması sayılabilmektedir. Elektrotların kararsız davranışları ve koroziv etkiler bu yöntemin dezavantajlarındandır [50, 51].

Sonuç olarak, elektroliz uygulamaları, tekstil atık suları, kimyasal kaynaklı atık sular, yağlı atık sular, kil süspansiyonları, petrol ayırma, restaurant atık suları, drenaj atık suları, su- yağ karışımları ve nitritli çözeltiler gibi çok çeşitli atık suların temizlenmesinde faydalanan yöntemlerdendir [50, 51].

2.2.7 Mikrodalga uygulamaları

Mikrodalgalar, 1m– 1mm dalgaboyu aralığında; infrared dalgalardan daha uzun, radyo dalgalarından daha kısa dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalardır. Süper yüksek frekanslı sinyaller üretmekte, açığa çıkan elektromanyetik enerji ile sterilizasyon etkisi sağlamaktadır. Mikrodalga uygulaması; ortam sıcaklığını arttırmaksızın organik maddeler içerisinde bulunan su moleküllerini ısı enerjisine çevrilmesine dayanmaktadır. Açığa çıkan ısı sayesinde çoğu vejetatif patojen inaktive olmaktadır. Fakat endosporlu bakterilerin hücrelerindeki su miktarı az olduğundan bu tür mikroorganizmalar üzerinde mikrodalga uygulamalarının etkisi daha düşük olmaktadır. Literatür araştırmalarında göre; 5 dakikalık mikrodalga

uygulamalarının vejetatif mikroorganizma formlarını yok etmek için yeterli olabileceği, ancak sporlu bakteriler için bu sürenin 15-20 dakikaya uzayabileceği belirtilmektedir [52].

Mikroalg uygulamaları yüksek sterilizasyon, enerji tasarrufu, su tasarrufu sağlayan avantajlı yöntemlerden biridir; ancak su sistemlerinde uygulamaları hakkında yeterli bilgiye rastlanmamıştır.

2.2.8 Kombine uygulamalar ve diğer alternatif yöntemler

US, ozon, UV gibi teknolojilerin tek başına kullanıldığı dezenfeksiyon yöntemlerinin yanında, kombine sistemlerin kullanılarak sinerjik temizleme etkisinin oluşturulduğu birçok çalışma mevcuttur. Seçilen atık su temizleme teknolojisinin düşük mikrobiyal inaktivasyon derecesi, kombine sistemlerle yükseltilmekte, hatta uygulama süresi, uygulama kolaylığı gibi parametreler üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır.

Phull ve arkadaşlarının US ve klorlamanın birlikte kullanılarak *E. coli* dezenfeksiyonunu sağlamak amacıyla yaptıkları çalışmada, bakteri hücrelerinin US etkisiyle zarar gördüğü, klorlama işleminden sonra fazla klorun çözültide gaz giderme etkisiyle US'un inaktivasyon verimini artırdığı ve kümeleşmiş hücre gruplarının inaktivasyonu için tekil olarak uygulanan iki yöntemden daha başarılı olduğu belirtilmektedir [21].

Quang ve arkadaşları, yüksek antibakteriyel aktivite gösteren gümüş nanopartiküllerin su dezenfeksiyonunda kullanım sırasındaki etkisini ve maliyet durumunu incelemiştir. Çalışmada; gümüş partiküllerin granüler aktif karbon, seramik filtre, filtre membran ve silika gibi malzemelerle birleştirilerek aynı amaçlarla kullanılabilirliğinin mümkün olduğu belirtilmektedir. *Nano particle beam* (Ag-NPB) doldurulmuş filtrelerden geçirilen 6 log (cfu/mL) *E. coli* konsantrasyonundaki kontamine su için, 10 dakika sürede %99'un üzerinde mikroorganizma inaktivasyonu sağladığı ve bu uygulamanın etkili bir su dezenfeksiyonu materyali olarak kullanılabileceği vurgulanmaktadır [53].

Gümüş uygulamalarının yanı sıra fotofenton yöntemi ile su dezenfeksiyonunda yüksek sıcaklık etkisiyle atık su fekal kirlilik indikatör mikroorganizması olan *E. faecalis*'in uzaklaştırılması konusunda çalışmalar mevcuttur. Fotofenton prosesleri, demir iyonları H_2O_2 ve UV fotonlarının demir iyonları ile katalitik çevrimi sonrasında hidroksil (OH) iyonu oranının yükselmesi ile açıklanmaktadır [50].

Ozonun güçlü oksidant özelliği ve ultrasonik kavitasyonun heterotrofik bakteri besiyeri sayımları, toplam koliform, fekal koliform, fekal *Streptococcus*'lar üzerindeki dezenfeksiyon etkisi incelendiğinde ise hibrit teknolojilerde su temizleme anlamında daha fazla hidroksil radikalinin üretilmesinin avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Elde edilen sonuçların özeti **Çizelge 2.5**'te verilmiştir [54].

Çizelge 2.5 : Mikroorganizmaların kombine dezenfeksiyon yöntemleri

ile uzaklaştırılma % leri [54].

Dezenfeksiyon Yöntemi	Heterotrofik Bakteri		Toplam Koliform		Fekal Koliform		Fekal streptococcus	
	15 dakika	60 dakika	15 dakika	60 dakika	15 dakika	60 dakika	15 dakika	60 dakika
0.5 mg/L O ₃	46±5	82±20	73±15	90±20	68±15	92±10	53±8	83±5
1 mg/L O ₃	52±10	88±15	68±10	92±10	75±5	95±8	69±5	94±10
2 mg L O ₃	60±15	93±10	60±14	94±8	78±14	100±20	74±8	97±12
3 mg/L O ₃	82±10	-	96±20	-	100±20	-	97±5	-
4 mg/L O ₃	93±20	-	100±25	-	10±20	-	100±20	-
US-prob	50±5	-	55±5	-	47±5	-	50±10	-
US-banyo	57±5	-	75±16	-	89±12	-	80±15	-
US- prob+ 0.5 mg/L O ₃	99.9±25	-	99.2±25	-	98.6±25	-	97.3±8	-
US- prob+ 1 mg/L O ₃	99.9±20	-	99.2±25	-	98.6±20	-	97.7±8	-
US- prob+ 2 mg/L O ₃	99.9±20	-	99.6±18	-	99.3±22	-	98.4±9	-
US- prob+ 3 mg/L O ₃	100±20	-	100±20	-	100±25	-	100±10	-
US- prob+ 4 mg/L O ₃	100±15	-	100±20	-	100±28	-	100±25	-
US- banyo+ 0.5 mg/L O ₃	95±16	-	96±18	-	95±30	-	95±10	-
US- banyo+ 1 mg/L O ₃	96±30	-	96±12	-	96±30	-	96±8	-
US- banyo+ 2 mg/L O ₃	97±25	-	98.3±15	-	97±25	-	97±5	-
US- banyo+ 3 mg/L O ₃	97.3±20	-	98.3±15	-	97.3±15	-	97.3±6	-
US- banyo+ 4 mg/L O ₃	98±20	-	99±20	-	98±12	-	98±8	-
1.72 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon	47.5±15	81±15	57±10	77±6	44±5	68±6	28±4	53±5
3.44 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon	52.5±10	85±15	58±10	80±5	45±5	70±20	37±2	61±4
5.17 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon	56±12	87.5±10	66±12	83±12	57±8	76±15	40±4	65±5
5.17 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon+ 0.5 mg/L O ₃	60±15	89±5	70±16	80±8	80±10	85±20	64±5	86±8
5.17 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon+ 1 mg/L O ₃	63±20	91±12	77±15	85±6	78±10	88±12	72±8	94±6
5.17 bar basınçta Hidrodinamik Kaviteasyon+ 2 mg/L O ₃	66±10	92±20	80±20	94±10	88±20	100±25	74±4	97±8

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Literatür araştırması kapsamında karşılaşılan dezenfeksiyon yöntemlerinden olan US, ozon ve UV yöntemlerinin etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yürütülmüştür. Evsel koşulda kirlenen suların dezenfeksiyonu için bu yöntemlerin incelenmesinde; öncelikli olarak evsel kirliliği ve farklı türlerin özelliklerini temsil edecek şekilde mikroorganizmalar seçilmiştir. Gram-pozitif bakteri türlerinden *S. aureus*, *E. faecalis*, *B. cereus* ve gram- negatif bakterilerden *E. coli* tercih edilirken, küfleri temsilen *A. niger* ile çalışılmıştır. *S. aureus*, özellikle insan derisinin mikroflorasında ve gıda temaslı yüzeylerde yaygın olarak rastlanılan fırsatçı patojen olduğundan; mutfaklar, beyaz eşyaların kapı kolları ve yıkama sularından izole edilebilmektedir. *E. coli* bağırsak mikroflorasında var olan; ancak fekal yolla kirlenmiş su ve gıdalar gibi yetersiz hijyen koşulları barındıran kaynaklar yoluyla vücuda alınması durumunda ciddi enfeksiyonlara neden olan bir mikroorganizmadır. Su arıtımında *E. coli* yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte su kirliliğinin bir indikatörü olarak kullanılmaya başlanmıştır; ancak genel olarak su kalitesini belirlemede *E. coli* yerine koliform sayısına göre su değerlendirilmesi yapılmaktadır. *E. faecalis*'in yüksek sıcaklık, kurutma, dondurma gibi proseslere en dayanıklı bakterilerden olması su, çevresel kaynaklar ve gıda yüzeylerinde gelişmesine izin vermektedir. Diğer taraftan *Bacillus cereus*, toprakta, tozlu ve sulu ortamlarda gelişimini sürdürebilen gram-pozitif bakterilerden biri olması sebebiyle gerçekleştirilen testlerde kullanılan mikroorganizmalar arasında yer almaktadır. Bakteri türlerinden daha dayanıklı organizmalar olan ve bu nedenle mikroorganizma inaktivasyonu daha zor olan küf türlerinden *A. niger* ise hava ve su ortamlarına yayılan sporları, toksik metabolitlerin yayılması deneysel çalışmada inaktivasyonunun incelendiği mikroorganizmalardandır. Seçilen tüm bakteri ve küf türü mikroorganizmaların farklı su aktivitesi, pH, redoks potansiyel, sıcaklık ve atmosfer gaz bileşeninde aktivasyonu gibi parametrelerin göz önünde bulundurulmasıyla kontrollü mikroorganizma konsantrasyonundaki su ortamının evsel koşuldaki suyu temsil etmesi sağlanmaya çalışılmıştır [4].

3.1 Materyal- Metod

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada, standart ATCC mikroorganizma suşları, mikroorganizmalara spesifik besiyerleri, steril petri, pipet, öze gibi tek kullanımlık sarf malzemelerine ek olarak otoklavlanabilir cam malzemeler (beher, şişe, tüp vs.) IKA Vortex Genius 3 vorteks karıştırıcı, bakteri konsantrasyonunu belirlemek amacıyla Mc Farland skalasına göre optik yoğunluk ölçen Densimat cihazı, mikroorganizma inkübasyonları için Memmert marka etüvler, mikroorganizma sayımları için Gerber Instruments koloni sayacı kullanılmıştır. Ayrıca, su dezenfeksiyon teknolojileri test düzenekleri için farklı güç ve kapasitelere sahip UV lamba, paslanmaz çelik ve polipropilen UV lamba kılıfları, farklı hacimlerde su tankları, su pompası, hava pompası, debi ölçer, termometre, ultrasonik transduser ve ozon jeneratörleri kullanılmıştır. Klasik mikrobiyolojik analizler bek alevi yanında, biyogüvenlik kabininde steril malzemeler kullanılarak yapılmıştır.

3.1.1 Mikroorganizmalar ve büyüme koşulları

E. coli (ATCC 25922), *E. faecalis* (ATCC 29212), *S. aureus* (ATCC 6538), *B. cereus* (ATCC 11778) ve *A. niger* (ATCC 6275) ticari olarak bu deneysel çalışmada kullanılmak üzere temin edilmiştir. Liyofilize haldeki mikroorganizma suşları, mikroorganizma stok kültürleri hazırlığına kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir.

- **Stok kültür hazırlanması:** +4 °C’de saklanan liyofilize bakteri ve küf suşları alınarak toplam canlı sayımı besiyerleri ve seçici besiyerlerine klasik mikroorganizma analiz yöntemleri ile ekim yapılmıştır. Bakteri kültürleri 37°C’de 24 saat ve küf kültürleri ise 30°C’de 18 saat inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon işleminden sonra kültürler steril bir çözelti içinde bulunan boncuklara inokule edilerek 1 gün süresince 37°C’de inkübasyona bırakılmıştır. Inkübasyon sonrası steril tüpler içerisindeki çözelti çekilerek, içinde bakteri ve küflerle inokule edilmiş boncukların bulunduğu vidalı kapaklı tüpler -20 °C’de taze kültür hazırlamak için saklanmıştır.
- **Taze bakteri kültürünün hazırlanması:** Test için taze bakteri ve küf kültürleri -20°C’deki stok kültürden çıkarılmış ve kültür ortam koşullarına alıştıktan sonra seçici besiyerlerine steril öze ile boncuk sürülerek geçişi yapılmıştır. Bu geçişin ardından inokülasyonun yapıldığı besiyeri bakteriler

için 37°C’de ~18 saat ve küf için 30°C’de 5 gün inkübe edilmiştir. **Şekil 3.1**’de bakteri kültürü hazırlanışı gösterilmiştir.

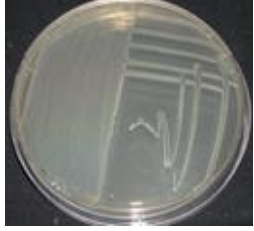
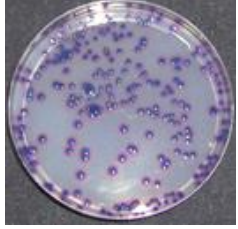
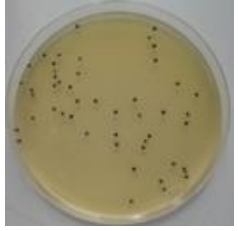


Şekil 3.1 : Bakteri kültürü hazırlanması.

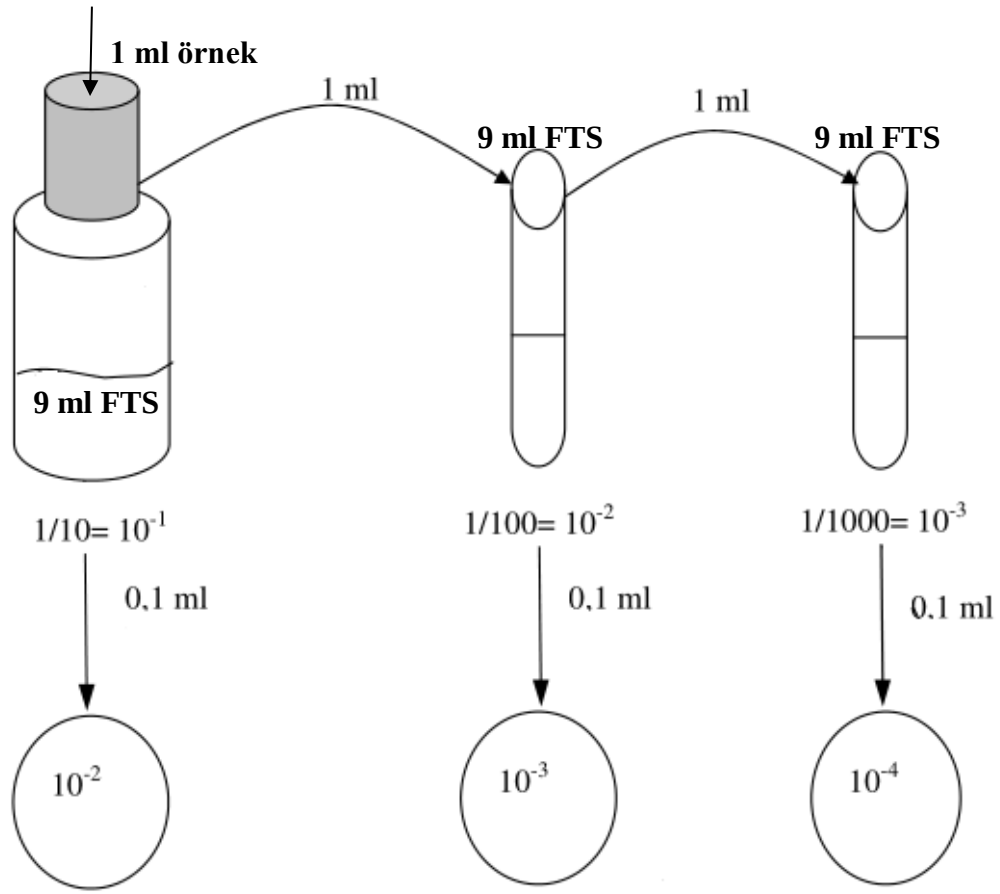
- **Bakteri çözeltilisinin hazırlanması:** Densimat cihazında 5 mL fizyolojik tuzlu su (FTS) içinde *E. coli*, *E. faecalis*, *S. aureus* ve *B. cereus* bakteri türlerinin her biri için optik yoğunluk değeri 7.4 olarak okunmuştur.
- **Küf çözeltilisinin hazırlanması:** *A.niger* küfüne ait taze kültürün bulunduğu petri üzerindeki koloniler 10 mL FTS ile ekstrakte edilmiştir.
- **Kontrollü test çözeltilisinin hazırlanması:** Su dezenfeksiyon teknolojilerinin mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkisinin gözlenebilmesi amacıyla hem bakteri çözeltileri hem de mikroorganizmaların birbiri ile olumlu veya olumsuz etkileşimlerini engellemek amacıyla her mikroorganizma türü ile ayrı ayrı testler yapılmıştır. Bu testlere ek olarak; tüm mikroorganizma türlerinin karıştırıldığı ve toplam aerobik canlı sayımları üzerindeki inaktivasyon etkisinin incelendiği testlerde her bir mikroorganizmadan 5 mL alınarak steril tüpte karıştırılmış ve test süresine kadar +4°C’de muhafaza edilmiştir. Başlangıç test çözeltilisi her mikroorganizma için seçici besiyerlerine ve toplam aerobik sayımı için genel besiyerine ekilerek mikroorganizma konsantrasyonu belirlenmiştir. Test için bakteri ve küf süspansiyonları 6 log (10^6 cfu/mL) konsantrasyonlarında ortam sıcaklığındaki steril test suyuna karıştırılmak üzere hazırlanmıştır.

- **Besiyerleri:** Mikroorganizma inkübasyonları için kullanılan seçici besiyerleri ve toplam aerobik besiyerleri ticari olarak temin edilmiştir. Yukarıda anlatılan şekilde hazırlanan mikroorganizma kültürlerinin gelişimleri **Çizelge 3.1**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Faydalanılan besiyeri ortamları ve mikroorganizma türlerinin petri kabı içindeki görüntüleri.

Besiyeri Ortamı	Mikroorganizma türü	
	Toplam aerobik canlı	
Casein- Peptone Soy Meal- Peptone Agar For The Microbiology Tryptic Soy Agar (Merck)	<i>B.cereus</i>	
	<i>E.faecalis</i>	
Sabouraud Dextrose Agar W/ Chloromphenical (Aqumedia)	<i>A. niger</i>	
Rapid E.Coli 2 Agar (Biorad)	<i>E.coli</i>	
Baird Parker Agar (Merck)	<i>S. aureus</i>	

- **Dilüsyon Hazırlanması:** Dilüsyon, örnekteki mikroorganizmaların dilüsyon sıvısı yardımıyla seyreltilmesi işlemidir. Böylece su örneğindeki mikroorganizma sayısının aşamalı olarak azaltılması mümkün olmaktadır. Su örneğinden alınan 1 mL, seyreltmenin 1:10 olacak şekilde gerçekleştirilmesi için içinde 9 mL steril fizyolojik tuzlu su olan kapaklı cam tüpe aktarılmakta ve böylece örnek 1:10 oranında (10^{-1}) seyreltilmiş olmaktadır. Tüpteki fizyolojik tuzlu su ve örnekten alınan 1 mL'nin homojen karışabilmesi için IKA Vortex Genius vorteks karıştırıcıdan faydalanılmıştır. Homojenizasyonun tamamlanmasının ardından tüpten steril pipet yardımıyla 1 mL örneğin alınarak içerisinde 9 mL dilüsyon sıvısı (fizyolojik tuzlu su) bulunan tüpe ilave edilmesiyle örnek 1:100 (10^{-2}) oranında seyreltilmiştir ve bu işlem daha yüksek dilüsyon oranları için ardışık olarak devam ettirilmiştir. Dilüsyon oranı sudaki mikroorganizma yoğunluğuna göre belirlenmiştir.
- **Katı besiyeri yüzeyine ekim (Yayma plak yöntemi):** Ekim işlemi, en seyreltilmiş dilüsyondan başlanarak yapılır. **Şekil 3.2'**de dilüsyon ve ekim yöntemleri gösterilmiştir. En son dilüsyonu içeren deney tüpü vorteks karıştırıcıda karıştırılarak homojenizasyon sağlanır. Katı besiyeri yüzeyine yapılan ekim yöntemine yayma plak yöntemi denir. Steril bir mikropipet ile en son dilüsyondan 0.1 mL alınan örnek, içerisinde katı besiyeri bulunan petri kutusuna ekilir. Petri kutusuna ekilen inokulumu besiyerinin tüm yüzeyine homojen yaymak amacıyla drigalski adı verilen steril cam baget kullanılır. Sudaki mikroorganizma yoğunluğuna göre ekim yapılacak örnek sayısı belirlenir. *S. aureus*, *B. cereus*, *E. faecalis*, *A. niger* ve toplam aerobik canlı sayımı için yayma plak yönteminden faydalanılmıştır.



Şekil 3.2 : Dilüsyon ve ekim yöntemi.

- **Dökme plak yöntemi:** Dökme plak ekim yönteminde steril, boş petri kutusuna önce ekim yapılır ve üzerine $\sim 45^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğumuş besiyeri dökülür. Fakültatif anaerob mikroorganizma araştırmalarında faydalanan bir ekim yöntemidir. Ekim işlemi yayma plak yönteminde olduğu gibi en son dilüsyondan başlanarak gerçekleştirilir. Dilüsyon vorteks karıştırıcıda homojen hale getirilir ve steril pipetle dilüsyondan 1 mL alınarak boş petri kutusuna ilave edilir. Diğer dilüsyonlardan da benzer şekilde ekim yapılarak işlem tamamlanır. $\sim 45^{\circ}\text{C}$ 'deki su banyosunda bulunan besiyeri petri kutusuna dökülür ve petri yavaşça karıştırılarak inokulum ile besiyerinin homojen karışması sağlanır.
- **Mikroorganizma sayısının belirlenmesi:** Mikroorganizma sayısı, petrilere gelişen kolonilerin koloni sayacında görsel olarak sayısının belirlenmesiyle yapılır. Bu amaçla petri kutusunda sayım yaparken bakteri ve mayalar için 25-250 koloni gelişmiş petriler seçilerek sayılmalıdır. Küfler için ise 10-25 koloni gelişen petriler seçilmelidir.

- **Sayım sonucunun değerlendirilmesi:** Sayım sonucu değerlendirilirken, petrideki mikroorganizma sayısı, seyreltme faktörü (1/dilüsyon oranı) ve petri kutusuna ekim yapılan miktar (mL) formüle yerleştirilir. Sayım sonuçları canlı mikroorganizma sayımlarını verir.

$$\text{Mikroorganizma sayısı (cfu)} = a \cdot b / c \quad (3.1)$$

a= Petrideki mikroorganizma sayısı (adet)

b= Seyreltme Faktörü

c= Petri kutusuna ekilen miktar (mL)

- **Doğrudan mikroskopik sayım:** Küf hücre kültürü gibi sıvı ortamda bulunan tüm mikroorganizmaların miktarını belirlemek amacıyla kullanılır. Objektif mikrometre, 100'lük objektif kullanılarak görüş sahasındaki mikroorganizma sayısı tespit edilir.

3.1.2 US yöntemi ekipmanları

Belli bir frekans ve güç değerine sahip ses dalgalarının kavitasyon etkisiyle oluşan hava kabarcıklarının yüzeylere çarparak kir ve mikroorganizma uzaklaştırma etkisinin incelenmesi amacıyla; farklı transduser tipi, farklı frekans, farklı güçlerdeki ultrasonik sistemler, ultrasonik banyolar, RF Amplifikatör (Jeneratör)'den faydalanılmıştır. Kullanılan ekipman özellikleri **Çizelge 3.2**'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : US uygulaması ekipmanları ve özellikleri.

Su Tankı ve Hacmi (Litre)	Transduser Tipi	Frekans (kHz)	Uygulanan Güç (W)	Sistemde Ölçülen Güç (W)
Evyesonic/10 L	Temas (Hainertec (Suzhou) Co.)	67	100	15
Evyesonic/10 L	Temas (Hainertec (Suzhou) Co.)	160	60	34
Evyesonic/10 L	Temas (Hainertec (Suzhou) Co.)	28	100	13
Evyesonic/10 L	HIFU (Precision Acoustic LTD)	1000	100	97
Evyesonic/10 L	Daldırma (PCT Systems)	1000	100	94

Ultrasonik kavitasyonu etkileyen parametrelerden olan sulu çözeltideki çözünmüş gaz miktarı artıkça kavitasyon etkisi azaldığından, tüm testler kaynatılmış (degaze su) su ile yapılmıştır.

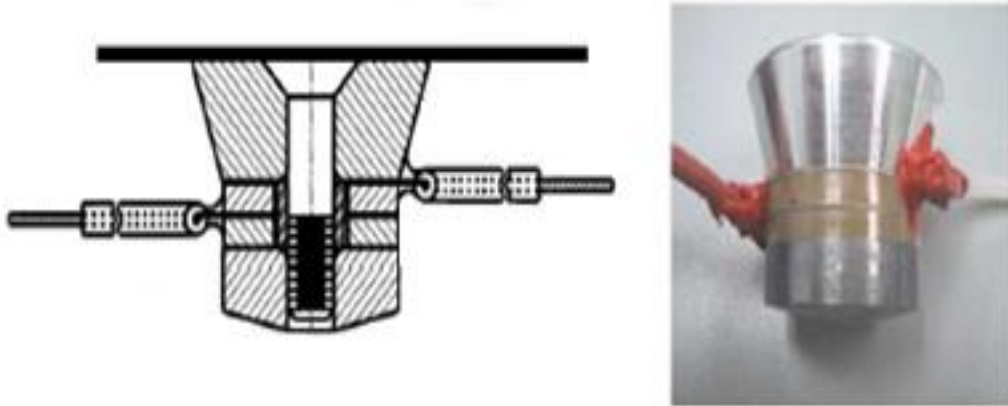
RF amplifikatör, 50-60 Hz olan şebeke frekansını 18 kHz'in üzerindeki yüksek frekanslarda elektrik sinyallerine çevirmektedir. Farklı frekanstaki elektrik sinyallerinin gerilim, şiddet veya gücünü artırmak amacıyla kullanılmıştır. Amplifikatör AG1024 modeli, T&C Power Conversion firmasından temin edilmiştir. Testlerde kullanılan RF amplifikatör **Şekil 3.3**'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : RF amplifikatör.

Yüksek frekanstaki elektrik sinyallerini ses dalgalarına transduserler çevirir. Testler için temas tipi, daldırma tipi, HIFU tipi transduserler kullanılmıştır.

- **Temas tipi transduser:** 28 kHz- 200 kHz aralığında piezoseramik malzemeden üretilmiş transduserlerdir. Temizlenecek yüzeye doğrudan temas ettirilerek kullanılır. Yıkama tankının herhangi bir bölgesinin dış yüzeyine monte edilir. **Şekil 3.4**'te temas tipi piezoelektrik transduser gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Temas tipi transduser.

- **Daldırma tipi transducerler:** MHz mertebesinde frekansta çalışan, özel haznesi ile suya daldırılabilen transduserlerdir. Su tankının içine, yan duvarlara veya tabanın yerleştirilerek kullanılır. **Şekil 3.5**'te daldırma tipi transdusere örnek gösterilmiştir.



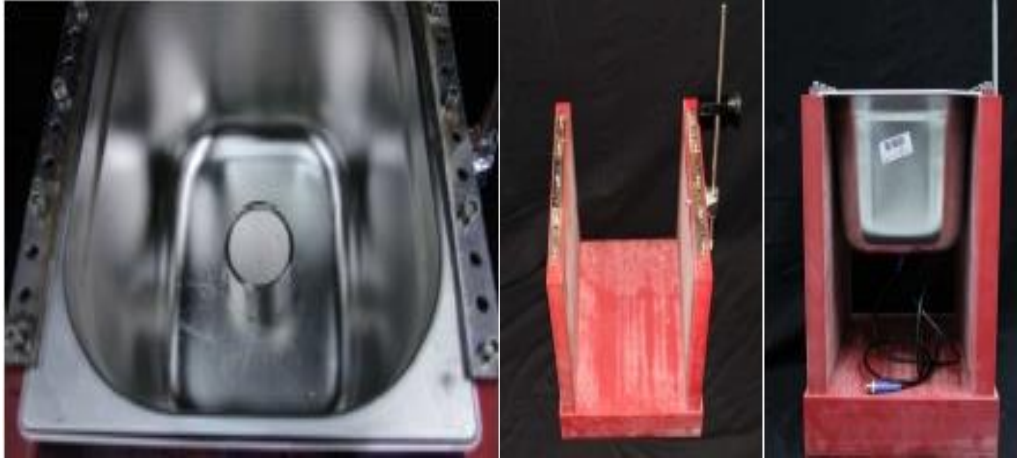
Şekil 3.5 : Daldırma tipi transduser.

- **HIFU tipi transduserler:** Yüksek yoğunluklu odaklı ultrasonik transduserlerdir. Ses dalgalarını belirli bir mesafede odaklar ve odaklama mesafesi kullanılan lense göre ayarlanabilir. Su geçirmeyen haznesi olan ve seramik plakası odaklayacak şekilde tasarlanmış megasonik frekanslarda çalışabilen transduserlerdir. **Şekil 3.6**'da HIFU tipi bir transduser gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : HIFU tipi transduser.

Yukarıdaki şekillerde sunulan farklı transduserlerin ve sistem parametrelerinin etkinliğinin incelenmesi amacıyla oluşturulan test düzeneği ise **Şekil 3.7**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Transduser bağlı bir yıkama tankı ve yıkama tankını yerleştirmek için tasarlanmış destek.

Şekil 3.7'de sunulan test düzeneği; ultrasonik temizleme işleminin gerçekleştirilmesi için paslanmaz çelik malzemeden yapılmış yıkama tankı, 325x225x200 mm ölçülerinde su haznesinden oluşmaktadır. Temas tipi transduserler tankın alt dış yüzeyine yapıştırılırken, daldırma ve HIFU transduserler tankın alt iç yüzeyine, transduser su içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Tankı sabit tutmak ve dış etkileşimlerden korumak için destek oluşturulmuştur.

Sıvı ortamdaki çözünmüş gaz miktarının yüksek olması durumunda, ultrasonik ses dalgalarının oluşturduğu baloncukların içerdiği gazlar, baloncukların patlaması sırasında şok emici olarak davrandığı ve patlama şiddetini düşürdüğü için, kavitasyon yoğunluğunu yüksek tutmak, oluşumunu engelleyecek zayıflıkları ortadan kaldırmak ve patlama şiddetini artırmak için kullanılacak suyu gazdan arındırmak için 5 dakika boyunca su kaynatılarak degaze edilmiş ve ortam sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Böylece sıvı ortamı degaze edilerek içerisindeki gazlar uzaklaştırılmıştır.

Kavitasyon enerjisi ölçümünde kullanılmak üzere PPB Megasonics firmasından temin edilen enerjimetre kullanılmıştır. Enerji ölçümü için prob lar su içerisine daldırılarak ve ekranda okunan değerlerin kaydedilmesiyle veri toplama işlemi **Şekil 3.8'**de gösterilen cihazla yapılmıştır.



Şekil 3.8 : Kavitasyon enerjisi ölçümü için kullanılan cihaz.

3.1.3 Ozon yöntemi ekipmanları

Ozon gazının güçlü dezenfektan etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılan ozon jeneratörü, debi ölçer ve hava pompasının özellikleri **Çizelge 3.3**'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Ozon uygulaması ekipmanları ve özellikleri.

Ozon gazı ile dezenfeksiyon ekipmanları	Marka/ Model/Özellik
Ozon jeneratörü	FOZ- AC240 I/P: AC240V/50Hz Ozon O/P: 200 mg/h
Debi ölçer	Dwyer Instruments Inc/MMA-21 0-2.5 L/dakika hava
Hava Pompası	CSE CO. LTD/ AC- SD05ARF5A
Su Tankı	Polipropilen tank (1 Litre)

Ozon gazının mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisinin görmek amacıyla kullanılan hava pompası, ozon gazının üretimi için oksijence zengin hava üretiminde kullanılmış, havanın debisini kontrol etmek amacıyla debi ölçerden faydalanılmıştır.

Kullanılan debi ölçer **Şekil 3.9**'da, ozon jeneratörü ise **Şekil 3.10**'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Debi ölçer.



Şekil 3.10 : Ozon jeneratörü.

3.1.4 UV dezenfeksiyon yöntemi ekipmanları

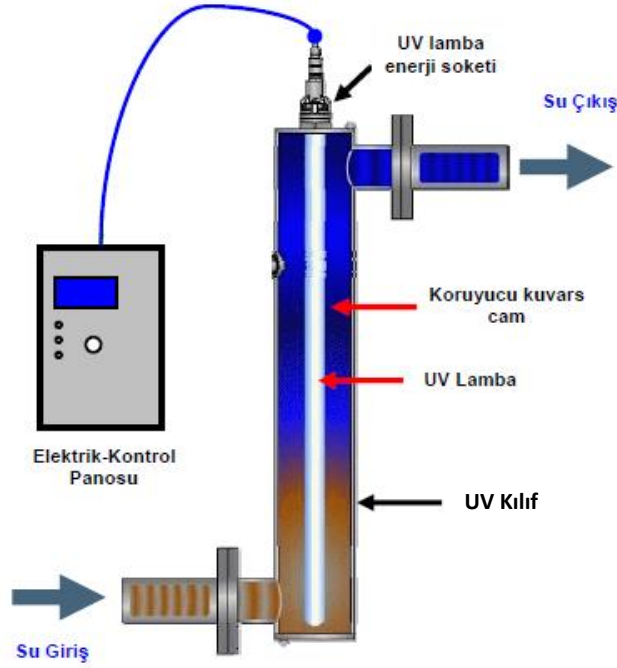
UV dezenfeksiyon etkisinin sulu ortamda mikroorganizma inaktivasyon derecesini incelemek için 5W ve 11W UV lambalar, paslanmaz çelik ve polipropilen UV lamba kılıfları, su pompası, 5 litre ve 2 litrelik 2 farklı polipropilen su tankı kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanların özellikleri **Çizelge 3.4**' te verilmiştir.

Çizelge 3.4 : UV radyasyon uygulaması ekipmanları ve özellikleri.

Ekipmanlar	Özellikler	Marka/ Model
UV Lamba	5W	Philips
	11W	Philips
UV Kılıf	Paslanmaz çelik kılıf	Ningbo Yinyue Electric Appliance Co. LTD
	Polipropilen kılıf	Ningbo Yinyue Electric Appliance Co. LTD
Su pompası	2 Litre/dakika su debisi	BPX2- 4L Drain Motor/Changzhou/China
Su tankı	2 Litre	-
	5 Litre	-

Şekil 3.11'de kullanılan UV dezenfeksiyon ünitesi şematik olarak gösterilmiştir. Seçilen güçteki UV lamba ilk olarak koruyucu kuvars cam kılıf içerisine yerleştirilmiş ve sonrasında ise lamba ve koruyucu kuvars cam çalışılacak UV kılıf tipinin içerisine adapte edilmiştir. UV lambanın çalışıp çalışmadığı elektrik kontrol

panosundan kontrol edilmiştir. Su giriş ve çıkış bağlantıları olabilecek su sızıntılarına karşı kontrol edilmiştir.



Şekil 3.11 : UV dezenfeksiyon ünitesi şematik gösterimi.

UV yöntemiyle su dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan polipropilen ve paslanmaz çelik kılıflar **Şekil 3.12**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Polipropilen ve paslanmaz çelik UV lamba kılıfları.

Testlerde kullanılan UV lambalar **Şekil 3.13**'de gösterilmiştir.



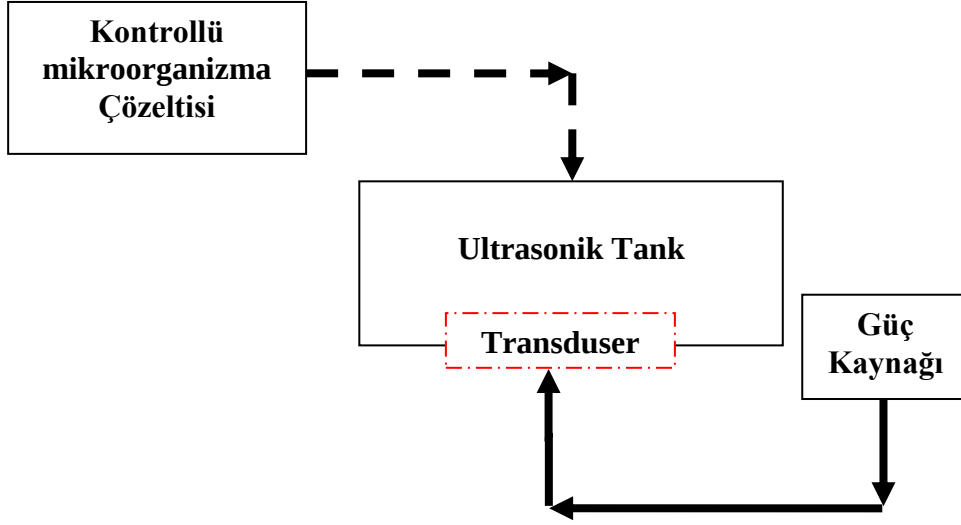
Şekil 3.13 : UV lambalar.

3.2 Test Düzenekleri ve Parametrik Şartlar

Evsel koşulda kirlenmiş olan yıkama suları için dezenfeksiyon yöntemlerinin araştırıldığı bu çalışmada, US, ozon gazı ve UV metodlarının incelenmesi amacıyla laboratuvar koşullarında test düzenekleri oluşturulmuştur.

3.2.1 US yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları

Ultrases uygulamasının sulu çözelti ortamında mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, farklı transduser tipi, farklı frekans ve farklı güç gibi parametrelerin yanısıra deterjansız degaze su ve deterjanlı degaze su (2.5 g deterjan/Litre su) koşulları incelenmiştir. US uygulaması için hazırlanan proses şeması **Şekil 3.14**'te, hazırlanan test düzeneğinin fotoğrafı ise **Şekil 3.15**'te verilmiş, test koşulları ise **Çizelge 3.5**'te özetlenmiştir. Testlerin tümü, 23°C sıcaklığındaki ortam şartlarında 30 dakikalık süre boyunca, 10 litre degaze su ortamında (deterjanlı ve deterjansız) gerçekleştirilmiştir. Kontrollü mikroorganizma çözeltisi tüm US çalışmalarında karışım halinde kullanılmıştır.



Şekil 3.14 : Ultrasonik etkiyle mikroorganizma inaktivasyonu sağlamak için hazırlanan proses akım şeması.



Şekil 3.15 : US ile su dezenfeksiyonu sağlamak için hazırlanan test düzeneği.

Çizelge 3.5 : US uygulaması deney koşulları (Karışım* mikroorganizma çözeltisi kullanılmıştır).

Transduser Tipi	Frekans (Khz)	Uygulanan Güç (W)	Sistemde Ölçülen Güç (W)	Deterjan Koşulu	Başlangıç Mikrobiyal Yük (cfu/mL)
Temas Tipi	67	100	15	Deterjansız	$\sim 10^6$
				Deterjanlı**	$\sim 10^6$
Temas Tipi	160	60	34	Deterjansız	$\sim 10^6$
				Deterjanlı**	$\sim 10^6$
Temas Tipi	28	100	13	Deterjansız	$\sim 10^6$
				Deterjanlı**	$\sim 10^6$
HIFU Tipi	1000	100	97	Deterjansız	$\sim 10^6$
Daldırma Tipi	1000	100	94	Deterjansız	$\sim 10^6$
-	-	-	-	Deterjansız	$\sim 10^6$
-	-	-	-	Deterjanlı**	$\sim 10^6$

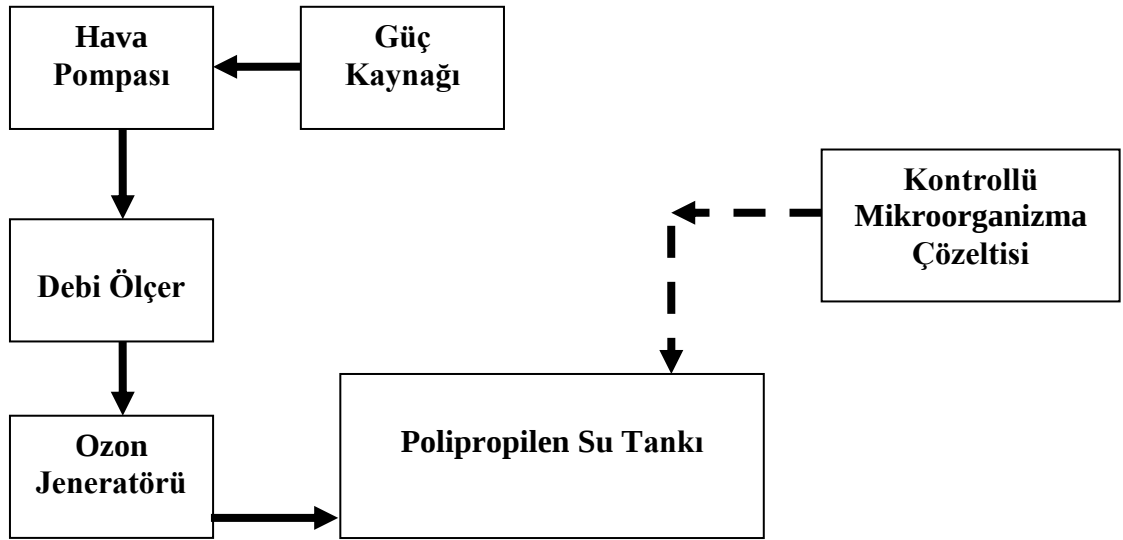
*Karışım: *S.aureus*+ *B.cereus*+ *E.faecalis*

**Deterjanlı: 25 gram Standart Deterjan

Karışım halinde hazırlanan mikroorganizma çözeltisi, 10 litre degaze suya ilave edilmiş, 30 dakika boyunca, tercih edilen test şartlarında ultrasonik sistemin etkisi incelenmiştir.

3.2.2 Ozon yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları

Su ortamına ozon gazı uygulamasının mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkisinin belirlenmesi amacıyla prototip test düzeneğinde, 23°C ortam sıcaklığı ve 30 dakikalık uygulama süresince, kontrollü mikroorganizma çözeltisi ile kirletilmiş 1 Litre steril sulu ortama ozon gazı uygulanmıştır. Proses akım şeması **Şekil 3.16**'da ve çalışılan test parametreleri **Çizelge 3.6**'da özetlenmiştir.

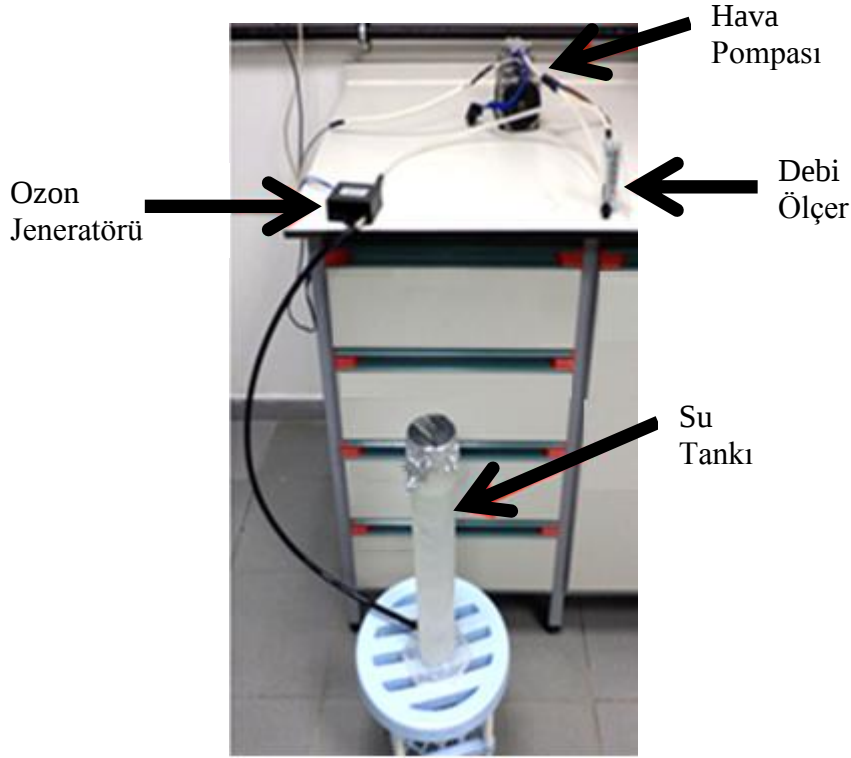


Şekil 3.16 : Ozon gazı etkiyle mikroorganizma inaktivasyonu sağlamak için hazırlanan proses akım şeması.

Çizelge 3.6 : Ozon dezenfeksiyon yöntemi deney koşulları.

Ortalama Ozon Gazı Konsantrasyonu (mg/L)	Ozon Jeneratörünün Durumu	Hava Debisi (L/dakika)	Kontrollü Mikroorganizma Çözeltisi	Başlangıç Mikrobiyal Yük (cfu/mL)
~0.07	Aktif	0.2	<i>E.feacelis</i>	~10 ⁵
-	Pasif			
~0.07	Aktif	0.2	<i>S.aureus</i>	~10 ⁵
-	Pasif			
~0.07	Aktif	0.2	<i>B.cereus</i>	~10 ⁴
-	Pasif			
~0.07	Aktif	0.2	<i>A.niger</i>	~10 ⁴
-	Pasif			

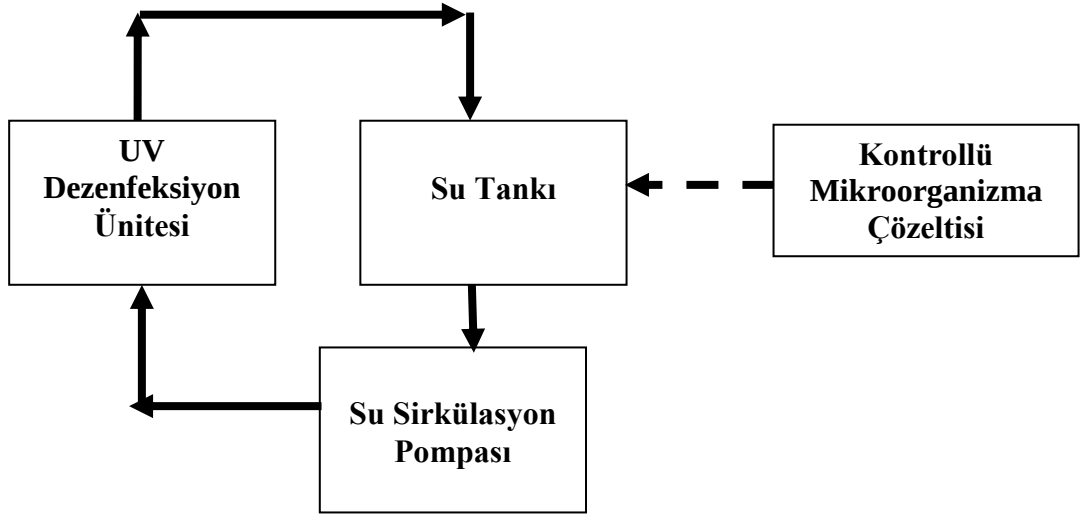
Test düzeneğinde 1 Litre steril su ile 0.2 L/dakika hava debisi şartlarında; *S. aureus*, *B. cereus*, *E. faecalis* ve *A. niger* mikroorganizmaları ile ayrı ayrı kirletilmiş suyun 30 dakika boyunca sirkülasyonu sağlanmıştır. Ozon uygulaması için hazırlanan test düzeneği **Şekil 3.17**'de gösterilmiştir. Test düzeneği, ozon gazı üretimini sağlayan ozon jeneratörü, hava pompası, debi ölçer ve su haznesinden meydana gelmektedir.



Şekil 3.17 : Ozon ile su dezenfeksiyonu sağlamak için hazırlanan test düzeneği.

3.2.3 UV yöntemi için test düzeneği ve çalışma şartları

UV teknolojisinin su dezenfeksiyonundaki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar için hazırlanan test düzeneği, UV dezenfeksiyon ünitesi, su sirkülasyon pompası ve su tankından meydana gelmektedir. Proses akım şeması **Şekil 3.18**'de, test düzeneği **Şekil 3.19**'da, deneysel parametreler ve yapılan testler ise **Çizelge 3.7**'de özetlenmiştir.



Şekil 3.18 : UV dezenfeksiyon ünitesi proses akım şeması.



Şekil 3.19 : UV dezenfeksiyon ünitesi deney düzeneği.

2 L/dakika su akış debisine sahip pompa kullanılarak, ortam şartlarında (23°C), farklı hacimlere sahip sulu ortam, 1 saat boyunca UV radyasyona maruz bırakılmış ve zamana bağlı mikroorganizma inaktivasyonu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.7 : UV dezenfeksiyon uygulaması deney koşulları.

Su Tank Hacmi (Litre)	UV Kılıf Özelliği	Su Debisi (L/ dakika)	Steril Su Tipi ve Hacmi	Kontrollü Mikroorganizma Çözeltisi	UV Radyasyon Kaynağı/ Güç Etkisi (W)		Başlangıç Mikrobiyal Yük (cfu/mL)
					5W	11W	
5	Paslanmaz Çelik	2	5 litre	Tekil Mikroorganizma Çözeltisi*	+	+	$\sim 10^5$
2	Paslanmaz Çelik	2	2 litre	Süspansiyon**	-	+	$\sim 10^6$
2	Polipropilen	2	2 litre	Süspansiyon**	-	+	$\sim 10^6$

*Tekil Mikroorganizma Çözeltisi: Mikroorganizmalar ayrı ayrı hazırlanarak birbirinden bağımsız testler gerçekleştirilmiştir (*E.coli*, *E. faecalis*, *S.aureus*, *B.cereus*, *A.niger*).

**Süspansiyon Mikroorganizma Çözeltisi: Mikroorganizmaların birbirlerine karşı olan sinerjik etkinin gözlenmesi amacıyla karışım oluşturularak testler gerçekleştirilmiştir (*E.faecalis*, *S.aureus*, *B.cereus*, *A. niger*)

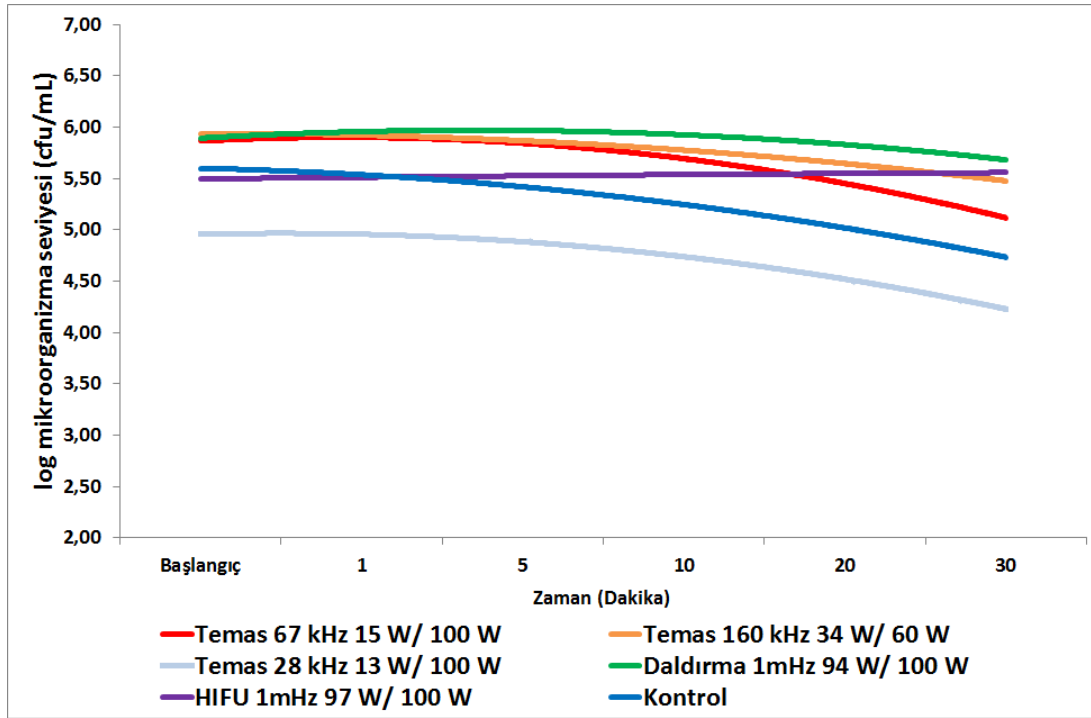
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Evsel koşullarda kirlenmiş olan suların geri kazanımını sağlamak amacıyla bu tip suların mikrobiyal kalitesini iyileştirmek için US, ozon ve UV yöntemleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.

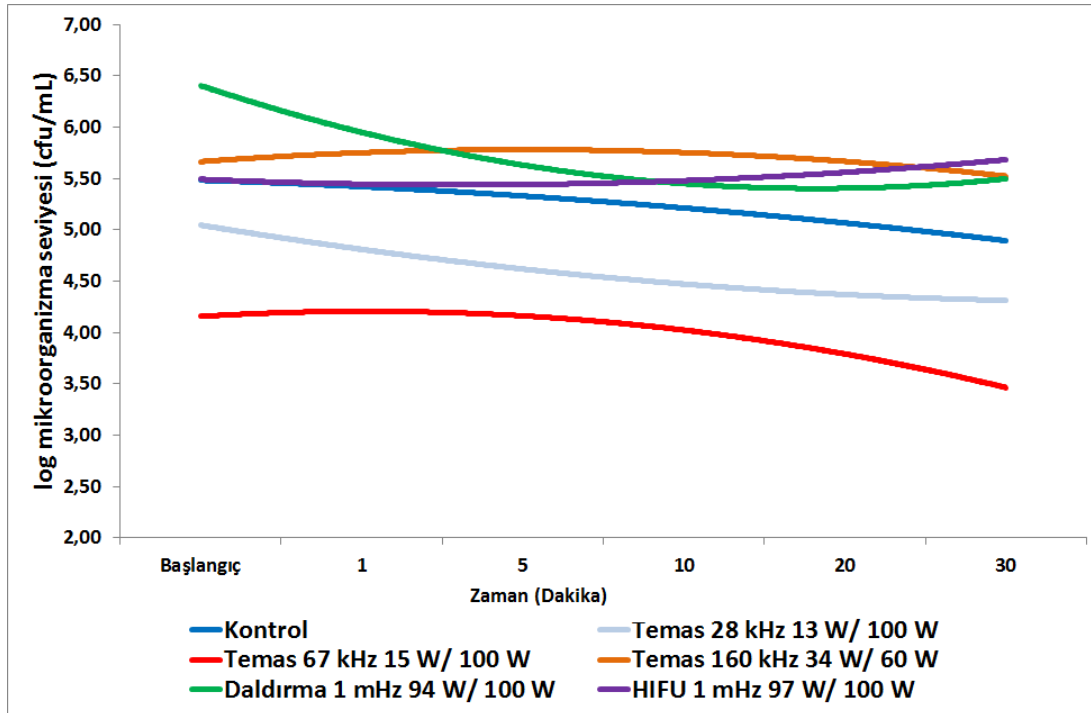
4.1 US Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu

Ultrasonik kavitasyon etkisiyle evsel koşuldaki atık suların dezenfeksiyonuna yönelik belirlenen şartlarda gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları bu bölümde paylaşılmıştır.

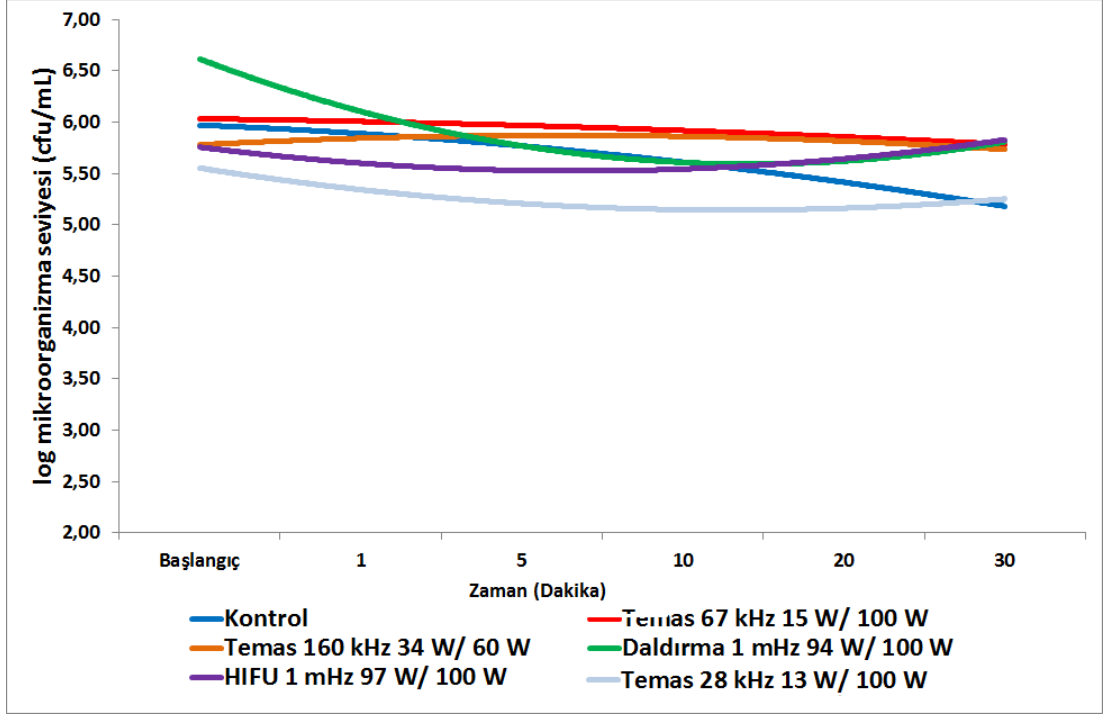
Deterjansız degaze suya farklı özelliklerdeki transduserler ile US uygulamasının *S. aureus*, *B. cereus* ve *E. faecalis* mikroorganizmaları üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Sonuçlar **Şekil 4.1**, **Şekil 4.2** ve **Şekil 4.3**'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Deterjansız US koşullarında *S. aureus* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).

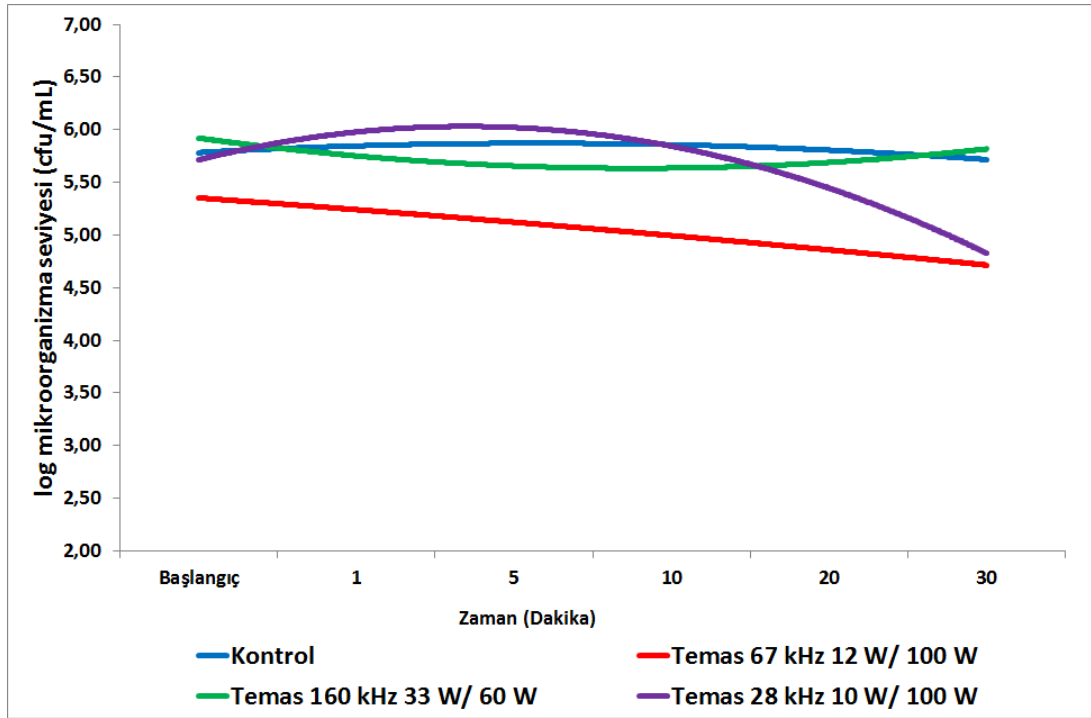


Şekil 4.2 : Deterjansız US koşullarında *B. cereus* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).

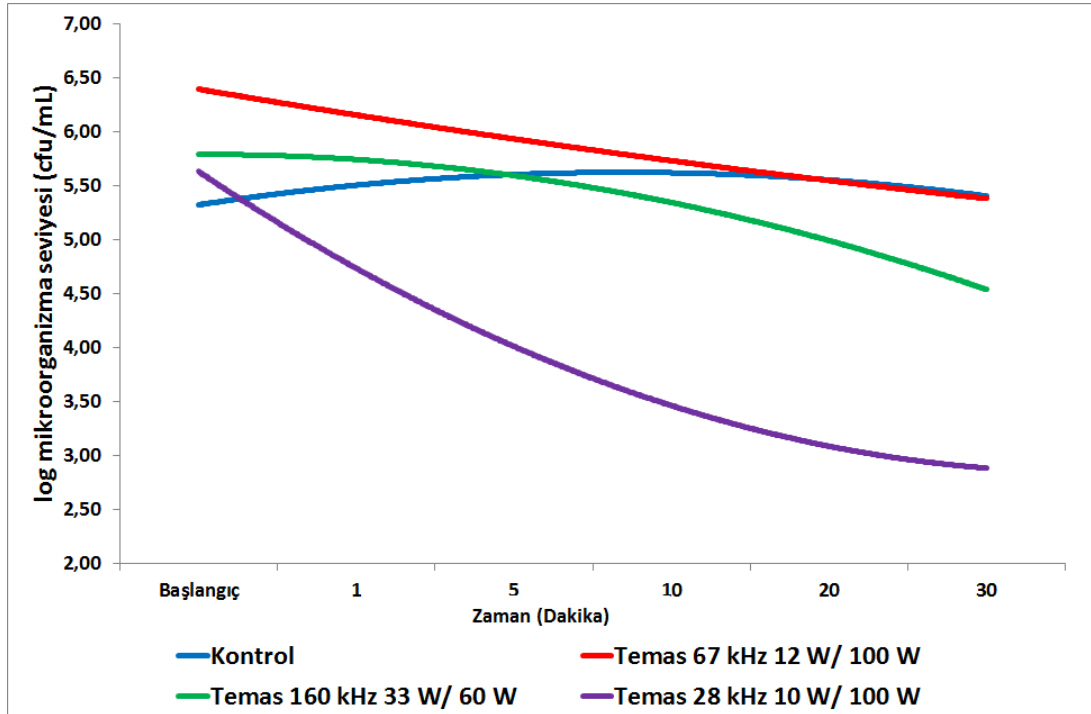


Şekil 4.3 : Deterjansız US koşullarında *E. faecalis* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).

Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te görüldüğü gibi; deterjansız test koşullarında seçilen mikroorganizmalar üzerinde farklı transduser tipi ve güç etkisine bağlı olarak mikroorganizma bazında zamana bağlı bir inaktivasyon ölçülememiştir. Ancak US uygulamasında, temas tipi transduserlerin mikroorganizma inaktivasyonu sağlama açısından diğer tip transduserlere göre daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle degaze deterjanlı su koşullarında sadece temas tipi transduserler ile çalışmalar yapılmıştır. Deterjanlı degaze su ile gerçekleştirilen *E. faecalis* ve *S. aureus* mikroorganizmaları üzerindeki inaktivasyon etkisi sonuçları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir. *B. cereus* mikroorganizma inaktivasyon derecesi ise Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Deterjanlı US koşullarında *E. faecalis* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).



Şekil 4.5 : Deterjanlı US koşullarında *S. aureus* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).

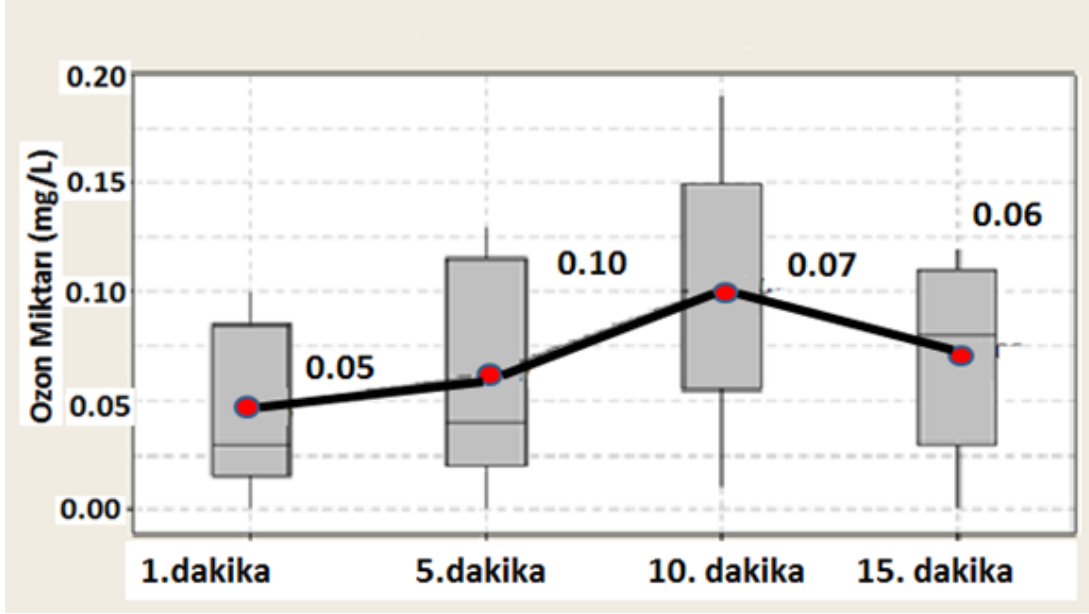
Çizelge 4.1 : Deterjanlı US koşullarında *B.cereus* mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 10L mikroorganizmalı degaze su çözeltisi).

Mikroorganizma	Örnek Alma Zamanı (dakika)	Temas Tipi 28 kHz 10 W/ 100 W
<i>B.cereus</i>	Başlangıç	4.74
	1. dakika	4.44
	5. dakika	4.18
	10. dakika	4.07
	20. dakika	3.63
	30. dakika	3.16

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Çizelge 4.1'e göre, deterjanlı degaze su uygulamasında; *E. faecalis* ve *B. cereus* bakterileri üzerinde belirgin bir etki gözlenememiş; ancak *S. aureus* için ise 30 dakika sonunda yaklaşık 3 log (cfu/mL)'lik bir indirgeme gözlenmiştir. Sonuç olarak US teknolojisinin gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda sulu ortamda mikroorganizma inaktivasyonu için tek başına yeterli olmadığı görülmüştür.

4.2 Ozon Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu

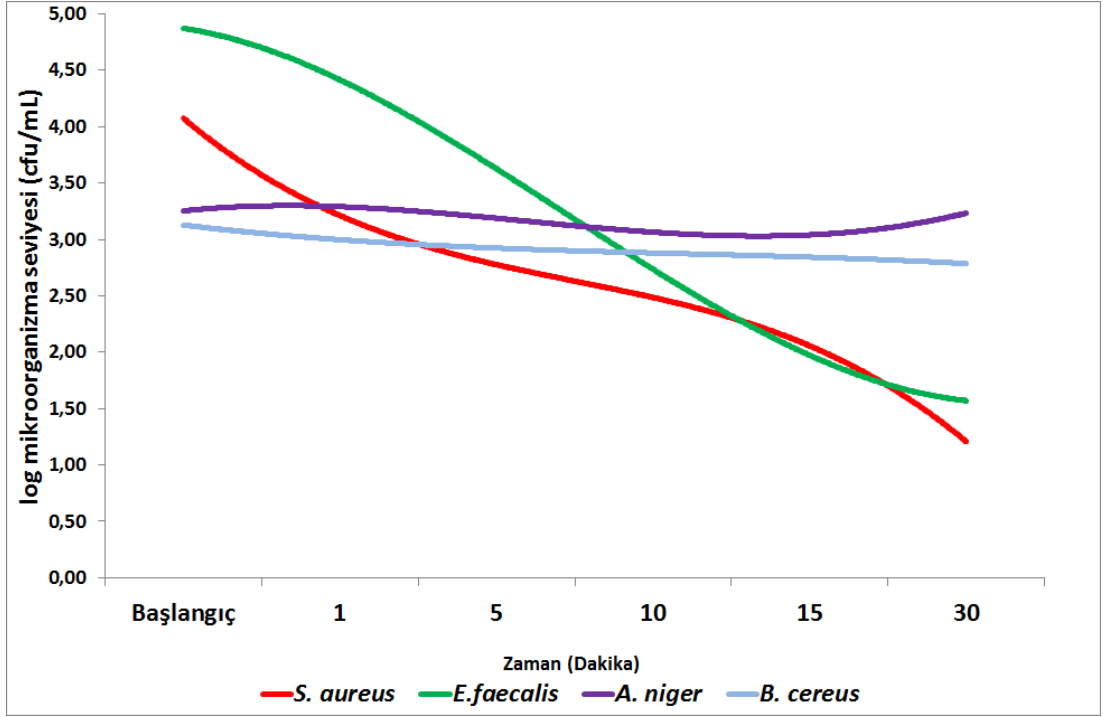
Kontrollü mikroorganizma çözelti testler gerçekleştirilmeden önce 1 Litre steril su test düzeneğinden ölçülen ozon gazı konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Steril su içerisinde ki ozon gazı konsantrasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 1L steril su).

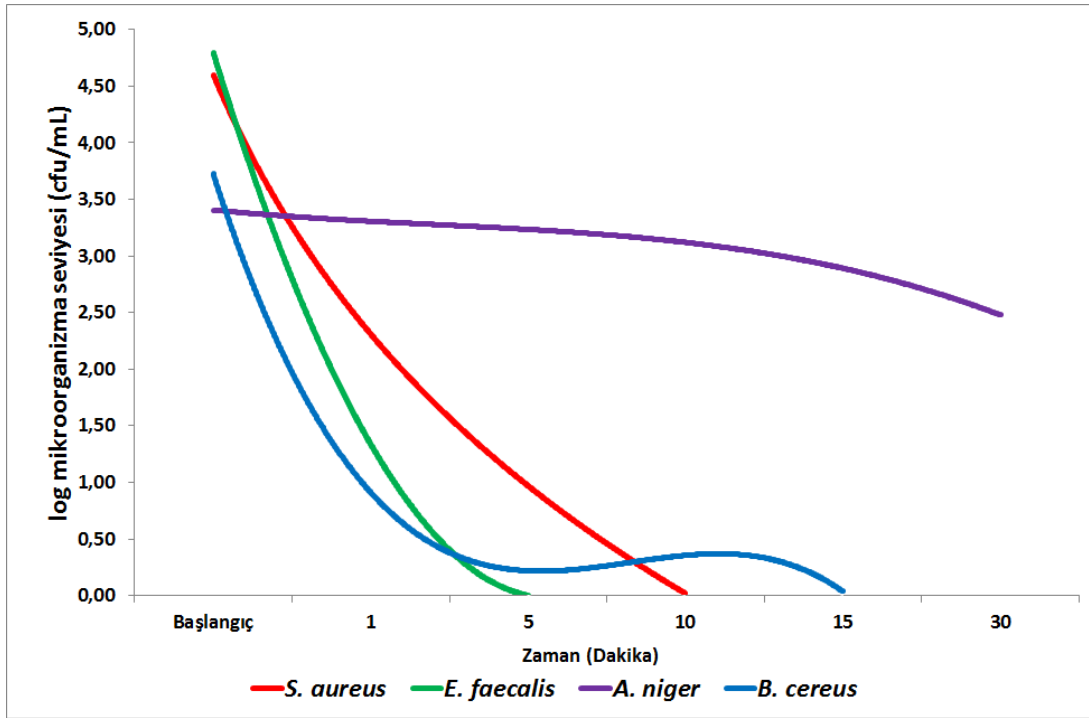
Şekil 4.6’da gösterilen ozon gazı konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi incelendiğinde, ozon gazının kararsız yapıda olduğu ve test süresince sabit bir ozon konsantrasyonu meydana getirilemediği, ortalama olarak 0.07 mg/L değerinde ozon konsantrasyonu ölçüldüğü gösterilmiştir.

Ozon gazının mikroorganizma inaktivasyonu üzerindeki etkisi, oluşturulan test düzeneğinde zamana bağlı olarak incelenmiş, Şekil 4.7’de ozon jeneratörünün kapalı olduğu durum; Şekil 4.8’de ise ozon jeneratörünün test süresince açık olduğu durum sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.7 : Ozon üretiminin pasif olduğu durumda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 1L mikroorganizmalı su çözeltisi).

Şekil 4.7 incelendiğinde, ozon gazının pasif olduğu durumda dahi hava sirkülasyonunun mikroorganizma uzaklaştırmada etkili olduğu; ancak tüm mikroorganizma inaktivasyonunda başarılı olamadığı görülmüştür.

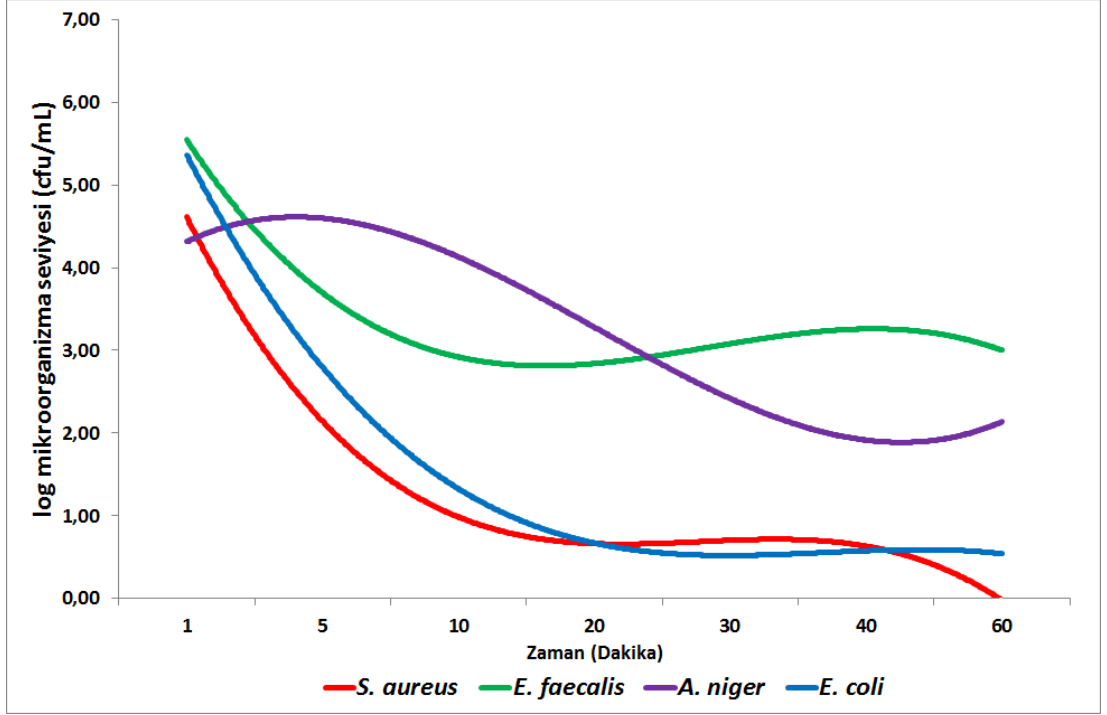


Şekil 4.8 : Ozon üretiminin aktif olduğu durumda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 1L mikroorganizmalı su çözeltisi).

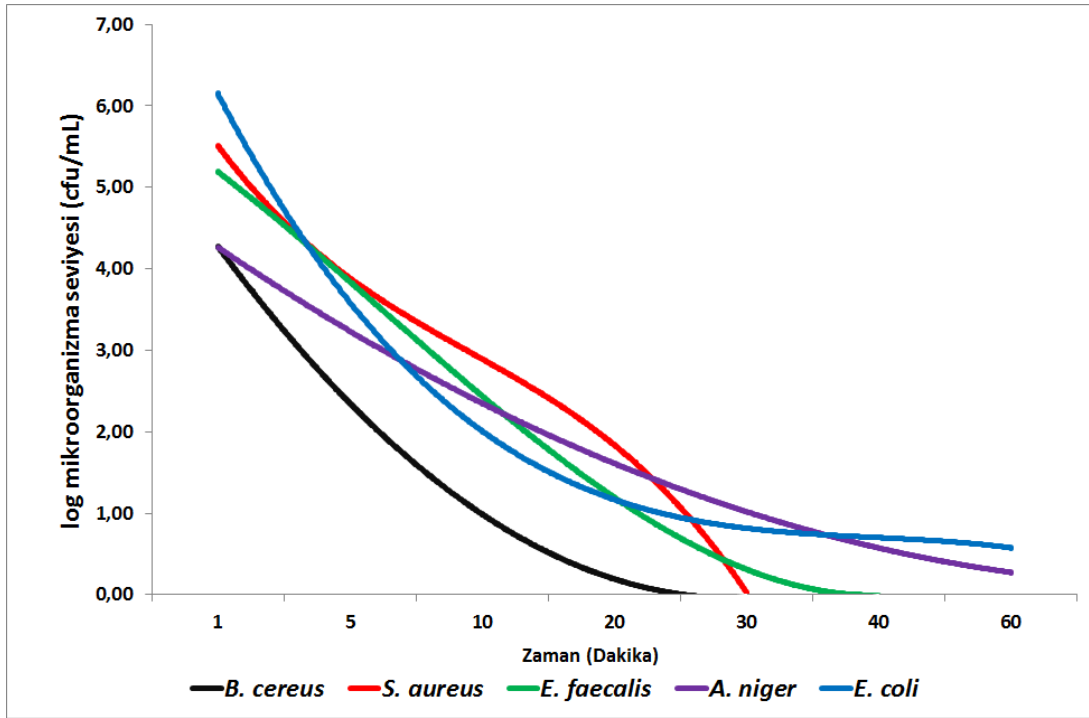
Ozon gazının aktif olduğu **Şekil 4.8** verileri değerlendirildiğinde, ozon uygulamasının kısa bir sürede (5-15 dakika) bakteri türleri üzerinde yüksek derecede inaktivasyon sağladığı; ancak küf üzerinde ozon uygulaması süresince belirgin bir uzaklaştırma etkinliği kaydedilememiştir. Sonuç olarak, *S. aureus*, *E. faecalis* ve *B. cereus* bakterileri üzerinde belirgin bir etkisi olduğu, 5 dakika ozon uygulaması sonucunda bakteri türlerinin “0” mertebesine azaldığı, *A. niger* küfü üzerinde ozon uygulamasının bir değişim yaratmadığı belirlenmiştir.

4.3 UV Uygulamasında Mikroorganizma İnaktivasyonu

5W ve 11W gücündeki lambalar ile oluşturulan test düzeneğinde, her bir mikroorganizma çözeltisi ayrı ayrı 5L hacmindeki su ortamında denenmiş ve mikroorganizma inaktivasyonu üzerine UV dezenfeksiyonun etkisinin zamana bağlı olarak değişimi gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar **Şekil 4.9** ve **Şekil 4.10**'da verilmiştir.



Şekil 4.9 : 5W UV lambası ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon işlemi koşulunda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 5L tekil mikroorganizmalı su çözeltisi, UV Kılıf: Paslanmaz çelik).



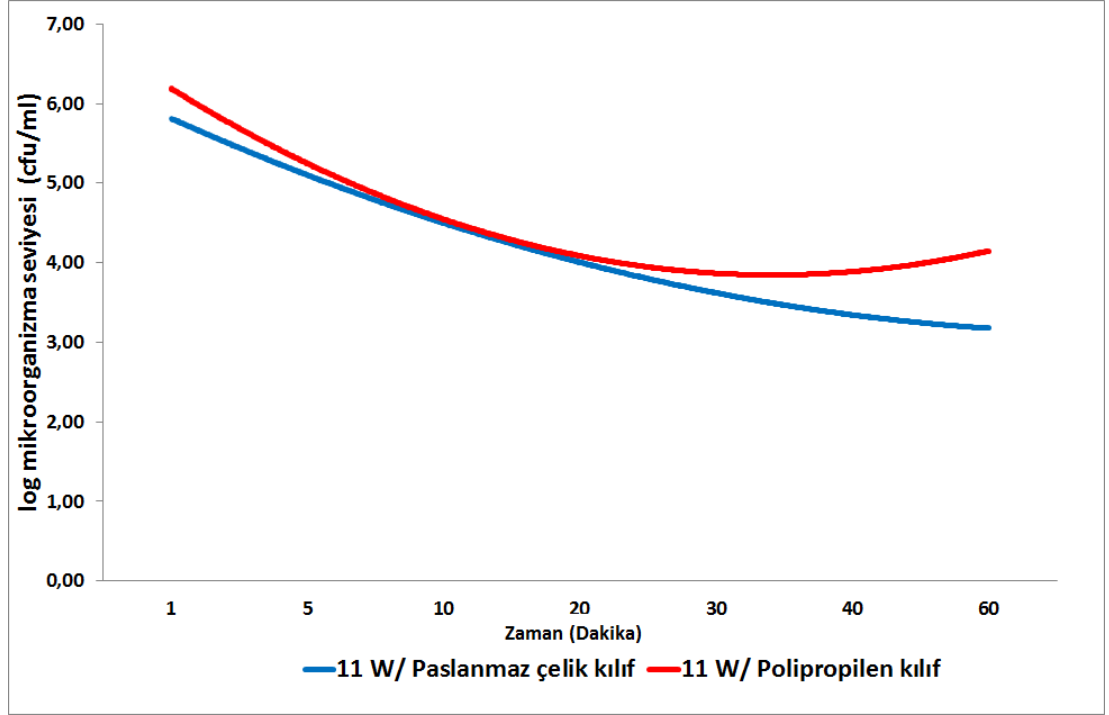
Şekil 4.10 : 11W UV lambası ile gerçekleştirilen dezenfeksiyon işlemi koşulunda mikroorganizma inaktivasyonunun zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 5L tekil mikroorganizmalı su çözeltisi, UV Kılıf: Paslanmaz Çelik).

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 incelendiğinde, UV gücünün artmasıyla mikroorganizma inaktivasyon hızının arttığı, UV dezenfeksiyon etkisinin ise mikroorganizma türüne göre farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır. 11W UV uygulaması koşulunda, 30. dakikada çalışılan mikroorganizmalar üzerinde yüksek oranda inaktivasyon sağlandığı, 40. dakikada ise tüm mikroorganizmaların uzaklaştırıldığı görülmektedir. 5W ve 11W UV lamba çalışmalarının *A. niger* küfünü uzaklaştırmada yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Mikroorganizmaların birbirlerinin gelişimlerini minimum derecede etkilemesi amacıyla bireysel mikroorganizma bazında gerçekleştirilen öncül test sonuçları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiş ve mikroorganizma bazında UV uygulamasının inaktivasyon etkisi gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların sonuçları referans alınarak gerçekleştirilen ikincil testlerde ise, toplam aerobik canlı sayımı değerlendirilmeleri yapılmış, mikroroganizmaların birbirlerinin gelişimlerini engellediği durumlardaki inaktivasyon seviyelerini görmek amaçlanmıştır.

Ayrıca, 11W UV lambanın paslanmaz çelik ve polipropilen kılıflar içerisindeki mikroorganizma uzaklaştırma etkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır.

11W UV lamba gücünün etkinliğinin yanı sıra kılıf etkinliğini görmek amacıyla 2 Litre hacmindeki sulu ortamda UV test düzeneğinde sirkülasyon süresine bağlı olarak gerçekleştirilen testlerin sonuçları toplam aerobik canlı sayımına göre değerlendirilmiş ve **Şekil 4.11**'de verilmiştir.



Şekil 4.11 : 11W UV lamba gücünün farklı kılıf içerisine konumlandırılmasının toplam aerobik canlı üzerindeki inaktivasyon etkisinin zamana göre değişimi (Sıcaklık: 23°C, Ortam: 2L süspansiyon halindeki mikroorganizmalı su çözeltisi)

Şekil 4.11'de gösterilen 11W UV lamba gücünün farklı kılıflar içerisine konumlandırılmasının toplam aerobik canlı sayımı üzerindeki inaktivasyon derecesinin incelendiği çalışmada, paslanmaz çelik ve polipropilen kılıf karşılaştırıldığında, test şartlarında kullanılan kontrollü su çözeltisi üzerinde mikroorganizma dezenfeksiyonu sağlaması açısından belirgin bir farklılık gözlenememiştir. 11W gücündeki UV lamba ve paslanmaz çelik kılıf koşulunda gerçekleştirilen test sonuçları incelendiğinde; tekil mikroorganizma çözeltisi ile yapılan testlerde mikrobiyal süspansiyon koşuluna göre daha yüksek inaktivasyon sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun karışım halindeki mikroorganizma çözeltisinin su bulanıklığını ve dolayısıyla UV lamba performansını olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. VARGILAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, US, ozon ve UV dezenfeksiyon yöntemleri, doğrudan evsel koşullarda kirlenmiş sular yerine onları temsilen laboratuvar koşullarında hazırlanmış farklı mikroorganizma ve küf türlerini içeren sulu çözeltiler üzerinde incelenmiştir. Farklı dezenfeksiyon uygulamalarının etkilerini incelemek için oluşturulan test düzeneklerinde zamana bağlı mikroorganizma inaktivasyon dereceleri elde edilmiştir. UV dezenfeksiyonunun diğer iki yöntemle karşılaştırıldığında, sulu ortamlarda mikroorganizma seviyesini indirgemede daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

US yönteminin sulu ortamdan mikroorganizma uzaklaştırma sonuçları değerlendirildiğinde; temas tipi, daldırma tipi ve HIFU tipi transduserler kullanılarak mikroorganizma inaktivasyonu sağlanılmaya çalışılmış; farklı güç ve farklı tip transduser yapılarının, deterjansız degaze su şartlarında, *S. aureus*, *E. faecalis* ve *B.cereus* üzerinde belirgin bir inaktivasyon etkisi gözlenememiştir.

Deneyssel olarak elde edilen sonuçlar, literatür çalışmaları ışığında değerlendirildiğinde; US teknolojisinin, su dezenfeksiyonunda tek başına yeterli olmayacağı; ancak kombine sistemler kullanılarak temizleme veriminin artırılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir. Bu konuda ileride deneyssel çalışmalar yapılabilir.

Ozon gazı ile gerçekleştirilen deney sonuçları incelendiğinde; ozon jeneratörünün aktif olduğu durumda, 5-15 dakika gibi kısa bir sürede seçilen tüm bakteri türleri üzerinde yüksek seviyede inaktivasyon sağlanmış; ancak küf üzerinde ozon gazının belirgin bir temizleme etkinliği ölçülememiştir. Deneyssel olarak ulaşılan yüksek ve hızlı inaktivasyon seviyelerine rağmen; literatürde de ifade edilen ozon gazının kararsız yapı göstermesi ve test süresince konsantrasyonunun sabit tutulamaması nedeniyle bu yöntem için uygulama zorlukları olduğu tespit edilmiştir.

Deneyisel olarak incelenen son teknoloji olan UV metoduna yönelik çalışma sonuçları değerlendirildiğinde; 5W ve 11W UV lambalar ile yapılan su temizleme testlerinin başarılı olduğu, UV lamba gücünün yüksek olduğu 11W UV gücündeki lambanın adapte edildiği test düzeneğinde 1 saat UV dezenfeksiyonu sonrasında *E.coli*, *S. aureus* and *E. faecalis* üzerinde maksimum 6 log (cfu/mL)'ye kadar inaktivasyon gözlenmiştir.

11W UV lamba uygulamasının toplam aerobik canlı inaktivasyon derecesindeki azalma sistem parametrelerinin iyileştirilmesi ile artırılabilir.

UV lambaların konumlandırıldığı paslanmaz çelik ve polipropilen kılıfların temizleme etkisine katkısı 11W UV lamba kullanılarak gözlemlenmeye çalışılmış; ancak önemli bir farklılık kaydedilememiştir. Polipropilen kılıflar ekonomik açıdan avantajlı olmakla birlikte, paslanmaz çelik kılıfların yüksek mekanik dayanım göstermesi ve UV ışınını yansıtıcı etkiye sahip olması nedeniyle kullanım alanlarına ve diğer özel gerekliliklere göre tercih edilmesi önerilmektedir.

UV dezenfeksiyon sistemi ile yapılabilecek diğer çalışmalarda, farklı UV lamba güçleri, farklı atık su hacimleri, su akış debileri ve farklı kontrollü mikroorganizma çözeltileri kullanılabilir; farklı teknolojiler ile metod kombinasyonları geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Jorgensen, B., Graymore, M. ve O'Toole, K.** (2009). Household water use behavior: An integrated model, *Journal of Environmental Management*, **91**, 227-236.
- [2] **Santos, C., Pinto, F.T., Cheng, C.Y. ve Leite, D.** (2012). Development of an experimental system for greywater reuse, *Desalination*, **285**, 301-305.
- [3] **O'Toole, J., Sinclair, M., Malawaraarachchi, M., Hamilton, A., Barker, S.F. ve Leder, K.** (2012). Microbial quality assessment of household greywater, *Water Research*, **46**, 4301-4313.
- [4] **Erkmen, O.** (2011). Gıda Mikrobiyolojisi: In: Gıda Mikrobiyolojisine Giriş, Önemli Mikroorganizmalar ve Mikroorganizma Kaynakları, **3**, p. 3-11, Eflatun Basım Dağıtım Yayıncılık Danışmanlık Yatırım ve Tic. Ltd. Şti, Ankara.
- [5] **Url-1** <<http://tuxedotshirts.wordpress.com/water-and-waste/collection-and-storage/>>, alındığı tarih: 15.03.2013.
- [6] **Gilboa, Y. ve Friedler, E.** (2008). UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganism, *Water Research*, **42**, 1043-1050.
- [7] **Li, F., Wichmann, K. ve Otterpohl, R.** (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment*, **407**, 3439-3449.
- [8] **Agrawal, C.VK. ve Bhalwar, B.R.** (2009). Household water purification: Low-cost interventions, *MJAFI*, **65**, 260-263.
- [9] **Url-2**
<http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/treatment/upload/2000_12_19_cwt_final_develop_ch8.pdf>, alındığı tarih: 29.03.2013.
- [10] **WHO ve UNICEF** (2000). Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report, *World Health Organization and United Nations Children's Fund*, Geneva.
- [11] **Özkan, S., Tüzün, H., Görür, N., Ceyhan, M., Aycan, S., Albayrak, S. ve Bumin, M.A.** (2007). Water usage habits and the incidence of diarrhea in rural Ankara, Turkey, *Transaction of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **101**, 1131-1135.
- [12] **EPA** (1999). United States Environmental Protection Agency/ Office of Water: Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection Report, **EPA 832-F-99-063**, Washington.
- [13] **Url-3** <<http://www.waterlogic.com/>>, alındığı tarih: 10.03.2013.

- [14] **Gostingar, C., Grube, M. ve Gunde-Cimerman, N.** (2011). Evalution of fungal pathogens in domestic environment, *Fungal Biology*, **115**,1008-1018.
- [15] **Lee, J., Cartwright, R., Grueser, T. ve Pascall, M.A.** (2007). Efficiency of manual dishwashing conditions on bacterial survival on eating utensils, *Journal of Food Engineering*, **80**, 885-891.
- [16] **ANSI/NSF** (2001). The washing protocols for automatic dishwasher, American National Standard/NSF International Standard 3.
- [17] **Wenersson, E.S., Jeppsson, M., Hakanson, H.** (2006). The effect of dishwater parameters on the survival of *Staphylococcus aureus* and vegetative cells and spores of *Bacillus cereus*, *Journal of Food service*, **17**, 111-118.
- [18] **Türetgen, İ.** (2006). Su şebeke sistemlerinde mikrobiyal biyofilm tabakası, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, **92**, 29-32.
- [19] **Mah, T.F.C. ve O'Toole, G.A.** (2001). Mechanism of biofilm resistance to antimicrobial agents, *Trends in Microbiology*, **9**, 34-39.
- [20] **Donlan, R.M. ve Costerson JW.** (2002). Biofilms: survival mechanism of clinically relevant microorganism, *Clinical Microbial Rev*, **15**, 167-193.
- [21] **Gogate, P.R.** (2007). Application of cavitational reactors for water disinfection: Current status and path forward, *Journal of Environmental Management*, **85**, 801-815.
- [22] **Tırnaksız, F. (t.y.).** Sterilizasyon. Modern Farmasotik Teknoloji, *Bölüm 5*, sf. 63-89.
- [23] **Tech Brief** (1996).Disinfection, *A National Drinking Water Clearing House Fact Sheet*.
- [24] **Piyasena, P., Mohareb, E. ve McKellar, R.C.** (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a rewiev, *International Journal of Food Microbiology*, **87**, 207-216.
- [25] **Url-4**
<<http://www.food.hacettepe.edu.tr/turkish/ouyeleri/gmu809/Ultrason%2012.pdf>>, alındığı tarih: 05.02.2013.
- [26] **Ay, İ. ve Anaç, N.** (2002). Ultrasonik yöntemle parça temizleme, *Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik- Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, Türkiye, 11-13 Eylül.
- [27] **Hulmans, A., Joris, K., Lambert, N., Rediers, H., Declerck, P., Delaedt, Y., Ollevier, F. ve Liers, S.** (2010). Evaluation of process parameters of ultrasonic treatment of bacterial suspensions in a pilot scale water disinfection system, *Ultrasonic Sonochemistry*, **17**, 1004-1009.
- [28] **Jatzwauk, L., Schönet, H. ve Pietsch, H.** (2001). How to improve instrument disinfection by ultrasound, *Journal of Hospital Infection*, **48**, 580-583.
- [29] **Madge, B.A. ve Jensen, J.N.** (2002). Disinfection of wastewater using a 20-kHz ultrasound unit, *Water Environment Research*, **74**, 159.

- [30] **Loraine, G., Chahine, G., Hsiao, C.H., Choi, J.K. ve Aley, P.** (2012). Disinfection of gram-negative and gram-positive bacteria using DYNAJETS hydrodynamic cavitating jets, *Ultrasonic Sonochemistry*, **19**, 710-717.
- [31] **EPA** (1986). *Design Manual: municipal wastewater disinfection- ozone disinfection*. EPA Office of Research and Development, **EPA/625/1-86/021**.
- [32] **Wastewater Technology Fact Sheet- Ozone Disinfection.** (1999). *United States Environmental Protection Agency, Office of Water Washington, D.C.*
- [33] **Xu, P., Janex, M.L., Savoye, P., Cockx, A. ve Lazarova, V.** (2002). Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design, *Water Research*, **36**, 1043-1055.
- [34] **Url-5** < <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/ozonolusumu.pdf>>, alındığı tarih: 15.03.2013.
- [35] **Aydın, K.** (t.y.). Ultraviyole ışınları ile suların dezenfeksiyonu, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 989-1004.
- [36] **Url-6** < <http://www.fokuswater.com/ultraviyole-dezenfeksiyon-sistemleri/#.UYNiN7WGFqU>>, alındığı tarih: 24.03.2013.
- [37] **EPA** (1986). *Alternative Disinfectants and Oxidants-UV radation*. EPA Office of Research and Development.
- [38] **Kollu, K. ve Örmeci, B.** (2012). Effects of particles and bioflocculation on ultraviolet disinfection of *Escherichia coli*, *Water Research*, **46**, 750-760.
- [39] **Guo, M., Hu, H. ve Liu, W.** (2009). Preliminary investigation on safety of post- UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory- scale simulated reuse water pipelines, *Desalination*, **239**, 22-28.
- [40] **Pozos, N., Scow, K., Wuertz, S. ve Darby, J.** (2004). UV disinfection in a model d istribution system: biofilm growth and microbial community, *Water Research*, **38**, 3083-3091.
- [41] **Xu, Y., Huang, H., Zhang, Z., Liu, Z., Yan, K. ve Zhu, A.** (2013). Water disinfection by pulsed atmospheric air plasma along water surface, *AIChE Journal*, **59**, 1458-1467.
- [42] **Adler, S., Scherrer, M. ve Daschner, F.D.** (1998). Cost of low- temperature plasma sterilization compared with other sterilization methods, *Journal of Hospital Infection*, **40**, 125-134.
- [43] **Url-7** < http://www.jh-vac.com/image/pdf/Plasma%20Cleaning%20of%20Surfaces_en.pdf>, alındığı tarih: 15.03.2013.
- [44] **Moreira, A. J., Mansano, R.D., Pinto, T.J.A., Ruas, R., Zambon, L.S, Silva, M.V. veVerdonck, P.B.** (2004). Sterilization by oxygen plasma, *Applied Surface Science*, **235**, 151-155.

- [45] **Malato, S., Fernandez-Ibanez, P., Maldonado, M.I., Blanco, J. ve Gernjak, W.** (2009). Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis, *Catalysis Today*, **147**, 1-59.
- [46] **Hong, J.T., Seo, H., Kim, H.S., Lee, D.G., Jang, J.J., Xu, G.C. ve Kim, H.J.** (2011). Electrical sterilization of *E. coli* by electrostatic atomization with a photo- chemical catalyst, *Journal of Electrostatic*, **69**, 328-332.
- [47] **Taoda, H.** (t.y.).Fotokatalitik teknoloji geliştirme ve uygulama- Sürdürülebilir eko-teknolojinin endüstrileştirilmesi, *Synthesiology Dergisi*, **4**, 1-14.
- [48] **Dalrymple, O. K., Stefanakos, E., Trotz, M.A., Goswami, D.Y.** (2010).A review of the mechanism and modeling of photocatalytic disinfection, *Applied Catalysis B: Environmental* ,**98**,27-38.
- [49] **SR-CL Water Purification by Electrolytic Chlorination.** (2007). Alındığı tarih:25.04.2013, adres: http://www.cqm-tech.com/documentation/12-SR-CL_Water_Purification_by_Electrolytic_Chlorination.pdf
- [50] **Environmental Water.** Water treatment by electrical technologies, 155-170. Alındığı tarih: 25.03.2013, adres: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59399-3.00006-4>
- [51] **Kraft, A.** (2008). Electrochemical Water Disinfection: A short review, *Platinum Metal Review*, **52**,177-185.
- [52] **Özkütük, N.** (2005). Mikrodalga ve ultraviyole ile dezenfeksiyon uygulamaları, kullanım alanları genel özellikleri, *4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi* (Sf. 338-343).
- [53] **Quang, D.V., Sarawade, P.B., Jeon, S.J., Kim, S.H., Kim, J.K., Chai, Y.G. ve Kim, H.T.** (baskıda). Effective water disinfection using silver nanoparticle containing silica beads. *Applied Surface Science*.
- [54] **Jyoti, K.K. ve Pandit, A.B.** (2004). Ozone and cavitation for water disinfection, *Biochemical Engineering Journal*, **18**, 9-19.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Pervin SAYGIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Çerkezköy/ 28.07.1988

Adres: Cemal Bey Yolu. Şehit Mücahit Sokak. No:67.

Koçlar Apartmanı. Daire:11. Esenyol/ Maltepe/ İSTANBUL

E-Posta: pervin_saygin@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi/ Kimya- Metalurji Fakültesi/ Kimya Mühendisliği



TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/ SUNUMLAR

- **Saygın, P.,** Yakartaş B., Tüter, M., 2013: The Effects of UV Treatment on Microbiological Disinfection of Household Greywater. *International Conference on Environmental Science and Technology (ICOEST Cappadocia 2013)*, Haziran 18-21, 2013 Nevşehir, Türkiye.
- **Saygın, P.,** Yakartaş B., Tüter, M., 2013: The Effects of UV and Ozone Treatments on Microbiological Disinfection of Household Greywater. *1st International Terra Preta Sanitation Conference (TPS 2013)*, Ağustos 29-30, 2013 Hamburg, Almanya.